

Carvão 005262



~~RESERVADO~~

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
PROJETO ESPECIAL CARVÃO - PROESP/CARVÃO

SÍSMICA DE ALTA RESOLUÇÃO
INTERPRETAÇÃO E AVALIAÇÃO
PROJETO IRUI-BUTIÁ



Autores:

- Moysês Bentes - PROESP/CARVÃO - CPRM ✓
- Antônio Flávio Uberti Costa - SUREG/PA - CPRM ✓
- César Eduardo T. Cardoso - DEPRO/DIGEOP - CPRM ✓
- Maria Laura V. de Azevedo - DEPRO/DIGEOP - CPRM ✓

I96

	SUREMI	
CPRM	SEDTTE	
	ARQUIVO TÉCNICO	
Relatório n.º	1131	- 5
N.º de Volumes:	1	V.:
PHL 008588		

Outubro/Novembro 1981

S I N O P S E

O método Sísmico de Alta Resolução, aplicado pela CPRM, em área do Município de BUTIÁ-RS, revelou minúcia estrutural relevante, afetando a zona de carvão, chegando a indicar perturbações com desnível de até 2,5 metros.

Por outro lado, com o emprego de ondículas sísmicas foi possível individualizar camadas de até 1,75 metros e detectar a presença de perturbações atribuíveis a camadas de até 0,5 metro.

Este método, para detalhamento geológico e estrutural, revela-se vantajoso em relação ao de malhas adensadas por sondagem, - sempre que o alvo se aprofunda, afastando-se da situação de afloramento, e sempre que as malhas correspondam a investigação de semi-detalle e detalhe.

S U M Á R I O



Pág.

1. INTRODUÇÃO	01
1.1 - Metodologia e Instrumentação	02
1.1.1 - Da Aquisição dos Dados	02
1.1.2 - Do Processamento	02
2. INTERPRETAÇÃO	03
2.1 - Geral	03
2.2 - As Velocidades Sísmicas na Área	06
2.3 - Interpretação Pormenorizada	07
2.3.1 - O método	07
2.3.2 - A Interpretação	10
3. CONCLUSÕES	15
3.1 - Dos objetivos	15
3.2 - Dos aspectos econômicos	16
3.3 - Das considerações finais	22
4. BIBLIOGRAFIA	23

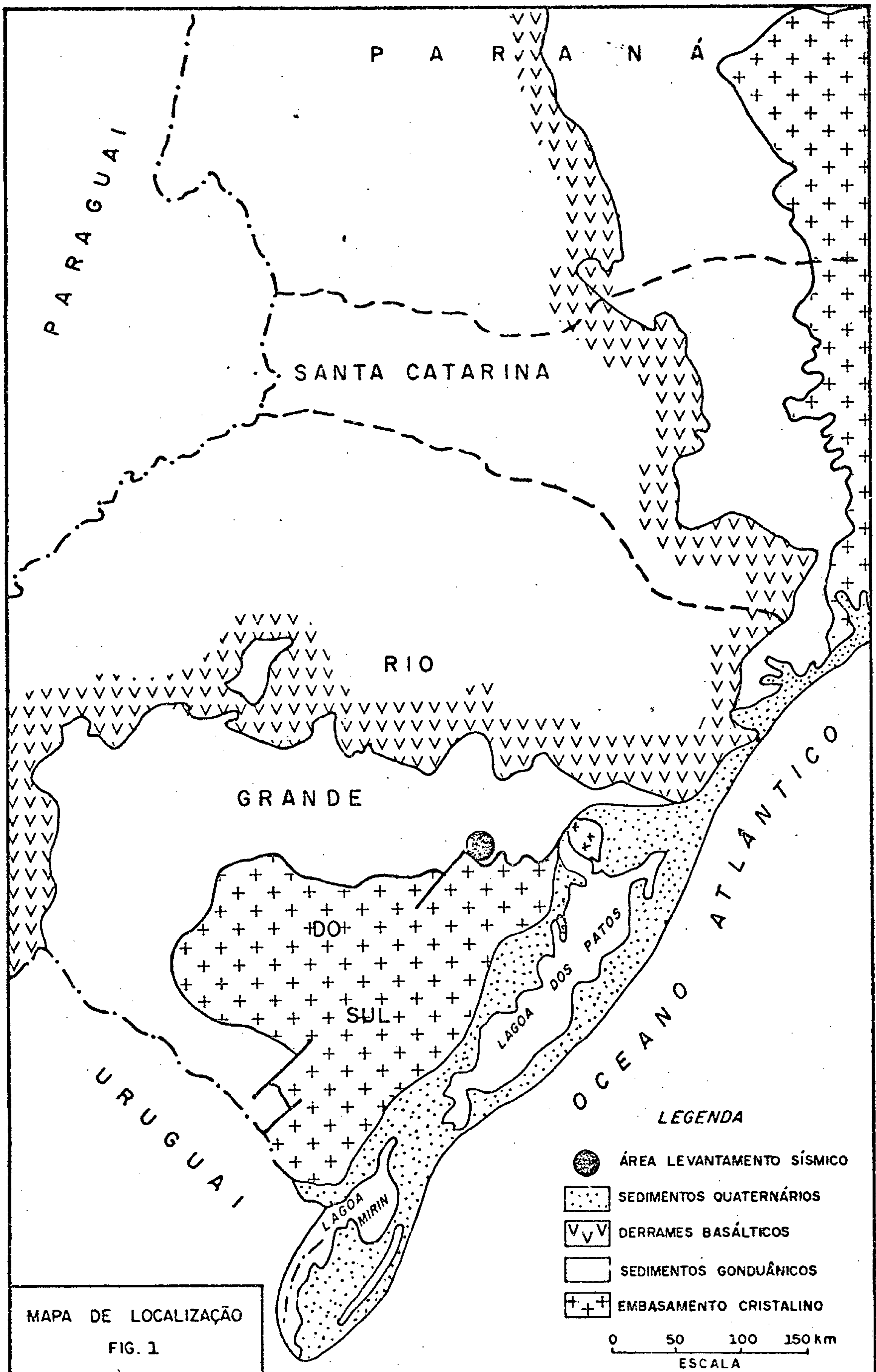
1. INTRODUÇÃO

O presente relatório submete à apreciação a interpretação de área do Município de Butiã-RS, ao norte de Minas do Leão, no vale do Rio Jacui (Mapa de Localização - fig. 1), onde se praticou o método sísmico de Alta Resolução, sobre malha de sondagem de 1 km, para detalhamento de camadas de carvão não aflorantes.

Foram realizados cerca de 100 km de perfis sísmicos de reflexão, com parâmetros de Alta Resolução em área com cerca de 100 km². A interpretação incorporou os dados sísmicos bem como os dos furos, de forma integrada.

Abordam-se, na interpretação, aspectos gerais e pormenorizados. Nas conclusões procura-se avaliar o método através de considerações técnicas quanto aos objetivos e quanto aos aspectos econômico-financeiros.

A equipe autora do presente trabalho consultou o Dr. Frederick William Hales, contratado para essa função.



1.1 - Metodologia e Instrumentação

1.1.1 - Da Aquisição dos Dados

O sistema utilizado na aquisição dos dados foi o MDS-10, de fabricação da GEOSOURCE Inc., de Houston, Texas, USA. Este é um sistema de registro digital, com 48 canais para um período de amostragem (sample rate) de 0,001 s, 24 canais para 0,0005 s, 12 canais para 0,00025 s, etc. Os geofones foram os Min-Max, também da GEOSOURCE, com corta-baixo de 28 Hz, em grupos de 10, funcionando pontualmente.

Para registrar usou-se técnica CDP (common depth point) com cobertura de 1200%.

As correções estáticas, de topografia e zona de intemperismo, foram calculadas na forma convencional, sendo a refração rasa executada com instrumento NIMBUS ES 1210 de realce de sinal, com 12 canais.

O espaçamento entre estações foi de 10 metros. A fonte de energia foi dinamite convencional de 60%, com espoletas sismográficas.

As cargas foram colocadas em furos de trado manual e/ou motorizado, rasos, em arranjos, e em furos de sonda Mayhew 1000, perfurados até a interface da zona de intemperismo.

1.1.2 - Do Processamento

Para processar os dados dispôs-se de um Sistema TEMPUS, da GEOSOURCE. Essencialmente o processamento consistiu em demultiplexação, correções estáticas, move-out, empilhamento (stacking) a 1200%, deconvolução (spike), recuperação de amplitudes e estática residual.

2. INTERPRETAÇÃO

2.1 - Geral

As seções sísmicas foram interpretadas segundo o modelo clássico:

- a. a partir dos perfis geológicos dos furos existentes - nas linhas ou seções sísmicas acha-se a reflexão ou reflexões dos horizontes que se pretende interpretar e correlacionar;
- b. se não houver furo de sonda em uma dada seção sísmica, toma-se, como ponto de partida, sua interseção com outra linha;
- c. feita a correlação furo de sonda/perfil sísmico, conduz-se a correlação, no interior deste, por continuidade e/ou caráter.

Uma vez interpretadas todas as seções sísmicas, optou-se por mostrar um mapa estrutural (Anexo 1) do topo da zona de carvão, que, entre outros atributos, teve o de constituir-se em horizonte consistente na quase totalidade da área em questão.

Este mapa é simultaneamente:

- a. de alta resolução no interior de cada linha, perfil ou seção sísmica pois permite a visualização de falhas - com desnível de até 3 metros;
- b. convencional, no que diz respeito à correlação entre linhas sísmicas, pois a programação, nesta área, teve sentido experimental e pioneiro, não se atendo a todos os requisitos espaciais, necessários à obtenção de alta resolução em três dimensões.



COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
C P R M
MAPA ESTRUTURAL
 ÁREA: MINAS DE LEÃO "B"
 LOCAL: BUTIÁ-RS
 EQUIPE: AR-01
 Escala 1:100.000
 ANEXO 1

O mapa aqui apresentado é, sobretudo, um mapa de falhas pois tal é a densidade destas, mormente as de pequeno porte que, frequentemente, o intérprete se vê impossibilitado de traçar contornos estruturais. O termo falha aqui é usado no sentido de deslocamento relativo entre partes de uma mesma camada ou conjunto de camadas com conseqüente desnível de componente predominantemente vertical. Aí podem estar incluídas tanto falhas conseqüentes de tectonismo, como rupturas decorrentes de acomodação das camadas durante a sedimentação e/ou diagênese.

Ver-se-á mais adiante a evidência insofismável da presença dessas perturbações nas seções sísmicas. Vale assinalar que, no mapa em questão, não foi possível representar todas as falhas pequenas (3 a 5 metros de desnível), dado que tal mapa foi originalmente confeccionado na escala 1:25000.

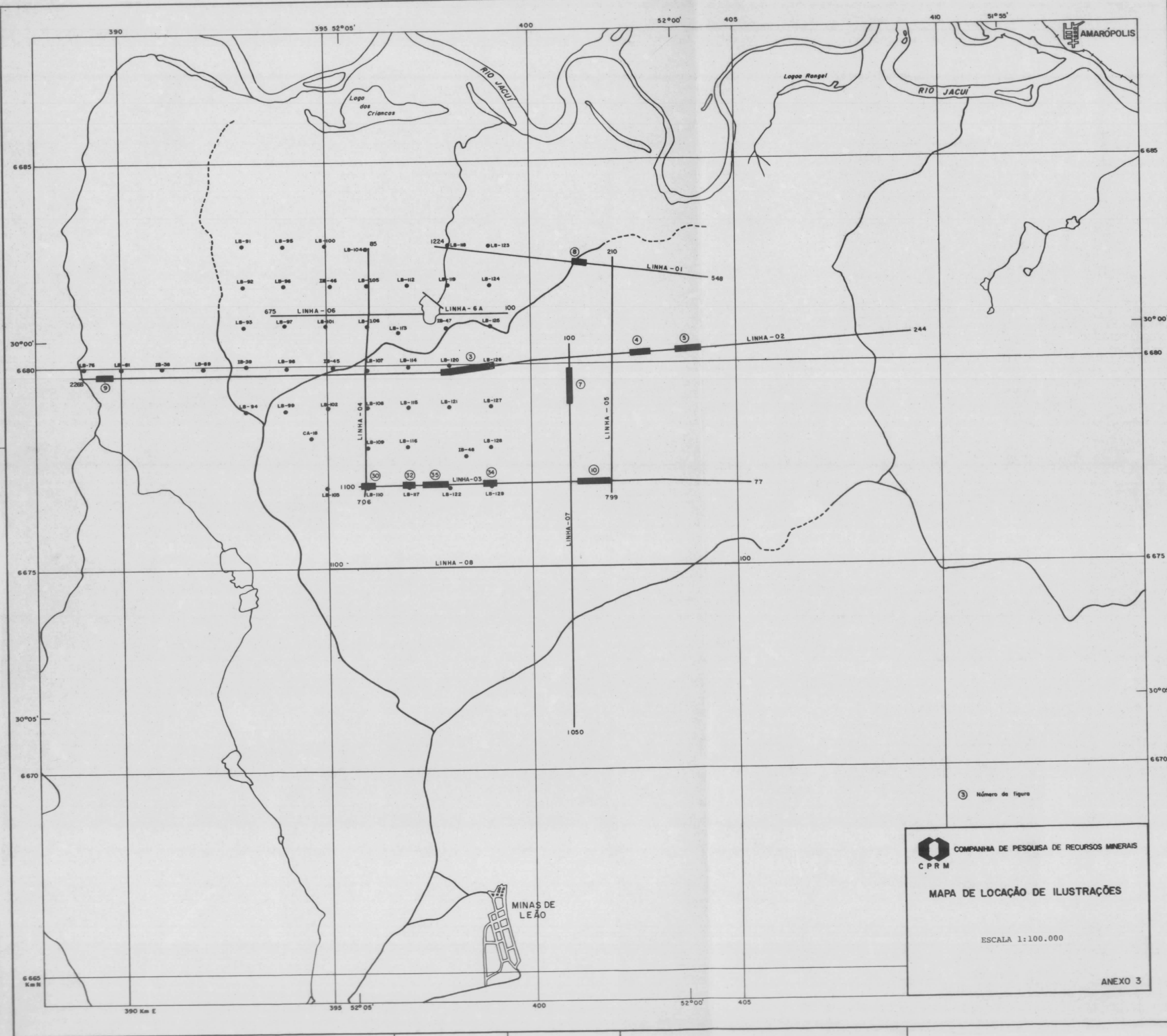
Assim sendo, é certo que há muito mais "falhas" do que as assinaladas.


Esse fato e este mapa, que é uma forma elementar de apresentação de resultados, ilustram enfaticamente a importância da Sísmica de Alta Resolução para o detalhamento de jazimentos de carvão. Não existe malha de sondagem densa o suficiente para substituí-la na detecção e localização destes (e de outros) elementos estruturais.

Na parte leste do mapa apresentado, entre as linhas 8, 7, 5, 3 e 2, aparece uma grande zona de falhas com direção predominantemente nordeste, estando os blocos de sudeste alçados em relação aos blocos de noroeste. Esta zona vem sendo indicada, de forma esquemática, nos mapas geológicos, com o nome de Falha do Leão. Num dos blocos sudeste desta zona situa-se a Mineração Recreio (céu aberto).

De um modo geral este mapa sugere extremos cuidados no planejamento de eventual mineração de carvão na área (inclusive - mais detalhamento com Sísmica de Alta Resolução).

A seguir mostra-se uma série de trechos selecionados das seções sísmicas interpretadas que demonstram a presença das falhas representadas no mapa estrutural. Para localização dos trechos vi de Anexo 3. Observa-se a zona do carvão (em torno de 200m abaixo do nível do mar) e o calcário da Formação Irati.




COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
CPRM
MAPA DE LOCAÇÃO DE ILUSTRAÇÕES
 ESCALA 1:100.000
ANEXO 3

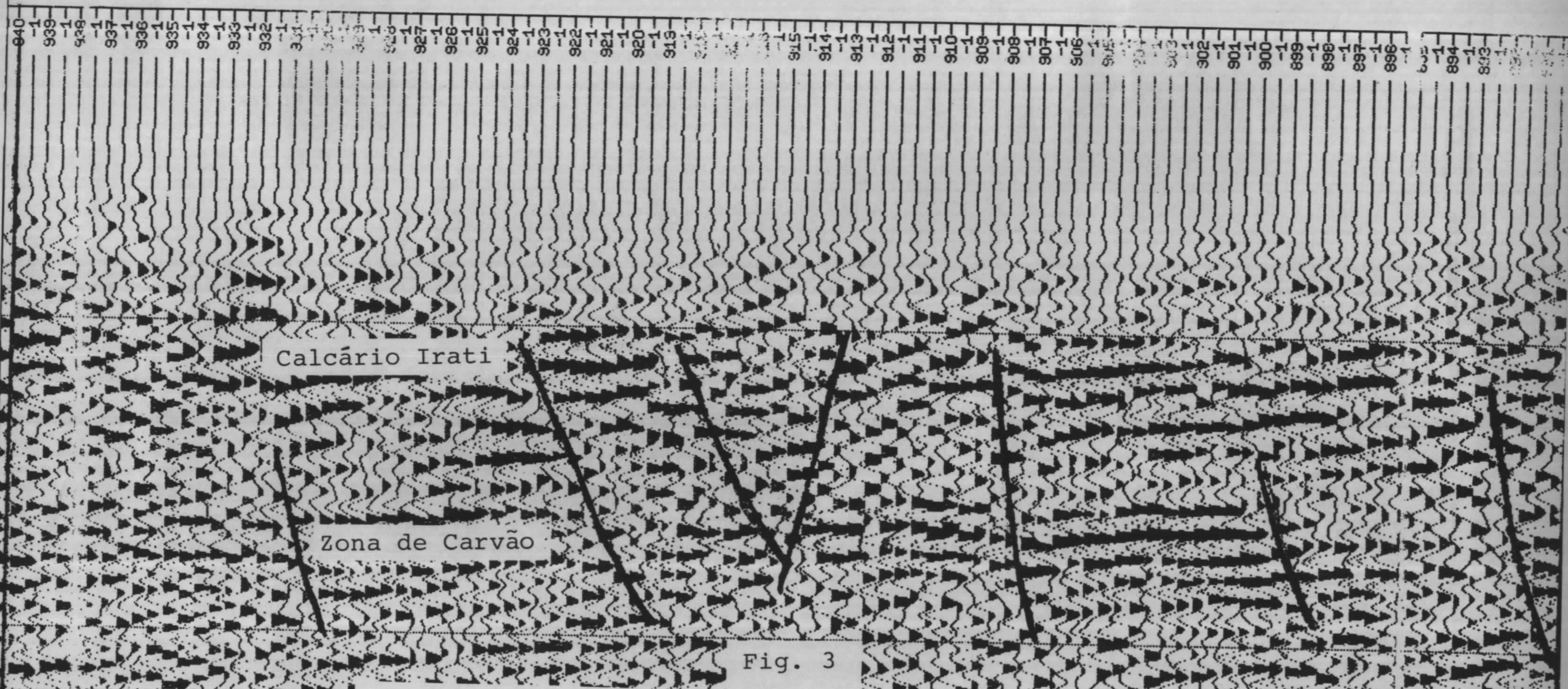
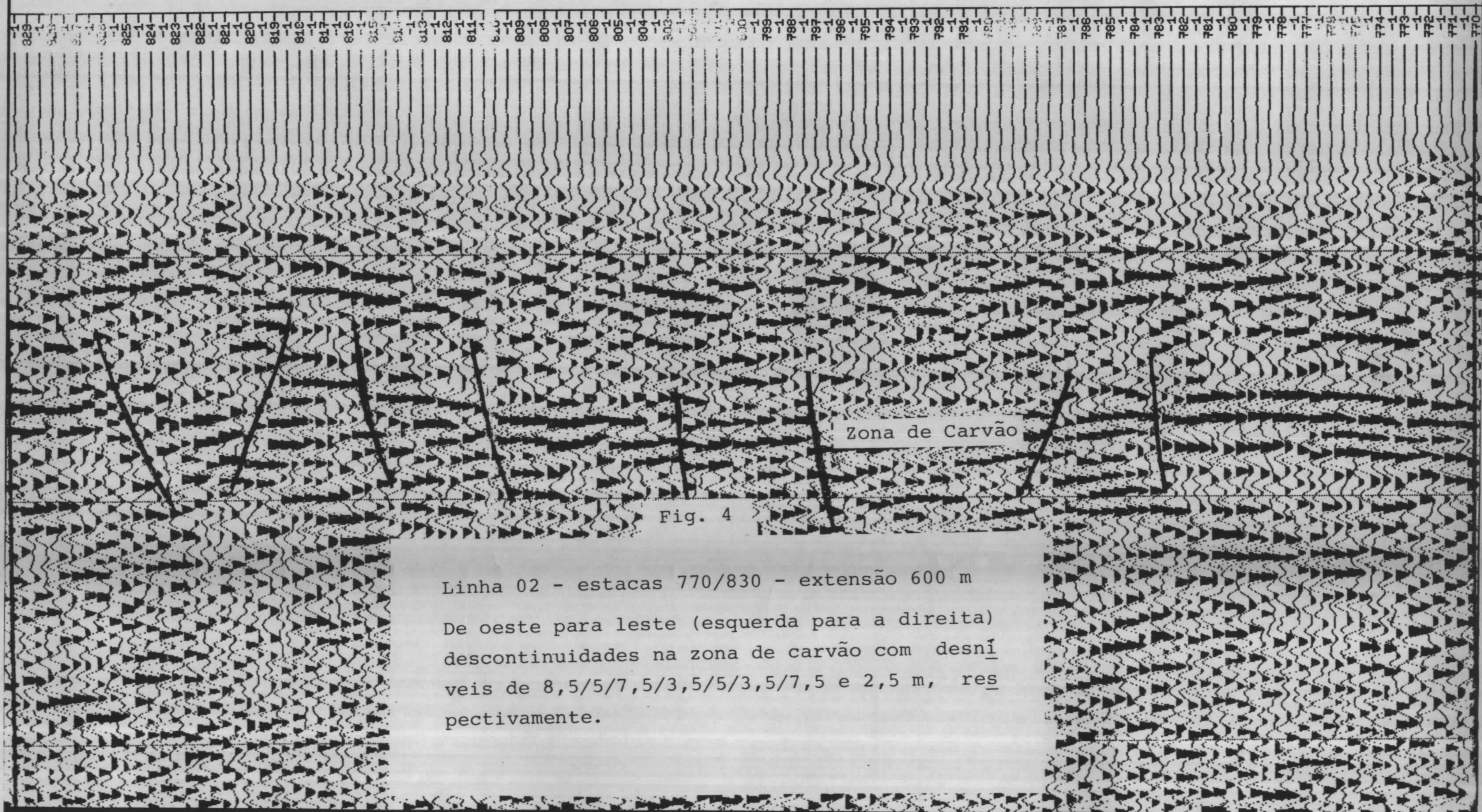
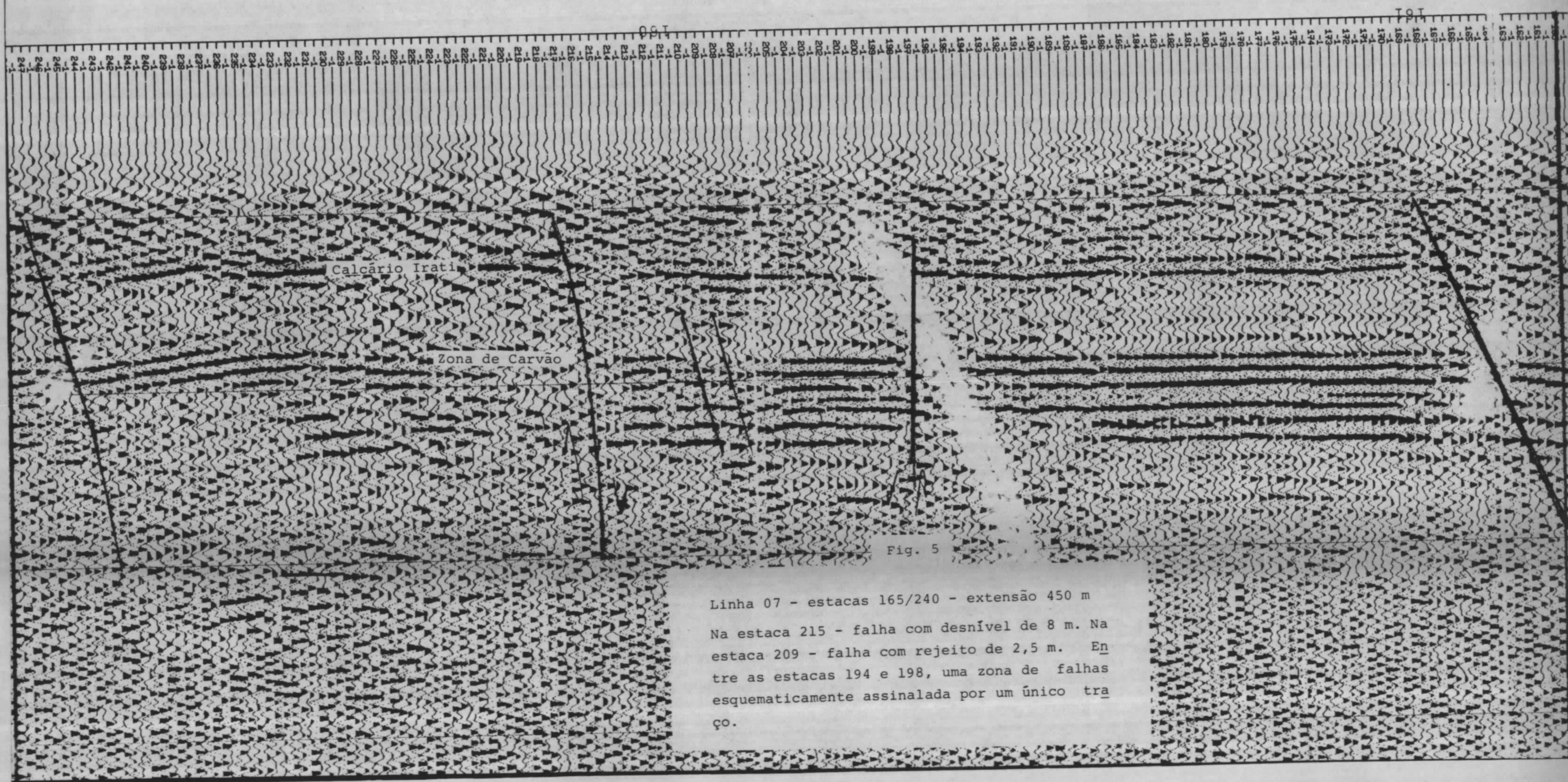


Fig. 3

Linha 02 - estacas 890/940 - extensão 500 m

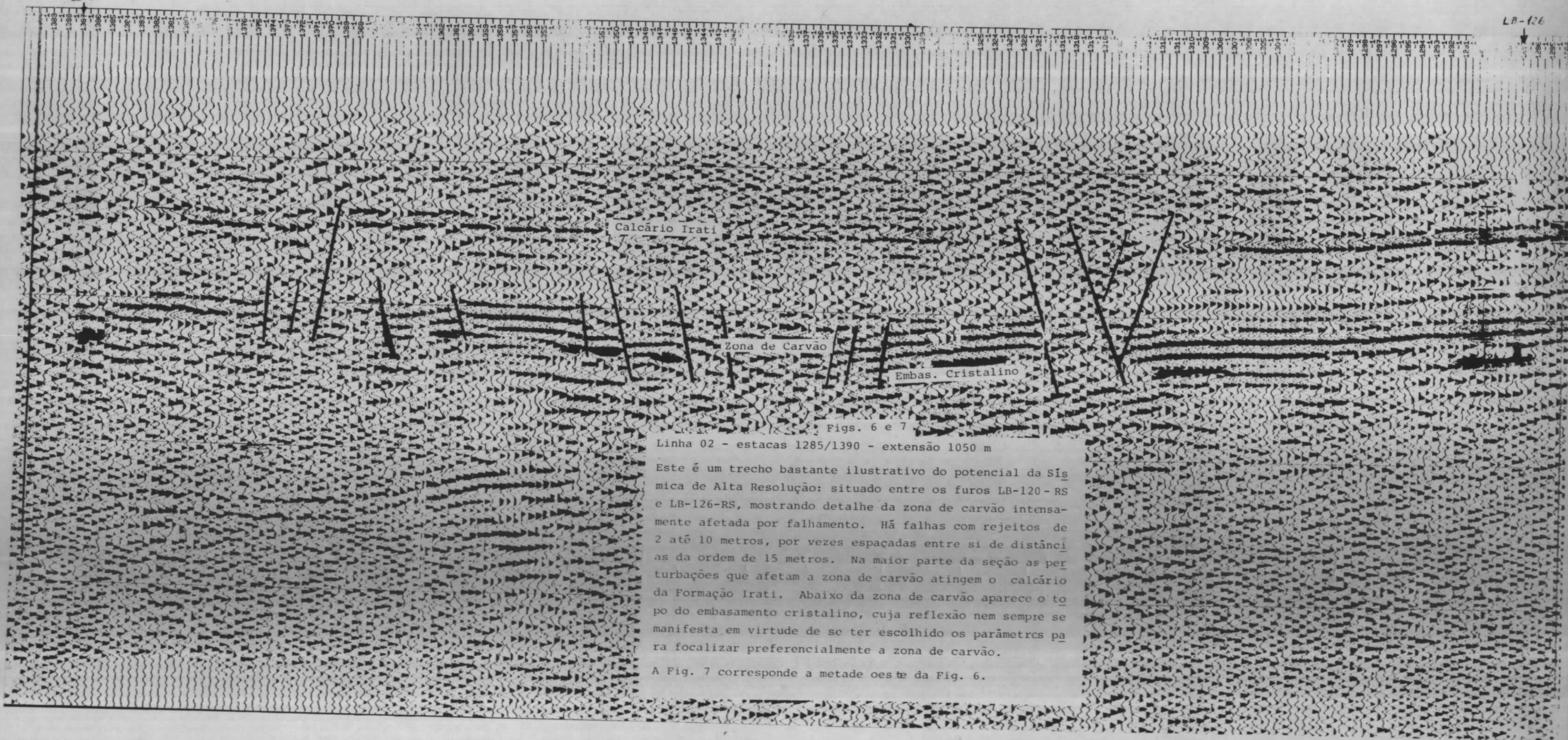
Diversas falhas de pequeno desnível afetando a zona de carvão. Por exemplo: na estaca 908 uma falha com desnível de 3 metros e na estaca 899, outra com 8 metros.





LB-120

LB-126

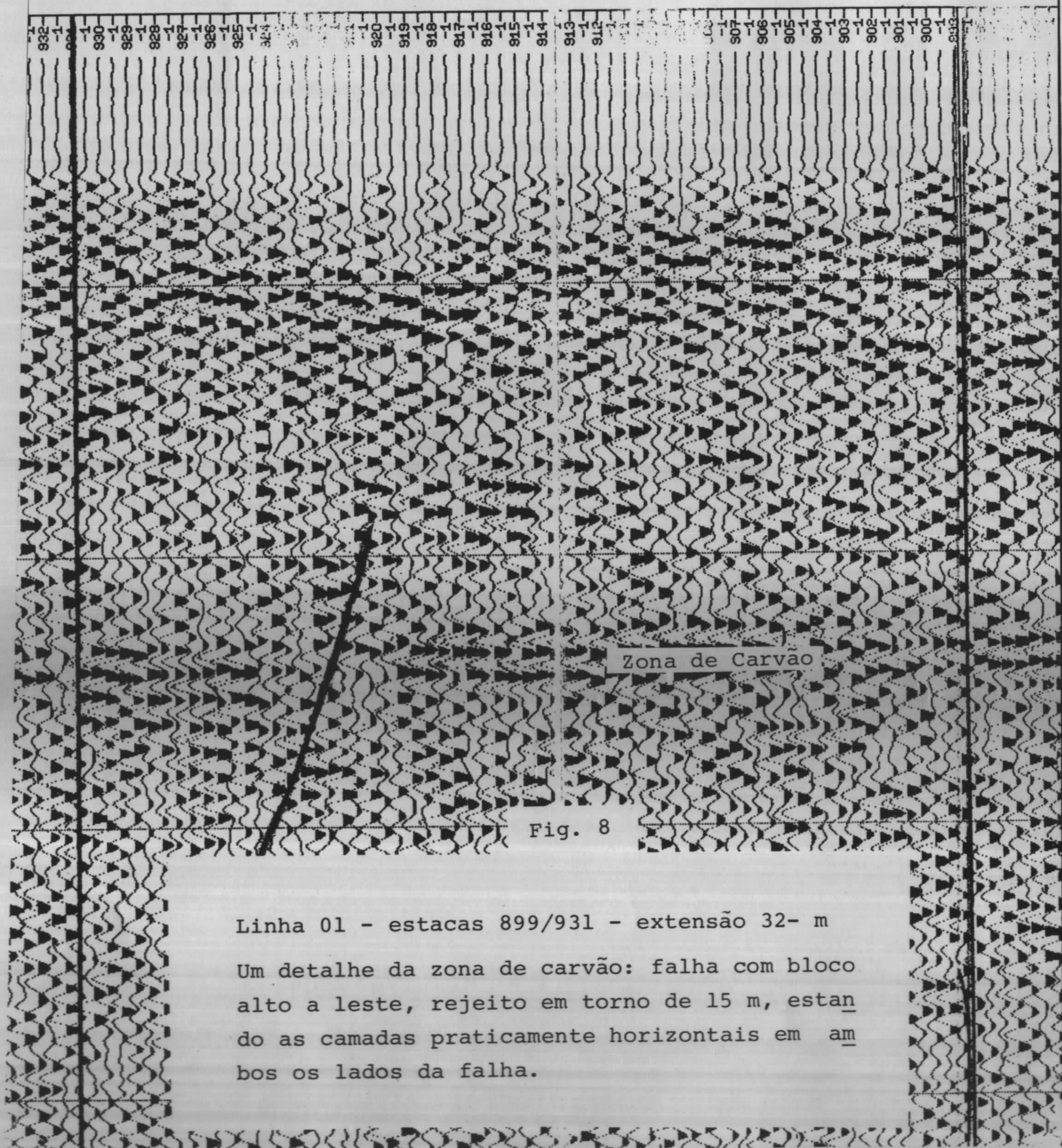


Figs. 6 e 7

Linha 02 - estacas 1285/1390 - extensão 1050 m


Este é um trecho bastante ilustrativo do potencial da Sísmica de Alta Resolução: situado entre os furos LB-120-RS e LB-126-RS, mostrando detalhe da zona de carvão intensamente afetada por falhamento. Há falhas com rejeitos de 2 até 10 metros, por vezes espaçadas entre si de distâncias da ordem de 15 metros. Na maior parte da seção as perturbações que afetam a zona de carvão atingem o calcário da Formação Irati. Abaixo da zona de carvão aparece o topo do embasamento cristalino, cuja reflexão nem sempre se manifesta em virtude de se ter escolhido os parâmetros para focalizar preferencialmente a zona de carvão.

A Fig. 7 corresponde a metade oeste da Fig. 6.



Linha 01 - estacas 899/931 - extensão 32- m

Um detalhe da zona de carvão: falha com bloco alto a leste, rejeito em torno de 15 m, estando as camadas praticamente horizontais em ambos os lados da falha.



Calcário Irati

Zona de carvão

Fig. 9

Linha 02 - estacas 2187/2224 - extensão 370 m

No extremo leste deste trecho situa-se o furo LB-81-RS. Aparecem dois falhamentos de grande rejeito cortando todo o pacote. O de oeste tem rejeito da ordem de 30 m e o de leste, 20 m.

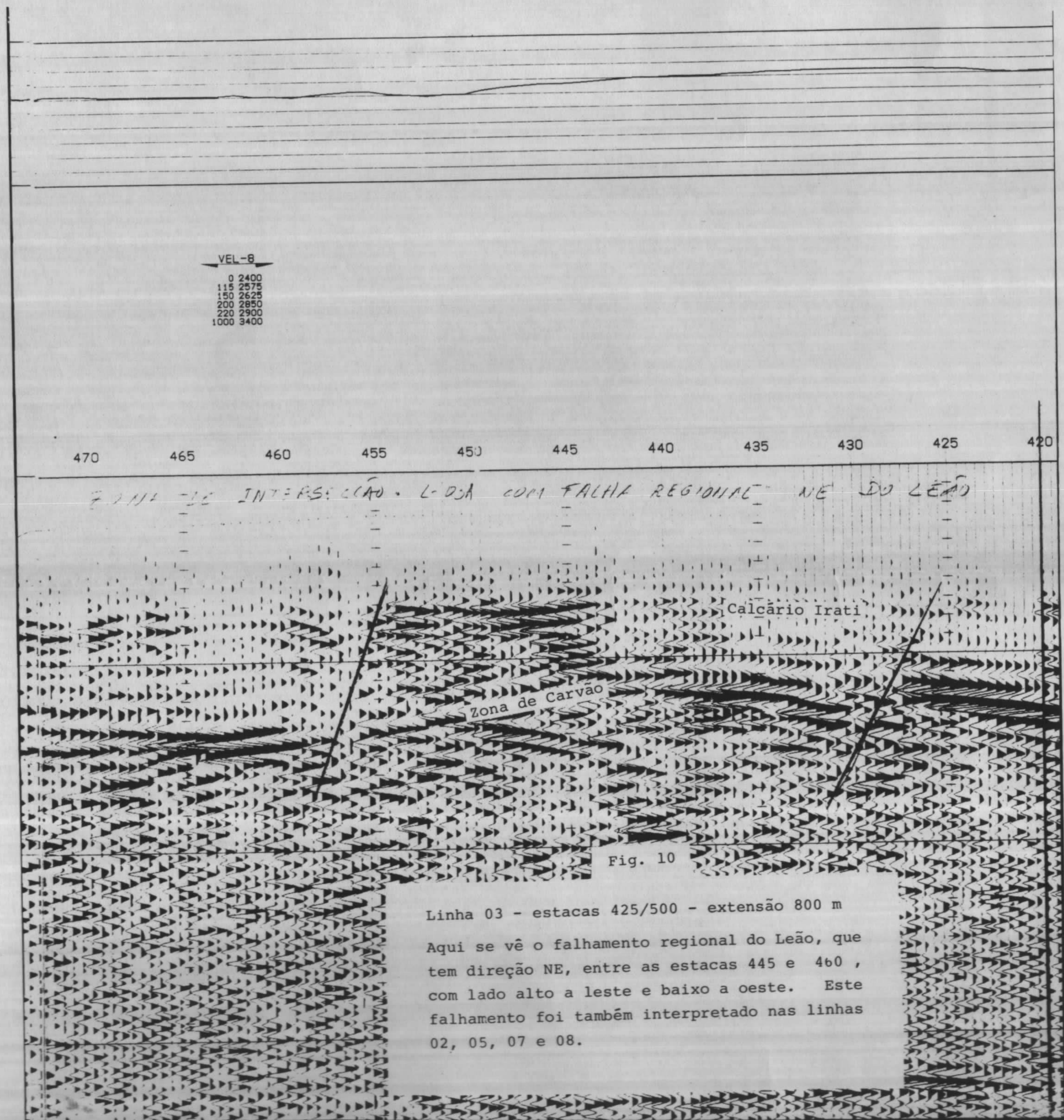


Fig. 10

Linha 03 - estacas 425/500 - extensão 800 m
 Aqui se vê o falhamento regional do Leão, que tem direção NE, entre as estacas 445 e 460, com lado alto a leste e baixo a oeste. Este falhamento foi também interpretado nas linhas 02, 05, 07 e 08.

2.2. - As Velocidades Sísmicas na Área

Além das análises de velocidade rotineiramente feitas no computador e indicadas nas seções sísmicas, foi feito um levantamento em furo de sonda (Well Velocity Survey) que produziu os resultados mostrados no Anexo 2. No Anexo 3 está assinalada a localização do furo em que foi realizado o WVS.

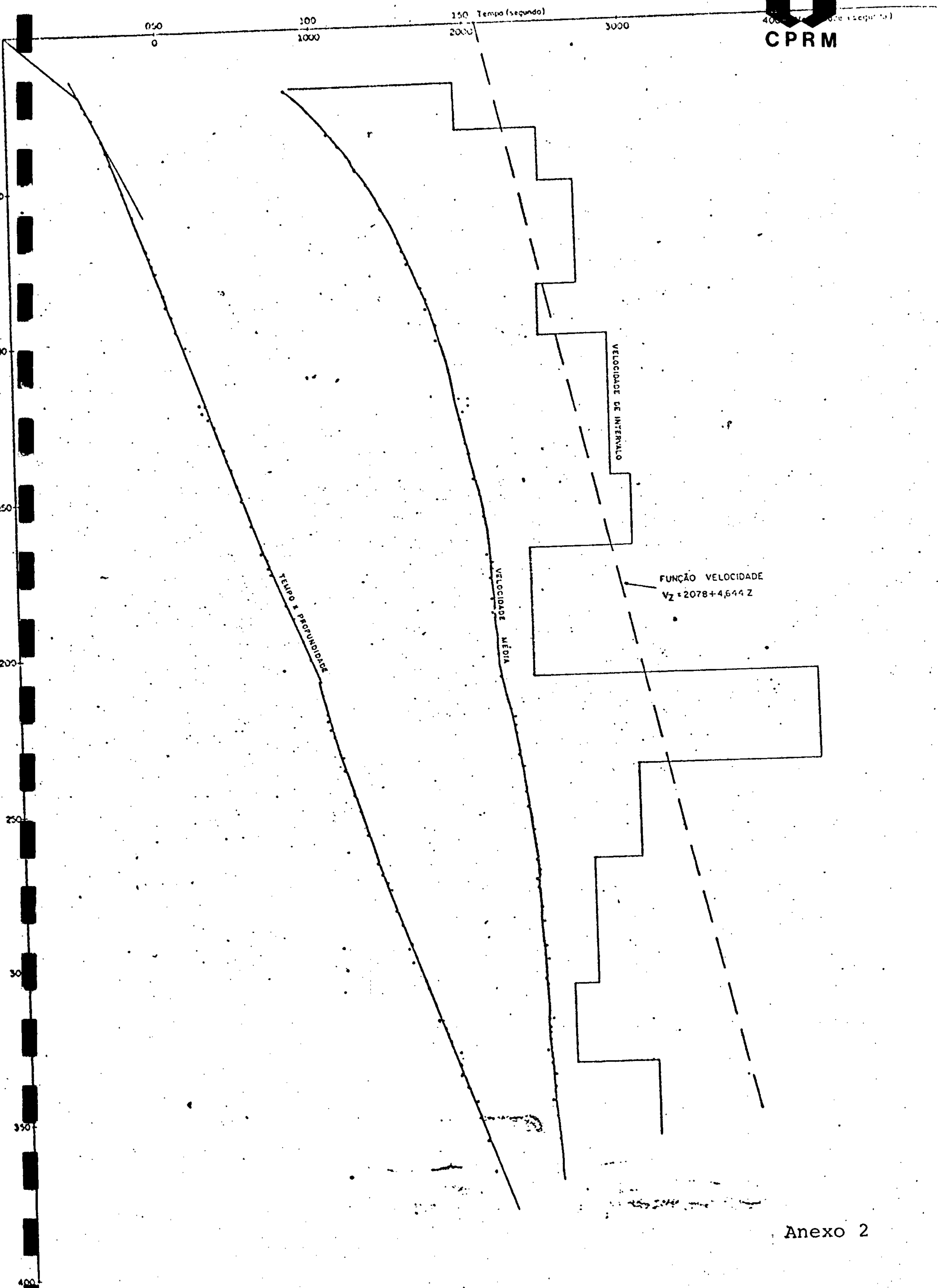
A função velocidade, do tipo linear, deduzida, foi:

$$V_z = 2078 + 4,644 Z$$

Sendo V_z - velocidade à profundidade z

z - profundidade sob o nível do mar, elevação.

Essa função mostrou satisfatória concordância para a área, tanto em relação aos furos, como em relação às análises de computador.



2.3 - Interpretação Pormenorizada

2.3.1 - O método

Realizou-se intensa experimentação no campo para a obtenção de frequências mais altas. Isso com reflexos, inclusive, na produção da equipe. Como resultado obtiveram-se frequências de sinal da ordem 110/120 Hz com valores máximos em redor de 200 Hz.

Os períodos correspondentes (8 e 5 milissegundos, respectivamente) deixam claro que em uma interpretação convencional (reflexões do topo e base das camadas) não seria possível analisar em minúcia o comportamento das camadas de carvão do Butiá as quais se apresentam com um máximo de 2 metros de espessura.

Entretanto, com base na forma e na teoria de propagação de ondículas sísmicas (Ricker, N., 1953 op.cit. Bibl.) foi possível, como será demonstrado, analisar individualmente as camadas de carvão com abundante e, às vezes, surpreendente detalhe.

A questão básica é: qual é a forma da perturbação sísmica que se propaga a partir da explosão de uma carga de dinamite no solo e quais as leis de propagação desta perturbação? A resposta a essa indagação conduz à abordagem adequada e, crê-se, original às questões envolvendo resolução sísmica e delineamento individualizado de camadas delgadas com suficiente contraste de impedância acústica para se tornarem refletoras.

Na base teórica da resposta se verifica que o pulso da explosão é um "spike", o qual se convolve ao longo do trajeto, diminuindo em amplitude e crescendo em largura à medida que se afasta do centro da explosão (fig. 2). Esse o fato teórico, experimentalmente comprovado (Ricker, 1953 op.cit.), sobre o qual se assenta o método interpretativo de alta resolução que será mostrado mais adiante.

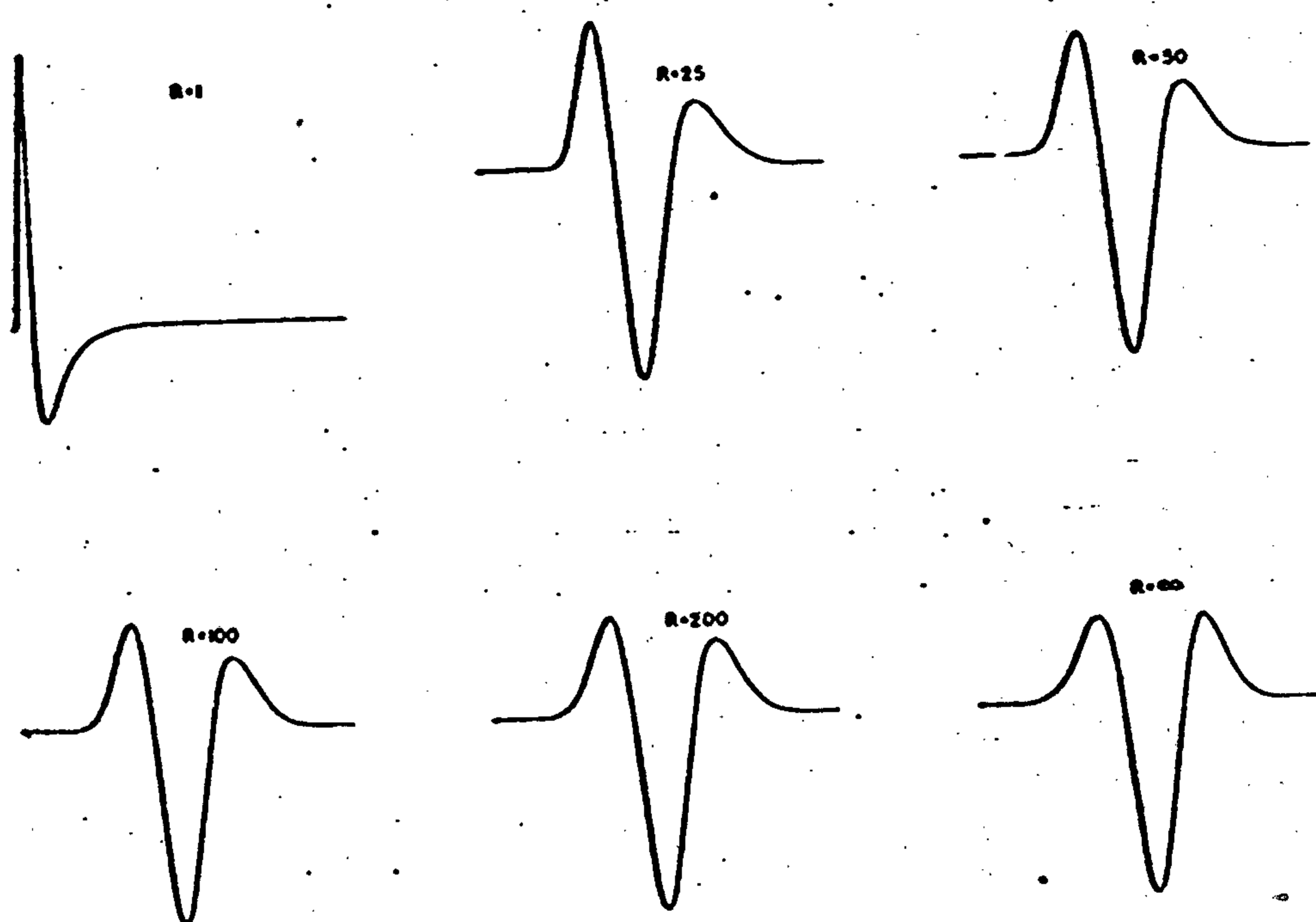


Fig. 2 Computed velocity-type wavelet forms.

Fig. 2

Nas ilustrações que se seguem, estão mostradas as bases e a demonstração da interpretação por ondículas sísmicas.

Na figura 11 observa-se a ondícula em suas formas mais simples: à esquerda, camada com espessura muito maior (infinito) que a largura da ondícula e, à direita, camada com espessura limitada (finita) com respeito à largura da ondícula. No primeiro caso, o sinal recebido será uma ondícula simples representando o topo do refletor. Neste caso teremos ondículas de polaridade invertida para topo e base (caso em que a impedância acústica seja igual ou aproximadamente igual, em valor absoluto, no topo e na base da camada). No segundo caso, a ondícula resultante, ou seja, o sinal efetivamente recebido, vai depender da relação entre a espessura da camada e as larguras das ondículas componentes, que, por sua vez, dependem da frequência. O sinal resultante, isto é, o traço sísmico real poderá então permitir que se analise as características da camada. Por vezes, no caso mais simples, o topo e a base da camada corresponderão aos picos positivos e negativo do traço sísmico, respectivamente. Outras vezes a análise ater-se-á a feições mais complexas da ondícula vista no sismograma.

A figura 12 busca predizer, do ponto de vista teórico, a natureza genérica das ondículas na área em questão (Butiã). Sendo W a largura da ondícula, temos que para uma frequência de 110 Hz, essa largura será de 4 milissegundos.

A partir daí pode-se determinar a defasagem entre uma ondícula do topo e outra da base de uma camada, determinando-se o tempo de ida-e-volta (topo-base-topo), a partir da espessura e velocidade de propagação, pré-determinadas, da camada. Computando a ondícula por esse método pode-se analisar tantos modelos quantos forem os casos propostos a partir, por exemplo, dos furos de sonda e analisar suas variações.

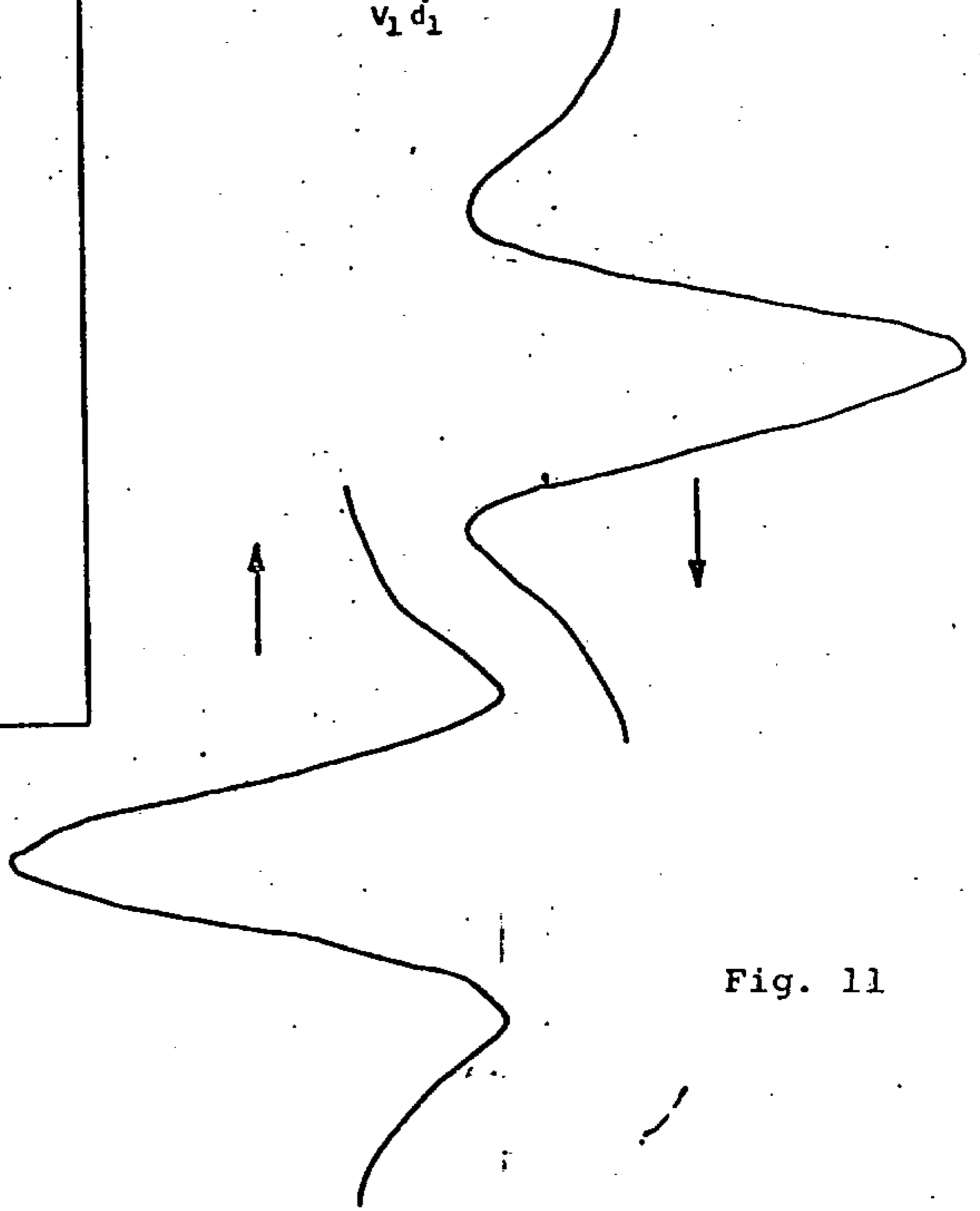
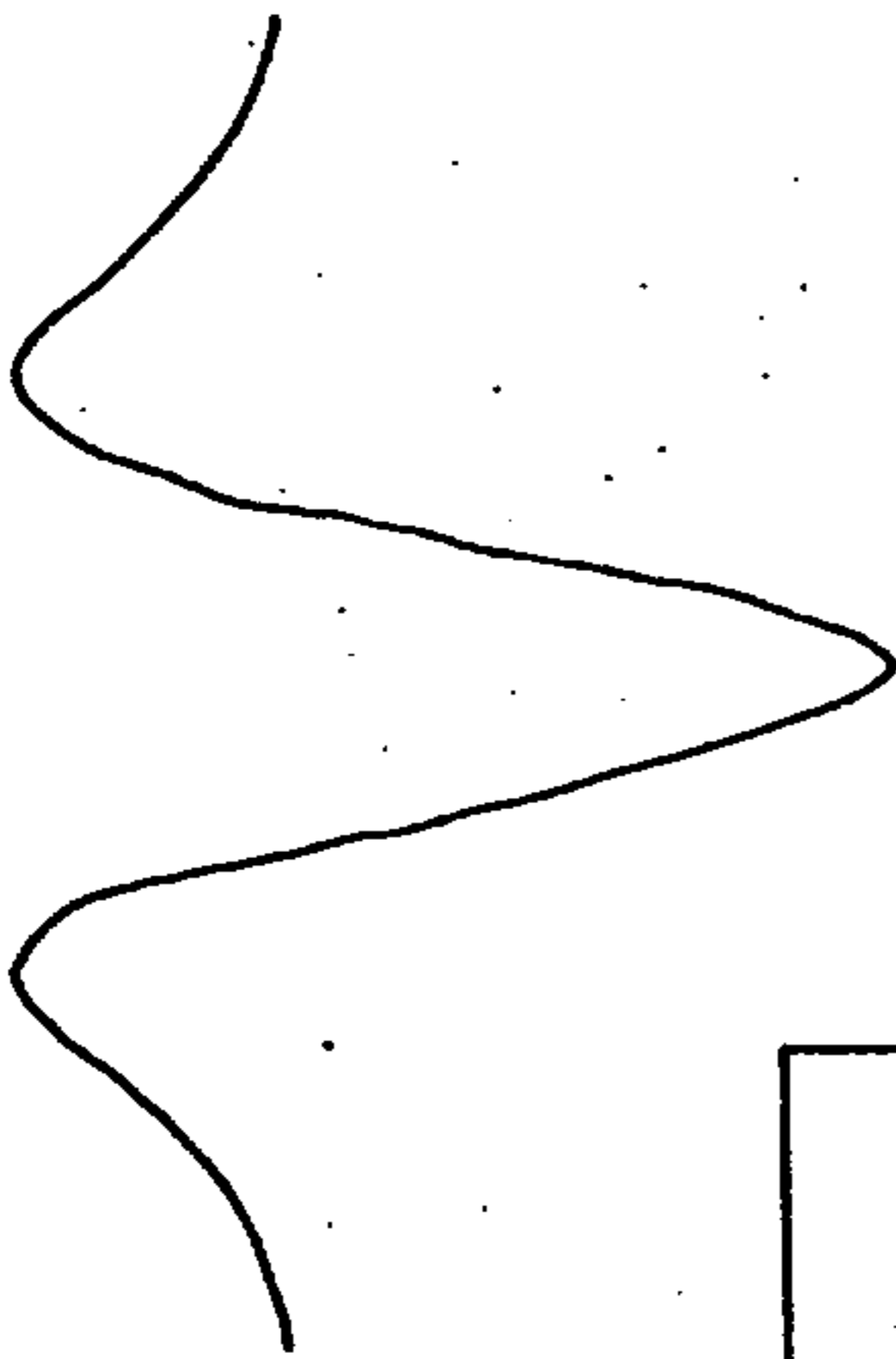
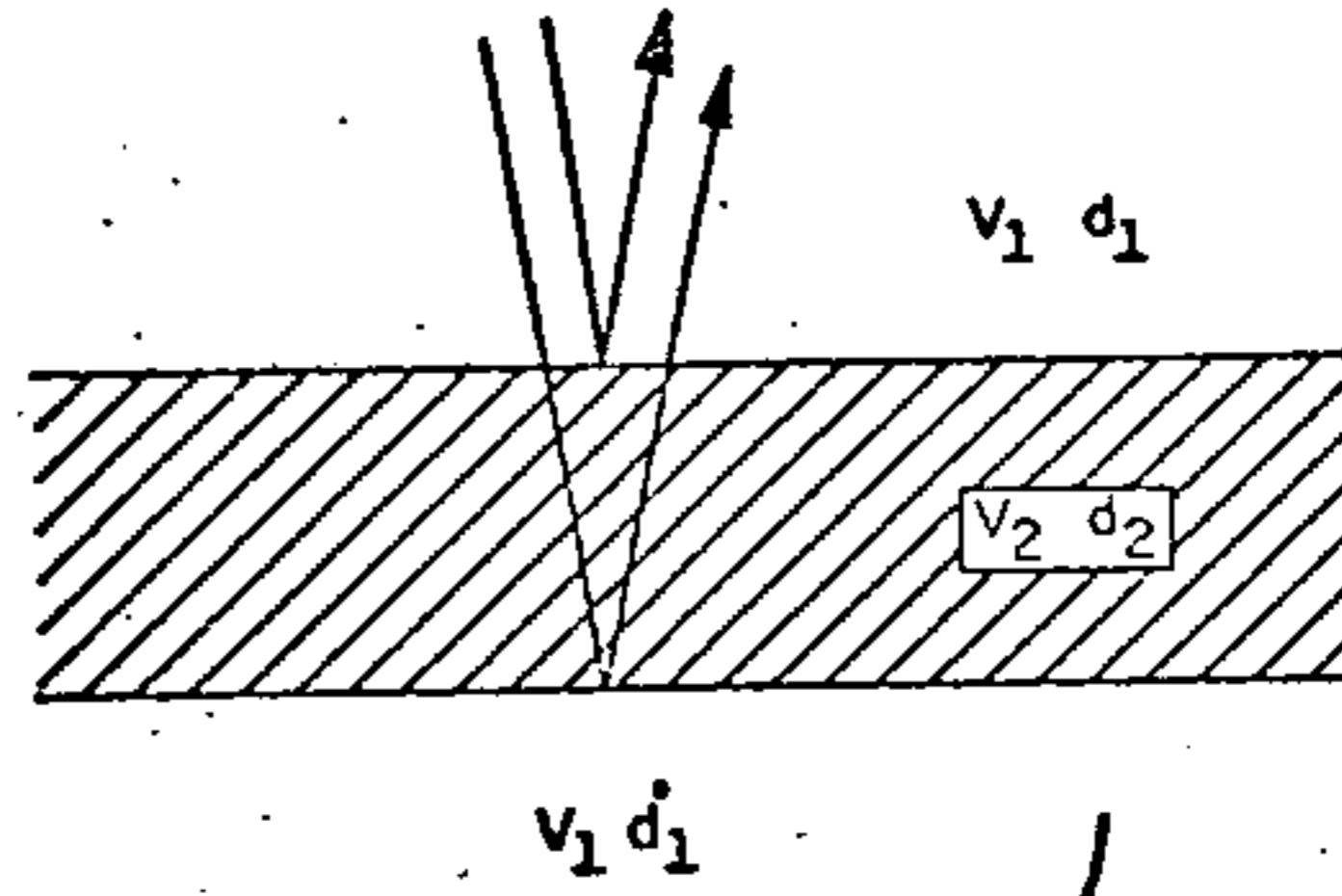
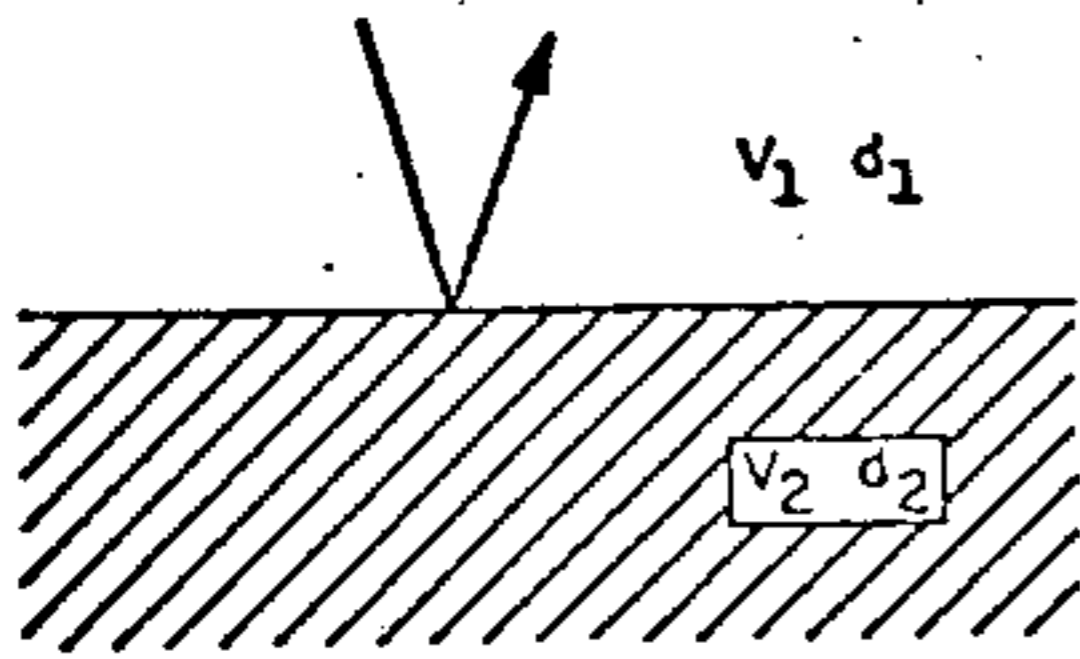
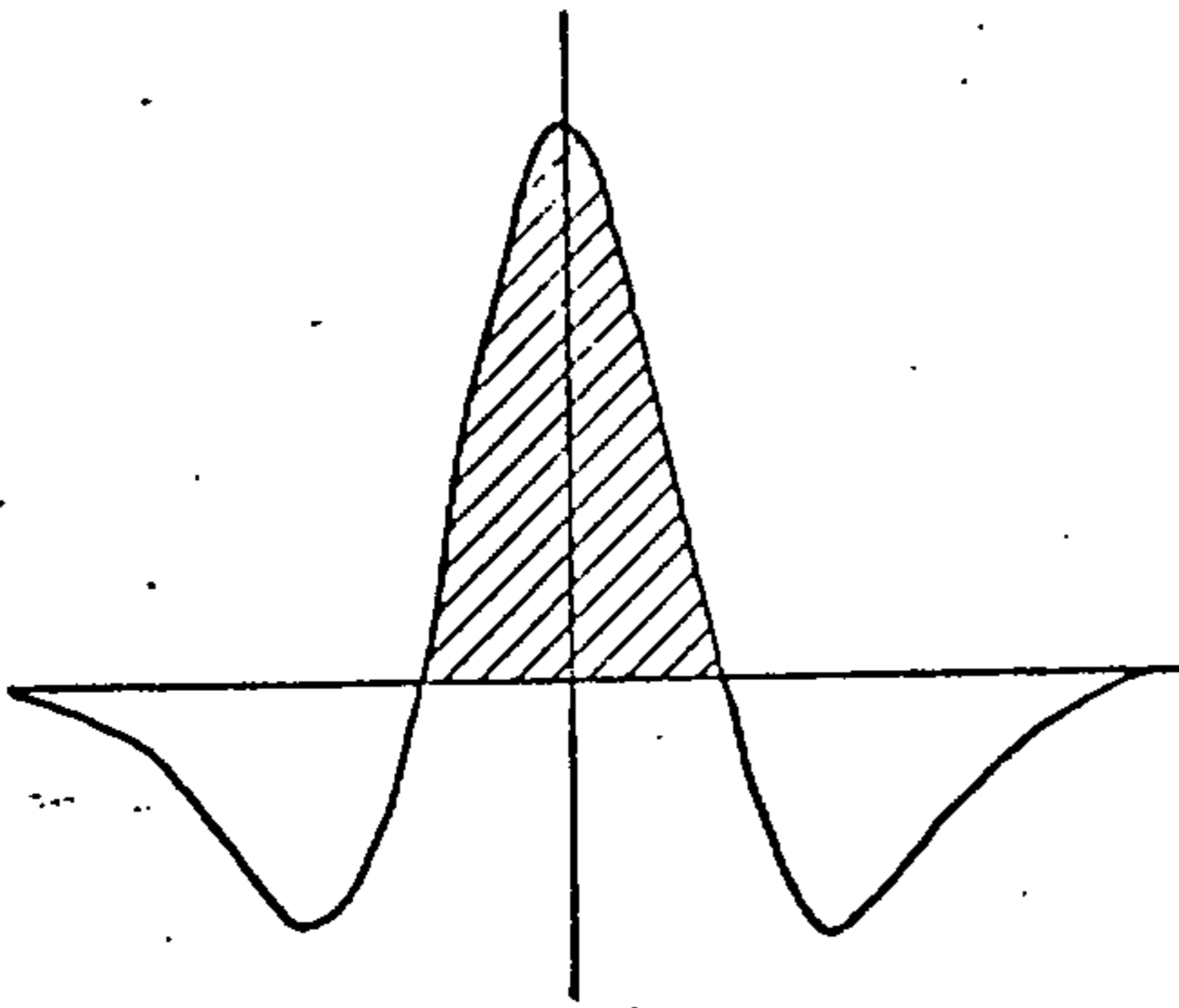
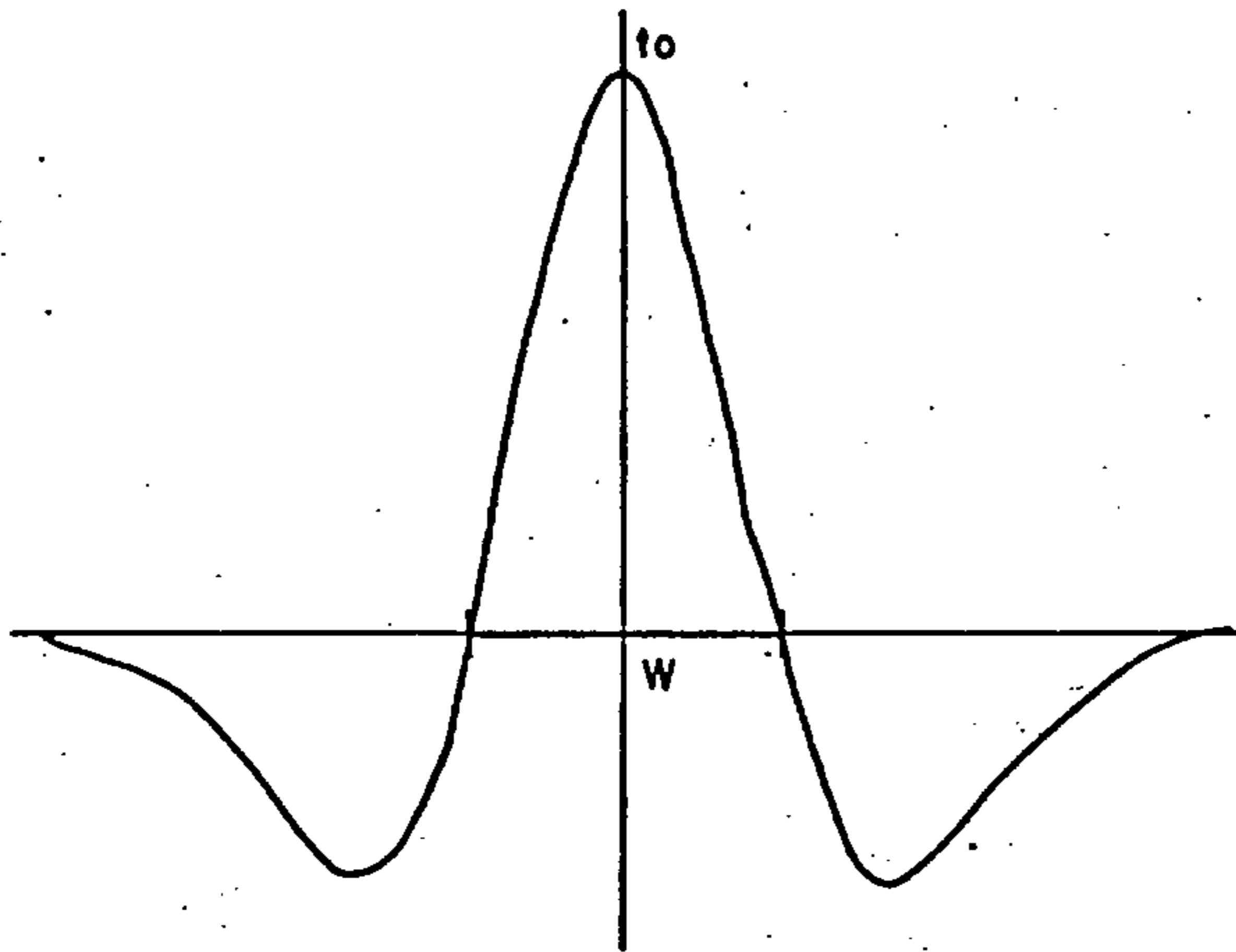


Fig. 11

III



$$V = [1 - T^2/2] e^{-T^2/4}$$

$$T = 2 \pi f (t - t_0)$$

Quando $V = 0$

$$T^2/2 = 1 \therefore T = \pm 1.4$$

$$\pm 1.4 = 2 \pi f (W/2) = \pi f W$$

$$f = \frac{\pm 1.4}{\pi \cdot W} \therefore f = \frac{0.450}{W} = \frac{450}{W(\text{ms})}$$

Nosso caso:

$$f \cong 110 \text{ Hz}$$

Então:

$$W \cong 4 \text{ ms}$$

Fig. 12

Antes porém, convém analisar alguns modelos teóricos de uma e de duas camadas.

A figura 13 mostra o que seriam as ondículas resultantes para uma camada sucessivamente de 0,5/1/2 e 3 metros. Os sinais das camadas de 0,5 e de 1 metro teriam amplitudes muito pequenas na escala de nossos sismogramas, e só seriam visíveis se a relação sinal/ruído fosse extremamente alta.

A figura 14 inicia uma série de modelos de duas camadas. Nesta temos 2 camadas de 2m cada, afastadas de 0,25m. Nas figuras 15 a 28 o afastamento entre as camadas cresce de 0,5 até 5,00 metros.

Dessa série de modelos (sempre com base em uma frequência dominante de 110 Hz) pode-se tirar algumas conclusões de grande interesse:

- até um afastamento de 1,5m (fig. 14, 15, 16, 17, 18 e 19) não ocorre feição, fase ou deformação na ondícula que permita no registro sísmico, perceber a existência de 2 camadas. Desse modo, para efeitos interpretativos, até 1,5m de afastamento, as duas camadas são inseparáveis no sismograma;
- quando se atinge afastamento de 1,75m começa a aparecer deformação na fase negativa da ondícula, passível de identificação no registro sísmico;
- a partir de 2m de afastamento já há uma definição, facilmente identificável no sismograma, de picos positivos e negativos separados para topo e base de cada camada;
- à vista do acima exposto pode-se inferir que o grau de resolução no caso em tela (área do Butiá), tem como limite inferior 1,75 metros.

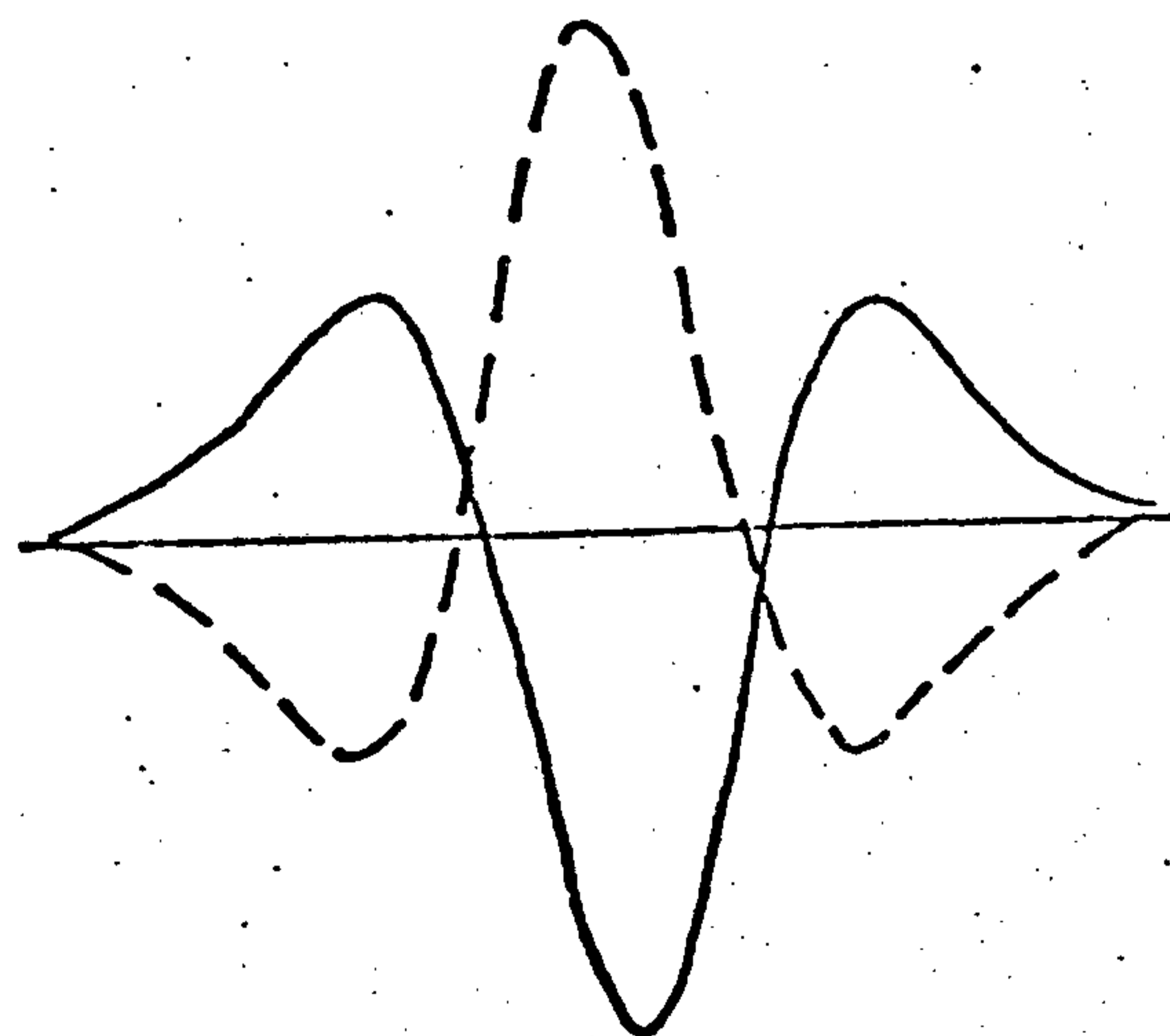
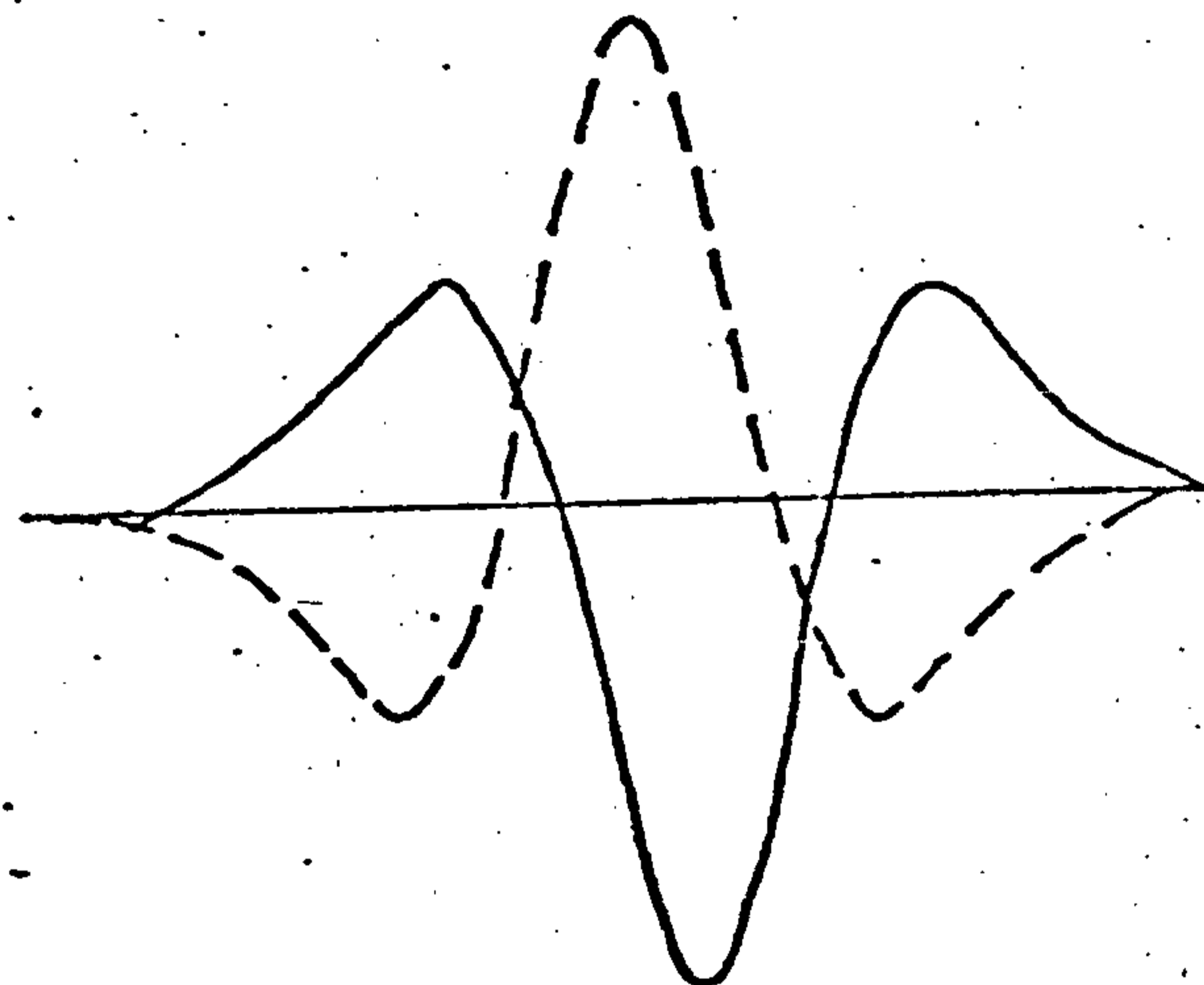
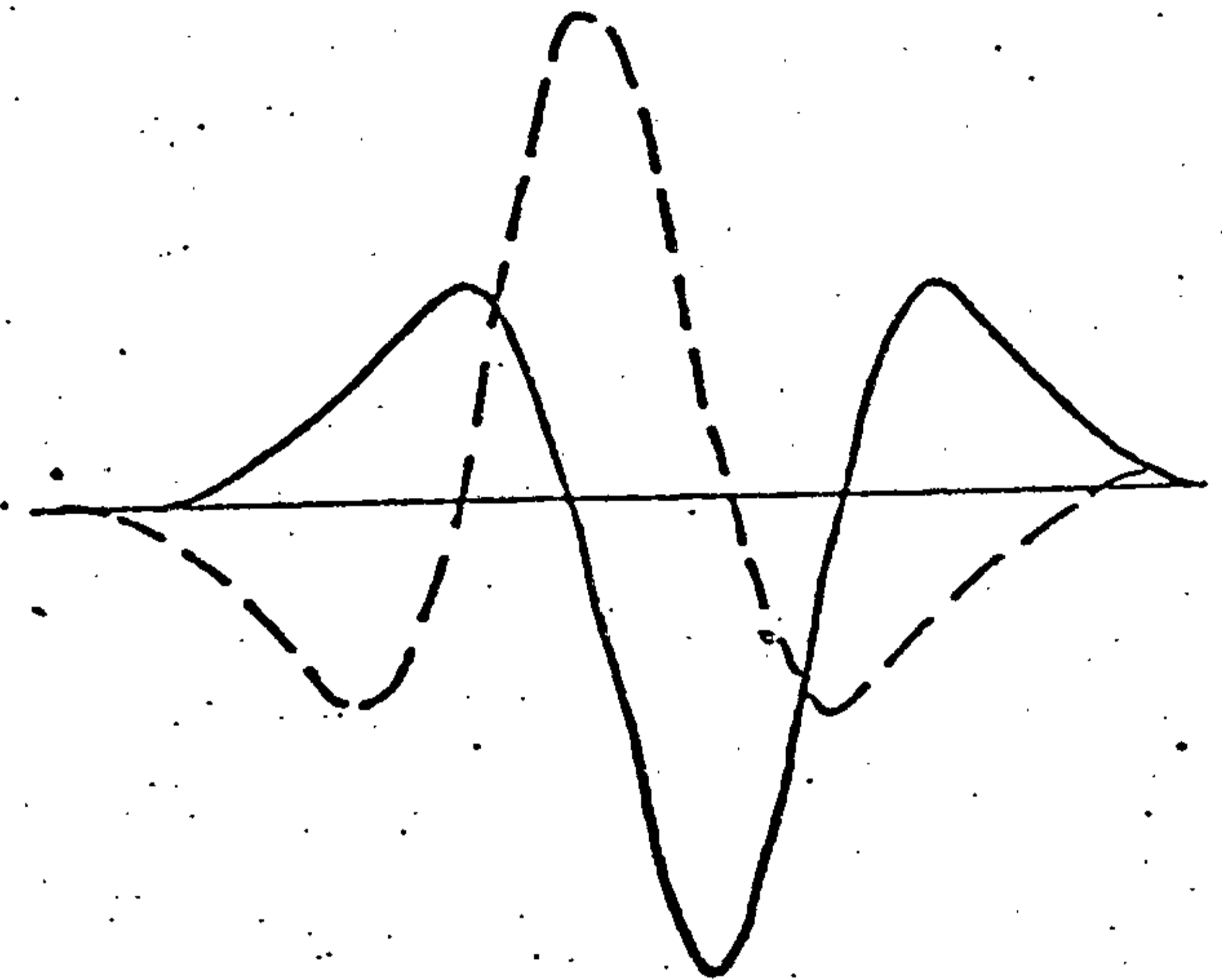
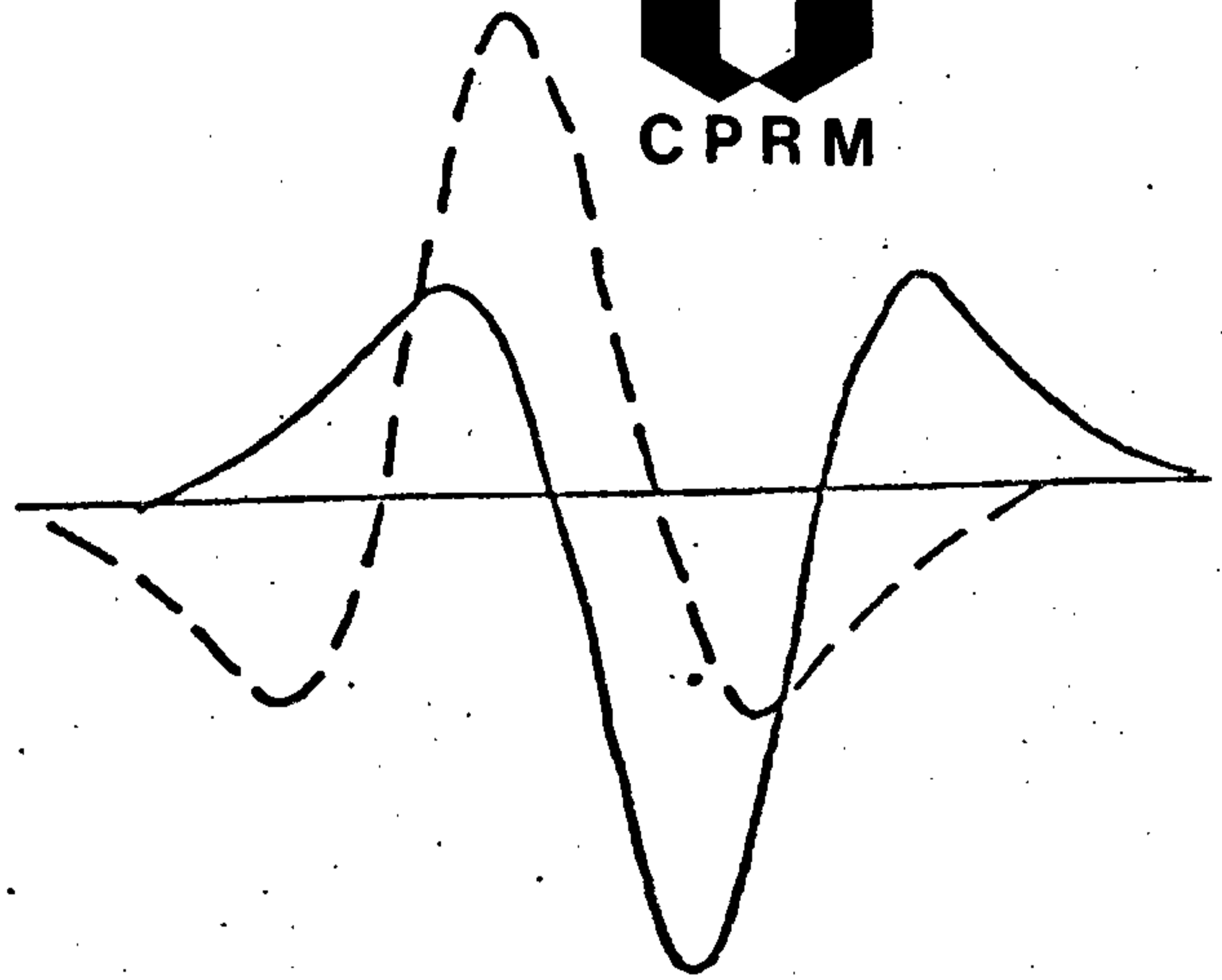
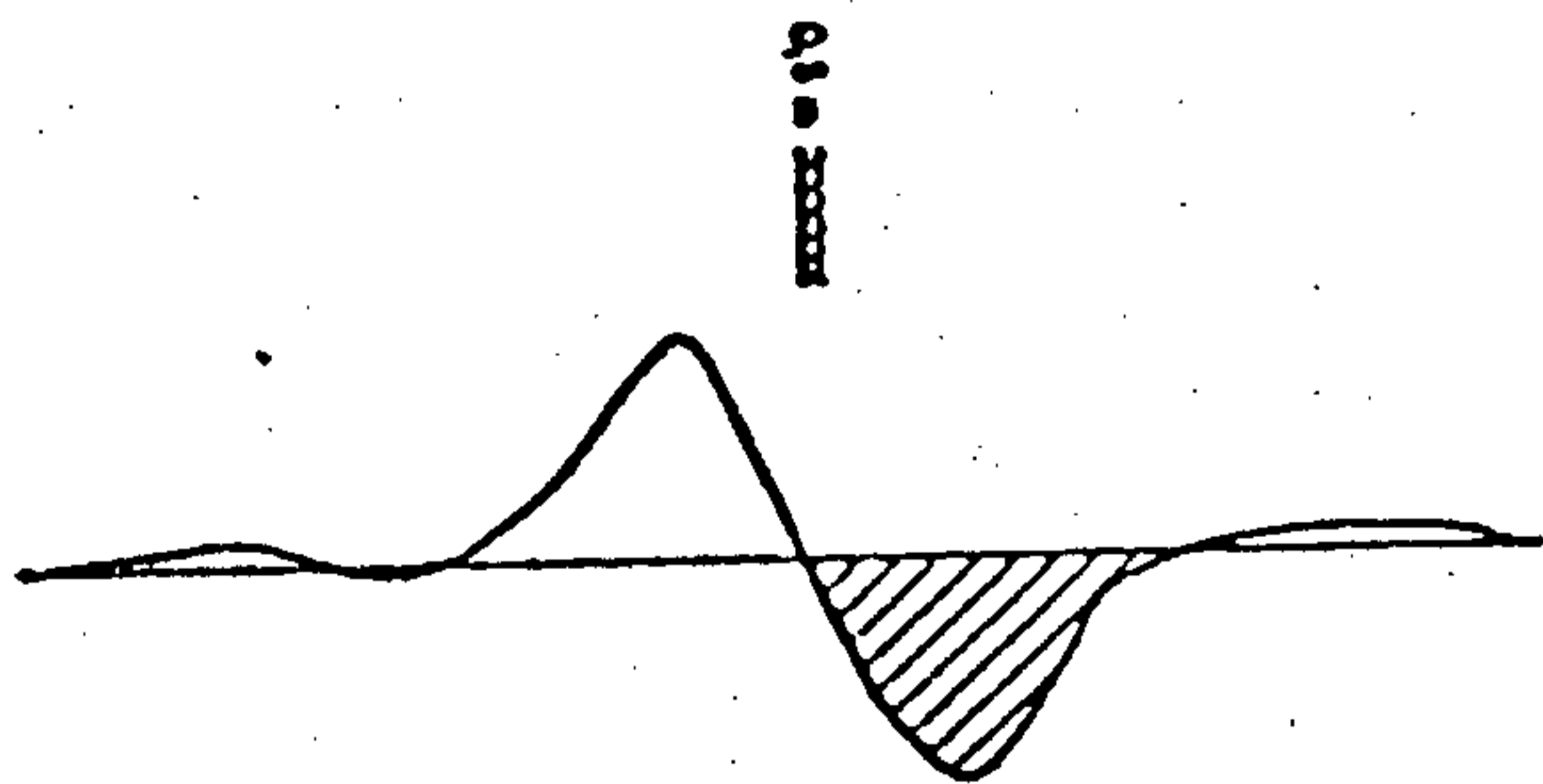
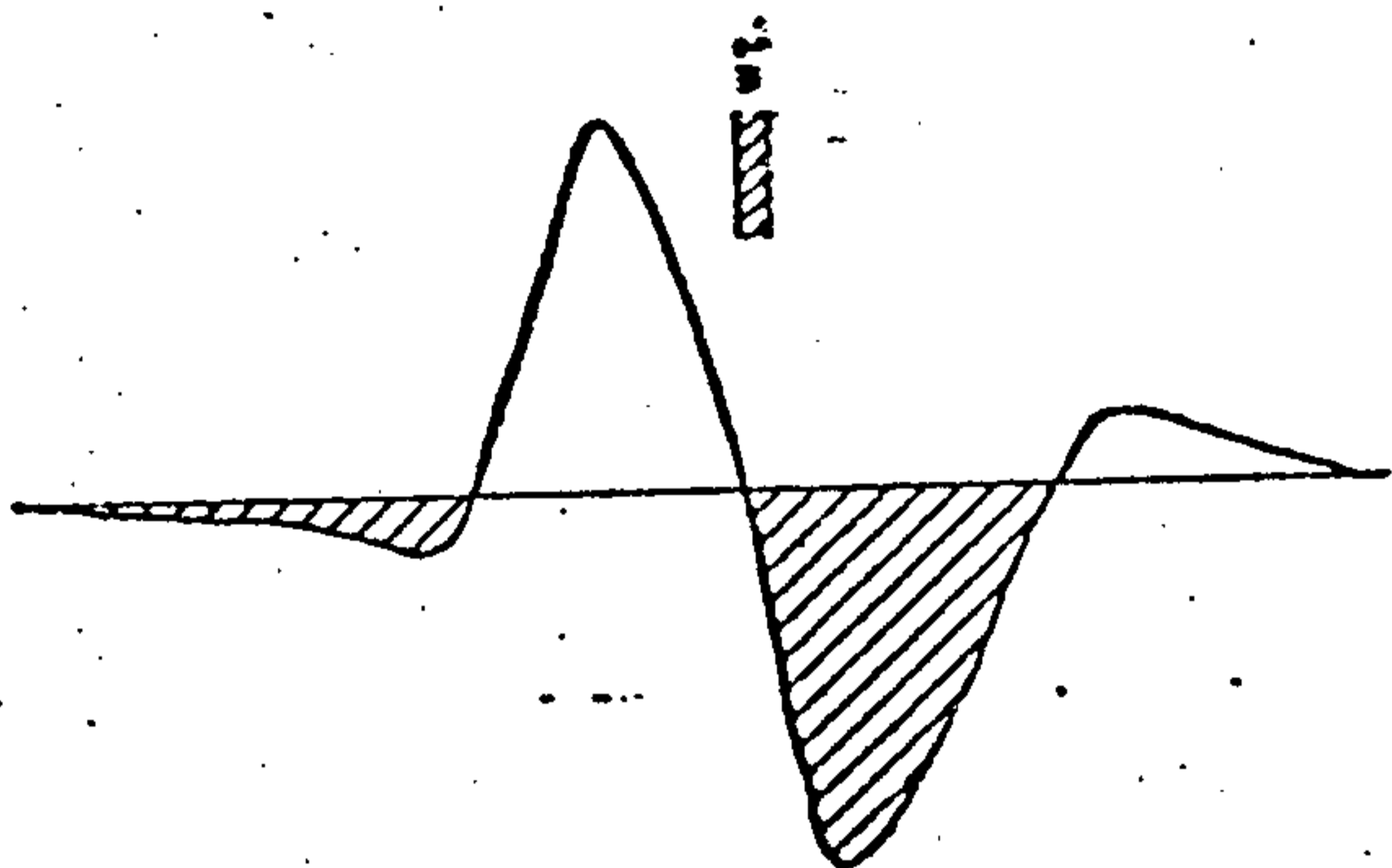
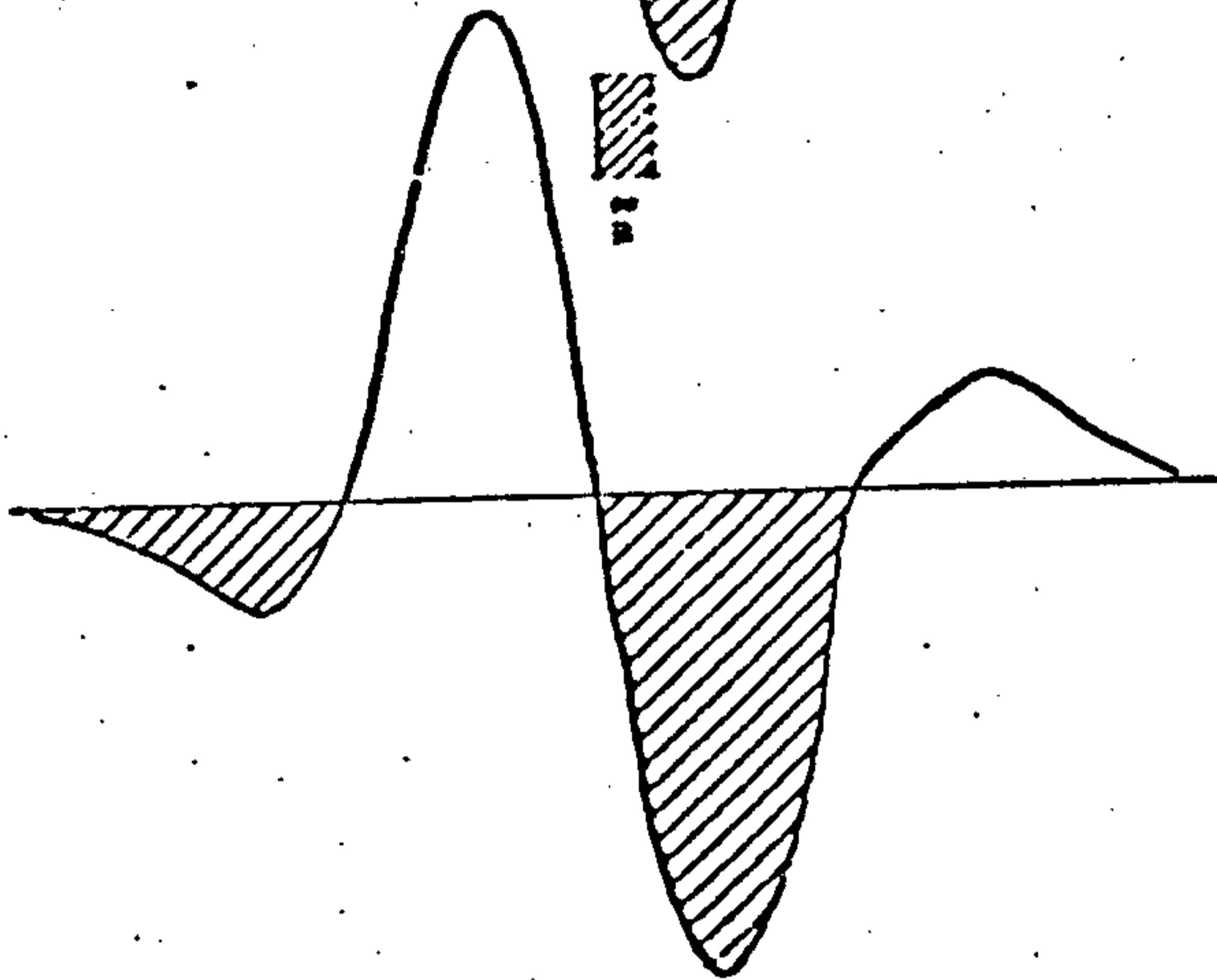
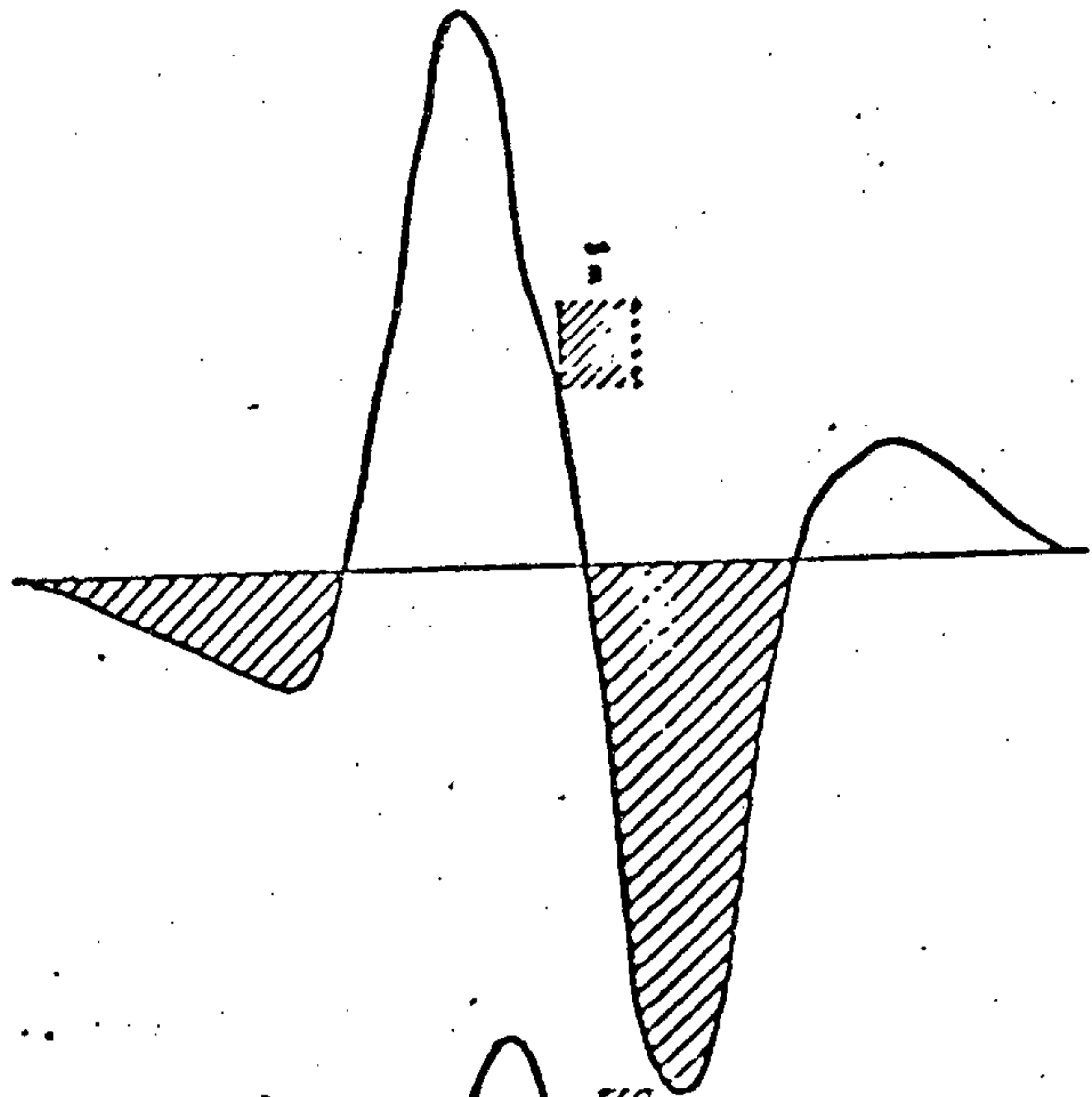


Fig. 13

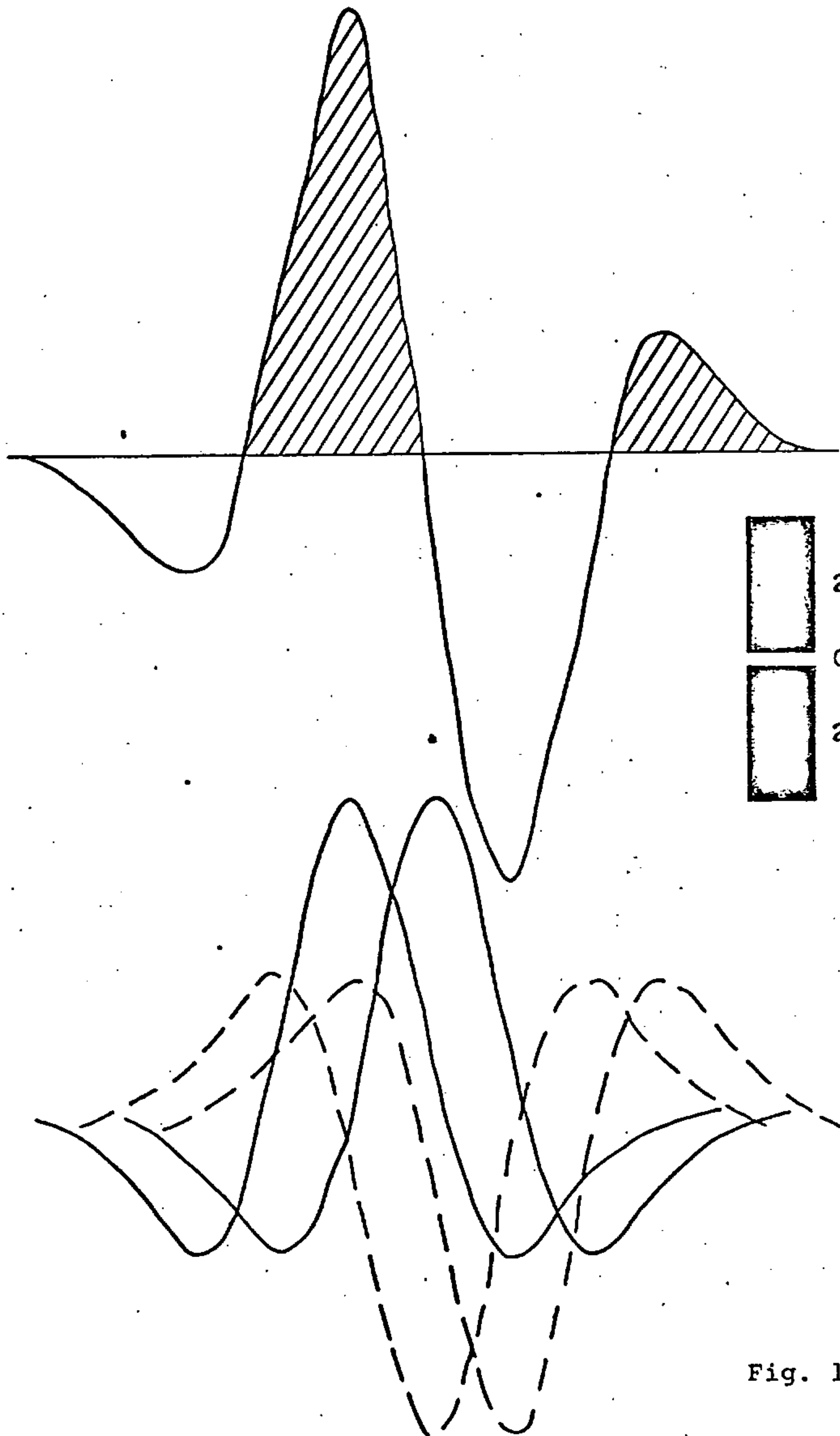


Fig. 14

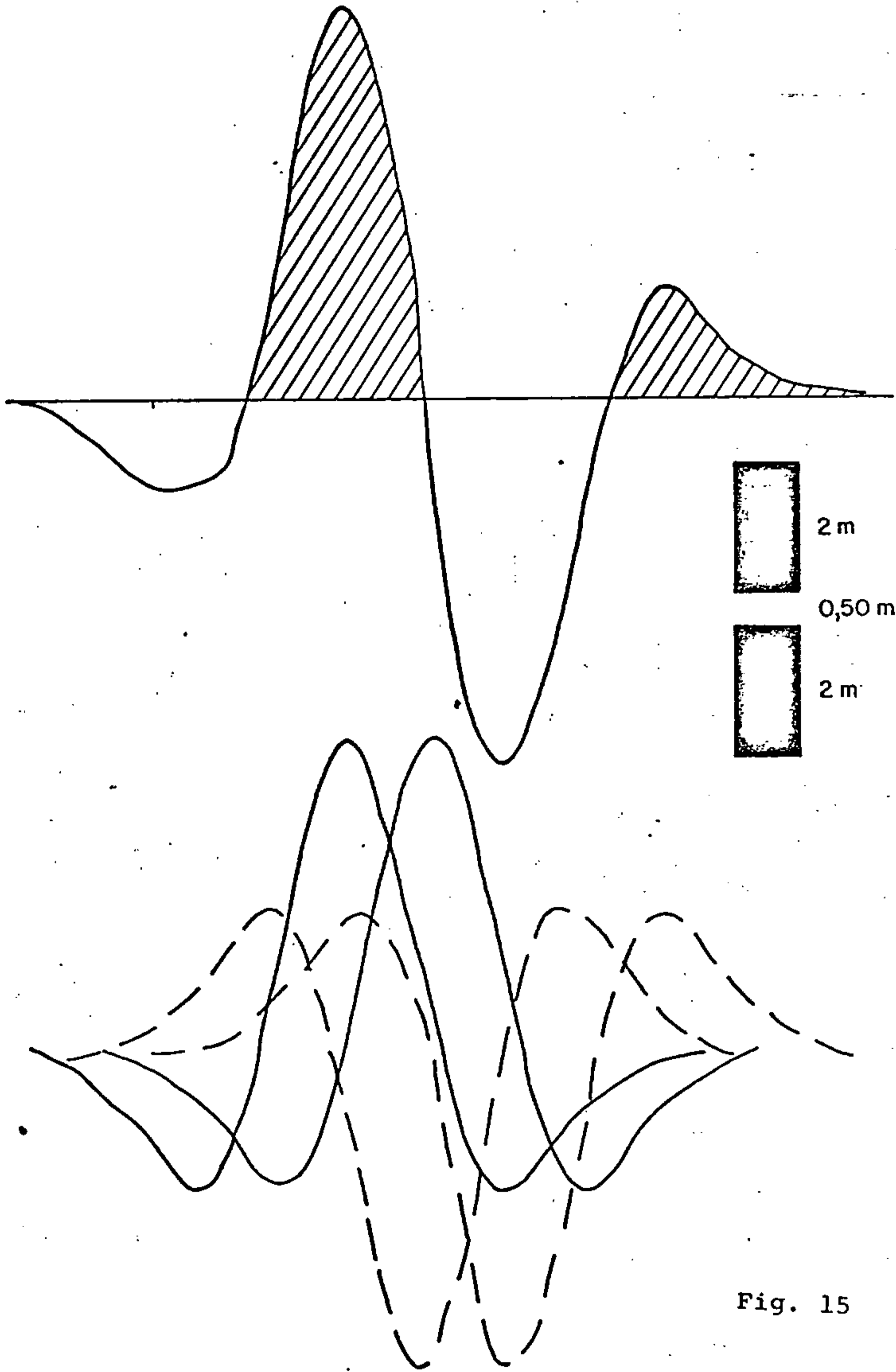


Fig. 15

14-1

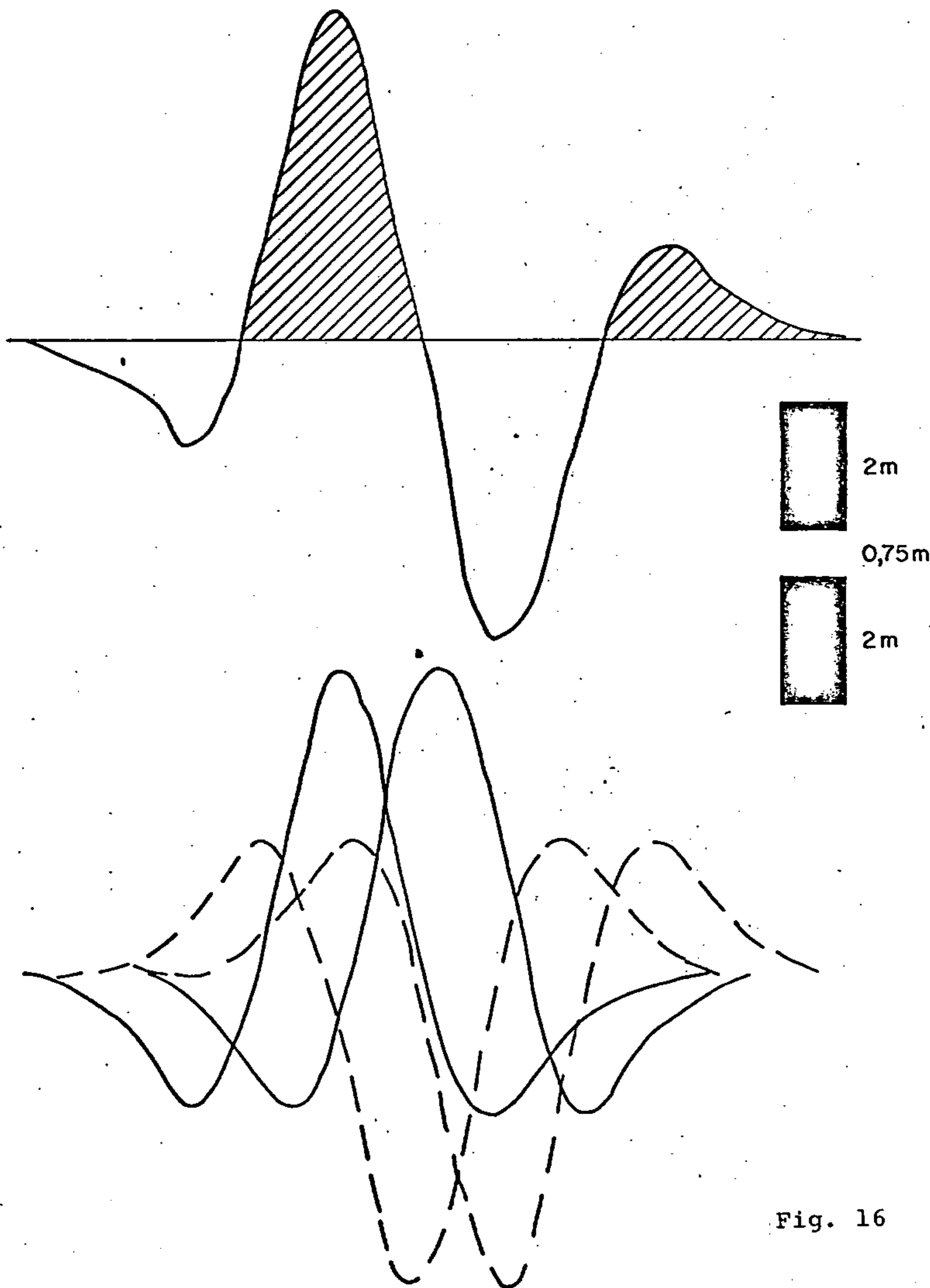


Fig. 16

14-5

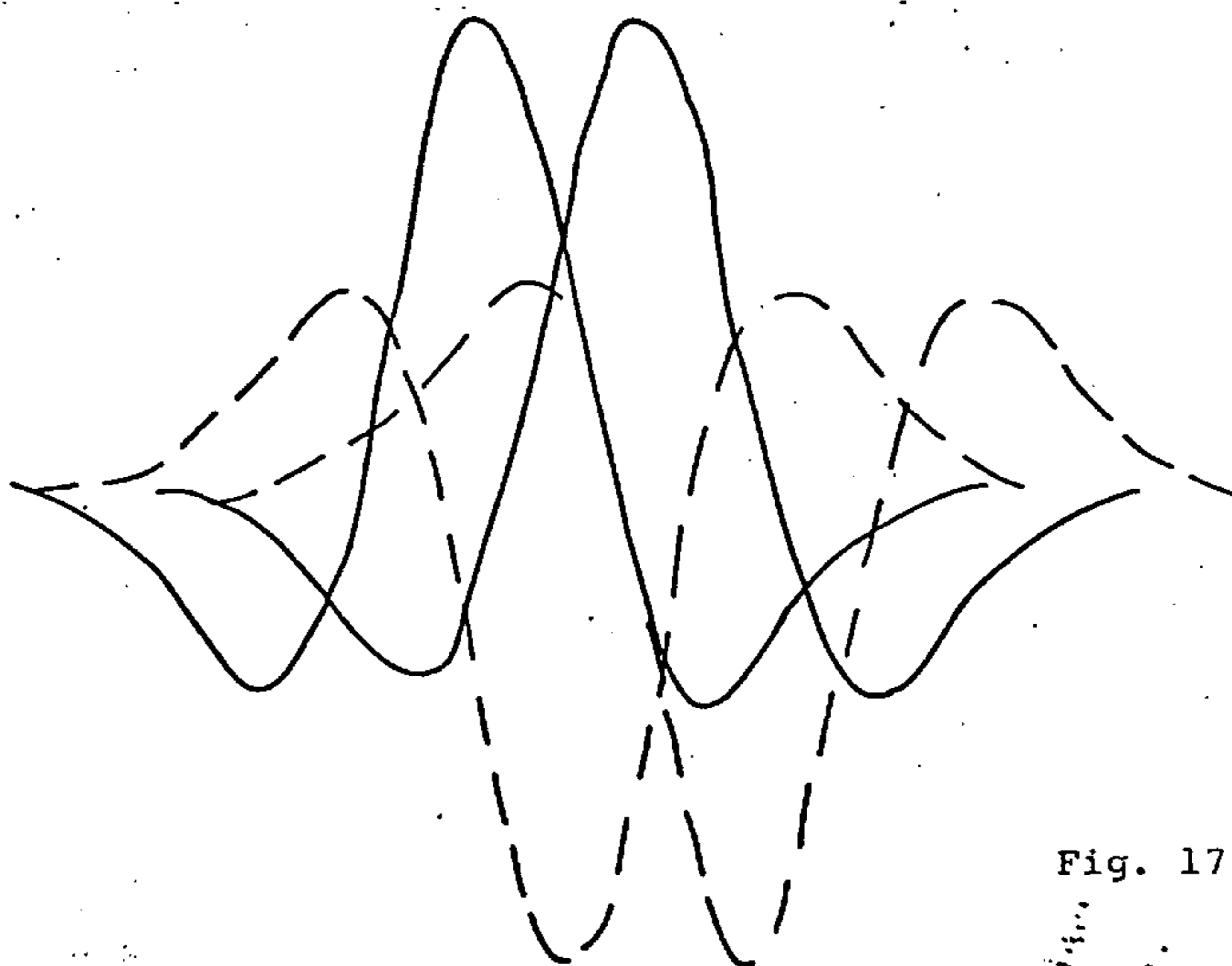
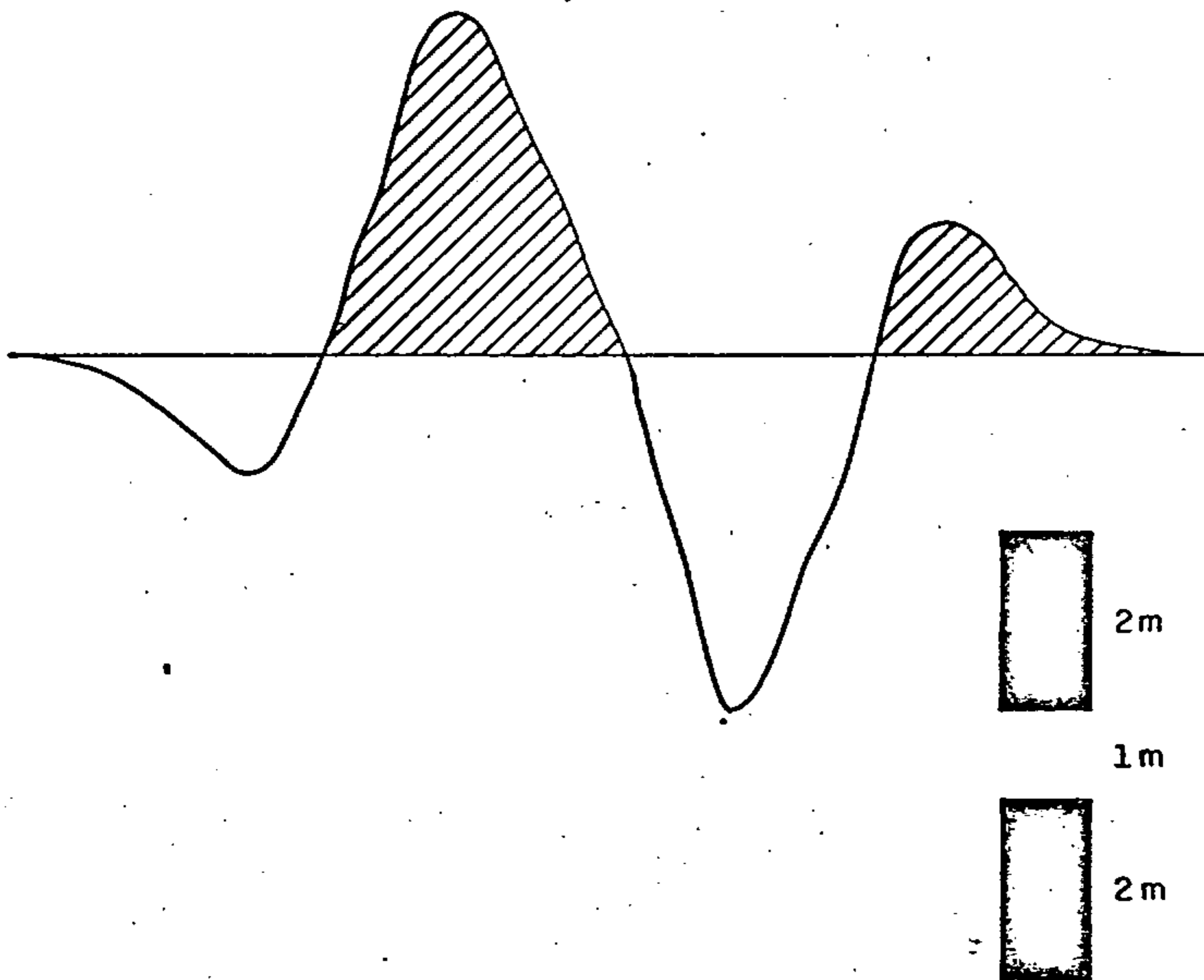


Fig. 17

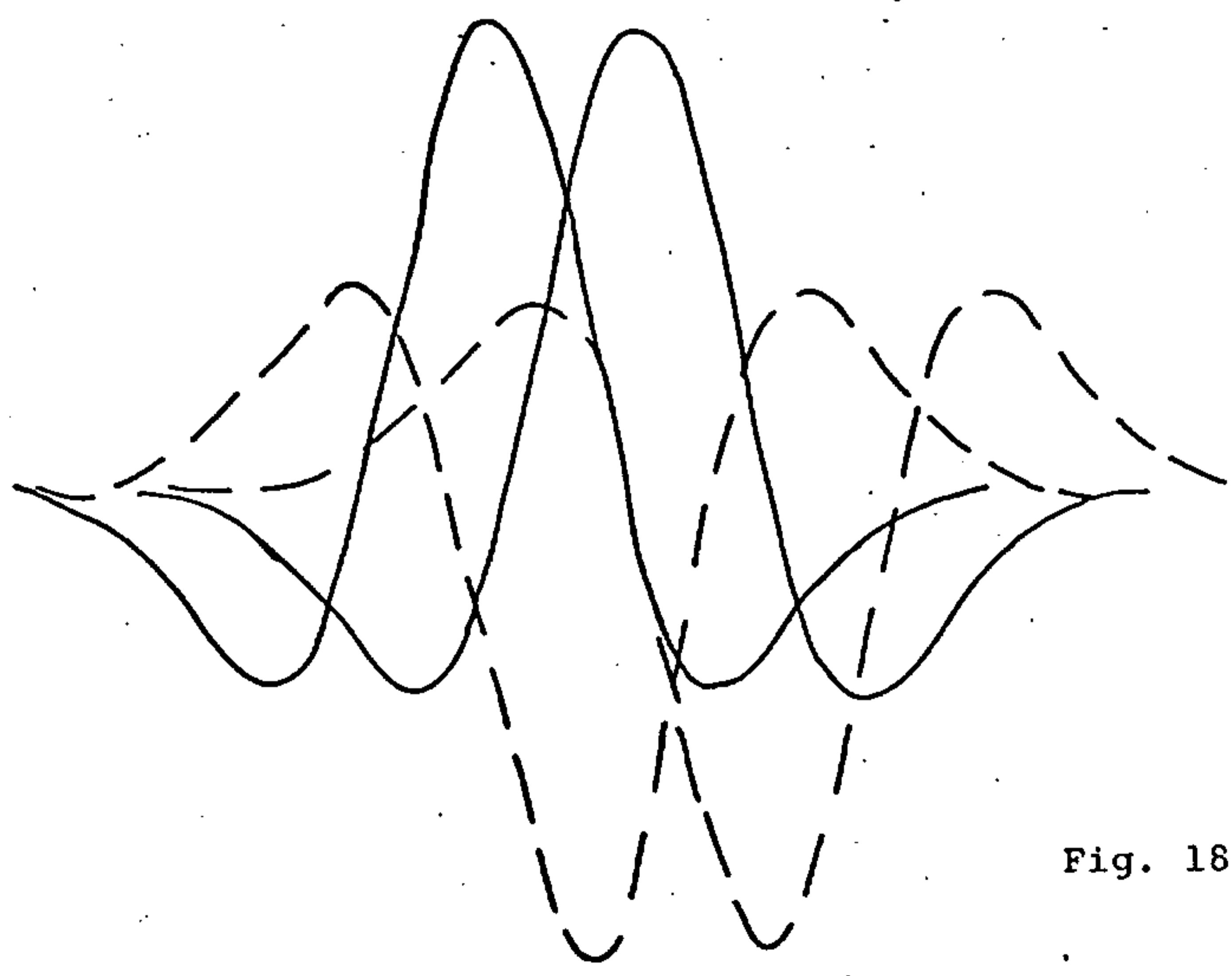
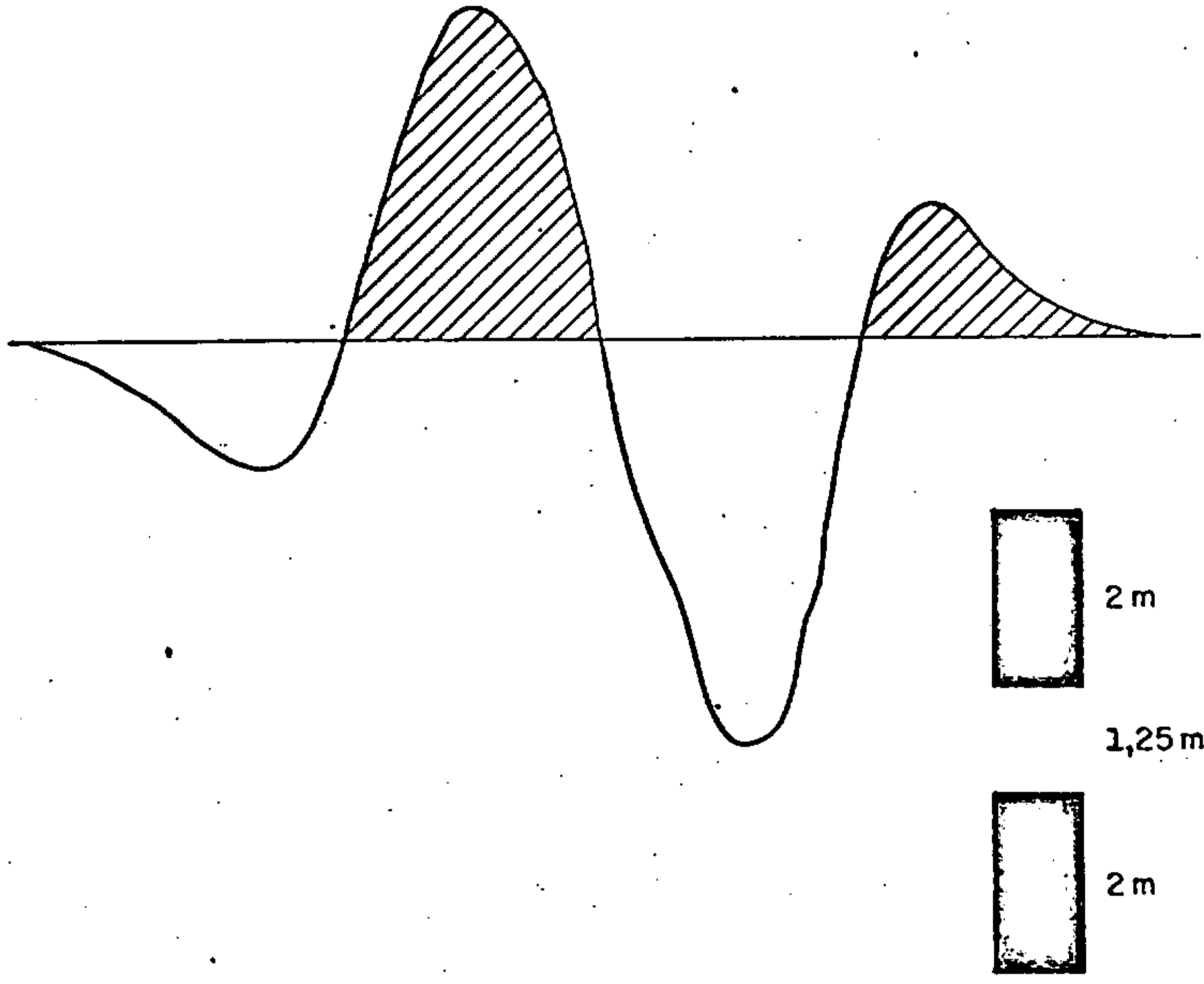


Fig. 18

11-1

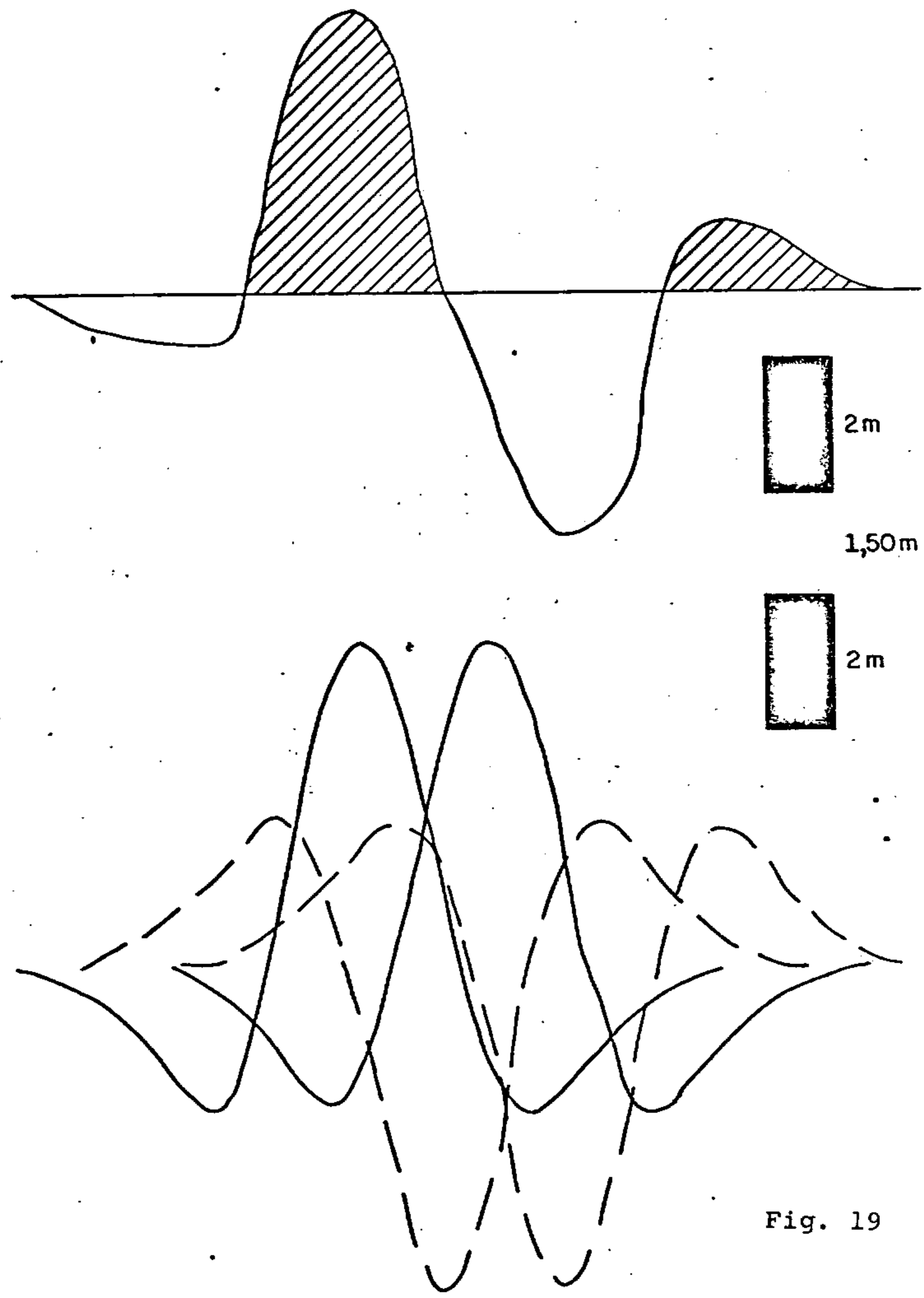


Fig. 19

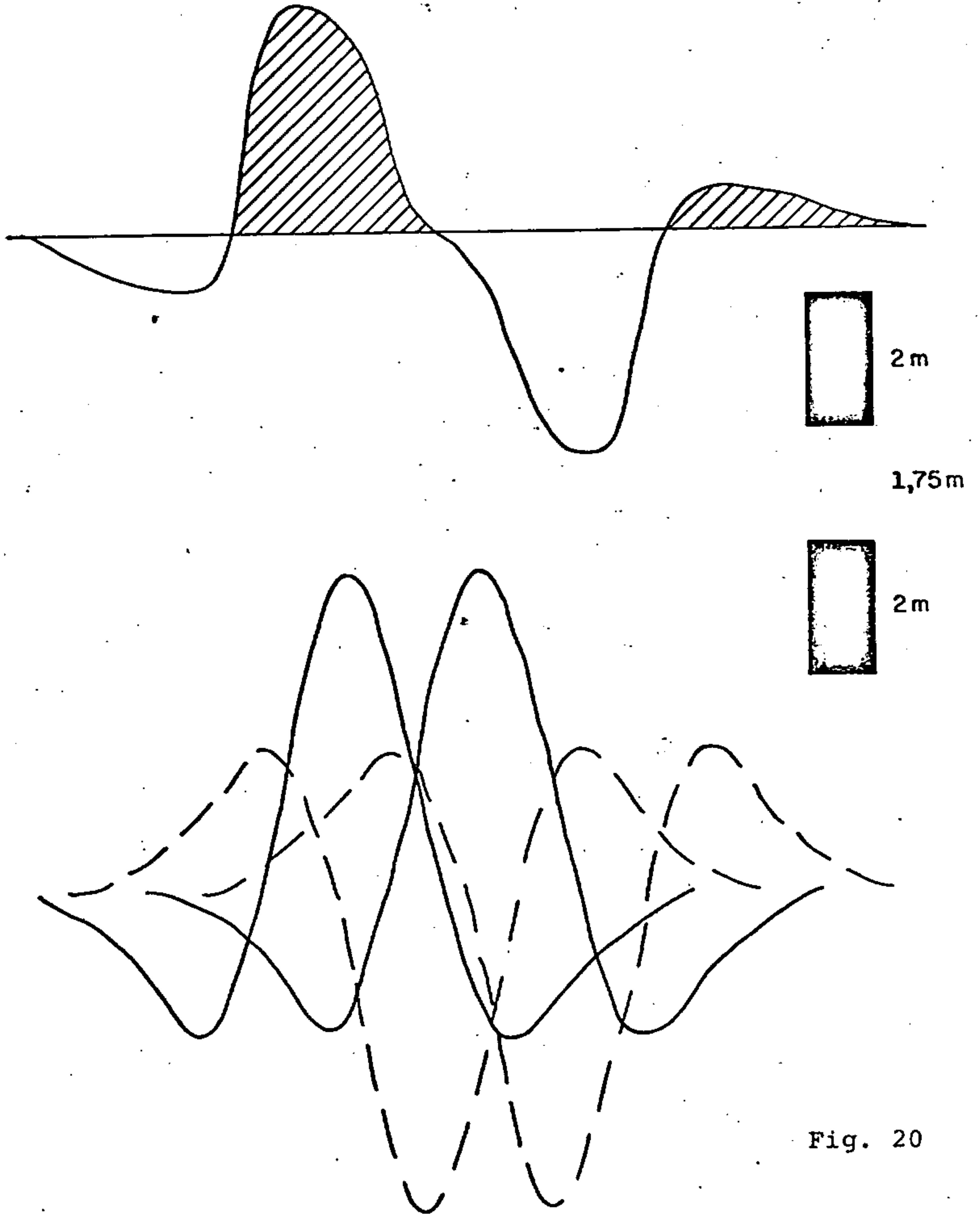


Fig. 20

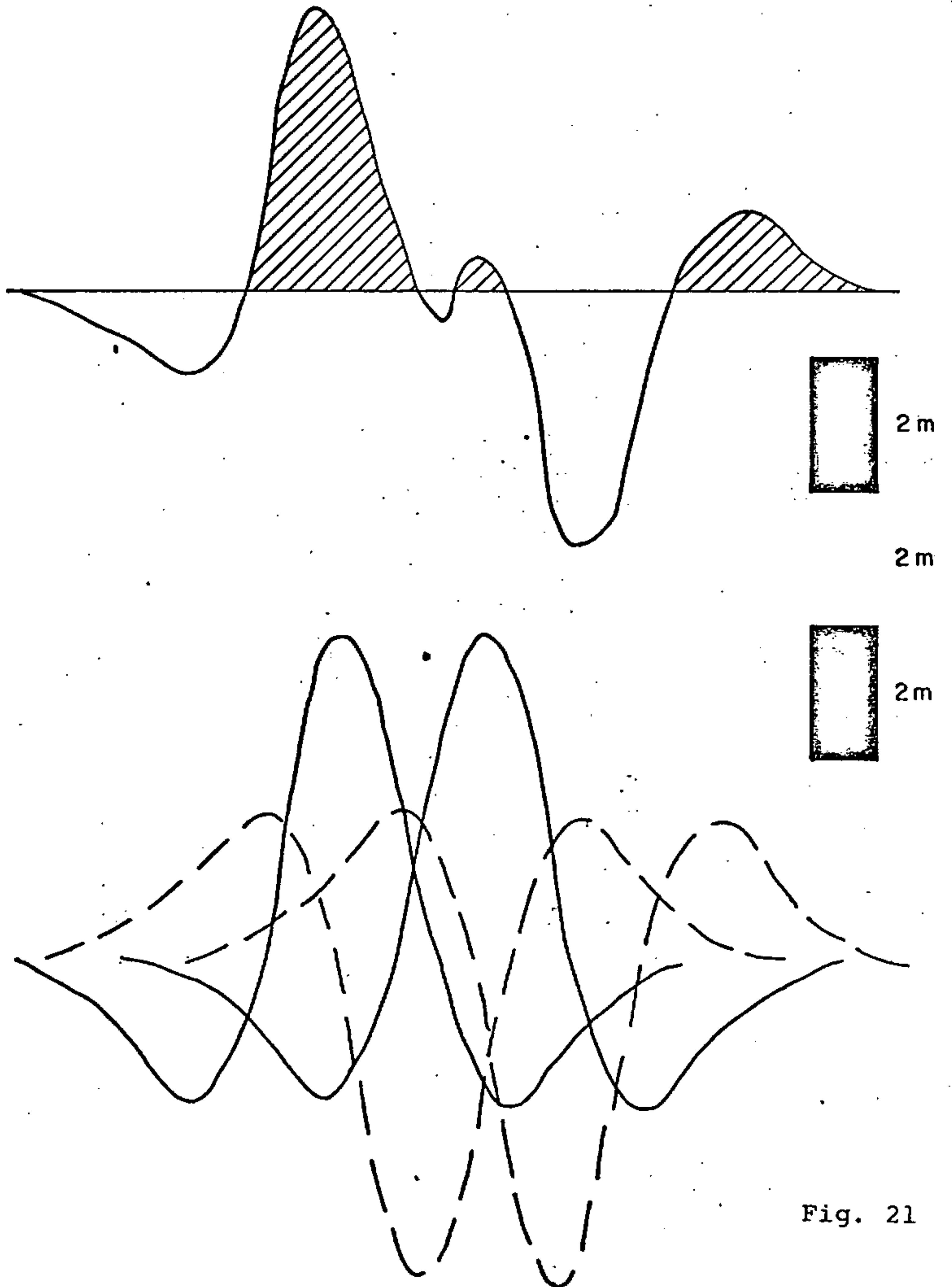
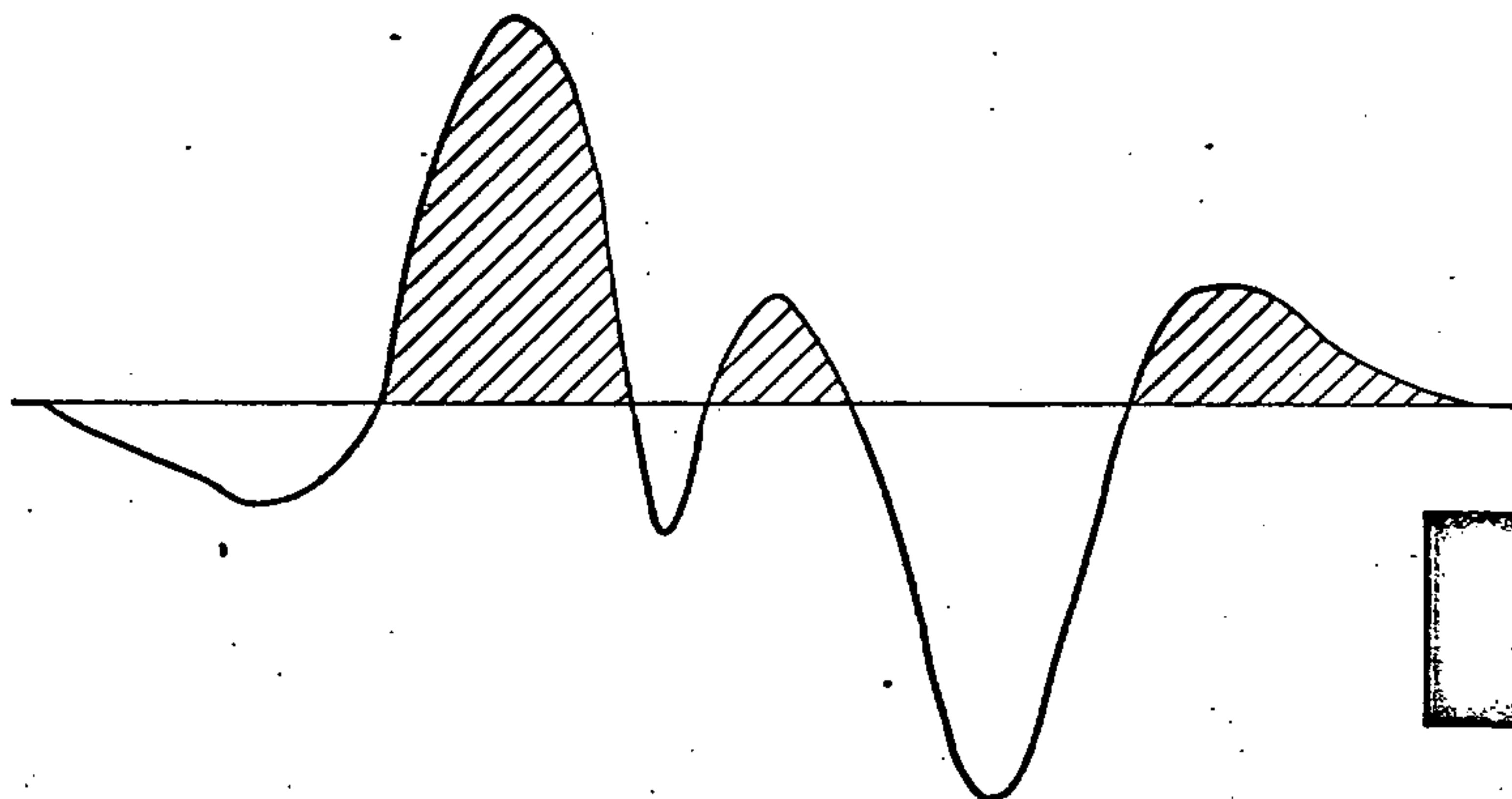


Fig. 21



2m

2,50m



2m

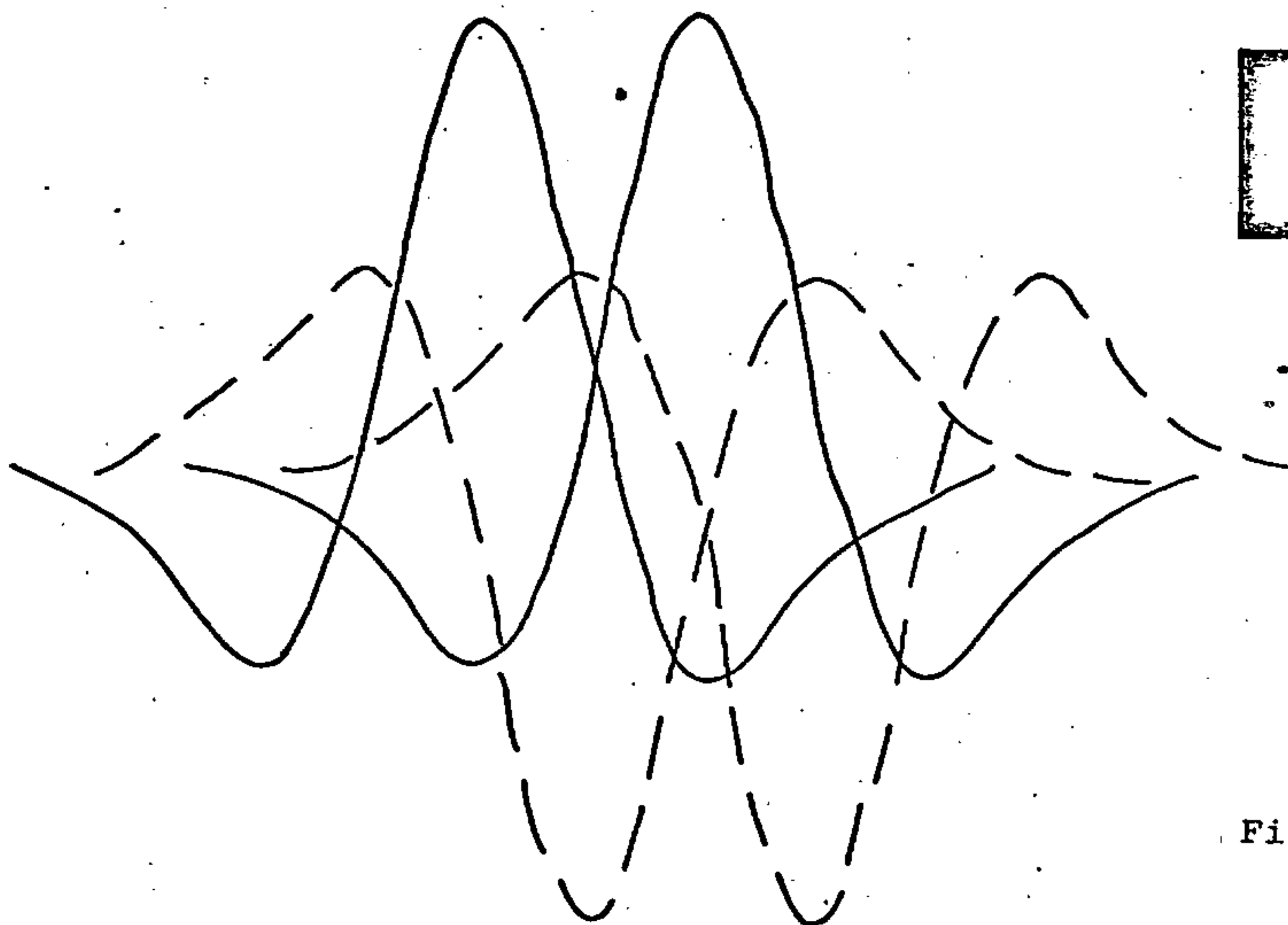
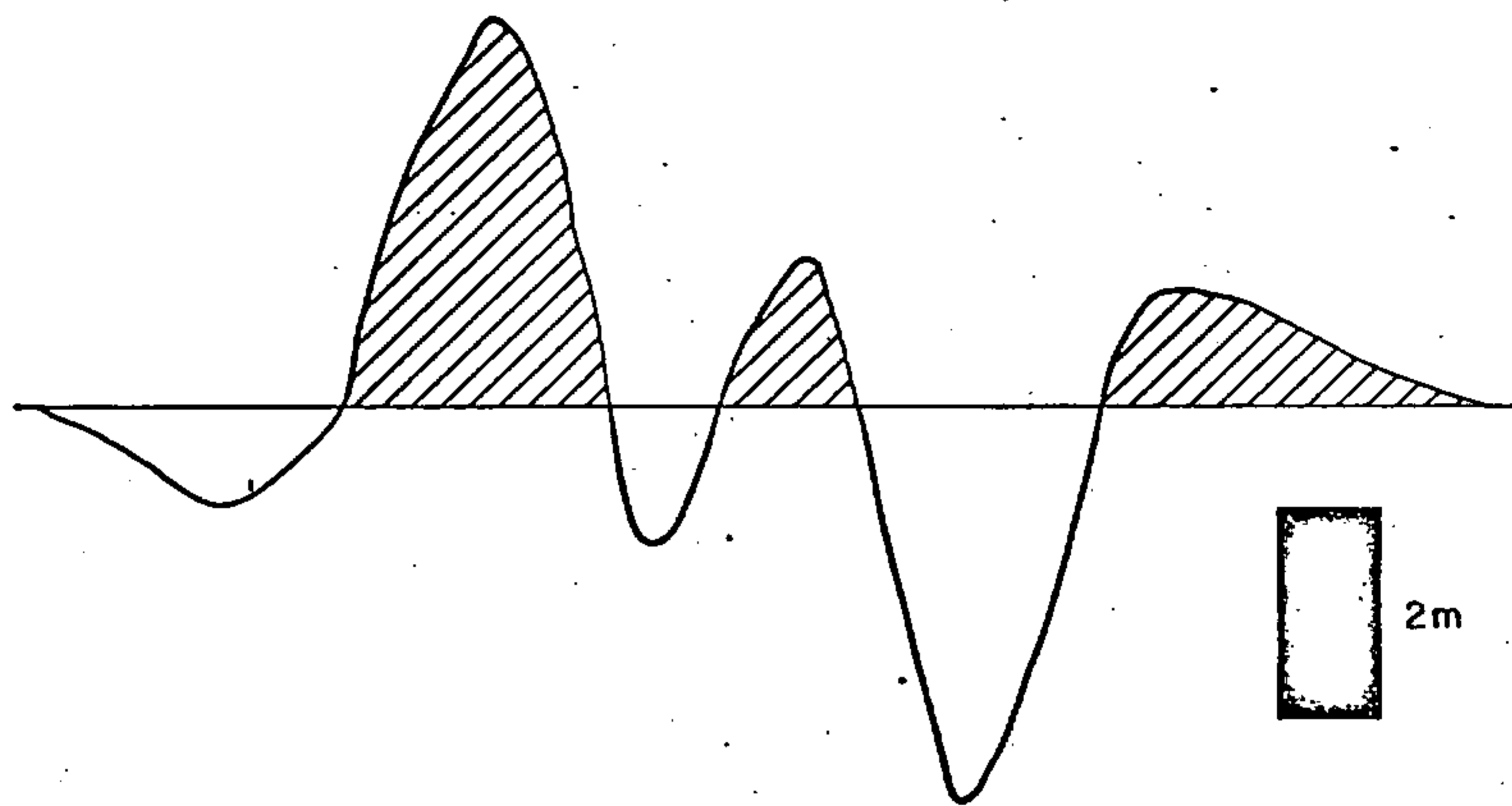


Fig. 23



2,75m

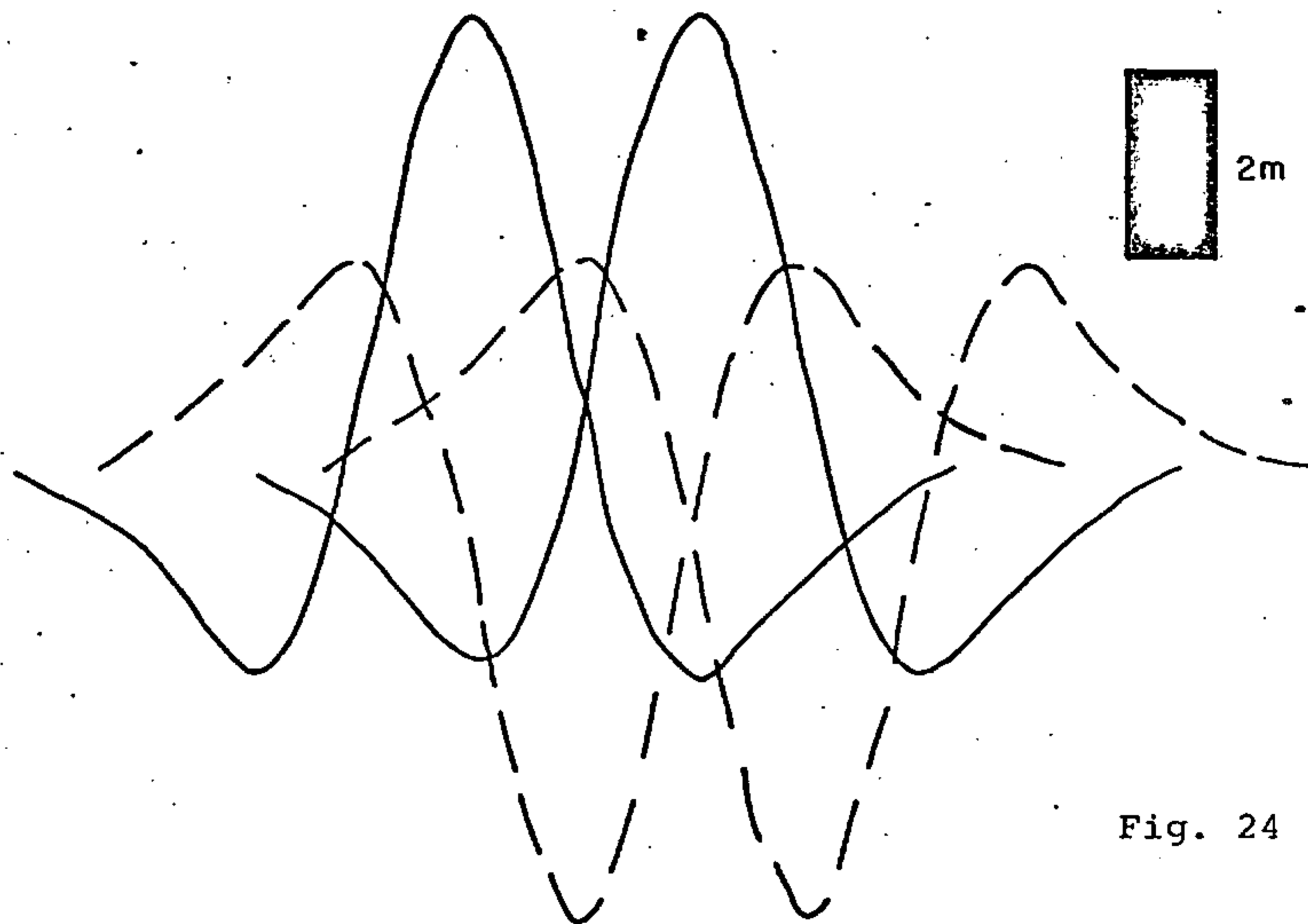
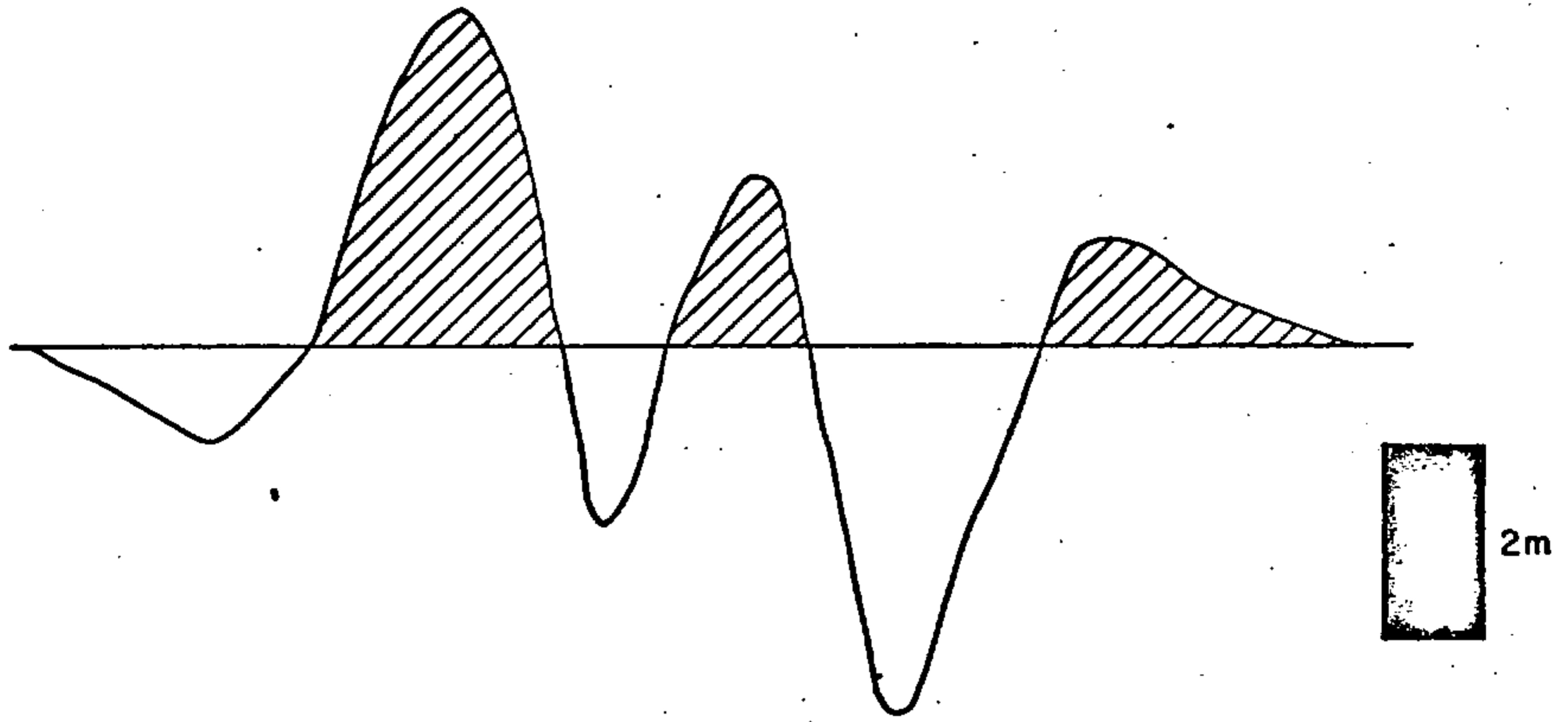


Fig. 24



3,00m

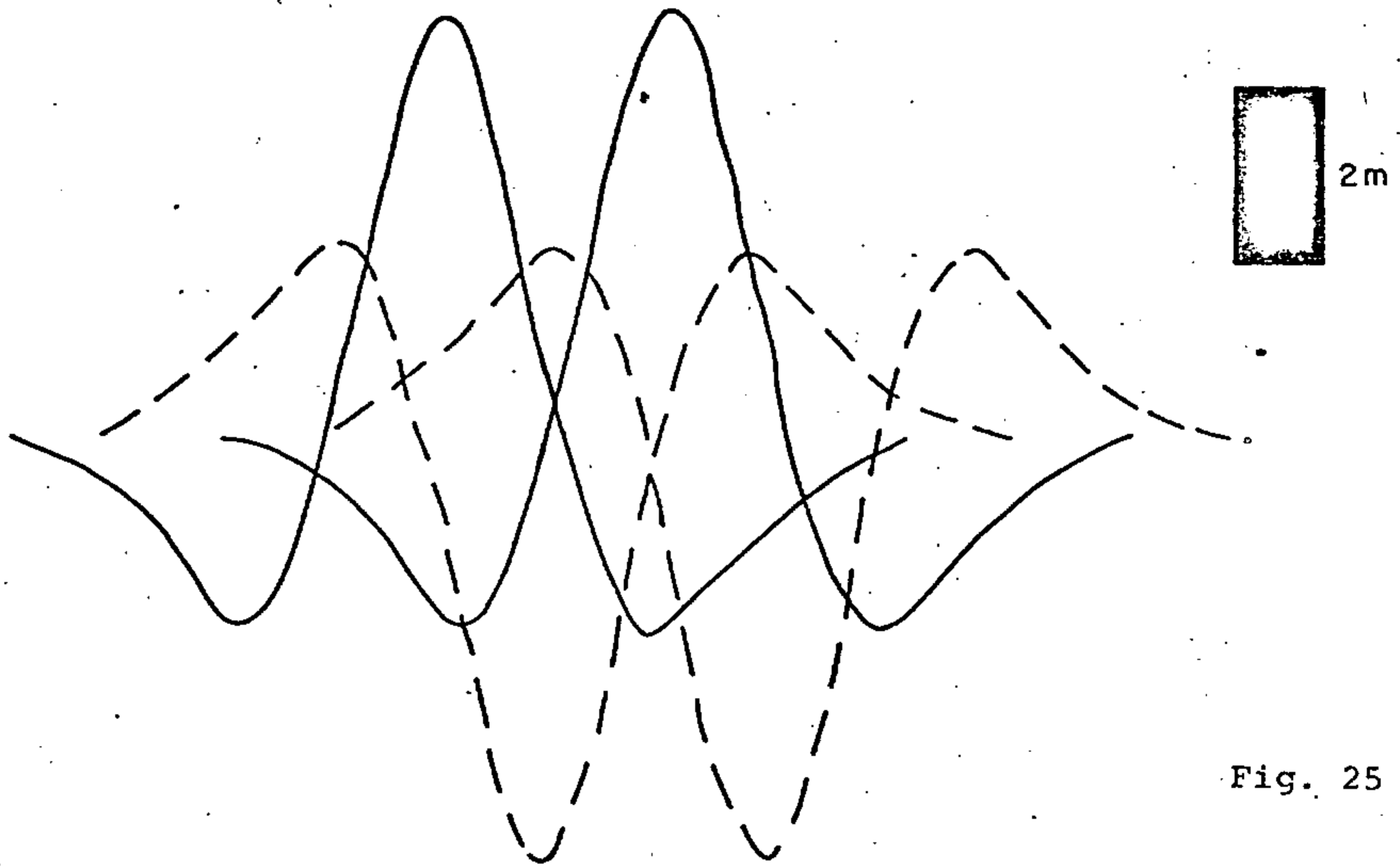
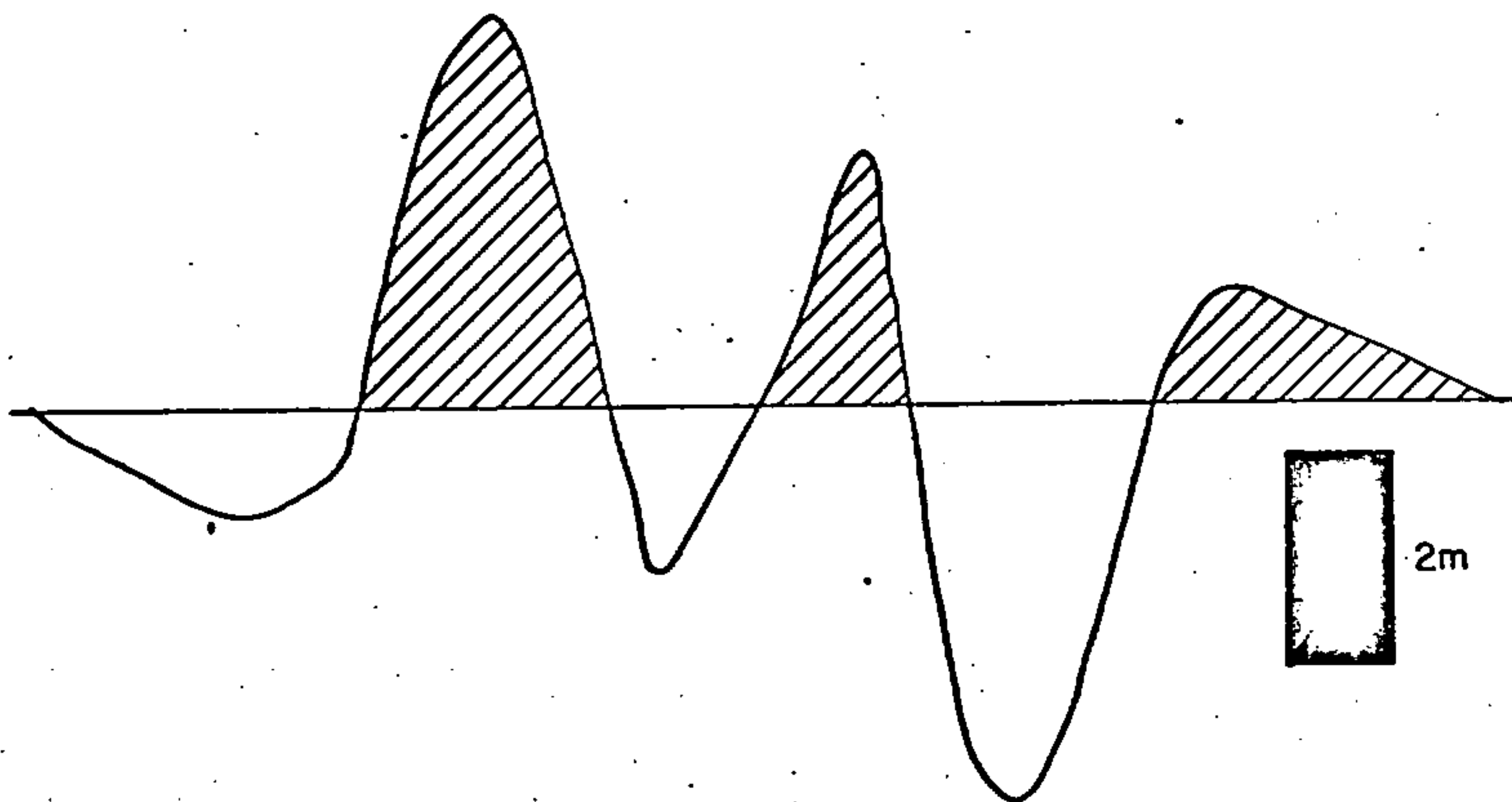


Fig. 25

11-11



3,50m

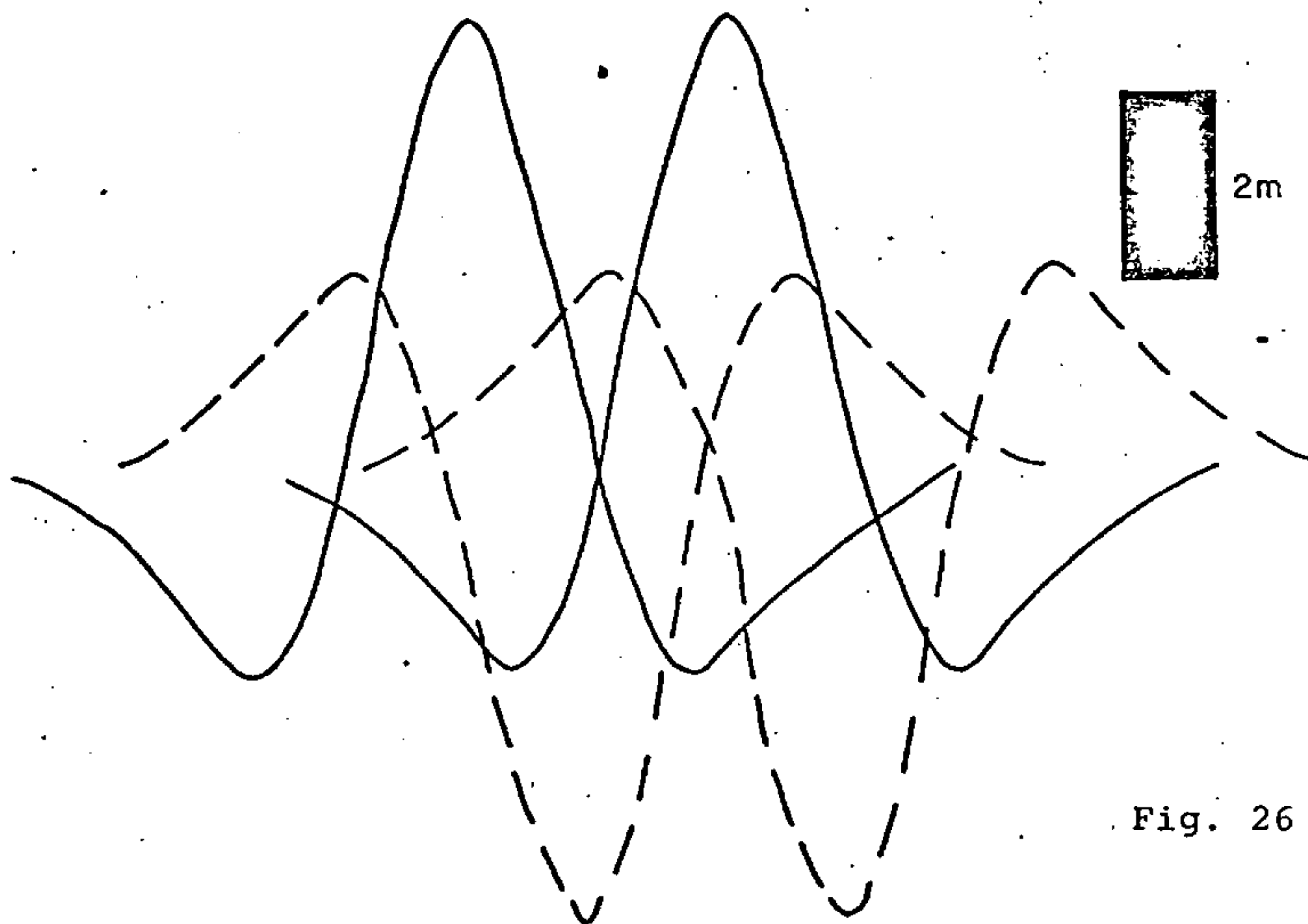


Fig. 26

11-15

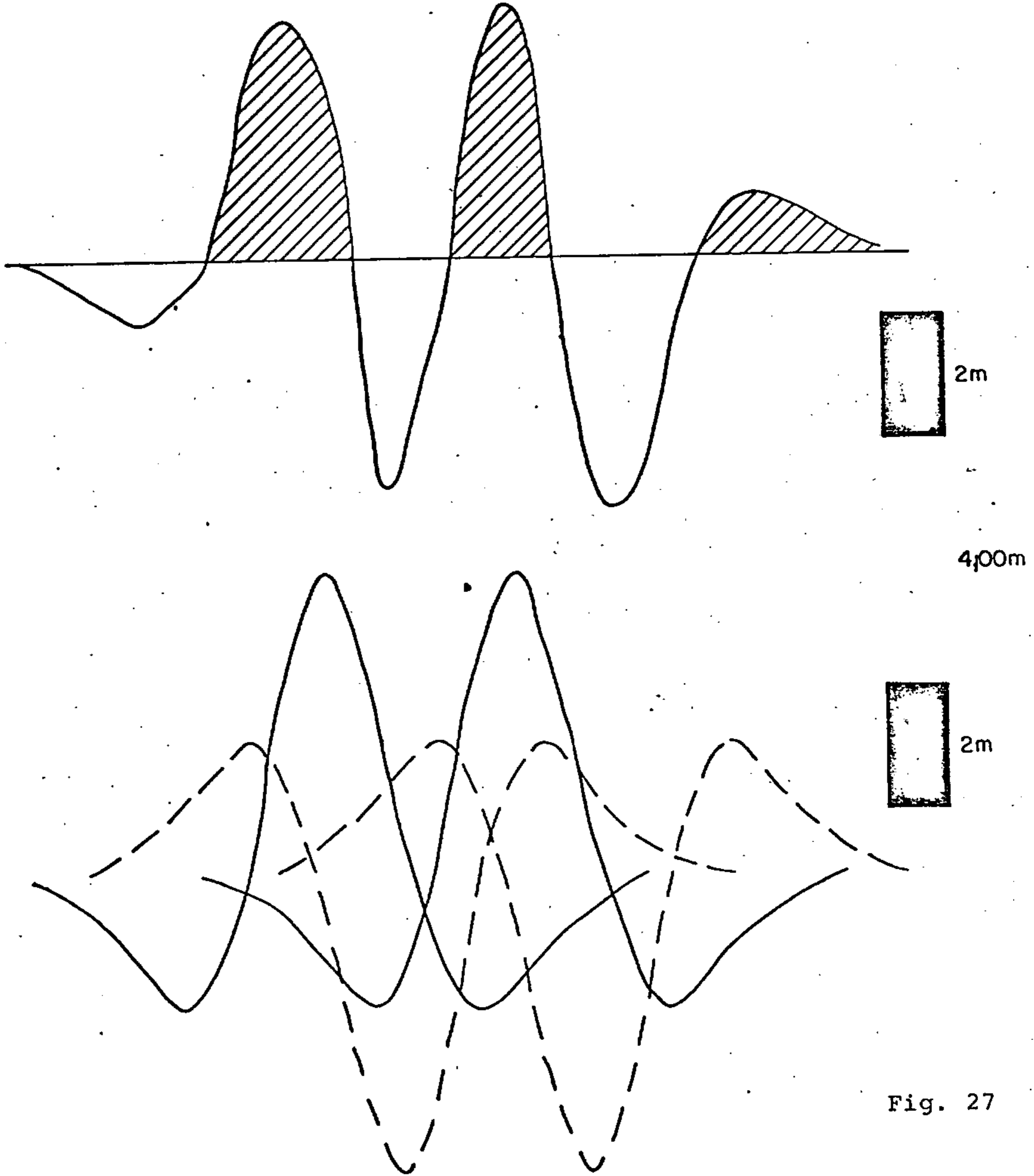


Fig. 27

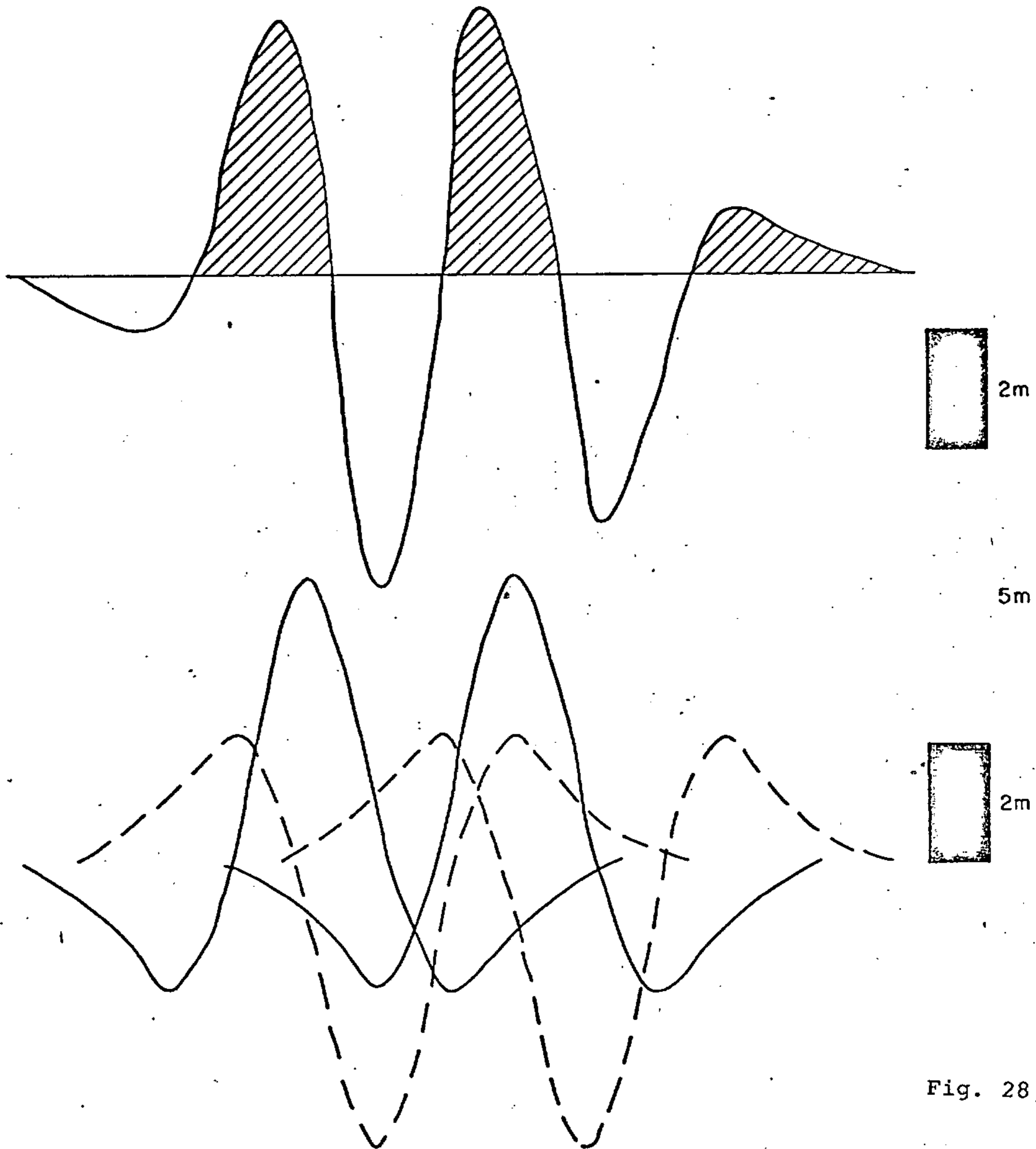


Fig. 28

2.3.2 - A Interpretação

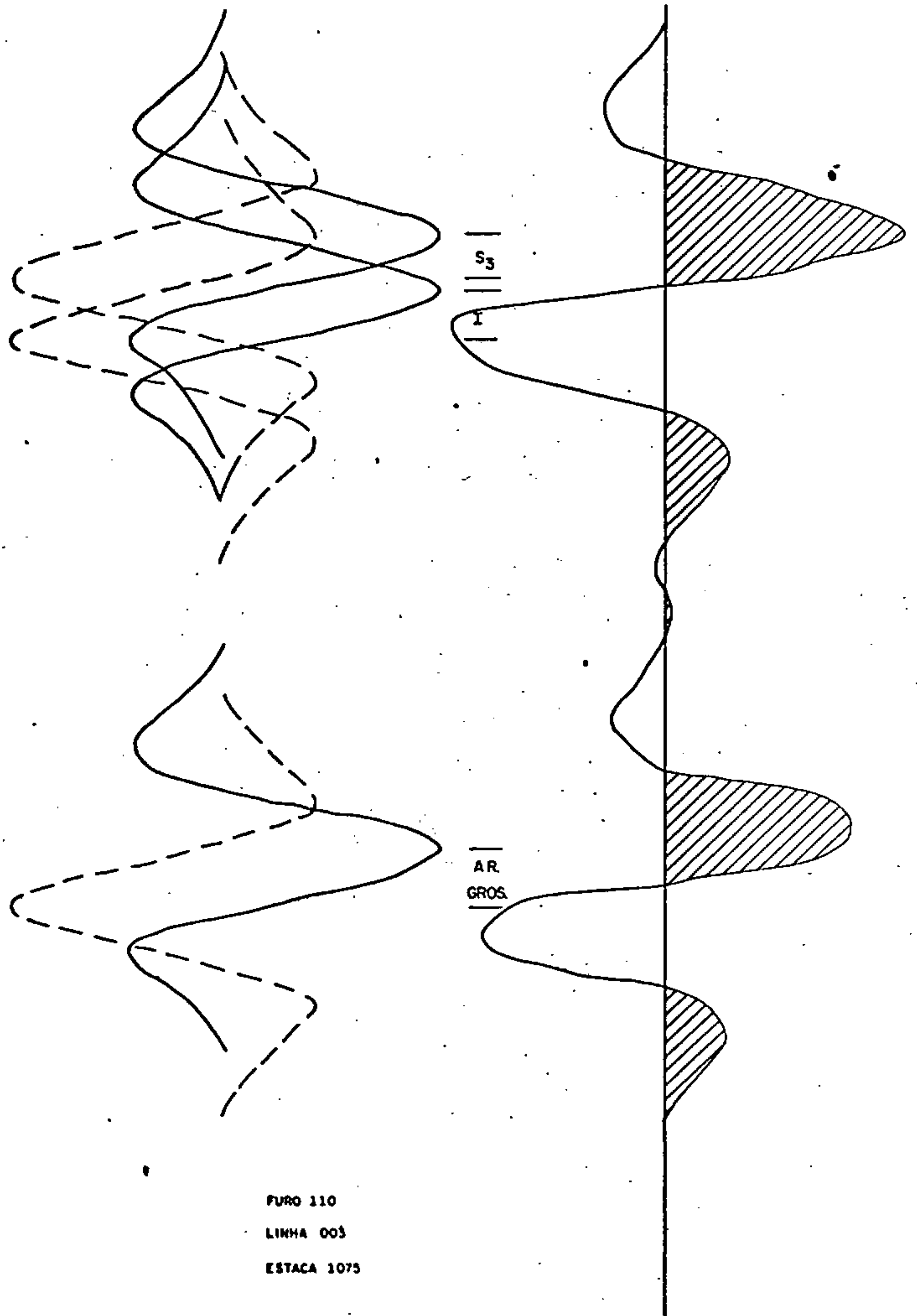
Quanto a casos reais (para localização vide Anexo 3):

I - Figuras 29 (ondícula) e 30 (seção sísmica)

Com as informações do furo LB-110-RS, localizado na estaca 1075 da linha 03 foram computadas as ondículas que, compostas, resultam no traço sísmico ideal mostrado à direita na fig. 29. Veja-se agora na figura 30, no trecho onde se localiza o furo LB-110-RS os traços sísmicos reais e sua correspondência com aquele da figura 29. Assim: a fase positiva no topo da zona do carvão (fig. 30) corresponde a fase idêntica na figura 29 e todas as outras fases se superpõem corretamente, o que não ocorreria em nenhuma outra zona, acima ou abaixo, da seção sísmica. Por conseguinte: a fase positiva do topo da zona do carvão representa as camadas S_3 -I que, como já se viu na exposição do método de interpretação (2.3.1), estão aqui funcionando como uma única camada de cerca de 4 metros de espessura. As camadas S_1 e S_2 não foram detectadas isoladamente por sua pequena espessura (0,5 m) e ainda por estarem muito afastadas entre si. A reflexão situada cerca de 20 milissegundos abaixo da fase positiva do topo da zona de carvão, deve-se à camada de arenito grosseiro, algo conglomerático, encontrada a 274,7 metros de profundidade.

Observa-se na estaca 1079 uma descontinuidade nas camadas de carvão com desnível de cerca de 2,5 m. As ondículas mostram claramente que o lado baixo fica a oeste, ao contrário do que aparentava ser na primeira interpretação considerando o caráter de todo o bloco de reflexões. Assim o mergulho do plano dessa falha deve ser considerado o inverso do que está desenhado na figura 30.

No extremo leste deste trecho, analisando o traço sísmico à luz do método exposto e do modelo computado, verifica-se que as camadas S_3 e I se afastaram uma da outra, mantendo suas espessuras mais ou menos constantes. O afastamento entre essas camadas passa de 0,60 m sob o furo LB-110-RS na estaca 1075 para quase 2 metros entre as estacas 1064 e 1060.



FURO 110
 LINHA 003
 ESTACA 1075

S₃ • 1,67 m
 Dist. entre camadas = 0,60 m
 I • 1,97 m

Fig. 29

V

LINHA-004

STK 1082-1077 NAO DETONADO

LB-110-RS

1085

1080

1075

1070

1065

1060

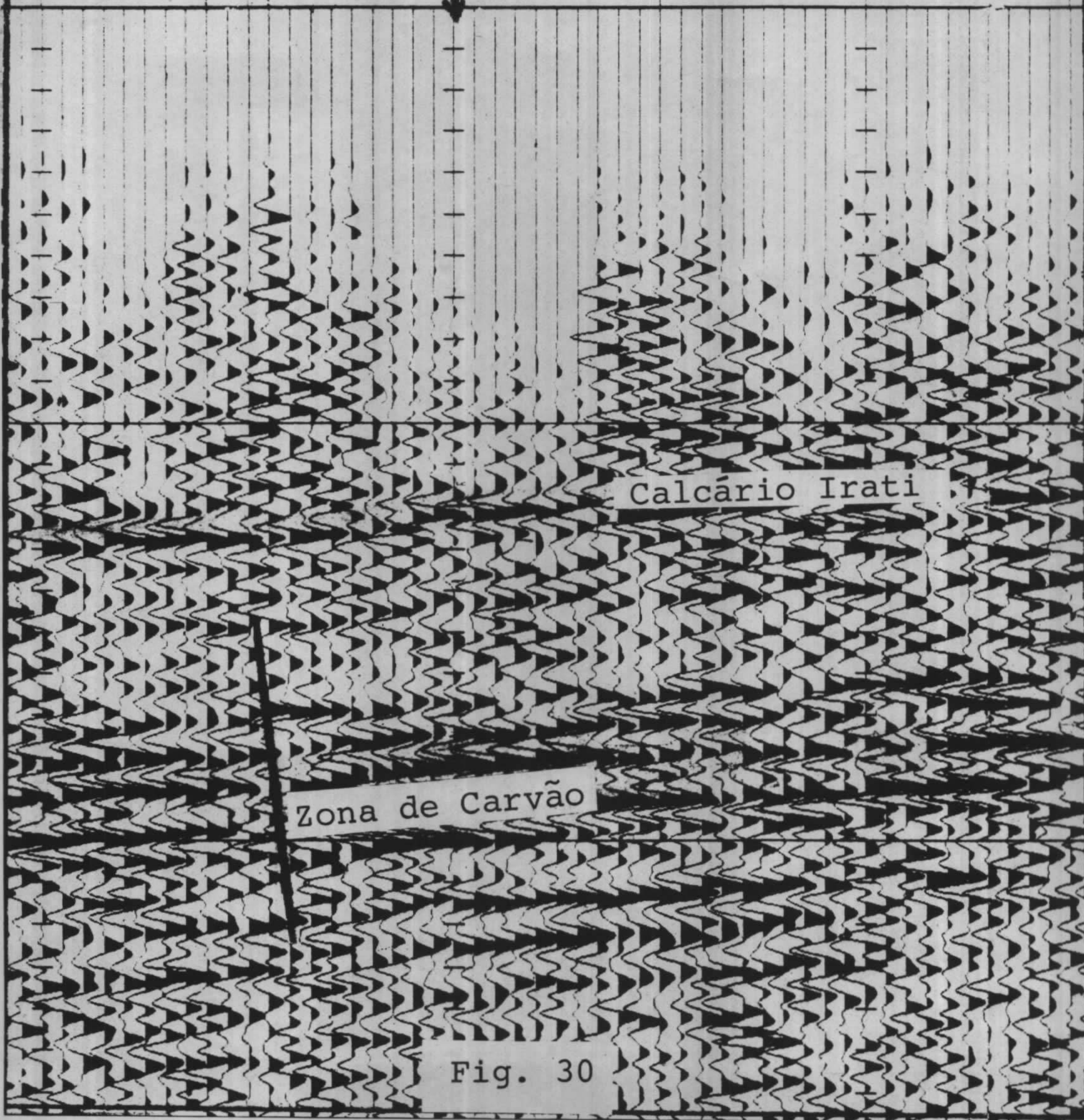


Fig. 30

II - Figuras 31 (ondícula) e 32 (seção sísmica).

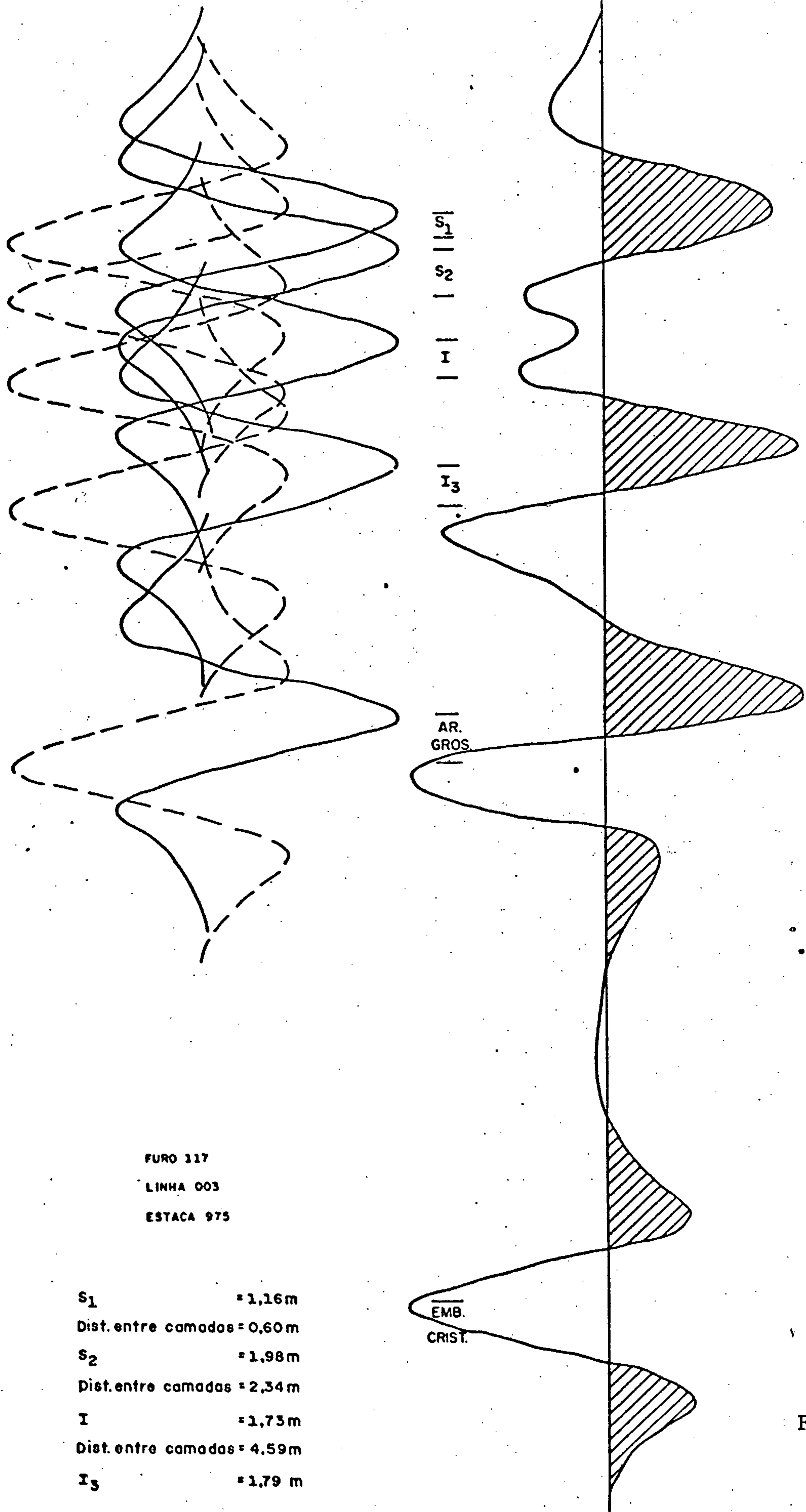
Neste trecho da linha 03, entre as estacas 965 e 988 (fig. 32) situa-se o furo LB-117-RS. Vê-se aí (ainda na fig. 32), em detalhe, reflexões da zona de carvão.

Comparando a ondícula computada (fig. 31), com base nas informações do furo sobre as camadas de carvão com os traços sísmicos da figura 32, observa-se:

- a fase positiva do topo da zona do carvão corresponde às camadas S_1 e S_2 funcionando como única camada com cerca de 4m de espessura;
- o pequeno pico positivo, logo abaixo, corresponde à camada I, com 1,73m de espessura, 2,34 metros abaixo da base da camada S_2 ;
- mais abaixo, a forte fase positiva que se vê, corresponde à camada I_3 com 1,79 de espessura, situada 4,59m abaixo da base da camada I;
- as camadas S_3 , I_2 e I_4 não foram detectadas devido a sua pequena espessura ($< 0,5m$) e ao grande afastamento em relação às outras;
- na sequência identifica-se o arenito grosseiro a muito grosseiro com quase 2m de espessura, atravessado pelo furo;
- finalmente, 37 milissegundos abaixo da reflexão no topo da camada S_1 , aparece uma reflexão advinda do contato Formação Rio Bonito / Grupo Cambaí (embasamento cristalino).

São visíveis, neste trecho, algumas descontinuidades por falhamento (fig. 32)..

De um modo geral as camadas de carvão não apresentam, neste trecho, grande variação de espessura, exceção da zona entre as estacas 985 e 982 onde as camadas S_1 e S_2 têm sua espessura bastante reduzida, como evidenciado pela forma do traço sísmico, devendo, em conjunto, somar de 0,5 a 1 metro.



FURO 117
 LINHA 003
 ESTACA 975

S₁ = 1,16m
 Dist.entre camadas = 0,60m
 S₂ = 1,98m
 Dist.entre camadas = 2,34m
 I = 1,73m
 Dist.entre camadas = 4,59m
 I₃ = 1,79 m

Fig. 31

VI

LB-117-RS

985

980

975

970

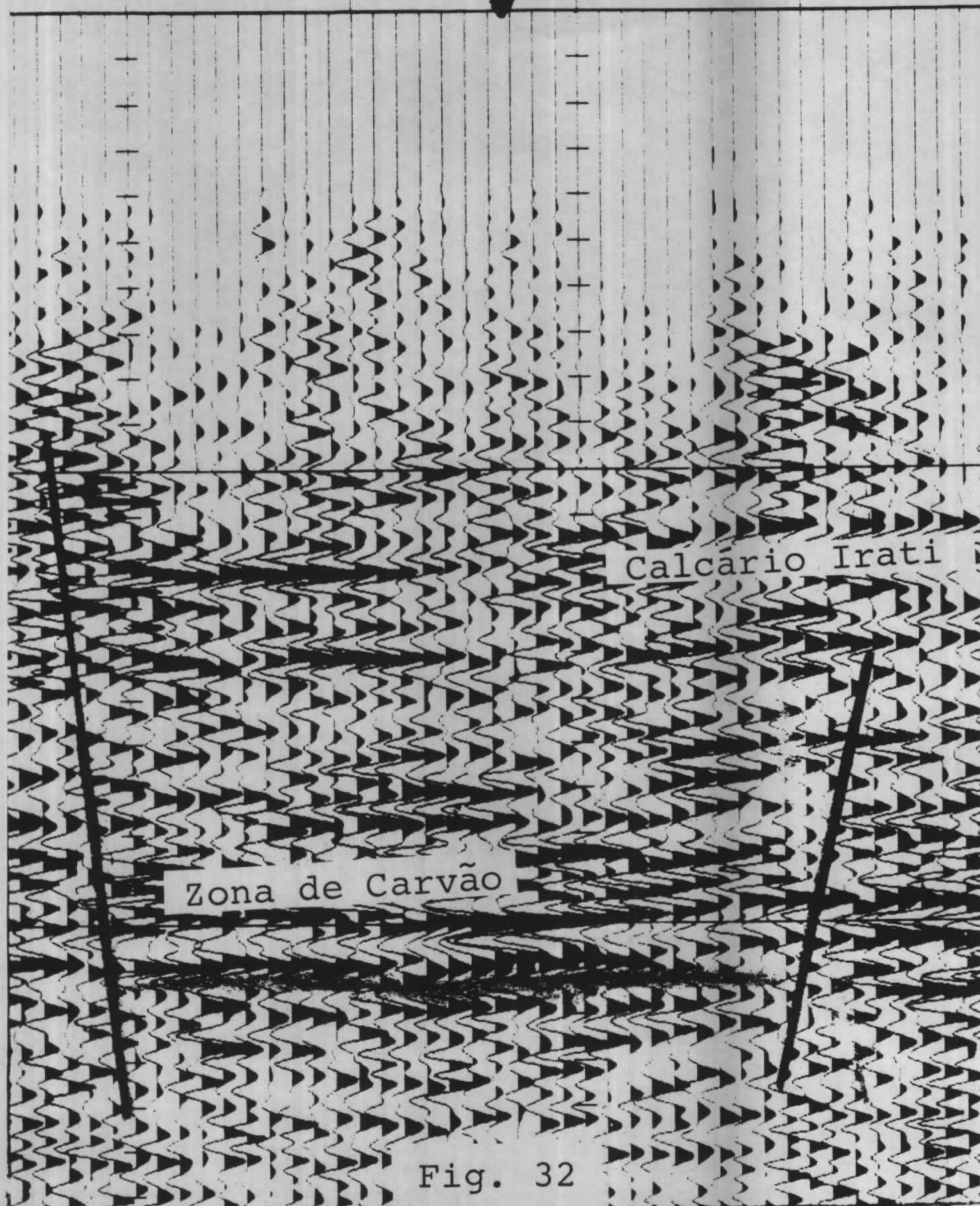


Fig. 32

III - Figuras 33 (ondícula) e 34 (seção sísmica)

Neste trecho da linha 03 (fig. 34) situa-se o furo LB-129-RS.

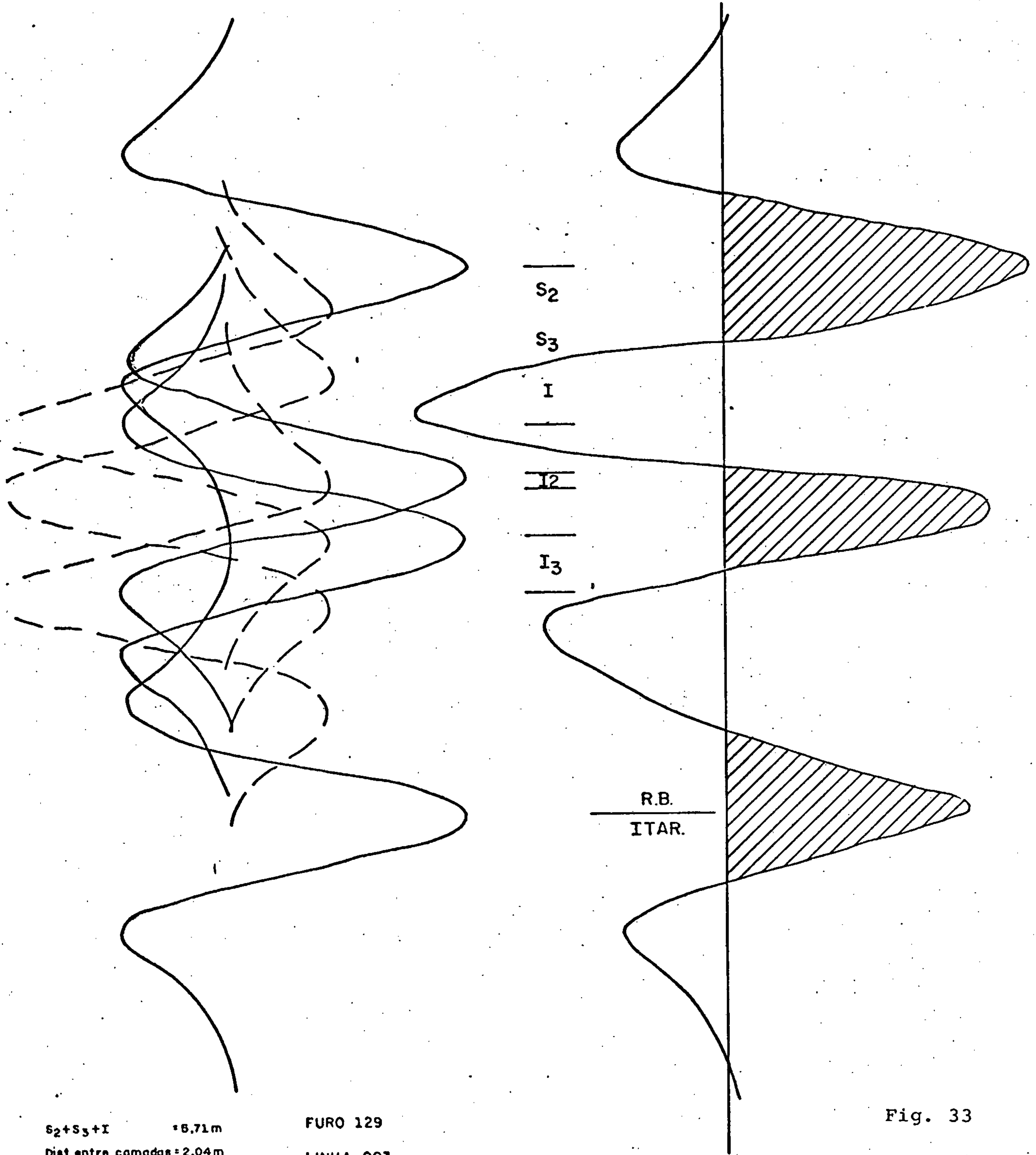
Comparando-se a ondícula computada a partir do furo (fig. 33) com os traços sísmicos (fig. 34) resulta:

- a fase positiva do topo da zona de carvão (fig. 34) correlaciona-se com as camadas S_2 , S_3 e I que, em virtude do pequeno afastamento que guardam, funcionam como uma única camada de quase 6 metros de espessura;
- logo abaixo (ainda na figura 34) a forte fase positiva que aparece, corresponde à camada I_3 com aproximadamente 2 metros de espessura, estando o traço algo afetado pela camada I_2 situada 2,50m acima;
- a fase positiva seguinte e abaixo, com amplitude variada corresponde ao contato Fm. Rio Bonito/Fm. Itararé (siltitos sobre diaclititos).

Ocorrem neste trecho duas descontinuidades na zona de carvão, aqui não assinaladas, com rejeitos muito pequenos: sob a estaca 781, 2,5m e sob a estaca 772, 1,5m, ambas com lado alçado a oeste.

Neste trecho as espessuras das camadas de carvão pouco variam, mantendo-se muito aproximadamente as condições do furo LB-129-RS.

VH



$S_2 + S_3 + I$ = 8.71m
 Dist.entre camadas = 2.04m
 I_2 = 0.54m
 Dist.entre camadas = 2.02m
 I_3 = 1.93m

FURO 129
 LINHA 003
 ESTACA 775

Fig. 33

LB-129-RS

90

785

780

775

770

765

7

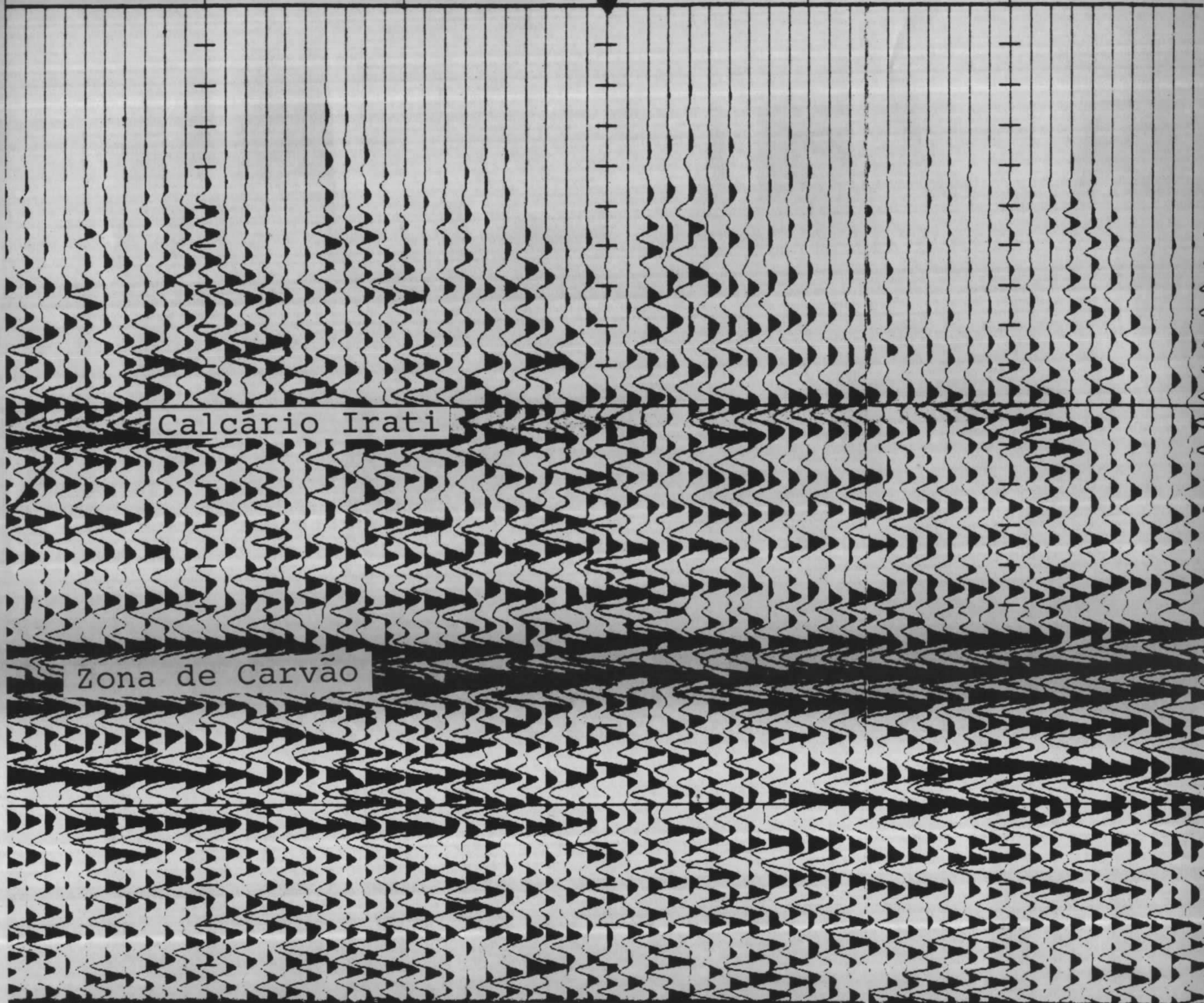


Fig. 34

IV - Figura 35 (seção sísmica)

Corresponde a um trecho onde não há furos de sonda.

Neste trecho da linha 03, entre as estacas 897 e 940, pode-se determinar o comportamento espacial das camadas de carvão S_1 , S_2 , S_3 , I, I_2 e I_3 , analisando-se detalhadamente o traço sísmico ao longo da zona de interesse.

O primeiro horizonte da zona de carvão está relacionado com as camadas S_1 e S_2 que mantêm aqui condições de espessura semelhantes às encontradas no furo LB-117-RS, ou seja: entre 1 e 2 metros de espessura e pouco afastadas funcionando para a sísmica como uma única camada de cerca de 4 metros de espessura.

O segundo horizonte forte, cerca de 10 ms abaixo, corresponde a camada I_3 , com espessura em torno de 2 metros, mantendo essa camada um certo paralelismo com S_1 e S_2 , na maior parte do trecho.

Entre os dois horizontes acima descritos, a análise do traço sísmico ao longo da linha sugere variações em posição e espessura das camadas S_3 , I e I_2 em relação as S_1 e S_2 acima, e a I_3 abaixo.

Assim, verifica-se, entre as estacas 940 e 935, ou uma aproximação da camada I, com cerca de 2 metros de espessura, da camada S_3 (com menos de 0,50 metro), ou um espessamento da camada S_3 de oeste para este, com I sem grandes modificações. Neste trecho a camada I_2 deve manter-se com espessura muito pequena (menos 0,50 m).

A partir da estaca 935 até 928 temos camadas S_3 e I_2 com espessuras muito pequenas e a I em torno de 1,50m.

Entre 928 e 915 a camada I mantêm-se entre 1,50 e 2,00 metros enquanto verifica-se um espessamento de I_2 , aproximando-se da I.

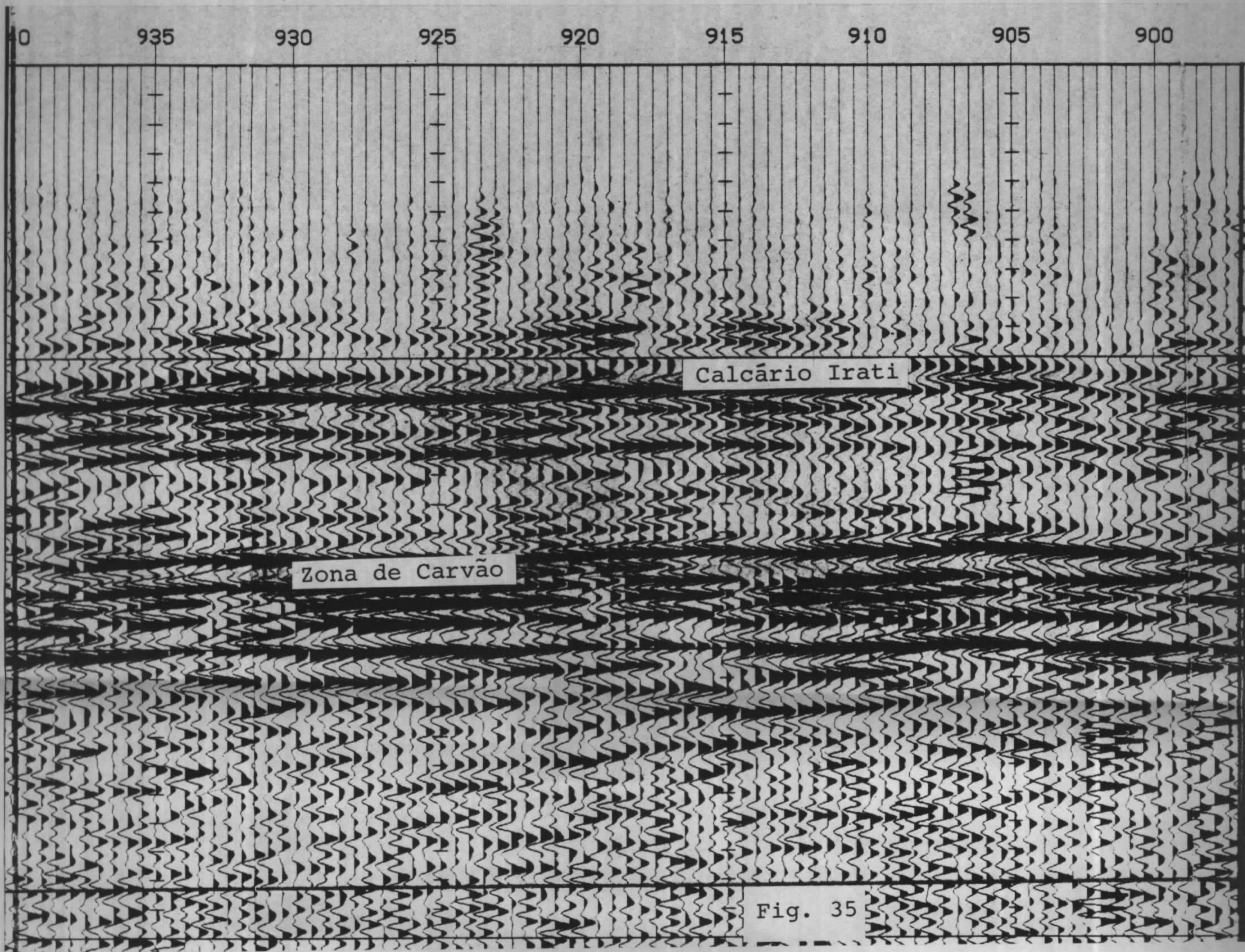


Fig. 35

Sob o ponto 915 parece haver uma descontinuidade de cerca de 1 metro com baixo a leste, afetando somente as camadas inferiores (I_2 , I_3 , talvez a I_1). Deste ponto para leste verifica-se que as camadas I_1 , I_2 e I_3 estão próximas entre si, sendo que entre as estacas 911 e 906, é possível distinguir apenas duas reflexões, devendo as camadas S estar próximas entre si acima e as I abaixo.

Na estaca 905 verifica-se outra descontinuidade de afetando apenas as camadas inferiores, também com o lado abaixo a este e com rejeito em torno de 1 metro.

A partir deste ponto para este até o limite do trecho verifica-se uma aproximação das camadas superiores (S_1 e S_2) em relação às inferiores (I_2 e I_3), chegando a uma distância em torno de 8,50 m do topo da primeira camada (S_1) para o topo da última (I_3).

A camada I_4 não é comentada pois afastada das demais e, com muito pouca espessura, menos de 0,50m, não é visível no traço sísmico.

3. CONCLUSÕES

Impõe-se, sobretudo, uma esquematização dos fatos para alcançar uma avaliação crítica do método.

Questões a serem respondidas:

- valeu a pena?
- valerá a pena?

Considere-se:

3.1 - Dos objetivos

Quais os objetivos imputáveis à Sísmica de Alta Resolução?

As metas obviamente são:

- a. redução de custos na fase de detalhamento de jazimentos;
- b. redução do prazo idem;
- c. maior segurança quanto ao conhecimento dos aspectos geológico-estruturais potencialmente adversos à lavra do carvão.

Com o que se compara a Sísmica de Alta Resolução tendo em vista essas metas?

A resposta a esta indagação é, evidentemente, sondagem. A sondagem é o método clássico para a obtenção dos dados essenciais à viabilização de uma lavra de carvão.

Estes dados, qualidades, condições ou propriedades são de duas diferentes naturezas. O primeiro grupo, como se pode ver na figura 36, é aquele que depende da posse material do carvão. Já o segundo grupo, que foi denominado o de propriedades geológicas

DOMÍNIO DAS PROPRIEDADES DO CARVÃO

Propriedades Tangíveis

umidade
poder calórico
cinzas
S
qualidade siderúrgica
etc.
requerem
↓
posse material do carvão

SONDAGEM

Propriedades Geológicas

extensão das camadas
direção e mergulho
profundidade
falhas
intrusões
"partings"
espessuras
continuidade e regularidade das
condições geométricas
etc.
requerem
↓
maior continuidade e frequência
dos dados

SÍSMICA DE ALTA RESOLUÇÃO

INTEGRAÇÃO PARA

MAIOR BENEFÍCIO



Fig. 36

requer a maior frequência possível dos dados de forma a permitir maior segurança. É óbvio que as propriedades tangíveis são do domínio da sondagem.

É de crer que este trabalho tenha demonstrado a eficácia da Sísmica de Alta Resolução na revelação das propriedades geológicas, vale ressaltar, com informações espaçadas de 5 em 5 metros.

Assim sendo, do ponto de vista técnico de grau de resolução atingido, valeu a pena. O mesmo se pode dizer quanto à segurança que seria/será proporcionada a um eventual planejamento de lavra na área.

E quanto aos aspectos de redução de prazos e custos de detalhamento dos jazimentos de carvão?

3.2 - Dos aspectos econômicos

A figura 37 alinha os números reais até a época da elaboração deste relatório e, para efeito de comparação, o que teria sido o ideal a atingir, com base em números correntes internacionais.

A principal causa de desvio em relação aos padrões considerados ideais foi o tempo investido em experimentação (cerca de 1/3 do total) buscando, essencialmente, obter aquelas frequências que permitissem o enfoque clássico: interpretação de topo e base das camadas. O modo de interpretar, aqui apresentado por intermédio das nuanças de ondículas e suas deformações, causadas pela presença, em subsuperfície, de delgadas camadas individuais, não era nem é praticado. Sua concepção e gestação deveu-se à equipe de interpretação da CPRM, que subscreve este Relatório, e nasceu por assim dizer, da mãe de todas as criações e invenções humanas: a necessidade.

ALTA RESOLUÇÃO
PRODUÇÃO E CUSTOS

1. REAL

1.1 - TOTAL (até 30.09.81)	Cr\$	415 x 10 ⁶
1.2 - PRODUÇÃO TOTAL EM KM		137
1.3 - DIAS TRABALHADOS-TOTAL		315
1.4 - DIAS DE TESTES E EXPERIMENTAÇÃO		115
1.5 - DIAS DE PRODUÇÃO		200
1.6 - CUSTO DIÁRIO	Cr\$	1.317.460
1.7 - CUSTO DE 1.4	Cr\$	151.400.000,00
1.8 - CUSTO DE 1.5	Cr\$	263.600.000,00
1.9 - CUSTO UNITÁRIO	Cr\$	1.924.087,00/km *
1.10 - CUSTO MENSAL MÉDIO	Cr\$	39 x 10 ⁶

2. IDEAL (valores médios internacionais)

2.1 - PRODUÇÃO MENSAL MÍNIMA		30 km
2.2 - CUSTO UNITÁRIO	Cr\$	1.300.000,00/km **

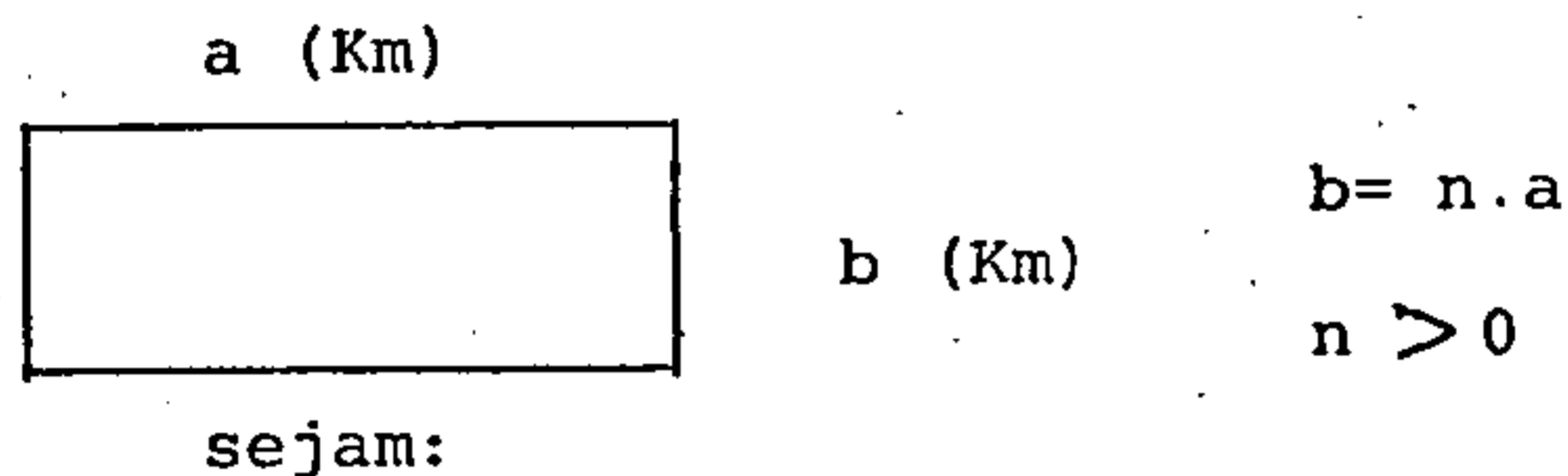
* US\$ 18,000.00

** US\$ 12,000.00

Em trabalhos futuros e experimentação será, pois, bastante reduzida, permitindo maior produção. Com isso, não será difícil atingir aqueles padrões ideais.

Para se visualizar de forma mais objetiva, o significado de trocar malhas de sondagem menores por investigação sísmica de alta resolução, parece oportuno fazer breve análise:

Seja por exemplo, uma "unidade mineira":



p - Profundidade de investigação

x - Malha

Tem-se:

$$\text{Nº de furos} = \frac{a}{x} \cdot \frac{b}{x} = \frac{na^2}{x^2}$$

$$\text{Metragem total} = \frac{na^2}{x^2} \cdot p \text{ metros (I)}$$

$$\text{Cobertura Sísmica} = \frac{b}{x} \cdot a + \frac{a}{x} \cdot b \cdot \frac{2ab}{x} = \frac{2na^2}{x} \text{ Km (II)}$$

Sejam:

C_p e c_p - respectivamente custo total e unitário (Cr\$/m) de perfuração

C_s e c_s - idem, idem de sísmica (Cr\$/km)

Tomando-se I e II acima:

$$C_p = \frac{na^2p}{x^2} \cdot c_p \quad (\text{III})$$

$$C_s = \frac{2na^2}{x} \cdot c_s \quad (\text{IV})$$

E dividindo III por IV:

$$\frac{C_p}{C_s} = \frac{p}{2x} \cdot \frac{\bar{c}_p}{c_s} \quad (\text{V})$$

Sejam:

L - metros por mês, a média de produção das sondas disponíveis.

K - quilômetros por mês, média de produção de uma equipe sísmica.

Considerando I e II:

$$T_p \text{ (tempo total de perfuração)} = \frac{na^2p}{x^2 L} \text{ meses} \quad (\text{VI})$$

$$T_s \text{ (tempo total da sísmica)} = \frac{2na^2}{x K} \text{ meses} \quad (\text{VII})$$

Dividindo VI por VII:

$$\frac{T_p}{T_s} = \frac{K \cdot p}{2xL} \quad (\text{VIII})$$

Sejam:

$$\frac{C_p}{C_s} = \frac{c_p}{c_s} \cdot \frac{p}{2x}$$

$$\frac{T_p}{T_s} = \frac{K}{L} \cdot \frac{p}{2x}$$

Caso 1 Se $p \rightarrow 0$ (zero), isto é, se o alvo geológico se aproxima da superfície:

$$\lim_{p \rightarrow 0} \frac{C_p}{C_s} = 0 \quad \text{isto é } C_p \lll C_s$$

$$\lim_{p \rightarrow 0} \frac{T_p}{T_s} = 0 \quad \text{isto é } T_p \lll T_s$$

Caso 2 Se $p \rightarrow \infty$ (ou seja: o alvo geológico está a uma profundidade tão grande quanto se deseje, 300, 400, 500, 1.000m).

$$\lim_{p \rightarrow \infty} \frac{C_p}{C_s} = \infty \quad \text{ou } C_p \ggg C_s$$

$$\lim_{p \rightarrow \infty} \frac{T_p}{T_s} = \infty \quad \text{ou } T_p \ggg T_s$$

Caso 3 Se $x \rightarrow 0$ (malha tão densa quanto se queira).

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{C_p}{C_s} = \infty \quad \text{ou} \quad C_p \gg \gg C_s$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{T_p}{T_s} = \infty \quad \text{ou} \quad T_p \gg \gg T_s$$

Caso 4 Se $x \rightarrow \infty$ (malha tão aberta quanto se queira).

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{C_p}{C_s} = 0 \quad \therefore C_p \ll \ll C_s$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{T_p}{T_s} = 0 \quad \therefore T_p \ll \ll T_s$$

Como regra geral pois:

- a) Quando o alvo a investigar é aflorante (ou quase) o custo e o prazo da sísmica tendem a ser maiores que os da perfuração. O inverso, isto é, o custo e o prazo da perfuração tendem a ser cada vez maiores que os da sísmica, a medida que o alvo se aprofunda (respectivamente: Caso 1 e Caso 2);
- b) Quando a malha é muito aberta, isto é, na fase exploratória próxima do reconhecimento, o custo e o prazo da sísmica provavelmente superarão aqueles da sondagem. À medida que se tem que adensar a malha (semi-detralhe e detalhe) novamente a situação se inverte e o custo e prazo da perfuração se tornam cada vez maiores que os da sísmica. (Caso 4 e Caso 3, respectivamente).

Se se discute simultaneamente os limites das duas variáveis, p e x, cai-se em indeterminações matemáticas em todos os casos (tipo $\frac{\infty}{\infty}$ $\frac{0}{0}$ $\frac{\infty}{0}$ $\frac{0}{\infty}$). Quer dizer: vai depender dos valores reais de p e x, dos custos unitários e dos parâmetros de produção e, literalmente, cada caso será um caso.

3.3 - Das considerações finais

Quanto a aplicação da teoria de ondícula à interpretação da sísmica de alta resolução, há duas importantes considerações a fazer:

a) os parâmetros de Sísmica de Alta Resolução, de campo, registro e processamento (distância entre geofones, CDP, stacking, etc) devem ser mantidos, uma vez que ainda se necessita das frequências mais altas possíveis e as ondículas, de pequena escala, precisam de realce;

b) essa interpretação é impraticável se desvinculada dos dados geológicos nem pode ser feita por atacado. É fácil ver o volume insano de trabalho que isso acarretaria, a maior parte do qual sem valor de aplicação prática. O correto é o trabalho de equipe, com os geólogos indicando pontos e situações críticas e o geofísico buscando resolvê-los através da análise sísmica.

4. BIBLIOGRAFIA

DIX, C.H., 1952 - Seismic prospecting for oil, Harpers & Bros.,
New York.

MUIR, W.L.G., 1976, ed - Coal exploration (Proceedings of the
First International Coal Exploration Symposium, London),
Miller Freeman, San Francisco.

RICKER, N., 1953 - The form and laws of propagation of seismic
wavelets, Geophysics, v. 18, pag. 10-40.

SHERIFF, R.E., 1976 - Encyclopedic dictionary of exploration
geophysics, The Society of Exploration Geophysicists, Tulsa,
Oklahoma.