

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

MÉTODOS GEOFÍSICOS APLICADOS AO MAPEAMENTO GEOLÓGICO NUMA ÁREA DA
REGIÃO BRAGANTINA - PARÁ

Tese Apresentada por

JOÃO BATISTA FERREIRA

como requisito parcial à obtenção do grau de

MESTRE EM CIÊNCIAS

Na área de

GEOFÍSICA

Conferido pelo Programa de Pós-Graduação em
Ciências Geofísicas e Geológicas da
Universidade Federal do Pará

Aprovado: 13.12.79

William A. Sauck

WILLIAM AUGUST SAUCK

(ORIENTADOR)

Luiz Rijo

LUIZ RIJO

Manoel Gabriel Siqueira Guerreiro

MANOEL GABRIEL SIQUEIRA GUERREIRO

Comitê de Tese

A minha esposa Albina pelos sacrifícios durante
te a elaboração deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Dr. William August Sauck pela orientação durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradecimentos especiais ao Dr. Luiz Rijo pela ajuda através de incentivos, sugestões e críticas que contribuíram para melhorar esta dissertação de Mestrado.

Desejo agradecer ao Geólogo Manoel Gabriel S. Guerreiro, pela parcela de colaboração através das sugestões durante a elaboração deste trabalho, bem como ao colega Jacyro Piuçô pela colaboração, em parte, no trabalho de campo.

Agradeço também ao Geólogo Chefe do Setor de Pesquisa da CIBRASA, Cláudio Sadala, pelas informações sobre a região do calcáreo.

Agradeço ao pessoal administrativo e técnico do Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas da UFPa.

Agradecimentos à Universidade Federal de Mato Grosso pela concessão do afastamento para capacitação, através do PICD (Plano Integrado de Capacitação Docente) e à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior) pelo fornecimento de bolsas de estudos.

Agradecimentos extensivos à FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), que proporcionou recursos financeiros para a realização deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho trata da aplicação de métodos geofísicos, numa área piloto da região Bragantina, NE do Pará, com a finalidade de auxiliar no mapeamento geológico. A área acha-se coberta por Sedimentos Terciários espessos e apresenta ocorrências de rochas industriais como calcário e granito, representando uma superfície aflorante menor que 5% da área. Estudos geoquímicos, realizados por Goulart (1978), revelaram que no horizonte A, é impossível diferenciar os materiais de superfície quanto às suas origens. Isto torna difícil o mapeamento geológico de superfície, podendo levar a extrapolações exageradas dos contatos, o que ocorre no mapeamento pré-existente.

Os métodos geofísicos aplicados foram: Eletroresistividade e Magnetometria. Também foram realizados alguns furos de sondagens mecânicas. Os resultados obtidos contribuíram para um melhor conhecimento das feições estruturais mapeadas, bem como tornou possível a descoberta de outras estruturas importantes. Definiram-se também duas áreas para subsequente estudo de detalhe, visando a separação do calcário, em melhor e pior qualidade para a fabricação do cimento. Quanto à região dos granitos, recomenda-se que seja feito o seu mapeamento sob forma de "ilhas de granito" em meio à espessas coberturas de solos e sedimentos.

ABSTRACT

The following research is about the application of geophysical methods in a pilot area in the Bragantina region, NE of Pará, as an auxiliary to geologic mapping. The area is covered with thick tertiary sediments and presents occurrences of industrial rocks such as limestone and granite, representing an outcrop surface smaller than 5% of the area. Studies carried out by Goulart (1978) revealed that it is impossible to determine parent rock of the superficial material, of the A horizon. This makes difficult the surface geologic mapping and can lead to exaggerated extrapolation of the contacts, such as that which took place in the preliminary mapping.

The geophysical methods applied in the area are: Electroresistivity and Magnetometry. Some mechanical sounding was carried out also. The results obtained contributed to a better understanding of the structural features mapped, and also made it possible to discover other important features. Two areas were defined for future detail study, with the objective to distinguish between the limestones of better and poorer quality. In reference to the granite region a new mapping of that area is suggested.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 : ESTUDOS ANTERIORES	3
1.1. Geologia Regional	3
1.2. Geologia Local	6
1.3. Geologia de Superfície	6
1.4. Mapeamento Geológico	7
1.5. Geofísica	7
1.5.1. Levantamento Gravimétrico do Nordeste do Pará	7
1.5.2. Aplicação de Eletroresistividade e Cintilometria para Dimensionar os Granitos	11
1.5.3. Método de Eletroresistividade Aplicado na <u>Prospecção</u> de Calcário	12
1.6. Geoquímica	13
CAPÍTULO 2: MÉTODO DE ELETRORESISTIVIDADE	16
2.1. Revisão de Conceitos	16
2.2. Trabalho e Metodologia de Campo	20
2.3. Feições Gerais das Curvas de Sondagens e <u>inter</u> pretação dos dados de Campo	22
2.4. Técnica Usada Para o Mapeamento em <u>subsuperfície</u>	37
2.5. Mapas e Seções Geolétricas	40
CAPÍTULO 3: MÉTODO MAGNÉTICO	51
3.1. Revisão de Conceitos	51
3.2. Trabalho e Metodologia de Campo	52
3.3. Feições Gerais das Isogamas, no Mapa Magnético	53
3.4. Interpretação Qualitativa dos Dados de Campo	55
3.5. Interpretação Quantitativa dos Dados de Campo	56
CAPÍTULO 4: SONDA GENS MECÂNICAS	64
4.1. Metodologia de Trabalho	64
4.1.1. Trabalho de Campo	64
4.1.2. Trabalho de Laboratório	64

4.2. Resultados Obtidos	65
CAPÍTULO 5: RESULTADOS OBTIDOS E CONCLUSÕES	72
5.1. Resultado dos Métodos de Eletroresistividade , Magnetometria e Sondagens Mecânicas	72
5.2. Recomendações	74
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 - Mapa de Localização da Área de Pesquisa	4
Fig. 2 - Mapa Geológico Pré-existente	8
Fig. 3 - Mapa de Contorno de Anomalia Bouguer	10
Fig. 4 - Valores de Resistividades de Diferentes Materiais, Através de Medidas em Laboratório	14
Fig. 5 - Circuito Elétrico para Determinação de Resistividade e Campo Elétrico de uma Formação Homogênea Subsuperficial	17
Fig. 6 - Configuração Geral para Quatro Eletrodos	17
Fig. 7 - Eletrodos Alinhados, em Configuração Schlumberger para Determinação de Resistividade	18
Fig. 8 - Eletrodos Alinhados, em Configuração Wenner para Determinação de Resistividade	18
Fig. 9 - Primeiro Subgrupo e SEV de Feição Típica de Região de Embasamento Raso, com Modelos usados para Reproduzir Cruvas de Campo	24
Fig. 10 - 2º Subgrupo de SEV, Realizado sobre a Região do Granito, segundo Mapa Geológico Preliminar, mas Apresentando Feições Típicas de SEV Realizadas sobre Sedimentos	25
Fig. 11 - Um Modelo Geológico de Subsuperfície Proposto para Justificar a Feição das SEV Obtidas na Região do "Granito"	27
Fig. 12 - Primeiro Subgrupo de SEV Realizada na Região do Calcário	28
Fig. 13 - Segundo Subgrupo de SEV Realizada na Região do Calcário	30
Fig. 14 - 1º Modelo Geológico em Subsuperfície com Movimento Vertical Proposto para Justificar a Ocorrência dos Dois Tipos de Calcário, segundo suas Resistividades	32
Fig. 15 - 2º Modelo Geológico em Subsuperfície com Mudança de Fácies Lateral Proposto para Explicar a Ocorrência dos Dois Tipos de Calcário	

segundo suas Resistividades	33
Fig. 16 - SEV Realizadas sobre a Região do Filito	35
Fig. 17 - Grupo de SEV Realizadas sobre uma Região da Bacia de Bragança	36
Fig. 18 - Interpretação Controlada de SEV-36 à Partir de Dados de Espessuras Conhecidas do Furo 1	38
Fig. 19 - Interpretação Controlada de SEV-3 à Partir de Dados de Espessuras Conhecidas do Furo 2	39
Fig. 20 - Mapa de Contorno de Profundidade do Topo do Embasamento, segundo a Eletroresistividade	41
Fig. 21 - Mapa de Contorno de Espessura das Camadas do Pirabas, segundo a Eletroresistividade	43
Fig. 22 - Mapa de Contorno da Espessura de Solos, Rocha Intemperizada e/ou Barreiras, segundo a Eletroresistividade	44
Fig. 23 - Seção Geolétrica nas Proximidades da Rodovia PA-25, Trecho Capanema-Tracuateua	46
Fig. 24 - Seção Geolétrica, Direção Leste-Oeste da SEV-3 a SEV-4 e Direção NW - SE da SEV-4 a SEV-29	49
Fig. 25 - Mapa de Contorno de Anomalias Magnéticas Representadas Através das Curvas de Isogamas	54
Fig. 26 - Perfil Magnético Computado para um Modelo Teórico de 3 Corpos, Representando um dos Possíveis Modelos da Geologia de Subsuperfície	57
Fig. 27 - Perfil Magnético I, Perfil Gravimétrico e Perfil Magnético II	60
Fig. 28 - Perfis Magnéticos III, IV e V	61
Fig. 29 - Perfis Magnéticos VI e VII	62
Fig. 30 - Interpretação Controlada de SEV-31 à Partir de Espessuras Conhecidas do Furo 3.	67
Fig. 31 - Interpretação Controlada de SEV-35 à Partir de Espessuras Conhecidas do Furo 4	68
Fig. 32 - Interpretação Controlada de SEV-18 à Partir de Dados Conhecidos das Espessuras de Cama	

das Obtidas do Furo 5

69

Fig. 33 - Interpretação Controlada de SEV-49 à Partir
de Dados Conhecidos das Espessuras de Cama
das Obtidas do Furo 6

70

INDICE DE APÊNDICES

APÊNDICE I - Mapa de Localização das SEV na Área	78
APÊNDICE II - Dados de Campo Referentes à Resistividade Aparente das SEV Realizadas na Área	79
APÊNDICE III - Modelos Resultantes da Interpretação Final das SEV Realizadas na Área	84
APÊNDICE IV - Valores de Suscetibilidade Aparente das Rochas Pré-Cambrianas da Região (Medida em Laboratório)	85
APÊNDICE V - Valor da Ordem de Grandeza da Resistividade de Diferentes Materiais (Medidas em Laboratório)	87
APÊNDICE VI - Mapa de Geologia Interpretada Através da Magnetometria	88

INTRODUÇÃO

O presente trabalho foi realizado numa área piloto de aproximadamente 350 km², situada a nordeste da cidade de Capanema, região Bragantina, Estado do Pará (Fig. 1). Capanema liga-se a Belém pela Rodovia Federal BR-316 numa distância de 160 km. A área dispõe de fáceis acessos, beneficiados pela implantação de extensos pimentais.

O clima da região é predominantemente do tipo Af, (classificação de Köeppen) equatorial úmido, com duas estações definidas: quente e úmida. A estação quente caracteriza-se por um período seco durante os meses de julho a dezembro com chuvas ocasionais e uma temperatura média superior a 25°C, e, na estação úmida, entre dezembro e julho, mais especialmente nos meses de fevereiro a abril, a região recebe grande quantidade de chuva, com a precipitação pluviométrica anual chegando a atingir 3000 mm. Segundo Vieira (1967) a umidade relativa média do ar é de 80-90%. Neste período é bastante difícil a realização de trabalhos geofísicos de campo.

O relevo é pouco acidentado apresentando desníveis não superiores a 20 m.

A drenagem se constitui de uma rede densa, com rios conseqüentes formando um padrão subdentritico. Dentre os rios que existem na área os dois principais são o Quatipuru e o Tracuateua, que correm para o norte. Nas partes mais baixas, é freqüente a presença de áreas alagadas com vegetação típica (Igapós). Em algumas partes da região notam-se vestígios da Hiléia Amazônica com árvores de grande porte. Contudo, a vegetação predominante na área é do tipo capoeira, mato baixo que se desenvolve após a derrubada e queima.

A densidade demográfica desta região é a maior do Estado do Pará.

Geologicamente, a área caracteriza-se por apresentar ocorrências de rochas como o calcário e o granito, usadas na indústria de construção civil. O calcário é utilizado na fabricação de cimentos, através da Companhia de Cimentos do Brasil S.A (CIBRA

SA), instalada na cidade de Capanema. A produção diária da fábrica é de 20000 sacas. Os granitos são explorados fornecendo brita para a construção civil. As jazidas destas rochas são as mais próximas da cidade de Belém do Pará (180 km aproximadamente) e são exploradas com técnicas precárias. Devido à espessa cobertura de solos Holocenos e sedimentos Terciários, estas jazidas constituem-se nos raros afloramentos da Formação Pirabas (calcário) e do embasamento (granitos pré-cambrianos) num total menor que 5% da área escolhida. Por isso, as pesquisas geofísicas estão sendo bastante solicitadas com a finalidade de melhorar o mapeamento geológico, visando a descoberta de jazidas mais econômicas do que as atuais. Escolheu-se esta área piloto para realização de um trabalho de mapeamento preliminar, com aplicação de métodos geofísicos objetivando determinar: 1. A espessura das rochas e sedimentos cenozóicos, inclusive solos, utilizando-se de sondagens elétricas verticais, associadas a perfis geológicos de poços perfurados, bem como da calibração das sondagens elétricas verticais em afloramentos; 2. A paleotopografia da superfície de discordância entre rochas Pré-Cambrianas e Cenozóicas, através dos resultados da interpretação qualitativa das sondagens elétricas verticais; 3. A distinção entre as diferentes litologias do Pré-Cambriano, usando-se métodos magnéticos e cintilométricos; 4. O estudo de viabilidade do emprego da técnica das sondagens elétricas verticais na prospecção eficiente do Calcário Pirabas. Caso seja comprovada a eficiência dos métodos aplicados, este trabalho poderá ser estendido a uma área mais ampla.

A pesquisa foi realizada sob o apoio financeiro da FINEP, em Convênio com o NCGG da UFPa. Os equipamentos utilizados pertencem ao Laboratório de Instrumentação do NCGG da UFPa. Também foram utilizados recursos técnicos do Laboratório de Matemática Aplicada e Computação do NCGG. O trabalho foi iniciado em fevereiro de 1977 e concluído em dezembro de 1979, envolvendo três campanhas principais de campo (60 dias), e outras duas secundárias (20 dias) para coleta de dados.

Os dados foram tratados e interpretados nos períodos paralelos e subseqüentes às campanhas de campo, obedecendo a etapas previamente planejadas.

CAPÍTULO 1

1. ESTUDOS ANTERIORES

1.1. Geologia Regional

A região é constituída por rochas do Pré-Cambriano, sedimentos do Paleozóico Inferior, sedimentos do Terciário e do Quaternário.

O Pré-Cambriano é representado por rochas Arqueanas do tipo granito-gnaiss migmatizado, cortadas por veios pegmatíticos, as quais representam o embasamento cratônico, como em grande parte do Norte brasileiro. Estas rochas afloram mais freqüentemente na região nordeste do Pará, próximas à localidades de Tauari, Mirasselas e Tracuateua. Surgem também rochas Algonqueanas constituídas por filitos, micaxistos, com veios de quartzo, que cortam indistintamente as demais rochas desta unidade, denominada Grupo Gurupi pelo Projeto Radam (1973). Esta unidade aflora ao longo da BR-316, Rio Piriá, Rio Guamá e a nordeste da cidade de Capanema, na localidade de Mirasselas (Arantes et al. 1972).

Os sedimentos do Paleozóico Inferior, foram descritos por Francisco (1971) como representados por camadas aparentemente horizontais de um arenito parcialmente silicificado, branco, duro e bastante cortado por diáclases. Este arenito foi correlacionado estratigraficamente a uma rocha cinza, maciça, dura e de textura clástica granular, constituída principalmente de Quartzo e feldspato, analisados petrograficamente como Grauvaca. Estas rochas afloram em certos trechos da Rodovia BR-316 e no Rio Piriá próximo à ponte que atravessa este rio, assentando discordantemente sobre rochas do Grupo Gurupi (Arantes et al., 1972).

Os sedimentos Terciários são representados pelos da Formação Pirabas e Formação Barreiras. A Formação Pirabas foi descrita preliminarmente por Ferreira Pena (1876). A datação do Pirabas, como sendo do Mioceno Inferior, foi feita com base paleontológica pela Dra. Charlotte Maury (1924). A Formação Pirabas é constituída litologicamente de calcáriosossilíferos intercalados com argilas

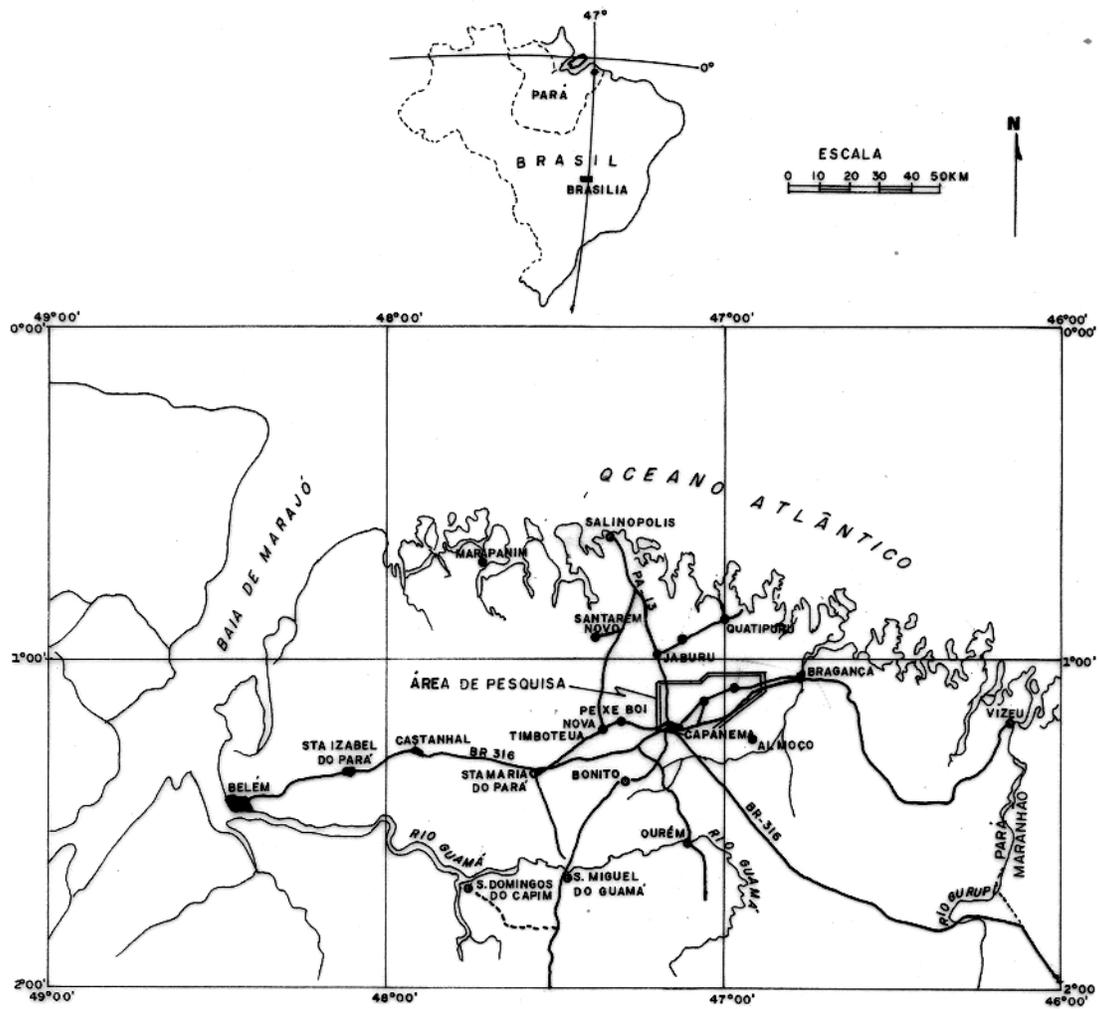


FIG. 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE PESQUISA.

e areias, sobrepostos discordantemente ao embasamento cristalino e sedimentos do Terciário Inferior (Arantes et al. 1972). A Formação Pirabas é encontrada nos Estados do Pará, Maranhão e Piauí. No Pará, está distribuída largamente na região Bragantina, com ocorrências nos municípios de Capanema, Peixe-Boi, Nova Timboteua, Bragança, Marapanim, Santa Izabel do Pará, Irituia e Primavera (Ferreira, 1957). Santa Izabel, está a 40 km de Belém, e o fato de ali ser encontrado calcário, desperta interesses econômicos. Alguns pesquisadores não admitem que o calcário de Santa Izabel seja do Mioceno (Ackermann, 1962). A Formação Barreiras, litologicamente, é constituída de sedimentos argilosos, siltíticos e arenosos mal consolidados (Francisco e Loewenstein, 1968). O termo Formação Barreiras foi adotado em 1973 (Projeto Radam, V-3), e é aceito atualmente pela maioria dos geólogos. Bigarella e Andrade (1964), conforme citado por Francisco (1971) adotaram o nome Grupo Barreiras. O termo Série Barreiras é o mais antigo, tendo sido, inclusive, usado por Oliveira e Leonardos (1943) conforme citado por Sá (1969). Este, por sua vez, denominou-os Sedimentos Barreiras, com fins descritivos. A diversificação na nomenclatura, talvez se deva ao fato da unidade não ter sido alvo de um estudo completo, provavelmente devido à sua extensa área de ocorrência. A Formação Barreiras, tem suas melhores exposições na Costa Atlântica e área de ocorrência, abrangendo desde o Amapá até o Rio de Janeiro sendo encontrada em várias bacias de deposição.

Os sedimentos Quaternários se acham distribuídos ao longo da Costa Atlântica e nos vales dos rios e igarapés que drenam a região. São sedimentos aluvionares constituídos por areias, siltes, argilas e cascalhos, segundo Arantes et al. (1972).

O enfraquecimento dos Complexos Arqueanos, submetidos a tectonismo intensos Proterozóicos, possibilitaram o desenvolvimento de sistemas de falhas, segundo alinhamentos direcionais mais ou menos padronizados NW-SE (Roncarati & Francisconi, 1966). As bacias encontradas na região apresentam estruturas que, provavelmente, sofreram reflexos diastróficos das bacias situadas nas margens continentais brasileiras. As bacias de Bragança e São Luiz provavelmente já estiveram ligadas. As análises gravimétricas e a geologia

de superfície, permitiram deduzir a possibilidade da existência de um eixo como a provável ligação entre as bacias e um movimento aparentemente horizontal que deslocou a bacia de São Luiz para o sul em relação à bacia de Bragança. Esse movimento é caracterizado pelo deslocamento do eixo acima citado (Lobato, 1966).

1.2. Geologia Local

Na área em estudo observam-se ocorrências de granitos-gnaisses migmatizados, com pequenos afloramentos em Mauari, Mirasselas e Tracuateua, e de filitos, aflorantes somente em Mirasselas, ambos constituindo o embasamento Pré-Cambriano. Destaca-se também o calcário da Formação Pirabas (Terciário), originário de deposição por transgressão marinha (Ackermann, 1962). São encontrados poucos afloramentos dessa Formação, com espessuras conhecidas de mais ou menos 14 m na região de Capanema. Os sedimentos da Formação Barreiras (Terciário), recobrem a maior parte da área, tendo espessura conhecida em afloramentos de 1 até 10 m na região de Capanema.

Encontram-se também sedimentos aluvionares (Quaternário), ao longo dos rios e ribeiras, e nos areais. Estes aluviões apresentam espessura conhecida de mais ou menos 4 m na região de Capanema segundo Bemerguy & Viegas (1976).

Do ponto de vista estrutural, a área está localizada sobre parte da bacia de Bragança, arco do Almoço, bacia de Tentugal e alto de Vista Alegre. Estas estruturas foram descobertas recentemente pela Petrobrás através de gravimetria e furos de sondagens (Lobato, 1966). Vale lembrar que os furos evidenciaram somente a bacia de Bragança.

1.3. Geologia de Subsuperfície

Em 1973, a fábrica de Cimentos do Brasil S.A (CIBRASA), empreitou à Geomineração S.A (GEOMISA), um intenso programa de prospecção, com a finalidade de descobrir jazidas de calcário de boa qualidade e com pequena cobertura de solos ou sedimentos do Barreiras. Parte do trabalho constou de um elevado número de perfu

rações. Essas perfurações não ultrapassaram 15 m de profundidade. Os resultados desta pesquisa encontram-se nos arquivos do Setor de Pesquisa da CIBRASA, não sendo liberados para consultas externas. Vale lembrar que a CIBRASA parece ter obtido muitas informações sobre a geologia só até a profundidade de 15 m.

Em 1977, o Paleontologista Cândido Simões Ferreira da UFRJ, iniciou um programa de perfurações obedecendo a um perfil indo de Ourém até Salinópolis, com a finalidade de melhor conhecer a Formação Pirabas no sentido vertical (Ferreira, 1977). Em todos os furos executados coletaram-se amostras sistemáticas e fizeram-se colunas estratigráficas correspondentes, das quais duas delas foram utilizadas para aferição de sondagens elétricas verticais neste trabalho.

1.4. Mapeamento Geológico

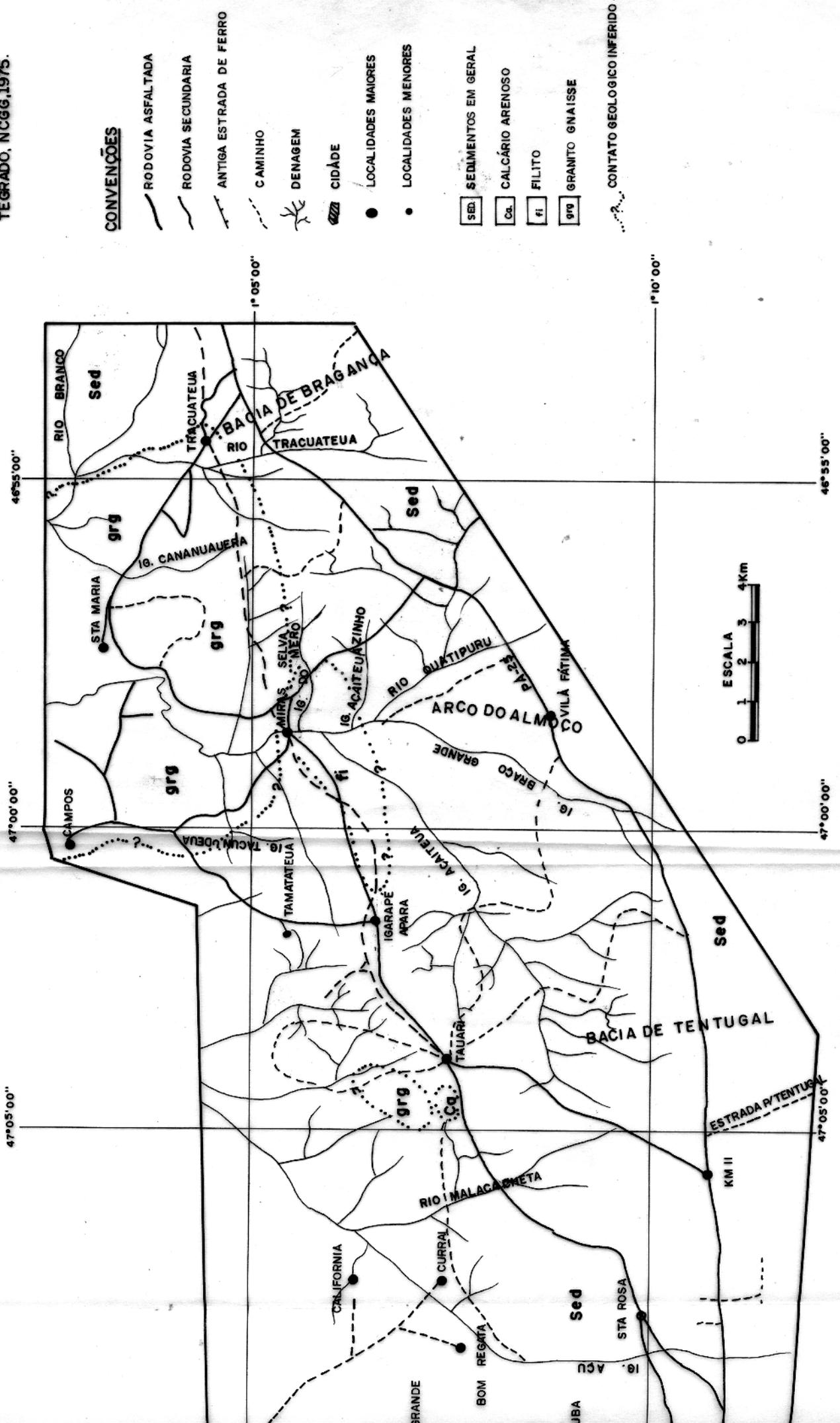
Em 1975, a Universidade Federal do Pará, através do Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas, executou um intenso programa de trabalho com o objetivo de realizar o mapeamento geológico numa área de 480 km² localizada entre as cidades de Capanema e Bragança, na escala 1:50000. Este mapeamento foi realizado dentro do programa de Iniciação Científica (Bemerguy & Viegas /Sub-Projeto Tracuateua, 1976). O resultado é o mapa geológico conforme a Fig. 2. Este mapa por ser o único feito com detalhes na área, serviu como mapa-base para realização deste trabalho. Pela insuficiência de dados de campo, devido aos difíceis acessos na área e também pela pequena quantidade de afloramentos, os contatos em sua maior extensão foram inferidos. Por falta de dados, também foi inferido o mapeamento dos granitos, uma vez que se tem apenas três afloramentos desta litologia, pequenos e bastantes distanciados.

1.5. Geofísica

1.5.1. Levantamento Gravimétrico do Nordeste do Pará

O levantamento gravimétrico da costa Nordeste do Pará, em caráter de reconhecimento, foi realizado no período de 1957 a

FIG.2- MAPA GEOLOGICO DA AREA CAPA NEMA - TRACUATEUA, PARA, SEGUN DO LOBATO, 1966 E PROJETO INTEGRADO, NCGG, 1975.



47°00'00"

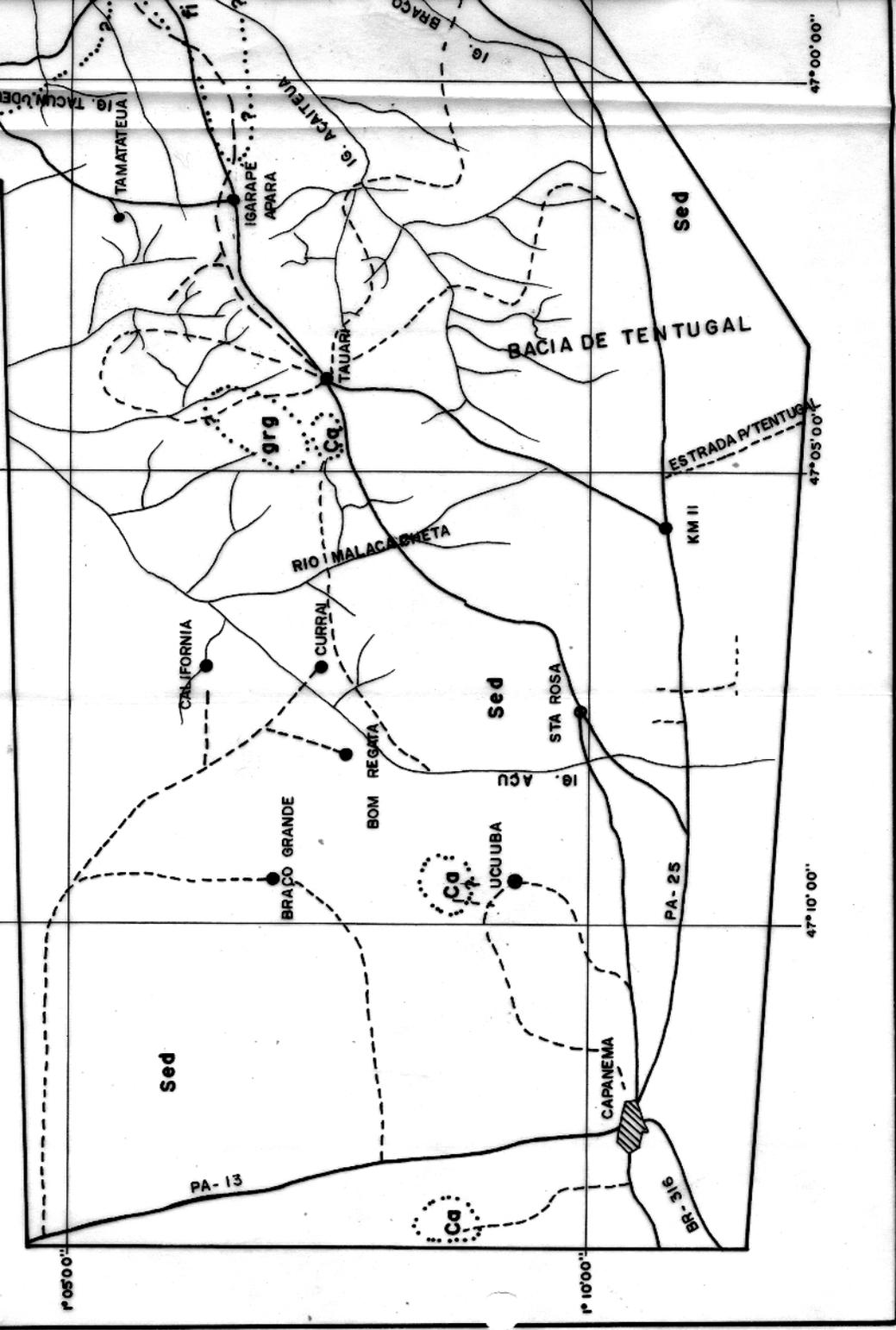
47°00'00"

47°05'00"

47°05'00"

47°10'00"

47°10'00"



P.0500"

P.1000"

PA-13

BR-316

PA-25

ig. ACU

Sed

STA ROSA

KM II

ESTRADA P/TENTUGAL

BACIA DE TENTUGAL

Sed

gfg

gfg

BRACO

ig. ACUTEUA

ig. TACUMBUDEUA

CAMPOS

CALIFORNIA

CURRAL

BOM REGATA

BRACO GRANDE

UCUUBA

CAPANEMA

Ca

Ca

Ca

Ca

TAUARI

IGARAPÉ

ACARA

TAMATATEUA

1965, pela Petrobrás, com o objetivo de pesquisar a existência de uma bacia Cretácea, semelhante àquela que ocorre na costa do Maranhão. A área onde se realizou tal trabalho situa-se geograficamente entre os meridianos $46^{\circ}10'60''$ e $48^{\circ}10'00''$ a Oeste. Foram usados no levantamento, gravímetros World Wide e Worden Master com medições em desvios de 2 horas e sistema de bases de 2a. ordem. O ponto de referência foi a estação Woolard SA 162 do aeroporto de Belém. O espaçamento médio das estações em linhas ao longo das estradas foi de 750m, com exceção do levantamento da costa. A eliminação do "drift" foi linear, tendo sido aplicada a correção de maré em todas as medições. Representam-se aqui os resultados deste levantamento gravimétrico, no que se refere aos interesses do presente trabalho, visando dividir a área de acordo com suas estruturas locais, (Fig. 3). Os altos e baixos gravimétricos se alinham paralelamente na direção geral NW-SE, a qual é provavelmente, a do sentido principal do tectonismo ocorrido na parte Nordeste do Pará, correspondendo às principais direções de falhamentos, evidenciadas pelas bruscas mudanças nos gradientes gravimétricos.

Abrangendo as vilas de Santarém Novo, Vista Alegre e Jaburu, o valor zero Miligal de anomalia Bouguer forma um alto gravimétrico de aspecto local denominado alto de Vista Alegre, e parece representar o embasamento raso, pois ao sul desta anomalia, em Capanema, o mesmo foi encontrado a 14m de profundidade (Ferreira, 1957). A sudeste de Capanema, os contornos Bouguer decrescem até -30 mgal formando o baixo de Tentugal (bacia de Tentugal) para se elevarem até mais de -10 mgal no Arco do Almoço. A partir daí os valores decrescem num gradiente de 1.3 mgal/km até atingir valores de -55 mgal formando a bacia de Bragança, cuja existência foi confirmada através de furos da Petrobrás, que se acham localizados simbolicamente na Fig. 3. O furo denominado EGst1. PA alcançou a profundidade máxima de 2100 m sem, entretanto, atingir o embasamento. O furo VNst1-PA atingiu o embasamento a 2038 m (Lobato, 1966).

As regiões de Tauari e Mirasselas localizam-se na isoanômala de -15 mgal, ou seja, de espessura rasa de sedimentos. Tauari parece estar no início dos contornos que definem a bacia de Tentugal. Mirasselas parece estar na borda da bacia de Bragança. Ca

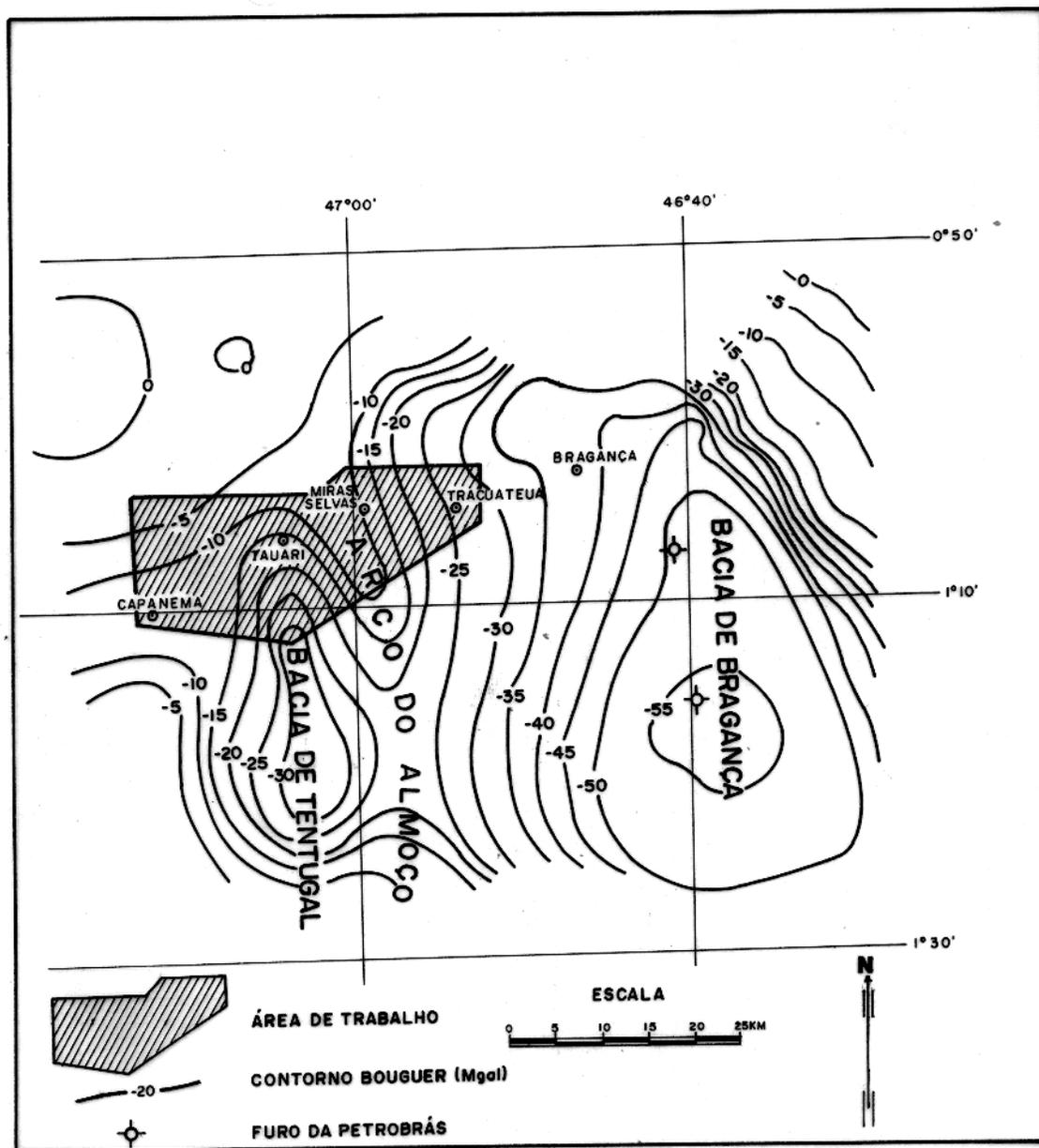


FIG. 3 - MAPA DE CONTORNO DE ANOMALIA BOGUER (SEGUNDO LOBATO, 1966)

panema parece estar no limite entre o alto de Vista Alegre e a bacia de Tentugal. A bacia de Tentugal é separada da bacia de Bragança pelo arco do Almoço, que é um alto regional de grandes dimensões, com direções aproximadas Norte-Sul, sendo ligeiramente curvado, côncavo para leste à altura da localidade Almoço e convexo para leste à altura da localidade Primavera. A espessura máxima de sedimentos neste arco é de 400 m calculada, teoricamente, na parte próxima à localidade Almoço, a 18 km ao sul da PA-25. Estudos desta natureza, realizados pela Petrobrás, objetivam encontrar estruturas profundas a fim de explorar petróleo e, como consequência, esses estudos só se interessam por problemas a profundidades superiores a 100 m. Pelo fato de detetar estruturas profundas é que este estudo anterior teve grande importância para o presente trabalho.

1.5.2. Aplicação de Eletroresistividade e Cintilometria para Dimensionar os Granitos

Com a finalidade de dimensionar os granitos, Gama Júnior e Coutinho em 1976, iniciaram estudos aplicando dois métodos geofísicos na área compreendida entre Mirasselas e Tracuateua. Os dois métodos aplicados foram: Eletroresistividade e Cintilometria. Resultados preliminares dos métodos aplicados, segundo os próprios autores, são aqui apresentados, apesar deste trabalho não ter sido concluído (Gama Júnior & Coutinho, 1978).

Eletroresistividade

Usando o aparelho resistivímetro ER-300 de fabricação nacional da Cia Pergeo Ltda, com potência máxima de 80 Watts, foram realizadas oito sondagens elétricas verticais usando-se arranjo Schlumberger. Todas as sondagens apresentaram curvas de resistividade aparente do tipo KH de 4 camadas, sobre a região do granito. De um modo geral, os valores de resistividade aparente obtidos nas SEV indicaram um pacote geoeletrico com as seguintes características: camadas superiores com resistividades altas, entre 4070 Ω -m e 29400 Ω -m; camadas intermediárias com resistividades baixas, entre 13 Ω -m e 79 Ω -m; novamente camadas com resistivida

des bastante elevadas (talvez o embasamento), de contrastes considerados grandes em relação às camadas de resistividades baixas e bastante baixas.

Cintilometria

Usou-se Cintilômetro SSPP-2 construído pela Cia SRAT, de contagem total, com cristal de NaI ativado com Tâlio. A contagem total é feita acima da energia de 50 KeV, em condições normais, ou seja, temperatura mais ou menos 20°C. As observações efetuadas no campo, durante o levantamento, permitiram admitir as seguintes correlações: valores médios entre 35 e 45 contagens por segundo, de um modo geral, parecem estar relacionados às rochas graníticas; valores entre 20 e 35 contagens por segundo, provavelmente são representativos do filito, enquanto que os valores de "Background" são devidos aos sedimentos argilosos e argilo-arenosos da Formação Barreiras; nas areias representativas do quaternário, foram encontrados valores de 10 contagens por segundo. Esperava-se que as medidas cintilométricas mostrassem valores mais característicos em cada unidade litológica, de tal modo que se tornassem evidentes os seus contatos. Os valores medidos no entanto, não evidenciaram de modo marcante os tipos litológicos na área, provavelmente devido à cobertura de solos espessos ou talvez devido a solos transportados, tornado difícil o posicionamento dos contatos litológicos, principalmente entre as rochas filito e granito.

Este estudo anterior foi de grande importância para o presente trabalho, por duas razões: 1. Os dois métodos geofísicos aplicados, serviram de referência para a seleção e aplicação de outros métodos. 2. Chamou a atenção para às anomalias de resistividades consideradas baixas, o que constitui um resultado surpreendente numa região mapeada com granito, segundo mapeamento pré-existente.

1.5.3. Método de Eletroresistividade Aplicado na Prospecção de Calcário

Este estudo foi realizado pela Geomineração S.A (GEOMISA),

em 1973.

Antes do programa de perfurações, conforme mencionado no item 1.3, com a finalidade de descobrir jazidas de calcário de boa qualidade e de pouca profundidade, o método de eletroresistividade foi aplicado e se constituiu de um elevado número de sondagens com valor máximo de $AB/2 = 100$ m, com arranjo Schlumberger. O aparelho utilizado foi um ER-300 da Pergeo Ltda, com potência máxima de 80 Watts. Estas SEV foram interpretadas pelo método de curvas de ponto auxiliar, e os resultados da interpretação não foram possíveis se conhecer, pelo fato de não se liberar o relatório para consultas externas. A Geomisa também fez medidas em laboratório da resistividade das rochas e sedimentos. Os valores ou intervalos de resistividade para cada tipo de material, estão representados na Fig. 4. Estas medidas de resistividades no laboratório, serviram de comparação para as medidas feitas sobre os afloramentos de calcário apresentadas neste trabalho.

1.6. Geoquímica

Estudos geoquímicos estão sendo desenvolvidos, nesta área, por Goulart em seu trabalho de tese de mestrado, NCGG-UFPa (1978). As análises geoquímicas estão sendo feitas em amostras coletadas em quatro poços escavados a uma profundidade que varia entre 1 e 6 m, na região do "granito".

As análises granulométricas no horizonte A não permitiram que se distinguísse a natureza da rocha mãe, se granito ou filito. Isto se deveu ao fato de que os solos maduros, devido à grande intensidade do intemperismo na região amazônica, são muito arenosos com predominância de quartzo. Daí o geólogo ter sido levado a inferir, em grande extensão, os contatos do granito no mapa pré-existente (Fig. 2). Para o horizonte B, a zona de acumulação em poço sobre filito é muito mais profunda do que aquela em poço sobre granito. Ainda ao longo do horizonte B, os teores de alcalinos são menores no material derivado de filito, porém, no horizonte A, os teores de alcalinos são mais ou menos os mesmos, tanto para o material derivado do filito, quanto do granito.

RESISTIVIDADE (OHM . METROS)	MATERIAL
2000 e 8000	GRÊS DO PARÁ
800 e 2000	AREIA ACIMA DO NÍVEL FREÁTICO
150 e 600	AREIA ABAIXO DO NÍVEL FREÁTICO
1 e 100	VÁRIOS TIPOS DE SEQUÊNCIA PIRABAS
4 e 30	CALCÁRIO
INDETERMINADO	CONGLOMERADO OU CALCÁRIO MUITO SILICIFICADO

**FIG. 4 - VALORES DE RESISTIVIDADES DE DIFERENTES MATERIAIS, ATRAVÉS DE MEDI
DAS EM LABORATÓRIO. (Gentileza do Geólogo chefe do setor de Pesquisa
da CIBRASA).**

Pode-se concluir que a contribuição da geoquímica ao mapeamento geológico tem certa importância a partir de uma dada profundidade. Isto torna a aplicação de métodos geofísicos, para se mapear rochas em subsuperfície, uma necessidade que cresce principalmente ao volume de trabalhos de geologia ou geoquímica solicitados na região.

CAPÍTULO 2

2. MÉTODO DE ELETRORESISTIVIDADE

2.1. Revisão de Conceitos

A distribuição de resistividade do subsolo pode ser calculada, usando-se o processo de medir a diferença de potencial ΔV , estabelecida entre dois eletrodos internos MN, quando se injeta no subsolo, através de dois eletrodos externos AB na superfície, uma corrente elétrica de intensidade conhecida I, como ilustrado na Fig. 5. Se o subsolo fosse homogêneo e isotrópico, a sua resistividade verdadeira seria calculada por:

$$\rho = k \Delta V / I$$

mas como o subsolo é em geral heterogêneo, não se pode fazer medida de ρ e sim da resistividade aparente (ρ_a), que depende das resistividades em cada ponto e do sistema de medidas. Esta resistividade aparente escreve-se:

$$\rho_a = k \Delta V / I$$

onde o fator geométrico k depende da disposição dos eletrodos na superfície e pode ser escrito sob a fórmula:

$$k = 2\pi (1/AM - 1/BM - 1/AN + 1/BN)^{-1}$$

válido para um arranjo qualquer conforme a Fig. 6.

O método de eletroresistividade é usado para investigar dois tipos de variação na resistividade aparente dos solos: Vertical e Lateral. A primeira é chamada sondagem elétrica vertical (SEV) e a segunda é a perfilagem elétrica. Neste trabalho usou-se nas sondagens o arranjo Schlumberger simétrico, conforme configuração na Fig. 7, sendo a resistividade aparente ρ_a calculada através da fórmula seguinte:

$$\rho_a = 2\pi (1/AM - 1/BM - 1/AN + 1/BN)^{-1} \Delta V / I$$

O arranjo que se usou para a perfilagem horizontal é chamado Wenner com configuração conforme Fig. 8, onde os eletrodos são equidistantes entre si o que corresponde a fazer $AM=BN=a$ e

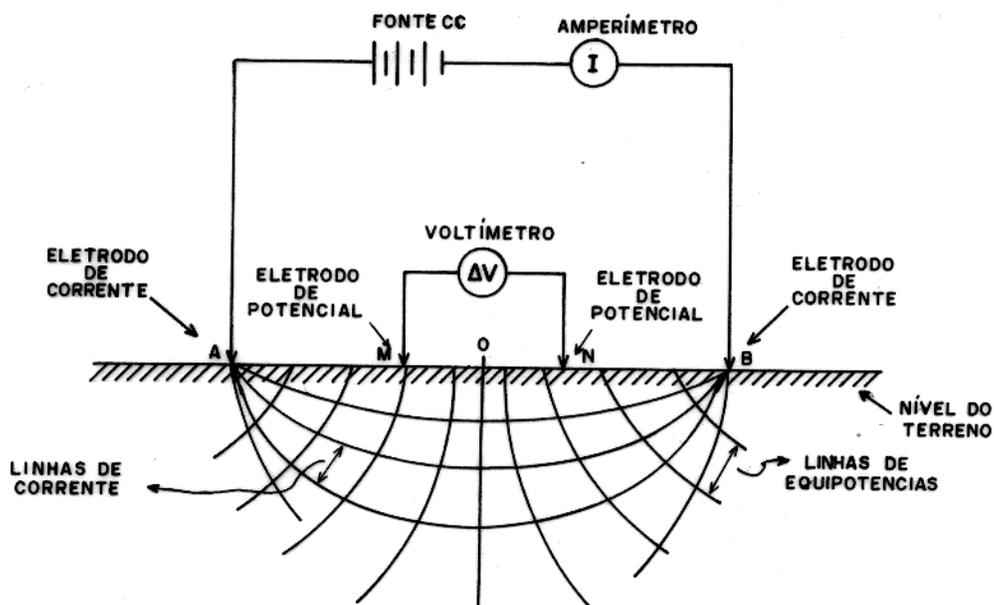


FIG.5 - CIRCUITO ELÉTRICO PARA DETERMINAÇÃO DE RESISTIVIDADE E CAMPO ELÉTRICO DE UMA FORMAÇÃO HOMOGÊNEA SUBSUPERFICIAL.

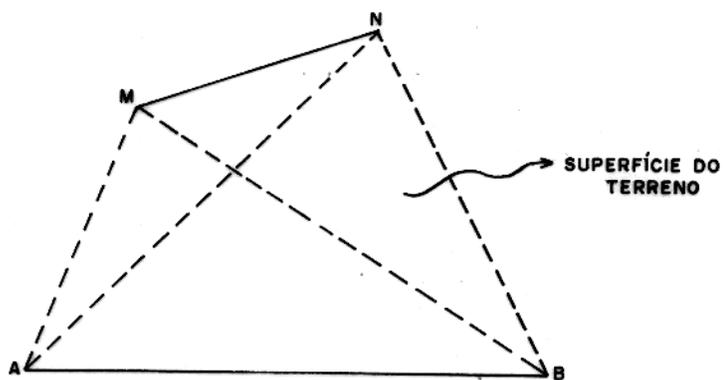


FIG.6 - CONFIGURAÇÃO GERAL PARA QUATRO ELETRODOS.

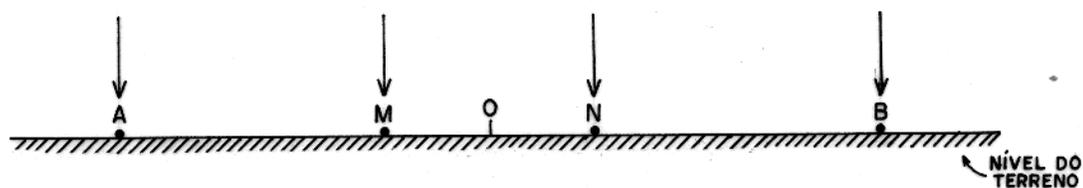


FIG. 7 - ELETRODOS ALINHADOS, EM CONFIGURAÇÃO SCHLUMBERGER PARA DETERMINAÇÃO DE RESISTIVIDADE.

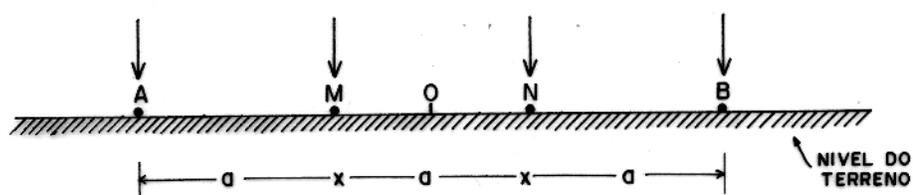


FIG. 8 - ELETRODOS ALINHADOS, EM CONFIGURAÇÃO WENNER PARA DETERMINAÇÃO DE RESISTIVIDADE.

BM=AN=2a na fórmula do fator geométrico k, que agora se escreve rá:

$$k = 2\pi(1/a - 1/2a - 1/2a + 1/a)^{-1}$$

ou

$$k = 2\pi a$$

As medidas do ρ_a agora se fazem segundo a fórmula :

$$\rho_a = 2\pi a \Delta V / I$$

Os valores de ρ_a obtidos numa SEV são plotados em papel bilogarítmico, com ρ_a em ordenadas em função de uma única variável na abcissa. Esta variável pode ser AB/2, quando o dispositivo for Schlumberger, onde MN é pequeno frente a AB, ou a quando o arranjo é Wenner. A razão de representar ρ_a em função de uma única variável é porque se quer obter uma curva e não uma superfície. A curva assim obtida denomina-se curva de resistividade aparente da SEV. Partindo da curva de resistividade aparente, o geofísico tenta deduzir uma distribuição vertical de resistividade. A metodologia usada na interpretação dos dados de SEV divide-se em duas partes ou fases: Preliminar e Final. A fase preliminar compreende duas etapas durante o processo de aquisição de dados no campo. A primeira etapa é relacionada aos dados adquiridos da própria sondagem elétrica e requer um número mínimo de curvas de campo, desde que o pesquisador já conheça as características elétricas do horizonte que se pretende mapear. Algumas propriedades como a resistividade das camadas, ordem de grandeza de suas espessuras e homogeneidade lateral, darão informações significantes para se saber por exemplo, que espaçamento de eletrodo se deve usar para que se identifique, na curva, o horizonte pesquisado, bem como a indicação de mudanças significativas nas propriedades destes horizontes. Esta etapa não exige o uso de curvas-padrão de resistividade.

A segunda etapa é mais apurada para a qual se usa o processo de ajuste com auxílio de curvas teóricas de três camadas. É feita no acampamento, no prazo máximo de 1 dia após a coleta dos dados. As informações obtidas nesta etapa auxiliam o planejamento das futuras operações de campo, como a decisão sobre a

maior ou menor densidade de locação de pontos de SEV e, principalmente, sobre a qualidade da interpretação que se pretende fazer. É nesta etapa que poderão ser observadas condições de equivalência em determinadas camadas, surgindo daí a necessidade de se obter informações adicionais, quer sejam fornecidas por colunas estratigráficas de poços perfurados, quer por estudos de propriedades elétricas sobre afloramentos da camada em questão ou ainda por métodos geofísicos auxiliares.

A fase final inicia-se ao ser encerrada a pesquisa no campo. Ela permite uma reinterpretação das curvas de SEV em grupos com resistividades de mesma ordem de grandeza para determinado horizonte, baseadas em informações disponíveis, e de outras pesquisas geofísicas e geológicas, para o resto da área. Esta interpretação final pode ser feita por ajuste de curvas, mas se um computador eletrônico está à disposição, preferem-se os cálculos das curvas teóricas exatas pelos processos numéricos, utilizando-se o método direto ou da inversão (Keller and Frischknecht, 1966).

2.2. Trabalho e Metodologia de Campo

Todas as sondagens e perfilagens feitas nesta área, foram realizadas utilizando-se o aparelho resistivímetro ER-300 de fabricação da Perfilagem Geofísica Ltda. (PERGEO), Rio de Janeiro, com potência máxima de 80 Watts. O equipamento completo consiste em fonte de corrente contínua, medidor de corrente, medidor de voltagem, fios e eletrodos.

A primeira viagem ao campo, durante o período de 01 a 19 de fevereiro/77, foi em caráter de reconhecimento, usando-se a técnica das sondagens elétricas verticais. Foram realizadas sondagens próximas a dois poços com perfil geológico conhecido, tendo como finalidade a calibração das SEV. Cerca de outras 30 SEV foram executadas, distribuídas por toda a área. A distribuição das SEV não obedeceu a uma malha regular porque em muitos locais havia dificuldade para expansão dos fios do AB, devido aos igapós existentes na região. Estas SEV foram úteis também para decidir a eficiência do método quanto à determinação da profundidade do to

po do embasamento. A hipótese de ser atingido o embasamento, era dada pela forma da subida assintótica a 45° da parte final da curva de campo, a qual era plotada no ato da realização da SEV. A SEV era concluída quando se percebia o comportamento assintótico da curva, ou quando era impossível continuar com a expansão dos fios do AB. Ficou ainda decidido que a extensão máxima da AB/2 deveria variar somente entre 200 e 500 m, apenas por se julgar que com estas extensões se atingiria o topo do embasamento na área, como realmente se constatou nas primeiras SEV realizadas, e não por se querer eliminar as possíveis imprecisões do aparelho, o que eventualmente ocorreu em outras áreas de estudos, quando a extensão de AB/2 ultrapassava os 700 m.

Numa segunda viagem ao campo, período de 04 a 23 de janeiro/78, cumpriu-se um programa de realização de mais 20 SEV na área, tornando-se relativamente densa em pontos de SEV como se observa no mapa de localização de SEV (Apêndice I). Neste período, efetuaram-se ainda as medidas para determinação direta em afloramentos, da resistividade do calcário e granito, utilizando-se arranjo Wenner com espaçamento curto entre os eletrodos sendo $a = 0.5$ a $a = 1$ m. Usaram-se, neste arranjo, eletrodos M e N não polarizáveis, ou seja, tendo contato com solo através de uma solução saturada de sulfato de cobre. O uso de eletrodos não polarizáveis aumentou o grau de confiabilidade das medidas obtidas. Repetiu-se também algumas SEV para testar os dados de campo, como é de praxe em trabalhos geofísicos. Durante esta repetição, usou-se além dos eletrodos não polarizáveis, a ligação terra, ou seja, o polo negativo da bateria aterrado. Constatou-se uma curva semelhante, mas apresentando melhores valores por ocasião das embreagens. Realizou-se ainda o teste de anisotropia sobre filito. A técnica usada no teste consistiu em realizar duas SEV em direções ortogonais sobre a rocha estudada, mantendo o mesmo centro do arranjo. Para o calcário, o teste de anisotropia foi realizado com arranjo Wenner de pequeno espaçamento ($a = 0.5$) em direções horizontal e vertical, sobre um barranco, onde se observam as camadas horizontais de calcário alternado com argila.

Em algumas SEV, para diminuir a influência da alta resis

tência de contato entre eletrodos e solos, usou-se derramar água salgada nos buracos feitos no solo onde se enterravam os eletrodos A e B. Todas as SEV foram realizadas no período chuvoso. Algumas SEV foram desprezadas por não apresentarem uma curva de campo razoavelmente suave. Isto acontecia quando, por ocasião da realização da SEV, chovia e, provavelmente, ocorriam fugas de corrente entre bateria e solo ou entre fios e solo.

2.3. Feições Gerais das Curvas de Sondagens e Interpretação dos Dados de Campo

Para efeito de interpretação final, dividiram-se as 48 SEV em 4 grupos distintos baseados em locais de geologia diferentes em superfície e diferentes estruturas geológicas evidenciadas no mapa de contorno gravimétrico (Fig. 3). A primeira interpretação das curvas foi feita tecnicamente pelo método de ponto auxiliar, obtendo-se os modelos preliminares das SEV. Este método apresenta a vantagem de se conseguir uma rápida avaliação dos resultados no próprio campo, tendo, porém, a desvantagem de suprimir informações sobre algumas camadas por ocasião da interpretação, principalmente quando não se tem um bom controle estratigráfico. Na etapa final da interpretação, usou-se um programa gerador de curvas elaborado por Luiz Rijo para uso no computador IBM 1130 e IBM 370/135. O programa usa como "input" um modelo contendo espessuras e resistividades de cada camada e fornece como "output" a curva de SEV para aquele modelo. Usando-se um processo iterativo, ia-se trocando o modelo (input) até se obter uma curva que fosse mais compatível com a curva de campo e com os dados geológicos da área em estudos. A precisão conseguida com esta técnica de interpretação é da mesma ordem de grandeza dos dados de campo, isto é, de 5 a 10%. Os modelos finais das SEV são encontrados no apêndice III.

Outra fonte de incerteza que ocorre na interpretação é causada pelo princípio da Equivalência. Este princípio diz que perfis verticais geoeletricos diferentes podem corresponder curvas muito semelhantes entre si, consideradas como equivalentes dentro da precisão alcançada na prática.

Grupo I

Este grupo da SEV foi realizado na região do granito segundo mapa geológico preliminar (Fig. 2). O grupo está dividido em dois subgrupos. O primeiro subgrupo apresenta curvas do tipo H de duas camadas (Orellana, 1966) como se pode observar na Fig. 9. Este subgrupo poderá servir de padrão para reconhecimento do granito através de sondagens elétricas, pois a partir da camada de cobertura, as curvas iniciam uma subida uniforme de aproximadamente 45° , indicando presença do embasamento cristalino, raso e com resistividade superior a $1000 \Omega\text{-m}$. A SEV 46 foi realizada sobre afloramento de granito. A camada de cobertura, no local, tem cerca de 2 m de solo residual com resistividade aproximada de $1000 \Omega\text{-m}$, a partir da qual inicia o embasamento resistivo. A SEV 22 foi realizada sobre o granito raso, tendo como cobertura um solo argiloso com resistividade em torno de $8 \Omega\text{-m}$ e profundidade aproximada de 10 m, após o que se inicia o embasamento resistivo.

O segundo subgrupo de SEV, ilustrado na Fig. 10, que também foi realizado na região do "granito" conforme mapa geológico anterior (Fig. 2), é de grande importância do ponto de vista geofísico e geológico. As SEV 9, 20, 31 e 49 (Dados de campo Apêndice II), também fazem parte deste subgrupo. Pelo fato destas curvas apresentarem feições do tipo KH de quatro ou mais camadas, de seqüência condutiva-resistiva-condutiva-resistiva, o mapeamento geológico anterior, no local destas sondagens elétricas, foi colocado em dúvida. Nesta região são observados apenas três afloramentos esparsos do granito e, no entanto, o mapeamento geológico anterior dá como granito uma área de aproximadamente 50 km^2 , conforme se constata na Fig. 2. No momento, optou-se pela hipótese daquela região ser considerada como constituída de "ilhas de granitos" circundadas por solos ou sedimentos Terciários. Baseadas nesta opção, apresenta-se a seguir a interpretação para este subgrupo de curvas. A primeira camada apresenta resistividade variando entre $1000 \Omega\text{-m}$ e $4000 \Omega\text{-m}$, correspondendo talvez a solos residuais secos. A segunda camada apresenta resistividade variando entre $3000 \Omega\text{-m}$ e $11000 \Omega\text{-m}$ que poderá corresponder aos solos ou sedimentos arenosos com presença de água doce. Uma exceção é a SEV

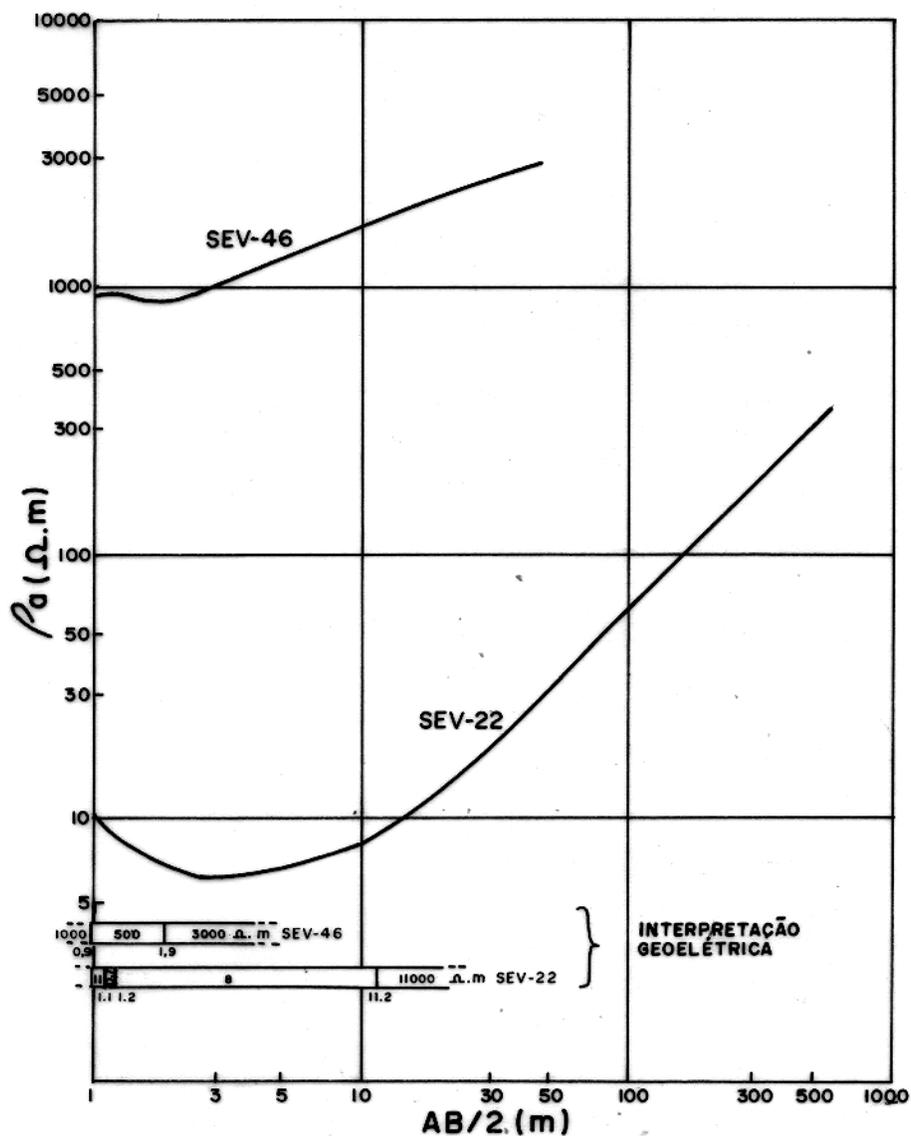


FIG.9 - PRIMEIRO SUBGRUPO DE SEV DE FEIÇÃO TÍPICA DE REGIÃO DE EMBASAMENTO RASO, COM MODELOS USADOS PARA REPRODUZIR CURVAS DE CAMPO.

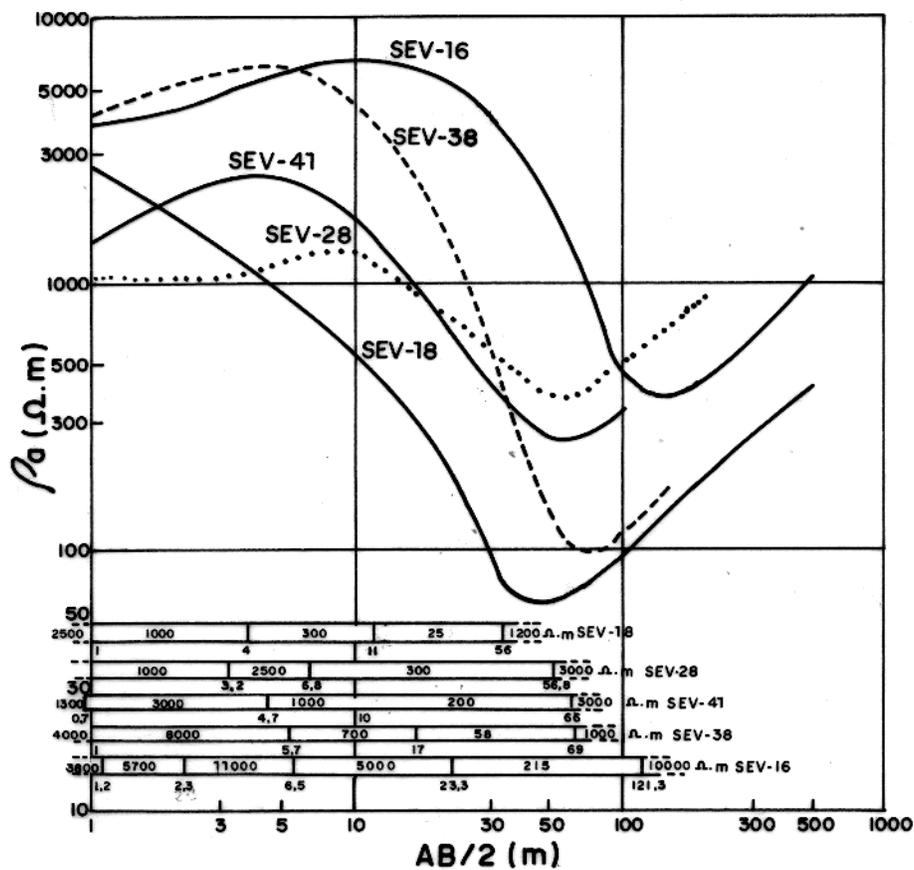


FIG.10 - 2º SUBGRUPO DE SEV, REALIZADO SOBRE A REGIÃO DO GRANITO, SEGUNDO MAPA GEOLÓGICO PRELIMINAR, MAS APRESENTANDO FEIÇÕES TÍPICAS DE SEV REALIZADAS SOBRE SEDIMENTOS.

18 em que esta camada resistiva está ausente. As curvas às vezes apresentam uma camada intermediária, localizada no ramo descendente, dando um total de mais de 4 camadas. Esta camada intermediária, neste subgrupo, corresponde à terceira camada no ramo descendente, que está a diferentes profundidades para cada SEV e apresenta resistividades bastantes diferentes para cada uma das curvas. É interessante observar a relação que parece existir entre o gradiente neste ponto da curva e o valor da resistividade da camada de mínimo, que corresponde à quarta camada. Quando o gradiente é forte, a resistividade para a quarta camada é baixa e quando o gradiente é fraco, a resistividade é alta. O embasamento resistivo, que pode ser granito ou não, se apresenta a diferentes profundidades em cada SEV. As interpretações destes dois subgrupos de SEV levam à conclusão de que existe uma espécie de "ilha de granitos" em meio aos solos e sedimentos, mostrando uma paleotopografia que apresenta uma feição ondulada, como se ilustra na Fig. 11. No caso positivo de ocorrência desta paleotopografia, novas SEV poderiam ser realizadas para melhores interpretações. Este é um problema muito interessante do ponto de vista de mapeamento geológico. A maneira de resolver esta questão é fazer 2 ou 3 furos de sondagens mecânicas nos locais desta SEV, o que foi feito posteriormente, conforme relatado no Capítulo 4.

Grupo II

Este grupo de sondagens foi realizado na área de ocorrência do calcário da Formação Pirabas. O grupo foi dividido em dois subgrupos, cujas curvas mais representativas são do tipo KH de 4 camadas, da seqüência condutiva-resistiva-condutiva-resistiva e às vezes com camadas intermediárias, chegando a apresentar mais de 4 camadas.

O primeiro subgrupo de SEV (Fig. 12) do Grupo II foi realizado sobre calcário aparentemente compacto, mas comprovadamente raso. As SEV mostradas na Fig. 12 são as mais representativas deste subgrupo. Completam este subgrupo as seguintes SEV: 1, 2, 6, 13, 15, 23, 30 e 36 (Dados de campo Apêndice II). A primeira camada das SEV apresenta resistividades variando entre



FIG.11- UM MODELO GEOLÓGICO DA SUBSUPERFÍCIE PROPOSTO PARA JUSTIFICAR A FEIÇÃO DAS SEV OBTIDAS NA REGIÃO DO "GRANITO".

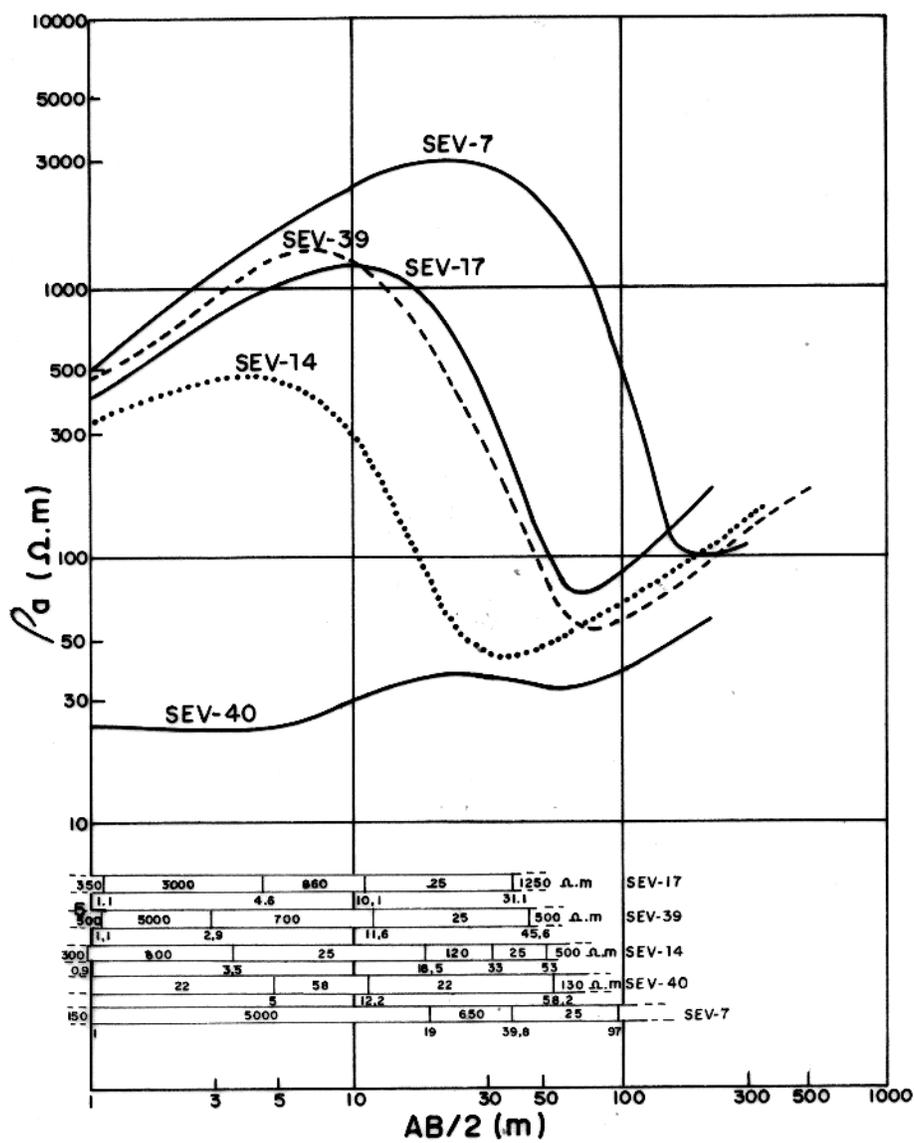


FIG.12 - PRIMEIRO SUBGRUPO DE SEV REALIZADA NA REGIÃO DO CAL-CÁRIO.

300 e 1000 Ω -m, provavelmente correspondendo à presença de solos secos arenosos. A segunda camada com resistividade média variável entre 1000 e 10000 Ω -m, provavelmente poderá corresponder aos sedimentos consolidados da Formação Barreiras com presença de água doce. A camada de mínimo apresenta resistividade média de 25 Ω -m e provavelmente se trata do Pirabas. Este é um calcário compacto, mas ainda tendo intercalações de argila, sendo de cor cinza escuro (Ferreira, 1977). É bastante interessante o comportamento das curvas deste primeiro subgrupo (Fig. 12). A SEV 40 foi realizada sobre o calcário aflorante, apresentando dois valores mínimos médios de 25 Ω -m. As demais SEV deste subgrupo atingem o valor mínimo de 25 Ω -m, mas à profundidades diferentes, com as curvas apresentando um deslocamento relativo para a direita, sugerindo estar influenciadas pelo efeito das diferentes espessuras de sedimentos sobre o calcário e tendo um mesmo gradiente após a segunda camada.

O segundo subgrupo de SEV (Fig. 13) foi realizado numa região onde o calcário é menos compacto, contendo areia fina e maior percentagem de argila, sendo portanto, menos resistivo conforme se comprovou. Completam este subgrupo as seguintes SEV: 4, 11, 12, 21, 24, e 42 (Dados de Campo Apêndice II). Sua primeira camada apresenta resistividade média variando entre 300 e 1500 Ω -m. A segunda camada tem resistividade entre 1000 e 3000 Ω -m. As curvas deste subgrupo apresentam também um gradiente aproximadamente constante para a terceira camada (intermediária), percebendo-se ainda um deslocamento relativo das curvas para a direita, atingindo a camada de mínimo com uma resistividade média de aproximadamente 10 Ω -m a diferentes profundidades, conforme se observa na Fig. 13. A última camada é de resistividade alta e as suas curvas apresentam um comportamento assintótico aproximado a 45°, sugerindo a presença de embasamento resistivo, cuja litologia permanece até agora desconhecida. A cobertura de solos da Barreiras é bem mais espessa sobre este tipo de calcário.

A Formação Pirabas se torna evidente em todas as SEV dos dois subgrupos, por se constituir na camada de mínimo e estar

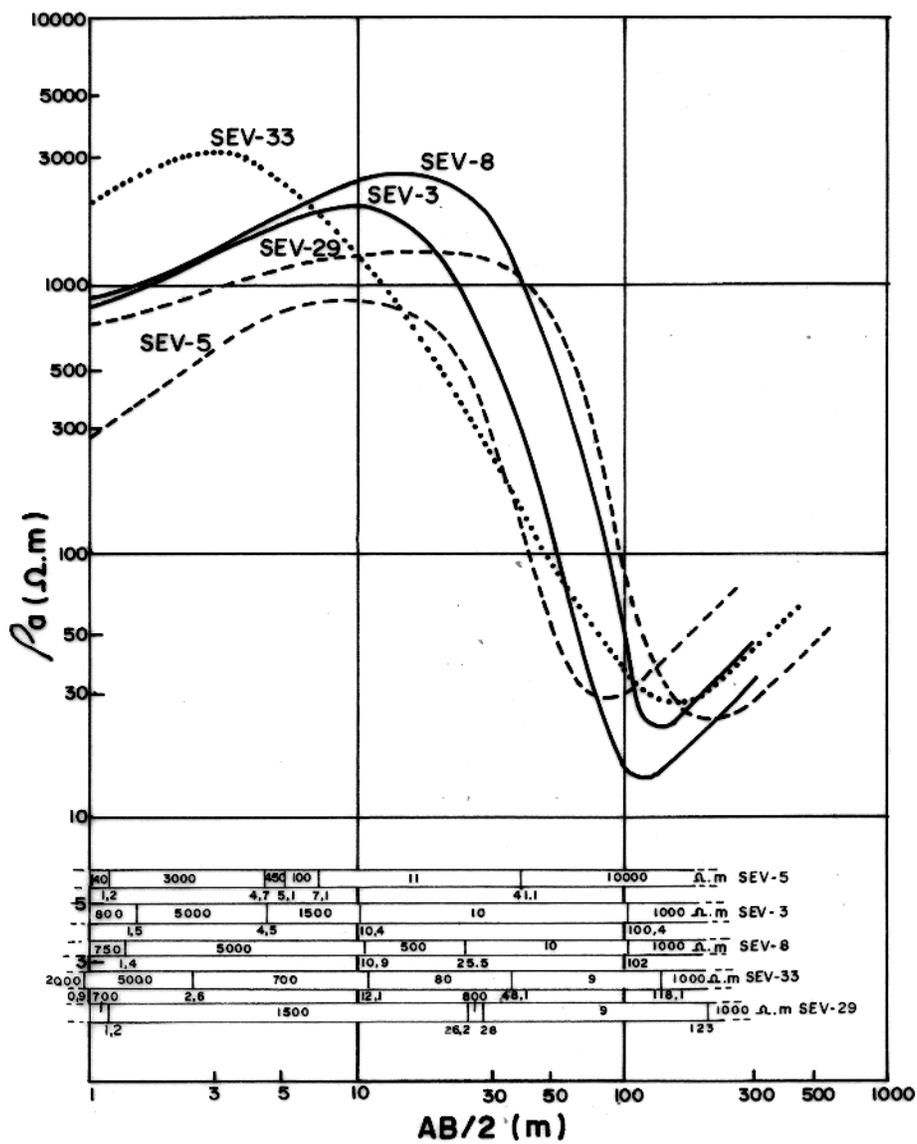


FIG.13 - SEGUNDO SUBGRUPO DE SEV REALIZADA NA REGIÃO DO CAL CÁRIO.

assentada diretamente sobre o embasamento resistivo, o qual se encontra a diferentes profundidades, conforme interpretação das SEV. As camadas da Formação Pirabas, como representadas nas SEV, correspondem em espessura a 80% do pacote sedimentar. Devido ao forte contraste de resistividade, torna-se possível determinar, com relativa facilidade, a espessura dos sedimentos do Pirabas e a profundidade do topo do embasamento neste grupo de SEV desde que se considerem confiáveis os valores de ρ_a .

Deve-se salientar que o primeiro subgrupo de SEV localiza-se na parte próxima à Capanema e se estende na direção NE, que se na forma de uma lente, enquanto que as SEV do segundo subgrupo localizam-se ao Norte e ao Sul desta lente central, apresentando-se a maiores profundidades do que as do primeiro subgrupo, conforme o verificado (Fig. 20).

O fato de ter dois valores diferentes de resistividades, medidas para o calcário Pirabas, talvez encontre explicação em alguns dos modelos geológicos propostos. O primeiro modelo (Fig. 14) pressupõe que a Formação Pirabas depositou-se diretamente sobre o embasamento, com a camada superior da deposição apresentando maior quantidade de argila. Uma reativação tectônica Pós-Miocênica ocorreu na região, provocando um levantamento no embasamento ao longo do eixo SW-NE, fazendo surgir estruturas secundárias como dobras, falhas, etc. Em seguida, a parte elevada sofreu erosão superficial deixando quase aflorante a camada da base. Sobre as partes altas do embasamento, então, surgiu a distribuição atual dos dois tipos de calcário diferentes, segundo seus conteúdos em argila, o que resultou apresentar diferentes comportamentos elétricos. Para o calcário argiloso, o valor calculado de sua resistividade é de cerca de $10 \Omega\text{-m}$ e para o calcário da base, menos argiloso, é de $25 \Omega\text{-m}$.

O segundo modelo (Fig. 15) pressupõe que a Formação Pirabas depositou-se sobre o embasamento que já apresentava paleotopografia. O calcário depositado sobre a paleo-elevação tem suas propriedades diferentes daquela fora dela, porque o ambiente de deposição, acima da paleo-elevação era mais raso e portanto, diferen

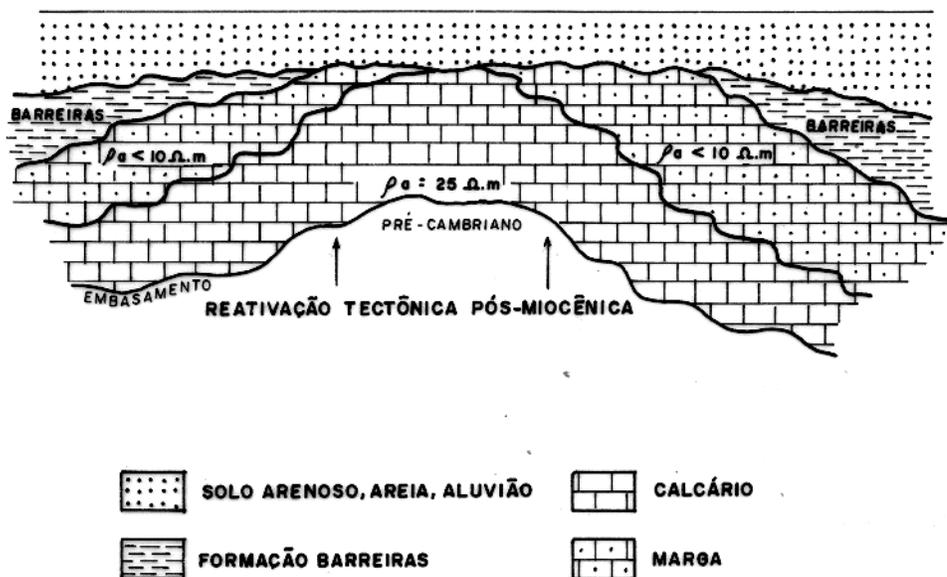


FIG.14- 1º MODELO GEOLÓGICO EM SUBSUPERFÍCIE , COM MOVIMENTO VERTICAL PROPOSTO PARA JUSTIFICAR A OCORRÊNCIA DOS DOIS TIPOS DE CALCÁRIO SEGUNDO SUAS RESISTIVIDADES.

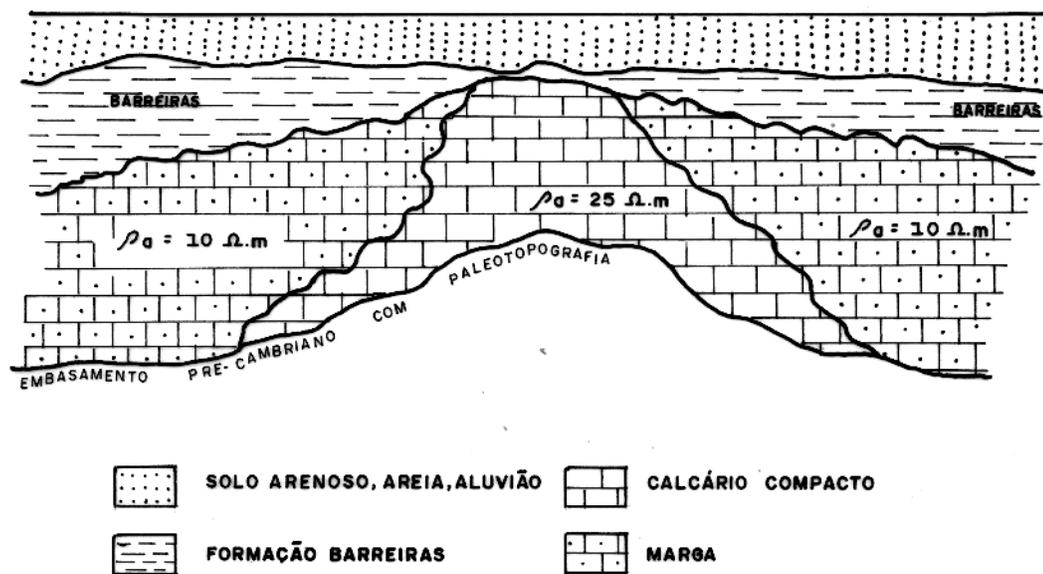


FIG.15- 2º MODELO GEOLÓGICO EM SUBSUPERFÍCIE COM MUDANÇA DE FÁCIES LATERAL PROPOSTO PARA EXPLICAR A OCORRÊNCIA DOS DOIS TIPOS DE CALCÁRIO SEGUNDO SUAS RESISTIVIDADES.

te, sofrendo menor contribuição terrígena por ocasião da deposição. Devido a isto, ocorreu então uma mudança de fácies lateral, evidenciada pelos diferentes valores de resistividade.

Grupo III

A Fig. 16 mostra as SEV 47 e 48 que foram realizadas diretamente sobre o "afloramento" de filitos, com o objetivo de observar o provável efeito de anisotropia que pode ocorrer nas foliações do filito. A direção de xistosidade é Leste-Oeste conforme medição no local. Manteve-se o mesmo centro do arranjo para as duas SEV. A SEV 47 foi realizada expandindo-se os fios do AB na direção Leste-Oeste, ou seja, paralela à foliação e a SEV 48 na direção ortogonal Norte-Sul. Estas SEV foram interpretadas da seguinte maneira. Interpretou-se uma das curvas, da qual passaram a ser conhecidas os parâmetros: número de camadas, espessuras e resistividades de cada camada. A seguir, fixaram-se estes dois primeiros parâmetros para a outra curva e conseguiu-se o seu ajuste variando-se apenas as resistividades das camadas. Os resultados da interpretação mostram valores mais altos para resistividades na direção Leste-Oeste (mesma da foliação) até a profundidade de 5 m, onde parece ocorrer anisotropia, concordante com o paradoxo de anisotropia. Da profundidade de 5 m até cerca de 35 m, encontram-se valores mais altos para as resistividades na direção Norte-Sul, contrariando o que se esperava, segundo o paradoxo de anisotropia. Somente a partir da profundidade de 35 m é que as duas SEV apresentam o mesmo valor para as resistividades, ou seja, quando as curvas começam a subida assintótica indicando a presença da rocha fresca. A profundidade máxima do nível de intemperismo parece estar a 35 m. Finalmente, surge a seguinte pergunta: a que é devido o mínimo das curvas?

As SEV 25, 26 e 27 (Dados de Campo Apêndice II) completam o grupo de SEV realizadas sobre o filito.

Grupo IV

O grupo de SEV aqui ilustradas (Fig. 17) foram realizadas

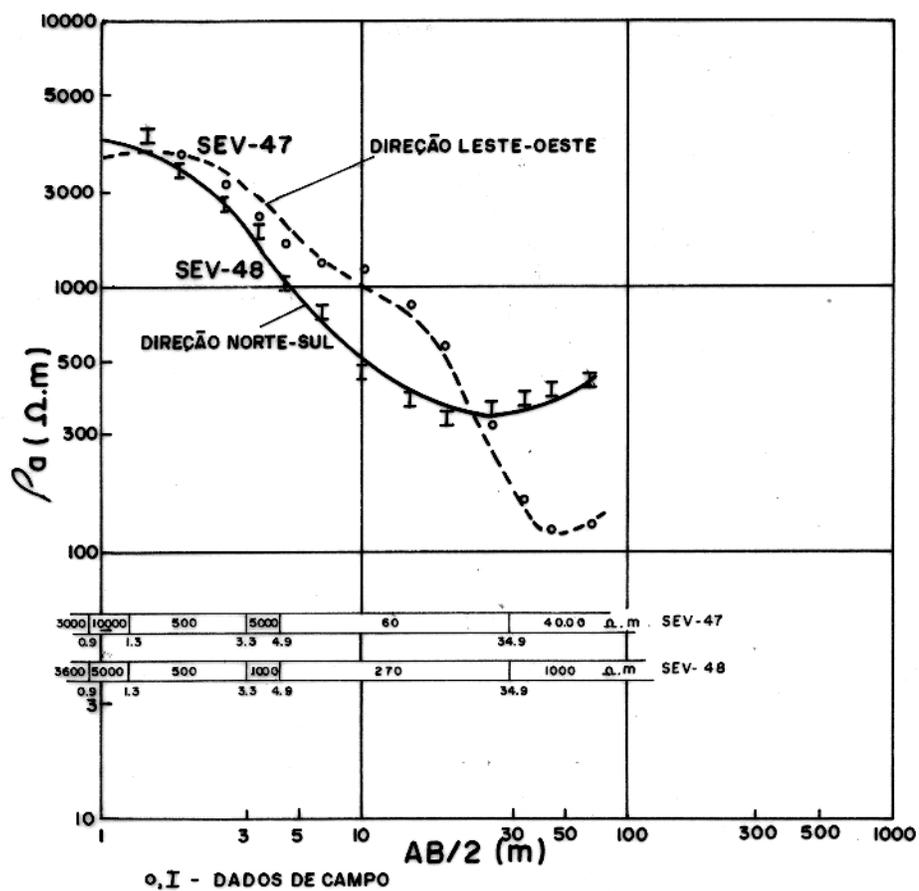


FIG. 16 - SEV REALIZADAS SOBRE A REGIÃO DO FILITO. SEV-47 REALIZADA EM DIREÇÃO PARALELA À XISTOSIDADE (LESTE-OESTE) E SEV-48 REALIZADA NA DIREÇÃO PERPENDICULAR À XISTOSIDADE, AMBAS MANTENDO EM COMUM A POSIÇÃO DO CENTRO DO ARRANJO.

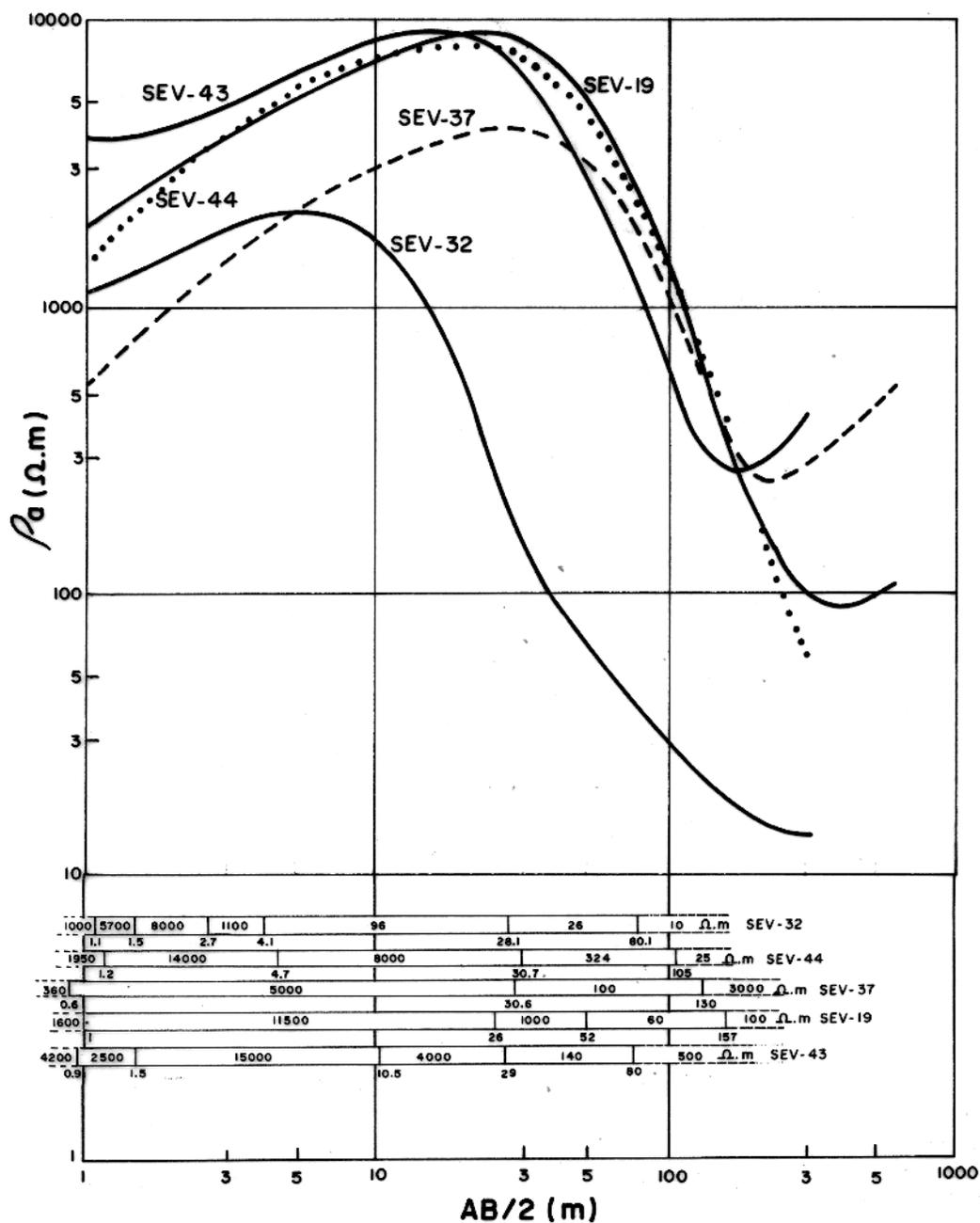


FIG.17 - GRUPO DE SEV REALIZADAS SOBRE UMA REGIÃO DA BACIA DE BRAGANÇA.

sobre a região estruturalmente denominada bacia de Bragança. Três destas SEV apresentam curvas do tipo KH, alcançando o embasamento em profundidade superior a 80 m. Duas destas SEV apresentam curvas do tipo KQ representando máximo definido, porém não apresentando mínimo definido. Nesta região deverá haver grandes espessuras de sedimentos e o embasamento deverá estar a profundidades maiores do que a investigada, o que parece confirmar a presença da bacia de Bragança, sendo este um dos objetivos desta pesquisa. A primeira camada das curvas tem resistividade bem variável entre 400 e 4200 Ω -m, denotando grande variação das condições do solo. A segunda camada apresenta resistividade variando entre 2000 e 15000 Ω -m, o que talvez corresponda à grande espessura dos depósitos de areia ali existentes. A SEV 45 (Dados de Campo Apêndice II) completa o Grupo IV.

O valor do ρ_a do mínimo atinge valores menores que o ρ_a do calcário argiloso (10 Ω -m). Talvez este valor baixo de ρ_a seja devido à presença de argila pura.

2.4. Técnica Usada Para o Mapeamento em Subsuperfície

Para mapear as espessuras das camadas de subsuperfície existentes na área, é necessário conhecer suas resistividades. Para isto, usaram-se dois processos práticos. Um é o de interpretar SEV realizadas próximas de poços com perfil geológico conhecido, porque quando se conhece as espessuras das camadas é fácil fazer uma correlação de valores de suas resistividades, com relativa precisão. O outro processo foi o de se utilizar informações de ρ_a sobre afloramentos ou sobre camadas rasas, e medidas de ρ_a em laboratório. Para a região do calcário, as SEV 36 e 3, Figs. 18 e 19, respectivamente, foram realizadas próximas de poços já existentes. A SEV 36 foi realizada sobre o calcário compacto, com o centro do arranjo a 30 m do furo 1 (Apêndice I), o qual não se estendeu até o embasamento. Pelas espessuras dos sedimentos conhecidos do perfil geológico do furo 1, determinou-se o valor médio de 25 Ω -m para a resistividade do calcário neste local. Os valores 60 Ω -m e 120 Ω -m para as camadas iniciais da curva ilustrada na Fig. 18 pro

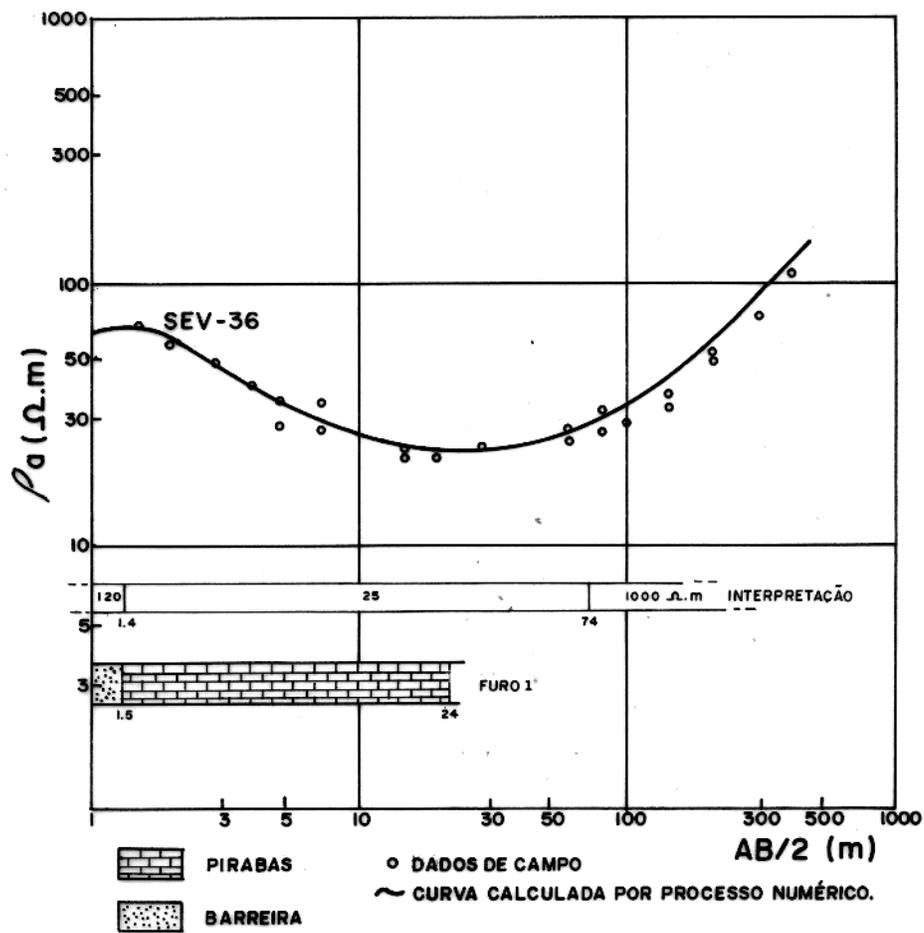


FIG.18 - INTERPRETAÇÃO CONTROLADA DA SEV-36 À PARTIR DE DADOS DE ESPESSURAS CONHECIDAS DO FURO 1.

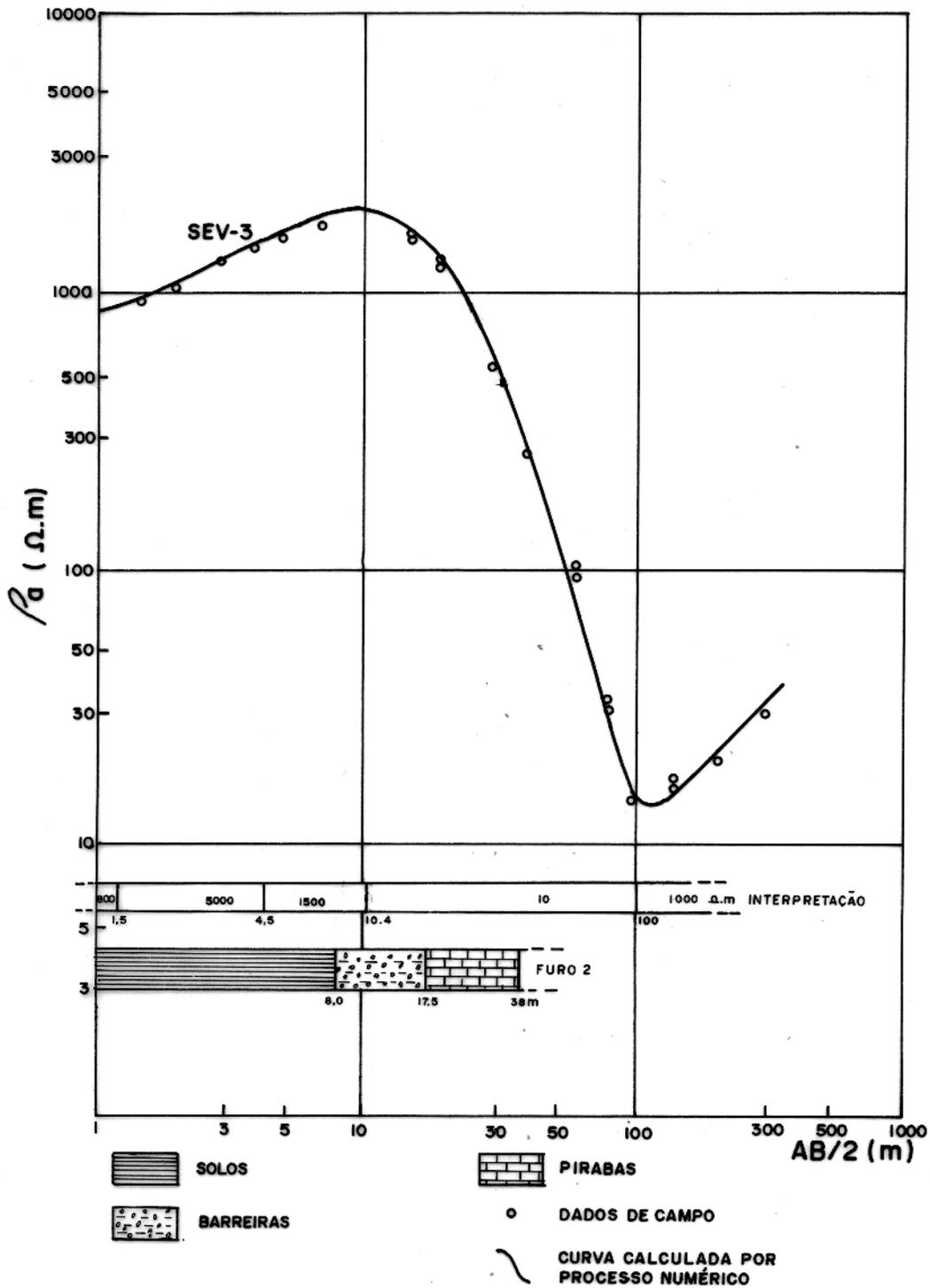


FIG.19 - INTERPRETAÇÃO CONTROLADA DA SEV-3 A PARTIR DE DADOS DE ESPESURAS CONHECIDAS DO FURO 2.

vavelmente estão correlacionadas ao efeito de uma camada de arenito cobrindo o calcário. A SEV 3 foi centrada nas proximidades do poço B à distância de aproximadamente 500 m, o qual também não se estendeu até o embasamento. Pelas espessuras dos sedimentos conhecidos do perfil geológico do furo 2, como se observa na Fig. 19, foi estabelecido o valor médio de $10 \Omega\text{-m}$ para a resistividade do calcário neste local (calcário margoso, segundo Ferreira, 1977). Determinou-se ainda valores de resistividade de solos entre $800 \Omega\text{-m}$ e $3000 \Omega\text{-m}$ e de sedimentos Barreiras em torno de $1500 \Omega\text{-m}$. As observações diretas sobre afloramentos de calcário consistiram em efetuar medidas de resistividades do calcário com uso do arranjo Wenner de pequeno espaçamento de eletrodos. O valor medido para o calcário foi de $25 \Omega\text{-m}$ nas proximidades da SEV 36. A informação sobre camada rasa é dada pela SEV 40 (Fig. 12), que foi realizada sobre uma jazida de calcário. Como se deduziu da informação desta SEV, a resistividade do calcário neste local é de $25 \Omega\text{-m}$, o que concorda com os resultados obtidos por meio dos dois outros processos acima referidos.

A partir do conhecimento das resistividades (ρ_a), dos materiais nesta região, chegou-se à conclusão de que apenas o calcário apresenta ρ_a abaixo de $25 \Omega\text{-m}$. Vale lembrar que o valor baixo para o ρ_a do calcário da região é devido à sua grande porosidade.

2.5. Mapas de Seções Geoeletricas

Baseando-se nos resultados de interpretação das SEV, foram construídos três mapas de contorno e duas seções geoeletricas, satisfazendo aos objetivos deste trabalho.

A Fig. 20 mostra o mapa de contorno da profundidade do topo do embasamento. Esses dados de profundidade foram obtidos das curvas de SEV, correspondentes ao cálculo da profundidade no ponto em que a curva tem o valor de mínimo e o ramo final inicia uma subida assintótica até um ângulo máximo de 45° . Nesta figura, observam-se partes rasas a cerca de 40 m nas proximidades de Capanema e aflorantes na região dos granitos nas localidades de Tauari, Mirasselas e Tracuateua. Constatou-se ainda a existência da bacia

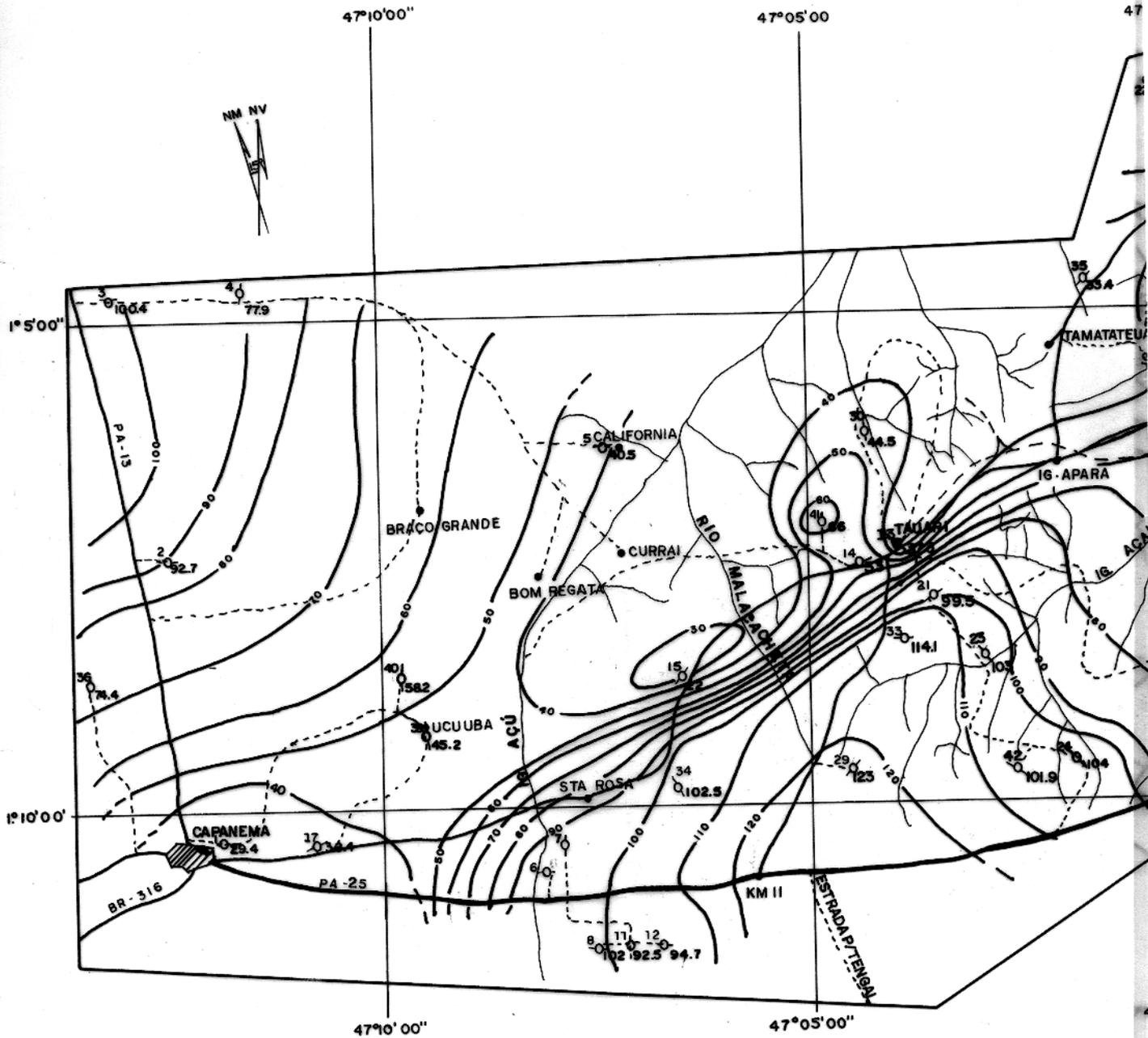
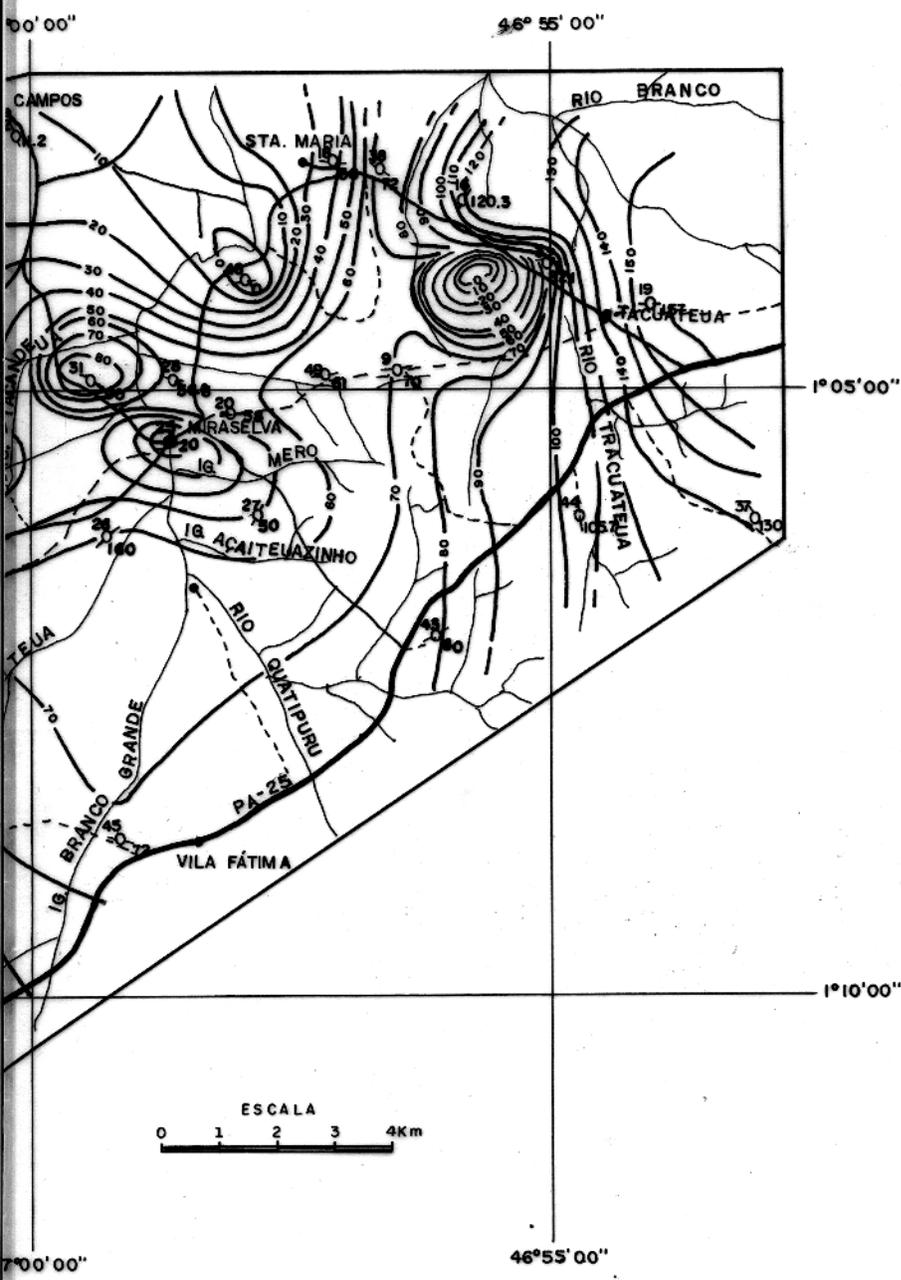


FIG. 20 - MAPA DE CONTORNO DA PROFUNDIDADE DO TOPO DO EMBASAMENTO, SEGUNDO A ELETRORESISTIVIDADE.

ÁREA CAPANEMA - TRACUATEUA - PARÁ



CONVENÇÕES

-  RODOVIA ASFALTADA
-  RODOVIA SECUNDARIA
-  ANTIGA ESTRADA DE FERRO
-  CAMINHO
-  DRENAGEM
-  CIDADE
-  LOCALIDADES MAIORES
-  LOCALIDADES MENORES
-  CONTORNO DE ISOESPESURA METROS

26
160
POSIÇÃO DA SEV ILUSTRANDO A DIREÇÃO DA LINHA AB, Nº DA SEV. A ESQUERDA E VALOR DE ESPESURA (m) À DIREITA.



de Tentugal na parte sul de Tauari. Na provável separação desta ba
cia (borda norte), próxima da linha de contorno 60 m que segue to
da a área na direção do "Strike" regional, parece existir uma fa
lha conforme evidência do gradiente forte ali observado. Os pa
drões das curvas de contorno de profundidades, estabelecidos atr
vés da eletroresistividade, apresentam-se um pouco diferentes dos
 padrões estabelecidos pela gravimetria, conforme ilustrado na
 Fig. 3.

A Fig. 21 mostra o mapa de contorno da provável espes
sura do Pirabas. Esses dados de espessura foram obtidos das cur
vas de SEV, para aquelas camadas com resistividade menor que
 25 Ω -m. A menor espessura do Pirabas, neste mapa, está na região
 próxima de Capanema, com prolongamento na direção nordeste, pare
cendo definir uma lente central de calcário sobre embasamento ra
so, como ilustrado nesta figura. Essa lente parece estar relacio
nada ao embasamento raso. Na parte Leste desta figura, o resulta
do da interpretação não apresenta ocorrência do Pirabas (região
 dos granitos). O resultado da interpretação também mostra o Pira
bas mais espesso ao norte e ao sul da lente central.

A Fig. 22 mostra o mapa de contorno da espessura da ca
mada de solos e/ou Barreiras. Os dados de espessuras das camadas
 foram obtidos das curvas de SEV, correspondentes à soma das espes
suras das camadas acima do Pirabas e com resistividades maiores
 do que 25 Ω -m, exceção feita para as SEV 14 e SEV 40. Esta figura
 mostra uma linha de contorno de 10 m separando o capeamento ra
so daquele espesso. É válido lembrar que as mais rasas ocorrências do
 Pirabas situam-se dentro desta linha de contorno de 10 m de espes
sura de solos e/ou Barreiras. Isto pode ser evidenciado pelas
 localizações das jazidas de calcário ali existentes, como é o ca
so da jazida próxima a Tauari, hoje abandonada após um ano de ex
ploração intensa, e por estar relacionada à lente central de cal
cário raso referida neste item. Na linha de contorno zero, onde
 foi realizada a SEV 40, situa-se a chamada jazida B1, até então
 não explorada. As espessuras maiores do que 10 m se localizam na
 parte SE entre Capanema e Tauari e na parte Leste da Fig. 21, ou
 seja, na região dos "granitos".

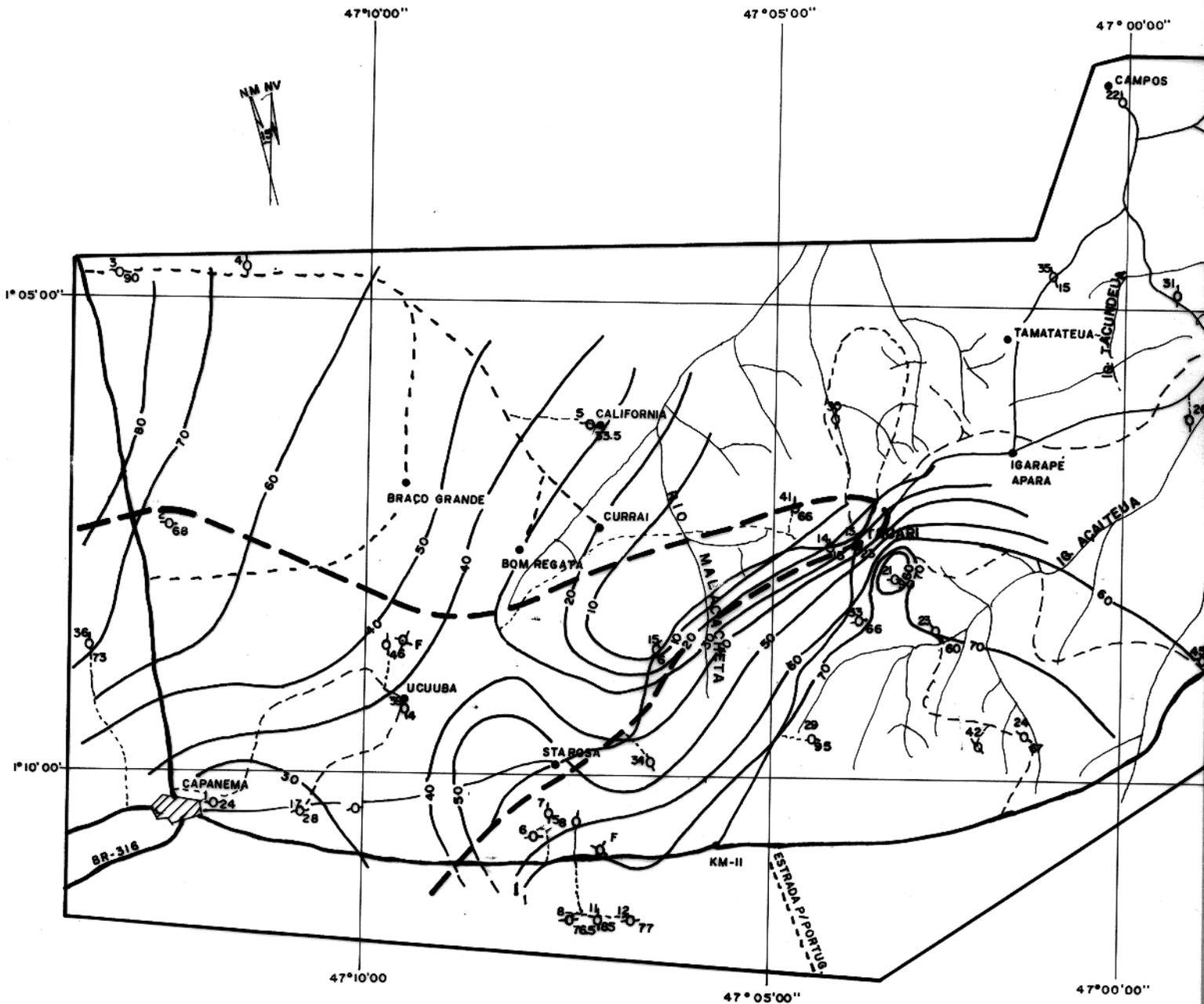
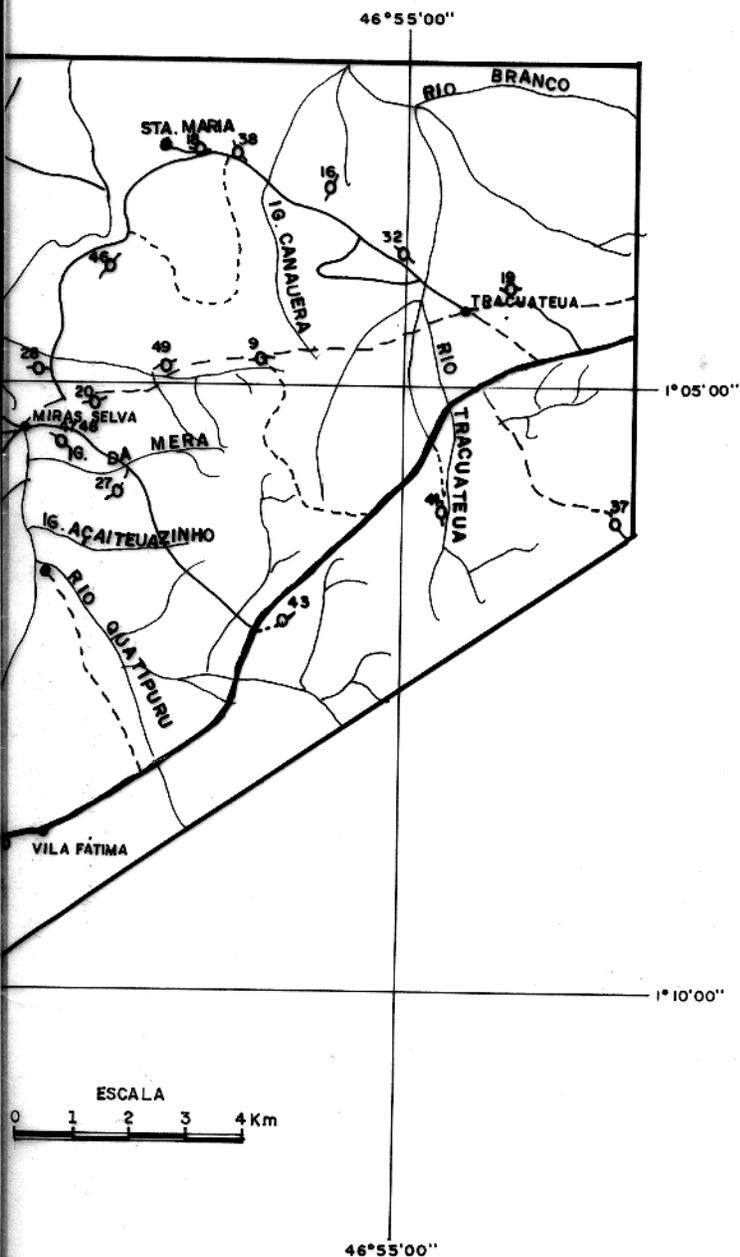


FIG. 21 - MAPA DE CONTORNO DA ESPESURA DAS CAMADAS DO PIRABAS, SEGUNDO A ELETRORESISTIVIDADE. ⁴³

ÁREA CAPANEMA-TRACUATEUA-PARÁ



CONVENÇÕES

-  RODOVIA ASFALTADA
-  RODOVIA SECUNDÁRIA
-  ANTIGA ESTRADA DE FERRO
-  CAMINHO
-  DRENAGEM
-  CIDADE
-  LOCALIDADE MAIORES
-  LOCALIDADE MENORES
-  CONTORNO ISOESPESSURA EM METROS.
-  POSIÇÃO DA SEV ILUSTRANDO A DIREÇÃO DA LINHA AB, Nº DA SEV À ESQUERDA E VALOR DE ESPESURA EM (M) À DIREITA.
-  SEPARAÇÃO DO CALCÁREO DE MAIOR RESISTIVIDADE,
-  LOCAL SUGERIDO PARA FURO DE SONDAEM MECÂNICA.

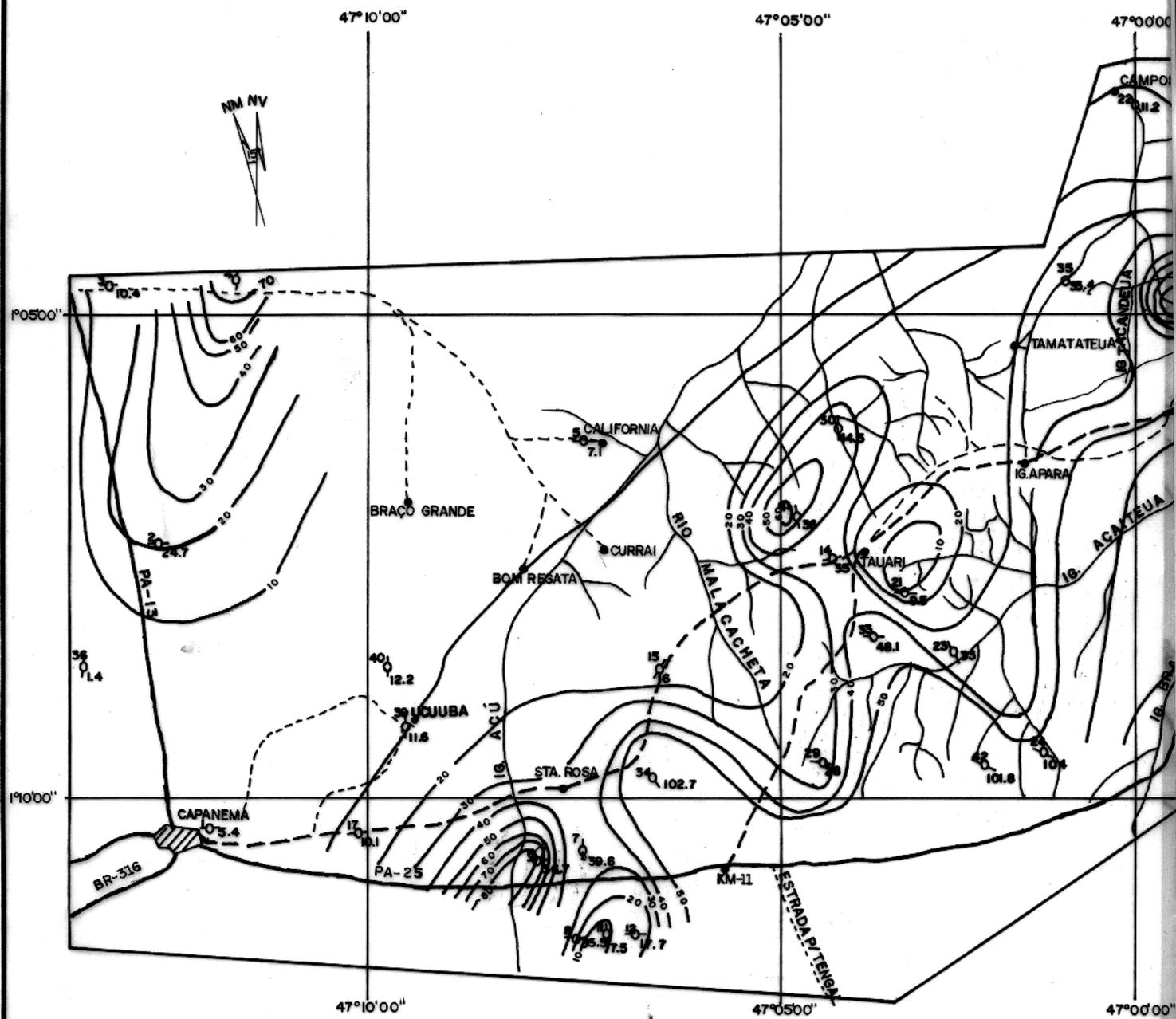
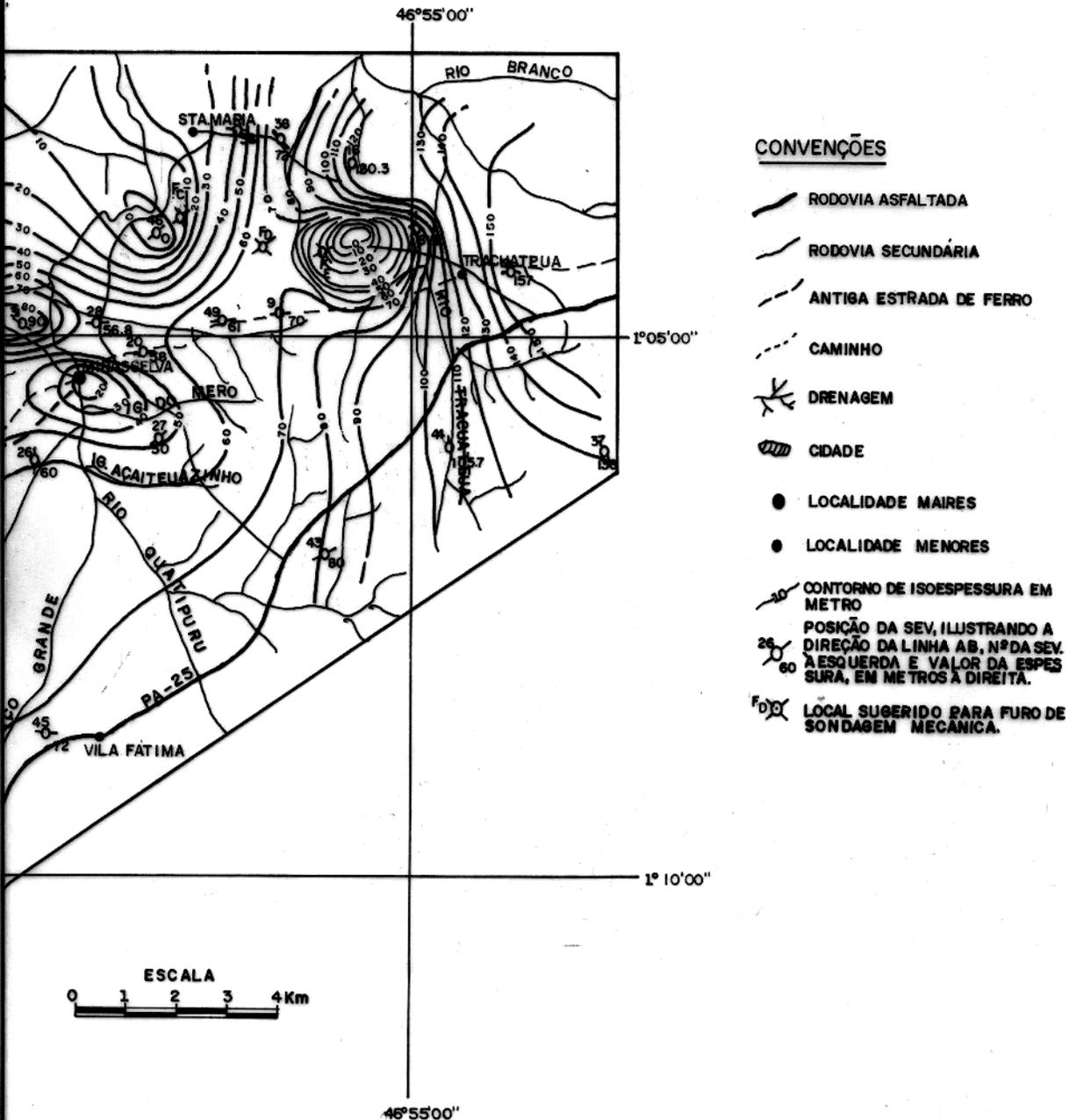


FIG.22- MAPA DE CONTORNO DA ESPESSURA DE SOLOS, ROCHA INTEMPERIZADA E /OU BARREIRAS SEGUNDO A ELETRORRESISTIVIDADE.

ÁREA CAPANEMA - TRACUATEUA - PARÁ



Um outro objetivo, isto é, o de determinar separadamente as espessuras de solos e dos sedimentos da Formação Barreiras, não foi cumprido rigorosamente, devido à grande variação lateral nos valores de resistividades dos solos e das camadas que correspondem ao Barreiras.

Convém ressaltar que os mapas das Figs. 20 e 22, são de caráter geral para toda a área, enquanto que o mapa da Fig. 21 é específico para a região do calcário.

Das duas seções geoeletricas construídas (Fig. 23 e 24) a primeira se compõe de 12 SEV tomadas num perfil que segue próximo à PA-25 indo de Capanema até Tracuateua. Esta seção mostra, distintamente, feições estruturais, algumas delas concordantes com aquelas ilustradas na Fig. 3, tais como a borda da bacia de Tentugal, localizada entre as SEV 17 e SEV 24, o arco do Almoço localizado entre as SEV 24 e SEV 43 e uma parte da bacia de Bragança entre as SEV 45 e SEV 37. Estas estruturas são evidenciadas, na seção geoeletrica, pela feição da topografia do topo do embasamento. A camada interpretada como sendo o Pirabas, é aquela delimitada pelos valores de resistividades abaixo de 25Ω -m. Observa-se também uma seqüência vertical na deposição dos sedimentos, isto é, o Barreiras sobre o Pirabas e este sobre o embasamento resistivo. Entre as SEV 45 e SEV 43 está marcado o local de ocorrência de uma falha no embasamento, que representa o resultado de interpretação através da magnetometria (Fig. 25). Há evidência deste falhamento, observado através da seção geoeletrica, pelo fato da camada do Pirabas se interromper à altura do local da falha, com a conseqüente ausência em todas as SEV do lado Leste da SEV 45, com exceção da SEV 44, onde é possível que ocorra a presença do Pirabas, ou outro sedimento condutivo num nível mais baixo de profundidade. Onde parece não ocorrer o Pirabas, como no caso da bacia de Bragança, lado Leste da falha, os sedimentos apresentam um comportamento elétrico diferente daqueles da região do lado Oeste. Isto talvez leve à hipótese de se tratar de bacias diferentes do ponto de vista de sedimentologia. Entre as SEV 1 e SEV 17, observa-se uma feição semelhante à de um arco, o que constitui uma nova estrutura em relação àquelas já conhecidas, sendo uma desco

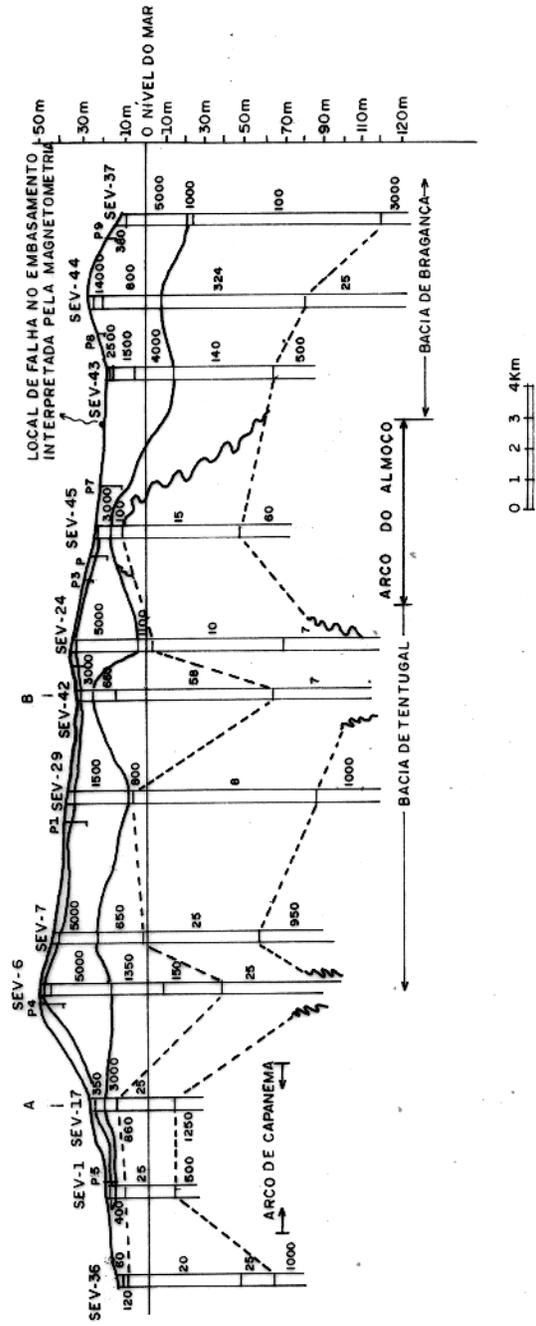


FIG.23- SEÇÃO GEOELÉTRICAS NAS PROXIMIDADES DA RODOVIA PA-25 CAPANEMA - TRACUATEUA.
SEV-36 - NÚMERO DA SONDAGEM ELÉTRICA.
P1] - POÇO ESCAVADO MOSTRANDO O NÍVEL PIEZOMÉTRICO.
(A,B) - FURO DE SONDAGEM MECÂNICA. (PROPOSTO)
VALORES DAS COLUNAS - RESISTIVIDADE INTERPRETADA EM Ω.m

berta feita através deste trabalho. As linhas que ligam valores de resistividades acima de $1500 \Omega\text{-m}$ talvez delimitem os sedimentos da Formação Barreiras que têm composição arenosa bastante variável. O nível piezométrico da água doce está situado dentro da Formação Barreiras, conforme pesquisa de profundidades de poços domésticos escavados. A profundidade destes níveis está representada na seção geolétrica. Isto permite a suposição de que a base da camada mais resistiva desta seção geolétrica não representa o nível piezométrico. Entre o Pirabas e o Barreiras surge um intervalo ainda desconhecido, sendo delimitado por valores de resistividades entre $58 \Omega\text{-m}$ e $1350 \Omega\text{-m}$. Este intervalo talvez corresponda ao próprio Barreiras possuidor de composição clástica-argilosa bastante variável. Também pode ocorrer que este intervalo seja equivalente aos sedimentos espessos do lado Leste desta seção, dentro da bacia de Bragança. Tendo-se interesse nesta provável equivalência, recomenda-se a reinterpretação de algumas SEV, na tentativa de tornarem mais próximos entre si os valores de resistividades destas camadas.

Sobre os arcos, assinalados nesta seção, a espessura dos sedimentos é menor em relação às partes que correspondem às bacias. O Barreiras parece mais espesso nos locais onde as SEV alcançam maiores profundidades e a topografia é mais elevada, como nos locais das SEV 6, 24 e 44.

O levantamento geral da costa que provocou a regressão marinha, parece ser uma reativação tectônica pós-Miocênica, porque a base do Pirabas é concordante com a superfície do embasamento, nas proximidades dos arcos. O Barreiras, ou pelo menos a parte mais resistiva, está discordante com o Pirabas, implicando em que sua deposição foi posterior a este levantamento. O Barreiras parece ter sofrido bastante erosão, em alguns lugares, como se pode ver na próxima seção geolétrica.

Recomenda-se fazer duas perfurações "A" e "B" nos locais das SEV 17 e 42, respectivamente. O primeiro furo deverá atingir o embasamento, que se encontra a aproximadamente 40 m. A finalidade deste furo é verificar a litologia do embasamento, espessu

ra do Pirabas, bem como espessura e composição do Barreiras. O segundo furo deverá atingir também cerca de 40 m de profundidade, tendo como finalidade verificar qual a natureza dos sedimentos correspondentes àquela camada de resistividade 58 Ω -m.

A Fig. 24 representa a outra seção geoeétrica. Foi construída com 5 SEV. Nesta seção, observam-se estruturas referentes à bacia de Tentugal, nas proximidades do local da SEV 29 e também a de um arco nas proximidades da SEV 15. Este arco é o mesmo que foi evidenciado na primeira seção geoeétrica. Com direção aproximada NE, este arco passa por Capanema e ao norte de Tauari. Constitui uma estrutura descoberta através deste trabalho e recebe a denominação de arco de Capanema. O primeiro indício da existência do arco de Capanema, apareceu, por observação, do alto gravimétrico no mapa de contorno Bouguer nas proximidades de Capanema (Fig. 3). Outro indício foi quando se verificou a menor profundidade do topo do embasamento (linha de contorno de 40 m), localizado na direção SW-NE entre Capanema e Norte de Tauari (Fig. 19), que é a direção do eixo do arco de Capanema, bem como evidência de um falhamento nesta direção, como separação da bacia de Tentugal. Na Fig. 21, traçou-se o limite do calcário mais resistivo e menos resistivo, sendo que o primeiro aparece dentro de uma faixa de provável coincidência com a extensão do arco de Capanema. Também recai, sobre esta faixa de direção SW-NE, a observação de uma pequena cobertura de solos e/ou Barreiras (Fig. 22), evidenciando mais uma vez ser um alto do embasamento em relação às proximidades. É provável que este arco tenha continuação para Sudoeste. Esta última confirmação porém, não foi possível, devido à pesquisa estar limitada à extensão da área de trabalho, cujo limite Oeste é a cidade de Capanema.

O arco de Capanema veio levantar uma série de indagações que, associadas à evidências geológicas propostas pela Geofísica, amplia o campo de pesquisas geológicas na região. A Geologia Econômica, por exemplo, interessa provavelmente saber se o arco de Capanema se constitui no leito principal onde se depositou o calcário Pirabas de boa qualidade. Em caso afirmativo, qual é sua extensão lateral? Quais são os prováveis limites Nordeste e Sudo

este do arco de Capanema? Após se responder a estas perguntas, poder-se-ia fazer, através da Geofísica, uma cubagem deste calcário para oferecer maiores subsídios às empresas que o exploram e, as sim, evitar que as mesmas continuem procurando-o em regiões menos favoráveis.

Do ponto de vista da Geologia Estrutural, do mesmo modo que o arco do Almoço separa as bacias de Tentugal e Bragança, o arco de Capanema separa as bacias de Tentugal e outra sub-bacia.

CAPÍTULO 3

3. MÉTODO MAGNÉTICO

3.1. Revisão de Conceitos

Medições contínuas do campo geomagnético vêm sendo feitas em uma rede de observatórios em vários países, com a finalidade de construir um modelo que represente o campo magnético terrestre. Um modelo simplificado para o campo geomagnético é aquele devido a um dipolo com momento magnético da ordem de 8×10^{25} emu com seu eixo inclinado de 11.5° em relação ao eixo geográfico e tendo origem no núcleo da terra. Na realidade, o campo magnético terrestre na superfície é mais complexo do que este proposto, devido à influência de vários tipos de perturbações magnéticas como as de origem interna, na crosta e externa à terra.

O método magnético tem como objetivo detectar, através de instrumentos sensíveis denominados de magnetômetros, variações no campo geomagnético produzidas por mudança de suscetibilidade magnética das rochas, magnetização remanente, variação periódica com o tempo, instalações industriais e instalações domésticas. Somente as variações do campo geomagnético, devido às mudanças de suscetibilidade magnética das rochas da crosta, são de interesse na prospecção geofísica.

O campo geomagnético é um vetor \vec{F} que se caracteriza completamente em qualquer ponto do espaço, pelos seguintes elementos: Componente horizontal (\vec{H}) que é sempre positiva; componente vertical (\vec{Z}); considerada positiva quando aponta para baixo (latitudes magnéticas Norte) e negativa, quando aponta para cima (latitudes magnéticas Sul); ângulo de inclinação magnética (I) e ângulo de declinação magnética (D). A escolha de apenas três destes elementos é suficiente para se determinar completamente o comportamento do campo.

A unidade MKS ou Sistema Internacional (SI), para a intensidade do campo magnético é o Weber por metro quadrado que se abrevia Wb/m^2 . Nesse mesmo sistema usa-se ainda a unidade cha

mada Tesla, a qual corresponde a 1Wb/m^2 . A unidade chamada Gauss é do sistema CGS e corresponde a 10^{-4}Wb/m^2 . Para fins geofísicos prefere-se o uso da unidade Gama (γ) que corresponde a 10^{-5} Gauss ou 10^{-9} Wb/m^2 ou também corresponde a um nanoTesla (nT), segundo Reilly (1972).

O modelo simplificado do campo geomagnético referido anteriormente corresponde a uma intensidade horizontal (H) de aproximadamente 30.000 Gamas no Equador magnético ($I = 0^\circ$) e uma intensidade de aproximadamente 60.000 Gamas em cada polo da terra ($I = 90^\circ$) segundo (Sharma, 1976). Aqui preferiu-se trabalhar com a unidade GAMA.

Por outro lado, as perturbações nesse campo devidas às mudanças da suscetibilidade magnética nas rochas não ultrapassam, em geral, a mais ou menos 500 Gamas, com exceção das áreas de grandes concentrações de magnetita.

3.2. Trabalho e Metodologia de Campo

Neste trabalho foram efetuadas medidas de campo magnético total, sendo utilizados dois magnetômetros de precessão de prótons modelo GP-70 de fabricação da McPhar Geophysics Limited Company, com precisão de 1 Gama. Instalou-se um dos magnetômetros numa estação-base para o registro da variação diurna do campo geomagnético, com a finalidade de correção de dados obtidos em outras estações. A estação ficou localizada no sítio de propriedade do Sr. Esperidião Fernandes de Queiroz, a 2 km de Capanema pela 1a. travessa, contando a partir da esquina com a Av. Barão do Rio Branco, a 50 m da estrada. O trabalho na estação-base, feita por um operador técnico, consistiu em registrar as leituras no magnetômetro a cada intervalo de 15 minutos. Com o outro magnetômetro efetuaram-se leituras em estações diferentes, espaçadas de 200 m ao longo das vias de acesso disponíveis na área. As estações localizadas nas rodovias foram demarcadas pelo odômetro do veículo utilizado no levantamento. As demais estações foram demarcadas a passo.

Durante o levantamento magnético, teve-se o cuidado de escolher estações de medidas longe de instalações industriais e de outras fontes de ruídos. As áreas onde havia predominância de

granito e filito tiveram, propositadamente, maior concentração de estações de medidas, devido ao fato de que um dos objetivos deste trabalho era exatamente determinar os contatos entre estes dois tipos de rochas. Os dados coletados sofreram a correção "Drift" da variação diurna. Após a correção do "Drift", todos os valores corrigidos foram referenciados ao valor mínimo das medidas na estação-base, durante o levantamento. Um valor de 28.057 Gamas foi subtraído de todos os valores do campo total, medido nas demais estações, deixando as medidas corrigidas dentro do intervalo -200 e +150 Gamas. Os dados assim corrigidos foram plotados no mapa e, em seguida, traçadas curvas de isogama com intervalo de contorno de 25 Gamas como mostra a Fig. 25.

Foram feitas algumas coletas de amostras dos granitos, filitos e micaxistos para a avaliação, em laboratório, das respectivas suscetibilidades magnéticas (Apêndice IV). Para isso, usou-se o aparelho "Bison Magnetic Susceptibility Meter System" modelo-1.3101, o qual fornece o valor da suscetibilidade aparente.

3.3. Feições Gerais das Isogamas, no Mapa Magnético

Observando os contornos das isogamas, ilustradas na Fig. 25, pode-se concluir: 1) de modo geral, os contornos apresentam um lineamento na direção do "Strike" regional (direção ENE a NE); 2) no lado Leste, as curvas de isogamas indicam claramente as estruturas geológicas do granito e filito naquela área; 3) no lado Oeste observa-se a falta completa de isogamas. Isto se deve à menor densidade de leituras neste lado e por se julgar que o embasamento aí fosse homogêneo ou que ocorressem contatos somente na direção N-S magnético; 4) os contornos positivos apresentam valores mais elevados sobre a região dos granitos. enquanto que na região do filito observam-se os baixos magnéticos; 5) os contornos negativos se estendem, na área, por 15 km aproximadamente e apresentam um aspecto alongado a Leste, onde se apresenta aberto, sendo um pouco retorcido para o Norte na parte Oeste do mapa; 7) observa-se facilmente um alinhamento dos valores máximos e mínimos magnéticos, o qual aparentemente coincide com as direções estruturais do granito e filito; 8) na parte SE da área observa-se

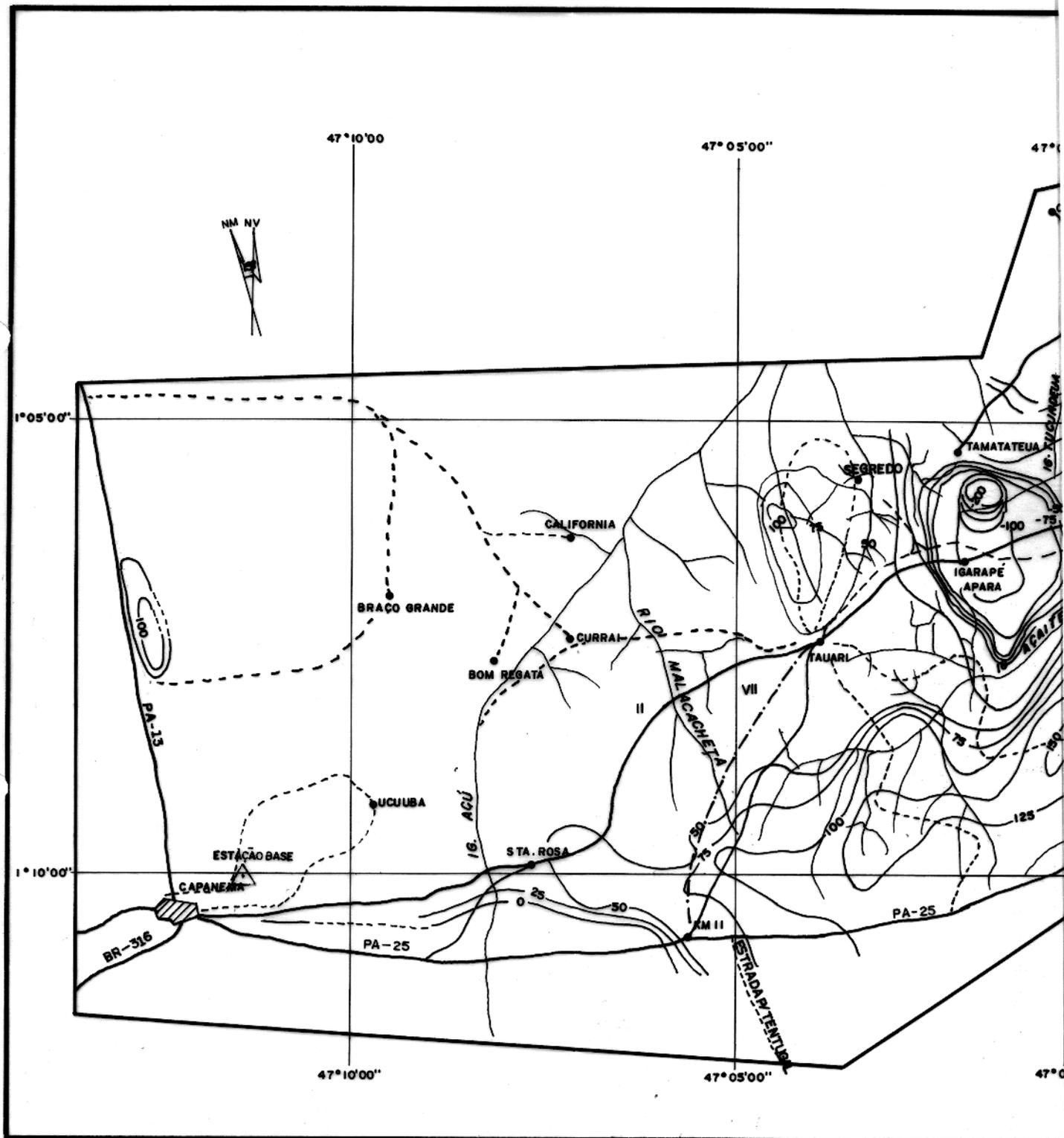
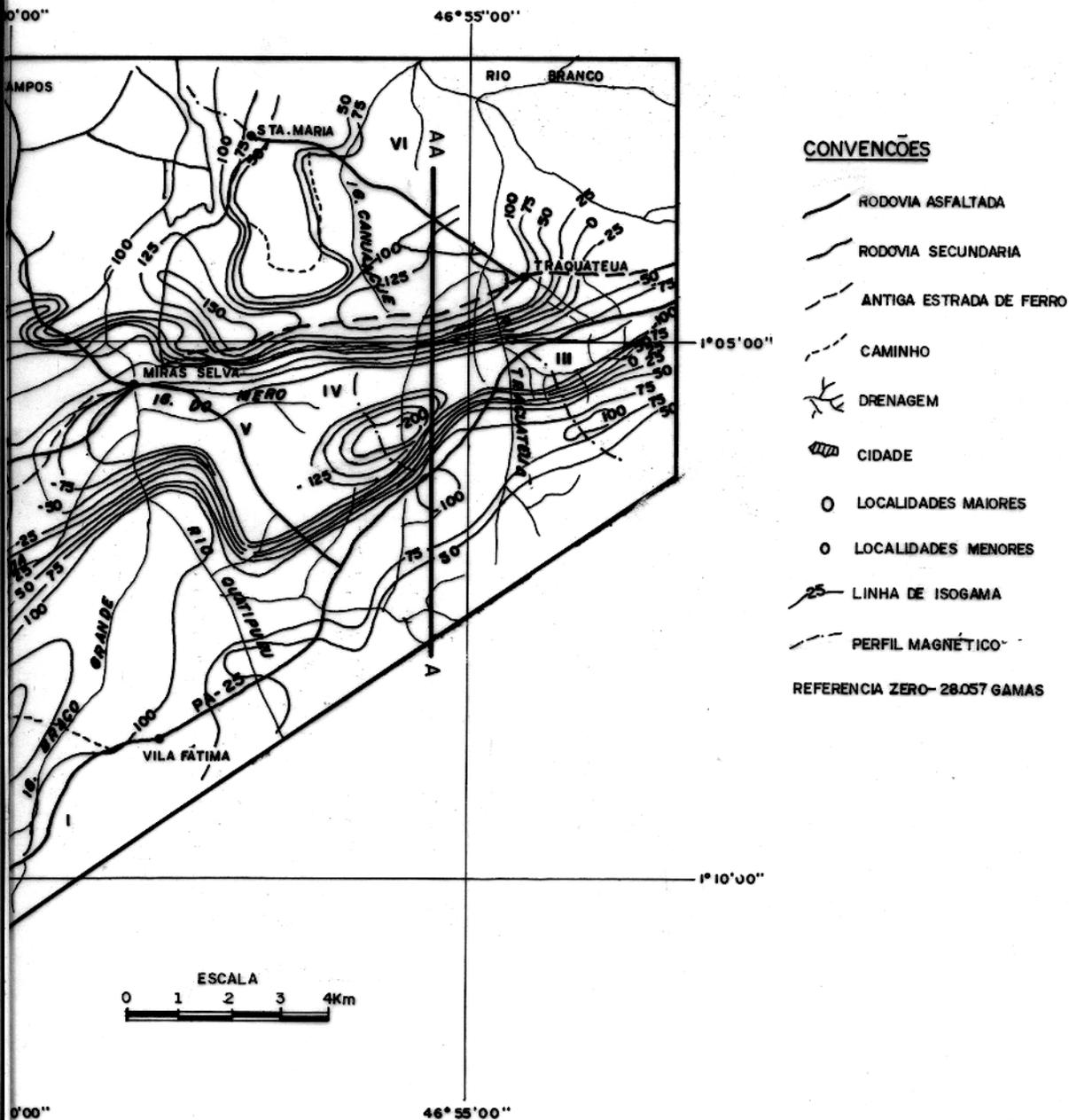


FIG. 25 - MAPA DE CONTORNO DE ANOMALIAS
MAGNÉTICAS REPRESENTADAS A
TRAVÉS DAS CURVAS DE ISOGAMAS.

ÁREA CAPANEMA-TRACUATEUA-PARÁ



um deslocamento lateral no alinhamento dos máximos e mínimos, sugerindo a possibilidade de haver uma falha do tipo deslocamento aparente horizontal (Fig. 25) de sentido dextrógero ou levógero.

3.4. Interpretação Qualitativa dos Dados de Campo

Os altos magnéticos aparecem com maior frequência sobre a região dos granitos. Entre estes altos magnéticos destacam-se: a) o alto magnético na parte sul do filito; b) outro alto magnético a NNW de Tauari que, provavelmente, está relacionado com rochas que estão a pouca profundidade ou mesmo aflorando. Esta última anomalia sugere um corpo pequeno de granito, separado do corpo maior pela faixa do filito. Os granitos parecem estar delimitados pelas isogamas com valores acima de +50 Gammas, podendo estar em contato com filitos. Sob este ponto de vista, pode-se identificar quatro corpos isolados e pequenos do lado Norte do filito: dois corpos graníticos entre Mirasselas e Tracuateua, um corpo a norte de Tracuateua e outro a norte de Capanema, e um corpo maior ao sul do filito. O filito está delimitado abaixo do contorno de isogamas +25 Gammas, e o contato com granito está melhor caracterizado entre Mirasselas e Tracuateua, onde se tinha bom controle dos dados. Com base nestes resultados, observou-se que o filito se estende numa área maior do que aquela previamente mapeada (Fig. 2). A leste de Tracuateua, os contornos, apesar de abertos, parecem sugerir a continuidade do filito naquela direção, bem como também na direção de Capanema.

Os gradientes fracos, observados pelas suavidades nos contornos magnéticos, nas partes sul de Tauari ao longo da PA-25, indicam que ou a cobertura sedimentar é mais espessa do que em outras áreas, ou o embasamento é bem homogêneo.

Ao sul de Mirasselas, próximo à ponte do rio Quatipuru, observa-se, no mapa, um deslocamento lateral relativo das linhas que definem os máximos e mínimos magnéticos, indicando uma falha na direção NW-SE, ou seja, na direção geral do tectonismo regional. Esta falha parece estar localizada exatamente entre a bacia de Bragança e o arco do Almoço, a qual também foi constatada pe

los dados de gravimetria que sugerem estar a bacia de Bragança de limitada por fálhas de direção NW-SE e NNE-SSW (Lobato, 1966). A evidência destes falhamentos em superfície não é possível devido à presença de um espesso capeamento Terciário e Quaternário na região.

3.5. Interpretação Quantitativa dos Dados de Campo

A necessidade de posicionar, com relativa precisão o contato entre diferentes litologias do embasamento, fez com que se utilizasse um método de interpretação quantitativa dos dados magnéticos. O método escolhido foi o do modelamento digital de perfis magnéticos. O programa de "FORTRAN" utilizado, de nome "Modelamento Magnético em duas dimensões", foi gerado pela United States Geological Survey (USGS), já tendo sido modificado por William A. Sauck e adaptado para uso no computador IBM 1130 do Serviço de Computação da UFPa. Este programa usa como "Input" modelos formados de vários corpos, cada qual limitado por uma linha poligonal, fechada ou não através de segmentos lineares, sendo fornecidas suas magnetizações e posições em subsuperfície. A intensidade de magnetização M foi calculada através da fórmula $M = KH$, onde K = suscetibilidade magnética e H = intensidade do campo magnético. Para a área em estudo, latitude geográfica $1^{\circ}S$ e sendo 11° a inclinação do campo magnético total, modelou-se um perfil como o representado na Fig. 26. Este perfil, computado para um modelo teórico de 3 corpos, representando um dos possíveis modelos da geologia de subsuperfície, teve seu melhor ajuste praticamente paralelo ao perfil interpolado do mapa de contorno (Fig. 26, perfil A-AA). O perfil interpolado dos dados de campo tem como Datum zero o valor 28.057 gamas que é arbitrariamente referente ao valor da estação-base. O valor que corresponde ao contato norte do filito foi estabelecido em -75 Gamas. observado na Fig. 25, deslocado, portanto, para o lado da anomalia negativa, em função da inclinação magnética e mergulho deste contato. Conforme se verá no Capítulo 4, é constatada a presença de micaxisto na região, bem como se faz a hipótese da sua ocorrência em faixas alongadas, entremeando filitos e granitos. No modelo proposto

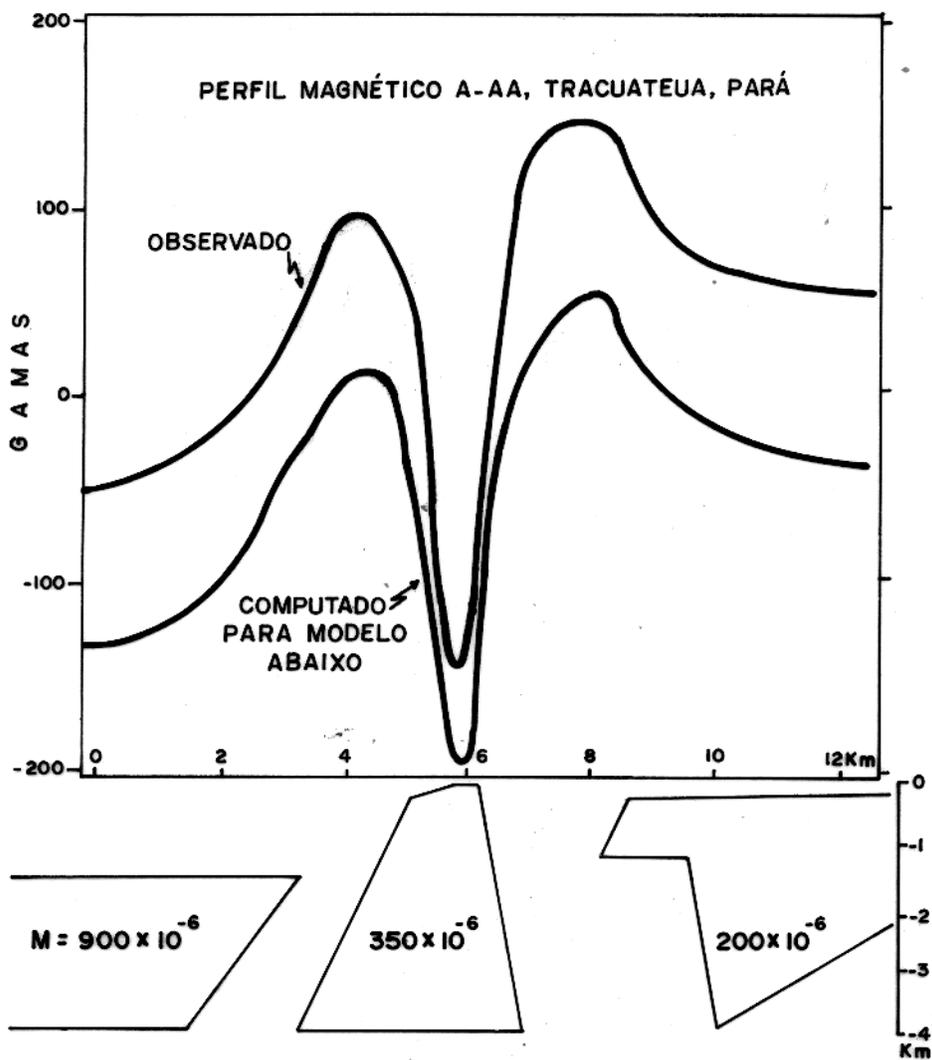


FIG.26 PERFIL MAGNÉTICO COMPUTADO PARA UM MODELO TEÓRICO DE 3 CORPOS, REPRESENTANDO UM DOS POSSÍVEIS MODELOS DA / GEOLOGIA DE SUBSUPERFÍCIE.

(Fig. 26) é provável que os intervalos entre os 3 corpos, granito ($M = 200 \times 10^{-6}$) filito ($M = 350 \times 10^{-6}$) e rocha mais básica ($M = 900 \times 10^{-6}$) sejam preenchidos por micaxistos de magnetização quase zero. Estes valores de magnetização estão de acordo com Dobrin (1960, p. 493, Fig. 14-14).

Será apresentada a seguir a interpretação quantitativa de sete (7) perfis efetuados ao longo de algumas estradas preferenciais. Estes perfis estão numerados em algarismos romanos de I a VII e estão marcados conforme Fig. 25.

O primeiro perfil, perfil magnético I (Fig. 27), vai da estrada de Sta. Rosa, km-5 da PA-25, até a entrada de Tracuateua seguindo pela PA-25, numa extensão de aproximadamente 30 km, como se pode ver também na Fig. 25. Observa-se algumas correlações entre o perfil magnético e o gravimétrico obtido pela Petrobrás (Fig. 27). Em ambos podem-se observar os seguintes detalhes: 1) Na região correspondente ao lado Oeste da bacia de Tentugal ocorre um baixo magnético bem desregular, com um valor médio aproximado de -70 Gammas. Este trecho talvez esteja passando por sobre o filito, desde a entrada de Sta. Rosa até o km-11. Os resultados da gravimetria indicam a presença de uma falha a altura do km-11. A interpretação disto como falha é reforçada pelo levantamento magnético. 2) Toda a extensão do arco do Almoço é representada por uma resposta magnética bastante uniforme e por um alto gravimétrico.

Outro baixo magnético se observa após o contato a aproximadamente 1 km antes de Tracuateua, porém o gravimétrico nada mostrou com relação a isto, implicando em que o filito tem mesma densidade que o granito, ou que sua extensão vertical é bem limitada.

O segundo perfil, perfil magnético II (Fig. 27), que vai de Capanema a Tracuateua, foi feito ao longo de uma estrada de direção paralela à do perfil magnético I. A primeira parte do perfil é uniforme acima do arco de Capanema, o qual foi descoberto anteriormente pela eletroresistividade. À altura do km-19 começa um baixo magnético (presença do micaxisto?) que vai até o km-26,

onde o perfil passa por cima do contato, que está bem visível antes da localidade Tracuateua, o qual concorda com o primeiro perfil. O trecho acima do granito, entre Mirasselas e Tracuateua, apresenta valores magnéticos de 40 Gamas a mais do que o correspondente trecho no perfil I, provavelmente devido à influência dos granitos que neste local deverão estar a menor profundidade.

Três perfis na direção perpendicular aos supostos contatos, são mostrados na Fig. 28. É importante observar que os contatos entre filito e granitos estão bem evidenciados nestes perfis. Sobre o filito, os perfis mostram valores magnéticos de até -200 Gamas, relativos à estação base, enquanto que sobre o granito os valores são sempre positivos e de até +150 Gamas.

O perfil III inicia sobre o material pressuposto ser o granito, em seguida cruza o contato com o filito, estende-se sobre ele numa distância de aproximadamente 2 km, e termina sobre o granito próximo a Tracuateua.

O perfil IV inicia na PA-25 sobre a rocha pressuposta ser granito. Este perfil atravessa uma faixa do filito de mais de 3 km, evidenciando seus contatos e terminando na estrada de ferro sobre o granito entre Mirasselas e Tracuateua.

O perfil V começa sobre o granito, e tem uma extensão total de uns 14km. O início apresenta uma suavidade do alto magnético, indicando provavelmente estar o granito a uma profundidade maior do que em outros trechos. O perfil cruza o contato que está a aproximadamente 4km da PA-25. A partir daí, tem-se somente valores baixos negativos correspondendo a uma faixa de filito numa extensão de mais ou menos 6 km. Após o contato, depois da localidade de Mirasselas, há um pico positivo, provavelmente associado a uma falha, ou então causado pelo efeito de um corpo encaixado no filito, com suscetibilidade magnética maior do que a do filito. A partir deste pico tem-se somente valores altos positivos oscilantes, correspondendo a uma faixa de granito pouco profunda numa extensão de aproximadamente 4 km.

Estes três perfis, além de mostrar claramente o contato

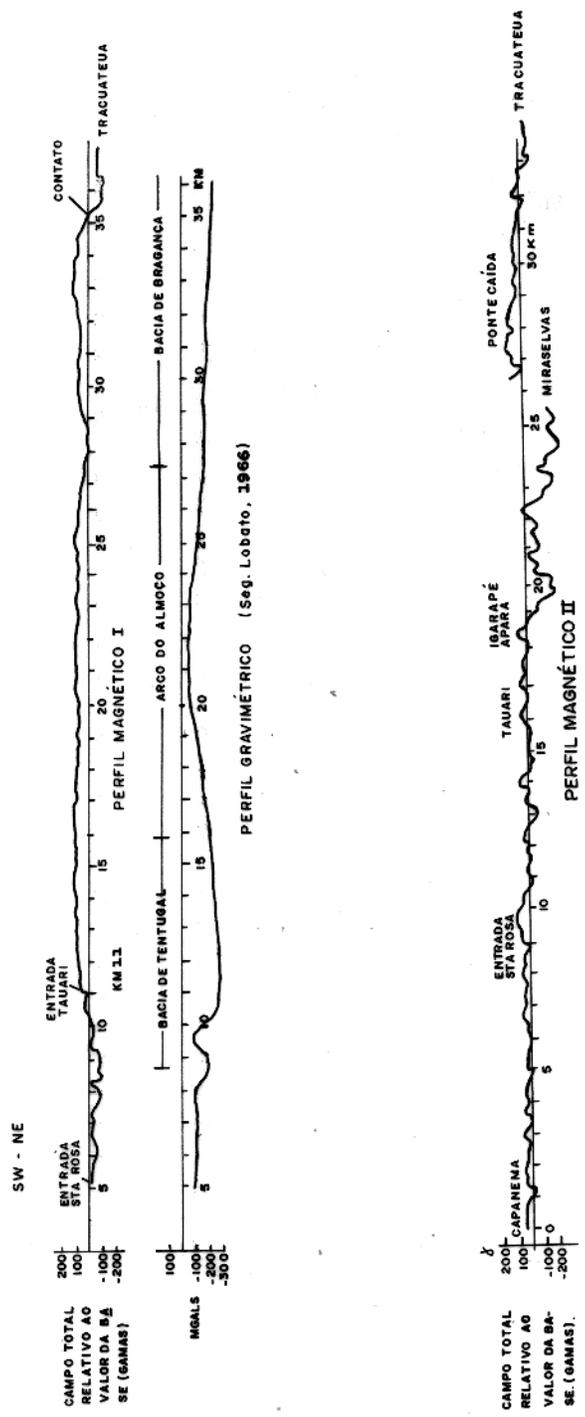


FIG. 27- NA PARTE DE CIMA: PERFIL MAGNÉTICO I E PERFIL GRAVIMÉTRICO REALIZADO AO LONGO DA PA-25. NA PARTE DE BAIXO: O PERFIL MAGNÉTICO II REALIZADO AO LONGO DA ANTIGA ESTRADA DE FERRO.

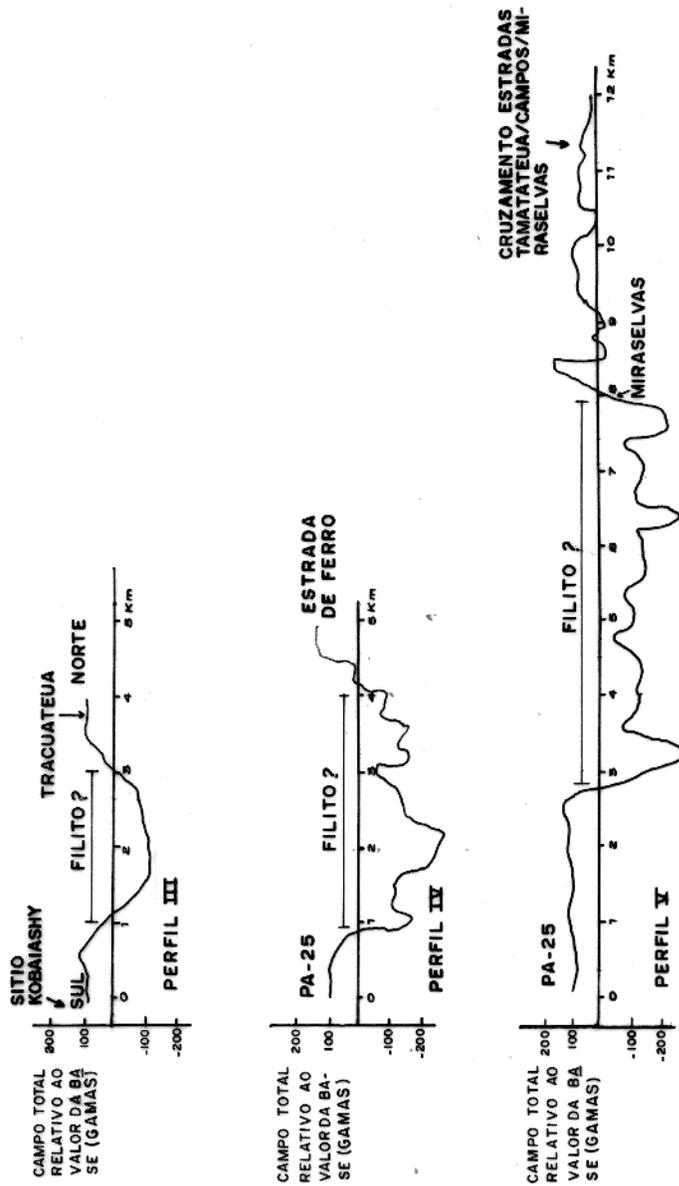


FIG.28 - PERFIS MAGNÉTICOS III, IV E V, REALIZADOS EM DIREÇÃO SUPOSTA PERPENDICULAR AO CONTATO GRANITO-FILITO.

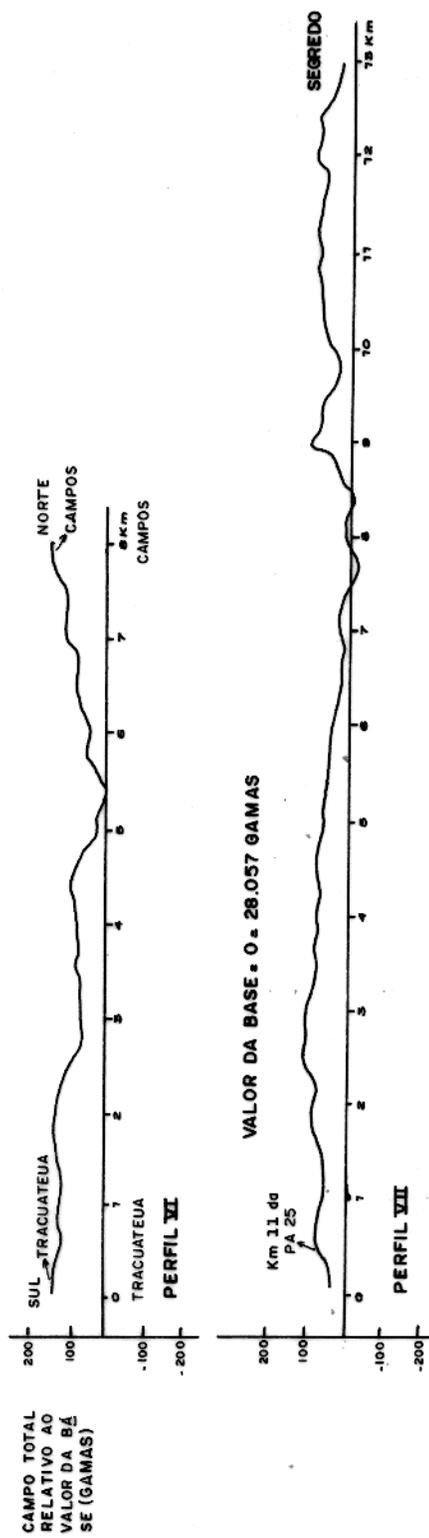


FIG.29- PERFS MAGNÉTICOS VI, VII, REALIZADOS SOBRE A REGIÃO DOS GRANITOS NÃO CRUZANDO O CONTATO GRANITO-FILITO.

dos granitos com o filito, evidenciam também um declive dos granitos sendo que a parte rasa fica ao Norte e a parte funda fica ao Sul.

Os perfis VI e VII (Fig. 29) mostram somente valores magnéticos positivos, não cruzando, portanto, os contatos entre filitos e granitos. Os valores somente positivos indicam que estes perfis foram efetuados exclusivamente sobre os granitos.

O perfil VI inicia na localidade Tracuateua, indicando um trecho bastante suave do alto magnético, o que pode corresponder ao granito, a uma profundidade maior do que em outros trechos. Daí para frente tem-se também um alto magnético, indo da posição km-3 após Tracuateua até a localidade Campos. Os valores magnéticos são bastante oscilantes, o que indica estar o granito a pouca profundidade neste local.

O perfil VII inicia na localidade denominada km-11 e vai até a localidade chamada Segredo. O perfil inicia com um trecho suave nos dados magnéticos, parecendo que o embasamento está a uma profundidade maior do que no trecho posterior restante. Após a localidade Tauari, a mudança brusca dos valores magnéticos a uma curta distância parece indicar ou uma falha, ou efeito de maior espessura dos sedimentos, ou ainda mudança na litologia do embasamento. A última hipótese deve ser verdadeira, porque foi descoberta a rocha micaxisto, como se verá no capítulo 4, na localidade Tamatateua a 5 km NE de Tauari. A seguir, têm-se ligeiras variações dos valores magnéticos indicando que o granito está a pouca profundidade. A afirmação parece estar correta porque há um pequeno afloramento de granito na região do Segredo, conforme observação de campo.

CAPÍTULO 4

4. SONDAGENS MECÂNICAS

4.1. Metodologia de Trabalho

4.1.1. Trabalho de Campo

No período de 13 a 25 de março de 1979, foram executados 4 (quatro) furos de sondagens mecânicas. Estes furos, denominados F_3 , F_4 , F_5 e F_6 , foram locados na parte leste da área (Apêndice I), obedecendo criteriosamente a dois fatos: a) na parte Oeste (região do Calcário), já se possuía um controle estratigráfico obtido de perfis de dois (2) poços pré-existentes, conforme Ferreira, 1977; b) havia a necessidade de comprovação de resultados da interpretação de SEV realizadas na parte leste, dando maior atenção à região anteriormente mapeada como "granitos". Os furos 3, 4, 5 e 6 foram locados próximos às SEV 31, 35, 18 e 49 respectivamente. Em todos os furos locados, esperava-se atingir o embasamento resistivo. O equipamento usado foi uma sonda de percussão com adaptação que a tornava rotativa. As amostras foram coletadas através dos processos: lavagem, tubo bipartido e tubo barrilete tipo Denison com Camisa Shelby de alumínio. A profundidade alcançada nos furos variou entre 11 e 29 m, assim especificada: $F_3 = 18$ m, $F_4 = 29$ m, $F_5 = 11$ m e $F_6 = 16$ m. O material coletado era colocado em sacos plásticos, para posteriores verificações e estudos mais detalhados.

4.1.2. Trabalho de Laboratório

As amostras coletadas foram submetidas a medidas de resistividade (ordem de grandeza) no laboratório. Para tal usou-se o mesmo aparelho ER-300 utilizado para realização das SEV, conforme especificado no Capítulo 2. O arranjo usado foi do tipo Wenner de pequeno espaçamento $1 \leq a \leq 2$ cm. Usaram-se pregos como eletrodos para as medidas sobre os sedimentos inconsolidados, como as areias e algumas argilas. Para outros tipos de argila e para o micaxisto, modelou-se as amostras em forma de cilindros de

pequenos diâmetros $3 \leq D \leq 5$ cm e comprimentos $3 \leq L \leq 8$ cm. A resistividade do material dos cilindros foi calculada usando-se a fórmula da lei de Ohm $\rho = \frac{A}{I} \cdot \frac{\Delta V}{d}$, onde A = área da base do cilindro, d = espaçamento entre os eletrodos, ΔV = voltagem medida entre os eletrodos M e N e I = intensidade de corrente injetada.

4.2. Resultados Obtidos

Um resultado esperado foi confirmado através destes furos; a completa ausência de calcário na parte leste da área. Não se encontraram granitos em nenhum dos furos, o que reforça a idéia de estar incorreto o mapeamento geológico pré-existente (Fig. 2), ou seja, a área de ocorrência dos granitos é menor do que a mapeada anteriormente. O resultado mais relevante foi o de ter-se encontrado micaxisto (furos 3 e 4) na área. O micaxisto está muito intemperizado. Não se coletaram amostras de rocha fresca, que está a profundidades maiores do que a perfurada. Baseado na coloração dos sedimentos, definiu-se uma nítida separação entre uma parte superior de cor clara, correspondendo a uma zona de oxidação e com grande quantidade de areia, e uma parte inferior de cor escura, correspondendo a uma zona de redução e prevalecendo um material argiloso escuro. Esta separação constitui uma interface química, e é bem definida nas SEV. O furo 5 foi o único em que não se encontrou areia. O furo 6 que atingiu o filito intemperizado, não encontrou a interface química. O resultado da medida da ordem de grandeza de resistividade no laboratório está na tabela conforme Apêndice V.

Foi feita a correlação geologia-geofísica em todos os furos. O resultado é satisfatório conforme se verifica nas Figs. 30, 31, 32 e 33. As partes superiores, relacionadas a solos ou sedimentos claros, apresentam resistividades altas. As partes inferiores, relacionadas a materiais abaixo da interface química, como as argilas escuras ou micaxistos intemperizados, apresentam resistividades baixas. Isto explica os valores altos de resistividades nas primeiras camadas das SEV e a existência dos mínimos nas curvas, sobre a região anteriormente mapeada como granito. A ausência de camada resistiva superficial e a presença do mínimo com

baixo pa, na SEV 18 (Fig. 32), podem ser explicados pela ausência total de areia e presença de argila em toda a extensão do furo 5.

Algumas SEV (p/ex. SEV 25, 27, 49, 20, 28) feitas nas proximidades do furo 4, sobre filitos, apresentaram um mínimo com valor entre 100 - 300 Ω -m. As SEV (ex. SEV 31 e 35) realizadas sobre o micaxisto apresentaram um mínimo de valor situado entre 25-100 Ω -m. Por isso, torna-se viável estabelecer um critério de mapeamento em subsuperfície dos filitos e micaxistos, baseados nos valores dos números observados nas SEV. Porém, deve-se ter cuidados, porque existe ambigüidade constatada entre valores de resistividades para diferentes materiais nesta região, como é o caso do micaxisto intemperizado e da argila escura. Esta ambigüidade, só foi descoberta através dos furos de sondagens mecânicas. O método de eletroresistividade não permitiu distinguir a interface entre solos e rochas. Entretanto, o contato entre rocha intemperizada e rocha fresca é bem definido nas SEV. Conseqüentemente, observa-se que a espessura das rochas intemperizadas é grande nesta região. Isto se deduz comparando-se os valores de profundidades alcançadas nos furos de sonda com as profundidades interpretadas nas SEV. Por exemplo, encontrou-se micaxisto intemperizado no furo 3 a 18 m de profundidade. Esta rocha intemperizada é a causa do mínimo da curva da SEV 31 (Fig. 30). A interface entre rocha intemperizada e rocha fresca nesta SEV está a cerca de 91 m de profundidade, segundo a interpretação geoeétrica. Daí, então, se avaliar em cerca de 70 m a espessura do micaxisto intemperizado nas proximidades do local do furo 3. O mesmo raciocínio, feito para o micaxisto encontrado no furo 4, associado à interpretação geoeétrica da SEV 35 (Fig. 31), permite o cálculo de 15 m para a espessura da rocha intemperizada neste local. A interpretação geoeétrica da SEV 49 (Fig. 33), nas proximidades do furo 6, onde se encontrou filito intemperizado a 16 m de profundidade, permite avaliar em cerca de 45 m a sua espessura.

Os furos 3 e 4, onde se encontrou micaxistos, estão alinhados na direção E-W. Isto sugere que os micaxistos estão distribuídos de acordo com faixas paralelas ao contato filito-grani

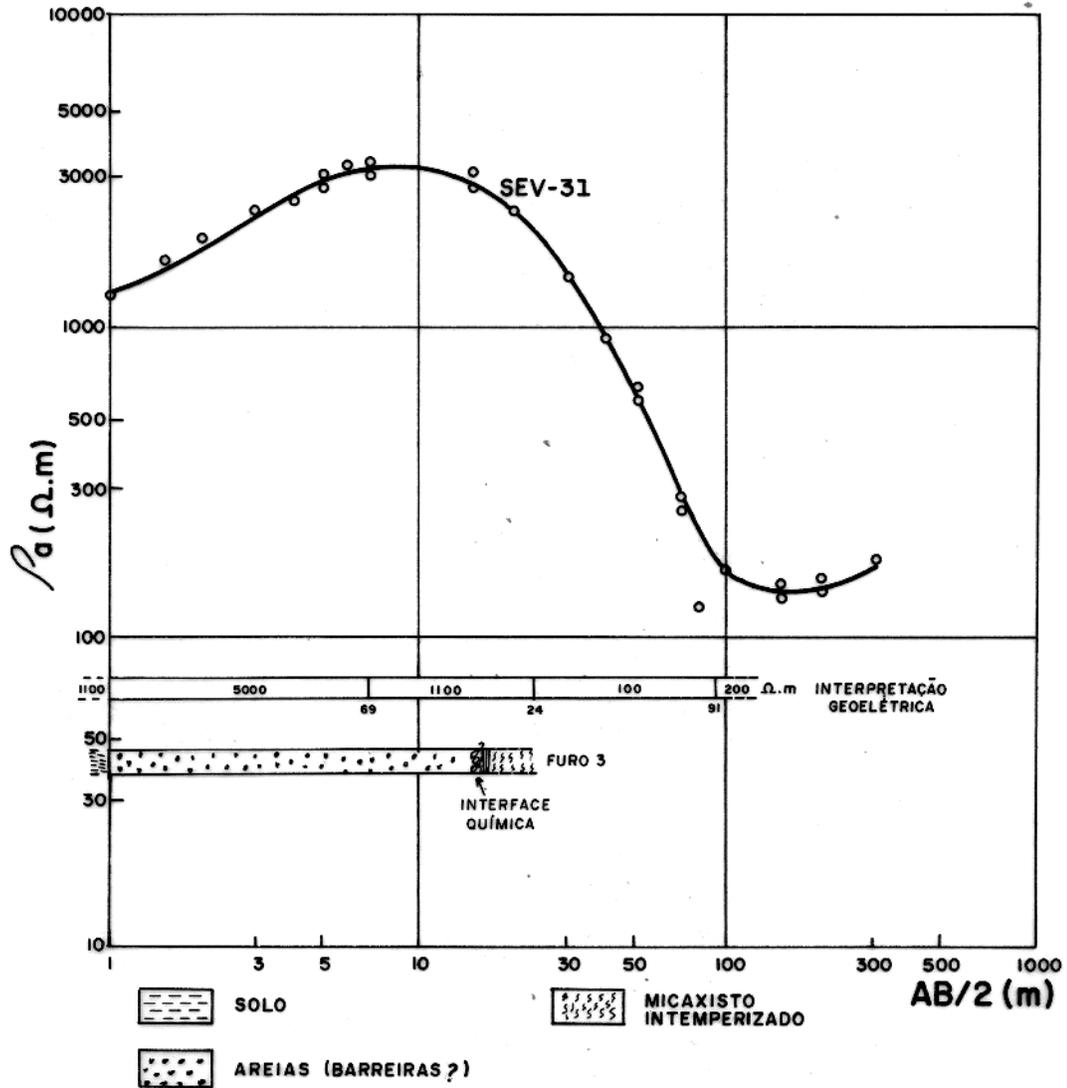


FIG.30- INTERPRETAÇÃO CONTROLADA DA SEV 31 À PARTIR DE ESPESURAS CONHECIDAS DO FURO 3.

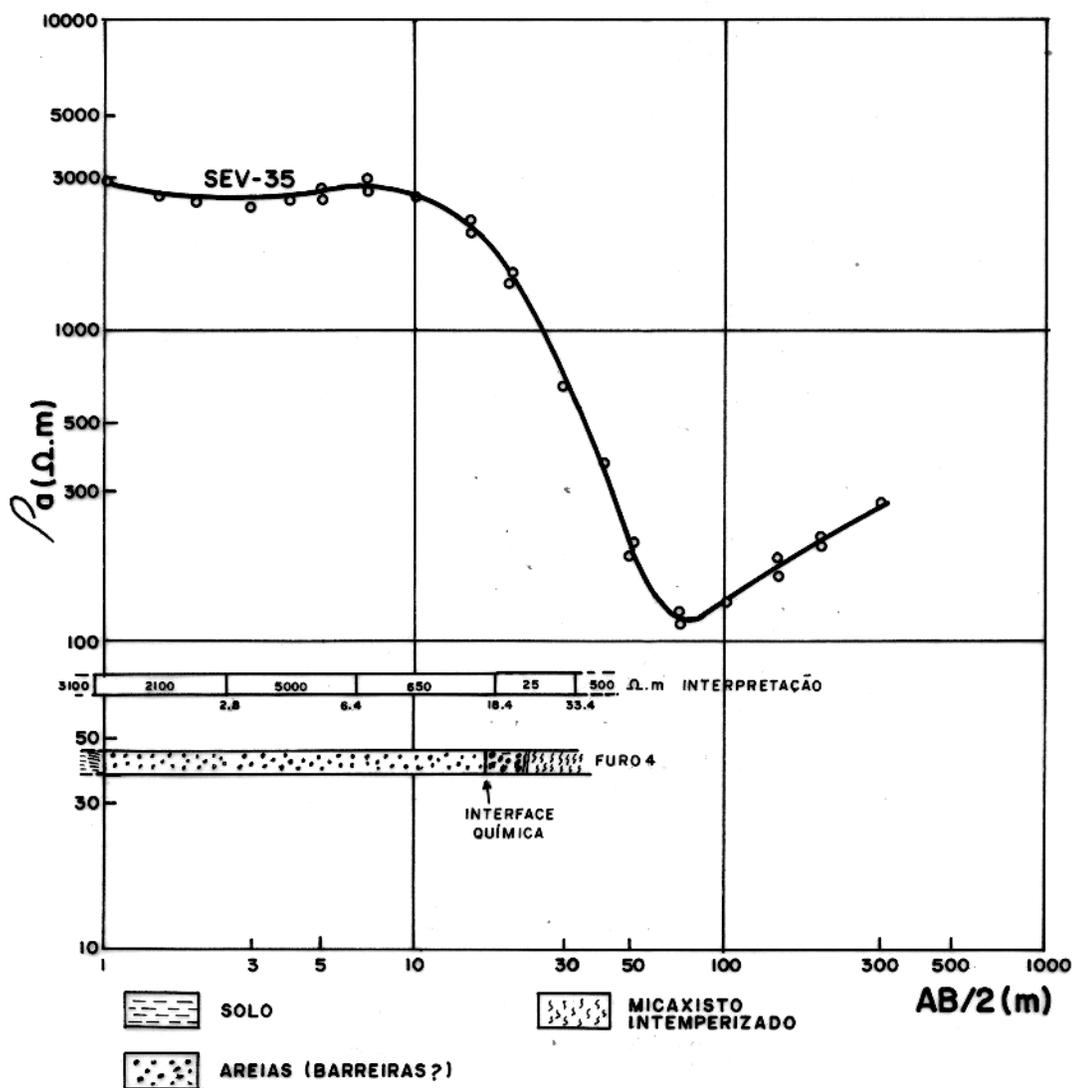


FIG.31- INTERPRETAÇÃO CONTROLADA DA SEV35 À PARTIR DE ESPESURAS CONHECIDAS DO FURO 4.

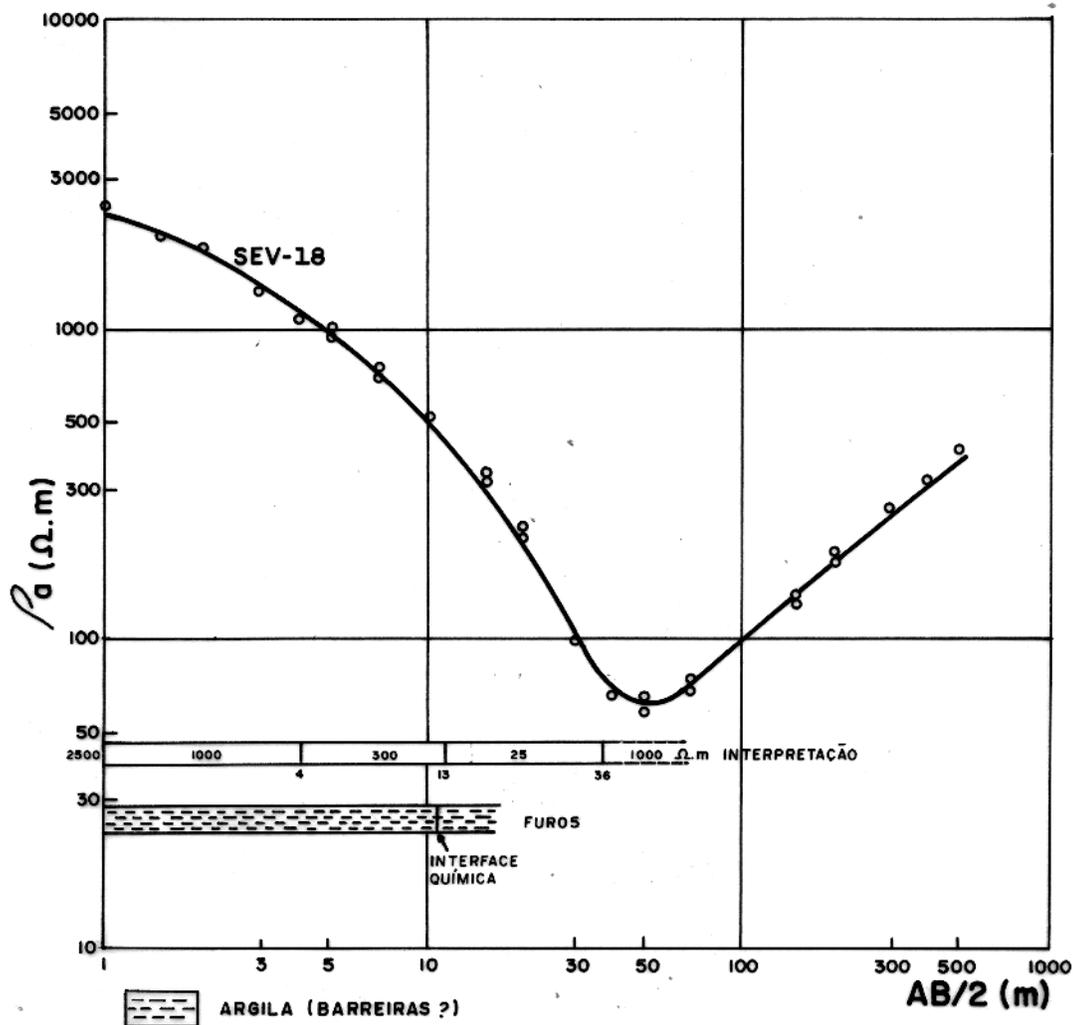


FIG.32- INTERPRETAÇÃO CONTROLADA DA SEV 18 À PARTIR DE DADOS CONHECIDOS DAS ESPESSURAS DE CAMADAS OBTIDAS DO FURRO 5.

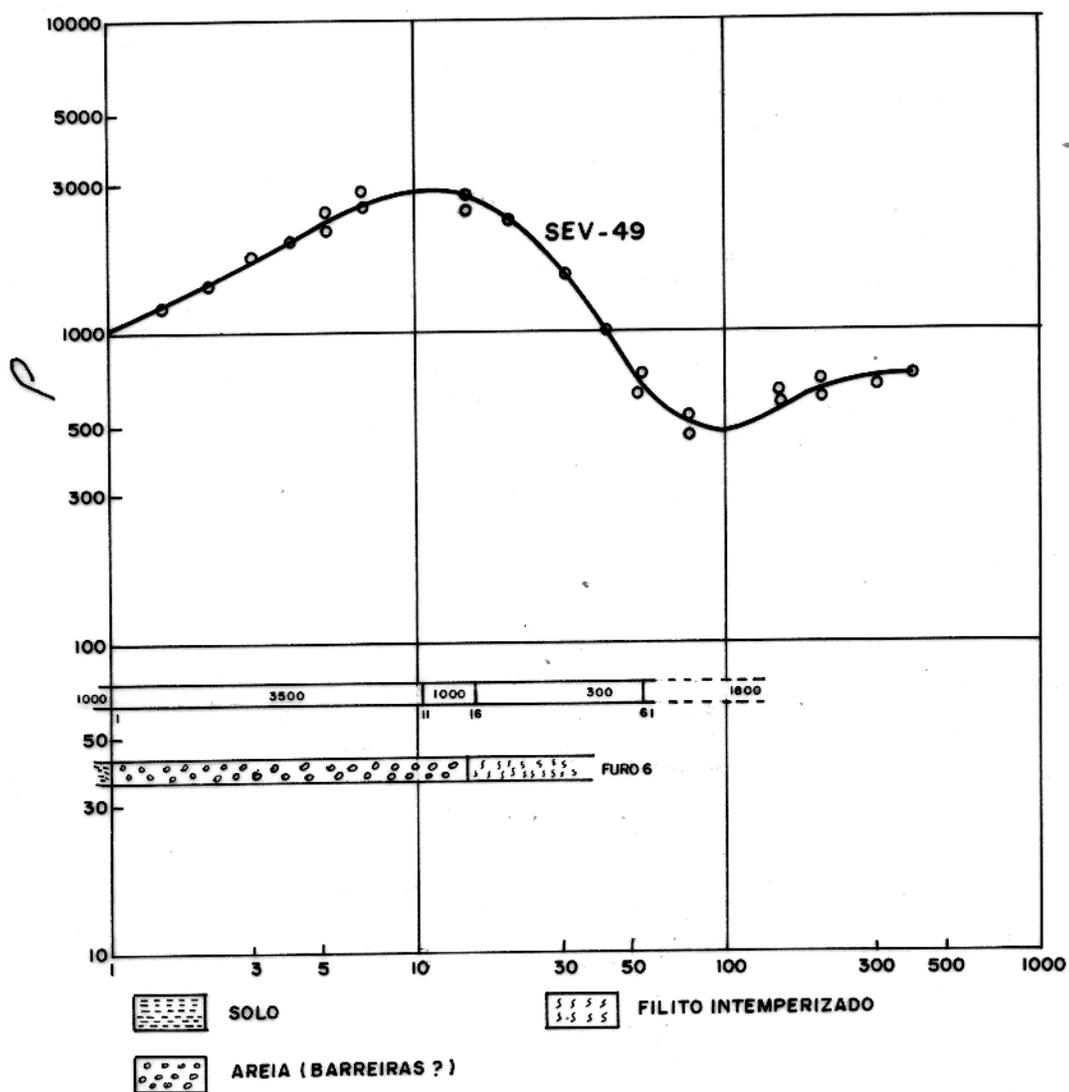


FIG.33- INTERPRETAÇÃO CONTROLADA DA SEV 49 À PARTIR DE DADOS CONHECIDOS DAS ESPESSURAS DE CAMADAS OBTIDAS DO FURO 6.

to, segundo o mapa de isogamas (Fig. 25), e que, juntamente com os filitos, estreitam as ocorrências dos granitos, tornando-os bem localizados. A presença do micaxisto circundando o granito, talvez explique as oscilações bastante freqüentes dos altos magnéticos mostrados em alguns perfis magnéticos (Figs. 28 e 29).

CAPÍTULO 5

5. RESULTADOS OBTIDOS E CONCLUSÕES

5.1. Resultados dos Métodos de Eletroresistividade, Magnetometria e Sondagens Mecânicas

Os métodos geofísicos empregados na pesquisa, de um modo geral, foram considerados eficientes para que se atingissem os objetivos propostos, numa área considerada piloto, referentes ao mapeamento geológico.

O método de eletroresistividade, através de sondagens elétricas verticais, permitiu conhecer a paleotopografia de discordância entre rochas Pré-Cambrianas e Cenozóicas (Fig.20), com margem de erro em torno de 20%, inclusive tornando possível fazer o mapeamento da espessura do Pirabas de maior e de menor resistividade, visando atender aos prováveis interesses comerciais quanto à exploração do calcário mais resistivo e, portanto, de melhor qualidade. A resistividade do calcário compacto foi medida, apresentando um valor médio máximo de 25 Ω -m.

Quanto a estruturas como a bacia de Tentugal, bacia de Bragança, arco do Almoço e falhamentos, o método apresentou resultados correlacionáveis à interpretação gravimétrica apresentada pela Petrobrás, porém com maior precisão quanto à localização destas estruturas, levando-se em consideração que o mapa de contorno Bouguer (Fig. 3) é de caráter regional e foi traçado utilizando-se somente de perfis realizados ao longo de rodovias principais e, portanto, muito espaçado entre si.

Uma nova estrutura foi descoberta na área, através do método de eletroresistividade: o arco de Capanema.

A aplicação deste método sobre a região anteriormente mapeada como granitos, indicou anomalias de resistividade baixa nas SEV, o que contribuiu para se colocar em dúvida a extrapolação feita à distância dos afloramentos neste mapeamento dos granitos. Um exemplo típico desta anomalia de SEV foi obtido através da SEV 41 (Fig.10), realizado ao lado de um "afloramento" de granito.

No método magnético, a evidência marcante foi a do contato granito-filito observado através de perfis magnéticos (Fig. 28), onde, sobre os contatos sul dos granitos ocorrem altos magnéticos positivos e sobre os filitos ocorrem os baixos magnéticos negativos. O mapa de contorno de isogamas (Fig. 25) mostra com clareza este resultado principal, em que a faixa do filito foi aumentada em relação à do mapa geológico pré-existente. No apêndice VI, apresenta-se um mapa da geologia do embasamento interpretada através da magnetometria. Os contatos foram calculados através de modelamento digital de perfil perpendicular ao "STRIKE" regional. É provável a ocorrência de faixas de micaxistos entre filitos e granitos como evidenciado através de furo de sondagem mecânica. Na Fig. 25, observam-se também outros resultados importantes como o indício de uma fãlha de direção NW-SE, localizada ao sul de Mirasselvas, bem como um alongamento das isogamas na direção Norte-Sul, sugerindo ter correlação com a interpretação gravimétrica. A presença da bacia de Bragança parece ter sido evidenciada também através da análise de perfis magnéticos, notando-se partes mais e menos profundas sobre os granitos, em lados opostos da faixa do filito. Isto torna provável a existência de um declive para o sul no embasamento cristalino.

Dos furos de sondagens mecânicas realizados constatou-se: 1) ausência completa de calcário na parte leste da área; 2) não se ter encontrado granito em nenhum dos furos, o que contribuiu para reafirmar a hipótese inicial de estar incorreto o mapeamento geológico pré-existente (Fig. 2); 3) que é grande a espessura das rochas intemperizadas, não permitindo distinguir através da eletroresistividade a interface entre solos e rochas intemperizados, mas definindo bem o contato entre rocha intemperizada e rocha fresca; 4) que os mínimos nas curvas de SEV são causados por rochas intemperizadas, calcário ou material argiloso.

Também o fato de se encontrar micaxisto em 2 (dois) furos, segundo um alinhamento na área, torna provável a hipótese da distribuição do micaxisto em faixas alternadas com filitos, e ambôs circundando o granito, tornando-o, deste modo, mais e mais lo

calizado, aumentando assim a possibilidade da região se constituir numa "ilha de granitos".

5.2. Recomendações

Os resultados apresentados respondem às questões propostas nos objetivos do trabalho, Porém, a afirmação de que esta interpretação é válida, para mapear esta área ou outras próximas, depende de certas confirmações, para as quais se necessita tomar dados auxiliares. Por exemplo, antes de se afirmar categoricamente que a região dos granitos deva ser mapeada como "ilha" de granitos, deve-se fazer, pelo menos, mais três furos de sondagens mecânicas até atingir o embasamento nos locais onde foram realizadas as SEV anômalas. Estes locais sugeridos para os furos são os pontos F_C , F_D e F_E marcados na Fig.22 . Se, através destes furos, se constatar sempre a existência de grandes espessuras de solos, sedimentos ou rochas intemperizadas, a região deverá ser mapeada como "ilha de granitos".

Recomenda-se também, mais modelamentos magnéticos bidimensionais para melhor posicionamento do contato granito-filito.

Recomenda-se ainda, a realização de pelo menos um furo de sondagem mecânica, até atingir o embasamento, na região do calcário mais resistivo, e outro na região do calcário menos resistivo. Os locais sugeridos para realização destes dois furos são, respectivamente, os pontos F_G e F_H locados na Fig.21 . A realização destes furos talvez decida sobre a litologia do embasamento na região do calcário, que é um objetivo importante.

Estudos paleogeográficos devem ser estendidos à parte Oeste da cidade de Capanema, principalmente em busca dos limites do arco de Capanema. É importante o conhecimento da forma do substrato das bacias para a geologia do calcário, uma vez que a origem do mesmo está condicionada à forma e localização destes substratos, o que torna relevantes os estudos desta natureza.

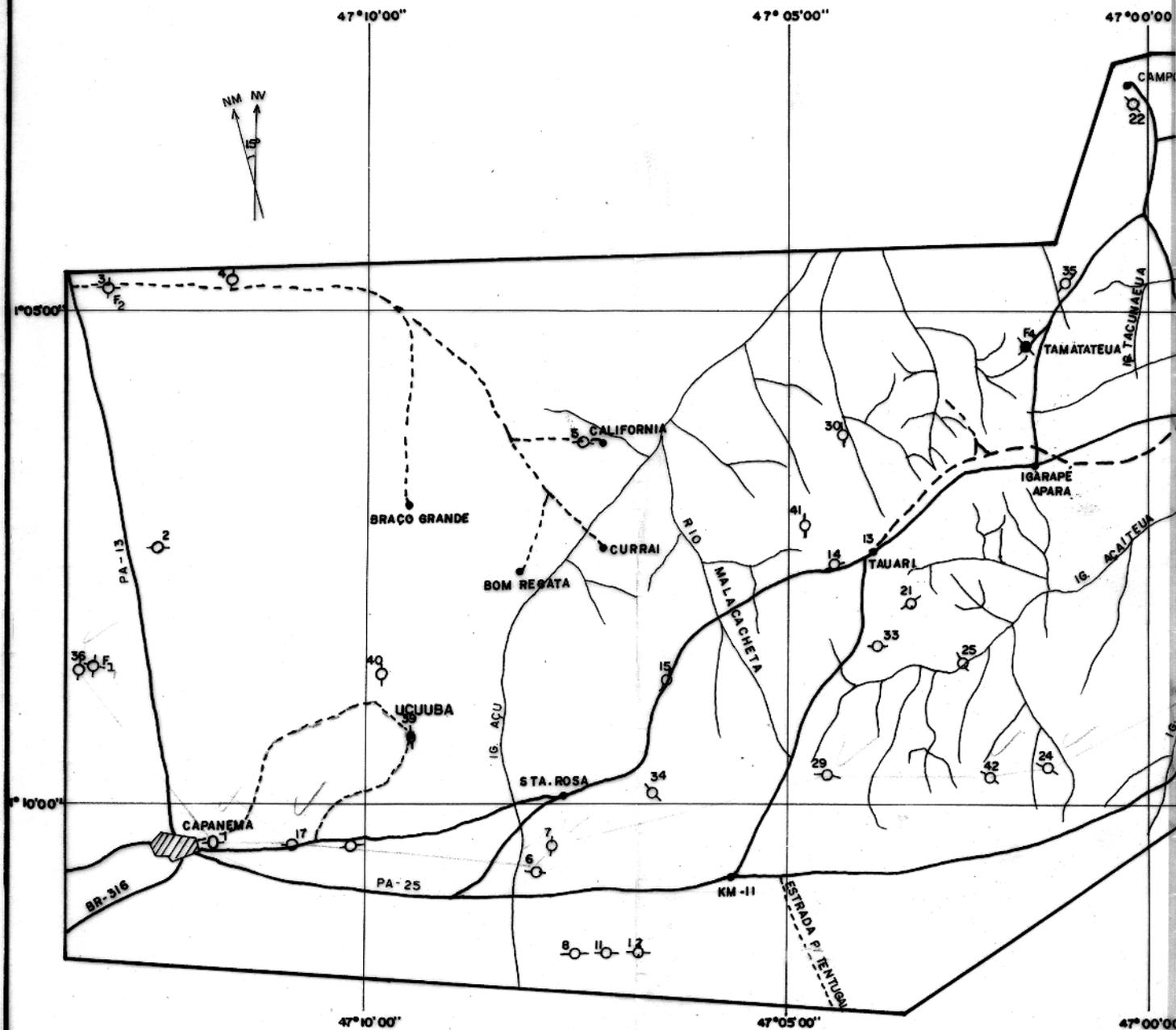
Feitas estas confirmações possíveis e se os resultados da interpretação destes métodos geofísicos empregados forem consi

derados satisfatórios, recomenda-se a aplicação dos mesmos métodos para mapeamento geológico numa área mais ampla com as mesmas finalidades do presente trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

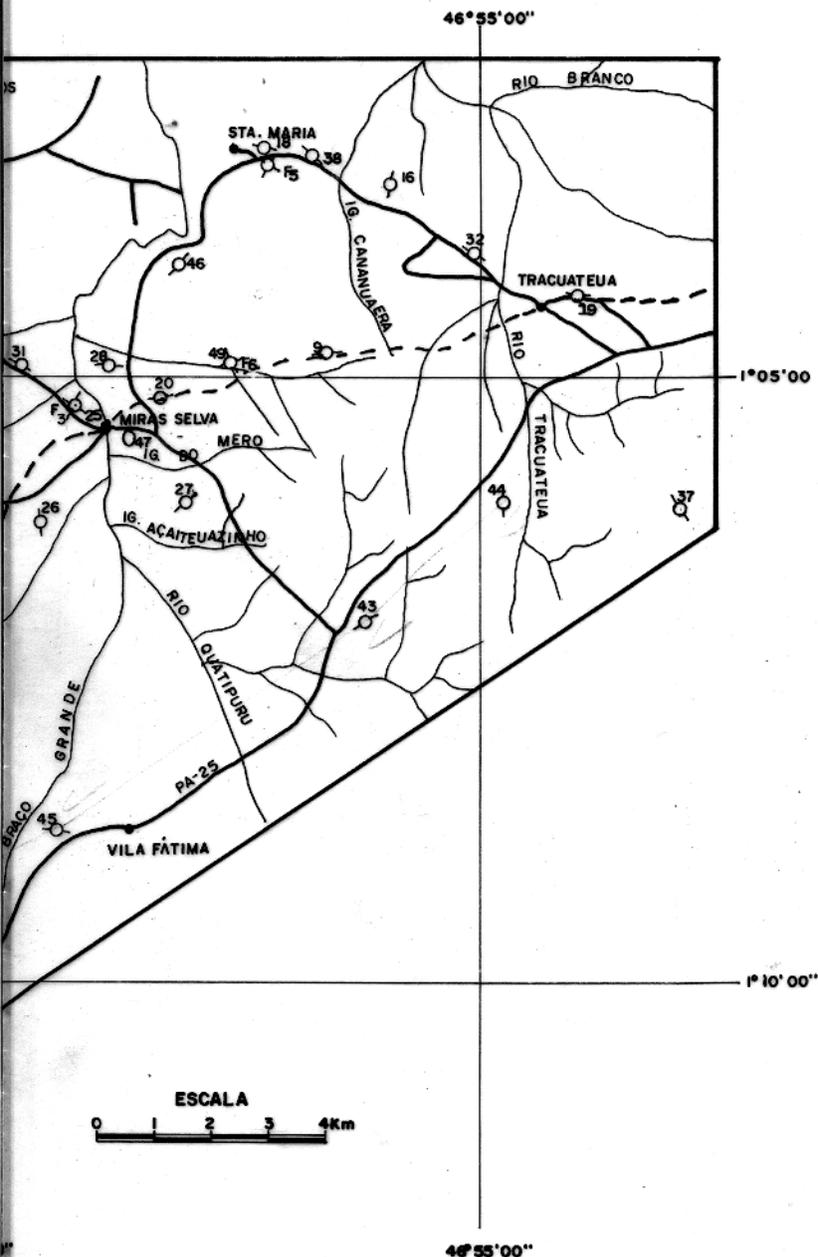
- ACKERMANN, F.L (1962) - Geologia e Fisiografia da região Bragantina, Pará, Manaus, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia 90 p. (cadernos da Amazônia).
- ARANTES, J.L.G; DAMASCENO, B.C; KREBS, A.S.J (1972) - Projeto Argila-Belém. Belém, convênio DNPM/CPRM. 37 p. Relatório 109.
- BEMERGUY, R.L & VIEGAS, E.P (1976) - Mapeamento Geológico da área Tauari-Capanema. Projeto Integrado/Subprojeto Tracuateua. Belém Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas da UFPa. 18 p. Relatório Interno.
- DOBRIN, M.B (1960) - Introduction to geophysical prospecting. 3a. ed. New York McGraw - Hill. 630 p.
- FERREIRA, C.S & CUNHA, D.R (1957) - Contribuição à Paleontologia do Estado do Pará. Belém. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Geologia n° 2. 61 p.
- FERREIRA, C.S (1977) - Relatório das Perfurações. Trecho Ourém-Salinópolis. Projeto n° 65, convênio FINEP/ABC/MN. Rio. julho. 12 p.
- FRANCISCO, B.H.R & LOEWENSTEIN, P. (1968) - Léxico estratigráfico da região Norte do Brasil. Belém. Museu Paraense Emílio Goeldi. (Publicação avulsa, 9)
- FRANCISCO, B.H.R (1971) - Contribuição à geologia da Folha de São Luiz (SA-23), no Estado do Pará. Parte III. (Geologia, 17). Belém. 40 p. Biblioteca do Museu Paraense Emílio Goeldi.
- GAMA JÚNIOR, T & COUTINHO, A (1978) - Relatório, Pesquisa em Iniciação Científica, Projeto Integrado / Subprojeto Tracuateua, Belém, Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas da UFPa. 12 p.
- GOULART, A.T (1978) - Distribuição de elementos traços nas frações detríticas em perfis intemperizados de rochas graníticas na região Bragantina. Belém, Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas da UFPa. (Tese de Mestrado em andamento).

- KELLER, G.V & FRISCHKNECHT, F.C (1966) - Electrical Methods in Geophysical Prospecting. Oxford, Pergamon Press. 519 p.
- LOBATO, J (1966) - Levantamento gravimétrico do Nordeste do Pará. Belém, Petrobrás. Relatório 578 A. 89 p.
- MAURY, CHARLOTTE (1924) - Fósseis Terciários do Brasil. Rio, Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil. (Monografia, 4). 705 p.
- ORELLANA, E (1966) - Prospeccion geoelectrica en corriente continua. Madrid, Paraninfo. 523 p.
- PENNA, D.S.F (1876) - Breve notícia sobre sambaquis do Pará. Rio, Editora VI. Arquivo do Museu Nacional 4º Trimestre.
- PROJETO RADAM (1973) - Folha SA-23, São Luiz e Parte da Folha SA-24, Fortaleza. Belém, V-3.
- REILLY, W.I (1972) - Use of the International System of Units (SI) in geophysical publications. New Zealand Journal of Geology and Geophysics. 15 (1): 148 - 156.
- RONCARATI, H & FRANCISCONI, O (1966) - Estudo preliminar da bacia de Bragança. Belém, Petrobrás. Relatório do estágio no Laboratório de Sedimentologia, 49 p.
- SÁ, J.H.S (1969) - Contribuição à geologia dos sedimentos Terciários e Quaternários da região Bragantina, Estado do Pará. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro. (3): 23-36. Março.
- SHARMA, P.V (1976) - Geophysical Methods in Geology. Oxford, New York, Elsevier. 409 p.
- VIEIRA, L.S (1967) - Levantamento e reconhecimento dos solos da região Bragantina, Estado do Pará. Belém, IPEAN. 63 p. Boletim técnico, 47.



APÊNDICE I: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS
SEV NA ÁREA.

ÁREA CAPANEMA-TRACUATEUA-PARÁ



CONVENÇÕES

-  RODOVIA ASFALTADA
-  RODOVIA SECUNDÁRIA
-  ANTIGA ESTRADA DE FERRO
-  CAMINHO
-  DRENAGEM
-  CIDADE
-  LOCALIDADES MAIORES
-  LOCALIDADES MENORES
-  POSIÇÃO DA SEV, ILUSTRANDO A DIREÇÃO DA LINHA AB E Nº DA SEV A ESQUERDA.
-  FURO DE SONDAÇÃO MECÂNICA REALIZADA NA ÁREA.

Nº da SEV		VALORES DE ρ_g									
DATA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	11
AB/2	MN	9.2.77	11.2.77	10.2.77	15.2.77	15.2.77	17.2.77	18.2.77	4.2.77	18.2.77	3.2.77
1	0.6	304	2456	859	166	268	2115	488	857	3460	786
1.5	0.6	471	2989	834	634	313	2385	678	972	3319	975
2	0.6	673	3106	1025	762	393	2590	881	1177	3835	1076
3	0.6	828	2951	1297	981	555	2724	1074	1331	4787	1401
4	0.6	845	2347	1477	1156	658	2940	1249	1553	5488	1753
5	0.6	858	1857	1597	1205	726	3156	1300	1993	6091	1906
5	2	811	1795	1567	1584	721	3877	1200	1759	5386	2048
7	0.6	832	1695	1905	1651	831	4201	1600	1949	6827	2265
7	2	784	1897	1718	1945	793	3364	1555	1772	6032	2349
10	2	714	1225	1954	2698	764	3607	2058	2253	6117	2259
15	2	396	616	1584	3441	739	4152	2698	2682	5192	1782
15	6	414	494	1569	3641	746	4394	2636	2332	5403	1695
20	2	287	399	1306	3881	672	4290	2866	2660	3723	1097
20	6	264	335	1279	4149	683	4639	2928	2298	3972	1023
30	6	58	225	517	3805	307	4781	2949	1903	1559	367
40	6	52	164	236	2716	143	4455	2806	1263	583	113
60	6	50	98	103	1620	31	2798	1843	449	110	18
60	20	43	92	95	1991	39	2581	1743	400	148	20
80	6	73	48	41	1420	26.7	2116	1056	171	83	13
80	20	62	47	30	1658	27	1980	1142	154	77	5.5
100	20	83	42	14	1220	30	1306	650	58	78	19
140	20	-	38	-	595	36	410	125	22	116	-
140	60		42		980	44	406	142	23	120	
200	20		60		354	74	598	94	32	136	
200	60		61.5		513	49	159	92	35	157	
300	60		-		68	69	-	116	54	284	
400	60				-	-		-	-	381	
600	60									433	

APÊNDICE II

DADOS DE CAMPO REFERENTES À RESISTIVIDADE APARENTE DAS SEV REALIZADAS NA ÁREA.

VALORES DE f_0	Nº de SEV DATA	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		4.2.77	6.2.77	9.2.77	9.2.77	20.1.77	2.2.77	20.1.78	20.1.78	21.1.78	8.2.77
1	0.6	926	931	303	925	3725	362	2675	14 77	3570	740
1.5	0.6	1243	1143	362	1205	3874	477	2041	2260	3942	997
2	0.6	1439	1321	408	1352	4100	600	1822	2847	4316	1235
3	0.6	1796	1489	452	1504	5154	747	1448	3736	5404	1681
4	0.6	2111	1570	466	1440	5895	850	1188	4200	6426	2054
5	0.6	2383	1675	466	1405	6347	991	1021	4643	7091	2543
5	2	2262	1508	440	1361	5988	820	949	4416	5569	2540
7	0.6	2612	1600	441	1447	6550	1150	829	5585	8718	2560
7	2	2639	1492	430	1311	6209	1035	754	5322	6440	2727
10	2	2436	1392	263	1352	6490	1155	553	6760	6728	3180
15	2	1560	981	113	1173	6160	1115	392	8346	5896	3093
15	6	1669	1070	118	1255	6367	1096	384	8155	5933	3157
20	2	844	746	85	1078	5305	855	220	9071	4428	2588
20	6	788	781	82	1014	5940	931	256	9149	4869	2777
30	6	240	334	44	482	4261	482	96	8646	2573	1400
40	6	104	130	47	306	3397	235	69	7421	1503	726
60	6	102.5	92	56	169	1677	79	81	4562	639	172
60	20	35	83	55	165	2081	80	80	4693	629	177
80	6	24	62	59	130	819	87	67	2882	369	32
80	20	18	60	66	121	922	75	86	3211	436	33
100	20	16	68	69	126	429	94	107	1466	421	13
140	20	-	98	72	-	-	111	128	325	427	-
140	60	-	99	78	-	354	117.5	164	467	443	-
200	20	-	-	94	-	388	196	154	164	546	-
200	60	-	-	82	-	409	174	217	265	525	-
300	60	-	-	130	-	496	-	271	35	610	-
400	60	-	-	-	-	767	-	333	83	776	-
500	60	-	-	-	-	830	-	396	90	959	-

APÊNDICE II

DADOS DE CAMPO REFERENTES À RESISTIVIDADE APARENTE DAS SEV REALIZADAS NA ÁREA.

Nº da SEV		22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
VALORES DE ρ_a		DATA										
AB/2	MN	21.1.78	8.2.77	16.2.77	12.2.77	20.7.77	13.2.77	13.2.77	22.1.78	21.1.78	16.2.77	17.2.77
1	0.6	11	1031	1102	119	1360	2600	1039	714	966	1269	1142
1.5	0.6	7	1202	1427	154	1773	2500	1027	761	1514	1582	1232
2	0.6	6	1525	1703	174	1867	2200	1055	824	2050	1913	1435
3	0.6	6	2017	1940	222	2008	1950	1066	934	2895	2088	1868
4	0.6	6	2397	2192	214	2136	2050	1086	1049	3507	2543	2028
5	0.6	7	2781	2513	215	2349	2250	1324	1100	3981	2744	2195
5	2	6	2630	2764	218	2349	2200	1115	1115	3338	2597	2066
7	0.6	7	2867	2743	205	3186	2050	1572	1297	3112	2816	1974
7	2	8	2955	3097	211	3353	2030	1292	1156	3587	2862	1831
10	2	10	3190	3467	200	3545	1650	1114	1268	3286	3202	1538
15	2	12	3520	4088	160	4071	1150	978	1295	1913	2765	990
15	6	10	3589	4213	164	3745	1120	954	1285	2063	2664	1046
20	2	12	3526	4644	99	4435	820	813	1397	888	2717	554
20	6	11	3622	4707	112	4051	800	820	1390	940	2323	604
30	6	15	3226	4670	104	4568	430	584	1265	201	1479	133
40	6	20	2339	4046	118	4234	330	443	1048	54	925	101
60	6	32	940	3247	155	2659	420	359	556	43	289	58
60	20	34	860	2750	138	2860	390	372	635	41	406	55
80	6	44	262	1781	194	1512	500	508	218	55	189	48
80	20	47	260	1740	197	1705	480	516	292	54	221	48
100	20	63	98	878	235	805	550	600	176	65	156	34
140	20	95	42	233	226	285		680	35	74	122	21
140	60	89	44	326	210	337		681	35	68	152	21
200	20	153	35	74	252	176		878	24	88	150	175
200	60	143	37	72	246	172		820	34	82	175	16.6
300	60	253	—	37	—	201		—	25	123	213	14.3
400	60	362				—	—		33	144	—	—
500	60	389							—	158		

APÊNDICE II

DADOS DE CAMPO REFERENTES À RESISTIVIDADE APARENTE DAS SEV REALIZADAS NA ÁREA.

VALORES DE ρ_a	Nº de SEV DATA	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
		22.1.78	23.1.78	23.1.78	23.1.78	18.1.77	18.1.78	14.1.78	14.1.78	10.5.78	16.1.78
1	0.6	2040	1300	3151	60	476	4379	486	22	1319	856
1.5	0.6	2443	1500	2734	63	750	4320	657	23	1554	1004
2	0.6	2929	1850	2609	56	1025	4319	786	22	1851	1165
3	0.6	3235	2200	2479	43	1455	4809	1081	21	2106	1471
4	0.6	2927	2500	2610	37	1785	5449	1328	21	2132	1704
5	0.6	2525	2750	2881	34	2009	6258	1482	23	2166	1926
5	2	2197	2700	2738	29	1816	6398	1191	23	2245	1590
7	0.6	2398	3200	3282	34	2438	5632	1648	24	2176	2113
7	2	1984	3100	2930	28	2334	5361	1338	24	2074	1771
10	2	1350	3600	2702	26	2773	4507	1236	28	1560	1893
15	2	1100	4000	2189	22	3218	3103	1089	33	1159	1637
15	6	1222	3900	2060	23	3551	3315	966	31	1098	1818
20	2	564	4200	1628	21	3544	1660	646	33	941	1254
20	6	666	4100	1450	21	4016	2050	602	37	902	1344
30	6	229	4400	625	22	4187	549	311	35	406	837
40	6	142	4100	342	24	4030	376	179	32	372	546
60	6	57	3500	136	24	2892		80	30	244	229
60	20	104	3450	126	23	3385	104	70	29	269	266
80	6	45	2400	129	32	2088		59	30	334	108
80	20	67	2300	118	27	2280	75	51	33	320	108
100	20	49	900	115	29	943	129	55	39	327	82
140	20	35	280	173	37	208	134	73	47	-	58
140	60	28	270	162	33	324	147	71	46		73
200	20	44	200	218	54	133		85	51		20
200	60	22	198	207	51	222	80	92	52		29
300	60	35	220	261	75	267	-	104	93		14
400	60	52	-	-	110	343		135	94		-
500	60	61			144	133		204	-		

APÊNDICE II

DADOS DE CAMPO REFERENTES À RESISTIVIDADE APARENTE DAS SEV REALIZADAS NA ÁREA.

N ^o do SEV VALORES DE 70		DATA	43	44	45	46	47	48	49			
AB/2	MN	16.1.78	16.1.78	17.1.78	7.5.78	7.5.78	7.5.78	20.3.79				
1	0.6	4939	1904	1002	904	3332	3894	4056				
1.5	0.6	3889	2299	1211	904	3767	3456	2885				
2	0.6	4373	2910	1430	833	2116	3452	1420				
3	0.6	5312	4021	1856	1064	1895	2791	4601				
4	0.6	6597	4903	2129	1161	1570	2051	1915				
5	0.6	7091	5744	2409	1300	1422	1773	2340				
5	2	6986	5611	2329	1160	1479	1371	2290				
7	0.6	7564	5898	2643	1462	1057	1308	2560				
7	2	7746	6695	2530	1293	1173	922	2639				
10	2	9048	7243	2442	1716	1199	772	2862				
15	2	9020	8231	1760	1750	709	484	2816				
15	6	8828	7533	2067	1738	738	478	2757				
20	2	8621	8285	1045	2463	644	390	2508				
20	6	8200	7834	1174	2197	626	376	2460				
30	6	6934	7589	339	2256	143	308	4801				
40	6	5442	6285	106	1922	127	326	4020				
60	6	2478	4029	31.5	2484	120	368	588				
60	20	2500	3929	30	2357	183	-	586				
80	6	1070	2288	27	2672	495		501				
80	20	1076	2357	26	2640	498		482				
100	20	614	1560	23	-	616		500				
140	20	347	582	21		-		521				
140	60	457	698	20				485				
200	20	289	164	28				638				
200	60	323	220	30				672				
300	60	325	60	20				686				
400	60	814	-	-				720				
500	60	93										

APÊNDICE II

DADOS DE CAMPO REFERENTES À RESISTIVIDADE APARENTE DAS SEV REALIZADAS NA ÁREA.

Nº da SEV da CANADA	1		2		3		4		5		6		7		8	
	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a
1	0.5	200	1	2400	1.5	800	0.5	200	1.2	240	1	2000	1	450	1.4	750
2	0.9	5000	1.8	5000	3	5000	3	14000	3.5	3000	3.7	4000	18	5000	9.5	5000
3	4	400	7.2	450	5.9	1500	12	5000	0.4	450	28	5000	21	650	14.6	500
4	24	25	14.7	200	90	10	12	200	2	100	24	1350	58	25	76.5	10
5		500	68	25		1000	51.5	1000	33.5	11	30	150		950		1000
				150					10		10000		25			

Nº da SEV da CANADA	9		11		12		13		14		15		16		17	
	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a
1	1	2600	1	650	0.7	700	1.1	900	0.9	300	1.5	1100	1.1	3800	1.1	150
2	7.2	9200	4	5000	4	5000	3.5	3000	2.6	800	2.5	3000	1.2	5700	3.5	3000
3	3.8	200	2.5	80	13	200	9.7	550	15	25	12	900	3.5	11000	5.5	860
4	58	55	85	10	77	10	23	25	14.5	120	6	25	17.5	5000	28	25
5		10000		1000		1000		200	20	25		150	97	215		1250
										500			10000			

Nº da SEV da CANADA	18		19		20		21		22		23		24		25	
	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a
1	1	2500	1	1600	0.9	3000	0.9	700	1.1	11	0.7	660	1	1000	0.9	110
2	3	1000	25	11500	10	8000	8.5	5000	0.1	0.7	15	5000	29	5000	2.1	450
3	9	300	26	1000	7.1	1100	0.1	1000	10	8	17.3	500	7	1100	6	100
4	23	25	105	60	40	215	90	7		1000	70	25	67	10	10	50
		1000		100		1000		3				37		7		300

APÊNDICE III

MODELOS RESULTANTES DA INTERPRETAÇÃO FINAL DAS SEV REALIZADAS NA ÁREA.

N ^o da CAMADA	26		27		28		29		30		31		32		33	
	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a
1	1	950	0.7	2900	3.2	1000	1.2	700	0.5	1000	0.9	1100	1.1	1000	0.9	2000
2	7	3000	5	1800	3.6	2500	25	1500	5	5000	6	5000	0.4	5700	1.7	5000
3	27	10000	0.6	12000	50	300	1.8	800	1	700	17	1100	1.2	8000	9.5	700
4	25	60	10	100		3000	45	8	38	25	67	100	1.4	1100	36	80
5		200	15	1500				1000		300		200	24	96	66	90
6				600									52	26		500
													10			

N ^o da CAMADA	34		35		36		37		38		39		40		41	
	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a
1	1.2	1250	0.8	3100	1	60	0.6	380	1	4000	1.1	500	5	22	0.7	1300
2	31.5	5000	1.6	2100	0.4	120	30	5000	4.7	8000	1.8	5000	7.2	58	4	3000
3	70	60	4	5000	57	23	0.4	1000	11.3	700	8.7	700	46	22	5.3	1000
4		1000	12	650	16	25	99	100	55	58	34	25		130	56	200
5			15	25		1000		3000		1000		500				3000

N ^o da CAMADA	42		43		44		45		46		47		48		49	
	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a	h	ρ_a
1	1.2	850	0.9	4200	1.2	1950	0.8	1000	0.9	1000	0.9	3000	0.9	3800	1	1000
2	5.6	3000	0.6	2500	3.5	14000	7.5	3000	1	500	0.4	10000	0.4	5000	10	3500
3	16	660	9	15000	26	8000	3.2	100		3000	2	500	2	500	5	1000
4	79	58	18.5	4000	75	324	60.5	15			1.6	5000	1.6	1000	4.5	300
5		7	51	140		25		60			30	60	30	270		1800
				500								4000		1000		

APÊNDICE III

MODELOS RESULTANTES DA INTERPRETAÇÃO FINAL DAS SEV REALIZADAS NA ÁREA.

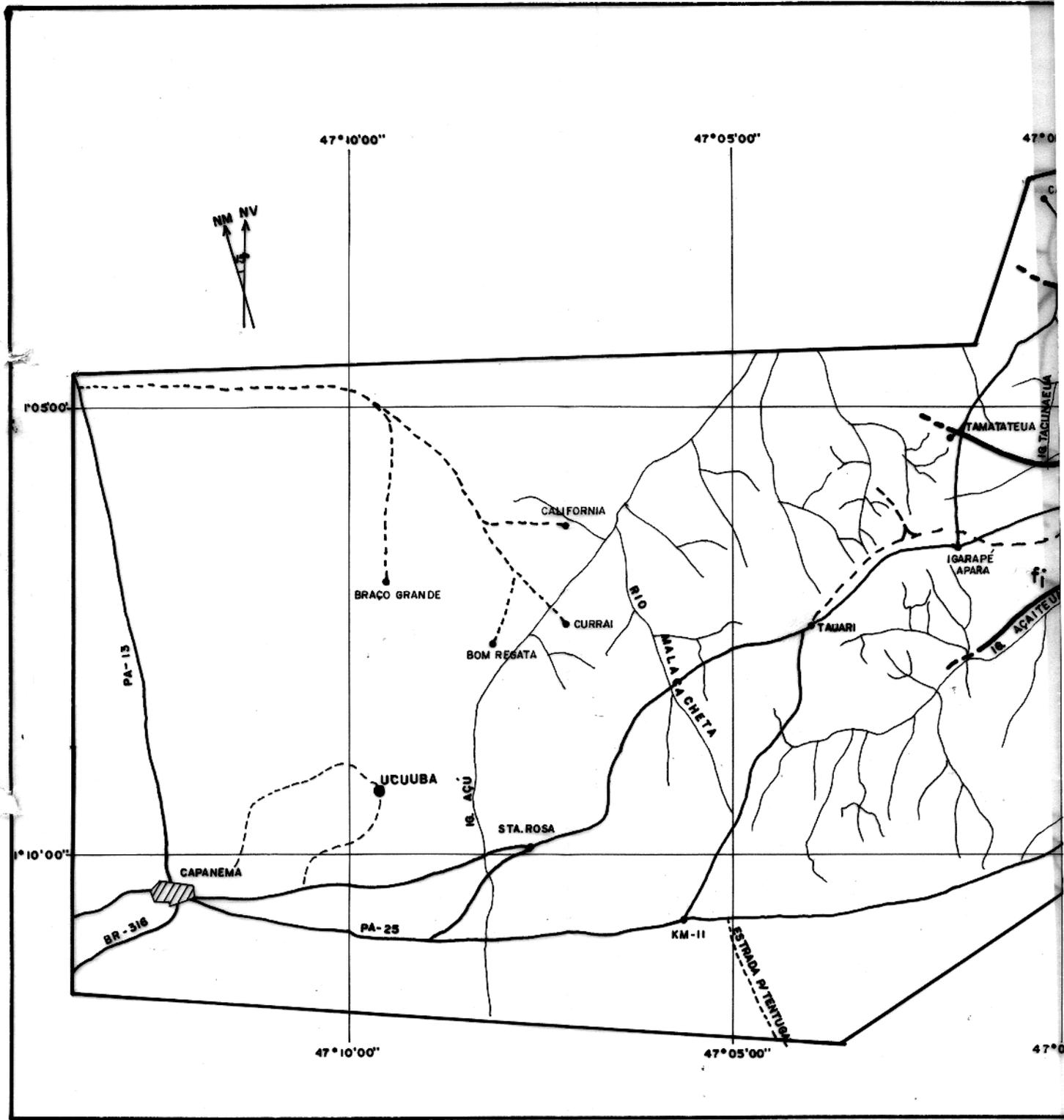
MATERIAL	VALOR MEDIDO (10^{-6} UNIDADES cgs)	VALOR MÉDIO $\times 10^5$ UNIDADES cgs	VALOR CORRIGIDO $\times 10^6$ UNIDADES cgs
"GRANITO" ROCHA FRESCA COR RÓSEO LOCAL: TRACUATEUA	AMOSTRA 1. 81 AMOSTRA 2. 80 AMOSTRA 3. 106 AMOSTRA 4. 119	96.5	148
"GRANITO" ROCHA FRESCA COR ESVERDEADO LOCAL: MIRASELVAS	AMOSTRA 1. 81 AMOSTRA 2. 119	100	175
MICAXISTO INTEMPERIZADO PROF. 18m - FURO 1 LOCAL: CURVA DO CAJU (MIRASELVAS)	AMOSTRA 1. 40 AMOSTRA 2. 40	40	61
FILITO INTEMPERIZADO PROF. 16m - FURO 4 LOCAL: FAZ. MALACACHETA (MIRASELVAS)	AMOSTRA 1. 3 AMOSTRA 2. 4	3.5	5.4

APÊNDICE IV: VALORES DE SUSCETIBILIDADE APARENTE DAS ROCHAS PRÉ-CAMBRIANAS DA REGIAO (MEDIDAS EM LABORATORIO).

FURO 3				FURO 4			
PROFUNDIDADE (m)	MATERIAL	RESISTIVIDADE ($\Omega \cdot m$)	TIPO DE ARRANJO	PROFUNDIDADE (m)	MATERIAL	RESISTIVIDADE ($\Omega \cdot m$)	TIPO DE ARRANJO
4 - 7	AREIA	754	WENNER $\phi = 1cm$	6 - 7	AREIA	355	WENNER $\phi = 1cm$
10 - 11	AREIA	1180	WENNER $\phi = 1cm$	12 - 13	AREIA	300	WENNER $\phi = 1cm$
16,30-16,50	ARGILA CINZA-ARENOSA	3,6	CILINDRO D=3,5cm L=1,6cm	17 - 18	ARGILA CINZA-PLÁSTICA	3	CILINDRO D=3,5cm L=1,6cm
16,50-16,80	MICAXISTO MENOR GRAU INTEMPERIS-MO	25	CILINDRO D= 8 cm L= 3 cm	24-25	MICAXISTO (SEDIMENTO INCONSOLIDADO)	35	WENNER $\phi = 1cm$
16,80 - 17	MICAXISTO MAIOR GRAU INTEMPERIS-MO	10	CILINDRO D= 8 cm L= 3 cm	—	—	—	—

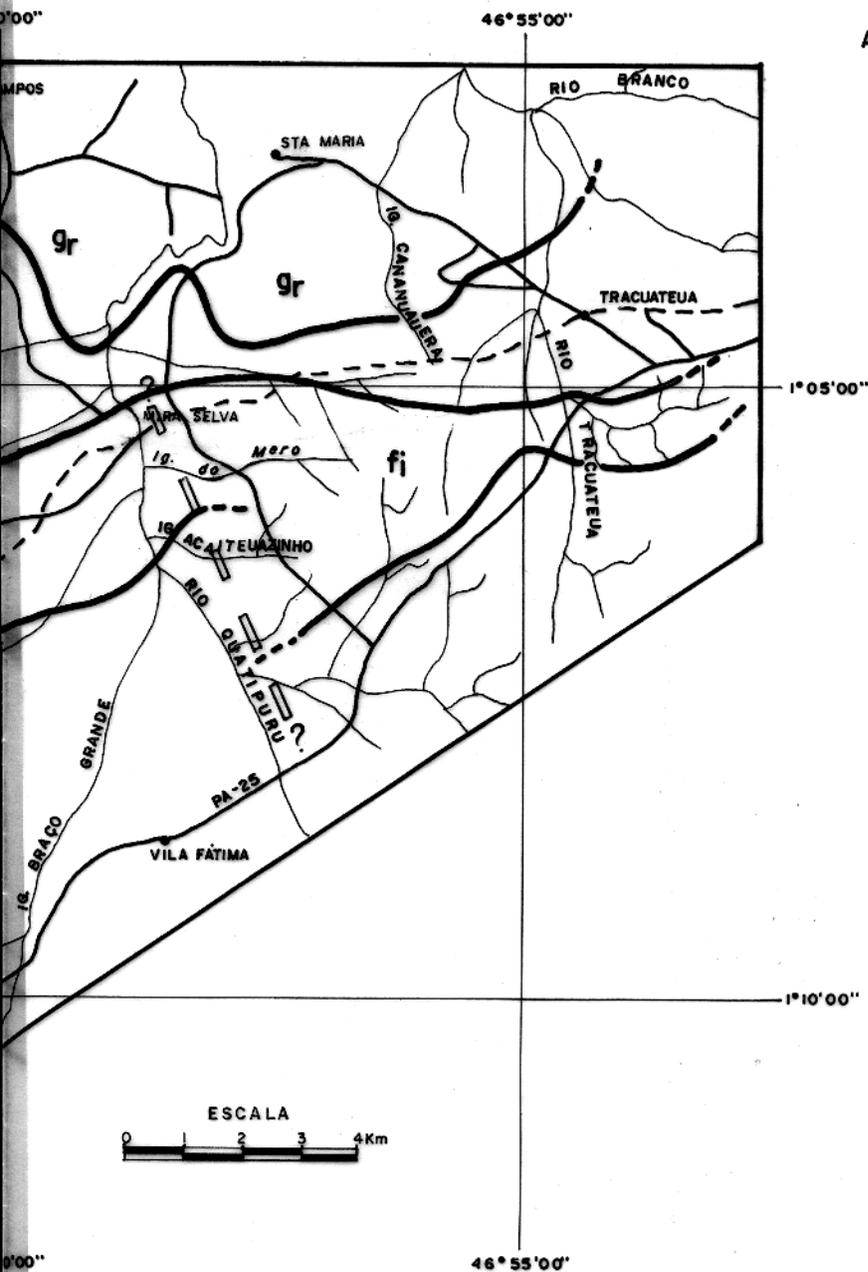
FURO 5				FURO 6			
PROFUNDIDADE (m)	MATERIAL	RESISTIVIDADE ($\Omega \cdot m$)	TIPO DE ARRANJO	PROFUNDIDADE (m)	MATERIAL	RESISTIVIDADE ($\Omega \cdot m$)	TIPO DE ARRANJO
2,20 - 5,80	ARGILA BRANCA-ROSEA	570	CILINDRO D= 3,5cm L= 0,8cm	8 - 9	AREIA VERMELHA	143	WENNER $\phi = 1cm$
8 - 8,40	ARGILA AMARELA	300	IDEM	15 - 15,80	FILITO ALTERADO	150	CILINDRO D= 3,5cm L= 1,6cm
11 - 11,40	ARGILA CINZA	15	IDEM	NÃO ATINGIDA A INTERFACE QUÍMICA			

APÊNDICE V : VALOR DA ORDEM DE GRANDEZA DA RESISTIVIDADE DE DIFERENTES MATERIAIS (MEDIDAS EM LABORATÓRIO).



APÊNDICE VI - MAPA DE GEOLOGIA INTERPRETADA ATRAVÉS DA MAGNETOMETRIA CUJOS CONTATOS FORAM CALCULADOS POR MODELAMENTO DIGITAL.

ÁREA CAPANEMA - TRACUATEUA, PARÁ



CONVENÇÕES

-  RODOVIA ASFALTADA
-  RODOVIA SECUNDÁRIA
-  ANTIGA ESTRADA DE FERRO
-  CAMINHO
-  DRENAGEM
-  CIDADE
-  LOCALIDADES MAIORES
-  LOCALIDADES MENORES
-  FALHA
-  CONTATO
-  FILITO
-  GRANITO

ESCALA

