



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOFÍSICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ANDERLON ANDRADE DA SILVA

**INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA COM OS MÉTODOS SLINGRAM E GPR DE
CONTAMINAÇÃO SALINA NA VILA DE CARATATEUA, CURUÇÁ-PARÁ.**

BELÉM - PARÁ
2010



ANDERLON ANDRADE DA SILVA

**INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA COM OS MÉTODOS SLINGRAM E GPR DE
CONTAMINAÇÃO SALINA NA VILA DE CARATATEUA, CURUÇÁ-PARÁ.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Geofísica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento as exigências para obtenção de grau de bacharel em Geofísica.

Orientador: Prof. Ms José Geraldo das Virgens Alves.

**BELÉM
2010**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

S586i Silva, Anderlon Andrade da

Investigação geofísica com os métodos Slingram e GPR de contaminação salina na vila de Caratateua, Curuçá - Pará / Anderlon Andrade da Silva; Orientador: José Geraldo das Virgens Alves – 2010

56 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geofísica) – Faculdade de Geofísica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Segundo Período de 2010.

1. Geofísica aplicada. 2. Slingram. 3. GPR. 4. Contaminação salina. 5. Vila de Caratateua. 6. Curuçá (PA). I. Universidade Federal do Pará. II. Alves, José Geraldo das Virgens, *orient.* III. Título.

CDD 20° ed.:558.115

ANDERLON ANDRADE DA SILVA

**INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA COM OS MÉTODOS SLINGRAM E GPR DE
CONTAMINAÇÃO SALINA NA VILA DE CARATATEUA, CURUÇÁ-PARÁ.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Geofísica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento as exigências para obtenção de grau de Bacharel em Geofísica.

Data de aprovação: ___/___/2010

Conceito: _____

Banca Examinadora:

Prof. José Geraldo das Virgens Alves - Orientador
Mestre em Geofísica
Universidade Federal do Pará

Prof.^a Lúcia Maria da Costa e Silva - Membro
Doutora em Geofísica
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. André José Neves Andrade - Membro
Doutor em Geofísica
Universidade Federal do Pará

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus e a Nossa Senhora de Nazaré (padroeira dos paraenses) por todas as bênçãos recebidas e por realizar mais um sonho em minha vida.

A minha família que sempre me apoiou nos momentos mais difíceis de minha vida, como também, as famílias Monteiro e Araujo que sempre me incentivaram no decorrer do curso.

Ao meu orientador professor Msc José Geraldo das Virgens Alves por todo o apoio acadêmico e profissional ao longo do curso.

A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) – SUREG-BE, em particular o Sr. Ariolino Neves (supervisor do SIAGAS) e a Manfredo Ximenes (superintendente), que acrescentaram na minha formal profissional no período de estágio no Departamento de Hidrogeologia.

Ao laboratório de Hidroquímica de Instituto de Geociência da UFPA, em partícula, a técnica química Leila Hanna e ao Prof. Dr. José Augusto Correa.

Ao Sr. Alfredo Coroa que nos cedeu sua residência na Vila para que pudéssemos realizar todo o trabalho com conforto.

A Turma de 2007, ao técnico geofísico Paulo Magalhães, a Clistenes Catete, Alex Medeiros, Givanildo, Marcelo Fernandes que participaram das coletas e processamento dos dados durante a disciplina Trabalho de Campo III (GT-3).

A Turma de 2006 que positiva ou negativamente me incentivavam os quatros anos de curso. E a em particular “turma da GELOFÍSICA”

E, finalmente, a Faculdade de Geofísica que me deu os suportes necessários para minha formação profissional.

RESUMO

Neste trabalho foi desenvolvido um estudo da subsuperfície rasa para investigar uma possível contaminação provocada por água salgada advinda de viveiros de camarão. O estudo foi realizado na fazenda Nossa Senhora de Fátima localizada na Vila Caratateua, município de Curuçá – Pará. As metodologias geofísicas eletromagnéticas utilizadas foram o Slingram e o radar de penetração do solo (GPR). Foi realizada a coleta de água dos poços nas vizinhanças para medidas em laboratório dos parâmetros físico-químicos, condutividade elétrica, pH, STD e salinidade, e a medida a profundidade do nível freático dos poços. A interpretação dos dados de Slingram permitiu identificar a presença de zonas mais condutivas (provável contaminação salina) e zonas mais resistivas (possíveis blocos lateríticos). Através dos dados de GPR identificou-se a presença de zonas atenuadas provavelmente indicando a contaminação salina e refletores que indicaram os blocos lateríticos e o nível freático local. Os resultados obtidos da correlação entre os dados, mostrados através de mapas de contornos, bloco-diagrama 3D, pseudo-seções e radargramas, demonstram que a combinação das duas metodologias eletromagnéticas Slingram e GPR é bem apropriada para esse tipo de investigação.

Palavras-chave: Geofísica aplicada. Slingram. GPR. Contaminação salina. Vila de Caratateua.

ABSTRACT

This work presents a study of the shallow subsurface to investigate possible contamination caused by salt water arising from shrimp ponds. The study was conducted at the Our Lady of Fatima Caratateua located in the village, municipality of Curuçá – Para. The electromagnetic geophysical methods used were Slingram and ground penetrating radar (GPR). Collected water from wells for laboratory measures of physical and chemical parameters, electrical conductivity, pH, TDS and salinity and depth measurements of the static level and wells. The interpretation of data Slingram identified the presence of more conductive areas (probably saline contamination) and more resistive zones (possible laterite blocks). Through the GPR data identified the presence of attenuated zones probably indicating contamination saline and reflectors that indicate the laterite blocks and the local water table. The results of the correlation between the data, shown by contours maps, 3D block-diagram, pseudo-sections and radargram demonstrate that the combination of the two methodologies HLEM electromagnetic and GPR is well suited for this type of research.

Keywords: Applied geophysics. Slingram. GPR. Saline contamination. Village Caratateua.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	10
2.1	LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	10
2.2	FISIOGRAFIA	11
3	CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	13
3.1	SISTEMAS HIDROGEOLÓGICOS	14
3.1.1	Pós-Barreiras	14
3.1.2	Barreiras	14
4	A CARCINICULTURA	15
5	SISTEMA DE CULTIVO NA FAZENDA NOSSA SENHORA DE FATIMA.	16
6	MÉTODOS GEOFÍSICOS	18
6.1	SISTEMA SLINGRAM	18
6.2	RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO (GPR).....	20
7	MÉTODO HIDROGEOQUÍMICO	23
7.1	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	23
7.2	POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (PH)	23
7.3	SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS (STD)	23
7.4	SALINIDADE.....	24
8	LEVANTAMENTO GEOFÍSICO	25
8.1	SLINGRAM	26
8.1.1	Operação de Campo	26
8.1.2	Apresentação de Resultados	27
8.1.3	Interpretação	28
8.2	RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO	34
8.2.1	Operação de Campo	34
8.2.2	Processamento	35
8.2.3	Interpretação	36
8.2.3.1	Perfil G1	36
8.2.3.2	Perfil G2	37
8.2.3.3	Perfil G3	39
8.2.3.4	Perfil G4	41
8.2.3.5	Perfil G5	42

8.2.3.6	Perfil G6	44
8.2.3.7	Perfil G7	46
8.2.3.8	Perfil G8	47
9	LEVANTAMENTO HIDROGEOQUÍMICO	49
10	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	51
	REFERÊNCIAS	53
	ANEXO	55
	ANEXO A: VALA DE DRENAGEM DOS VIVEIROS DE CAMARÃO	56

1 INTRODUÇÃO

O Estado do Pará pela vasta riqueza estuarina de seu litoral, localizada no nordeste do Pará, vem desenvolvendo paulatinamente, em algumas fazendas, a cadeia produtiva do camarão como conhecido cientificamente *Litopenaeus vannamei*. No mercado paraense de carcinicultura atuam cinco fazendas: Camalta – Camarões Terra Alta S/A, a Camasa – Camarões Atalaia S/A, São Paulo, Campasa e Nossa Senhora de Fátima, sendo esta última local de estudo do presente trabalho.

A carcinicultura é a técnica de criação de camarões em viveiros. Essa atividade demanda a instalação de piscinas artificiais com a conseqüente supressão da vegetação nativa dos manguezais. O impacto ambiental é sentido em curto, médio e longo prazo, pois por se tratar de intervenção agressiva (extinção da vegetação até a raiz, o que impede a regeneração da mesma), afeta o equilíbrio biótico das demais espécies, bem como retira uma barreira natural para as altas marés, podendo afetar as populações humanas próximas. Além disso, os efluentes dos viveiros podem provocar a contaminação das águas por fungicidas e a salinização do lençol freático, impossibilitando o consumo por parte das populações ribeirinhas.

Assim, consciente da importância do impacto ambiental da carcinicultura, este trabalho visa contribuir para a investigação da possível contaminação salina proveniente dos resíduos dos viveiros através da metodologia geofísica. A área escolhida para o estudo, à fazenda Nossa Senhora de Fátima, está localizada na Vila de Caratateua, no município de Curuçá, interior do estado do Pará onde estão instalados quatro viveiros de camarão marinho.

Os levantamentos dos dados ocorreram nos dias 16 de outubro e 23 de dezembro de 2009, durante o treinamento de campo da disciplina Grupo de Trabalho III da Faculdade de Geofísica da Universidade Federal do Pará, cujo objetivo é a aplicação da metodologia Geofísica voltada à prospecção ambiental. Aplicaram-se os métodos eletromagnéticos Radar de Penetração no Solo (GPR) e Slingram (arranjo HLEM – Horizontal Loop Eletromagnetic). Também, realizou-se no dia 17 de outubro de 2009 uma coleta da água dos poços para uma avaliação de sua qualidade com a metodologia hidrogeoquímica. Com isso obteve o resultado analítico da água para as medidas de pH, Condutividade Elétrica, Sais Totais Dissolvidos – STD e salinidade.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

2.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área sob estudo, fazenda Nossa Senhora de Fátima, está localizada na Vila de Caratateua, município de Curuçá, situada na Mesorregião do Nordeste paraense e na microrregião do Salgado (Figura 1). Geograficamente, a fazenda situa-se nas coordenadas 00° 40' 41,1" de latitude sul e 48° 46' 44,9" de longitude oeste, distando aproximadamente 160 Km de Belém, 30 Km de Curuçá e a 4,5 Km da PA-318.

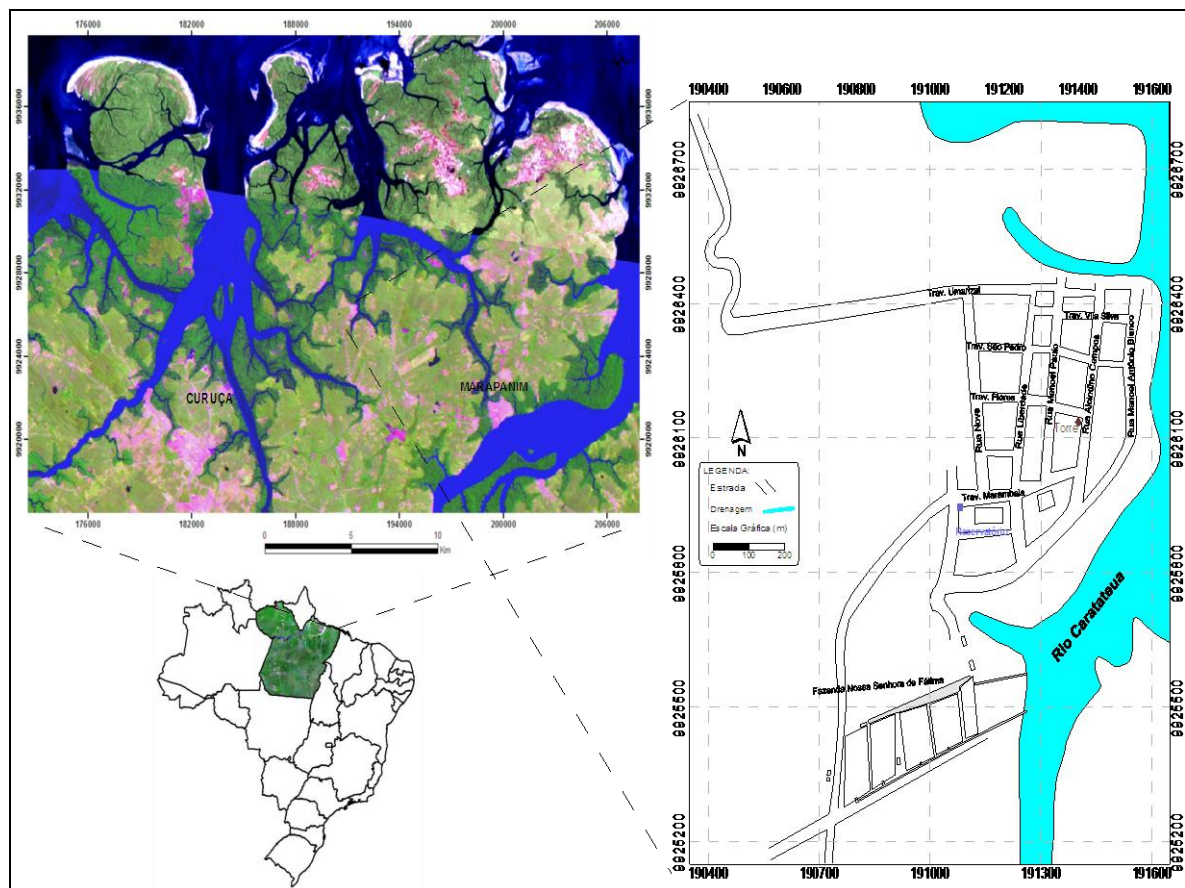


Figura 1: Mapa de localização da Vila Caratateua.

Fonte: Pesquisa de campo

Para ser ter acesso a área partindo de Belém, se dá pela rodovia BR-316 até a cidade de Castanhal, a partir daí prossegue-se pelas rodovias PA-136 e a PA-318 até chegar o ramal para Vila de Caratateua, levando-se cerca de três horas.

2.2 FISIOGRAFIA

A Vila de Caratateua conta com uma população de aproximadamente 1000 habitantes, distribuídos numa área de 21 ha. Os limites são: ao norte – Oceano Atlântico, a leste – o município de Marapanim, ao sul – o município de Terra Alta e a oeste o município de Curuçá.

A Vila de Caratateua apresenta o clima equatorial Amazônico tipo Am₂, na classificação de Köppen. Caracteriza-se por apresentar elevadas temperaturas, variação média anual de 27°C, precipitações abundantes que ultrapassam os 2.000 mm anuais, sendo o período mais chuvoso nos meses de dezembro a junho e o menos chuvoso de julho a novembro (SEPOF-PA, 2008).

Topograficamente, a área de estudo apresenta baixa altitude, sem acidentes topográficos expressivos. A cota altimétrica média varia entre 5 a 25 metros na área e com sua cota mais elevada de 24 metros (Figura 2).

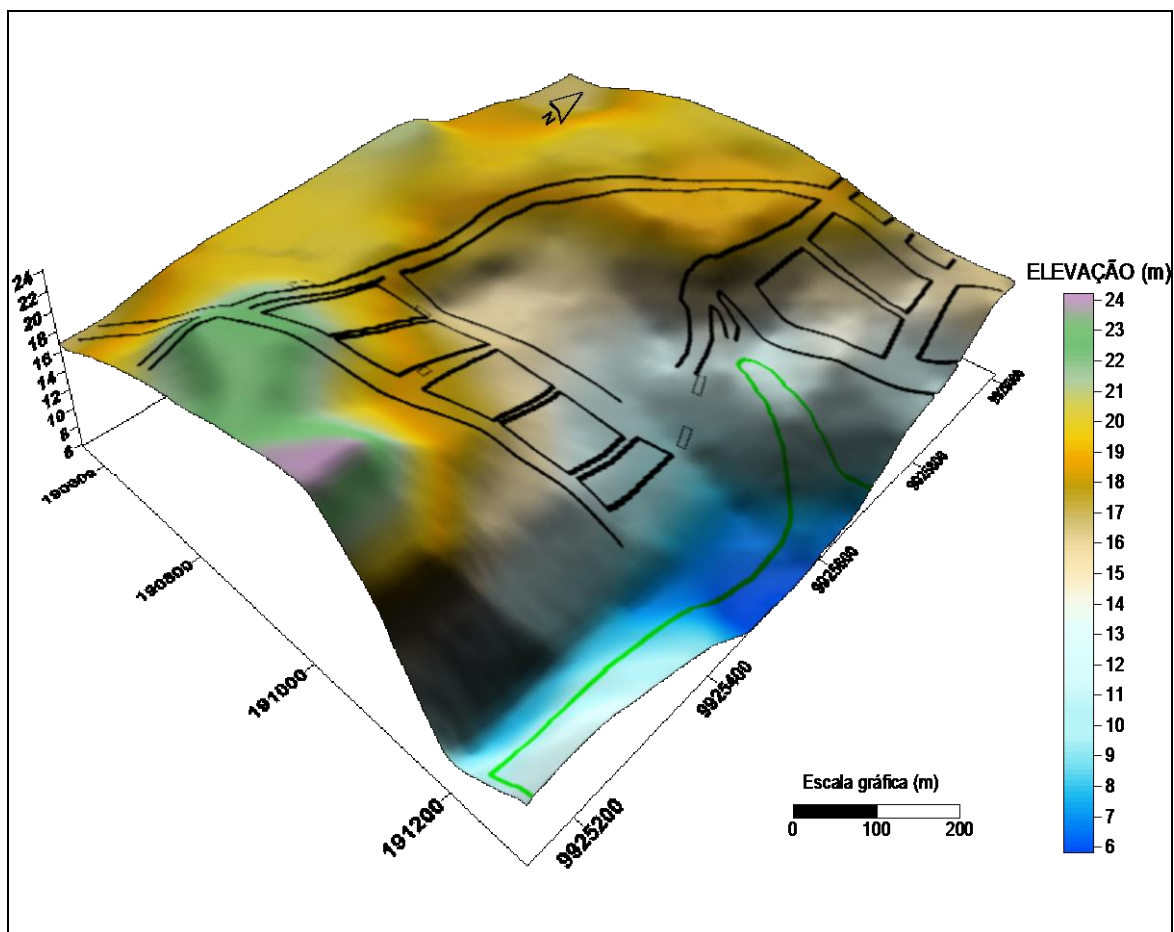


Figura 2: Mapa topográfico da área de estudo
Fonte: do autor (2009)

A vegetação era constituída da uma cobertura vegetal, formada pela floresta primitiva, que foi removida em consequência dos desmatamentos ocorridos de forma intensiva e extensiva, para o plantio de espécies agrícolas de subsistência. Por causa disso, atualmente, o predomínio da cobertura vegetal é formada de floresta secundária. É importante, também, a presença das florestas de mangue ou manguezais, que ocupam as porções litorâneas e semi-litorânea, onde existe a influencia da salinidade da água do mar. A salinidade apresenta valores que variam de 7 (período chuvoso) a mais de 22 (período seco).

Quanto à hidrografia, os elementos hídricos que mais se destacam são: o Rio Ingaí ao norte e pelo Rio Grande, que estão em comunicação com o Oceano Atlântico.

Segundo Viera (1988), predomina na área de estudo os solos Distróficos (do tipo latossolo amarelo, com associação de solos de textura média e fina), concrecionário lateríticos, aluviais e solos indiscriminados de mangue. Estes tipos de solo são predominantemente constituídos de frações argilosas, o que acarreta maior dificuldade de infiltração de água. Os solos concrecionário lateríticos também funcionam como impermeabilizantes para os aquíferos.

3 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A região em estudo está inserida na bacia costeira cretácea Bragança-Viseu que representa uma fossa tectônica delimitada por falhas normais NW-SE (ARANHA et al. 1990) e sua geometria e paleotopografia estão associadas às movimentações tectônicas, que tem controlado as espessuras dos depósitos terciários e quaternários (IGREJA, 1991; COSTA et al, 1993; COSTA e HASUI, 1997).

O embasamento Pré-Cambriano é composto pelo Cinturão Gurupi e pelo Cratón São Luis, cujas principais unidades estratigráficas são: o Complexo Maracaçumé, a Formação Santa Luzia, o Grupo Gurupi, o Granito Cantão e a Formação Piriá.

Na região litorânea do Estado do Pará, onde está inserida a área de pesquisa, ocorrem principalmente às unidades cenozóicas representadas pelos carbonatos da Formação Pirabas e os sedimentos do Grupo Barreiras e dos Pós-Barreiras.

As rochas da Formação Pirabas são compostas predominantemente por margas e calcários variados, por vezes intercalados com folhelhos, considerados com base no seu conteúdo fossilífero, como sendo do Mioceno Inferior (MAURY, 1925). Mais tarde este termo foi estendido para incluir os calcários maciços cinza amarelados (biocalciruditos, biocalcarenitos biohermitos, calciruditos e micritos) intercalados com folhelhos cinza escuro e calcários arenosos (GÓES et al. 1990). Estes calcários definem um ambiente de mar aberto, caracterizado por águas calmas, quentes e rasas, às vezes fortemente agitados por ação de tempestades.

Os sedimentos do Grupo Barreiras encontram-se principalmente nas regiões do Salgado e Bragantina, bem como nos arredores da cidade de Belém. Assenta-se sobre a Formação Pirabas e são sobrepostos pelos sedimentos Pós-Barreiras. Eles foram datados por Arai et al. (1988 e 1994), que atribuíram idade Mioceno Inferior para esses depósitos. Constituem-se geralmente por conglomerados polimíticos com intercalações de leitos da areia e argila. Rossetti et al. (1989) identificaram 13 fácies, que foram distribuídas em três associações, as quais teriam sido depositadas em ambientes de sistema de leques aluviais, planície de areia e planície de lama, com influência marinha na porção mais distal do sistema. Na planície Costeira Bragantina, o Grupo Barreiras sustenta o Planalto Costeiro que ocorre margeado a Planície Costeira.

Os sedimentos Pós-Barreiras jazem em discordância erosiva sobre os sedimentos Barreiras. Vários autores admitem que estes sedimentos são de idade Pleistocênica, porém Rossetti et al. (1989) atribuem idade holocênica a parte desses sedimentos. Constituem-se de

sedimentos areno argilosos, mal selecionados, depositados, após um significativo período de não deposição.

3.1 SISTEMAS HIDROGEOLÓGICOS

Os principais sistemas hidrogeológicos locais, aqueles efetivamente explorados na área, são o Pós-Barreiras e Barreiras. Os poços do tipo amazonas exploram apenas o sistema Pós-Barreiras, enquanto aqueles de abastecimento público utilizam da formação Barreiras.

3.1.1 Pós-Barreiras

A unidade Pós-Barreiras é constituída por níveis argilo-arenoso, inconsolidados, existentes desde a superfície até cerca de 25 m sendo, por vezes, recoberta por alúvios e colúvio. O potencial hidrogeológico do aquífero é fraco, contudo, na maioria das vezes, apresenta água de boa qualidade para consumo humano.

Em geral esses aquíferos são de natureza livre, ou semiconfinada, localmente. A recarga se verifica diretamente através das precipitações pluviométrica. Apresentam alta vulnerabilidade à contaminação das águas subterrânea, principalmente em função de sua profundidade quase sempre inferior a 25 m, que os coloca nas zonas de interação com agentes pontencialmente poluidores.

3.1.2 Barreiras

Esta unidade aquífera corresponde aos sedimentos do Grupo Barreiras, que tem expressões litológicas bastante heterogêneas, onde se incluem desde argilitos até arenitos grosseiros com níveis conglomeráticos. Esses litotipos se intercalam irregularmente, segundo um arranjo espacial complexo que ainda está sob análise.

A unidade Barreiras aparece entre 25 e 90 m de profundidade, possui natureza confinada a semi-livre, neste caso pela presença de camadas argilosas sucessivamente intercaladas nas areias. A recarga se dá por contribuição das camadas sobrepostas ou através da precipitação pluviométrica, nas áreas de afloramento dessa unidade.

4 A CARCINICULTURA

O cultivo de camarão marinho teve sua origem histórica na década de 30 do século XX no Sudoeste da Ásia, quando pescadores artesanais construíram diques de terras nas zonas costeiras para o aprisionamento de pós-larvas de camarões selvagens. Com o aperfeiçoamento das técnicas de cultivo e de reprodução, a atividade tornou-se comercial, apresentando bons resultados e uma conseqüente expansão mundial, passando a assumir grande importância econômica e social em diversos países, principalmente nos emergentes. Gerada pela estagnação da pesca e pela crescente demanda do camarão, a carcinicultura vem constituindo uma grande alternativa para suprimento da demanda interna e externa (SOUZA FILHO et al, 2003).

No Brasil, os primeiros experimentos com o camarão cultivado datam da década de 1970 quando o Governo do Rio Grande do Norte criou o “Projeto Camarão”. No entanto, devido à falta de investimento em pesquisas nas áreas de reprodução, produtividade e resistência a doenças, a iniciativa privada nacional passou a importar na década de 90 a espécie *Litopenaeus vannamei*, cultivada com sucesso no Equador e adaptável às mais variadas condições ambientais. Os anos entre 2007 e 2003, a produção, a área e a produtividade do camarão marinho cultivado aumentaram 2.527,7%, 294,6% e 540,4%, respectivamente, segundo, Associação Brasileira de Criadores de Camarão (ABCC, 2004), colocando o país como maior produtor do continente sul americano. A evolução dessa atividade, responsável pelo bom desempenho da balança comercial na área de pescados e pela elevação do Brasil à posição de maior produtor do continente, tornou-se imprescindível repensar esta atividade de maneira que a mesma provoque um menor impacto possível ao meio ambiente.

O Estado do Pará vem desenvolvendo gradativamente a cadeia produtiva do camarão *L. vannamei* em algumas fazendas, principalmente no litoral. O processo produtivo do camarão se inicia com a larvicultura em laboratório no Nordeste. Após a eclosão as larvas ultrapassarem o estágio de náuplios, protozoéa e mísis, atingindo o estágio de pós-larva, quando são comercializados com as fazendas carcinocultoras.

Com a chegada dos pós-larvas nas fazendas é feito o povoamento dos viveiros, iniciando, assim, o período de engorda da espécie para posterior despesca, quando recebem choque térmico e morrem. Logo após, são congelados e enviados as empresas para o processamento e distribuição para o mercado externo e interno.

5 SISTEMA DE CULTIVO NA FAZENDA NOSSA SENHORA DE FATIMA.

O sistema de cultivo utilizado na Fazenda Nossa Senhora de Fátima é classificado como intensivo, as pós-larvas são adquiridas em laboratório de larvicultura, e aclimatadas para que ocorra o povoamento. O arraçoamento é realizado três vezes ao dia, com a ração distribuída em bandejas dispostas no viveiro com auxílio de um caiaque, a quantidade utilizada varia 25% de ração em relação à biomassa na primeira semana de alimentação até 3% no final do cultivo.

Há um acompanhamento semanal do crescimento do camarão, sendo retiradas amostras da população com tarrafas cuja malha varia de 5 a 10 mm, de acordo com o tamanho dos camarões, geralmente ao anoitecer, para pesagem em balança de precisão e medição com o auxílio de uma régua. Posteriormente se calcula a média e multiplica-se pelo número de camarões no viveiro para verificar a biomassa e a taxa de sobrevivência.

A despesca, que corresponde à etapa final do cultivo, é realizada a noite quando a atividade dos camarões é mais intensa e as temperaturas são mais amenas. Utiliza-se uma rede para retirada dos camarões do viveiro, logo após são transferidos para caixas de fibra de vidro contendo gelo, para que haja o choque térmico. Os camarões são expostos em uma bancada para ser feita a classificação e, então, acondicionados em baquetas de gelo. Depois, são pré-cozidos, salgados e enviados para a comercialização.

Os parâmetros hidrológicos da água de cultivo são mensurados cinco vezes ao dia e os registros armazenados em fichas de acompanhamento/controle para análise e correção, se for o caso. Os parâmetros da água captada na maré também são mensurados e analisados a cada maré, com registros armazenados em ficha de controle.

O abastecimento dos viveiros é feito pelo bombeamento (Figura 3), a fazenda é servida pelo Rio Ingaí ao norte da propriedade e do Rio Grande ao sul, que estão em comunicação com o Oceano Atlântico. São quatro viveiros com dimensão de 1 ha cada (Figura 4). É utilizada uma bacia de sedimentação, com 0,5 ha, para armazenar o efluente da despesca (Figura 5). A drenagem para o meio ambiente (maré) é realizada através de uma adutora, em tubulação de cimentos que termina em um filtro biológico.



Figura 3: Imagem da bomba de abastecimento dos viveiros.
Fonte: Pesquisa de campo



Figura 4: Imagem de um dos viveiros de camarão da fazenda.
Fonte: Pesquisa de campo



Figura 5: Imagem do tanque de decantação dos viveiros de camarão.
Fonte: Pesquisa de campo

6 MÉTODOS GEOFÍSICOS

Os seguintes métodos eletromagnéticos foram utilizados na investigação geofísica realizada na fazenda Nossa Senhora de Fátima e ao redor da mesma: Slingram e Radar de Penetração no Solo (GPR), devido à rapidez e facilidade com que as medidas são realizadas em campo. Além disso, o Slingram requer pouco espaço no terreno para execução de uma sondagem, contornando, assim, um dos problemas logístico impostos por métodos elétricos que envolva expansão lateral dos eletrodos no terreno. A seguir será apresentada uma descrição teórica desses métodos.

6.1 SISTEMA SLINGRAM

O sistema Slingram é um dos mais empregados no método EM. Ele consiste de um dipolo transmissor vertical (bobina transmissora) e um dipolo receptor (bobina receptora).

Durante a operação, uma corrente oscilante numa frequência fixa circula na bobina transmissora (Tx), a qual se comporta como um dipolo magnético oscilante, gerando o campo magnético primário (H_p), que induz força eletromotriz e, conseqüentemente, correntes elétricas em corpos condutores existentes na subsuperfície, as quais geram o campo secundário (H_s). Este, por sua vez, induz uma voltagem oscilante na bobina receptora (Rx) do sistema, que está sintonizada na mesma frequência do Tx (Figura 6).

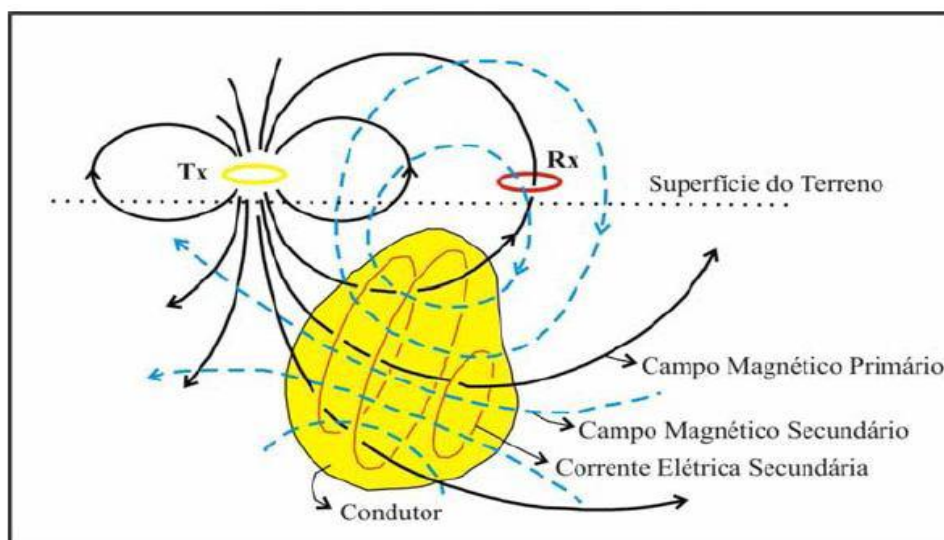


Figura 6: Princípio do método eletromagnético.
Fonte: adaptado de Luiz e Silva (1995).

Essa voltagem induzida na bobina receptora é separada em duas componentes: uma que se comporta em fase com o campo primário (componente em fase ou componente real) e uma segunda que se encontra um quarto de período fora de fase (componente fora de fase, componente imaginária ou componente em quadratura).

As componentes em fase e em quadratura do campo magnético vertical secundário são medidas para cada uma das frequências em percentagem do campo primário, cujo sinal chega ao receptor por meio de um cabo.

Os arranjos entre o transmissor e o receptor são selecionados dependendo do tipo de aplicação, seja para perfilagem horizontal (medidas na variação lateral de resistividade através da superfície) ou para sondagem (medidas da variação de resistividade com a profundidade). As perfilagens horizontais são realizadas deslocando-se lateralmente o transmissor e o receptor, mantidos a uma separação constante. Já as sondagens eletromagnéticas (SEM) consistem em medidas com diversas frequências ou durante um intervalo de tempo usando fonte e receptor fixos.

Como o arranjo mais popular é o horizontal coplanar, em que tanto a bobina transmissora quanto a receptora ficam no plano horizontal, o sistema Slingram é comumente chamado de HLEM (Horizontal Loop Eletromagnetic). A Figura 7 ilustra a típica resposta HLEM de um corpo condutivo vertical em uma rocha encaixante menos condutiva e em contato com a cobertura geralmente condutiva, a qual representa o manto de intemperismo, que ocorre amplamente em ambientes tropicais.

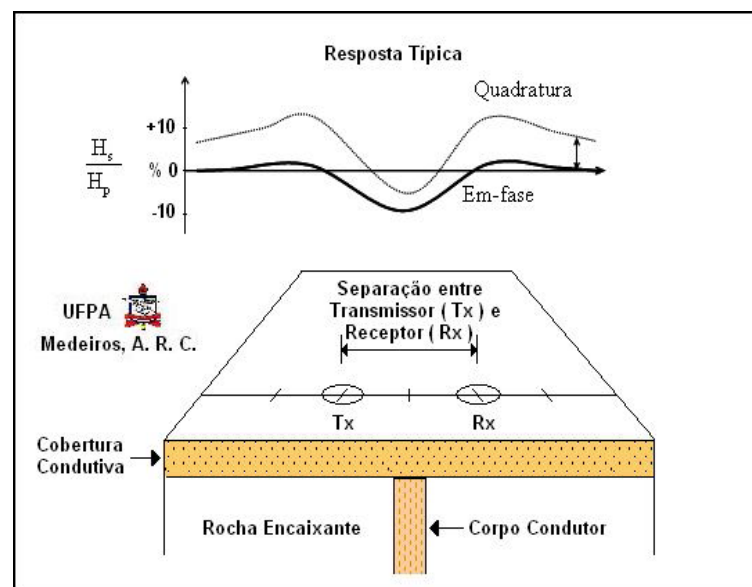


Figura 7: Perfil HLEM sobre um corpo condutor (campo secundário (H_s), campo primário (H_p)).

Fonte: Adaptado de Medeiros (2009).

Os valores do campo próximo às zonas condutivas variam. Os valores da componente em fase são inicialmente iguais a zero, a seguir crescem até um valor máximo, depois decrescem tornando-se negativos até atingirem um valor mínimo sobre a zona condutiva, e em seguida, crescem novamente até um valor máximo e voltam à zero. A componente em quadratura tem o mesmo comportamento da componente em fase, mas, na presença do manto de intemperismo pode se tornar reversa como também desenvolver um pico extra-adicional. (SILVA e VERMA, 1991)

6.2 RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO (GPR)

O método do Radar de Penetração no Solo, GPR (Ground Penetrating Radar) ou Georadar envolve a produção de uma onda eletromagnética de alta frequência (10 a 2500 MHz) a partir de uma antena transmissora colocada nas proximidades da superfície do terreno. As ondas se propagam em matérias da subsuperfície sofrendo reflexão, refração e difração. As ondas refletidas que retornam a superfície são detectadas na mesma antena transmissora ou em outra colocada à distância apropriada, fornecendo informações da subsuperfície (Figura 8). Desse modo, obtém-se o tempo necessário para a onda completar o percurso antena transmissora – interface – antena receptora. A profundidade das interfaces pode, então, ser determinada a partir da velocidade de propagação da onda.

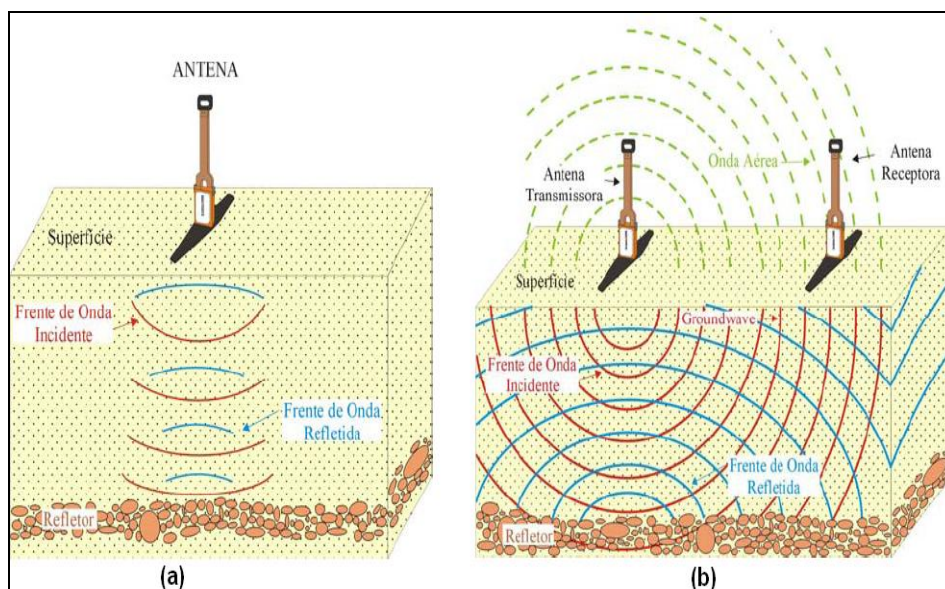


Figura 8: (a) antena monoestática e (b) antena biestática.
 Fonte: adaptado de BORGES, 2007.

A velocidade de propagação das ondas eletromagnética (EM) em condições de baixa perda depende basicamente da constante dielétrica dos materiais e pode ser estimada através da seguinte expressão:

$$v = c / \sqrt{k}, \quad (1)$$

em que c é a velocidade da luz no vácuo ($0.3 \text{ m/}\eta\text{s}$) e k , a constante dielétrica (razão entre as permissividades do material e do vácuo).

A Figura 9 reúne materiais com diferentes propriedades mais a velocidade de propagação da onda EM e sua atenuação.

Material	ϵ_r	σ (mS/m)	v (m/ns)	α (dB.m)
Ar	1	0	0,30	0
Água destilada	80	0,01	0,033	0,002
Água fresca	80	0,5	0,033	0,1
Água do mar	80	3000	0,01	1000
Areia seca	3-5	0,01	0,15	0,01
Areia saturada	20-30	0,1-1	0,06	0,03-0,3
Calcário	4-8	0,5-2	0,12	0,4-1
Folhelho	5-15	1-100	0,09	1-100
Siltito	5-30	1-100	0,07	1-100
Argila	5-40	2-1000	0,06	1-300
Granito	4-6	0,01-1	0,13	0,01-1
Sal seco	5-6	0,01-1	0,13	0,01-1
Gelo	3-4	0,01	0,16	0,01

Figura 9: Constante dielétrica (ϵ_r), condutividade elétrica (σ), velocidade (v) e atenuação (α) típicas de alguns materiais

Fonte: adaptado de Davis e Annan (1989).

A profundidade de investigação e a resolução do GPR dependem da frequência da antena, além da resistividade do meio de propagação. As baixas resistividades e elevadas frequências contribuem para uma menor penetração. Entretanto, as elevadas frequências contribuem para que haja uma maior discriminação do material investigado, ou seja, permitem a visualização de alvos de dimensões reduzidas. Isto se dá devido à capacidade de discriminação estar relacionada ao comprimento de onda, que para uma determinada velocidade, diminui com a frequência de acordo com a relação:

$$\lambda = v / f, \quad (2)$$

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 m, em áreas onde a cobertura geológica seja eletricamente muito condutora (rica em argila), até profundidades superiores a 25 m, em áreas de cobertura pouco condutora (areias sem argila e cascalhos) (BERES JR. e HAENI, 1991).

7 MÉTODO HIDROGEOQUIMICO

A hidrogeoquímica estuda a composição química da água, principalmente no que diz respeito a sais e outras substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas relacionam os teores destas substâncias a possíveis danos ou benéficos a saúde de animais, vegetais, assim como sua repercussão na qualidade do solo e dos processos indústrias que utilizam água. De uma forma mais extensa pode-se dizer que a hidrogeoquímica estuda a qualidade química da água, incluindo os processos naturais e antrópicos capazes de modificar esta qualidade química, em especial os processos ditos poluidores.

Será apresentada a seguir uma breve descrição de alguns dos parâmetros geoquímicos.

7.1 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

Os sais dissolvidos e ionizados presentes na água transformam-na num eletrólito capaz de conduzir a corrente elétrica. Como há uma relação de proporcionalidade entre o teor de sais dissolvidos e a condutividade elétrica, pode estimar o teor de sais pela medida de condutividade de uma água. No Sistema Internacional, adotado pelo Brasil, a unidade de condutância é Siemens, abreviando-se S. Para as água subterrâneas usa-se à microSiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

7.2 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (PH)

É a medida da concentração de íons H^+ na água. Os principais fatores que determinam o pH da água são: o gás carbônico dissolvidos e a alcalinidade. O pH da água subterrânea varia entre 5 e 8,5 e é adimensional.

7.3 SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS (STD)

É a soma dos teores de todos os constituintes minerais presentes na água. A medida de condutividade elétrica, multiplicada por um fator que varia entre 0,55 e 0,75, fornece uma boa estimativa do STD de uma água subterrânea. Segundo o padrão de potabilidade da

Organização Mundial de Saúde - OMS, o limite máximo permissível de STD na água é de 1000 mg/l.

7.4 SALINIDADE

É uma medida da quantidade de sais existentes em massas de água naturais como oceanos, lagos, estuários ou aquíferos. Essa medida, normalmente, é dada em porcentagem (%).

8 LEVANTAMENTO GEOFÍSICO

Os levantamentos dos dados na fazenda Nossa Senhora de Fátima foram realizados nos dias 16 de outubro e 23 de dezembro de 2009, dentro do período de menor índice de pluviométrico na região. As direções dos perfis do Slingram e do GPR foram Norte-Sul ou Oeste-Leste (Figura 10).

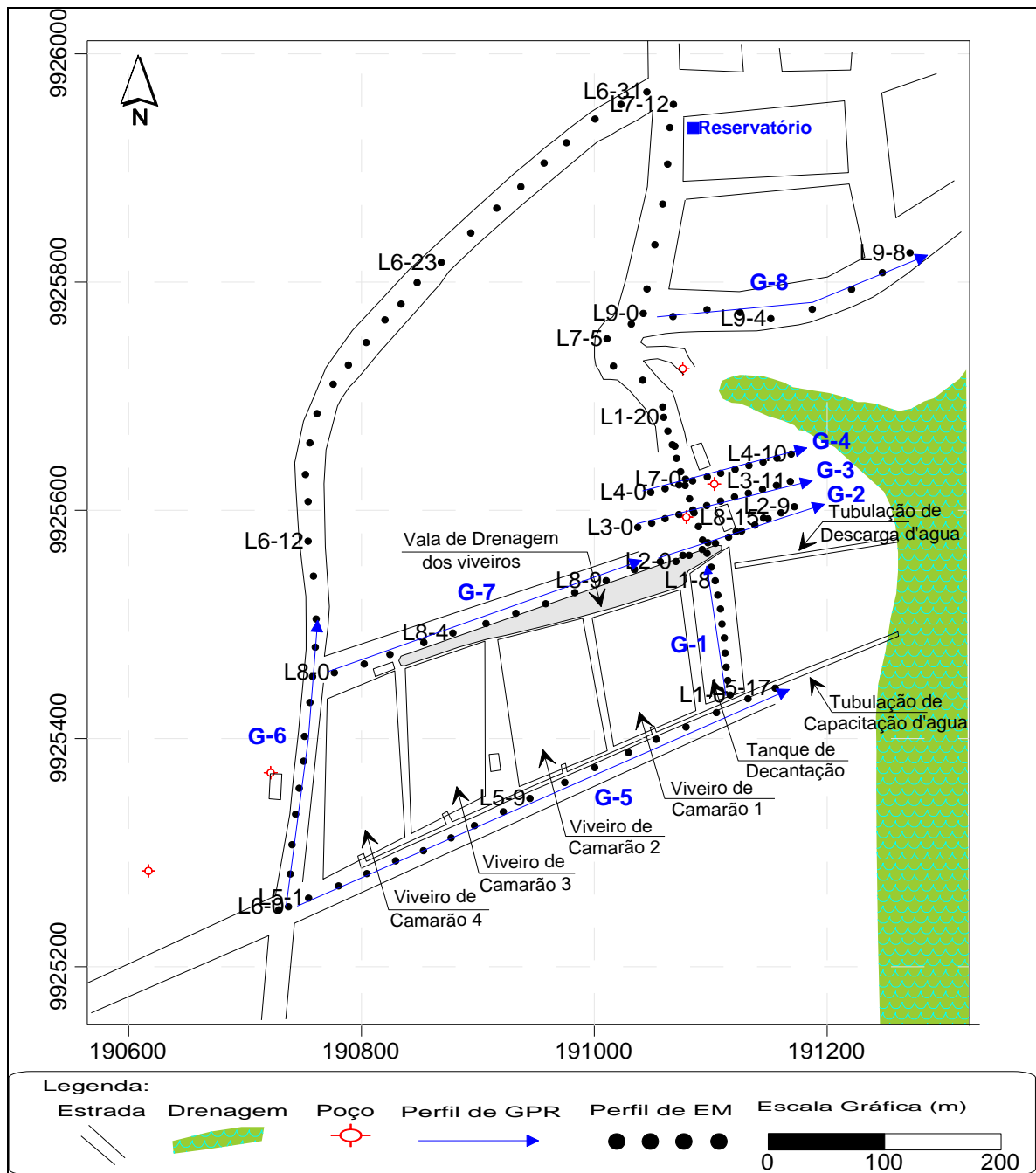


Figura 10: Mapa de localização do levantamento geofísico
Fonte: Pesquisa de campo, 2009.

8.1 SLINGRAM

O trabalho consistiu ao longo de nove perfis utilizando o sistema Slingram HLEM, com o equipamento MAX MIN I fabricado pela companhia APEX Parametrics Ltda., opera nas frequências múltiplas e inteiras de 110 Hz (Figura 11). As oitos frequências (110, 220, 440, 880, 1760, 3520, 7040 e 14080 Hz) permitiram a obtenção de uma imagem da subsuperfície abaixo dos perfis.

a)



b)



Figura 11: Imagem do equipamento MAX MIN I. a) A bobina receptora (Rx) e b) A bobina transmissora (Tx).

Fonte: Pesquisa de campo, 2009.

8.1.1 Operação de Campo

O levantamento dos dados com o método Eletromagnético HLEM foi realizado nos dias 16 de outubro e 23 de dezembro de 2009. As medidas foram realizadas ao longo de nove perfis orientados segundo as direções S-N (perfis L 1, 6 e 7) e W-E (perfis L 2, 3, 4, 05 e 9), como mostra a Figura 9.

No levantamento realizado, as leituras da componente em fase (componente real) e quadratura (componente imaginária), foram tomadas para as oito frequências disponíveis no equipamento. A separação entre as bobina transmissora e receptora foi igual a 50 m e as leituras foram realizadas a intervalos de 12,5 m (perfis L1 a 4) e de 25 m (perfis L5 a 9). Para o posicionamento das estações foi utilizado um GPS (Garmin Etrex) na projeção UTM, com elipsóide South American Datum – SAD-69.

8.1.2 Apresentação de Resultados

Considerando-se a resposta característica do HLEM, em que a componente em fase apresenta forte anomalia de único pico negativo sobre corpo condutivo e que não apresenta problemas de reversão ou pico adicional, a avaliação dos resultados será feita nessa componente, uma vez que o objetivo é verificar se houve ou não a contaminação por água salgada, o que pode gerar uma anomalia de condutividade elétrica.

Os valores obtidos para a componente em fase do campo secundário são apresentados sob a forma de mapas de contornos e pseudo-seções. As medidas da componente em fase, $Re[H_s] = (\%)HP$, variaram em um intervalo de -70% a 70%, por isso, os dados são apresentados dentro desse intervalo nos mapas de contornos e pseudo-seções. Para aperfeiçoar a observação, tanto os mapas de contornos como as pseudo-seções foram construídos com preenchimento entre linhas de isovalores dentro de um espectro de cinco cores (azul, verde, amarela, vermelha e roxa), representando a cor azul as porções condutivas (< -25% de H_p) e a cor vermelha e roxa representam as porções resistivas da subsuperfície (> 25% de H_p). O posicionamento das medidas e as respostas eletromagnéticas foram sobrepostos ao mapa base da área.

Os mapas de contornos de isovalores da componente em fase foram confeccionados para cada frequência, mostrando a investigação em planos desde o mais raso, com as medidas na frequência de 14080 Hz, ao mais profundo, com as medidas na frequência de 110 Hz. As pseudo-seções foram feitas para todas as frequências, mostrando a varredura lateral e em profundidade sob cada perfil levantado.

A Figura 12 mostra os mapas de contornos para as quatro frequências mais altas, enquanto a Figura 13, para as quatro frequências mais baixas. A Figura 14 apresenta um bloco diagrama 3D que reúne todos os mapas de contornos, mostrando a investigação da área de forma integrada. A Figura 15, por sua vez, mostra as pseudo-seções para os nove perfis levantados na área de estudo.

8.1.3 Interpretação

Na área dos tanques, aparecem zonas bastante condutivas para as respostas às frequências mais altas (14080, 7040, 3520 Hz) e, considerando que o terreno é de solo arenoso e estava seco no período, as anomalias sugerem que houve infiltração de água salgada através da vala de drenagem dos viveiros de camarão para o tanque de decantação e no próprio tanque de decantação. Essa contaminação salina pode ter ocorrido durante o esvaziamento da água dos viveiros (após a despescagem dos camarões) e pode ter continuado pela permanente drenagem conseqüente da manutenção do nível máximo de água dos viveiros. Como se pode ver no Anexo 1, essa vala (no período do estudo) estava com a lona completamente deteriorada e, assim, não podia garantir a impermeabilização.

De forma detalhada, observando a resposta da componente em fase da frequência 14080 Hz – investigação mais rasa - os focos (lugares prováveis da infiltração) podem ser observados nos seguintes pontos:

- 1- L8-04, coincidindo com início da vala de drenagem e a saída de água do segundo viveiro;
- 2- L8-08, ainda na vala de drenagem; e
- 3- Sob o tanque de decantação.

Pela resposta da frequência 7040 Hz, observa-se uma migração em leque para Este, desde NE até SE. Essa migração pode ser bem observada através dos perfis L1 (N-S, desde o tanque de decantação), L2, L3 e L4, localizados paralelos à vala de drenagem. A direção da migração pode ser justamente a direção do fluxo de água do freático e, nesse trecho, há uma diferença de um metro na topografia no sentido W-E.

Na resposta da frequência 3520 Hz observa-se a base da infiltração, pois em seguida, na resposta da frequência 1760 Hz, a anomalia de condutividade desaparece por completo. E, não há mais a presença de anomalia de condutividade para as demais frequências.

Comparando os perfis L6, L7 e L9 e o início de L8 com os outros perfis verifica-se a presença de zonas bastante resistivas (em vermelho), indicando que não ocorreu contaminação nesses trechos, mesmo na resposta às frequências mais altas e que continuam em profundidade, até a frequência de 880 Hz. Essas zonas altamente resistivas podem ser associadas à presença de lateritas.

Concluindo esta análise, as zonas altamente condutivas estão presentes tão somente na área dos tanques e no seu entorno, somente também para as três frequências mais altas, significando que essa resposta da componente em fase não é referente ao tipo de ambiente da

subsuperfície local, mas é, de fato, a resposta característica da infiltração da água salgada. Por fim, tudo indica que houve contaminação por água salgada a partir dos tanques, poluindo localmente o aquífero freático, o que pode ter sido a causa da salinização da água dos poços P1 e P2, nas duas residências próximas aos tanques, mas, que não atingiu o poço P5 que abastece a Vila de Caratateua, cujas análises físico-químicas também confirmam (Tabela1 e fotos no Anexo). Para profundidades maiores, a resposta das frequências 440, 220 e 110 Hz indicam um meio de condutividade mediana, normal, não anômalo.

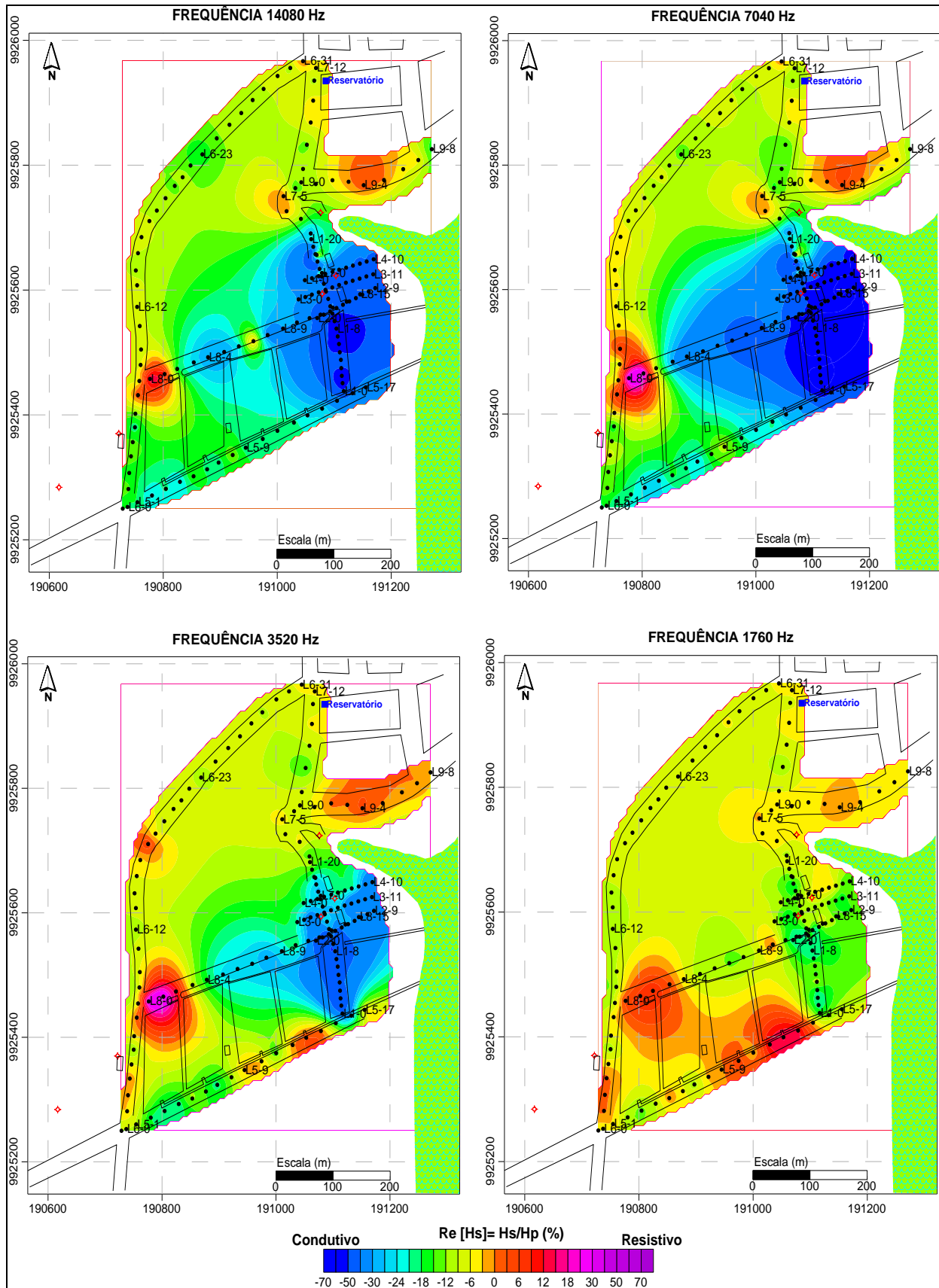


Figura 12: Mapas de contornos da componente em fase do campo magnético secundário para as Frequências 14080, 7040, 3520 e 1780 Hz

Fonte: Pesquisa de campo, 2009.

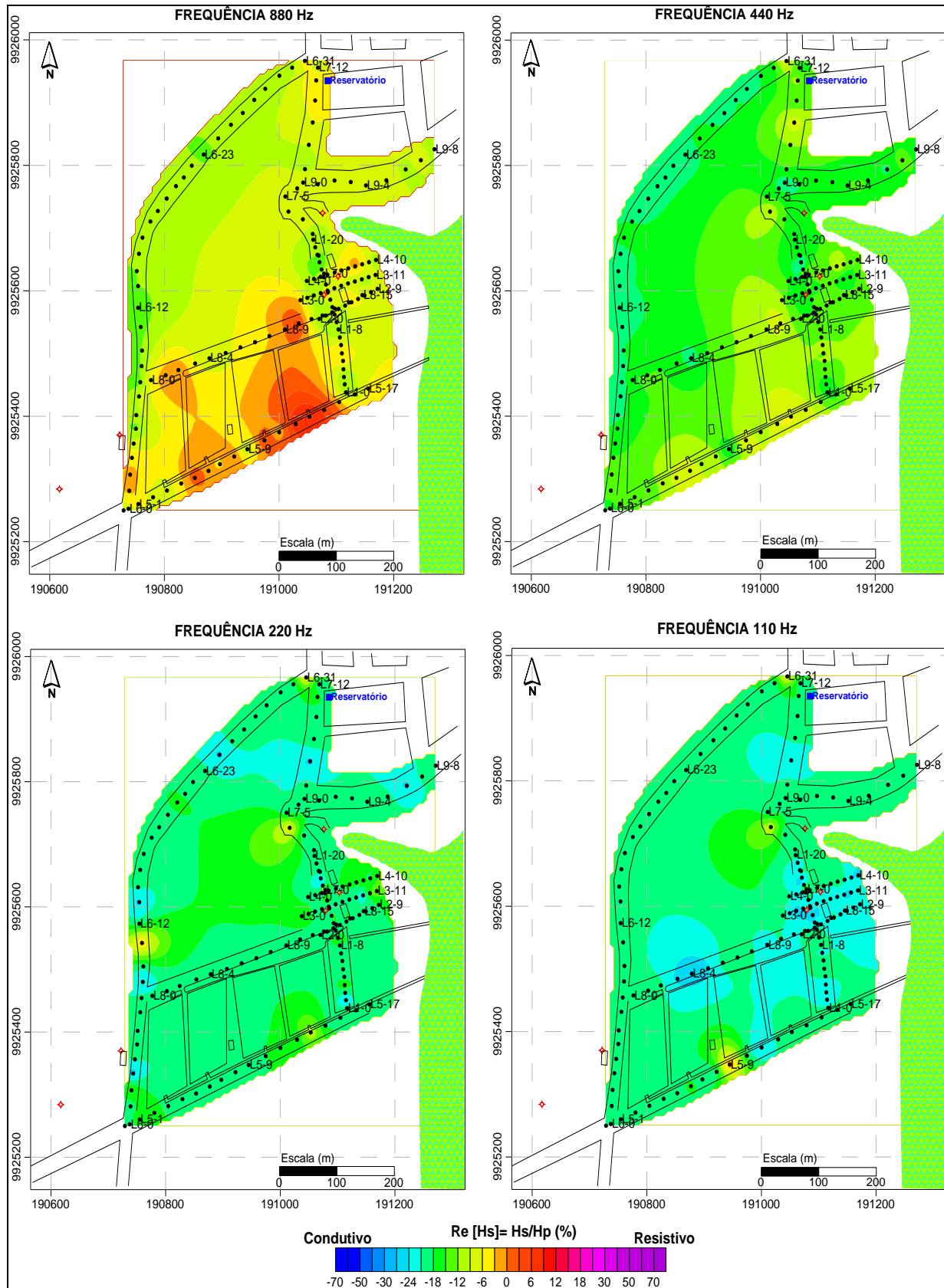


Figura 13: Mapas de contornos da componente em fase do campo magnético secundário para as frequências 880, 440, 220 e 110 Hz.

Fonte: Pesquisa de campo, 2009

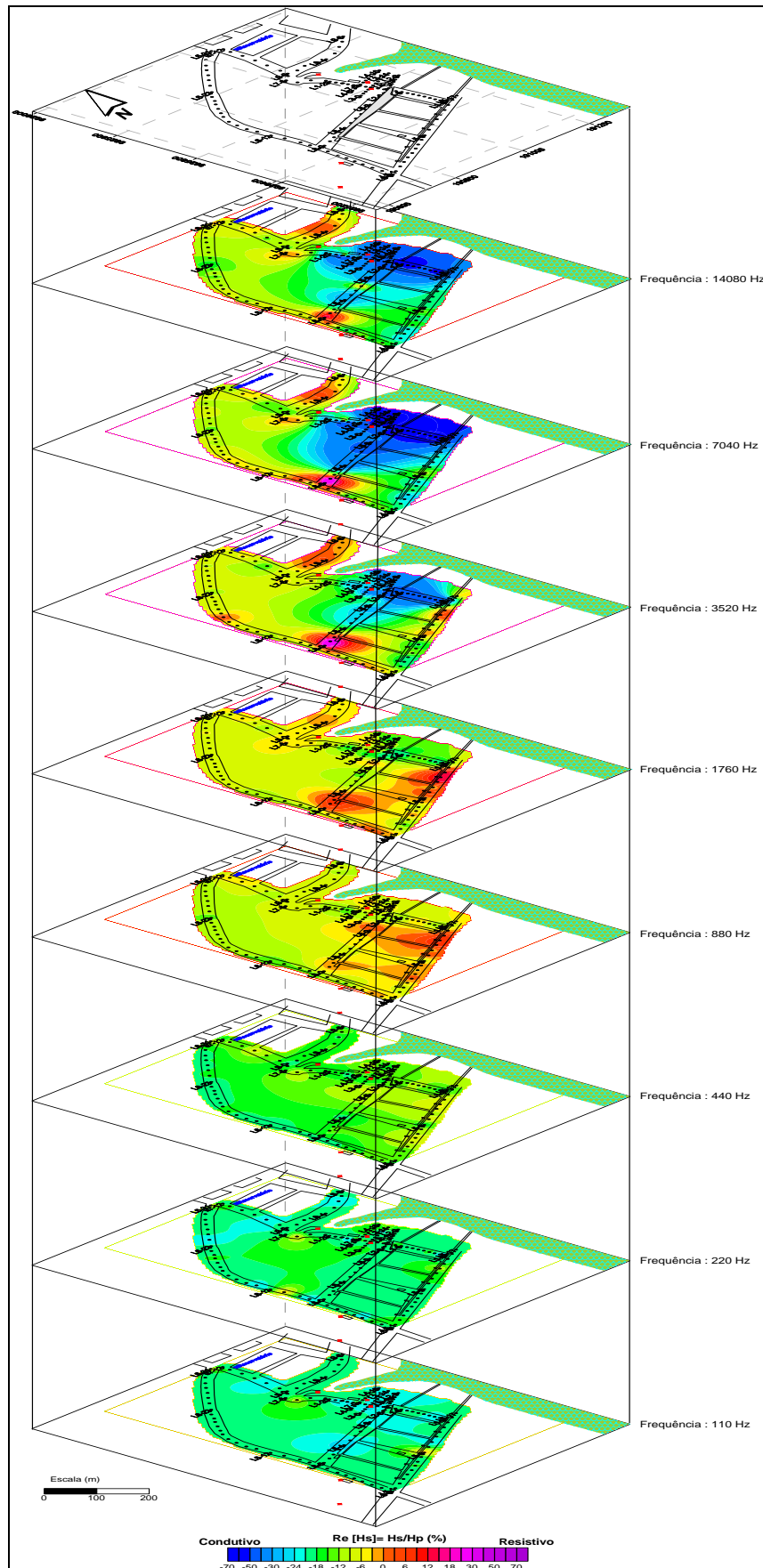


Figura 14: Bloco diagrama 3D da componente em fase para as oito frequências.
 Fonte: Pesquisa de campo, 2009.

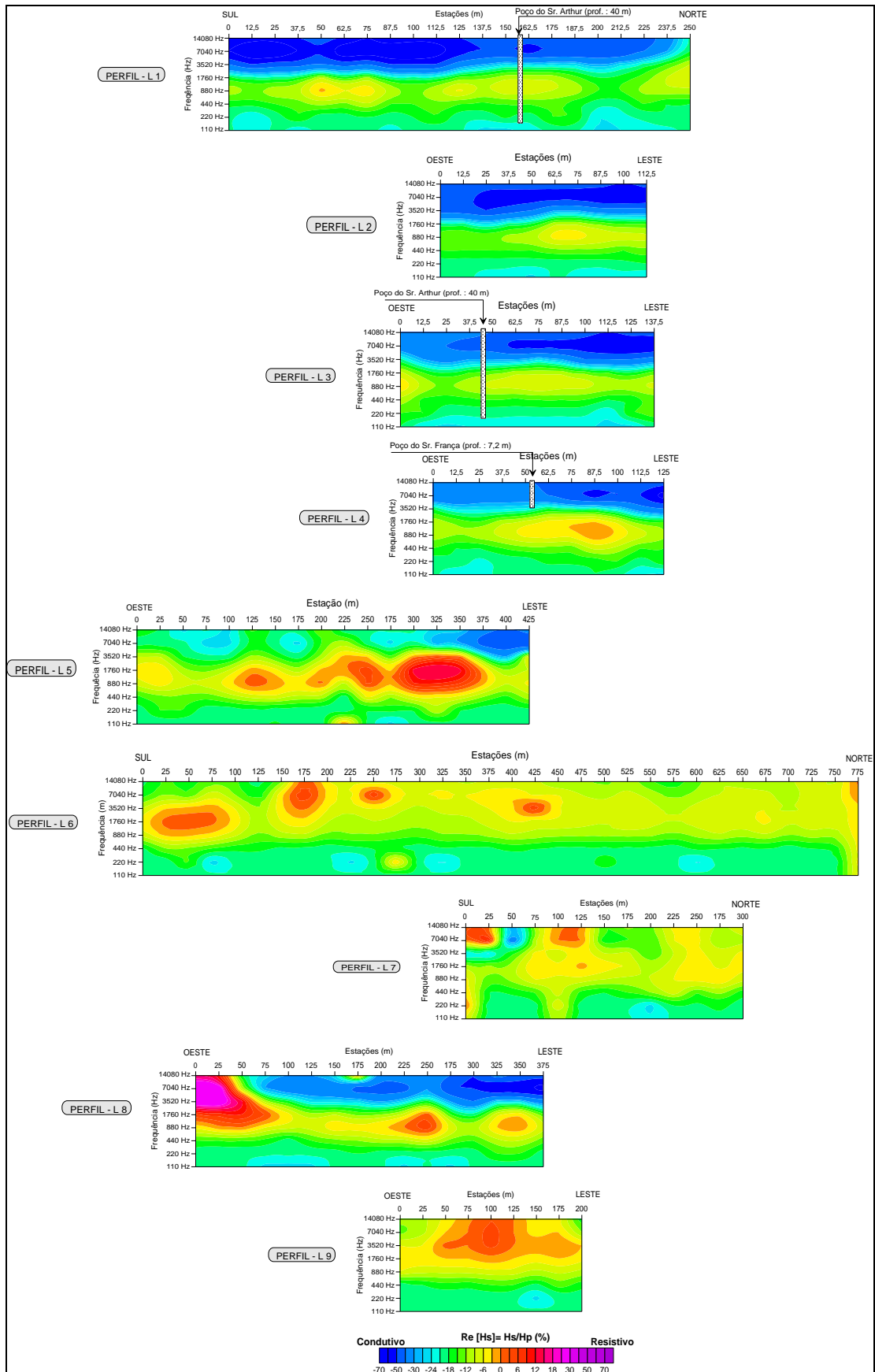


Figura 15: Pseudo-seções da componente em fase para os nove perfis.
Fonte: Pesquisa de campo, 2009.

8.2 RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO

O levantamento de dados com o GPR foi realizado ao longo de oito perfis utilizando o sistema SIR-3000 da Geophysical Survey System, Inc. (GSSI), que permite a operação biestática com conjunto de antenas blindada de 200 MHz (Figura 16). As medidas foram tomadas afastamento comum no modo tempo, com posicionamento controlado pela inserção de marcas no registro a intervalos de 50 em 50 m.



Figura 16: Imagem do equipamento SIR-3000 da GSSI, com antena de 200 MHz.

Fonte: Pesquisa de campo, 2009.

8.2.1 Operação de Campo

A aquisição dos dados com o método do Radar de Penetração no Solo foi realizado no dia 16 de novembro de 2009. O levantamento foi realizado ao longo de oito perfis orientados segundo as direções S-N (perfis G1 e G6) e W-E (perfis G2, G3, G4, G5, G7 e G8) como mostra a Figura 10.

A janela de tempo usada na aquisição foi de 250 ns atingindo a profundidade de aproximadamente 10 m.

8.2.2 Processamento

Ao se propagarem na subsuperfície, as ondas eletromagnéticas emitidas pelo GPR interagem com o meio sofrendo perdas causadas por espalhamento e atenuação. Essas perdas influenciam na qualidade do sinal registrado, mascarando a forma das estruturas e objetos no subsolo. Além disso, outros efeitos podem surgir no registro como ondas aéreas e diretas. Portanto, os dados medidos precisam ser processados para facilitar a interpretação dos materiais.

Neste trabalho, o processamento dos dados de GPR foi realizado com o programa Reflex-Win 4.2 da Sandmeier Software, pertencente à Faculdade de Geofísica da UFPA. A seguinte seqüência de processamento foi utilizada:

- a) Interpolação das marcas de posicionamento;
- b) Correção estática ou tempo zero;
- c) Aplicação do filtro passa alta (DEWOW);
- d) Aplicação de filtro passa banda;
- e) Determinação da velocidade de propagação da onda de 0,15 m/ηs, segundo a tabela de Davis e Annan (1989) e a medida do nível freático local nos poços;
- f) Conversão da escala vertical de tempo em profundidade.

8.2.3 Interpretação

As Figuras 17 a 24 mostram radargramas obtidos para cada um dos oito perfis reunidos da seguinte maneira: a) radargrama obtido com dados brutos, nos perfis G3 e G5 com a correção estática; b) radargrama processado; e, c) radargrama interpretado.

Primeiramente, são interpretados os radargramas de dentro da fazenda Nossa Senhora de Fátima e, posteriormente, ao redor da fazenda. A interpretação foi baseada na forma gráfica das feições encontradas tendo como base a continuidade e aspectos da reflexão do sinal.

8.2.3.1 Perfil G1

O perfil G1 (Figura 17) foi medido dentro do tanque de decantação, no sentido S-N, e tem 100 m de extensão (Figura 10). Este perfil foi realizado ao longo dos primeiros 100 m da linha L1 do levantamento Slingram.

O radargrama evidencia a presença de duas zonas muito atenuadas, que constituem de zonas de sombra (sem reflexão), entre as posições 0 a 50 m e 56 a 62 m. A causa da atenuação é provavelmente a infiltração da água salgada, após a drenagem dos viveiros.

Ocorre também um refletor irregular nas posições 51 a 56 m e a partir dos 62 m, essas zonas de reflexos nítidas podem ser ocasionadas pelo topo das concreções lateríticas, muito comum na área estudada.

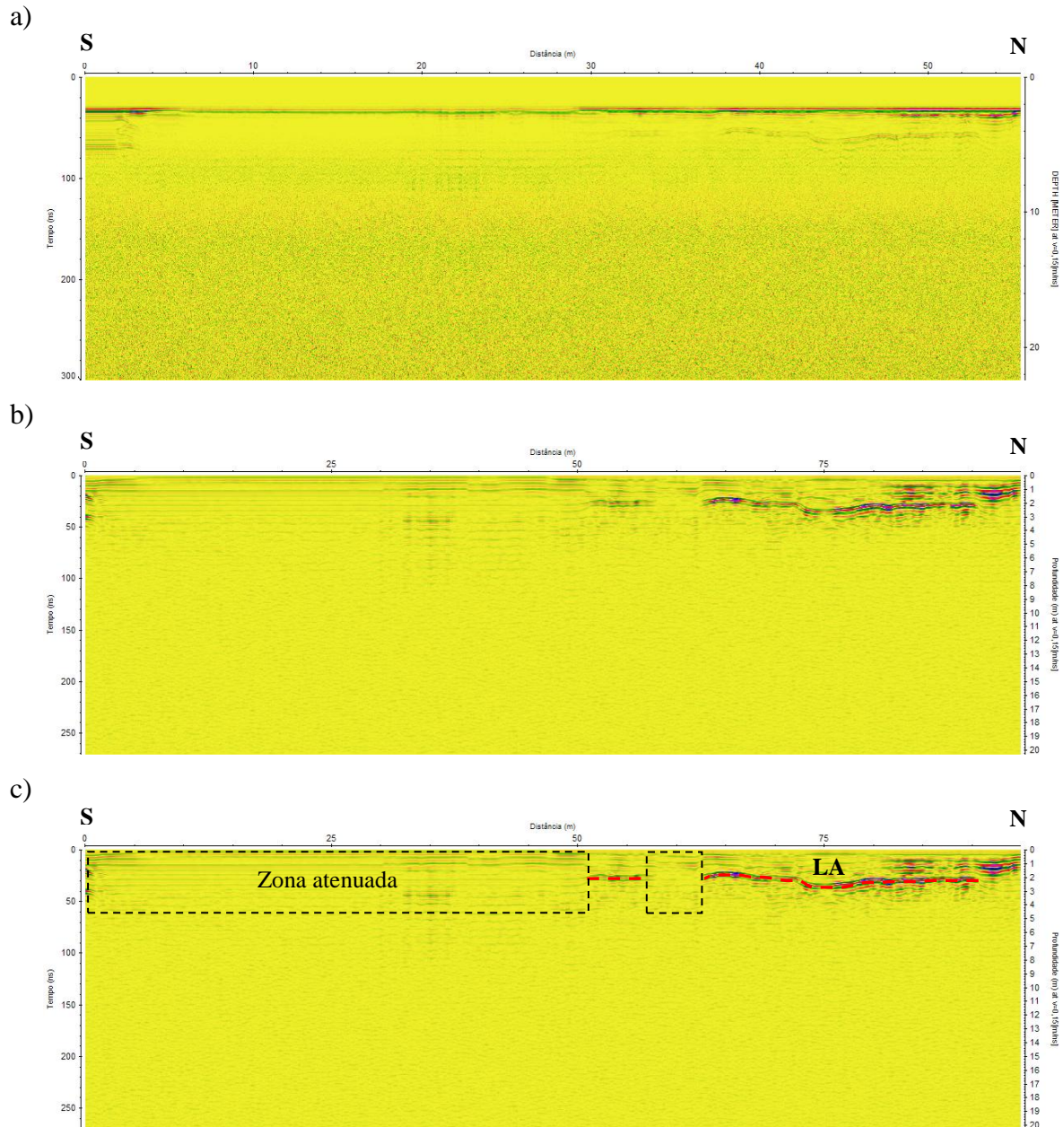


Figura 17: Radargrama obtidos no Perfil G1: a) Perfil bruto; b) Perfil processado; c) Perfil interpretado (Laterita - LA).

Fonte: do autor, 2009.

8.2.3.2 Perfil G2

O radargrama do perfil G2 (Figura 18) foi realizado ao longo da linha L2 do levantamento Slingram. O perfil foi levantado ao norte do tanque de decantação no sentido W-E com uma extensão de 116 m (Figura 10).

No radargrama se destaca a presença de um refletor irregular forte ao longo de todo o perfil a uma profundidade variando de 2 a 3 m. Essa superfície irregular do refletor e sua variação na espessura sugerem a ocorrência o topo de ocorrência de concreção laterítica.

Verifica-se também a presença de um refletor horizontal a uma profundidade de 6,5 m, que pode ser indicativo do nível freático local.

Além disso, observa-se no radargrama uma zona com fraca reflexão do sinal, na posição de 0 a 27 m, e uma de forte reflexão, na posição de 28 a 116m. Esse comportamento foi provocado pela mudança, durante a aquisição dos dados, do terreno com a superfície com capim para o terreno sem capim.

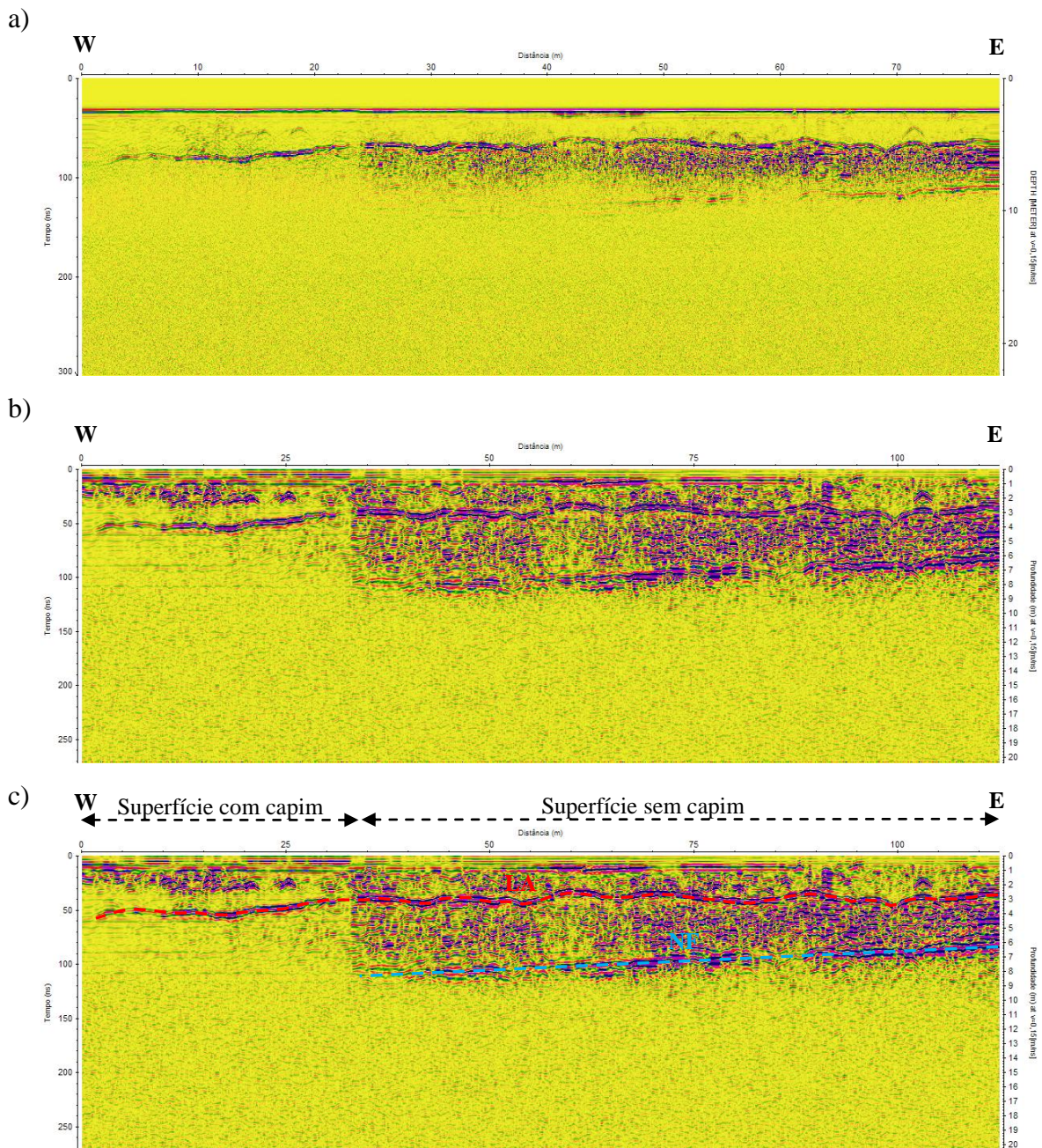


Figura 18: Radargrama obtidos no Perfil G2: a) Perfil bruto; b) Perfil processado; c) Perfil interpretado (Laterita - LA e Nível Freático - NF).

Fonte: do autor, 2009.

8.2.3.3 Perfil G3

O perfil G3 (Figura 19) foi realizado sobre a linha L3 de Slingram, paralelo ao perfil G2, estendendo no sentido W-E com uma extensão de 100 m. Esse perfil é o mais próximo do poço tubular contaminado de 40 m de profundidade da residência do Sr. Artur (P2 na Figura 25).

No radargrama se destaca, assim como no perfil G2, a presença de um forte refletor irregular ao longo de todo o perfil a uma profundidade variando de 2 a 3 m. Essa superfície irregular do refletor e sua variação na espessura sugerem a ocorrência do topo de concreção laterítica.

Verifica-se também a presença de um refletor horizontal a uma profundidade de 6,5 m, que deve corresponder, provavelmente, ao nível freático local.

Ocorre a perda do sinal na posição de 30 m. Essa atenuação pode estar relacionada à ação de bombeamento do poço tubular contaminado (poço P2).

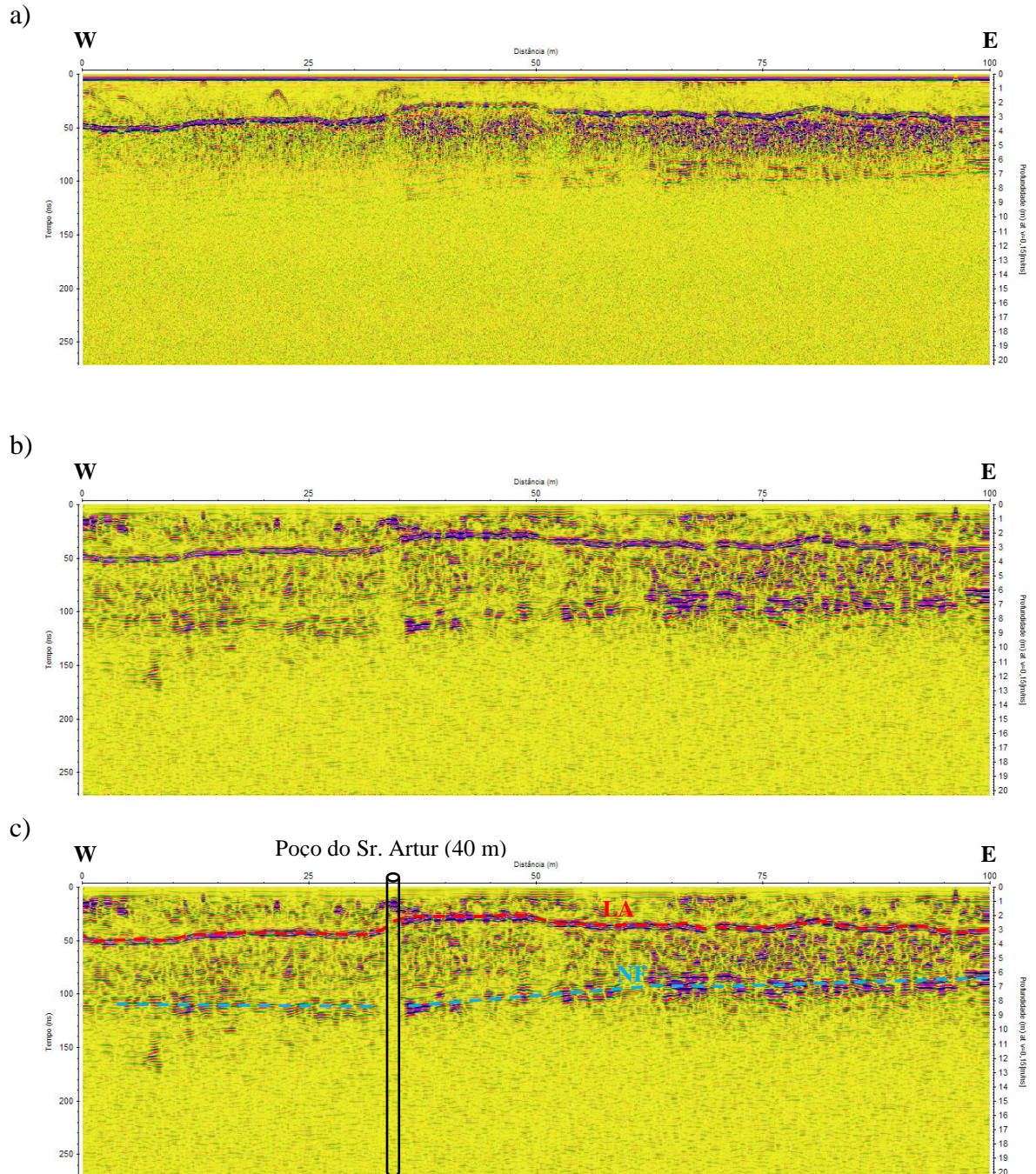


Figura 19: Radargrama obtidos no Perfil G3: a) Perfil bruto (com correção estática); b) Perfil processado; c) Perfil interpretado (Laterita - LA e Nível Freático - NF).

Fonte: do autor, 2009.

8.2.3.4 Perfil G4

O perfil G4 foi realizado paralelo ao perfil G3 (Figura 10) com uma extensão de 100 m. Esse perfil é o mais próximo do poço amazonas contaminado da residência do Sr. França (P1, na Figura 25) e coincide com a linha L4 do levantamento Slingram. O radargrama obtido neste perfil está representado na Figura 20.

Neste radargrama se destaca, assim como nos perfis G2 e G3, a presença de um forte refletor irregular ao longo de todo o perfil a uma profundidade variando de 2 a 3 m, provavelmente o topo de concreção laterítica.

Verifica-se também a presença de um refletor horizontal a uma profundidade de 6,5 m, que pode retratar do nível freático local.

Observa-se ainda, tanto nas imediações do poço como para oeste, a atenuação do sinal sugestivas de um aumento na condutividade que podem estar relacionadas a contaminação salina.

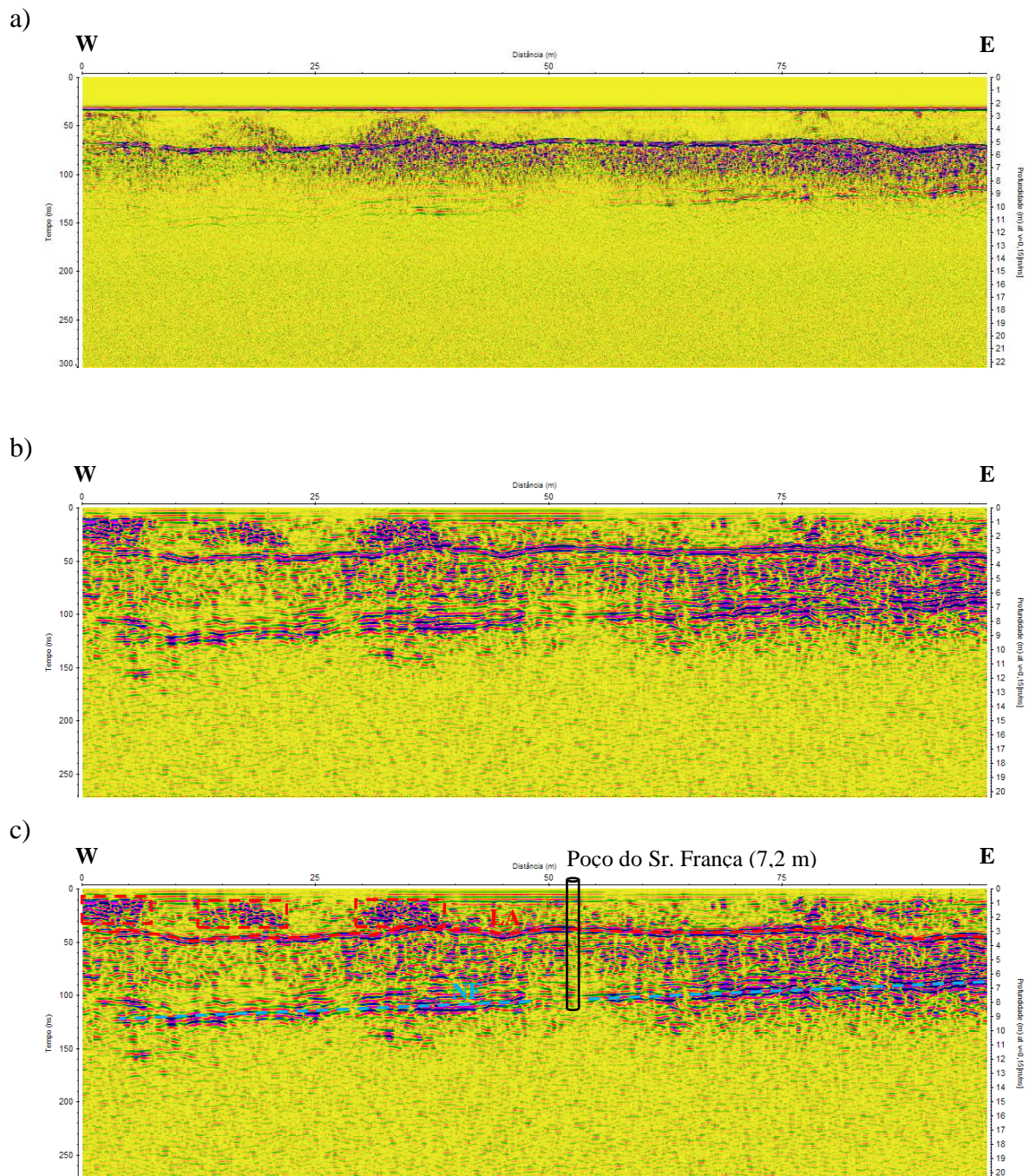


Figura 20: Radargrama obtidos no Perfil G4: a) Perfil bruto; b) Perfil processado; c) Perfil interpretado (Laterita - LA e Nível Freático - NF).
Fonte: do autor, 2009.

8.2.3.5 Perfil G5

O perfil G5 foi efetuado dentro da fazenda, paralelo a lateral dos quatro viveiros e o tanque de decantação, com o comprimento de 450 m (Figura 10). Esse perfil coincide com a linha L5 do levantamento Slingram e está representado na Figura 21.

No radargrama foi identificado, a partir da posição de 175 m, um forte refletor irregular, associado ao provável topo de laterita a uma profundidade de 2 a 4 m.

Nesse perfil não foi possível detectar o nível freático. A atenuação do sinal que caracteriza a maior parte do perfil pode ser sugestiva da maior ocorrência na área da fração argila do que a presença de água com sais.

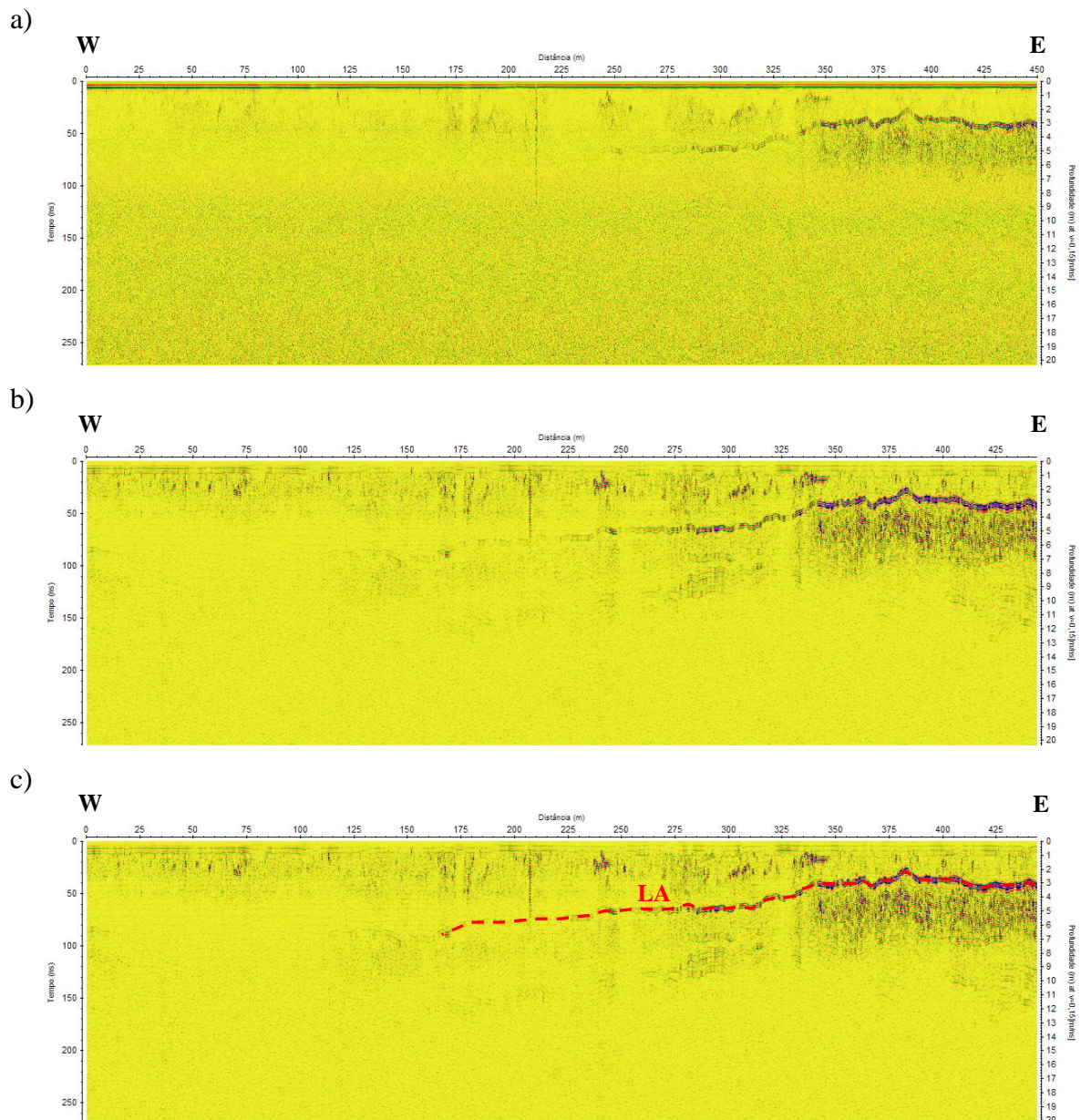


Figura 21: Radargrama obtidos no Perfil G3: a) Perfil bruto (com correção estática); b) Perfil processado; c) Perfil interpretado (Laterita)

Fonte: do autor, 2009.

8.2.3.6 Perfil G6

O perfil G6 foi realizado na rua de acesso a Vila Caratateua (Figura 10), fora da área de estudo. Esse perfil, sentido S-N, tem extensão de 260 m e coincide com os primeiros 260 m da linha L6 do levantamento Slingram.

Na Figura 22, o radargrama apresenta um refletor irregular nas posições 0 a 100 m e entre 125 a 200 m. A presença desse refletor, entre as profundidades de 6 a 7 m, sugere a existência de blocos lateríticos.

Verifica-se também, nas posições 0 a 65 m, um suave refletor horizontal, na profundidade de 9,5 m, que corresponde ao provável nível freático.

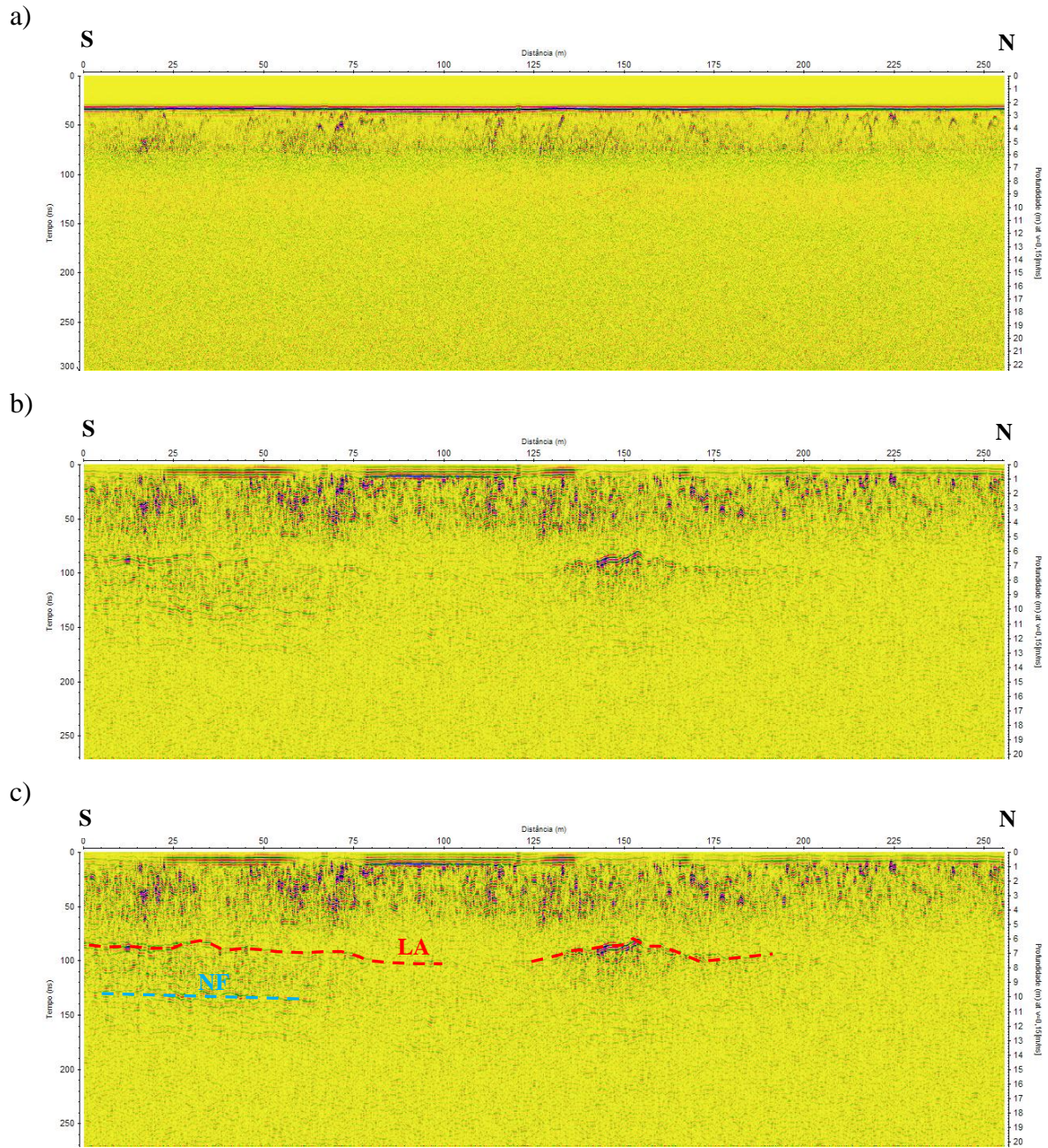


Figura 22: Radargrama obtidos no Perfil G4: a) Perfil bruto; b) Perfil processado;

c) Perfil interpretado (Laterita - LA e Nível Freático - NF).

Fonte: do autor, 2009.

8.2.3.7 Perfil G7

O perfil G7 (Figura 23) foi realizado paralelo aos quatro viveiros e a vala de drenagem do viveiros (Figura 10), cobrindo 300 m na direção W-E. O perfil coincide com a linha L8 do levantamento Slingram.

O radargrama obtido neste perfil mostra duas zonas de atenuação do sinal (zonas de sombra) entre 70 a 120 m e entre 210 a 240 m. Essas zonas estão provavelmente relacionada à infiltração da água salgada através da vala de drenagem.

É observado, ainda, a presença de refletor irregular nas posições de 125 a 145 m, 175 a 210 m e 250 a 300 m. Essa superfície na imagem é provavelmente ocasionada pela laterita variando nas profundidades de 4 a 5 m.

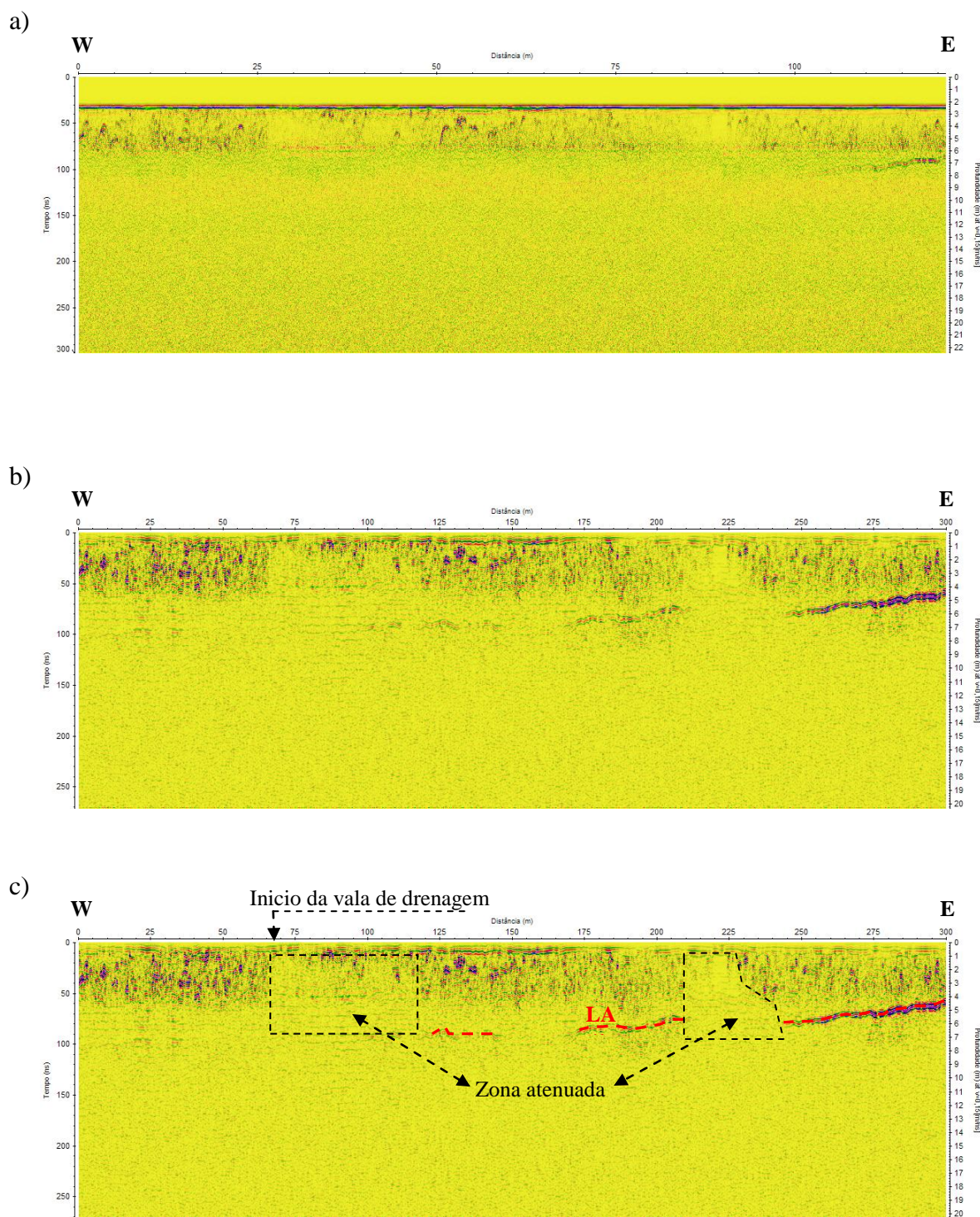


Figura 23: Radargrama obtidos no Perfil G4: a) Perfil bruto; b) Perfil processado; c) Perfil interpretado (Laterita - LA).

Fonte: do autor, 2009.

8.2.3.8 Perfil G8

O perfil G8 (Figura 23) foi realizado próximo ao poço tubular que abastece a Vila de Caratateua (Figura 9), com uma extensão de 200 m. Esse perfil, realizado na direção W-E, coincide com a linha L9 do levantamento Slingram.

O radargrama apresenta um refletor irregular ao longo do perfil. A presença desse refletor, entre as profundidades de 4 a 6 m, pode indicar o topo de laterita. Nas posições de 50 a 120 m, encontra-se uma zona com bloco laterítico que aflora na superfície.

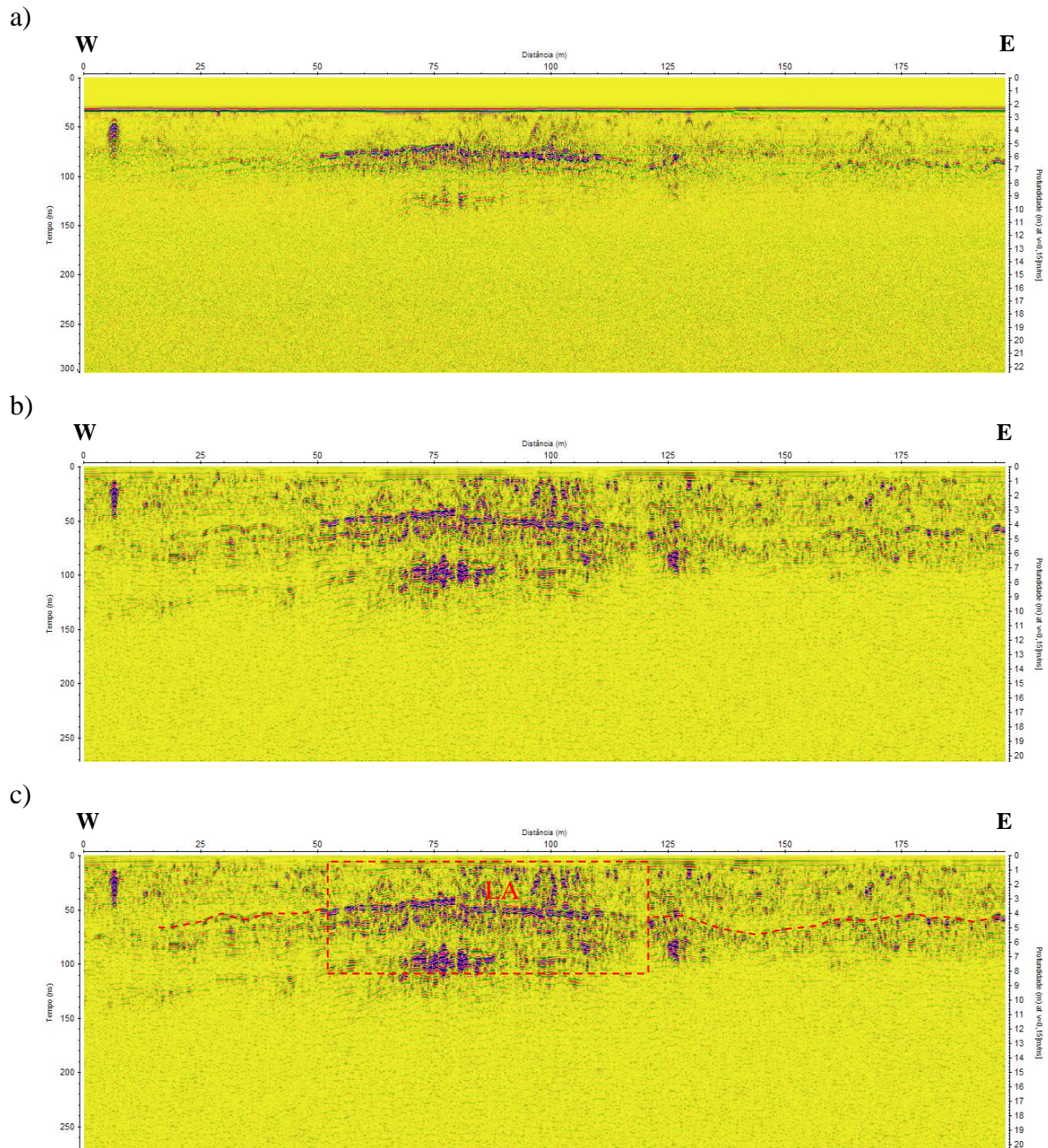


Figura 24: Radargrama obtidos no Perfil G4: a) Perfil bruto; b) Perfil processado; c) Perfil interpretado (feições: Laterita - LA).

Fonte: do autor, 2009.

9 LEVANTAMENTO HIDROGEOQUÍMICO

Para analisar a qualidade da água dos poços próximo da Fazenda Nossa Senhora de Fátima, com o objetivo de correlacionar com a metodologia geofísica, foram realizadas medidas *in situ* dos poços próximo da fazenda (Figura 25) no dia 16 de outubro de 2009 (período menos chuvoso da região do nordeste paraense). Como também, parâmetros físico-químicos (Tabela 1), tais como: pH, condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), , sólidos totais dissolvidos- STD- (mg/cm) e salinidade (%).

Os resultados de pH (Tabela 1) variam na faixa de 5,1 a 6,9. Essa faixa mostra um comportamento ácido comum da água do aquífero livre e está dentro dos padrões estabelecidos (variando geralmente de 5,5 e 8,5).

A condutividade elétrica permite classificar a água por quatro classes, segundo a Organização Mundial de Saúde:

- Recomendado para consumo: 75 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) a 400 ($\mu\text{S}/\text{cm}$);
- Tolerável para o consumo (com restrições): 400 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) a 1250 ($\mu\text{S}/\text{cm}$);
- Salgado: 1250 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) a 5000 ($\mu\text{S}/\text{cm}$);
- Muito salgada: > 5000 ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

A condutividade da água dos poços P1 e P2 permitem classificá-los como água muito salgada, já os poços P3 e P4 são recomendados para o consumo.

A água dos poços P1 e P2 mostra uma quantidade de sólidos totais dissolvidos estão acima do limite máximo permitido para o consumo (1000 mg/L), enquanto a água para os poços P3 e P4 está dentro desse limite.

Por fim, os poços P1 e P2 apresentam elevadas quantidades de sais dissolvidos em água, comparados com os poços P3 e P4.

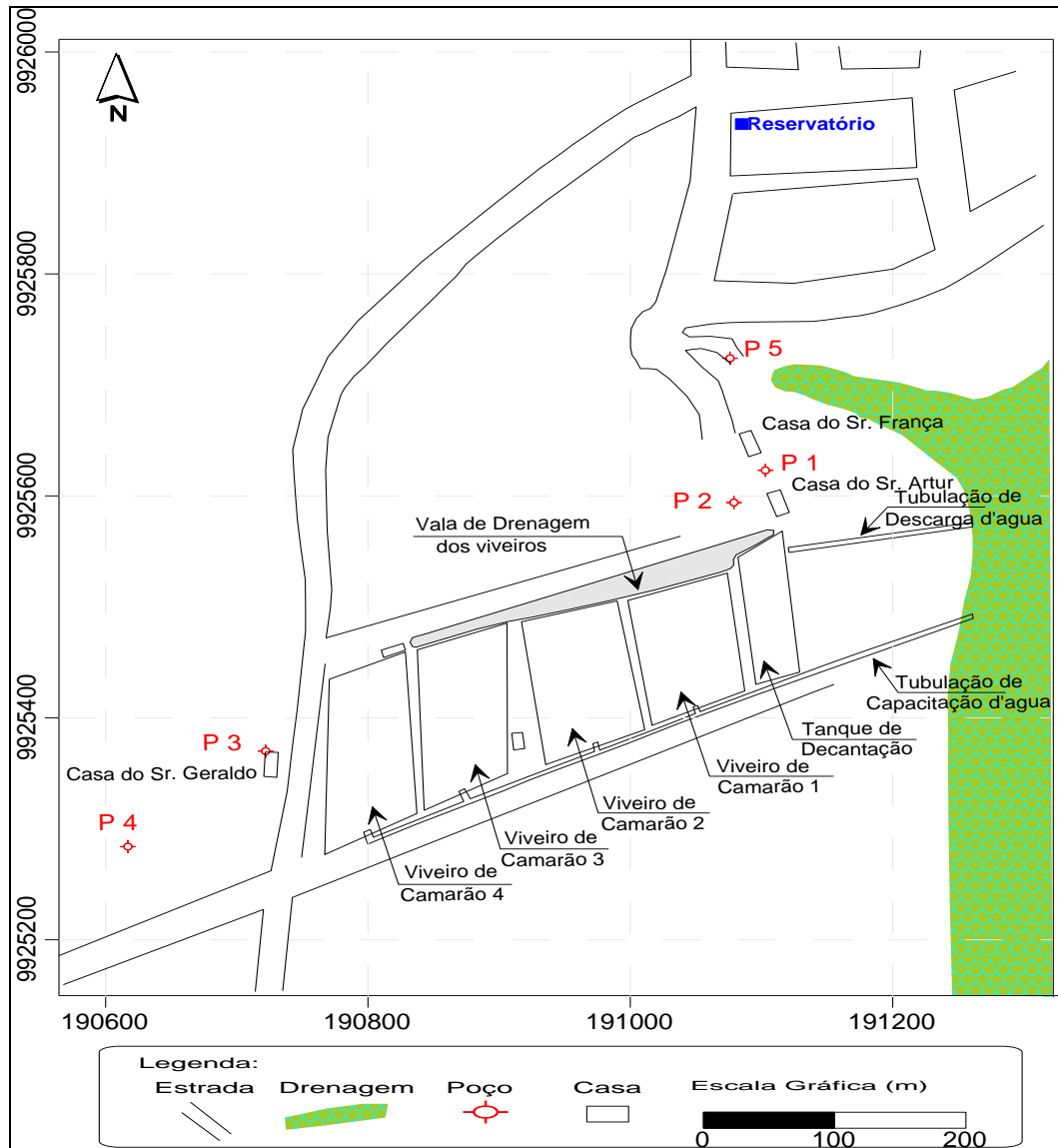


Figura 25: Mapa de localização dos poços coletados para análise geoquímica.
Fonte: do autor, 2009.

Tabela 1: Resultados de pH, condutividade elétrica, STD, salinidade e profundidade dos poços próximo analisados.

Poços	Prof. (m)	Nível Hidrostático (m)	pH	Condutividade Elétrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	STD (mg/L)	Salinidade (%)
P1	7,2	6,2	6,9	7850	5102	4,4
P2	40	6,3	6,8	9060	5889	5,1
P3	40	9,5	5,1	280	222	0
P4	10	9,2	6,2	81,3	64	0
P5	20		5,0	35	75	0

Fonte: do autor, 2009.

10 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O objetivo principal do presente trabalho foi investigar se a salinidade ocorrida em dois poços foi causada por contaminação salina, a partir dos viveiros de carinucultura da fazenda de Nossa Senhora de Fátima, localizada na Vila de Caratateua, município de Curuçá-Pará.

Como resultado da investigação, ficou evidente a eficácia do sistema eletromagnético Slingram, através da resposta da componente em fase do campo secundário. A representação dos dados na forma de mapas de contorno e pseudo-seções permitiu identificar com clareza a presença de zonas altamente condutivas, próximas à superfície do terreno e dos viveiros de camarão, bem distintas da resposta normal do ambiente local, constatando que houve a infiltração de água salgada contaminando o meio raso e, conseqüentemente, o aquífero livre no entorno dos viveiros.

A resposta anômala de condutividade somente ocorreu nas três freqüências mais altas (14080, 7040 e 3520 Hz), pois para as demais freqüências a resposta é semelhante para todo o ambiente, portanto a contaminação foi rasa. Essa anomalia de condutividade somente aparece no entorno dos viveiros, espalhando-se no sentido leste, provável direção do fluxo de água subterrânea, atingindo nessa migração os dois poços (P1 e P2) que usam água do aquífero livre. No entanto, essa migração não alcança o poço de abastecimento da Vila, localizado mais a norte. Portanto, a contaminação ficou bem localizada e restrita à área do entorno dos viveiros.

Outro resultado interessante advém da resposta indicando zonas altamente resistivas, também rasas, que devem corresponder à presença de lateritas, sugerindo uma eficácia dessa metodologia para a prospecção de concreções ferruginosas. Isso demonstra que o Slingram é útil na discriminação de zonas anômalas tanto condutivas como resistivas.

O resultado obtido com o método radar de penetração do solo contribuiu na identificação das feições da subsuperfície rasa. Nos radargramas foi possível visualizar as zonas atenuadas (áreas de sombra) que sugerem a presença da contaminação salina.

Também, foi possível identificar nos dados de GPR a profundidade do nível freático local, aproximadamente 6,5 m, o que coincide com os dados coletados nos poços.

Outra importante resposta refere-se na possibilidade de identificar a profundidade do topo de blocos lateríticos (entre 2 a 3 m).

Recomenda-se para solução do problema da contaminação salina na área de estudo que a vala de drenagem seja tubulada ou pavimentada e seja colocado um novo revestimento

no tanque de decantação. Para os dois poços contaminados, um longo processo de bombeamento da água pode amenizar ou solucionar o problema em questão ao longo do tempo. Ainda, é necessária a impermeabilização dos primeiros metros do poço de abastecimento da Vila caso a mesma inexista

REFERÊNCIAS

ARAI, M.; TRUCKENBRODT, W.; NOGUEIRA, A. C. R.; GOÉS, A.M; ROSSETTI, D. F. Novos dados sobre a estratigrafia e ambiente deposicional dos sedimentos Barreiras, NE do Pará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4., Belém,1994. **Anais...** Belém: SBG - Núcleo Norte, 1994. p.185-187.

ARAI, M.;UESUGUI, N.; ROSSETTI, D. F.; GOÉS, A. M. Considerações sobre a idade do Grupo Barreiras no nordeste do Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., Belém, 1988. **Anais...** Belém: SBG, 1988. v..2, p. 738-752.

ARANHA, L. G. F.; LIMA, H. P.; SOUZA, J. M. P.; MARINHO, R. K. Origem e evolução das bacias de Bragança-Viseu, São Luís e Ilha Nova. In: RAJA GABAGLIA, G. P.; MILANI, E. J. **Origem e Evolução de Bacias Sedimentares**. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 1990. p. 221-233.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE CAMARÃO–ABCC. **O agronegócio do camarão marinho no Brasil em 2003**. [S.l.], 2004. 11p.

BERES JR, M.; HAENI, F.P. Application of Ground-Penetrating-Radar Methods in Hydrogeologic studies. **Ground Water**, v. 29, n. 3, 1991.

BORGES, W. R. **Caracterização Geofísica de Alvos Rasos com Aplicações no Planejamento Urbano e Meio Ambiente: Estudo sobre o Sítio Controlado do IAG/USP**. 2007. 256 f. Tese (Doutorado em Geofísica) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

COSTA, J. B. S.; HASUI, Y. Evolução geológica da Amazônia. In: COSTA, M. L.; ANGÉLICA, R. S. (Ed.). **Contribuições a Geologia da Amazônia**. Belém: FINEP/SBG, 1997. p. 15-90.

COSTA, J. B. S.; BORGES, M. S.; BERMEGUY, R. L.; FERNANDES, J. M. G.; COSTA JR.,P. S.; COSTA, M. L. Evolução cenozóica da região de salinópolis, Nordeste do estado do Pará. **Geociências**, n. 12, p. 353-372, 1993

DAVIS, J. L.; ANNAN, A. P. Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. **Geophysical Prospecting**, v. 37, p. 531-551, 1989.

GÓES, A. M.; ROSSETTI, D. F.; NOGUEIRA, A. C. R.; TOLEDO, P. M. Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas no nordeste do Estado do Pará. **Boletim do Museu paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra**, Belém, n. 2, p. 3-15, 1990.

IGREJA, H. L. S. **Aspectos tectono-sedimentares do Fanerozóico do nordeste do Pará e nordeste do Maranhão, Brasil**. 1991. 191f. Tese (Doutorado em Geologia) – Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 1991.

LUIZ, J. G.; SILVA, M. C. S. **Geofísica de Prospecção**. [S.l.]: Universidade Federal do Pará : Cejup, 1995.

MAURY, C. J. **Fosséis terciários do Brasil**. Rio de Janeiro: Serviço Geológico Mineralógico do Brasil, 1925. p. 4-35. (Monografia, 4).

MEDEIROS, A. R. C. **Metodologias Geofísicas e hidrogeoquímica aplicadas a prospecção de Água Subterrânea em ambiente de intrusão salina na Vila de Algodal – Pa**. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geofísica) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.

PARÁ. SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO ORÇAMENTO E FINANÇAS- SEPOF. Diretoria de pesquisas e informações sócio-econômicas. **Estatística municipal**. Belém, 2008.

ROSSETTI, D. F.; TRUCKENBRODT W.; GOÉS, A. M. Estudo Paleambiental e Estratigrafia dos Sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na Região Bragantina, Nordeste do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Belém, v. 1, n. 1, p. 24-74. 1989.

SENA, G. L. S. **Educação Ambiental e Qualidade de Vida: a água no contexto sócio-ambiental do Município de Curuçá-PA**. 2006. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.

SILVA, M. C. S ; GALVÃO, M. V. G.. Detecção de condutores tabulares sob cobertura indutiva. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21, n. 1, p.82 – 95, 1991.

SOUZA FILHO, J.; COSTA, S. W. da; TUTIDA, L. M.; FRIGO, T. B.; HERZOG, D. **Custo de produção do camarão marinho**. [S.l.]: Ed. rev. Florianópolis: Instituto Cepa/SC/Epagri, 2003. 24p. (Cadernos de Indicadores Agrícolas, 1).

VIEIRA, L. S. **Manual da Ciência do Solo**. 2. ed. São Paulo: Agronomia CERES, 1988.

ANEXO

ANEXO A: Vala de drenagem dos viveiros de camarão.



Fonte: do autor, 2009.



Fonte: do autor, 2009.