

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEOFÍSICAS E GEOLÓGICAS

ESTUDO EM LABORATÓRIO DE ANOMALIAS  
DE POTENCIAL ESPONTÂNEO

Por :

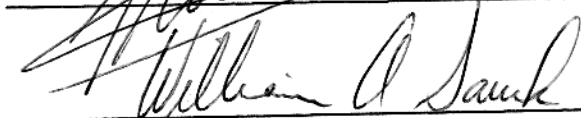
Lindalva do Carmo Ferreira

TESE DE MESTRADO EM GEOFÍSICA

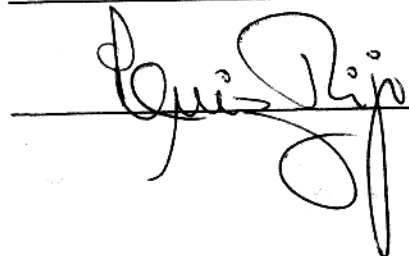
Aprovação da Banca Examinadora :



(Román Alvarez Bejar)  
Orientador



(William August Sauck)



(Luiz Rijo)

Belém, <sup>23</sup> novembro/1978

À

Nênê e Petit.

# Í N D I C E

	PAG
ABSTRACT	i
RESUMO	ii
INTRODUÇÃO	
1. RESUMO TEÓRICO SOBRE ORIGEM E MECANISMO DE POLARIZAÇÃO ESPONTÂNEO .....	6
1.1. Origem do Potencial Espontâneo .....	6
1.2. Mecanismo de P. Espontâneo .....	7
1.2.1. Mecanismo da Cella de Oxigênio .....	7
1.2.2. Mecanismo do Gradiente de pH .....	8
1.2.3. Mecanismo de Óxido-Redução .....	9
1.2.4. Potencial de Difusão ou Potencial de Concentração .....	15
1.2.5. Potencial de Fluxo ou Eletrofiltração .....	20
1.3. Outras Fontes de Potenciais Naturais .....	25
1.3.1. Potencial de Eletrodo .....	25
1.3.2. Potencial Devido a Corrente Natural da Terra .....	26
2. ESTUDO EM LABORATÓRIO COM O MÉTODO DO POTENCIAL ESPONTÂNEO SOBRE ROCHAS DO MÉXICO .....	28
2.1. Localização da Área de Amostragem .....	28
2.2. Metodologia .....	28
2.3. Estimativa para a Porosidade .....	32
2.4. Método de Medida Aplicada .....	34
2.5. Material Utilizado .....	36
2.6. Apresentação e Discussão dos Dados .....	38
2.7. Interpretação .....	66
3. ESTUDO EM LABORATÓRIO COM MÉTODO DO POTENCIAL ESPONTÂNEO SOBRE SOLOS RESIDUAIS DA ZONA DOS CARAJÁS .....	70

3.1. Localização da Área de Amostragem .....	70
3.2. Descrição dos Solos .....	72
3.3. Metodologia .....	73
3.4. Material Utilizado .....	75
3.5. Apresentação e Discussão dos Dados .....	75
3.6. Interpretação .....	98
4. ANÁLISE DE ERROS .....	102
CONCLUSÃO .....	103
REFERÊNCIAS .....	105
AGRADECIMENTO .....	108
Apêndice 1 - Valores de Potencial Espontâneo e Gradiente Potencial Medidos sobre rochas.	
Apêndice 2 - Valores de Potencial Espontâneo e Gradiente Medido sobre Solos Residuais.....	
Apêndice 3 - Valores para o Potencial Espontâneo e o Gra diente do Potencial medido sobre a Linha L <sub>2</sub> para os diversos pares.	



Fig. 40 - Mapa do Potencial Espontâneo para os solos E-D , d=4cm (S.C) .....	92
Fig. 41 - Vários perfis sobre a linha L para D-H em dife- rentes horas .....	93
Fig. 42 - Vários perfis sobre a linha L para H-G em dife rentes horas .....	94
Fig. 43 - Vários perfis sobre a linha L para E-F em dife rentes horas .....	95
Fig. 44 - Vários perfis sobre a linha L para F-G em dife rentes horas .....	96
Fig. 45 - Vários perfis sobre a linha L para E-D em dife rentes horas .....	97
Fig. 46 - Perfil de Campo sobre a Área MM1 .....	100

## ÍNDICE DE FIGURAS

	PAG
Fig. 1 - Condições de pH-Eh para zona de intemperismo e zona de profundidade da Terra .....	11
Fig. 2 - Mecanismo de Oxidação-Redução .....	14
Fig. 3 - Máxima Diferença de Potencial para Diversos Minerais .....	16
Fig. 4 - Movimento de Eletrocapilaridade em um acamamento vertical de areia entre duas camadas permeáveis de argila .....	23
Fig. 5 - Esquema de perfilagem .....	29
Fig. 6 - Perfis Riolito (R <sub>1</sub> ) - Basalto (B <sub>H</sub> ) d=1 cm (S)	39
Fig. 7 - ——— (R <sub>1</sub> ) - (B <sub>H</sub> ) d=1,5cm (S)	40
Fig. 8 - ——— (R <sub>1</sub> ) - (B <sub>H</sub> ) d=1 cm (H)	42
Fig. 9 - ——— (R <sub>1</sub> ) - (B <sub>H</sub> ) d=1,5cm (H)	43
Fig. 10 - ——— (R <sub>1</sub> ) - (B <sub>H</sub> ) d=1 cm (H <sub>16</sub> )	44
Fig. 11 - ——— (R <sub>1</sub> ) - (B <sub>H</sub> ) d=1,5cm (H <sub>16</sub> )	45
Fig. 12 - ——— Calcáreo (C <sub>6</sub> ) - Basalto (B <sub>H</sub> ) d=1,5cm (S)	46
Fig. 13 - ——— (C <sub>6</sub> ) - (B <sub>H</sub> ) d=1,5cm (H)	47
Fig. 14 - ——— (C <sub>6</sub> ) - (B <sub>H</sub> ) d=1,5cm (H <sub>16</sub> )	48
Fig. 15 - ——— Riolito (R <sub>1</sub> ) - Basalto (V <sub>3</sub> ) d=1,5cm (S)	50
Fig. 16 - ——— (R <sub>1</sub> ) - (V <sub>3</sub> ) d=1,5cm (H)	51
Fig. 17 - ——— (R <sub>1</sub> ) - (V <sub>3</sub> ) d=1,5cm (H <sub>25</sub> )	52
Fig. 18 - ——— Calcáreo (C <sub>6</sub> ) - Calcáreo (C <sub>3</sub> ) d=1,5cm (S)	54

	PAG
Fig. 19 - ——— Calcáreo (C <sub>0</sub> ) - Calcáreo (C <sub>3</sub> ) d=1,5cm (H)	55
Fig. 20 - ——— (C <sub>6</sub> ) - (C <sub>3</sub> ) d=1,5cm (H <sub>20</sub> )	56
Fig. 21 - ——— Basalto (B <sub>H</sub> ) - Basalto (B <sub>H</sub> ) d=1,5cm (S)	57
Fig. 22 - ——— (B <sub>H</sub> ) - (B <sub>H</sub> ) d=1,5cm (H)	58
Fig. 23 - ——— (B <sub>H</sub> ) - (B <sub>H</sub> ) d=1,5cm (H <sub>20</sub> )	59
Fig. 24 - Mapa do Potencial Espontâneo R <sub>1</sub> -B <sub>H</sub> ; d=1,5cm (S)	60
Fig. 25 - Mapa do Potencial Espontâneo R <sub>1</sub> -B <sub>H</sub> ; d=1,5cm (H)	61
Fig. 26 - Mapa de Localização da Área MM1 .....	71
Fig. 27 - Perfis para Solos D-H ; d = 4cm (S) .....	76
Fig. 28 - ——— D-H ; d = 4cm (S.C) .....	77
Fig. 29 - ——— H-E ; d = 4cm (S) .....	79
Fig. 30 - ——— H-E ; d = 4cm (S.C <sub>6</sub> ) .....	80
Fig. 31 - ——— E-F ; d = 4cm (S) .....	81
Fig. 32 - ——— E-F ; d = 4cm (S.C <sub>10</sub> ) .....	82
Fig. 33 - ——— F-G ; d = 4cm (S) .....	84
Fig. 34 - ——— F-G ; d = 4cm (S.C <sub>13</sub> ) .....	85
Fig. 35 - ——— E-D ; d = 4cm (S) .....	86
Fig. 36 - ——— E-D ; d = 4cm (SC) .....	87
Fig. 37 - Mapa do Potencial Espontâneo para os solos F-G , d=4cm, (S) .....	89
Fig. 38 - Mapa do Potencial Espontâneo para os solos F-G , d=4cm, (SC <sub>13</sub> ) .....	90
Fig. 39 - Mapa do Potencial Espontâneo para os solos E-D , d=4cm, (S) .....	91

## ABSTRACT

This work is an application in the laboratory of the Spontaneous or Self Potential method of field geophysics. Pairs of different rocks and residual soils were placed in contact in the laboratory to determine whether they could produce a difference in potential, as had been occasionally observed during field investigations.

The samples of rock used are limestones, basalts, and rhyolite from the area of "Caldera de Los Humeros" in Mexico. The residual soils are from the area MM1 of "Serra dos Carajás", Pará, Brasil. The measurements were carried out using dry systems (room humidity) and humid systems (water added).

The changes of measured potential for rocks and soils in the laboratory show differences in average values ranging from 5mv to 50 mv from one side of a contact to the other. Thus, the result of this investigation is positive and indicates that changes in Self Potential values can originate from changes in superficial soil type or by contacts between different types of rocks.

RESUMO

Este trabalho é uma aplicação em laboratório do método de Potencial Espontâneo de Geofísica de Campo.

Pares de diferentes rochas e solos residuais foram colocados em contato em laboratório para determinar se poderiam produzir diferença de potencial, como tem sido ocasionalmente observado durante investigações de campo.

As amostras de rochas utilizadas foram calcáreo, basalto e riolito da área da Caldeira de Los Humeros em México. Os solos residuais são da área MM1 da Serra dos Carajás, Pará, Brasil. As medidas foram efetuadas usando sistema em seco (umidade relativa ambiente) e sistema úmido (com água adicionada).

As mudanças nos potenciais medidos para as rochas e solos no laboratório mostram diferença no valor médio desde 5 mv até 50 mv entre os diferentes lados em contato. Assim o resultado desta investigação é positiva e indica que mudanças nos valores de Potencial Espontâneo podem originar-se desde mudanças nos tipos superficiais de solo ou pelo contato entre diferentes tipos de rochas.

## INTRODUÇÃO

Um dos métodos elétricos em geofísica a utilizar o campo elétrico natural é o método do Potencial Espontâneo.

O primeiro a descrever o fenômeno do Potencial Espontâneo foi Fox (1830), quando desenvolvendo trabalho em uma mina de cobre na Cornwall descobriu a existência de corrente elétrica natural associada com depósitos minerais.

Em 1882 Carl Barus introduz o uso do eletrodo não polarizável. Este eletrodo praticamente elimina potenciais erráticos quando em contato com o solo (Van Nostrand e Cook (1966)). Foi en tretanto com o trabalho de Schlumberger pertencente a escola francesa à partir de 1912 que começou a haver sistematização para aplicação deste método como técnica em prospecção geofísica. Dentro da escola francesa muitos trabalhos foram desenvolvidos sobre Poten cial Espontâneo.

Este método que foi desenvolvido e aperfeiçoado pela escola francesa, foi trazido para a América por S.F.Kelly, que descobriu com a aplicação deste método em 1924 um novo depósito, na região de Manitoba no Lago Athapapuskow, embora infortunadamente o depósito não fosse comerciável (Van Nostrand e Cook (1966)); Kelly faz parte da escola americana e muitas foram as contribuições dos cientistas desta escola para o estudo dos métodos geofísicos elé tricos.

Em 1928 Conrad e Marcel Schlumberger descobrem que era gerado por polarização espontânea um potencial em perfuração de po

ços, introduzindo assim o well-logging, Pirson (1963); Wyllie (1958).

A prospecção geofísica pelo método de potencial espontâneo é simples e econômica tanto em relação a instrumentação utilizada, como na aplicação do método em procedimento de campo. Os minerais que produzem fortes anomalias de P.E são principalmente pirita ( $\text{Fe S}_2$ ) e a pirrotita ( $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ ). Anomalias menores podem ser produzidas por ocorrências minerais tais como: Calcopirita ( $\text{Cu Fe S}_2$ ), Calcocita ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), Covelita ( $\text{CuS}$ ), Grafite (C), Antracita (C).

As anomalias são quase sempre negativos relativamente a um meio ambiente e variam de 1 até algumas centenas de milivolts. Na maioria dos casos o ponto de máxima amplitude está localizado aproximadamente acima da área de mineralização maciça.

A interpretação de dados obtidos pelo método de polarização espontânea (P.E) pode ser qualitativa ou quantitativa. De um modo geral a interpretação é feita de forma qualitativa, levando-se em consideração que o corpo causante da anomalia encontra-se localizado aproximadamente abaixo do centro negativo.

A interpretação quantitativa baseia-se no estudo teórico do campo produzido por corpos polarizados, os quais considera-se de forma geométrica simples para permitir a forma analítica do campo com relativa facilidade, Orellana (1972). A interpretação quantitativa exige assim o cumprimento de certas condições tais como uma razoável homogeneidade do meio encaixante e uma forma regular do corpo.

A primeira tentativa de interpretação quantitativa foi realizada em 1928 por Petrowsky com um trabalho sobre esferas polarizadas como corpo fonte; neste método ele utiliza as derivadas espaciais do campo, e obtem expressões matemáticas que traduzem a distribuição de potencial produzido na superfície por um corpo esférico localizado em sub-superfície em uma posição qualquer.

Outros autores como Heiland (1940); Stern (1945), de Witte (1948); Yungul (1950); Meiser (1962); Paul (1965); Dias (1976), discutiram e expandiram os estudos iniciado por Petrowsky.

Este trabalho é um estudo qualitativo de diversos perfis obtidos com valores de P.E medidos sobre a superfície do material, e objetiva esclarecer dúvidas surgidas em trabalho de campo.

O método de P.E foi aplicado na região de Los Humeros (México) em levantamento de campo, os valores obtidos deixaram dúvidas quanto ao fator a influenciar em suas variações; se uma fonte interna tal como um corpo mineralizado ou uma fonte térmica localizada em sub-superfície, ou se devido a contato entre diferentes litologias. Este método (P.E) foi também aplicado em levantamento de campo na região dos Carajás (Pará) observando-se variações muito intensas nos valores relativos de P.E.

Em decorrência das dúvidas surgidas quanto as variações verificadas em campo fez-se em laboratório modelos com os quais simulou-se contato entre rochas (riolito, calcáreo, basalto) e contato entre solos residuais, para obter-se informações adicionais sobre o comportamento da Polarização Espontânea quando tem-se diferentes materiais em contato. Deve-se salientar que dentre as refe



rências consultadas não encontrou-se nem um trabalho em termos de  
Potencial Espontâneo desenvolvido desta forma.

CAPÍTULO I

RESUMO TEÓRICO SOBRE ORIGEM E MECANISMOS DE POLARIZAÇÃO ESPONTÂNEA

## 1. RESUMO TEÓRICO SOBRE ORIGEM E MECANISMO DE POLARIZAÇÃO ESPONTÂNEA.

Para um melhor esclarecimento do estudo já desenvolvido sobre o método do Potencial Espontâneo, coloca-se um resumo das teorias existentes para explicar suas causas. Os vários mecanismos aqui apresentados são geralmente, como citado na literatura aplicados ao estudo de P.E para ocorrências de minerais e perfuração de poços. Para este trabalho, no qual realizamos medidas superficiais de P.E para modelos em que simulamos contato entre diferentes materiais, o potencial de fluxo e o de difusão são os mecanismos mais adequados a ser aplicado ao estudo aqui desenvolvido.

### 1.1. Potencial Espontâneo

O Potencial Espontâneo é o potencial elétrico associado ao fluxo de corrente natural que flui na sub-superfície. Este potencial pode ter várias origens algumas não bem estabelecidas. Os potenciais espontâneos podem ser gerados por forças eletromotrizes de origens eletroquímica ou eletrocinética, por óxido-redução e por correntes eletromagnéticas geradas naturalmente pela variação do campo magnético terrestre. Em geofísica a corrente natural gerada por variação do campo magnético terrestre é usado no método chamado magneto-telúrico. O método geofísico do Potencial Espontâneo é o que utiliza a corrente natural existente no solo.

## 1.2. Mecanismos Propostos para a Polarização Espontânea

### 1.2.1. Mecanismo da Cella de Oxigênio

Schlumberger, como citado por Poldini (1938-1939), situa que o fluxo de corrente através o corpo mineralizado é devido ao gradiente de concentração de Oxigênio ( $O_2$ ) dissolvido na água do sub-solo, a água localizada a pouca profundidade contém mais  $O_2$  dissolvido do que a que está a maiores profundidades. O gradiente de concentração de  $O_2$  cria uma "bateria de gás" que resulta na eletrólise da água que circunda o corpo mineralizado, com o gás hidrogênio ( $H_2$ ) produzido na extremidade superior (catodo) e oxigênio ( $O_2$ ) na extremidade inferior (anodo). O gás hidrogênio ( $H_2$ ) combina com o  $O_2$  dissolvido para formar água na parte superior do corpo mineralizado e o oxigênio ( $O_2$ ) gerado na base do corpo mineralizado dissolve na água do sub-solo, a qual é inicialmente baixa em  $O_2$  dissolvido. Este processo fornece um mecanismo para a difusão do  $O_2$  dissolvido desde a superfície próximo a água, onde a concentração é alta, até a zona mais profunda de água, onde a concentração é mais baixa, Corwin (1973).

Segundo a teoria de Schlumberger, é condição necessária que haja a oxidação do corpo para haver produção de Potencial Espontâneo. Com esta teoria tem-se o problema de justificar como que a grafite, que não é sulfeto, não se oxidando, apresenta valores de P.E., e a galena, que é um sulfeto, oxida-se muito pouco e bem raramente apresenta valores de P.E.

### 1.2.2. Mecanismo do Gradiente do pH

Kelly (1945), situa que o principal, porém não o único no fenômeno eletroquímico de Potencial Espontâneo cabe a diferença na acidez entre as águas que entram em contato com o corpo mineralizado, porém o gradiente de pH<sup>(1)</sup> por si só não fornece um mecanismo para prover a transferência de elétrons desde a base para a parte superior do corpo mineralizado. (Sato e Mooney (1960). Para que em um corpo mineralizado exista um fluxo de corrente, é necessário que alguma espécie química ganhe elétrons na parte superior do corpo (redução) e que alguma espécie perca elétrons na base do corpo (oxidação).

Estas reações de óxido-redução devem aumentar e pH próximo a superfície (decrece a concentração relativa do ion H<sup>+</sup>) e diminuir-lo em profundidade (decrece a concentração relativa do ion OH<sup>-</sup>). Estas reações são pouco prováveis dentro do intervalo de variação dos valores de Eh<sup>(2)</sup> e pH medido na terra.

Assim, o gradiente de pH deve sim contribuir para o mecanismo da polarização espontânea, porém não deve ser considerado como o principal elemento deste mecanismo, excetuando-se possivelmente o caso da alunite  $K Al_3(OH)_6 (SO_4)_2$ , Corwin(1973).

---

(1) pH é definido como  $-\log(H^+)$  o qual determina a influência dos ions de hidrogênio.

(2) Eh mede a intensidade da tendência para uma solução ganhar ou perder eletrons.

### 1.2.3. Mecanismo de Óxido-Redução

Em 1960, Sato e Mooney publicaram um trabalho baseado no estudo crítico de uns 150 artigos sobre o tema e após analisar as teorias anteriores, propõem o mecanismo que denomina-se óxido-redução.

Do estudo da bibliografia consultada, deduzem as seguintes conclusões:

1. os corpos que apresentam valores de P.E geralmente são formados por sulfetos, as mais fortes anomalias estão associadas a pirita e pirrotita.
2. outros minerais capazes de produzir valores de P.E são: Calcopirita, calcocita, covelita, grafite e antracita.
3. valores de Potencial Espontâneo tem sido ocasionalmente reportados em sulfuros de cobre, mineralização de cobalto, óxido de manganês, siderita, (Wilkins 1955), alunita, (Kruger and Lacy 1949), magnetita, pegmatita, (Heiland 1940).
4. os corpos produtores de P.E. são sempre bons condutores e a corrente elétrica é conduzida preferencialmente por fluxo de elétrons ao invés de íons.
5. os valores de P.E. observada é de algumas centenas de milivolt, podendo chegar até 0,5 volt, embora excepcionalmente se haja registrado valores mais elevados, 1,3 volt, Fugita (1926) e 1,8 volt sobre um corpo de alunita em Hualgayoc (Peru), investigação esta posterior ao trabalho de Sato e Mooney; Gay (1967).

6. os valores relativos de P.E são predominantemente negativos na proximidade do extremo superior do corpo mineralizado.
7. o corpo deve estar, ao menos em parte, em zona de oxidação ativa.
8. os valores de Potencial Espontâneo associado ao grafite e galena apresenta um problema especial para algumas teorias propostas.

A grafite é o único não sulfeto que produz anomalias de P.E comparável em magnitude com as de sulfeto e normalmente não experimenta oxidação significativa.

Por outro lado, a galena raramente produz anomalias mensuráveis, embora seja um sulfeto, excelente condutor elétrico e oxidar-se mais facilmente que outros sulfetos.

9. a região situada acima do nível freático próximo de uma ocorrência de sulfetos é geralmente caracterizada por acidez elevada (pH = 2-5) e oxigênio livre em abundância. Por baixo do nível freático não se encontra oxigênio livre e a água apresenta-se ligeiramente básica (pH = 7-9).

#### Resumo do mecanismo

1. O mecanismo do Potencial Espontâneo proposto por Sato e Mooney (1960) utiliza a observação que o Eh na terra geralmente torna-se mais negativo com o aumento da profundidade (Figura 1).
2. Muitos dos minerais que produzem anomalias de Potencial Espontâneo são largamente imunes desde oxidante ou redutores

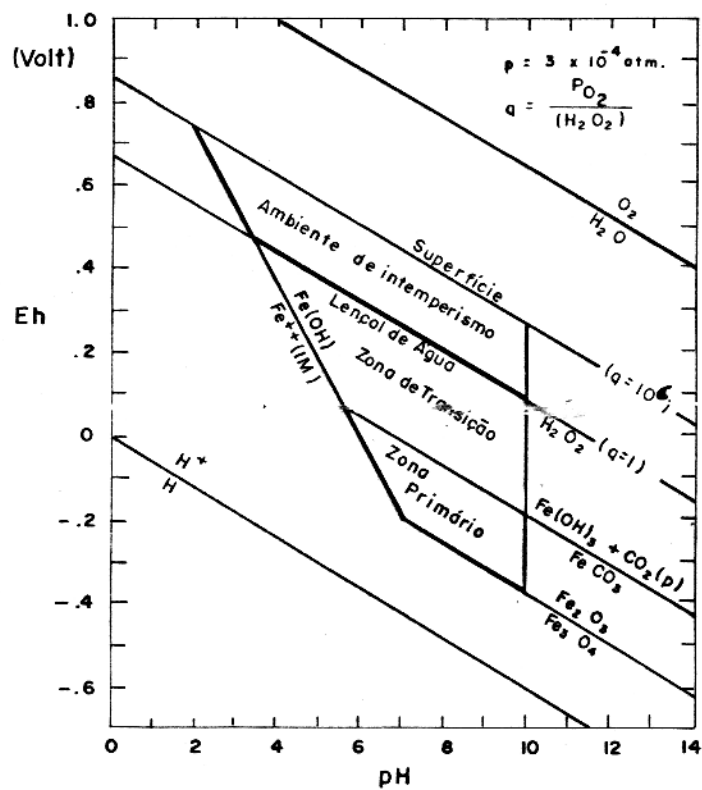


FIG. 2 - CONDIÇÕES DE pH - Eh DEDUZIDO PARA ZONAS DE INTemperismo E ZONA DE PROFUNDIDADE (SATO-MOONEY, 1960)



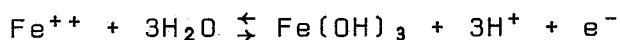
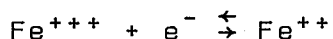
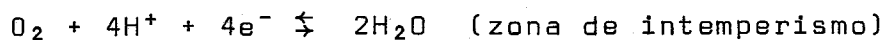
dentro do  $E_h$  - pH restrito do meio natural e são capazes de funcionar como condutores inertes de elétrons. O corpo assim serve como uma ponte que permite que os elétrons sejam transferidos desde um meio redutor (zona profunda) para um meio oxidante (zona próxima à superfície), assim gerando um fluxo de corrente, do topo para a base.

3. As regiões oxidantes e redutoras existem independentemente do corpo mineralizado, porém é necessário que ele esteja presente pois só assim haverá transferência de elétrons desde a zona primária (Zona de profundidade) para a Zona de intemperismo. Isto é porque o fluxo de corrente elétrica através o meio aquoso do ambiente natural é feita através o movimento de íons carregados e não por elétrons, e também porque a variação de  $E_h$  cria um potencial somente para fluxo de elétrons.
4. O fluxo de corrente convencional é da superfície para a zona profunda.
5. A transferência dos elétrons se dá por reações químicas na superfície do corpo mineralizado, de forma que os agentes oxidantes na zona de intemperismo são reduzidos pelos elétrons entregues pelo corpo e os agentes redutores na zona primária vão se oxidando ao perder elétrons para o corpo.
6. O excesso de carga negativa na superfície é compensada pelo movimento ascendente dos íons positivos provenientes de zonas mais profundas através o meio aquoso, e pelo movimento de íons negativos que estão situados mais à superfície. Es

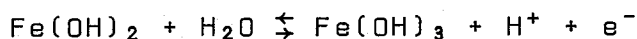
tes fluxos servirão também para equilibrar o acúmulo excessivo de carga positiva a profundidade (Figura 2).

7. Deve existir um mecanismo para re-oxidar as espécies reduzidas e re-reduzir as espécies oxidadas, ou o fluxo de corrente tenderia a cessar.

Como mecanismo para a re-oxidação e a re-redução, Sato e Mooney propõem a conversão do oxigênio a peróxido de hidrogênio na zona de intemperismos e a conversão de hidróxido férrico e ferroso na zona primária; teríamos respectivamente:



(zona primária)



Os elétrons requeridos pelas reações da zona de intemperismo são proporcionados pelas reações da zona primária através o corpo condutor.

Para dar caráter quantitativo à sua teoria Sato e Mooney utilizaram medidas do pH e do  $E_h$  feitas no interior e nas proximidades de diversas metalizações de sulfeto existentes em várias zonas de Arizona e Utah. Com esta base conclui que na maioria dos casos, as condições naturais são tais que os corpos produtores da anomalia de Potencial Espontâneo se encontram dentro de seu domínio de imunidade.

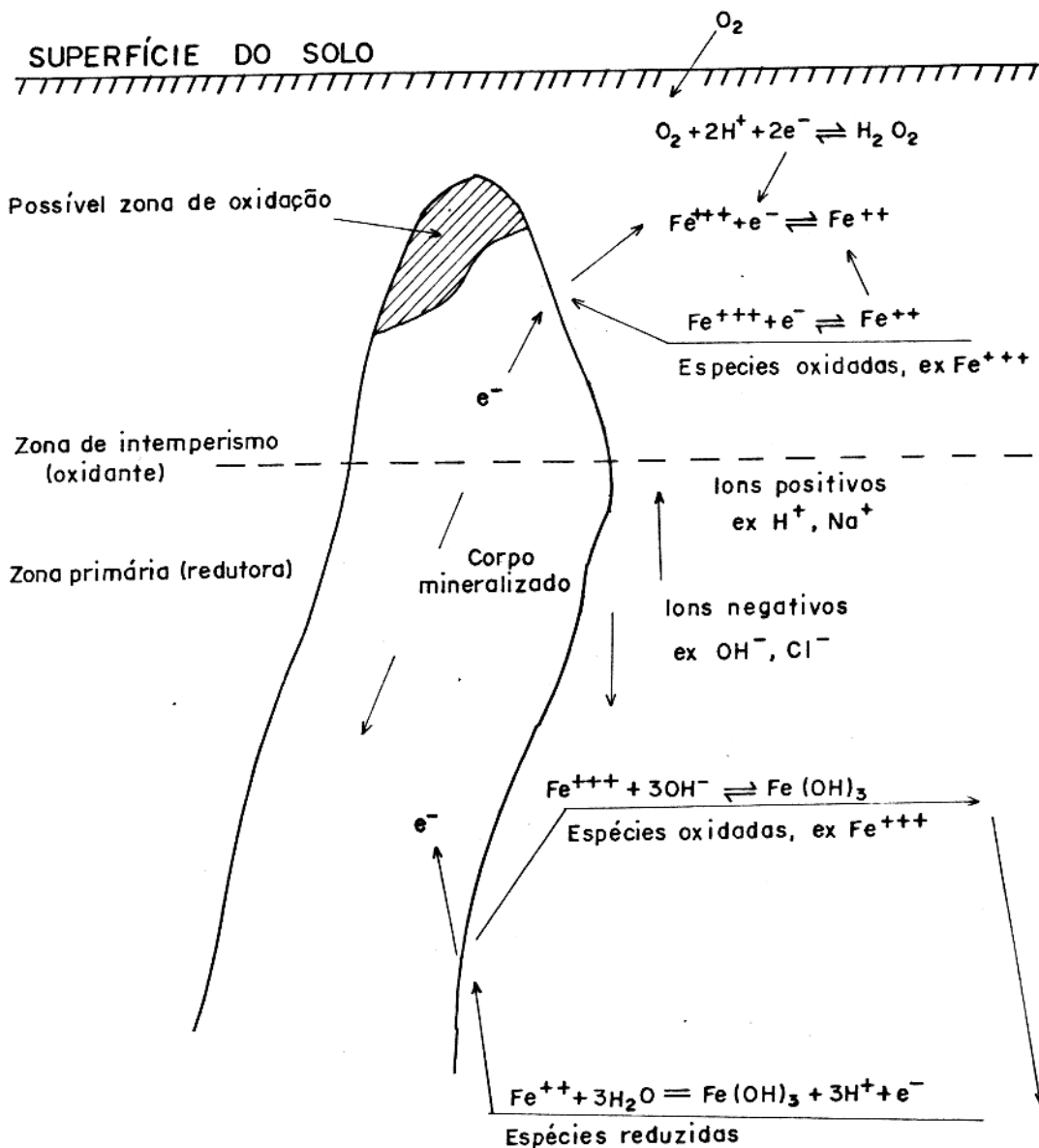


FIG - 2 — MECANISMO DE OXIDAÇÃO-REDUÇÃO (CORWIN-1973)

Se o corpo mineralizado não é nunca oxidado nem reduzido pela solução circundante, a máxima diferença de potencial capaz de produzir corrente natural pode ser calculada.

Os valores medidos considerados para  $E_h$  e pH a profundidade é -0,15 e 8; para zona de intemperismo considera-se o valor de pH = 4; com estes dados, (Sato 1960, a) calcula a diferença de potencial máxima para alguns minerais (Figura 3).

A teoria de Sato e Mooney leva-nos a que o fenômeno de Potencial Espontâneo pode dar-se em condições que anteriormente não se estimavam favoráveis para seu aparecimento. Em particular, não é necessário que o corpo forme uma contínua zona de mineralização; uma metalização disseminada pode produzir também P.E dentro de certas condições.

#### 1.2.4. Potencial de Difusão ou Potencial de Concentração

O potencial de difusão surge quando nos poros das rochas existem diferentes eletrólitos em contato, ou quando para um mesmo eletrólito existem concentrações distintas. (Maron e Prutton, 1968); (Koryta, Dvorak, Bohackova, 1970).

Para o caso de perfuração de poços o potencial de difusão é produzido pelo contato da água de formação com o filtrado da lama. (Documento Schlumberger 1975).

O potencial de difusão resulta da separação de cargas elétricas que ocorrem na interface de duas soluções salinas de diferentes concentrações quando a velocidade de migração

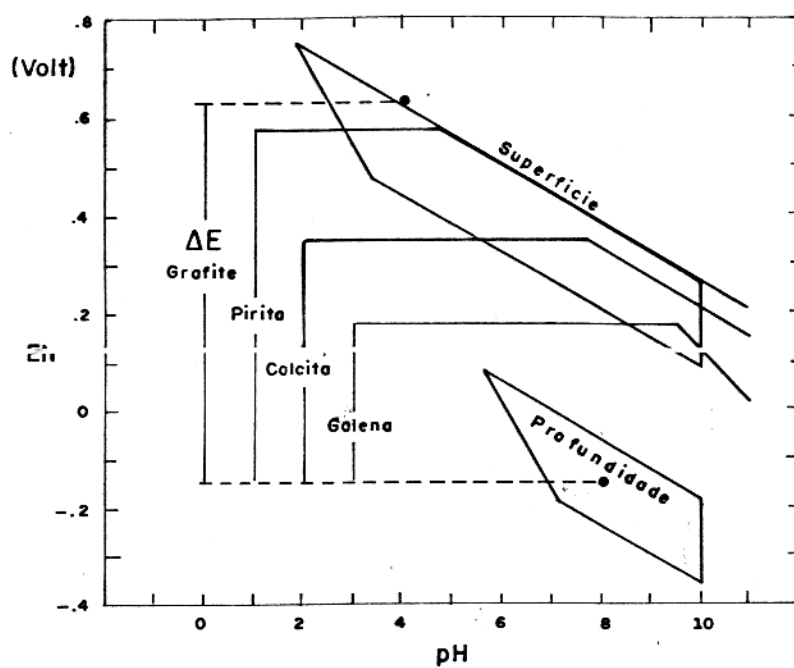


FIG. 3 - MÁXIMA DIFERENÇA DE POTENCIAL PARA DIVERSOS MINERAIS (SATO - MOONEY, 1960)

dos íons positivos e negativos da composição salina são diferentes, (Garrels e Christ, 1965).

Por exemplo no caso normal de perfuração de poços em que a lama usada apresenta solução de cloreto de sódio (Na Cl) os íons clorídricos negativos difundem mais rapidamente que os íons positivos de sódio. A difusão na interface de uma solução de diferente concentração será da região de mais alta para a de mais baixa concentração, uma dupla camada tende a ser estabelecida na interface tal que o lado de baixa concentração da interface é negativo e o lado positivo é o de alta concentração. (Wyllie, 1958); (Pauling, 1970).

A separação inicial das cargas elétricas não será aumentada visto que os íons negativos difundidos através a interface são recuperados pelos íons positivos, e a separação só poderá ocorrer pela difusão de ambos os íons positivos e negativos; assim não existirá mudança acentuada na concentração na interface, porém a diferença de potencial entre os volumes das soluções existirá.

A expressão geral para o potencial de contato entre diferentes sais de diferentes valências segundo Henderson, como citado por (Wyllie, 1958) para soluções diluídas é da forma

$$E = \frac{RT}{F} \left[ \frac{(U_1 - V_1) - (U_2 - V_2)}{(U_1 + V_1) - (U_2 + V_2)} \right] \ln \frac{U_1 + V_1}{U_2 + V_2}$$

onde  $U_1$  e  $V_1$  são definidas como:

$$U_1 \equiv \sum (C_+ u_+) \quad V_1 \equiv \sum (C_- v_-)$$

$$U_1' \equiv \Sigma (C_+ u_+ Z_+)_{1} \quad V_1' \equiv \Sigma (C_- v_- Z_-)_{1}$$

Sendo  $C_+$  e  $C_-$  as concentrações de cations e anions respectivamente, sendo  $u_+$  e  $v_-$  as correspondentes mobilidades ionicas,  $Z_+$  e  $Z_-$  são suas valências. Os índices 1 e 2 são relativos a solução um (1) ou dois (2) respectivamente,  $R$  é a constante dos gases tendo um valor 8,309 joule/C°,  $F$  é a constante de Faraday e equivale a 96494 coulomb,  $T$  é a temperatura absoluta.

Para soluções diluidas de sais monovalentes de diferentes concentrações, a expressão anteriormente citada reduz-se a forma. (Glasstone 1942); (Maron e Prutton, 1968).

$$E = \frac{RT}{ZF} \frac{v-u}{v+u} \ln \frac{C_1}{C_2}$$
 onde  $C_1$  e  $C_2$  representam as concentrações das soluções.

Podendo também ser expressa em termos da atividade significativa dos eletrólitos. (Glasstone, 1942).

$$E = \frac{RT}{ZF} \frac{v-u}{v+u} \ln \frac{a_1}{a_2}$$
 sendo  $a_1$  e  $a_2$  as atividades significativa dos eletrolitos. Muitas vezes esta expressão vem na forma  $E = -K \ln \frac{a_1}{a_2}$

Para um trabalho de perfuração de poço no caso em que a lama do poço e a água da formação são consideradas como solução pura de cloreto de sódio, para uma temperatura de 25°C a expressão para o potencial de difusão adquire a forma.

$E = 11,5 \log \frac{a_1}{a_2}$  (milivolt) onde  $a_1$  é atividade da água da formação e  $a_2$  é a atividade da lama. (Martin, 1956).

Estudos desenvolvidos comprovam que a presença de gypsum ou de outros ions diferente de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  tais como  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^-$  afetam consideravelmente os valores de potencial espontâneo. (Goundouin, Tixier, Simard, 1958).

Regra geral porém os estudos são desenvolvidos levando em consideração a presença de sódio e não de outros sais na formação. Em estudo experimental desenvolvido considerando a presença de  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{Mg}^{++}$  além do sódio, o valor do potencial espontâneo é determinado através a equação

$$E = -K \log \frac{(\text{a}_{\text{Na}})_2 + \sqrt{(\text{a}_{\text{Ca}} + \text{a}_{\text{Mg}})_2}}{(\text{a}_{\text{Na}})_1 + (\sqrt{\text{a}_{\text{Ca}} + \text{a}_{\text{Mg}}})_1}$$

sendo  $a_{\text{Na}}$ ,  $a_{\text{Mg}}$ ,  $a_{\text{Ca}}$  as atividades de sódio, magnésio e cálcio respectivamente, sendo os índices 2 e 1 referentes as soluções. Por exemplo 2 relativo a água de formação e 1 ao filtrado da lama. (Gondouin, Tixier, Simard, 1957).

Um estudo realizado no Colorado apresenta um valor de potencial espontâneo medido no campo de -62mv, usando a consideração de que o único sal presente era o sódio foi encontrado experimentalmente um valor de -32mv, analisando em termos da presença de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Ca}^{++}$  foi encontrado um valor de -65mv, que é muito mais próximo do valor medido no campo, determinação experimental usando  $K=71$  para uma temperatura de 75°F.



O potencial de concentração depende da temperatura, e da atividade dos ions em solução, sendo portanto bastante difícil estabelecer-se valores fixos para uma razão de atividade entre a água da formação e a do filtrado da lama, igual a 24 para uma temperatura de 104°F, o valor do Potencial Espontâneo pode variar de -10 até -110 mv.

Embora este mecanismo seja mais estudado relacionando-o com perfuração de poços, é o mesmo aplicável também em estudos realizados com o método de potencial espontâneo na superfície. Ao termos várias camadas litológicas percorridas por um eletrólito, e sendo a constituição mineralógica de cada camada distinta, implicará em que eletrólito pode adquirir diferentes concentrações originando assim o potencial de concentração ou de difusão.

O potencial de concentração varia com a temperatura que é fator a influir na mobilidade dos ions e na velocidade de reação do eletrólito com o material ao qual está em contato. Apresenta variação com o tempo, pois em um maior ou menor tempo de contato entre os eletrólitos, o processo de difusão estará em fase distinta, podendo para um tempo mais longo ser considerado estável dentro das condições em que se desenvolve o processo.

#### 1.2.5. Potencial de Fluxo ou de Eletrofiltração

O fenômeno que origina este potencial, foi estudado por (Poldini, 1938, 1939) e consiste fundamentalmente na produção

ção de um campo elétrico em decorrência do movimento de eletrólitos no sub-solo, gerando assim uma força eletromotriz de natureza electrocinética. (Doll, 1948).

Quando um eletrólito passa através de um capilar, produz entre os extremos uma diferença de potencial, Mac Innes, (1961). As rochas podem ser consideradas devido a sua porosidade como uma rede de capilares, através dos quais podem infiltrar-se os eletrólitos. As paredes dos grãos minerais tem ou absorvem cargas de um sinal e o eletrólito a de sinal oposto, formando-se assim uma dupla camada elétrica (dupla camada de Helmholtz). (Koryta, Dnorak, Bohackova, 1970).

Para o caso de perfuração de poço, ao deslocar-se o filtrado da lama através do reboco localizado na parede do poço, produz-se uma força eletromotriz de origem electrocinética  $(EK)_{mc}$ . É gerado também uma força eletromotriz electrocinética através os folhelhos  $(EK)_{sh}$ . Cada uma destas forças eletromotri- zes  $(EK)_{mc}$  e  $(EK)_{sh}$  contribuem para maiores desvios da curva de Potencial Espontâneo frente a uma camada permeável e a um folhelho respectivamente, a contribuição resultante ao desvio de Potencial Espontâneo (medido à partir da linha base de folhelhos) é a contribuição resultante dos dois efeitos, (Documento Schlumberger, 1975)

A expressão matemática dada para o potencial de eletrofiltração de acordo com Poldini (1938) e Heiland (1940) é da forma

$$E = p \frac{K \Delta P}{4\pi u \sigma}$$

$\sigma$  - é a condutividade específica do eletrólito

$u$  - é o coeficiente de viscosidade

$K$  - a constante dielétrica

$\Delta P$  - variação da pressão através os meios porosos

$p$  - é característica da natureza química do eletrólito e da parede dos poros da rocha. É o potencial de absorção ou potencial da dupla camada sobre as paredes dos poros.

Observa-se que o potencial aumenta com a fluidez do líquido, com a variação da pressão e com a velocidade com a qual ions são transportados.

Do movimento do fluido através os poros resulta uma separação de cargas gerando-se assim um fluxo de corrente e uma diferença de potencial ao longo do comprimento da rocha através o qual existe o movimento do líquido. O potencial de fluxo é assim gerado segundo a direção de movimento do eletrolito.

Poldini (1938) distingue dois tipos de filtração.

- 1) a eletrocapilaridade devido a infiltração da água por gravidade, movimento descendente da água;
- 2) a eletrocapilaridade devido ao movimento ascendente da água (ascensão capilar e evaporação).

Consideremos (fig. 4) um acamamento vertical de areia entre duas camadas permeáveis de argila. O movimento descendente da água na areia transporta consigo cargas positivas produzindo uma corrente desde o topo para a base.

Os valores de potencial medido variam com a profund

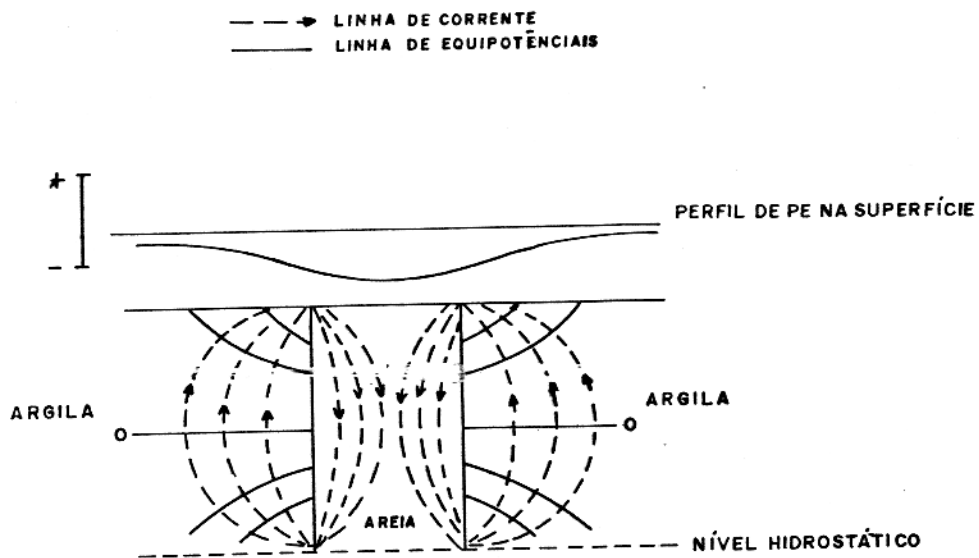


FIG. 4 - MOVIMENTO DE ELETRO CAPILARIDADE EM UM ACAMAMENTO VERTICAL DE AREIA ENTRE DUAS CAMADAS PERMEÁVEIS DE ARGILA.

didade; se o nível está a uma profundidade próximo a parte do meio da coluna onde há filtração os valores encontrados de P.E. serão mais ou menos constante. A menores profundidades decresce e a profundidades maiores aumenta os valores de P.E. (Poldini 1939).

O potencial de fluxo tem influência considerável em zonas de fraturas, água subterrânea, em zonas acidentadas sobretudo na direção do fluxo da corrente. Potenciais de fluxo medidos na prática são da ordem de 100 a 200 mv.

Estudos geofísicos com base no estudo do Potencial Espontâneo tem sido mais recentemente aplicados ao estudo de atividades geotérmicas.(Anderson e Johnson, 1976). Este método tem sido aplicado também nestes últimos anos para estudar a situação de vasamentos em represas e a velocidade de filtração de reservatórios de água.(Bogoslovsky e Ogilvy, 1969, 1970, 1972).

O potencial de fluxo é variável com a temperatura, este fator influencia na viscosidade e condutividade dos eletrólitos. É variável com o tempo, a filtração dos eletrólitos através os poros da rocha varia de forma dinâmica, podendo apresentar dentro de intervalo de tempo variações nos valores do Potencial Espontâneo.

O potencial de fluxo depende da permeabilidade da rocha, do tamanho dos poros da rocha, este potencial varia mais rapidamente com a fluidez do líquido, portanto com a velocidade com a qual os íons podem ser transportados.

### 1.3. Outras fontes de Potenciais Naturais

#### 1.3.1. Potencial de Eletrodo

Quando um eletrodo metálico é colocado em uma solução ele adquire uma diferença de potencial, que será medida se um segundo eletrodo for colocado na solução. Os eletrodos sendo semelhantes e a concentração da solução sendo a mesma nos pontos de contato eletrodo-solução, não se mede diferença de potencial entre eles.

A diferença de potencial ocorre se os eletrodos ou a concentração da solução forem diferentes.

O potencial resultante do contato de dois eletrodos com soluções de diferentes concentrações pode ser calculado desde o potencial de um metal em presença de uma solução, o qual segundo a teoria proposta por Nernst, é função da pressão de dissolução eletrolítica do metal e da pressão osmótica dos ions do metal na solução e da concentração ionica. (Mantell, 1962).

A diferença de potencial da solução menos metal é:

$$E = \frac{R}{F} \frac{T}{n} \ln \frac{P'}{C}$$

onde

R = constante dos gases 8,3 Joule/C°

n = valência

F = constante de Faraday da eletrolise 96.494 coulomb

T = é a temp. absoluta ou seja 273°+θ

$P'$  = constante para o metal envolvido, é a pressão da solução eletrolítica

$C$  = concentração dos ions

Quando dois eletrodos de um mesmo material são imersos em soluções de diferentes concentrações a diferença de potencial entre os eletrodos é:

$$\Delta E = 1,98 \times 10^{-4} \frac{T}{n} \log_{10} \frac{C_2}{C_1} \text{ (volt)}$$

Sendo que o valor numérico apresentado na equação contém a razão  $\frac{R}{F}$ , o módulo do logarítmo natural e a conversão da força eletromotriz em volt. Os valores de potencial observados em polarização de corpos mineralizados vão normalmente desde 100 mv até 150 mv.

### 1.3.2. Potencial devido a corrente natural da Terra

Correntes naturais ditas também Telúricas são induzidas na terra pelas correntes ionosféricas a qual está relacionada com as mudanças diurnas do campo magnético terrestre. Esta corrente varia geograficamente.

O valor da corrente não é medido diretamente, porém o gradiente do potencial por elas produzido na Terra podem ser medido. (Dobrin, 1976); Keller and Frischknecht, 1966).

CAPÍTULO II

ESTUDO EM LABORATÓRIOS COM O MÉTODO DO POTENCIAL ESPONTÂNEO SOBRE  
ROCHAS DO MÉXICO



## 2. ESTUDO EM LABORATÓRIO COM O MÉTODO DO POTENCIAL ESPONTÂNEO SOBRE ROCHAS DO MÉXICO.

### 2.1. Localização da Área de Amostragem

As amostras foram coletadas na área situada na caldeira de Los Humeros, localizada ao lado leste do cinturão vulcânico de México (19°40'N, 97°25'W). Esta área foi escolhida, por realizar-se na mesma um estudo geofísico com base em Potencial Espontâneo e magneto telúrico, para avaliar a possibilidade de geotérmica da área.

Em termos de Potencial Espontâneo, foram encontradas algumas feições de perfis que não estavam bem claras, tendo sido sugerido pelo Dr. Román Alvarez que fosse realizada no laboratório a verificação para esclarecer sobre as variações apresentadas nos valores de potencial medido. O laboratório utilizado, foi o Laboratório de Propriedades Elétricas e Magnéticas das Rochas, da Universidade Nacional Autônoma de México. Este trabalho teve início no mês de agosto de 1976, havendo sido as amostras coletadas em abril de 1976.

### 2.2. Metodologia

Os modelos feitos no laboratório tinham a finalidade de simular contato entre blocos de rochas idênticas e também entre blocos de constituição mineralógica diferente. Ver(fig.5).

Os tipos de rochas utilizadas foram riolito, cal

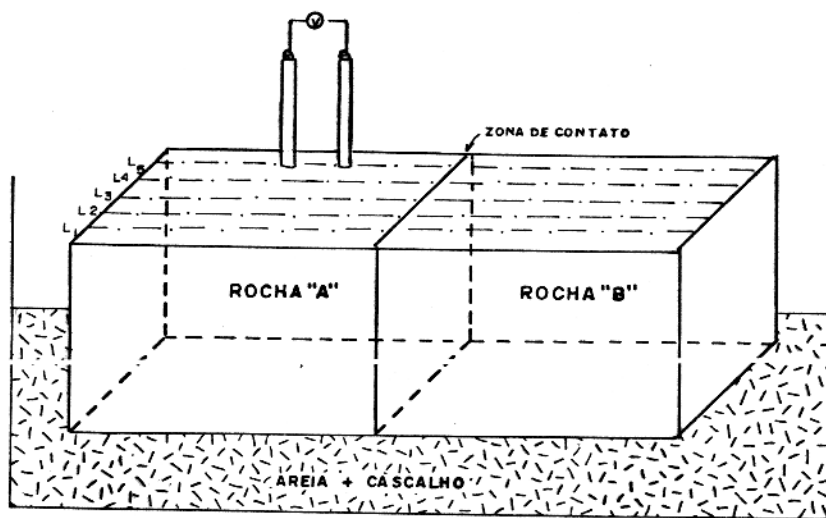


FIG. 5 - ESQUEMA DA PERFILAGEM SOBRE A SUPERFÍCIE DO MODELO USADO NO LABORATÓRIO.

cáreo, basalto. Com blocos destas rochas montou-se os pares riolito-basalto, calcáreo-basalto, basalto-basalto, calcáreo-calcáreo.

A cada bloco de rocha foi atribuída uma simbologia; para calcáreo utilizou-se o Símbolo C com índice 3 e 6 (por exemplo C<sub>3</sub> e C<sub>6</sub>), para os riolitos foi usado R<sub>1</sub> e R<sub>2</sub>, e quanto aos basaltos tem-se B<sub>H</sub> e V<sub>3</sub>, esta simbologia está diferente em virtude do basalto B<sub>H</sub> haver sido coletado na própria caldeira de Los Humeros e V<sub>3</sub> haver sido coletada em uma área próxima ao vulcão Las Derrumbadas.

Para todas as rochas utilizadas neste trabalho estimou-se a porosidade, com base na densidade teórica, determinada a partir da composição química de cada amostra (Tab.1) e na densidade experimental, calculada no laboratório. Tendo-se o resultado da análise química do calcáreo C<sub>6</sub>, e sendo C<sub>3</sub> da mesma área deste, e não tendo sido realizada a análise de C<sub>3</sub>, considerou-se a composição química de C<sub>6</sub> e C<sub>3</sub> idêntica e assim sendo atribuiu-se a densidade teórica de C<sub>3</sub> como a mesma de C<sub>6</sub> para assim estimar-se sua porosidade.

A mesma consideração foi feita para R<sub>1</sub> pois tinha-se a análise química para R<sub>2</sub> que é do mesmo local de R<sub>1</sub>. A composição do basalto B<sub>2</sub> foi usada para o basalto (B<sub>H</sub>), ambos são do mesmo local de coleta. A análise química foi efetuada pela Dra. Sue Kiffer no Geology Department X-Ray Laboratory (UCLA).

Utilizando-se os dados da tabela 1 determina-se a densidade teórica para cada amostra, para tanto multiplica-se a

TABELA 1 - Composição das Rochas

COMPONENTES %	B <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	R <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
SiO <sub>2</sub>	62,54	53,80	70,42	0,24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,74	16,15	16,68	0,20
CaO	5,01	7,79	1,66	55,23
Na <sub>2</sub> O	4,29	3,60	4,98	n.d
K <sub>2</sub> O	2,02	1,54	3,31	0,007
FeO * <sup>1</sup>	>	>	>	>
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> * <sup>2</sup>	>	>	>	>
FeO Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,50	8,85	1,84	0,015
MgO	3,01	6,71	0,39	0,45
TiO <sub>2</sub>	0,80	1,32	0,16	n.d
Cu	>	>	>	>
MnO	0,08	0,116	0,037	0,001
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	>	>	>	>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	>	>	>	>
S	>	>	>	>
CO <sub>2</sub>	>	>	>	43,40
IGN. LOSS (H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> )	0,33	0,42	0,62	>
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	>	>	>	>
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	>	>	>	>
TOTAL %	100,32 %	100,296 %	100,097 %	99,543

percentagem de cada componente por sua respectiva densidade, a adiciona-se o produto assim obtido e divide-se por 100, obtendo-se assim o valor para  $\rho_T$  (ver tab. 2).

Os blocos de rochas formadores do par foram mantidos em contato mecanicamente, por intermédio de uma pequena prensa.

O par foi colocado sobre uma base de areia e cascalho na qual adicionava-se água quando se desejava umidificá-lo. As medidas foram efetuadas com o par em seco (umidade relativa ambiente) e com base saturada.

### 2.3. Estimativa para a Porosidade

Considerações feitas:

1. que a água não penetra na rocha ao medir-se o volume deslocado;
2. supor que todos os poros estão preenchidos com massa de densidade  $\rho_T$  (teórica) tendo um volume ( $V_x$ ) com base na consideração 2, tem-se:

$$m_{\text{Teórica}} = m_{\text{Experimental}} + m_{\text{Poros}}$$

$$m_T = m_E + m_P$$

$$m_P = \rho_T V_x$$

$$m_T = m_E + \rho_T V_x$$

$$V_x = \frac{m_T - m_E}{\rho_T}$$

TABELA 2 - Valores da Porosidade

ROCHAS	$\rho_T$ (g/cm <sup>3</sup> ) Densidade Téorica	$\rho_E$ (g/cm <sup>3</sup> ) Densidade Experimen tal	POROSIDADE $\phi = \rho_T - \rho_E / \rho_T$
B <sub>2</sub>	2,85	-	-
V <sub>3</sub>	3,02	2,750	9 %
C <sub>6</sub>	2,68	2,62	2,2%
R <sub>2</sub>	2,66	2,393	10 %
R <sub>1</sub>	2,66	2,23	16 %
C <sub>3</sub>	2,68	2,64	1,4 %
B <sub>H</sub>	2,85	1,46	48,7 %

$$V_x = \frac{\rho_T V - \rho_E V}{\rho_T}$$

$$V_x = V \frac{\rho_T - \rho_E}{\rho_T}$$

$$\text{Porosidade} = \frac{\text{volume dos Poros}}{\text{volume Total}}$$

$$\phi = \frac{V_x}{V}$$

$$\phi = \frac{\rho_T - \rho_E}{\rho_T}$$

Assim conhecendo-se os valores teórico e experimental da densidade, estimou-se o valor da porosidade. (ver tab. 2).

#### 2.4. Método de Medida Aplicada

O método de medida aplicado foi o do Gradiente, que consiste no deslocamento simultâneo dos dois eletrodos, mantendo-se entre eles uma separação constante. Este método foi escolhido por ser prático para o trabalho em laboratório.

As medidas do autopotencial foram efetuadas sobre a superfície da rocha e através da interface. Os perfis foram traçados sobre a superfície (Fig. 5), em geral a superfície plana do sistema tinha 6 x 9 cm<sup>2</sup>.

Utilizou-se 1 cm e 1,5 cm como separação entre eletrodos, foi considerada mais aceitável a separação de 1,5cm. Foi

realizado teste para separação entre eletrodos de 0,5 cm; 1 cm; 1,5 cm; 2 cm e 2,5 cm, para a separação da ordem de 0,5 cm surge uma zona de difusão de eletrólito, não possibilitando uma leitura aceitável para os valores de P.E. Os espaçamentos de 2 e 2,5 cm tornavam-se muito grande para as dimensões de nosso sistema.

Comprovou-se assim que as melhores separações seriam as de 1 cm e 1,5 cm, sendo mais adequada a separação de 1,5 cm.

Cada perfil foi percorrido da seguinte maneira: os eletrodos eram deslocados perpendicularmente a zona de contato, ao longo das linhas que representam-se por  $L_1, L_2, \dots$  (Fig.5). O ponto de origem foi considerado o primeiro da linha  $L_1$ . Ao terminar-se de percorrer determinada linha, volta-se ao início e efetua-se uma leitura de ligação entre a última linha de medida e a próxima a ser medida, a estes valores denomina-se "Ponto Zero". Assim, por exemplo o 1º ponto zero foi entre  $L_1$  e  $L_2$ , o 2º ponto zero foi entre  $L_2$  e  $L_3$  e assim sucessivamente.

Para a construção dos perfis em termos dos valores de potencial relativo e gradiente do potencial versus separação de eletrodo utilizou-se uma simbologia. Ao olhar os gráficos você notará um número na extremidade de cada perfil, isto significa que sobre ele você estará lendo os valores de potencial medido respectivamente sobre a linha  $L_1, L_2, L_3, \dots$ .

Para cada perfil foi utilizada a notação dada abaixo:



L<sub>1</sub> (X)L<sub>2</sub> (o)L<sub>3</sub> (□)L<sub>4</sub> (Δ)L<sub>5</sub> (.)L<sub>6</sub> (■)

Durante a realização das medidas dos valores de Potencial Espontâneo, foi sempre verificado o comportamento dos valores obtidos para P.E., com o eletrodo em uma posição e depois em posição invertida, com o objetivo de observar quanto as variações devido ao potencial de eletrodo. Damos como exemplo na (Tab. 3) os valores medidos para os pares R<sub>1</sub> - B<sub>H</sub> e B<sub>H</sub> - B<sub>H</sub> sobre a linha L<sub>1</sub> para uma separação entre eletrodos de 1,5 cm, outras medidas foram efetuadas sobre outras linhas e nos demais pares, apresentando sempre confiabilidade nas mesmas.

## 2.5. Material Utilizado

- Medidor de voltagem, BK Precision Multimeter Mod 290 Dynascan Corporation com precisão da ordem de  $\pm 0,004$  mv.

- Eletrodos do tipo não polarizável, fabricado no laboratório com uma cerâmica de 0,2 cm de diâmetro interno e 0,35 cm de diâmetro externo, um dos extremos do tubo é vedado com algodão prensado. Para que o eletrodo de Cu-CuSO<sub>4</sub> não apresentasse problema de filtração excessiva na parte vedada com algodão, foi deixado imerso em solução saturada de CuSO<sub>4</sub> durante cinco dias.

TABELA 3 - Valores de Potencial Espontâneo

1) Riolito (R<sub>1</sub>) - Basalto (B<sub>H</sub>)

Y	X	$\Delta v$ (mv)	$\Delta v$ (mv)
0	1,5	-8	+ 8,2
	3	-40	+40
	4,5	-43	+42,8
	6	+1	-0,9
	7	+0,5	-0,5

2) Basalto (B<sub>H</sub>) - Basalto (B<sub>H</sub>)

Y	X	$\Delta v$ (mv)	$\Delta v$ (mv)
0	1,5	-2,5	+2,5
	3	-1,5	+1,4
	4,5	-0,3	+0,3
	6	+0,5	-0,55
	7	-6	+6,1

- Porta Micro Eletrodo do tipo comumente usado em laboratórios de biologia.

- Fios de bom isolamento para proceder-se as conexões necessárias.

## 2.6. Apresentação e Discussão dos Dados

Para se obter o gradiente do potencial, basta calcular  $E = \frac{\Delta V}{d}$ , onde  $d$  é a separação entre os eletrodos e  $\Delta V$  a variação do potencial medido.

De posse das medidas, traça-se os gráficos do gradiente do potencial versus separação de eletrodos e potencial versus separação de eletrodos. Nestes gráficos usou-se S e H a esquerda do eixo das ordenadas para indicar o sistema com base seca e com base saturada com água respectivamente.

Quando o H traz um índice, significa que efetuou-se as medidas de  $\Delta V$  tantas horas após haver sido a base saturada, quanto o indicado pelo índice. Por exemplo  $H_{16}$  significa medida efetuada 16 horas após haver-se saturado a base. O intervalo de tempo para as medidas efetuadas após a base saturada foi arbitrária. Os valores de P.E medidos para os diversos pares vem apresentados no apêndice 1.

### Figuras 6 e 7: Sistema Riólito (R<sub>1</sub>) - Basalto (B<sub>H</sub>)

Para estas figuras estamos com o par colocado sobre base seca (umidade relativa ambiente variando de 30-50%), observa-se que os valores de P.E medidos são relativamente negativi

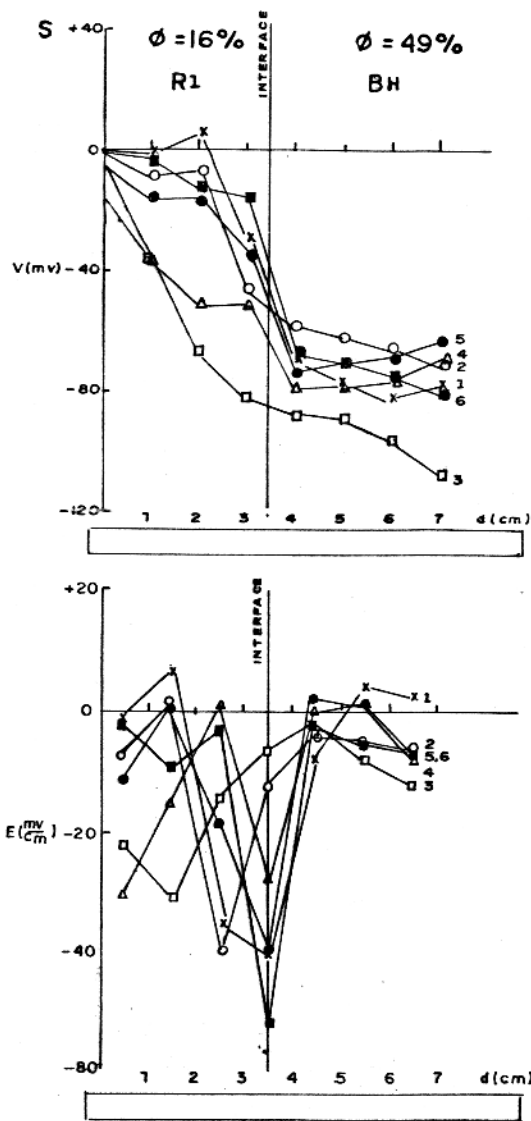


FIGURA-6 - PERFS DO POTENCIAL ESPONTANEO RELATIVO E GRADIENTE DO POTENCIAL COM BASE-SECA PARA UMA SEPARAÇÃO DE ELE TRODO DE 1cm.

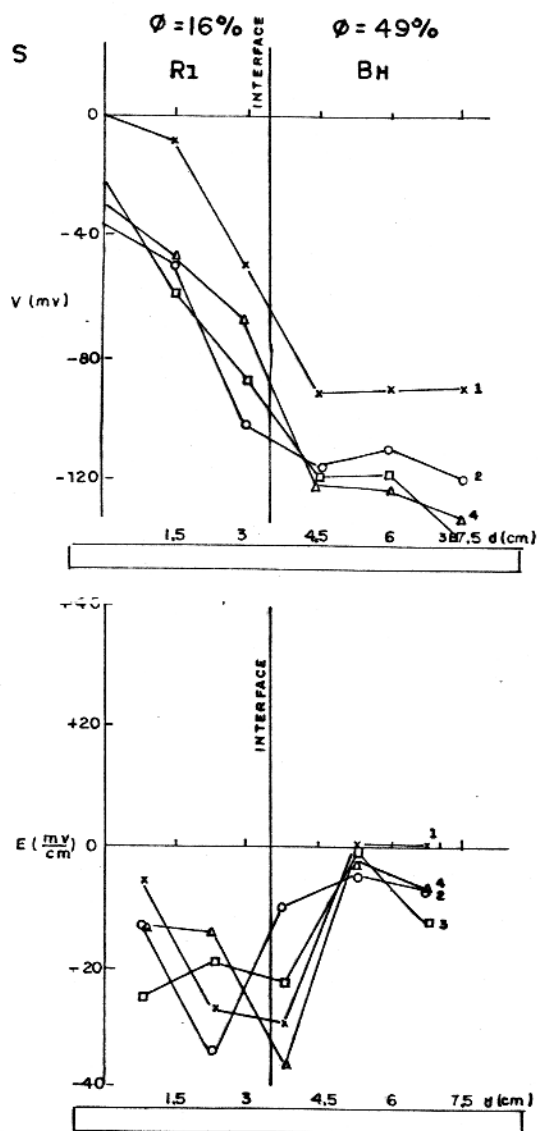


FIG.7 - PERFS DO POTENCIAL ESPONTÂNEO RELATIVO E GRADIENTE DO POTENCIAL PARA O SISTEMA R<sub>1</sub>-B<sub>H</sub> COM BASE SECA PARA  $d = 1,5$  cm.

vos, sendo mais acentuado na parte correspondente a rocha de maior porosidade.

Em termos dos valores do gradiente do potencial a zona de contato é mais ressaltada, tem-se perfis para  $d=1$  cm e  $d=1,5$ cm, para a separação entre eletrodos de 1,5cm os valores medidos foram mais estáveis.

Figura 8 e 9: Riólito ( $R_1$ ) - Basalto ( $B_H$ )

Estes gráficos representam as medidas efetuadas com base saturada com  $H_2O$  (da torneira). A padronização é a mesma tanto para separação de 1 cm quanto de 1,5 cm.

O fato de haver-se adicionado água até umidificar totalmente a base faz com que os valores de potencial espontâneo tornem-se relativamente positivos, aparecendo uma inversão na zona de interface. É interessante notar que, na parte em que o par é constituído pela rocha mais porosa o valor é mais intenso que na parte que apresenta menor porosidade.

Figura 10 e 11: Riólito ( $R_1$ ) - Basalto ( $B_H$ )

São perfis correspondentes ao valores de P.E. medidos 16 horas após as medidas efetuadas com base saturada. Os valores tornam a decrescer, havendo de um modo geral uma nova inversão na polaridade do potencial espontâneo relativo.

Figuras 12 a 14: Calcáreo ( $C_6$ ) - Basalto ( $B_H$ )

Representam os perfis para valores de P.E. obtido

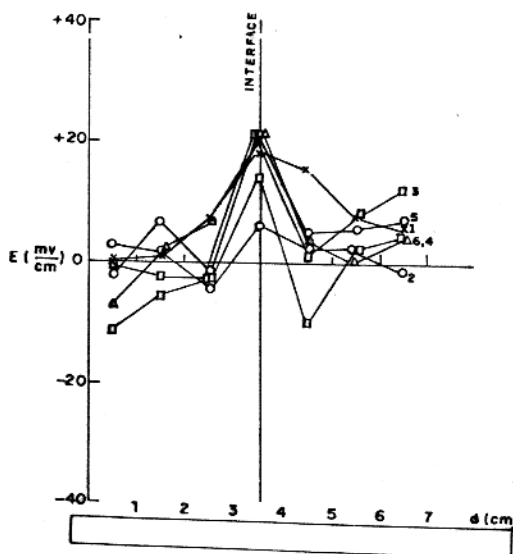
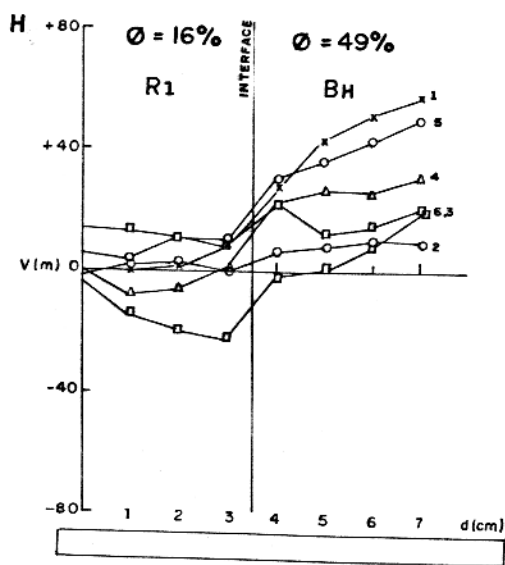


FIG. 6 - PERFS DE POTENCIAL ESPONTÂNEO RELATIVO E GRADIENTE DO POTENCIAL PARA  $d = 1cm$  E BASE SATURADA.

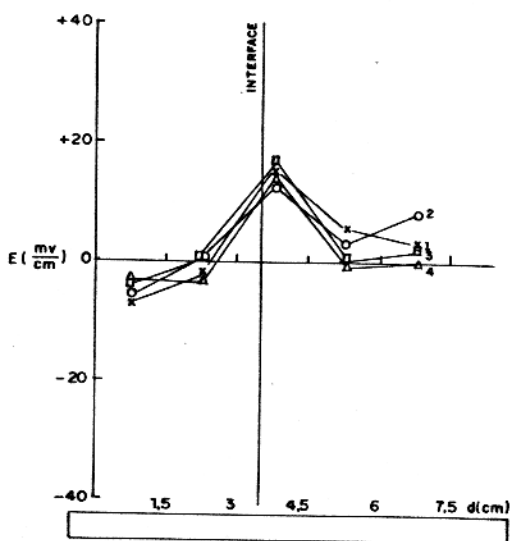
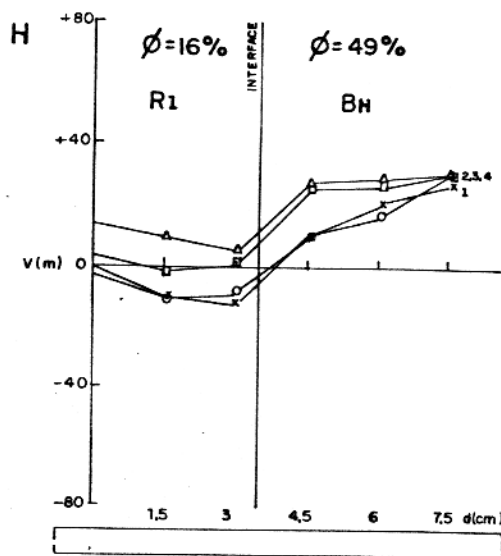


FIG. 9 - PERFS DE POTENCIAL ESPONTÂNEO RELATIVO E GRADIENTE DO POTENCIAL PARA  $d=1,5cm$  E BASE SATURADA.



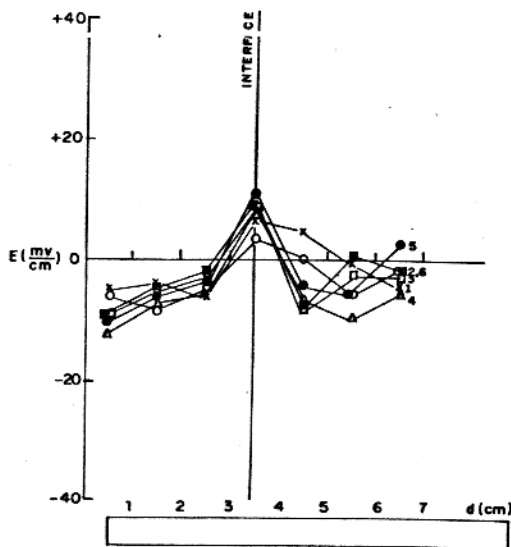
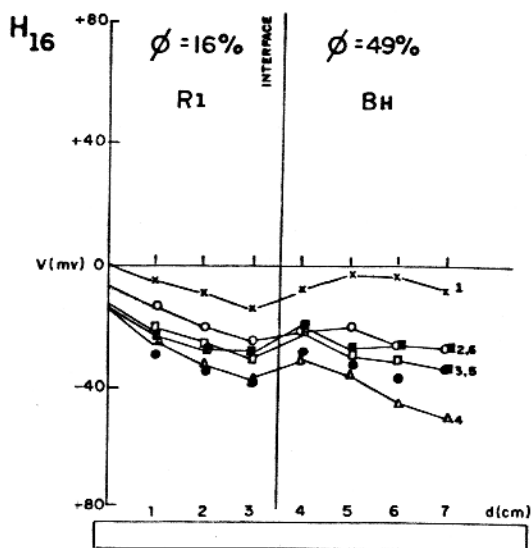


FIG.10 - PERFIS DE POTENCIAL ESPONTANEO RELATIVO E GRADIENTE DO POTENCIAL PARA  $d=1\text{cm}$  EFETUADA 16 HORAS APÓS MEDIDA EFETUADA COM BASE SATURADA.

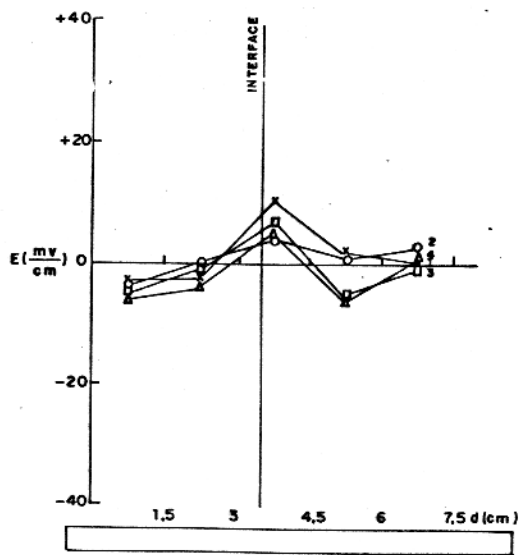
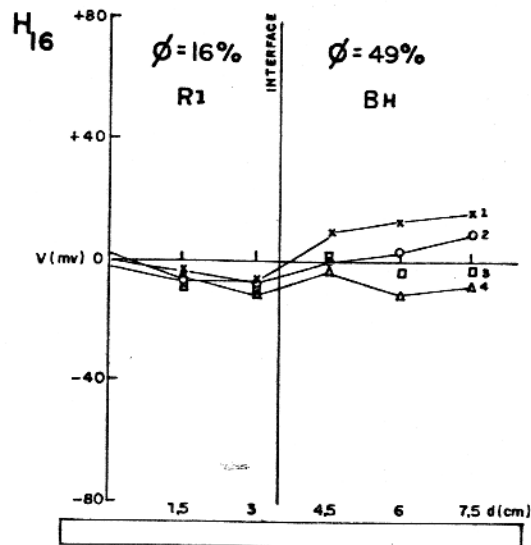


FIG. 11 - PERFIS DE POTENCIAL ESPONTANEO RELATIVO E GRADIENTE DO POTENCIAL PARA  $d=1,5$ cm EFETUADA 16 HORAS APÓS MEDIDA EFETUADA COM BASE SATURADA.

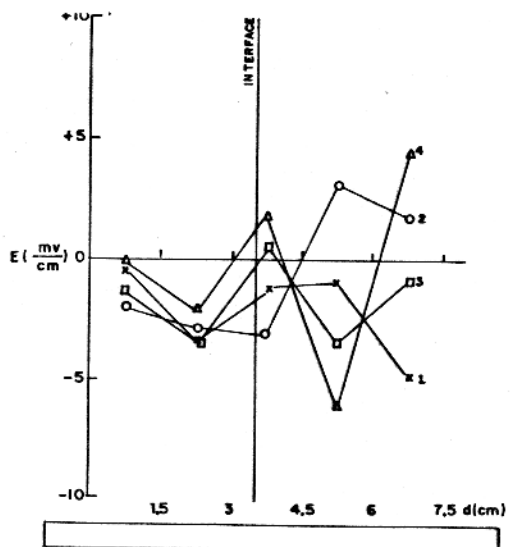
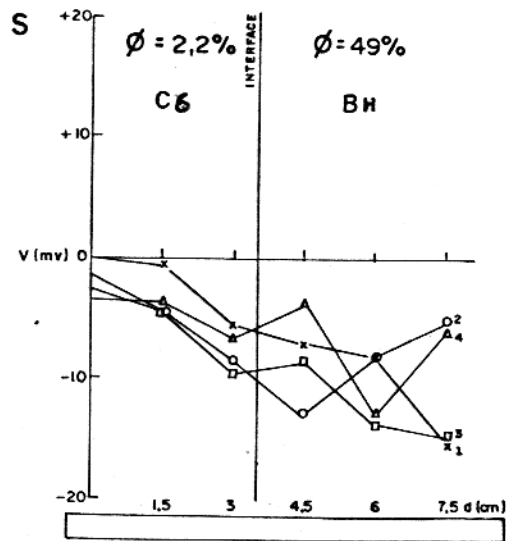


FIG.12 - PERFS DE POTENCIAL ESPONTÂNEO RELATIVO E GRADIENTE DO POTENCIAL PARA  $\phi = 1,5\text{cm}$  MODELO C<sub>6</sub>-BH SOBRE BASE SECA.

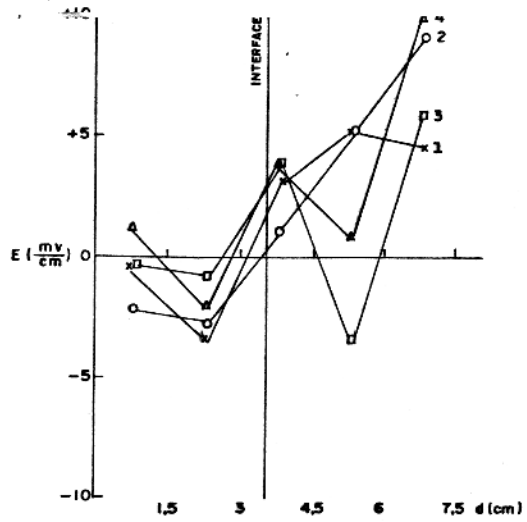
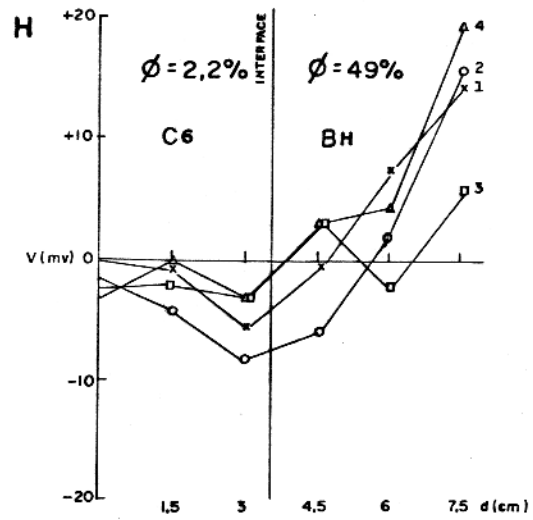


FIG.13 - PERFIS DE POTENCIAL ESPONTÂNEO RELATIVO E GRADIENTE DO POTENCIAL PARA  $d=1,5$ cm MODELO C6-BH SOBRE BASE SATURADA.

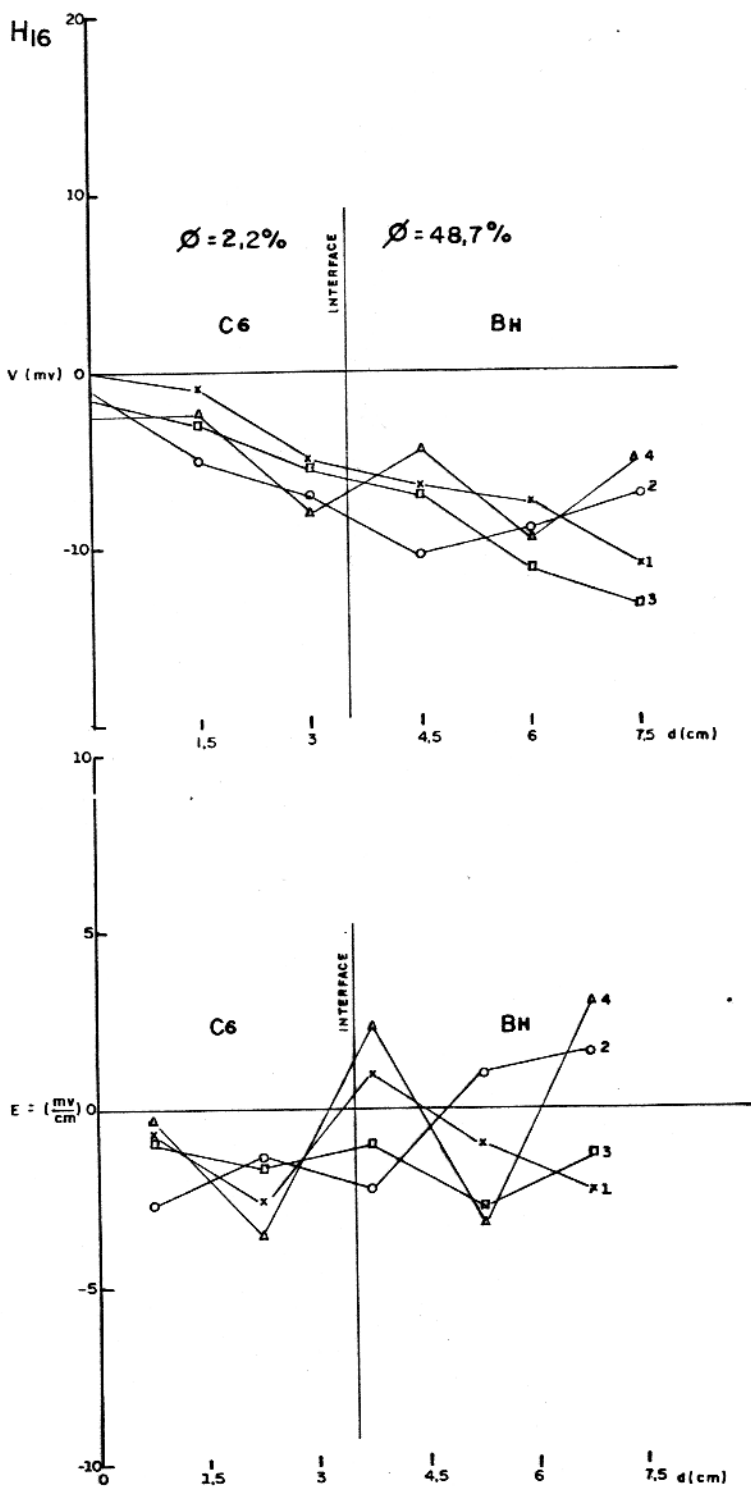


FIG. 14 - GRÁFICO DO POTENCIAL ESPONTÂNEO E GRADIENTE DO POTENCIAL. PARA VALORES OBTIDOS 16 HORAS SATURAÇÃO DA BASE.

para o par colocado sobre base em seco e saturada.

Para este conjunto de perfis observa-se que os valores relativos do Potencial Espontâneo variam mais fortemente na parte referente a rocha de maior porosidade, e que corresponde ao basalto B<sub>H</sub> com uma porosidade de 48,7%, na parte referente ao calcáreo C<sub>6</sub> a porosidade é de 2,2%. Ao analisar-se o gráfico relativo aos valores do gradiente de potencial observa-se que a zona de contato localiza-se entre pontos de inflexão.

Figuras 15 a 17 - Riólito (R<sub>1</sub>) - Basalto (V<sub>3</sub>)

Este conjunto de gráficos apresenta perfis com valores de P.E. para o par sobre base seca, saturada e para 25 horas após haver sido a base saturada.

É interessante observar-se que na (Fig. 15) par sobre base em seco, na parte que corresponde a rocha de maior porosidade os valores relativos de P.E são muito mais elevados que na parte menos porosa.

Na (Fig. 16) par colocado sobre base saturada, os valores relativos do potencial tornam-se para os perfis 1 e 2 ligeiramente mais elevados, já para os perfis 3 e 4 a elevação é um pouco mais acentuada.

A (Fig.17) apresenta os perfis obtidos para valores de potencial medido 25 horas após a base haver sido saturada, observa-se que os valores relativos de potencial voltam a ter sua polaridade invertida.

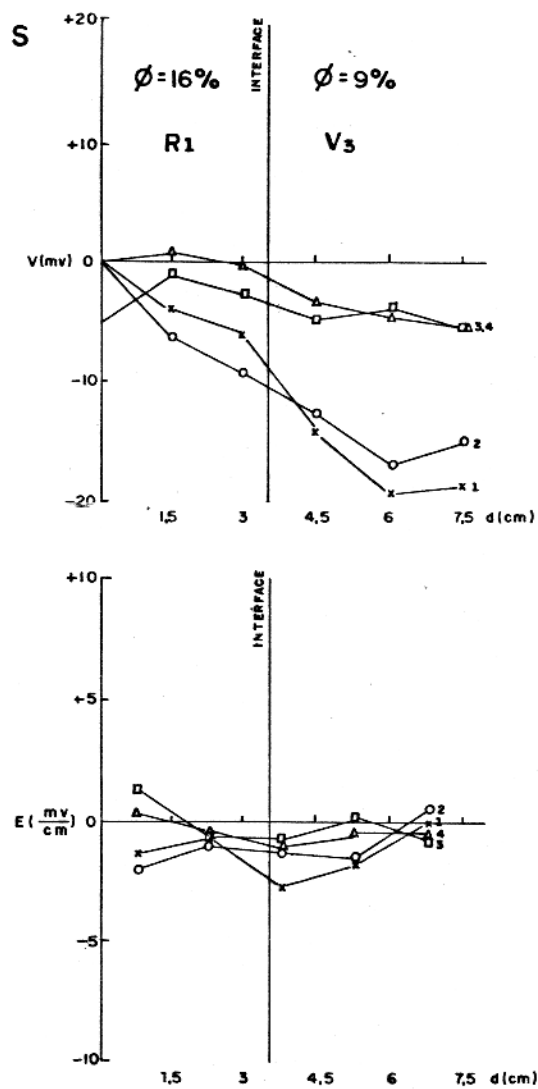


FIG. 15 - PERFIS DE POTENCIAL ESPONTÂNEO RELATIVO E GRADIENTE DO POTENCIAL PARA O MODELO  $R_1-V_3$  SOBRE BASE SECA, COM  $d=1,5$ cm.

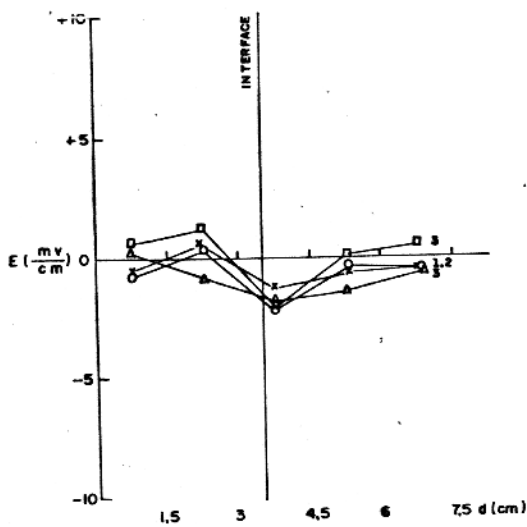
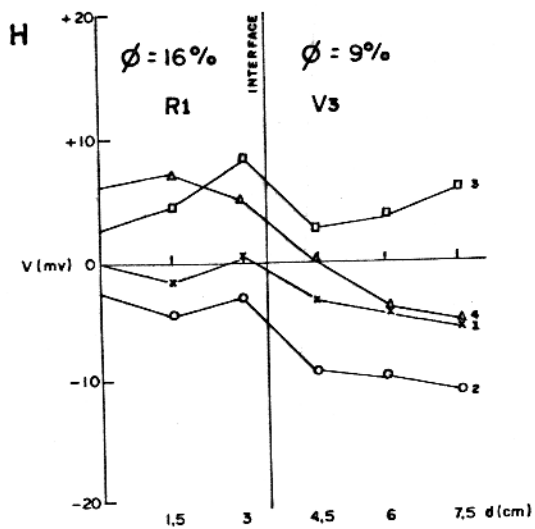


FIG.16 - PERFIS DE POTENCIAL ESPONTÂNEO RELATIVO E GRADIENTE DO POTENCIAL PARA O MODELO R<sub>1</sub>-V<sub>3</sub> SOBRE BASE SATURADA, d=1,5cm.



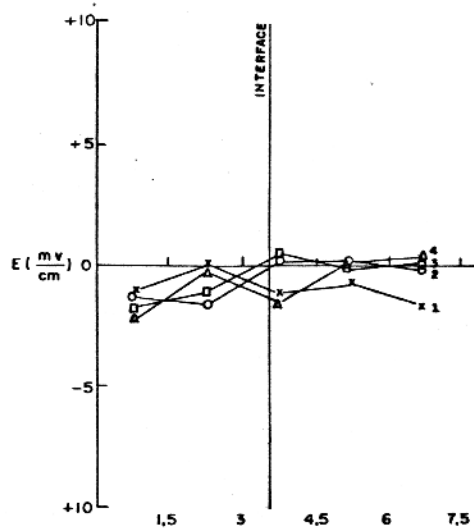
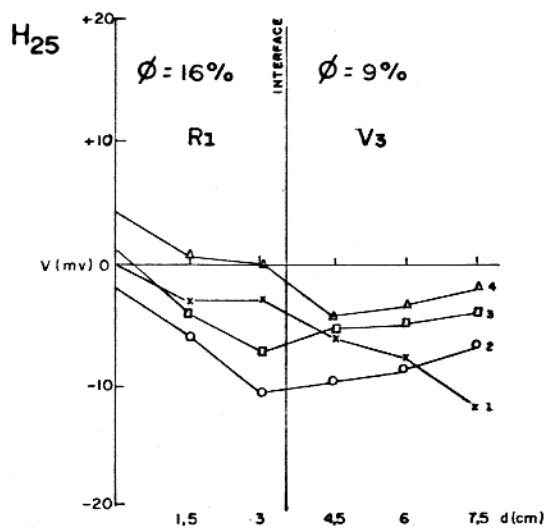


FIG.17 - PERFIS DE POTENCIAL ESPONTÂNEO RELATIVO E GRADIENTE DO POTENCIAL PARA O MODELO  $R_1-V_3$  COM  $d=1,5$ cm, VALORES MEDIDOS 25 HORAS APÓS HAVER SIDO A BASE SATURADA.

Figuras 18 a 20 - Calcáreo (C<sub>6</sub>) - Calcáreo (C<sub>3</sub>)

Figuras 21 a 23 - Basalto (B<sub>H</sub>) - Basalto (B<sub>H</sub>)

As figuras acima citadas correspondem a pares em que os blocos utilizados são do mesmo tipo; as figuras de 18 a 20 são relativas ao par Calcáreo (C<sub>6</sub>) - Calcáreo (C<sub>3</sub>) as de mais correspondem ao Basalto (B<sub>H</sub>) - Basalto (B<sub>H</sub>). Ao analisar se estes gráficos observa-se que longe da interface os valores de P.E são aproximadamente equipotenciais. As proximidades da zona de contato há uma variação de alguns milivolts nos valores de potencial medidos esta variação observada é menos acentuada que quando temos contato entre diferentes materiais.

Figuras 24 e 25 - Riolito (R<sub>1</sub>) - Basalto (B<sub>H</sub>)

Estas figuras correspondem aos mapas de potencial espontâneo relativo para o par Riolito (R<sub>1</sub>)-Basalto (B<sub>H</sub>) em seco e com base saturada, nota-se na (Fig. 24) que os valores relativos de Potencial Espontâneo decrescem em direção a zona de interface.

Ao passar-se para o mapa em condições úmidas (Fig. 25) verifica-se que estes valores apresentam polaridade reversa.

Durante o desenvolvimento deste trabalho efetuou-se medidas sobre um único bloco de rocha, por exemplo as medidas de potencial efetuadas sobre um Basalto (B<sub>H</sub>) colocado sobre base seca apresentou valores de P.E entre +0,7 e +6 milivolt, as medidas efetuadas sobre um bloco de riolita apresenta valor

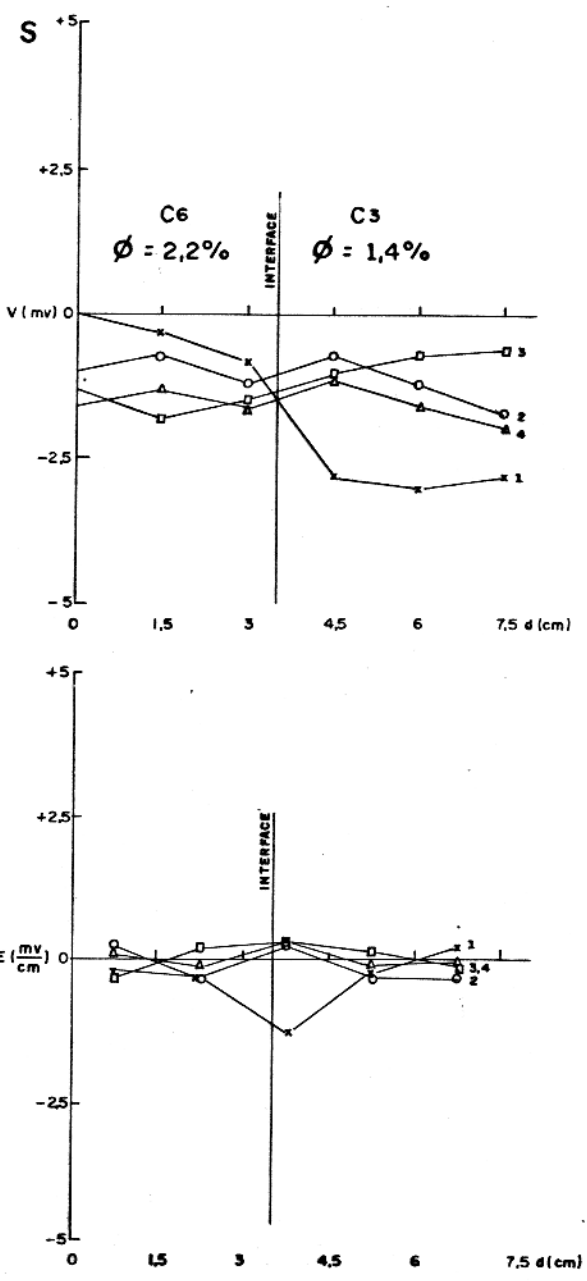


FIG.18 - PERFS DE POTENCIAL ESPONTÂNEO RELATIVO E GRADIENTE DO POTENCIAL PARA  $d=1.5$ cm, COM O MODELO C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub> SOBRE BASE SECA.

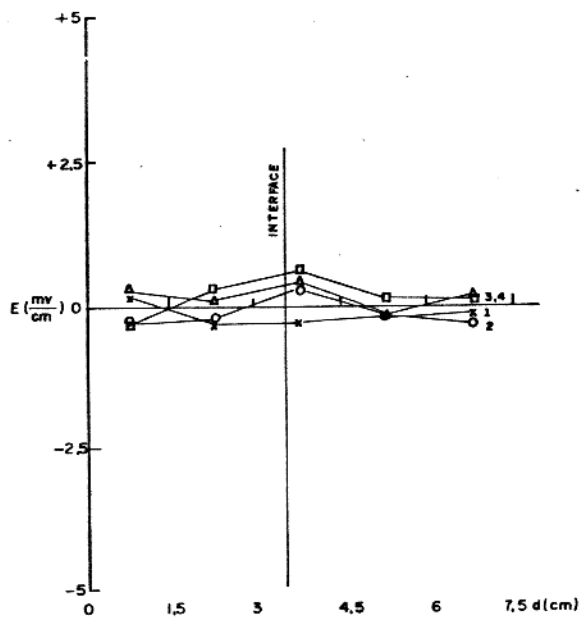
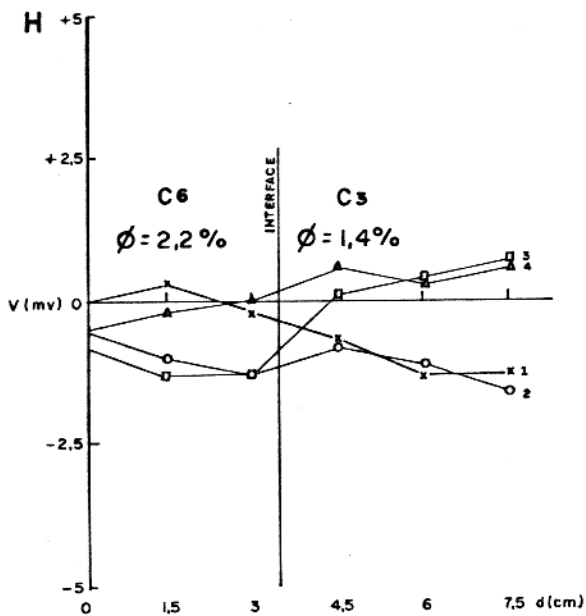


FIG.79 - PERFS DE POTENCIAL ESPONTÂNEO RELATIVO E GRADIENTE DO POTENCIAL PARA  $d=1,5$ cm, COM O MODELO C<sub>6</sub>-C<sub>5</sub> SOBRE BASE SATURADA.

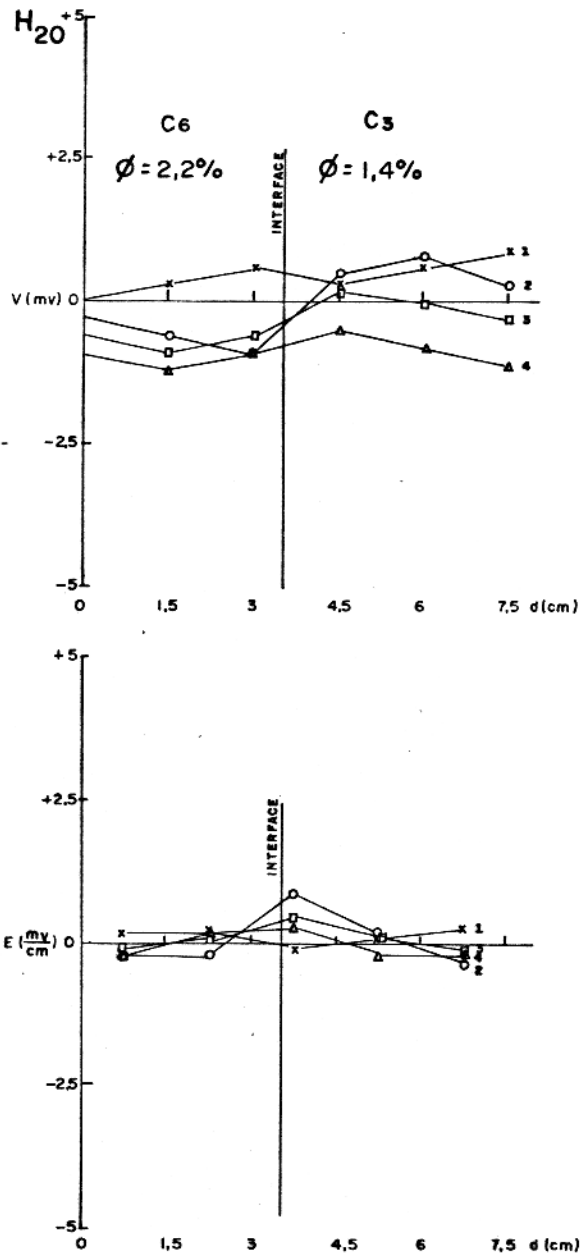


FIG. 20 - PERFILES DE POTENCIAL ESPONTANEO RELATIVO E GRADIENTE DO POTENCIAL PARA O MODELO C<sub>6</sub>-C<sub>5</sub> COM  $d=1.5$ cm, VALORES OBTIDOS 20 HORAS APÓS HAVER SIDO A BASE SATURADA.

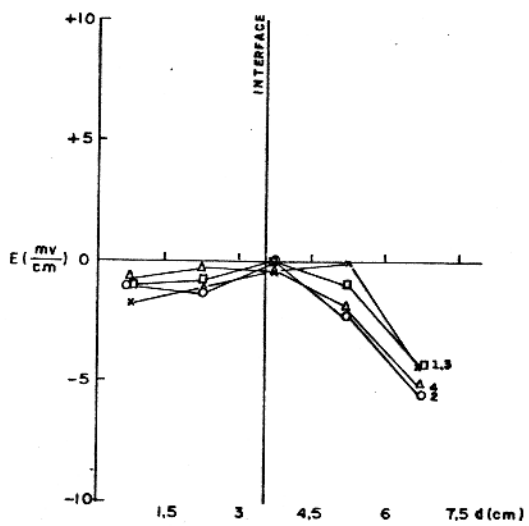
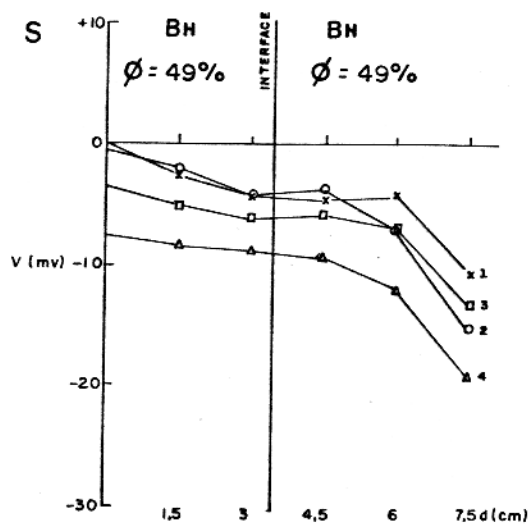


FIG.21 - PERFIS DE POTENCIAL ESPONTÂNEO RELATIVO E GRADIENTADO POTENCIAL PARA O MODELO BN-BN COM  $d=1,5$ cm, SOBRE BASE SECA

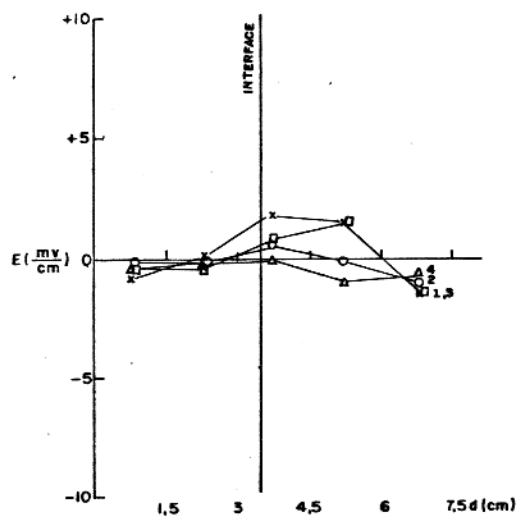
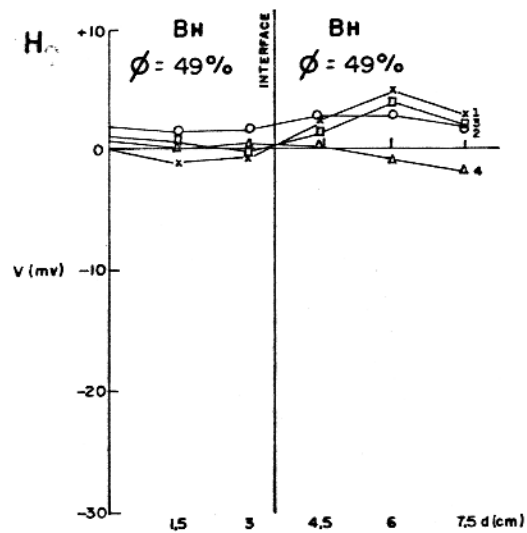


FIG.22 - PERFS DE POTENCIAL ESPONTANEO RELATIVO E GRADIENTE DO POTENCIAL PARA O MODELO BH-BH COM  $d=1,5cm$ , SOBRE BASE SATURADA.

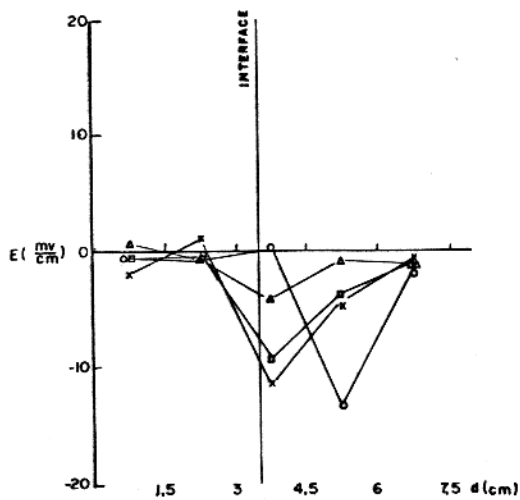
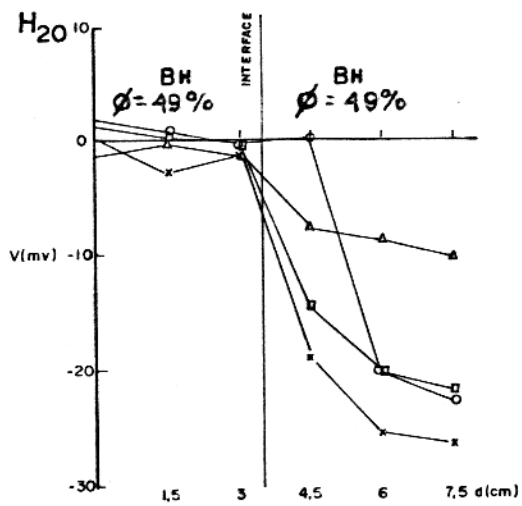


FIG. 23 - PERFIS DO POTENCIAL RELATIVO E GRADIENTE DO POTENCIAL PARA O SISTEMA BH-BH, COM VALORES OBTIDOS 20 HORAS APÓS A SATURAÇÃO DA BASE.



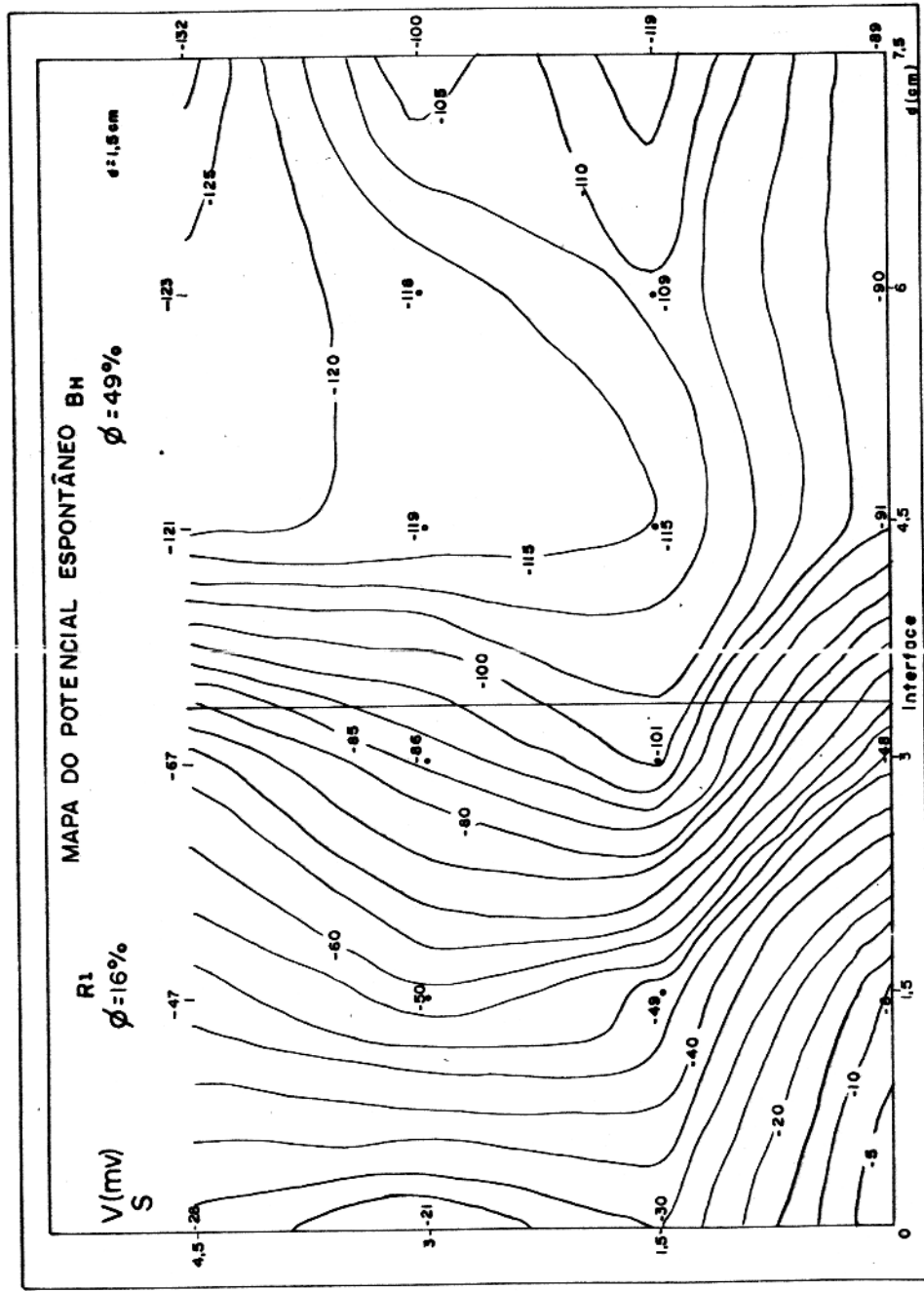


FIG. 24- MAPA DO POTENCIAL ESPONTÂNEO RELATIVO, MODELO R<sub>1</sub>-B<sub>H</sub> SOBRE BASE SECA.

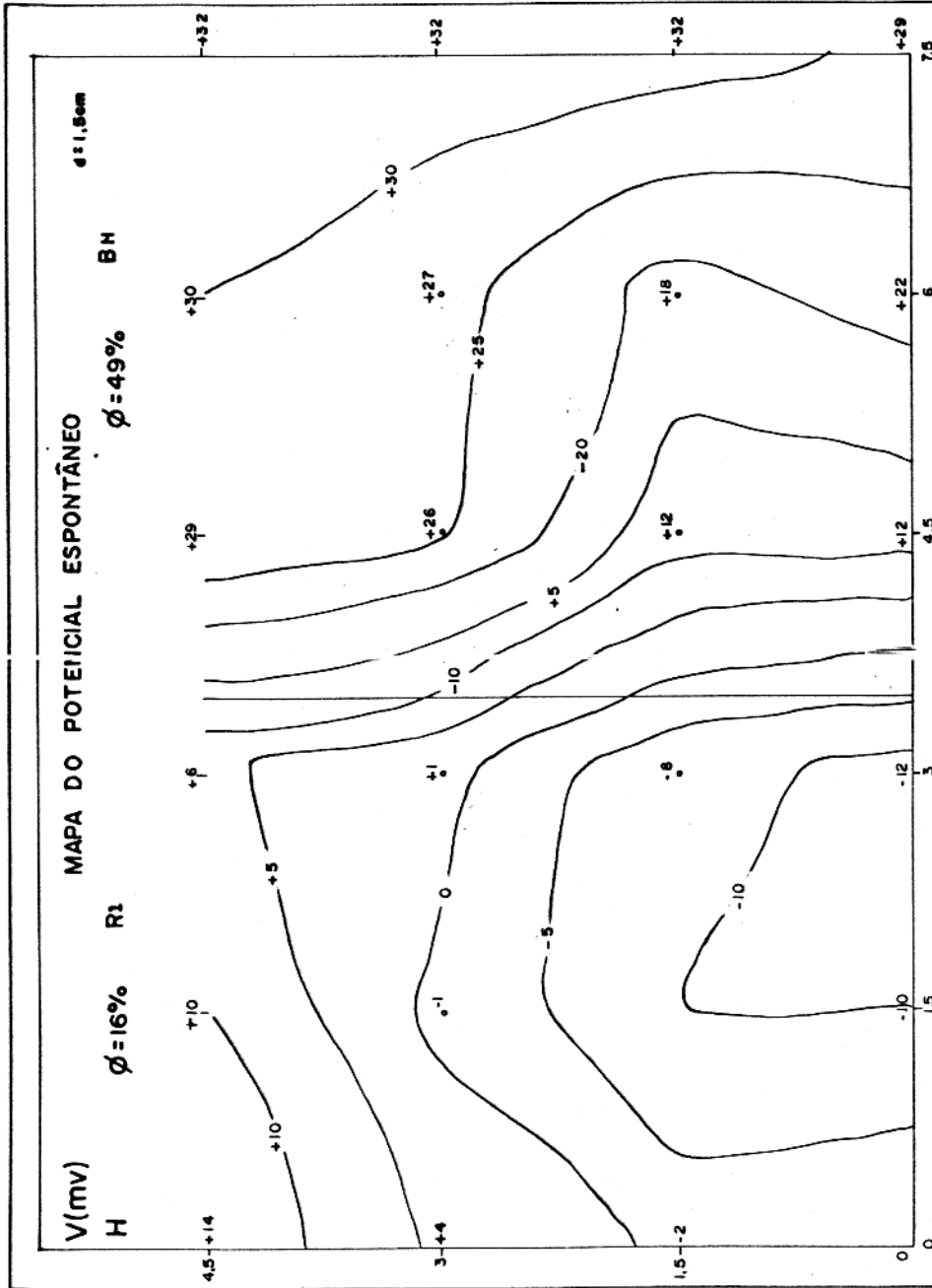


FIG. 25- MAPA DO POTENCIAL ESPONTÂNEO RELATIVO, MODELO R<sub>1</sub>-B<sub>H</sub> SOBRE BASE SATURADA.

relativo de P.E variando de -1 a +10 mv, mostrando assim a não uniformidade das rochas.

### Comparação dos Perfis com base na Composição Química das Rochas

Pela bibliografia consultada constata-se a grande dificuldade que existe quando tenta-se analisar curvas de Potencial Espontâneo com base em análise química da formação.

As dificuldades são tão grandes, que dentro do estudo de perfuração de poços, onde o emprego do método de Potencial Espontâneo é comum as análises das curvas de P.E. levam sempre em consideração a presença de um único tipo de sal (NaCl).

Neste ponto vamos analisar os diversos pares com base nos principais elementos presentes na composição da rocha, e que podem haver influenciado no valor do potencial medido, os valores em por cento do elemento para cada rocha vem apresentado em uma tabela correspondente a cada par.

Tabela 3 - Riólito (R<sub>1</sub>) - Basalto (B<sub>H</sub>)

φ	Riólito (R <sub>1</sub> )	Basalto (B <sub>H</sub> )	Porosidade
	16 %	48,7 %	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,68	16,74	
Si O <sub>2</sub>	70,4	62,54	
Ca O	1,6	5	
Mg O	0,39	3	
FeO Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,84	5,5	
Na <sub>2</sub> O	4,98	4,2	

Observando-se as (fig. 6 e 7), nota-se que os perfis de P.E apresentam valores relativos negativos bem fortes e ligeiramente mais acentuado na parte que corresponde ao basalto (B<sub>H</sub>) que tem uma porosidade muito maior que o riolito, pode-se considerar que este comportamento seja também resultante da presença de CaO e MgO (óxido de cálcio é magnésio), os demais elementos estão em teor aproximadamente idênticos. Com o par colocado sobre base saturada houve inversão de polaridade nos valores relativos de P.E. para valores medido 16 hs após haver-se saturado a base elas retornam praticamente as condições do par em seco embora com pontos em alguns perfis apresentando valores mais elevados.

Tabela 4 - Calcáreo (C<sub>6</sub>) - Basalto (B<sub>H</sub>)

φ	Calcáreo (C )	Basalto (B <sub>H</sub> )	Porosidade
	2,2 %	48,7 %	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,2	16,7	
Si O <sub>2</sub>	0,24	62,54	
Ca O	55	5	
Mg O	0,45	3	
FeO · Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,15	5,5	
Na <sub>2</sub> O	nd	4,29	

Ao observar-se os perfis traçado na (fig.12) com as rochas colocadas sobre base seca, verifica-se que os valores relativos de P.E para o Calcáreo (C<sub>6</sub>) comparativamente aos do Basalto (B<sub>H</sub>) não são muito diferentes, embora exista um contraste de porosidade muito grande; no calcáreo a maior percentagem de sua constituição é de CaO (óxido de cálcio) o que deve influir bastante nos valores medidos; como se conhece de estudos realizados a presença de cálcio tende a fazer baixar os valores de Potencial Espontâneo. (Goundoin, Tixier, Simar (1957).

Na (fig. 13) com as rochas colocadas sobre a base saturada existe inversão na polaridade do potencial embora tal não aconteça no Calcáreo (C<sub>6</sub>), que chega a apresentar valores mais baixos em alguns pontos, no Basalto (B<sub>H</sub>) a inversão é verificada de forma irregular indicando a inhomogeneidade da rocha. Na (Fig. 14), perfis para valores medidos 16 horas após saturação da base verifica-se uma tendência a voltar ao comportamento inicial.

Tabela 5 : Riólito (R<sub>1</sub>) - Basalto (V<sub>3</sub>)

φ	Riólito (R )	Basalto (V )	Porosidade
	16 %	9 %	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,68	16,15	
Si O <sub>2</sub>	70,42	53,8	
Ca O	1,6	7,79	
Mg O	0,4	6,7	
FeO Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,84	8,85	
Na <sub>2</sub> O	4,98	3,6	

As rochas deste par apresentam porosidade quase metade uma da outra, quanto ao teor de  $Al_2O_3$  e na  $Na_2O$  são aproximadamente idênticas, apresentando diferença nos demais componentes.

Considere-se a (fig. 15), par de rochas colocadas sobre base seca, é interessante notar que na parte relacionada ao Basalto ( $V_3$ ) que contém maior teor de  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $FeOFe_2O_3$  os valores de P.E são relativamente mais negativos embora apresente menor porosidade que a Riolita ( $R_1$ ). Na (fig. 16) quando com base saturada vai haver uma variação equilibrada nos valores de P.E. A (Fig. 17) representa os perfis dos valores obtidos 25 horas após a base haver sido saturada, os valores relativos de P.E. voltam a baixar, principalmente na parte relativa a de menor porosidade, o que nos indica que a presença dos elementos químicos acima citados são fatores a influir nos valores totais de P.E. medidos.

Figuras 18 a 23 - Calcáreo ( $C_6$ ) - Calcáreo ( $C_3$ )  
Basalto ( $B_H$ ) - Basalto ( $B_H$ )

Estes pares são formados por rochas de idênticas composições e seus valores de P.E. são aproximadamente equipotenciais, excetuando-se ligeiramente na zona de contato dos dois blocos de rochas. As porosidades das rochas dentro de cada sistema são as mesmas, a composição química também, assim sendo a água vai entrar em contato em ambas as partes do par com teores químicos equivalentes, ficando assim o eletrolito aproximadamente com a mesma concentração entre o par. As (Fig. 21, 22,

23) são relativas ao Basalto ( $B_H$ ) - Basalto ( $B_H$ ) onde observa-se que no extremo do bloco de rocha, situado ao lado direito da interface um comportamento bem irregular que é devido a grande não homogeneidade da rocha nesta parte.

## 2.7. Interpretação

Considere-se os pares formados pelas rochas Riolito ( $R_1$ ) - Basalto ( $B_H$ ); Fig (6-11) e Calcáreo ( $C_6$ ) - Basalto( $B_H$ ), fig (12-14) estes pares apresentam porosidade bastante contrastante. O par  $R_1$ - $B_H$  apresenta  $\phi_{R_1} = 16\%$  e  $\phi_{B_H} = 48,7\%$  para  $C_6$ -  $B_H$  tem-se  $\phi_{C_6} = 2,2\%$  e  $\phi_{B_H} = 48,7\%$ . As diferenças entre os valores médios de potencial relativo medidos para os pares em seco, foram de aproximadamente 43 mv e 3 mv, respectivamente. Ambos os pares apresentam maiores valores de Potencial Espontâneo na rocha de maior porosidade.

Tendo-se saturado a base sobre a qual os pares estavam colocados, e medindo-se, novos valores de P.E. Obtem-se aproximadamente 19 mv e 8 mv. Observa-se uma inversão na polaridade relativa dos valores medidos, para cada um dos pares acima citados, sendo muito mais acentuada na parte que corresponde a rocha de maior porosidade. Os valores medidos 16 horas após haver-se saturado a base indicam uma tendência dos pares a apresentar comportamento semelhante ao verificado com o sistema em seco.

Analisando-se os sistemas formado por pares de rochas idênticas, tal como Basalto ( $B_H$ ) - Basalto ( $B_H$ ), fig.

(21-23); e Calcáreo (C<sub>6</sub>) - Calcáreo (C<sub>3</sub>), fig. (18-20); tendem a apresentar um comportamento equivalente nas três fases (seco, saturado, e 20 horas após saturação) com valores anômalos na parte extrema do basalto situado a direita da interface, valores estes devidos a não uniformidade da rocha nesta parte.

O par formado pelas rochas Riólito(R<sub>1</sub>) - Basalto(V<sub>3</sub>), fig (15-17), apresentam um bom contraste de porosidade, sendo  $\phi_{R_1} = 16\%$  e  $\phi_{V_3} = 9\%$ . Este par tem comportamento diferente dos demais pares de porosidade contrastante; nota-se que as variações nos valores relativo do potencial são mais acentuados na parte que corresponde a rocha de menor porosidade, comportamento contrário foi observado nos pares anteriormente citados. A diferença entre os valores médios de potencial relativo medido para este par são aproximadamente 4 mv, 3 mv, 1 mv, respectivamente, para as três fases (seco, saturado e 25 horas após saturação).

A porosidade fator devido a não uniformidade de textura da rocha, pode ser responsável pela desigualdade na velocidade de penetração do eletrólito. Em cada bloco de rocha constituinte de par, a força de capilaridade é diferente e resulta do movimento do eletrólito através do espaço poroso. Esta variação pode gerar um potencial espontâneo, dito Potencial de Fluxo. Além da porosidade a permeabilidade da rocha influi no movimento do eletrólito, (Koryta, Dvorak, Bohackova 1970); embora dentro deste trabalho não se tenha dados para controlá-la.

Para uma interpretação mais completa deve-se levar em consideração a componente do Potencial Espontâneo devido ao



potencial químico (potencial de concentração) e não apenas a componente cinética do potencial (potencial de fluxo).

As rochas que formam o par apresentam diferentes com posição química portanto um eletrólito ao atravessá-las assim la diferentes elementos químicos. Isto faz com que em cada uma das rochas a concentração do eletrólito seja diferente, gerando assim o potencial de concentração. Este contraste na concentra ção pode ser também devido a diferença de altura na coluna do eletrólito que penetra na rocha, este desnível implicaria no aparecimento de um potencial de concentração.

O potencial medido é uma combinação do potencial de fluxo e do potencial químico. Grande parte do potencial medido deve ser mais provavelmente de origem química, devido a varieda de na composição química e na contribuição individual de cada elemento ou mineral quando de uma reação química em presença da água.

CAPÍTULO III

ESTUDO EM LABORATÓRIO COM MÉTODO DO POTENCIAL ESPONTÂNEO SOBRE  
SOLOS RESIDUAIS DA ZONA DOS CARAJÁS

### 3. ESTUDO EM LABORATÓRIO COM MÉTODO DO POTENCIAL ESPONTÂNEO SOBRE SOLOS RESIDUAIS DA ZONA DOS CARAJÁS.

#### 3.1. Localização da Área de Amostragem

O Distrito Ferrífero da Serra dos Carajás localiza-se ao sul do Estado do Pará, na mesopotâmia Araguaia-Xingú município de Marabá (a maior parte), e São Felix do Xingú.

Situa-se dentro do perímetro delimitado aproximadamente pelos paralelos 5°50'S - 6°35'S e meridianos 49°30'W - 52°00'W, sendo representado por uma área principal, central que é a Serra dos Carajás propriamente dita (conjunto das serras Norte e Sul) e as áreas menores de Serra Leste, em direção a Marabá e São Félix, próximo a cidade do mesmo nome. (Beisiegel, V.R. et al 1973).

A zona de coleta dos sedimentos dentro do distrito ferrífero da Serra dos Carajás foi a área MM1, uma prospecção de cobre a cerca de 20 km NW da mineralização de ferro designado por N<sub>1</sub>. (Fig. 26). A região apresenta clima quente-úmido e topografia irregular.

O Estudo de Polarização Espontânea sobre os solos residuais dos Carajás em laboratório realizou-se em face de haver o professor William Sauck e alunos do Projeto Carajás encontrado grandes variações nos valores de P.E medidos na área MM1 quando do trabalho de campo aí realizado, originando-se dúvidas quanto a sua origem.

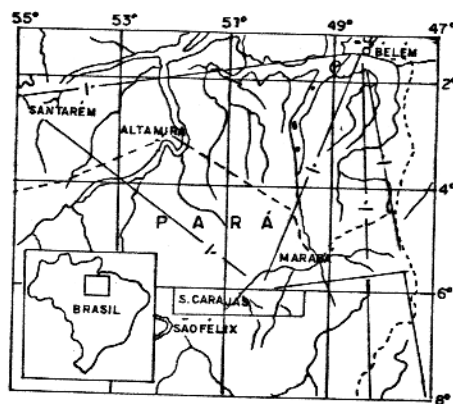


FIG. 1 - MAPA DE SITUAÇÃO DO DISTRITO FERRIFERO DA SERRA DOS CARAJÁS.

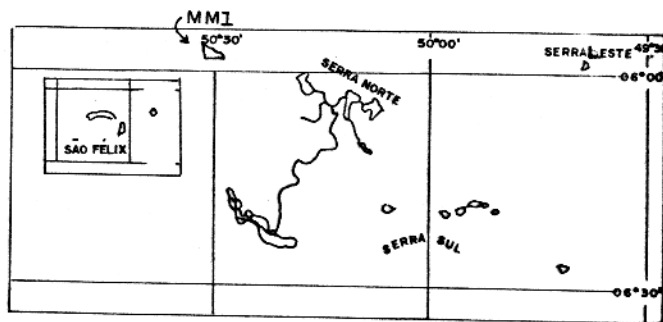


FIGURA 26- LOCALIZAÇÃO DA ÁREA MM1

### 3.2. Descrição dos Solos

Os solos foram denominados tomando-se como referência os pontos de coleta. O primeiro termo indica a linha de orientação seguida, tem-se a simbologia LT e LG significando linha do levantamento topográfico e do Levantamento geológico respectivamente, os valores de distância que seguem como 500 m , 750 m, 1400 m, 1600 m são distâncias horizontais, em relação a uma origem. Utilizou-se uma conôtação abreviada chamando-os de solos tipos D, E, F, G, H.

#### LT 6000 NE - 1600 m (D)

Material siltico-argiloso de cor castanho escuro dominado por minerais argilosos e hidróxidos de ferro; esparsos grãos de quartzo de diâmetro inferior a 1 mm podem ser observados.

#### LT 6000 NE - 1400 m (E)

Material siltico-argiloso de cor castanho escuro dominada por minerais argilosos e hidróxidos de ferro. Grãos de quartzo angulosos são mais abundantes que na amostra anterior, (LT 6000 NE-1600m), observa-se também pequenas palhetas de sericita misturados com concreções arredondadas de hidróxido de ferro.

#### 4500 L.G. - 750 m (F)

Material siltico argiloso de cor castanho escuro

dominado por minerais argilosos e hidróxido de ferro.

Nota-se esparsos grãos de quartzo e concreções ferruginosas ricas em magnetita. Fonte unidade chamada "Mica Xisto" no campo.

#### LT 6000 NE - 1600 m (G)

Material com abundantes fragmentos com aproximadamente 4 mm de diâmetro de quartzito ferruginoso (quartzo + magnetita) dentro de uma massa siltico argilosa de cor marrom escura de alta plasticidade. (coletada em agosto de 1977, aproximadamente mesmo local de coleta do solo D).

#### 4500 LG - 500 m (H)

Material dominado, por grãos angulosos de quartzo de tamanho variável atingindo 1/2 cm de diâmetro, observa-se pequenos grãos de feldspatos alterados a caolinita e menos comumente grãos de turmalina associado com este material nota-se uma massa amarelo-castanho siltosa assim como pequenas películas de material manganêsferro.-Fonte Granito.

### 3.3. Metodologia

A coleta dos solos foi efetuada levando-se em consideração deslocamento horizontal; tendo as amostras sido retiradas de uma profundidade de aproximadamente 15-30 cm, com o cuidado de previamente haver-se realizado limpeza de detritos so

bre a superfície do local. As coletas realizaram-se em março e agosto de 1977. As medidas foram efetuadas no Laboratório de Propriedades Elétricas das Rochas do Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas da Universidade Federal do Pará, em janeiro de 1978.

Com vários tipos de solos formou-se diferentes sistemas constituídos cada um de dois tipos distintos de solos, os quais foram colocados em recipientes de vidro de (25 x 15cm<sup>2</sup>, 36 x 20cm<sup>2</sup>) formando-se contato entre os solos. As medidas do Potencial Espontâneo foram tomadas sobre a superfície dos pares. O método de medida aplicada foi o do Gradiente do Potencial, a separação entre elétrodos usada foi de 4 cm.

As medidas foram tomadas para pares de solos em seco (umidade relativa ambiente) e para quando simulava-se chuva sobre eles com água destilada.

Para o par de solos D-H simulou-se chuva sobre os eletrodos durante cada medida de P.E efetuada; para os demais pares simulou-se chuva sobre toda a superfície do conjunto. Os perfis foram traçados sobre a superfície do par, com os eletrodos deslocados perpendicularmente a zona de contato ao longo dos perfis L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub> ..... usando-se as simbologias citadas no Capítulo II pág. 36.

Os valores de P.E medidos são apresentados no apêndice 2.

### 3.4. Material Utilizado

- Medidor de voltagem Digital, Philips, PM 2513/03 com uma impedância de entrada de  $10\text{ M}\Omega$  e uma sensibilidade de  $\pm 0,003\text{ mv}$ .
- Eletrodos do tipo não polarizável feitos com cilindros de cerâmica semi-permeável de diâmetro interno  $0,36\text{ cm}$  e diâmetro externo  $0,66\text{ cm}$ , no interior do qual está imerso um eletrodo metálico Cu, em solução saturada de  $\text{CuSO}_4$ ; uma das extremidades do cilindro é vedado com algodão prensado e os mesmos foram deixados depositados em solução saturada de  $\text{CuSO}_4$  por 5 dias.
- Simulador de Chuva
- Fios de boa qualidade.

### 3.5. Apresentação e Discussão dos Dados

De posse das medidas, traça-se os perfis de Gradiente do Potencial versus separação de eletrodos e Potencial Espontâneo versus separação de eletrodos. Nestes gráficos usou-se S e SC a esquerda do eixo das ordenadas para indicar medidas sobre par formado por solos secos (umidade relativa ambiente) e para par sobre o qual simulava-se chuva respectivamente. As medidas foram efetuadas sob uma umidade relativa ambiente que variou entre 60% - 70% e uma temperatura ambiente variando entre  $26^\circ\text{C}$  e  $30^\circ\text{C}$ , com valores mais constantes em torno de  $28^\circ\text{C}$ .

#### Figuras 27 e 28 - D-H

Analisando-se os perfis para o potencial relativo e



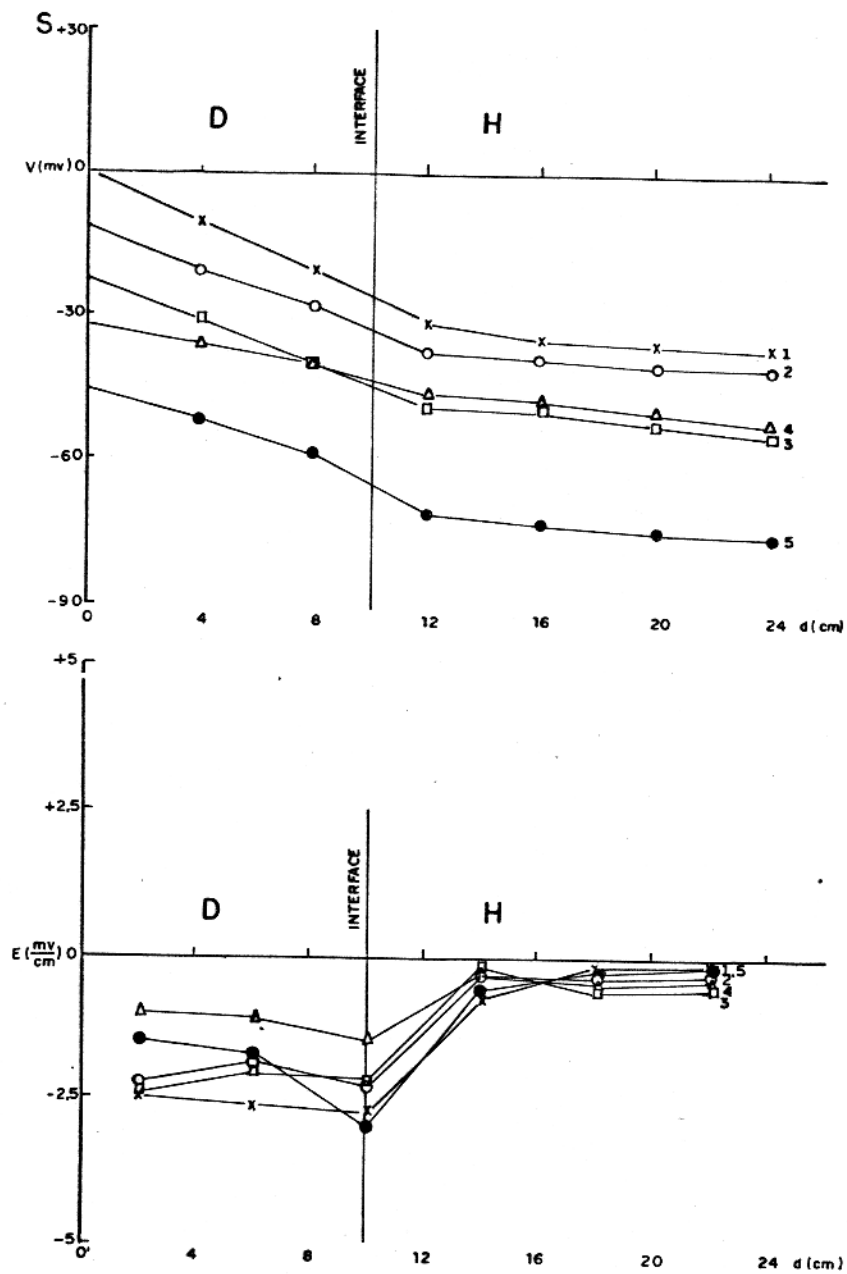


FIGURA-27 - PERFS DO POTENCIAL ESPONTÂNEO RELATIVO E GRADIENTE DO POTENCIAL PARA OS SOLOS D-H EM SECO, COM  $d=4$ cm.

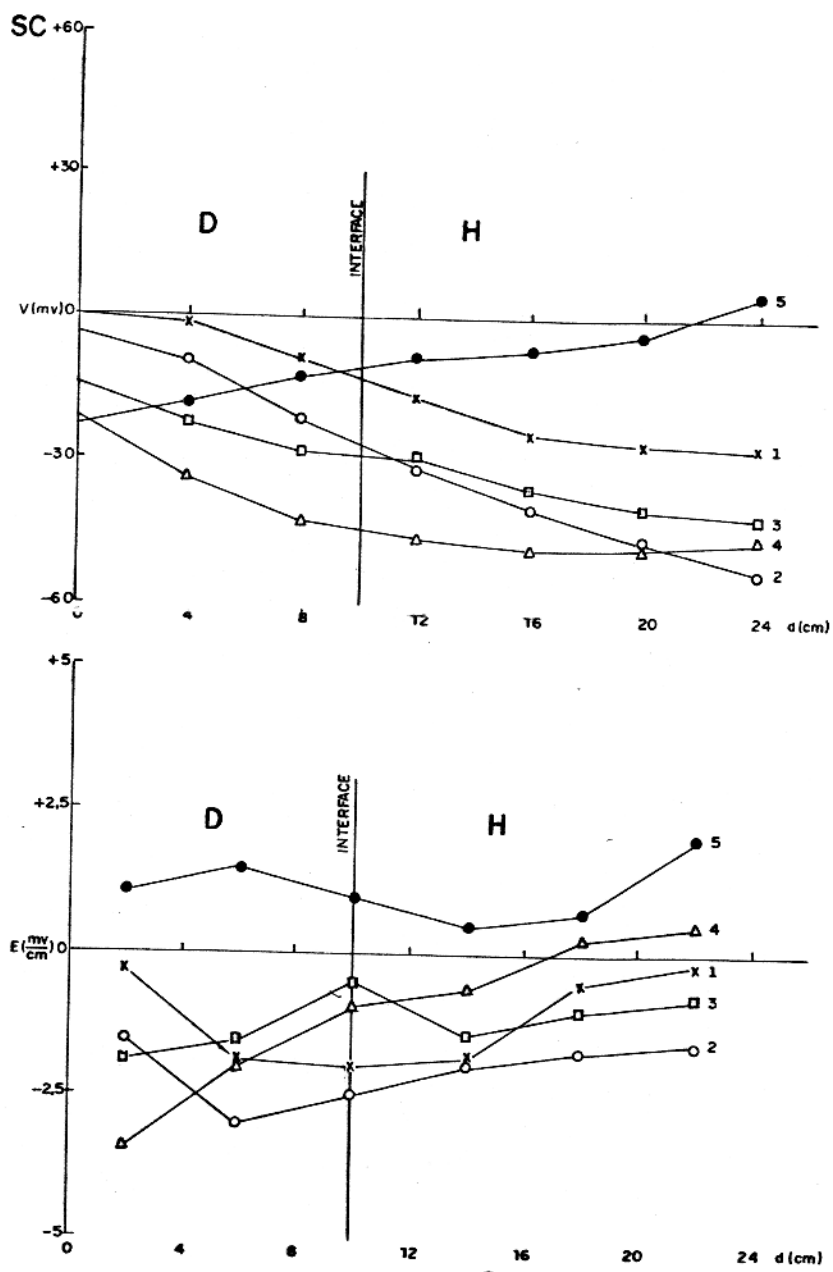


FIGURA - 28 - PERFIS DO POTENCIAL ESPONTÂNEO RELATIVO E GRADIENTE DO POTENCIAL PARA VALORES OBTIDOS COM SIMULAÇÃO DE CHUVA.

gradiente do potencial, obtido com medidas efetuadas sobre os solos residuais acima citados, verifica-se que em termos do valor de potencial observa-se uma variação de alguns milivolts nos valores medidos, o mesmo se verificando em termos do gradiente de potencial.

#### Figuras 29 e 30 - H-E

As figuras 29 e 30 são representativas de valores obtidos com os solos em seco e quando simula-se chuva respectivamente, tendo as medidas sido efetuadas 6 horas após haver-se lançado água. Analisando-se em termos do potencial é observado que também aparece a variação nos valores de potencial medido, indicando a região de interesse. Em termos do gradiente de potencial a zona de interface situa-se entre pontos de inflexão sendo bem acentuada.

#### Figuras 31 e 32 - E-F

Nas figuras 31 e 32 tem-se representados o Potencial e o Gradiente de Potencial para o par de solos acima citados, respectivamente a seco e simulando-se chuva. O comportamento apresentado é idêntico aos anteriores, tendo uma zona anômala marcada por uma diferença de alguns milivolts nas medidas efetuadas. Em termos do gradiente a região de interface é bem marcante, situando-se entre pontos de inflexão.

Na fig. 32, na qual temos os perfis para dados obtidos quando simulou-se chuva, ocorre uma variação ligeiramente mais irregular na região que corresponde ao solo F, este solo

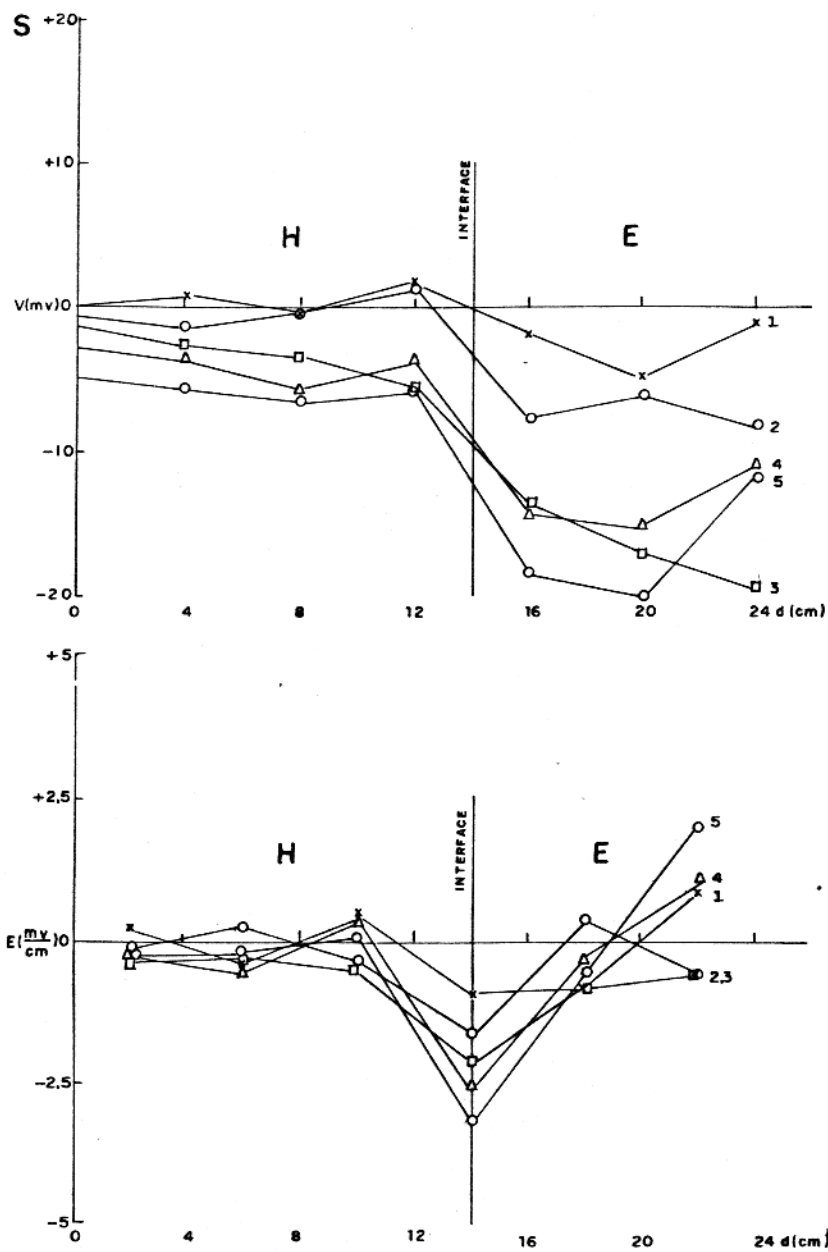


FIGURA-29 - PERFIS DO POTENCIAL ESPONTÂNEO RELATIVO E GRADIENTE DO POTENCIAL PARA SOLO H-E SECO.

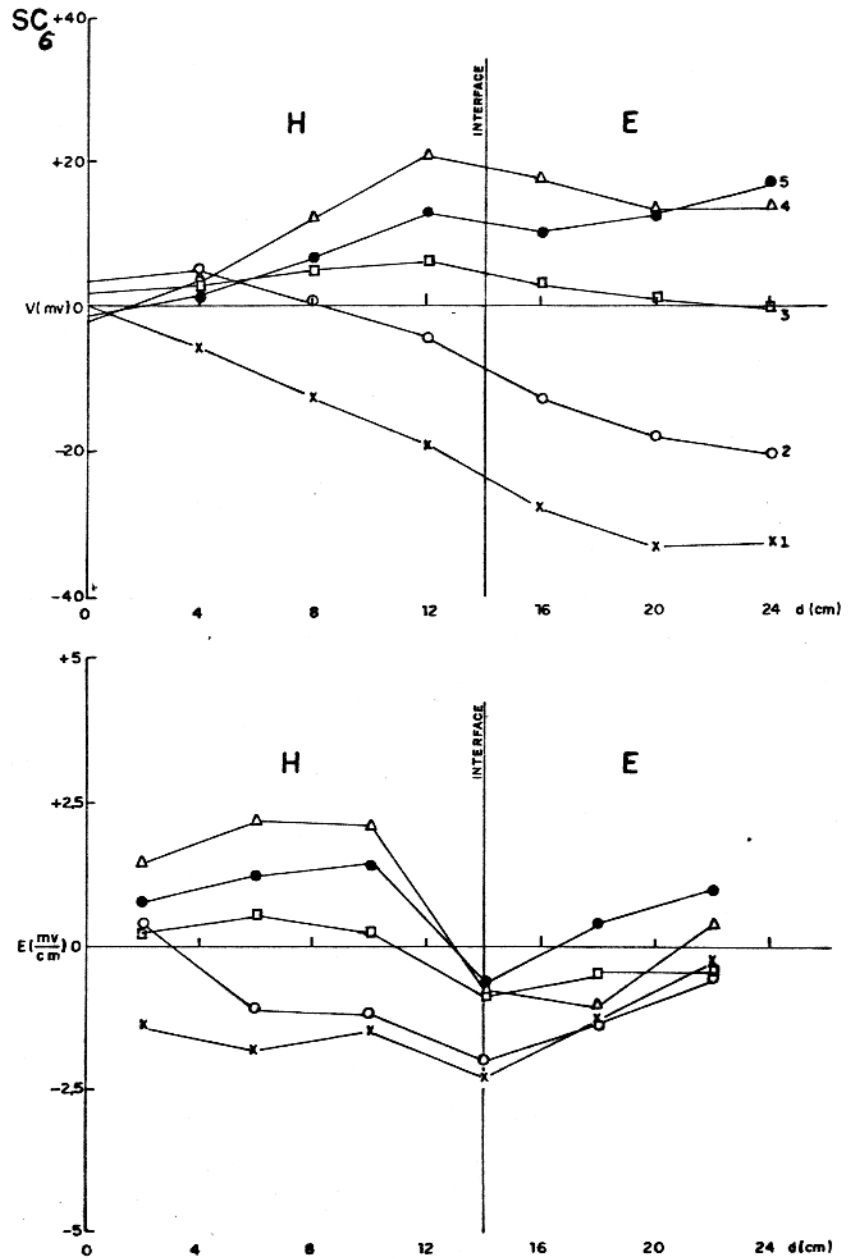


FIGURA-30- PERFIS DO POTENCIAL ESPONTÂNEO RELATIVO E GRADIENTE DO POTENCIAL PARA VALORES MEDIDOS 6 HORAS APÓS HAVER-SE SIMULADO CHUVA.

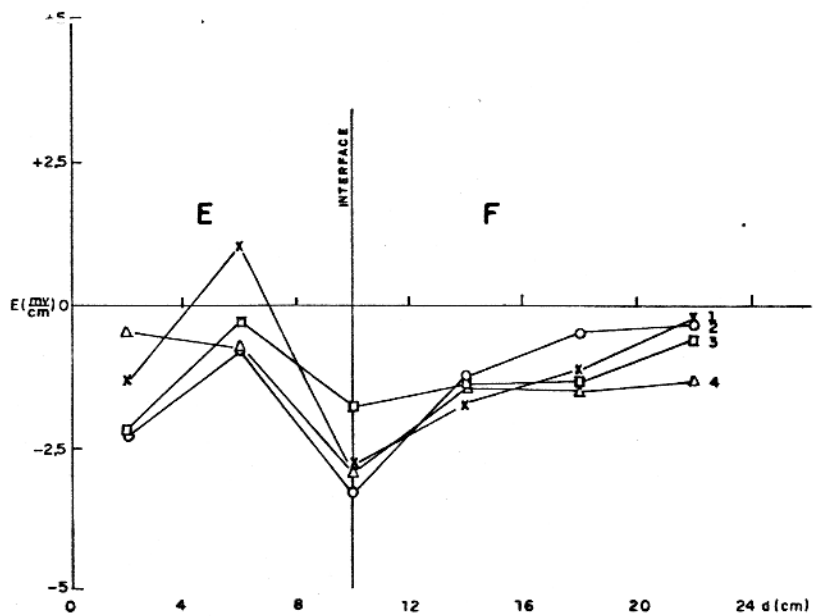
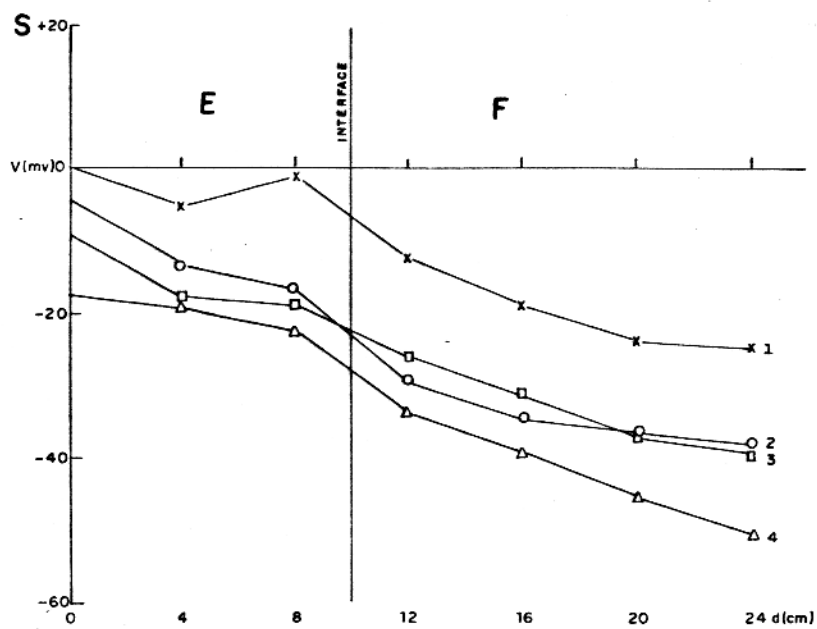


FIGURA- 31 - PERFIS DO POTENCIAL EXPONTÂNEO RELATIVO E GRADIENTE DO POTENCIAL PARA OS SOLOS E-F SECO.

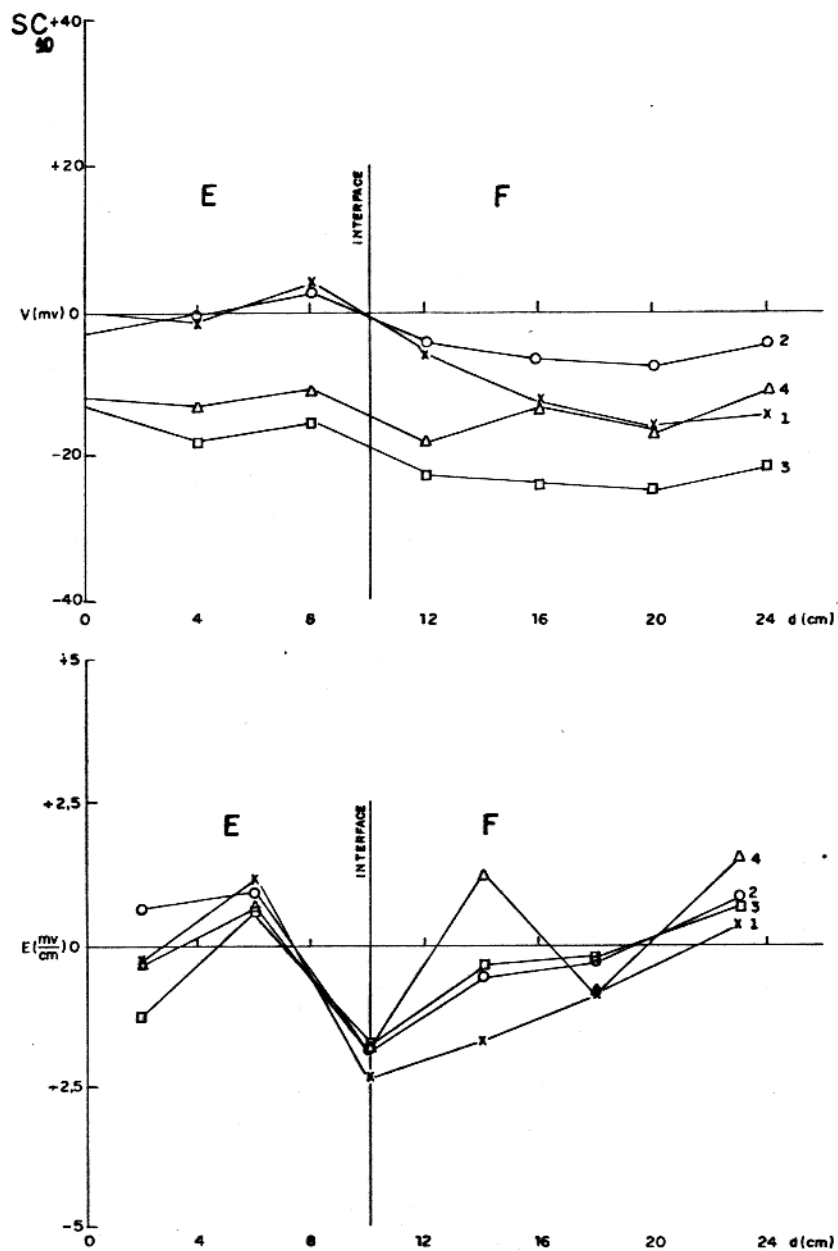


FIGURA-32 - PERFILES DO POTENCIAL ESPONTÂNEO RELATIVO E GRADIENTE DO POTENCIAL PARA VALORES OBTIDOS 10 HORAS APÓS HAVER-SE SIMULADO CHUVA SOBRE OS SOLOS E-F.

apresenta concreções ferruginosas ricas em magnetitas que em contato com a água podem ter sido responsável pelas variações observadas nos valores de Potencial Espontâneo. A umidade relativa ambiente variou de 60% - 66%, e a temperatura foi de 28°C.

#### Figuras 33 e 34 - F-G

Este grupo de figura apresenta como um todo o comportamento geral até agora observado nos demais perfis. Nota-se a variação de alguns milivolts em termos do potencial tanto a seco como quando simulou-se chuva, sendo que em termos do gradiente a interface é mais ressaltada. É interessante observar que quando as medidas são efetuadas simulando-se chuva sobre o par, elas tornam-se relativamente positivas, sendo bem marcante para as linhas 3 e 4, ambos os solos aqui utilizados apresentam concreções ferruginosas com magnetita. A leitura para quando simulou-se chuva foi efetuada 13 horas após haver-se espargido água sobre o par, a temperatura ambiente era de 30°C, com uma umidade relativa ambiente de 60%. As variações mais intensas para as linhas 3 e 4 podem ser devido a diferença de concentração de íons presentes no solo, que em solução mostra uma variação mais acentuada para os valores de Potencial Espontâneo.

#### Figuras 35 e 36 - E-D

Nestes perfis há variação nos valores de Potencial Espontâneo, próximo a zona de interface, sendo esta zona bem ressaltada em termo dos valores do gradiente.



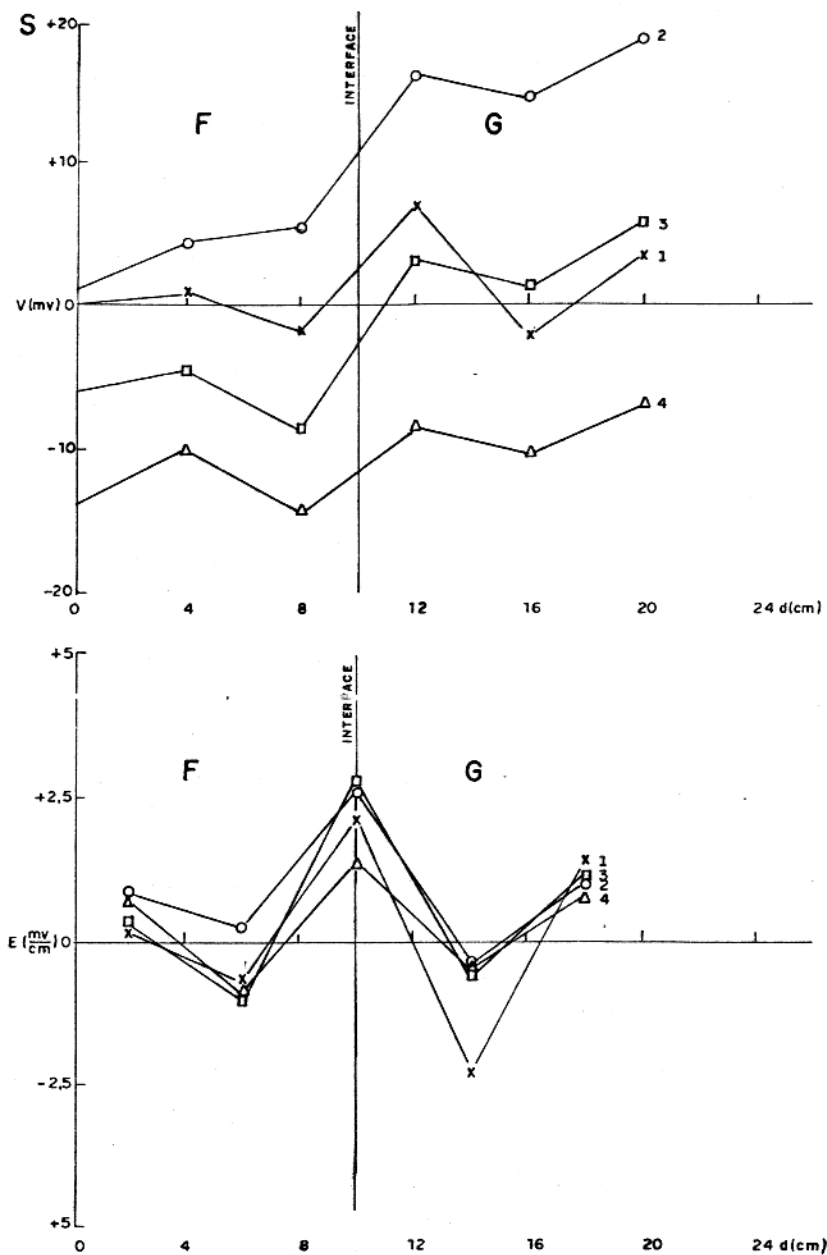


FIGURA - 33 - PERFIS DO POTENCIAL ESPONTÂNEO RELATIVO E GRADIENTE DO POTENCIAL PARA OS SOLOS F-G EM SECO.

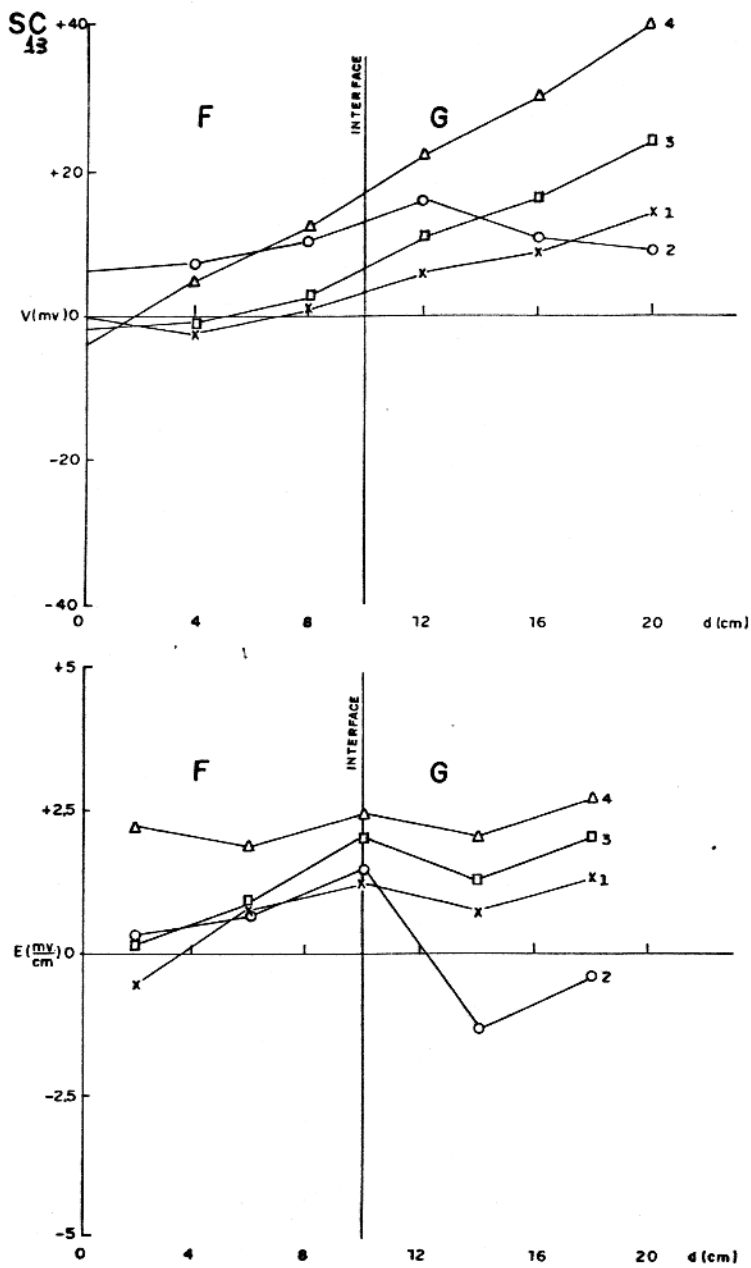


FIGURA-34- PERFIS DO POTENCIAL ESPONTÂNEO RELATIVO E GRADIENTE DO POTENCIAL MEDIDO 13 HORAS APÓS HAVER-SE SIMULADO CHUVA SOBRE OS SOLOS F-0.

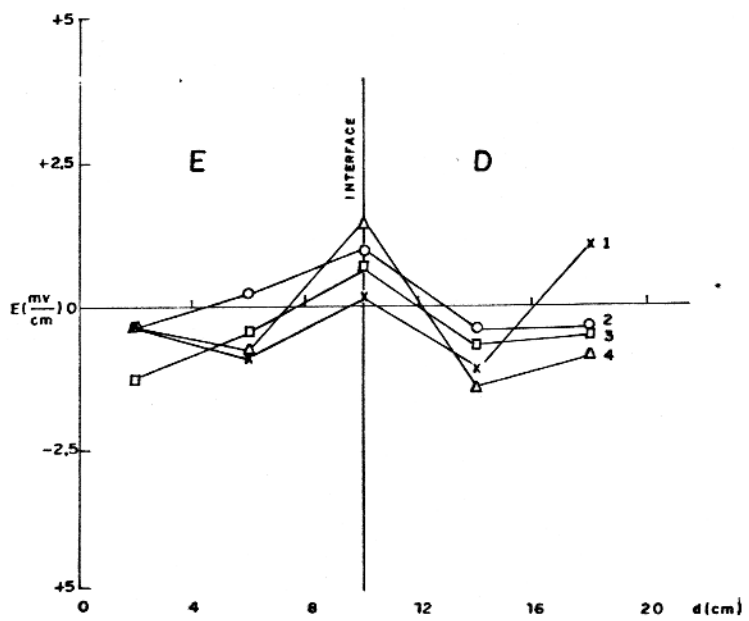
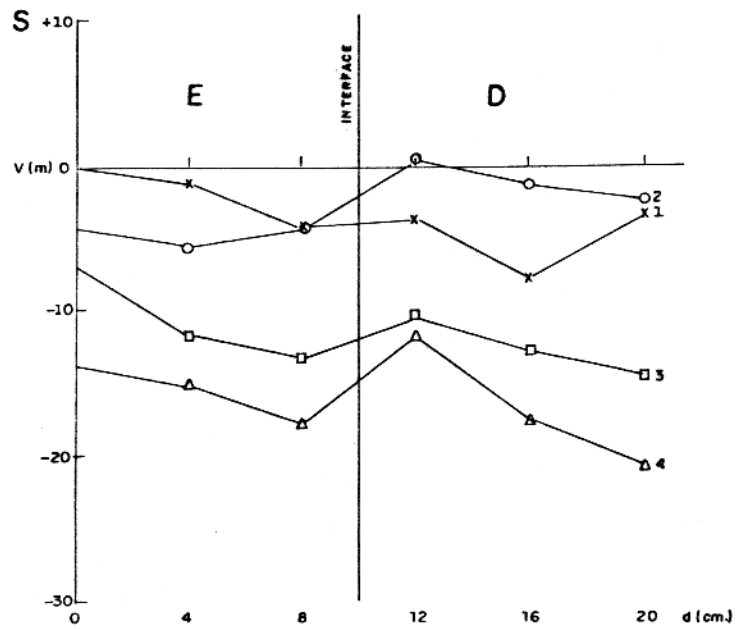


FIGURA-35 - PERFIS DO POTENCIAL ESPONTÂNEO RELATIVO E GRADIENTE DO POTENCIAL PARA OS SOLOS E-D SECOS.

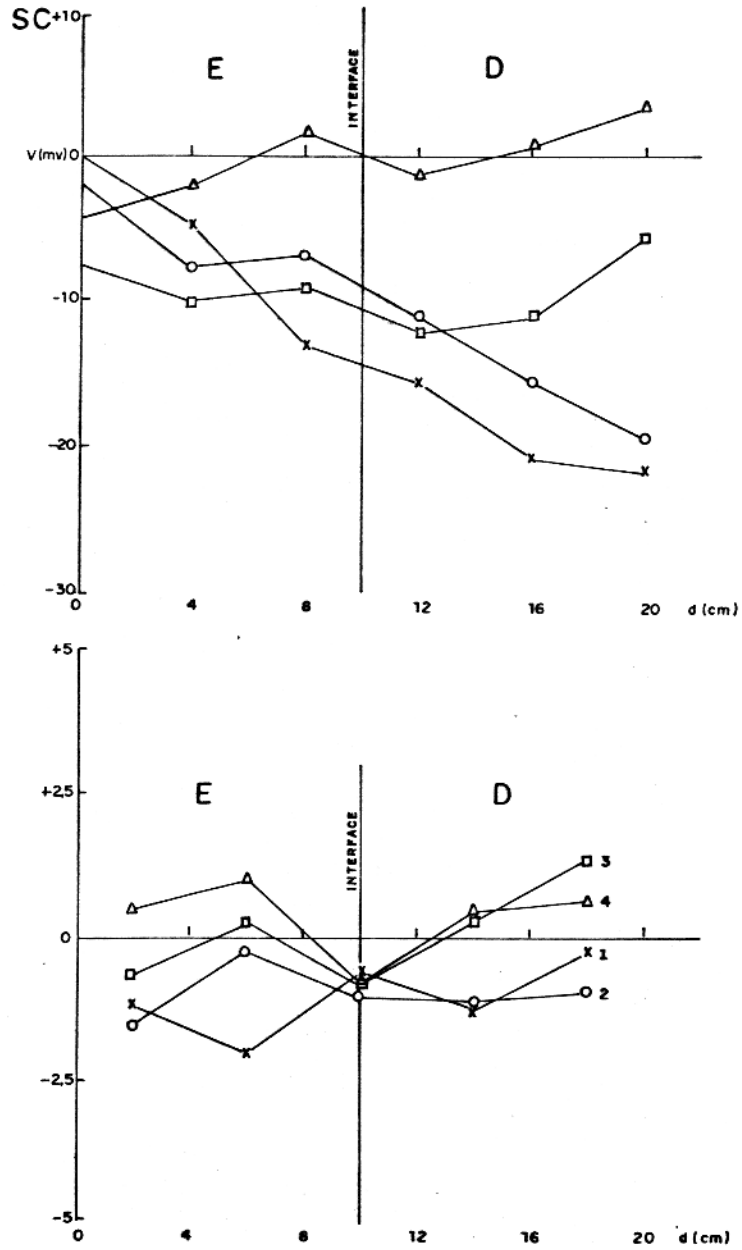


FIGURA-36- PERFIS DO POTENCIAL ESPONTÂNEO RELATIVO E GRADIENTE DO POTENCIAL PARA OS SOLOS E-D COM SIMULAÇÃO DE CHUVA.

Observa-se que quando simulou-se chuva sobre este par alguns valores de P.E aumentaram e outros decresceram relativamente. Os acréscimos mais acentuados foram para a linha 4, e muito ligeiramente para alguns pontos da linha 3, na parte do solo D. A medida foi efetuada simultâneamente após haver-se lançado água sobre o par. A temperatura ambiente era de 30°C e a umidade relativa ambiente de 70%.

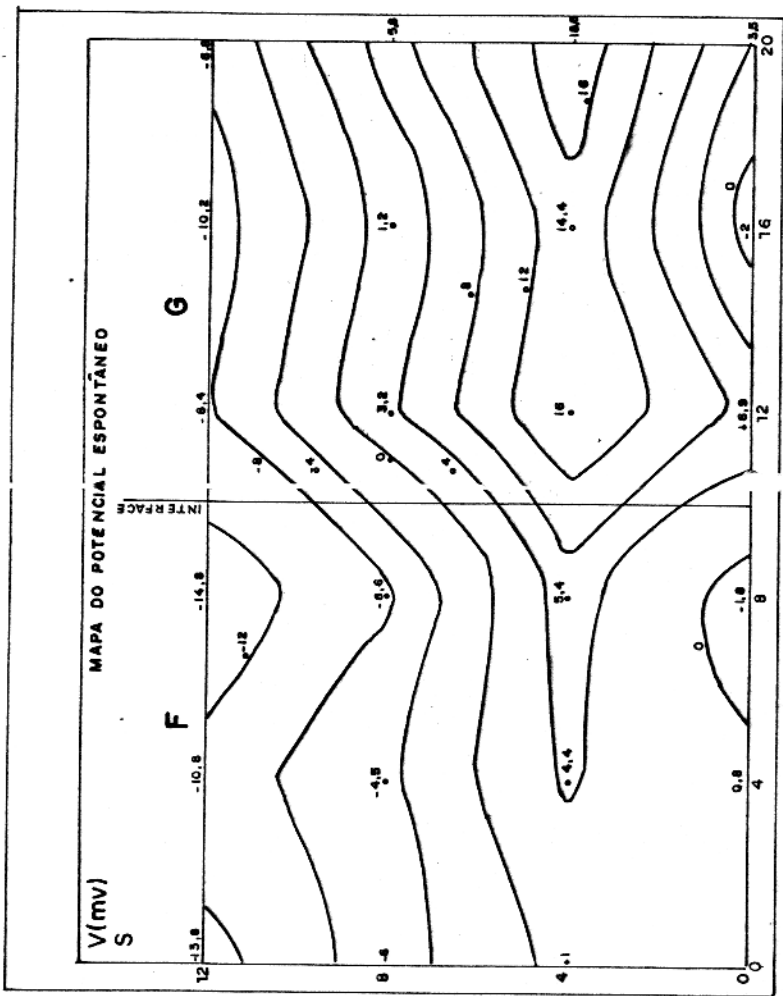
#### Figuras 37 a 40

As figuras 37 e 38 são mapas de potencial para o par formado pelos solos F-G, a seco e simulando-se chuva respectivamente. As fig. 39-40 representam mapas a seco e simulando chuva, para o par formado pelos solos E-D.

Para o par F-G, as medidas do Potencial Espontâneo, efetuou-se 13 horas após haver-se simulado chuva sobre a sua superfície. Para o par de solos E-D, as medidas foram efetuadas, simultâneamente após simular-se chuva. Em termos de mapas de potencial, não tem-se indicações claras, sobre a variação no contato dos materiais, como acontece nos perfis.

#### Figuras 41 a 45

Este grupo de figuras representam perfis de Gradiente do Potencial, medidos todos somente sobre a linha L<sub>2</sub>, para cada par de solos. Os dados foram lidos em diferentes horas após haver-se simulado chuva. Observa-se que embora existindo variações pontuais, em um aspecto geral apresentam tendência



MAPA DO POTENCIAL ESPONTÂNEO

FIGURA-37 - MAPA DO POTENCIAL ESPONTÂNEO RELATIVO PARA OS SOLOS F-G EM SECO

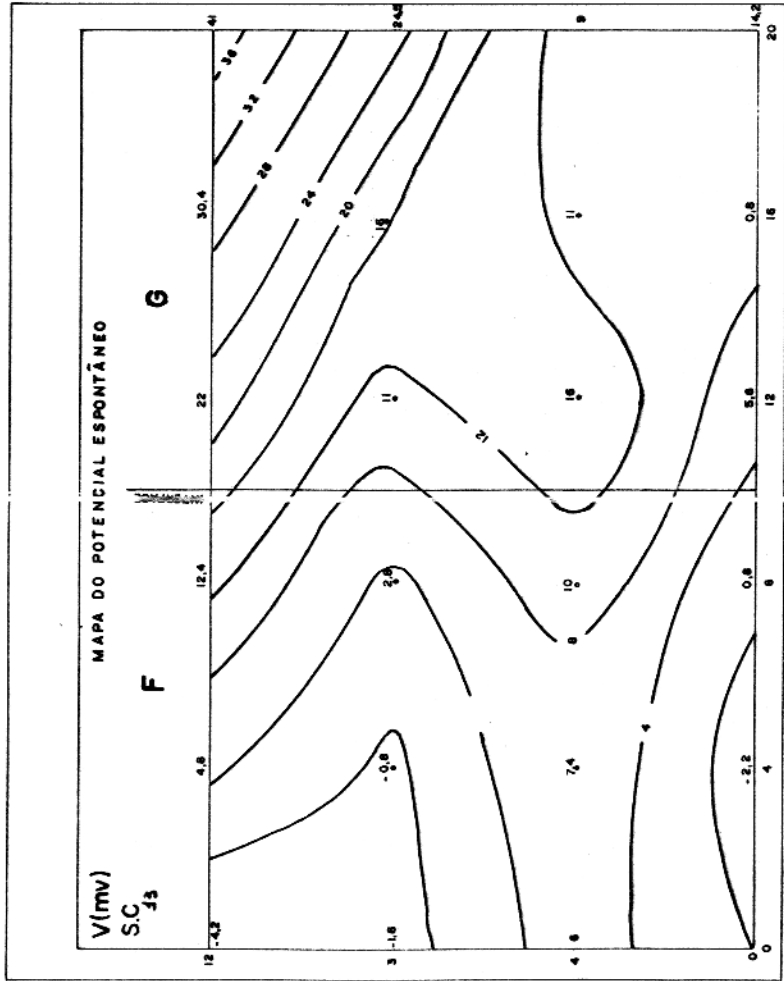


FIGURA - 38 - MAPA DO POTENCIAL ESPONTÂNEO RELATIVO PARA OS VALORES OBTIDOS 13 HORAS APÓS HAVER-SE SIMULADO CHUVA SOBRE OS SOLOS F-G.

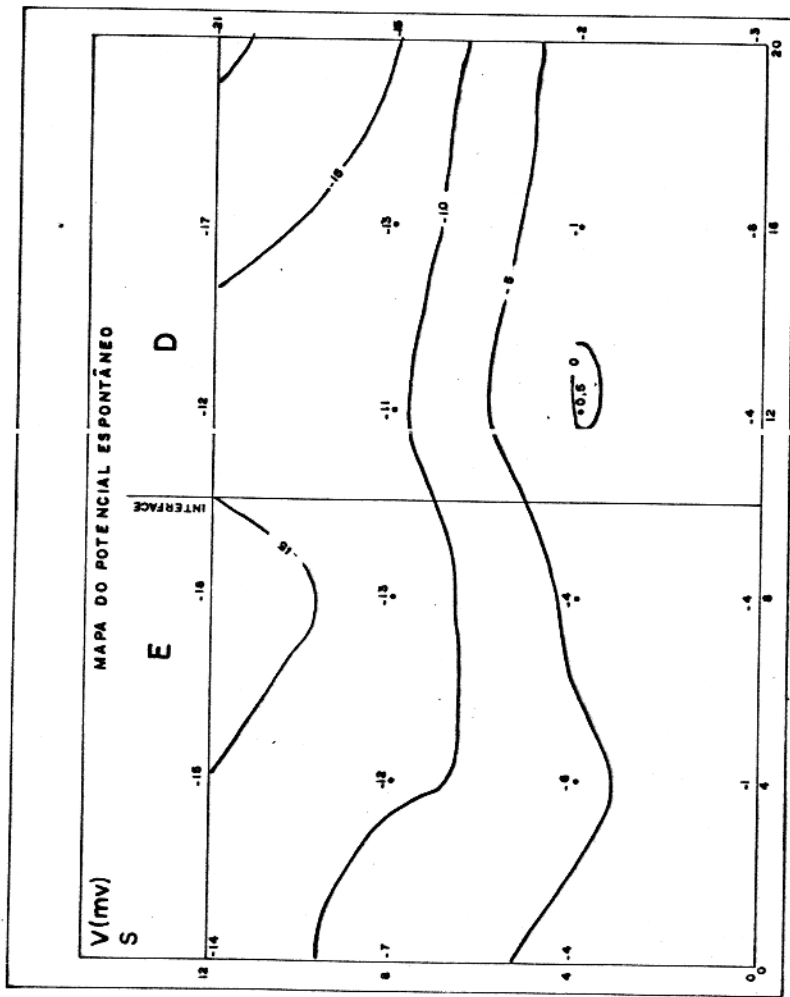


FIGURA-39 - MAPA DO POTENCIAL ESPONTÂNEO RELATIVO PARA OS SOLOS E-D SECOS.



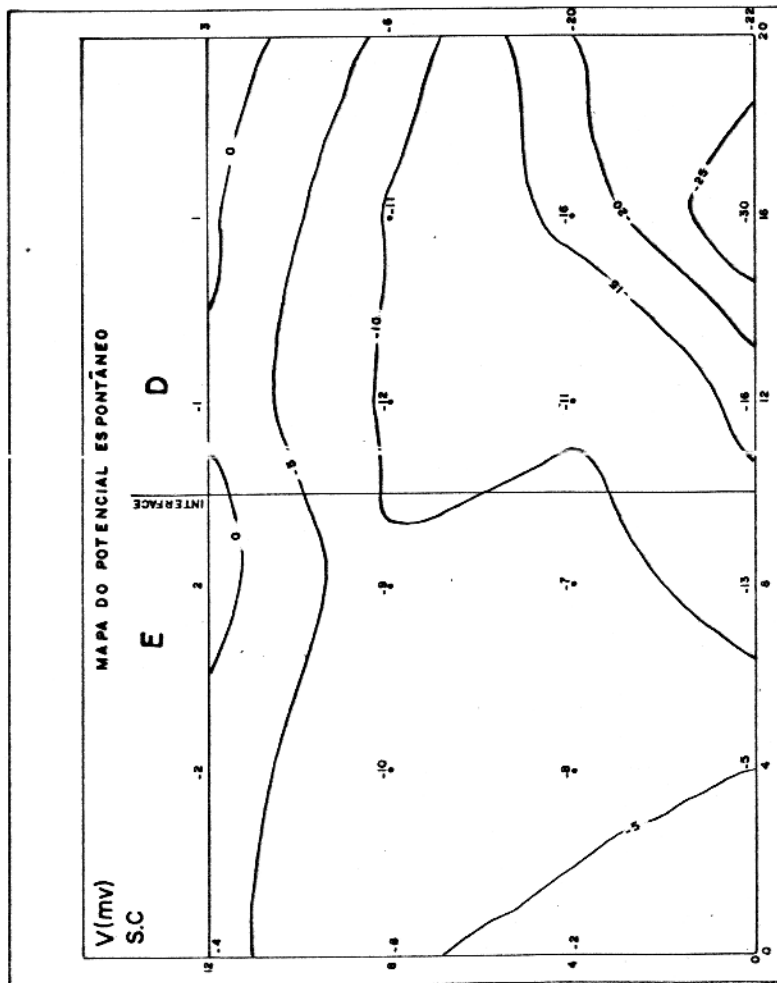


FIGURA-40 - MAPA DO POTENCIAL ESPONTÂNEO PARA OS SOLOS E-D COM SIMULAÇÃO DE CHUVA.

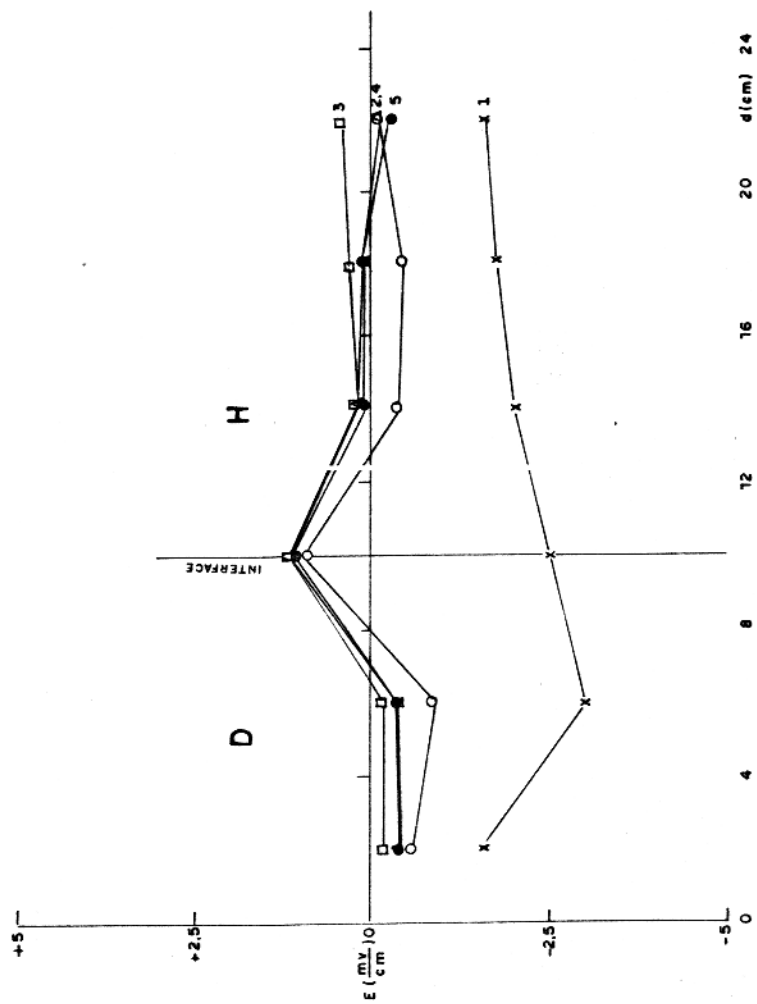


FIGURA-41 - PERFIS DO GRADIENTE DO POTENCIAL PARA VALORES MEDIDOS SIMULTANEAMENTE COM A CHUVA E VARIAS HORAS APOS, SOBRE A LINHA L.R. RESPECTIVAMENTE SC (□), H05 (○), H12 (○), H16 (X), H20 (○), H24 (X). H05 (Δ), H120 (●).

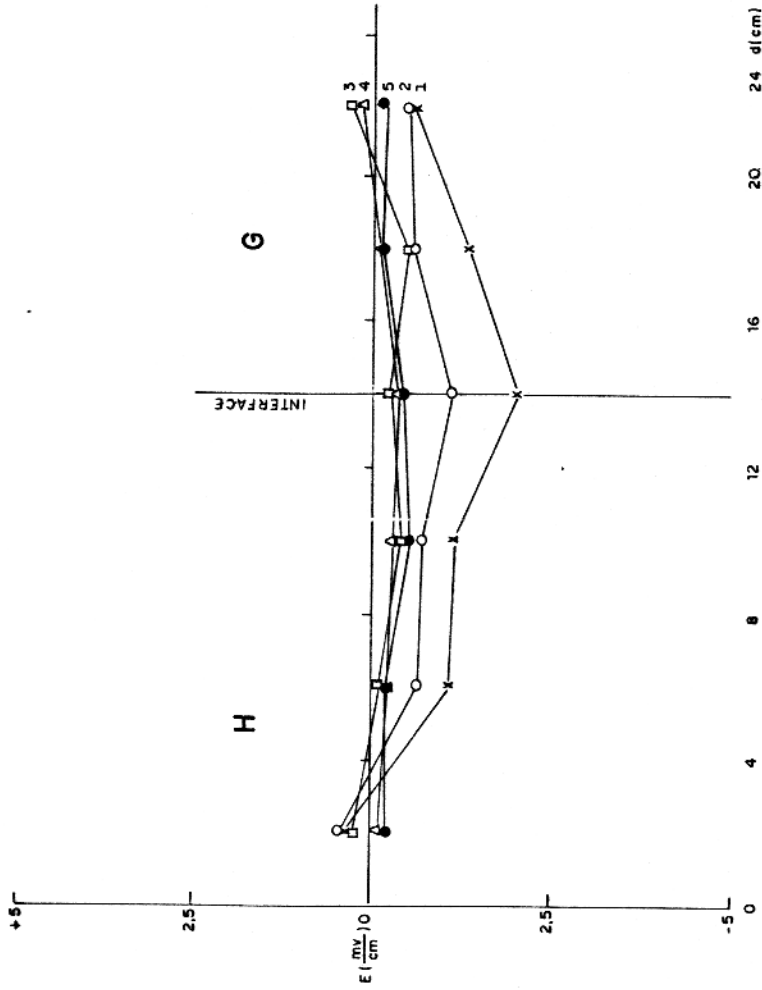


FIGURA -42 - GRADIENTE DO POTENCIAL PARA OS SOLOS H-G VALORES OBTIDOS SOBRE A LINHA L3 COM DADOS MEDIDOS RESPECTIVAMENTE 6(x), 72(O), 96(□), 144(●) HORAS APÓS SE SIMULAR-SE CHUVA.

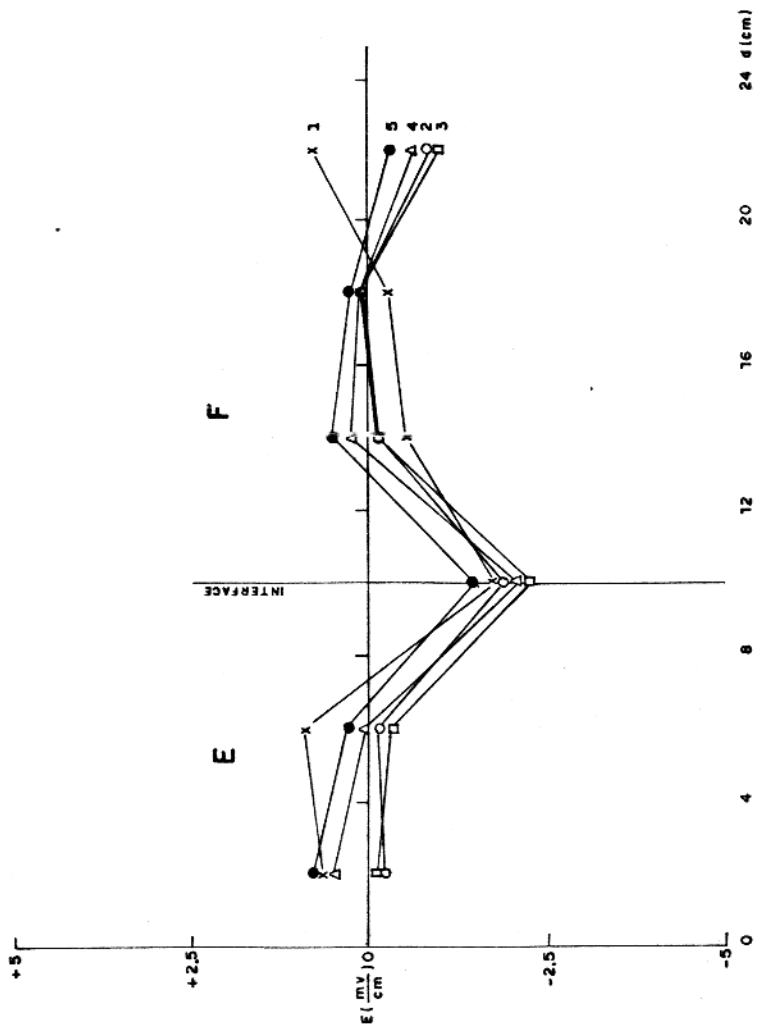


FIGURA-43 - PERFIS DO GRADIENTE DO POTENCIAL PARA VALORES OBTI-  
DOS RESPECTIVAMENTE 10 (x), 48 (O), 72 ( $\Delta$ ), 96 ( $\square$ ), 120 ( $\bullet$ ),  
HORAS APÓS HAVER-SE SIMULADO CHIIVA SOBRE OS SOLUÇ  
E-F.

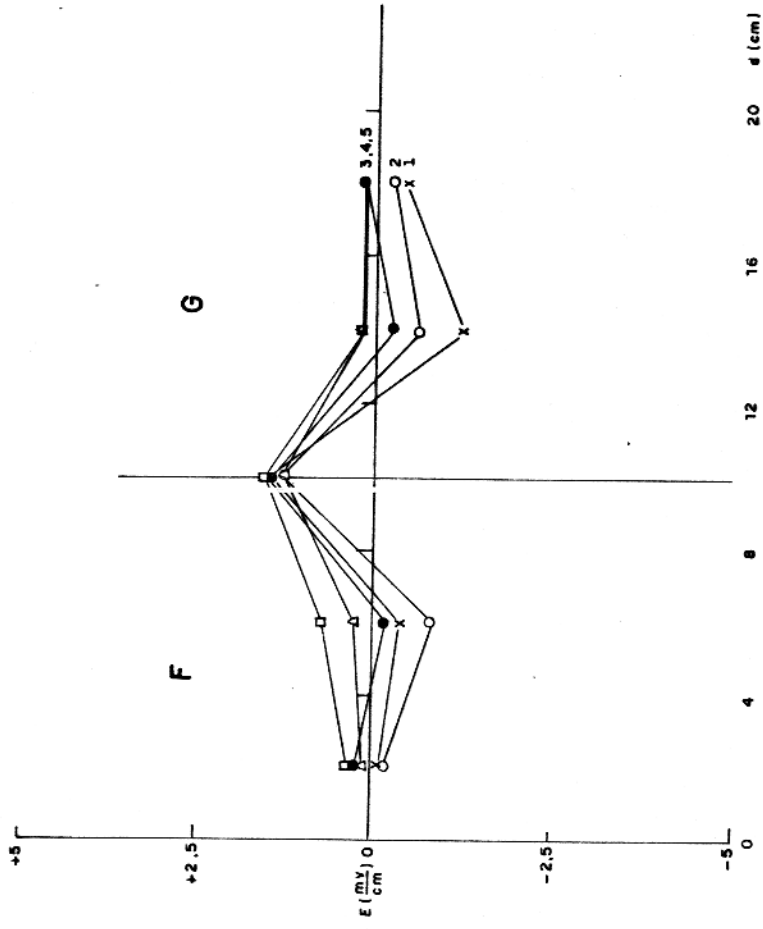


FIGURA-44 - PERFS DO GRADIENTE DO POTENCIAL PARA VALORES MEDI-  
DOS RESPECTIVAMENTE 13 (x), 48 (O), 72 (Δ), 120 (Λ)  
144 (⊗) HORAS APOS HAVER-SE SIMULADO CHUVA SOBRE OS  
SOLOS F-8.

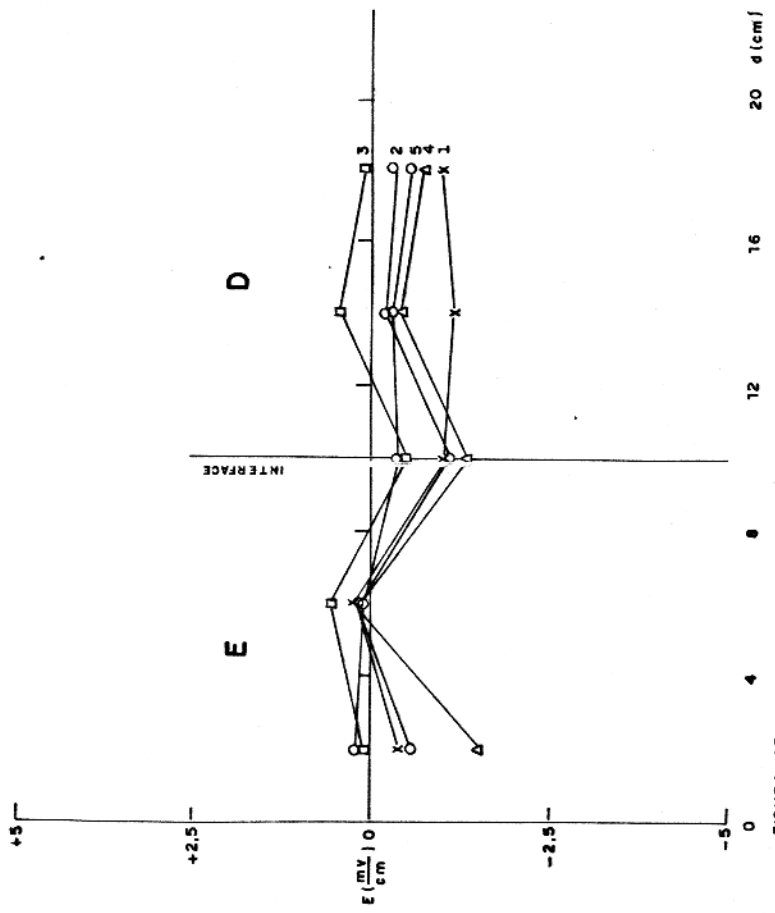


FIGURA-45 - PERFIS DO GRADIENTE D O POTENCIAL PARA DADOS OBTIDOS SIMULANDO CHUVA, 8 (O), 24 (D), 48 (Δ), 72 (Δ), 120 (●) HORAS APOS SIMULAR-SE CHUVA RESPECTIVAMENTE.

de convergência para um equilíbrio.

### 3.6. Interpretação

Os solos D e H formam o par apresentado nas fig. (27 e 28) cujos valores médios de Potencial Espontâneo entre os dois solos é aproximadamente 15 mv e 20 mv respectivamente para solos secos e com simulação de chuva.

Os solos H-E, fig. (29-30), apresentam diferença entre os valores médios de Potencial Espontâneo em torno de 8mv e 16 mv respectivamente para solos em seco e com simulação de chuva.

Nas figuras (31-32) tem-se o par formado pelos solos E-F apresentando diferença entre os valores médios de potencial relativo entre os solos em torno de 13 mv e 7 mv, medidos respectivamente nas duas fases (seco e simulando chuva).

O par formado pelos solos F-G com perfis representados nas fig (33-34) apresentam diferença de valores médios de Potencial Espontâneo relativo entre os dois solos de aproximadamente 8 mv e 10mv a seco e quando simulou-se chuva respectivamente.

Nas figuras (35-36) tem-se o par formado pelos solos E-D apresentando variação entre os valores médios de P.E entre os solos em torno de 2 mv e 4 mv correspondendo a situação em seco e com simulação de chuva.

Nas fig. (41-45) tem-se a variação dos valores do

gradiente de potencial sobre uma mesma linha ( $L_2$ ), para diferentes intervalos de tempo após haver-se saturado a base, estes perfis indicam a tendência do potencial em convergir para valores estáveis, após certo intervalo de tempo.

Na fig. 46 tem-se um perfil para valores de Potencial Espontâneo medidos no campo sobre a LT 6000 NE e o correspondente perfil geológico, apresentando um valor médio para o valor de campo em torno de 80 mv.

Dos valores de Potencial Espontâneo obtidos em laboratório e comparados com o perfil de campo comprova-se que as variações nos valores de potencial Espontâneo podem ser gerados pela influência da camada de solo (20 a 30 m no campo) e não necessariamente devido a uma rocha localizada a maior profundidade.

O Potencial Espontâneo medido sobre os diversos solos residuais é provavelmente de origem química. Os solos formadores dos diversos pares apresentam diferentes composição química, um eletrólito ao entrar em contato com o par vai assimilar diferentes elementos químicos o que resulta nas diferentes concentrações apresentadas, originando-se assim um potencial químico (Potencial de concentração). A máxima diferença de potencial entre dois solos medidos no laboratório foi em torno de 20 mv.

Para detalhar-se como e de que forma ocorre esta variação nos valores de potencial faz-se necessário maior número de amostragem de campo e mais cuidado no tratamento destas a



PROJETO CARAJÁS - ÁREA MM<sub>1</sub>  
LT 6000 NE - CONVÊNIO UFPa - DOCEGEO  
07/03/77

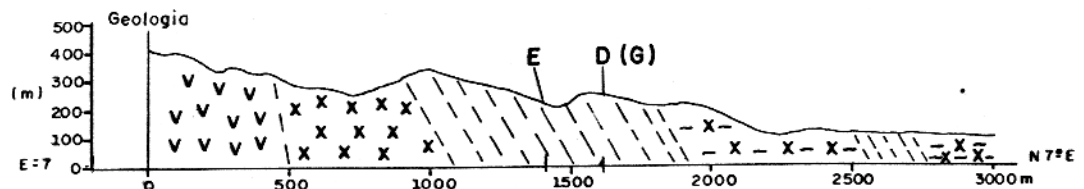


FIG. 46 - PERFIL DO POTENCIAL ESPONTÂNEO PARA LINHA LT 6000 NE OBTIDO COM DADOS DE CAMPO. A ESCALA DE VALORES A ESQUERDA É DADA EM MILIVOLT. TEM-SE ABAIXO O PERFIL GEOLÓGICO CORRESPONDENTE COM A ESCALA EM METRO (DOCEGEO). E, E D (G) SÃO LOCAIS DE COLETAS DOS REFERIDOS SOLOS.

mostras, mais dados de laboratório e uma análise química detalhada dos solos da área.

#### 4. ANÁLISE DE ERROS

##### 4.1. Polarização de Eletrodos

As diferenças de potencial lidas no instrumento incluem a diferença de potencial entre as polarizações dos eletrodos, que não são nulas, podendo ser minimizadas ao máximo, quando devido cuidado é tomado na preparação dos eletrodos. Neste trabalho foi verificado que geralmente a polarização de eletrodo era da ordem de  $\pm 0,05$  milivolt.

##### 4.2. Correção de Leitura

As leituras obtidas tem uma precisão dada pelo aparelho de medida da ordem de  $\pm 0,003$  mv.

##### 4.3. Correção para Separação entre Eletrodos

Um erro muito comum é resultante do operador quando da colocação dos eletrodos em suas posições.

Para este trabalho estima-se esta variação na ordem de  $\pm 0,2$  mm, o que nos dá uma incerteza de  $15 \pm 0,2$  mm e  $40 \pm 0,2$  mm.

## CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi esclarecer dúvidas quanto as variações observadas nos valores de Potencial Espontâneo obtidos no campo.

Este trabalho não segue a forma comum de estudo de P.E em modelos de laboratório, e que consiste em simular-se zonas de mineralização bem definida. Neste estudo em laboratório com a aplicação do método Geofísico de Potencial Espontâneo, simulou-se zonas de contato entre diferentes tipos de rochas e entre diferentes solos residuais. As medidas foram tomadas sobre a superfície dos pares formados, observando-se suas variações e correlacionando-as com observações de campo. Dentre a bibliografia consultada sobre o assunto não se encontrou nem um trabalho desenvolvido sobre este aspecto, o que nos leva a considerar ser este o primeiro trabalho em termos de P.E com este enfoque.

As variações de potencial medido para rochas e solos no laboratório apresentam diferença entre valores médios relativos de aproximadamente 50 mv e 5 mv. O trabalho é positivo e indica que apreciáveis variações nos valores de Potencial Espontâneo pode ser gerada pela influência da camada de solo ou devido a contato entre diferente rochas no campo.

Este trabalho poderia entretanto ter sido muito mais informativo, caso tivéssemos controle sobre outros fatores que influem nas variações do Potencial Espontâneo tais como permeabilidade, condutividade, velocidade de ascensão do fluxo e estudo

detalhado sobre a composição química, mesmo assim o trabalho apresenta um resultado positivo indicativo das possíveis fontes que influem nos valores de P.E observados e informação quanto a variação destes valores na área de campo.

Deixa as interrogações. Como realmente haverá contribuído a velocidade de movimento do eletrólito no processo ocorrido? Quais são realmente os elementos ou minerais que na formação dos solos residuais contribuem mais para a variação verificada?

AGRADECIMENTOS:

Agradeço,

Ao Dr. Román Alvaréz Béjar pela orientação e estímulo ao desenvolvimento deste trabalho.

Ao Dr. William Sauck pela co-orientação e discussões que elucidaram alguns pontos básicos deste trabalho.

Ao Dr. Luiz Rijo, pelas críticas e discussões.

Ao professor José Aírton Cavalcante de Paiva, pela cooperação e incentivo nos trabalhos de campo.

Agradeço ao Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq, através do Programa Trópico Úmido da Superintendência de Programas, o financiamento de meu estágio na Universidade Nacional Autónoma de México-UNAM.

A Universidade Federal do Pará por ter permitido meu afastamento, e em parte financiado meu estágio na U.N.A.M.

A coordenação do Instituto de Geofísica da Universidade Nacional Autónoma de México (UNAM) pela utilização de seus laboratórios e oficina.

Ao Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas-NCGG, na pessoa de seu Coordenador Dr. José Seixas Lourenço, por haver contribuído para que o estágio na U.N.A.M. se tornasse realidade.

Ao Departamento de Física, por ter permitido meu afastamento para a realização do estágio na U.N.A.M.

Agradeço aos meus irmãos e amigos pelo carinho, apoio e incentivo a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS:

- . ANDERSON, L. and JOHNSON, G.; 1976; Application of the self Potential Method to Geothermal Exploration in Long Valley, California - Journal of Geophysical Research, Vol 81, nº 8, p. 1527-1532.
- . BEISIEGEL, V.R. et al.; 1973; Geologia e Recursos Minerais da Serra dos Carajás; Revista Brasileira de Geociências, vol. 3, nº 4, p. 215-242.
- . BOGOSLOVSKY, V.A. and OGILVY, A.A.; 1969; Geophysical Studies of Water Leakages from Reservoir; Geophysical Prospecting 17, p. 36-62.
- . BOGOSLOVSKY, V.A. and OGILVY, A.A.; 1970; Natural Potential Anomalies as a Quantitative Index of the Rate of Seepage From Water Reservoirs; Geophysical Prospecting, Vol. 18, p. 261-268.
- . BOGOSLOVSKY, V.A. and OGILVY, A.A.; 1972; The study of Streaming Potentials on Fissured Media Models; Geophysical Prospecting, Vol. 20, p. 109-117.
- . CORWIN, R.; 1973; Offshore Application of Self Potential Prospecting; Ph.D, Thesis University of California, Berkeley p. 303.
- . DIAS, S.; 1976; Tratamento Quantitativo de Anomalias de Potencial Espontâneo, Tese de Mestrado, Universidade Federal do Pará, p. 118.



- . DOBRIN, M.B.; 1976; Introduction to Geophysical Prospecting, Mc Graw-Hill Book Company, p. 620.
- . DOLL, H.G.; 1948; The S.P log: Theoretical Analysis and Principles of Interpretation; Trans. AIME, vol. 186, p.17
- . FUJITA, U.; 1926; Results Obtained by the Schlumberger Method of Electrical Prospecting, Mem. Coll. Eng. Kyoto, vol. 4, p. 63-90.
- . FOX, R.M.; 1830; On the Electromagnetic Properties of Metalliferous Veins in the Mine of Cornwall, Royal Society of London, Philosophical Transactions, Part 2, p. 399-414.
- . GARRELS, R.M. and CHRIST, C.L.; 1965; Solutions, Minerals and Equilibria, Harper and Row, New York, p. 450.
- . GAY, S.P. Jr.; 1967; A 1800 Millivolt Self Potential Anomaly near Hualgayoc, Peru; Geophysical Prospecting, vol. 15, p. 236-245.
- . GLASSTONE, S.; 1942; Introduction to Electrochemistry, Van Nostrand Co., p. 557.
- . GOUNDOIN, M., TIXIER, P., SIMARD, G.; 1957; An Experimental Study on the influence of the Chemical Composition of Electrolytes on the S.P. Curves; Trans.Soc.Petroleum Engineers, Vol. 210, p. 58.
- . HEILAND, C.A.; 1940; Geophysical Exploration; Pretince-Hall, New York, p. 1013.
- . KELLER, G.V. and FRISCHKNECHT, F.C.; 1966; Electrical Methods in Geophysical Prospecting, Pergamon Press, Oxford, p. 519.

- . KELLER, G.V. and FRISCHKNECHT, F.C.; 1966; Electrical Methods in Geophysical Prospecting, Pergamon Press, Oxford, p. 519.
- . KELLY, S.F.; 1945; Discussion on paper by Rao, M.B.R., Spontaneous Polarization Surveys near Guaddarangavvarahalli Chitaldrug, Mysors State, India: Transactions American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, v. 164, p. 107-116.
- . KORYTA, J., DVORAK, J., BOHAVKOVA, V.; 1972; Electrochemistry, Methuen, p. 350.
- . KRUGER, F.C. and LACY, W.C.; 1949; Geological Exploration of Geophysical Anomalies near Cerro de Pasco, Peru, Economic Geology, Vol. 44, n° 6.
- . MAC INNES, D.A.; 1961; The Principles of Electrochemistry, Dover Publications, Inc. New York, 478 p.
- . MARON, S., PRUTTON, C.; Fundamentos de Físico-Química, Wiley, S.A., 900 p.
- . MARTIN, M.; 1956; S.P. and Conventional Resistivity Log, in Fundamentals of Logging presented at Petroleum Engineering Conference, University of Kansas, p. 15-45.
- . MEISER, P.; 1962; A Method for Quantitative Interpretation of Self Potential Measurements, Geophysical Prospecting, Vol. 10 n° 2, p. 203-218.
- . MANTELL, C.; 1962; Ingeniería Electroquímica, Editorial Reverte, S.A., 646 p.

- . ORELLANA, E.; 1972; Prospeccion Geoelectrica en Corriente Continua, Paraninfo (Madrid), 523 p.
- . PAUL, M.K.; 1965; Direct interpretation of Self Potential Anomalies Caused by Inclined Sheets of Infinite Horizontal Extensions, Geophysics, Vol. 30, n° 3, p. 418-423.
- . PAULING, L.; 1970; General Chemistry, Freeman, 955 p.
- . PETROWSKI, A.; 1928; The Problem of a Hidden Polarized Sphere, Philosophical Magazine, Vol. 5, n° 28, p. 334-353, n° 31, p. 914-933.
- . PIRSON, J.S.; 1963; Handbook of well Log Analysis for Oil and Gas, Prentice, Hall Inc., Englewood Cliffs N.J. 200 p.
- . POLDINI, E.; 1938, 1939; Geophysical Exploration bu Spontaneous Polarization Methods: The Mining Magazine, Vol. 59, p. 278-282; 347-352, Vol. 60, p. 22-27, 90-94.
- . SATO, M.; 1960; a) Óxidation of Sulfide Ore Bodies, II, Oxidation Mechanism of Sulfide Minerals, at 25°C, Economic Geology, Vol. 55, p. 1202-1231.
- . SATO, M. and MOONEY, H.M.; 1960; The Eletrochemical Mechanism of Sulfide Self Potentials, Geophysics, Vol. 25, n° 1, p. 226-249.
- . Schlumberger Log Interpretation Chart, 1975, Vol. I, 156 p. Schlumberger Limited, New York.
- . STERN, W.; 1945; Relation Between Spontaneous Polarization Curves and Depth, Size and Dip of Ore Bodies, Transaction of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, Vol. 164, p. 189-196.

RIOLITO (R<sub>1</sub>) - BASALTO (B<sub>H</sub>)

X	Y	V <sub>R</sub> (S)	V <sub>R</sub> (H)	V <sub>R</sub> (H <sub>16</sub> )	E(S)	E(H)	E(H <sub>16</sub> )
1.5	0	-8	-10	-4	-5,33	-6,7	-2,7
3		-48	-12	-6,5	-26,7	-1,33	-1,7
4.5		-91	+12	+10,5	-28,7	+16	+11,3
6		-90	+22	+14,5	+0,7	+6,7	+2,7
7.5		-89,5	+29	+17	+0,3	+4,7	+1,7
1º ponto zero		-30	-2	-2,5	-	-	-
1.5	1.5	-49	-10	-7,5	-12,7	-5,3	-3,3
3		-101	-8	-7	-34,7	+1,3	+0,3
4.5		-115	+12	+1	-9,3	+13,3	+5,3
6		-109	+18	+4	-4	+4	+2
7,5		-119	+32	+10	-6,7	+9,3	+4
2º ponto zero		-21	+4	-1,5	-	-	-
1.5	3	-58	-1	-8,5	-24,7	-3,3	-4,7
3		-86	+1	-9	-18,7	+1,3	-0,3
4.5		-119	+26	+3	-22	+16,7	+8
6		-118,5	+27,5	-3	+0,33	+1	-4
7.5		-136,5	+32,5	-2,5	-12	+3,3	+0,3
3º ponto zero		-28	+14	+1,5	-	-	-
1.5	4.1	-47	+10	-6,5	-12,7	-2,7	-5,3
3		-67	+5,8	-11,5	-13,3	-2,8	-3,3
4.5		-121	+28,8	-2,5	-36	+15,3	+6
6		-123	+29,8	-10	-1,33	+0,7	-5
7.5		-132	+31,8	-7	-6	+1,3	+2

- . VAN NOSTRAND, R.G., and COOK, K.K.; 1966; Interpretation of Resistivity Data, Geological Survey, Professional Paper, n° 499, V.S. Government Printing Office, Washington D.C., 310 p.
- . YUNGUL, S., 1950, Interpretation of Spontaneous Polarization Anomalies Caused by Spherical Ore bodies, Geophysics, Vol. 15, n° 2, p. 237-240.
- . de WITTE, L.; 1948; A new method of Interpretation of Self Potential Field Data, Geophysics, vol. 13, n° 4, p. 600 - 608.
- . WYLLIE, M.; 1958; A Quantitative Analysis of the Electrochemical Component of the S.P Curve; Petroleum Transactions Reprint Series, n° 1, Well Logging, p. 5-14.
- . WILCKENS, F.; 1955; The basis of the self-potentials Method, Geophysics vol. 21, p. 25-40.

APÊNDICE nº 1 : Valores de Potencial Espontâneo e Gradiente Potencial Medidos Sobre os Vários Pares de Rocha.

Dados referentes aos valores relativos do Potencial Espontâneo e Gradiente do Potencial, para condições a seco (S), saturado (H). Os valores de H que apresentam um índice indica que este valor foi obtido tantas horas conforme o indicado no índice, após haver-se saturado a base.

Nestas tabelas  $V_r$  implicará valor relativo do Potencial Espontâneo, E corresponde ao gradiente do potencial. Os valores de X (cm) correspondem a separação dos eletrodos sobre a linha do perfil e y (cm) é a separação entre as linhas. Os valores do potencial são expressos em milivolt (mv) e os valores do gradiente do potencial estão expressos em milivolt por centímetro (mv/cm).

RIOLITO (R<sub>1</sub>) - BASALTO (B<sub>H</sub>)

X	Y	V <sub>R</sub> (S)	V <sub>R</sub> (H)	V <sub>R</sub> (H <sub>16</sub> )	E(S)	E(H)	E(H <sub>16</sub> )
1	0	-0,8	+0,5	-5	-0,8	+0,5	-5
2		+6,2	+1,5	-9	+7	+1	-4
3		-28,8	+8,5	-15	-35	+7	-6
4		-68,8	+27,5	-8	-40	+19	+7
5		-75,8	+43,5	-3	-7	+16	+5
6		-70,8	+51,5	-3,3	+5	+8	-0,2
7		-67,3	+57,5	-7,3	+3,5	+6	-4
1º ponto zero		-1	-1	-7	-	-	-
1	1	-8	+2	-13	-7	+3	-6
2		-6	+4	-20,8	+2	+2	-7,8
3		-46	0	-25,3	-40	-4	-4,5
4		-58	+6,5	-21,3	-12	+6,5	+4
5		-61	+8,5	-20,3	-3	+2	+1
6		-64,5	+11	-25,8	-3,5	+2,5	-5,5
7		-69,5	+10	-27	-5	-1	-1,2
2º ponto zero		-14	-3	-12	-	-	-
1	2	-36	-14	-21	-22	-11	-9
2		-67	-19	-26,5	-31	-5	-5,5
3		-81	-22	-30	-14	-3	-3,5
4		-87	-1	-21	-6	+21	+9
5		-88	+0,5	-29	-1	+1,5	-8
6		-95	+8,5	-31	-7	+8	-2
7		-106	+20,5	-33,5	-11	+12	-2,5
3º ponto zero		-6	0	-13	-	-	-
1	3	-36	-7	-25	-30	-7	-12
2		-51	-5	-32	-15	+2	-7
3		-50	+2	-37	+1	+7	-5
4		-78	+23	-29	-28	+21	+8
5		-77	+27	-35	+1	+4	-6
6		-75	+26,5	-44	+2	-0,5	-9
7		-68	+31,5	-49	-7	+5	-5
4º ponto zero		-5	+6	-19	-	-	-
1	4	-16	+4	-29	-11	-2	-10
2		-15	+11,2	-35	+1	+7,2	-6
3		-33	+10	-39	-18	-1,2	-4
4		-72	+31	-28	-39	+21	+11
5		-69	+36,5	-32	+3	+5,5	-4

4º ponto zero		-5	+6	-19	-	-	-
1	4	-16	+4	-29	-11	-2	-10
2		-15	+11,2	-35	+1	+7,2	-6
3		-33	+10	-39	-18	-1,2	-4
4		-72	+31	-28	-39	+21	+11
5		-69	+36,5	-32	+3	+5,5	-4
6		-67	+42,5	-37,2	+2	+6	-5,2
7		-61	+50	-33,7	-6	+7,5	+3,5
5º ponto zero		-1	+14	-13,5	-	-	-
1	5	-3	+13,5	-22,5	-2	-0,5	-9
2		-12	+11,5	-27	-9	-2	-4,5
3		-15	+8,5	-29	-3	-3	-2
4		-67	+22,7	-20	-52	+14,2	+9
5		-69	+12,7	-27	-2	-10	-7
6		-73	+15,2	-26	-4	+2,5	+1
7		-79	+20,4	-27	-6	+5,2	-1



RIOLITO (R<sub>1</sub>) - BASALTO (B<sub>H</sub>)

X	Y	V <sub>R</sub> (S)	V <sub>R</sub> (H)	V <sub>R</sub> (H <sub>16</sub> )	E(S)	E(H)	E(H <sub>16</sub> )
1.5	0	-8	-10	-4	-5,33	-6,7	-2,7
3		-48	-12	-6,5	-26,7	-1,33	-1,7
4.5		-91	+12	+10,5	-28,7	+16	+11,3
6		-90	+22	+14,5	+0,7	+6,7	+2,7
7.5		-89,5	+29	+17	+0,3	+4,7	+1,7
1º ponto zero		-30	-2	-2,5	-	-	-
1.5	1.5	-49	-10	-7,5	-12,7	-5,3	-3,3
3		-101	-8	-7	-34,7	+1,3	+0,3
4.5		-115	+12	+1	-9,3	+13,3	+5,3
6		-109	+18	+4	-4	+4	+2
7,5		-119	+32	+10	-6,7	+9,3	+4
2º ponto zero		-21	+4	-1,5	-	-	-
1.5	3	-58	-1	-8,5	-24,7	-3,3	-4,7
3		-86	+1	-9	-18,7	+1,3	-0,3
4.5		-119	+26	+3	-22	+16,7	+8
6		-118,5	+27,5	-3	+0,33	+1	-4
7.5		-136,5	+32,5	-2,5	-12	+3,3	+0,3
3º ponto zero		-28	+14	+1,5	-	-	-
1.5	4.1	-47	+10	-6,5	-12,7	-2,7	-5,3
3		-67	+5,8	-11,5	-13,3	-2,8	-3,3
4.5		-121	+28,8	-2,5	-36	+15,3	+6
6		-123	+29,8	-10	-1,33	+0,7	-5
7.5		-132	+31,8	-7	-6	+1,3	+2

CALCÁREO (C<sub>6</sub>) - BASALTO (B<sub>H</sub>)

X	Y	V <sub>R</sub> (S)	V <sub>R</sub> (H)	V <sub>R</sub> (H <sub>16</sub> )	E(S)	E(H)	E(H <sub>16</sub> )
1.5	0	-0,5	-0,5	-1	-0,3	-0,3	-0,6
3		-5,5	-5,5	-5	-3,3	-3,3	-2,6
4.5		-7	-0,5	-6,5	-1	+3,3	+1
6		-8	+7,5	-7,5	-0,7	+5,3	-1
7.5		-15	+14,5	-11	-4,7	+4,7	-2,3
1º ponto zero		-1,5	-1	-1	-	-	-
1.5	1.5	-4,5	-4	-5	-2	-2,0	-2,6
3		-8,5	-8	-7	-2,7	-2,7	-1,3
4.5		-13	-6	-10,5	-3	+1,3	-2,3
6		-8	+2	-9	+3,3	+5,3	+1
7.5		-5	+16	-6,5	+2	+9,3	+1,6
2º ponto zero		-2,5	-1,5	-1,5	-	-	-
1.5	3	-4,5	-2	-3	-1,3	-0,3	-1
3		-9,5	-3	-5,5	-3,3	-0,7	-1,6
4.5		-8,5	+3	-7	+0,7	+4	-1
6		-13,5	-2	-11,2	-3,3	-3,3	-2,8
7.5		-14,5	+6	-13,2	-0,7	+6	-1,3
3º ponto zero		-3,5	-2	-2,5	-	-	-
1.5	4.5	-3,8	0	-2,5	-0,13	+1,3	-0,3
3		-6,8	-3	-8	-2	-2	-3,6
4.5		3,8	+3	-4,5	+2	+4	+2,3
6		-12,8	+4,5	-9,5	-6	+1	-3,3
7.5		-5,8	+19,5	-5	+4,7	+10	+3

RIOLITO (R<sub>1</sub>) - BASALTO (V<sub>3</sub>)

X	Y	V <sub>R</sub> (S)	V <sub>R</sub> (H)	V <sub>R</sub> (H <sub>25</sub> )	E(S)	E(H)	E(H <sub>25</sub> )
1.5	0	-4	-1,5	-3	-2,7	-1	-2
		-6	+0,5	-2,7	-1,3	+1,3	+0,2
4.5		-14	+3	-5,7	-5,3	-2,3	-2
6		-19	-4,2	-7,2	-3,3	-0,8	-1
7.5		-18,7	-5,2	-11,2	+0,2	+0,7	-0,7
1º ponto zero		-0,3	-2,5	-2	-	-	-
1.5	1.5	-6,3	-4,5	-5,8	-4	-1,3	-2,5
3		-9,3	-3	-10,3	-2	+1	-3
4.5		-12,8	-9	-9,3	-2,3	-4	+0,7
6		-16,8	-9,5	-8,3	-2,7	-0,3	+0,7
7.5		-14,8	-10,5	-6,3	+1,3	-0,7	+1,3
2º ponto zero		-5,3	+2,3	+1	-	-	-
1.5	3	-1,3	+4,5	-4	+2,7	+1,3	-3,3
3		-2,8	+8,5	-7	-1	+2,7	-2
4.5		-4,8	+2,9	-5	-1,3	-3,7	+1,3
6		-3,8	+3,9	-4,5	+0,7	+0,7	+0,3
7.5		-5,3	+6,1	-3,5	-1	+1,5	+0,7
3º ponto zero		-0,3	+6	+4	-	-	-
1.5	4.5	+0,7	+7	+0,5	+0,7	+0,7	-2,3
3		-0,3	+5	0	-0,7	-1,3	0,3
4.5		-3,3	0	-4	-2	-3,3	-2,7
6		-4,3	-3,5	-3	-0,7	-2,3	+0,7
7.5		-5,3	-4,5	-1,5	-0,7	-0,7	+1

CALCÁREO (C<sub>6</sub>) - CALCÁREO (C<sub>3</sub>)

X	Y	V <sub>R</sub> (S)	V <sub>R</sub> (H)	V <sub>R</sub> (H <sub>2</sub> O)	E(S)	E(H)	E(H <sub>2</sub> O)
1.5	0	-0,3	+0,3	+0,3	-0,2	+0,2	+0,2
3		-0,8	-0,2	+0,6	-0,3	-0,33	+0,2
4.5		-2,8	-0,7	+0,3	-1,3	-0,33	-0,13
6		-3,1	-1,3	+0,6	-0,2	-0,2	+0,13
7.5		-2,8	-1,3	+0,9	+0,2	-0,2	+0,2
1º ponto zero		-1	-0,5	-0,3	-	-	-
1.5	1.5	-0,7	-1	-0,6	+0,2	-0,33	-0,2
3		-1,2	-1,3	-0,9	-0,33	-0,2	-0,2
4.5		-0,7	-0,8	+0,5	+0,33	+0,33	+0,90
6		-1,2	-1,1	+0,8	-0,33	-0,2	+0,2
7.5		-1,7	-1,6	+0,3	-0,33	-0,33	-0,33
2º ponto zero		-1,3	-0,8	-0,6	-	-	-
1.5	3	-1,8	-1,3	-0,9	-0,33	-0,33	-0,13
3		-1,5	-0,8	-0,6	+0,2	+0,33	+0,13
4.5		-1,0	+0,1	+0,2	+0,33	+0,6	+0,5
6		-0,7	+0,4	0	+0,13	+0,13	+0,13
7.5		-0,6	+0,3	-0,3	-0,12	+0,13	-0,13
3º ponto zero		-1,6	-0,5	-0,9	-	-	-
1.5		-1,3	-0,2	-1,2	+0,13	+0,27	-0,2
3		-1,6	0	-0,9	-0,13	+0,13	+0,2
4.5		-1,6	+0,6	-0,5	-0,33	+0,4	+0,27
6		-1,6	+0,3	-0,8	-0,13	-0,2	-0,2
7.5		-1,9	-0,6	-1,1	-0,13	+0,13	-0,2

BASALTO (B<sub>H</sub>) - BASALTO (B<sub>H</sub>)

X	Y	V <sub>R</sub> (S)	V <sub>R</sub> (H)	V <sub>R</sub> (H <sub>2</sub> O)	E(S)	E(H)	E(H <sub>2</sub> O)
1.5	0	-2,5	-1	-3	-1,7	-0,7	-2
3		-4	-0,5	-1,5	-1	+0,33	+1
4.5		-4,3	+2,5	-18,7	-0,2	+2	-11,57
6		-3,8	+5	-25,2	+0,33	+1,7	-4,3
7.5		-9,8	+3	-26,2	-4	-1,3	-0,7
1º ponto zero		-0,5	+2	+1,5	-	-	-
1.5	1.5	-2	+1,5	+0,5	-1	-0,33	+0,7
3		-4	+1,8	-0,5	-1,3	+0,2	-0,7
4.5		-3,5	+2,8	0	+0,33	+0,7	+0,3
6		-6,5	+3,1	-20	-2	+0,2	-13,3
7.5		-14,5	+2,1	-22,5	-5,33	-0,7	-1,7
2º ponto zero		-3,5	+1,0	+1	-	-	-
1.5	3	-5	+0,5	0	-1	-0,33	-0,7
3		-6	0	-0,5	-0,7	-0,33	-0,3
4.5		-5,5	+1,5	-14,5	+0,3	+1	+9,3
6		-6,5	+4	-20	-0,7	+1,7	-3,7
7.5		-12,5	+2	-21,5	-4	-1,33	-1
3º ponto zero		-7,5	+0,7	-1,5	-	-	-
1.5	4,5	-8,3	+0,4	-0,5	-0,53	-0,27	+0,7
3		-8,6	+0,1	-1,5	-0,2	-0,2	-0,7
4.5		-9,1	+0,4	-7,7	-0,33	+0,2	-4
6		-11,6	-0,6	-8,7	-1,7	-0,67	-0,7
7.5		-18,6	-1,4	-10,2	-4,7	-0,53	-1

APÊNDICE 2 - Valores de Potencial Espontâneo e Gradiente Potencial medido sobre solo residuais.

Em seqüência temos os valores para o Potencial Relativo e Gradiente do Potencial para os diversos pares constituídos de dois tipos de solos residuais. Nestas tabelas  $V_R$  corresponde ao valor relativo do potencial em mv, sendo  $E$  respectivamente o gradiente de potencial, em  $\frac{mv}{cm}$ , as letras S e S.C representam medidas com o sistema a seco (S) e quando sobre ele simulava-se chuva (S.C) respectivamente.

Quando S.C tras um índice significa que a medida foi efetuada tantas horas após haver-se simulado chuva. Quando não tem índice a medida foi efetuada simultaneamente com a simulação da chuva.

Os valores de  $X(cm)$  correspondem a separação dos eletrodos sobre a linha do perfil e  $y(cm)$  é a separação entre as linhas.

## D - H

X(cm)	Y(cm)	$V_R(mv)^S$	$V_R(mv)^{S.C}$	$E \frac{mv}{cm} S$	$E \frac{mv}{cm} S.C$
4	0	-10	-1,2	-2,5	-0,3
8		-20,6	-8,8	-2,7	-1,9
12		-31,6	-16,8	-2,8	-2
16		-34,6	-24,2	-0,8	-1,85
20		-35,4	-26,2	-0,2	-0,5
24		-36,2	-27	-0,2	-0,2
1º ponto zero		-12	-3,6	-	-
4	4	-21	-9,6	-2,25	-1,5
8		-28,5	-21,6	-1,9	-3
12		-37,7	-31,6	-2,3	-2,5
16		-38,9	-39,6	-0,3	-2
20		-40,4	-46,6	-0,38	-1,75
24		-41,2	-53	-0,2	-1,6
2º ponto zero		-22	-14,60	-	-
4	8	-31,8	-22,2	-2,45	-1,9
8		-40,2	-28,4	-2,1	-1,55
12		-49,2	-30,4	-2,25	-0,5
16		-50,0	-36	-0,23	-1,4
20		-52,4	-40	-0,63	-1
24		-54,6	-43,2	-0,55	-0,8
3º ponto zero		-32	-21	-	-
4	12	-36	-34,80	-1	-3,45
8		-40,4	-42,80	-1,1	-2
12		-46,4	-46,40	-1,5	-0,9
16		-47,8	-48,90	-0,35	-0,63
20		-49,8	-47,90	-0,5	+0,25
24		-51,4	-45,90	-0,4	+0,5
4º ponto zero		-46	-23	-	-
4	16	-52	-18,6	-1,5	+1,1
8		-59	-12,6	-1,75	+1,5
12		-71	-8,6	-3	+1
16		-73,4	-6,6	-0,6	+0,5
20		-74,7	-3,6	-0,33	+0,75
24		-75,5	+4,8	-0,2	+2,1
Temperatura (Cº)		27	27		
Umidade Relativa Ambiente		64-66%	66%		

H - E

X(cm)	Y(cm)	$V_R(mv)^S$	$V_R(mv)^{S.C_6}$	E $\frac{mv}{cm}$ S	E $\frac{mv}{cm}$ S.C <sub>6</sub>
4	0	+0,8	-5,6	+0,2	-1,4
8		-0,4	-12,9	-0,3	-1,83
12		+1,5	-19	+0,47	-1,5
16		-1,9	-28,2	-0,85	-2,3
20		-5	-33,4	-0,77	-1,3
24		-1,2	-32,3	+0,95	-0,3
1º ponto zero	4	-0,6	+3,1	-	-
4		-1,4	+4,8	-0,2	+0,43
8		-0,2	+0,3	+0,3	-1,12
12		-1,4	-4,3	-0,3	-1,4
16		-7,7	-12,6	-1,58	-2,1
20		-6,1	-18,1	+0,4	-1,4
24	-8,3	-20,3	-0,55	-0,55	
2º ponto zero	8	-1,4	+1,8	-	-
4		-2,7	+2,8	-0,33	+0,25
8		-3,5	+5,0	-0,2	+0,55
12		-5,5	+6,1	-0,5	+0,26
16		-13,9	+2,7	-2,1	-0,85
20		-17,1	+0,9	-0,8	-0,45
24	-19,3	-0,5	-0,55	-0,35	
3º ponto zero	12	-2,8	-2,8	-	-
4		-3,6	+3,2	-0,2	+1,5
8		-5,6	+12	-0,5	+2,2
12		-3,9	+20,6	+0,43	+2,15
16		-14,10	+17,6	-2,55	-0,75
20		-15,20	+13,5	-0,27	-1,02
24	-10,9	+15,2	+1,1	+0,43	
4º ponto zero	16	-4,8	-1,6	-	-
4		-5,6	+1,6	-0,2	+0,8
8		-6,4	+6,6	-0,2	+1,25
12		-5,9	+12,6	+0,13	+1,5
16		-18,5	+10	-3,15	-0,65
20		-20,2	+12,7	-0,42	+0,67
24	-11,7	+17	+2,1	+1,07	
Temperatura (Cº)		27	26		
Umidade Relat.Ambiente		62%	60%		



## E - F

X(cm)	Y(cm)	$V_R(mv)^S$	$V_R(mv)S_{i0}$	$E \frac{mv}{cm} S$	$E \frac{mv}{cm} S.C_{10}$
4	0	-5,4	-1,2	-1,35	-0,3
8		-1,4	+3,4	+1	+1,15
12		-12,8	-6,0	-2,85	-2,4
16		-19,8	-12,6	-1,75	-1,65
20		-24,4	-16	-1,15	-0,85
24		-25,4	-14,4	-0,25	+0,4
1º ponto zero		-4,40	-3	-	-
4	4	-13,4	-0,5	-2,25	+0,63
8		-16,60	+3,1	-0,8	+0,9
12		-29,80	-4,3	-3,3	-1,85
16		-34,80	-6,5	-1,25	-0,55
20		-36,80	-7,7	-0,5	-0,3
24		-38,20	-4,5	-0,35	+0,8
2º ponto zero		-9,4	-13	-	-
4	8	-17,80	-18	-2,20	-1,25
8		-19	-15,6	-0,3	+0,6
12		-26,2	-22,6	-1,8	-1,75
16		-31,8	-24	-1,4	-0,35
20		-37,2	-24,8	-1,35	-0,2
24		-39,6	-21,8	-0,6	+0,75
3º ponto zero		-17,4	-12	-	-
4	12	-19,4	-13,4	-0,5	-0,35
8		-22,4	-10,8	-0,75	+0,65
12		-34	-18,2	-2,9	-1,85
16		-39,6	-13,2	-1,4	+1,25
20		-45,6	-16,8	-1,5	-0,9
24		-51,1	-10,8	-1,36	+1,5
Temperatura (Cº)		28	28		
Umidade Relat.Ambiente		64-66%	60%		

F - G

X(cm)	Y(cm)	$V_R(mv)^S$	$V_R(mv)^{S,C}_{13}$	$E \frac{mv}{cm}^S$	$E \frac{mv}{cm}^{S,C}_{13}$
4	0	+0,8	-2,2	+0,2	-0,55
8		-1,8	+0,8	-0,65	+0,75
12		+6,9	+5,8	+2,18	+1,25
16		-2,1	+8,8	-2,25	+0,75
20		+3,5	+14,2	+1,4	+1,35
1º ponto zero		+1	+6	-	-
4	4	+4,40	+7,40	+0,85	+0,35
8		+5,4	+10,20	+0,25	+0,7
12		+16	+16,20	+2,65	+1,5
16		+14,4	+10,80	-0,4	-1,35
20		+18,6	+9,20	+1,05	-0,4
2º ponto zero		-6	-1,6	-	-
4	8	-4,60	-0,8	+0,35	+0,2
8		-8,60	+2,8	-1	+0,9
12		+3,2	+11	+2,85	+2,05
16		+1,2	+16,3	-0,5	+1,33
20		+5,8	+24,5	+1,15	+2,05
3º ponto zero		-13,8	-4,2	-	-
4	12	-10,8	+4,8	+0,75	+2,25
8		-14,20	+12,40	-0,85	+1,9
12		-8,4	+22,20	+1,45	+2,45
16		-10,2	+30,4	-0,45	+2,05
20		-6,8	+41,2	+0,85	+2,7
Temperatura (Cº)		28	30		
Umidade Relat. Ambiente		64%	60%		

## E - D

X(cm)	Y(cm)	$V_R(mv)^S$	$V_R(mv)^{S.C}$	$E \frac{mv}{cm}^S$	$E \frac{mv}{cm}^{S.C}$
4	0	-1,20	-4,80	-0,3	-1,2
8		-4,40	-13,1	-0,8	-2,07
12		-3,60	-15,7	+0,2	-0,65
16		-7,80	-20,9	-1,05	-1,3
20		-3,30	-21,9	+1,13	-0,25
1º ponto zero		-4,30	-1,7	-	-
4	4	-5,60	-7,9	-0,325	-1,55
8		-4,40	-7	+0,3	-0,225
12		+0,30	-11,2	+1,17	-1,05
16		-1,1	-15,8	-0,35	-1,15
20		-2,30	-19,6	-0,3	-0,95
2º ponto zero		-6,9	-7,5	-	-
4	8	-11,7	-10,1	-1,2	-0,65
8		-13,3	-9,1	-0,4	+0,25
12		-10,5	-12,3	+0,7	-0,8
16		-12,9	-11,1	-0,6	+0,3
20		-14,5	-5,6	-0,4	+1,37
3º ponto zero		-13,9	-4,3	-	-
4	12	-15,10	-2,2	-0,3	+0,5
8		-17,9	+1,7	-0,7	+1
12		-11,9	-1,3	+1,5	-0,75
16		-17,4	+0,6	-1,37	+0,47
20		-20,6	+3,2	-0,8	+0,65
Temperatura (Cº)		28	30		
Umidade Relat.Ambiente		70%	70%		

APÊNDICE 3 - Valores para Potencial Espontâneo e Gradiente do Po  
tencial medidos sobre L<sub>2</sub> para os diversos pares.

Tabela de valores para Potencial Espontâneo e Gra  
diente do potencial obtidos sobre a linha L<sub>2</sub> (ver fig. 5) para  
várias horas após haver-se simulado chuva (S.C), para os diver  
sos pares constituídos por solos residuais. Os valores que apre  
sentam a simbologia H tem um índice que significa haver-se efetua  
do as medidas tantas horas após haver-se simulado chuva.

D - H

X(cm)	Y(cm)	$\Delta V(\text{mv})$ S.C	$\Delta V(\text{mv})$ H <sub>48</sub>	$\Delta V(\text{mv})$ H <sub>72</sub>	$\Delta V(\text{mv})$ H <sub>96</sub>	$\Delta V(\text{mv})$ H <sub>120</sub>
4	4	-6	-2,4	-1,6	-1,6	-0,8
8		-12	-3,6	-1,6	-1,6	-0,8
12		-10	+4,3	+4,7	+4,4	+4,6
16		-8	-1,6	+0,6	+0,5	+0,6
20		-7	-1,9	+1,2	+0,5	+0,5
24		-6,4	-0,6	+1,6	-0,6	-0,8
X(cm)	Y(cm)	E $\frac{\text{mv}}{\text{cm}}$ S.C	E $\frac{\text{mv}}{\text{cm}}$ H <sub>48</sub>	E $\frac{\text{mv}}{\text{cm}}$ H <sub>72</sub>	E $\frac{\text{mv}}{\text{cm}}$ H <sub>96</sub>	E $\frac{\text{mv}}{\text{cm}}$ H <sub>120</sub>
4	4	-1,5	-0,6	-0,4	-0,4	-0,2
8		-3	-0,9	-0,4	-0,4	-0,2
12		-2,5	+1,07	+1,17	+1,1	+1,15
16		-2	-0,4	+0,15	+0,12	+0,15
20		-1,7	-0,47	+0,3	+0,12	+0,12
24		-1,6	-0,15	+0,4	-0,15	-0,2
Temperatura (C°)		27	28	27	26	28
Umidade Relativa Ambiente		64-66%	60%	60%	60%	64%

H - E

X(cm)	Y(cm)	$\Delta V(mv)$ S.C6	$\Delta V(mv)$ H72	$\Delta V(mv)$ H96	$\Delta V(mv)$ H120	$\Delta V(mv)$ H144
4	4	+1,7	+1,4	+1	-0,5	-0,6
8		-4,5	-2,6	-0,5	-0,7	-0,7
12		-4,6	-2,9	-1,6	-1,2	-2
16		-8,3	-4,5	-1	-1,4	-1,6
20		-5,5	-2,2	-2	-0,4	-0,4
24		-2,2	-2	+1,2	+0,8	-0,6
X(cm)	Y(cm)	E $\frac{mv}{cm}$ S.C	E $\frac{mv}{cm}$ H72	E $\frac{mv}{cm}$ H96	E $\frac{mv}{cm}$ H120	E $\frac{mv}{cm}$ H144
4	4	+0,4	+0,35	+0,25	-0,12	-0,15
8		-1,12	-0,65	-0,12	-0,17	-0,17
12		-1,15	-0,72	-0,4	-0,3	-0,5
16		-2,07	-1,12	-0,25	-0,35	-0,4
20		-1,37	-0,55	-0,5	-0,1	-0,1
24		-0,55	-0,5	+0,3	+0,2	-0,15
Temperatura (C°)		26	28	27	28	28
Umidade Relativa Ambiente %		60	60	60	64	64

## E - F

X(cm)	Y(cm)	$\Delta V(\text{mv})$ S.C <sub>10</sub>	$\Delta V(\text{mv})$ H <sub>48</sub>	$\Delta V(\text{mv})$ H <sub>72</sub>	$\Delta V(\text{mv})$ H <sub>96</sub>	$\Delta V(\text{mv})$ H <sub>120</sub>
4	4	+2,5	-0,8	-0,6	+2	+3
8		+3,6	-0,5	-1,2	+0,2	+1,4
12		-7,4	-7,8	-9	-8,5	-6,0
16		-2,2	-0,6	-0,6	+1	+2
20		-1,2	+0,4	+0,4	+0,4	+1
24		+3,2	-3,4	-3,8	-2,5	-1,3
X(cm)	Y(cm)	E $\frac{\text{mv}}{\text{cm}}$ S.C	E $\frac{\text{mv}}{\text{cm}}$ H <sub>48</sub>	E $\frac{\text{mv}}{\text{cm}}$ H <sub>72</sub>	E $\frac{\text{mv}}{\text{cm}}$ H <sub>96</sub>	E $\frac{\text{mv}}{\text{cm}}$ H <sub>120</sub>
4	4	+0,62	-0,2	-0,15	+0,5	+0,75
8		+0,9	-0,12	-0,3	+0,05	+0,35
12		-1,8	-1,9	-2,25	-2,1	-1,5
16		-0,55	-0,15	-0,15	+0,25	+0,5
20		-0,3	+0,1	+0,1	+0,1	+0,25
24		+0,8	-0,85	-0,95	-0,6	-0,3
Temperatura (C°)		28	28	28	28	29
Umidade Relativa Ambiente(%)		60	64	60	64	70

F - G

X (cm)	Y (cm)	$\Delta V(\text{mv})$ S.C <sub>13</sub>	$\Delta V(\text{mv})$ H <sub>48</sub>	$\Delta V(\text{mv})$ H <sub>72</sub>	$\Delta V(\text{mv})$ H <sub>120</sub>	$\Delta V(\text{mv})$ H <sub>144</sub>
4	4	+1,4	-0,7	-0,6	+0,8	+0,7
8		+2,8	-3,4	-1,6	-0,8	+1
12		+6,0	+5,3	+5,7	+6	+5,2
16		-5,4	-2,6	-1,2	+0,6	+0,6
20		-1,6	-1,0	+0,6	+0,6	+1
X (cm)	Y (cm)	E $\frac{\text{mv}}{\text{cm}}$ S.C	E $\frac{\text{mv}}{\text{cm}}$ H <sub>48</sub>	E $\frac{\text{mv}}{\text{cm}}$ H <sub>72</sub>	E $\frac{\text{mv}}{\text{cm}}$ H <sub>120</sub>	E $\frac{\text{mv}}{\text{cm}}$ H <sub>144</sub>
4	4	+0,35	-0,17	-0,15	+0,2	+0,17
8		+0,7	-0,85	-0,4	-0,2	+0,25
12		+1,5	+1,5	+1,4	+1,5	+1,3
16		-1,3	-0,65	-0,3	+0,15	+0,15
20		-0,4	-0,25	+0,15	+0,15	+0,25
Temperatura (C°)		30	28	28	30	30
Umidade Relativa Ambiente (%)		60	62	64	64	70



## E - D

X(cm)	Y(cm)	$\Delta V(mv)$ S.C	$\Delta V(mv)$ H <sub>24</sub>	$\Delta V(mv)$ H <sub>48</sub>	$\Delta V(mv)$ H <sub>72</sub>	$\Delta V(mv)$ H <sub>120</sub>
4	4	-6,20	-2,2	+0,4	-1,7	+0,7
8		+0,90	+0,6	+2,2	+0,7	+0,5
12		-4,20	-4,4	-2,0	-5,4	-1,8
16		-4,60	-0,8	+1,8	-1,6	-1,2
20		-3,80	-1,2	+0,4	-2,8	-2,3
X(cm)	Y(cm)	E $\frac{mv}{cm}$ S.C	E $\frac{mv}{cm}$ H <sub>24</sub>	E $\frac{mv}{cm}$ H <sub>48</sub>	E $\frac{mv}{cm}$ H <sub>72</sub>	E $\frac{mv}{cm}$ H <sub>120</sub>
4	4	-1,55	-0,55	+0,1	-0,4	+0,17
8		+0,22	+0,15	+0,55	+0,17	+0,12
12		-1,05	-1,1	-0,5	-1,35	-0,45
16		-1,15	-0,2	+0,45	-0,4	-0,3
20		-0,95	-0,3	+0,1	-0,7	-0,55
Temperatura (C°)		30	28	30	28	30
Umidade Relativa Ambiente (%)		70	70	64	70	65