



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**CARACTERIZAÇÃO GEOELÉTRICA DA ÁREA DE CURTUME
LOCALIZADO NO DISTRITO DE ICOARACI, BELÉM-PA.**

LANA PATRÍCIA MARTINS NUNES

Belém - Pará
2005

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

**CARACTERIZAÇÃO GEOELETRICA DA ÁREA DE CURTUME
LOCALIZADO NO DISTRITO INDUSTRIAL DE ICOARACI, BELÉM-
PARÁ.**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

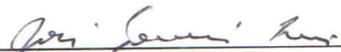
LANA PATRICIA MARTINS NUNES

COMO REQUISITO PARCIAL Á OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS
NA ÁREA DE GEOFÍSICA

Data da aprovação: 28/11/2005

Nota: 83% (BOM)

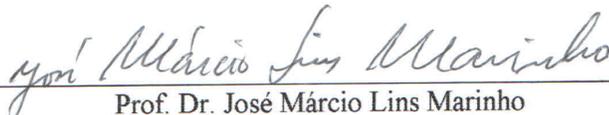
COMITÊ DE TESE:



Prof. Dr. José Gouvêa Luiz (Orientador)
Universidade Federal do Pará



Prof. Dr. Cícero Roberto Teixeira Regis
Universidade Federal do Pará



Prof. Dr. José Márcio Lins Marinho
Universidade Federal do Ceará

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)
Biblioteca Geól. Rdº Montenegro G. de Montalvão

Nunes, Lana Patrícia Martins

Caracterização geolétrica da área de curtume localizado no Distrito Industrial de Icoaraci, Belém-Pará. / Lana Patrícia Martins Nunes; orientador, José Gouvêa Luiz. - 2005

86f. : il

Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geofísica, Belém, 2005.

1.Curtume 2. Pluma de contaminação 3. Geofísica 4.GPR 5. Slingram 6.Potencial espontâneo 7.Caminhamento elétrico 8.Icoaraci (PA) I. Luiz, José Gouvêa, orient. II Título.

CDD 20. ed.: 675.23098115

*Aos meus pais (Graça & Araújo),
minha eterna gratidão.*

AGRADECIMENTOS

Dedico todo esforço e trabalho que agora se resume aqui nesta dissertação as seguintes pessoas e órgãos:

Agradeço primeiramente a Deus por me dar saúde e disposição para enfrentar cada dia.

A minha Família por sempre estarem ao meu lado, me apoiando e me dando forças em todos os momentos.

Ao Antônio pelo seu amor, estímulo, ajuda e dedicação incondicional para comigo dedicados durante esses dois anos, obrigada por tudo.

Ao Prof. Dr. José Gouvêa Luiz pela orientação, dedicação e paciência.

Ao Departamento e Curso de Pós-graduação em Geofísica (DGf/CPGf/UFPa) pela infra-estrutura indispensável para execução deste trabalho.

A CAPES, pelo apoio financeiro

Aos Profs. Dr. Cícero Roberto Teixeira Regis/UFPa e Dr. José Márcio Lins Marinho/UFC pela participação na banca examinadora.

Aos colegas de curso da Pós: Francisco, Lair, Lena e Vinícius que hoje considero meus amigos; pois depois de tanto tempo de convivência aprendemos a admirar as qualidades e a respeitar as diferenças de cada um. E este clima de companheirismo certamente contribuiu para esta conquista.

A funcionária do CPGf Benildes Lopes pelo auxílio durante esses 2 anos de curso.

Ao funcionário Paulo Magalhães pelo auxílio nos trabalhos de campo.

Aos amigos: Verena e Fábio (Bart) pelo companheirismo, apoio, estímulo e amizade.

Ao Curtume Couro do Norte que gentilmente liberou a área para a realização deste estudo.

Este trabalho recebeu apoio do Projeto “Métodos Eletromagnéticos Aplicados à Região Amazônica: Consolidação do Programa de Pós-Graduação em Geofísica da UFPa”, processo 620240/2004-0, financiado pelo PADCT / CT- INFRA / CNPq.

A todos o meu muito obrigada.

Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende.

(Leonardo da Vinci).

SUMÁRIO

	DEDICATÓRIA	iii
	AGRADECIMENTOS	iv
	EPÍGRAFE	v
	LISTA DE ILUSTRAÇÃO	vi
	RESUMO	1
	ABSTRACT	2
1	INTRODUÇÃO.....	3
2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	5
2.1	LOCALIZAÇÃO E ACESSO	5
2.2	FISIOGRAFIA	6
3	CONTEXTO GEOLÓGICO	8
4	CURTUMES E CONTAMINAÇÃO	11
5	PROVÁVEIS CONTAMINANTES	14
6	MÉTODOS GEOFÍSICOS	17
6.1	MÉTODO ELETROMAGNÉTICO SLINGRAM.....	17
6.2	MÉTODO DO POTENCIAL ESPONTÂNEO	19
6.3	MÉTODO DA ELETORRESISTIVIDADE	22
6.4	RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO	28
7	LEVANTAMENTOS GEOFÍSICOS	30
7.1	MÉTODO ELETROMAGNÉTICO (SLINGRAM)	31
7.1.1	Operação de campo	31
7.1.2	Apresentação dos dados Eletromagnéticos	31
7.1.3	Resultados	32
7.1.3.1	Perfis e Pseudo-seções	32
7.1.3.2	Análise dos perfis e Pseudo-seções	43
7.1.3.3	Mapas de Contorno	44

7.2	POTENCIAL ESPONTÂNEO	50
7.2.1	Operação de campo	50
7.2.2	Resultados do Levantamento de Potencial Espontâneo	50
7.3	ELETORRESISTIVIDADE	52
7.3.1	Operação de campo	52
7.3.2	Resultados	53
7.3.2.1	Caminhamento Elétrico.....	53
7.3.2.2	Sondagem Elétrica Vertical (SEV)	59
7.4	RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO	62
7.4.1	Operação de campo e Processamento	62
7.4.2	Resultados	63
8	CONCLUSÕES	73
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Mapa de localização da área de estudo	5
Figura 2	Fluxograma geral da produção de couro	12
Figura 3	Perfil HLEM sobre um corpo condutor	18
Figura 4	Representação esquemática de um eletrodo não polarizável	21
Figura 5a	Configuração de base fixa	21
Figura 5b	Configuração de Gradientes	21
Figura 6	Princípio do Método de Eletrorresistividade	22
Figura 7a	Arranjo Schlumberger	26
Figura 7b	Arranjo Wenner	26
Figura 7c	Arranjo Dipolo-Dipolo	26
Figura 7d	Arranjo Bipolo-Bipolo	27
Figura 8	Desenho esquemático do princípio do Método de Georadar	29
Figura 9	Mapa de Localização dos Levantamentos Geofísicos.....	30
Figura 10	Valores das componentes em fase e quadratura do campo magnético secundário para o Perfil 40	34
Figura 11	Contorno de isovalores do módulo relativo do campo magnético $ Z $ contra a frequência para a Linha 40	35
Figura 12	Valores das componentes em fase e quadratura do campo magnético secundário para o Perfil 30	36
Figura 13	Contorno de isovalores do módulo relativo do campo magnético $ Z $ contra a frequência para a Linha 30	37

Figura 14	Valores das componentes em fase e quadratura do campo magnético secundário para o Perfil 20	38
Figura 15	Contorno de isovalores do módulo relativo do campo magnético $ Z $ contra a frequência para a Linha 20	39
Figura 16	Valores das componentes em fase e quadratura do campo magnético secundário para o Perfil 10	40
Figura 17	Contorno de isovalores do módulo relativo do campo magnético $ Z $ contra a frequência para a Linha 10	41
Figura 18	Valores das componentes em fase e quadratura do campo magnético secundário para o Perfil 0	42
Figura 19	Contorno de isovalores do módulo relativo do campo magnético $ Z $ contra a frequência para a Linha 0	43
Figura 20	Mapa de contorno do módulo relativo do campo magnético secundário para a frequência de 14080 Hz	46
Figura 21	Mapa de contorno do módulo relativo do campo magnético secundário para a frequência de 7040 Hz	46
Figura 22	Mapa de contorno do módulo relativo e do campo magnético secundário para a frequência de 3520Hz	47
Figura 23	Mapa de contorno do módulo relativo do campo magnético secundário para a frequência de 1760 Hz	47
Figura 24	Mapa de contorno do módulo relativo do campo magnético secundário para a frequência de 880 Hz	48
Figura 25	Mapa de contorno do módulo relativo do campo magnético secundário para a frequência de 440 Hz	48
Figura 26	Mapa de contorno do módulo relativo do campo magnético secundário para a frequência de 220 Hz	49
Figura 27	Mapa de contorno do módulo relativo do campo magnético secundário para a frequência de 110 Hz	49
Figura 28	Mapa de Potencial Espontâneo	51

Figura 29	Imagens de resistividade obtidas com o arranjo Bipolo-bipolo e espaçamento dos bipolos igual a 5 m (Perfil 10)	55
Figura 30	Imagens de resistividade obtidas com o arranjo Bipolo-bipolo e espaçamento dos bipolos igual a 5 m (Perfil 20)	57
Figura 31	Sondagem Elétrica Vertical realizada sobre a Linha 10	60
Figura 32	Sondagem Elétrica Vertical realizada sobre a Linha 20	60
Figura 33	Perfil de GPR realizado ao longo da linha G1	63-64
Figura 34	Perfil de GPR realizado ao longo da linha LB	66
Figura 35	Perfil de GPR realizado ao longo linha L 20	68-69
Figura 36	Perfil de GPR realizado ao longo da linha G3	71

RESUMO

Foi desenvolvido um estudo da subsuperfície rasa para investigar a possibilidade de contaminação do subsolo por líquidos usados no tratamento de couros em área industrial. O estudo foi realizado na área da indústria Couro do Norte, Bairro de Maracacuera, no Distrito Industrial de Icoaraci (município de Belém-Pará). Durante o estudo foram feitas medidas para a determinação do fluxo de água do primeiro aquífero e aplicada metodologia geofísica com a finalidade de detectar a possível contaminação do subsolo por poluentes liberados pelo curtume. As metodologias geofísicas utilizadas foram: eletrorresistividade (na forma de imageamento e través de sondagens verticais), potencial espontâneo, eletromagnético (Slingram) e radar de penetração no solo (GPR).

A interpretação dos dados eletromagnéticos permitiu identificar a presença de zonas mais condutivas (provável pluma de contaminação) e zonas mais resistivas (blocos lateríticos).

A distribuição dos potenciais medidos através do Método do Potencial Espontâneo indicou o sentido do fluxo subterrâneo local.

Com as Sondagens Elétricas Verticais determinaram-se os valores de resistividade em subsuperfície para os diferentes horizontes correlacionando-os sempre com as informações obtidas no Caminhamento Elétrico.

Através dos dados de GPR identificou-se a presença de blocos lateríticos, tubulações de metal e zonas com elevada atenuação (zona de sombra) que indicam a presença de contaminação.

ABSTRACT

A study covering the shallow subsurface was developed in order to investigate the possibility of underground contamination by liquids used in the treatment of animal skin. The study was carried out inside the area of the Couro do Norte industry, located in the Icoaraci Industrial District (Belém – Pará). During the study they were made measures for the determination of the flow of water of the first aquifer and applied geophysical methodology with the purpose of detecting the possible contamination of the underground for pollutant liberated by the tanning. The geophysical methodology applied was: resistivity (imaging and vertical electric soundings), spontaneous potential, electromagnetic (Slingram) and ground penetrating radar (GPR).

Analyses of electromagnetic data lead to the identification of conductive zones (Contamination) and resistive zones (sandy material).

Spontaneous potential gave information on the direction of local underground flow of water.

Vertical electric soundings allowed to know the resistivity distribution in subsurface. The resistivity sounding models could be correlated to the electrical images obtained in electrical profiling.

Through the GPR data was possible to identify the presence of lateritic blocks, metal piping and zones with high attenuation (shadow zones) that indicate the presence of contamination.

1 INTRODUÇÃO

Os curtumes são indústrias que processam peles de animais com o objetivo da sua conservação e acabamento. Neles, a pele recém tirada do animal passa por diversas operações mecânicas e processos químicos. Os produtos geralmente adicionados são: sal de cromo, álcalis a base de mercúrio, formiato de sódio, fungicida e óleo catiônico. Várias das substâncias usadas durante o processamento das peles são tóxicas ou potencialmente tóxicas e geram resíduos que podem contaminar a água subterrânea.

O processo de fabricação do couro proporciona uma enorme carga poluidora com a produção de resíduos sólidos e gasosos, como também dejetos líquidos, que contêm grande quantidade de material putrescível (sangue, proteína e fibras musculares) e compostos químicos dos elementos cromo, alumínio, ferro, magnésio, zinco e cobre. Além disso, o processo gera sulfeto de sódio e cloretos, que quando descartados sem tratamento e/ou acondicionamento podem provocar a contaminação do solo e das águas, bem como a geração de odores, causando grandes danos ao ambiente. Estes dejetos também apresentam alta carga orgânica que podem exaurir todo o oxigênio dissolvido nos cursos d'água. Por tudo isso, a indústria de curtumes é tida como uma das mais potencialmente poluidoras.

Com o desenvolvimento das cidades, acelerado pelo desenvolvimento industrial, houve um acentuado crescimento do número de curtumes, a maioria sem tratamento de seus efluentes, e lançando-os nos ambientes aquáticos, contribuindo para que as águas naturais se tornem residuárias.

Assim, consciente da importância do problema e preocupação ambiental, este trabalho visa contribuir para a avaliação da contaminação proveniente de resíduos de curtumes através de estudo usando metodologia geofísica. A área escolhida para o estudo está localizada no

Distrito Industrial de Icoaraci, município de Belém, capital do estado do Pará e tem instalado um curtume dentro dos seus limites.

Neste trabalho foram aplicados métodos elétricos e eletromagnéticos, cujos resultados forneceram informações sobre a estratigrafia rasa da área, sobre o fluxo subterrâneo do primeiro aquífero e sobre possível contaminação provocada pelo curtume.

Para determinação da estratigrafia da área foram correlacionados os resultados obtidos na interpretação de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e de perfis eletromagnéticos, com auxílio da observação geológica em poços escavados (poços Amazonas) que existem na área.

O fluxo subterrâneo foi obtido através de medidas com o Método do Potencial Espontâneo.

A identificação de contaminação foi obtida da interpretação de perfis de resistividade, eletromagnéticos, de potencial espontâneo e Georadar (GPR).

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

2.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O estudo foi desenvolvido dentro dos limites do Curtume Couro do Norte, localizado no Distrito Industrial de Icoaraci (Figura 1). Geograficamente, a área situa-se nos arredores das coordenadas $1^{\circ} 15'$ a $1^{\circ} 20'$ de latitude sul e $48^{\circ} 30'$ a $48^{\circ} 25'$ de longitude oeste, distando aproximadamente 25 km de Belém.

Para se ter acesso à área existem dois tipos de transporte: terrestre e fluvial ambos partindo de Belém. O primeiro, através de ônibus de linha ou carro particular, levando-se cerca de 45 minutos a partir do centro de Belém. O segundo é feito através de percurso por lancha ou barco.

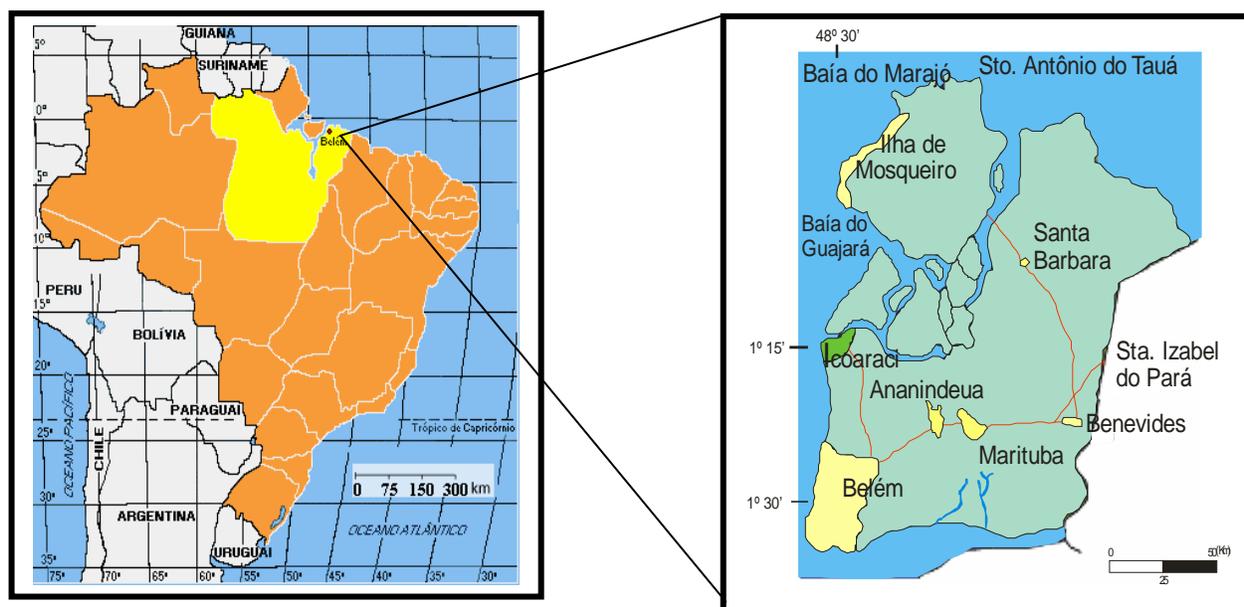


Figura 1 - Mapa de Localização da Área de Estudo.

2.2 FISIOGRAFIA

Icoaraci é um Distrito pertencente ao município de Belém que conta com uma população de aproximadamente 100.000 habitantes, distribuídos numa área de 204,11 ha.

O Distrito de Icoaraci apresenta o clima quente e úmido, classificado de acordo com o método de koppen, e pluviosidade elevada com precipitação média anual de 2500 a 3000 mm.

No referente ao aspecto térmico, as médias anuais mais elevadas encontram-se na faixa de 26° a 28° C. Os menores valores situam-se na faixa de 20°.

Temperaturas máximas absolutas, superiores a 38° C, são registradas durante os meses que vão de julho a novembro. Por outro lado, mínimas absolutas de 20° C são freqüentes nos meses de dezembro a maio, embora, durante todo o ano, ocorra em quase todas as tardes uma chuva freqüente.

Geomorfologicamente, a área apresenta um relevo plano, relativamente uniforme, com pouquíssimas oscilações altimétricas, sendo que sua cota média gira em torno de 16 metros (dados obtidos em: <http://www.pa.gov.br/conhecaopara/anandindeua1.asp>).

A vegetação é constituída predominantemente por floresta densa e por floresta secundária (denominada de capoeira), em vários estágios, provenientes do desmatamento realizado na área para o cultivo de várias espécies alimentícias de ciclo curto como, por exemplo, o milho, a mandioca, etc. Nas áreas sujeitas à inundação, margeando os rios, está presente a vegetação de várzea, com suas espécies típicas, como a ucuúba, a andiroba, o açaí e o miriti (dados obtidos em: <http://www.pa.gov.br/conhecaopara/anandindeua1.asp>).

Quanto à hidrografia, os elementos hídricos que mais se destacam são: a Baía do Guajará e o Rio Guamá, além de inúmeros igarapés que cruzam a cidade como o Bacuri, Val-

de-cães, Una e o Furo do Maguari que separa a ilha de Caratateua (Outeiro) do continente (Penteado, 1968).

São encontrados predominantemente 3 unidades de solos na região: Latossolo, Neossolo (Areias quartzosas), Gleissolo e uma associação de Latossolo + gleissolo.

Os latossolos concentram-se na porção central da Ilha de Outeiro, com prolongamento a nordeste da ilha, o relevo apresenta-se plano e suavemente ondulado. Estes solos estão caracterizados por apresentar perfil profundo com mais de 150 cm de espessura (Kern et al., 2005).

Os Neossolos são constituídos por areias quartzosas com grande ocorrência na parte sudeste e nordeste da Ilha de Caratateua e margem esquerda do Furo do Maguari e ao longo do igarapé Piraíba e Paracuri em Icoaraci, apresentam um perfil em evolução, são permeáveis e de fraca diferenciação entre os horizontes.

Os Gleissolos ocupam uma estreita faixa em uma área convexa na parte nordeste de Outeiro. Os solos desta classe são permanentemente ou periodicamente saturados por água.

A associação Latossolo + Gleissolo foi encontrada apenas em uma mancha na parte sudoeste de Outeiro, sobrepondo-se a um relevo plano com suaves ondulações.

3 CONTEXTO GEOLÓGICO

Geologicamente, a subsuperfície rasa da área caracteriza-se por apresentar unidades representadas pelos períodos Terciário e Quaternário. Fazem parte deste contexto sedimentos terciários da Formação Barreiras, sedimentos quaternários do Pós-Barreiras e sedimentos Holocênicos (Rosseti *et al.* 1989). A coluna estratigráfica pode ser vista na Tabela 1.

Os sedimentos da Formação Barreiras ocorrem sob a forma de falésias ou terraços nas margens dos rios e são encontrados a profundidades superiores a 12 metros (Soares¹, 1998 apud Neves, 2002). São constituídos por sedimentos continentais argilosos (argilitos), arenosos (arenitos) e conglomeráticos (conglomeráticos) com níveis ferruginizados, pouco consolidados de arenito. Os argilitos são de coloração variegada, variando de branco a cinza escuro, aparentemente maciços; também são encontradas estruturas do tipo *flaser*, *wavy* e *slumps* (Mendes, 2000). Os arenitos são creme-amarelados com tonalidades esbranquiçadas, de granulometria variando de fina a grossa, contendo internamente estratificação cruzada acanalada e sigmoidal, além de ondulações e seixos de quartzo. Os conglomerados são compostos essencialmente por seixos e clastos de argila e quartzo leitoso, sustentados por uma matriz argilosa compacta, ocorrendo de forma restrita à ilha do Outeiro (Silva, 1997). Esta formação foi subdividida em seis fácies distintas, a saber: fácies argilosa maciça, fácies conglomerática, fácies argilosa com laminação plano-paralela, fácies arenosa com estratificação cruzada sigmoidal, fácies arenosa com estratificação acanalada e fácies areno-argilosa maciça (Farias², 1992 apud Mendes, 2000).

¹ SOARES, J. A. 1998. *Vulnerabilidade do aquífero livre na região de Barcarena – PA*. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 70p. (Trabalho de Conclusão de Curso).

² FARIAS, E. S.; NASCIMENTO, F. S.; FERREIRA, M. A. A. 1992. *Estágio de Campo III: Relatório Final. Área Belém / Outeiro*. UFPA. 247p.

O Pós-Barreiras é representado por sedimentos areno-argilosos, inconsolidados, facilmente desagregados, coloração variando de creme-amarelado a totalmente branco, de granulometria fina a média e sem estruturação sedimentar aparente. São compostos predominantemente por frações de silte, argila e grãos de quartzo, com finos leitos de seixos de arenito ferruginoso (Silva & Loewenstein, 1968).

Os sedimentos Holocênicos são constituídos por areias finas a médias, de coloração marrom, com silte e argilas distribuídas na orla litorâneas, leito de rios, igarapés e baixadas inundáveis. Também fazem parte desta unidade solos ricos em húmus, de coloração escura amarronzada (Sá³, 1969 apud Nascimento, 2003).

Na área de estudo podem ser observados em superfície os sedimentos Pós-Barreiras e Holocênicos.

³ SÁ, J.H.S. 1969. Contribuição à geologia dos sedimentos terciários e quaternários da região Bragantina. *Boletim Instituto Geológico*, Rio de Janeiro, 3: 21-36.

Tabela 01-Coluna estratigráfica proposta por Rossetti *et al* (1989) da região NE do Pará.

ERA	PERÍODO	EPOCA	UNIDADE	DESCRIÇÃO GERAL
CENOZÓICO	QUATERNÁRIO	HOLOCÊNIO	SEDIMENTOS ATUAIS	Areias quartzosas de granulometria fina a média, distribuídas na orla litorânea, leitos de rios e igarapés; cascalhos fluviais; argilas e siltes ligados a manguezais.
		PLEISTOCENO	SEDIMENTOS PÓS-BARREIRAS	Sedimentos inconsolidados areno-argilosos a argilo-arenosos, amarelados a avermelhados, com grânulos de quartzo e blocos de arenito ferruginizado.
	TERCIÁRIO	MIOCENO - PLIOCENO	SEDIMENTOS BARREIRAS	Sedimentos siliciclásticos que constituem argilas e ocasionalmente conglomerados, de cores variegadas e comumente ferruginizados. Portadores de vegetais fósseis, tubos de Ophimorphas e estruturas sedimentares primárias.
		OLIGOCENO-MIOCENO	FORMAÇÃO PIRABAS	Calcários micríticos, bioclásticos, biohêmicos, dolomicríticos, as vezes com folhas cinza-esverdeada e margas intercaladas, com variado e abundante conteúdo fossilífero.

Fonte: MENDES, 2000

4 CURTUMES E CONTAMINAÇÃO

Os curtumes são indústrias que processam peles de animais com o objetivo da sua conservação e acabamento, antes de serem cortadas e costuradas por fábricas de sapatos, de cintos, de roupas, de móveis e de uma infinidade de outros artigos. Os mais comuns são curtumes de peles bovinas devido a maior facilidade de aquisição de sua matéria-prima e boas características conferidas ao couro. Além destas, são também utilizadas peles ovinas, de jacarés e couros de mamíferos silvestres (porco do mato, capivara, ariranha) muito apreciados no exterior. Tal fato tem desencadeando enorme predação da espécie, a ponto do governo proibir a caça de jacarés, visando impedir a sua extinção.

O processo de curtimento consiste basicamente em transformar as peles em couro, ou seja, em material imputrescível. Nos curtumes, a pele recém tirada do animal passa por inúmeros processos químicos e físicos até ficar pronta para ser transformada em produtos de consumo. Os produtos geralmente adicionados são: sal de cromo, álcalis a base de mercúrio, formiato de sódio, fungicida e óleo catiônico. O pH final durante o processo fica em torno de 3,8-4,2.

A transformação de peles em couros é realizado por meio de uma série de etapas físicas, químicas (utilizando a água como veículo para a difusão dos produtos químicos) e mecânicas, até o produto ficar pronto para ser transformado em produtos de consumo. O processo de produção de couro é contínuo e durante cada etapa são gerados diversos tipos de resíduos. Na Figura 2 apresenta-se um fluxograma mostrando cada uma das fases realizadas no processo de curtimento do couro.

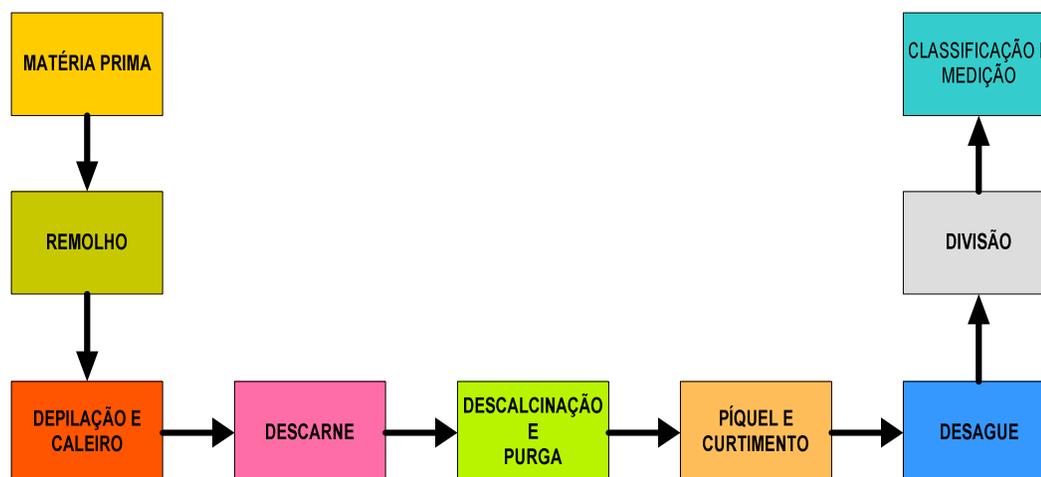


Figura 2 - Fluxograma geral da produção de couro (modificado de Leite & Estrela, 1998).

É importante conhecer-se os procedimentos seguidos durante cada etapa do processo de produção mostrado na Figura 2, para se ter idéia da potencialidade de contaminação de um curtume. Esses procedimentos são (Leite & Estrela, 1998):

- ◆ **Remolho:** é o tratamento de peles salgadas ou secas com água fria a fim de restaurar a água dos couros, tornando-as similares a como eram sobre o animal vivo. Geralmente, a água utilizada nesta fase é ligeiramente alcalinizada e contém desinfetante, facilitando a retirada de sangue, sujeira, soro, sal, etc. Essa operação dura de 1 a 6 horas.
- ◆ **Caleiro/Depilação:** *Caleiro* - Tratamento de peles numa solução contendo cal suspensa em água e sulfeto de sódio destinado ao intumescimento e desenvoltura das fibras da pele crua. *Depilação* - Processo químico no qual é procedida a retirada dos pelos e da epiderme dos animais.

- ◆ **Descarne:** Eliminação da hipoderme (gorduras e impurezas) aderente à face interna da pele. Depois que as peles são caleiradas e depiladas, se inicia o processo de descarne, que é realizado em máquina de descarnar.
- ◆ **Descalcinação e Purga:** *Descalcinação* - É o processo químico de remoção da cal de peles caleiradas. *Purga* – Tratamento no qual a pele inchada é preparada para o curtimento onde ocorre a lavagem da pele com água contendo sais de amônio e enzimas pancreáticas de preparações comerciais.
- ◆ **Píquel/Curtimento:** *Píquel* - Tratamento salino-ácido das peles. *Curtimento* - É o processo que visa transformar as peles em material estável e imputrescível, o couro. Nesta fase são empregados cinco reagentes em quantidades expressivas. São eles: tanino vegetal, tanino sintético, cromo, sais de alumínio e zircônio.
- ◆ **Desague:** Consiste na remoção do excesso de água presente no couro, no qual é reduzido o teor de água que o couro apresenta de 60% para 45%.
- ◆ **Divisão:** é uma operação mecânica onde o couro é cortado em camadas longitudinais, obtendo-se com isto duas camadas: a superior, denominada flor e a inferior denominada de raspa.
- ◆ **Classificação:** É processada manualmente através da escolha dos couros em função dos defeitos, da espessura, do tamanho e em função do tipo de artigo em que o couro será transformado.
- ◆ **Medição:** Etapa onde se realiza a medição e codificação do artigo acabado.

5 PROVÁVEIS CONTAMINANTES

As indústrias de curtimento são potencialmente contaminantes, pois utilizam durante todas as fases de fabricação do couro uma variedade de substâncias tóxicas ou potencialmente tóxicas que geram resíduos, sendo estes os principais causadores das grandes modificações químicas nas águas receptoras. Normalmente, esses efeitos somente são percebidos a grandes distâncias e são ignorados pelos curtumes.

A contaminação em um curtume pode originar-se a partir de derrames propositais, bem como por acidentes, que podem contaminar tanto o solo como a água. Muitas das substâncias, perigosas para a saúde humana e para o meio ambiente, são potencialmente poluidoras, em fases que vão desde a sua manipulação até o armazenamento e sua embalagem.

Peles e couros, e conseqüentemente, os resíduos originários das frações de pele e couros, antes do tratamento alcalino, podem conter material infeccioso. Devem-se, portanto, tomar cuidados especiais nestes casos para parar a disseminação da infecção no curtume e no tratamento dos resíduos e dos efluentes químicos.

Os despejos dos processos de caleiro e depilação são altamente nocivos às instalações de esgotos e aos cursos d'água, pois ocorre a transformação do sulfeto em gás sulfídrico pela ação de ácidos e microorganismos. O H_2S é tóxico e, na presença de O_2 e bactérias, transforma-se em H_2SO_4 , que corrói os encanamentos e remove o oxigênio porventura existente nos fluxos dos esgotos.

No processo chamado de caleiro/depilação é utilizado o sulfeto de sódio, produto com odor característico de ovo podre que é um poluente atmosférico.

Outro produto, utilizado na fase de curtimento, é o sulfato de cromo, um sal básico à base de cromo trivalente. O cromo trivalente é um metal pesado sendo-lhe atribuído às mesmas características do cromo hexavalente que é altamente cancerígeno.

Durante a operação de remolho ocorre a dissolução do sal (cloreto de sódio). O sangue e outras substâncias orgânicas também constituem carga orgânica no efluente. O caleiro residual contém matéria orgânica em grande quantidade (proteínas), cal e sulfeto. As operações seguintes depilação, purga, piquelagem e curtimento, produzem uma poluição salina e/ou tóxica (cromo).

A quantidade dos despejos varia de curtume para curtume. Há curtumes que lavam mais seus produtos, utilizando soluções de reagentes mais ou menos diluídas. Em geral são utilizados de 30 a 100 litros por quilograma de pele (Nunes, 2002).

Em resumo, as principais características dos efluentes líquidos gerados nos curtumes são: elevado pH, presença de cal e sulfetos livres, presença de cromo potencialmente tóxico, grande quantidade de matéria orgânica (elevada DBO), elevado teor de sólidos em suspensão (principalmente pêlos, fibras, sujeira, etc.), coloração leitosa devido à cal, dureza das águas de lavagem, elevada salinidade (sólidos dissolvidos totais) e elevada DQO.

Assim, os despejos dos curtumes são prejudiciais, não apenas por seus sólidos totais em suspensão e por sua DBO, mas, principalmente, pelos altos teores de sulfetos e salinidade, elevado pH e presença de cal livre. Além disso, geram gás sulfídrico com facilidade tornando as águas receptoras impróprias para fins de abastecimento público, usos industriais, agrícolas e recreacionais. Conclui-se, portanto, que o processo de fabricação do couro proporciona uma enorme carga poluidora com a produção de grande quantidade de efluentes químicos e resíduos

sólidos que podem provocar a contaminação do solo e das águas e geração de odores causando grandes danos ao ambiente.

Portanto, os resíduos sólidos e líquidos e os poluentes gasosos gerados pelos curtumes requerem tratamento em grau elevado. Na maioria das vezes, entretanto, os curtumes de médio e pequeno porte, devido ao pouco lucro que esta indústria oferece, não suportam os elevados custos do tratamento, deixando danos ambientais expressivos.

6 MÉTODOS GEOFÍSICOS

Os seguintes métodos foram utilizados na investigação geofísica realizada em Icoaraci: Potencial espontâneo, Eletrorresistividade e os métodos eletromagnéticos Slingram e Radar de penetração no solo. A seguir apresenta-se uma descrição desses métodos.

6.1 MÉTODO ELETROMAGNÉTICO (SLINGRAM)

A operação com o Método Slingram consiste em circular uma corrente elétrica alternada (de frequência pré-determinada) em uma bobina transmissora (Tx) onde é criado um campo magnético primário. Este campo primário, por sua vez, se propaga na subsuperfície induzindo corrente nos condutores presentes. Conseqüentemente, essas correntes induzidas ao fluírem pelo condutor criam um novo campo, o campo magnético secundário, que traz consigo informações sobre o condutor. O campo secundário, assim como o primário, é medido por uma segunda bobina denominada receptora (Rx). Tanto o campo primário como o secundário oscilam na mesma frequência, porém atingem seus máximos em tempos diferentes (defasados).

Esse método permite várias configurações geométricas para as bobinas transmissora e receptora sendo que a mais comumente utilizada é aquela denominada de sistema horizontal coplanar ou HLEM (Horizontal Loop Eletromagnético) em que ambas as bobinas (transmissora e receptora) situam-se em um mesmo plano horizontal. Na Figura 3, pode-se observar, uma típica resposta HLEM, em que um corpo condutivo vertical está em contato com uma rocha encaixante menos condutiva.

Durante a operação de medida com o método Slingram são amostrados valores das componentes em fase e fora de fase (quadratura) do campo magnético secundário induzido na bobina receptora, tomados como percentagem do campo primário. As medidas são tomadas ao

longo de perfis, com intervalos pré-determinados, sendo representados no ponto médio entre as bobinas transmissora e receptora.

A utilização do método com diversas frequências possibilita a investigação em vários níveis de profundidade, com as menores frequências permitindo investigar maiores profundidades. Além disso, o espaçamento entre as bobinas também contribui para a profundidade de investigação, que aumenta com o aumento da separação.

O Slingram tem se mostrado bastante eficaz na localização de corpos condutores, tais como mineralizações de sulfetos maciços e no mapeamento de estruturas geológicas (fraturas e zonas de cisalhamento) para captação de água subterrânea. Além dessas aplicações, o sistema também pode ser utilizado no mapeamento de seções geoeletricas de um meio horizontalmente estratificado (Palacky, 1991).

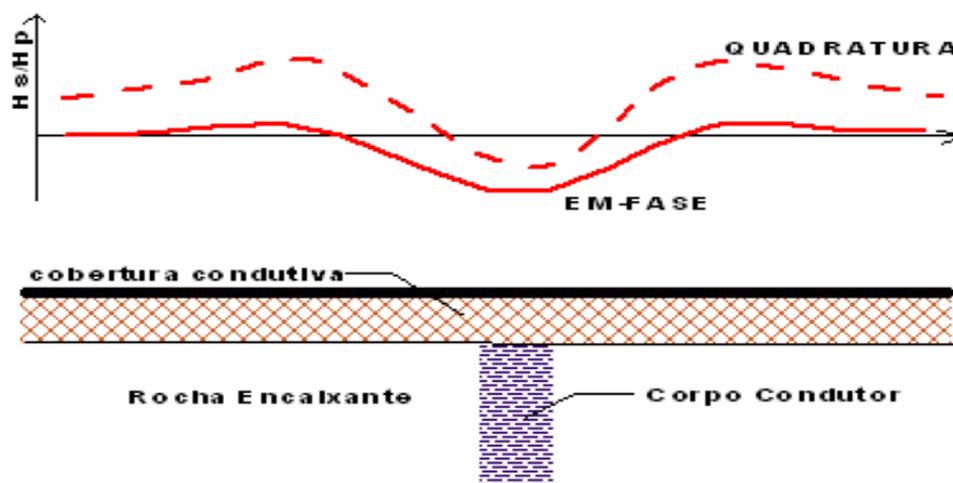


Figura 3 – Perfil HLEM sobre um corpo condutor. H_p = Campo primário; H_s = Campo Secundário.

6.2 MÉTODO DO POTENCIAL ESPONTÂNEO

O Método Potencial Espontâneo (PE) utiliza potenciais naturais provocados por diferentes fenômenos, em particular a interação geoquímica com minerais metálicos, gradientes de temperatura e aqueles resultantes de processos eletrocinéticos e eletroquímicos, tais como: movimento da água no subsolo e gradientes iônicos.

O potencial gerado pela interação com minerais metálicos ocorre quando existem corpos mineralizados com sulfetos metálicos. O potencial relacionado com gradiente de temperatura normalmente ocorre quando há fontes geotermiais.

O potencial natural ou espontâneo de origem eletrocinética é conhecido como potencial de fluxo, eletrofiltração ou potencial eletrocinético cuja origem é dada pelo movimento de eletrólitos (água subterrânea) no subsolo.

Existem dois tipos de eletrofiltração: “*per ascensum*” e “*per descensum*” (Orellana, 1972). O primeiro é gerado pela subida das águas devido à evaporação enquanto o segundo é decorrente da infiltração de águas através de terrenos permeáveis ou através de falhas/fraturas nas rochas.

O potencial de origem eletroquímica pode ser classificado como: potencial de difusão e potencial de membrana.

O potencial de difusão ou concentração (potencial de junção de líquido) ocorre quando existem diferentes eletrólitos em contato ou quando um mesmo eletrólito mostra diferentes concentrações nos poros das rochas. Como os íons apresentam diferentes mobilidades, aqueles com maior velocidade de migração apresentam maior difusão, concentrando-se longe dos de menor velocidade de migração gerando assim duas zonas distintas (Orellana, 1972). Um

exemplo prático, são íons de Cl^- com maior mobilidade que os íons de Na^+ , isto resulta na migração de fluxo de cargas negativas da solução de maior concentração para soluções de menor concentração. Semelhante processo ocorre a uma corrente convencional em direção oposta. A corrente que flui através da junção de soluções de diferentes salinidades é originada por uma força eletromotriz denominada de potencial junção de líquido.

Quando soluções de diferentes concentrações são separadas por uma camada de argila, os cátions movimentam-se através do material argiloso indo da solução de maior concentração para a de menor concentração, enquanto os ânions são barrados pela argila. A movimentação dos íons trata-se de uma corrente elétrica e a força que o produz representa o potencial através da argila. Sabendo que as argilas só permitem a passagem dos cátions estas constituem uma membrana seletiva e o potencial desenvolvido é chamado de potencial de membrana.

Com o Método do Potencial Espontâneo mede-se a diferença de potencial entre dois eletrodos cravados no solo. Os eletrodos utilizados nesta operação devem ser do tipo não polarizável para minimizar os efeitos de polarização existentes quando uma barra metálica é posta em contato direto com o solo. Esses eletrodos são constituídos por uma vareta de metal geralmente de cobre mergulhada numa solução saturada desse metal (CuSO_4), que é posta em contato com o solo por uma barreira porosa (porcelana ou madeira) (Figura 4).



Figura 4 – Representação esquemática de um eletrodo não polarizável.

Para a realização das medidas de Potencial Espontâneo podem-se usar duas configurações: de base fixa e de gradientes. Na configuração de base fixa mantém-se um eletrodo fixo em uma estação base enquanto o outro eletrodo é movido para as diferentes estações de medidas, deslocado a intervalos constantes na mesma linha de levantamento. Já na configuração de Gradientes, os dois eletrodos são mantidos a uma distância constante e deslocados ao longo de um perfil a intervalos iguais. A diferença de potencial medida é dividida pela distância que separa os eletrodos e a leitura é atribuída ao ponto médio entre os eletrodos (Luiz & Silva, 1983).

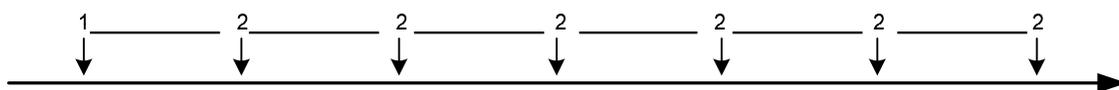


Figura 5a – Configuração de base fixa.

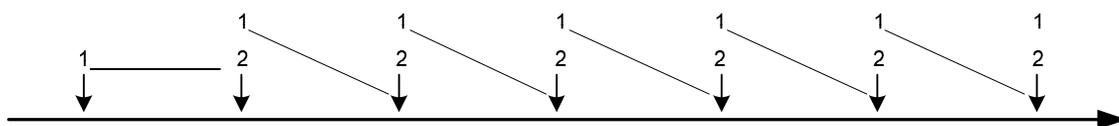


Figura 5b – Configuração de gradientes.

6.3 MÉTODO DA ELETRORRESISTIVIDADE

O método da eletroresistividade baseia-se na aplicação da lei de Ohm, que expressa a proporcionalidade direta entre a corrente elétrica (I) num condutor e a diferença de potencial (ΔV) entre seus terminais. Consiste na injeção de corrente elétrica com o auxílio de eletrodos enterrados no solo em dois pontos (A e B) da superfície do terreno. Dois outros eletrodos, enterrados em pontos denominados M e N, são utilizados para medir a diferença de potencial que se estabelece entre eles, como resultado da passagem da corrente (Figura 6).

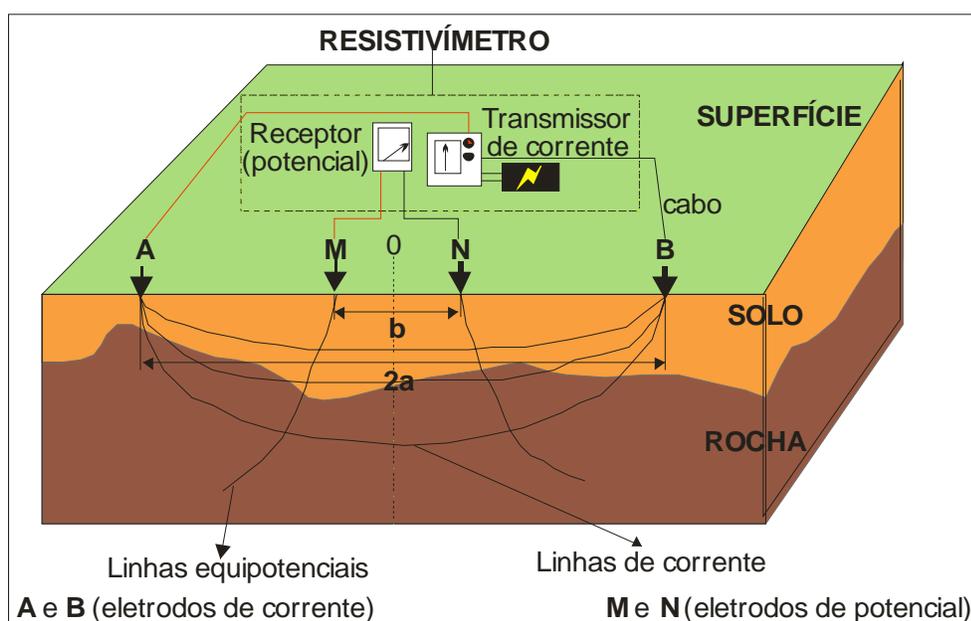


Figura 6 – Princípio do Método de Eletroresistividade.

Se o meio fosse homogêneo e isotrópico a sua resistividade seria calculada através da seguinte fórmula:

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} K, \quad (1)$$

onde K é denominado de Fator Geométrico.

O Fator K depende da disposição dos eletrodos na superfície e é calculado através da seguinte equação:

$$K = \frac{6,28}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}} \text{ (m)} \quad (2)$$

Porém, devido à heterogeneidade do meio geológico, causada pela existência do acamamento geológico e/ou de variações laterais das litologias, este método não permite o cálculo direto das resistividades verdadeiras das diferentes camadas presentes no volume do subsolo envolvido na medição. Assim, a expressão (1) fornece valores de uma resistividade aparente (ρ_a), que é dependente das resistividades das camadas do subsolo e das posições dos pontos de injeção de corrente e medida do potencial.

O método da Eletrorresistividade pode ser utilizado na investigação tanto da variação vertical, como lateral da resistividade do subsolo. No primeiro caso este procedimento é chamado de Sondagem Elétrica Vertical e no segundo de Perfilagem Elétrica Horizontal ou Caminhamento Elétrico (Orellana, 1972).

Na Sondagem Elétrica Vertical (SEV), normalmente as medidas são tomadas com a distância entre os eletrodos de corrente sendo aumentada gradativamente em relação ao seu ponto médio, a fim de se obter a resposta de profundidades cada vez maiores. Este procedimento é utilizado principalmente na pesquisa de água subterrânea e Engenharia Civil (Luiz & Silva, 1983).

O Caminhamento Elétrico (CE) consiste, basicamente, na realização de medidas de resistividade aparente ao longo de um perfil, deslocando-se lateralmente o conjunto de

eletrodos (A, B, M, N) sem modificar suas distâncias relativas. Como há uma constância no comprimento da linha AB, este procedimento permite a investigação do subsolo lateralmente a uma profundidade aproximadamente constante. Esta operação é muito utilizada na detecção de contatos geológicos, zonas mineralizadas, mudanças de fácies e plumas de contaminação.

No método da eletrorresistividade, a injeção de corrente elétrica e a medição do potencial podem ser feitas segundo diversos arranjos de eletrodos. Dentre eles os mais comumente empregados são: Wenner, Schlumberger, Dipolo-dipolo e Bipolo-bipolo.

Na configuração Schlumberger (Figura 7a), os quatro eletrodos são dispostos em linha, com a distância entre os eletrodos de corrente bem maior do que a distância entre os eletrodos de potencial.

No arranjo Wenner (Figura 7b) os eletrodos de corrente e os de potencial são dispostos em linha, de forma equidistante. Normalmente os eletrodos de potencial se localizam entre os eletrodos de corrente.

O arranjo Dipolo-dipolo pode ser implementado com diversas orientações entre os pares AB e MN. Em uma das configurações mais empregadas, os quatro eletrodos são mantidos alinhados (Figura 7c). Neste arranjo as distâncias AB e MN devem ser muito pequenas quando comparadas com a distância que separa seus centros. Geralmente, essas distâncias são tomadas como igual ou menor a 1/5 da distância que separa o centro dos eletrodos AB e MN.

A configuração Bipolo-bipolo é uma variação do arranjo Dipolo-dipolo na qual as distâncias AB e MN são da mesma ordem de grandeza da distância que separa seus centros, de forma que cada par de eletrodos não mais se comporta como um dipolo (Luiz e Silva, 1983). A Figura 7d mostra o arranjo o arranjo Bipolo-bipolo.

Os fatores geométricos para os arranjos Schlumberger (K_s), Wenner (K_w), Dipolo-dipolo (K_d) e Bipolo-bipolo (K_b) são dados respectivamente por:

$$K_s = \pi (a^2/b - b/4), \quad (3)$$

sendo $a = AB/2$ e b a separação entre dois eletrodos de potencial;

$$K_w = 2\pi a, \quad (4)$$

sendo $a = AB/3$;

$$K_d = \pi (a^3/b^2 - a), \quad (5)$$

sendo a o espaçamento entre o centro dos eletrodos AB e MN e b o espaçamento entre os eletrodos AB, tomado igual à separação entre os eletrodos MN (Luiz & Silva, 1983);

$$K_b = \pi a n (n+1)(n+2), \quad (6)$$

em que a é a separação entre AB e entre MN e n um número inteiro. Quanto maior o valor de n , maior é a profundidade de investigação do arranjo. Se durante as medidas em um caminhamento são usados vários valores de n obtém-se investigação vertical, além da investigação lateral, permitindo que se obtenha uma imagem da subsuperfície.

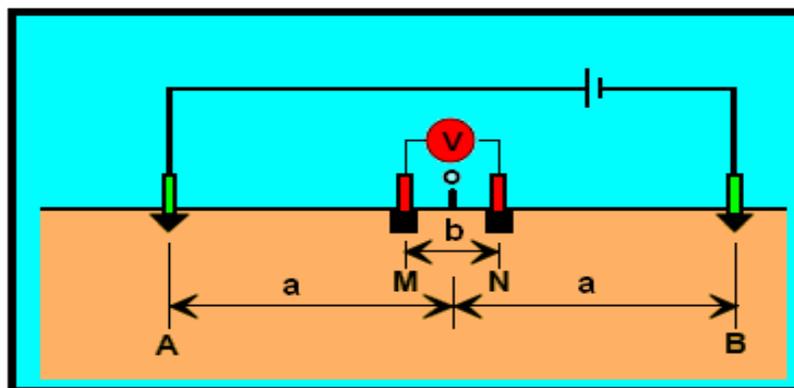


Figura 7a – Arranjo Schlumberger

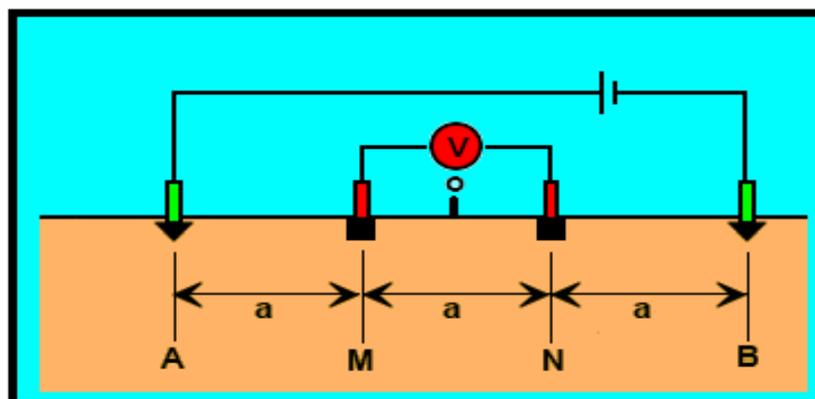


Figura 7b – Arranjo Wenner

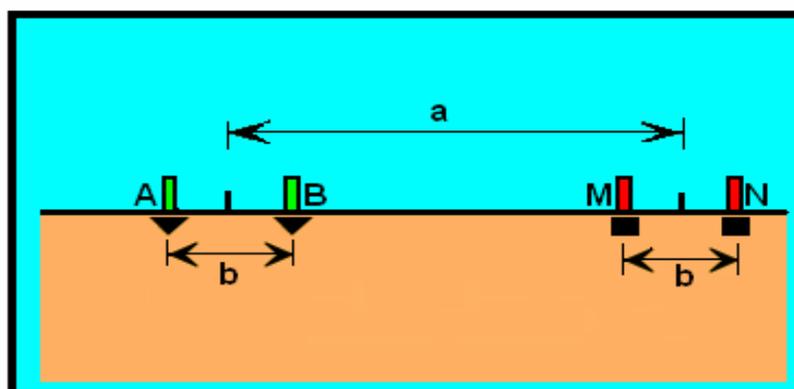


Figura 7c – Arranjo Dipolo-Dipolo

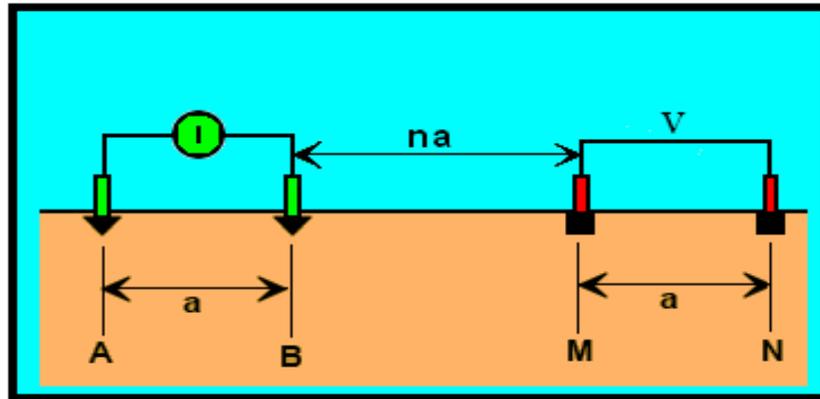


Figura 7d – Arranjo Bipolo-Bipolo.

6.4 RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO (GPR)

A técnica de radar de penetração no solo (GPR) ou Georadar consiste na produção de uma onda eletromagnética de alta frequência (10-2500 MHz) a partir de uma antena transmissora colocada as proximidades da superfície do terreno. A onda propaga-se nos materiais da subsuperfície, sofrendo reflexão e refração em interfaces que separam diferentes propriedades elétricas dos materiais existentes. As ondas refletidas que retornam à superfície são detectadas na mesma antena transmissora ou em outra colocada à distância apropriada, próxima à antena transmissora (Figura 8). Desse modo, obtém-se o tempo para a onda completar o percurso antena transmissora – interface – antena receptora. A profundidade das interfaces pode ser determinada a partir da velocidade de propagação da onda.

A velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas (EM) em qualquer meio não magnético depende basicamente da constante dielétrica dos materiais e pode ser estimada através da seguinte expressão:

$$V = c / \sqrt{K} \quad , \quad (7)$$

em que c é a velocidade da luz no vácuo (0,3 metro por nanosegundo) e K a constante dielétrica (razão entre as permissividades elétricas do material e do vácuo).

A profundidade de penetração da onda é controlada pela sua frequência, além da resistividade do meio onde ela se propaga. Baixas resistividades e elevadas frequências contribuem para uma maior absorção da onda e, portanto, para uma menor penetração. As elevadas frequências, entretanto, contribuem para que haja uma maior discriminação do

material investigado, ou seja, permite a visualização de alvos de dimensões reduzidas. Isto se dá devido à capacidade da discriminação estar relacionada ao comprimento de onda, que para uma determinada velocidade diminui com a frequência, de acordo com a relação:

$$V = \lambda f, \quad (8)$$

sendo λ o comprimento de onda e f a frequência da onda.

A profundidade de penetração das ondas pode variar de bem menos de 1 metro, em áreas onde a cobertura geológica seja eletricamente muito condutora (rica em argilas), até profundidades superiores a 25 metros, em áreas de cobertura pouco condutora (areais sem argila e cascalho) (Beres, Jr. & Haeni, 1991). Ensaios realizados em Belém e em Manaus, por exemplo, mostraram profundidades de penetração variando entre 4 e 15 metros, para a frequência de 100 MHz (Sauck, 1995; Sauck *et al.*, 1995).

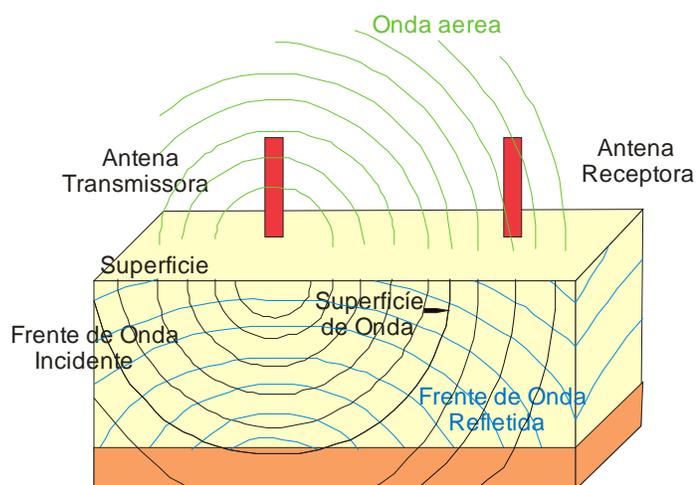


Figura 8 – Desenho esquemático do princípio do Método de Georadar.

7 LEVANTAMENTOS GEOFÍSICOS

Para realizar os levantamentos de campo na área do Curtume, foi necessária uma preparação prévia do terreno, pois este apresentava uma vegetação robusta. A preparação consistiu na abertura de 6 picadas e seu piqueteamento. Inicialmente foi aberta uma picada com 40 m de extensão e direção N75°. Essa picada serviu de linha base para a abertura das outras 5 picadas, todas transversais (direção N345°) a ela. As picadas transversais têm uma extensão de 100 m, e encontram-se a distâncias de 10 m umas das outras. Todas as picadas transversais foram demarcadas por piquetes colocados a cada 10 metros.

A Figura 9 mostra a localização das picadas na área do estudo.

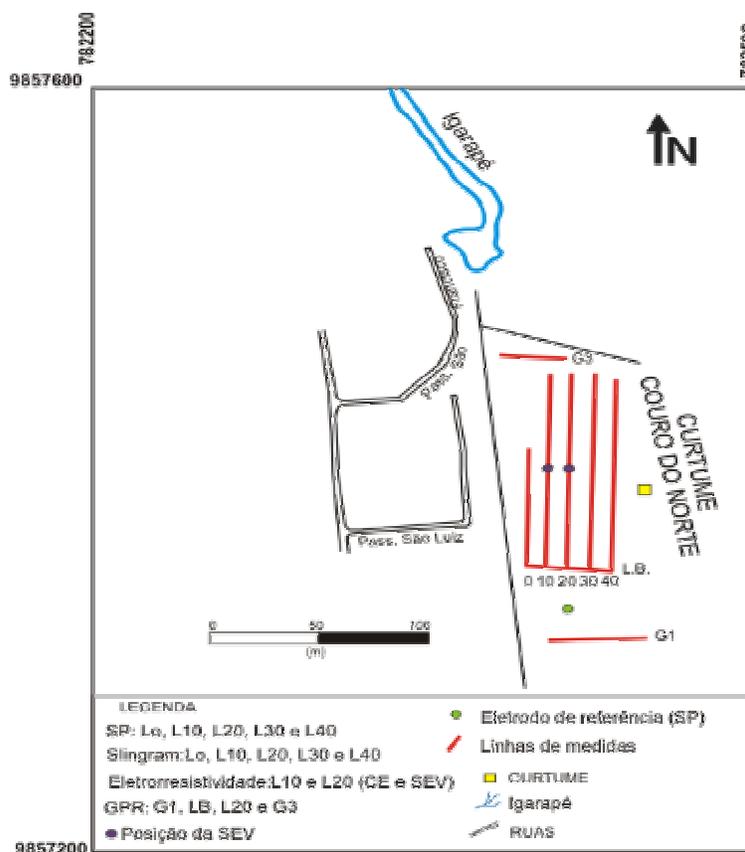


Figura 9 – Mapa de localização do levantamento geofísico.

7.1 MÉTODO ELETROMAGNÉTICO (SLINGRAM)

Nesse levantamento foi empregado o Método Slingram, sendo usado o sistema coplanar horizontal como configuração geométrica das bobinas transmissora e receptora. O equipamento utilizado para as medidas foi o MaxMin I, que permite amostragem nas seguintes frequências 110, 220, 440, 880, 1760, 3520, 7040 e 14080 Hz.

7.1.1 Operação de campo

O levantamento de dados com o Método Eletromagnético foi realizado no dia 05 de outubro de 2004. As medidas foram realizadas ao longo dos 5 perfis orientados segundo a direção N345° (Figura 9).

No levantamento realizado, as leituras das componentes em-fase (componente real) e quadratura (componente imaginária) foram tomadas para as oito frequências disponíveis no equipamento. A separação entre as bobinas transmissora e receptora foi igual a 25 metros e as leituras foram realizadas a cada de 10 metros ao longo de todos os perfis.

7.1.2 Apresentação dos dados Eletromagnéticos

Os dados eletromagnéticos foram representados graficamente na forma de perfis (Figuras 10, 12, 14, 16 e 18), pseudo-seções do modulo do campo magnético (Figuras 11, 13, 15, 17 e 19) e de mapas de contorno (Figuras 20 a 27).

Os perfis mostram os valores medidos das componentes em fase e quadratura para as oito frequências de medidas, com as posições de medidas na horizontal e os valores das componentes no eixo vertical.

Os mapas de contorno e as pseudo - seções, por sua vez, foram construídas com os valores do módulo do campo magnético secundário relativo ao campo primário, para cada frequência de medida, obtidos através da seguinte fórmula:

$$|Z| = \sqrt{F^2 + Q^2}, \quad (9)$$

em que: $|Z|$ é módulo relativo do campo, F a componente em fase e Q a componente em quadratura.

As variações de $|Z|$ foram associadas à variação da condutividade elétrica dos materiais do subsolo. À medida que $|Z|$ aumenta, ocorre um aumento na condutividade, conforme resultados obtidos por Silva (2002).

7. 1. 3 Resultados

7. 1. 3. 1 Perfis e Pseudo-seções.

- Linha 40

Este é o perfil mais a leste da área de estudo e cobre uma distância de 90 metros.

Os valores obtidos ao longo deste caminhamento estão representados na Figura 10 (componentes em fase e quadratura do campo magnético) e Figura 11 (pseudo-seção do módulo do campo).

As observações feitas ao longo deste perfil permitiram estabelecer 2 eixos de condutores nas estações 30m e 70m representadas por setas na Figura 10. Nesses eixos as condutividades a eles associadas são maiores para as frequências mais baixas, conforme indica a representação da Figura 11. É provável que essas zonas mais condutivas sejam devido à presença de água nos poros dos sedimentos das rochas com alto teor de sólidos totais.

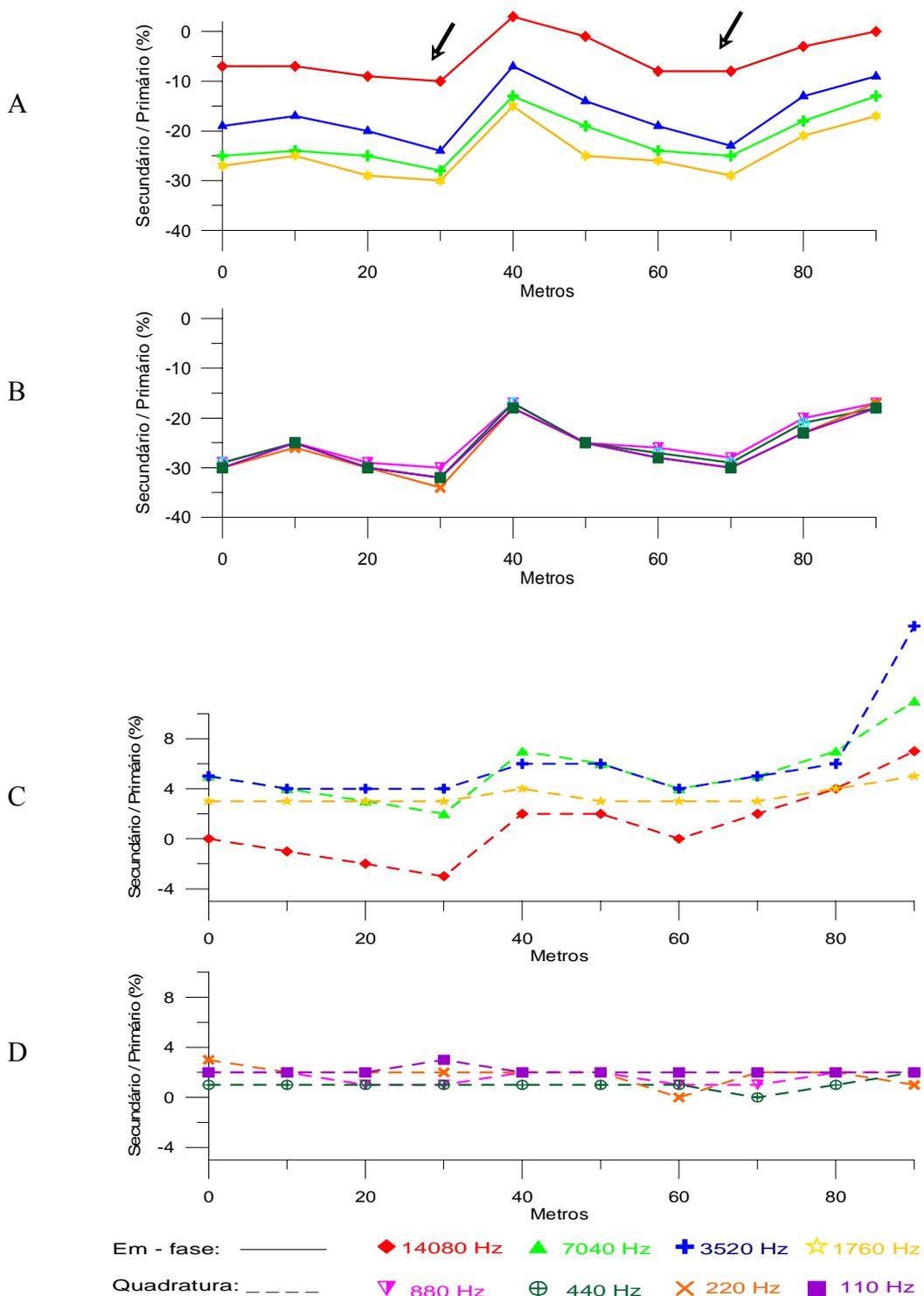


Figura 10 – Valores das componentes em fase e quadratura do campo magnético secundário para o Perfil 40. A - Componentes em fase para as frequências de 14080 até 1760 Hz; B - Componentes em fase para as frequências de 880 até 110 Hz; C - Componentes de quadratura para as frequências de 14080 até 1760 Hz; D - Componentes de quadratura para as frequências de 880 até 110 Hz.

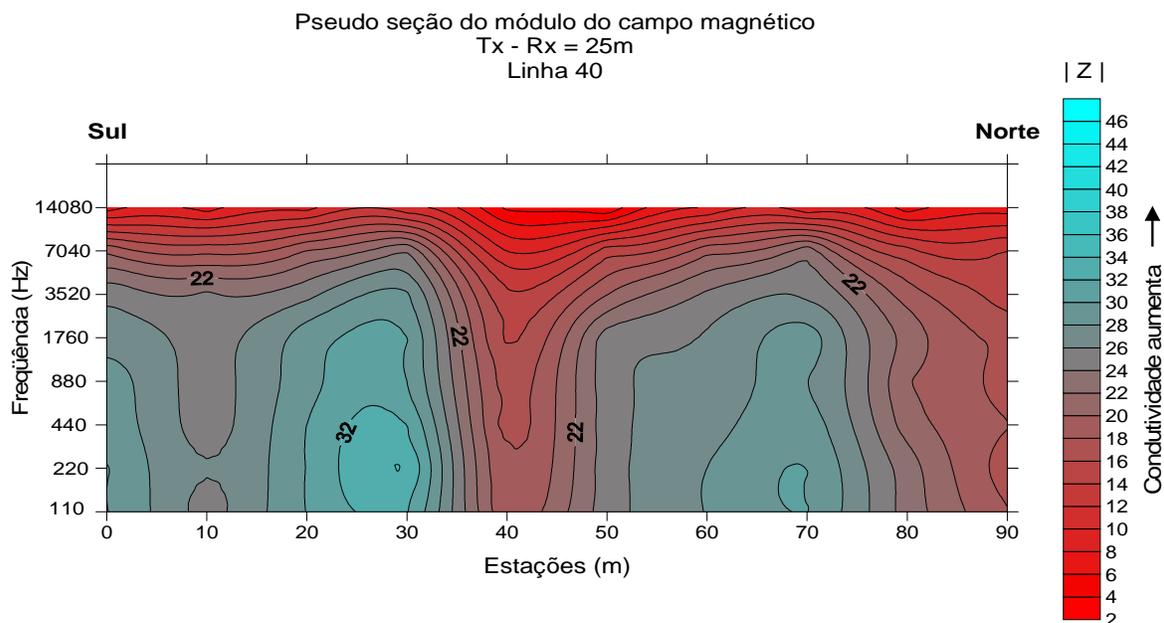


Figura 11 – Contorno de isovalores do módulo relativo do campo magnético $|Z|$ contra a frequência para a Linha 40.

- Linha 30

O perfil tem 90m de extensão em direção ao Norte. Os valores medidos são apresentados na forma de perfis das componentes em fase e quadratura do campo magnético (Figura 12) e pseudo-seção do módulo do campo (Figura 13).

As observações feitas ao longo deste perfil permitiram a identificação de 3 eixos de condutores. Os três eixos condutores se estendem a profundidade semelhante, conforme sugere a representação da Figura 13. O eixo localizado na posição 80m parece ser o que se aproxima mais da superfície, segundo a representação da Figura 13.

Ainda na Figura 13 pode-se observar durante toda a extensão do perfil, próximo à superfície, a presença de um material mais resistivo. Possivelmente, isso se deve a litologia (material bem endurecido) presente na superfície.

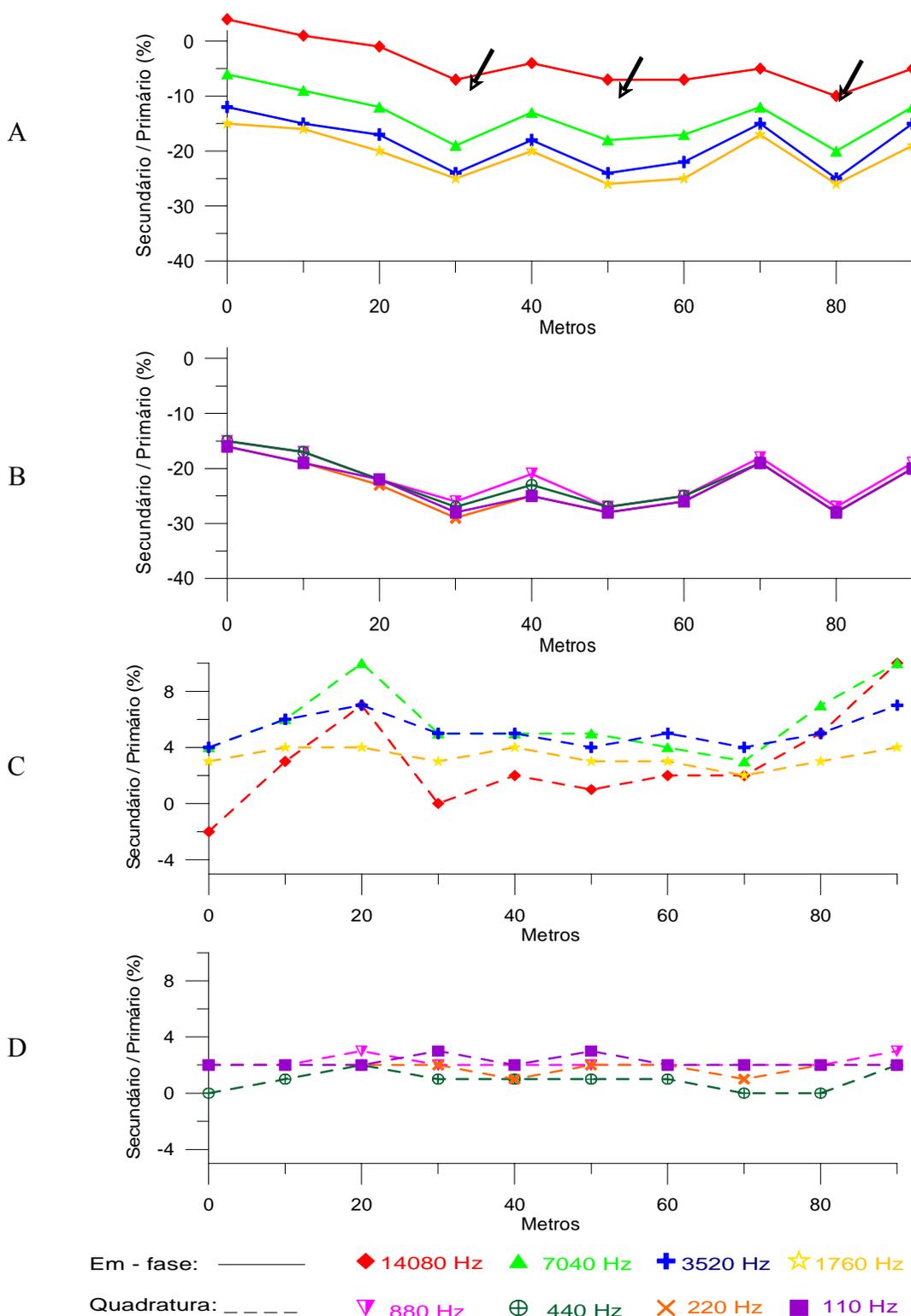


Figura 12 – Valores das componentes em fase e quadratura do campo magnético secundário para o Perfil 30. A - Componentes em fase para as frequências de 14080 até 1760 Hz; B - Componentes em fase para as frequências de 880 até 110 Hz; C - Componentes de quadratura para as frequências de 14080 até 1760 Hz; D - Componentes de quadratura para as frequências de 880 até 110 Hz.

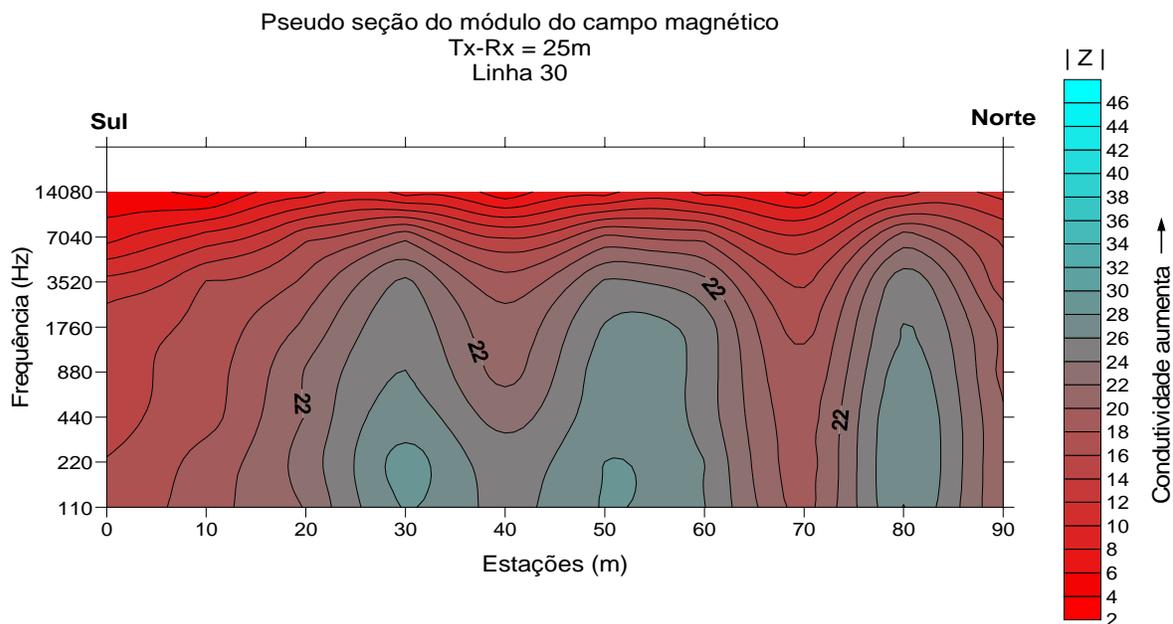


Figura 13 – Contorno de isovalores do módulo relativo do campo magnético $|Z|$ contra a frequência para a Linha 30.

- Linha 20

Os valores medidos ao longo deste perfil estão representados na Figura 14 (valores das componentes em fase e quadratura do campo magnético) e Figura 15 (pseudo-seção do módulo do campo). Ambas as formas de representação mostram a distância percorrida de 90 metros no sentido S-N para o perfil, que termina próximo a um igarapé.

A representação da Figura 14 permitiu a identificação de 3 eixos condutores cuja localização é mostrada por setas na figura. Os eixos identificados nas posições 20m, 50m e 80m da Figura 14 são bem evidenciados conforme a representação mostrada na Figura 15. Verifica-se ainda nesta figura que as zonas mais condutoras estão mais próximas da superfície e parecem apresentar mais condutividade do que nos outros perfis. O aumento na condutividade pode estar relacionado aos efluentes lançados no solo pelo curtume.

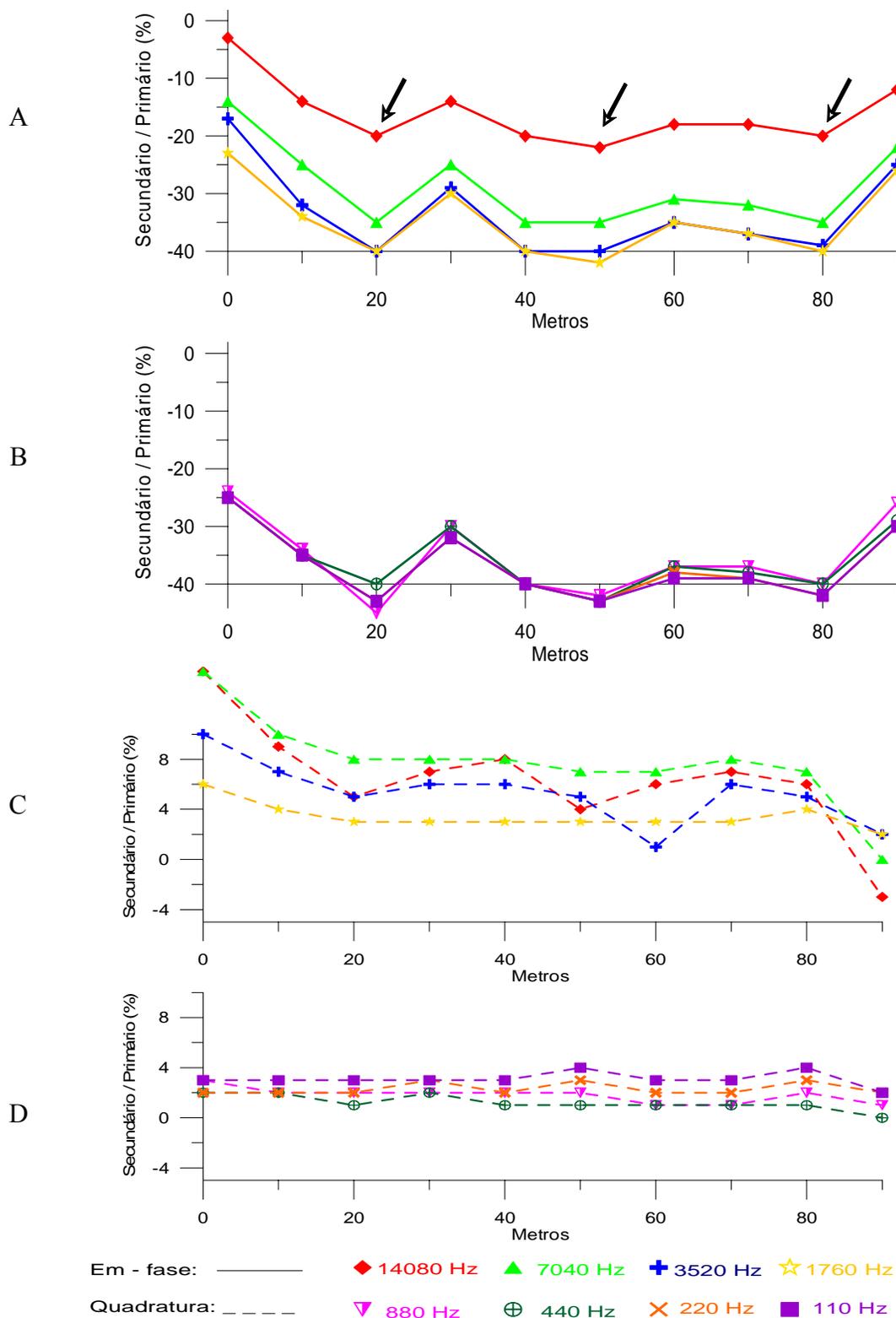


Figura 14 – Valores das componentes em fase e quadratura do campo magnético secundário para o Perfil 20. A - Componentes em fase para as frequências de 14080 até 1760 Hz; B - Componentes em fase para as frequências de 880 até 110 Hz; C - Componentes de quadratura para as frequências de 14080 até 1760 Hz; D - Componentes de quadratura para as frequências de 880 até 110 Hz

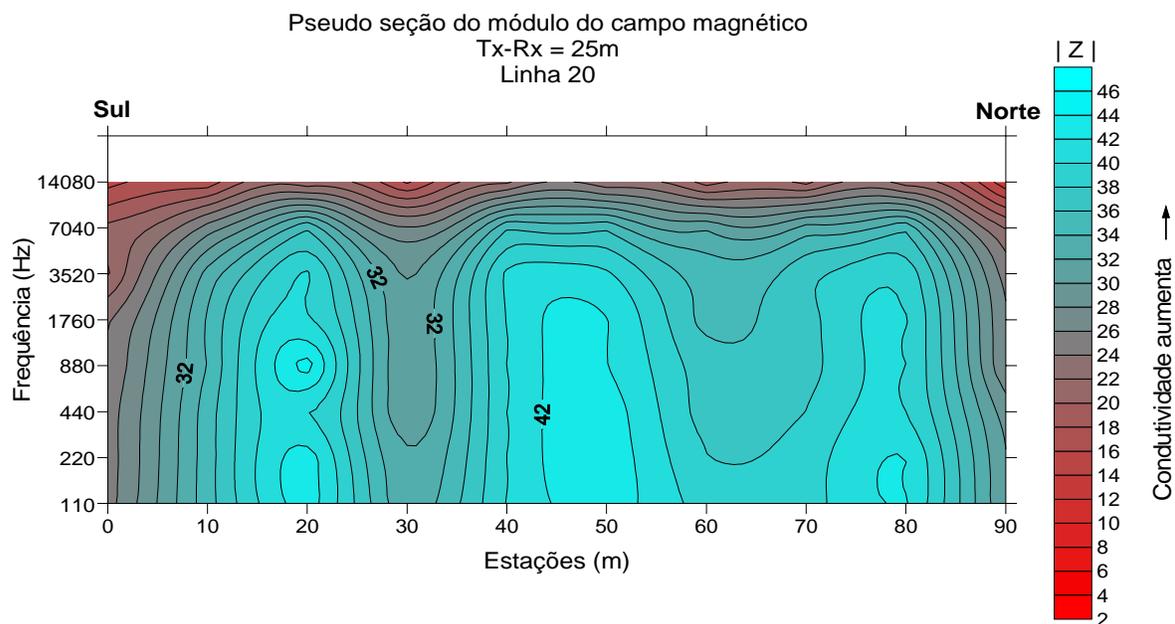


Figura 15 – Contorno de isovalores do módulo relativo do campo magnético $|Z|$ contra a frequência para a Linha 20.

- Linha 10

Este perfil cobriu a extensão de 90m. As medidas obtidas neste perfil encontram-se representadas nas Figuras 16 e 17.

Três eixos de condutores localizados nas posições 30m, 60m e 80m respectivamente podem ser identificados na Figura 16. Esses eixos não parecem estender-se a grandes profundidades e são bem evidenciados na representação mostrada na Figura 17.

Assim como nos outros perfis, observa-se a presença de material resistivo próximo à superfície.

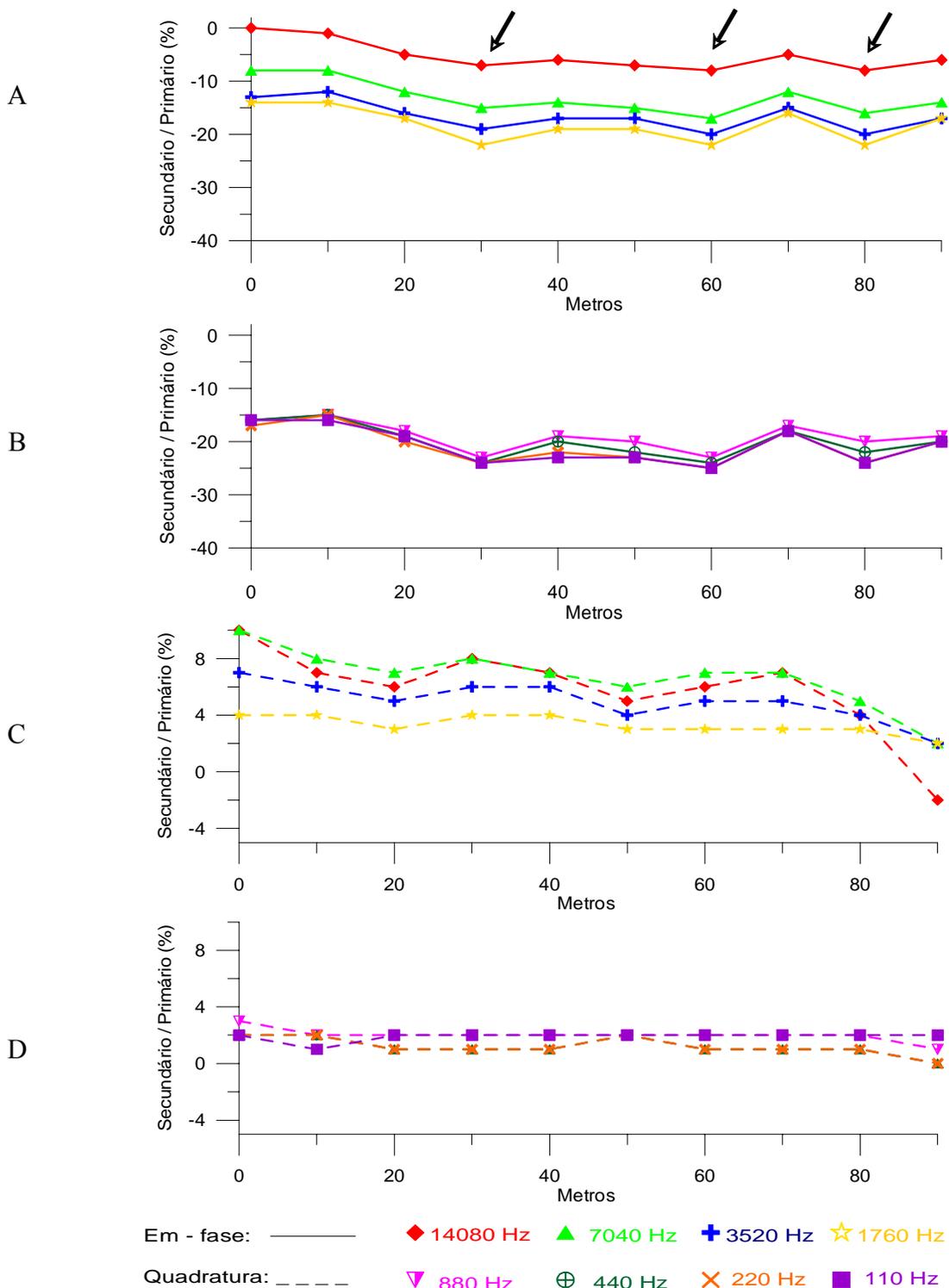


Figura 16 – Valores das componentes em fase e quadratura do campo magnético secundário para o Perfil 10. A - Componentes em fase para as frequências de 14080 até 1760 Hz; B - Componentes em fase para as frequências de 880 até 110 Hz; C - Componentes de quadratura para as frequências de 14080 até 1760 Hz; D - Componentes de quadratura para as frequências de 880 até 110 Hz

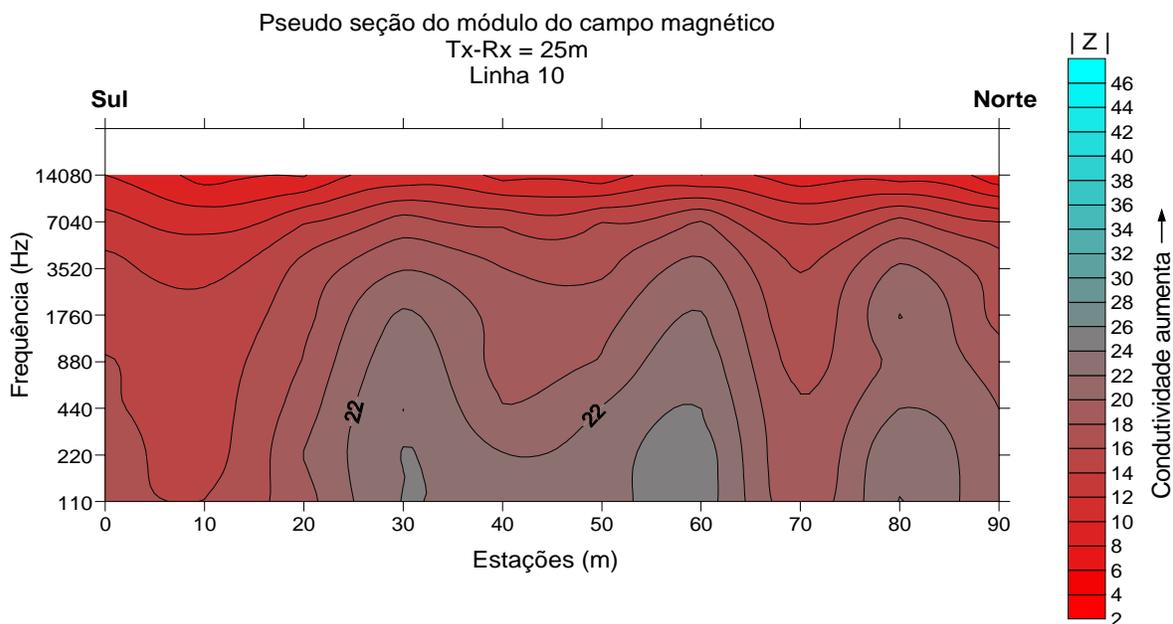


Figura 17 – Contorno de isovalores do módulo relativo do campo magnético $|Z|$ contra a frequência para a Linha 10.

- Linha 0

O perfil 0 cobre uma distância de 60 m. Este perfil foi interrompido aos 60m devido à chuva que alagou o terreno, pois, a continuação das medidas influenciaria no resultado.

Os valores medidos ao longo deste perfil estão representados na Figura 18 (valores das componentes em fase e quadratura do campo magnético) e Figura 19 (pseudo-seção do módulo do campo).

Na linha 0 os valores das componentes em-fase e quadratura, mostrados na Figura 18, não permitiram uma identificação fácil dos 2 eixos de condutores mostrados. Esses eixos, localizado na posição de 20m e 50m são mais facilmente identificados a partir da pseudo-seção do $|Z|$ (Figura 19). Observa-se que o padrão de distribuição de Z apresentado na Figura 19 é um pouco diferente daqueles das outras linhas, pois apresenta maior largura para a zona mais condutora localizada ao Sul. Isto pode ser causado por haver maior influência da região externa aos limites do curtume.

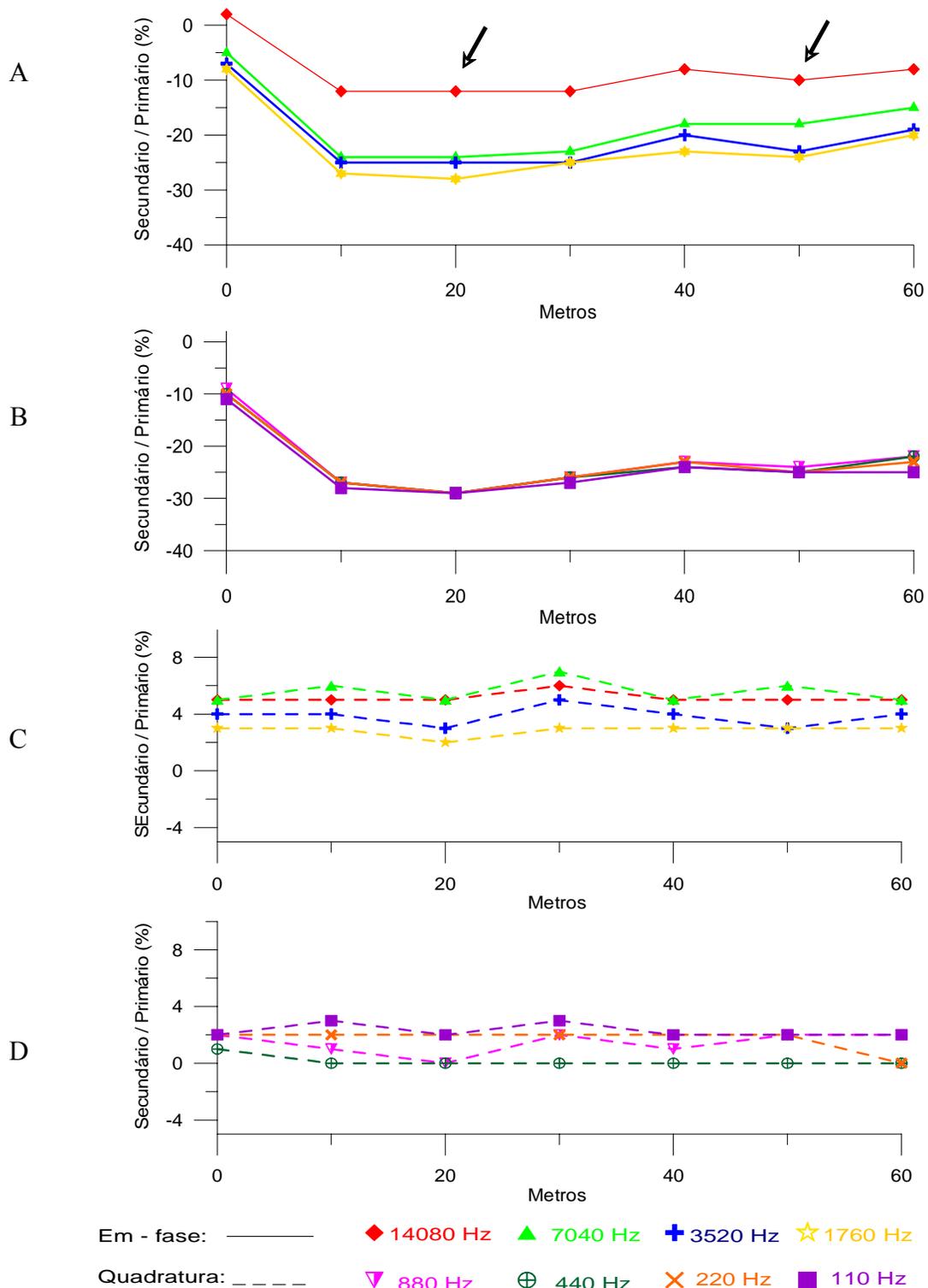


Figura 18 – Valores das componentes em fase e quadratura do campo magnético secundário para o Perfil 0. A - Componentes em fase para as frequências de 14080 até 1760 Hz; B - Componentes em fase para as frequências de 880 até 110 Hz; C - Componentes de quadratura para as frequências de 14080 até 1760 Hz; D - Componentes de quadratura para as frequências de 880 até 110 Hz

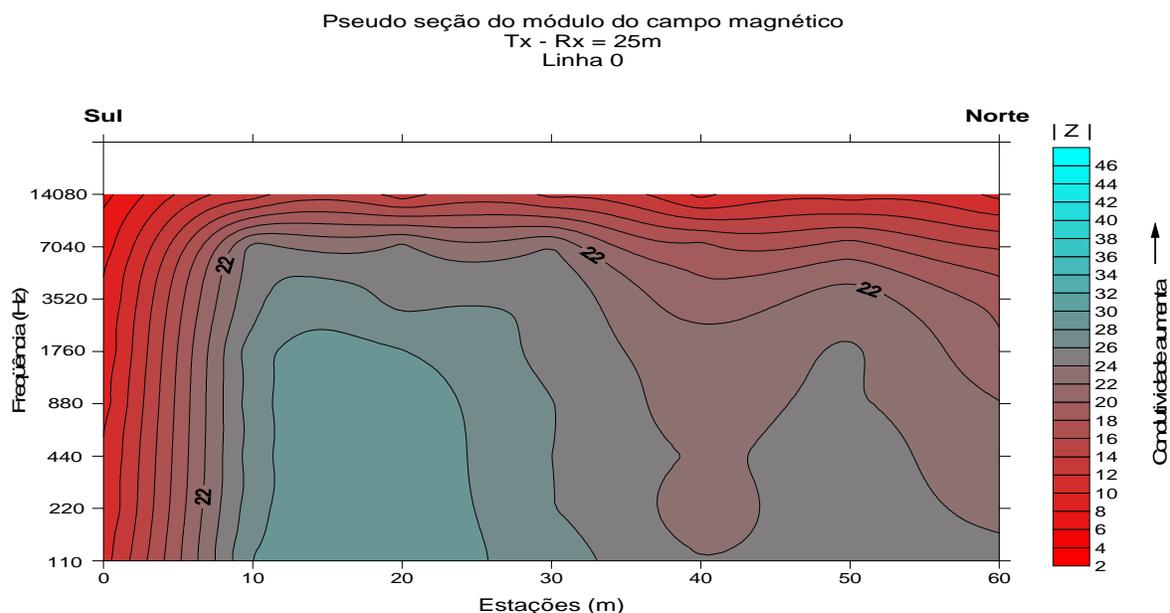


Figura 19 – Contorno de isovalores do módulo relativo do campo magnético $|Z|$ contra a frequência para a Linha 0.

7.1.3.2 Análise dos perfis e Pseudo-seções

Os resultados obtidos nos perfis e pseudo-seções estão representados nas figuras 10 a 19. A análise integrada permitiu que se chegassem as seguintes conclusões:

Em todas as pseudo-seções a parte mais rasa (maior frequência) apresenta os menores valores do $|Z|$, sugerindo aí um meio mais resistivo, provavelmente associado ao material laterítico bastante endurecido que se observou na superfície do terreno durante a tomada de medidas.

Nas figuras 10, 12, 14, 16 e 18 onde estão representados os perfis, pode-se notar que a posição dos eixos de condutores parecem ocorrer nos mesmos locais em vários dos perfis de medidas.

A linha 20 (Figuras 14 e 15) apresenta características diferentes do restante das linhas de medidas. A posição dos seus eixos de condutores pode estar associada a material mais condutivo do que no resto da área. Também nessa linha, a camada superficial de maior resistividade parece ser menos espessa, enquanto que a maior condutividade pode ser devida à contaminação, que se concentram as proximidades dessa linha e vai reduzindo em direção as outras linhas, principalmente em direção as linhas 10 e zero. A explicação para esse comportamento pode ser:

- 1) A contaminação foi gerada adjacente à linha 20 e migrou para ela;
- 2) A contaminação foi gerada as proximidades da linha 20 e está se espalhando lateralmente a partir dela.

Finalmente, comparando as Figuras 10 a 19 verifica-se que a linha zero apresenta um padrão de distribuição do $|Z|$ completamente diferente das demais linhas. Esse comportamento pode sofrer influência da região externa dos limites do curtume (fossa das casas dos moradores).

7. 1. 3.3 Mapas de Contorno

Os valores calculados da intensidade do campo magnético secundário foram representados na forma de mapas de contorno para cada frequência, a fim de se obter sua distribuição em planos a diversas profundidades, controlados pela frequência de medida.

Nas figuras 20 a 27, os valores mais baixos de intensidade do campo magnético, representados em vermelho nos mapas, sugerem a presença de corpos mais resistentes. Esse comportamento pode estar relacionado à presença de material arenoso (permeável). Na Figura 20, onde estão representados os valores obtidos para a frequência 14080 Hz, pode-se notar um

predomínio desses menores valores em toda a extensão da área pesquisada, sugerindo que próximo à superfície do terreno há predominância de material mais resistivo. Observa-se, como antes que na posição da linha 20, a espessura do material resistivo deve ser menor.

Comparando os mapas das Figuras 21 a 27 verifica-se ao longo da Linha 20 a presença de uma zona mais condutora (em azul no mapa) com as maiores condutividades concentradas entre as posições 15m a 25m, 35m a 60m e 68m a 82m. À medida que a profundidade de investigação vai aumentando, ou seja, a frequência vai decrescendo, os corpos condutivos vão ganhando mais destaque, sugerindo 3 possibilidades:

- 1) A zona condutora é devido à presença de material argiloso;
- 2) A zona condutora é decorrente de contaminação que migrou das laterais e se concentrou na linha 20;
- 3) A zona condutora é resultado de contaminação que está sendo gerada nas proximidades da linha 20 e está se espalhando lateralmente.

No caso das primeiras possibilidades, as zonas mais resistivas (vermelhas) corresponderiam à materiais mais resistivos e permeáveis e indicariam as zonas mais suscetíveis de distribuir contaminação.

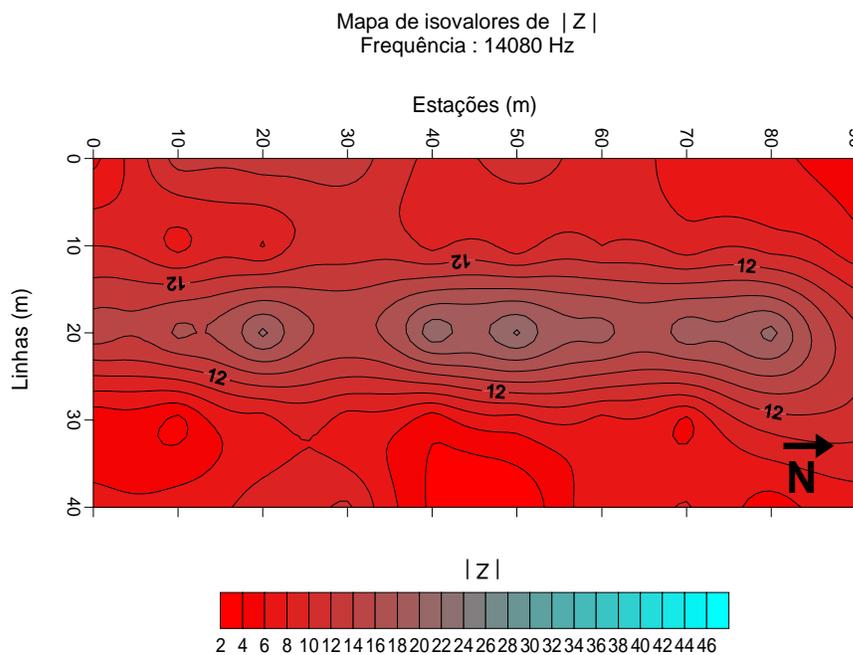


Figura 20 – Mapa de contorno do módulo relativo do campo magnético secundário para a frequência de 14080 Hz.

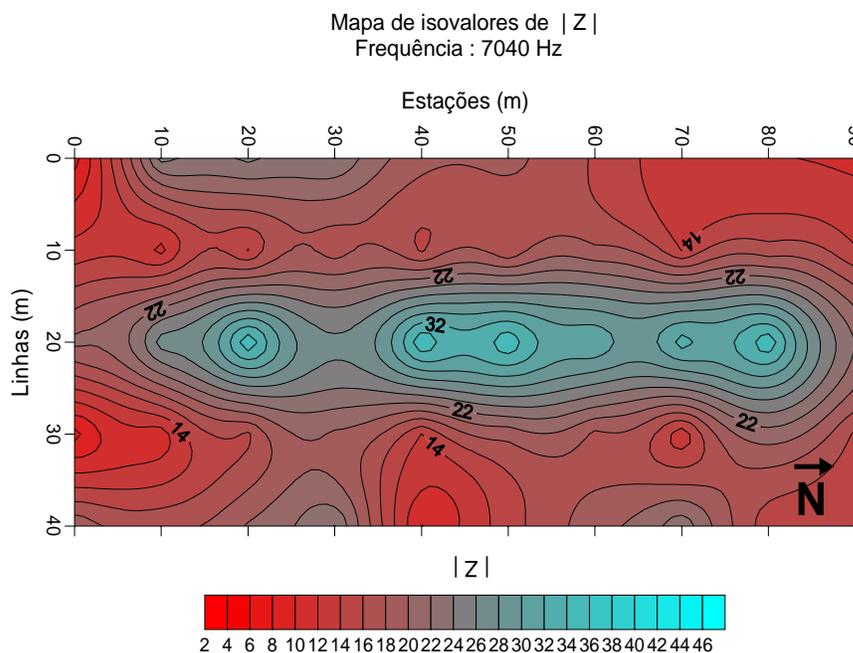


Figura 21 – Mapa de contorno do módulo relativo do campo magnético secundário para a frequência de 7040 Hz.

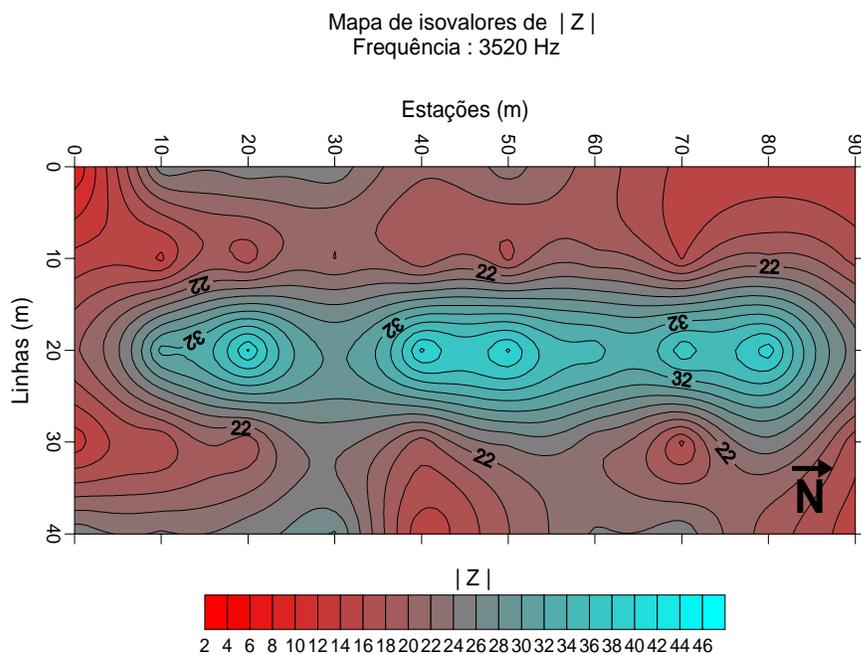


Figura 22 – Mapa de contorno do módulo relativo do campo magnético secundário para a frequência de 3520Hz.

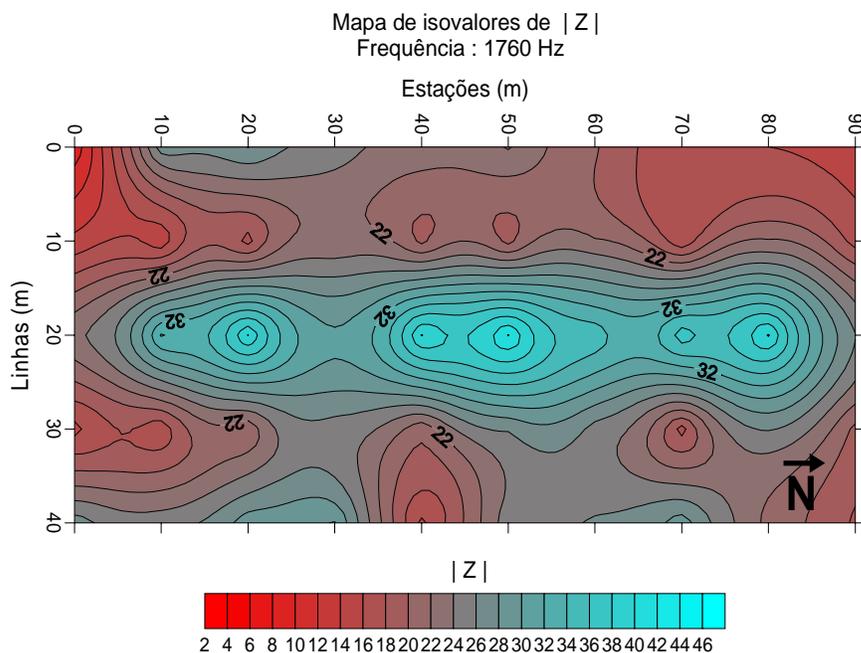


Figura 23 – Mapa de contorno do módulo relativo do campo magnético secundário para a frequência de 1760 Hz.

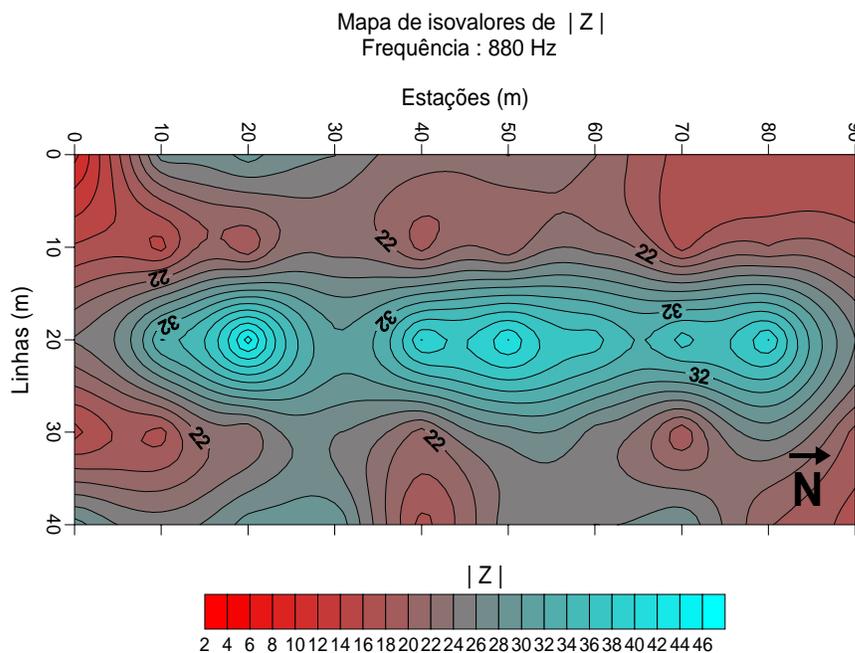


Figura 24 – Mapa de contorno do módulo relativo do campo magnético secundário para a frequência de 880 Hz.

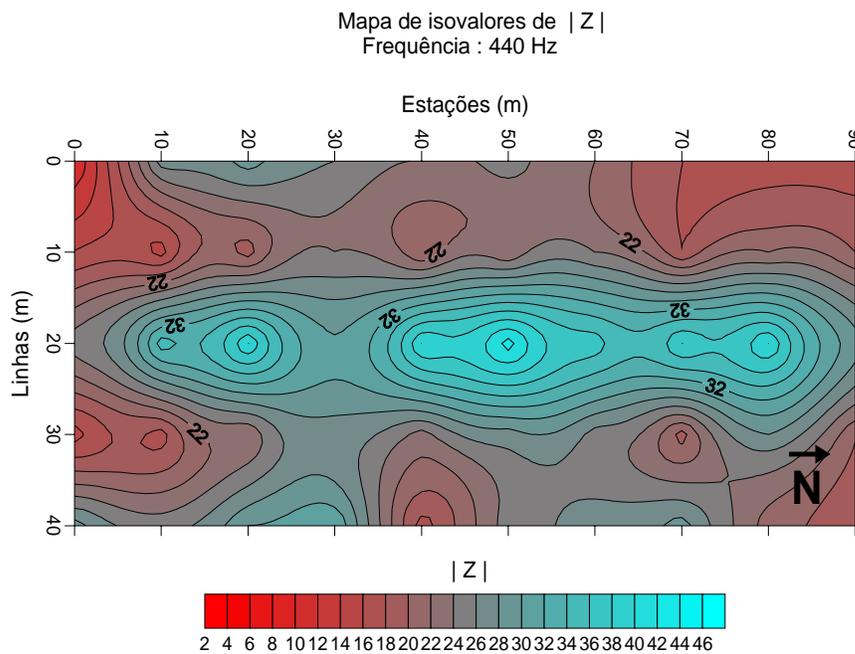


Figura 25 – Mapa de contorno do módulo relativo do campo magnético secundário para a frequência de 440 Hz.

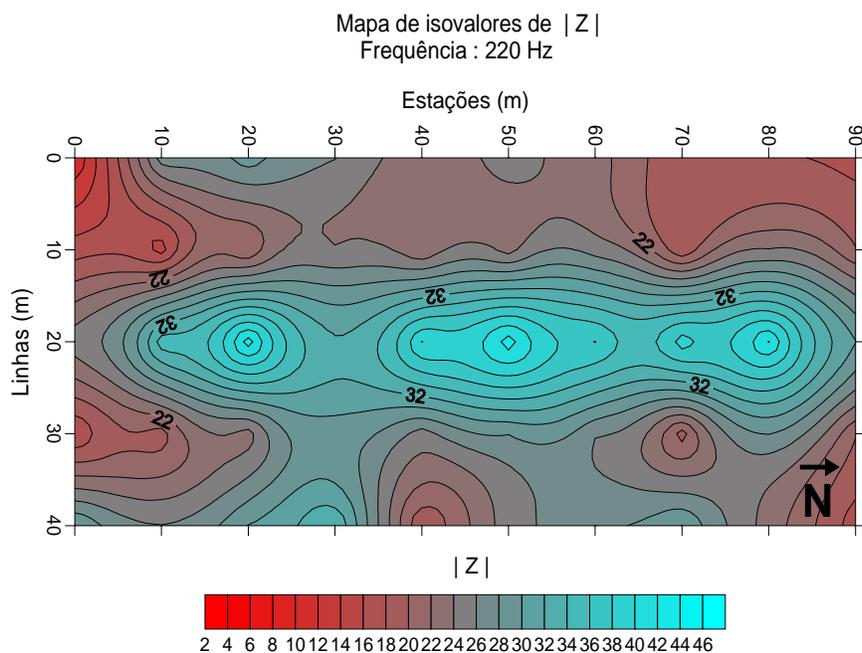


Figura 26 – Mapa de contorno do módulo relativo do campo magnético secundário para a frequência de 220 Hz.

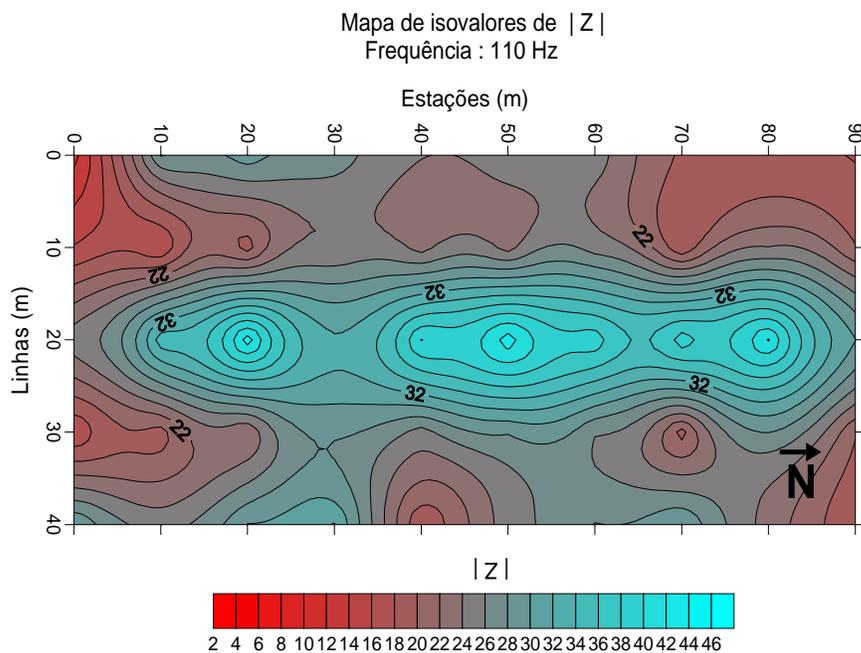


Figura 27 – Mapa de contorno do módulo relativo do campo magnético secundário para a frequência de 110 Hz.

7.2 POTENCIAL ESPONTÂNEO

7.2.1 Operação de campo

As medidas de potencial espontâneo foram realizadas nas 5 linhas transversais, cuja localização é mostrada na Figura 9. Para as medidas utilizou-se equipamento construído no Departamento de Geofísica da UFPA. Os eletrodos usados durante as medidas foram do tipo não polarizável, com haste de cobre mergulhada em solução de sulfato de cobre colocada em um recipiente com fundo permeável (Figura 4). Antes das medidas, os eletrodos foram deixados conectados e imersos em uma solução de sulfato de cobre por mais de 12 horas, com o objetivo de equilibrarem o seu potencial.

A configuração para medir os valores da diferença de potencial (ΔV) foi o de base fixa que consiste em manter um eletrodo fixo (eletrodo de referência) enquanto o outro é deslocado nas linhas. O eletrodo de referência foi colocado cerca de 22m a Sul da linha L20, como mostra a Figura 9, enquanto o eletrodo móvel foi deslocado a intervalos de 5 metros ao longo das linhas.

7.2.2 Resultados do Levantamento de Potencial Espontâneo

As medidas obtidas com o Método do PE são apresentadas na forma de contornos de isovoltagem na Figura 28. Observa-se na figura que os valores mais elevados concentram-se em direção ao centro da área, indicando, conforme Schiavone & Quarto (1984), que o sentido do fluxo é em direção a esses valores. Os potenciais medidos sugerem, portanto, o sentido do fluxo subterrâneo indicado pelas setas na Figura 28. Devido à pequena profundidade de investigação do Método do PE, o fluxo indicado refere-se ao do primeiro aquífero.

O sentido do fluxo mostrado na Figura 28 indica que se houver contaminação ela deve se concentrar na parte central da área.

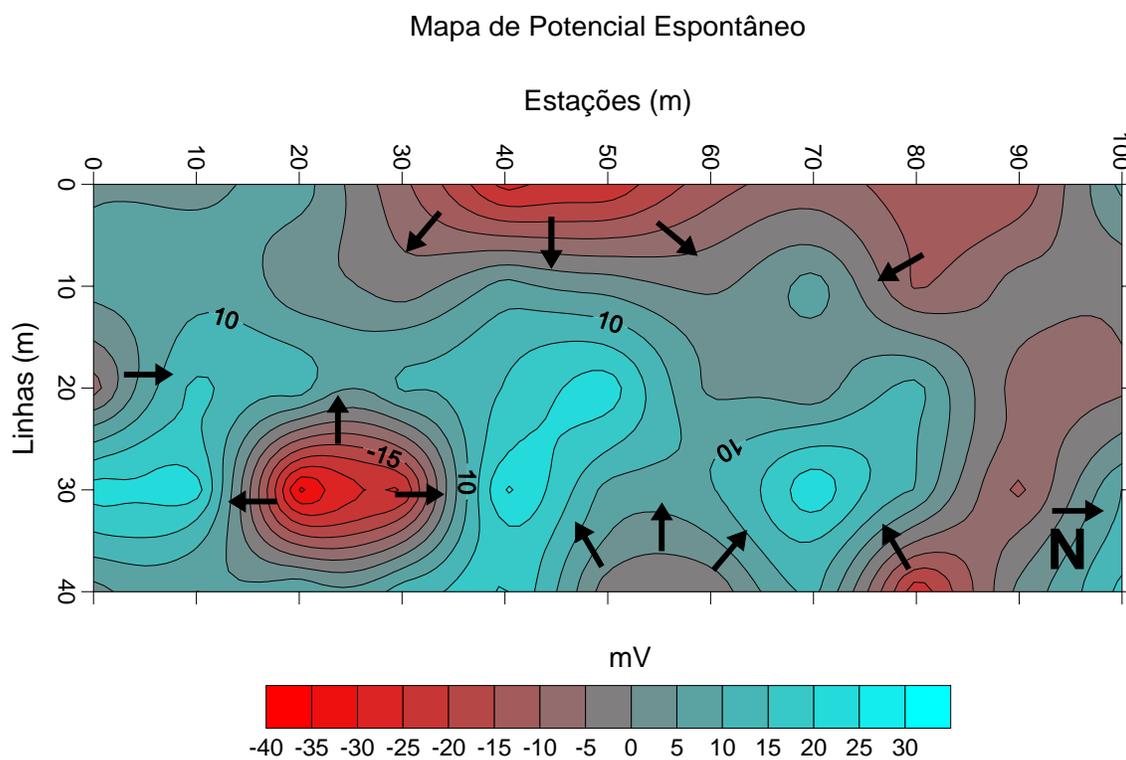


Figura 28 – Mapa de Potencial Espontâneo

7.3 ELETORRESISTIVIDADE

Neste levantamento, o Método da eletrorresistividade foi aplicado através de medidas de resistividade aparente em perfis (Caminhamentos elétricos) e em Sondagens Elétricas Verticais (SEV).

7.3.1 Operação de campo

O levantamento de dados com o Método de Eletrorresistividade foi realizado nos dias 20 e 28 do mês de outubro de 2004. As medidas de resistividade aparente nas SEV's e nos caminhamentos elétricos foram realizadas ao longo das linhas 10 e 20 conforme ilustrado na Figura 9.

Os caminhamentos elétricos foram realizados com o arranjo Bipolo-bipolo, com 5 m de separação entre os bipolos e 5 níveis de investigação. Este procedimento permitiu a obtenção de uma imagem da subsuperfície ao longo dos perfis, que mostra a distribuição da resistividade nas direções horizontal e vertical.

As SEV's foram realizadas com o arranjo Schlumberger e separação máxima de 110 m entre os eletrodos de corrente. Durante a realização das SEV's, quando a abertura entre os eletrodos de corrente tornava-se muito grande em relação a separação entre os eletrodos de potencial, obtinham-se valores de ΔV tão pequenos, que se tornou necessária à execução do procedimento denominado de “embreagem”. Este procedimento, que consiste em aumentar a separação entre os eletrodos de potencial, permitiu obterem-se valores maiores de ΔV .

Na execução das SEV's após cada medida, o valor era plotado em papel bilogarítmico, com a resistividade aparente no eixo vertical e a separação entre os eletrodos ($AB/2$) no eixo

horizontal. Esse procedimento permitiu detectar-se a presença de erros operacionais nas medições e imediatamente corrigí-los.

O equipamento utilizado para a coleta dos dados nas SEV's e nos caminhamentos foi o resistímetro marca GEOTEST, pertencente ao Departamento de Geofísica da UFPA, o qual permite a obtenção de medidas individuais dos valores de ΔV (diferença de potencial) e I (corrente). O cálculo da resistividade aparente é obtido através da multiplicação do fator geométrico do arranjo pela razão $\Delta V/I$, utilizando-se a expressão (1) do capítulo anterior.

7.3.2 Resultados

7.3.2.1 Caminhamento Elétrico

Os 2 perfis de resistividade obtidos com o arranjo Bipolo-bipolo nas linhas 10 (Perfil 10) e 20 (Perfil 20) estão representados nas Figuras 29 e 30.

A parte superior das figuras mostra uma pseudo-seção dos valores de resistividade aparente medidos, enquanto que na parte mediana é apresentada uma pseudo-seção dos valores de resistividade aparente calculados para o modelo de distribuição de resistividade que é mostrado na porção inferior das figuras. Em cada perfil, a semelhança entre a pseudo-seção de valores medidos e a pseudo-seção de valores calculados permite que se reconheça se o modelo que gerou a pseudo-seção calculada pode representar uma distribuição de resistividade aceitável para a subsuperfície.

O Modelo de distribuição de resistividade, mostrado na parte inferior das figuras, foi obtido através do programa de computador Res2dinv. Esses modelos foram interpretados

através da técnica de inversão automática a fim de obterem-se modelos interpretativos bidimensionais que mostram a distribuição de resistividade na subsuperfície.

Abaixo apresentam-se uma descrição dos perfis e medidas obtidas nos 2 caminhamentos e sua interpretação.

- Perfil 10

O perfil 10 foi realizado ao longo da Linha 10 do levantamento EM, iniciando na linha base e estendendo-se em direção ao igarapé, nos fundos do curtume (Figura 9). Os valores de resistividade aparente medidos variam aproximadamente de 133 a 770 ohm.m (Figura 29a), enquanto que os valores interpretados de resistividade variam de um pouco menos que 50 ohm.m a valores maiores que 1848 ohm.m, conforme mostra o modelo da Figura 29c.

Observa-se no perfil que os valores mais baixos (menores que 200 ohm.m) ocorrem entre as posições 5m e 25m e profundidades entre 0,9m e 2,6m; entre as posições 30m e 52m, na profundidade de 0,9m e 4,4m. Esses valores estão, em geral, na faixa de 50 ohm.m a 200 ohm.m, não atingindo valores tão baixos quanto os observados no perfil 20.

A maioria dos valores de resistividade mostrados no modelo (Figura 29c) são superiores a 500 ohm.m e estão provavelmente relacionados ao material laterítico seco, que se observa na superfície do terreno.

Os baixos valores de resistividade apresentados no modelo entre as posições 30 e 52m e profundidade de 8,5m podem estar relacionados ao topo do lençol freático, que na área externa, a oeste do curtume varia de 3m a 4,5m de profundidade (Nunes, 2002).

Os outros baixos valores, que ocorrem em profundidade bem menor, podem ser devidos a algum tipo de contaminação, não necessariamente proveniente dos efluentes do curtume, já que o perfil está muito próximo do muro oeste que separa o curtume das casas dos moradores vizinhos.

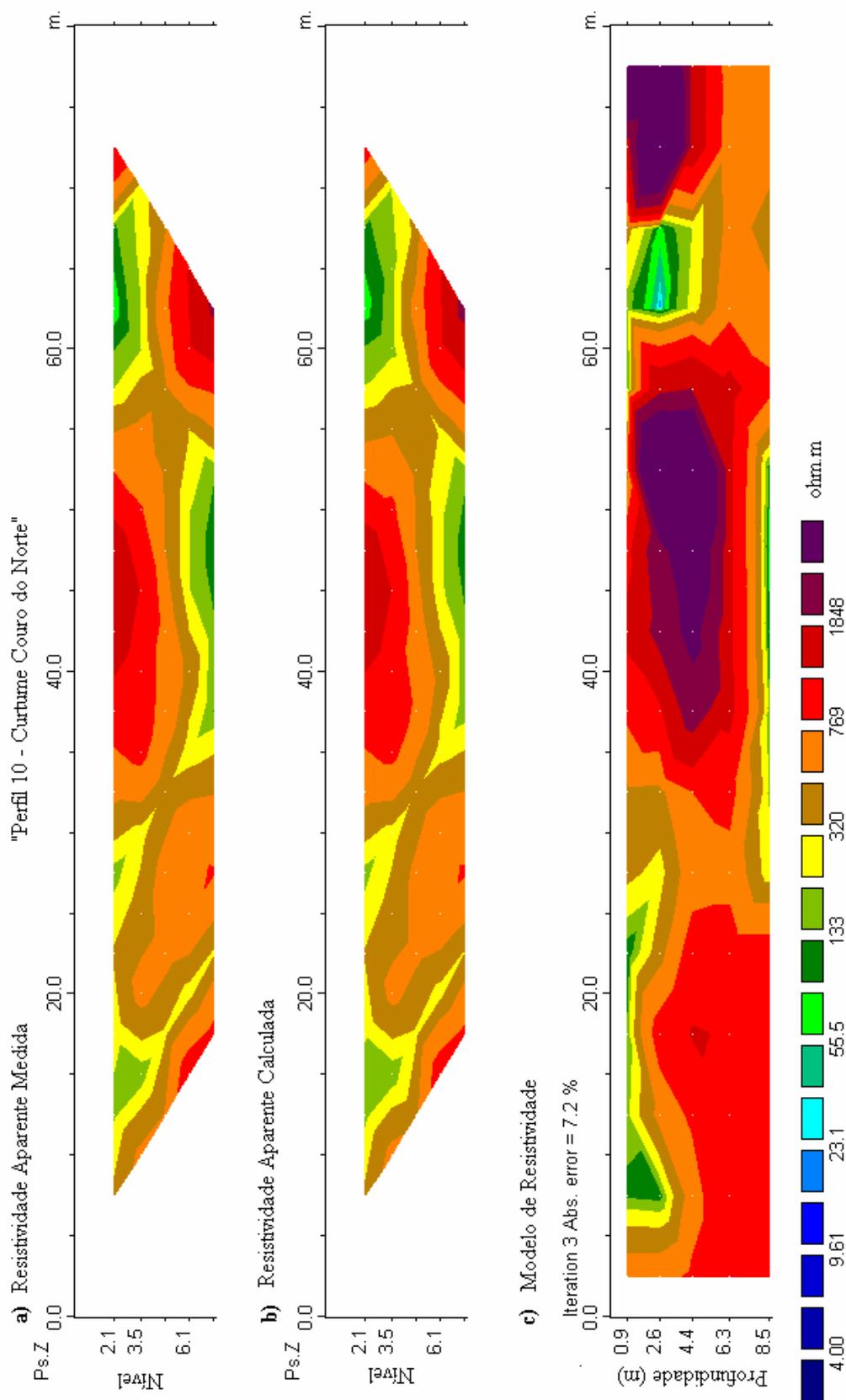


Figura 29 - Imagens de resistividade obtidas com o arranjo Bipolo-bipolo e espaçamento dos bipolos igual a 5 m

- Perfil 20

O perfil 20 foi realizado ao longo da linha 20 do levantamento EM. O perfil inicia na linha base e estende-se no sentido norte, terminando próximo ao muro que limita o Curtume do Igarapé (Figura 9). Os valores de resistividade aparente medidos no perfil variam de 50 a 770 ohm.m (Figura 30a), enquanto que os valores interpretados variaram de um pouco menos que 4 ohm.m a um pouco mais do que 1848 ohm.m, conforme mostra o modelo da Figura 30c.

Nota-se no perfil 20 que os valores mais altos (superiores a 500 ohm.m) ocorrem entre as posições 10 e 20m, entre as profundidades de 0,9 e 7,5; entre as posições 37 e 50m e profundidades de 2,6 e 8,5; e entre as posições 50m e o final do perfil, entre as profundidades 0,9 m e 2,6 m

Verificam-se também nesse perfil, duas zonas principais com baixos valores de resistividade (valores inferiores a 200 ohm.m). Elas estão distribuídas entre as posições 22 a 37m e profundidades variando entre 2,6m e 8,5m e no intervalo entre as posições 60m e o final do perfil, a partir da profundidade de 6m. Dessas duas zonas de baixa resistividade, aquela que ocorre no final do perfil é particularmente anômala, com valores inferiores a 10 ohm.m. Esses valores e a sua posição no perfil sugerem a influência de água contaminada do igarapé localizado próximo ao final do perfil. Observam-se ainda, no perfil, valores baixos de resistividade a profundidade próxima de 8,5m entre as posições 3m e 7m e entre as posições 47m e 55m. Esses valores podem ser devidos ao topo do lençol freático.

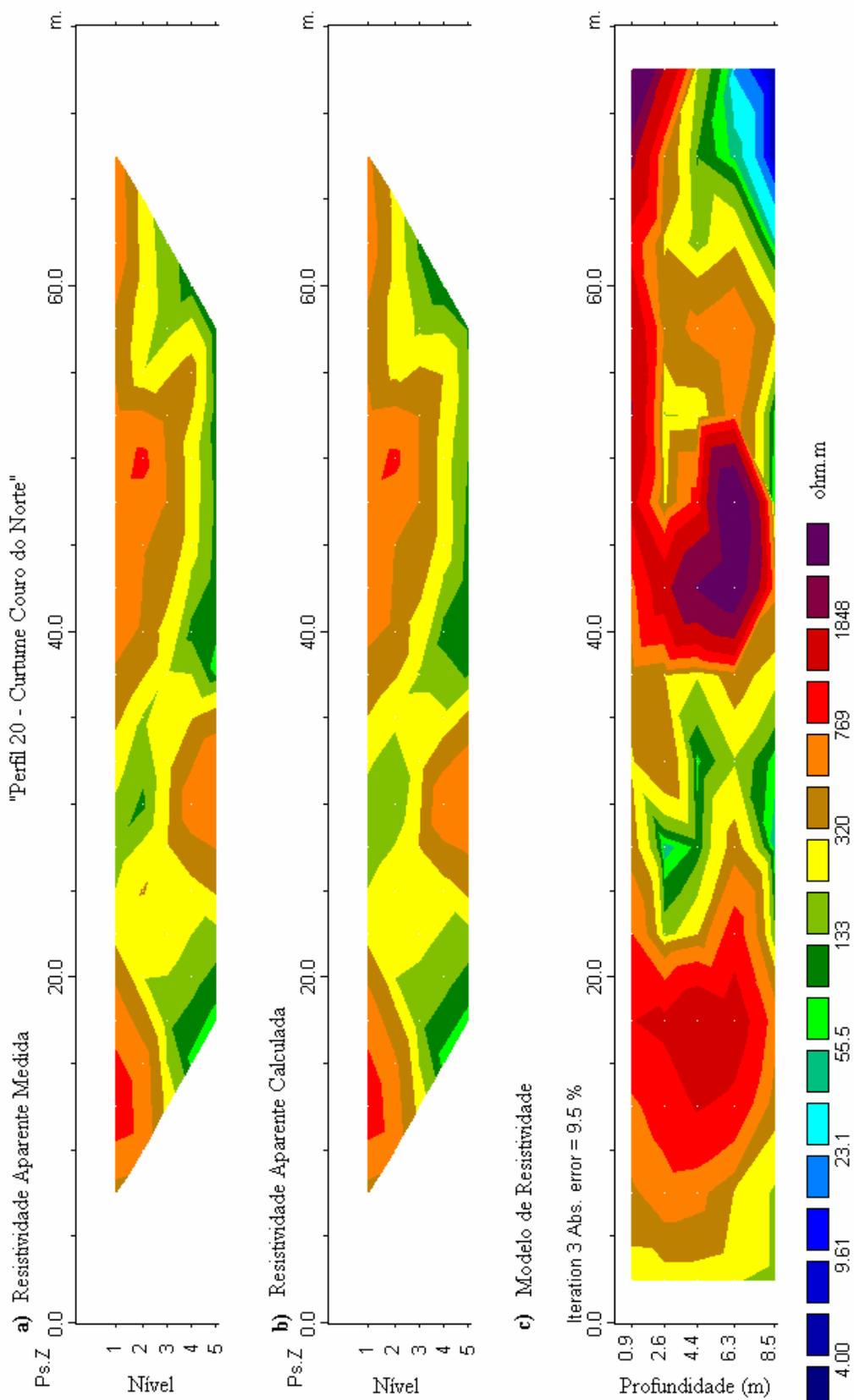


Figura 30 - Imagens de resistividade obtidas com o arranjo Bipolo-bipolo e espaçamento dos bipolos igual a 5 m

7.3.2.2 Sondagem Elétrica Vertical (SEV)

Foram realizadas 2 SEV's na área do curtume: uma delas com centro na posição mediana da Linha 10 e a outra com centro na posição mediana da Linha 20.

Os valores de resistividade aparente medidos nas SEV couro 1 (sobre a Linha 10) e SEV couro 2 (sobre Linha 20), foram interpretados através da técnica de inversão a fim de obterem-se modelos geoeletricos. Esse procedimento foi realizado com programa desenvolvido por Zohdy & Bisdorf (1989).

Os modelos geoeletricos obtidos na interpretação para ambas as sevs são constituídos por 10 camadas repousando sobre um substrato. Esses modelos são mostrados na Tabela 1.

Os modelos de distribuição de resistividade, interpretados para as duas SEV, estão representados nas Figuras 31 e 32. Nessas figuras, são também mostrados os dados de campo (representados por círculos pequenos) e as curvas calculadas para os modelos geoeletricos (em linha colorida).

A SEV couro 1 mostra um aumento da resistividade entre a superfície e a profundidade de 2,6m com variação de 254 Ωm a 436 ohm.m. A partir dessa profundidade até a profundidade de 18,2 m a resistividade decresce gradativamente até 31,1 ohm.m.

A distribuição de resistividade mostrada no modelo da SEV couro 1 está perfeitamente compatível com a distribuição mostrada na imagem de resistividade, apresentada na Figura 29c, às proximidades da posição 55m, local da realização da SEV.

A SEV couro 2 mostra um aumento da resistividade entre a superfície e a profundidade de 1,82 m com variação de 370 Ωm a 801 ohm.m. A partir dessa profundidade até a profundidade de 8,45 m a resistividade decresce gradativamente até 210 ohm.m.

Posteriormente, a resistividade sofre um aumento com variação de 356 a 373 ohm.m até a profundidade de 18,2 m e depois diminui.

A distribuição de resistividade mostrada no modelo da SEV couro 2 mostra-se correlacionável com a distribuição exibida na imagem de resistividade apresentada na Figura 30c, às proximidades da posição 55 m, local da realização da SEV couro 2; a correlação é mais forte entre as profundidades 1,82 e 8,45 m.

Tabela 02 – Modelos geoeletricos resultantes da interpretação das SEV's.

MODELO GEOELÉTRICO				
CAMADAS	SEV couro 1 (Linha 10)		SEV couro 2 (Linha 20)	
	Profundidade (m)	ρ (Ω .m)	Profundidade (m)	ρ (Ω .m)
1	0,6	254	0,6	370
2	0,84	267	0,84	500
3	1,24	312	1,24	667
4	1,82	385	1,82	801
5	2,6	436	2,6	766
6	3,92	368	3,92	511
7	5,75	208	5,75	263
8	8,45	111	8,45	210
9	12,4	101	12,4	356
10	18,2	87	18,2	373
11	-	31,1	-	50,2

Fonte: Dados coletados em campo (2004).

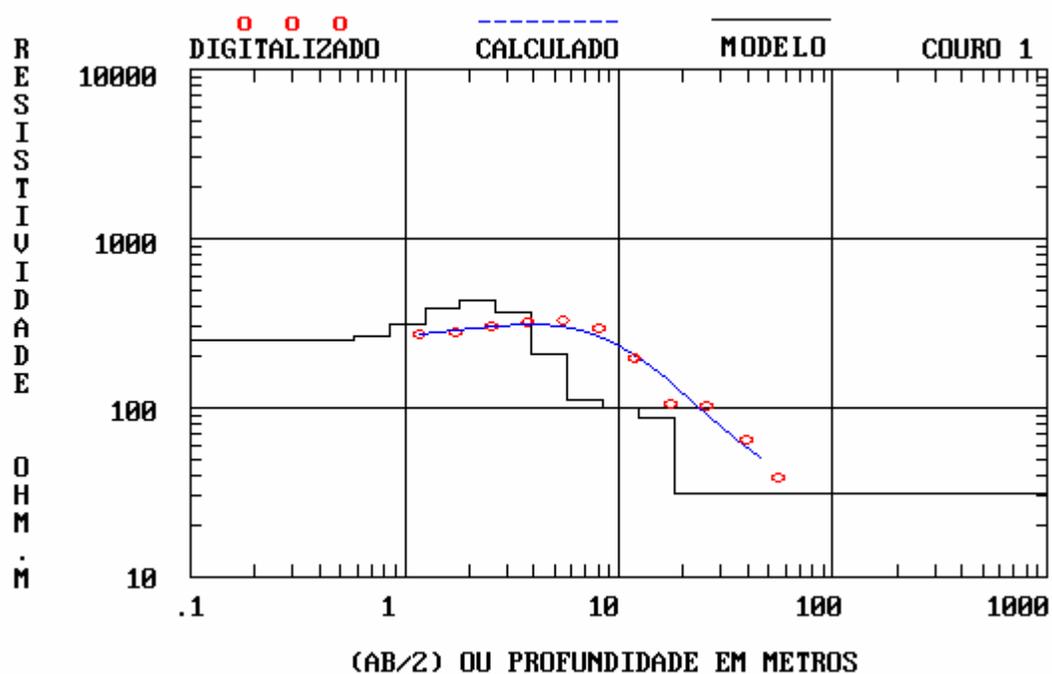


Figura 31 – Sondagem Elétrica Vertical realizada sobre a Linha 10.

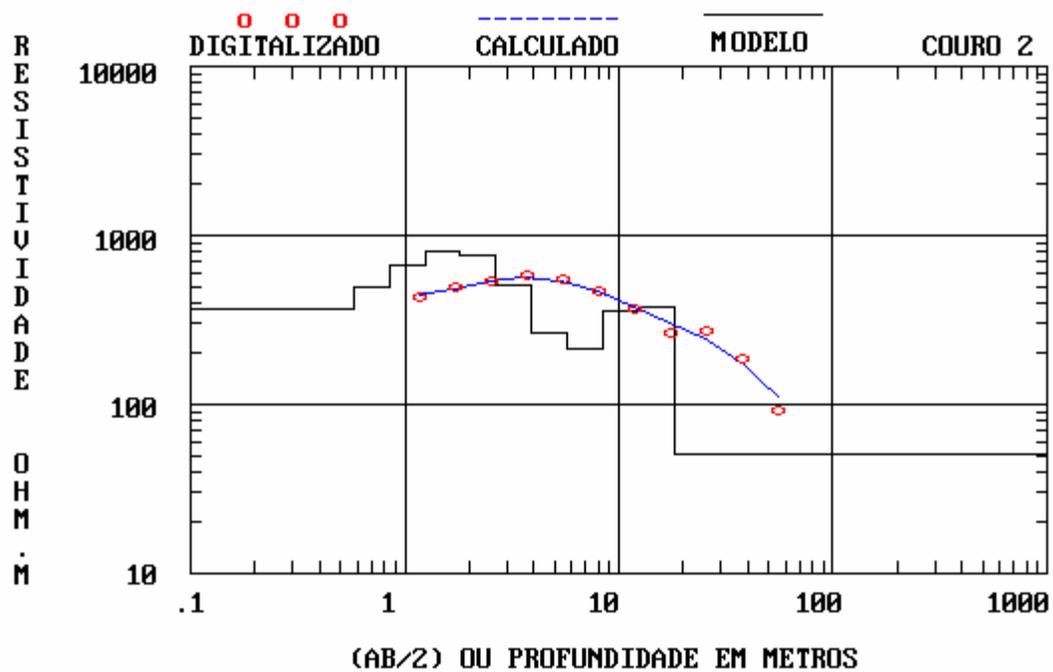


Figura 32 – Sondagem Elétrica Vertical realizada sobre a Linha 20.

7.4 RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO (GPR)

7.4.1 Operação de Campo e Processamento

O levantamento de dados com o Método do Radar de Penetração no Solo foi realizado no dia 8 de novembro de 2004. As medidas foram realizadas nas linhas G1, L20, LB, e G3 (Figura 9).

As medidas foram tomadas com o equipamento GSSI.SIR-3000, com antena de 200 MHz. Os dados foram coletados no modo tempo com a antena sendo deslocada continuamente sobre a superfície do terreno. O posicionamento da antena foi estabelecido com a inserção de marcas no registro a intervalos constantes. Esse intervalo foi de 5m nas linhas G1, LB e G3 e 10m na Linha L 20.

Os registros obtidos foram processados com o programa computacional GRADIX, pertencente ao Departamento de Geofísica da UFPa. O processamento consistiu dos seguintes procedimentos: a) redistribuição espacial da amostragem para a obtenção do espaçamento uniforme entre as marcas de controle do posicionamento; b) aplicação do filtro passa alta (dewow); c) estabelecimento do tempo zero de registro para a obtenção do nível zero de profundidade; d) determinação da velocidade de propagação da onda usando método da superposição de hipérboles; e) conversão da escala vertical de tempo em profundidade; f) remoção de atenuação.

7.4.2 Resultados

Os radargramas obtidos após o processamento dos dados coletados estão ilustrados nas figuras 33 a 36. Nessas figuras, a interpretação foi baseada na forma gráfica das feições encontradas tendo como base a continuidade e aspectos da reflexão do sinal.

- Perfil G1:

O Perfil G1 (Figura 33) foi realizado ao longo da linha G1, no sentido leste – oeste, próximo a dois tanques utilizados para despejo de produtos químicos, e tem 45m de extensão (Figura 9).

Nota-se a presença de hipérbolas localizadas nas posições 11,5 m, entre 15,5 e 16,0 m e entre 17,5 e 18 m do início do perfil. Essas feições foram correlacionadas a tubos metálicos que partem dos tanques, para despejo de efluentes químicos.

Observa-se que grande parte do registro encontra-se atenuado e constitui-se de zona de sombra (sem reflexão). Isto pode ser observado entre as posições zero e 17,5 m e entre 23,5 m e 33,5 m. A causa das zonas de sombra é provavelmente contaminação pelo líquido muito condutivo (rico em sais), que escapa dos tanques. Além disto, apenas nas posições localizadas entre 17,5 m e 23,5 m e entre 33,5 m e 45 m se podem observar reflexões nítidas.

Verifica-se também que a profundidade máxima em que se podem observar reflexões nítidas é inferior a 1,5m. Isso se deve provavelmente à contaminação, porém pode ser ocasionado devido à presença de argila.

Por fim, as formas hiperbólicas que ocorrem nas zonas de reflexões nítidas podem ser devidas a concreções lateríticas, muito comuns na área.

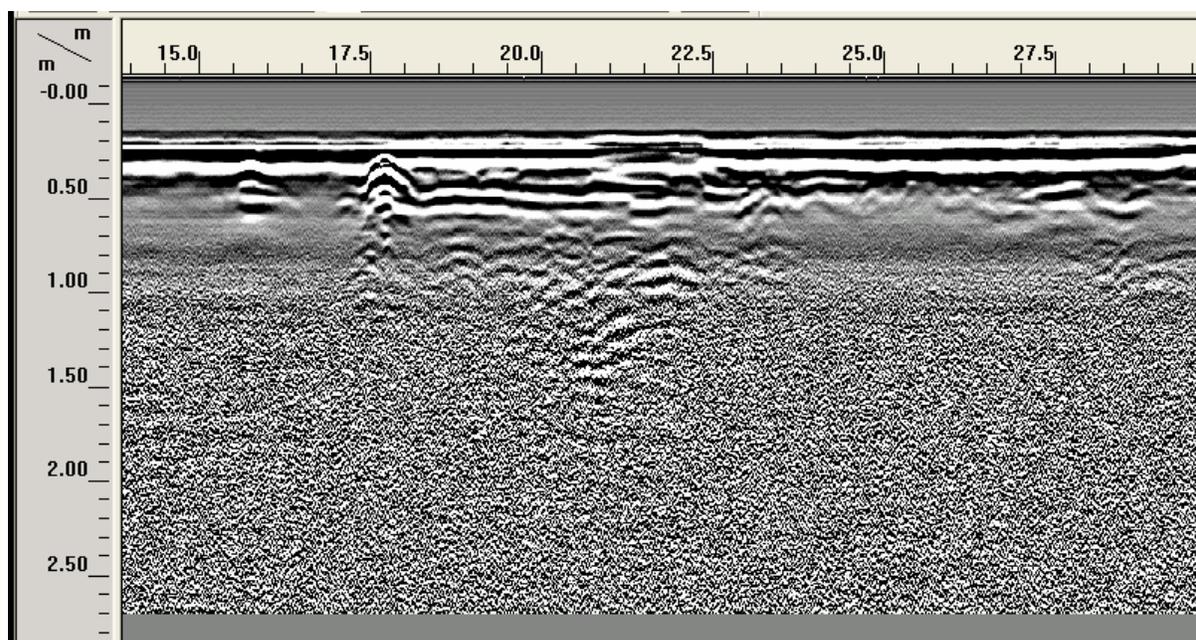
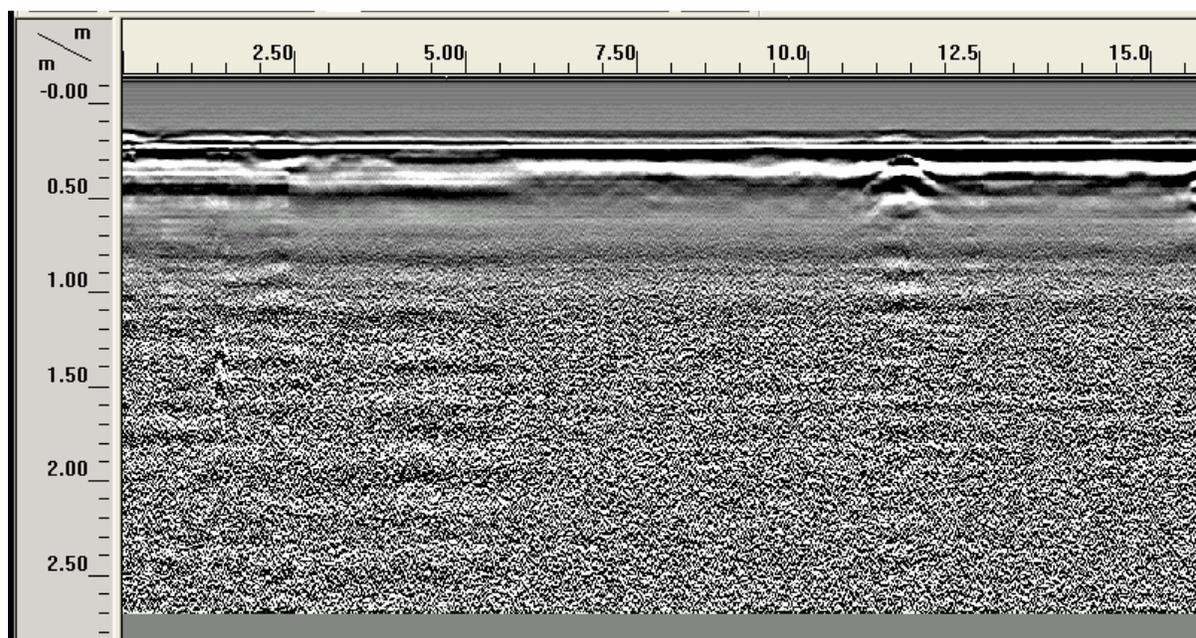


Figura 33 – Perfil de GPR realizado ao longo da linha G1.

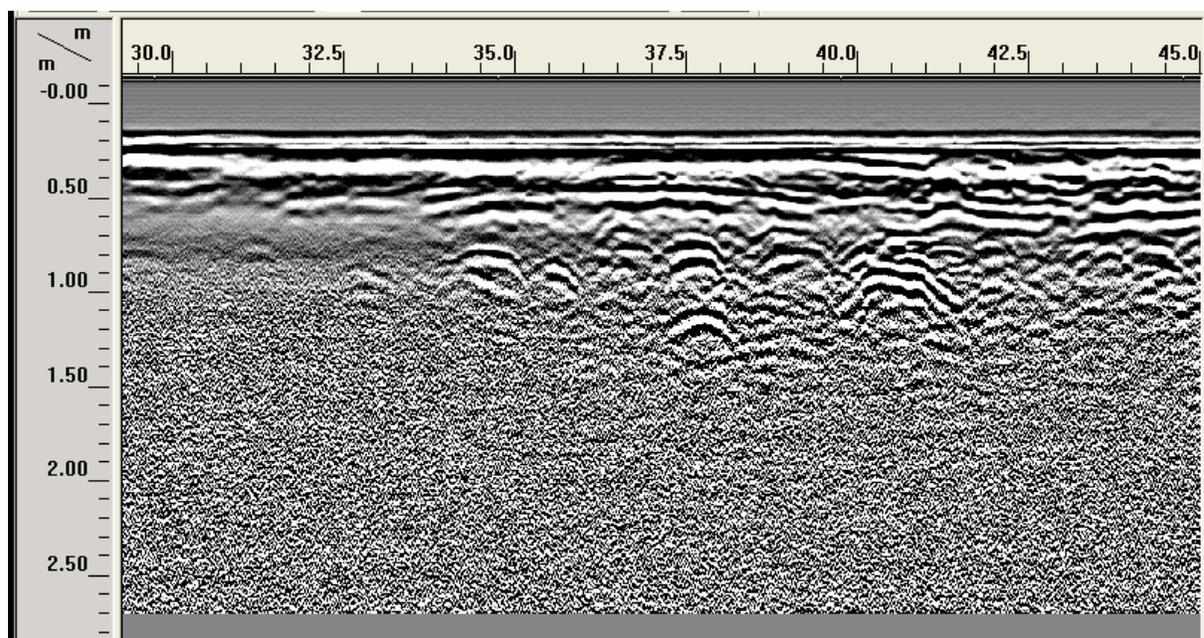


Figura 33 - Continuação.

- Perfil LB:

O perfil LB foi realizado na linha base, sentido leste-oeste (Figura 9), e cobriu uma extensão de 40 m. O radargrama obtido neste perfil encontra-se representado na Figura 34.

No perfil LB é nítida a intercalação de 2 zonas bem distintas. A primeira zona que ocorre entre as posições de 3m a 14 m e entre 34 m a 40 m. Esta zona caracteriza-se pela ausência de refletores (zona de sombra) provavelmente relacionada a vazamento de efluentes químicos das tubulações.

A segunda zona caracteriza-se pela presença de refletores. Estes estão distribuídos entre as posições zero e 3 m e 14 a 34 m do início do perfil e profundidade variando entre 0,2 a 1,5 m. Essas feições não podem ser observadas a profundidades maiores provavelmente devido a contaminação por líquidos condutivos ou pela presença de material muito argiloso.

As formas hiperbólicas observadas na imagem são provavelmente causadas por material concrecionário.

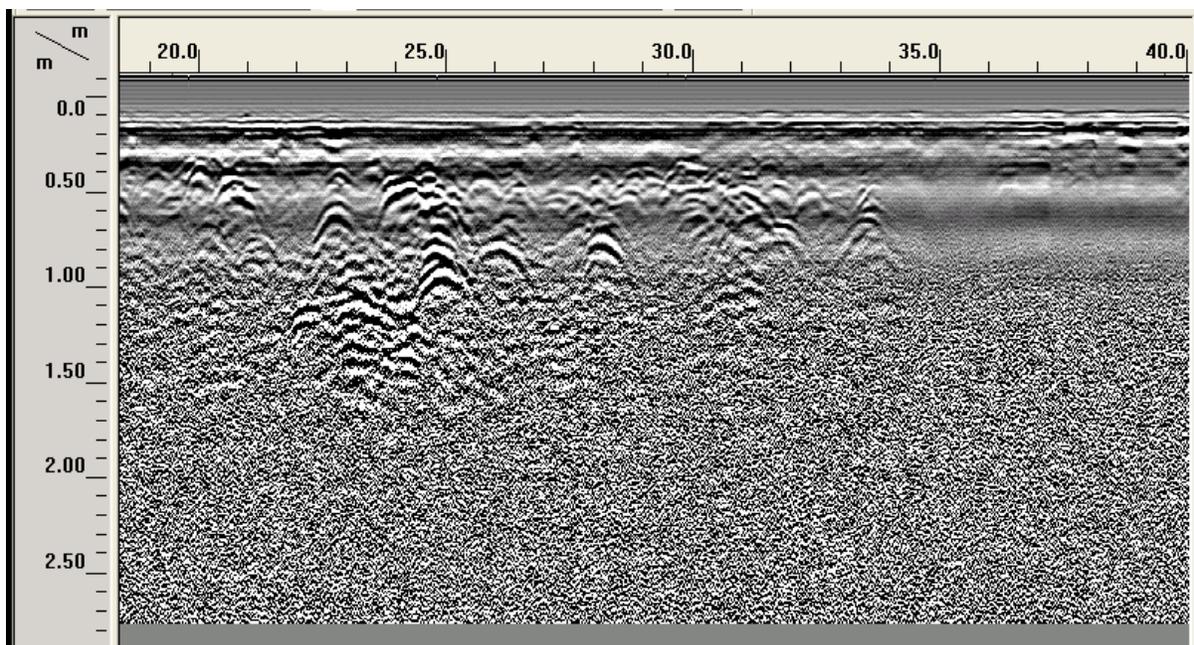
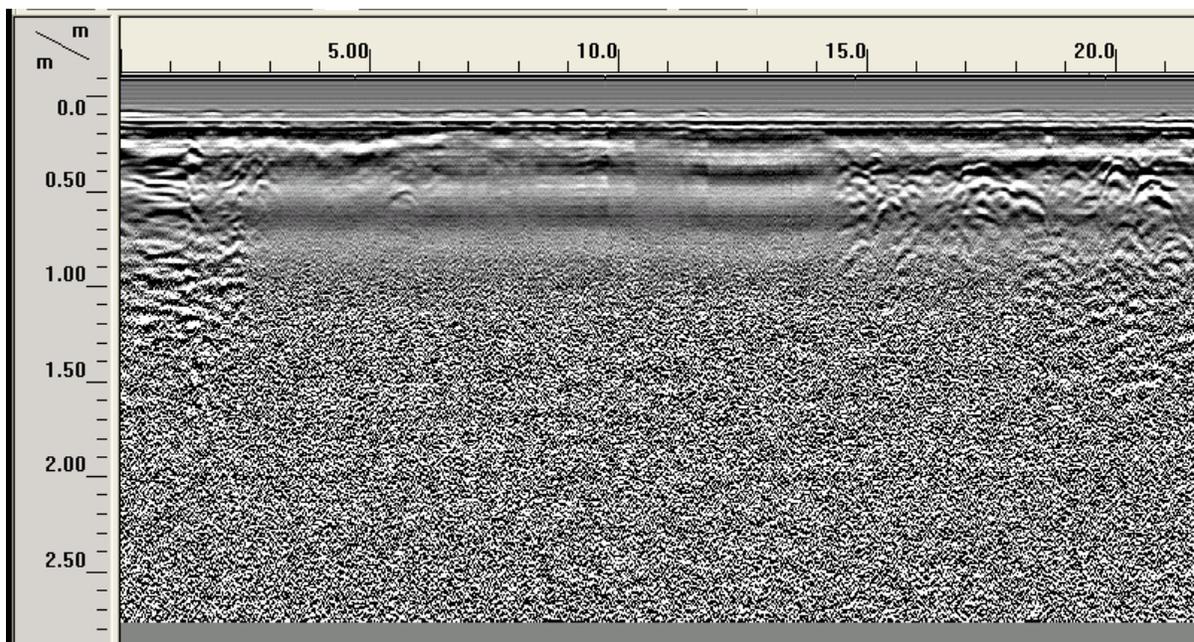


Figura 34 – Perfil de GPR realizado ao longo da linha LB.

- Perfil 20:

O radargrama 20 (Figura 35) foi realizado ao longo da Linha L20 do levantamento EM. O perfil inicia na linha base e estende-se no sentido norte em direção ao igarapé nos fundos do curtume. A seção cobriu uma extensão de 90 m.

Verificam-se no radargrama eventos na forma de hipérbole que ocorrem em quase toda a sua extensão. A presença destas hipérbolés, entre as profundidades de 0,5 m a 1,5 m, sugerem a existência de blocos lateríticos. Esta interpretação foi realizada após as análises dos perfis de GPR, da geologia da área e do caminhamento elétrico.

Além disto, próximo à superfície do terreno observa-se ausência de reflexões em várias posições, como por exemplo nas posições 22 m e 87 m, ou seja, zonas de sombra, zonas de forte absorção da onda. Possivelmente, por onde ocorre a disseminação da contaminação.

A partir de 1,5 m de profundidade não se observa nenhum refletor. Este fato é atribuído à elevada condutividade do material em subsuperfície, provavelmente contaminação, que absorvem e atenuam a propagação da onda eletromagnética do GPR.

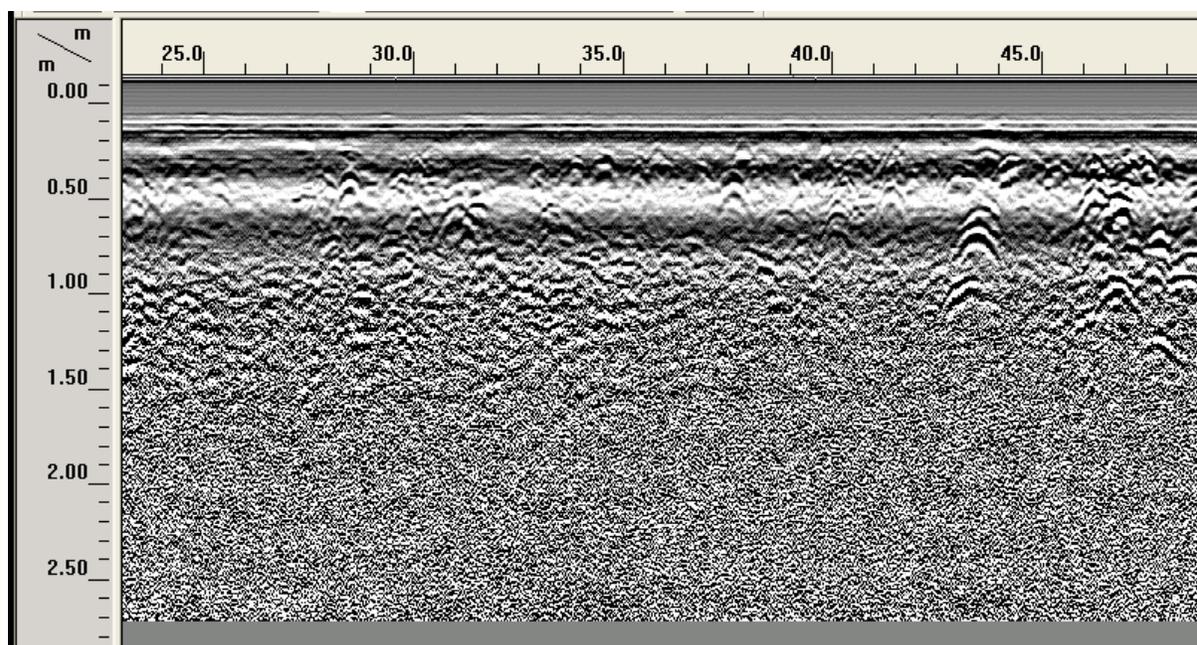
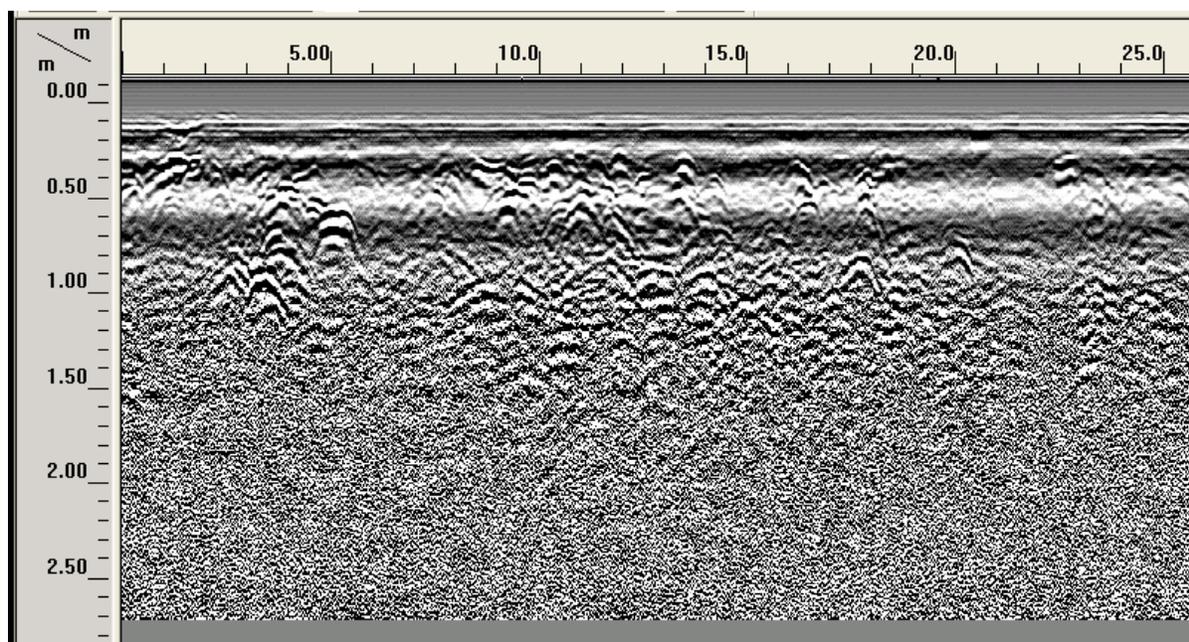


Figura 35 – Perfil de GPR realizado ao longo da Linha L20.

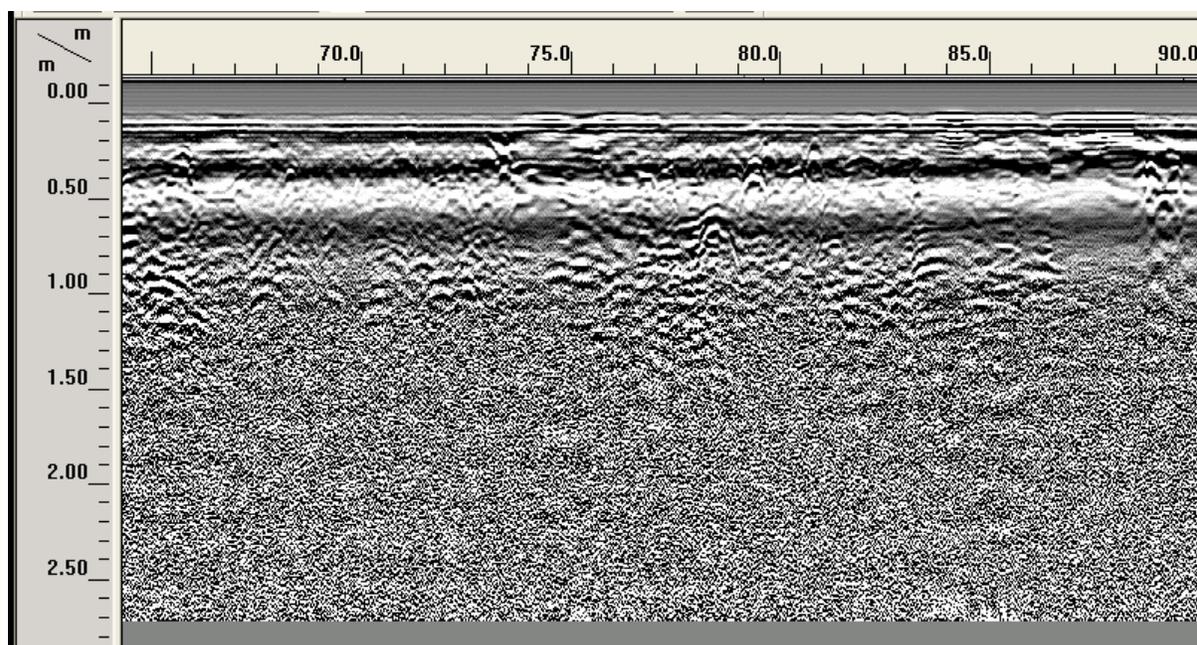
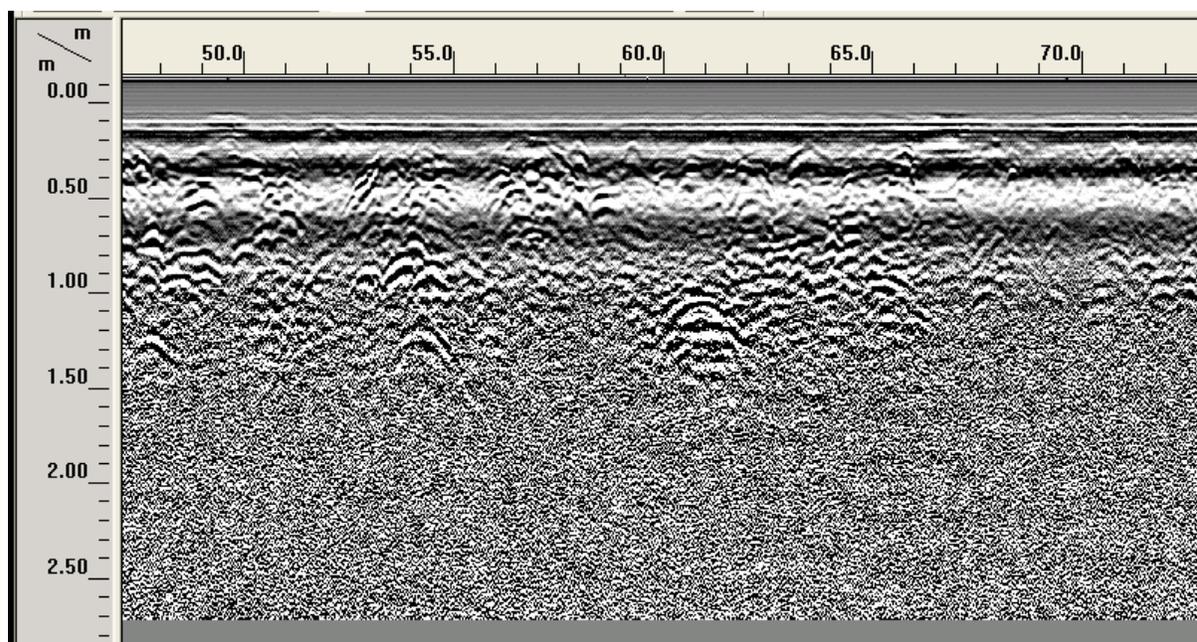


Figura 35 – Continuação.

- Perfil G3:

Este perfil foi realizado na linha G3 nos fundos do curtume, próximo a um igarapé, no sentido oeste - leste e cobriu uma extensão de 30 metros. O radargrama obtido encontra-se representado na Figura 36.

As observações feitas ao longo deste perfil permitiram visualizar vários refletores localizados bem próximos a superfície.

As hipérboles identificadas no trecho 18 a 28 m não parecem estender-se a grandes profundidades e são bem evidenciadas conforme a representação mostrada na Figura 36. Estas feições foram correlacionadas à presença de concreções lateríticas muito comuns na geologia da área.

Verifica-se também ainda nesta figura nos trechos de 14 a 15 m e 26 a 27,5 m do início do perfil uma zona com ausência de refletores (zona de sombra). Esta zona pode estar relacionada aos efluentes lançados no solo pelo curtume.

Assim como nos outros perfis, a partir de 1,5 m de profundidade aproximadamente não há registro de refletores.

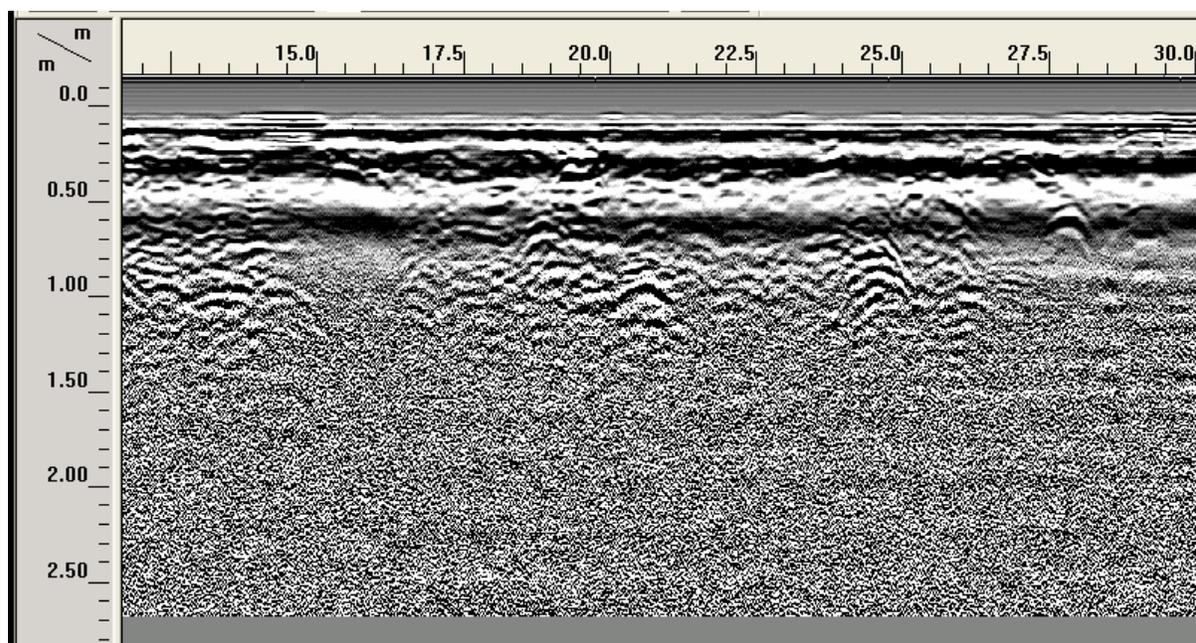
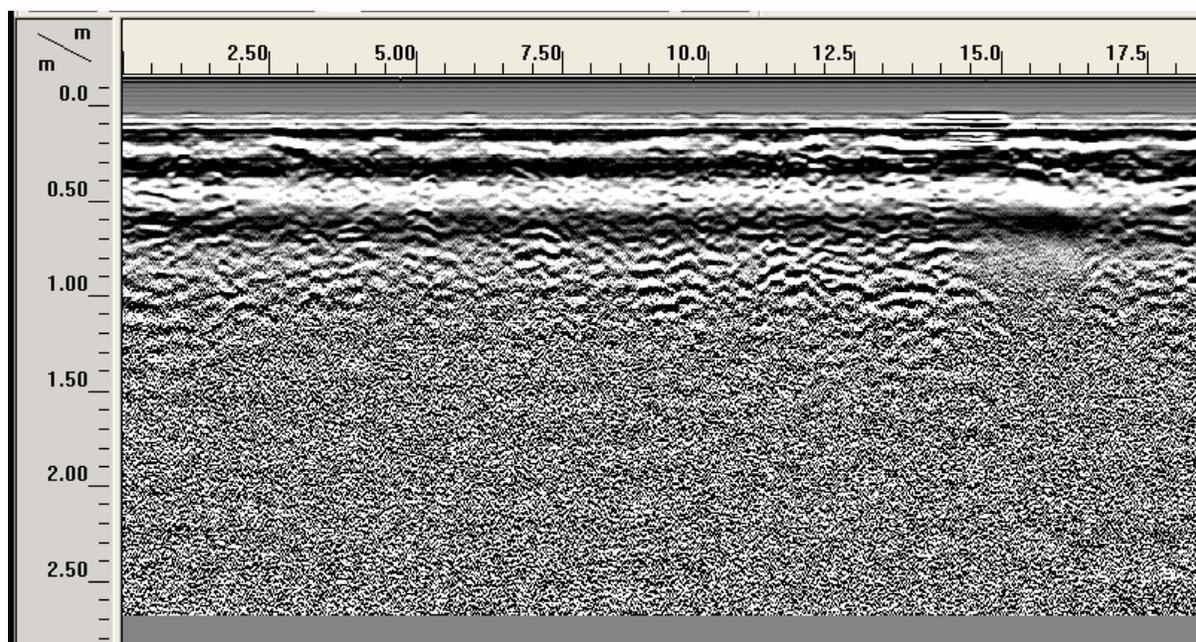


Figura 36 - Perfil de GPR realizado ao longo da linha G3.

8 CONCLUSÕES

O objetivo principal do presente trabalho foi avaliar o atual estágio de contaminação da subsuperfície rasa, através de dados geofísicos, na área do Curtume Couro do Norte localizado no bairro de Maracacuera, no Distrito Industrial de Icoaraci.

Foram utilizados os métodos elétricos (Potencial Espontâneo e Eletroresistividade) e métodos eletromagnéticos (Slingram) e Radar de Penetração no solo (Georadar ou GPR), que permitiram chegar às seguintes conclusões:

- A distribuição dos potenciais medidos com o Método de Potencial Espontâneo sugere um fluxo de água do primeiro aquífero em direção ao centro da área investigada. Caso haja contaminação ela deve, portanto, ocorrer na parte central da área de estudo.
- A representação dos dados eletromagnéticos na forma de mapas de contorno da intensidade do campo magnético secundário (Figuras 20-27) permitiu identificar a presença de zonas resistivas, próximas à superfície do terreno, correlacionadas a material arenoso (permeável) e zonas mais condutivas sugerindo a existência de contaminação. Essas zonas são bem caracterizadas com a representação em forma de perfis e também em profundidade com a representação dos dados eletromagnéticos na forma de pseudo-seções do módulo do campo magnético.
- Nos resultados dos modelos interpretativos obtidos através do processo de inversão das SEV's, a SEV couro 1 apresentou uma melhor correlação com os modelos interpretativos obtidos no imageamento elétrico do que a SEV couro 2.

- A análise quantitativa dos dados de SEV permitiu caracterizar os materiais da subsuperfície, determinando-se as espessuras e as resistividades das camadas.
- Os dados do imageamento elétrico mostraram tanto zonas de elevada resistividade, que devem ser associadas a blocos lateríticos, como zonas de baixa resistividade associadas à presença de argila e/ou contaminação.
- A distribuição das zonas condutoras e os baixos valores de resistividade obtidos no HLEM e caminhamentos elétricos sugerem presença de argila e/ou contaminação na área do estudo. No caso de contaminação, esta pode estar migrando das laterais e se concentrou na linha 20 ou a contaminação pode estar sendo gerada nas proximidades da linha 20 e está se espalhando lateralmente. Somente uma análise química do solo e água poderá esclarecer isso.
- Nos radargramas foi possível a identificação de blocos lateríticos, tubulações de metal e zonas com elevada atenuação (zona de sombra) que indicam a presença de contaminação.
- A pequena profundidade de investigação (inferior a 1,5 m) observada nos radargramas sugere elevada condutividade em profundidade que pode ser causada por contaminação ou elevada argilosidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERES JR, M & HAENI, F.P. 1991. Application of Ground-Penetrating-Radar Methods in Hydrogeologic studies. *Ground Water*, v. 29 (3): 375-386.
- KERN, et al. 2005. *Caracterização das grandes unidades de solos nas localidades de Icoaraci e Outeiro - Pa*. Disponível em: <www.ufpa.br/projetomegan/sub20.html>. Acesso em: 05 de fevereiro de 2005.
- LEITE, M. S. A. & ESTRELA, G. Q. 1998. *Gestão Ambiental sob a ótica dos custos*. Disponível em: <www.cueroamerica.com>. Acesso em: 29 de janeiro de 2005.
- LUIZ, J. G. & SILVA, L. M. C. 1983. *Geofísica de prospecção*. Belém: UFPA. 263 p, Apostila.
- MENDES, R.L.R. 2000. *Geofísica aplicada ao mapeamento de aquíferos da região Metropolitana de Belém*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, 72p. (Dissertação de mestrado).
- NASCIMENTO, M.H.D. 2003. *Identificação de ambientes de sedimentação na área Metropolitana de Belém a partir de perfis de poço*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. (Dissertação de mestrado).
- NEVES, A.V.B. 2002. *Estudo Geofísico para a caracterização geológica e hidrogeológica da subsuperfície rasa em área de decomposição de rejeitos sólidos no Município de Barcarena*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. (Dissertação de mestrado).
- NUNES, L. P. M. 2002. *Avaliação da contaminação do aquífero livre em área do Distrito Industrial de Icoaraci, usando métodos geofísicos elétricos*. Belém, UFPA. Centro de Geociências, 28f. (Trabalho de Conclusão de Curso).
- ORELLANA, E. 1972. *Prospeccion Geoelectrica en corriente continua*. Madrid: Paraninfo, 523 p.
- PALACKY, G. J. 1991. Application of the multifrequency horizontal-loop EM method in overburden investigations. *Geophysical Prospecting*, 39:1061-1082.

- PENTEADO, A. R. 1968. *Geologia urbana de Belém*. Belém: Universidade Federal do Pará. v. 2p.
- ROSSETI, D.F. de; TRUCKENBRODT, W.; GOES, A.M. 1989. Estudo Paleambiental e Estratigráfico dos Sedimentos Barreiras na Região Bragantina, Nordeste do Pará. *Boletim Instituto Geológico, Ciências da Terra*, Belém, 1 (1): 25-74.
- SÁ, J.H.S. 1969. Contribuição à geologia dos sedimentos terciários e quaternários da região Bragantina. *Boletim Instituto Geológico*, Rio de Janeiro, 3: 21-36.
- SAUCK, W. A. 1995. *Transferência de Tecnologia em radar de Penetração e Aplicação em Hidrogeologia na Região Amazônica*. (Relatório apresentado ao CNPq).
- SAUCK, W.A.; ALVES, J.G.V.; LUIZ, J. G. 1995. *Successful Application of GPR in the Lower Amazon Region, Belém, Pará, Brazil*. Resumos Expandidos, 4º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, Rio de Janeiro, agosto de 1995, p. 974-975.
- SCHIAVONE, D. & QUARTO, R. 1984. Self-potential prospecting in the study of water movements. *Geoexploration*, 22: 47-58.
- SILVA, R. C. dos S. 2002. *Aplicação dos métodos geofísicos elétrico e eletromagnético na determinação de unidades sedimentares costeiras tropicais em Bragança, Nordeste do Pará*. Belém, UFPa. 56f. (Dissertação de mestrado).
- SILVA, S. F. da. 1997. *Estudo geoquímico dos sedimentos de fundo e suspensão do Furo do Maguari e adjacências*. Belém, UFPa. 63f. (Trabalho de Conclusão de curso).
- SILVA, S. O. & LOEWENSTEIN, P. 1968. *Contribuições à geologia da Folha de São Luís (AS- 23) no Estado do Pará II – Novas localidades e razão magnésio - cálcio do Pirabas*. 17p. (Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, nº 12, Série Geologia).

ZOHDY, A. A. R. & BIRDORF, R. J. 1989. *Programs for the Automatic Processing and Interpretation of Schlumberger Sounding curves in Quickbasic 4.0.* open – file Report 89 – 137 A & B, U. S. Geological Survey, 19p.