

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**UTILIZAÇÃO DO VLF (VERY LOW FREQUENCY) NA
PROSPECÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM
ZONAS DE ROCHAS CRISTALINAS**

Rinaldo Moreira Marques

Orientador: Prof. Dr. Nelson Ellert

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Área de Concentração: Recursos Minerais e Hidrogeologia

SÃO PAULO
1995

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Defesa 21/12/95

**UTILIZAÇÃO DO VLF (VERY LOW FREQUENCY) NA PROSPECÇÃO
DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM ZONAS DE ROCHAS CRISTALINAS**

Rinaldo Moreira Marques

Orientador : Prof. Dr. Nelson Ellert

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

São Paulo

1995



DEDALUS - Acervo - IGC



30900005321

A minha filha Natasha, a minha esposa
Adriana e aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Durante todo o caminho por mim percorrido na execução deste trabalho passaram pessoas e entidades a quem devo muito agradecer pela sua realização.

Ao amigo, pai e orientador Prof. Dr. Nelson Ellert, por quem tenho muita estima e consideração além do respeito como profissional.

A minha esposa Adriana pela paciência e compreensão demonstrada durante toda a sua execução.

Ao Sr. Roberto da Silva Pereira, pela revisão e sugestões feitas.

A FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos que possibilitou e forneceu toda a infra estrutura necessária para a execução de toda a etapa de campo realizada no Estado do Ceará.

A FAPESP por ter financiado o início de meus estudos no Mestrado.

Ao CNPq, por ter financiado este trabalho através da concessão de bolsa de estudos.

A todos os meus amigos e companheiros pelo apoio e amizade demonstrados a minha pessoa e que espero ter retribuído ao mesmo nível, durante os anos em que passamos juntos.

Ao meu pai Nathalino e a minha mãe D. Leonor por terem me apoiado e incentivado durante todo o tempo.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

RESUMO

"ABSTRACT"

pag.

Capítulo 1

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.2 METODOLOGIA DE ESTUDO	2
1.3 APRESENTAÇÃO	3

Capítulo 2

2. TEORIA FUNDAMENTAL DO VLF	5
2.1 HISTÓRICO	5
2.2 INTRODUÇÃO	6
2.3 CONCEITOS BÁSICOS	8
2.3.1 MODO INCLINAÇÃO	10
2.3.2 MODO RESISTIVIDADE	12
2.3.3 APLICABILIDADE DO MÉTODO E PROFUNDIDADE DE PENETRAÇÃO	13

Capítulo 3

3. EQUIPAMENTOS DISPONÍVEIS NO MERCADO	15
3.1 O EQUIPAMENTO UTILIZADO: VLF - WADI	16
3.1.1 UNIDADE DE ANTENA	17
3.1.2 UNIDADE CENTRAL	18
3.1.3 UNIDADE DE PROCESSAMENTO	18

Capítulo 4

4. MÉTODOS DE INTERPRETAÇÃO	20
4.1 SIGNIFICADO DAS ANOMALIAS	20
4.2 INTERPRETAÇÃO QUANTITATIVA	22
4.2.1 INTERPRETAÇÃO ATRAVÉS DE ÁBACOS	22
4.2.2 MODELAMENTO MATEMÁTICO	26

4.3 MÉTODOS QUALITATIVOS	27
4.3.1 INTERPRETAÇÃO UTILIZANDO O MÉ- TODO DA FILTRAGEM	27
4.3.1.1 FILTRO FRASER	27
4.3.1.2 FILTRO KAROUS & HJELT	29
Capítulo 5	
5 FATORES DE INTERFÊNCIAS NOS DADOS	30
Capítulo 6	
6.1 HIDROGEOLOGIA	37
Capítulo 7	
7 ÁREAS DE TESTES	39
7.1. ESTADO DA BAHIA	39
7.1.1 ESTRATIGRAFIA	41
7.1.1.1 FORMAÇÃO CAPIM GROSSO	41
7.1.1.2 EMBASAMENTO CRISTALINO	41
7.2 CEARÁ - MUNICÍPIO DE MARACANAÚ	42
7.2.1 ESTRATIGRAFIA	42
7.2.1.1 GRUPO BARREIRAS	42
7.2.1.2 EMBASAMENTO CRISTALINO	44
7.2.2 HIDROGEOLOGIA LOCAL	46
Capítulo 8	
8 RESULTADOS OBTIDOS	51
8.1 LEVANTAMENTO EXECUTADO NA BAHIA	51
8.2 LEVANTAMENTO EXECUTADO NO CEARÁ	53
Capítulo 9	
9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
ANEXO 1 - LEVANTAMENTO BAHIA	
ANEXO 2 - LEVANTAMENTO CEARÁ	

LISTA DE FIGURAS

	pag.
Figura 1. Localização das principais antenas transmissoras situadas ao redor do mundo.	6
Figura 2. Componentes de uma onda eletromagnética.	7
Figura 3. Origem do campo eletromagnético secundário (adaptado de PHILLIPS; RICAHRDS, 1975).	8
Figura 4. Elipse magnética de polarização (adaptado de SAYDAM, 1981).	11
Figura 5 - Desenho esquemático da disposição das antenas.	17
Figura 6. Desenho esquemático da unidade de processamento.	18
Figura 7 - Inclinação da elipse de polarização.	21
Figura 8. Perfil de inclinação da elipse de polarização.	21
Figura 9. Interpretação quantitativa de um levantamento VLF no modo inclinação (SAYDAM, 1981).	22
Figura 10. Diagrama característico para resistividade da rocha encaixante de 50 Ω .m (SAYDAM, 1981).	23
Figura 11. Diagrama característico para resistividade da rocha encaixante de 250 Ω .m (SAYDAM, 1981).	24
Figura 12. Diagrama característico para resistividade da rocha encaixante de 800 Ω .m (SAYDAM, 1981).	24
Figura 13. Diagrama característico para resistividade da rocha encaixante de 2500 Ω .m (SAYDAM, 1981).	25

Figura 14. Diagrama característico para resistividade da rocha encaixante de 8000 Ω .m (SAYDAM, 1981).	25
Figura 15. Coeficientes do filtro Fraser.	28
Figura 16. Curva obtida através da aplicação do filtro Fraser.	28
Figura 17. a) Monitoramento da intensidade do campo elétrico gerado pela antena transmissora de NAA, que opera na frequência de 24 kHz, durante um período de 24 horas. b) Monitoramento da intensidade do campo elétrico gerado pela antena transmissora de NSS, que opera na frequência de 21.4 kHz, durante um período de 24 horas (extraído e adaptado de VALÉE, <i>et al.</i> , 1992).	32
Figura 18. Modelo simplificado da propagação de uma onda VLF (adaptado de VALÉE, <i>et al.</i> 1992).	33
Figura 19. Anomalia medida oriunda de interferência causada por rede de alta tensão, Catunda, CE.	34
Figura 20 a. Efeito de amplificação do sinal medido causado pela ocorrência de rede elétrica e instalações industriais (filtragem depth = 10m).	35
Figura 20 b. Efeito de amplificação do sinal medido causado pela ocorrência de rede elétrica e instalações industriais (filtragem depth = 30m).	36
Figura 21. Mapa Geológico da área situada no Estado da Bahia (DNPM - Escala: 1:250.000).	40
Figura 22. Localização Geográfica do Município de Maracanaú (adaptado de SUDENE - Folha FORTALEZA - 1:100.000).	43
Figura 23. Mapa Geológico da Região de Maracanaú escala: 1:100.000 (adaptado de DNPM, 1983).	45

LISTA DE TABELAS

	pag.
Tabela 1. Variação da profundidade de investigação em função da resistividade do meio e da frequência.	14
Tabela 2. Coeficiente dos filtros. Range = $(n+1).2$.	29
Tabela 3. Dados dos poços existentes no Município de Maracanaú.	47
Tabela 4. Análise química e vazão dos poços localizados na área de estudo, Bahia.	52
Tabela 5. Número do perfil, local, direção do levantamento e locação de cada poço.	55
Tabela 6. Características hidráulicas e qualidade d'água dos poços perfurados.	56

Gráfico 1. Comparação entre as vazões de poços perfurados precedidos ou não por levantamentos utilizando o método VLF.

RESUMO

Com o objetivo de complementar estudos hidrogeológicos efetuados durante o processo de locação de poços tubulares, em áreas formadas por rochas ígneas e metamórficas, foram realizados trabalhos de prospecção geofísica utilizando o método VLF "Very Low Frequency".

Após um levantamento bibliográfico sobre a metodologia e seus principais métodos de interpretação, foram realizados dois tipos de levantamentos de campo em áreas distintas, sendo um onde já haviam poços perfurados para se tentar estabelecer uma correlação entre as anomalias e os poços e, outro efetivamente visando a locação e posterior perfuração de poços.

O método de interpretação utilizado se baseia na filtragem dos dados de campo e na confecção de pseudo-seções de densidade de corrente.

Os resultados alcançados podem ser considerados satisfatórios, pois a margem de erro que foi de aproximadamente 5%, no mapeamento e identificação das zonas de fraturas, pode ser considerado insignificante, embora o ideal fosse que estes erros não ocorressem.

ABSTRACT

The VLF "Very Low Frequency" geophysical method was used as a complementary field method to locate most favorable points to be drilled for deep water wells. This application was used in the Bahia and Ceará States, Brazil, on pre-Cambrian formed rocks areas.

This field work was done after a bibliographic evaluation of the methodology and principal interpretation techniques. Considering the rare examples of application of VLF in Brazil, this research was divided in two phases. The first phase was developed in Bahia, where previous drilled deep-wells existed to permit to establish a correlation between the field VLF data and the available hydrogeological informations. The second area, Ceará, the VLF field work was used to locate most favorable points for deep-wells to be drilled.

The interpretation of the VLF field data was based on the filtration and the construction of pseudo-sections of current density.

The obtained results may be considered as satisfactory, since, in Ceará, the error factor was of about 5% for the location of fractured rocks for the new located deep-wells.

Capítulo 1

I - INTRODUÇÃO

As rochas cristalinas, dada sua alta compacidade, e portanto ausência de porosidade original, apresentam-se como rochas não favoráveis a serem portadoras de água subterrânea. Entretanto quando estas rochas são submetidas a esforços e tensões, causadas por eventos geológicos originados por aquecimento, mudança de pressão e movimentos tectônicos de acomodação da crosta, originam-se estruturas como falhas e fraturas que por sua vez são passíveis ao armazenamento de água subterrânea.

O nordeste brasileiro possui grande parte de sua superfície formada por rochas cristalinas. Nestas encontram-se muitas vezes cidades de porte apreciável, que por condições geológicas e climáticas frequentemente fazem uso do represamento de águas (açudes, barragens, etc) como sua única fonte de abastecimento.

O longo período de estiagem (1989 - 1993) pelo qual passou o NE do Brasil, não permitiu que o represamento das águas fosse em volume suficiente para o abastecimento destas cidades, causando desta forma uma grande procura por fontes alternativas e, em muitos casos, definitivas de abastecimento. A alternativa encontrada, que necessitava de estudos mais apurados, foi o sistema de abastecimento através da locação e perfuração de poços tubulares profundos para estes centros mais necessitados.

Para que fossem diminuídos os riscos de insucessos na construção dos poços, foi necessário introduzir técnicas de prospecção geofísica e, entre as várias técnicas já existentes, optou-se pela utilização da técnica VLF.

A técnica VLF (Very Low Frequency) de prospecção geofísica é bastante indicada, dadas as condições geológicas do NE, onde basicamente grande parte é formada por rochas cristalinas, com um manto de alteração pouco espesso, que facilita a utilização desta técnica e desta forma podem-se localizar os pontos mais favoráveis à perfuração de poços profundos, em zonas de falhas e fraturas.

Os levantamentos realizados no Estado da Bahia, tiveram por objetivo calibrar a metodologia bem como correlacionar as anomalias geofísicas encontradas com os resultados de poços já previamente perfurados, bem como revelar as eventuais causas dos insucessos dos poços perfurados (secos).

Os levantamentos executados no Estado do Ceará foram realizados com o intuito de complementar o abastecimento de água do Município de Maracanaú. Estes levantamentos

possuem características diversas em relação aos seus componentes geológicos (espessura do manto de intemperismo) e físicos locais (distância de zonas habitadas, redes de eletricidade, asfalto, etc.)

1.1 OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo geral apresentar os resultados obtidos na aplicação do método geofísico VLF (Very Low Frequency), como metodologia complementar à estudos hidrogeológicos realizados para locação de poços tubulares profundos, em zonas de rochas cristalinas .

Tendo em vista que normalmente existem dificuldades na locação de poços tubulares em zonas de rochas cristalinas, pretende-se através deste trabalho demonstrar a aplicabilidade de uma metodologia que auxilie no processo de locação de estruturas favoráveis ao armazenamento de água subterrânea em áreas que apresentem uma camada de cobertura não muito espessa, notadamente na região nordeste do Brasil.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- (a) localizar as estruturas favoráveis ao armazenamento de águas subterrâneas;
- (b) tentativa de estabelecer uma relação entre o sinal medido no campo e a qualidade da água obtida na perfuração do poço profundo

Este estudo foi fortemente motivado tendo em vista os problemas ocorridos no nordeste brasileiro por ocasião do longo período de estiagem ocorrido de 1989 a 1993, as condições de aplicabilidade para esta metodologia serem consideradas ideais e o grande número de insucessos havidos durante a perfuração de poços na região, consequência de uma infeliz locação das pretendidas estruturas portadoras de água subterrânea.

1.2. METODOLOGIA DE ESTUDO

Para que os objetivos anteriormente citados pudessem ser alcançados procurou-se estabelecer uma metodologia de campo e interpretativa durante a execução dos trabalhos.

A metodologia empregada constou inicialmente dos seguintes itens:

- (a) revisão bibliográfica do assunto (metodologias de campo, interpretação, equipamentos);
- (b) determinação de áreas piloto para efetuar testes e calibração da metodologia;
- (c) seleção de cartas topográficas, mapas geológicos e imagens de satélites;

- (d) levantamento geofísico, interpretação e correlação dos dados de campo com dados de poços (posteriormente ou anteriormente perfurados);
- (e) avaliação dos fatores intervenientes durante a execução dos levantamentos e;
- (f) a partir dos resultados obtidos, recomendações que se fazem necessárias para otimização da metodologia.

1.3. APRESENTAÇÃO

Os capítulos que se seguem tratam dos seguintes assuntos:

Capítulo 2. TEORIA FUNDAMENTAL DO MÉTODO VLF (Very Low Frequency): neste capítulo foi realizado um levantamento bibliográfico e procurou-se descrever todos os componentes necessários para compreender a metodologia de forma simples e correta.

Capítulo 3. EQUIPAMENTOS DISPONÍVEIS NO MERCADO: à luz da tecnologia atual procurou-se descrever todos os equipamentos utilizados em levantamentos que empregam a metodologia VLF, e suas principais características.

Capítulo 4. MÉTODOS DE INTERPRETAÇÃO: descreve-se os diferentes métodos de interpretação utilizados, procurando de uma maneira simples que sejam compreendidos para que se possa efetuar de maneira correta uma interpretação dos dados obtidos durante o levantamento de campo.

Capítulo 5. FATORES DE INTERFERÊNCIA NOS DADOS: baseado na experiência obtida no trabalho realizado por VALEÉ *et al.*, durante o monitoramento do sinal transmitido de duas das principais estações transmissoras, e nos levantamentos efetuados no campo durante a execução deste trabalho, procura-se distinguir as principais fontes de interferência que atingem os dados obtidos no campo durante um levantamento VLF.

Capítulo 6. HIDROGEOLOGIA: aspectos gerais e principais características das rochas cristalinas sob o ponto de vista hidrodinâmico e hidrogeológico.

Capítulo 7. ÁREAS DE TESTES: descreve detalhes das duas áreas teste onde foram executados os levantamentos de campo. Foram efetuados no total dois levantamentos, um onde já haviam poços profundos perfurados, com bons resultados e secos, com a

finalidade de se estabelecer uma correlação prática entre um perfil obtido durante um levantamento e uma estrutura já comprovada.

Após esta calibração foi definida uma área onde foram realizados levantamentos que antecederam à perfuração dos poços.

Capítulo 8. RESULTADOS OBTIDOS: neste capítulo são apresentados os resultados obtidos na locação dos poços utilizando o método VLF, bem como uma breve discussão dos dados obtidos durante o levantamento.

Capítulo 9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES: após a coleta destas informações nesta etapa do trabalho, tenta-se elucidar os problemas encontrados durante todo este estudo sem no entanto pretender esgotá-lo, mas sim de abrir novas considerações a respeito deste tema.

Capítulo 2

2 - TEORIA FUNDAMENTAL DO VLF

2.1 HISTÓRICO

A idéia da utilização de sinais de rádio em trabalhos de prospecção geofísica não é nova; medidas de atenuação e polarização do campo eletromagnético indutivo foram feitas por Hack em 1908 e Feldman em 1933 (HEILAND, 1946 *apud* PATERSON; RONKA, 1971) em várias situações geológicas.

Segundo PATERSON; RONKA (1971), métodos que fazem uso de rádio-frequência eletromagnética utilizando transmissores transportáveis em levantamentos terrestres foram empregados de 1930 a 1960 na prospecção de recursos minerais e mapeamentos geológicos. Como consequência do emprego das altas frequências, o método VLF sofreu um grande desinteresse, por possuir uma baixa penetração e uma grande dificuldade em discriminar corpos de diferentes condutividades. Na América do Norte esta metodologia, foi abandonada e trocada. Com isto ocorreu o favorecimento e a aplicação de baixas frequências eletromagnéticas para a prospecção de quaisquer tipos de corpos sub-aflorantes.

Na Europa a utilização dos métodos que empregavam frequências de rádios no subsolo com o intuito de investigar a distribuição de correntes induzidas por um corpo condutivo, eram utilizados para mapear jazidas de carvão bem como na exploração de corpos metálicos.

A despeito destas e outras atividades, os métodos que empregavam rádio frequência não foram muito aceitos nas rotinas de campo ou levantamentos aéreos até a Geonics Limited introduzir no ano de 1964 um instrumento "passivo" trabalhando com frequências nos intervalos de 15 a 25 kHz, onde os sinais de rádio transmitidos por antenas militares, para fins de comunicação com submarinos situadas ao redor do mundo, seriam as responsáveis por gerar o sinal primário, exercendo assim o papel de transmissores. No final de 1966 o método havia ganho uma popularidade muito grande o que ocasionou, no ano de 1967, o surgimento de vários sistemas semelhantes e cobertos pelo desenvolvimento tecnológico da época.

Atualmente várias empresas, tais como GEONICS, ABEM, EDA, SCINTREX, etc, fabricam equipamentos que empregam esta metodologia, contribuindo assim para uma rápida

evolução dos equipamentos e da metodologia, que está sendo terminantemente embutida ou basicamente dependente de microcomputadores.

2.2 - INTRODUÇÃO

Quando um campo de força de ondas eletromagnéticas, geradas a partir de um transmissor, atinge um corpo que possui baixos valores de resistividade elétrica, provoca o aparecimento de correntes elétricas secundárias induzidas. Estas correntes por sua vez criam novos campos eletromagnéticos indutivos, conhecidos como campos eletromagnéticos secundários, que se diferem do campo original emitido tanto na intensidade, como fase e direção.

Ao contrário de todos os métodos elétricos existentes, os métodos eletromagnéticos medem diretamente as componentes do campo magnético associado a um fluxo de corrente no subsolo.

A técnica VLF (Very Low Frequency) assim como as demais técnicas utilizadas nos Métodos Eletromagnéticos (EM) de exploração geofísica utiliza como base teórica o processo acima descrito, que é conhecido como princípio de "Indução Eletromagnética".

As ondas VLF (15 - 30 kHz) emitidas a partir de antenas, que se encontram espalhadas em diferentes lugares do mundo (Figura 1), são ondas não moduladas, transmitidas para fins militares de comunicação. Estas antenas transmissoras formam um dipólo elétrico que gera campos elétricos e eletromagnéticos indutivos.

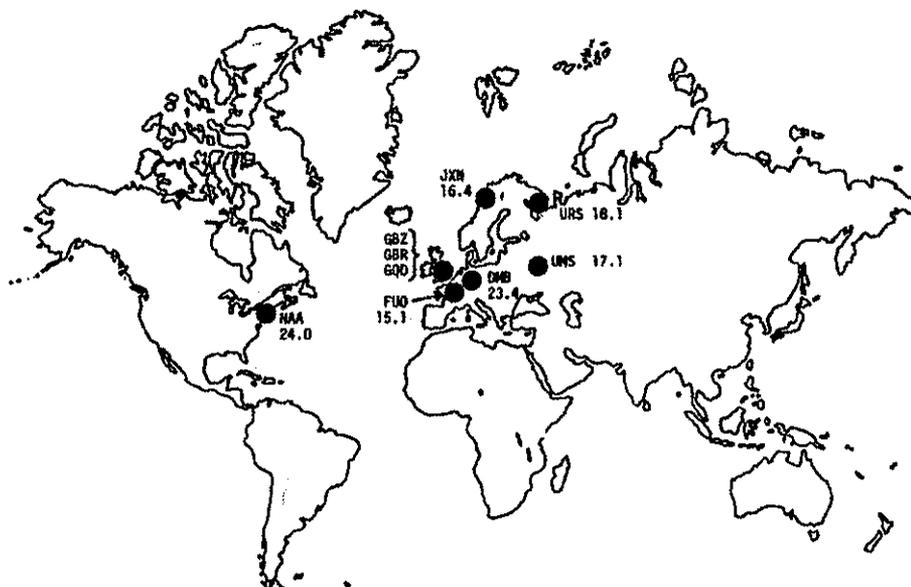


Figura 1. Localização das principais antenas transmissoras situadas ao redor do mundo.

A onda eletromagnética gerada a partir da antena transmissora consta de três componentes, sendo duas componentes horizontais e uma axial. Paralela ao plano de propagação das ondas há uma componente do campo elétrico (E_x), uma componente tangencial pertencente ao campo magnético (H_y) e uma componente vertical que descreve o campo elétrico (E_z) (Figura 2).

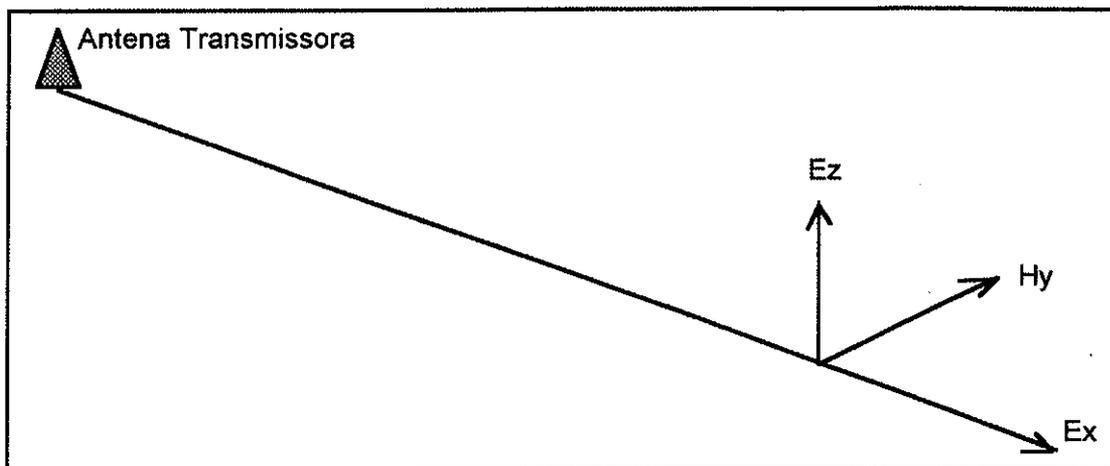


Figura 2. Componentes de uma onda eletromagnética.

A propagação do campo primário emitido pela antena transmissora produz uma série de efeitos em função das propriedades elétricas do terreno através do qual ele se propaga.

Considerando-se um corpo condutor de forma tabular com propriedades físicas contrastantes em relação a rocha encaixante, disposto verticalmente e perpendicular às linhas do campo eletromagnético gerado (com sua direção paralela à direção na qual se encontra a antena) uma alternância do campo eletromagnético primário gerará correntes elétricas que tendem a fluir entre os extremos do condutor. Estas correntes induzidas geram um novo campo eletromagnético, campo secundário, que é perpendicular à direção do corpo (Figura 3).

A propagação das ondas criadas a partir de um dipólo elétrico na superfície da Terra, envolve variações espaciais e temporais de origens diversas. Estas foram estudadas através de um monitoramento, efetuado no campo, do sinal transmitido (VALÉE, *et al.*; 1992) pois durante a sua propagação ocorrem fenômenos que geram ruídos e afetam o sinal recebido, ocasionando uma série de interferências indesejáveis na recepção do sinal.

A técnica VLF tem sido empregada com sucesso em mapeamentos geológicos na determinação de zonas de falhas e fraturamentos, bem como em estudos de prospecção mineral (PAAL, 1965 e 1968; PHILLIPS; RICHARDS, 1975), na prospecção de água subterrânea (PALACKY *et al.*, 1981; PODDAR; RATHOR, 1983; MCNEIL, 1991; LEITE *et al.*, 1992), em estudos ambientais (SLAINE; GREENHOUSE, 1982; SINHA; HAYLES, 1988) e geotécnicos (OGILVY *et al.*, 1991).

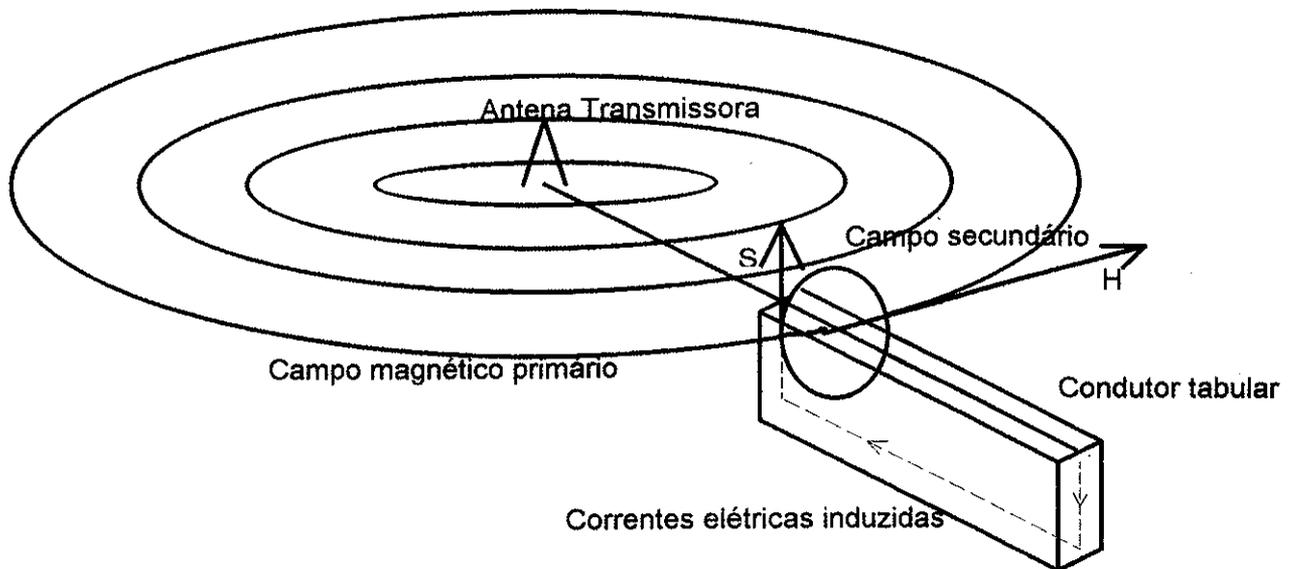


Figura 3. Origem do campo eletromagnético secundário (adaptado de PHILLIPS; RICAHRDS, 1975).

A principal vantagem que este método apresenta em relação aos demais métodos que se utilizam de campos artificiais, é que no método VLF a antena transmissora (responsável em gerar o sinal), fica fixa dispensando desta forma cuidados com o transmissor, resultando assim em uma grande economia tanto no tempo gasto quanto no número de pessoas envolvidas durante o processo de levantamento dos dados.

2.3 - CONCEITOS BÁSICOS

O método VLF se utiliza de antenas transmissoras distribuídas em vários locais do mundo com alta potência de transmissão (entre 350 a 1000 kW) e comprimentos de onda que variam entre 12 e 20 km. Uma antena de transmissão VLF é efetivamente um extenso fio vertical.

Neste caso, como também para os demais métodos eletromagnéticos de prospecção geofísica, o método baseia-se nas equações formuladas por Maxwell, que descrevem os fenômenos eletromagnéticos macroscópicos.

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \mathbf{Q} \quad (3)$$

$$\nabla \cdot (\mathbf{B}) = 0 \quad (4)$$

onde: \mathbf{H} é a intensidade do campo magnético

\mathbf{E} é a intensidade do campo elétrico

\mathbf{B} densidade de fluxo magnético

\mathbf{J} é a densidade de corrente

\mathbf{D} densidade de fluxo elétrico

\mathbf{Q} densidade de carga

Esta claro que as equações de Maxwell, acima apresentadas, representam expressões matemáticas de resultados experimentais, e desta forma é evidente que elas não podem ser provadas, mas contudo a sua aplicabilidade a qualquer situação pode ser verificada.

As equações de Maxwell são as equações fundamentais dos campos eletromagnéticos produzidos pelas densidades de carga-fonte e de corrente, \mathbf{Q} e \mathbf{J} .

Existem vários modos possíveis de irradiação das ondas eletromagnéticas por este tipo de antena. Considerando que a irradiação se faz em "baixas frequências", para distâncias consideravelmente maiores do que as do comprimento de onda, a propagação destas ondas se faz através de uma combinação de ondas terrestres e aéreas. Enquanto as ondas terrestres se propagam junto a superfície do solo, as ondas aéreas são refletidas e refratadas pelas camadas ionizadas encontradas na atmosfera superior retornando posteriormente ao solo.

A pontos situados à grandes distâncias da antena transmissora a onda gerada a partir do campo primário pode ser considerada como um onda plana e de intensidade constante. O transmissor emite ambas as componentes: a elétrica (contida no plano de incidência da onda) e a magnética (paralela à superfície da terra). Em aplicações de prospecção utilizando o método VLF é usual examinar-se o comportamento das componentes do campo eletromagnético.

O método VLF pode ser utilizado de dois modos:

1. modo inclinação baseado na análise da componente magnética da onda VLF e;
2. modo resistividade baseado na análise dos campos magnético e elétrico, este por sua vez obtido através de dois eletrodos capacitivos.

Os levantamentos de campo para a elaboração deste trabalho foram feitos utilizando-se o modo inclinação.

2.3.1. - MODO INCLINAÇÃO

Os receptores de VLF podem medir uma série de parâmetros dos campos elétricos e magnéticos resultantes.

O efeito de indução é máximo quando as linhas de força são perpendiculares à posição do corpo que está sendo investigado.

No modo inclinação as componentes do campo magnético podem ser definidas com base na elipse de polarização.

Como correntes secundárias são induzidas nos corpos condutores, há uma mudança no comportamento espacial do campo magnético total, originalmente horizontal, coincidente com as linhas de campo.

Para que a presença de um corpo condutor seja detectada, é necessário que os perfis do levantamento sejam paralelos às linhas de força do campo magnético gerado a partir da antena transmissora, ou seja, perpendicular ao corpo que se encontra sob investigação.

A identificação da presença de corpos condutores é feita através da detecção do comportamento anômalo do campo eletromagnético medido.

Em condições isentas de corpos que possuam uma condutividade contrastante com a condutividade do meio onde o corpo se encontra encaixado, o campo medido é horizontal.

Ao se aproximar de corpos que possuam contrastes de condutividade em relação ao meio encaixante, o campo eletromagnético sofre uma alteração, afastando-se da posição horizontal mudando de inclinação progressivamente, enquanto nos aproximamos e/ou nos afastamos do raio de influência gerado pelo corpo.

O campo eletromagnético primário é aproximadamente paralelo às linhas de levantamento e normal ao corpo condutor 2D, onde se obtém o acoplamento máximo entre o condutor e as linhas de campo.

O campo magnético primário, não possui componente vertical na ausência de um condutor anômalo. Na presença de corpos condutores, o campo primário induz uma

componente vertical secundária no campo, que interage com as heterogeneidades condutivas do meio, resultando em uma polarização elíptica do campo magnético total

Na prática e, em geral, determinamos o ângulo "tilt" e a "ellipticity" das componentes da elipse de polarização magnética no plano x, z (Figura 4).

O ângulo "tilt" α é a inclinação do eixo maior da elipse em relação ao plano horizontal de polarização, e a "ellipticity" ε é a razão entre o eixo menor e o eixo maior da elipse.

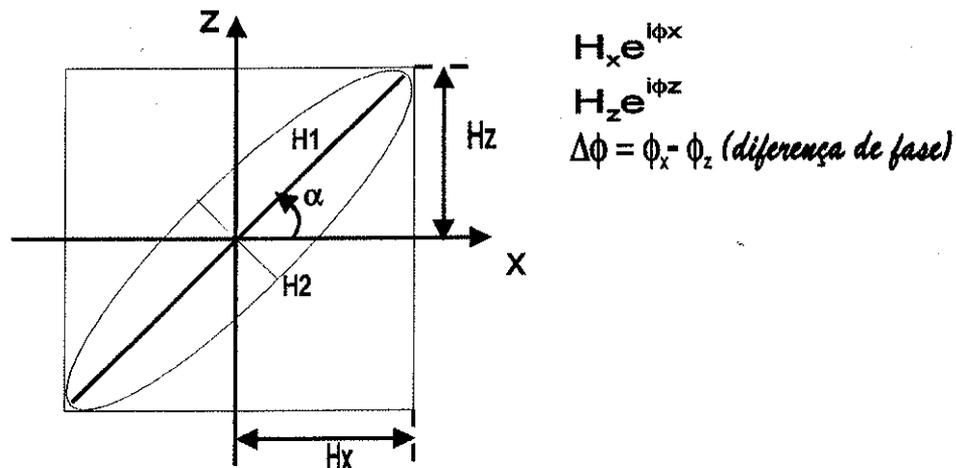


Figura 4. Elipse magnética de polarização (adaptado de SAYDAM, 1981).

O ângulo α e a "ellipticity" ε estão diretamente relacionados com as componentes vertical e horizontal do campo magnético, e foram equacionados por SMITH; WARD (1974):

$$\alpha = \pm \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[\frac{2 (H_z/H_x) \cos \Delta\phi}{1 - (H_z/H_x)^2} \right] \times 100 \text{ (graus)} \quad (5)$$

e

$$|\varepsilon| = \frac{b}{a} = \frac{H_2}{H_1}$$

ou

$$\varepsilon = \frac{H_z H_x \sin \Delta\phi}{H_1^2} \times 100 \text{ (percentagem)} \quad (6)$$

e

$$\Delta\phi = \phi_z - \phi_x \quad (7)$$

onde H_z e H_x são as componentes vertical e horizontal do campo resultante, H_1 e H_2 são os eixos maior e menor da elipse de polarização, e ϕ_z e ϕ_x são as fases da componente vertical

e horizontal do campo magnético. Ambos os parâmetros são afetados por variações laterais da condutividade.

2.3.2 MODO RESISTIVIDADE

O modo resistividade de operação VLF-EMR, nos fornece a resistividade aparente do solo e o ângulo de fase da componente.

Em um meio homogêneo através da medida do campo elétrico, pode-se determinar a resistividade a partir da medida da impedância do meio:

$$\rho = \frac{1}{\omega \mu_0} |Z|^2 \quad (8)$$

onde: ρ = resistividade

$\omega = 2\pi f$ é a velocidade angular da onda;

$Z = \frac{E_x}{H_y}$ é a impedância do meio;

A impedância do meio é medida através de dois eletrodos capacitivos, que podem estar separados por distâncias que podem variar de 1 a 20 metros.

Ao substituir Z na equação 8 e se considerarmos a resistividade de um meio heterogêneo, como sendo a resistividade aparente do meio, temos:

$$\rho_a = \frac{1}{2\pi f \mu_0} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2 \quad (9)$$

onde: ρ_a é a resistividade aparente do meio medida em ohm.m;

E_x = a amplitude do campo elétrico calculado. $E_x = [E_x(R)^2 + E_x(I)^2]^{1/2}$;

$E_x(R)$ = componente real do campo elétrico medido;

$E_x(I)$ = componente imaginária do campo elétrico medido;

H_y = componente horizontal magnética do campo eletromagnético medido;

f = frequência de operação da estação VLF obtida em Hz e;

μ = permeabilidade magnética do meio em Henry/metro

$$\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$$

Outra grandeza que pode ser obtida neste tipo de levantamento é o ângulo de fase. Esta grandeza é calculada através da medida da fase da componente real (ou em fase) do campo elétrico horizontal, e a medida da fase da componente imaginária (ou em quadratura)

do campo elétrico também horizontal, ambos em relação à componente horizontal do campo magnético primário.

Portanto, o ângulo de fase é calculado a partir de:

$$\theta = \arctan \frac{E_x(I)}{E_x(R)} \quad (10)$$

2.3.3 - APLICABILIDADE DO MÉTODO E PROFUNDIDADE DE PENETRAÇÃO

São basicamente três os fatores a serem determinados para que se possa realizar um estudo de prospecção geofísica utilizando o método VLF, sendo eles:

1. direção do levantamento;
2. espessura e resistividade da camada de cobertura e;
3. contraste de resistividade dos meios.

1. A direção mais adequada para que seja realizado um levantamento de campo utilizando o método VLF, é aquela na qual o levantamento é efetuado perpendicularmente ao corpo condutor que deverá estar disposto de forma ortogonal às linhas de campo, ou seja, paralelo à linha que une o observador à antena de transmissão e, caso não seja possível obter esta condição, a direção na qual o levantamento deverá ser realizado poderá variar, no máximo, de 45° em relação à direção da estrutura.

2. A ocorrência de camadas superficiais cobrindo as estruturas objeto de investigação, atuam durante o levantamento não como fonte de anomalia, mas sim como inibidor de sinal caso elas sejam condutivas ou muito espessas.

3. A resistividade do meio encaixante também pode gerar dificuldades no momento de execução dos trabalhos. Situações extremas nos valores de condutividade (mínimos e máximo) do meio encaixante, podem dificultar muito o trabalho de campo, como consequência da existência de pequenos contrastes .

Em um levantamento, considera-se como sendo a profundidade de investigação, a profundidade na qual se encontra concentrada 70% da energia.

A profundidade de investigação depende da frequência da estação transmissora e da condutividade do solo, notadamente das camadas superficiais.

O efeito de penetração ou "skin depth" consiste da atenuação de uma onda eletromagnética provocada por uma variação da condutividade das camadas com o aumento da profundidade. A onda é atenuada na razão de 1/e, isto equivale a uma perda de energia aproximada de 37%. A relação que permite calcular o grau de atenuação ou qual a

profundidade máxima de investigação, levando-se em consideração a resistividade do meio na qual o corpo condutor se encontra, é dada por:

$$\delta = \left(\frac{2}{\omega \mu \sigma} \right)^{1/2} \quad (11)$$

onde : δ é a profundidade de penetração - efeito skin

σ é a condutividade aparente do meio em mhos/m : $\sigma = 1/\rho_a$

após algumas aproximações temos:

$$\delta \approx 500 \left(\frac{\rho}{f} \right)^{1/2} \quad (12)$$

onde: ρ é a resistividade do meio encaixante e;

f é a frequência da estação transmissora.

Através das equação 12 pode-se deduzir facilmente, com o auxílio de uma tabela (Tabela 1), que uma onda eletromagnética possui uma penetração maior em terrenos mais resistivos do que condutivo. Para o caso de prospecção VLF, o efeito não varia substancialmente considerando-se que as frequências são baixas e, o intervalo no qual essas frequências operam é muito pequeno.

Resistidade (Ohm.m)	Frequências (Hz)						
	15000	17500	20000	22500	25000	27500	30000
	Profundidades (m)						
0,0001	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
0,01	0,41	0,38	0,35	0,33	0,32	0,30	0,29
0,1	1,29	1,20	1,12	1,05	1,00	0,95	0,91
1	4,08	3,78	3,54	3,33	3,16	3,02	2,89
10	12,91	11,95	11,18	10,54	10,00	9,53	9,13
100	40,82	37,80	35,36	33,33	31,62	30,15	28,87
500	91,29	84,52	79,06	74,54	70,71	67,42	64,55
1000	129,10	119,52	111,80	105,41	100,00	95,35	91,29
5000	288,68	267,26	250,00	235,70	223,61	213,20	204,12
10000	408,25	377,96	353,55	333,33	316,23	301,51	288,68

Tabela 1. Variação da profundidade de investigação em função da resistividade do meio e da frequência.

Capítulo 3

3. EQUIPAMENTOS DISPONÍVEIS NO MERCADO

Atualmente existem vários tipos de equipamentos capazes de efetuar um levantamento VLF-EM. Acoplado a este sistema podem também serem encontrados equipamentos que exploram o método VLF-EMR.

Existem também atualmente magnetômetros e gradiômetros acoplados a equipamentos VLF que podem desta forma ampliar ainda mais a quantidade de informações e diminuir as incertezas obtidas durante um levantamento e sua subsequente interpretação.

A necessidade de se acoplar num único sistema, mais de um tipo de metodologia de investigação se faz necessário devido ao fato de, muitas vezes ser utilizado no campo somente um método de investigação, resultado frequente dos altos custos causados pelo deslocamento à área de estudo e aquisição de equipamentos.

Os aparelhos de VLF que se encontram disponíveis no mercado, podem ser divididos em duas categorias: os que medem somente os parâmetros associados à elipse de polarização e, os que medem as diversas componentes do campo VLF total. Vale a pena lembrar que o conceito descrito para a elipse de polarização de uma onda eletromagnética é apenas um modo de representar o campo total.

A próxima geração de receptores VLF deverá apresentar uma tendência de efetuar medidas individuais das componentes do campo total, decompostos em suas partes real (em fase) e imaginária (fora de fase).

Os diferentes receptores existentes atualmente no mercado, utilizam para a medida do campo magnético total as componentes do campo eletromagnético. Nestes, os parâmetros equivalentes à elipse de polarização, são apresentados de formas distintas através de um "display", onde podem ser visualizados os dados obtidos no levantamento, no momento em que esta sendo realizado ou então submeterem os dados à um tratamento matemático mais refinado.

O receptor VLF - EM mais citado nos trabalhos publicados desde 1971, é o fabricado pela GEONICS, que mede os parâmetros do campo eletromagnético total equivalentes à "ellipticity". Este receptor possui um dispositivo eletrônico que realiza a medida e registra os dados automaticamente, opera com frequências entre 15 e 25 KHz. Quando utilizado o EM16R, os eletrodos ficam separados de uma distância fixa de 10m entre si.

O equipamento fabricado pela ABEM, o WADI, opera com frequências de 15 a 30 kHz. Possui um rastreador de sinal que realiza a busca automática das antenas transmissoras de maior intensidade na direção em que o levantamento deverá ser efetuado no campo.

A visualização dos dados é realizada através de um "display" de cristal líquido onde os dados se apresentam pré-processados, através da aplicação de filtros.

O laboratório de geofísica do BRGM, desenvolveu a série SYSCAL de receptores VLF. Este receptor possui algumas particularidades. A primeira delas se dá ao fato da antena receptora possuir três bobinas, a outra é que quando utilizado no modo resistividade a investigação pode ser realizada em diferentes aberturas de eletrodos que podem variar de 5 a 20 metros. Possui um módulo de pré-tratamento dos dados através de filtragem, realiza busca automática dos transmissores mais intensos e trabalha com frequências que variam de 10 a 30 kHz.

A SCINTREX, também possui o seu receptor VLF, conhecido como VLF-3. Atualmente lançou o GSM-19, um único receptor que pode operar quando utilizado com seus respectivos acessórios como magnetômetro, gradiômetro e VLF que neste caso pode medir o campo VLF-EM, e quando acompanhado dos eletrodos capacitivos pode também efetuar as medidas de VLF-EMR.

3.1 O EQUIPAMENTO UTILIZADO: VLF - WADI

O equipamento utilizado para efetuar os levantamentos é o fabricado pela ABEM, conhecido como WADI.

O WADI é um instrumento geofísico desenhado para localizar estruturas físicas em zonas de rochas cristalinas, podendo estas estruturas serem verticais ou inclinadas.

Permite que os dados sejam descarregados diretamente em uma impressora ou que sejam transferidos para um micro computador para posterior tratamento.

Este equipamento mede a componente magnética do campo vertical induzido em relação à componente magnética do campo horizontal primário gerado pela antena transmissora, seus resultados são expressos em porcentagem de campo em duas outras componentes, uma em fase (real) e outra fora de fase (imaginária).

A versatilidade e as opções que o WADI oferecem durante um levantamento de campo são basicamente três:

1. portabilidade do sistema - o WADI é um equipamento que fica posicionado na cintura do operador suspenso por um cinto;
2. o equipamento possui um peso de aproximadamente 7 kg;

3. permite interpretar anomalias no momento em que se esta realizando o levantamento.

O equipamento é dividido em três partes: unidade de antena, unidade analógica de processamento de sinal e computador.

3.1.1 - UNIDADE DE ANTENA

A unidade de antena (Figura 5) é formada a partir de duas antenas compostas por núcleo de ferrite com um comprimento de 15 centímetros cada uma, enroladas por milhares de voltas, dispostas perpendicularmente de modo que uma possa medir a componente horizontal e a outra a componente vertical do campo.

Neste conjunto existe também um inclinômetro de $0,2^\circ$ de precisão acoplado à unidade de antena que dispensa um nivelamento preciso da antena, pois o inclinômetro permite corrigir automaticamente através de cálculos matemáticos o erro de nível da antena, desde que essa correção não seja muito grande.

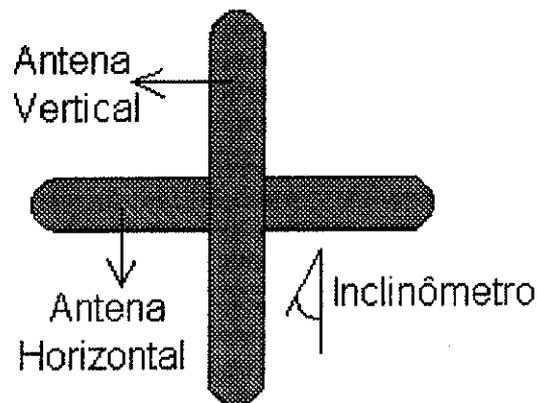


Figura 5 - Desenho esquemático da disposição das antenas.

Desta forma os parâmetros do campo magnético medidos são três:

- H_y : a amplitude horizontal do campo magnético primário, na direção perpendicular a linha que une o observador à antena transmissora.

- H_x : a amplitude da componente do campo magnético secundário que esta em fase com a componente horizontal.

- H_z : a amplitude da componente do campo magnético secundário que esta fora de fase com a componente horizontal.

Os valores obtidos durante os levantamentos são calculados automaticamente pelo equipamento a partir de uma relação entre as duas componentes verticais e a componente horizontal do campo magnético.

3.1.2 - UNIDADE CENTRAL

O módulo central deste equipamento é o que podemos identificar como sendo a unidade analógica de processamento de sinal .

Esta unidade é responsável pelo controle de todo o processo de leitura e aquisição dos dados, sendo composta basicamente por circuitos eletrônicos, processadores e amplificadores de sinal.

3.1.3 - UNIDADE DE PROCESSAMENTO

O computador acoplado à unidade analógica de processamento de sinal, possui um microprocessador que realiza todos os cálculos e gerencia a memória onde ficam armazenados todos os dados (Figura 6).

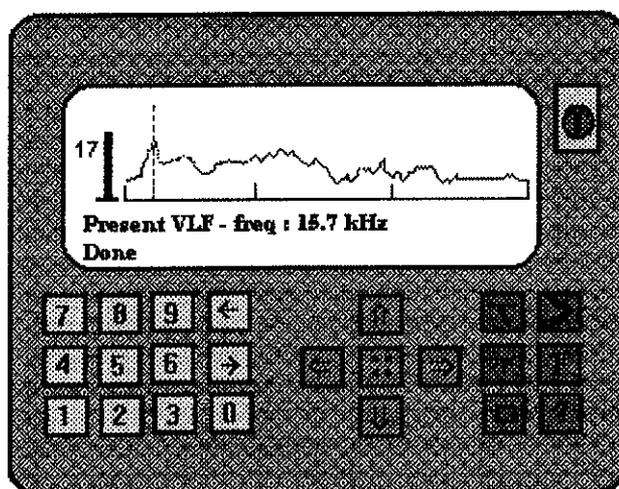


Figura 6. Desenho Esquemático da unidade de processamento

Possibilita através de teclas alfa-numéricas entrar com a direção dos perfis, orientá-los de acordo com um sistema de referência próprio do equipamento, e não ao sistema de coordenadas geográficas ao qual estamos habituados a utilizar.

Os resultados dos dados coletados são expressos em porcentagem (%) de campo, obtendo-se duas leituras: uma leitura da componente real (ou em fase) e uma leitura da

componente imaginária (ou em quadratura).

Pode-se controlar ainda o intervalo entre cada ponto de medida, a antena transmissora a ser selecionada, disposição dos dados dos perfis numa tela de cristal líquido com ou sem a aplicação de recursos matemáticos como o processo de filtragem.

Este módulo possui ainda uma opção de interpretação que pode ser utilizada no campo durante o levantamento, sem que seja necessária a transferência dos dados obtidos para outro computador com maior capacidade de processamento.

Capítulo 4

4 - MÉTODOS DE INTERPRETAÇÃO

Ao decorrer dos anos foram surgindo métodos de interpretação para os dados obtidos durante um levantamento VLF.

Os dados obtidos podem ser interpretados qualitativamente (FRASER, 1969; KAROUSL-HJELT, 1983; OGILVY & LEE, 1991).

Outro método qualitativo de interpretação dos dados pode ser realizado através de modelamento matemático que envolve cálculo direto das anomalias. Os modelos gerados numericamente podem auxiliar tanto na etapa de programação do trabalho de campo, até no estabelecimento de modelos comparativos de interpretação, dos resultados obtidos durante o levantamento.

SAYDAM (1981) estabeleceu um método quantitativo de interpretação levando em conta fatores como a resistividade da rocha encaixante, a condutância e a condutividade do corpo.

4.1 - SIGNIFICADO DAS ANOMALIAS

As componentes do campo magnético definidas com base na elipse de polarização são dispostas da seguinte forma: o eixo maior da elipse de polarização é paralelo à direção do campo magnético e portanto perpendicular à linha que une o observador à antena transmissora, enquanto o eixo menor da elipse é ortogonal ao eixo maior e ao solo.

A inclinação do eixo maior da elipse de polarização é igual a zero, quando este eixo for horizontal (paralelo ao solo). Quando no sub-solo ocorrer a presença de um corpo condutor o eixo da elipse de polarização tende a se inclinar para valores positivos ou negativos dependendo do contraste de resistividade entre o corpo e o meio encaixante, da sua forma e da profundidade (Figura 7).

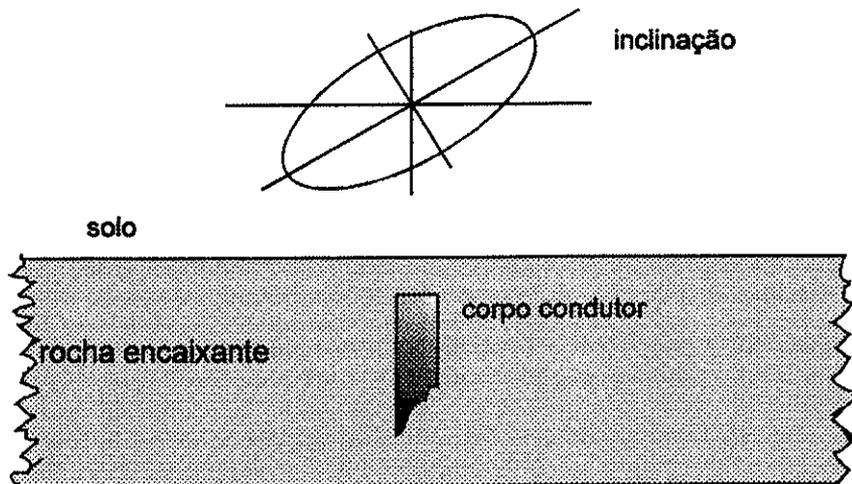


Figura 7 - Inclinação da elipse de polarização.

Na presença de um terreno homogêneo, o ângulo de inclinação do eixo maior da elipse de polarização é igual a zero (Figura 8)

Ao se aproximar de um corpo condutor o eixo maior da elipse se inclina cada vez mais até atingir um valor máximo, em seguida a inclinação do eixo diminui passando pelo zero normal, ponto este em que se encontra o centro do corpo condutor quando este é atravessado.

Afastando-se do corpo, o eixo da elipse continua se inclinando passando a assumir valores negativos até o ponto em que a inclinação do eixo maior da elipse atinge valores mínimos, e em seguida continua se inclinando até atingir novamente o valor zero.

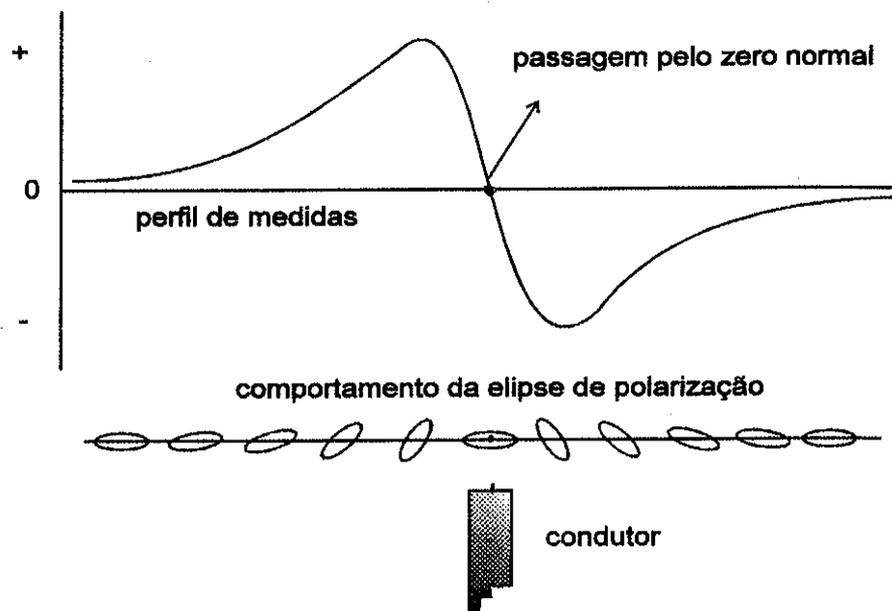


Figura 8. Perfil de inclinação da elipse de polarização.

4.2 - INTERPRETAÇÃO QUANTITATIVA

4.2.1 - INTERPRETAÇÃO DAS ANOMALIAS ATRAVÉS DE ÁBACOS

Numa tentativa de quantificar os parâmetros das anomalias real e imaginária SAYDAM (1981), confeccionou uma série de ábacos a partir de um modelo matemático geral.

O modelo proposto consiste de um dique vertical, infinito em profundidade e extensão lateral, atravessando um meio homogêneo e resistivo.

Uma curva típica do par de medidas realizadas quando se está operando no modo inclinação (real e imaginária, ou em fase e quadratura ou ainda ângulo "tilt" e "ellipticity") pode ser observada na Figura 9. Os valores indicados de pico a pico na curva do ângulo "tilt" (α_{max}) e de pico a pico na curva de "ellipticity" (ϵ_{max}) são magnitudes absolutas entre o mínimo e o máximo de cada uma destas grandezas.

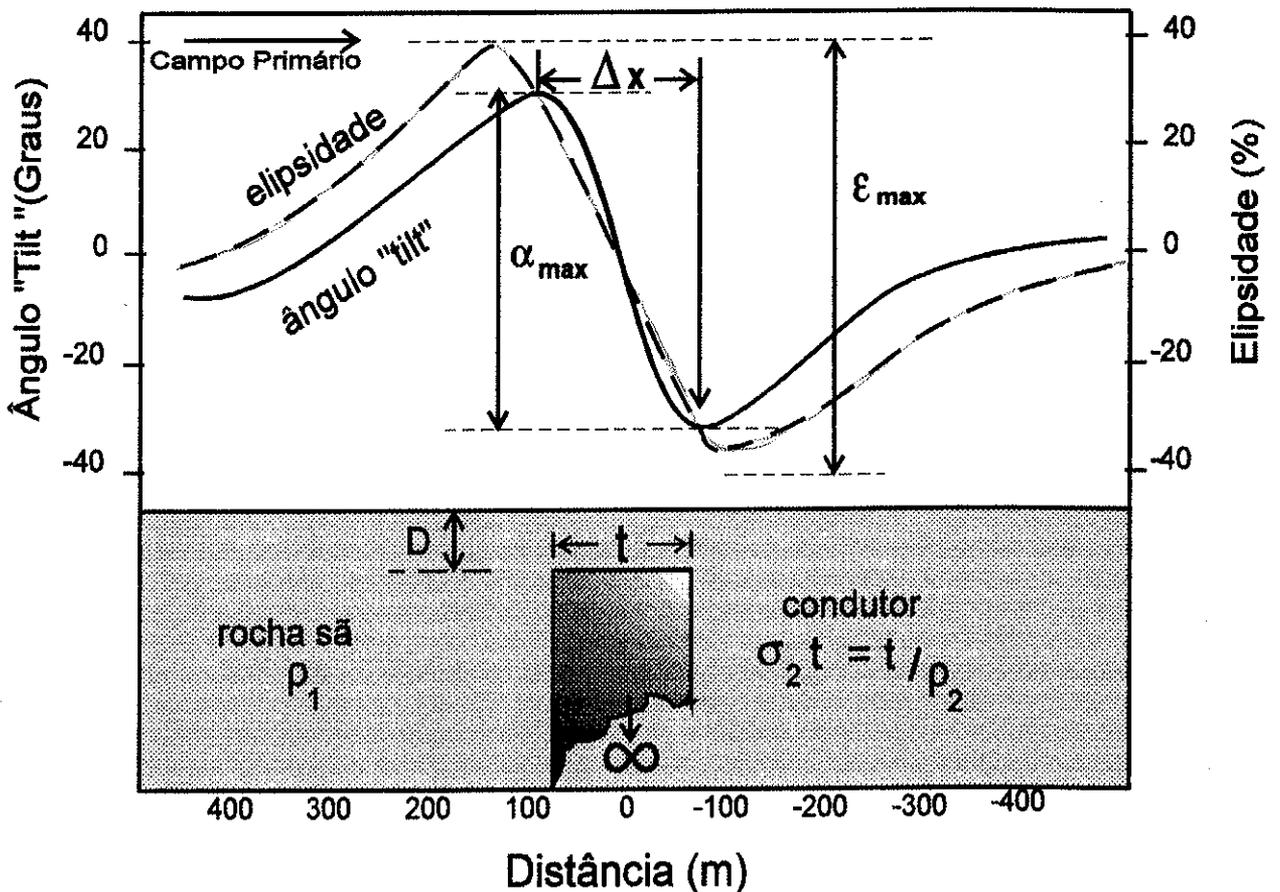


Figura 9. Interpretação quantitativa de um levantamento VLF no modo inclinação (SAYDAM, 1981).

Segundo SAYDAM (1981) a diferença das anomalias em função da frequência utilizada durante um levantamento VLF, é insignificante.

A interpretação proposta se baseia na determinação dos parâmetros físicos de um corpo condutor bidimensional, realizada graficamente através de ábacos calculados, levando-se em consideração a condutância (produto entre a condutividade do corpo e sua espessura) bem como a sua profundidade e a resistividade da rocha encaixante.

A interpretação através destes diagramas é feita extraindo-se dos dados obtidos no campo os valores α_{max} e ϵ_{max} , em seguida consulta-se o diagrama que possui a resistividade da rocha encaixante.

A partir daí pode-se obter a condutância do corpo condutor e a profundidade na qual ele poderá ser encontrado.

Os diagramas (Figuras 10 a 14) obtidos foram construídos por SAYDAM (1981) possuindo como característica principal a variação da profundidade e a condutância dos corpos em função do ângulo "tilt" e da "ellipticity", obtidos a partir do modelo descrito anteriormente, encaixado numa rocha com resistividades de 50, 250, 2.500 e 8.000 $\Omega \cdot m$.

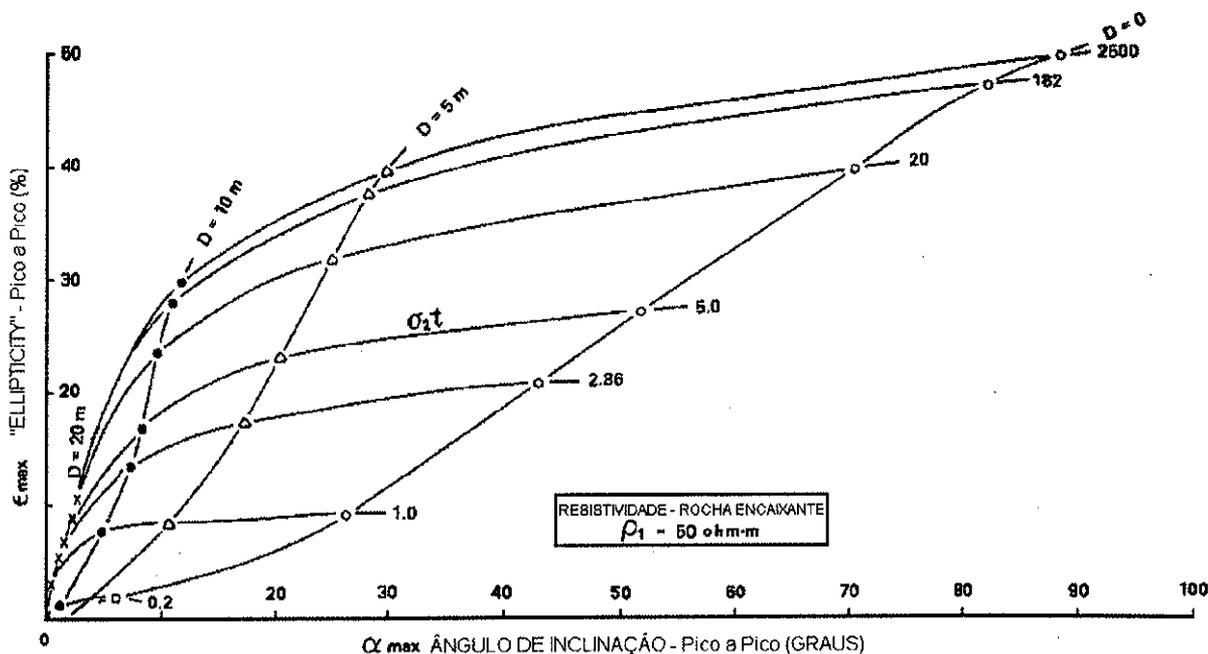


Figura 10. Diagrama característico para resistividade da rocha encaixante de 50 $\Omega \cdot m$ (SAYDAM, 1981).

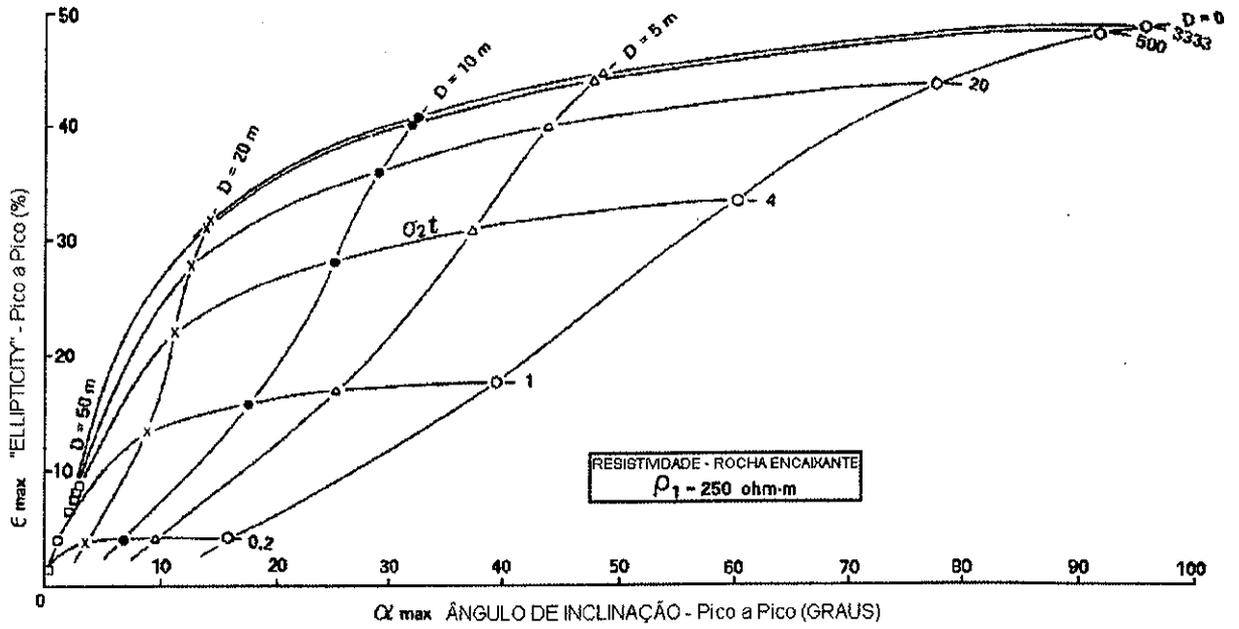


Figura 11. Diagrama característico para resistividade da rocha encaixante de 250 $\Omega\cdot\text{m}$ (SAYDAM, 1981).

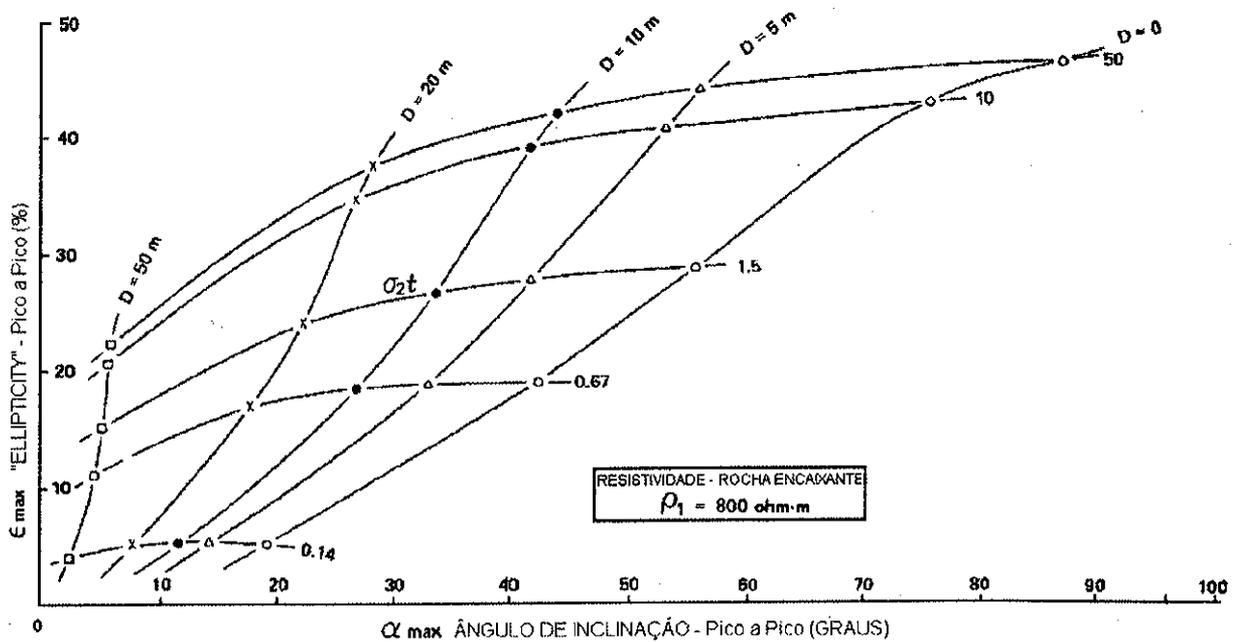


Figura 12. Diagrama característico para resistividade da rocha encaixante de 800 $\Omega\cdot\text{m}$ (SAYDAM, 1981).

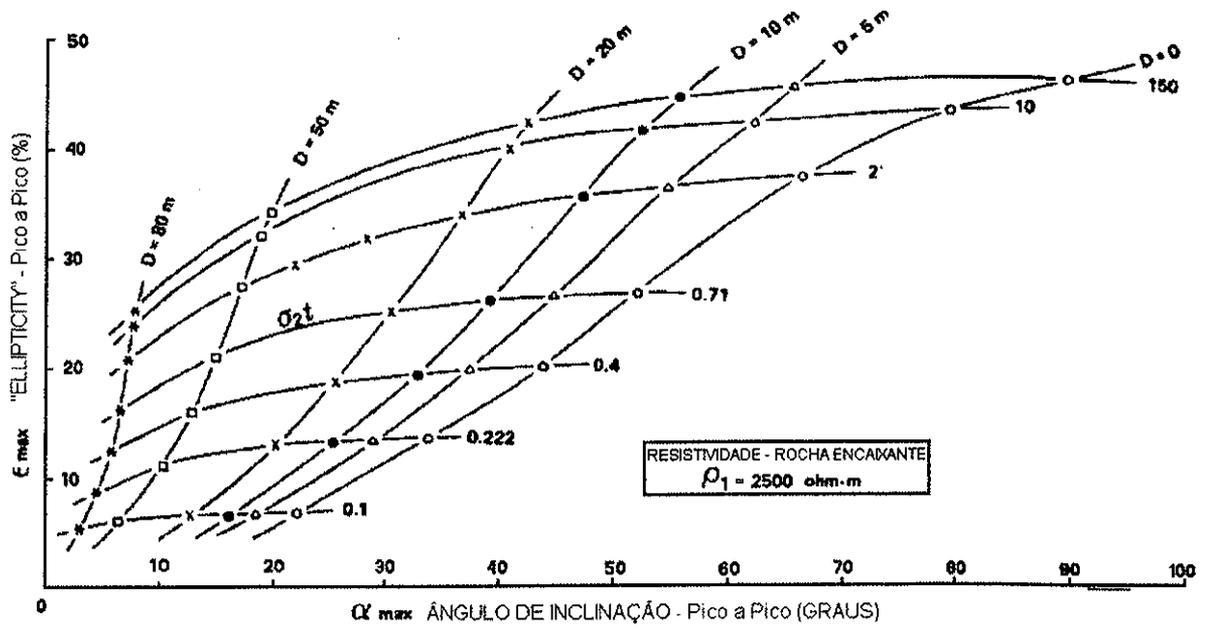


Figura 13. Diagrama característico para resistividade da rocha encaixante de 2500 Ω.m (SAYDAM, 1981).

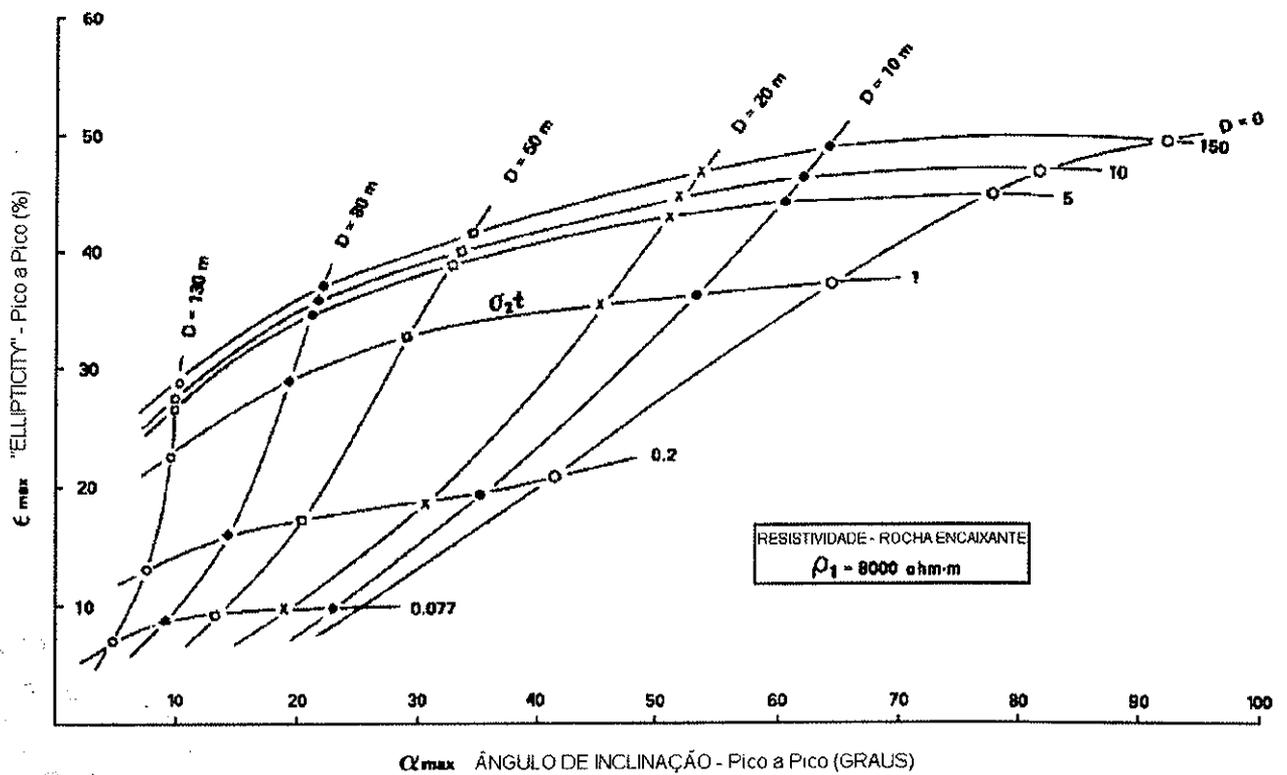


Figura 14. Diagrama característico para resistividade da rocha encaixante de 8000 Ω.m (SAYDAM, 1981).

Esta metodologia de interpretação no entanto possui limitações:

1. o condutor deve ser vertical e possuir uma grande extensão;
2. o meio encaixante deve ser homogêneo e possuir uma resistividade conhecida entre 50 e 8.000 $\Omega.m$;
3. a linha do levantamento deve ser perpendicular à direção do corpo e a direção da antena VLF transmissora;
4. a frequência do levantamento deve ser 17 kHz ou próxima a ela.

A quebra de qualquer uma das quatro condições acima citadas, tais como a presença de uma cobertura condutora, ou se a resistividade da rocha encaixante não esteja na gama de resistividades citadas nos diagramas ou ainda se a resistividade deste meio não for conhecida, poderá tornar este tipo de interpretação impossível de ser realizada.

Por exemplo, a presença de uma cobertura condutora pode causar uma atenuação da anomalia na leitura dos dados mascarando desta forma a profundidade em que o corpo deveria estar, fazendo assim com que o corpo se encontre a uma profundidade maior do que a profundidade na qual ele realmente se encontra.

Outra interferência que ocorre durante um levantamento é o fato de poder haver uma descontinuidade lateral da cobertura, e isto se agrava a medida em que exista um contraste bom de resistividades, causando desta forma uma nova anomalia.

4.2.2. MODELAMENTO MATEMÁTICO

Várias técnicas de modelamentos para o tratamento de dados, e descrição de modelos geológicos simulando situações que poderiam ser realmente encontradas durante um levantamento permitem que, após o término da coleta de dados, seja possível ainda no campo dar um pré-tratamento aos dados coletados e simultaneamente simular uma das situações que mais se aproxime das condições geológicas obtidas a partir das observações realizadas, avaliando-se desta maneira se o objetivo do trabalho foi atingindo ou não.

Nos últimos anos foram realizados vários trabalhos de modelamento teórico sobre o comportamento do campo eletromagnético, originado a partir de uma antena transmissora de baixa frequência, na presença dos mais diferentes tipos de corpos (COGGON, 1971; CONEY, 1977; KAIKKONEN, 1977, 1979; BAKERS; MYERS, 1979; OLSSON, 1980, 1983; SAN FILIPO; HOHMANN, 1983; SINHA, 1990;).

KAIKKONEN (1977, 1979), COGGON (1971) utilizaram a técnica de aproximação por elementos finitos para descrever modelos complexos em duas dimensões.

Como todos os métodos de aproximação numérica a técnica dos elementos finitos é baseada no conceito de discretização. A discretização pode ser uma simples descrição de como o processo é fisicamente dividido em regiões de interesse dentro de um sistema equivalente de elementos finitos.

OLSSON (1978) utilizou a técnica "scattering matrix" onde foi utilizada uma auto função do plano de onda para resolver o problema de um semi plano perfeitamente condutor abaixo de um semi espaço estratificado, já em 1983 o mesmo autor utiliza a mesma técnica e estende o problema incluindo o caso de um semi plano condutor e de uma cunha perfeitamente condutora. Estas aproximações possuem como principais características:

- 1- a facilidade em manipular os parâmetros de entrada de cada modelo (mergulho, condutividade do semi plano e propriedades da cobertura);
- 2- baixo tempo requerido na compilação dos dados.

Por outro lado a mais importante desvantagem está na dificuldade de modificar a geometria do modelo para uma geometria mais complexa.

Em ambos os casos os autores se utilizam de técnicas diferentes para simularem as anomalias que seriam obtidas nos modelos por eles descritos, tentando desta forma uma aproximação teórica de uma situação que pode se aproximar da realidade e acontecer na prática

4.3. MÉTODOS QUALITATIVOS

4.3.1. INTERPRETAÇÃO UTILIZANDO MÉTODO DE FILTRAGEM

4.3.1.1 - FILTRO FRASER

A interpretação através desta técnica é baseada em uma filtragem linear discreta dos dados VLF.

A técnica da filtragem inicialmente descrita por FRASER (1969) se aplica aos valores da parte real por serem mais fáceis de serem interpretadas.

O objetivo desta metodologia de interpretação é tornar mais visíveis as anomalias obtidas durante um levantamento, anulando a resposta de pequenos corpos e destacando as anomalias mais importantes.

Para calcular o valor do filtro Fraser, a cada perfil de medida são definidas estações intermediárias e o valor que corresponde a cada nova estação é uma resultante da soma dos valores de duas estações imediatamente anteriores, menos o valor de duas

estações imediatamente posteriores, ou seja, somam-se os valores das quatro estações obtendo-se um novo valor para a nova estação intermediária, depois de multiplicá-los por 1 os dois valores anteriores e por -1 os dois valores posteriores (Figura 15).

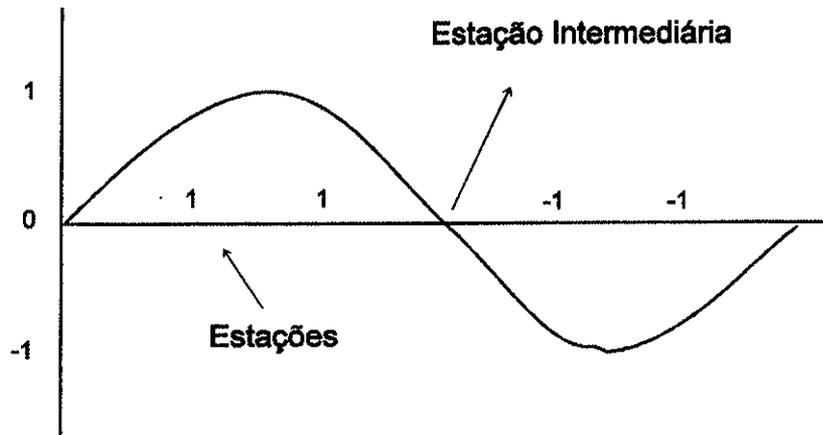


Figura 15. Coeficientes do filtro Fraser.

Para cada ponto medido são necessários quatro pontos para a aplicação do filtro, conseqüentemente um perfil de medida com n pontos de estações terá como resultado um perfil Fraser de $n-3$ estações.

Após a aplicação do filtro Fraser obtém-se uma nova curva de dados onde a passagem pelo zero normal dos dados obtidos deverá resultar no perfil "Fraser" em um pico exatamente sobre este ponto (Figura 16).

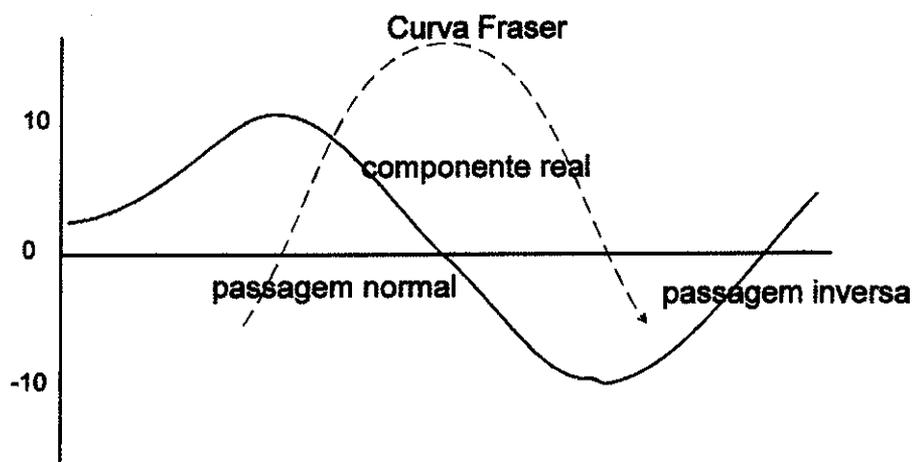


Figura 16. Curva obtida através da aplicação do filtro Fraser.

O dado de maior importância obtido através da aplicação do filtro Fraser é a passagem pelo zero normal (passagem de valores positivos para valores negativos) e inversas.

A passagem normal fornece na curva Fraser um pico máximo que é o ponto de interesse, enquanto a passagem inversa (passagem de valores negativos para positivos dos dados) resultará em valores negativos na curva Fraser.

Os valores negativos resultantes da aplicação do filtro Fraser não possuem qualquer significado.

Note que a todo o momento este tratamento e sua interpretação levam em conta apenas as variações verificadas na componente real dos dados.

4.3.1.2 - FILTRO KAROUS-HJELT

Este tipo de filtragem é muito parecida com a desenvolvida por FRASER (1969) e pode ser aplicado em vários casos e condições, todavia é um método mais complexo e amplo.

A filtragem desenvolvida por KAROUS e HJELT (1983) se baseia no fato de campos magnéticos estarem associados a fluxos de corrente. O filtro tenta com isto deduzir a distribuição de corrente responsável pela formação do campo magnético medido na superfície em várias profundidades.

O modo de aplicação do filtro é o mesmo discutido no tópico anterior, multiplicar os valores dos parâmetros medidos em cada estação por um determinado coeficiente, somar os resultados e obter o novo valor para cada estação.

O número de estações envolvidas para cada nova inter-estação definida, dependem do intervalo (2, 4, 6, 8, 10, 20) (Tabela 2) de filtro que se utiliza, ou seja o filtro Hjelte possui 6 filtros complementares que permitem a confecção de uma pseudo-seção de densidade de corrente, mostrando desta forma a distribuição das correntes a diversas profundidades, possibilitando desta forma transformar uma coleta de dados 1D em um levantamento 2D.

Tabela 2. Coeficiente dos filtros. Range= (n+1).2

n \ L	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	1,250									
1	1,383	-0,115								
2	1,446	-0,323	0,205							
3	1,434	-0,299	-0,109	0,102						
4	1,434	-0,298	0,116	-0,003	0,116					
9	1,434	-0,299	0,109	0,013	0,027	0,020	0,019	0,022	0,022	0,081

Capítulo 5

5 - FATORES DE INTERFERÊNCIAS NOS DADOS

Além das limitações que a própria metodologia impõe, causadas pela baixa profundidade de penetração de uma onda eletromagnética, gerada por transmissores de altas frequências, em meios que possuem condutividades relativamente altas, ou então coberturas mesmo que pouco condutivas mas relativamente espessas, o método VLF, assim como qualquer outro método de investigação geofísica sofre muito em áreas urbanizadas devido aos ruídos gerados.

Os levantamentos efetuados no campo possuem suas características próprias, interferências e ruídos.

Praticamente todos os métodos de investigação geofísica já possuem embutidos em si uma incerteza, pois o desenvolvimento básico tanto teórico quanto em laboratório é normalmente realizado para condições ideais, ou seja, locais onde as propriedades físicas dos estratos que compõem o subsolo são isotrópicas, homogêneas e de extensão lateral infinita.

Quando estudos de campo são realizados, nota-se a ocorrência de anisotropia dos estratos (suas propriedades físicas variam nas três direções de um eixo de coordenadas).

Entende-se por ruído geológico todos os efeitos de corpos ou estruturas adjacentes à linha de levantamento ou pertencente a ela, que geram anomalias afetando os dados e não são alvo de interesse para o estudo em questão.

As anisotropias são as principais causadoras desse tipo de ruído, que pode ser causado por zonas de concentração de minerais ou até mesmo por estruturas de pequeno porte que são detectadas durante o trabalho de campo e não possuem expressão suficiente para despertar um interesse técnico.

Além do ruído geológico, os dados de um levantamento podem estar carregando consigo medidas realizadas que são influenciadas por fatores externos de origem temporais (flutuações na intensidade do sinal e interrupção da transmissão, nascer e pôr do sol e rápidas flutuações durante a noite) e espaciais (reflexão das ondas aéreas na ionosfera, tempestades magnéticas e a distância entre os transmissores e os receptores), que não se relacionam com a geologia (VALÉE *et al.*, 1992).

VALÉE *et al.* (*opt. citu*) monitoraram durante a primavera de 1988, a intensidade do campo elétrico com a finalidade de identificar e analisar variações do tipo temporal como classificadas por eles. As estações monitoradas durante um período de 24 horas foram NAA,

situada em Cutler, Maine, que possui frequência de 24 kHz e NSS, situada em Annapolis, Maryland, que opera na frequência de 21.4 kHz).

As variações temporais que ocorrem no campo primário produzem uma baixa frequência de deriva do sinal VLF. De acordo com a origem dessas variações, elas podem ser divididas em dois grupos:

- a) variações na fonte transmissora (causadas pelo homem);
- b) mudanças que dependem da geometria emissor-receptor e do meio de propagação.

O efeito causado pelo homem, pode ser facilmente notado, pois o campo primária emitido pela antena transmissora sofre uma interrupção no momento de sua recepção, configurando desta forma uma falha humana ou desligamento do transmissor para uma eventual manutenção (Figuras 17a e 17b).

Para o segundo tipo de variações tem-se como explicação o fato de ondas do tipo VLF se propagarem limitadas por dois horizontes, sendo um deles a ionosfera e o outro a superfície da terra.

Parte da ionosfera, conhecida como camada-D situada a uma altura entre 60 e 80 km da superfície afeta a propagação das ondas VLF. Esta região da atmosfera superior é ionizada por radiação solar, por esta razão a propagação das ondas é fortemente afetada pelo sol, o que explica a diferença de intensidade dos valores verificados entre o dia e a noite, e a rápida variação que existe no momento em que o sol nasce até o momento em que ele se põe (Figura 17a e 17b).

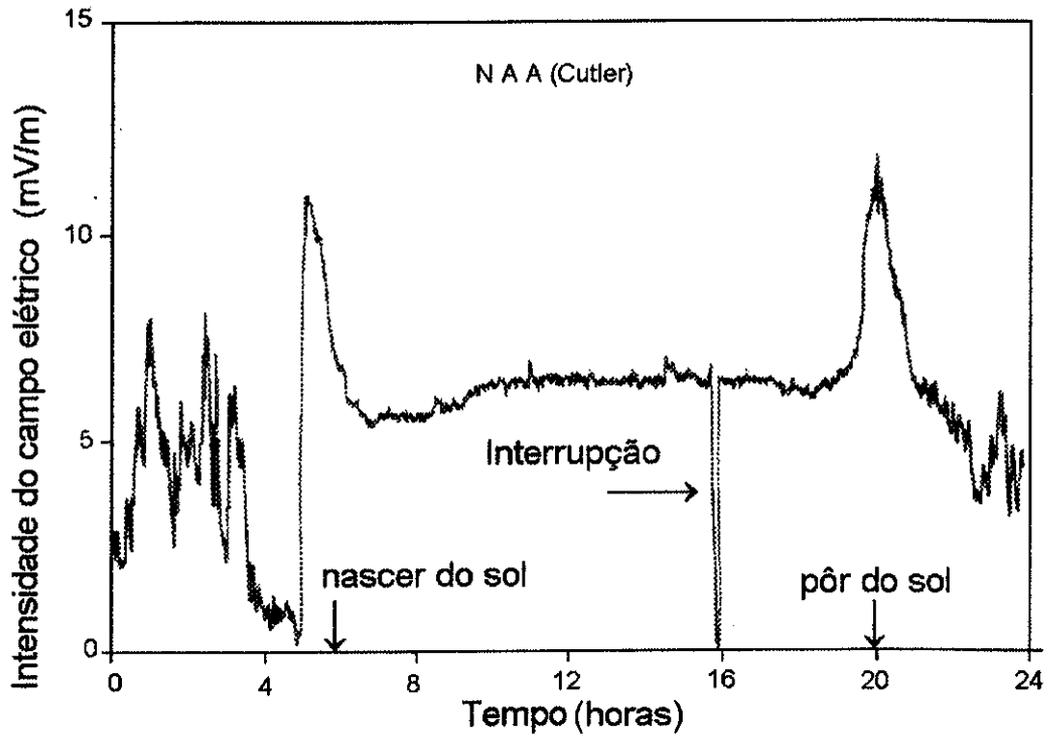
Já as variações espaciais que ocorrem podem ser cuidadosamente previstas através de variações que são notadas no receptor do campo primário utilizado como estação para base de dados.

Existem vários modelos de propagação das ondas eletromagnéticas refletidas e terrestres.

Segundo o modelo utilizado no estudo que VALÉE *et al.* (1992) realizaram, de acordo com a distância existente entre o sistema transmissor-receptor, que esta sendo utilizado em um levantamento VLF, a propagação de uma onda e sua condequente reflexão pode possuir uma contribuição maior do que uma onda de propagação terrestre, modificando desta forma a intensidade do campo que se desejava medir (Figura 18).

Com relação às interferências causadas pela geologia podem ser destacadas, como já foi citado anteriormente, a alta condutividade e espessura das camadas que cobrem o embasamento cristalino.

a)



b)

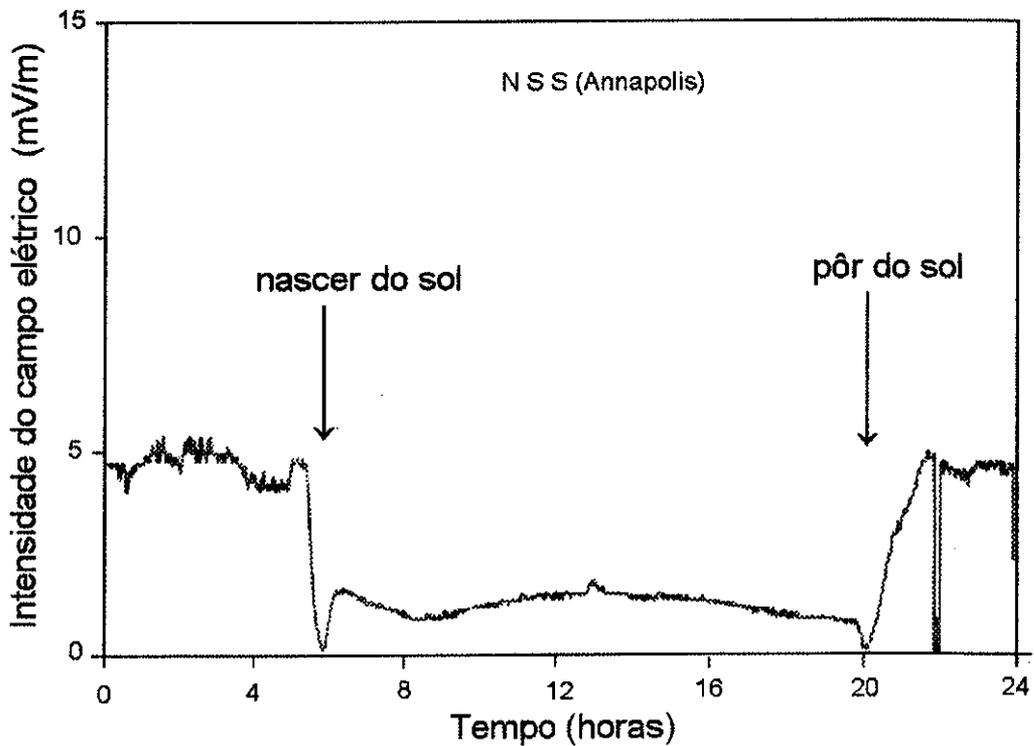


Figura 17. a) monitoramento da intensidade do campo elétrico gerado pela antena transmissora de NAA, que opera na frequência de 24 kHz, durante um período de 24 horas. b) monitoramento da intensidade do campo elétrico gerado pela antena transmissora de NSS, que opera na frequência de 21.4 kHz, durante um período de 24 horas (extraído e adaptado de VALÉE, *et al.*, 1992).

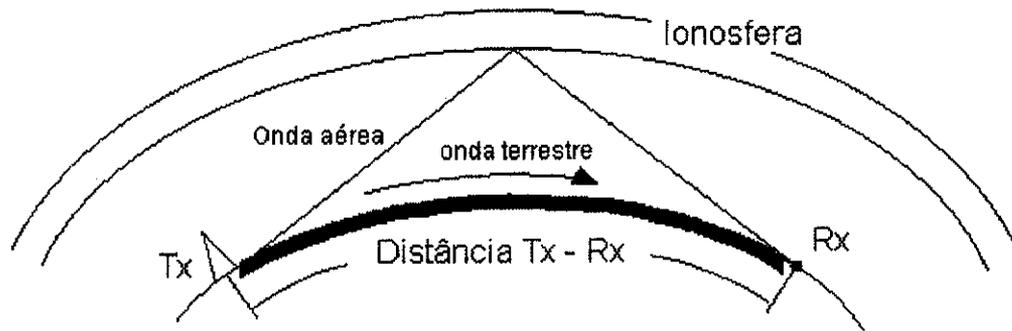


Figura 18. Modelo simplificado da propagação de uma onda VLF (adaptado de VALÉE *et al.*, 1992).

Quanto a interferência que uma rede de alta tensão pode causar é reportado nos resultados obtidos durante um levantamento efetuado no Município de Catunda, mais precisamente no Distrito de Recanto, situado no Estado do Ceará.

A anomalia de maior intensidade que pode ser notada neste perfil posicionada sobre o ponto 890N no perfil de dados filtrados a uma profundidade de 10 metros, foi obtida quando se cruzou ortogonalmente uma linha de alta tensão (Figura 19).

A interferência causada por redes de eletricidade, pode ser ainda verificada no levantamento efetuado em Messejana, no interior de uma granja (Figura 20a e 20b), onde o perfil 8100N realizado próximo à divisa do terreno, ao lado de um conjunto habitacional próximo de uma rede elétrica resulta em elevados valores de anomalias.

O perfil 7900N é marcado por anomalias fortes e de alta intensidade no seu início. Esta zona está diretamente relacionada com a área industrial da granja (escritório, abate, formas de ovos, etc), enquanto que os perfis 7800N, 8000N e 7900N do ponto 200S até o final, estão basicamente concentrados na área onde as aves são criadas.

Perfis próximos, espaçados de 25 metros não justificam tal contraste na intensidade do sinal, seguramente há portanto uma contribuição das redes de eletricidade.

No entanto, no momento em que a filtragem dos dados é realizada e eles são plotados, nota-se que há uma queda considerável na intensidade de algumas anomalias.

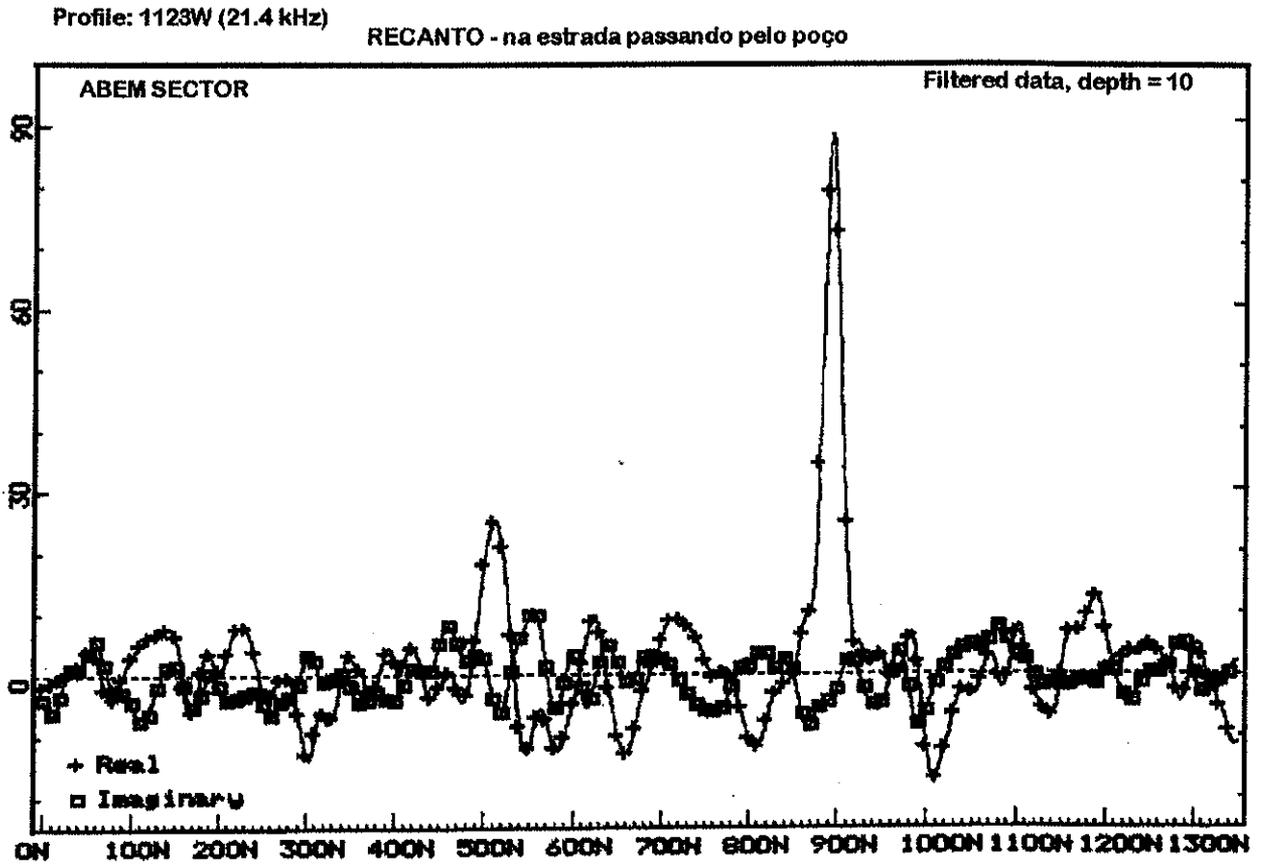


Figura 19. Anomalia medida oriunda de interferência causada por rede de alta tensão, Catunda, CE.

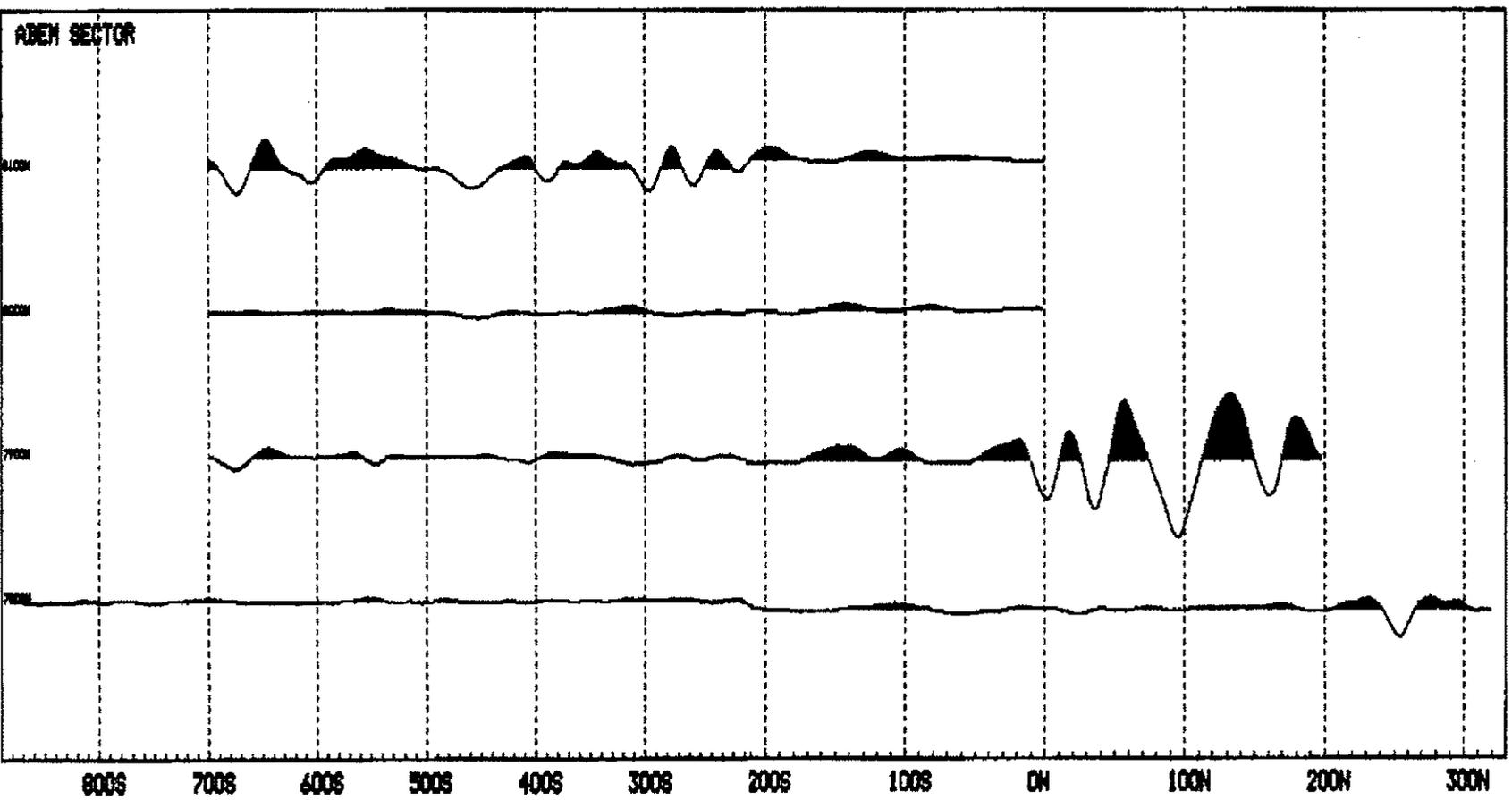


Figura 20 a. Efeito de amplificação do sinal medido causado pela ocorrência de rede elétrica e instalações industriais (filtragem depth = 10m).

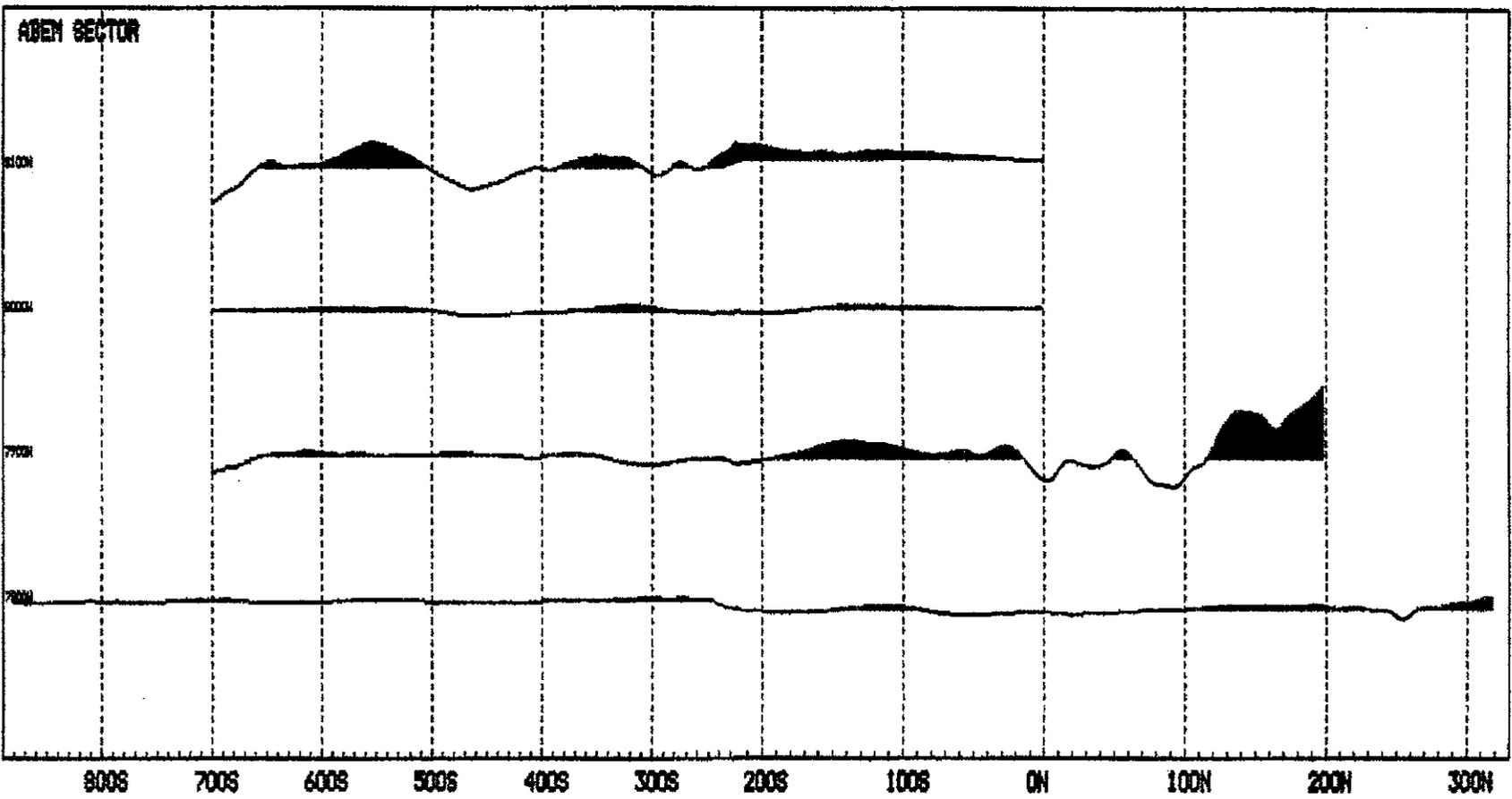


Figura 20 b. Efeito de amplificação do sinal medido causado pela ocorrência de rede elétrica e instalações industriais (filtragem depth = 30 m).

Capítulo 6

6 - HIDROGEOLOGIA

Poucas tarefas em hidrogeologia são mais difíceis do que selecionar locais para perfuração de poços em rochas ígneas e metamórficas que apresentem vazões e águas de boa qualidade.

Variações extremas de litologia e a pequena dimensão das estruturas relacionadas com zonas altamente produtoras de água fazem com que a exploração geológica e geofísica seja bastante difícil.

Rochas metamórficas e rochas ígneas possuem raramente uma porosidade maior do que 2%, devido ao pequeno tamanho dos poros e o baixo grau de interconecção entre eles. As permeabilidades primárias (10^{-5} a 10^{-8} milidarcy) destas rochas são extremamente pequenas. Porosidades e permeabilidades apreciáveis somente são encontradas em zonas de fraturamento e na faixa do manto de intemperismo da rocha.

A permeabilidade média, de rochas metamórficas e rochas ígneas diminui rapidamente com o aumento da profundidade. Esta diminuição no grau de permeabilidade se dá principalmente devido a efeitos combinados causados pelas massas que cobrem as rochas e a tendência de distúrbios que podem ocorrer na superfície, não possuem uma grande penetração no embasamento, ou então, devido a pressões reinantes, que resultam em zonas de fraturas.

As causas superficiais que produzem o aumento da permeabilidade das rochas incluem:

- a) deslizamentos;
- b) descarga erosiva das rochas sotopostas e;
- c) intemperismo químico e físico entre outros fatores.

Os efeitos causados pelos deslizamentos de rochas, atingem somente a parte superior do embasamento e produzem depósitos locais de rochas fragmentadas que podem se tornar importantes zonas de recarga rápida de água subterrânea e, se saturadas, bons aquíferos.

A descarga erosiva das rochas sotopostas, produz uma fina estrutura em rochas graníticas maciças. As pequenas fraturas que são aproximadamente paralelas e horizontais, são fontes locais importantes de água.

A distância entre zonas de fraturas tende a aumentar rapidamente com a profundidade, porém tornam-se mais raras e quase ausentes a profundidades que atingem poucas centenas de metros enquanto que o intemperismo químico geralmente se restringe a uma profundidade de até 100 metros.

De uma maneira geral os poços produtores obtidos em rochas metamórficas apresentam um rendimento menor do que os obtidos em rochas ígneas. A diferença encontrada entre poços produtivos tende a refletir diferenças causadas pelo grau de intemperismo e/ou de fraturamento antes de indicar mudanças inerentes na composição mineralógica ou estrutural no interior da rocha .

As menores vazões ocorrem geralmente em rochas do tipo filito e outros tipos de rochas metamórficas foliadas que apresentem falhas ou juntas abertas, onde ocorre um rápido fechamento destas estruturas com o aumento de profundidade.

As maiores taxas de vazão geralmente são obtidas em rochas carbonáticas nas quais a circulação de água tende a aumentar consideravelmente as fraturas por solução. As rochas onde geralmente ocorrem este tipo de processo, são representados por rochas como o calcáreo e o dolomito.

A composição química das águas superficiais e subterrâneas depende da água de descarga e dos processos responsáveis por mudanças nas concentrações de sais, tais como a evaporação, a dissolução de sais das rochas do aquífero e a sua diluição com água de composição química diferente.

A qualidade da água encontrada em rochas metamórficas e ígneas é geralmente excelente, no entanto quando nos encontramos em regiões áridas a concentração de sais nas águas é maior.

As águas das chuvas responsáveis por boa parte da recarga dos aquíferos, da região de estudo, possuem concentrações salinas que variam de acordo com a distância da área à costa, devido a contribuição de sais provenientes das precipitações de sais advindos do litoral.

A salinização do solo é mais provável de ocorrer em regiões onde a taxa de evaporação é mais alta, devido ao fato da água evaporar antes de ocorrer a infiltração, causando desta forma um acúmulo de sais nas camadas mais superficiais.

A salinização pode se dar também em áreas onde a drenagem é inadequada e os sais das camadas mais profundas sobem por capilaridade ou quando o nível do lençol freático sobe, devido à contribuição de água utilizada no processo de irrigação.

Capítulo 7

7 - ÁREAS DE TESTES

7.1 - ESTADO DA BAHIA

Com a necessidade de calibrar a metodologia por um estudo prático, foram realizados levantamentos no interior da Bahia em algumas localidades onde as condições básicas de aplicabilidade do método eram satisfeitas (manto de intemperismo ou uma cobertura sedimentar de pequena espessura).

Estas localidades já possuíam poços perfurados e todas as informações pertinentes sobre eles.

Os poços utilizados para a pesquisa (Anexo 1), possuíam características próprias e diversas, sendo que:

- três continham água doce nas localidades de Riacho dos Pilões, Represa e Barracas,
- um continha água salgada situado no km 39 da rodovia que liga a localidade de Pedras Altas a localidade de Barraca e,
- um poço foi considerado como sendo seco localizado em Riacho da Onça perfurado até a profundidade de 90 metros.

A área de estudo localiza-se nas seguintes coordenadas geográficas:

11°00'	11°30'	Latitude Sul
39°30'	40°10'	Longitude Oeste

Localmente estas áreas situam-se sobre a Formação Capim Grosso e como representantes do embasamento cristalino temos rochas do complexo granulítico, metatexitos e gnaisses pertencentes ao Grupo Pré-Espinhaço (Figura 21).

MAPA GEOLÓGICO

ESCALA - 1 : 250.000

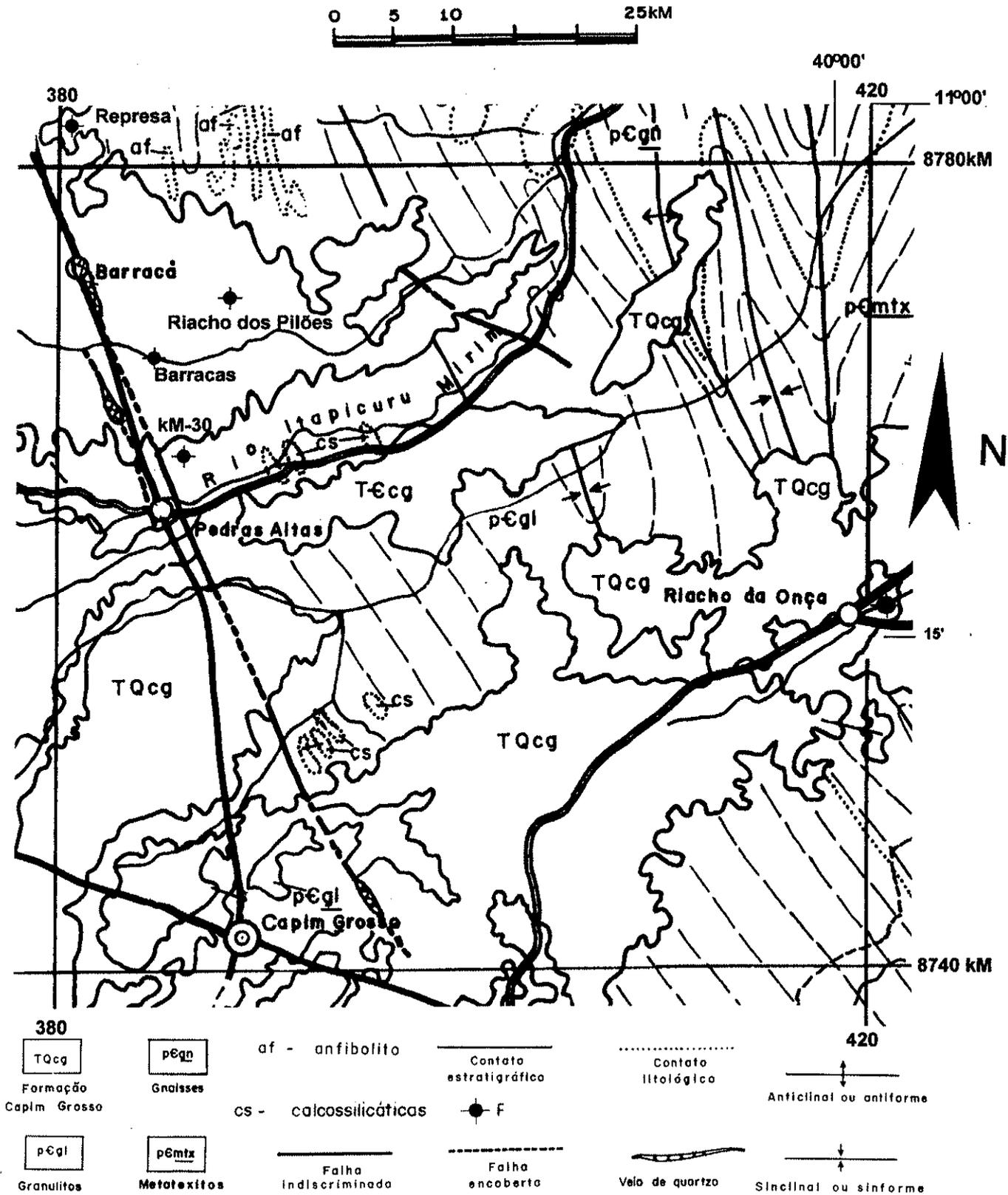


Figura 21. Mapa Geológico da área de estudo situada no Estado da Bahia escala de apresentação 1:250.000 (adaptado de DNPM -1975 - 1:500.000)

7.1.1 - ESTRATIGRAFIA

7.1.1.1 - FORMAÇÃO CAPIM GROSSO

Esta formação sedimentar é encontrada na porção centro oriental do Estado da Bahia, mas sua maior ocorrência se dá próxima ao Município de Capim Grosso.

Litologicamente esta cobertura sedimentar é representada por sedimentos arenos e argilo-siltíticos repousando discordantemente sobre rochas sobrejacentes, principalmente dos Complexos Metamórficos Migmatíticos e Granulíticos.

São sedimentos subangulares a subarredondados de coloração amarela e esbranquiçada, muito mal selecionados.

BRITO NEVES~~2~~FEITOSA (1969) encontraram em sua espessura máxima na estrada de Capim Grosso - Jacobina com cerca de 34 metros. Descreveram ainda que na sua parte basal, ocorre um nível conglomerático descontínuo, com espessuras variando de 1 a 3 metros, sobre o qual repousam areias claras quartzozas, mal selecionadas, contendo de 15 a 40% de porção siltico argilosa.

7.1.1.2 - EMBASAMENTO CRISTALINO

As rochas que representam o embasamento cristalino nesta região, pertencem ao Grupo Pré-Espinhaço e na área do levantamento são representadas basicamente por rochas do Complexo Metamórfico-Migmatítico e do Complexo Granulítico.

As relações estratigráficas do Complexo Metamórfico Migmatítico são extremamente complexas e segundo MASCARENHAS (1979), embora se observe contato por falhas, como na região de Itapetininga e de Serrinha, em geral, o contato com as rochas do Complexo Granulítico ocorrem de forma gradacional.

Dentre as unidades mais representativas da área de estudo estão os metatexitos intercalados por corpos de xistos, quartzitos, anfibolitos e rochas calcossilicatadas.

A principal característica destes metatexitos é a exibição de uma estrutura alongada do tipo estromática, próprias de migmatitos, mas por vezes atingidas por dobramentos menores.

No Complexo Granulítico ocorrem granulitos que se caracterizam por possuir uma composição isotrópica ou foliada, com textura granuloblástica, podendo a isotropia e a foliação ocorrerem num mesmo afloramento onde a primeira caracteriza a rocha fresca e a foliação as partes mais intemperizadas.

7.2 - CEARÁ - MUNICÍPIO DE MARACANAÚ

O município de Maracanaú, situado a SW da cidade de Fortaleza, possui uma área de 94 km². Em 1990 possuía cerca de 96.740 habitantes na zona urbana e 5.140 habitantes na zona rural.

O acesso ao município se faz partindo-se de Fortaleza pela CE-021. Esta situado a aproximadamente 50 km de distância da capital do Estado.(Figura 22).

Esta enquadrado entre as seguintes coordenadas geográficas:

3°45'	4°	Latitude Sul
38°30'	38°45'	Longitude Oeste

Geologicamente o município está situado sobre terrenos do Complexo Nordestino e sobre sedimentos pertencentes ao Grupo Barreiras (Figura 23).

Os poços perfurados são utilizados para completar, principalmente, o abastecimento da sede do município.

7.2.1 - ESTRATIGRAFIA

7.2.1.1 - GRUPO BARREIRAS

Esta formação sedimentar ocupa a região NE do município, recobrando de forma discordante o topo do embasamento.

Litologicamente essa sequência sedimentar é representada por argilas variegadas, e arenitos avermelhados com níveis caulíníticos, conglomerados grosseiros com matriz arenosa avermelhada, reunidos por cimento ferruginoso, localmente, às vezes, muito consistente, incluindo seixos de quartzo e quartzitos bem selecionados, e de rochas cristalinas diversas apresentando sempre uma estratigrafia não distinta.

Localmente o Grupo Barreiras constitui-se de uma sequência sedimentar Terciária, apresentado uma coloração que vai desde tons avermelhados até mais claros esbranquiçados.

Estes sedimentos foram depositados em ambiente fluvio-deltaico de origem continental, com espessuras que variam de 10 a 100 m.

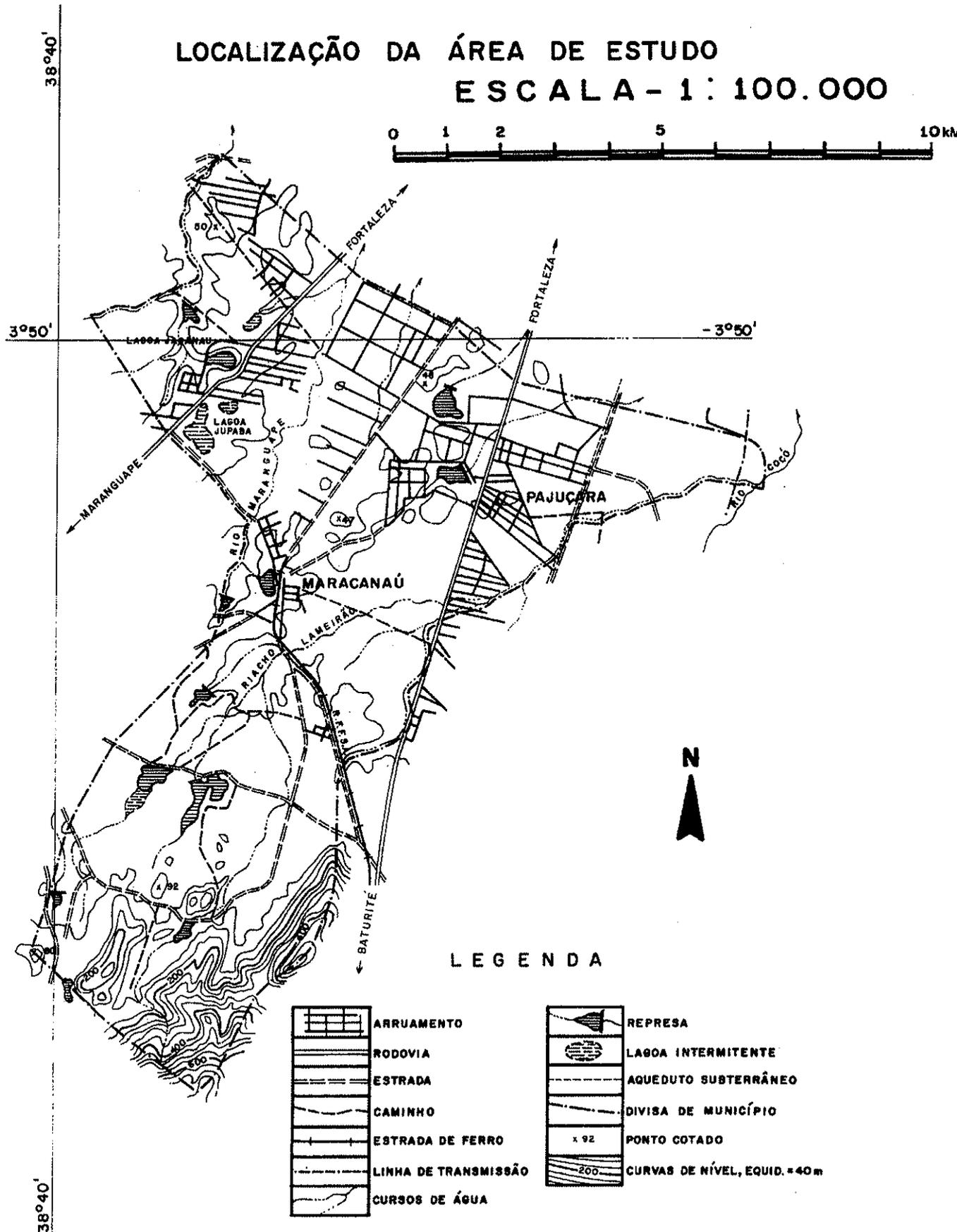


Figura 22. Localização Geográfica do Município de Maracanaú (adaptado de SUDENE - Folha FORTALEZA - 1:100.000)

7.2.1.2 - EMBASAMENTO CRISTALINO

Dentro do contexto pré-cambriano nordestino e dentro do que se entende como sendo Complexo Nordeste, podem-se destacar várias fases de desenvolvimento histórico da geologia, tema este já por demais analisado e muito bem discutido por BRITO NEVES (1975).

Segundo BRITO NEVES *et al.* (1975), através de uma interpretação geotectônica, dizem: "O pré-cambriano Cearense é concebido como importante parcela de uma ampla região de dobramentos, chamada de Nordeste Oriental, proveniente da evolução de uma região geossinclinal em mosaico, estabelecida no final do Pré-Cambriano. Nesta concepção, no território Cearense são identificados quatro extensos maciços medianos, antigos e policíclicamente retomados, e em parte recobertos pelo desenvolvimento das faixas de dobramentos brasileiros entre eles posicionados".

"Os maciços constituem núcleos rígidos mais antigos, provavelmente fragmentos de uma protoplateforma colapsada, tendo servida de fonte de suprimento antepaís das faixas de dobramentos entre eles desenvolvidos no final do Pré-Cambriano. As datações radiométricas relatadas neste trabalho concentram-se nestes "altos tectônicos regionais" dentre os quais esta situado o Complexo ou Maciço Tamboril-Santa Quitéria.

Localmente ocorrem rochas pertencentes ao Complexo Tamboril-Santa Quitéria composto essencialmente por migmatitos.

O Complexo Tamboril-Santa Quitéria mostra-se alongado na direção NNE-SSW, sendo limitado ao sul pelo paralelo 4°10' e ao norte é recoberto pelos sedimentos Cenozóicos do Grupo Barreiras e pelas Coberturas Colúvio-Eluviais.

O Complexo é basicamente constituído de migmatitos e granitos.

Segundo SHOBENHAUS *et al.* (1984), os migmatitos apresentam-se com tonalidades que variam de cinza-claro a cinza-escuro com granulação variando de fina a grossa, compostos basicamente por feldspatos, quartzo e biotita, as vezes ocorrendo hornblenda e/ou granadas. O aspecto de composição petrográfica varia entre granítica e granodiorítica.

Por outro lado os granitos anatóicos apresentam uma granulação média, textura granular, e uma coloração cinza-esbranquiçada com pontuações claras, permitindo à rocha uma difusa lineação.

Os granitos, geralmente ocorrendo sob a forma de fenocristais, macroscopicamente podem apresentar uma variação de cores tais como: branco amarelado, amarelo e cinza com tons rosados e escuros. A granulação é variável oscilando desde equigranular fina dominante à média e grosseira, mineralogicamente podemos distinguir feldspatos brancos ou róseos, quartzo, biotita e granada.

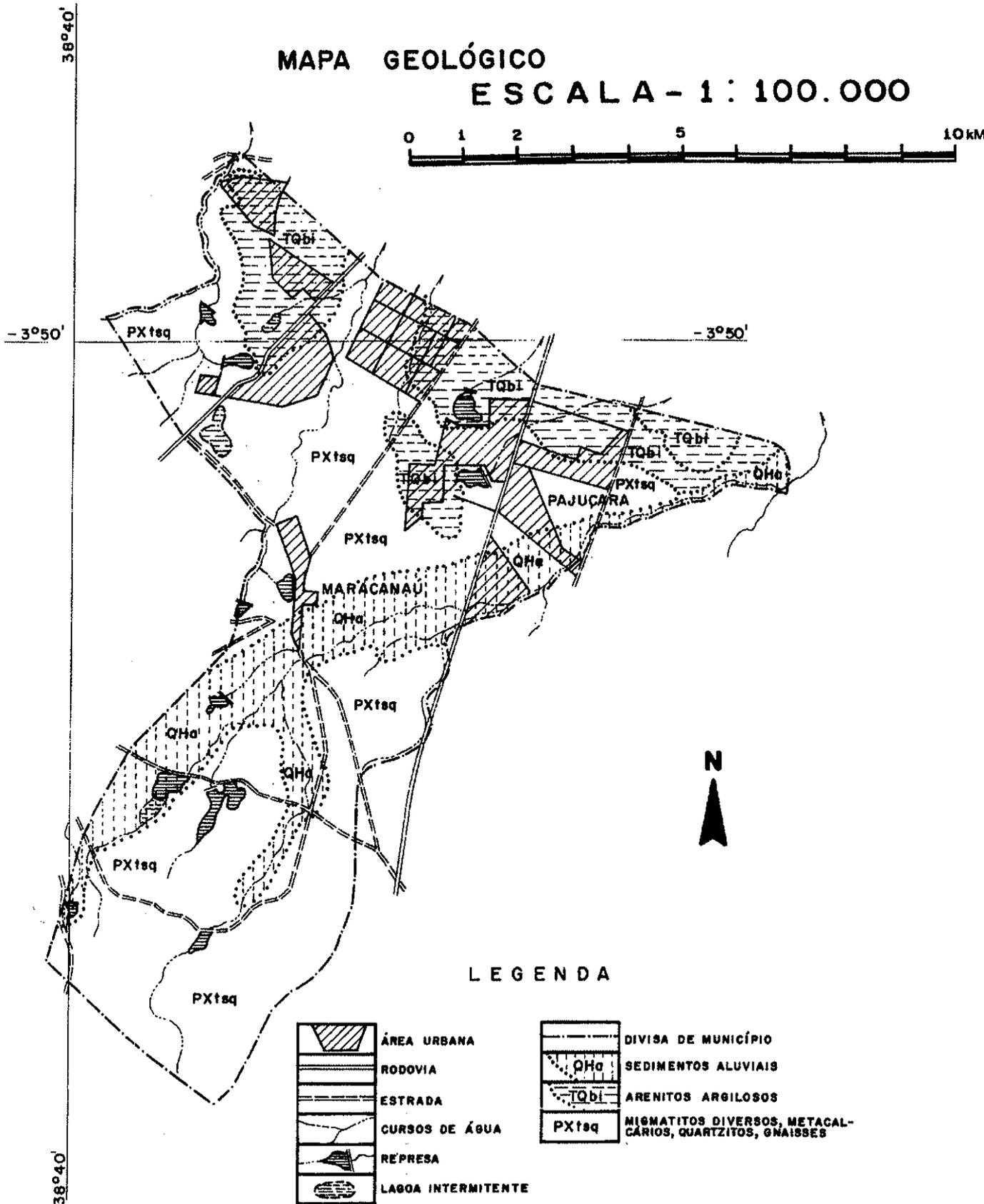


Figura 23. Mapa Geológico da Região de Maracanaú escala: 1:100.000 (adaptado de DNPM, 1983)

Os constituintes minerais essenciais estão representados por feldspato potássico (microclínio), plagioclásio (oligoclásio) e quartzo, os minerais secundários são a biotita, hornblenda e muscovita. Como acessórios ocorrem opacos pretos, titanita e zircão, estes por sua vez sempre presentes.

7.2.2 - HIDROGEOLOGIA LOCAL

Na região Maracanaú ocorrem sedimentos do Grupo Barreiras e rochas metamórficas pertencentes ao Complexo Tamboril-Santa Quitéria.

Uma consulta realizada ao banco de dados da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME, dos poços perfurados existentes nas áreas próximas ao Município, indica uma profundidade máxima do embasamento de 72 metros e mínima a 3 metros, com vazões de até 7.900 l/h (Tabela 3).

O Município de Maracanaú possui um total de 86 poços sendo 4 perfurados sobre o Grupo Barreiras que lhe fornece um recurso de 30.150 l/dia, isto se, estes poços forem bombeados durante um período de 18 horas. A vazão média dos poços perfurados nos sedimentos é de 1.675 l/h.

Os recursos explorados de poços perfurados no cristalino (metamórficas e granito) dão ao Município um total de 27.540 l/dia, se levado em conta que as condições de exploração deste recurso também é por um período de 18 horas, o que corresponde à uma vazão média de 1.530 l/h.

Um aspecto importante encontrado nas águas da região é a alta concentração de sais resultando na salinização das águas e causando desta forma sua inadequação para o consumo e utilização.

São três as possibilidades para que ocorram este tipo de salinização:

1. transgressão marinha;
2. concentração progressiva por evaporação e;
3. lixiviação do solo como fonte de sais das águas.

REBOUÇAS *et al.* (1984) descarta a possibilidade da origem da salinização destas águas serem resultado de transgressões marinhas devido ao fato destas águas serem recentes e o tempo de residência máximo ser da ordem de 5.000 anos.

Segundo SANTIAGO (1984), em áreas de rochas cristalinas do Nordeste do Brasil, a evaporação é a principal causa da salinização das águas superficiais e dos mananciais subterrâneos recarregados por elas. Em áreas sedimentares, onde a interface água-rocha é mais espessa do que nas regiões cristalinas, a dissolução das rochas do aquífero possuem um importante papel na salinização das águas subterrâneas.

Tabela 3. Dados dos poços existentes no Município de Maracanaú.

CÓDIGO	LOCALIZAÇÃO	AQUIF. 1	TOPO	BASE	AQUIF.2	TOPO	PROF.	N. E.	N. D.	VAZÃO
MAR0004	LEPROS S. BENTO II	TQB	0	13,9	PEC	13,9	50,0	0,4	7,0	3.200
MAR0006	COLONIA A JUSTA	PEC	1,5				37,5	5,9	20,0	100
MAR0007	COLONIA A JUSTA	PEC	2				70,0	7,5	61,5	1.500
MAR0008	DIST. ACARACUZINHO	TQB	0	19,1	PEC	19,1	36,0	0,1	22,8	3.200
MAR0009	PC. VILA MARACANAÚ	TQB	0	16,0	PEC	16,0	21,3	5,2	19,8	500
MAR0010	VILA DO KÁGADO	PEC	7				82,9	6,4	30,0	1.000
MAR0011	MUCUNA	TQB	0	37,9	PEC	37,9	45,3	8,6	10,0	100
MAR0014	DIST. MARACANAÚ	TQB	0	8,0		8,0	50,0	5,0	40,0	500
MAR0015	DIST. MARACANAÚ	PEC	6,5				102,5	1,8	95,0	400
MAR0017	DIST. MARACANAÚ	TQB	0	15,0	PEC	15,0	45,0	5,7	30,0	2.700
MAR0021	PAJUÇARA CE-1	TQB	0	21,0	PEC	21,0	60,0	10,0	41,0	2.000
MAR0022	EDUC. SAO JOSE	PEC	3,2				61,0	2,0	32,0	400
MAR0023	POÇO TIMBO	TQB	0	39,5	PEC	39,5	48,0	9,5	35,0	2.200
MAR0024	JAÇANAÚ	TQB	0	13,0	PEC	13,0	66,0	8,0	43,0	1.200
MAR0025	JAÇANAÚ	TQB	0	18,0		18,0	102,0	10,0	74,0	600
MAR0026	KÁGADO	PEC	8,0				108,0	11,0	78,0	500
MAR0027	SITIO KÁGADO	TQB	0	18,0	PEC	18,0	46,0	4,5	41,0	600
MAR0028	POÇO ADESIVO	TQB	0	25,0	PEC	25,0	61,0	5,0	35,0	2.400
MAR0031	POÇO AVILANE	PEC	3,5				72,0	2,0	63,0	100
MAR0032	KÁGADO I	PEC	2,0				60,0	1,2	51,0	100
MAR0033	KÁGADO II	PEC	3,0				45,0	2,6	24,0	3.600
MAR0034	KÁGADO III	PEC	2,0				51,0	1,4	31,5	2.500

Cont. Tabela 3.....

CÓDIGO	LOCALIZAÇÃO	AQUIF. 1	TOPO	BASE	AQUIF.2	TOPO	PROF.	N. E.	N. D.	VAZÃO
MAR0035	RAIMUNDO LUIZ - I	TQB	0	48,0	PEC	48,0	48,0	5,0	35,0	600
MAR0037	SITIO CAPRICHEI	TQB	0	12,0	PEC	12,0	66,0	3,0	31,0	3.700
MAR0038	GRANJA TITICACA	PEC	9				60,0	12,7	50,0	300
MAR0039	KÁGADO IV	TQB	0	40,0	PEC	40,0	40,0	3,0	9,0	3.200
MAR0040	POÇO CRAVO	TQB	0	19,0	PEC	19,0	60,0	7,0	33,0	4.000
MAR0046	MUCUNA	PEC	0				80,0	1,0	35,0	1.700
MAR0047	SITIO S. FRANCISCO	PEC	3,0				70,0	3,6	55,0	500
MAR0048	KÁGADO	TQB	3,0	7,0	PEC	7,0	52,0	5,0	30,4	2.600
MAR0049	SIQUEIRA	PEC	1,0				50,0	0,3	24,0	2.400
MAR0050	SIQUEIRA	TQB	0	10,0	PEC	10,0	49,0	5,0	32,0	800
MAR0051	SIQUEIRA	TQB	0	13,0	PEC	13,0	41,0	4,1	19,8	7.900
MAR0052	SITIO JAÇANAÚ	TQB	0	9,0	PEC	9,0	50,0	6,5	38,0	3.700
MAR0053	SIQUEIRA	TQB	0	16,0	PEC	16,0	50,0	14,1	31,0	1.300
MAR0054	PAJUÇARA	TQB	0	15,0	PEC	15,0	50,0	10,5	37,0	1.600
MAR0055	SEDE	TQB	0	5,0	PEC	5,0	60,0	3,1	42,4	600
MAR0056	KÁGADO	TQB	0	16,0	PEC	16,0	80,0	9,5		100
MAR0057	ROD. CE-1 - KM 06	TQB	0				60,0	1,6	49,0	1.600
MAR0058	ROD. CE-1 - KM 05	TQB	0	9,0	PEC	9,0	95,0	1,8	75,0	800
MAR0059	ROD. CE-1 - KM 05	TQB	0	8,0	PEC	8,0	66,0	6,6	52,0	2.500
MAR0060	P. SAUDE MUCUNA	PEC	5,0				60,0	6,5	49,0	300
MAR0061	JAÇANAÚ - I	PEC	3,0	7,0	PEC	7,0	60,0	2,1	56,0	100

Cont. Tabela .3

CÓDIGO	LOCALIZAÇÃO	AQUIF. 1	TOPO	BASE	AQUIF.2	TOPO	PROF.	N. E.	N. D.	VAZÃO
MAR0073	ESC. FRANCISCO ANTONIO	PEC	0,0	5,0	PEC	5,0	78,0			200
MAR0075	R. PARQUE JAÇANAÚ	PEC	3,0				78,0			200
MAR0076	CE-119 - KÁGADO	TQB	0,0	9,0	PEC	9,0	66,0			0,0
MAR0077	CE-119 - KÁGADO	PEC	2,0				72,0	0,0	0,0	0,0
MAR0078	SITIO SOSSEGO	PEC	6,0				53,7	8,3	33,5	4.800
MAR0079	AV. PARQUE LESTE S/N	PEC	9,0				60,0	15,0	50,0	300
MAR0080	AV. PARQUE LESTE S/N	TQB	0	10,0	PEC	10,0	60,0	3,0	36,0	1.200
MAR0081	JACANAÚ	TQB	0	11,5		11,5	60,0	9,5	59,5	100

VAZÃO = l/h

N. E = Nível Estático (m)

N. D = Nível Dinâmico (m)

PEC = granitos e migmatitos

TQB = Grupo Barreiras

OBS: Esta tabela é composta pelos poços que apresentam a sua documentação completa, tendo sido desprezados os poços que não apresentavam dados de vazão, nível estático e nível dinâmico, bem como os poços localizados no Distrito Industrial.

SANTOS *et al.* (1984) encontram uma correlação entre a lixiviação e o conteúdo de sais existentes no solo, descartando também a hipótese de transgressão marinha e concordando com REBOUÇAS *et al.* (1984) que a origem da salinização não poderia ser devida a invasão do mar.

78/10/91

Capítulo 8

8 - RESULTADOS OBTIDOS

Os dados obtidos no campo resumem-se simplesmente em detectar zonas onde a anomalia da parte real dos dados filtrados seja positiva, indicando a presença de um corpo condutor (ABEM).

A componente imaginária dos dados deveria fornecer qualitativamente informações sobre a resistividade do corpo, ou seja, uma anomalia obtida na curva imaginária através do método de filtragem descrito por KAROUS & HJELT (1983), que assume valores muito negativos ou muito positivos, pode indicar corpos de baixa resistividade (zonas de fraturas preenchidas por água salgada, zonas mineralizadas).

Se a anomalia da parte imaginária ficar em torno de zero ou se ela for pouco positiva deverão ser obtidos corpos com uma resistividade mais elevada indicando a presença de um corpo pouco condutor, e neste caso, poderia ser uma zona de fratura contendo água com baixos teores de sais.

É muito raro o fato de corpos com baixa resistividade produzirem um efeito semelhante a este.

O sinal positivo ou negativo das anomalias obtidas na parte imaginária depende muito também da espessura e da resistividade da cobertura sedimentar ou do manto de intemperismo.

Baseando-se nestas informações (ABEM), ao longo deste estudo, esperava-se mapear zonas de fraturas com facilidade e diferenciar as zonas fraturadas contendo água doce daquelas preenchidas por água salgada.

8.1 - LEVANTAMENTO EXECUTADO NA BAHIA

Os levantamentos realizados no Estado da Bahia, nas localidades de Barracas e Riacho da Onça, apresentaram uma boa correlação com os poços pesquisados na região.

Os três perfis realizado no km 39 da Rodovia que liga o Município de Barracas ao Município de Capim Grosso, passando pelo poço existente nesta área, que localiza-se sobre a anomalia posicionada no ponto 180N do perfil 0003E, 90S do perfil 0004E e 180N do perfil 0005E, executados em paralelo.

A análise química (Tabela 4) realizada na água deste poço indica altos valores nos seus conteúdos de sais.

Tabela 4. Análise química e vazão dos poços localizados na área de estudo, Bahia.

Determinações	Unidades	kM 39	Barracas	R. dos Pilões	Represa
PH		7,3		6,6	
Côr	mg/l Pt	10,0		5,0	
Turbidez	NTU	2,8		0,20	
Alcal. HCO ₃ ⁻	mg/l CaCO ₃	163,0		198,55	
Alcal. CO ₃ ⁼	mg/l CaCO ₃	0,0		0,0	
Dureza Total	mg/l CaCO ₃	2.450,0	536,08	318,45	88,92
Sólidos Totais	mg/l	4.538,0	1.062,0	742,0	410,0
Cálcio	mg/l CaCO ₃	1.450,0		99,76	
Magnésio	mg/l Mg	243,10		218,69	
Cloreto	mg/l Cl	1.420,0	233,33	188,98	32,98
Sulfato	mg/l SO ₄	434,0		34,4	
Ferro Total	mg/l Fe	0,02		0,24	
Nitritos	mg/l N	3,65		ausente	
Nitratos	mg/l N	0,002		ausente	
Cond. Esp. a 25°C	µmhos/cm	5.380,0		1.563,0	
Acidez Total	mg/l CaCO ₃	0,0		0,0	
Fluor	mg/l F	0,66		0,40	
Sílica	mg/l SiO ₂			28,0	
Vazão	l/h	14.400	8.400	12.160	4.700

Em **Riacho dos Pilões** os perfis realizados puderam indicar com nitidez qual a principal direção das estruturas da região.

A posição do poço no perfil 0009E é o ponto 180N.

No perfil 0010E. o poço situa-se sobre a anomalia no ponto 150N.

Nota-se no entanto o comportamento das anomalias apresenta um padrão diferente das encontradas no perfil 0009E, pois na pseudo-secção de densidade de corrente do perfil 0010E podemos notar que as zonas anomalias (em preto) parecem representar corpos mais rasos, enquanto as mesmas anomalias na pseudo secção de densidade de corrente do perfil 0009E, representam corpos ou zonas de fraturas mais profundas.

Outra observação com relação a estes dois perfis que pode ser feita é o fato do perfil 0009E apresentar uma quantidade maior de anomalias do que o perfil 0010E. Este fato

indica uma pequena quantidade de fraturas na direção ortogonal a qual foi realizada o perfil 0010E.

Com relação as anomalias pode-se notar também que apresentam uma baixa intensidade, muito embora este poço possua uma excelente vazão (Tabela 4).

Na localidade de **Barracas** o poço pesquisado localiza-se no ponto 40N do perfil 0011E e 80N do perfil 0012E. O ponto curioso destes perfis é que o poço localiza-se exatamente sobre uma anomalia negativa na parte real dos dados e positiva na parte imaginária, contrapondo-se aos princípios teóricos estabelecidos pelo fabricante do equipamento.

O poço pesquisado na localidade de Represa esta situado no ponto 150N do perfil 0007E. Ao contrário do que ocorreu no poço de Barracas, a anomalia onde se encontra o poço é teoricamente bem posicionada, ou seja a anomalia da parte real é positiva, enquanto a da parte imaginária é pouco negativa.

Em **Riacho da Onça** o poço estava sendo perfurado na posição 150N do perfil 0001E, este poço após a sua conclusão foi dado como seco, dentro do perfil realizado ele encontra-se exatamente sobre uma zona anômala onde a parte real dos dados obtidos apresenta-se negativa e a parte imaginária apresenta valores iguais a zero.

8.2 - LEVANTAMENTO EXECUTADO NO CEARÁ

O levantamento realizado no município de Maracanaú, no Estado do Ceará (Anexo 2) dentre todos os demais, foi o único levantamento, dentre todos os poços locados utilizando o método VLF de prospecção geofísica, em que houve a possibilidade de serem coletadas as informações pertinentes ao estudo durante a fase de levantamento dos dados de campo, e os resultados da perfuração dos poços locados.

O fato deste levantamento ter sido realizado numa zona urbanizada, será considerado na discussão de modo que se possa avaliar a potencialidade da metodologia empregada.

As locações bem como seus resultados estão dispostos nas tabelas 5 e 6.

Os poços que foram locados durante a campanha geofísica realizada neste município, foram perfurados imediatamente após a apresentação dos relatórios referentes aos trabalhos realizados.

O perfil litológico de cada poço, bem como os dados coletados no levantamento seguem em anexo (ANEXO 2).

Os dados obtidos durante os testes realizados sobre as propriedades hidráulicas de cada poço não inspiram muita confiança, pois foram obtidos de maneira incorreta, o que de certa forma compromete o resultado de cada poço perfurado.

Com este levantamento pode-se ter idéia da resposta do método quanto a qualidade da água e a eficiência do método na locação de poços profundos para exploração de água subterrânea.

A metodologia respondeu muito bem às expectativas, pois neste município dos 23 poços perfurados somente dois deles foram considerados secos, apesar de um deles ter atravessado duas fraturas.

Não se pode no entanto deixar de levar em consideração o fato de que o levantamento realizado foi efetuado totalmente dentro de uma zona urbanizada, possuindo desta forma um ruído quase que constante em todos os perfis, causados principalmente por redes elétricas, tanto aéreas quanto soterradas.

A interpretação dos dados foi realizada de forma qualitativa utilizando os perfis de caminhamento VLF e as pseudo-seções de densidade de corrente obtidas através do método de filtragem dos dados desenvolvido por KAROUS; HJELT (1983).

De acordo com o fabricante do WADI (ABEM) seria possível distinguir fraturas preenchidas por água doce daquelas preenchidas por água salgada. No entanto, durante a interpretação dos dados obtidos no levantamento efetuado no Município de Maracanaú, este fato não ocorreu como se pode notar nos perfis 0014, 0030, 0032 e 0039 (Anexo 2), onde foram obtidas anomalias tanto na parte real quanto na parte imaginária, que correspondem à fraturas preenchidas por água doce, quando deveriam conter água salgada.

Por outro lado, foram encontrados pontos anômalos nos perfis 0009 e 0041 (Anexo 2), posteriormente perfurados, possuindo grandes anomalias na componente real e praticamente nulas ou então pouco positivas as anomalias na componente imaginária que revelaram a presença de água salgada, quando deveriam corresponder à água doce.

Não se pode no entanto deixar de frisar que, como este levantamento foi realizado em uma zona urbanizada e que, as fontes de interferências locais foram numerosas.

Tabela 5. Número do perfil, local, direção do levantamento e locação de cada poço.

Nº do PERFIL	LOCAL	DIREÇÃO DO PERFIL	LOCAÇÃO
0002	Grupo Escolar Tancredo Neves	NE	280
0005	Rua Belém	N250	350
0006	AV. V - Jereissati - I	N250	30
0006	AV. V - Jereissati - I	N250	440
0007	AV. VII	N250	165
0009	Posto de Saúde	N325	65
0010	Av. Almir Dutra	N210	400
0013	Av. XIII - Vila das Flores	N220	330
0014	R. Capitão Valdemar de Lima	N-S	560
0015	Liceu - Av. V - Jereissati -2	N200	220
0017	FEBENCE	N195	370
0019	R. São Sebastião	N280	115
0024	Rua Direita/Rua 24 de maio	N280	335
0026	Conjunto Acaracuzinho	N200	222
0027	Novo Oriente - Rua 6	N200	170
0029	Alto Alegre - Escola Estadual	N295	310
0030	Conjunto Industrial	N235	340
0032	Bairro do Siqueira	N45	165
0034	R. do Trilho	N20	270
0038	Av. Contorno Sul	N305	455
0039	Forum - Av. Almir Dutra	N295	370
0041	Pq. Louzardo Vianna	N40	75

Tabela 6. Características hidráulicas e qualidade d'água dos poços perfurados.

N. do perfil	Local	NE	ND	Q (l/h)	QI d'água
0002	G. Escolar. T Neves	2,0	6,0	1.756	Salgada
0005	Rua Belém	4,0	45,0	2.400	Insípida
0006	AV. V (Jereissati-I)	2,0	51,0	240	Salobra
0006	AV. V (Jereissati-I)	5,0	35,0	3.600	Salobra
0007	AV. VII	3,0	23,0	6.000	Salgada
0009	Conj. Timbó	1,0	50,0	430	Salobra
0010	AV. Almir Dutra	1,0	40,0	3.428	Salgada
0013	AV. XIII	3,0	30,0	2.400	Salobra
0014	R. Cap. Valdemar	7,0	44,0	560	Insípida
0015	AV. V (Jereissati - II)	2,0	48,0	240	Salgada
0017	FEBENCE	0,0	0,0	0,0	
0019	Rua São Sebastião	5,0	47,0	450	Salobra
0024	Rua Direita	9,0	48,0	670	Insípida
0026	Conj. Acaracuzinho	4,0	43,0	1.714	Salobra
0027	Rua 6 - N. Oriente	4,0	34,0	1.000	Insípida
0029	Alto Alegre	3,0	36,0	750	Salgada
0030	Av. da Penetração	1,0	37,0	960	Insípida
0032	Bairro do Siqueira	6,0	32,0	600	Insípida
0034	Rua do Trilho	1,0	29,0	680	Salobra
0038	AV. Contorno Sul	4,0	48,0	500	Salobra
0039	AV. Almir Dutra	3,0	46,0	200	Insípida
0041	Pq. Louzardo Viana	0,0	0,0	0,0	

NE = Nível Estático

ND = Nível Dinâmico

Capítulo

9

9 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A geofísica novamente revelou-se como uma grande e importante ferramenta de auxílio na locação de poços tubulares profundos em regiões cristalinas. Não obstante aos seus bons resultados, a geofísica aplicada jamais poderá prescindir de informações obtidas através da geologia, fotogeologia e informações de carácter hidrogeológico da área.

O método VLF de exploração geofísica é bem aplicável às condições geológicas encontradas no Estado do Ceará, ou seja zonas de rochas cristalinas subaflorentes com coberturas que possuem espessuras entre 1 e 10 metros. Nos casos em que as coberturas possuem espessuras entre 10 a 20 metros, a metodologia é eficaz mas, o sinal é consideravelmente atenuado.

Em áreas urbanizadas e na presença de redes elétricas, a metodologia por se tratar de um método indutivo, respondeu muito bem.

Embora as interferências causadas por redes de eletricidade gerem distorções nos dados, fato este que deve ser levado em consideração a todo o momento durante o processo de interpretação, este trabalho mesmo que em condições longe de ser ideal para a sua realização devido ao local onde foi efetuado, apresentou bons resultados.

As interferências observadas nos dados se traduzem nas baixas vazões encontradas nos poços perfurados após a sua locação, pois os efeitos causados pela rede de eletricidade são de amplificar os dados da componente real e concomitantemente atingem os dados da componente imaginária, responsáveis pela informação sobre a resistividade dos corpos. Embora exista este tipo de interferência nos dados, a média de acerto das zonas fraturadas foi de 95% na locação dos poços.

Atualmente não existe nenhum método de exploração capaz de informar a existência ou não de água em zonas fraturadas, bem como a sua qualidade. A informação é normalmente qualitativa e adquirida por procedimentos que se baseiam em observações diretas da área estudada (morfologia, topografia, estudos estruturais e hidrogeológicos).

O que se notou durante todas as etapas de coleta dos dados é que a metodologia VLF, quando utilizada dentro de zonas urbanizadas, como foi o caso do levantamento efetuado no Município de Maracanaú, apresentou valores de anomalias relativamente altos.

A vazão média dos poços já existentes na área era de 1.530 l/h enquanto os locados através da utilização do método VLF e perfurados, foi de aproximadamente 1.297 l/h.

A partir de uma pequena análise dos resultados obtidos podemos notar (Gráfico 1) que o levantamento utilizando o método VLF, possibilitou um aumento em percentagem nas vazões acima de 5.000 l/h e nas vazões entre o intervalo de 201 a 1.000 l/h, enquanto diminuiu o número de poços com vazões menores do que 200 l/h.

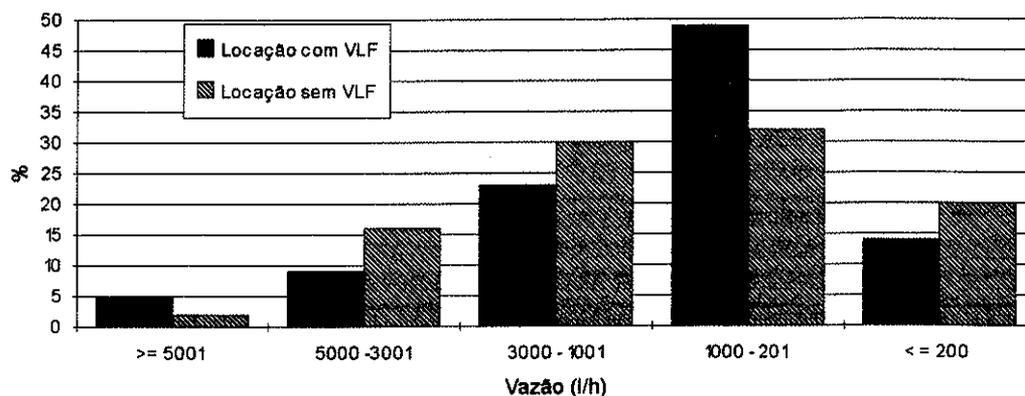


Gráfico 1. Comparação entre as vazões de poços perfurados precedidos ou não por levantamentos utilizando o método VLF.

As vazões dos poços perfurados no Município de Maracanaú apresentaram-se baixas, isto pode ser explicado por três fatores:

- 1 - Este levantamento foi efetuado no interior de uma zona urbanizada onde há limitações no espaço físico para a realização dos perfis, bem como na locação dos pontos escolhidos para serem perfurados, pois, ora a anomalia não estava localizada em área pública, ora estava situada no meio de uma rua.
- 2 - O fato de se estar trabalhando numa zona urbanizada gera, como pode ser observado nas Figuras 20a e 20b, a amplificação do sinal e conseqüentemente durante o levantamento obtém-se anomalias mais intensas em estruturas de porte relativamente pequeno.
- 3 - A salinidade da água dos poços perfurados, pode causar um aumento significativo nas anomalias pois, o efeito causado pela presença de água salgada preenchendo as fraturas ocasiona um aumento da condutividade do meio como um todo, e conseqüentemente gera anomalias mais intensas.

Estes três fatores atuando conjuntamente afetam os dados, de forma considerável, pois temos ao mesmo tempo duas fontes geradoras de anomalias atuando sobre os dados além do problema ocasionado pela localização física dos poços, pois ora eles deveriam ser posicionados no meio de uma rua, ora o terreno não pertencia a Prefeitura e, em ambos os casos a locação era deslocada para pontos externos à linha do levantamento, causando desta forma, mais uma fonte de erro no processo de locação dos poços.

A influência destes fatores seguramente resultaram em perda para esta pesquisa e para o empreendimento.

No entanto, pode-se notar através da Tabela 3, que os poços já existentes na sede do município, mesmo antes da execução deste trabalho, também possuem vazões relativamente baixas.

O trabalho realizado no campo com os microcomputadores é de suma importância, pois facilita a execução deste tipo de levantamento, tornando-o mais barato e simples.

Quanto à qualidade das águas subterrâneas, talvez seja possível obter alguma conclusão, se o levantamento for efetuado em áreas livres de qualquer interferência que possua origem antrópica (como por exemplo redes de eletricidade) e que a água obtida nos poços perfurados sejam coletadas para serem quimicamente analisadas e correlacionadas.

Como se pode notar o método VLF, de exploração geofísica, apresentou resultados que minimizaram os erros ocorridos durante o processo de locação de poços tubulares profundos perfurados para a exploração de água subterrânea.

Este tipo de levantamento gerou uma economia relativamente alta para a região, mesmo se considerando a baixa vazão obtida dos poços que foram perfurados, pois o custo médio de cada poço com profundidades atingidas de até 60 metros durante a perfuração custa aproximadamente de US\$ 3.500,00 no Estado do Ceará.

10 - REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA

- ABEM Interpretation guide - Theory, practice and case stories for WADI operators.
- BAKER, H. A.; MYERS, J. O. - 1979 - VLF-EM model studies and some simple quantitative applications to field results **Geoexploration**, vol. 17 - p. 55 - 63.
- BRITO NEVES, B. B. de - 1975 - **Regionalização tectônica do pré-cambriano nordestino**. São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, Tese de Doutorado, 198 p.
- BRITO NEVES, B. B. de; FEITOSA, E. C.. -1969 - Proposição e estudos geológicos da Formação Capim Grosso. In: XXIII Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, Sociedade Brasileira de Geologia. **Atas. Boletim Especial 1**, p. 60 - 2.
- BRITO NEVES, B. B. de; KAWASHITA, K.; MANTOVANI, M. S. -1975- Contribuição à geocronologia do pré-cambriano cearense. In: 7^a Simpósio de Geologia do Nordeste, Fortaleza, Sociedade Brasileira de Geologia. **Atas, Boletim Especial 5**, p. 289-97.
- COGGON, J. H. -1971- Electromagnetic and electrical modeling by the finite element method. **Geophysics**, v.36, n.1, p.132 - 55.
- CONEY, D. P.- 1977 - Model studies of the VLF-EM method of geophysical prospecting. **Geoexploration**, v.15, pp. 19-35.
- DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral - 1979 - **Geologia da região centro oriental da Bahia. Projeto Bahia, Bahia II, Sul da Bahia. Relatório Integrado**. Série Geologia n. 11, Secção Geológica n. 8, Brasília,
- DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral - 1985 - **Mapa Geológico do Estado do Ceará**. Escala 1:500.000. Brasília.
- DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral - 1985- **Mapas Metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais, Folha Serrinha SC-24 - Y - D**. Escala 1:250.000 Brasília.
- FRASER, D. C. - 1969 - Contouring of VLF-EM data. **Geophysics**, vol. 34, p. 958-67.
- KAROUS, M.; HJELT, S. E. - 1983 - Linear filtering of VLF dip-angle measurements. **Geophysical Prospecting**, 31, p. 782 - 94.
- KAIKKONEN, P. - 1977 - A finite element program package for electromagnetic modeling. **Journal of Geophysics**, 43, p. 179 - 92.
- KAIKKONEN, P. - 1979 - Numerical VLF modeling. **Geophysical Prospecting**, 27, p.815 - 34.
- LEITE, C. E. S.; ANDRADE, F. C. M.; NETO, P.S. e CORDEIRO, W. - 1992 - Prospecção hidrogeológica em rochas cristalinas utilizando ondas "VLF". In: I Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. **Anais**, v.2, pp 297 - 306.

- MASCARENHAS, J.F.; PEDREIRA, A. J. C. L.; GIL, C. A. A.; NEVES, J. P.; MARINHO, A. S. F. MARINHO, M. M. - 1979 - **Geologia da região Centro oriental da Bahia. Projetos Bahia, Bahia II e Sul da Bahia.** Série Geologia n. 11, Secção Geológica n. 8. Brasília.
- MCNEIL, J. D. 1991 - Advances in eletromagnetics methods for groundwater studies. **Geoexploration**, 27, p 65 - 80
- OGILVY, R. D.; LEE, A. C. - 1991 - Interpretation of VLF-EM in phase data using current density pseudoections. **Geophysical Exploration**, 39, p. 567 - 80.
- OGILVY, R. D.; CUADRA, A.; JACKSON, P. D. and MONTE, J. L. - 1991 - Detection of an air filled drainage gallery by the VLF resistivity method. **Geophysical Prospecting**, 39, pp 845 - 59.
- OLSSON, O. - 1980 - VLF anomalies from a perfectly conducting half plane below an overburden. **Geophysical Prospecting**, v.28, p. 415 - 434.
- OLSSON, O. - 1983 - Computation of VLF response over half -plane ang wedge models. **Geophysical Prospecting**, v. 31, p. 171 - 91.
- PAAL, G. - 1965 - Ore prospecting based on VLF-radio signals. **Geoexploration**, 3, p. 139 - 47.
- PAAL, G. - 1968 - Very low frequency measurements in northern Sweden. **Geoexploration**, v.6., p. 141 - 9.
- PALACKY, G. J.; RITSEMA, I. L. and JONG, S. J. - 1981 - Electromagnetic prospecting for groundwater in precambrian terrains in the Republic of Upper Volta. **Gephysical Prospecting**, v. 29, 932 - 55
- PATERSON, N. R.; RONKA, V. - 1971 - Five years of surveying with the very low frequency - electromagnetics method. **Geoexploration**, v.9, p. 7 - 26.
- PHILLIPS, W. J.; RICHARDS, W. E. - 1975 - A study of the effectiveness of the VLF method for the location of narrow - mineralized fault zones. **Geoexploration**, v.13, p. 215 - 26.
- PODDAR, M.; RATHOR, B. S. - 1983 - VLF survey of weathered layer in Southern India. **Geophysical Prospecting**, 31, p. 524 - 537.
- REBOUÇAS, A. C.; SANTIAGO, M. M. F.; FRISCHKORN, H.; TORQUATO, J. R. - 1984 - Aplicação de C-14 na avaliação da recarga de zonas aquíferas nas rochas cristalinas no Ceará. In: 3^o Congresso Brasileiro Águas Subterrâneas. Fortaleza, Anais v. 2, p. 52-62.
- SANTIAGO, M. M. F. - 1984 - **Mecanismos de salinização em regiões semi-áridas. Estudo dos açudes Pereira de Miranda e Caxitoré no Ceará.** São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, Tese de Doutorado, 176 p.
- SAN FILIPO, W. A.; HOHMANN, G. W. - 1983 - Computer simulation of low frequency eletromagnetic data aquisation. **Geophysics**, vol. 49, p. 1219-32.
- SANTOS, J. P. dos; AZEVEDO, S. G. de; MISTRETTA, G. - 1984 - **Novos aspectos da salinização de águas subterrâneas no cristalino do Rio Grande do Norte.** São Paulo, IPT, Contribuição Técnica 314, 27 p.

- SAYDAM, A. S. - 1981 - Very low frequency electromagnetic interpretation using tilt angle and ellipticity measurements. *Geophysics*, vol. 46, no 11, p. 1594 - 1605.
- SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; DERZE, G. R. e ASMUS, H. E. - 1984 - Geologia do Brasil - Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais. Brasília, DNPM 501p. ilustr.
- SINHA, A. K. - 1990 - Interpretation of ground VLF-EM data in terms of vertical conductor models. *Geoexploration*, v. 26, pp 213 - 31.
- SINHA, A. K.; HAYLES, G. H. - 1988 - Experiences with a local loop VLF transmitter for geological studies in canadian nuclear fuel waste management program. *Geoexploration*, v. 25, p 37 -50.
- SLAINE, D. D.; GREENHOUSE, J. P. - 1982 - Case studies of geophysical contaminant mapping at several waste disposal. In: 2nd National Symposium on Aquifer Restoration and Ground Water Monitoring. *Proc.* p. 299 - 315.
- SUDENE - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - 1971 - Carta Topografica Região Nordeste do Brasil - Folha FORTALEZA. Escala - 1:100.000.
- TELFORD, W. M.; GELDART, L. P. & SHERIFF, R. E. -1990 - Applied Geophysics. 2nd ed. Cambridge University Press, 770 p.
- VALLÉE, M. A.; CHOUTEAU, M.; PALACKY, G. J. - 1992 - Effect of temporal and spatial variations of primary signal on VLF total fields survey. *Geophysics*, vol. 7, p. 97 -105.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ALMEIDA, F. F. M. e HASUI, Y. - 1984 - O Pré-Cambriano no Brasil. Ed. Edgard Blucher, Ltda, 2ª Edição, Rio de Janeiro.
- BAPTISTA, M. B., BRAUM, O. P. G.; CAMPOS, D. A. - 1984 - Léxico estratigráfico do Brasil. DNPM - Departamento Nacial de Pesquisa Mineral - , Brasília.
- BRITO NEVES, B. B. - 1973 - Elementos de geologia pré-cambriana do nordeste oriental. In: XXVII Congresso Brasileiro de Geologia. Aracajú. *Anais*, v.2, pp. 105 - 134.
- FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. - 1979 - Groundwater. Printice Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
- KEGEL, W. - 1965 - A estrutura geológica do Nordeste do Brasil. Rio de Janeiro, DNPM/DGM, *Boletim* n. 227, 47 p.
- MELLO, A. A de.; SOUZA, E. M.; MENDONÇA, J. C. G. - 1978 - A tectônica linear do Estado do Ceará. In: XXX Congresso Brasileiro de Geologia, Recife. *Anais*. v.1, p 393 - 407.
- MELLO, A. A. de - 1986 - O padrão de falhamentos do nordeste oriental e algumas tentativas de interpretação. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro, *Anais*. p.1743 - 151.

ANEXO 1

LEVANTAMENTO

BAHIA

LOCALIDADE

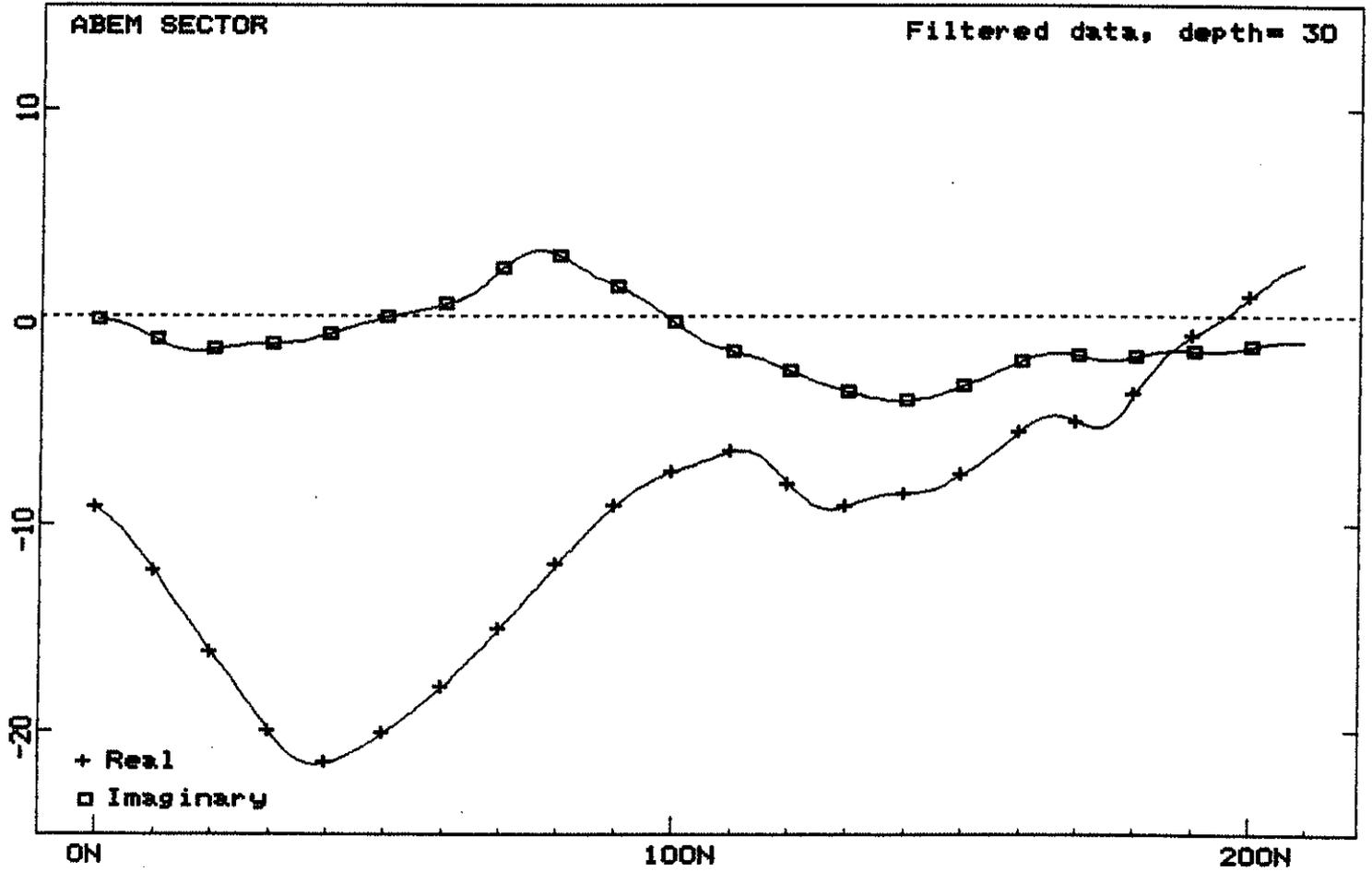
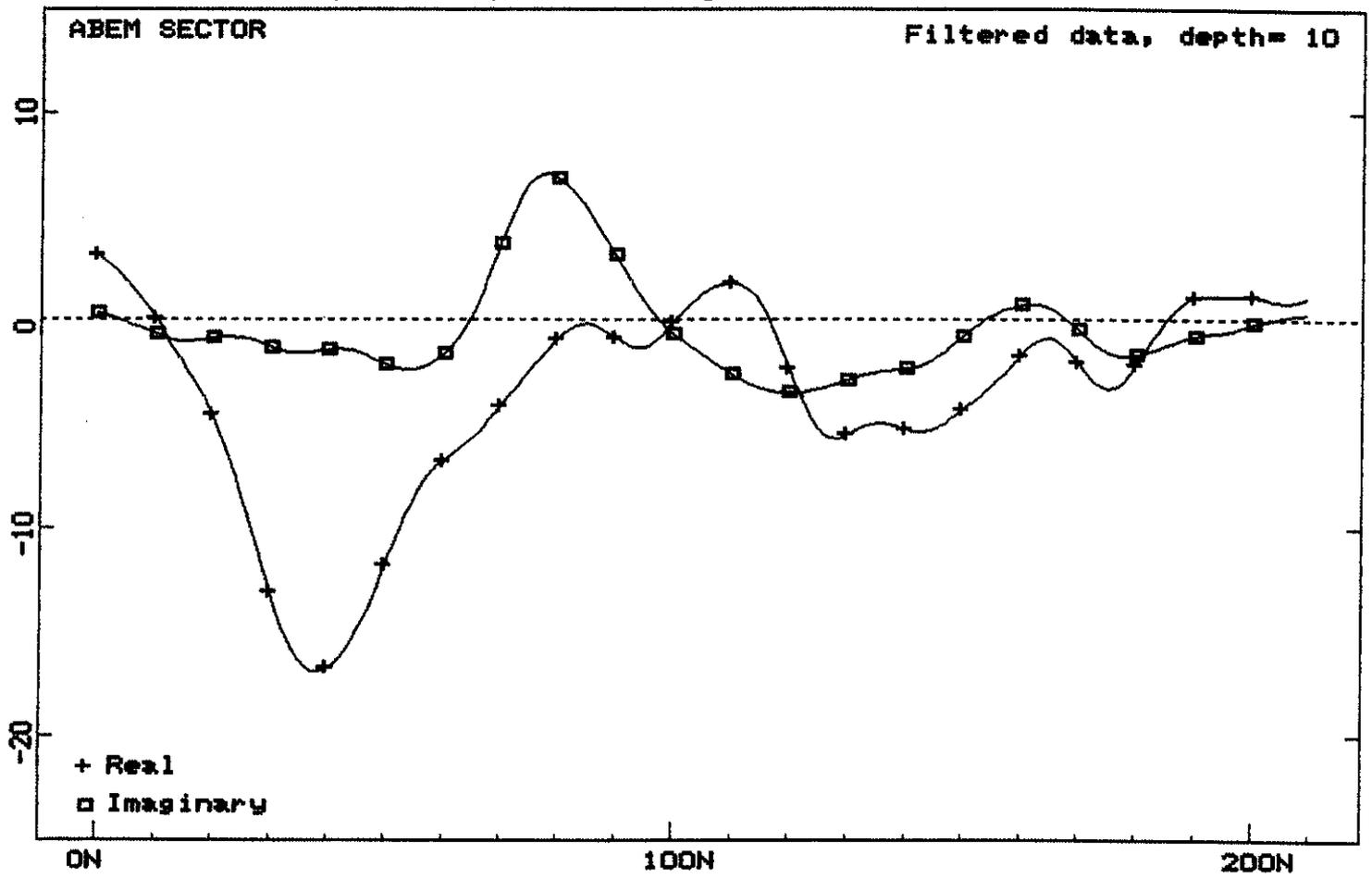
Barracas

N. Perfil/Posição: 0011E/40N

N. Perfil/Posição: 0012E/80N

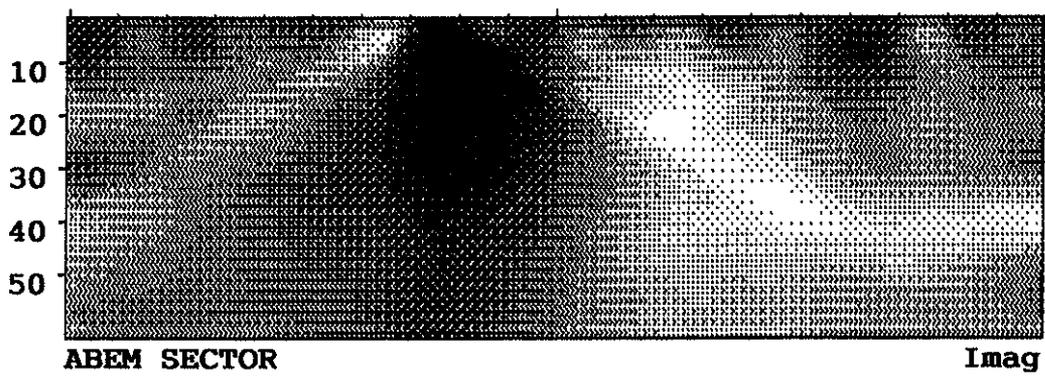
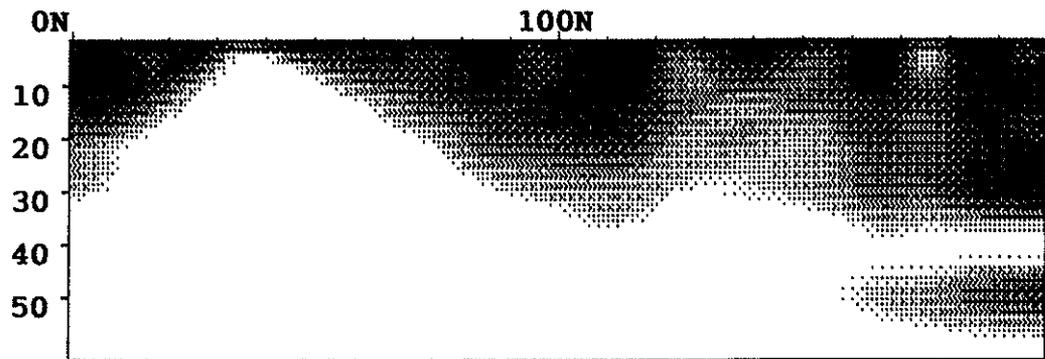
Vazão: 8.400 l/h

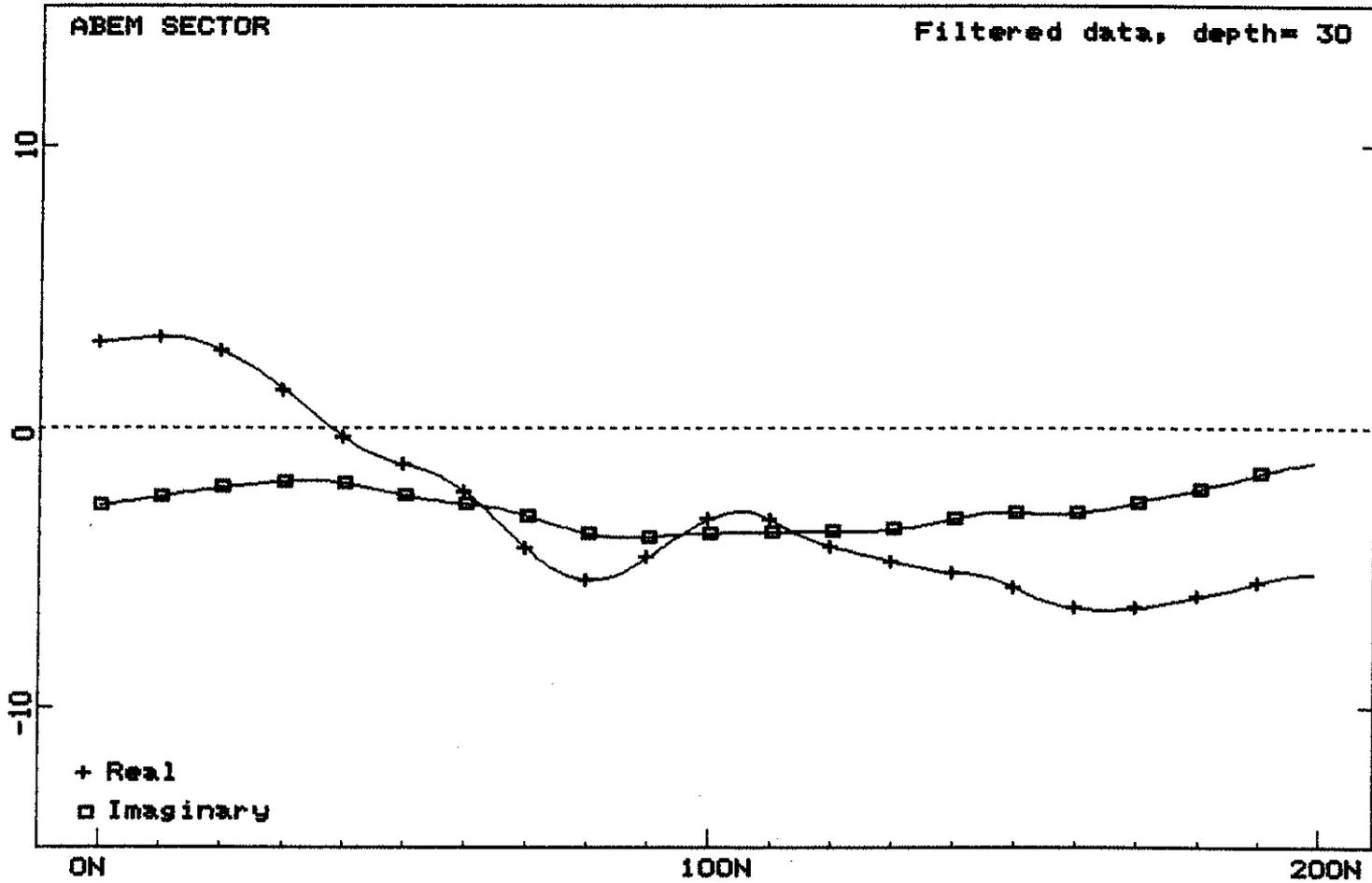
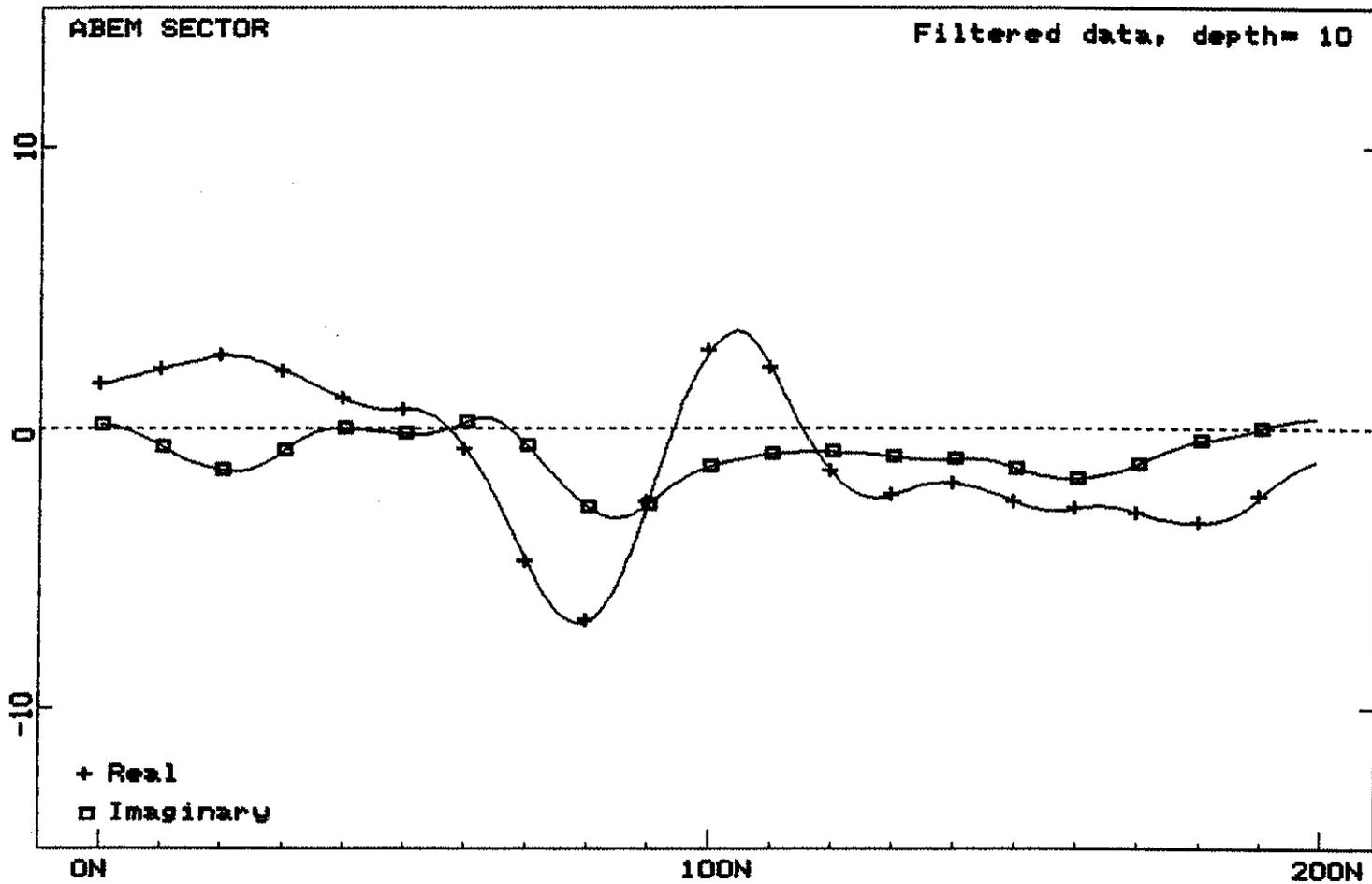
Qualidade da água: Salobra



Profile: 0011E

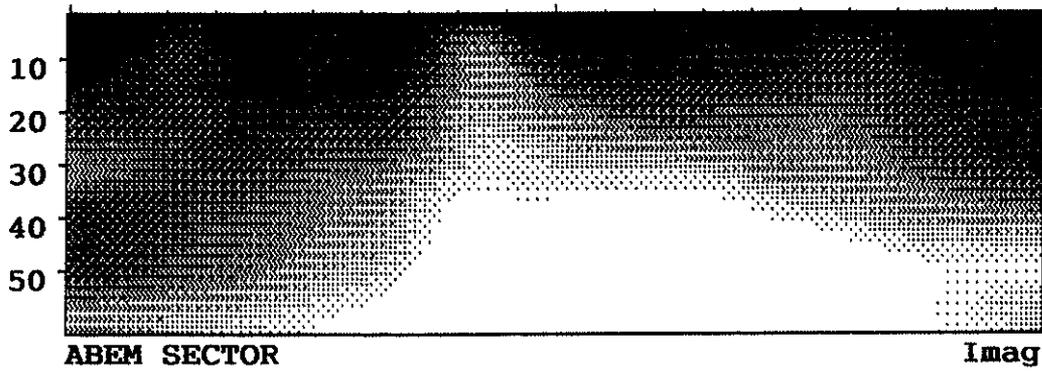
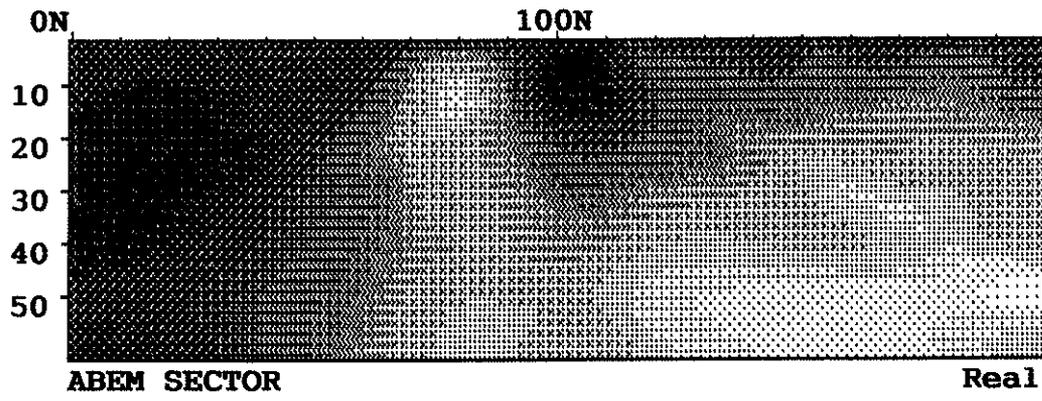
p1

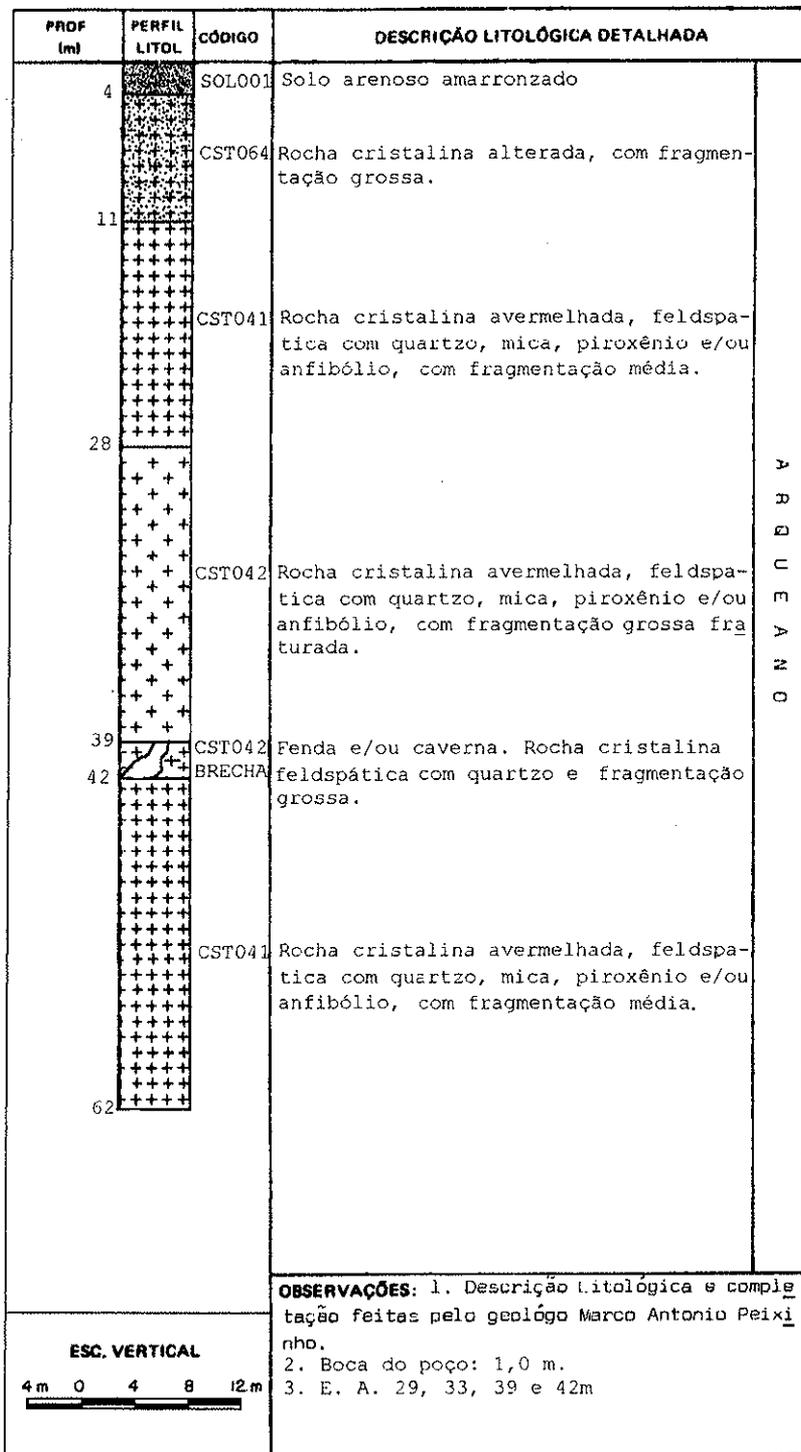




Profile: 0012E

p1





LOCALIDADE

kM 39

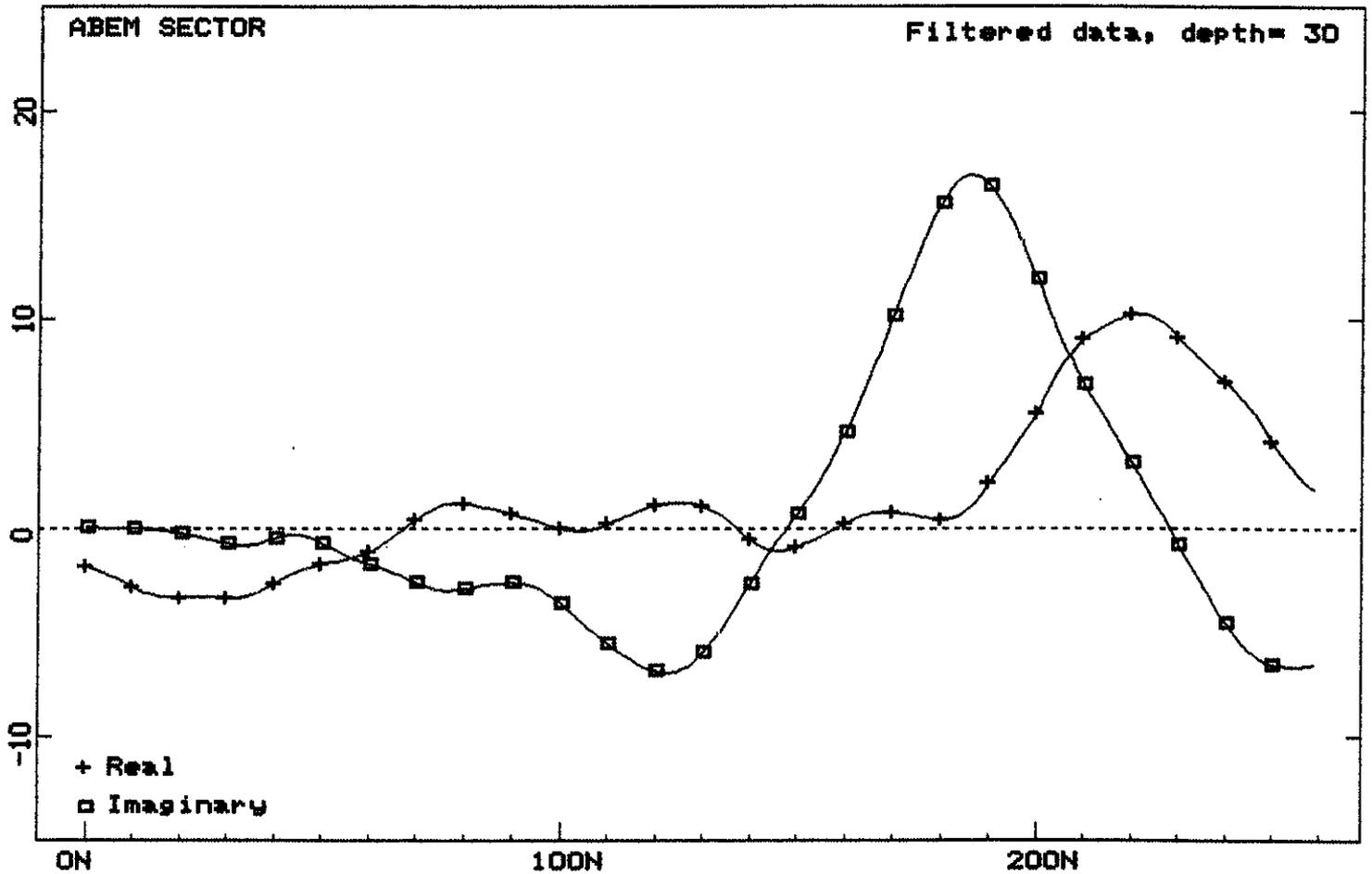
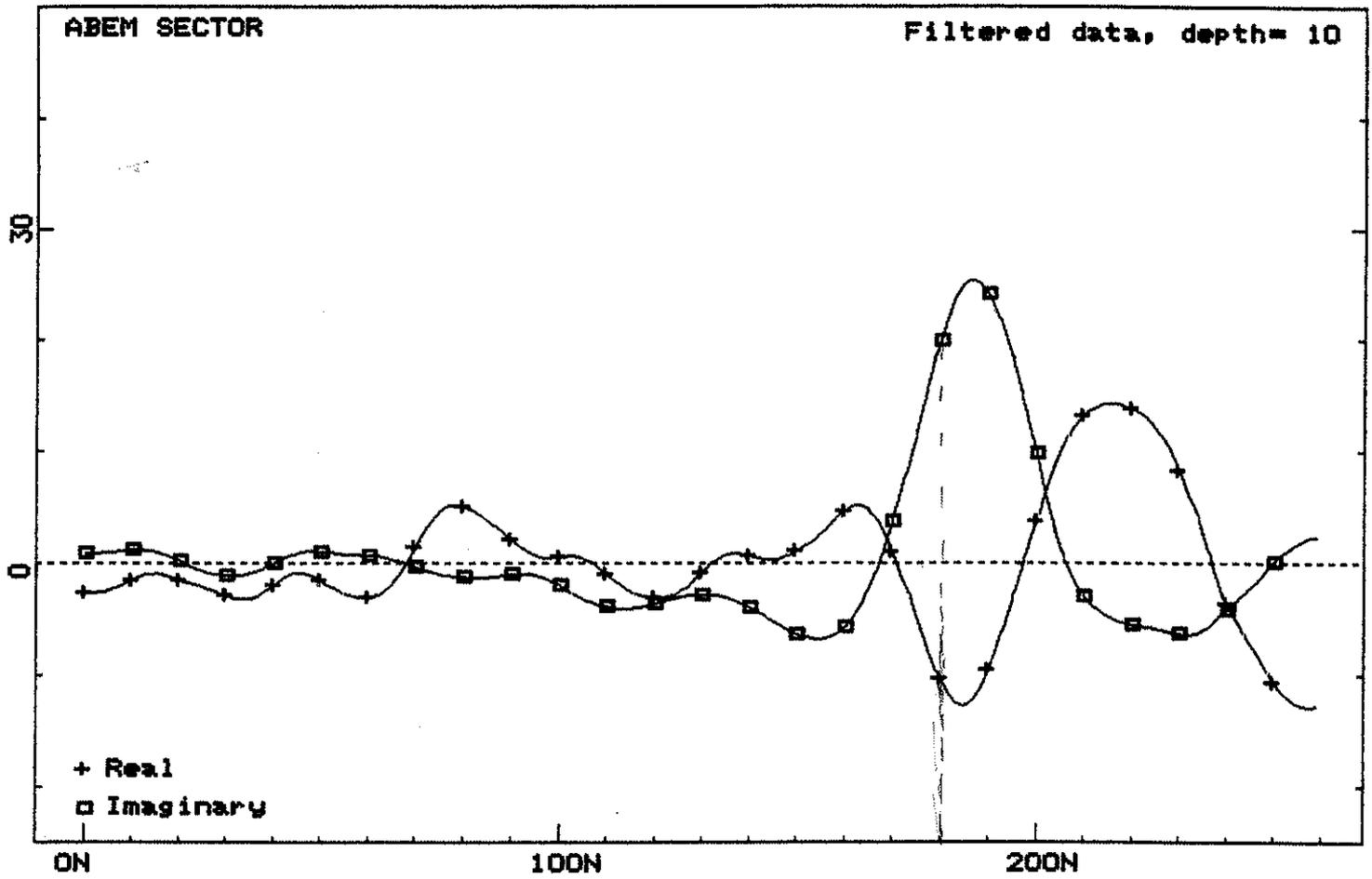
N. Perfil/Posição: 0003E/180N

N. Perfil/Posição: 0004E/090S

N. Perfil/Posição: 0005E/180N

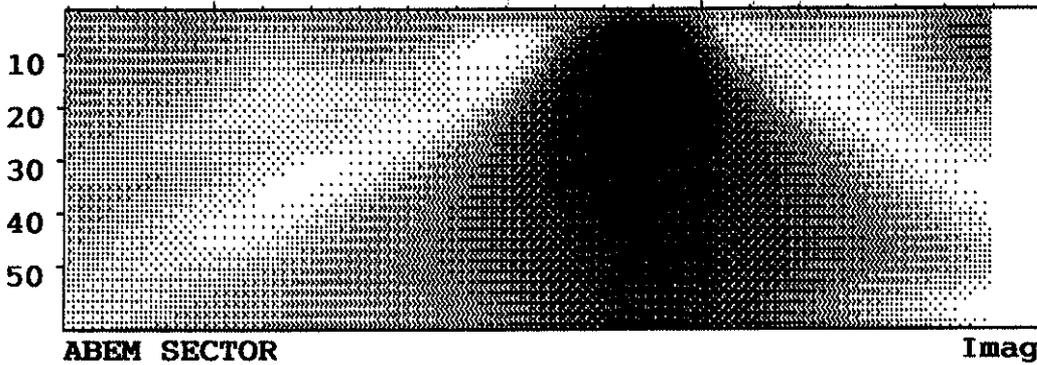
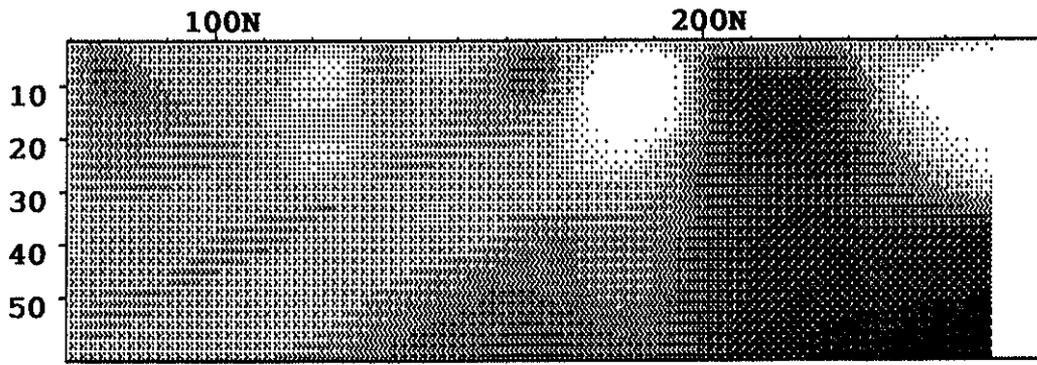
Vazão: 14.400 l/h

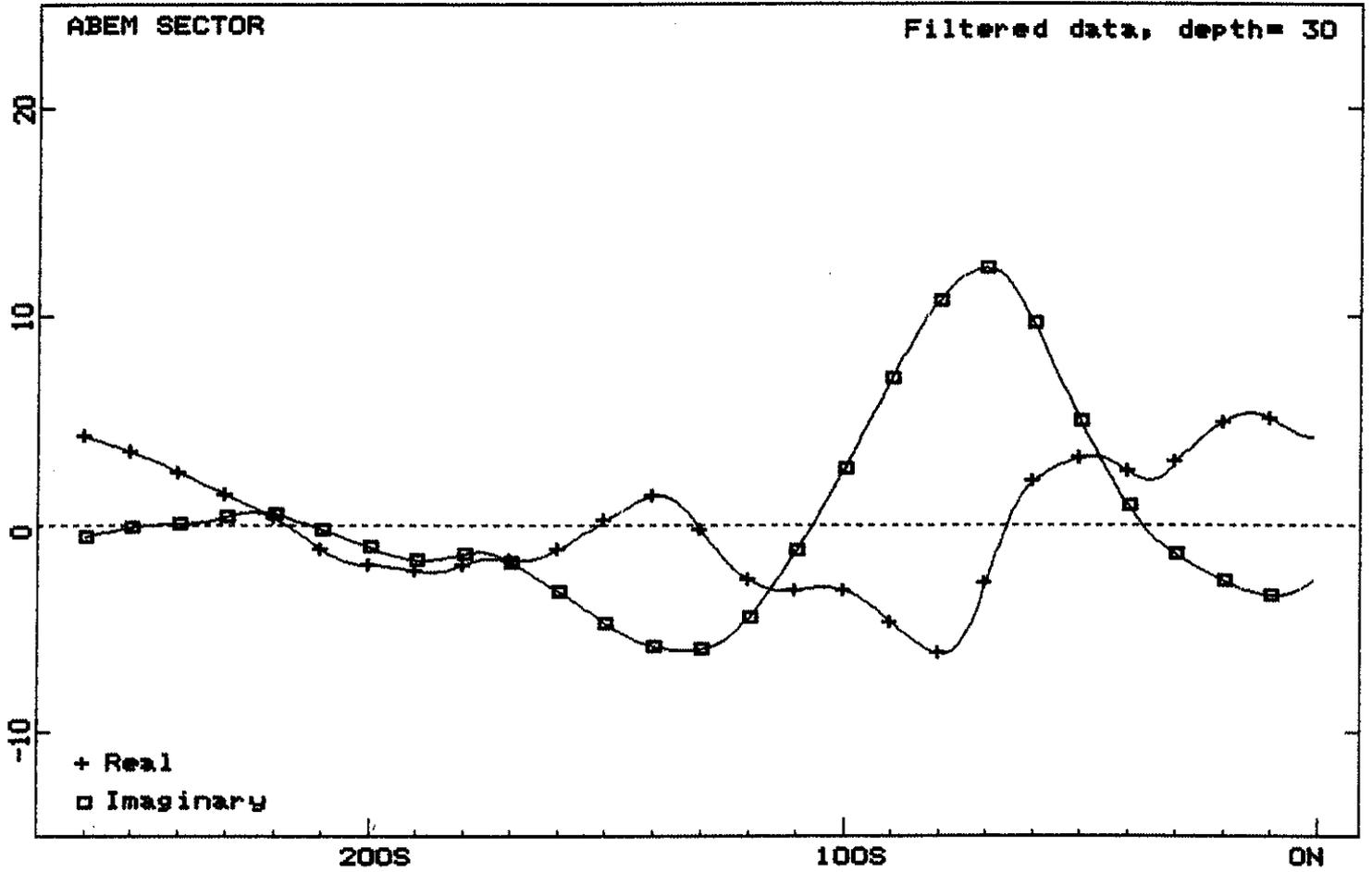
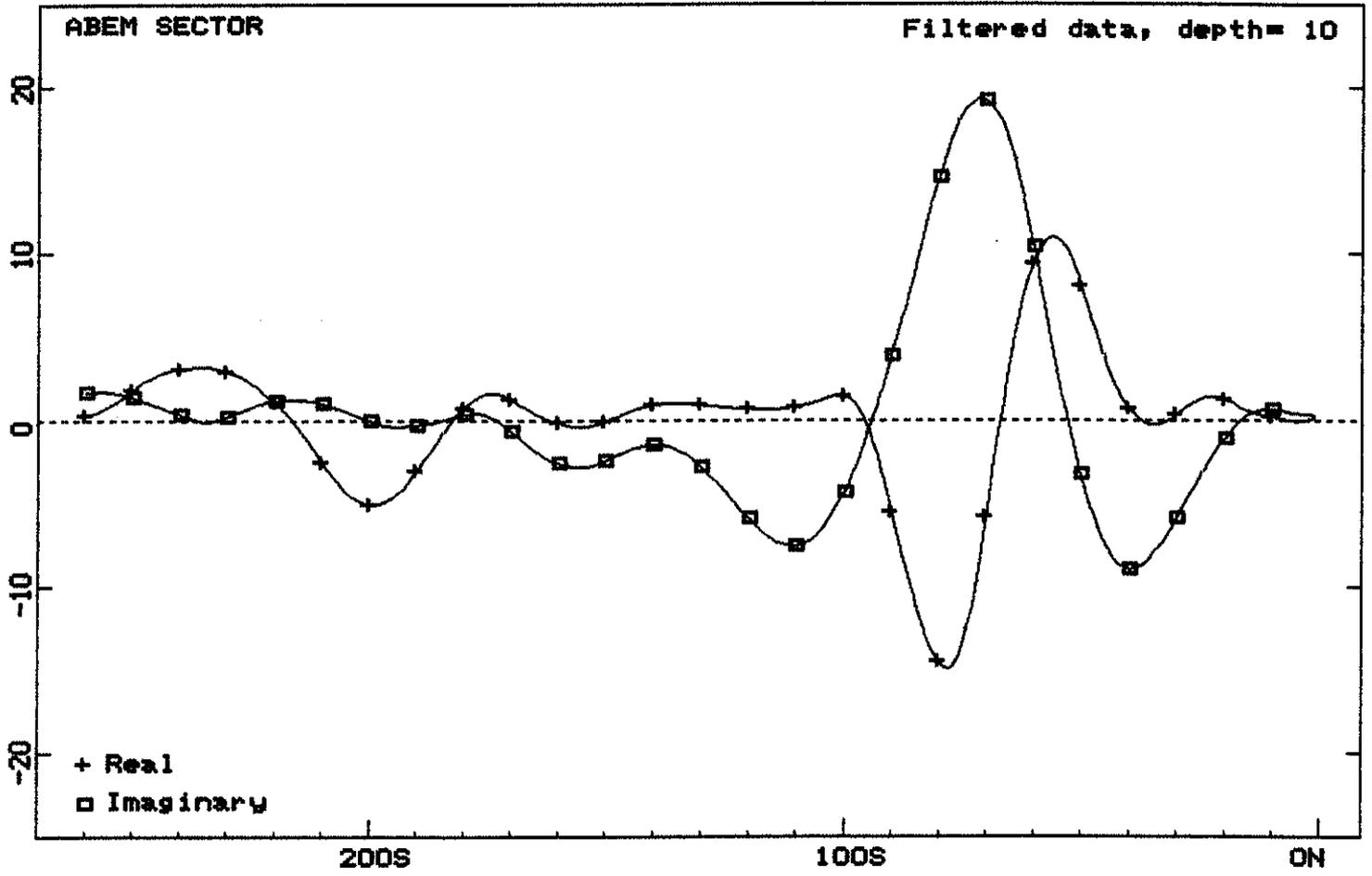
Qualidade da água: Salgada



Profile: 0003E

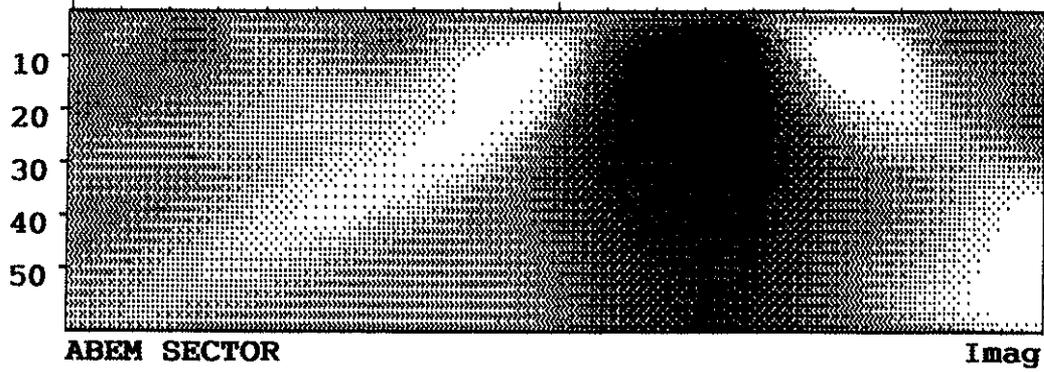
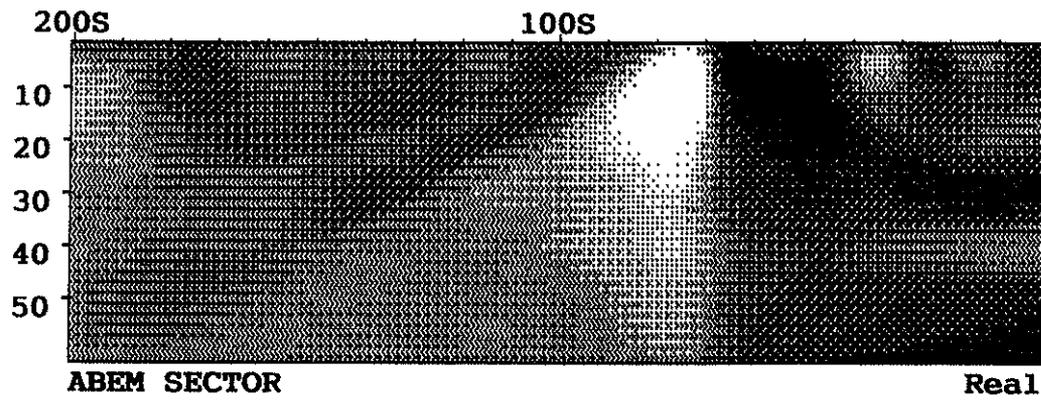
perfil 1

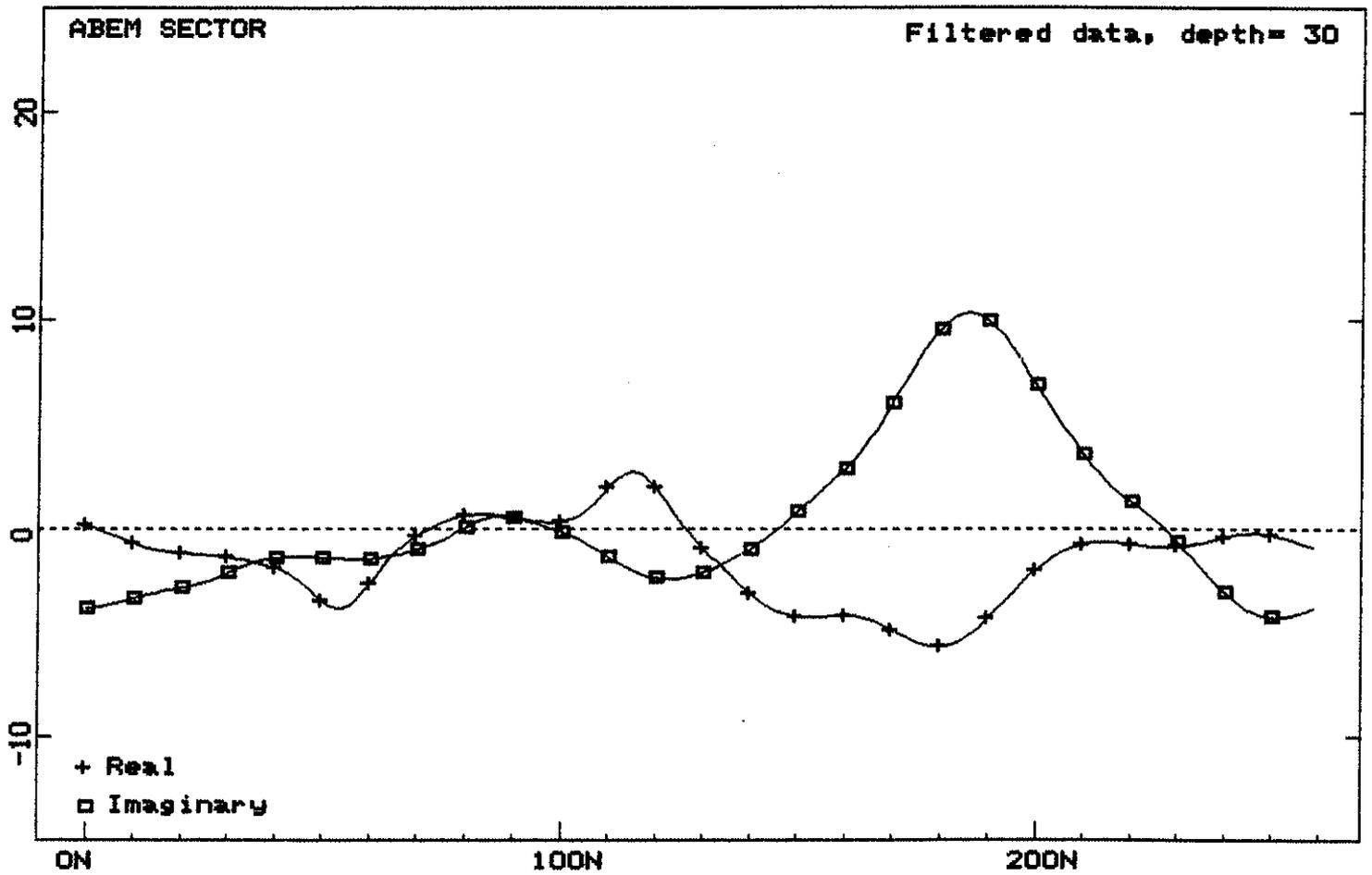
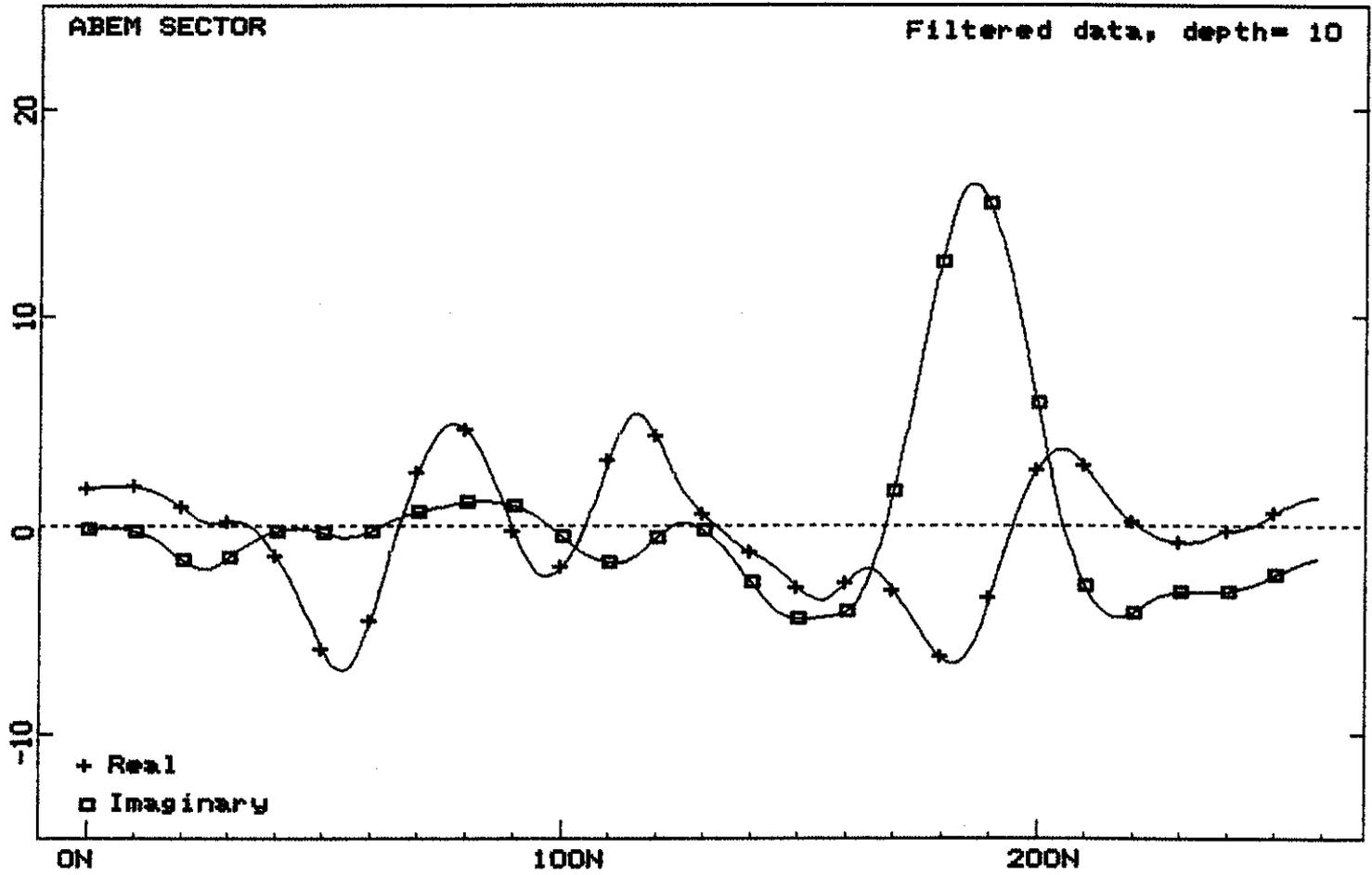




Profile: 0004E

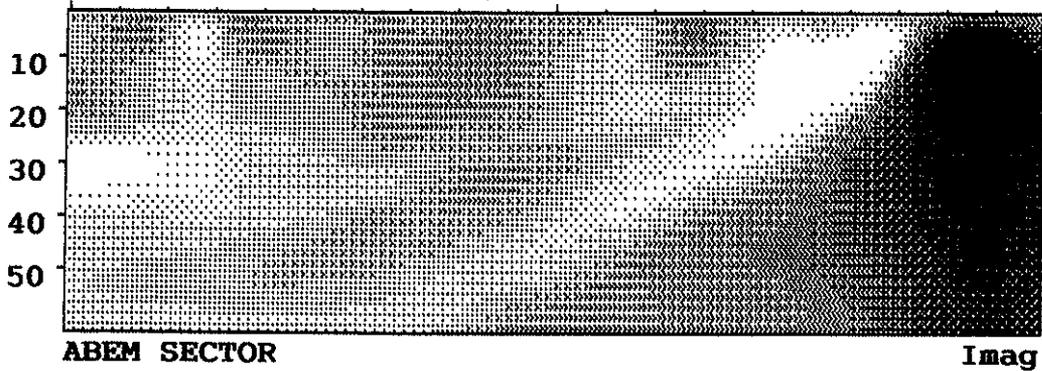
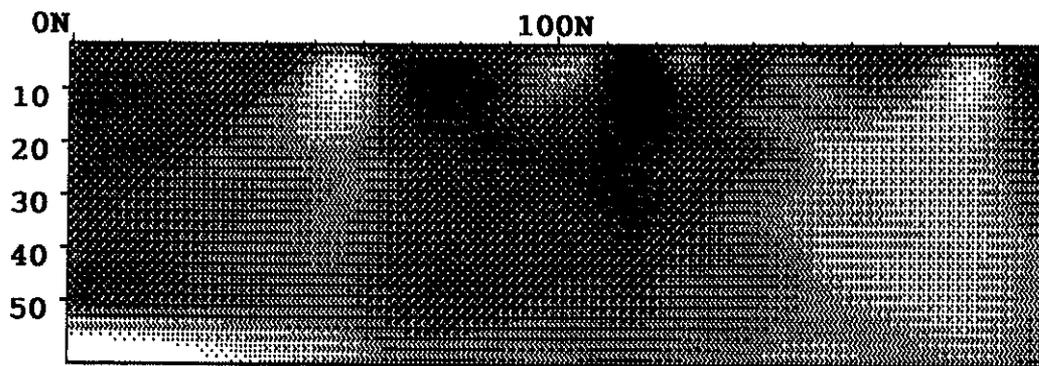
perfil 1





Profile: 0005E

perfil 1



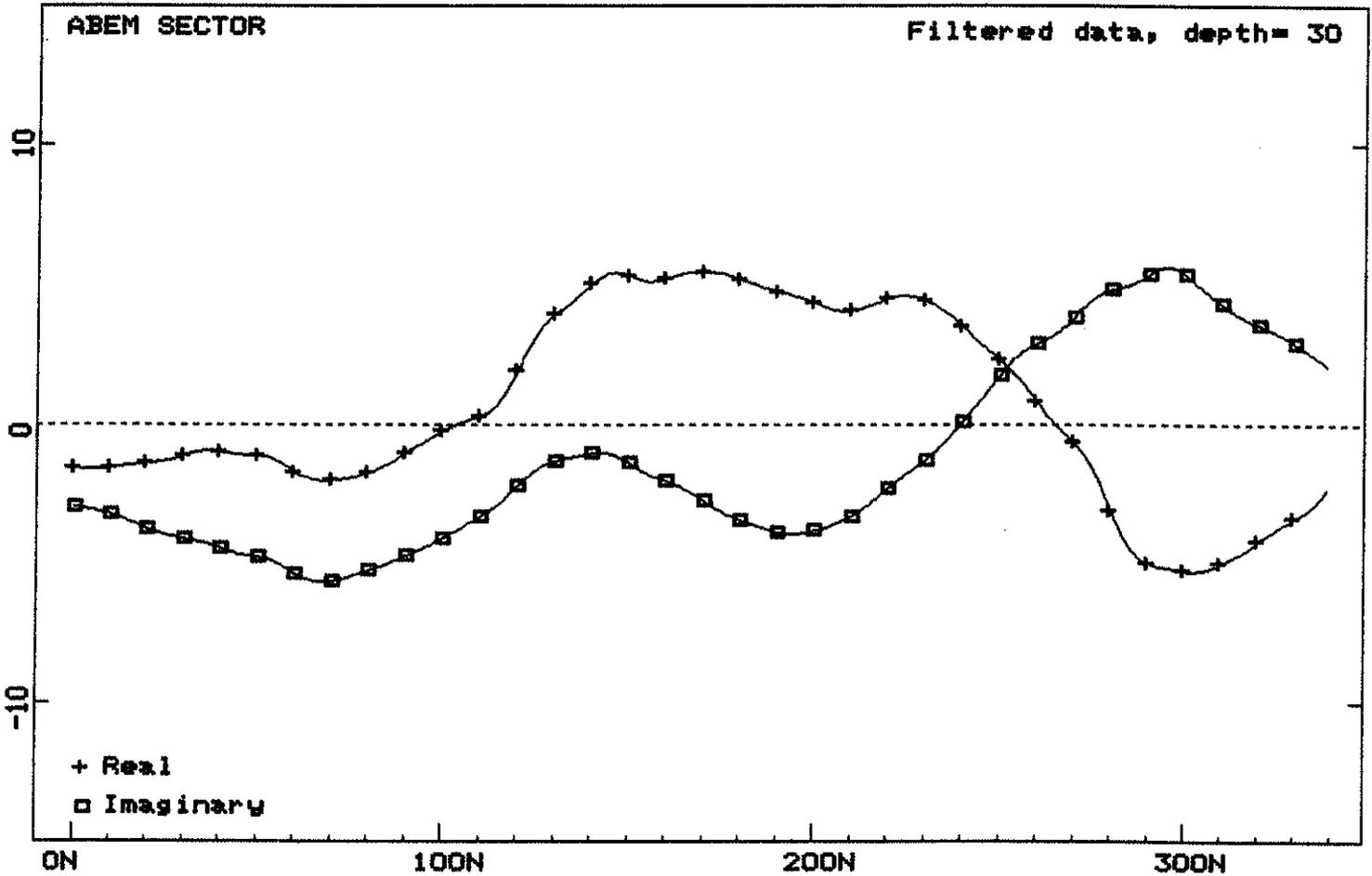
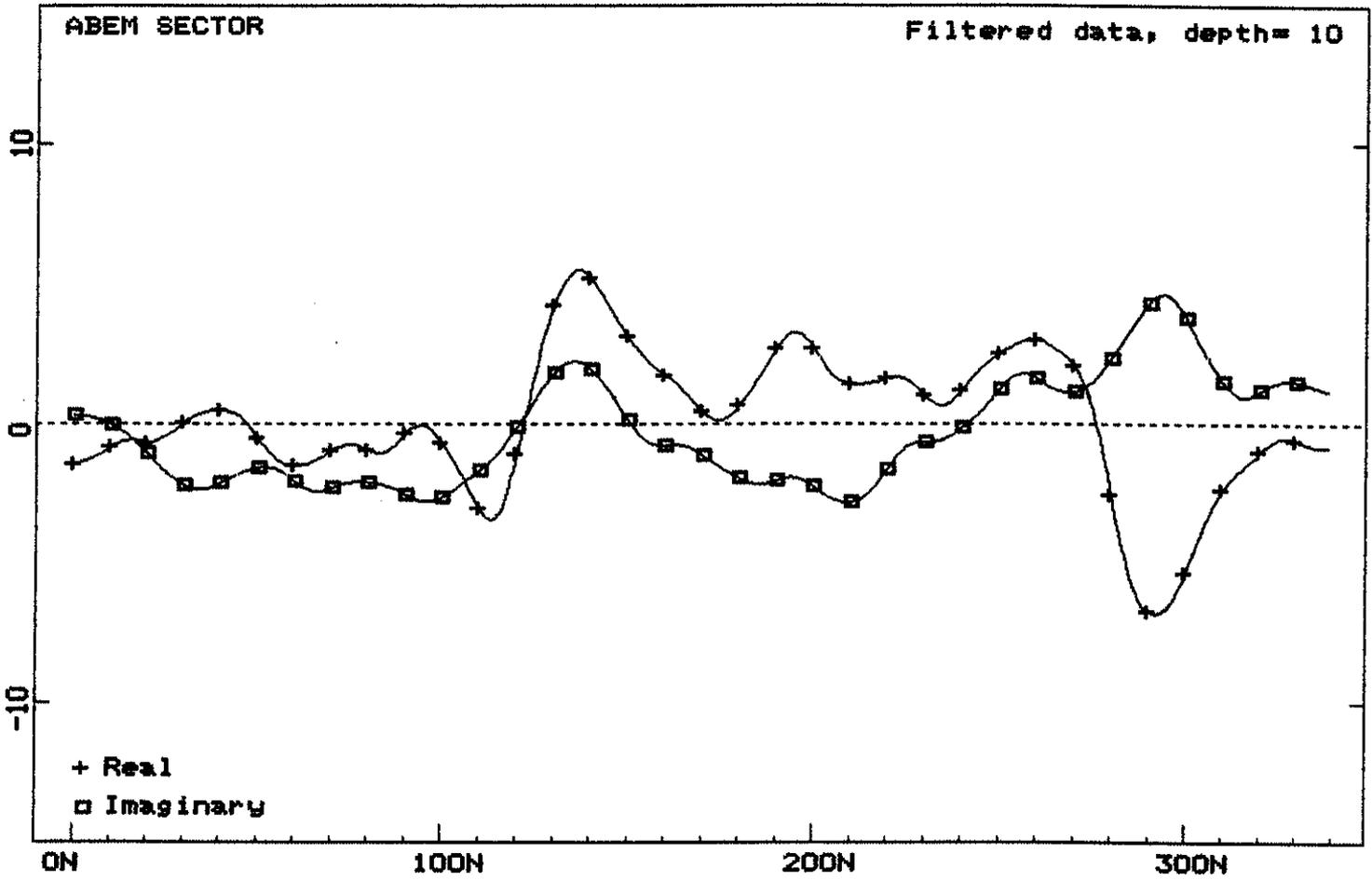
LOCALIDADE

Represa

N. Perfil/Posição: 0007E/150N

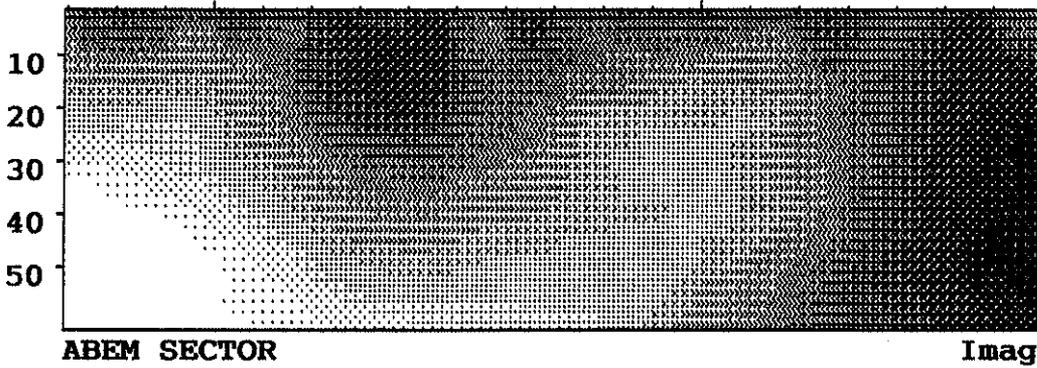
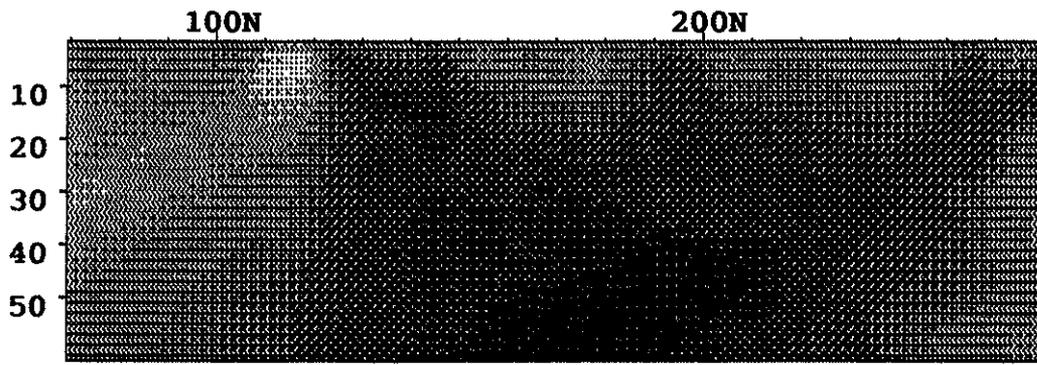
Vazão: 4.700 l/h

Qualidade da água: Insípida



Profile: 0007E

perfill



PROF (m)	PERFIL LITOL	CÓDIGO	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA DETALHADA
2		SOLDC9	Solo areno siltoso amarronzado
11		CST063	Rocha cristalina acinzentada, com fragmentação média
		CST047	Rocha cristalina acinzentada com quartzo, feldspato, e minerais ferro magnesianos, fragmentação média a grossa.
		CST046	Rocha cristalina acinzentada, com quartzo, feldspato e minerais ferro magnesianos, fragmentação fina a média.
<p>ESC. VERTICAL</p> <p>4m 0 4 8 12m</p>			<p>OBSERVAÇÕES: 1. Descrição litológica e complementação feitas pelo geólogo Marco Antonio Peixinho. 2. E. A. 27m e 30m 3. Boca do poço: 0,80</p>

O N V E S U D U A

LOCALIDADE

Riacho dos Pilões

N. Perfil/Posição: 0009E/180N

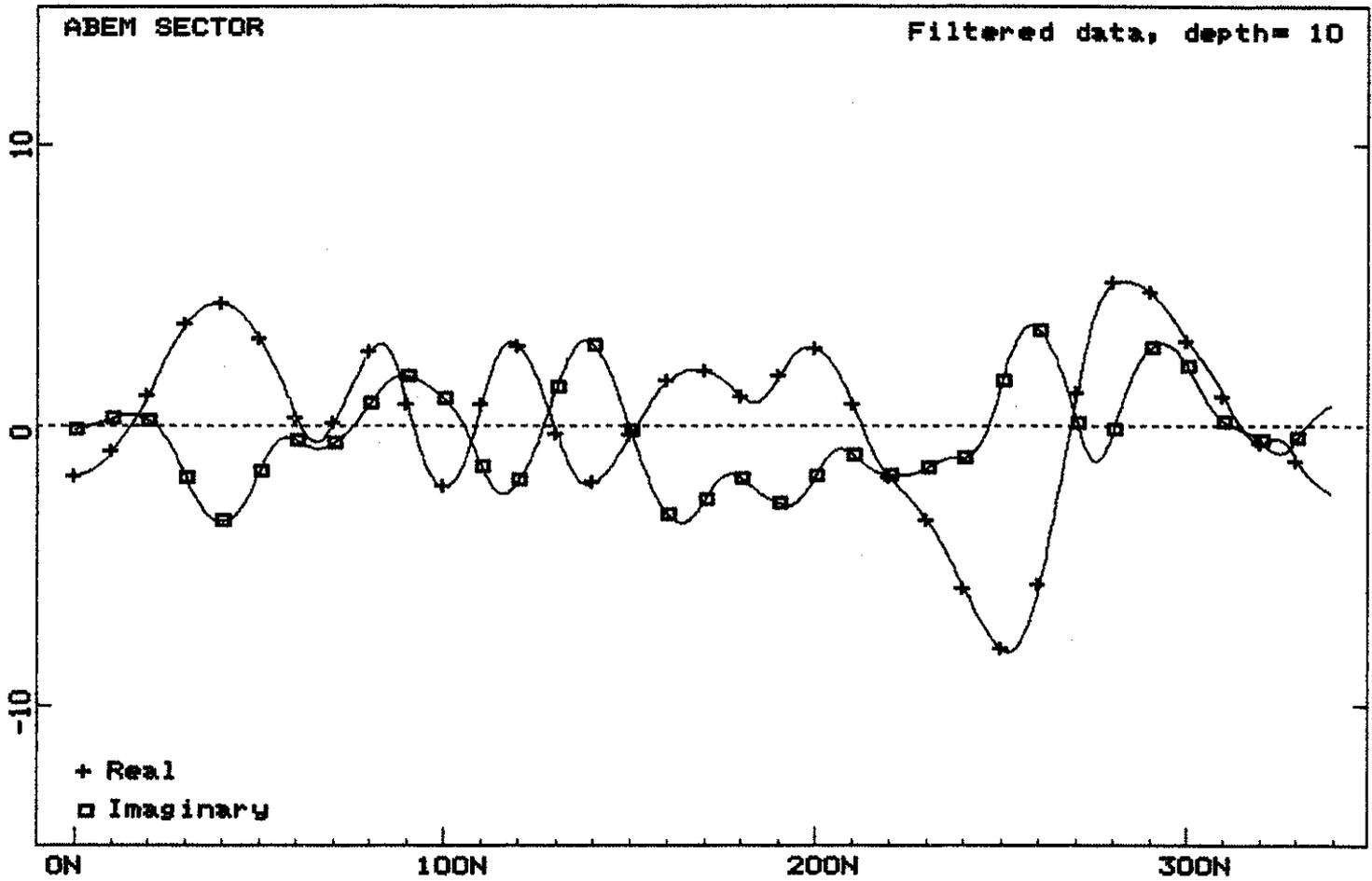
N. Perfil/Posição: 0010E/150N

Vazão: 12.160 l/h

Qualidade da água: Insípida

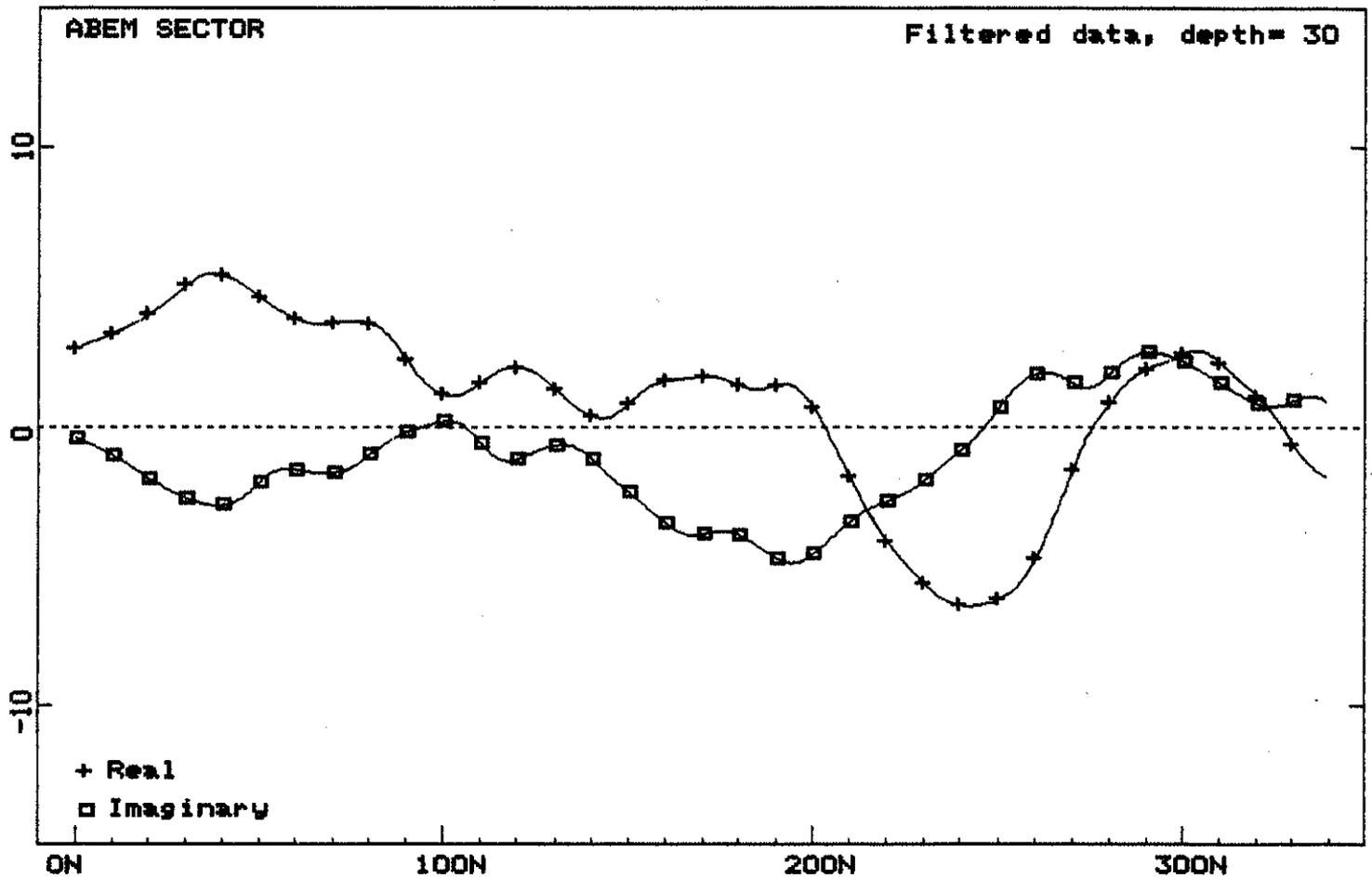
Profile: 0009E (18.3 kHz)

p1



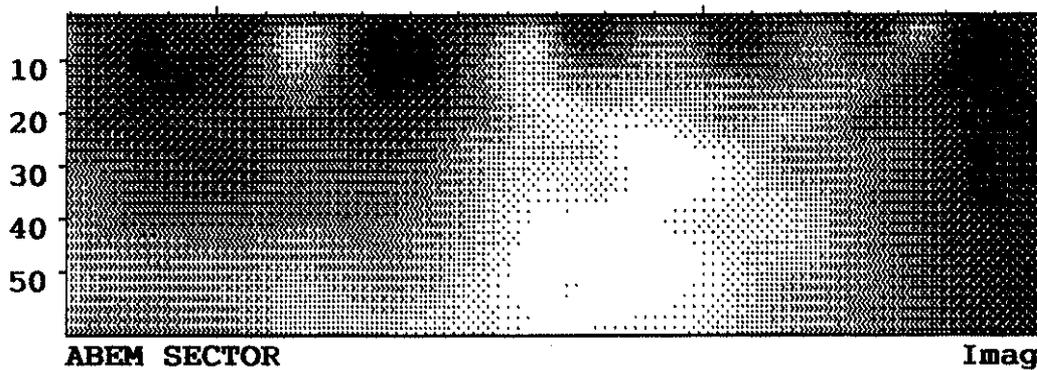
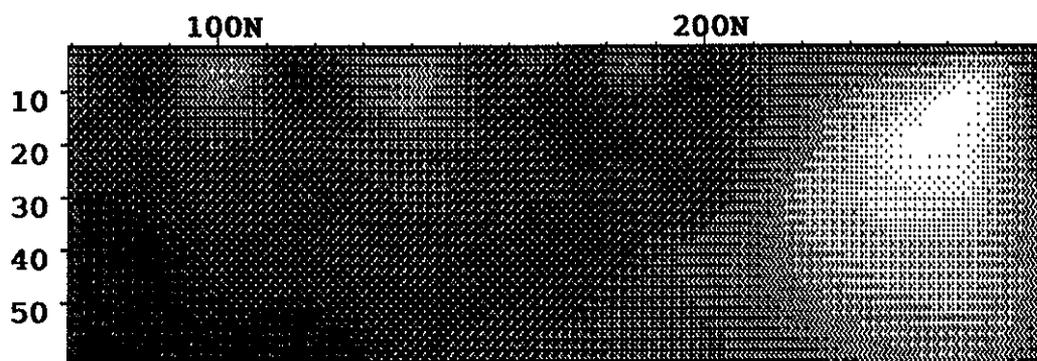
Profile: 0009E (18.3 kHz)

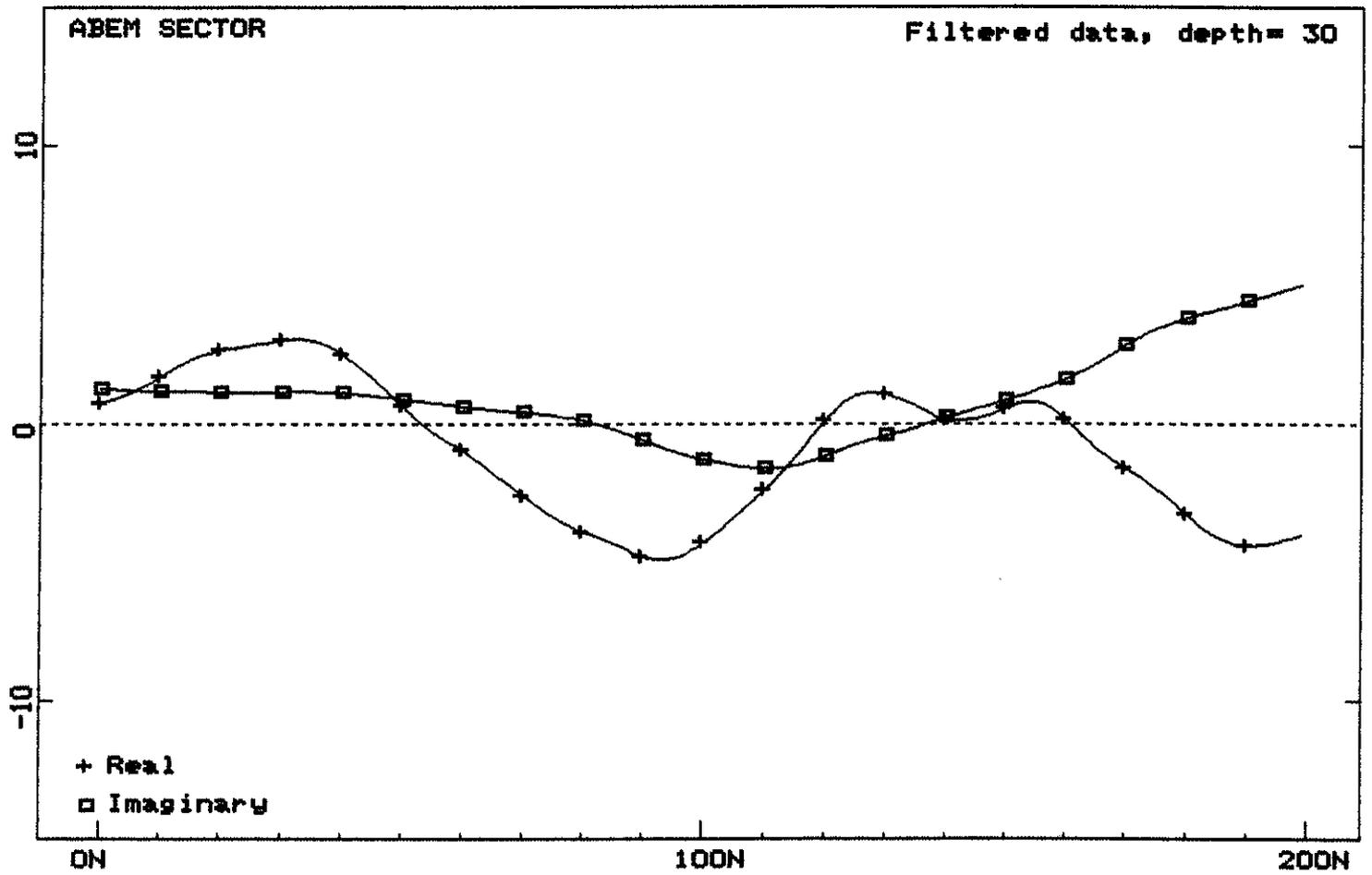
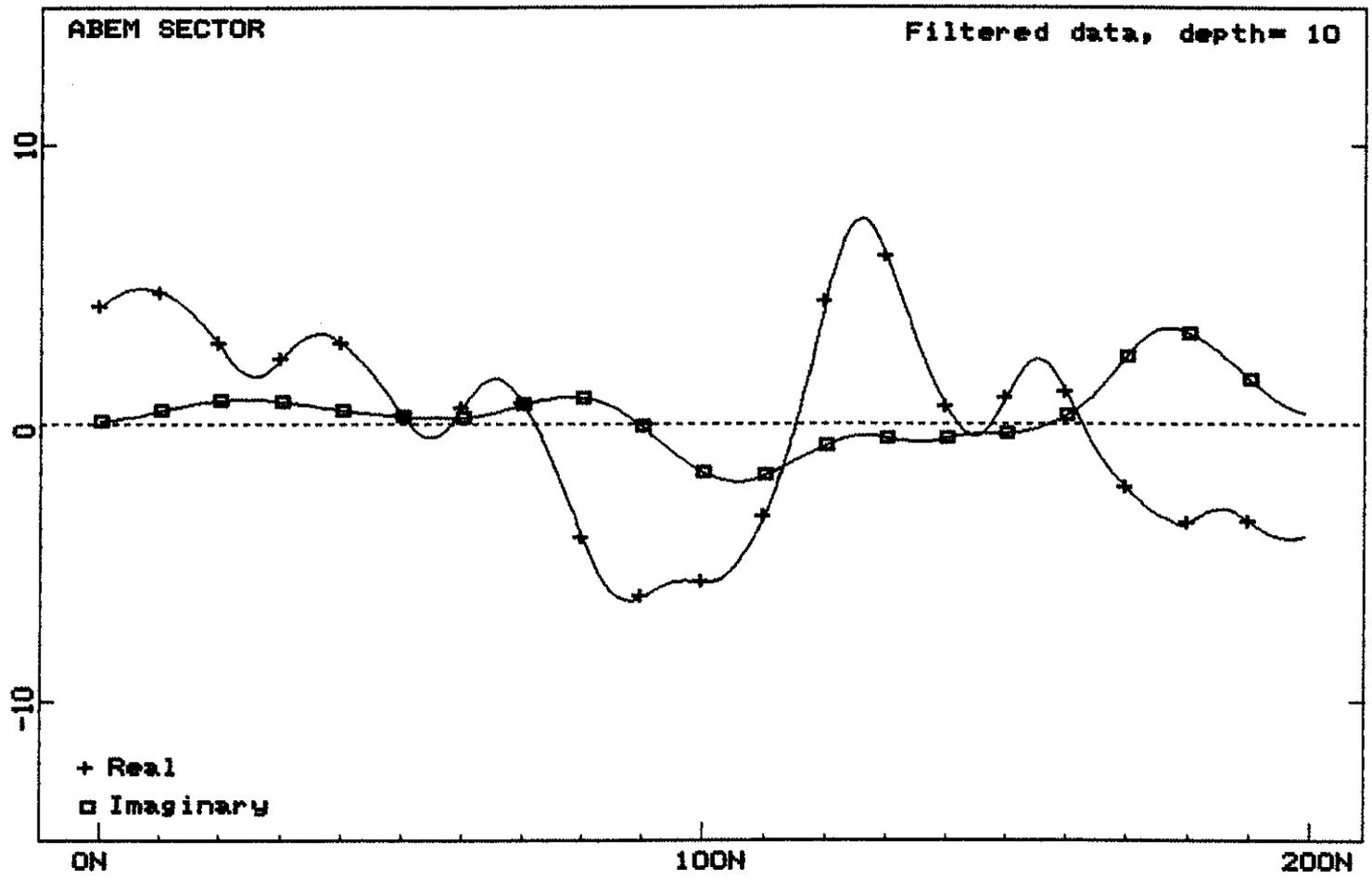
p1



Profile: 0009E

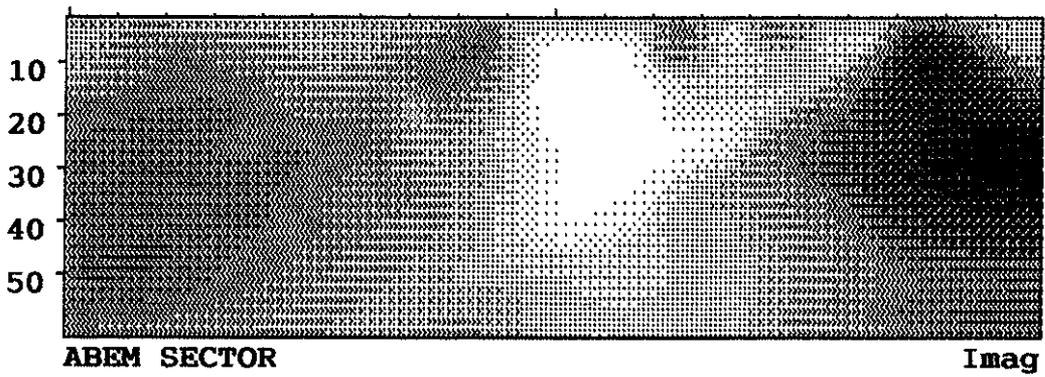
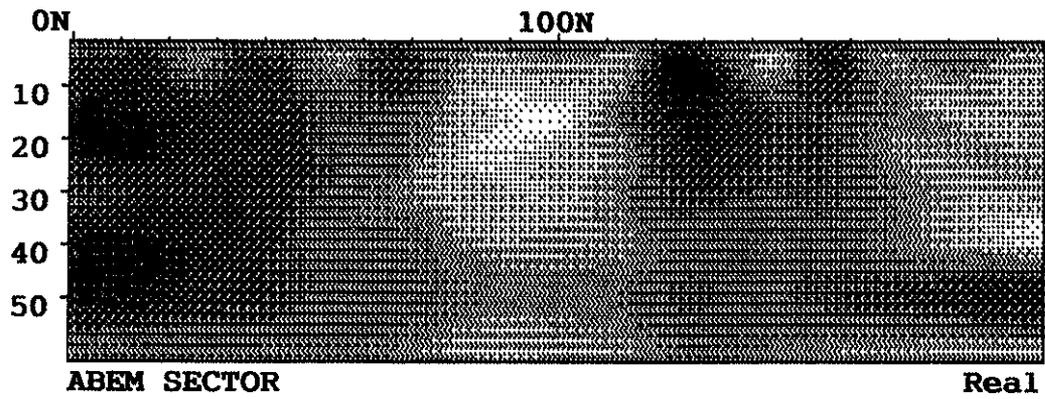
p1





Profile: 0010E

p1



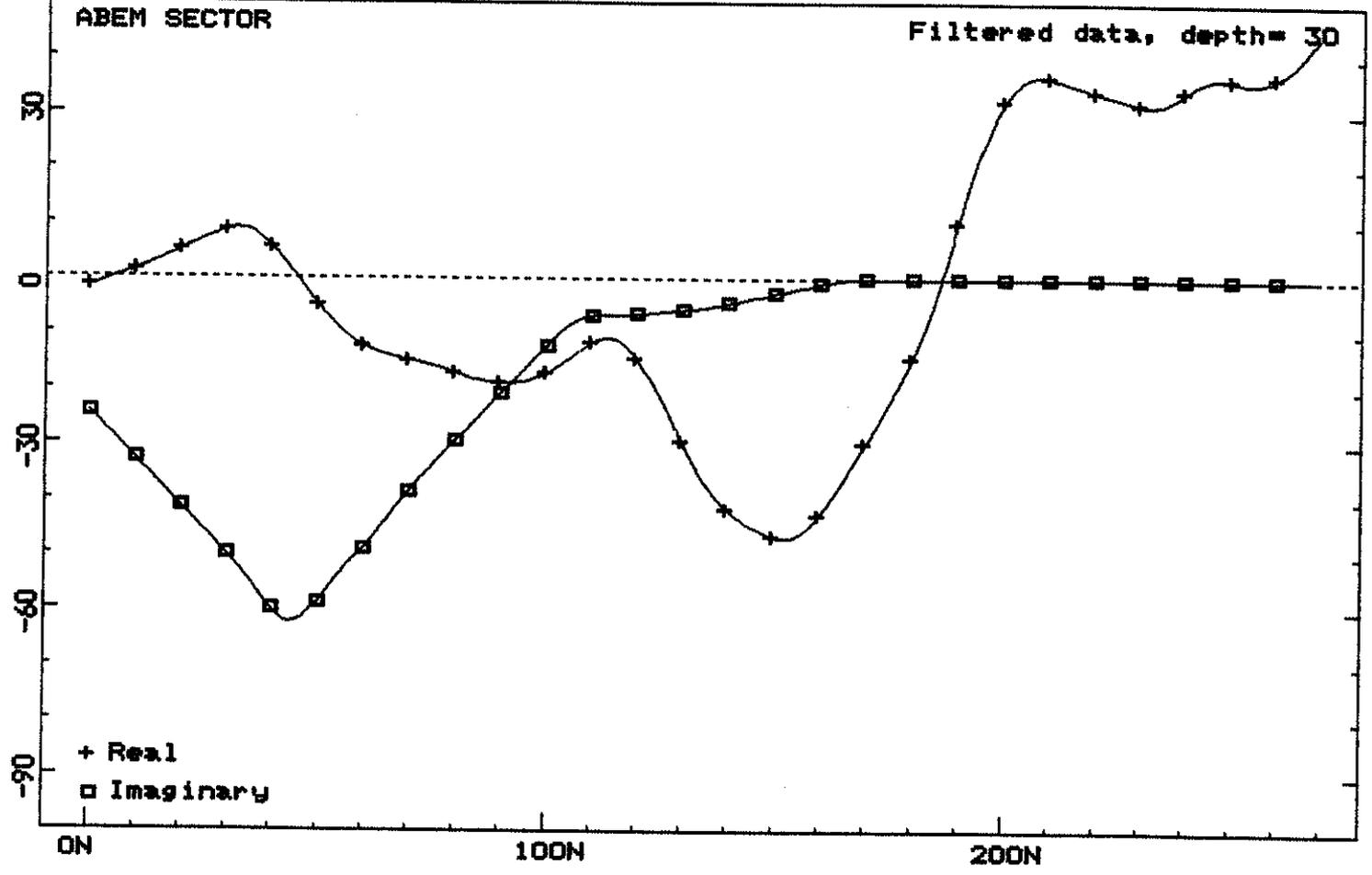
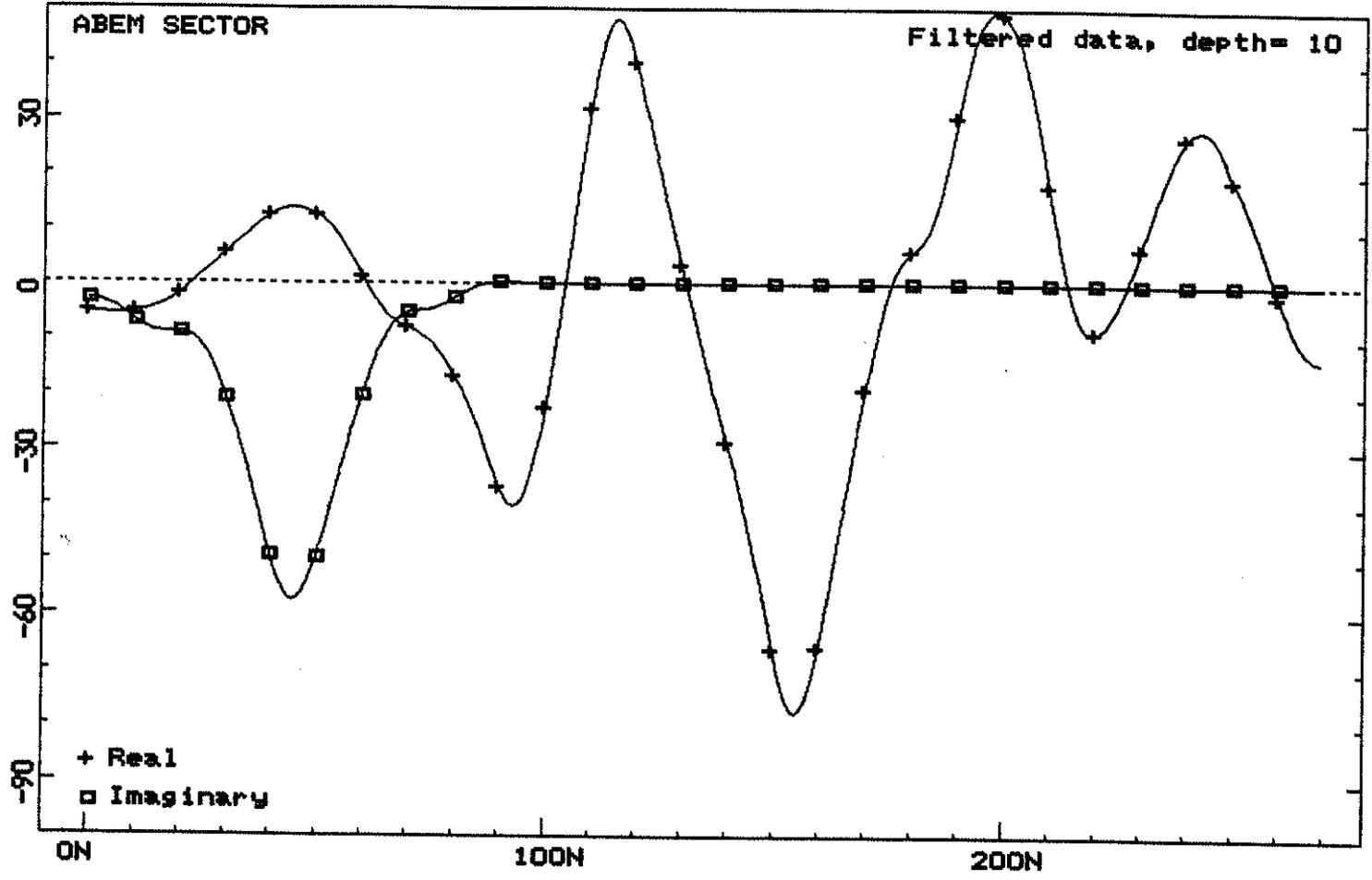
LOCALIDADE

Riacho da Onça

N. Perfil/Posição: 0001E/150N

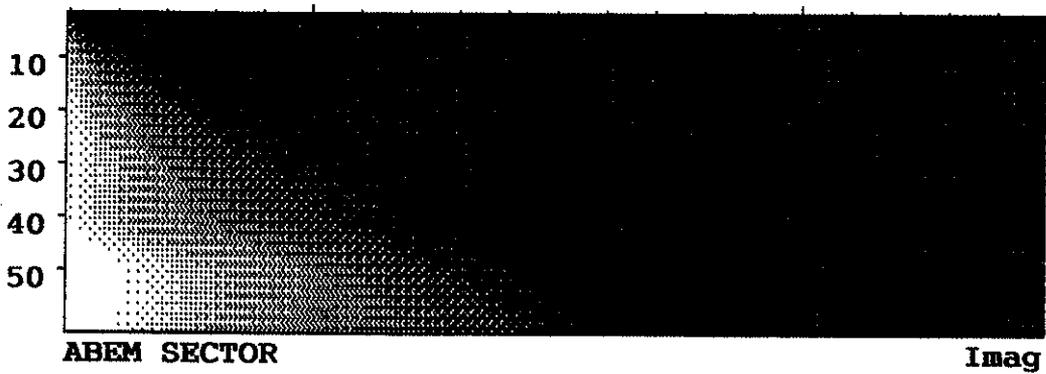
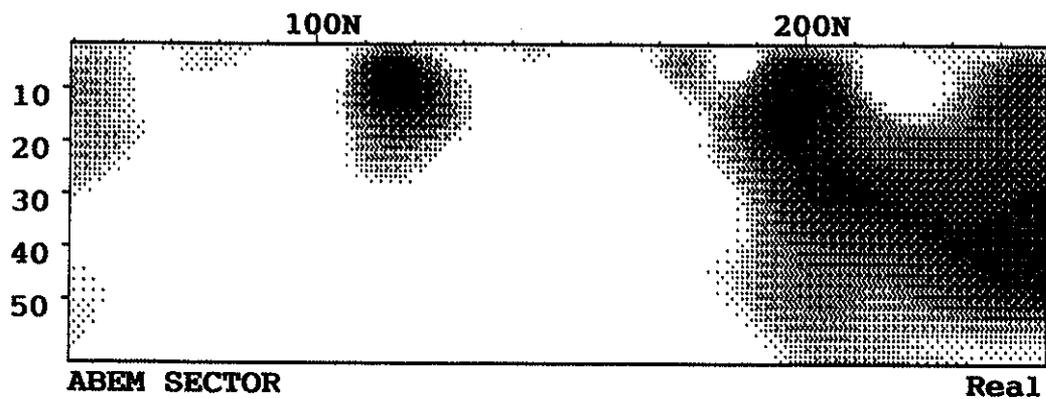
Vazão: Seco

Qualidade da água: -



Profile: 0001E

perfil 1



PROF (m)	PERFIL LITOL	CÓDIGO	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA DETALHADA
1		SOL004	Solo areno-argiloso, amarelado
4		CST063	Rocha cristalina acinzentada alterada
		CST008	Rocha cristalina cinza esverdeada, composta essencialmente de quartzo, feldspato e biotita, com raras faixas avermelhadas, predominando o K-feldspato, com fragmentação média a grossa.
90			
ESC. VERTICAL 			A R Q U E A N O
			OBSERVAÇÕES: 1. Descrição litológica e complementação feitas pelo geólogo Marco Antonio Peixinho. 2. poço seco.

ANEXO 2

LEVANTAMENTO

CEARÁ

LOCALIDADE

R. Direita/R. 24 de maio

N. Poço: s/perfil litológico

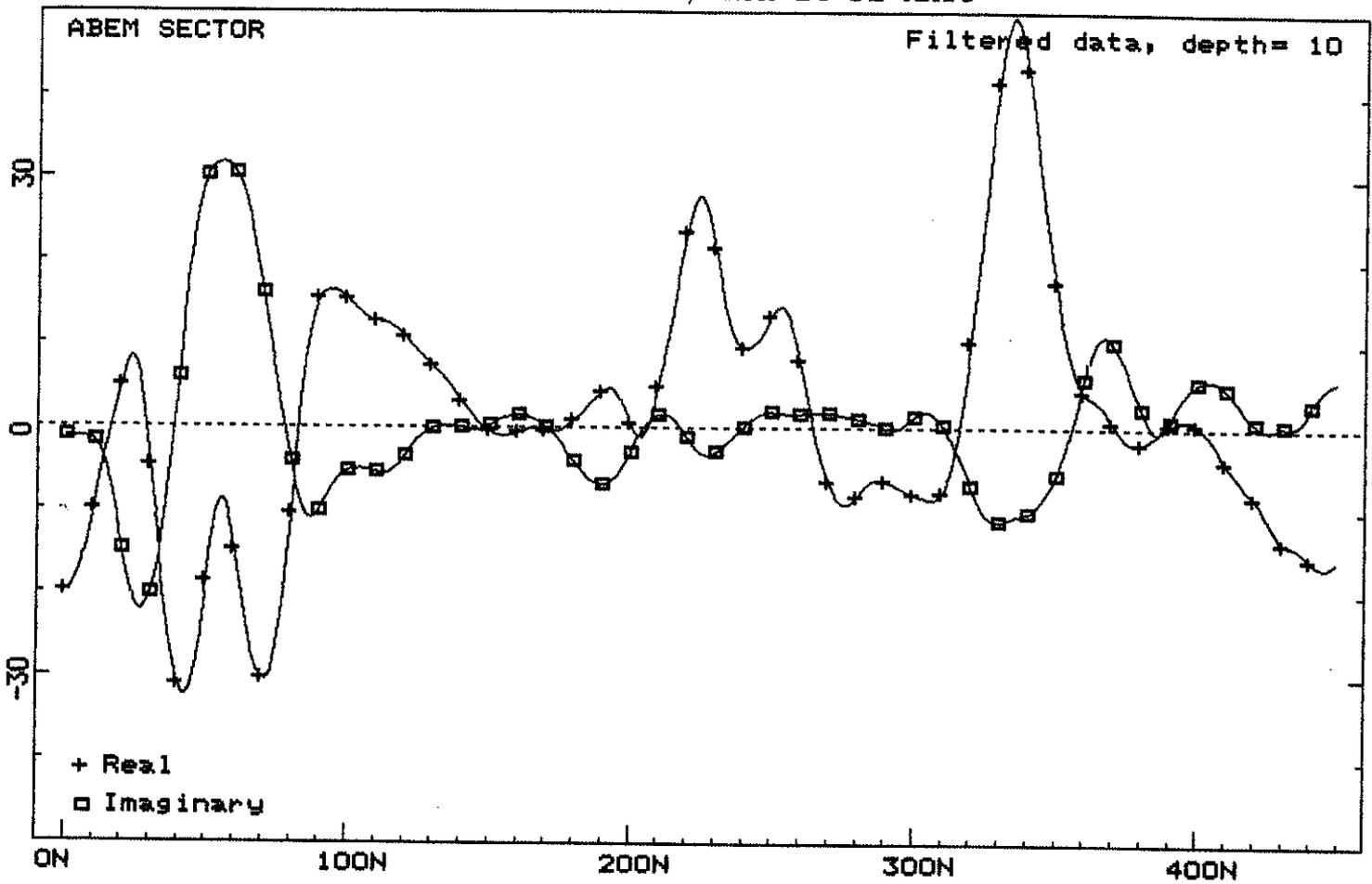
N. Perfil/Posição: 0024E/335N

Vazão: 670 l/h

Qualidade da água: Insípida

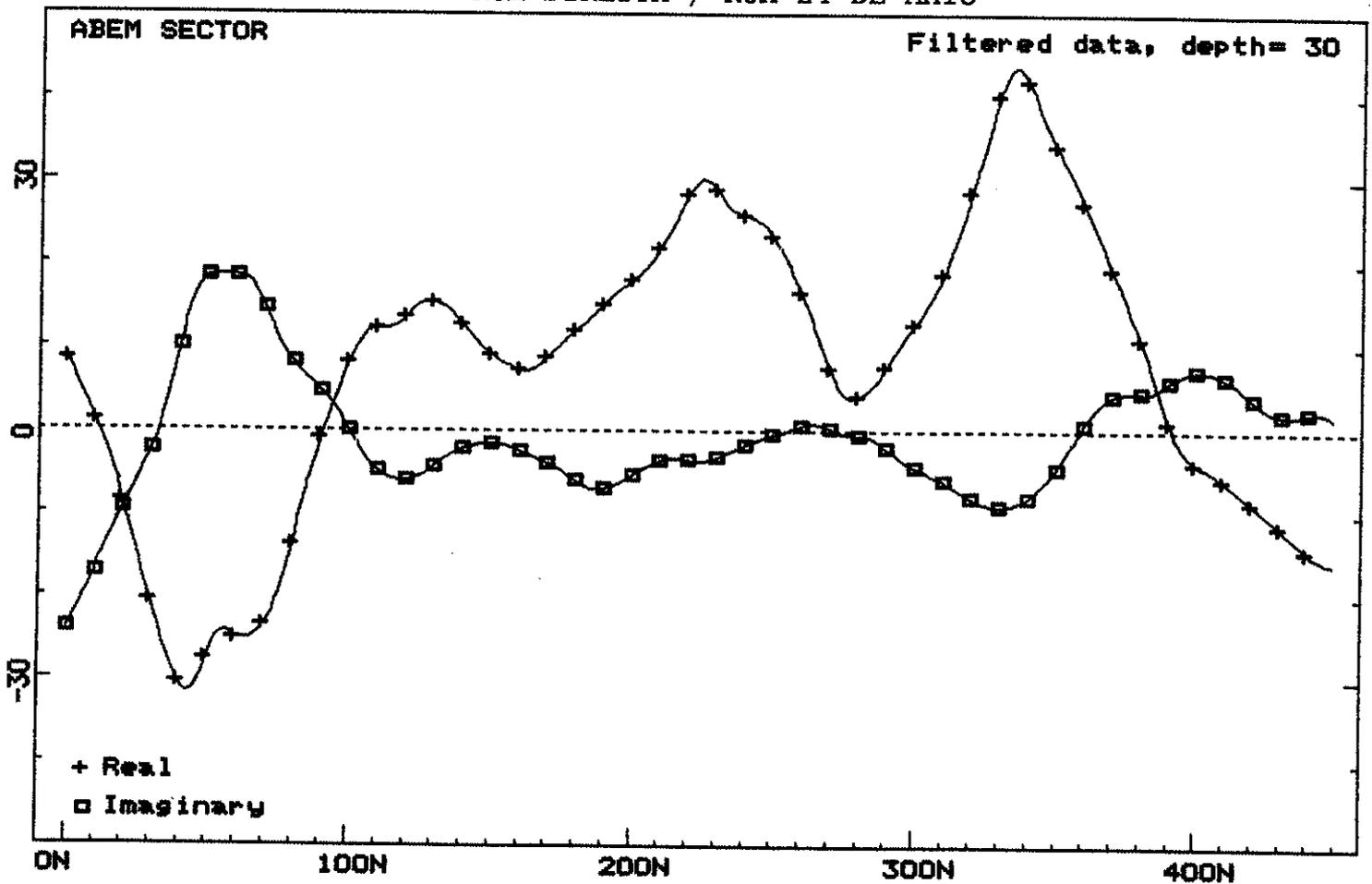
Profile: 0024E (21.4 kHz)

RUA DIREITA / RUA 24 DE MAIO



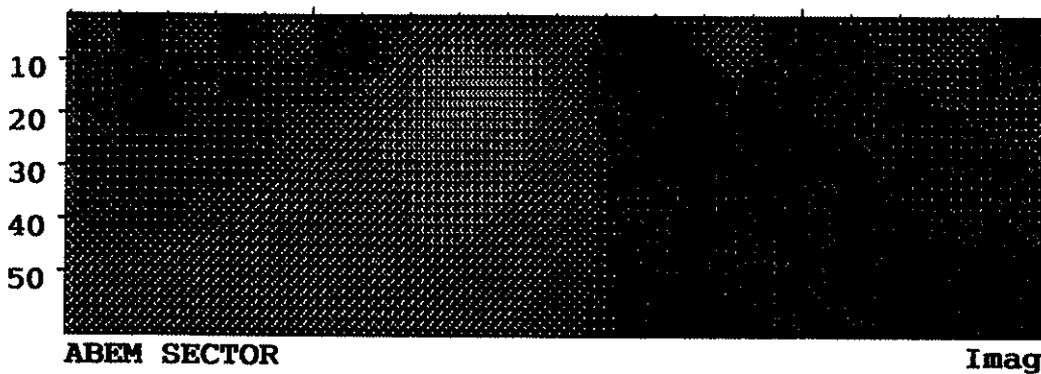
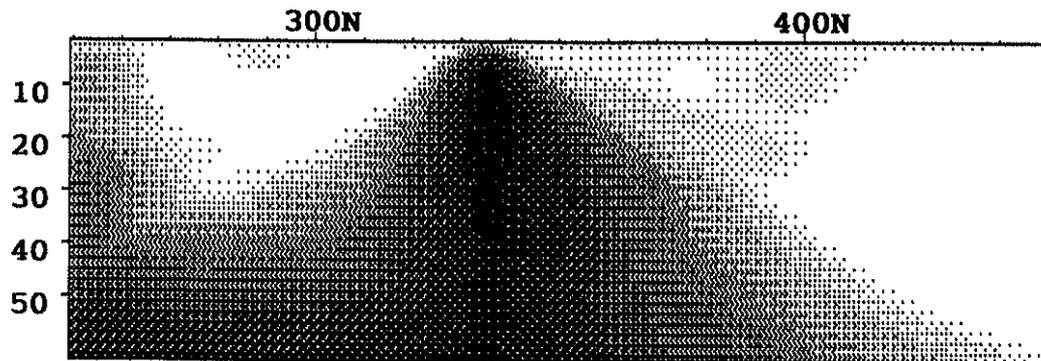
Profile: 0024E (21.4 kHz)

RUA DIREITA / RUA 24 DE MAIO



Profile: 0024E

RUA DIREITA / RUA 24 DE MAIO



LOCALIDADE

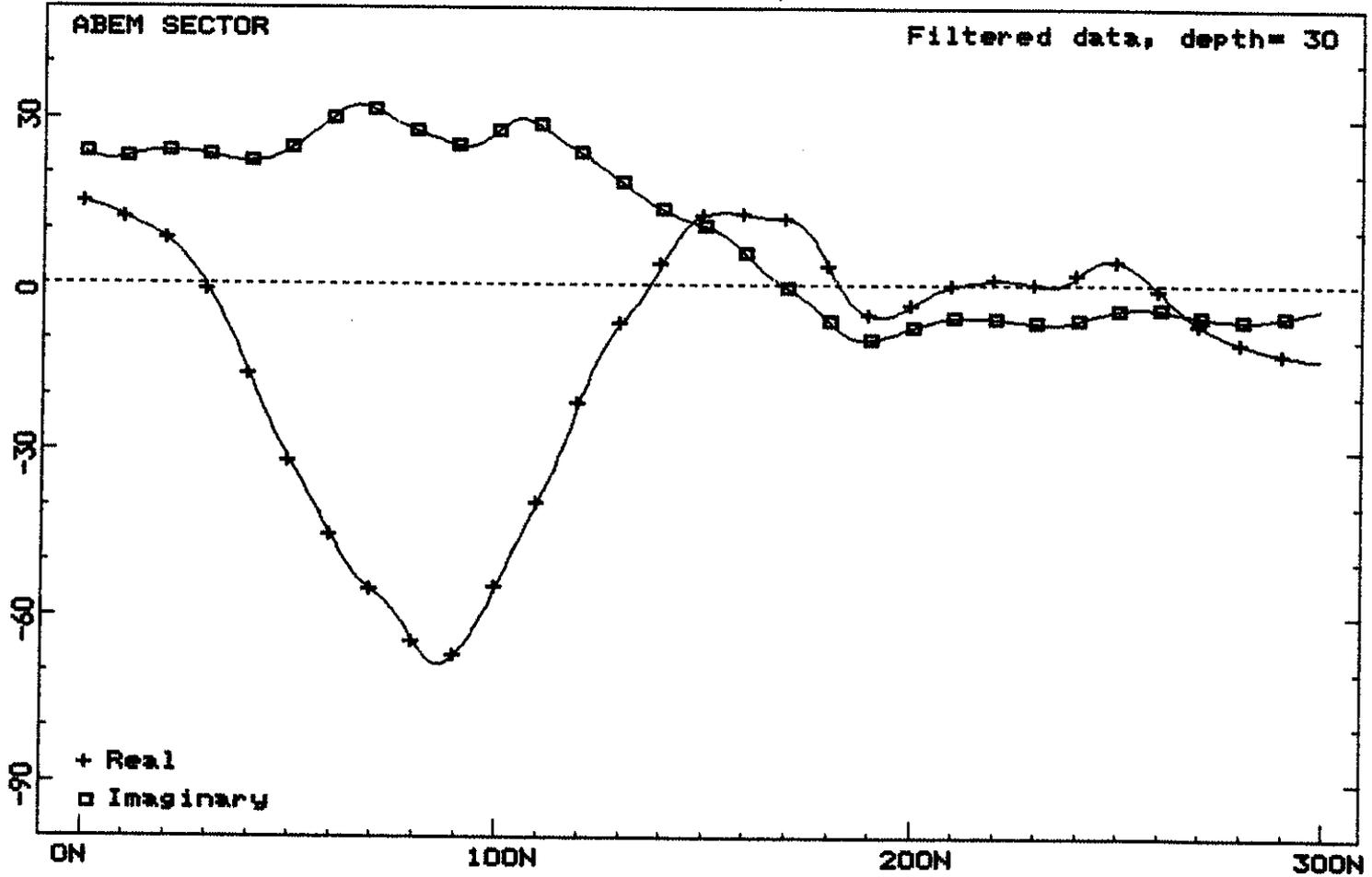
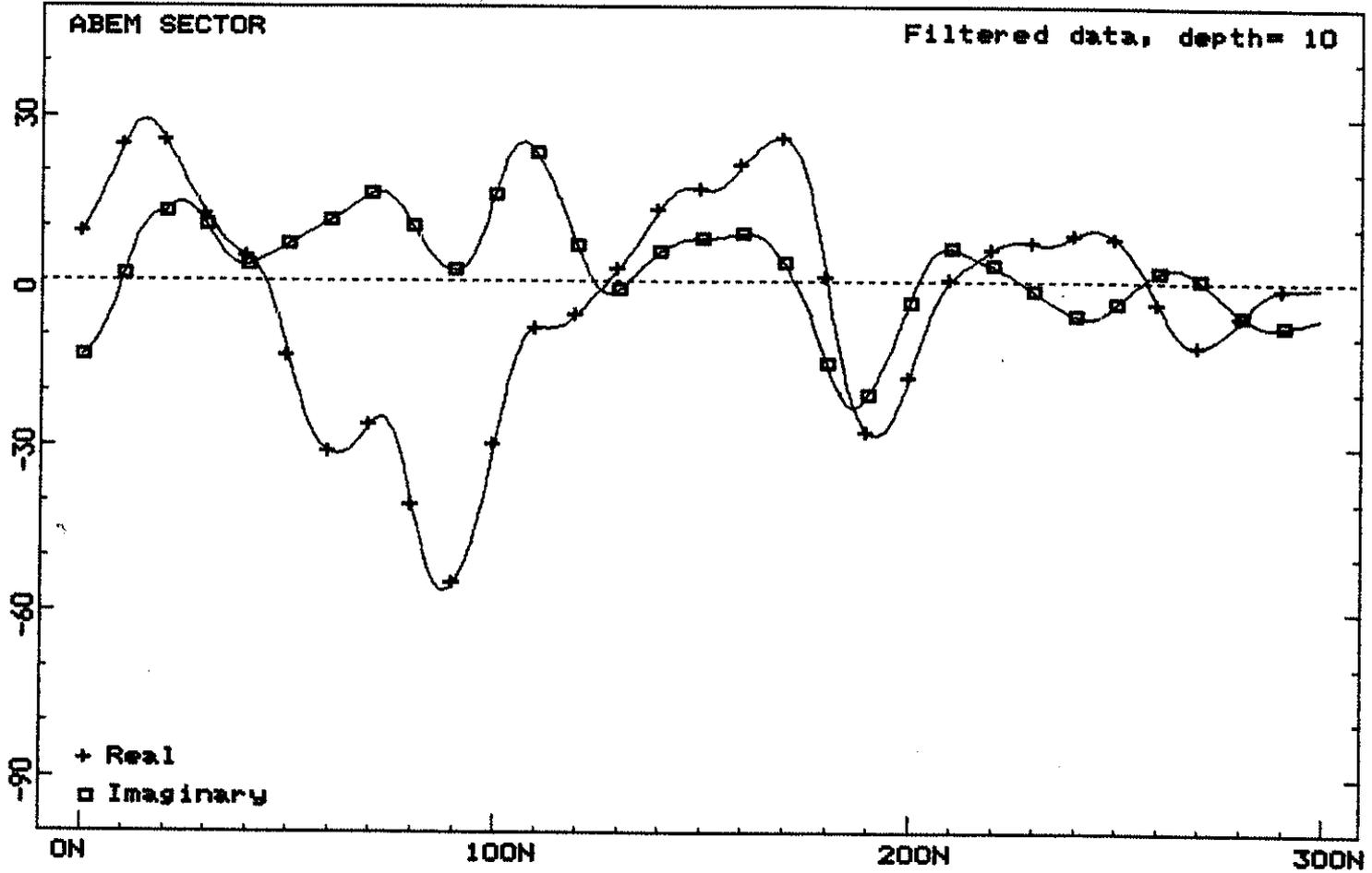
Novo Oriente/R. 6

N. Poço: s/perfil litológico

N. Perfil/Posição: 0027E/170N

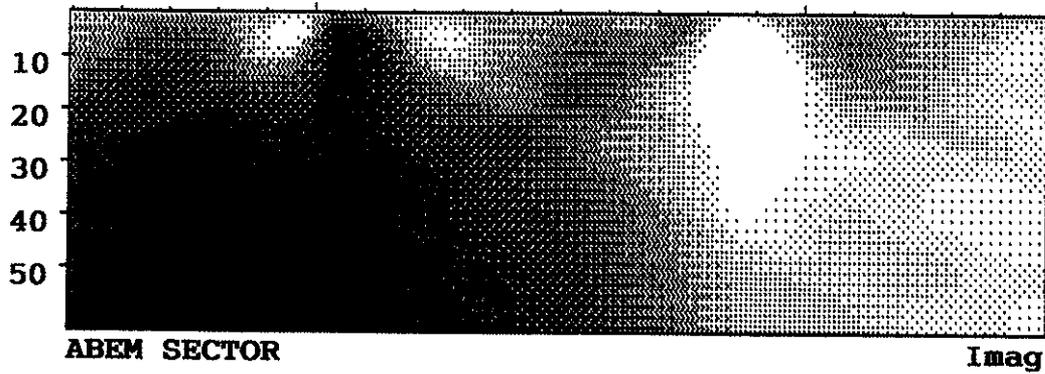
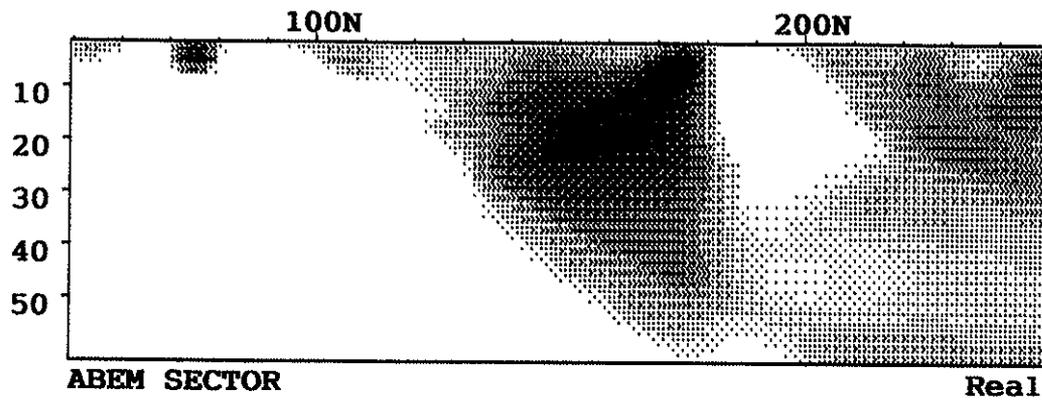
Vazão: 1.000 l/h

Qualidade da água: Insípida



Profile: 0027E

NOVO ORIENTE / RUA 6



LOCALIDADE

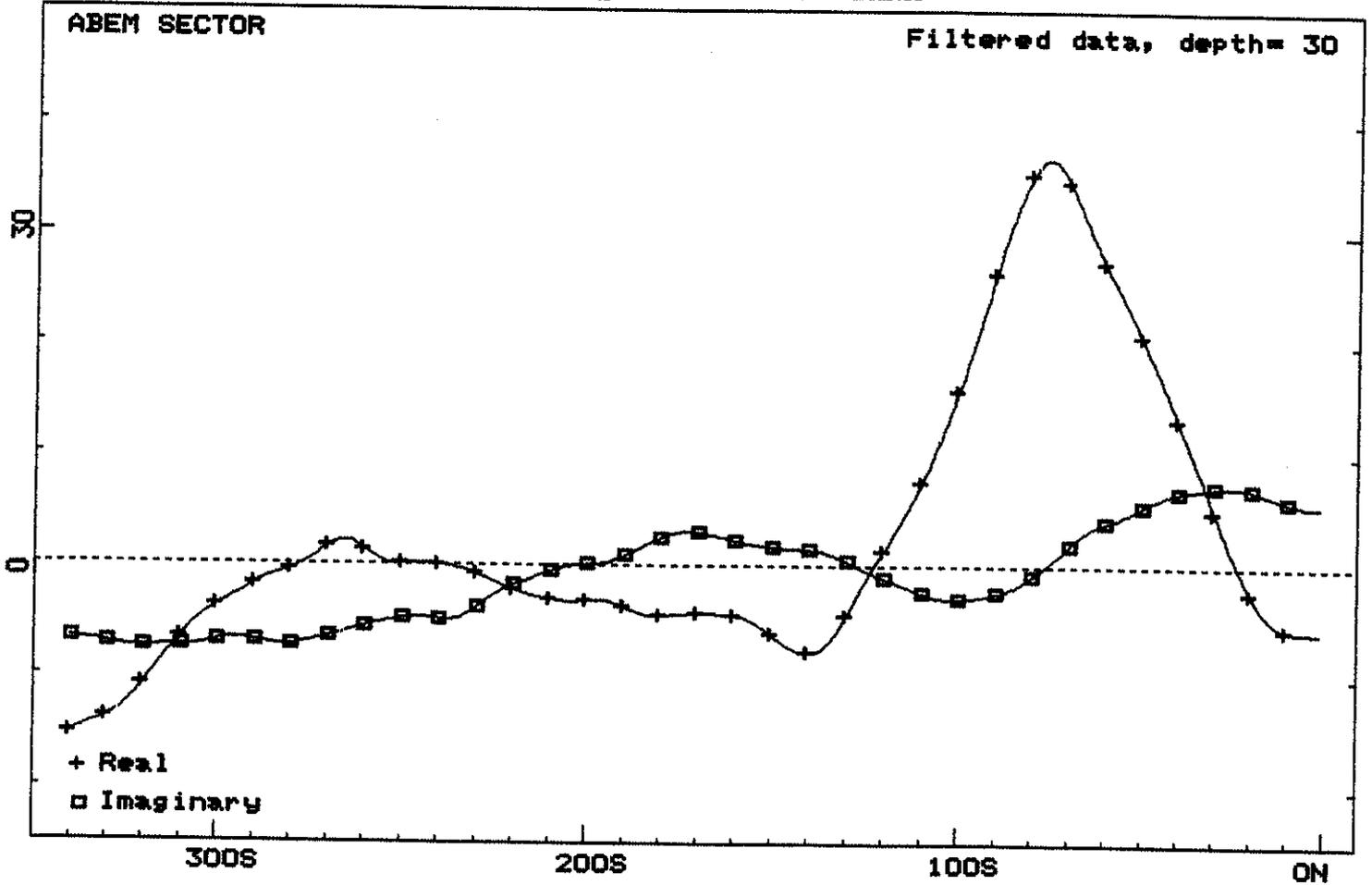
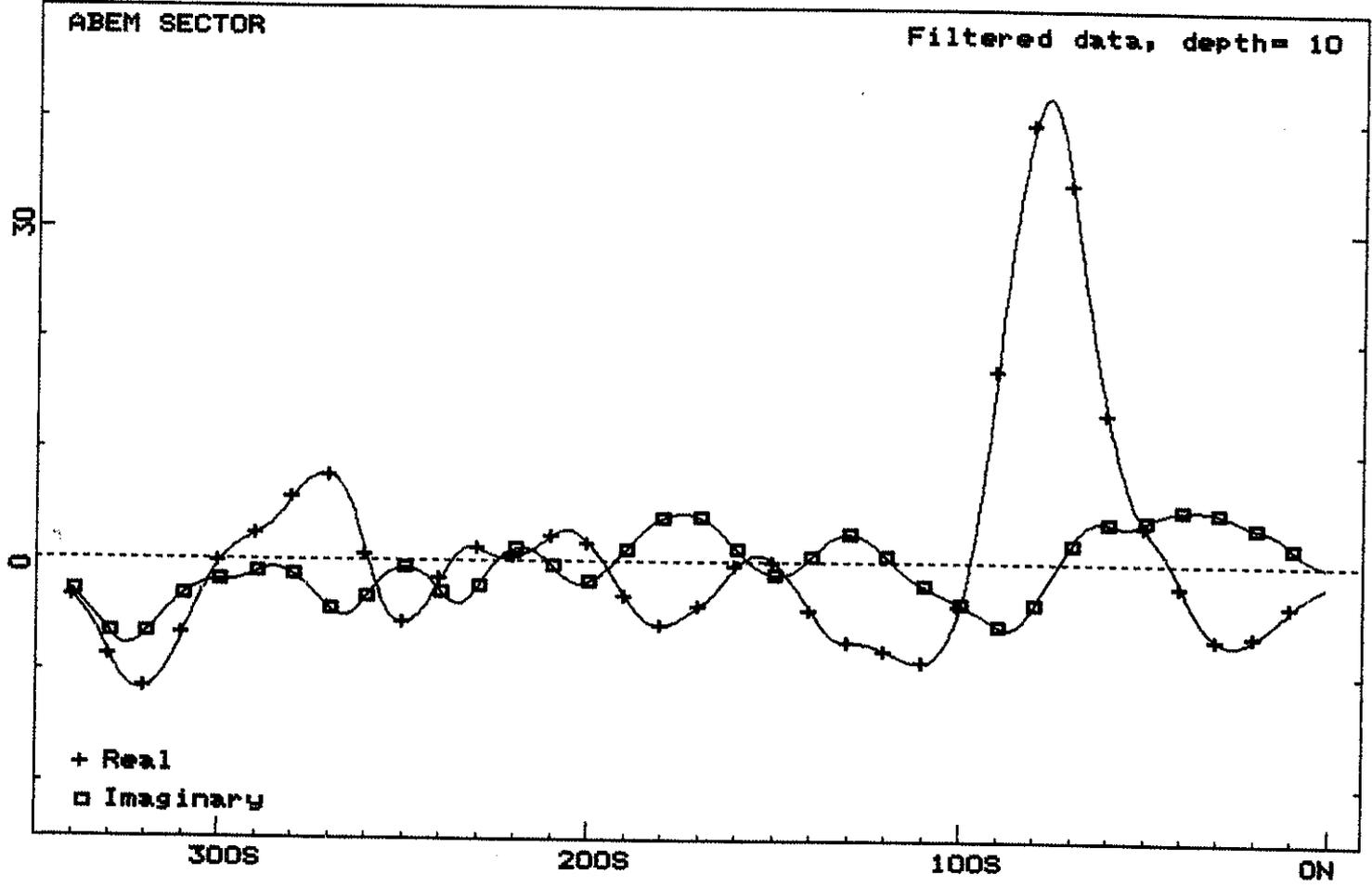
Parque Louzardo Viana

N. Poço: P-16

N. Perfil/Posição: 0041E/75S

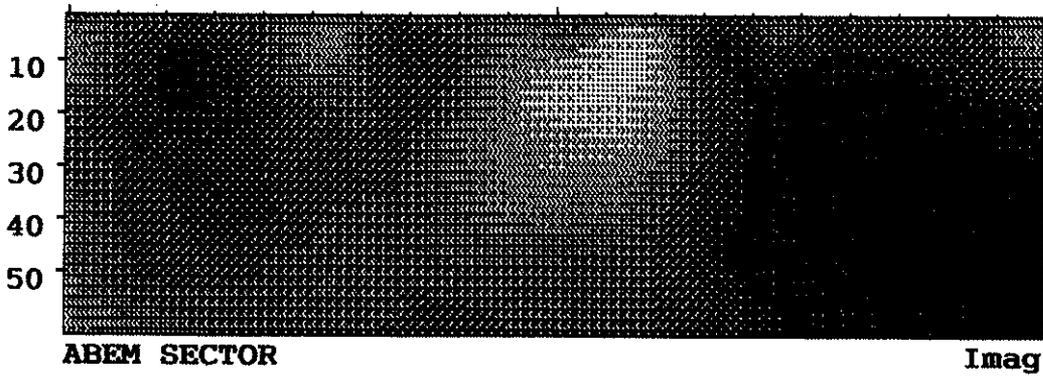
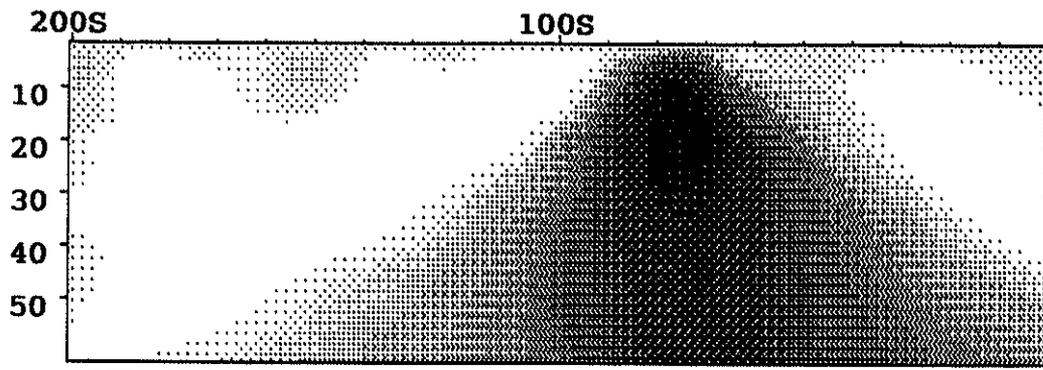
Vazão: - l/h

Qualidade da água: -



Profile: 0041E

PARQUE LOUZARDO VIANA



PERFIL DE POÇO PROFUNDO

Nº LOCAL Parque Luzardo Viana, esq. e/ R. Valmir Moura. MUNICIPIO Maracanã ESTADO CE

CLIENTE PREFEITURA MUNICIPAL DE MARACANAU

SEÇÃO DO POÇO	ENTRADA D'ÁGUA	PROFUND. (m)	SIMBOLOGIA	UNIDADE GEOLÓGICA	LITOLOGIA
<p>PVC 6" 8"</p> <p>6"</p>		3,00		GRUPO BARCELONÉS COMPLEXO NORDESTINO	Argila, com areia, amarelo-avermelhada.
		7,00			Rocha alterada, de composição quartzo-feldspática, com mica, acinzentada.
		60,00			Rocha sã, de composição quartzo-feldspática, com mica, cinza.
		60,00			

OBSERVAÇÃO

POÇO SECO

ESCALA 1:500

LOCALIDADE

Jardim Bandeirantes

N. Poço: P-17

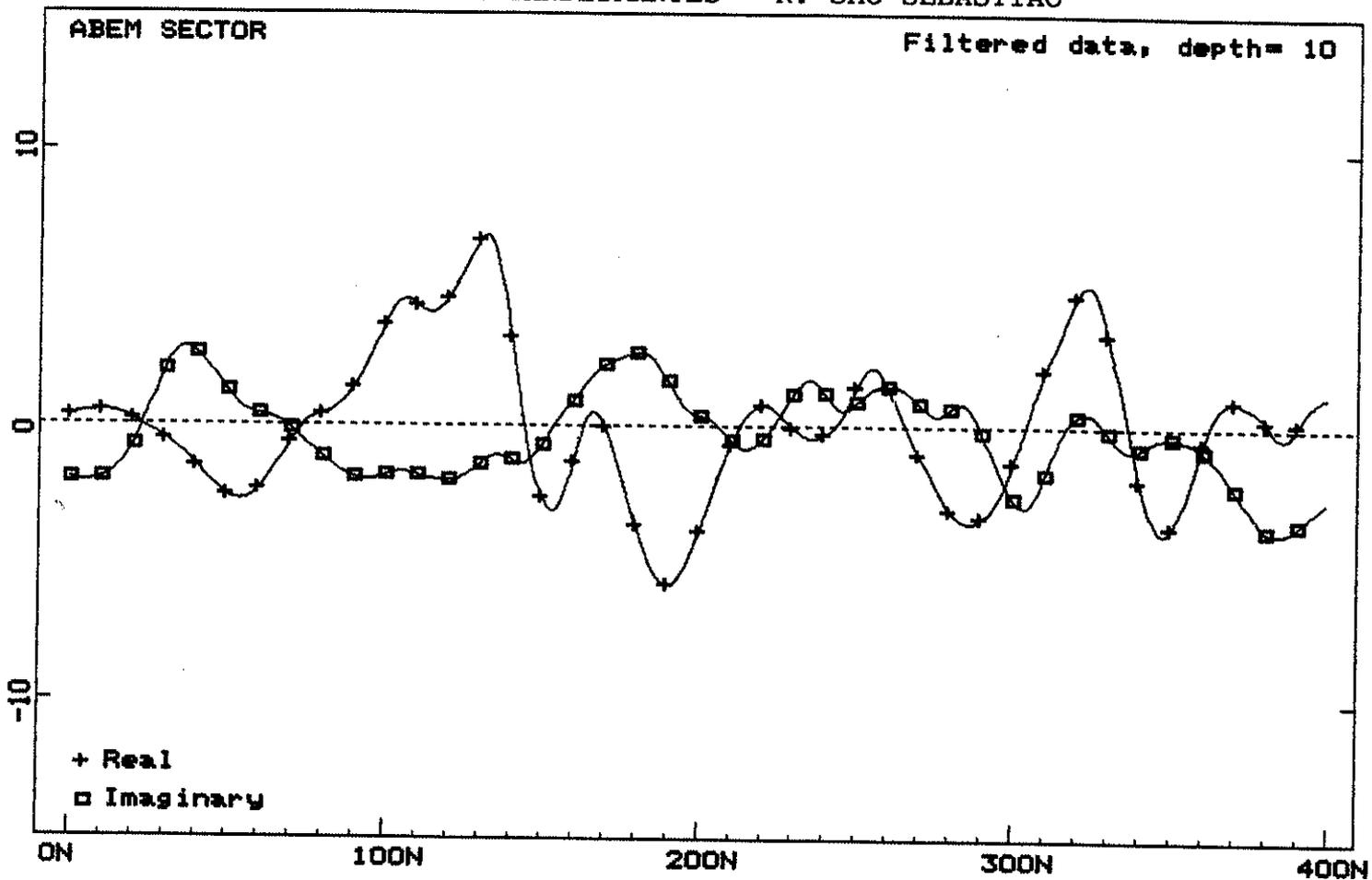
N. Perfil/Posição: 0019E/115N

Vazão: 450 l/h

Qualidade da água: Salobra

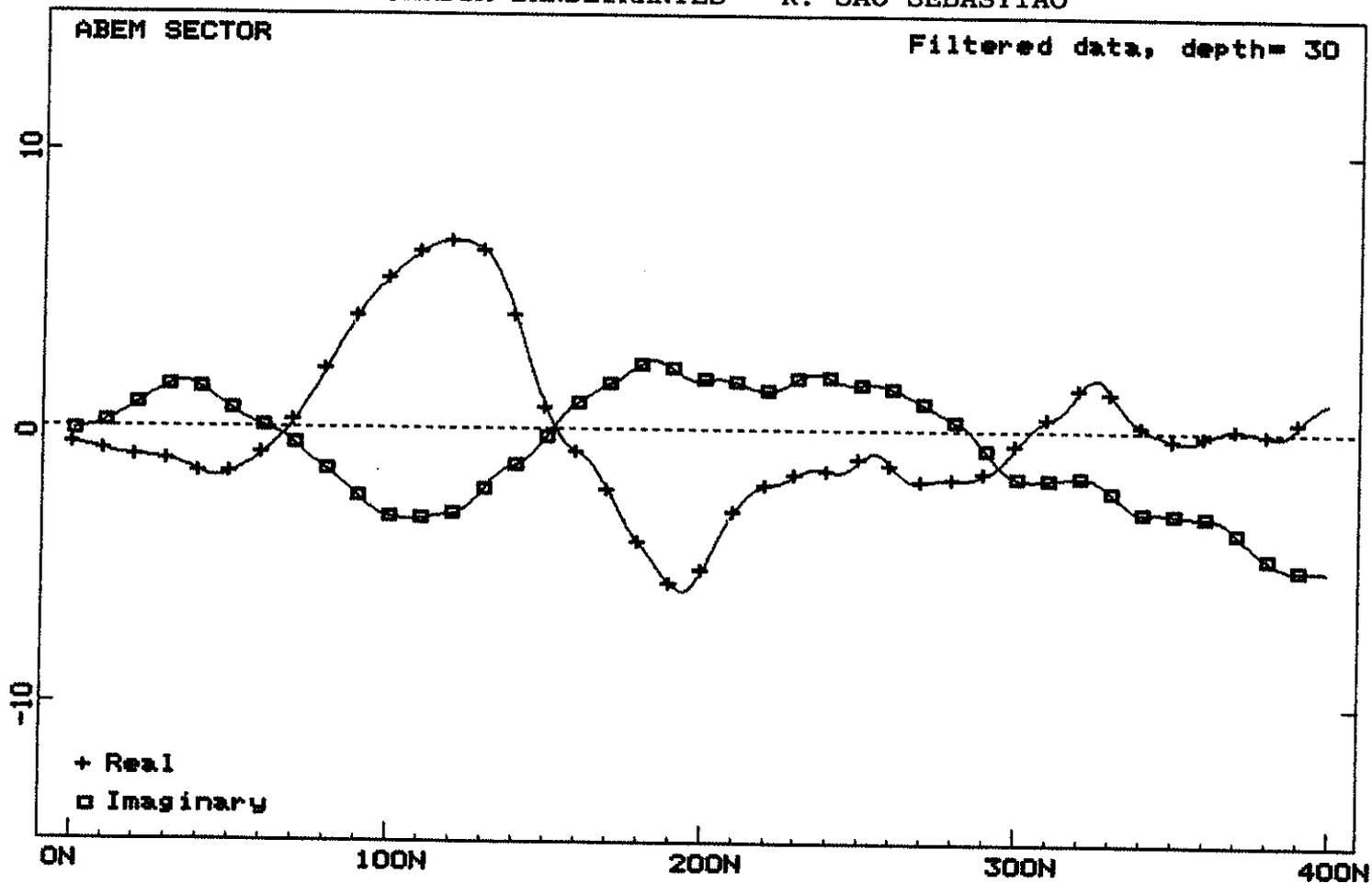
Profile: 0019E (21.4 kHz)

JARDIM BANDEIRANTES - R. SAO SEBASTIAO

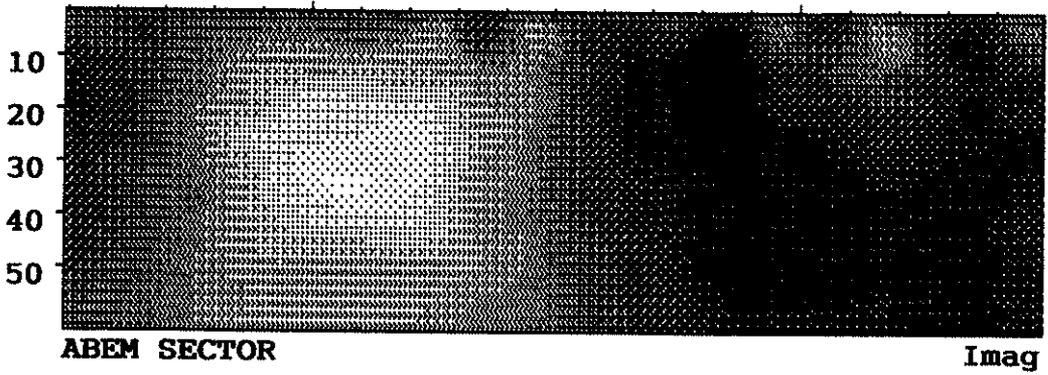
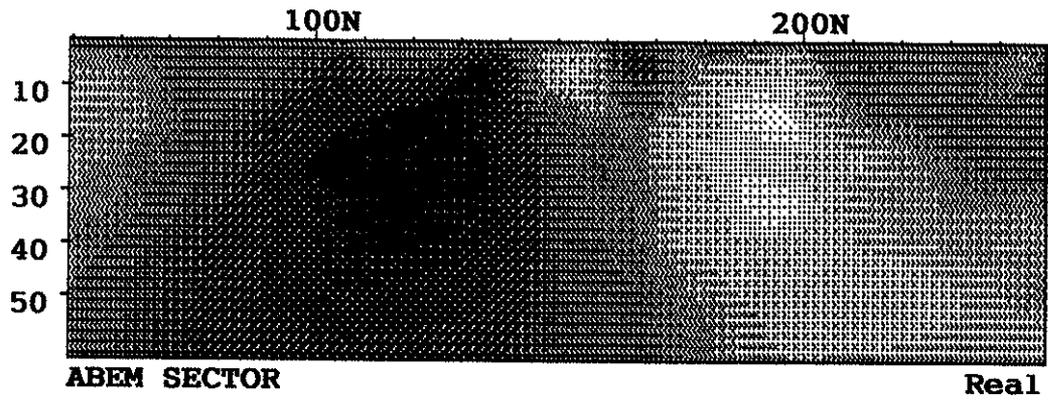


Profile: 0019E (21.4 kHz)

JARDIM BANDEIRANTES - R. SAO SEBASTIAO



Profile: 0019EJARDIM BANDEIRANTES - R. SAO SEBASTIAO



P E R F I L D E P O Ç O P R O F U N D O

N°	LOCAL (Jardim Bernadete) R. São Sebastião	MUNICIPIO Maracanã	ESTADO Ce.
-----------	----------------------------------------------	-----------------------	---------------

CLIENTE **PREFEITURA MUNICIPAL DE MARACANÃ**

SEÇÃO DO POÇO	ENTRADA D'ÁGUA	PROFUND. (m)	SIMBOLOGIA	UNIDADE GEOLOGICA	LITOLOGIA
	8"	N.E.	<div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> 0%10%20%30%40%50%60%70%80%90%100% </div>	GRUPO BARREIRAS NORDESTINO	<p>Argila, com areia fina a grossa, com pouco a muito pedregulho de quartzo, variegada.</p>
		N.D.			<p>Rocha alterada, de composição quartzo-feldspática, com mica, acinzentada.</p>
		47,00			<p>Rocha sã, de composição quartzo-feldspática, com mica, cinza.</p>
		60,00	60,00		

OBSERVAÇÃO	ENTRADA DE ÁGUA: <input checked="" type="checkbox"/> POÇO CIMENTADO 21,00M ; 46,00M e 52,00M	ESCALA 1:500
-------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------

LOCALIDADE

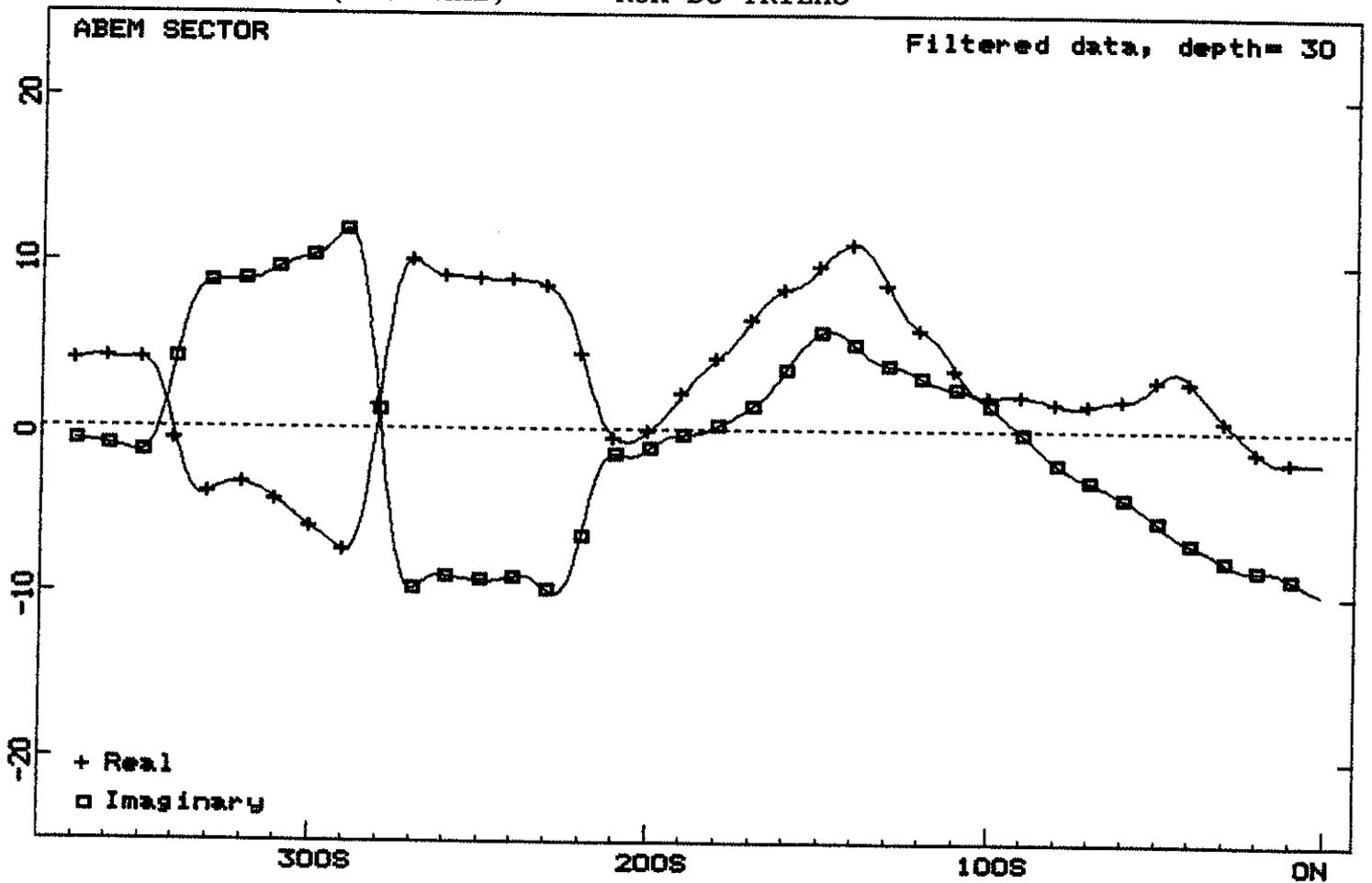
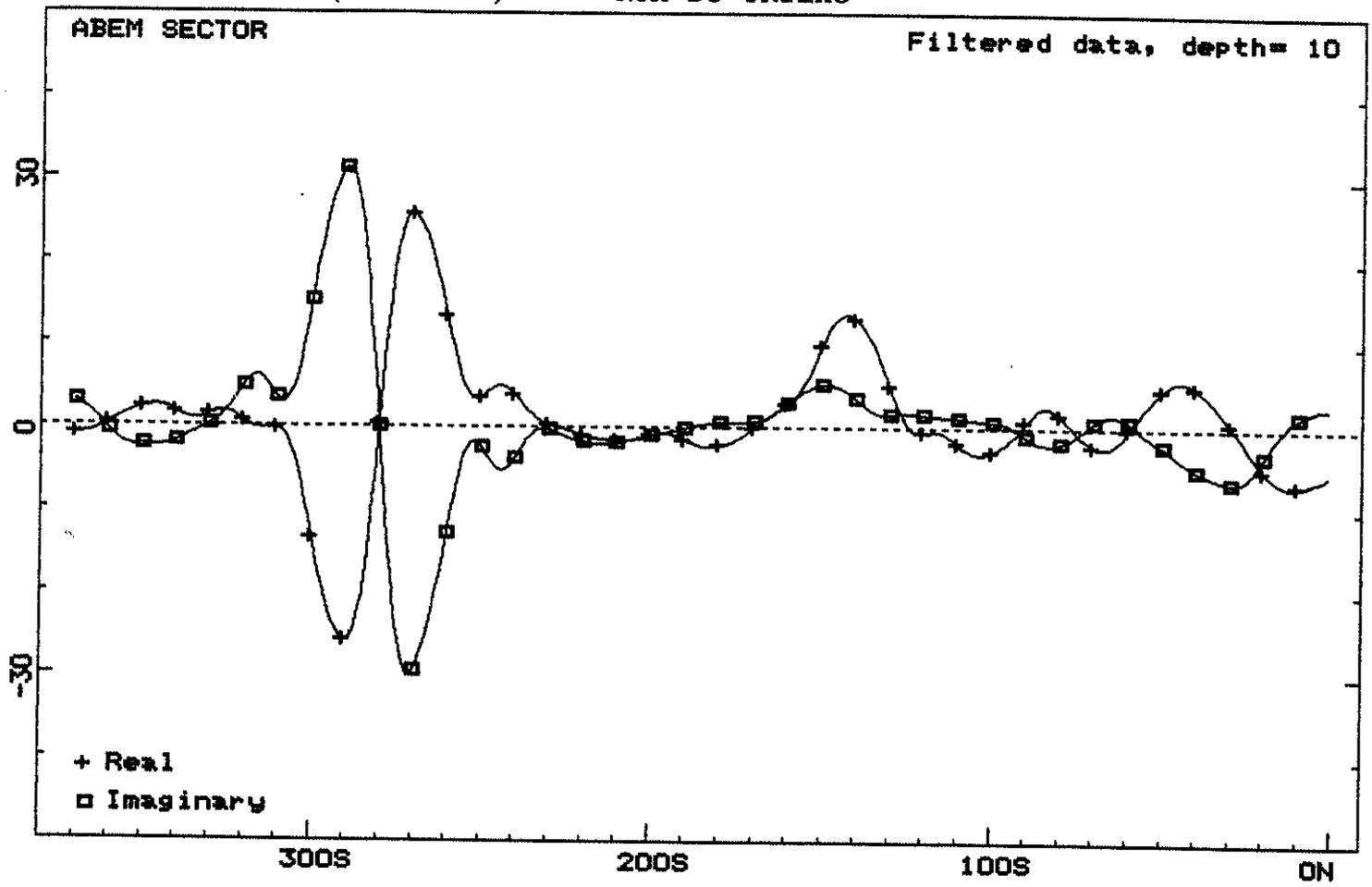
R. do Trilho

N. Poço: P-18

N. Perfil/Posição: 0034E/270S

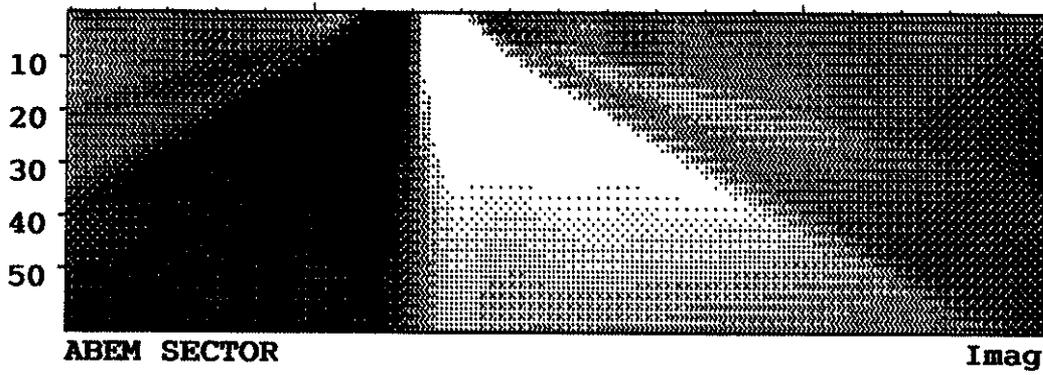
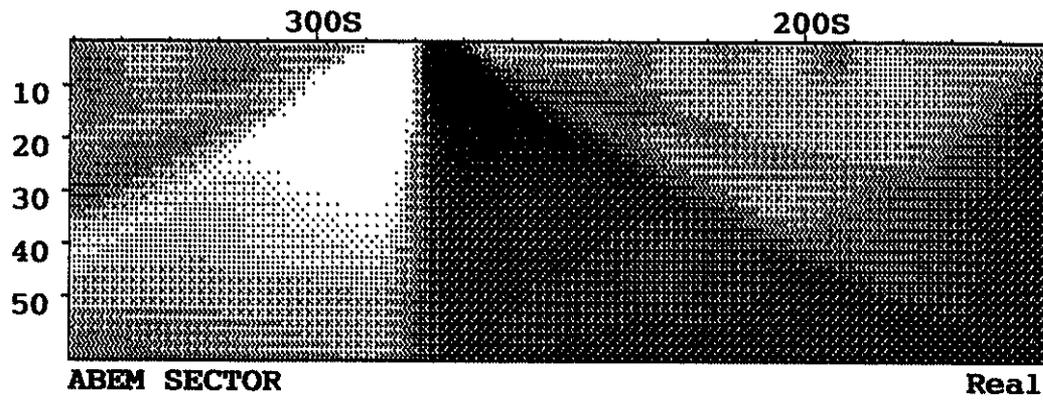
Vazão: 680 l/h

Qualidade da água: Salobra



Profile: 0034W

RUA DO TRILHO



PERFIL DE POÇO PROFUNDO

Nº LOCAL (Bairro Coqueiral) R. do Trilho MUNICIPIO Maracanaú ESTADO Ce

CLIENTE PREFEITURA MUNICIPAL DE MARACANAÍ

SEÇÃO DO POÇO	ENTRADA D'ÁGUA	PROFUND. (m)	SIMBOLOGIA	UNIDADE GEOLOGICA	LITOLOGIA
PVC 6"	N.E.	1,20	△	GRUPO BARREIRAS	Argila, com areia fina a grossa, com pouco a muito pedregulho de quartzo, amarronada.
	N.D.	4,00	△		COMPLEXO NORDESTINO
6"		29,00	△	Rocha sã, de composição quartzo-feldspática, com mica, cinza.	
	△				
	△				
	△				
	△				
	△				
	△				
	△				
6"	52,00	△			
		52,00			

OBSERVAÇÃO POÇO CIMENTADO ENTRADA DE ÁGUA: 7,00M ; 6,00M ; 23,00M e 26,00M ESCALA 1:500

LOCALIDADE

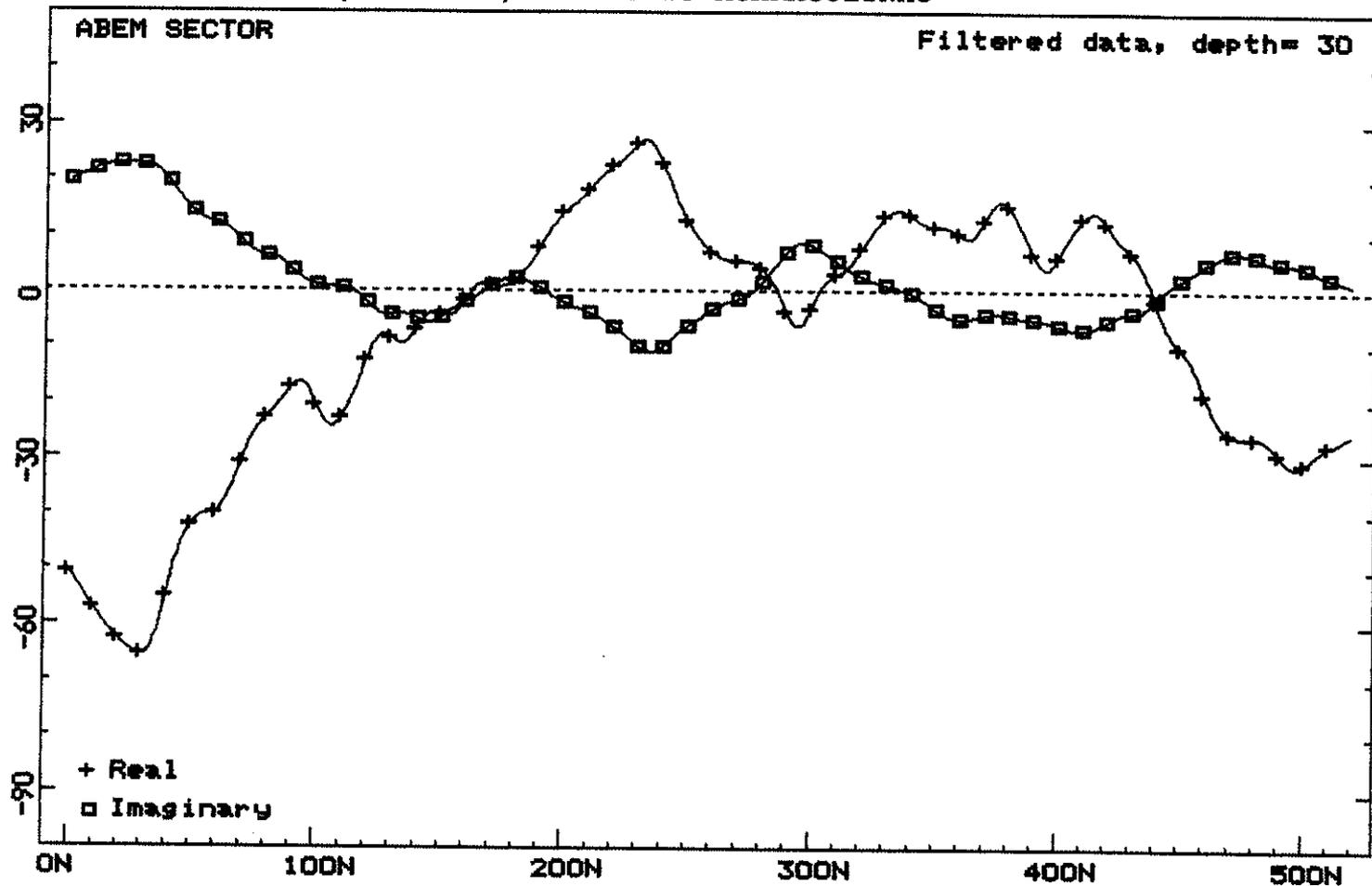
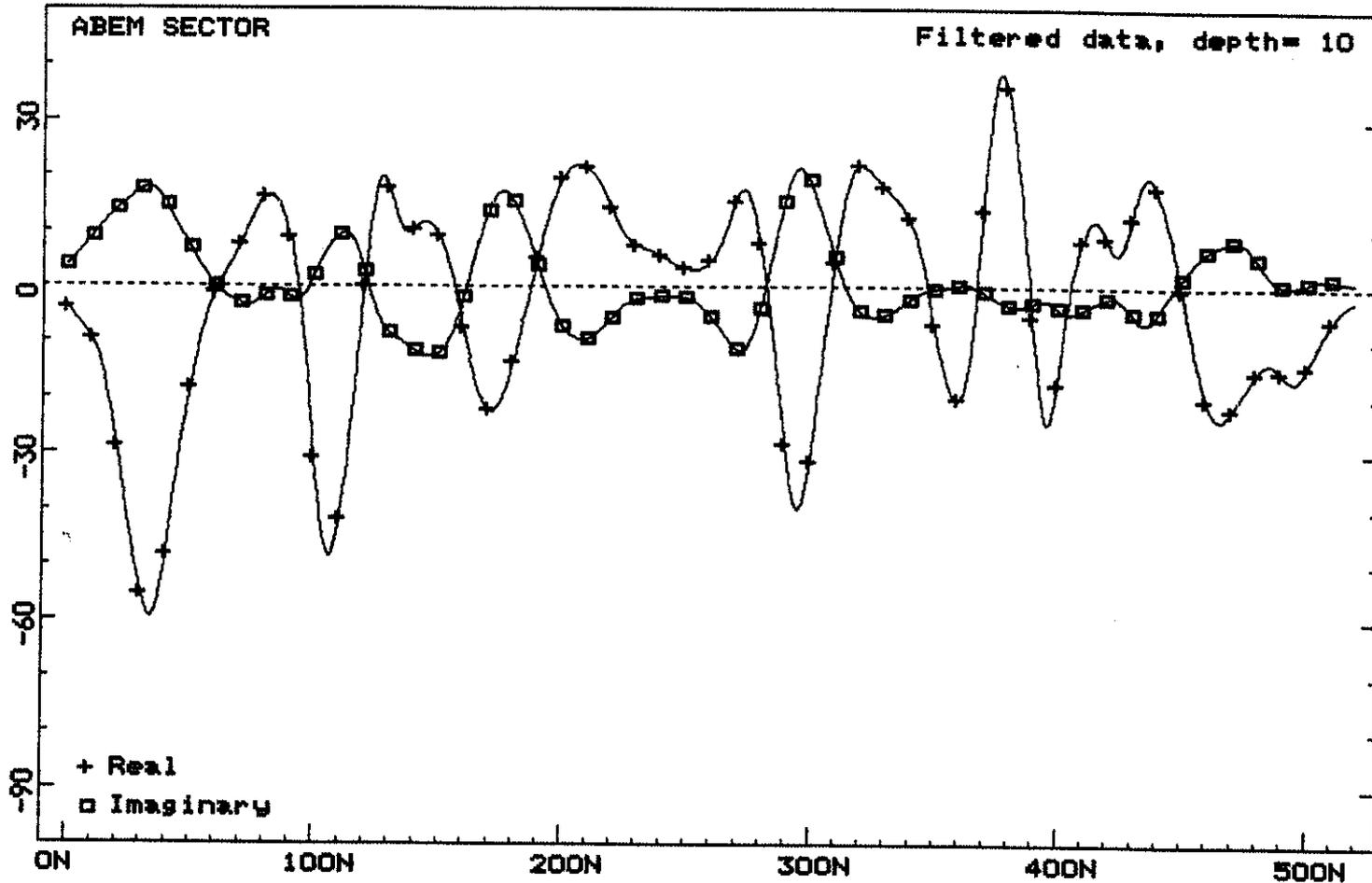
Conjunto Acaracuzinho

N. Poço: P-15

N. Perfil/Posição: 0026E/222N

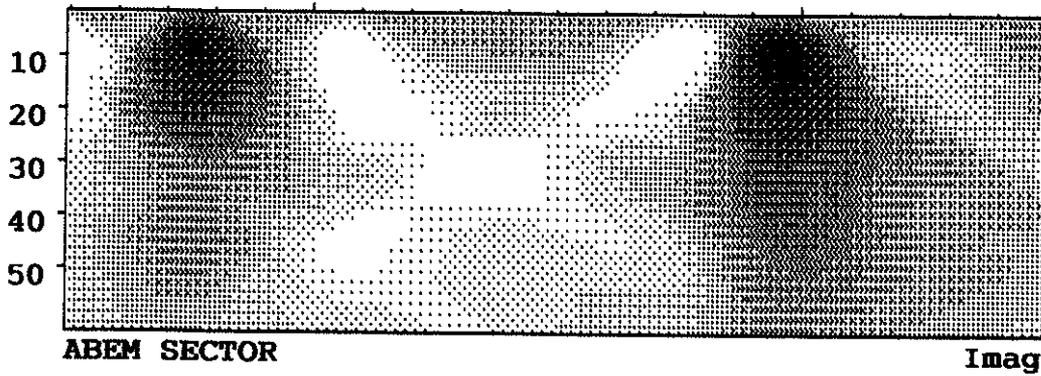
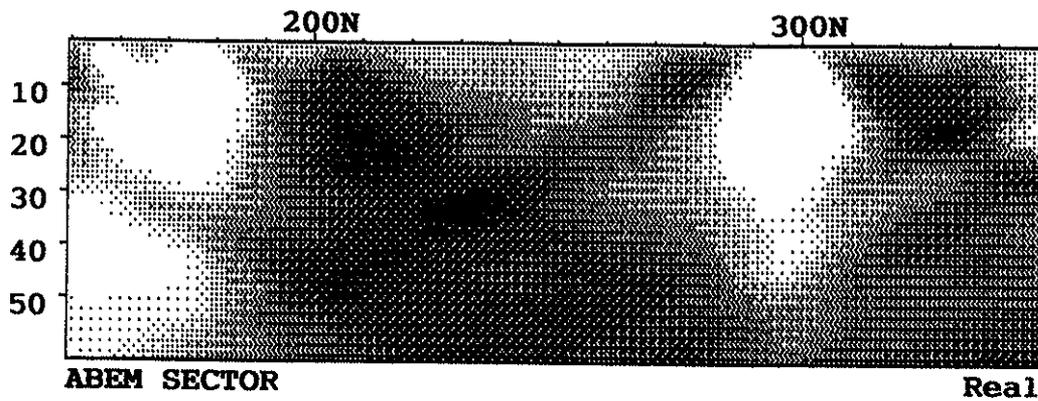
Vazão: 1.714 l/h

Qualidade da água: Salobra



Profile: 0026E

CONJUNTO ACARACUZINHO



LOCALIDADE

Esc. Sta. Edwirges - Alto Alegre

N. Poço: P-13

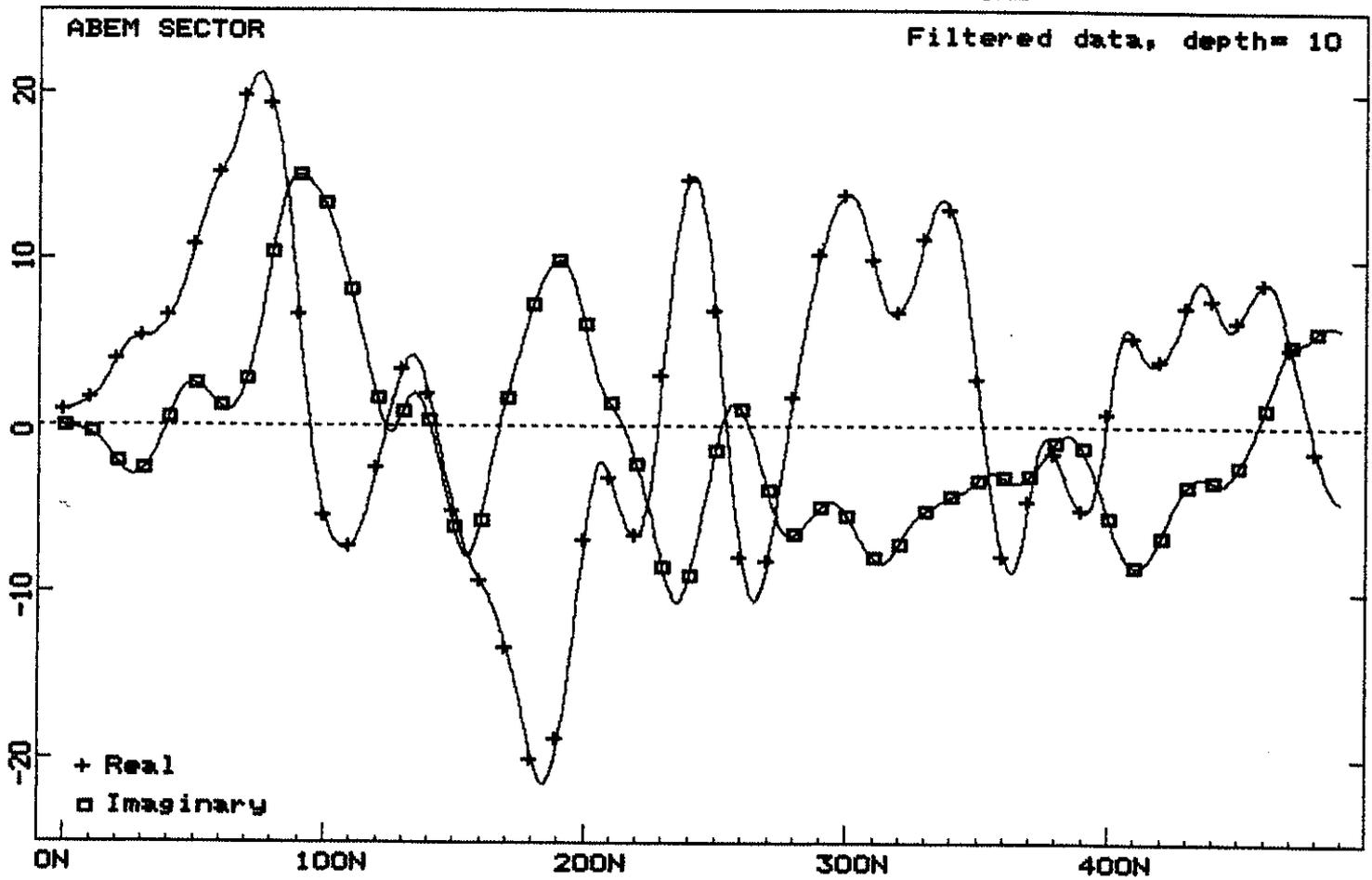
N. Perfil/Posição: 0029E/310N

Vazão: 750 l/h

Qualidade da água: Salgada

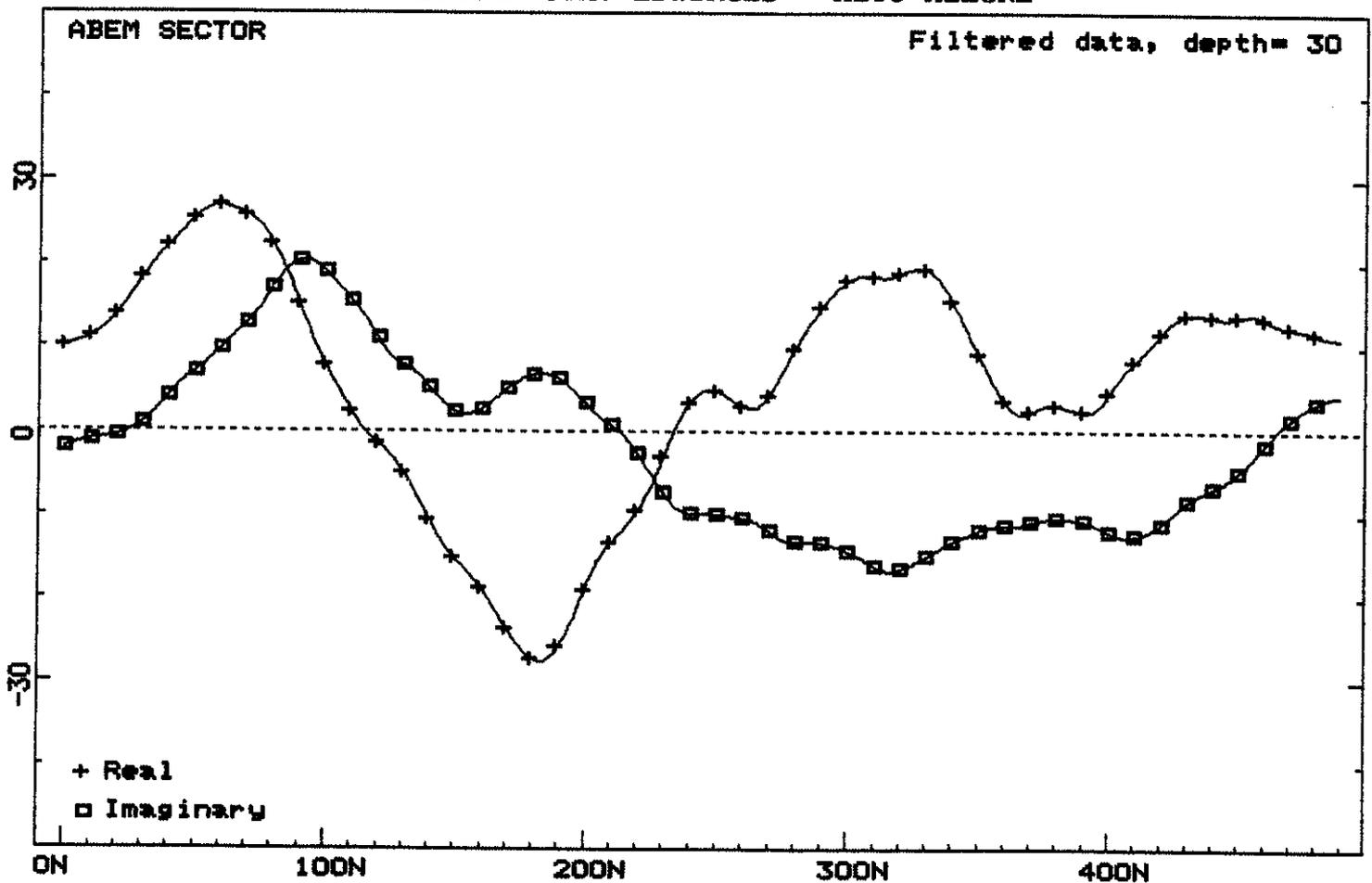
Profile: 0029E (21.4 kHz)

ESCOLA STA. EDWIRGES - ALTO ALEGRE



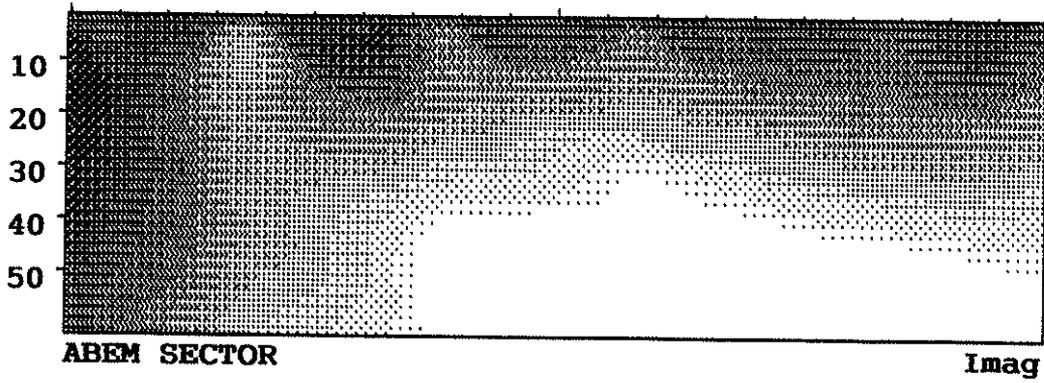
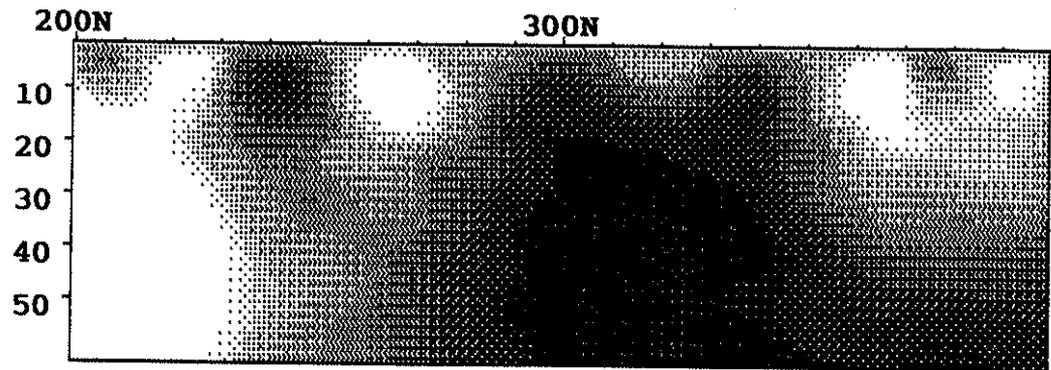
Profile: 0029E (21.4 kHz)

ESCOLA STA. EDWIRGES - ALTO ALEGRE



Profile: 0029E

ESCOLA STA. EDWIRGES - ALTO ALEGRE



PERFIL DE POÇO PROFUNDO

Nº LOCAL Alto Alegre MUNICIPIO Maracanaú ESTADO Ce

CLIENTE PREFEITURA MUNICIPAL DE MARACANAÚ

SEÇÃO DO POÇO	ENTRADA D'ÁGUA	PROFUND. (m)	SIMBOLOGIA	UNIDADE GEOLÓGICA	LITOLOGIA	
PVC 6" 8"	N.T.	1,00	▲▲▲▲	GRUPO BARREIRAS	Argila, com areia fina a grossa, com pouco a muito pedregulho de quartzo, amarronada.	
		3,00	SSSS		Rocha alterada, de composição quartzo-feldspática, com mica, acinzentada.	
6"	N.D.		SSSS	COMPLEXO NORDESTINO	Rocha sã, de composição quartzo-feldpática, com mica, cinza.	
						SSSS
						SSSS
						SSSS
						SSSS
						SSSS
						SSSS
						SSSS
						SSSS
						SSSS
		36,00	SSSS			
		50,00	SSSS			
		50,00	SSSS			

OBSERVAÇÃO ENTRADA DE ÁGUA: 16,00 M ; 20,00 M e 36,00 M

POÇO CIMENTADO

ESCALA 1:500

LOCALIDADE

Av. da Penetração - Conj. Industrial

N. Poço: P-12

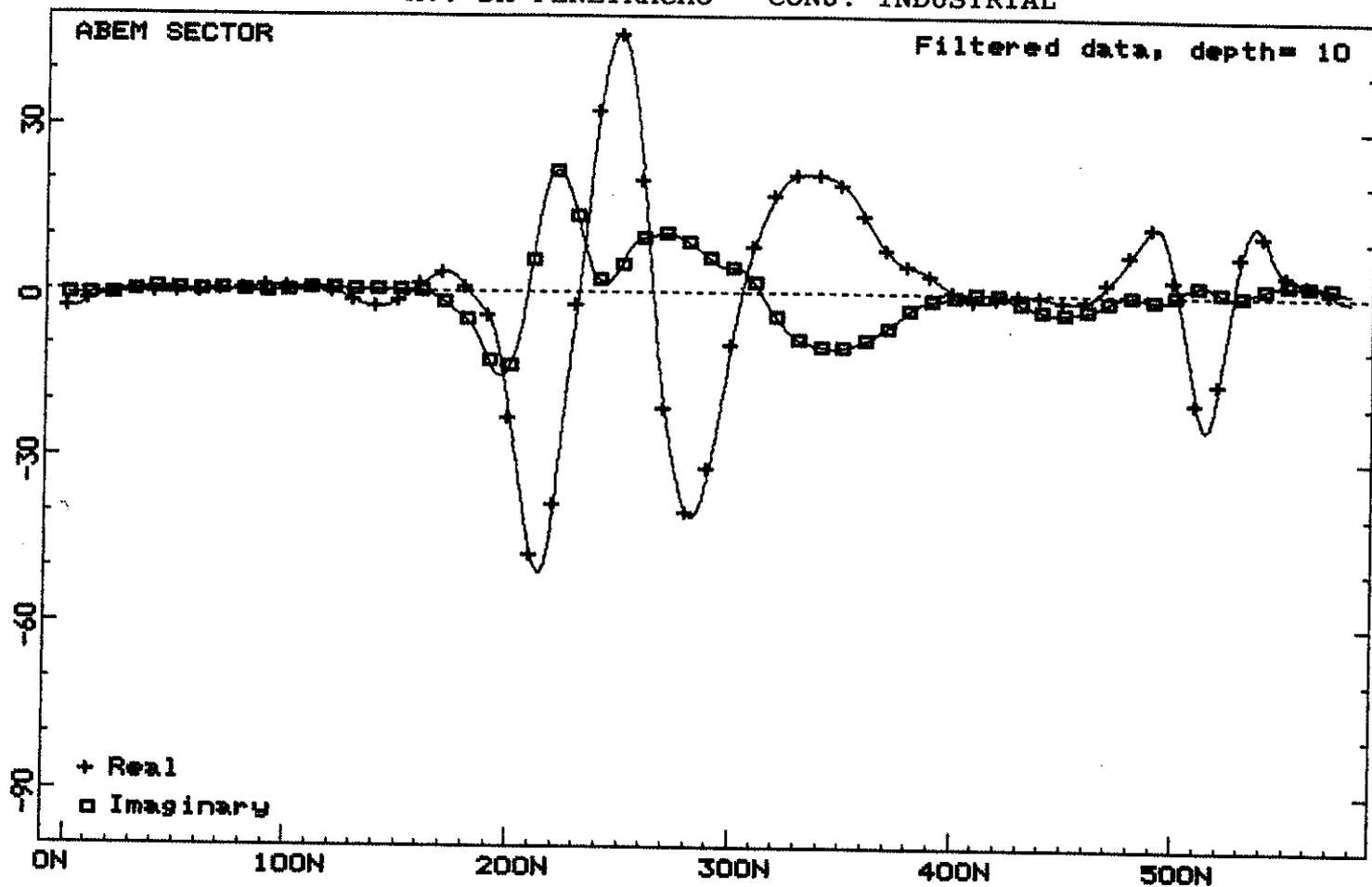
N. Perfil/Posição: 0030E/340N

Vazão: 960 l/h

Qualidade da água: Insípida

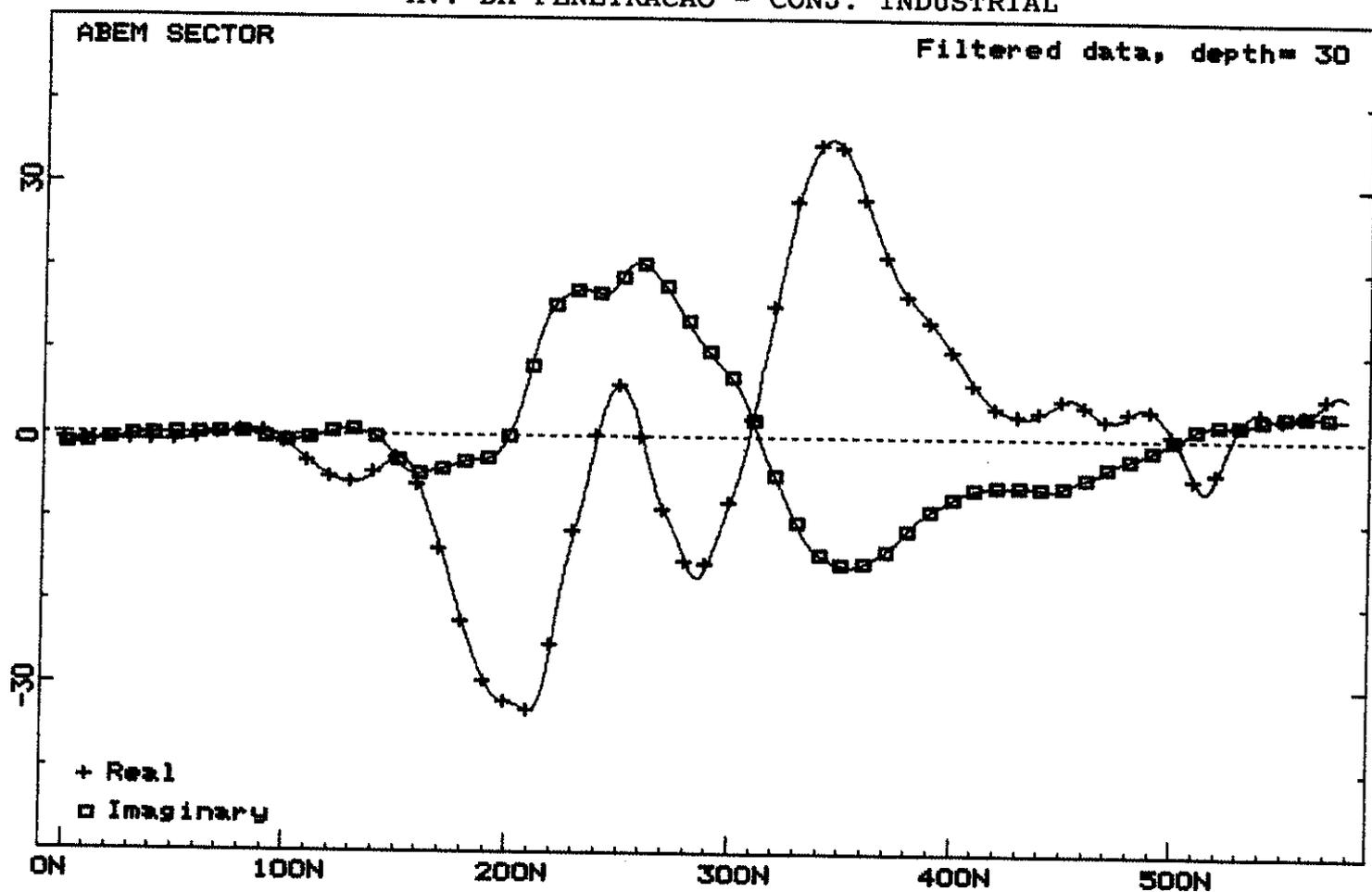
Profile: 0030E (21.4 kHz)

AV. DA PENETRACAO - CONJ. INDUSTRIAL

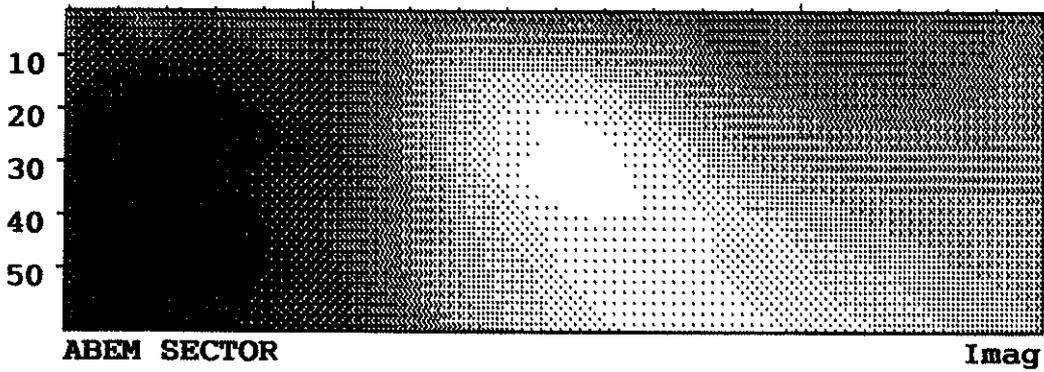
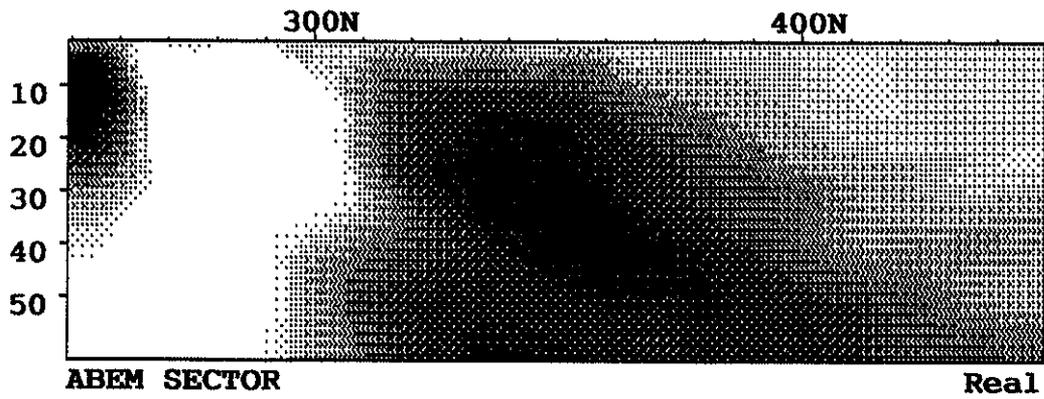


Profile: 0030E (21.4 kHz)

AV. DA PENETRACAO - CONJ. INDUSTRIAL



Profile: 0030E AV. DA PENETRACAO - CONJ. INDUSTRIAL



PERFIL DE POÇO PROFUNDO

N°	LOCAL Planalto Industrial	MUNICIPIO Maracanaú	ESTADO Ce
----	------------------------------	------------------------	--------------

CLIENTE
PREFEITURA MUNICIPAL DE MARACANAÚ

SEÇÃO DO POÇO	ENTRADA D'ÁGUA	PROFUND. (m)	SIMBOLOGIA	UNIDADE GEOLOGICA	LITOLOGIA
	<p>N.F.</p> <p>N.D.</p>	1,00		GRUPO BARREIRAS	Argila, com areia fina, preta.
		4,00			Rocha alterada, de composição quartzo-feldspática, com mica, acinzentada.
		11,00		COMPLEXO NORDESTINO	Rocha sã, de composição quartzo-feldspática, com mica, cinza.
		37,00			
		60,00			
		60,00			
		60,00			
		60,00			
		60,00			
		60,00			

OBSERVAÇÃO ENTRADA DE ÁGUA:
39,00 M; 48,00 M e 53,00 M

POÇO CIMENTADO

Dech

ESCALA
1:500

LOCALIDADE

Av. Almir Dutra - Estrada do Forum

N. Poço: P-22

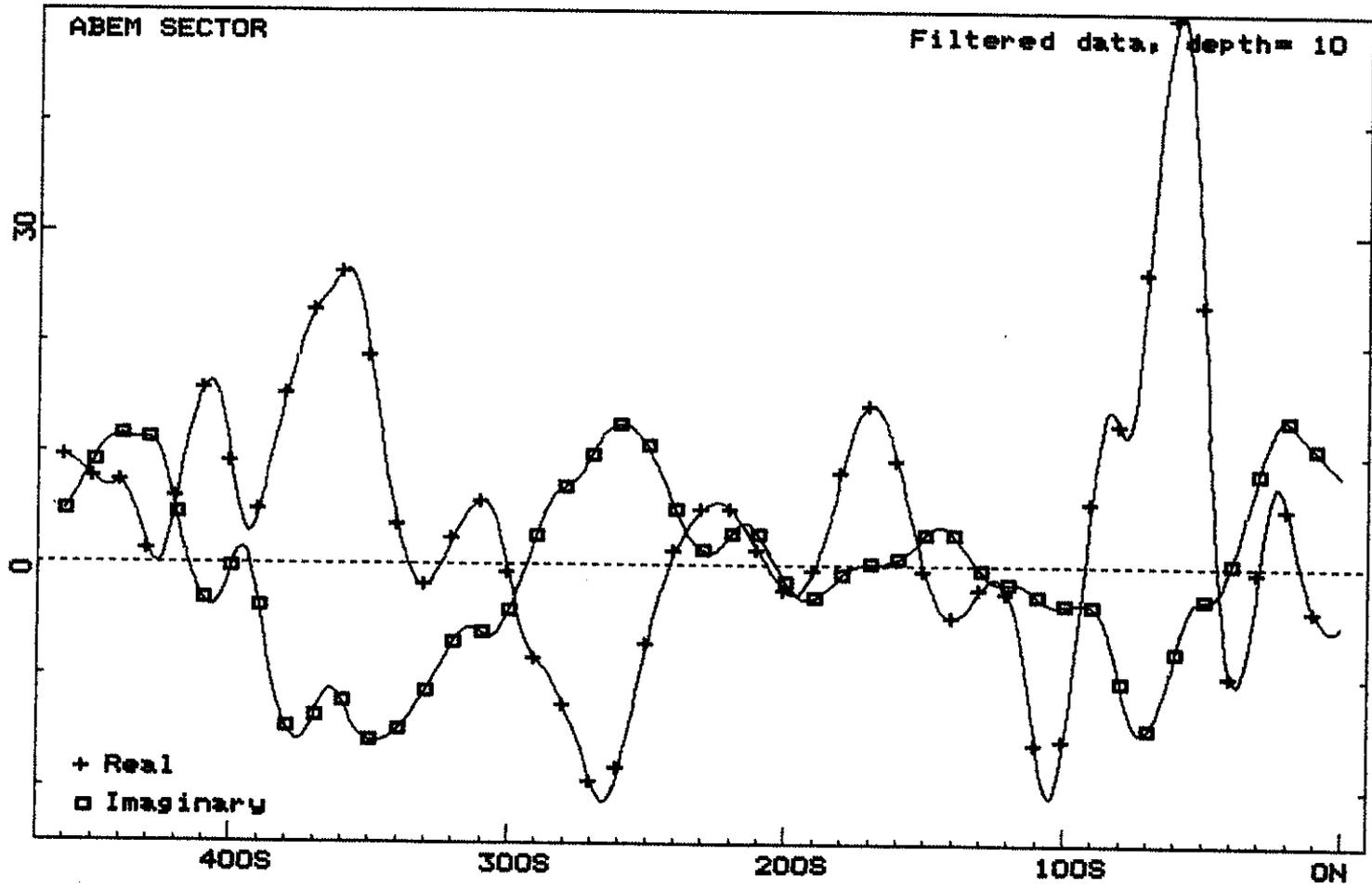
N. Perfil/Posição: 0039E/370S

Vazão: 200 l/h

Qualidade da água: Insípida

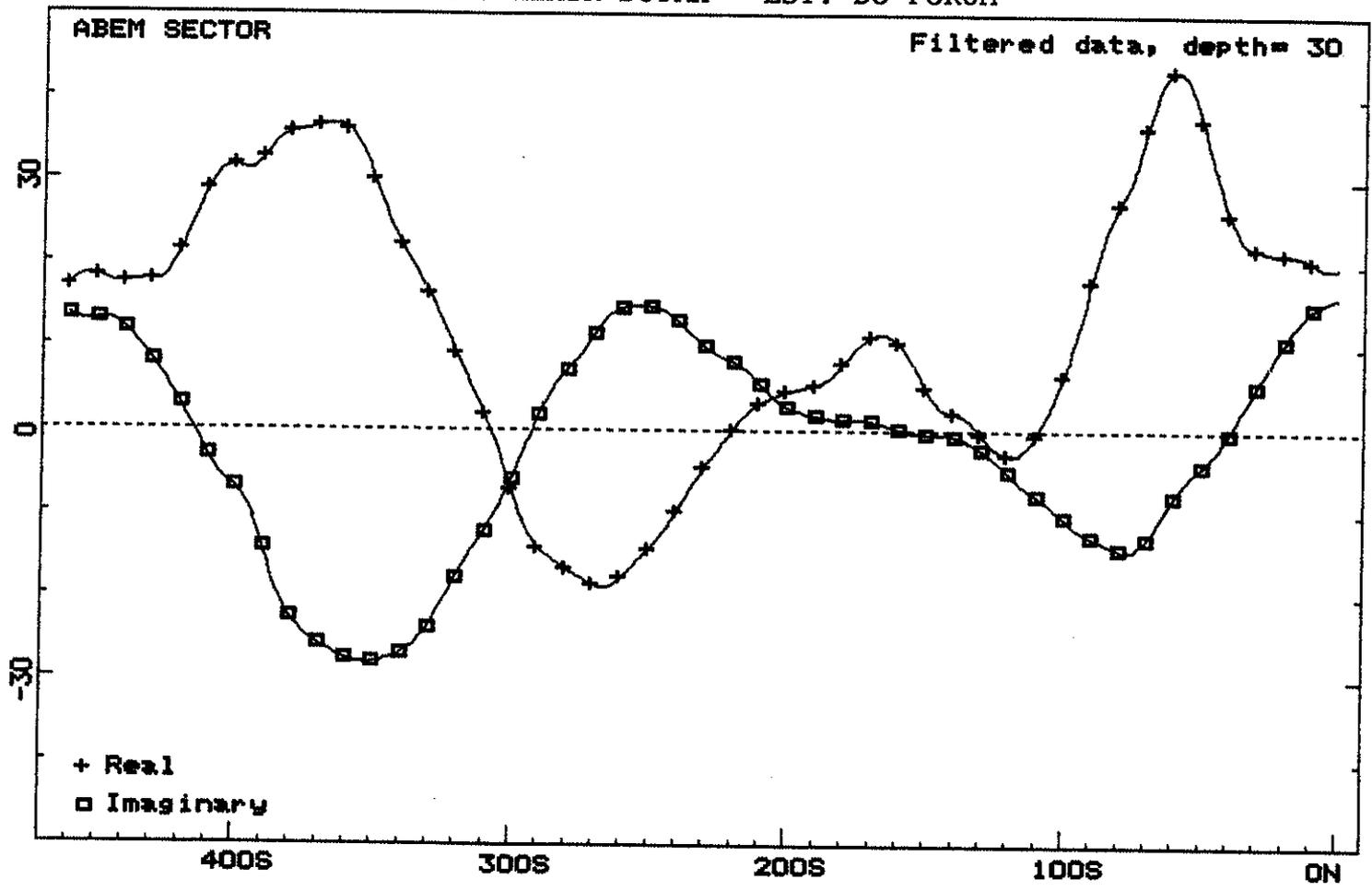
Profile: 0039W (21.4 kHz)

AV. ALMIR DUTRA - EST. DO FORUM



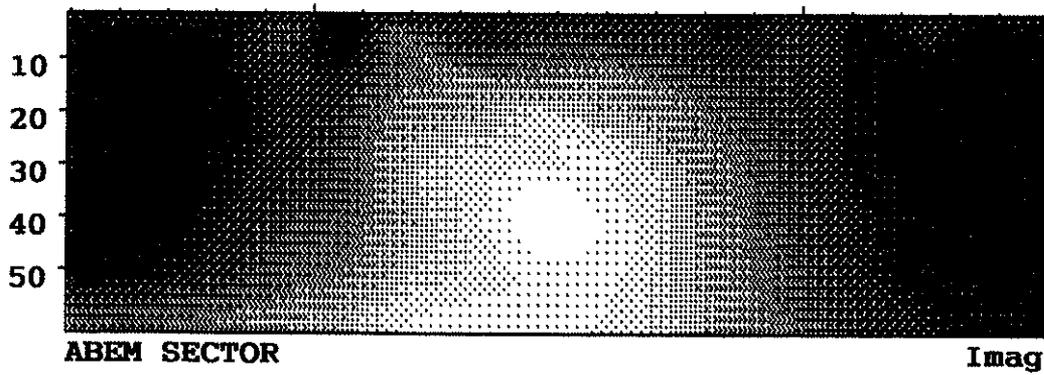
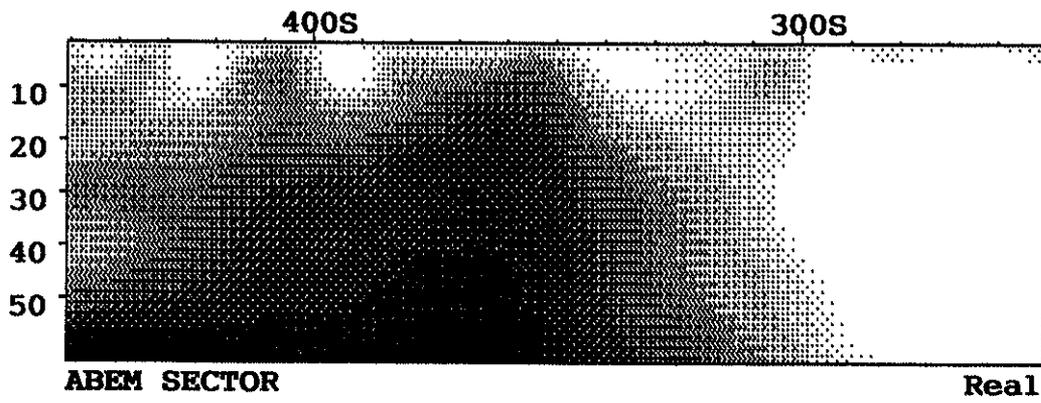
Profile: 0039W (21.4 kHz)

AV. ALMIR DUTRA - EST. DO FORUM



Profile: 0039W

AV. ALMIR DUTRA - EST. DO FORUM



PERFIL DE POÇO PROFUNDO

Nº LOCAL Av: Admir Dutra MUNICIPIO Maracanaú ESTADO Ce

CLIENTE PREFEITURA MUNICIPAL DE MARACANAÚ

SEÇÃO DO POÇO	ENTRADA D'ÁGUA	PROFUND. (m)	SIMBOLOGIA	UNIDADE GEOLÓGICA	LITOLOGIA
PVC 6" 8"	N.F.	2,00	▲ ▲ ▲	GRUPO BARREIRAS	Angala, com areia fina a grossa, com pouco a muito pedregulho de quartzo, variegada.
		3,00	S S S S		
6"	N.D.	4,00	S S S S	COMPLEXO NORDESTINO	Rocha alterada, de composição quartzo-feldspática, com mica, acinzelada.
			S S S S		
			S S S S		
			S S S S		
			S S S S		
			S S S S		
			S S S S		
			S S S S		
			S S S S		
			S S S S		
	46,00	S S S S			
	56,00	S S S S			
		56,00			

OBSERVAÇÃO POÇO CIMENTADO ENTRADA DE ÁGUA: 24,00 M e 25,00 M ESCALA 1:500

LOCALIDADE

A. Contorno Sul - Conj. Timbó

N. Poço: P-20

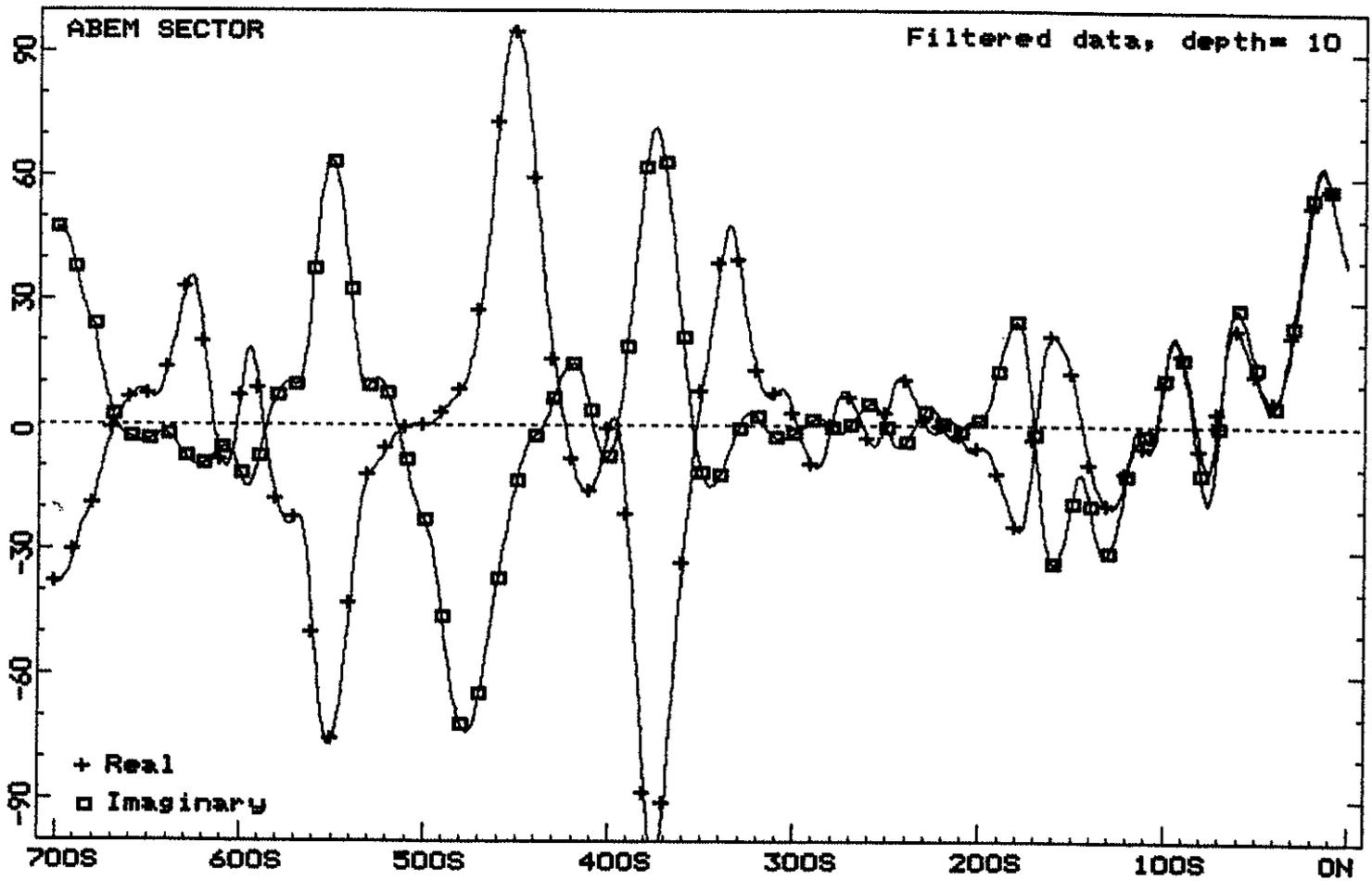
N. Perfil/Posição: 0038E/455S

Vazão: 500 l/h

Qualidade da água: Salobra

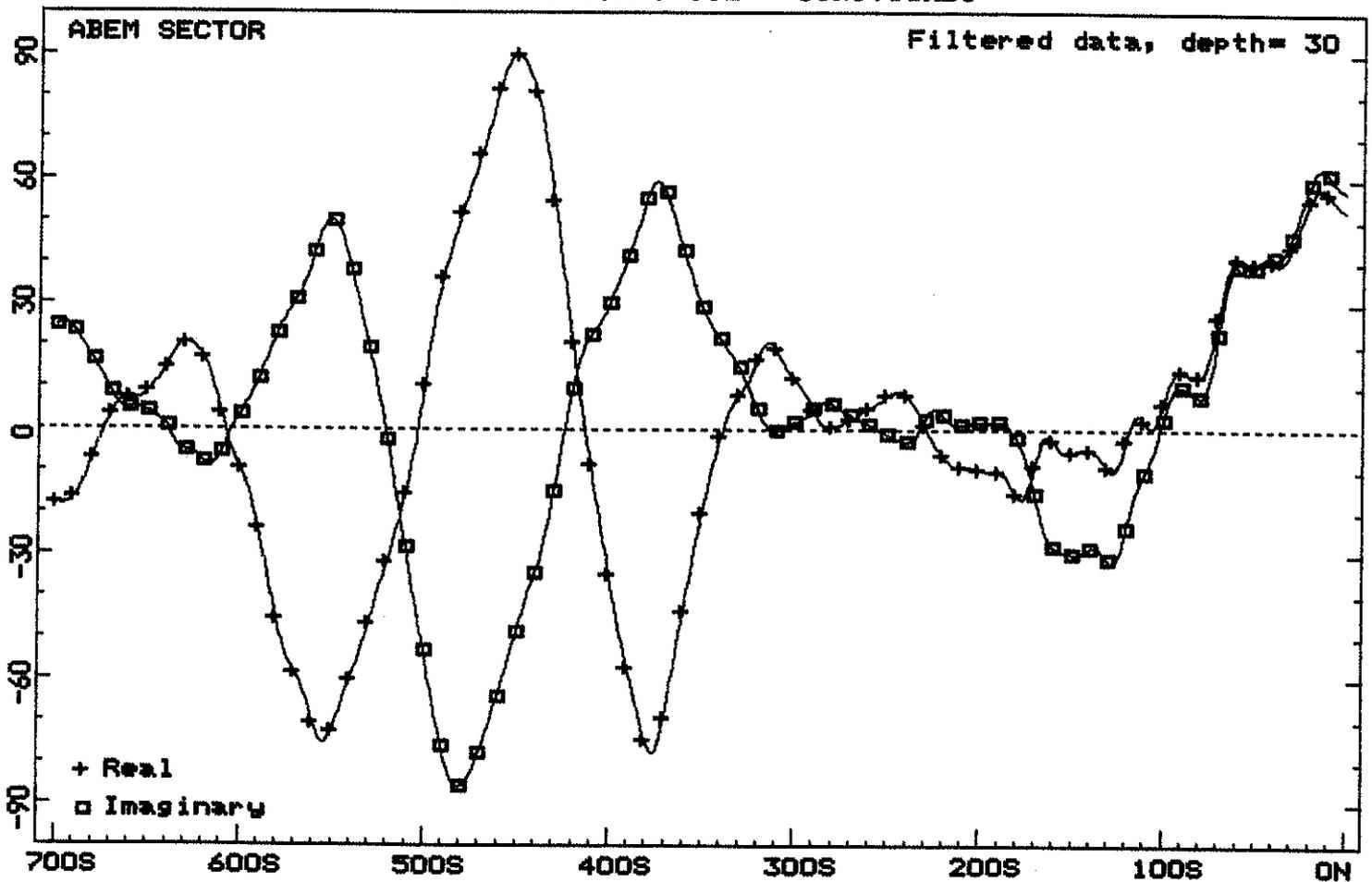
Profile: 0038W (21.4 kHz)

AV. CONTORNO SUL - CONJ.TIMBO



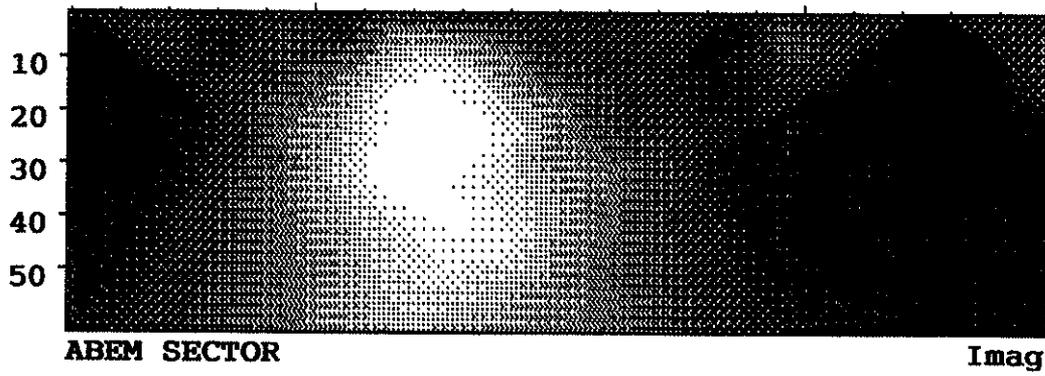
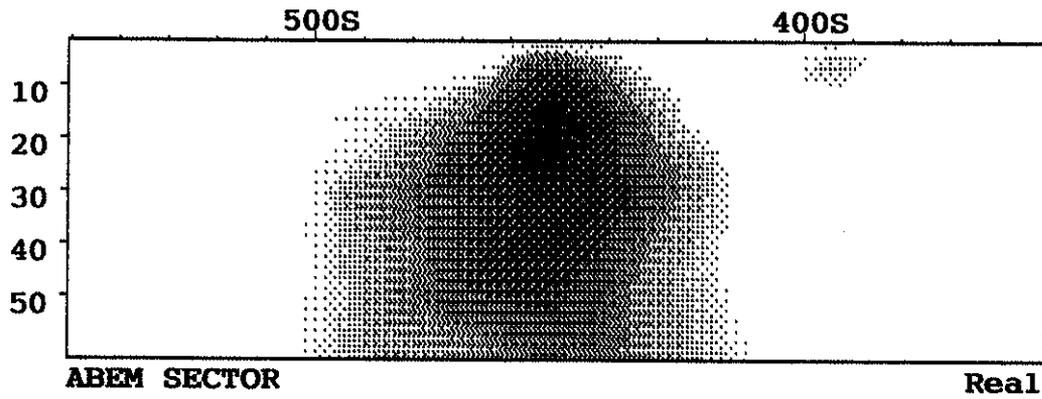
Profile: 0038W (21.4 kHz)

AV. CONTORNO SUL - CONJ.TIMBO



Profile: 0038W

AV. CONTORNO SUL - CONJ.TIMBO



P E R F I L D E P O Ç O P R O F U N D O

N°	LOCAL (Conjunto Tímbo) Av: Contorno Sul esq. R.117	MUNICIPIO Maracanã	ESTADO Ce
-----------	--------------------------------------------------------------	------------------------------	---------------------

CLIENTE **PREFEITURA MUNICIPAL DE MARACANAU**

SEÇÃO DO POÇO	ENTRADA D'ÁGUA	PROFUND. (m)	SIMBOLOGIA	UNIDADE GEOLOGICA	LITOLOGIA
PVC 6" 8"	N.E.	1,00	S.S.S.S.S	GRUPO BARREIRAS	Argila, com areia fina a grossa, com pouco amilo pedregulho de quartzo, variegada.
		4,00	S.S.S.S.S		
		6,00	S.S.S.S.S		
6"	N.D.	48,00	S.S.S.S.S	COMPLEXO NORDESTINO	Rocha alterada, de composição quartzo-feldspática, com mica, acinzentada. Rocha sã, de composição quartzo-feldspática, com mica, cinza.
		48,00	S.S.S.S.S		
		48,00	S.S.S.S.S		
		48,00	S.S.S.S.S		
		48,00	S.S.S.S.S		
		48,00	S.S.S.S.S		
		48,00	S.S.S.S.S		
		48,00	S.S.S.S.S		
		48,00	S.S.S.S.S		
		48,00	S.S.S.S.S		
		60,00	S.S.S.S.S		

OBSERVAÇÃO POÇO CIMENTADO ENTRADA DE ÁGUA: 23,00M ; 42,00M e 53,00M	ESCALA 1:500
--------------------------------------------------------------------------------------	------------------------

LOCALIDADE

R. Capitão Valdemar de Lima

N. Poço: P-07

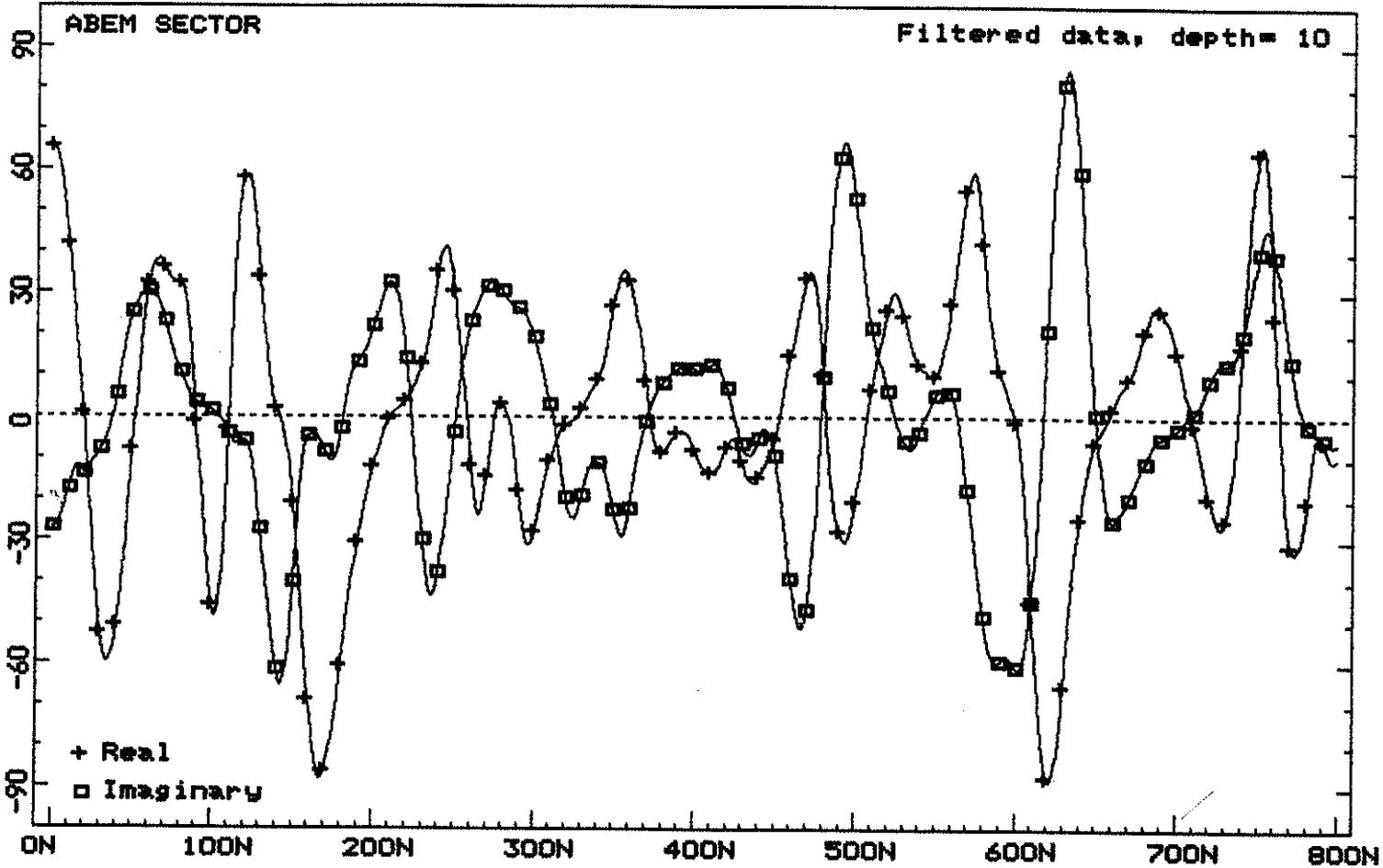
N. Perfil/Posição: 0014E/560N

Vazão: 560 l/h

Qualidade da água: Insípida

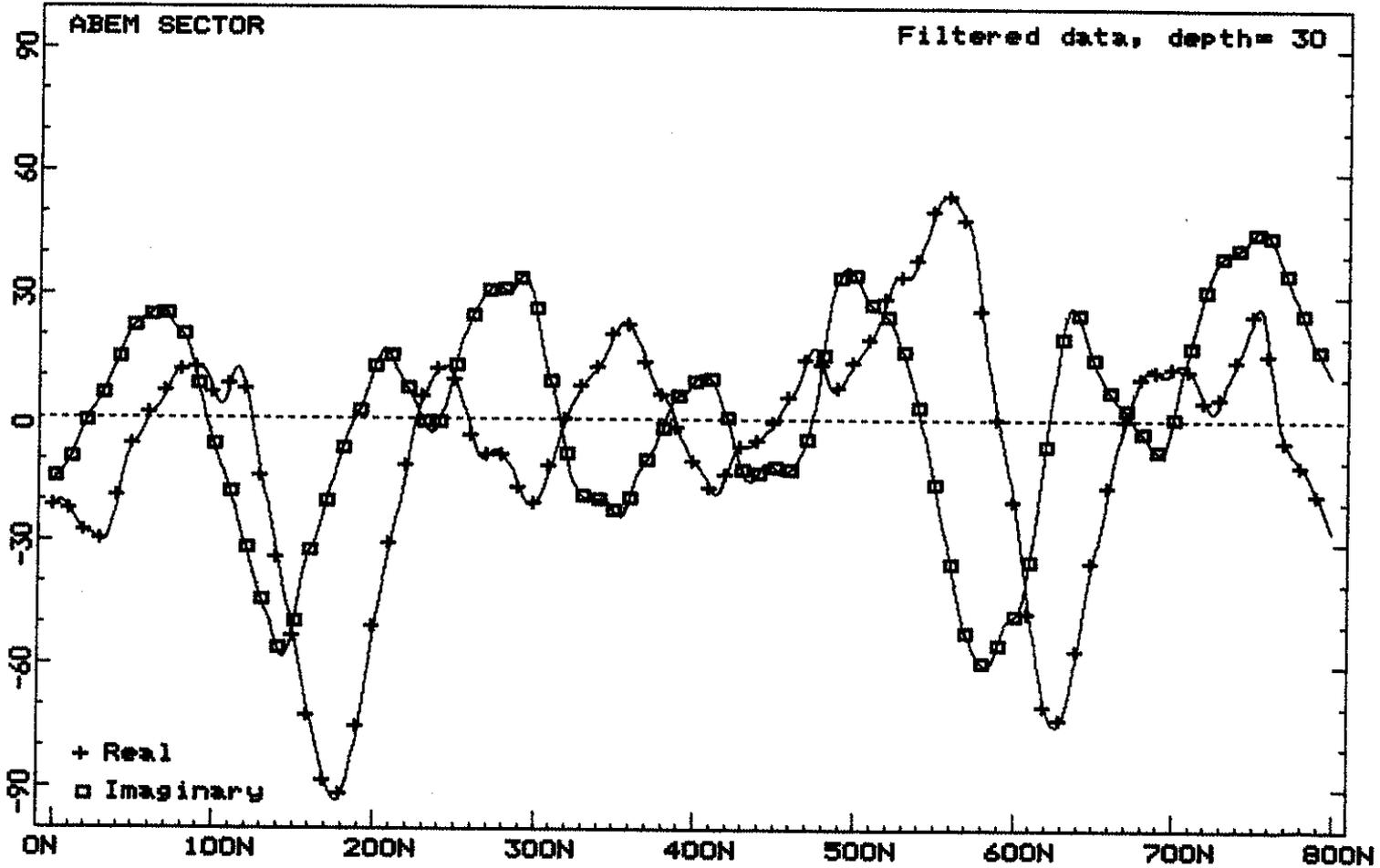
Profile: 0014E (15.7 kHz)

RUA CAP. VALDEMAR DE LIMA N100



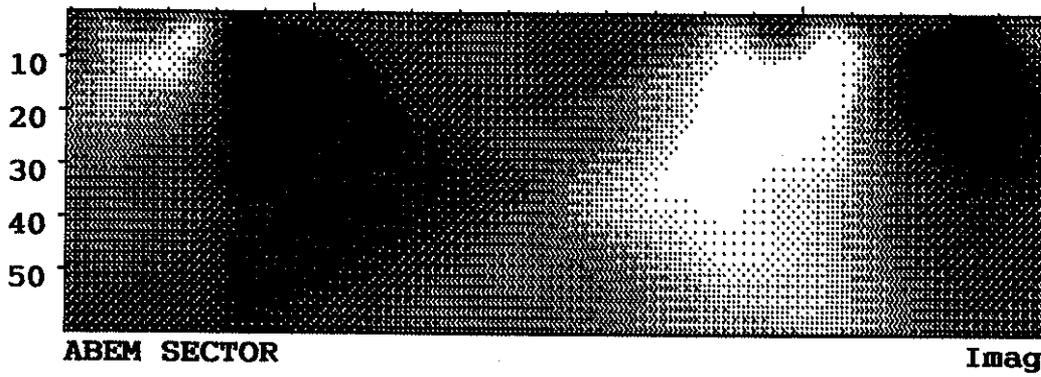
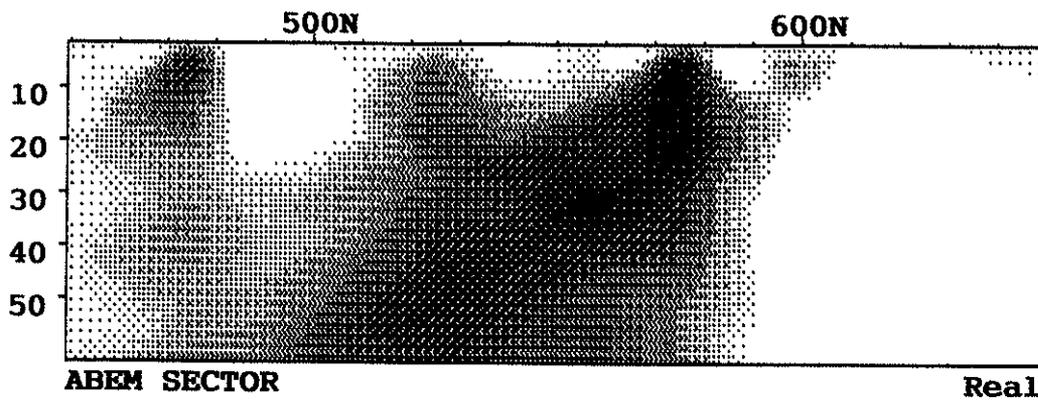
Profile: 0014E (15.7 kHz)

RUA CAP. VALDEMAR DE LIMA N100



Profile: 0014E

RUA CAP. VALDEMAR DE LIMA N100



PERFIL DE POÇO PROFUNDO

N° LOCAL R. Capitão de Cima MUNICIPIO Maracanaú ESTADO Ce

CLIENTE PREFEITURA MUNICIPAL DE MARACANAÚ

SEÇÃO DO POÇO	ENTRADA D'ÁGUA	PROFUND. (m)	SIMBOLOGIA	UNIDADE GEOLÓGICA	LITOLOGIA
PVC 6"	8"	2,00		GRUPO BARREIRAS	Argila, com areia fina a grossa, varre gaila.
	6"	N.D.	5,00		
				COMPLEXO NORDESTINO	Rocha sã, de composição quartzo-feldspática, com mica, cinza.
			44,00		
		60,00			
		60,00			

OBSERVAÇÃO POÇO CIMENTADO ENTRADA DE ÁGUA: 17,00M e 21,00M

ESCALA 1:500

LOCALIDADE

Av. XIII - Vila das Flores

N. Poço: P-06

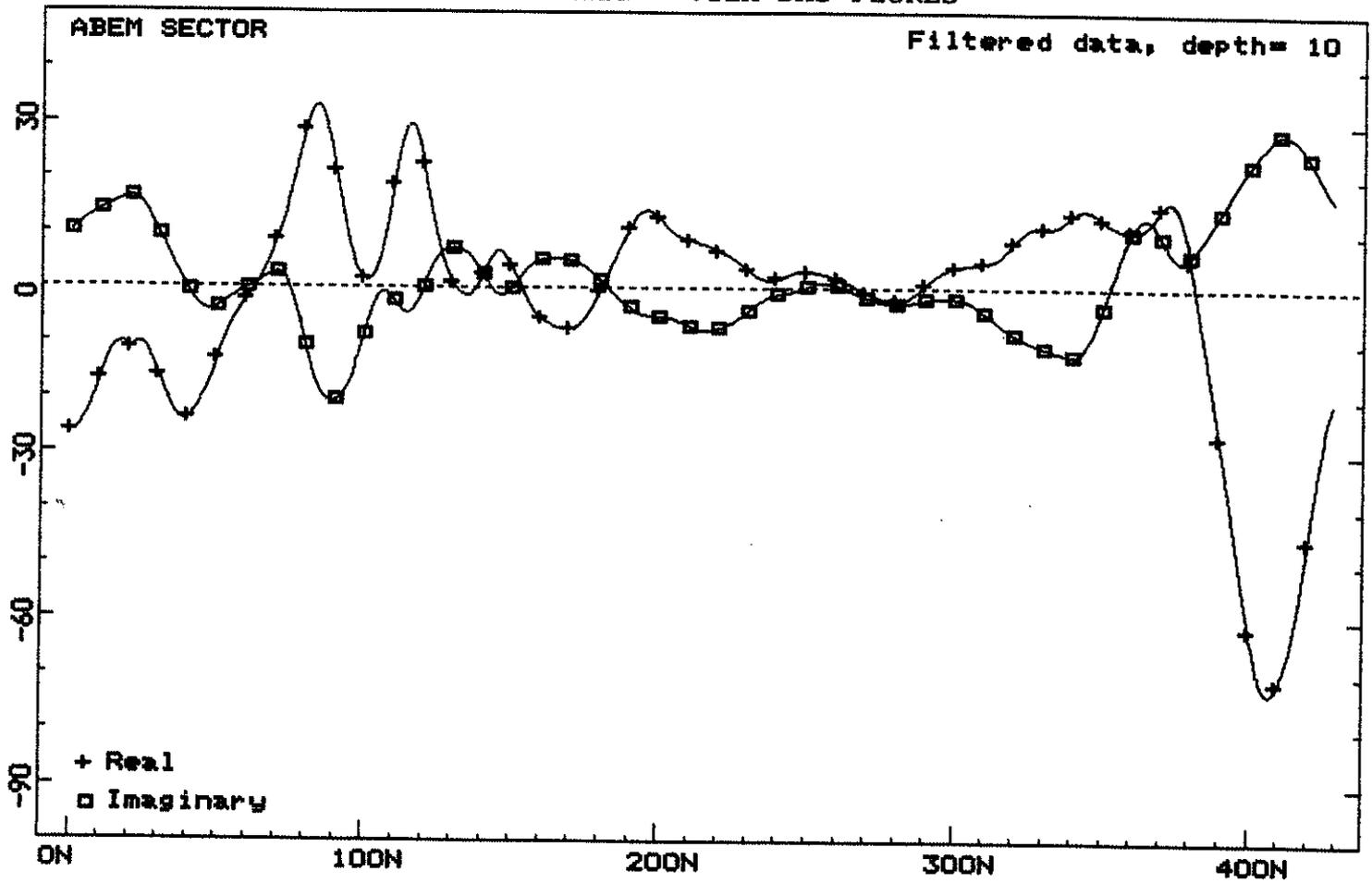
N. Perfil/Posição: 0013E/330N

Vazão: 2.400 l/h

Qualidade da água: Salobra

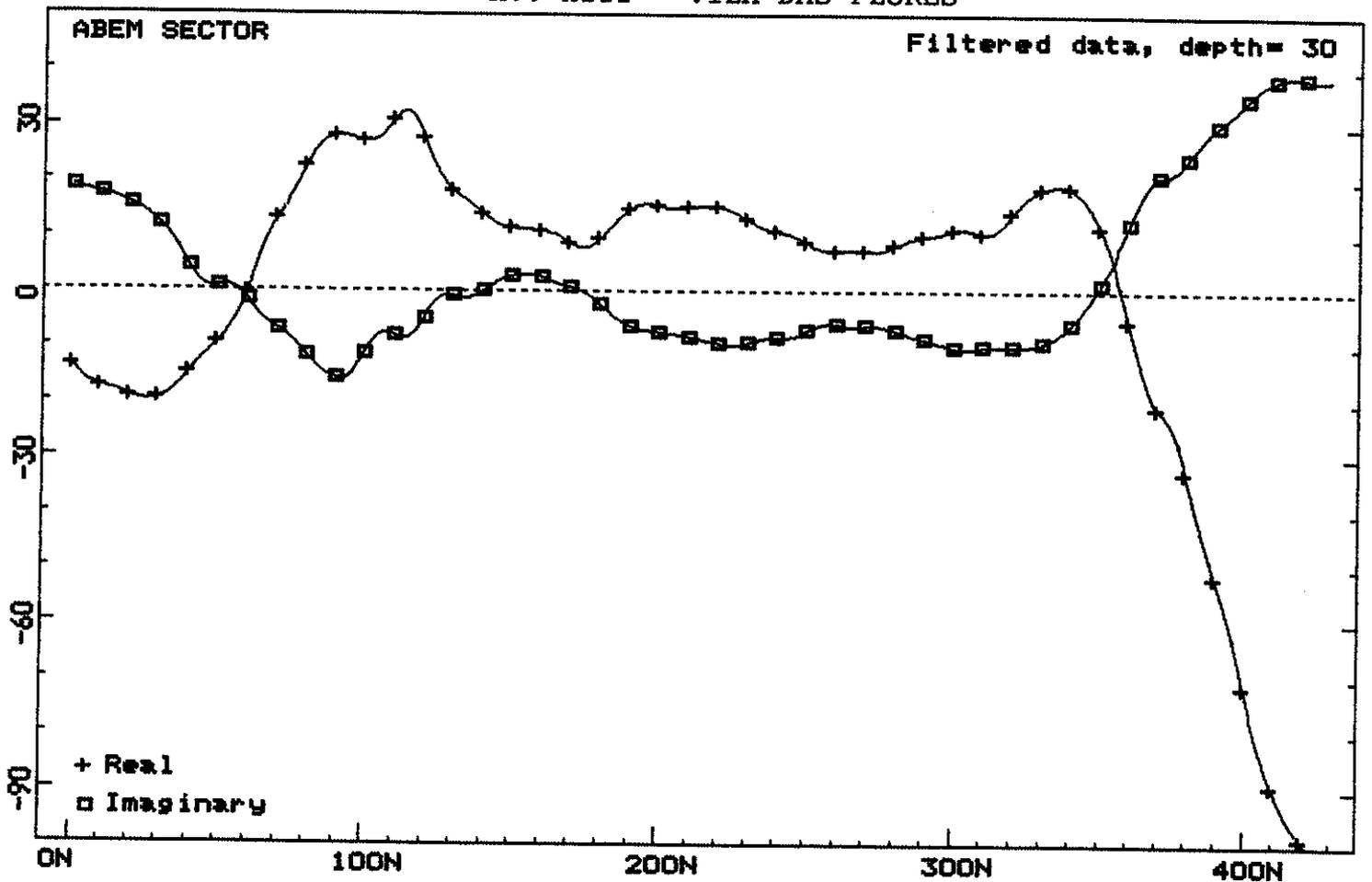
Profile: 0013E (15.7 kHz)

AV. XIII - VILA DAS FLORES



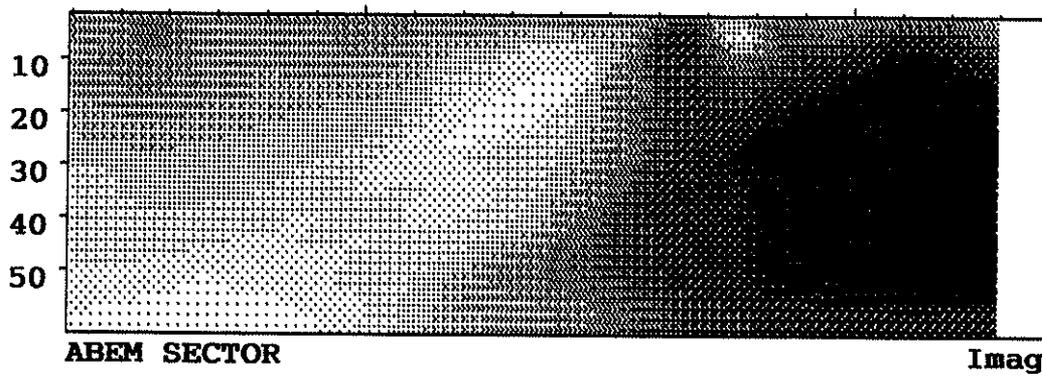
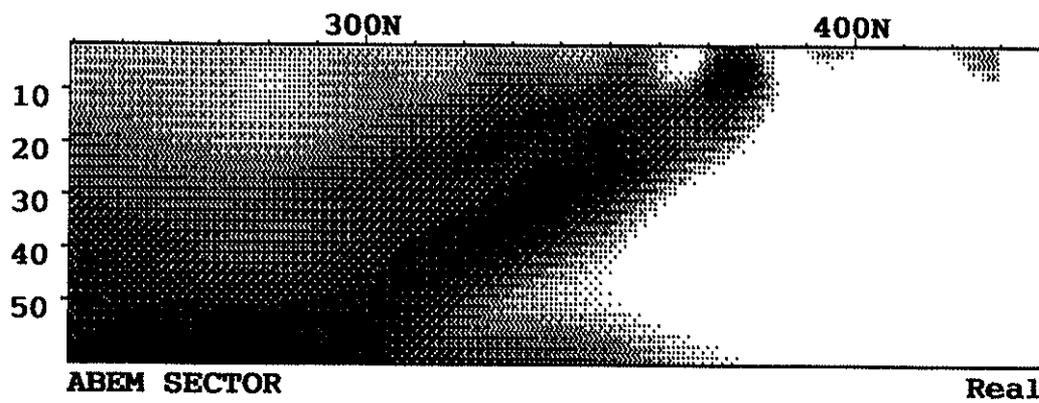
Profile: 0013E (15.7 kHz)

AV. XIII - VILA DAS FLORES



Profile: 0013E

AV. XIII - VILA DAS FLORES



PERFIL DE POÇO PROFUNDO

Nº LOCAL (Vila das Flores) MUNICIPIO Maracanã ESTADO Ce

CLIENTE PREFEITURA MUNICIPAL DE MARACANÃ

SEÇÃO DO POÇO	ENTRADA D'ÁGUA	PROFUND. (m)	SIMBOLOGIA	UNIDADE GEOLOGICA	LITOLOGIA
5"	N.F.	3,00		GRUPO BARREIRAS	Argila, com areia fina a grossa, com pouco a muito pedregulho de quartzo, variegada.
		6,00			Rocha alterada, de composição quartzo-feldspática, com mica, acinzentada.
6"	N.D.	9,00		COMPLEXO NORDESTINO	Rocha sã, de composição quartzo-feldspática, com mica, cinza.
		30,00			
		45,00			
		45,00	45,00		

OBSERVAÇÃO POÇO CIMENTADO ENTRADA DE ÁGUA: 15,00M ; 17,00M e 21,00M

ESCALA 1:400

LOCALIDADE

Liceu de Maracanaú

N. Poço: P-10

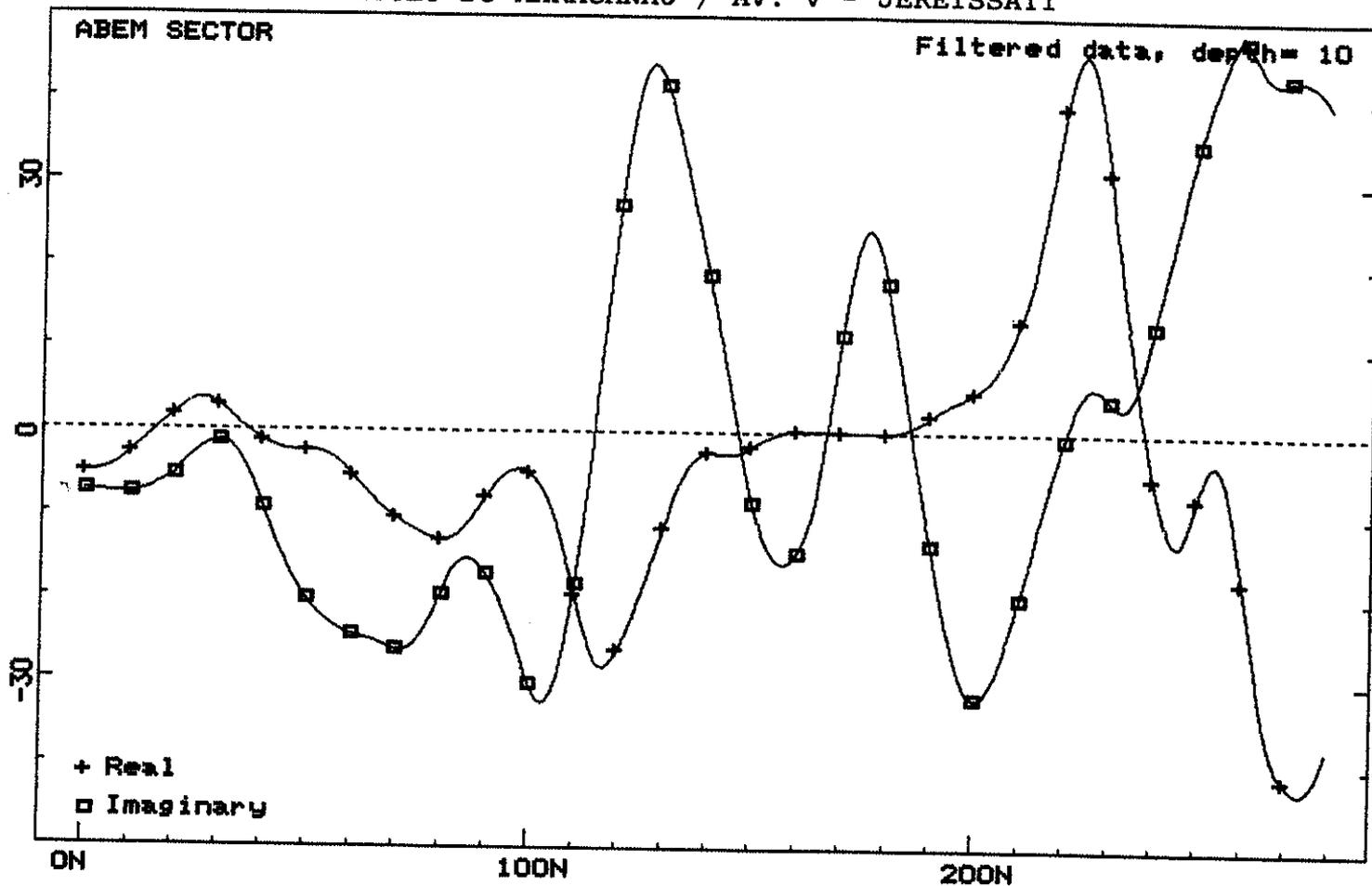
N. Perfil/Posição: 0015E/220N

Vazão: 240 l/h

Qualidade da água: Salgada

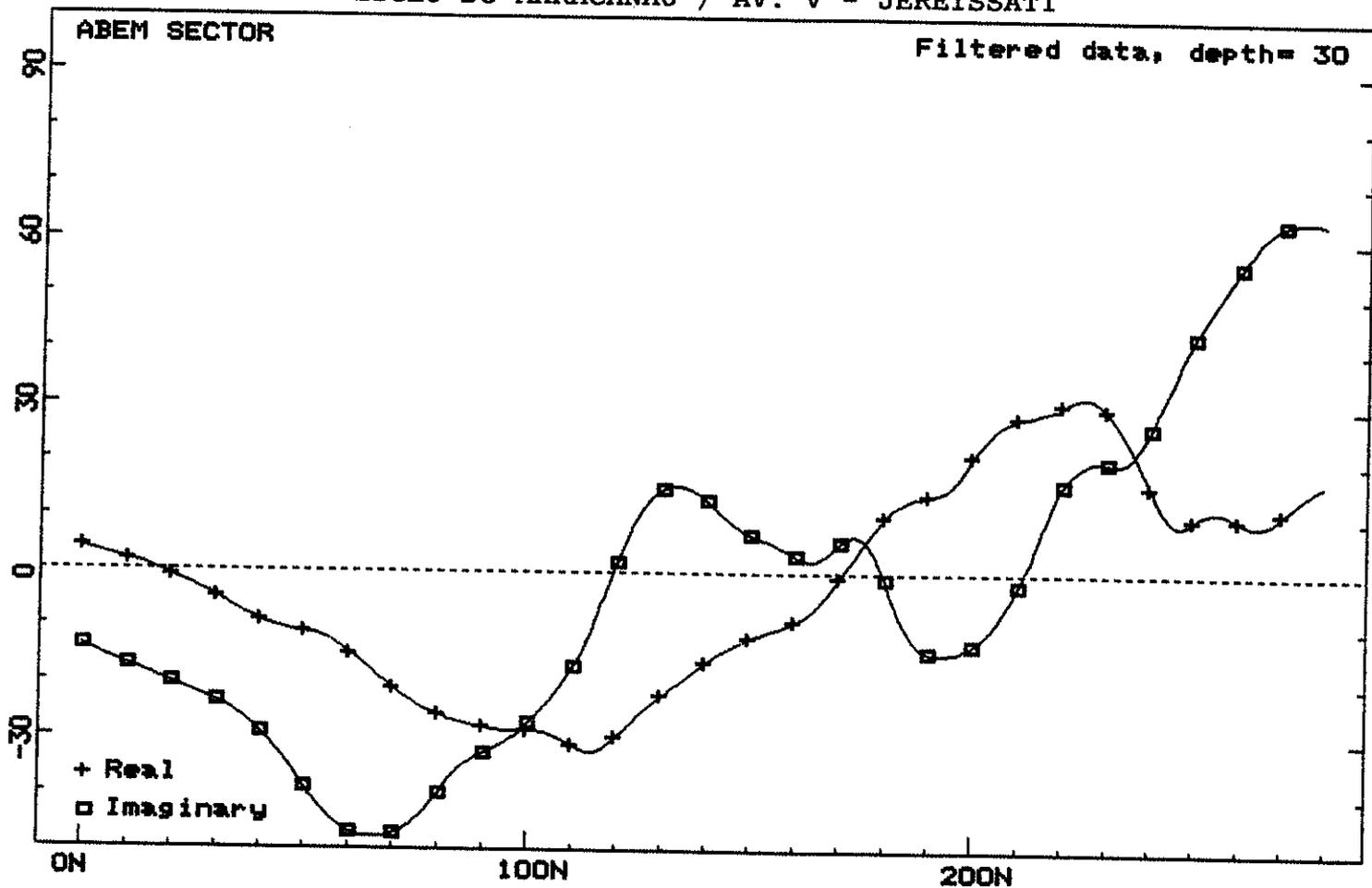
Profile: 0015E (15.7 kHz)

LICEU DO MARACANAU / AV. V - JEREISSATI



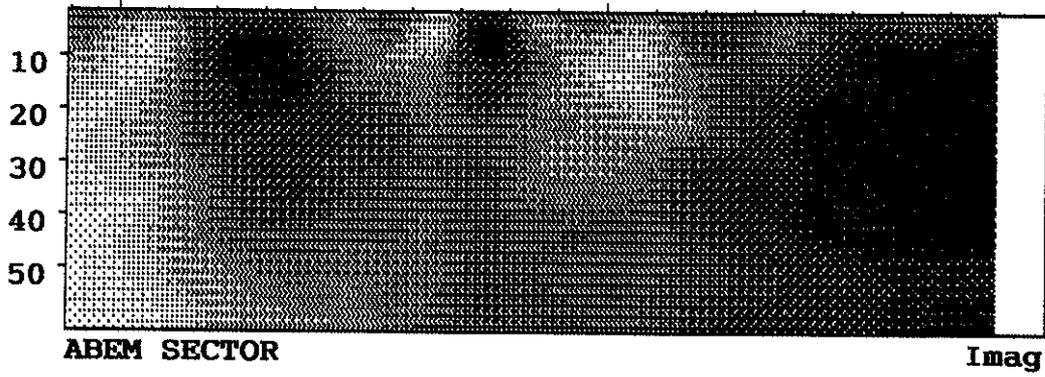
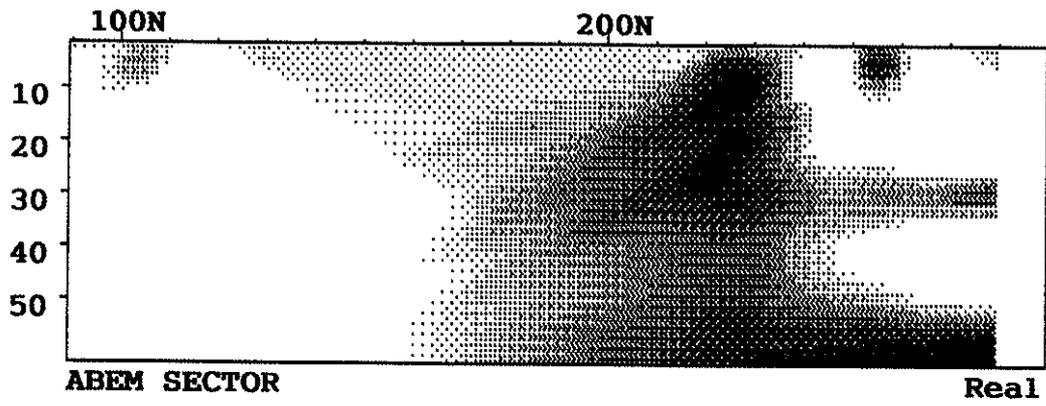
Profile: 0015E (15.7 kHz)

LICEU DO MARACANAU / AV. V - JEREISSATI



Profile: 0015E

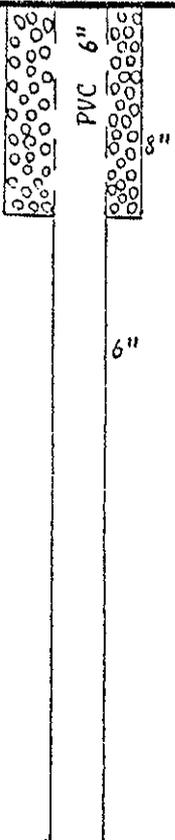
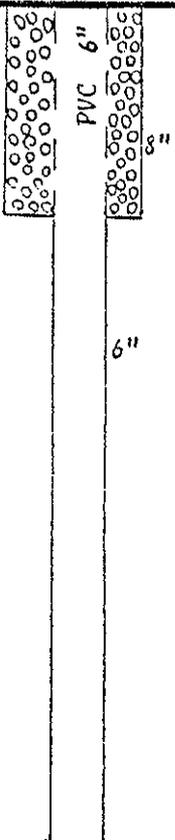
LICEU DO MARACANAU / AV. V - JEREISSATI



PERFIL DE POÇO PROFUNDO

Nº LOCAL Av: 05 MUNICIPIO Maracanã ESTADO Ce.
 Condi. Terceira 02

CLIENTE PREFEITURA MUNICIPAL DE MARACANÃ

SEÇÃO DO POÇO	ENTRADA D'ÁGUA	PROFUND. (m)	SIMBOLOGIA	UNIDADE GEOLÓGICA	LITOLOGIA
	N.E.	1,00	▲ ▲	GRUPO BARREIRAS	Areia, com argila, amarronada.
	N.E.	2,00	▲ ▲		Rocha alterada, de composição quartzo-feldspática, com mica, acinzentada.
	N.D.	15,00	▲ ▲ S S S S S S S S	COMPLEXO NORDESTINO	Rocha sã, de composição quartzo-feldspática, com mica, cinza.
		51,00	S S S S S S S S		
		60,00	S S S S S S S S		
		60,00	S S S S S S S S		

OBSERVAÇÃO ENTRADA DE ÁGUA: 20,00 - 22,00 M e 31,00 - 32,00 M

ESCALA 1:500

LOCALIDADE

Conjunto Timbó

N. Poço: P-02

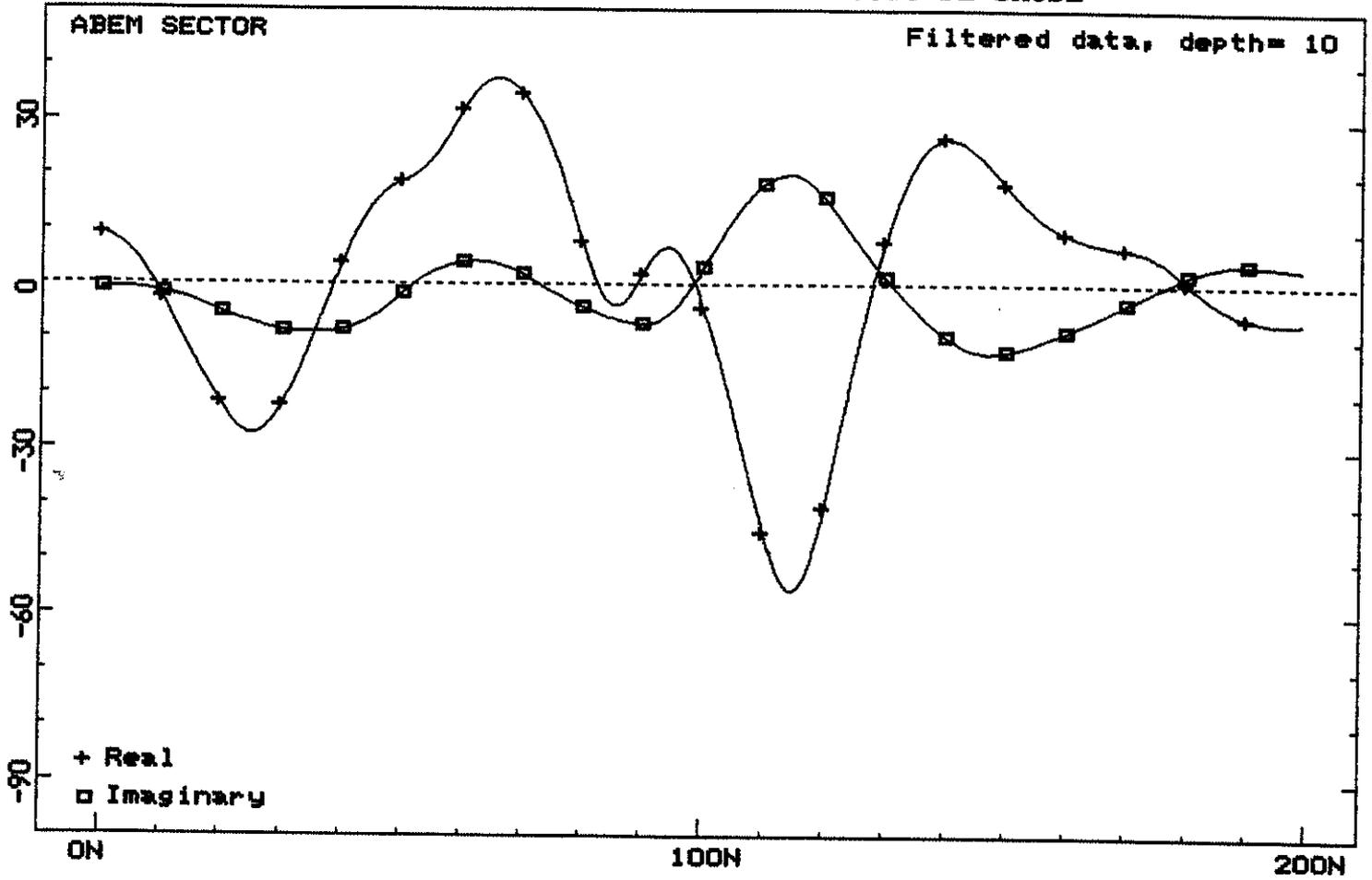
N. Perfil/Posição: 0009E/65N

Vazão: 430 l/h

Qualidade da água: Salobra

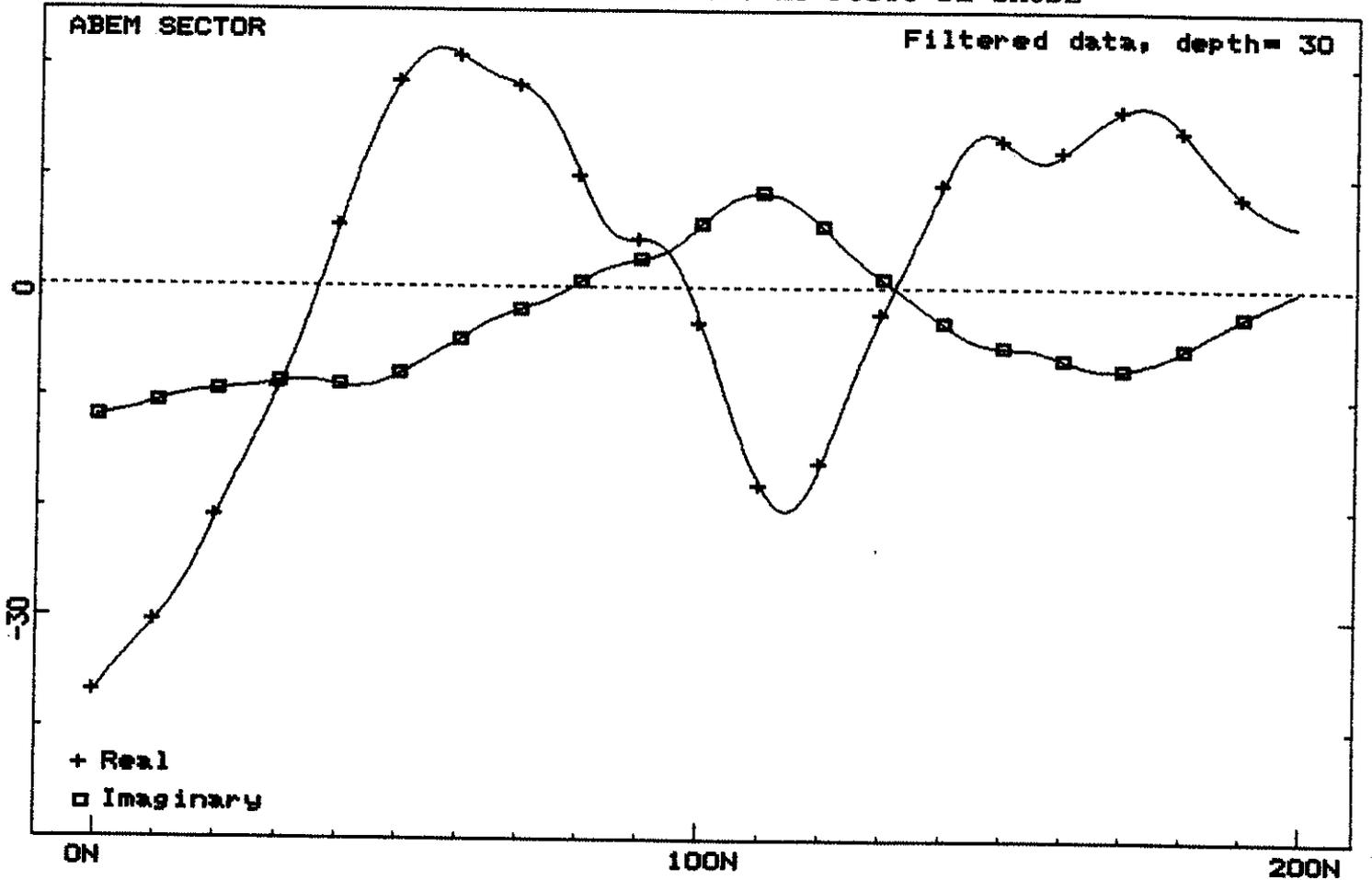
Profile: 0009E (15.7 kHz)

CONJUNTO TIMBO - PROX. AO POSTO DE SAUDE



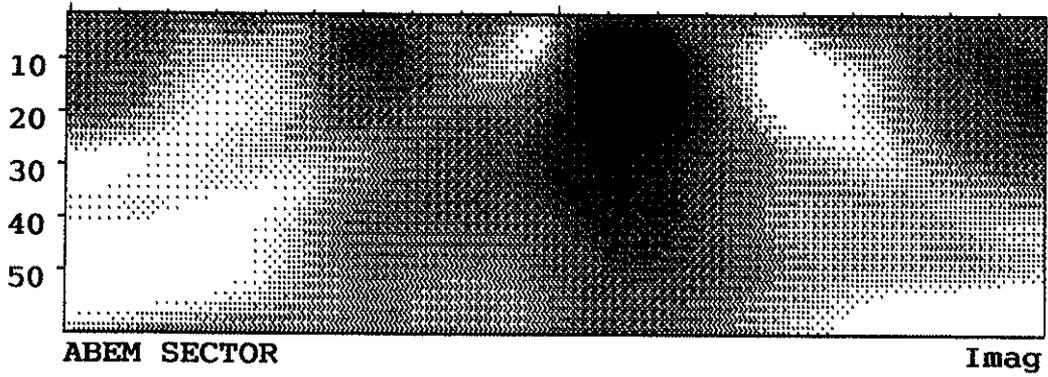
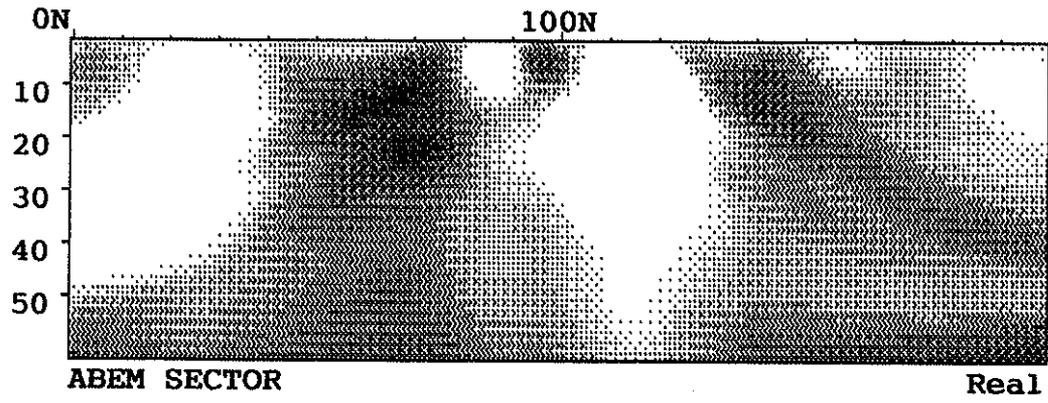
Profile: 0009E (15.7 kHz)

CONJUNTO TIMBO - PROX. AO POSTO DE SAUDE



Profile: 0009E

CONJUNTO TIMBO - PROX. AO POSTO DE SAUDE



PERFIL DE POÇO PROFUNDO

Nº	LOCAL Conjunto Timbó	MUNICÍPIO Maracanã	ESTADO Ce
----	-------------------------	-----------------------	--------------

CLIENTE
PREFEITURA MUNICIPAL DE MARACANÃ

SEÇÃO DO POÇO	ENTRADA D'ÁGUA	PROFUND. (m)	SIMBOLOGIA	UNIDADE GEOLOGICA	LITOLOGIA
6"	6"	1,00		GRUPO BARREIRAS	Areia, fina a grossa, com pouco a muito pedregulho de quartzo, amarelada.
		4,00	▲ ▲ ▲		Argila, com areia fina a grossa, com pouco a muito pedregulho de quartzo, variada.
		9,00		COMPLEXO NORDESTINO	Rocha alterada, de composição quartzo-feldspática, com mica, acinzentada.
		50,00			Rocha sã, de composição quartzo-feldspática, com mica, cinza.
	N.D.	60,00			
		60,00	60,00		

OBSERVAÇÃO POÇO CIMENTADO
ENTRADA DE ÁGUA: 13,00M e 43,00M

ESCALA 1:500

LOCALIDADE

R. Belém

N. Poço: P-01

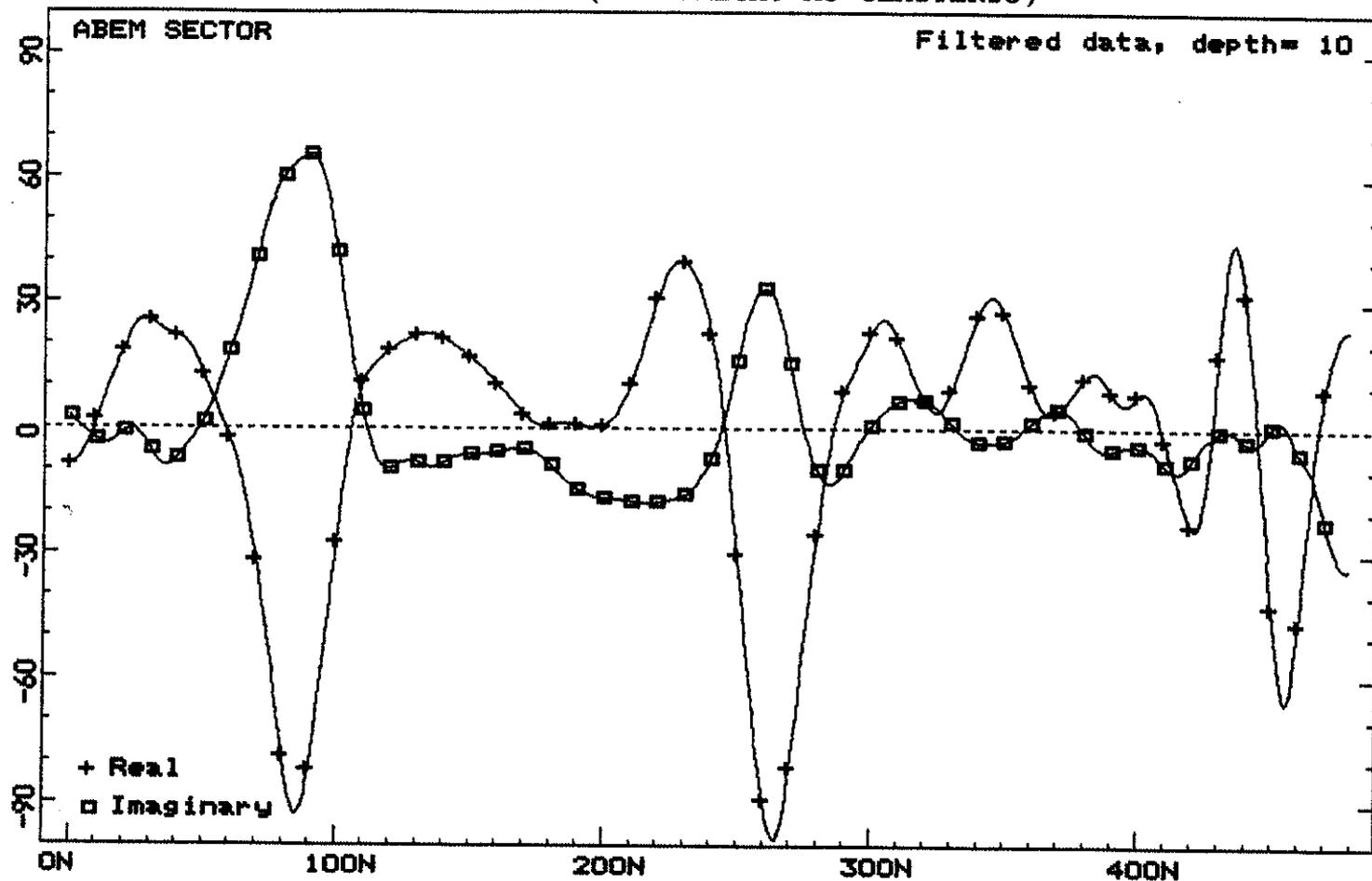
N. Perfil/Posição: 0005E/350N

Vazão: 2.400 l/h

Qualidade da água: Insípida

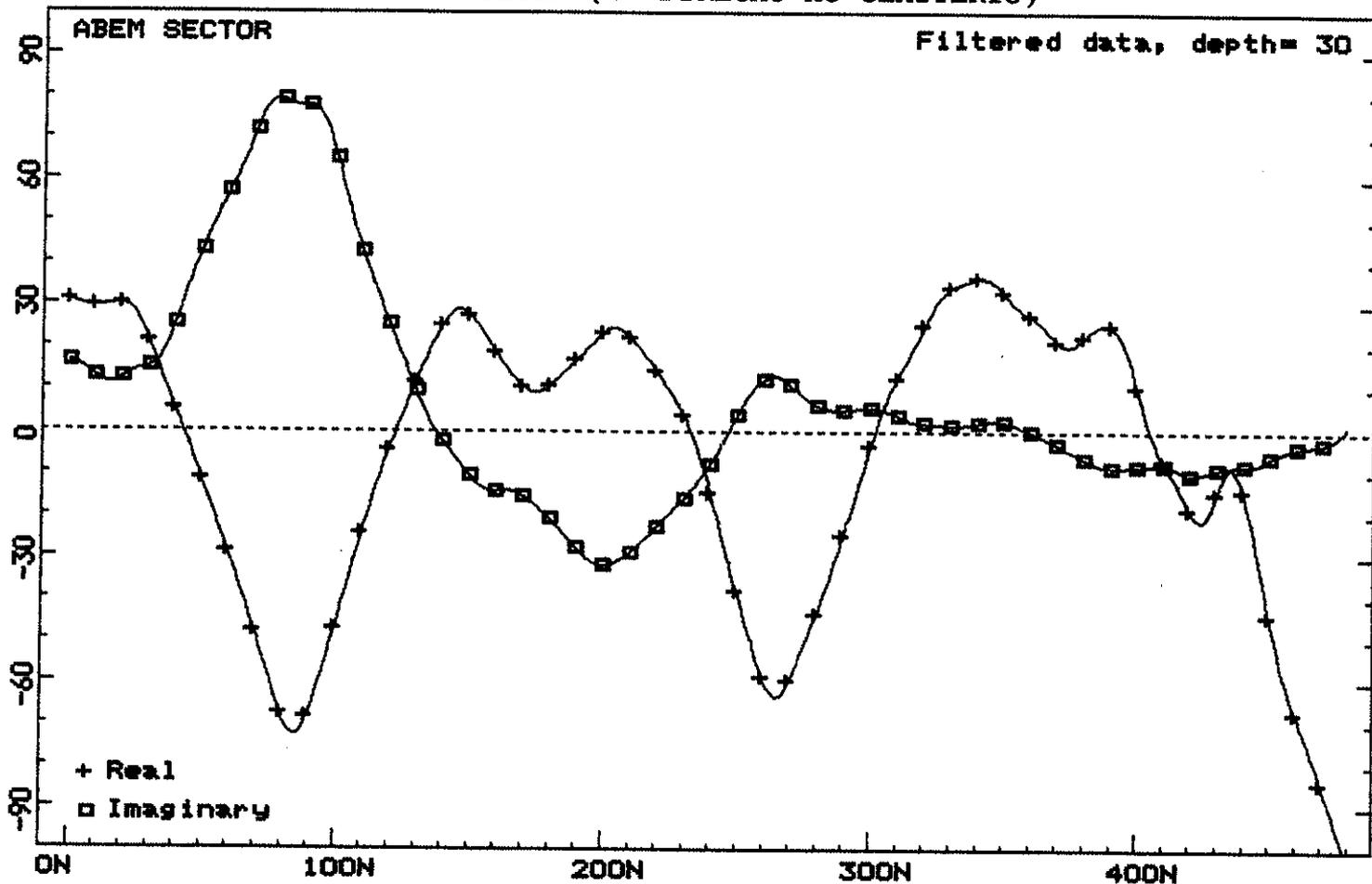
Profile: 0005E (15.8 kHz)

RUA BELEM (EM DIRECAO AO CEMITERIO)

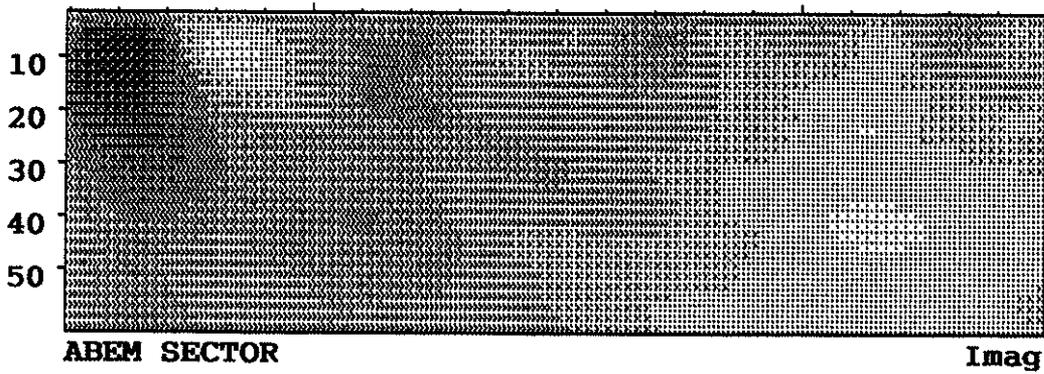
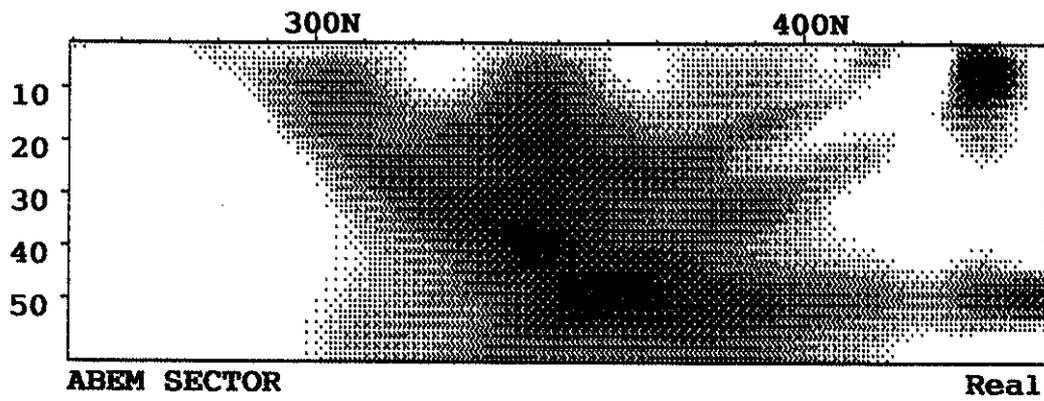


Profile: 0005E (15.8 kHz)

RUA BELEM (EM DIRECAO AO CEMITERIO)



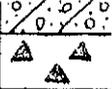
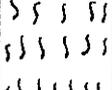
Profile: 0005E RUA BELEM (EM DIRECAO AO CEMITERIO)



PERFIL DE POÇO PROFUNDO

Nº LOCAL RUA BELÉM MUNICIPIO Maracanã ESTADO Ce.

CLIENTE PREFEITURA MUNICIPAL DE MARACANAÛ

SEÇÃO DO POÇO	ENTRADA D'ÁGUA	PROFUND. (m)	SIMBOLOGIA	UNIDADE GEOLOGICA	LITOLOGIA
 PVC 6" 6"	 N.F.	3,00		GRUPO BARREIRAS	Argila, com areia fina a grossa, com pedregulhos de quartzo, amarronada.
		4,00			
 N.D.		7,00		COMPLEXO NORDESTINO	
		45,00			
		60,00			
			60,00		

OBSERVAÇÃO

 POÇO CIMENTADO
 ENTRADAS DE ÁGUA: 26,00M; 38,00 M; 43,00 M

[Handwritten signature]

ESCALA 1:500

LOCALIDADE

Grupo Escolar Tancredo Neves

N. Poço: P-03

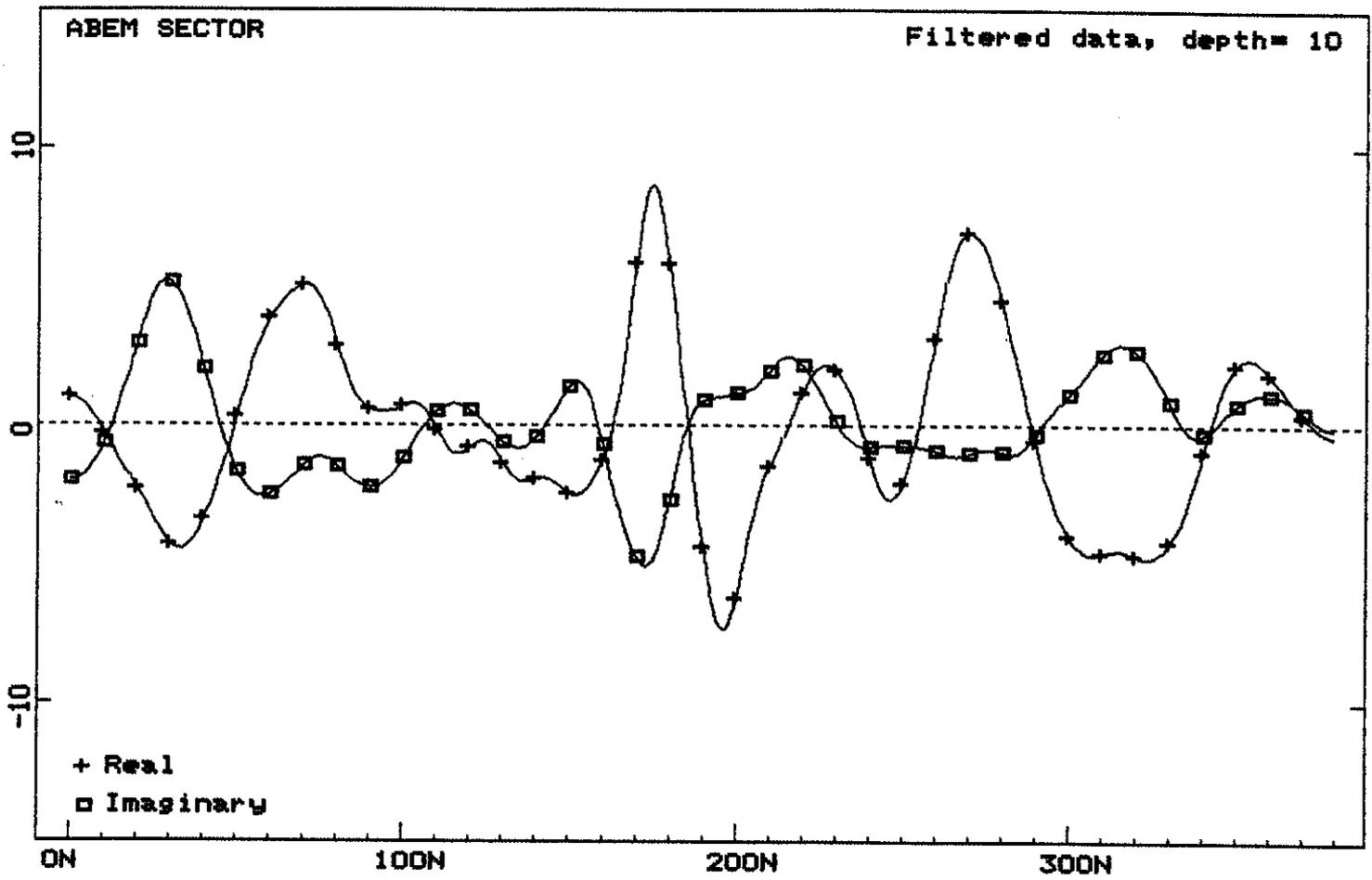
N. Perfil/Posição: 0002E/280N

Vazão: 1.756 l/h

Qualidade da água: Salgada

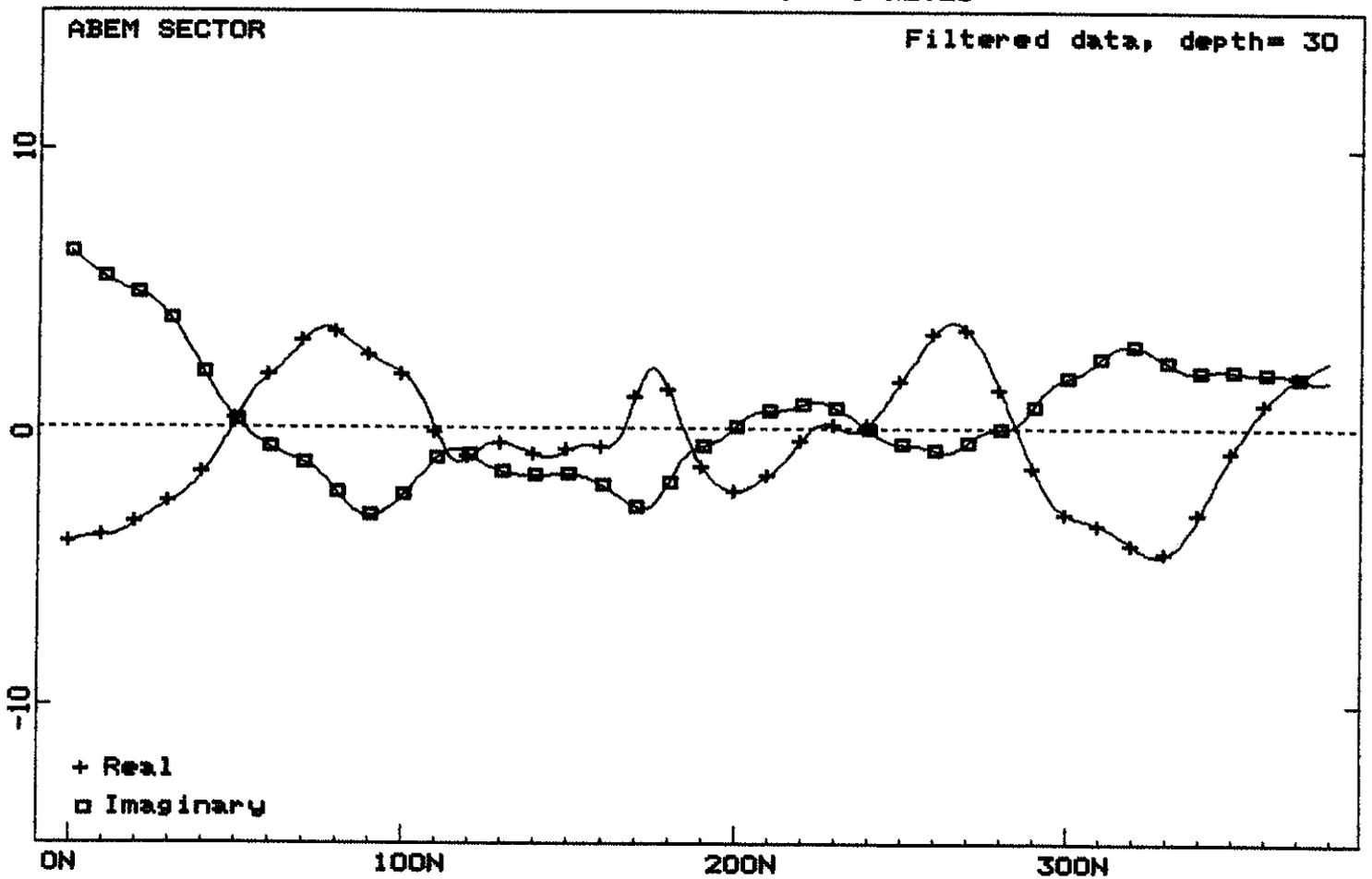
Profile: 0002E (21.4 kHz)

GRUPO ESCOLAR TANCREDO NEVES



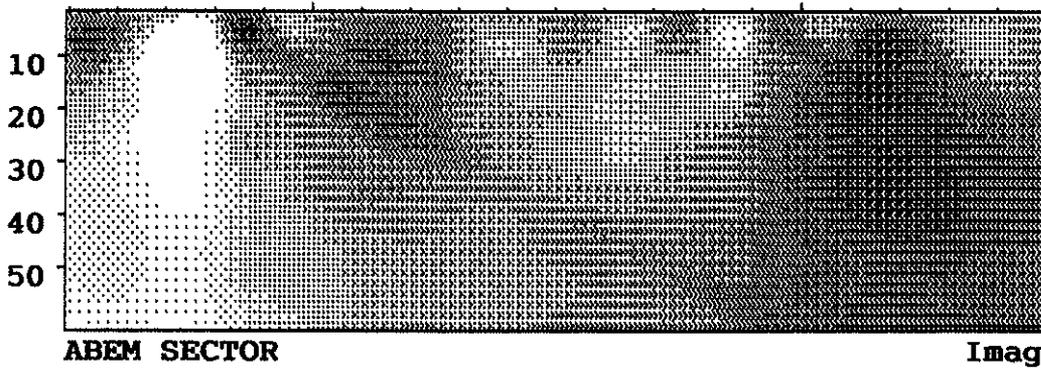
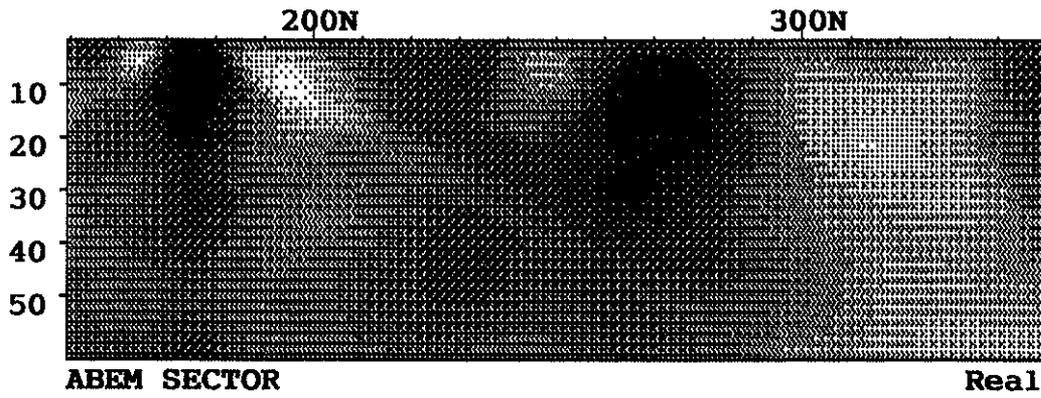
Profile: 0002E (21.4 kHz)

GRUPO ESCOLAR TANCREDO NEVES



Profile: 0002E

GRUPO ESCOLAR TANCREDO NEVES



PERFIL DE POÇO PROFUNDO

Nº LOCAL Grupo Escolar Tacerede Neves MUNICIPIO Maracanã ESTADO Ce

CLIENTE PREFEITURA MUNICIPAL DE MARACANÃ

SEÇÃO DO POÇO	ENTRADA D'ÁGUA	PROFUND. (m)	SIMBOLOGIA	UNIDADE GEOLOGICA	LITOLOGIA
6"	N.F.	2,00		GRUPO BARREIRAS	Areia, fina a grossa, amarelada.
	N.D.	16,00			Argila, com areia fina a grossa, com pouco a muito pedregulho de quartzo, amarronada.
		19,00		Rocha alterada, de composição quartzo-feldspática, com mica, acinzentada.	
		46,00		Rocha sã, de composição quartzo-feldspática, com mica, cinza.	
60,00		60,00	COMPLEXO NORDESTINO		

OBSERVAÇÃO

POÇO CIMENTADO
ENTRADA DE ÁGUA: 17,00M ; 34,00M e 58,00M

ESCALA 1:500

LOCALIDADE

Av. Almir Dutra

N. Poço: P-05

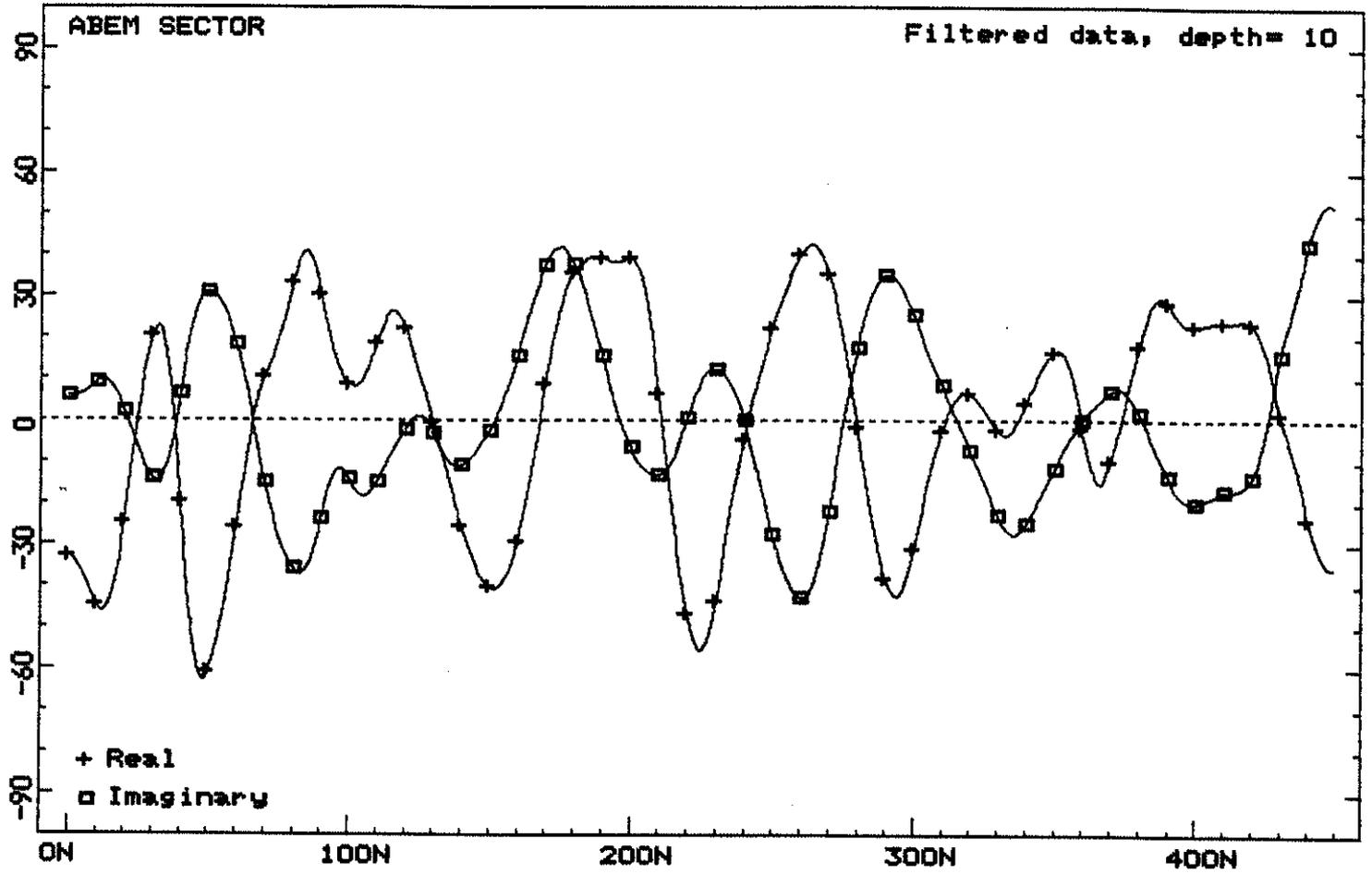
N. Perfil/Posição: 0010E/400N

Vazão: 3.428 l/h

Qualidade da água: Salgada

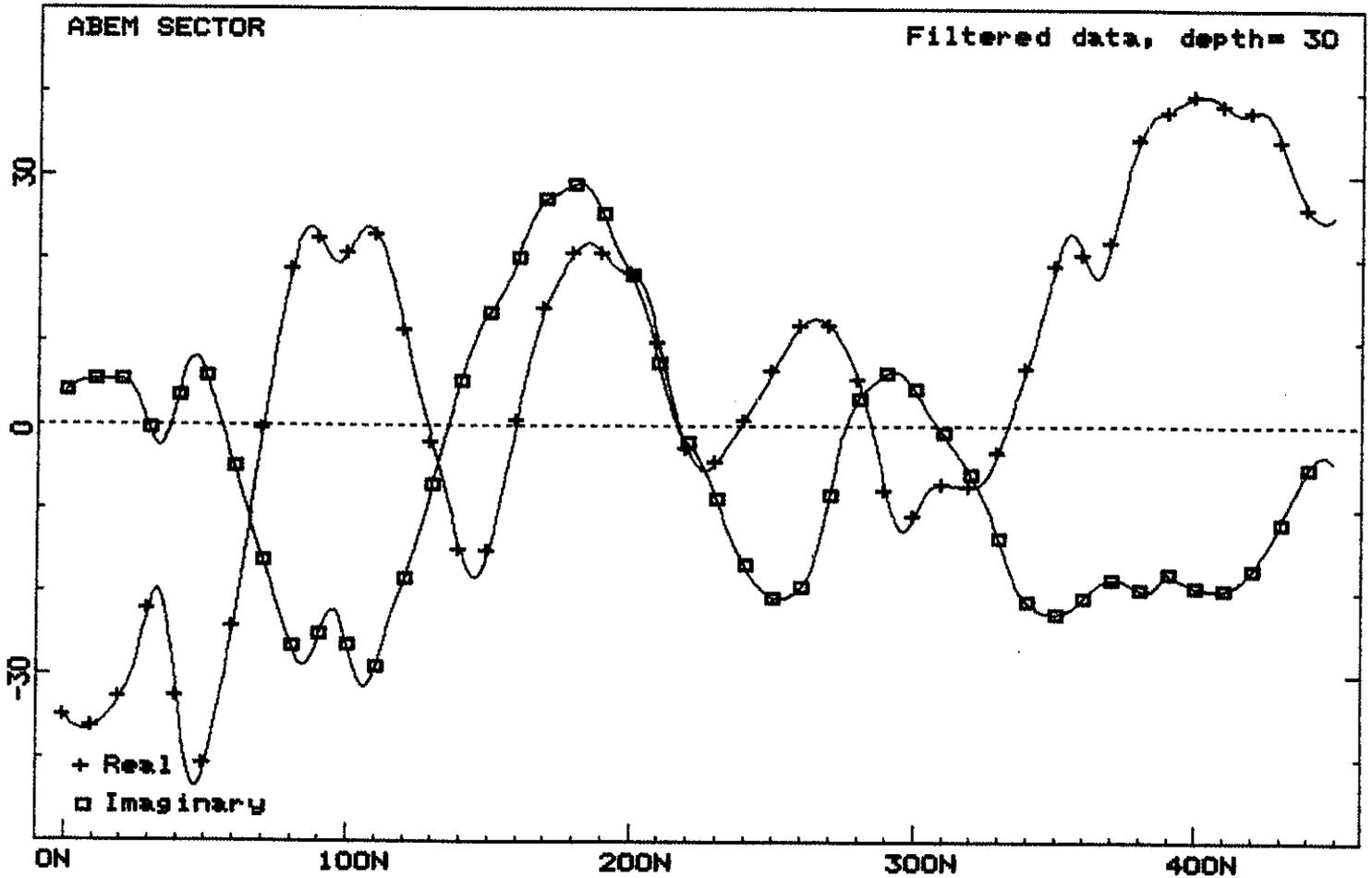
Profile: 0010E (15.7 kHz)

AV ALMIR DUTRA EM DIRECAO AO BAIXIO

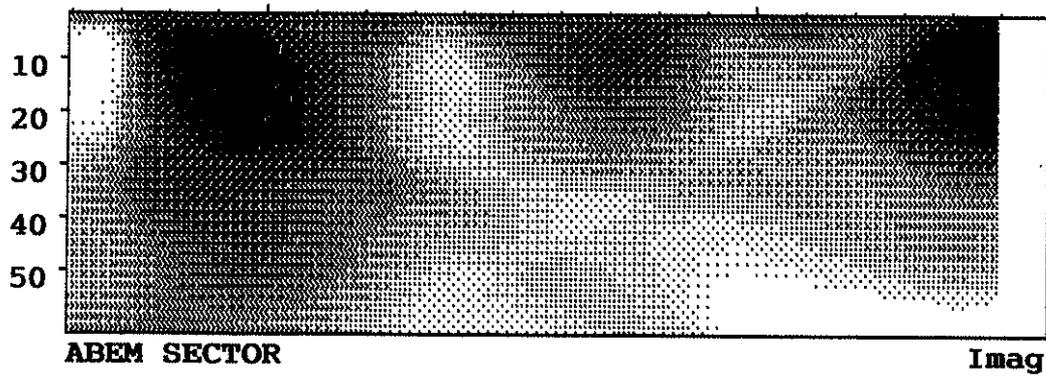
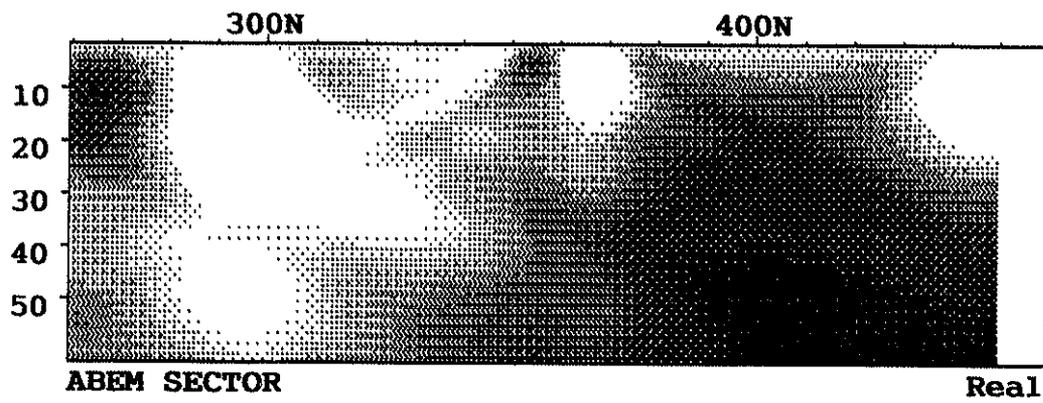


Profile: 0010E (15.7 kHz)

AV ALMIR DUTRA EM DIRECAO AO BAIXIO



Profile: 0010E AV ALMIR DUTRA EM DIRECAO AO BAIXIO



PERFIL DE POÇO PROFUNDO

Nº LOCAL Av: Afimar Dutra MUNICÍPIO Maracanaú ESTADO Ce

CLIENTE PREFEITURA MUNICIPAL DE MARACANAÚ

SEÇÃO DO POÇO	ENTRADA D'ÁGUA	PROFUND. (m)	SINBOLOGIA	UNIDADE GEOLÓGICA	LITOLOGIA
5"	N.P.	1,00		GRUPO BARREIRAS	Areia, com areia fina a grossa, variada.
		3,00	▲ ▲		
6"	N.P.	7,00	▲ ▲ ▲	COMPLEXO NORDESTE	Rocha alterada, de composição quartzo-feldspática, com mica, acinzentada. Rocha sã, de composição quartzo-feldspática, com mica, cinza
))))))		
))))))		
))))))		
))))))		
))))))		
))))))		
))))))		
))))))		
))))))		
	40,00))))))			
	60,00))))))			
		60,00			

OBSERVAÇÃO POÇO CIMENTADO ENTRADA DE ÁGUA: 9,00M ; 33,00M ; 46,00M e 56,00M ESCALA 1:500

LOCALIDADE

Av. VII - em direção ao Grupo Escolar

N. Poço: P-08

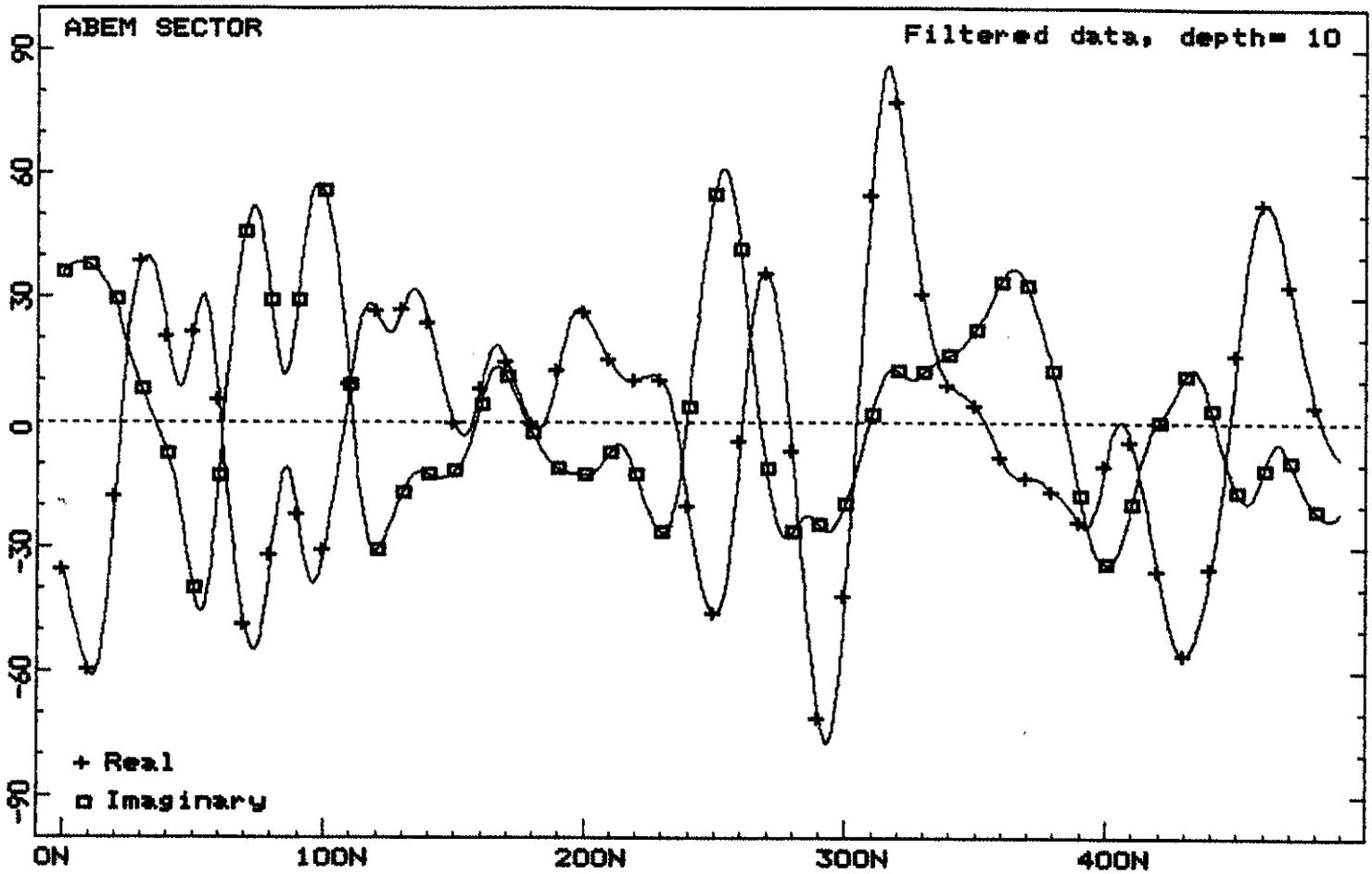
N. Perfil/Posição: 0007E/165N

Vazão: 6.000 l/h

Qualidade da água: Salgada

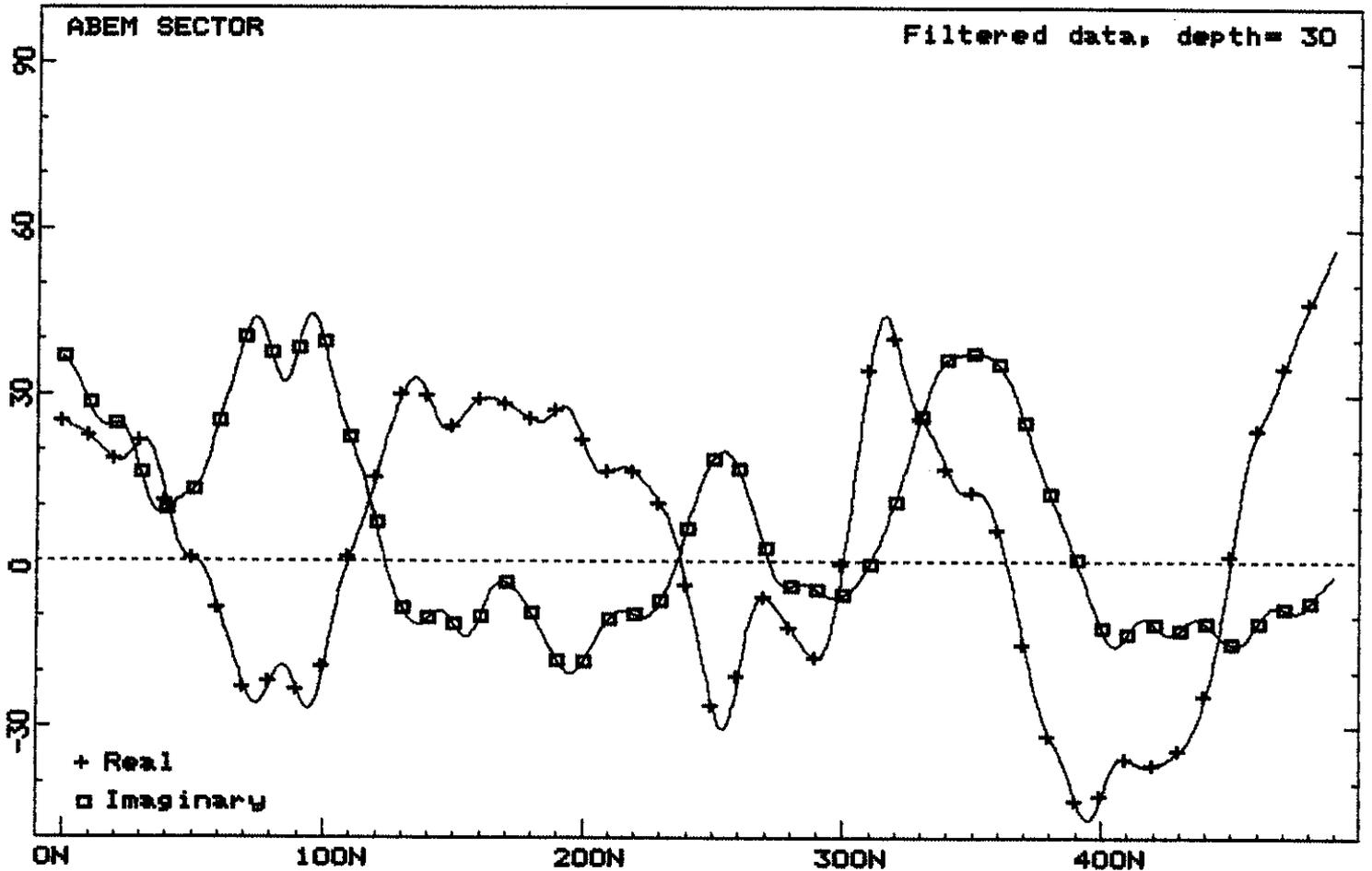
Profile: 0007E (15.7 kHz)

AV. VII - EM DIRECAO AO GRUPO ESCOLAR

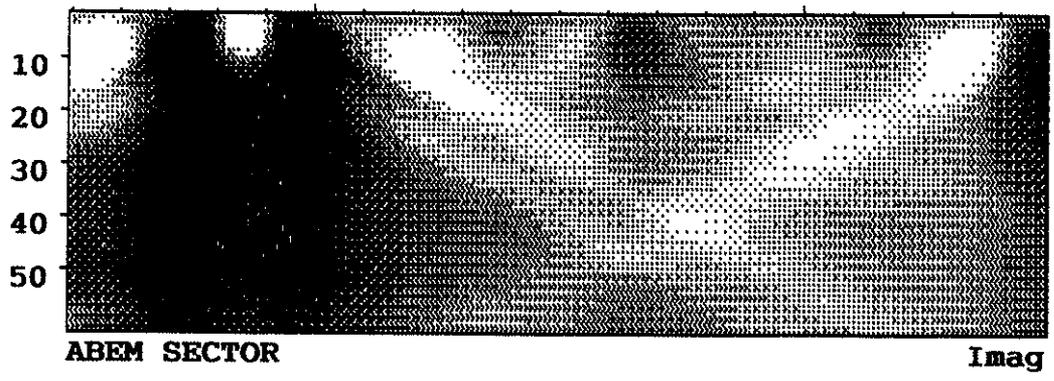
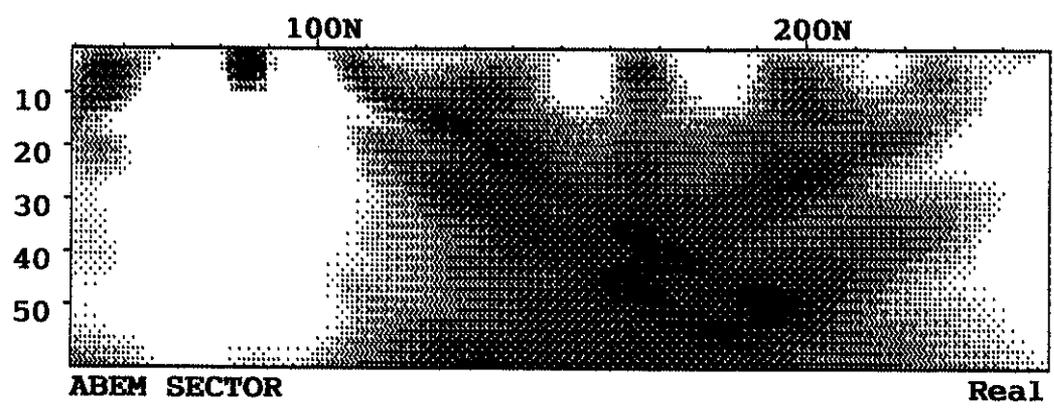


Profile: 0007E (15.7 kHz)

AV. VII - EM DIRECAO AO GRUPO ESCOLAR



Profile: 0007EAV. VII - EM DIRECAO AO GRUPO ESCOLAR



LOCALIDADE

Bairro do Siqueira

N. Poço: P-19

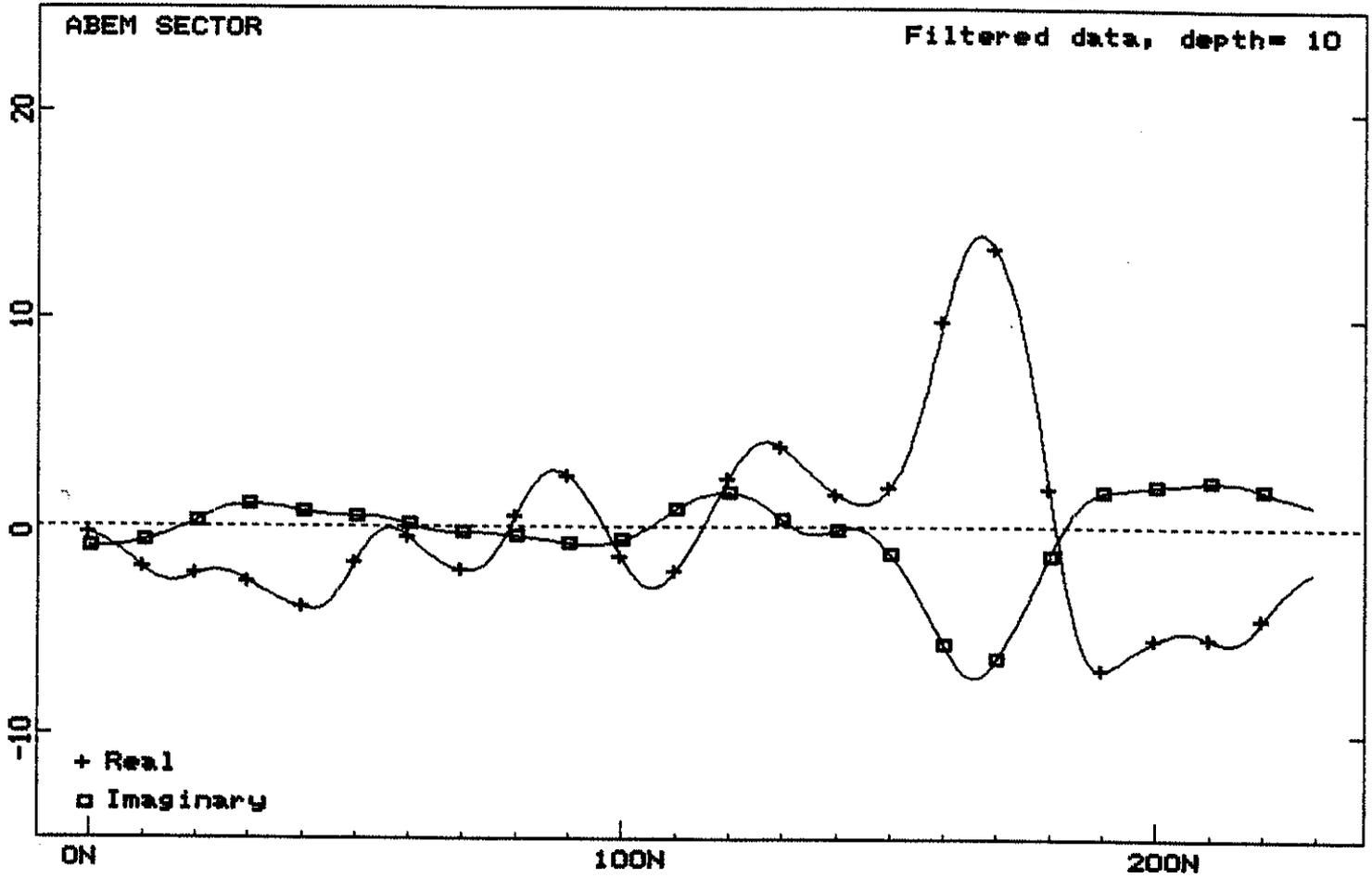
N. Perfil/Posição: 0032E/165N

Vazão: 600 l/h

Qualidade da água: Insípida

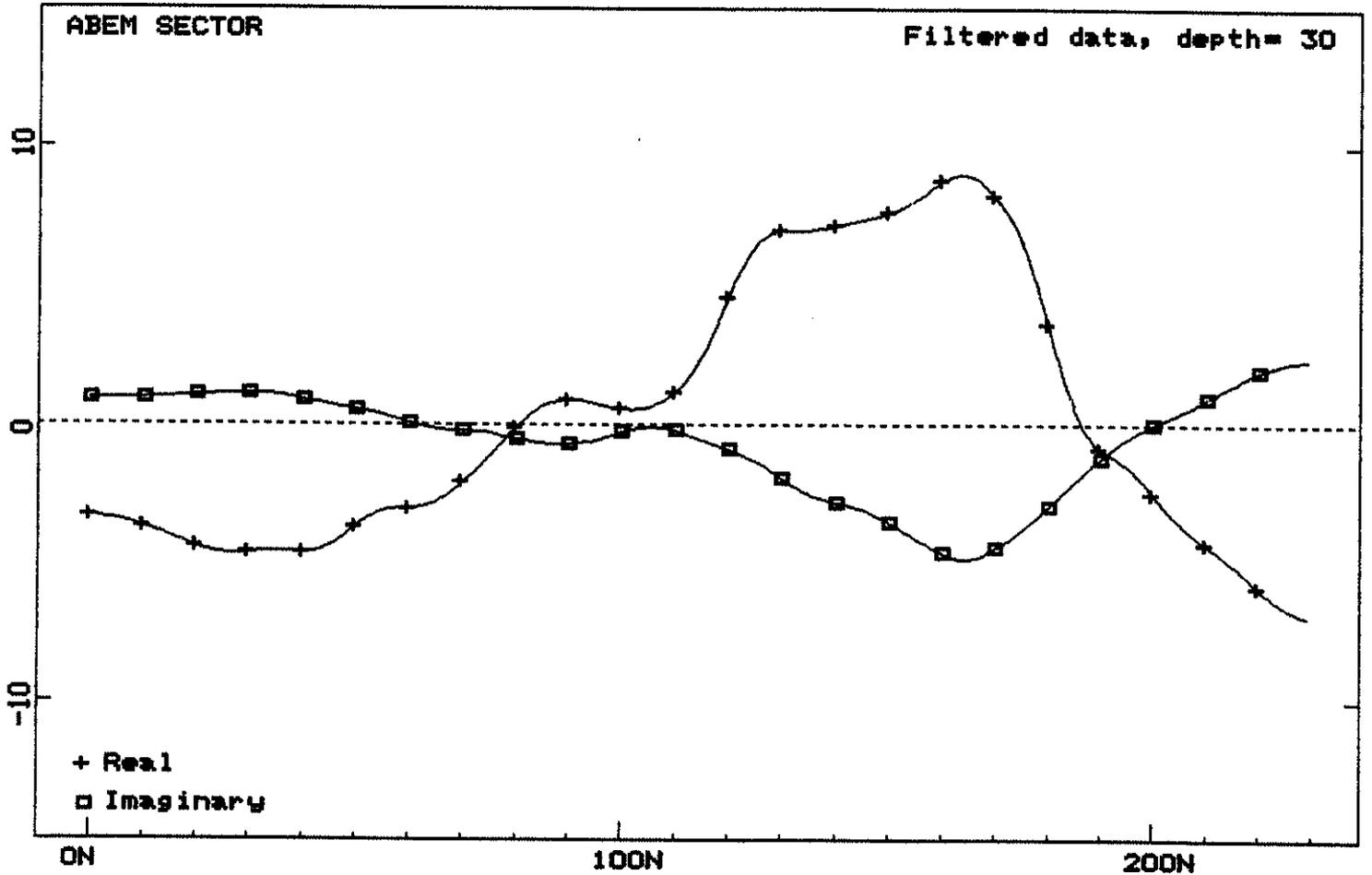
Profile: 0032E (24 kHz)

BAIRRO DO SIQUEIRA - PROX. A MATERNIDADE



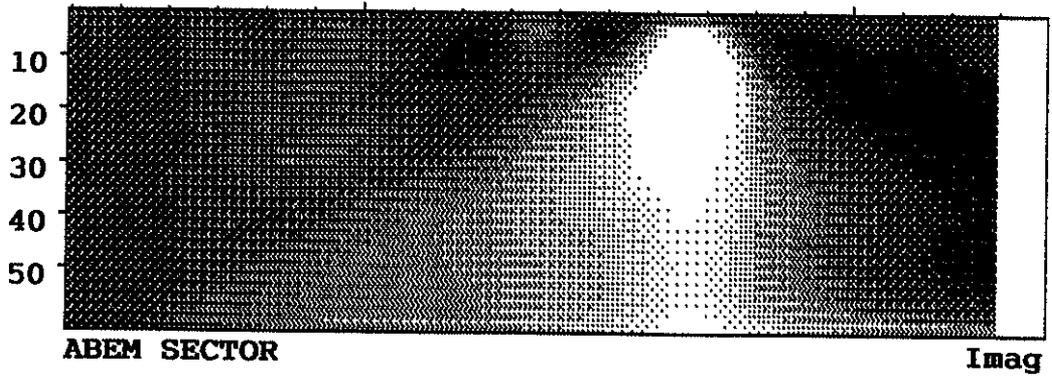
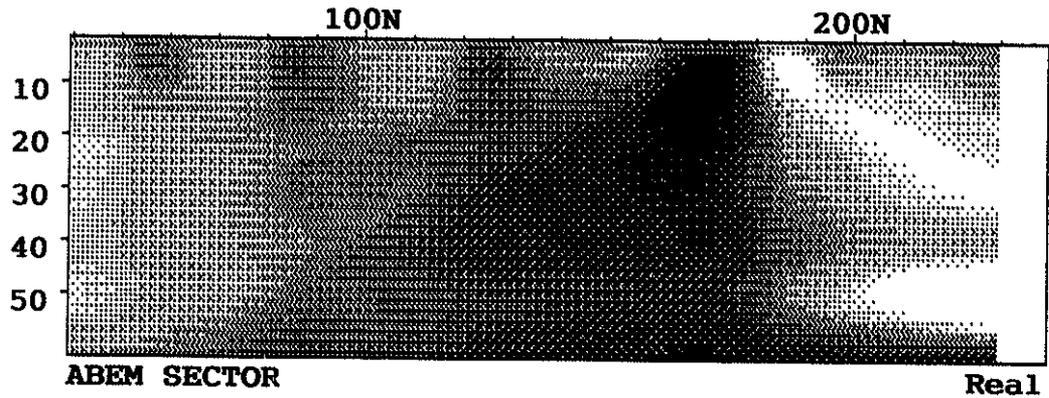
Profile: 0032E (24 kHz)

BAIRRO DO SIQUEIRA - PROX. A MATERNIDADE



Profile: 0032E

BAIRRO DO SIQUEIRA - PROX. A MATERNIDADE



PERFIL DE POÇO PROFUNDO

Nº LOCAL Posto Maternidade São João (Siqueira) MUNICIPIO Maracanaú ESTADO CE

CLIENTE PREFEITURA MUNICIPAL DE MARACANAÍ

SEÇÃO DO POÇO	ENTRADA D'ÁGUA	PROFUND. (m)	SINECLOGIA	UNIDADE GEOLÓGICA	LITOLOGIA
	<p>N.E.</p>	2,00		GRUPO BARREIRAS	<p>Areia, com areia fina a grossa, com pouco a muito pedregulho de quartzo, variegada.</p>
		6,00			<p>Rocha alterada, de composição quartzo feldspática, com mica, acinzentada.</p>
	<p>N.D.</p>	12,00		COMPLEXO NORDESTINO	<p>Rocha sã, de composição quartzo-feldspática, com mica, cinza.</p>
		32,00			
		46,00			
		50,00			

OBSERVAÇÃO

POÇO CIMENTADO

ENTRADA DE ÁGUA: 12,00 a 36,00M

ESCALA

1:400

LOCALIDADE

FEBENCE

N. Poço: P-09

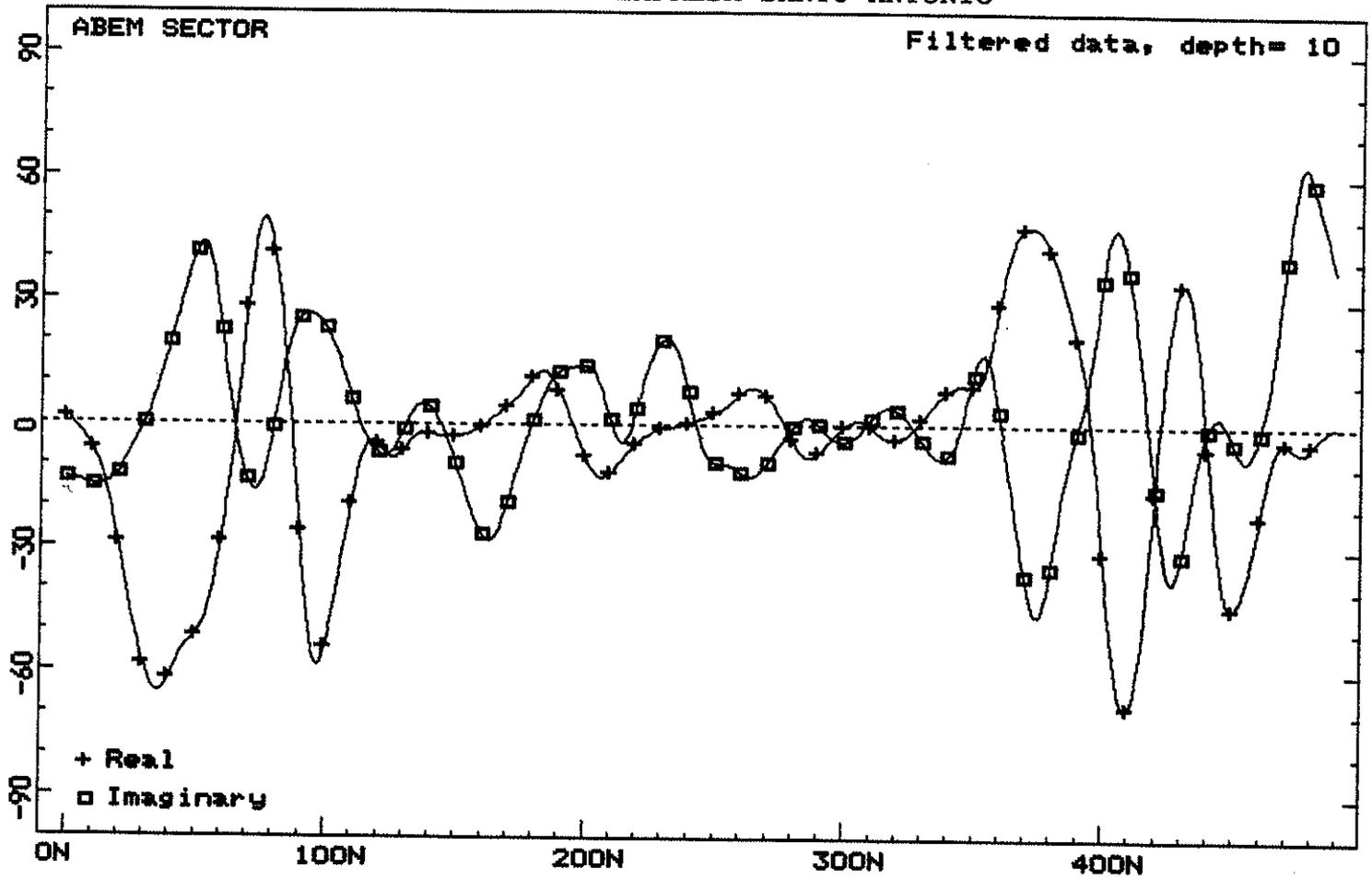
N. Perfil/Posição: 0017E/370N

Vazão: - l/h

Qualidade da água: -

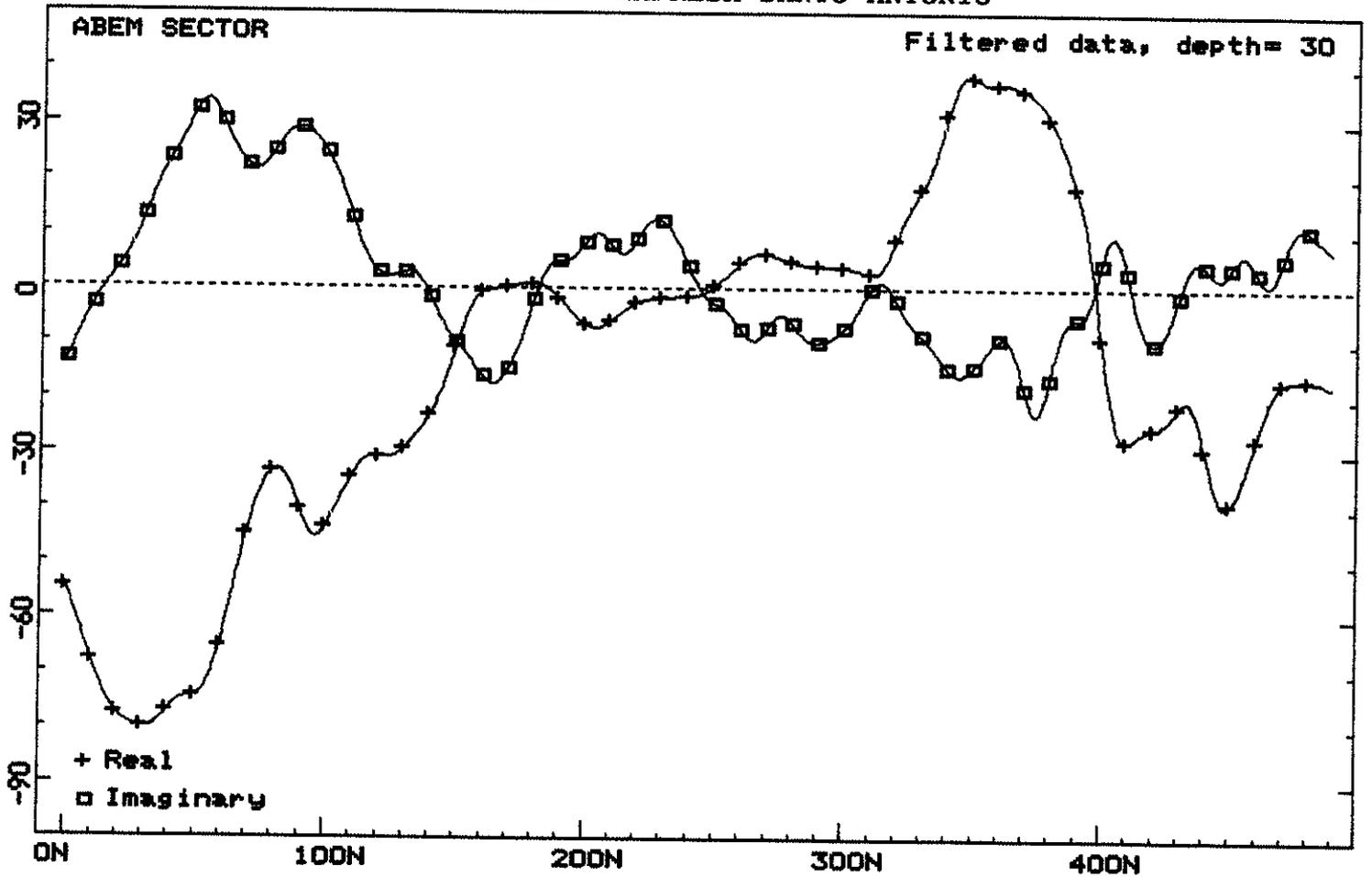
Profile: 0017E (15.7 kHz)

FEBENCE - EMPRESA SANTO ANTONIO



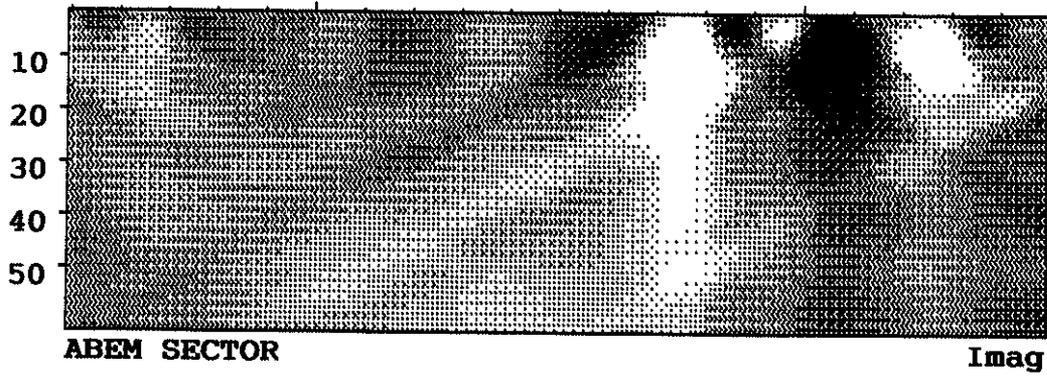
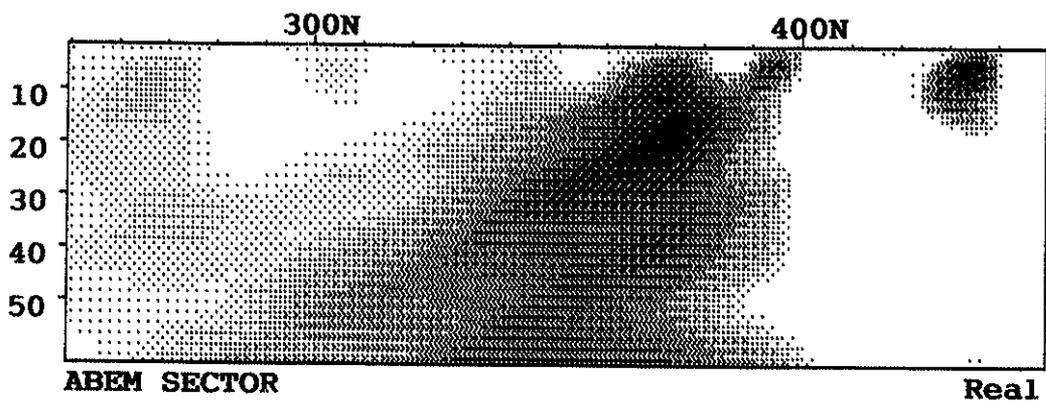
Profile: 0017E (15.7 kHz)

FEBENCE - EMPRESA SANTO ANTONIO



Profile: 0017E

FEBENCE - EMPRESA SANTO ANTONIO



PERFIL DE POÇO PROFUNDO

Nº LOCAL MUNICÍPIO ESTADO
 R. Manoel Pereira Pinto Maracanaú Ce

CLIENTE PREFEITURA MUNICIPAL DE MARACANAÚ

SEÇÃO DO POÇO	ENTRADA D'ÁGUA	PROFUND. (m)	SIMBIOLOGIA	UNIDADE GEOLOGICA	LITOLOGIA
PVC 6" 8" 6"		2,00	o/o / b / o/o	GRUPO BARREIRAS COMPLEXO NORDESTINO	Areia, com argila, com pedregulho de quartzo, amarronada. Rocha alterada, de composição quartzo-feldspática, com mica, acinzentada. Rocha sã, de composição quartzo-feldspática, com mica, cinza.
		5,00	Δ Δ Δ Δ		
			S S S		
			S S S S		
			S S S S		
			S S S S		
			S S S S		
			S S S S		
			S S S S		
			S S S S		
	60,00	S S S S			
		60,00			

OBSERVAÇÃO FENDA SECA: POÇO SECO ESCALA 1:500
 9,00 M e 37,00 M

LOCALIDADE

Av. V - Jereissati - I

N. Poço 1: P-04

N. Poço 2: P-21

N. Perfil/Posição: 0006E/030N

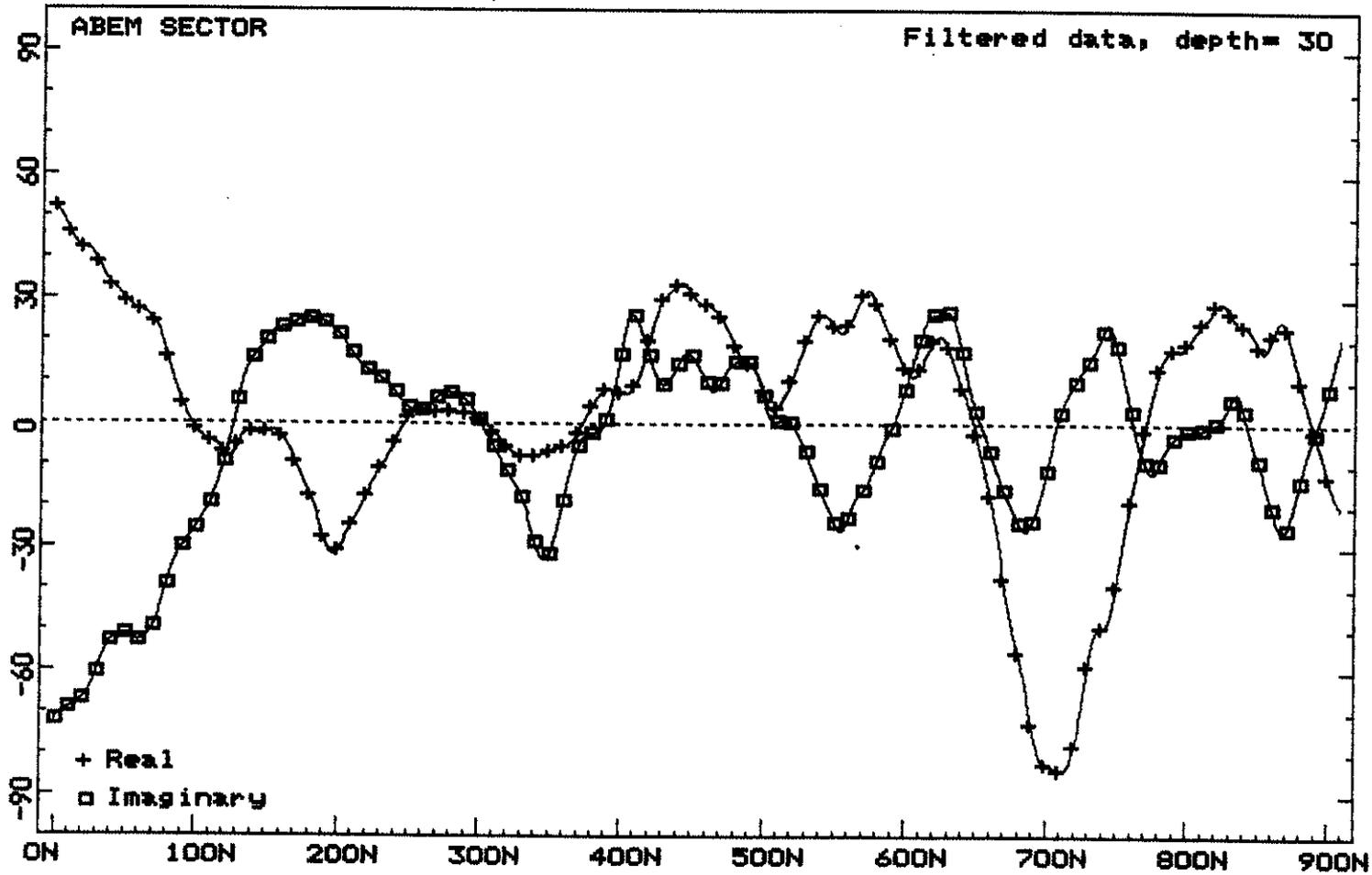
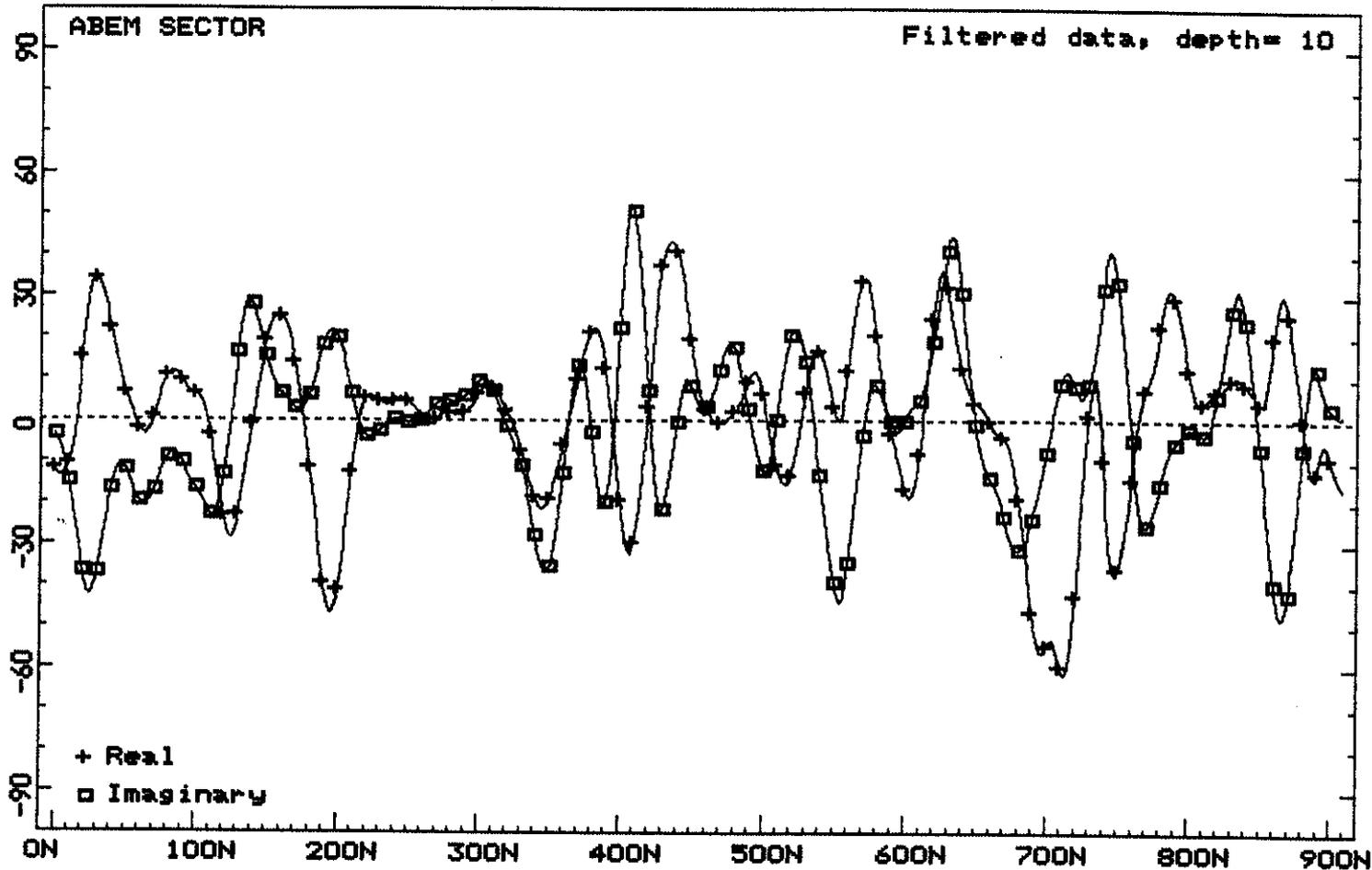
N. Perfil/Posição: 0006E/440N

Vazão 1: 240 l/h

Vazão 2: 3.600 l/h

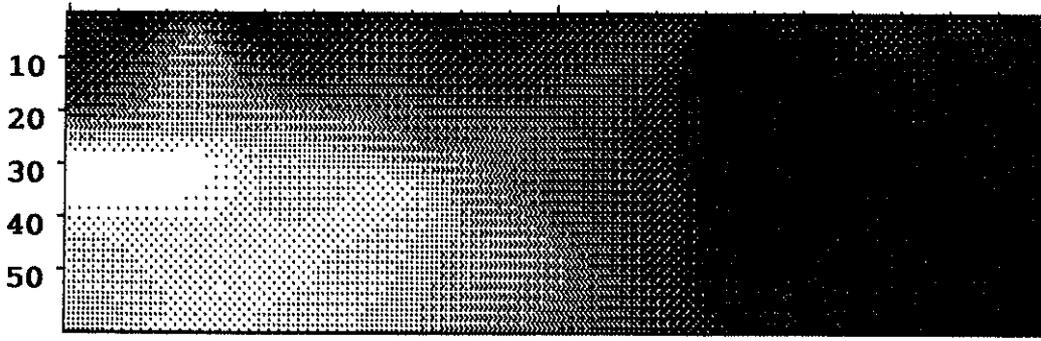
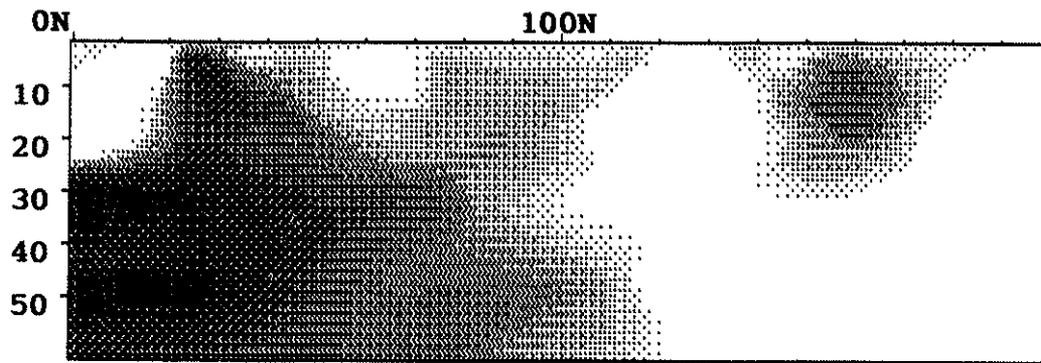
Qualidade da água 1: Salobra

Qualidade da água 2: Salobra



Profile: 0006E

AV. V - JEREISSATI-I



PERFIL DE POÇO PROFUNDO

N° P-04 LOCAL Av. 5 com Av. 3 JEREISSATI I MUNICIPIO Maracanãu ESTADO RJ

CLIENTE PREFEITURA MUNICIPAL DE MARACANAU

SEÇÃO DO POÇO	ENTRADA D'ÁGUA	PROFUND. (m)	SIMBOLOGIA	UNIDADE GEOLOGICA	LITOLOGIA	
PVC 6"	S"	N.E.	2,00		GRUPO BARREIRAS	Areia, fina a grossa, amarelada.
			7,00			
6"	N.D.			COMPLEXO CORDEIRO		rocha sã, de composição quartzo-feldspática, com mica, cinza.
			51,00			
			60,00			
			60,00			

OBSERVAÇÃO

POÇO CIMENTADO

ENTRADA DE ÁGUA: 14,00M ; 36,00M e 43,00M

Reser

ESCALA

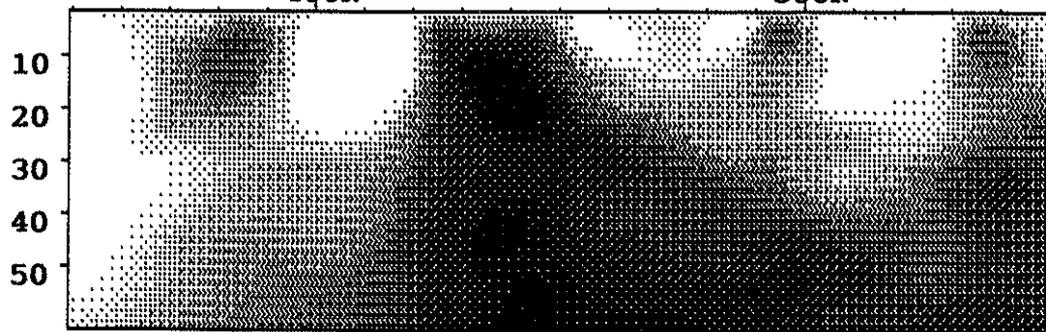
1:500

Profile: 0006E

AV. V - JEREISSATI-I

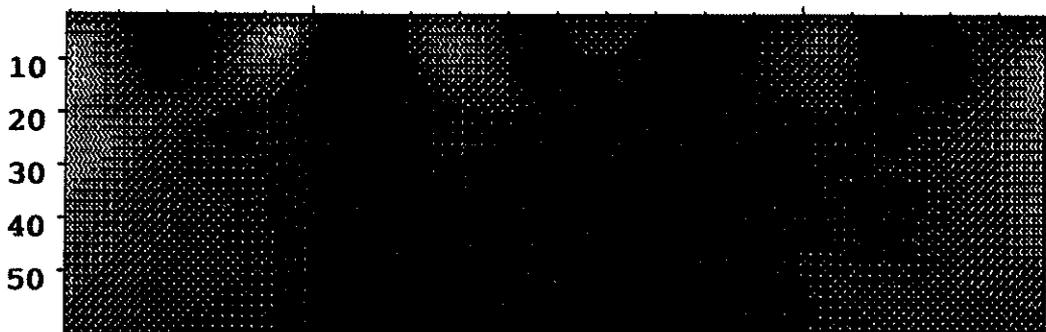
400N

500N



ABEM SECTOR

Real



ABEM SECTOR

Imag

