

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
REGRESSÃO MÚLTIPLA DE PERFILAGEM GEOFÍSICA APLICADA
À ESTIMATIVA DE TEOR MINERAL

Tese Apresentada por

DEUSIVALDO AGUIAR SANTOS

como requisito parcial à obtenção do grau em

MESTRE EM CIÊNCIAS

Na área de

GEOFÍSICA

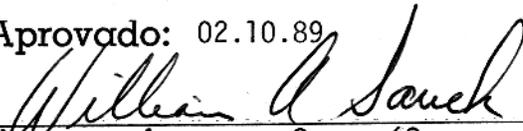
Conferido pelo Curso de Pós-Graduação em

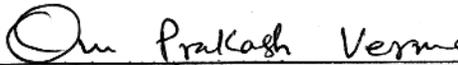
Geociências da

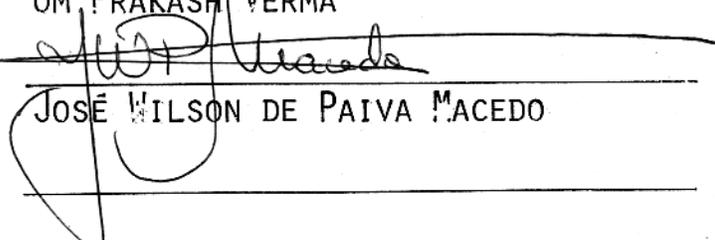
Universidade Federal do Pará

Aprovado: 02.10.89

Comitê de Tese


WILLIAM AUGUST SAUCK (ORIENTADOR)


OM. PRAKASH VERMA


JOSÉ WILSON DE PAIVA MACEDO

Ao meu pai José, minha mãe Maria, meu filho Thales,
meus irmãos Deusiran, Deurivan, Dorivan, Cícera,
Dircelene e João.

AGRADECIMENTOS

Quero esternar meus agradecimentos às pessoas e entidades que colaboraram de uma maneira ou de outra para a realização deste trabalho:

Ao Dr William Sauck, pela capacidade de compreensão humana e orientação deste trabalho.

Ao Dr Om Verma pela ajuda de coorientação neste trabalho.

Ao Dr José Wilson de Paiva Macedo, pelas sugestões como integrante da Banca Examinadora.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsas.

A Universidade Federal do Pará (UFPA), pela estrutura do curso de Geofísica.

A Rio Doce Geologia e Mineração S.A (DOCEGEO), ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de S. Paulo (IPT) e à PETROBRAS Mineração S.A. (PETROMISA), pela concessão das medidas deste trabalho.

Aos meus colegas

A Coordenação de Pós-Graduação do Centro de Geociências e sua Secretaria.

SUMÁRIO

	Pag.
DEDICATÓRIA	
AGRADECIMENTOS	
SUMÁRIO	
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	
RESUMO	01
ABSTRACT	02
1. INTRODUÇÃO E TRABALHOS ANTERIORES	03
2. GEOLOGIA	05
2.1 Salobo	05
2.2 Santa Maria	06
2.3 Recôncavo	07
3. MÉTODOS GEOFÍSICOS APLICADOS	09
3.1 Raio Gama	09
3.2 Potencial Espontâneo	10
3.3 Resistividade	10
3.4 Resistência	11
3.5 Polarização Induzida	12
4. METODOLOGIA	14
4.1 Levantamento de Dados Geoquímicos e Geofísicos	14
4.2 Processamento dos Dados	14
4.3 Teoria da Regressão Múltipla	15
4.4 Diagrama de Blocos	18
5. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	19
5.1 Poços de Carajás	20
5.2 Poços do Recôncavo	29
5.3 Poços de Santa Maria	38
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

	Pag.
Fig.1 Mapa de localização das jazidas de Carajás-PA	05
Fig.2 Mapa da situação das minas de Santa Maria-RS	06
Fig.3 Mapa da situação da Bacia do Recôncavo-BA	08
Fig.4 Arranjos de Resistividade	11
Fig.5 Arranjo de Resistência	12
Fig.6 Perfis Geofísicos e Geoquímicos de Salobo 69	21
Fig.7 Salobo 69 Cu e Cu+Fe	22
Fig.8 Perfis Geofísicos e Geoquímicos de Salobo 68	25
Fig.9 Salobo 68 Cu e Cu+Fe	26
Fig.10 Salobo 68 Cu previsto com coeficientes de 69 e furo 69 previsto com furo 68	28
Fig.11 Perfis Geofísicos e Geoquímicos do Recôncavo 67 ...	31
Fig.12 Recôncavo 67 Zn	32
Fig.13 Recôncavo 71 Pb	32
Fig.14 Perfis Geofísicos e Geoquímicos do Recôncavo 70 ...	35
Fig.15 Perfis Geofísicos e Geoquímicos do Recôncavo 71 ...	36
Fig.16 Recôncavo 70 Zn	37
Fig.17 Recôncavo 71 Zn	37
Fig.18 Perfis Geofísicos e Geoquímicos de Santa Maria 80 .	41
Fig.19 Perfis Geofísicos e Geoquímicos de Santa Maria 81 .	42
Fig.20 Santa Maria 80 Pb	43
Fig.21 Santa Maria 81 Pb	43
Fig.22 Santa Maria 80 Zn e Zn+Pb.....	44

RESUMO

O objetivo deste trabalho é estabelecer uma correlação entre os teores de Cu, Zn e Pb obtidos geoquimicamente e os dados de perfilagem geofísica de poços utilizando métodos elétricos e raio gama. Os poços de pesquisa estão localizados nas regiões de Carajás-PA, Santa Maria-RS e a Bacia do Recôncavo-BA.

Foram feitas regressões múltiplas de cada poço individualmente, entre as medidas obtidas com os métodos geofísicos polarização induzida, resistividade aparente, resistência, potencial espontâneo, raio gama e os teores de Cu, Zn ou Pb.

Os dados geoquímicos fornecem informações pontuais enquanto a geofísica traz informação de volume da rocha. Desta forma, para melhor correlação foram utilizados os valores médio geoquímico de cada cinco observações como sendo uma nova medida para efetuar a regressão com os métodos geofísicos.

A regressão múltipla apresenta resultados favoráveis, principalmente quando estamos prevendo teores do próprio poço.

Este trabalho mostra a possibilidade de estimar os teores de minerais metálicos através de perfilagem elétrica e raios-gama de poços.

ABSTRACT

Multiple regression was carried out to establish a correlation between the geochemical concentration of Cu, Zn and Pb in cores to geophysical well logs-electrical resistance, SP, IP, and gamma-rays. For this purpose data from boreholes in the regions of Carajás-PA, Santa Maria-RS, Recôncavo-BA were obtained. An average value of the metal concentration of five consecutive points was used for the correlation with the geophysical data. A good multiple regression could be established between geochemical and geophysical values obtained from the same borehole. However, not very satisfactory results were obtained when the correlation coefficients from one borehole were used to estimate the metal concentration in the other through geophysical data. This is possibly due to the variation in the geology locally.

1. INTRODUÇÃO E TRABALHOS ANTERIORES

Alguns dos problemas correntes em prospecção de sulfetos são o custo de tirar amostras cilíndricas com broca de diamante e o tempo de se fazer análise geoquímica para cada intervalo de interesse de testemunho em grandes quantidades de poços. Devido a isto, temos que experimentar técnicas alternativas para encontrar concentrações de teor mineral, verificando principalmente as aplicações de métodos geofísicos.

Depósitos de sulfetos de Cu, Zn, Pb, Ni e Fe são comumente encontrados associados com prata e ouro e, em quantidades bem menores, minerais radiativos. Estes sulfetos, também são encontrados associados com magnetita e/ou hematita.

Geofisicamente, um corpo de sulfeto maciço é definido por propriedades físicas como um corpo de alta densidade, tipicamente de alta condutividade elétrica e frequentemente magnético (Ward, 1966). Por isso, métodos gravimétricos, elétricos (inclusive EM) e magnéticos são comumente usados na prospecção para corpos maciços de sulfetos. Enquanto, um corpo de sulfeto disseminado é caracterizado por densidade e permeabilidade magnética quase igual as rochas encaixantes, e moderadamente condutivo. Minerais de sulfetos de brilho metálico, são condutores do tipo eletrônico e por isso exibem efeitos de polarização induzida nas rochas hospedeiras. No ambiente geológico apropriado estes minerais de sulfetos sofrem oxidação e conseqüentemente mostram polarização espontânea. A presença de minerais radioativos associados no traço, causa anomalias radioativas fraca a moderada. Estas anomalias radioativas distinguem corpos de sulfetos aos de grafite.

Técnicas sofisticadas (como ativação de neutrões e ressonância nuclear) para estimativa de sulfetos, bem como concentrações de cobre e outros elementos vem sendo empregadas principalmente na URSS e Europa (Dyck et al. 1975). No entanto, estas não são comumente utilizadas, e nesta pesquisa, analisaremos técnicas de perfilagem geofísica que são comumente disponíveis.

O objetivo é verificar a aplicabilidade dessas técnicas na estimativa de teor mineral. Para isto, estabeleceremos uma correlação entre os teores de Cu, Zn e Pb obtidos geoquimicamente em poços de controle e os dados de perfilagem geofísica dos mesmos poços utilizando métodos elétricos e raios gama. Posteriormente a técnica será aplicada em poços vizinhos para testar a utilidade do método. Foram feitas as regressões múltiplas de cada poço individualmente, entre as medidas com os métodos geofísicos polarização induzida, resistividade aparente, potencial espontâneo, resistência, raio gama e os teores de Cu, Zn e Pb.

Os dados geoquímicos e geofísicos utilizados foram obtidos em sete poços distribuídos em três ambientes geológicos diferentes. Estes poços estão localizados nas áreas de Carajás-PA (furos Salobo-68,-69), Camaquã Santa Maria-RS (furos PC-A3-80-10 ou simplesmente furo 80 e PC-A3-81-10 ou furo 81) e Aramari na Bacia do Recôncavo-BA (furos 9-FBA-67 ou furo 67, 9-FBA-70 ou furo 70 e 9-FBA-71 ou simplesmente furo 71), na área denominada Alto Aporá (Fazenda Barra).

As perfilagens geofísicas e geoquímicas para os furos Salobo 68 e 69 foram realizadas pela CPRM, enquanto nos furos 67, 70, 80 e 81 foram feitas pelo IPT e GEOSOL.

2. GEOLOGIA

2.1 Salobo

Segundo Farias e Sauerreesig (1982) e Martins et al. (1982), a jazida de cobre de Salobo que faz parte da província mineral de Carajás, situa-se a noroeste das jazidas de ferro da Serra Norte. Está contida em rochas da sequência Salobo-Pojuca, possivelmente do proterozóico inferior. O minério de cobre ocorre na sua maior parte em formações ferríferas fácies óxido-silicato, cujas encaixantes imediatas são xistos e gnaisses. A jazida é de caráter estratiforme e "stratabound" e

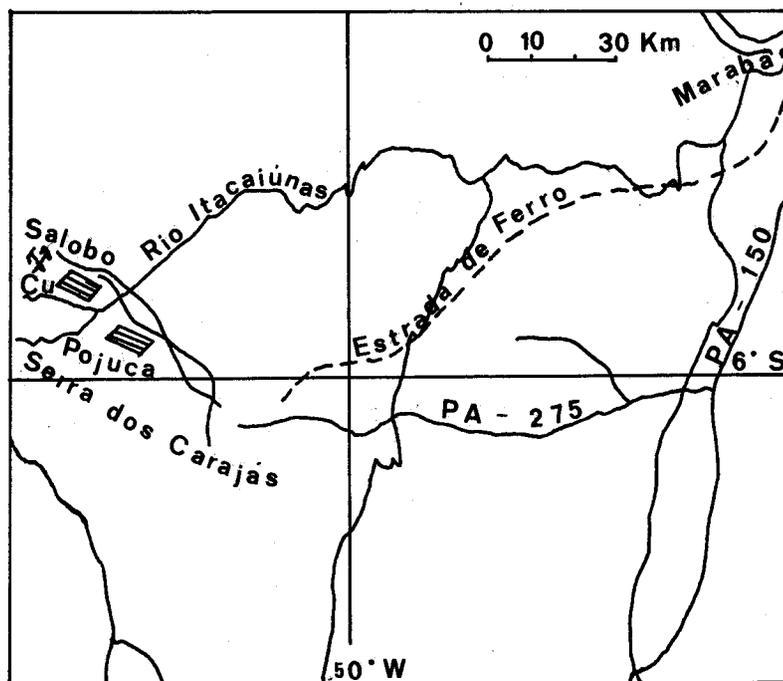


Figura 1 - Mapa de localização das jazidas de cobre de Salobo 3A na Serra dos Carajás Parã (Meireles et al. 1984).

apresenta direção W-NW, com mergulhos próximos à vertical para NE ou SW. A sequência Salobo foi submetida a metamorfismo polifásico retrógrado e é constituída por cinco unidades estratigráficas principais, a saber (topo para base):

quartzito, gnaiss superior, formação ferrífera bandeada, xistos e gnaiss inferior. Os contatos entre as diversas unidades da seqüência Salobo são concordantes e freqüentemente transicionais. Intrusões de rochas básicas e ácidas cortam a seqüência. A Figura-1 mostra o mapa de localização de Salobo 3A da Província Mineral de Carajás.

2.2 Santa Maria

Segundo Gonzales e Teixeira (1980), Ribeiro et al. (1980), Badi e Gonzales (1980), a jazida Santa Maria, mineralizada em Pb e Zn com prata associada, sedimentar estratiforme, situa-se em clásticos imaturos, formados em ambiente costeiro (leque deltáico) da porção centro-sul da bacia Camaquã, nas proximidades da margem norte do rio Camaquã.

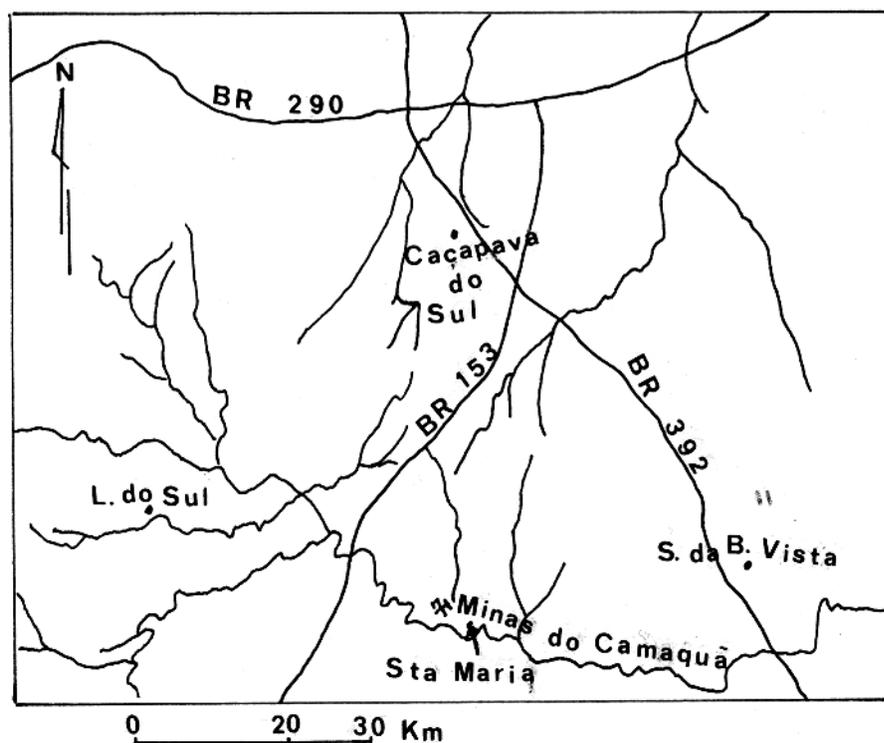


Figura 2 - Mapa de localização das Minas do Camaquã em Santa Maria Rio Grande do Sul (Ribeiro et al. 1980).

Segundo Fragoso et al. (1982), a bacia Camaquã representa a exposição, no escudo do Rio Grande do Sul, da antefossa do sudeste, uma calha molássica marginal do cinturão Dom Feliciano, limitando esta província tectônica de seu antepaís, o cráton do rio de La Plata, situado a NW. Esta antefossa desenvolveu-se no estágio de transição do ciclo brasileiro (Almeida, 1969) no final do proterozóico superior (início do paleozóico). Na Figura-2 temos o mapa de localização da bacia em estudo.

2.3 Recôncavo

A bacia do Recôncavo teve sua estratigrafia formalizada no trabalho de Vianna et al. (1971), que abrange os aspectos lito-, bio- e cronoestratigráficos do pacote juro-cretácico. No nível estratigráfico estudado, a bacia do Recôncavo é constituída principalmente de folhelhos, arenitos e siltitos.

Segundo Horschutz et al. (1973), a bacia do Recôncavo possui elementos comuns à maioria das bacias cretáceas da costa do Brasil. Estas se caracterizam no início de sua evolução, por uma fase de deposição continental em condições de "rift-valley".

A sucessão dos modelos deposicionais das várias sequências indicam grandes progradações e uma repetição dos ambientes de deposição, variando apenas sua posição paleográfica. Os arenitos de cada sequência formam grandes unidades deltaicas, cujas isóliticas relacionam-se com as isópacas, como efeito da influência paleoestrutural.

As regiões fontes dos sedimentos localizavam-se principalmente, a noroeste da bacia, em direção a bacia de

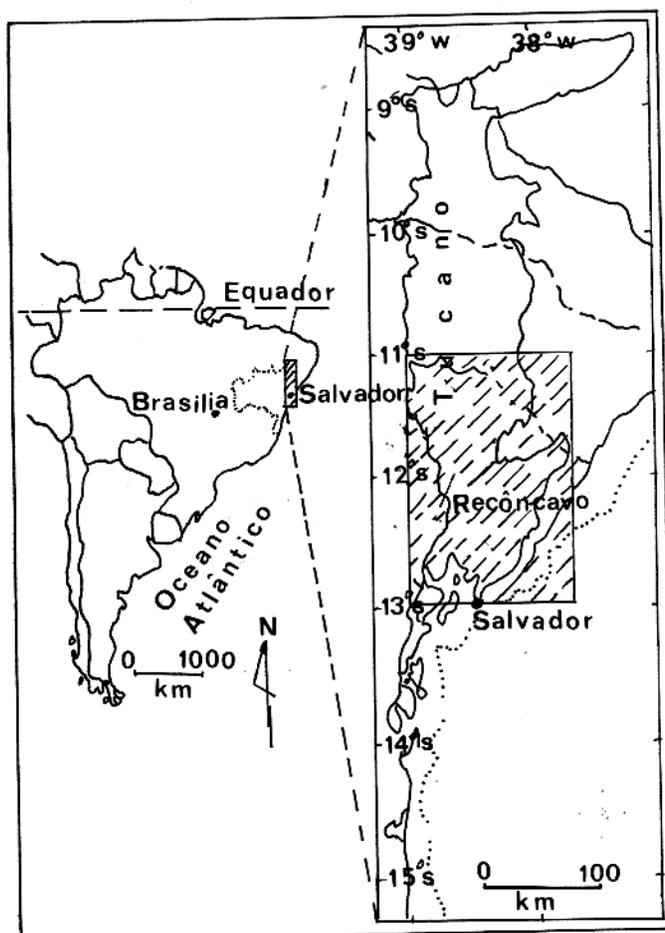


Figura 3 - Mapa de localização da bacia do Recôncavo-BA (Milani, 1987).

Tucano, na margem leste, onde os arenitos das unidades cronoestratigráficas se interditam e gradam respectivamente para os arenitos grosseiros do Membro Morro do Barro e conglomerados da formação Salvador.

Em cada sequência, a diversidade dos sistemas principais originou muitos arenitos, diferentes em idade, ambiente de deposição, espessura e geometria. De forma generalizada, cada sequência registrou o avanço de sistemas e complexos em águas não marinhas. A Figura-3 mostra o mapa de localização da Bacia do Recôncavo.

3. MÉTODOS GEOFÍSICOS APLICADOS

3.1 Perfil Raios Gama

A perfilagem raios gama consiste em detectar e medir as radiações gama (γ) dos elementos radioativos naturais contidos nas rochas. Em rochas praticamente só três elementos contribuem para a radioatividade gama: Potássio (K), Tório (Th) e Urânio (U). Quando estas não contêm quantidades anormais de U ou Th as medidas normalmente refletem o conteúdo de ⁴⁰K ou indiretamente o conteúdo em argilas das rochas.

A resposta do instrumento utilizado para medir as emissões gama é função tanto da concentração em peso do material radioativo na formação, como também, da densidade dessa formação. Considerando-se uma formação que contenha principalmente um mineral radioativo específico a equação abaixo reflete essa relação:

$$GR = \frac{\rho V}{\rho b} A \quad (1)$$

onde,

GR= radioatividade global medida;

ρ = densidade do mineral radioativo;

V = percentagem em volume do mineral radioativo na formação;

ρ = densidade global da formação;

b
A = fator de proporcionalidade correspondente à atividade do mineral radioativo.

Diversas unidades são empregadas, dependendo das companhias que efetuam as perfilagens. Uma unidade bastante

difundida é a API (American Petroleum Institute) e outra muito ligada à prospecção mineral é a contagem de pulsos por minuto ou segundo (respectivamente, CPM e CPS).

São necessárias correções para perfilagem em raio gama, tais como: diâmetro do poço, densidade da lama, da cimentação e do revestimento nas paredes (canos).

3.2 Potencial Espontâneo

A perfilagem de potencial espontâneo (SP) consiste em medir a diferença de potencial natural existente entre dois pontos: um considerado como referência, normalmente na superfície, e outro variável ao longo do poço. Esta diferença é produzida por mecanismos físico e químico.

Diante de rochas argilosas ou margosas a curva de SP tende a manter-se constante e a linha definida por ela é denominada de base SP. Em zonas permeáveis a curva de SP mostra deflexões à direita (positivas) em relação a linha de base se a resistividade da água de formação é maior do que o filtrado de lama e deflexões à esquerda (negativas) no caso contrário.

As principais vantagens do método SP são: rapidez, simplicidade e possibilidade de demarcação clara dos contatos geológicos.

3.3 Resistividade

Nas chamadas perfilagens elétricas convencionais de resistividade o princípio fundamental de medida consiste em fazer passar na subsuperfície uma corrente elétrica por intermédio de um par de eletrodos (emissor) e registrar a diferença de potencial através de um outro par de eletrodos (receptor). O objetivo principal da interpretação das medidas é obter as resistividades das "formações" em estudo.

Dependendo da disposição dos eletrodos as sondas e, em consequência, por extensão as perfilagens, são ditas normais ou

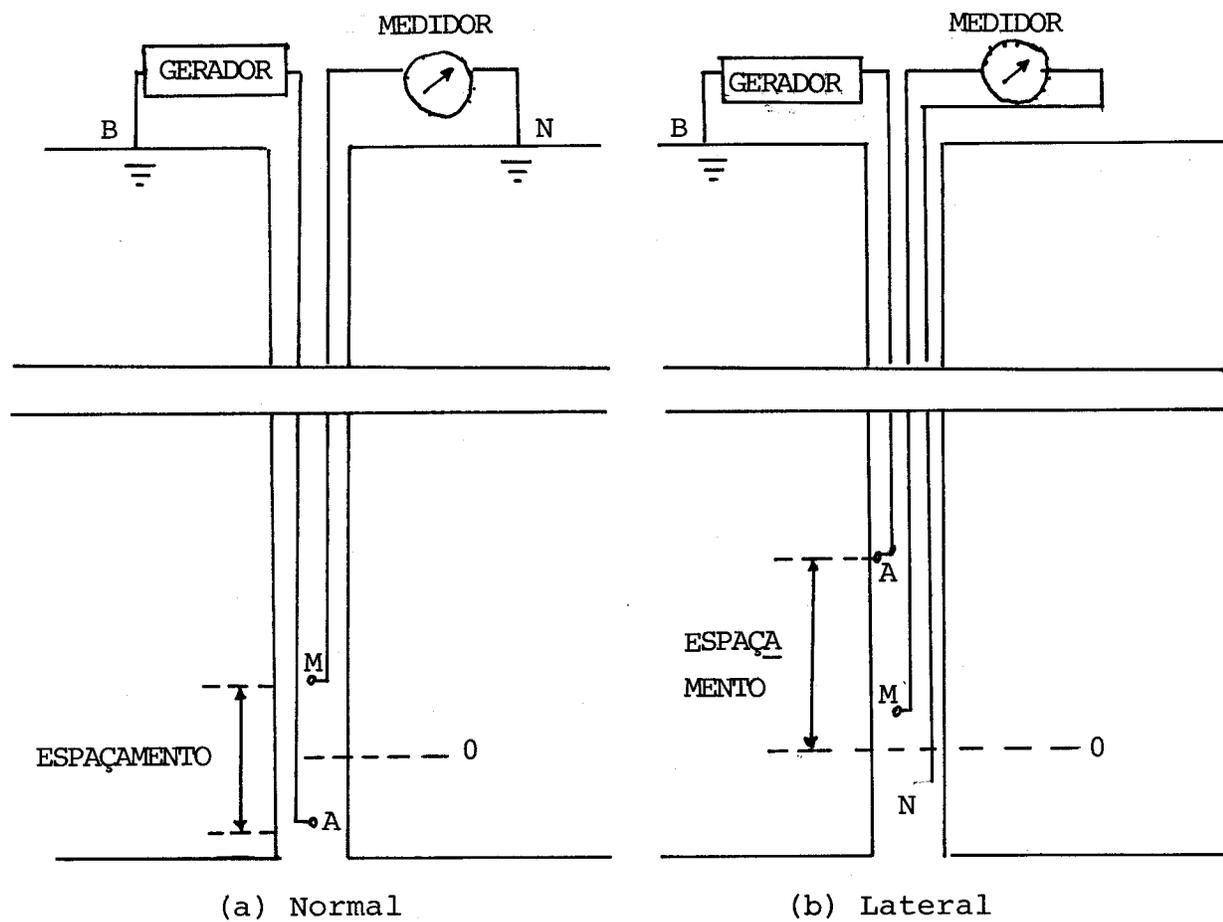


Figura 4 - Tipos de sondas (Schlumberger, 1972)

laterais. A Figura-4 mostra os dois tipos de sonda.

As perfilagens são utilizados sobretudo para a determinação das resistividades das formações e localização dos horizontes litológicos.

3.4 Resistência

Corresponde ao dispositivo mais simples de medida das

chamadas perfilagens elétricas de resistividade. O método consiste em medir a resistência que a terra oferece à passagem de uma corrente elétrica. Para isto, são utilizados dois eletrodos: um na superfície e outro que se desloca ao longo de toda a sondagem. A Figura-5 mostra a sonda utilizada nesse tipo de perfilagem.

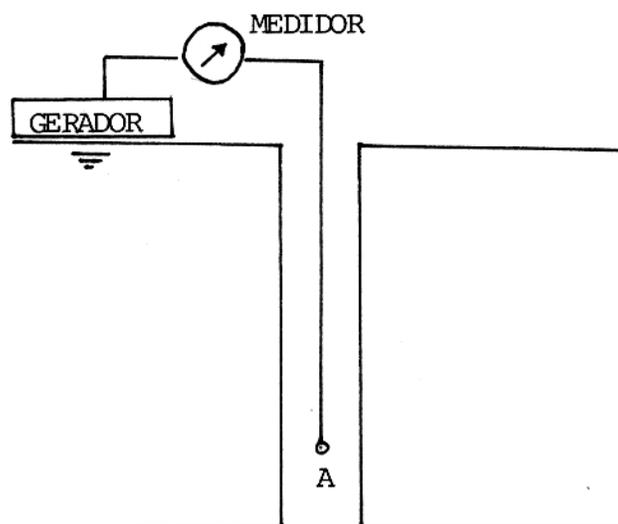


Figura 5 - Sonda de um eletrodo (Astier, 1975).

As variações da resistência refletem sobretudo as variações das resistividades das rochas situadas nas vizinhanças do eletrodo de subsuperfície.

Perfilagens de resistência são úteis para correlações, e podem ser usadas para determinar a uniformidade das propriedades da seção geométrica de sondagem para sondagem.

3.5 Polarização Induzida

O método polarização induzida (IP) baseia-se nos

efeitos eletroquímicos resultantes do fluxo de corrente elétrica nas rochas, que geram um potencial anômalo que se opõe à passagem da corrente elétrica. Estes efeitos dependem de vários fatores tais como concentração e tamanho dos grãos, condução iônica, porosidade, conteúdo iônico do fluido presente, temperatura, etc.

O IP é gerado principalmente por dois diferentes efeitos eletroquímicos denominados polarização de eletrodo e polarização de membrana. Ver descrição detalhada em Keller and Frischknecht (1977).

Dois métodos são comumente utilizados para medir o efeito de Polarização Elétrica Induzida: um baseado na aplicação de um pulso e na medida do decaimento da voltagem após o interrompimento da corrente (método no domínio do tempo) e o outro baseado na variação da condutividade elétrica do meio com a frequência quando se aplica um campo elétrico alternado (método no domínio da frequência).

Segundo Wagg e Seigel (1963), a principal aplicação de IP é na detecção direta de sulfetos metálicos disseminados em pequenas quantidades. Para volumes maiores onde a condutividade elétrica começa a crescer apreciavelmente, o método eletromagnético é mais barato e frequentemente mais efetivo. Ao mesmo tempo, o método responderá também à grafita, magnetita, serpentinita e certos minerais argilosos resultantes da alteração da rocha.

4. METODOLOGIA

4.1 Levantamento de Dados Geofísicos e Geoquímicos

O desenvolvimento deste trabalho consistiu na obtenção de dados geoquímicos através de análises e geofísicos em forma de perfis. Os métodos geofísicos utilizados foram: polarização induzida (IP), resistividade aparente (ρ_a), potencial espontâneo (SP), resistência (Re) e raio gama (γ). A seguir descrevemos o desenvolvimento de cada poço:

Para os furos de Salobo 68 e 69 (Carajás-PA) foram utilizados os métodos IP e ρ_a com arranjo normal, além de SP, Re e γ .

Nos furos do Recôncavo-67, -70 e -71 (Recôncavo-BA) utilizou-se IP e ρ_a com arranjos de eletrodos de 2,5m e 5,0m, com medidas discretas e $t = t = 2$ segundos para IP e γ on off contínuo.

Nos furos de Camaquã Santa Maria-RS de números 80 e 81 foram utilizados os métodos IP e ρ_a com arranjo entre os eletrodos de 2,5m e mais SP, Re e γ . Nestes furos os perfis em forma contínua foram realizados para γ , Re, SP e IP, e em forma discreta para resistividade aparente.

4.2 Processamento dos Dados

Foram feitas regressões múltiplas com os dados fornecidos pelos métodos geofísicos com o objetivo de correlacioná-los com os dados geoquímicos.

Os dados em forma de perfis contínuos de Carajás-PA, foram digitalizados em forma discreta com espaçamentos constantes de 0,25m. Já os dados de Santa Maria-RS e

Recôncavo-BA foram digitalizados em forma discreta com espaçamentos constantes de 0,5m.

Os dados geoquímicos fornecem informações pontuais, enquanto a geofísica traz informação de volume da rocha. Desta forma, para melhor correlação, foram utilizados os valores médio geoquímico de cada cinco observações como sendo uma nova medida para efetuar a regressão, a fim de simular uma amostragem de volume semelhante à das medidas geofísicas, e também para compatibilizar os espectros de frequência dos vetores, pois não há muita validade em comparar duas séries cujo conteúdos de frequência sejam muito diferentes.

As curvas em linha pontilhada nos gráficos deste trabalho é resultado do plotamento da média das medidas geoquímicas de cinco pontos, enquanto em linha cheia são apresentados os dados previstos através da regressão múltipla.

4.3 Teoria da Regressão Múltipla

Aos problemas que envolvem a obtenção de uma variável dependente a partir de duas ou mais variáveis independentes, denominamos de regressão múltipla.

Seja a função Y linear nos coeficientes a_j ($j=1,2,\dots,5$) onde X_j ($j=1,2,\dots,5$) são funções de variáveis independentes, ou seja:

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + a_4 X_4 + a_5 X_5 \quad (10)$$

onde,

Y = variável dependente;

a_0 = termo constante;

a_j = coeficiente de regressão parcial ($j=1,2,\dots,5$).

O coeficiente a_0 é expresso explicitamente em função de todos os outros coeficientes,

$$a_0 = \frac{1}{N} (\sum_i Y_i - a_1 \sum_1 X_1 - a_2 \sum_2 X_2 - a_3 \sum_3 X_3 - a_4 \sum_4 X_4 - a_5 \sum_5 X_5) \quad (11)$$

$$= \bar{Y} - a_1 \bar{X}_1 - a_2 \bar{X}_2 - a_3 \bar{X}_3 - a_4 \bar{X}_4 - a_5 \bar{X}_5$$

onde,

N = número de observações ou medidas,

\bar{Y} = média de Y ,

\bar{X}_j = média da função de variáveis independentes.

O coeficiente de regressão parcial a_j é calculado através da equação abaixo:

$$a_j = \frac{s_Y}{s_j} \sum_{k=1}^5 (r_{jk}^{-1} r_{kY}) \quad (12)$$

sendo,

s_Y = desvio padrão,

s_j = desvio padrão amostrado,

r_{kY} = coeficiente de correlação linear entre a variável X_k e a variável dependente Y ,

r_{jk} = coeficiente de correlação linear amostrado entre duas variáveis X_j e X_k .

Em analogia com o coeficiente de correlação linear, o qual é útil para testar se uma variável particular deve ser incluída na função teórica para a qual os dados são ajustados, temos o coeficiente de correlação múltipla R . Este, caracteriza o ajuste de dados para a função inteira, ou seja, R mede o grau

de relação existente entre a variável dependente e todas as variáveis independentes conjuntamente.

$$R^2 = \sum_{j=1}^s (b_{jY} r_{jY}) \quad (13)$$

onde,

r_{jY} = coeficiente de correlação parcial entre a j -ésima variável X_j e a variável dependente Y .

b_{jY} = declividade da reta ajustada, definida segundo Bevington (1969), por:

$$b_{jY} = \frac{N \sum_j X_j Y_j - \sum_j X_j \sum_j Y_j}{N \sum_j X_j^2 - (\sum_j X_j)^2} \quad (14)$$

considerando os X_j como função $X_j(x_i)$.

O cálculo da regressão múltipla é feito através do método dos mínimos quadrados, ilustrado em Bevington (1969) na subrotina REGRES. Além desta, encontramos no Centro de Geociências da UFPA, outros programas e subrotinas para efetuar os cálculos da regressão múltipla, tais como: o programa RMULT e suas subrotinas de Davis (1973) e no pacote SPSS (STATISTICAL PACKAGE for the SOCIAL SCIENCES) através da subrotina REGRESSION, todos implementados no DEC-10 e VAX/VMS VERSION V4.7.

Este trabalho foi realizado pelo pacote SPSS.

4.4 Diagrama de Blocos

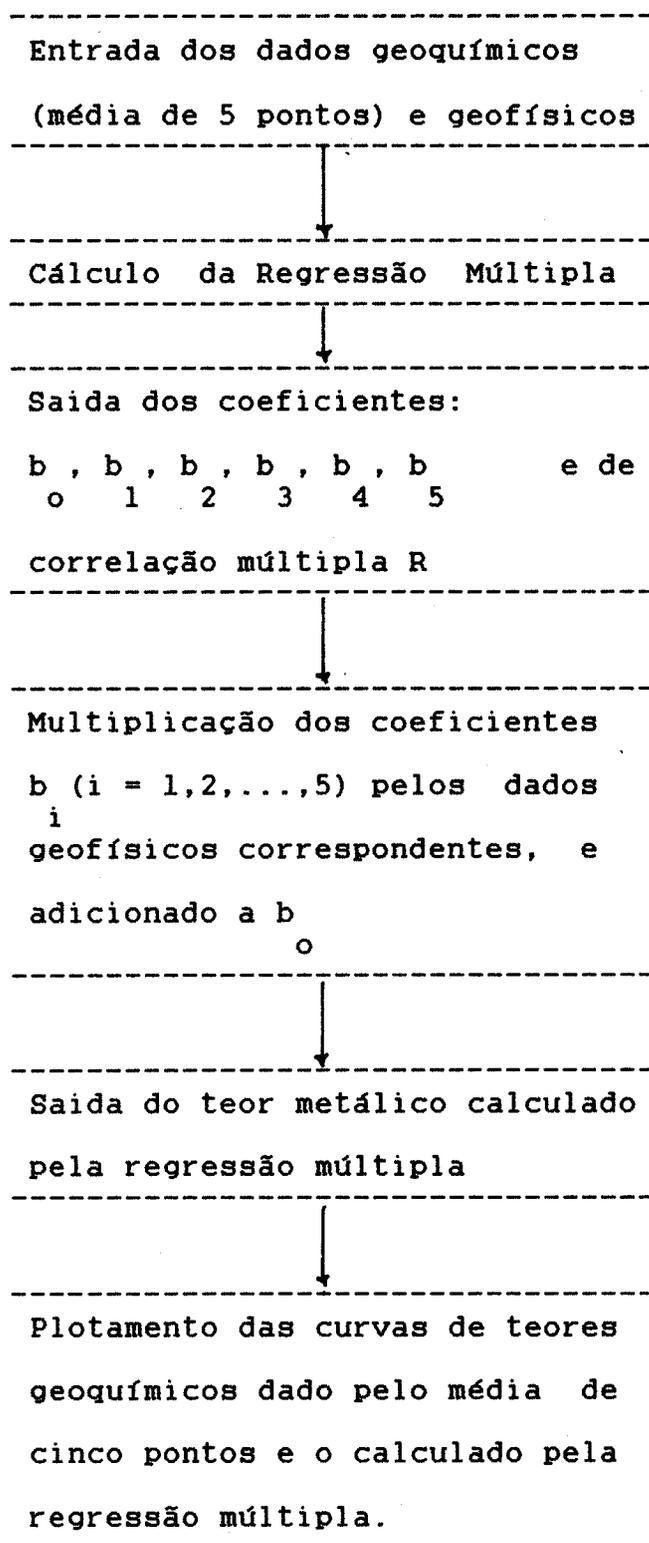


Diagrama de blocos da previsão de teor mineral, através de regressão múltipla.

5. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

A estimativa da concentração do elemento metálico considerado será expressa por:

$$E = b_0 + b_1 (IP) + b_2 (SP) + b_3 (\rho_a) + b_4 (Re) + b_5 (\gamma) \quad (15)$$

onde,

E = concentração do elemento metálico,

IP = polarização induzida,

SP = potencial espontâneo,

ρ_a = resistividade aparente,

Re = resistência,

γ = raio gama,

e os coeficientes b_0 , b_1 , b_2 , b_3 , b_4 , b_5 os quais mudam

dependendo do elemento metálico considerado.

Uma vez encontrado os coeficientes b_i ($i=0,1,\dots,5$), substitui-se os seus valores na equação-15 e encontramos o valor do teor mineral calculado ou previsto pela regressão múltipla.

A soma dos valores dos teores da média geoquímica, dos teores verdadeiros e o calculado pela regressão, é feita pela soma de cada valor pontual sob consideração, podendo ser efetuada através da equação-16.

$$S = E_m + E_1 + E_2 + \dots + E_n \quad (16)$$

sendo,

S = soma dos teores minerais.

m

5.1 Poços de Carajás

5.1.1 Salobo-69

Em relação ao poço Salobo-69 utilizou-se em seu processamento os métodos geofísicos IP, SP, ρ_a , Re e γ . A Figura-6 mostra os perfís geofísicos e geoquímicos deste furo.

A Figura-7 mostra os perfís das médias das medidas de Cu isoladamente e soma de Cu com Fe do poço Salobo-69 e o calculado com coeficientes de regressão múltipla do próprio poço. A Tabela-1 mostra os coeficientes de regressão múltipla relacionados a cada método geofísico neste ambiente geológico.

No entanto, estes perfís nos mostram que os métodos elétricos e o raio gama respondem melhor ao total de sulfetos (Cu e Fe) existentes na rocha do que ao sulfeto de cobre sozinho. Esta melhora não muito grande, está demonstrada na Tabela-1 através de R e está estimada em 15 %.

	: b	: b (IP)	: b (SP)	: b (ρ_a)	: b (Re)	: b (γ)	: R
	: 0	: 1	: 2	: 3	: 4	: 5	
Cu	: 97939	: -172	: 71	: -3	: -14	: 79	: 0.44
Cu+Fe	: 2182613	: -778	: 178	: -18	: -266	: 455	: 0.59

Tabela-1: Coeficientes do furo Salobo-69 calculados pela regressão múltipla para Cu e soma de Cu e Fe. Todos os coeficientes estão multiplicados por 10^{-5} , exceto o de correlação múltipla R.

O fato da fórmula dada pelos coeficientes de regressão superestimar os valores baixos e subestimar os valores altos, é devido provavelmente a presença de valores abruptos de cobre nos dados geoquímicos.

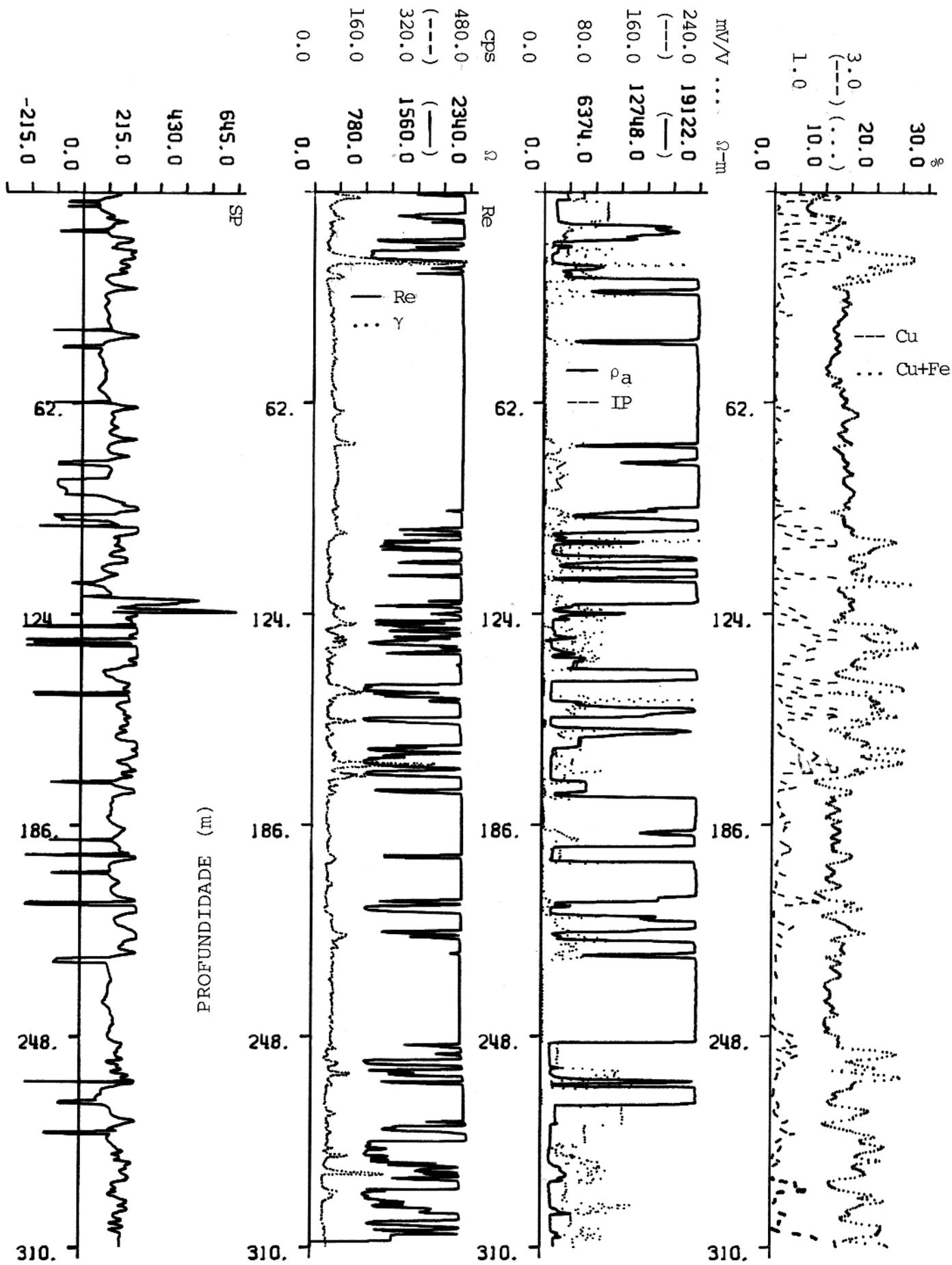


Figura 6 - Perfis medidos: geoquímicos de Cu, Cu+Fe e geofísicos de IP, ρ_a , Re, SP e γ do furo Salobo-69.

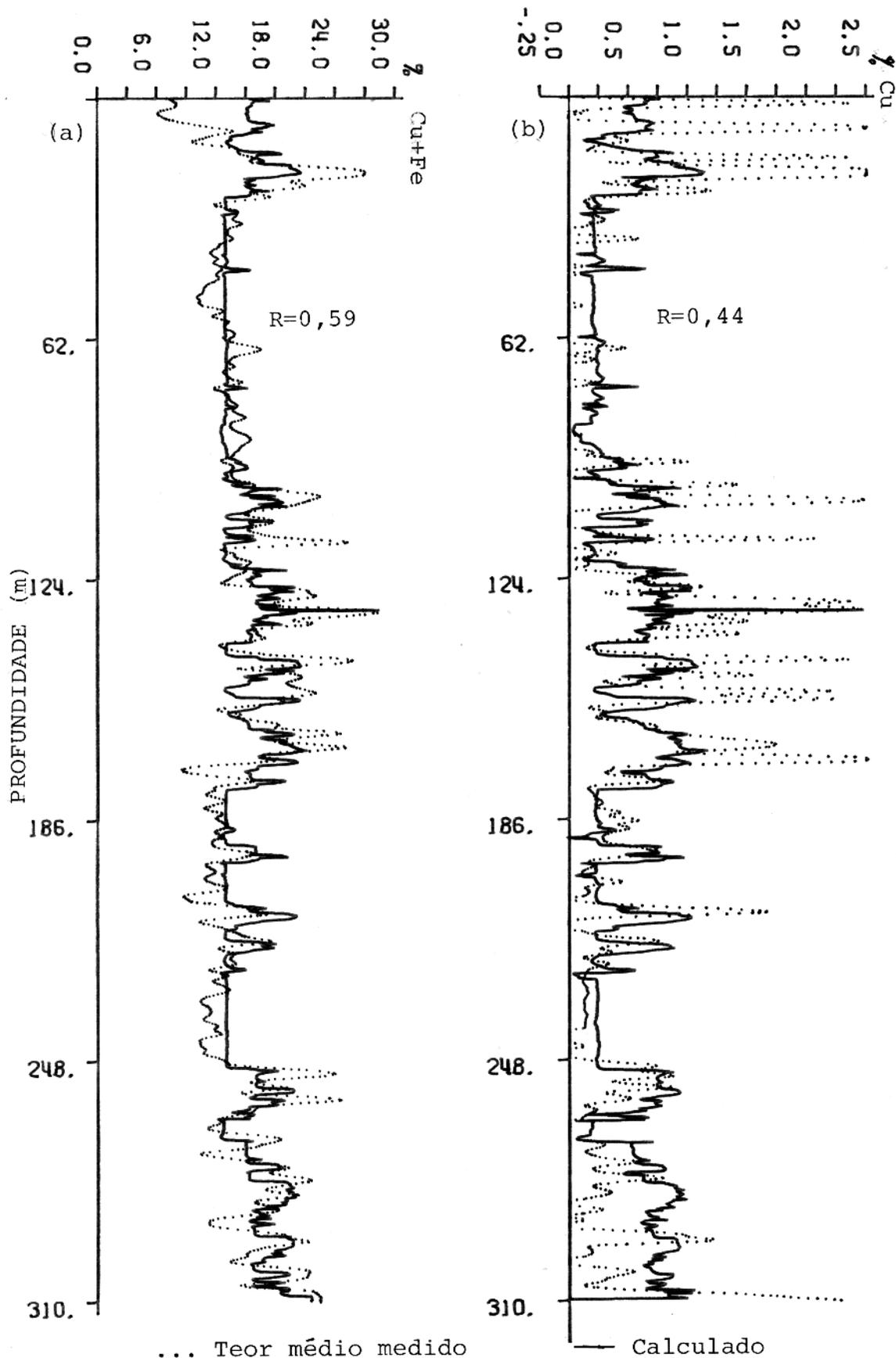


Figura 7 - Furo Salobo-69 previsto com coeficientes do próprio furo, para os teores de (a) Cu+Fe (b) Cu.

A Tabela-2 mostra a soma dos valores de % de Cu fornecida pela análise geoquímica original, média da análise geoquímica e prevista pela fórmula da regressão múltipla.

		: teor verdadeiro:	teor médio :	teor da regressão
Sal-69	Cu :	608,78	: 584,77	: 585,90
Sal-69	Cu com:	608,78	: 584,77	: 1106,87
	coef. de 68 :	:	:	:
Sal-69	Cu+Fe :	18480,13	: 18483,61	: 18366,63

Tabela-2: Soma dos teores das medidas de Cu e Cu+Fe para o furo Salobo-69. Teor da regressão encontrado com coeficientes da Tabela-1.

5.1.2 Salobo-68

O furo Salobo-68 foi processado com os mesmos métodos do furo anterior pois todos eles apresentam perfis individualmente com boas resoluções, isto é, não permanecem constantes durante todo o perfil. A Figura-8 apresenta os perfis geofísicos e geoquímicos deste furo.

Neste furo, observamos através da Figura-9 os perfis das médias dos teores de Cu sozinho, soma de Cu com Fe e os calculados com coeficientes de regressão múltipla do próprio poço. Podemos verificar no início que a curva de teor médio do Cu permanece constante, de 2,5m a 7,5m e neste intervalo a curva calculada decresce. Isto pode ser explicado como sendo principalmente devido a falta de informação de concentração geoquímica de Cu neste intervalo. Neste caso, sempre assumimos o valor máximo da escala adotada para os dados do teor médio, no caso 2,5% de Cu. Também neste intervalo a concentração de Fe está entre 15% e 23%. Nos intervalos

de 13m-14m e de 46,5m-49,5m também foram assumidos valores máximos de concentrações de Cu (2,5%) e Fe (26,5%).

Aproximadamente entre 25m e 43m a regressão múltipla prevê razoavelmente o teor da média de Cu, sendo que na parte final deste intervalo as técnicas geofísicas aplicadas apresentam variações significativas, apresentando inclusive valores máximos nas escalas adotadas, como pode ser verificado em seus perfis (Figura-8). Por outro lado alguns métodos utilizados apresentam poucas variações (γ e ρ_a).

No restante do furo, o teor médio de Cu decai, coincidindo também com a diminuição no perfil de IP. No entanto, entre aproximadamente 50m e 109m os perfis de ρ_a e SP sofrem grandes variações, e em escala menor para Re e γ . Neste intervalo os ajustes das curvas dados pelo teor da média e a calculada oscilam bastante, o que pode está sendo provocado provavelmente pelos altos valores numéricos do perfil de ρ_a . Portanto, neste intervalo não existe uma boa previsão. Vale registrar que entre 50m e 61m ocorrem altos valores de teor de Fe, enquanto o Cu detém valores quase nulos. O que indica que neste intervalo temos a presença de minerais resistivos de ferro (por exemplo hematita) ou outros minerais. O comportamento do perfil de Fe, neste intervalo explica o melhor ajuste do perfil de Cu isoladamente do que a soma Cu e Fe, como demonstram os valores de R na Tabela-3. A geologia para este intervalo dá indícios de quartzo, sericita, micas e cloritas.

A Tabela-3 fornece os coeficientes de regressão múltipla de cada método utilizado, segundo a equação-15. A Tabela-4 fornece a soma dos teores verdadeiros, teores das médias e os obtidos pela regressão múltipla, num total de 436 medidas.

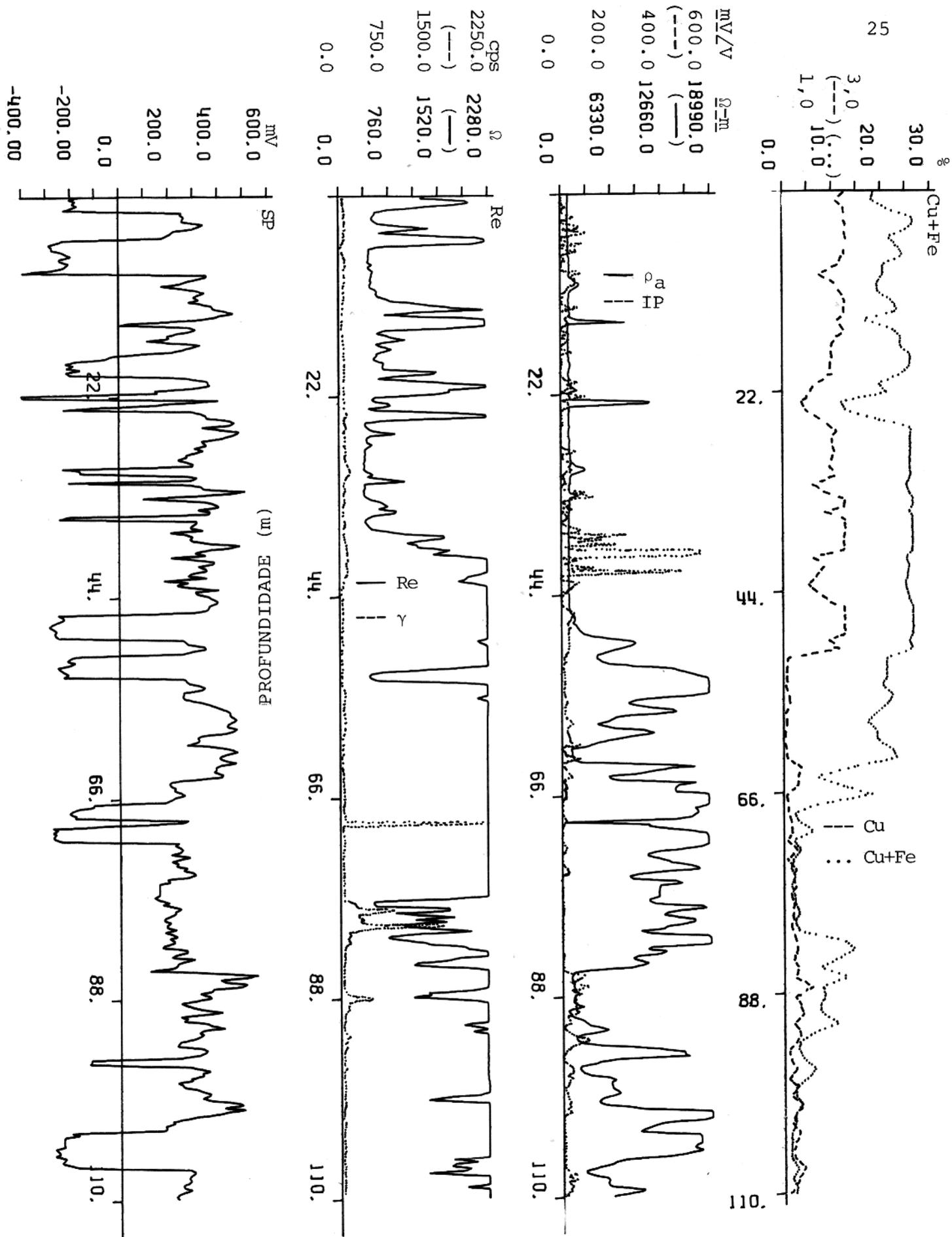


Figura 8 - Perfis medidos: geoquímicos de Cu, Cu+Fe e geofísicos de IP, ρ_a , Re, SP e γ do furo Salobo-68.

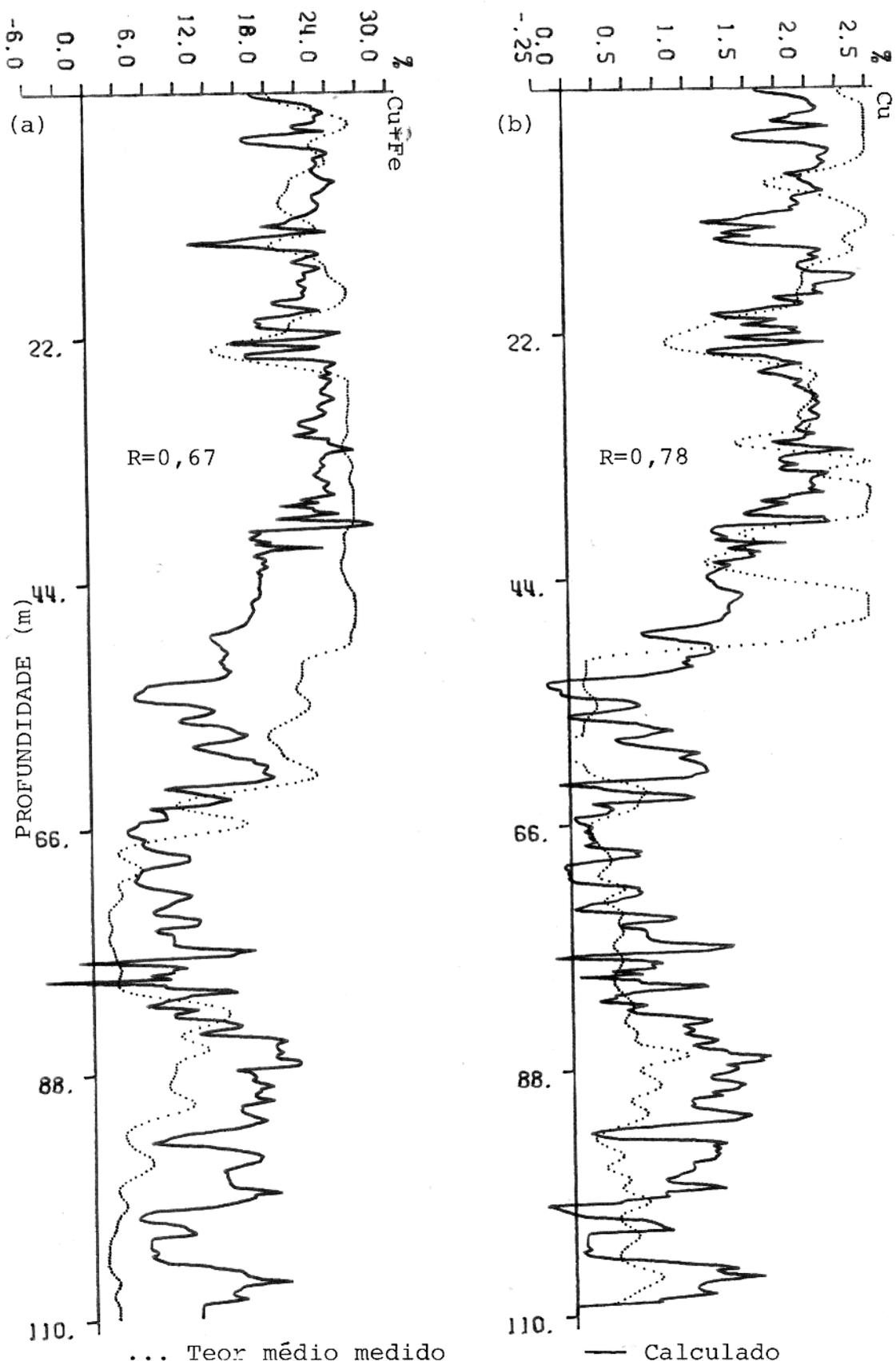


Figura 9 - Furo Salobo-68 previsto com coeficientes do próprio furo, para os teores de (a) Cu+Fe (b) Cu.

	b	b (IP)	b (SP)	b (ρ_a)	b (Re)	b (γ)	R
	o	1	2	3	4	5	
Cu	:277671	: 109	: -157	: -8	: -40	: -53	: 0.78
Cu+Fe:2463362:	1612	: 713	: -64	: -413	: -1099	: 0.67	

Tabela-3: Coeficientes do furo Salobo-68 previstos pela regressão múltipla para Cu e soma de Cu e Fe. Todos os coeficientes estão multiplicados por 10^{-5} , exceto o de correlação múltipla R.

	teor-verdadeiro	teor-médio	teor-regressão
Sal-68, Cu	: 501,27	: 495,30	: 504,69
Sal-68 com coef. de Sal-69, Cu	: 501,27	: 495,30	: 313,43
Sal-68 Cu+Fe	: 18480,13	: 18483,61	: 18426,86

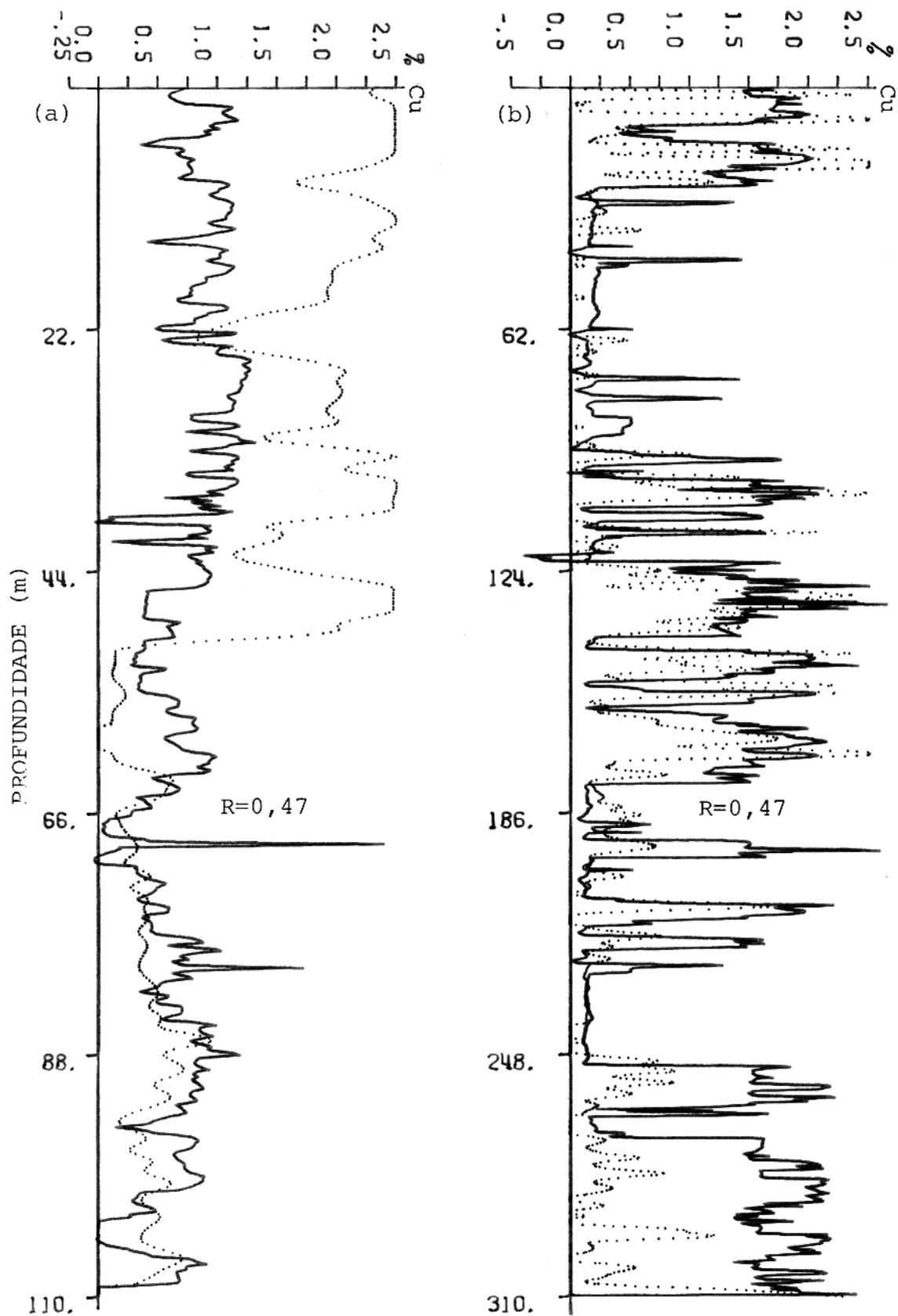
Tabela-4: Soma dos teores das medidas de Cu e Cu+Fe para o furo Salobo-68. Teor da regressão encontrado com coeficientes da Tabela-3.

5.1.3 Resultados Conjuntos de Salobo-68 e -69

Na Figura-10 apresentamos as concentrações de Cu dos furos Salobo-68 previstas com coeficientes de Salobo-69 e Salobo-69 previstas com coeficientes do furo Salobo-68.

Na Figura-10b a soma dos dados calculados corresponde à 182 % da soma dos teores geoquímicos e 189 % da média destas medidas, enquanto na Figura-10a a soma dos dados calculados correspondem a 62,53% do total dos teores medidos e 63,28% da média geoquímica. Os dados acima citados estão nas Tabelas 2 e 4.

A presença de minerais resistivos no furo Salobo-68,



... Teor médio medido

— Calculado

Figura 10 - Teor de Cu dos furos (a) Salobo-68 previsto com coeficientes do furo 69 (b) Salobo-69 previsto com coeficientes do furo 68.

provoca uma diminuição na correlação dos métodos elétricos e raios gama com os sulfetos em comparação a um mineral condutivo (Cu). No furo Salobo-69 a não presença destes minerais resistivos mostra exatamente o contrário do furo 68. Na previsão de um furo com coeficientes do outro a Figura-10 apresenta o mesmo coeficiente de correlação múltipla R, porém no ajustamento de curvas ponto a ponto o furo 69 previsto com furo 68, apresenta um ajuste melhor (curvas mais próximas uma da outra) do que o furo 68 previsto com 69.

5.2 Poços do Recôncavo

Os cálculos da regressão para os furos do Recôncavo foram realizados através da equação-17:

$$E = b_0 + b_1 (IP_1) + b_2 (IP_2) + b_3 (\rho_{a1}) + b_4 (\rho_{a2}) + b_5 (\gamma) \quad (17)$$

onde os índices dos métodos geofísicos 1 e 2 correspondem respectivamente às distância de 2,5m e 5,0m entre os eletrodos de medidas.

5.2.1 Recôncavo 67

O furo 67 conta no seu perfil geoquímico original dois intervalos de medidas separados, que foram colocados sequencialmente de cima para baixo um atrás do outro como se fossem único, por não termos controle da concentração mineral entre estes intervalos. O resultado pode ser visto em termos de ajuste de curvas através da Figura-12. A Figura-11 apresenta os perfis geofísicos e geoquímicos deste furo.

Os resultados aqui apresentados mostram dois mínimos

como pode ser verificado através da Figura-12a. Nestes locais, a geologia informa que no primeiro mínimo temos folhelho e no segundo arenito localmente argiloso com pirita e galena.

A soma geral de concentração de Zn calculada para este furo, corresponde a 84,2% da soma dos teores verdadeiros. No entanto, a resposta geofísica não é devida a esfalerita, Zn(S), pois ela é altamente resistiva e na prática, não provoca anomalia de IP, nem de resistividade. Portanto, o efeito geofísico é devido principalmente aos minerais condutivos associados, no caso a pirita (Fe(S)) e galena (Pb(S)), como indica a geologia. Os teores de Fe e Pb não estão disponíveis.

Na Tabela-5 apresentamos os coeficientes e na Tabela-6 as somas dos teores encontrados neste furo.

b ₀	b ₁ (IP ₁)	b ₂ (IP ₂)	b ₃ (ρ _{a1})	b ₄ (ρ _{a2})	b ₅ (γ)	R
15892	-391	-659	322	-175	231	0.77

Tabela-5: Coeficientes do furo Recôncavo-67 previstos pela regressão múltipla. Todos os coeficientes estão multiplicados por 10⁻⁵, exceto o de correlação múltipla R. Os métodos IP e ρ_{a1} correspondem à distância de 2,5m entre os eletrodos de medidas e IP₂ e ρ_{a2} à 5,0m de distância.

Os resultados do furo 67 previstos com os coeficientes do furo 70 (Tabela-6) estão apresentados na figura-12b. O ajuste entre as curvas dos dados verdadeiros e calculados é bastante pobre, apresentando a curva calculada valores negativos significativos. Isto pode estar sendo provocado pela esfalerita (Zn(S)) que é altamente resistiva. Com

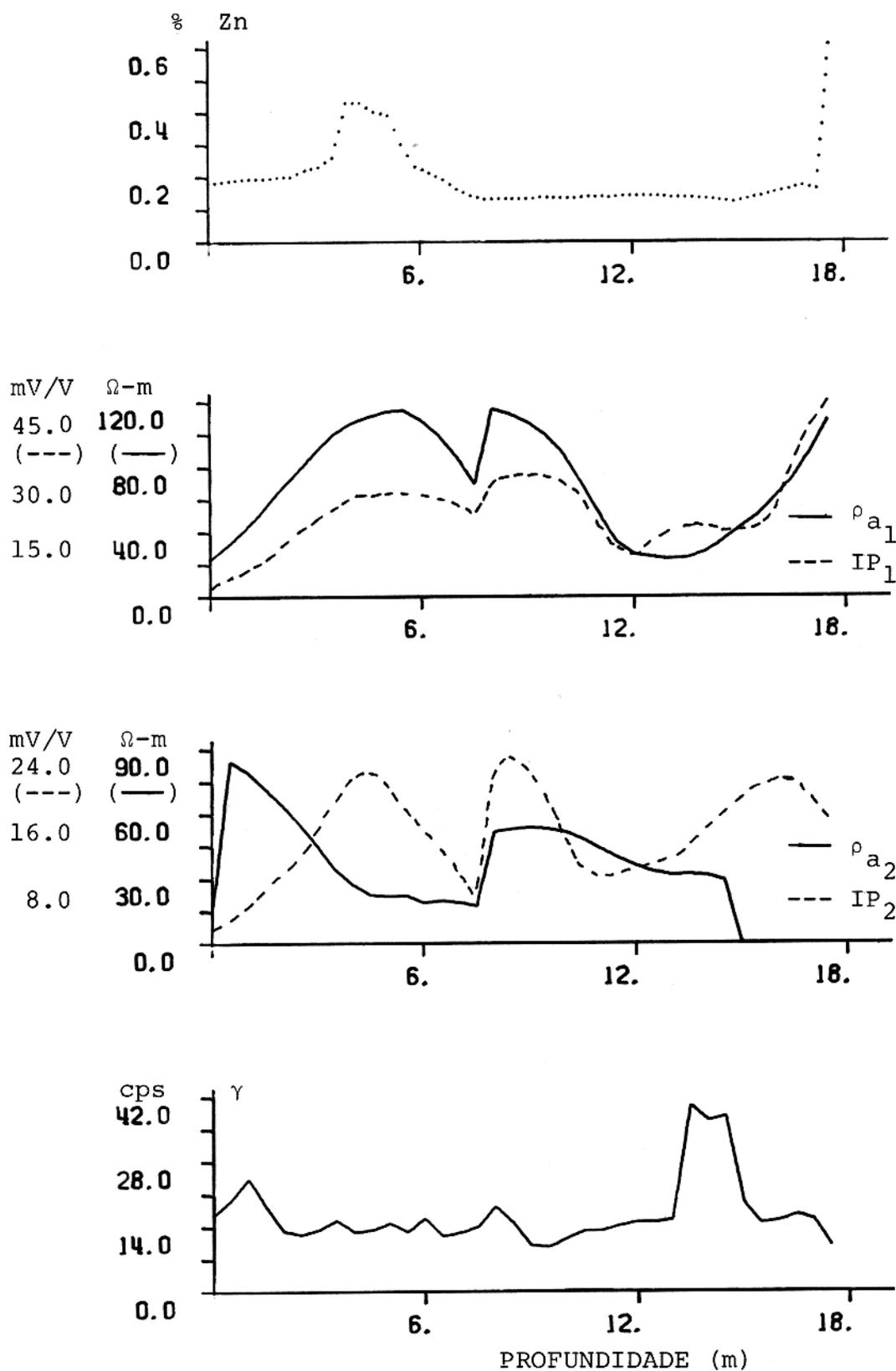


Figura 11 - Perfis medidos: geoquímico de Zn e geofísicos de IP_1 , ρ_{a1} , IP_2 , ρ_{a2} e γ do furo Recôncavo-67.

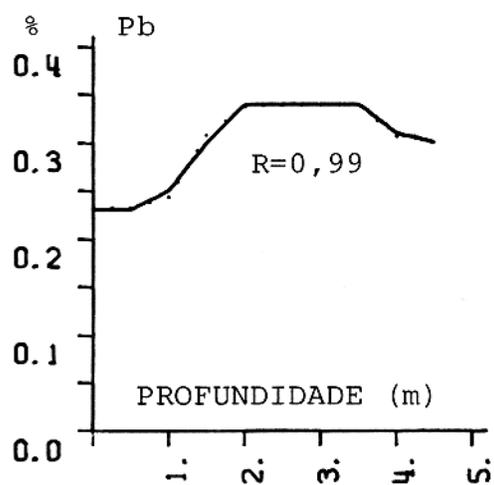
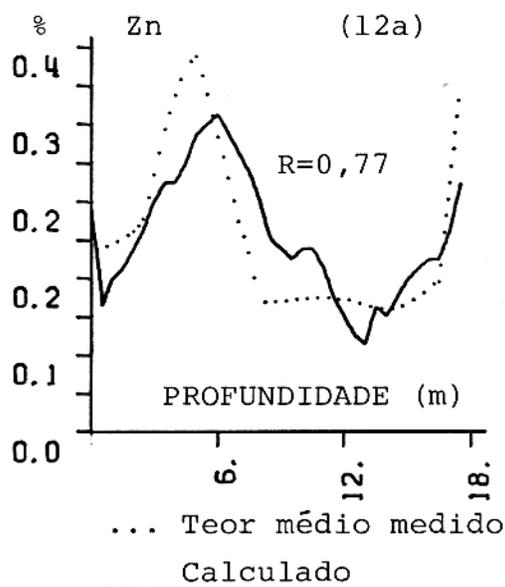


Figura 13 - Teor de Pb do furo Recôncavo-71 previsto com coeficientes do próprio furo.

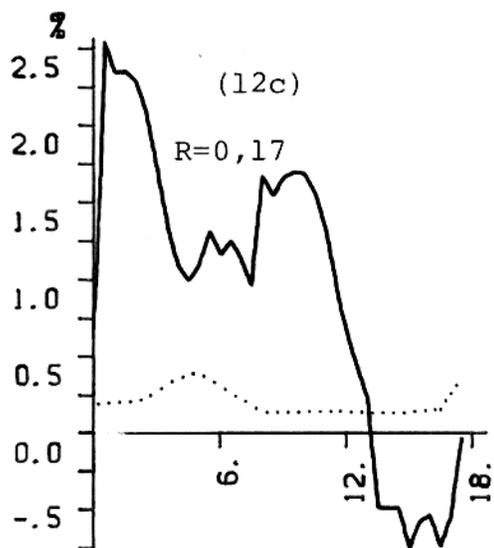
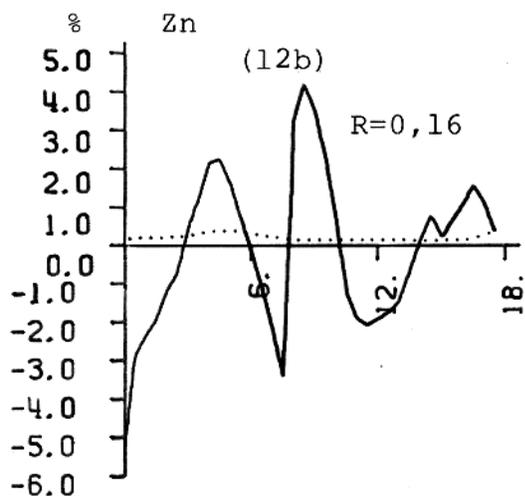


Figura 12 - Teor de Zn do furo Recôncavo-67 com coeficientes do (a) próprio furo (b) furo 70 (c) furo 71.

	: teor-verdadeiro:	teor-médio:	teor-regressão
Recôncavo-67	: 8,69	: 7,32	: 7,32
Recôncavo-67 com coef. de 70:	: 8,69	: 7,32	: -4,54

Tabela-6: Soma dos teores das medidas de Zn para os teores verdadeiro, média de cinco pontos e o calculado pela regressão múltipla para o furo Recôncavo-67.

isto, os métodos elétricos IP e ρ_a não irão apontar a sua existência, se ela não está associada com outro tipo de sulfeto condutivo, como já foi colocado anteriormente. Veja na Tabela-6 os resultados desta previsão em termos de soma. A Figura 12c mostra o furo 67 previsto com o furo 71 e também apresenta um resultado pobre.

5.2.2 Recôncavo 70

O furo 70 apresenta bons resultados (Figura-16) pois a soma dos dados calculados, constitui 82,25% da soma dos dados verdadeiros. A geologia mostra nesta região do furo, principalmente arenito com galena, pirita e esfalerita. No entanto, como vimos anteriormente no furo 67, a resposta geofísica aqui é devido à galena (Pb(S)) e pirita (Fe(S)₂), como indica a geologia.

Os dados de concentração de Zn obtidos no furo 70 com coeficientes do furo 71 são excelentes, pois como podemos observar através da Figura-16b, existe uma boa concordância entre as curvas da média geoquímica e a calculada, sendo que, a soma dos teores calculados correspondem a 96,95% dos teores verdadeiros. A Tabela-7 mostra os coeficientes e a Tabela-8 as somas obtidas no furo 70. A Figura-14 mostra os perfis

geofísicos e geoquímicos deste furo.

b _o	: b ₁ (IP ₁)	: b ₂ (IP ₂)	: b ₃ (ρ _{a1})	: b ₄ (ρ _{a2})	: b ₅ (Y)	: R
-691613	: 4039	: 34560	: -	: 3190	: 1297	: 0.94

Tabela-7: Coeficientes do furo Recôncavo-70 para Zn, previstos pela regressão múltipla. Todos os coeficientes estão multiplicados por 10⁻⁵, exceto o de correlação múltipla R. Os métodos IP₁, ρ_{a1} e IP₂, ρ_{a2} correspondem respectivamente às distâncias entre os eletrodos de medidas 2,5m e 5,0m.

Na resolução da regressão múltipla o próprio método de resolução retirou a coluna de ρ_{a1}, com isto, assumimos valor nulo para este coeficiente.

	: teor-verdadeiro	: teor:médio	: teor-regressão
Recôncavo-70	: 22,93	: 18,85	: 18,86
furo 70 com coef. de 71	: 22,93	: 18,85	: 22,23

Tabela-8: Soma dos teores das medidas do furo Recôncavo-70 para Zn.

A inclusão deste furo serve principalmente para mostrar a aplicação do método, uma vez que o número de pontos médios (12) é muito pouco para se fazer qualquer estatística confiável. A Figura-16c mostra um ajuste pobre ponto a ponto, embora o valor de R seja significativo.

5.2.3 Recôncavo 71

O furo 71 foi analisado com regressão múltipla para

concentração de Zn e Pb. A Figura-13 mostra o resultado da previsão para Pb e a Figura-17 para Zn. Podemos observar que

b _o	:b (IP) ₁	:b (IP) ₂	:b (ρ _{a1}) ₃	:b (ρ _{a2}) ₄	:b (γ) ₅	: R
Zn: 38625	: -3566	: -5606	: 2123	: 2712	: -2526	: 0.99
Pb: 24311	: -156	: 1514	: 118	: -751	: -63	: 0.99

Tabela-9: Coeficientes do furo Recôncavo-71 para Zn e Pb, previstos pela regressão múltipla. Todos os coeficientes estão multiplicados por 10⁻⁵, exceto o de correlação múltipla R. Os métodos geofísicos IP₁, ρ_{a1} e IP₂, ρ_{a2}, correspondem respectivamente às distâncias entre os eletrodos de medidas 2,5m e 5,0m.

existe uma excelente correlação ponto a ponto entre a média dos dados observados e o calculado, para os dois casos. No entanto, as somas dos dados calculados de Pb e Zn representam 71,63% e 69,4% da soma dos dados verdadeiros respectivamente. A resposta geofísica aqui é devido principalmente à galena e a pirita, como indica a geologia.

A Tabela-9 mostra os coeficientes e a Tabela-10 mostra as somas deste furo para Zn e Pb. Na Figura-15 apresentamos os perfis geofísicos e geoquímicos deste furo.

A Figura-17 nos mostra o teor de Zn previsto no furo 71 com coeficientes de Zn obtidos no furo 70 e verificamos que a correlação é muito pobre, provavelmente pelo fato de assumirmos o coeficiente de ρ_{a1} zero no furo 70. O resultado da soma dos dados calculados ou previstos é 253,38% da soma verdadeira. A Figura-17 apresenta o furo 71 previsto com coeficientes do furo 67 e embora o valor de R seja

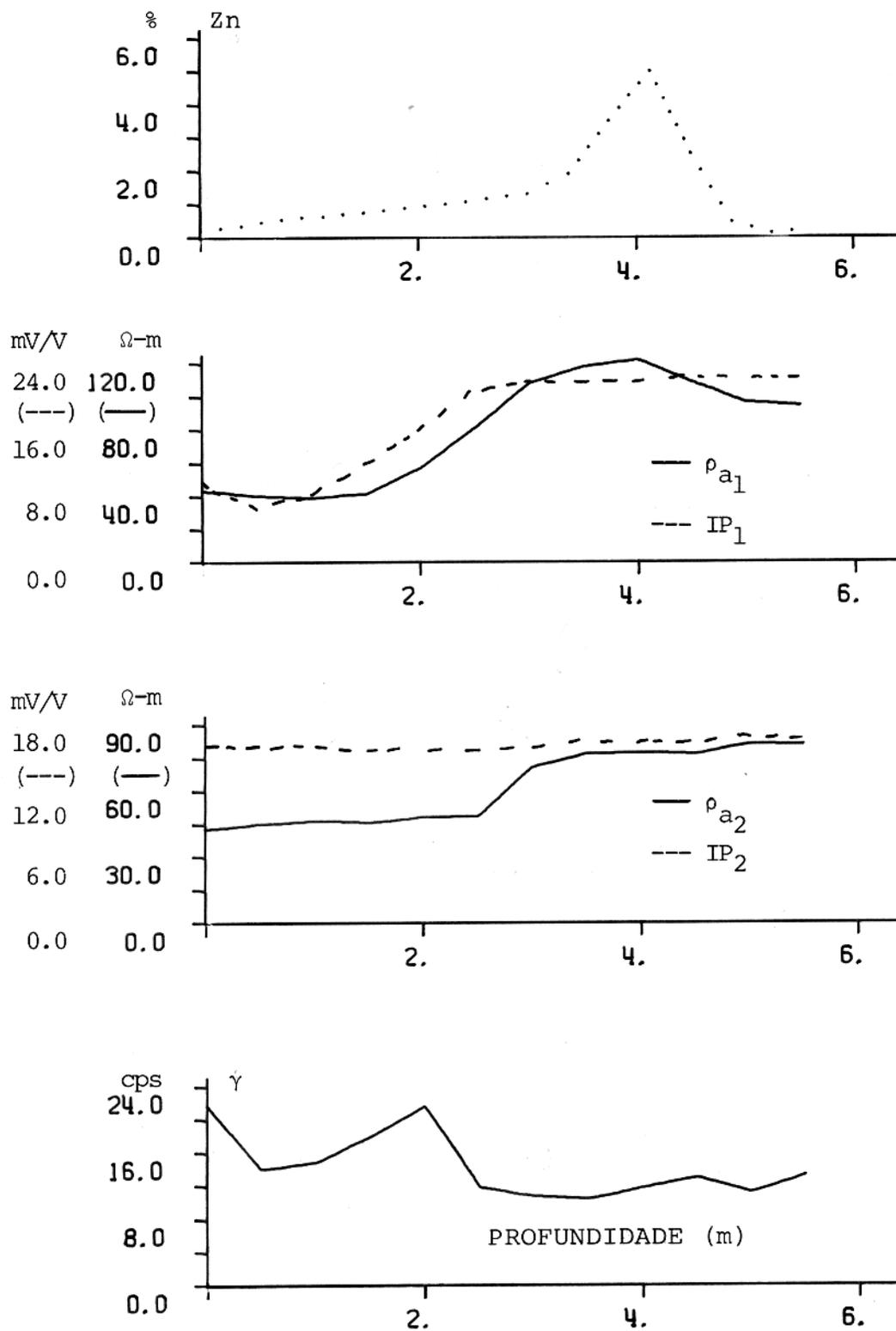


Figura 14 - Perfis medidos: geoquímico de Zn e geofísicos de IP₁, ρ_{a1} , IP₂, ρ_{a2} e γ do furo Recôncavo-70.

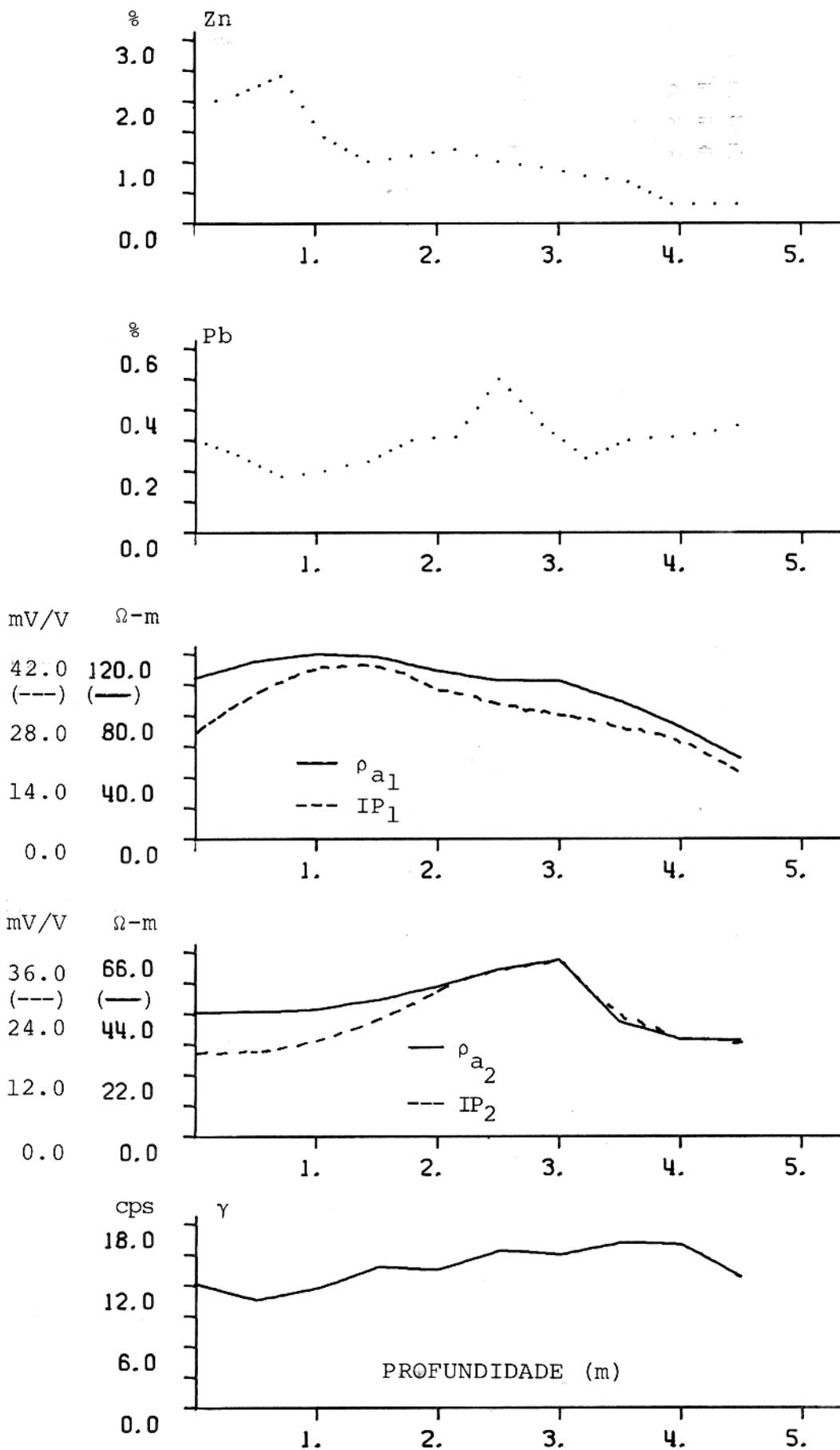
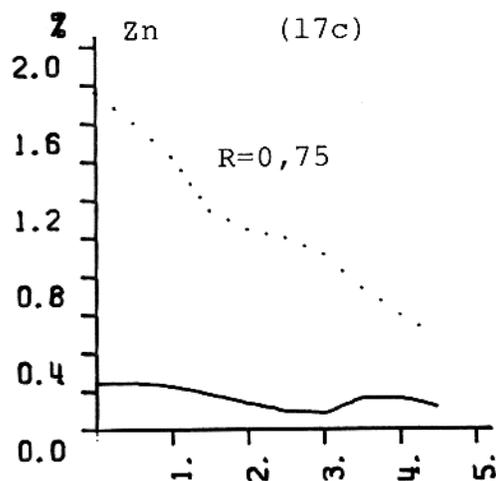
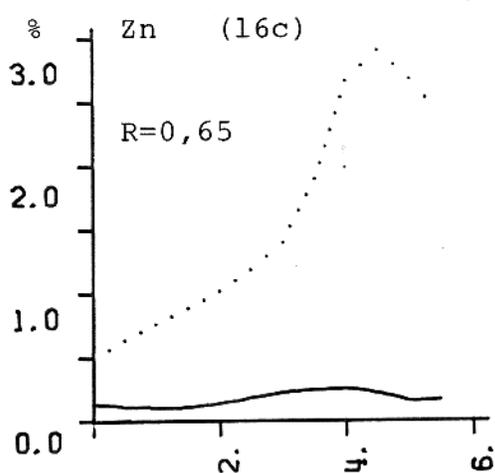
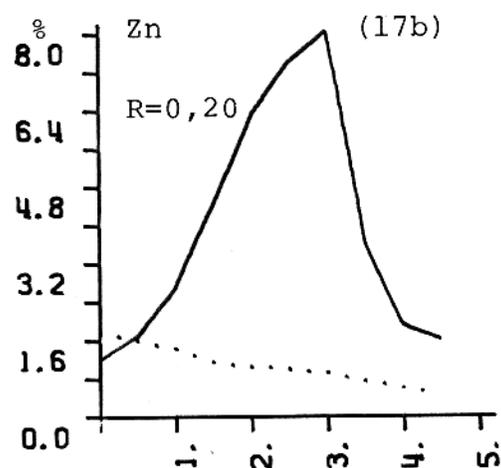
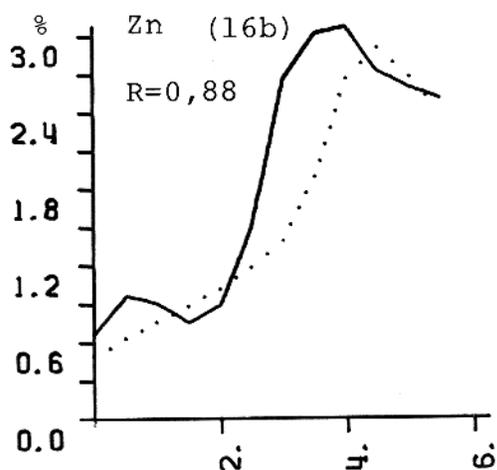
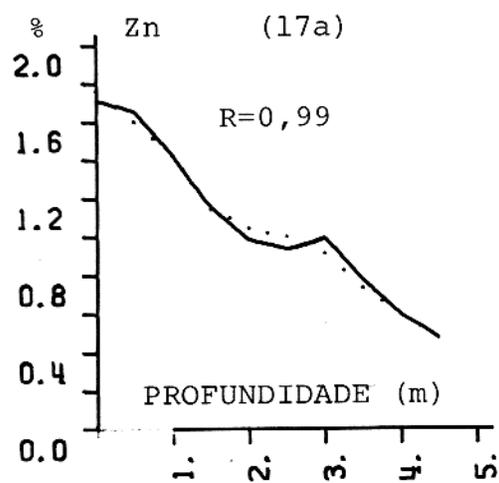
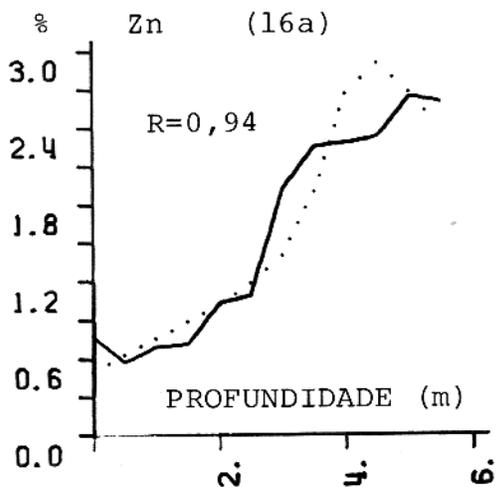


Figura 15 - Perfis medidos: geoquímicos de Zn, Pb e geofísicos de IP_1 , ρ_{a1} , IP_2 , ρ_{a2} e γ do furo Recôncavo-71.



... Teor médio medido

— Calculado

Figura 16 - Teor de Zn do furo Recôncavo-70 previsto com coeficientes do (a) próprio furo (b) furo 71 (c) furo 67.

Figura 17 - Teor de Zn do furo Recôncavo-71 previsto com coeficientes do (a) próprio furo (b) furo 70 (c) furo 67.

significativo, o ajuste ponto a ponto é muito pobre.

	: teor-verdadeiro	: teor-médio	: teor-regressão
furo 71 Zn	: 15,36	: 10,66	: 10,66
furo 71 com coef. de 70	: 15,36	: 10,66	: 38,92
furo 71 Pb	: 4,16	: 2,98	: 2,98

Tabela-10: Soma dos teores de Zn e Pb do furo Recôncavo-71

Como no caso do furo anterior, o furo 71 está sendo incluído principalmente para se apresentar a aplicação do método, já que a quantidade de apenas 10 pontos não é suficiente para se fazer uma previsão estatística válida.

5.3 Poços de Santa Maria

5.3.1 Santa Maria 80

A Figura-20 apresenta o resultado para Pb, a Figura-22 para Zn e a Figura-18 os perfis geofísicos e geoquímicos. Para Pb vemos que a curva calculada está defasada em relação a média do teor geoquímico se considerarmos o ajuste ponto a ponto. No entanto, no aspecto geral, a soma dos dados calculados equivale a 100,70% da soma dos dados verdadeiros. Para o Zn o aspecto de ajuste de curvas ponto a ponto entre a média do teor geoquímico e a calculada apresenta boa correlação em certos intervalos como entre 9,3m e 27m. No que diz respeito a soma dos dados calculados, ela apresenta 98,53% da soma verdadeira. A resposta geofísica aqui é somente devido ao Pb. A geologia mostra neste intervalo de pesquisa, esfalerita, brecha com Qz e arenito. A Tabela-11

mostra os coeficientes de Pb e Zn e a Tabela-12 apresenta a soma relacionada às concentrações metálicas.

	b ₀	b (IP) : 1	b (SP) : 2	b (ρ) : 3 ^a	b (Re) : 4	b (γ) : 5	R
Zn :	-361873:	6030 :	-1169 :	1011 :	-39 :	10083 :	0.44
Pb :	253393:	-207 :	244 :	-262 :	63 :	-5095 :	0.56
Pb+Zn:	-100953:	5843 :	-884 :	756 :	0 :	4953 :	0.39

Tabela-11: Coeficientes do furo Santa Maria-80 para Zn, Pb e soma de Pb e Zn, previstos pela regressão múltipla. Todos os coeficientes estão multiplicados por 10⁻⁵, exceto o de correlação múltipla R.

	: teor-verdadeiro	: teor-médio	: teor-regressão
furo 80 Zn :	358,86	: 353,43	: 353,58
furo 80 Pb :	63,23	: 63,82	: 63,67
Zn + Pb :	422,09	: 417,26	: 417,13

Tabela-12: Soma dos teores de Zn, Pb e Zn com Pb juntos para o furo Santa Maria-80.

Os dados do furo 80 previstos com coeficientes do furo 81 para Pb, podem ser vistos na Figura-20. Como podemos observar existe na curva calculada uma parte negativa que corresponde no furo 81 a um contato geológico da zona mineralizada com conglomerado. Estes resultados no entanto, não apresentam boa previsão do furo 80, devido provavelmente ao crescimento abrupto de Pb (72%) no furo 81. A soma dos dados calculados representam 3166 % da soma verdadeira.

Na Figura-22b apresentamos o gráfico da soma de Pb e Zn juntos para o furo 80. O resultado mais satisfatório no ajuste de curvas ponto a ponto está no intervalo de aproximadamente 9m a 19m. No entanto, a soma dos dados previstos corresponde a 99,8% da soma das medidas verdadeiras. Como podemos verificar neste furo, os métodos elétricos e raios gama estão melhor correlacionados com minerais condutivos como a galena do que minerais altamente resistivos como a esfalerita, ou até mesmo a soma de ambos (Zn e Pb). Veja valores de R na Tabela-11.

5.3.2 Santa Maria 81

O furo 81 com dados de Pb é apresentado na Figura-21 e através dela podemos observar que há uma boa correlação dos dados calculados com a média dos dados verdadeiros, principalmente no intervalo entre 8m a 22m, onde está a maior

B	: b (IP)	: b (SP)	: b (ρ_a)	: b (Re)	: b (γ)	: R
o	: 1	: 2	: 3	: 4	: 5	:
1774732	: 58252	: 25450	: -1827	: -2263	: -57395	: 0.74

Tabela:13: Coeficientes do furo Santa Maria-81 para Pb, previstos pela regressão múltipla. Todos os coeficientes estão multiplicados por 10^{-5} , exceto o de correlação múltipla R.

quantidade de teor mineral. A soma dos dados calculados corresponde a 95% dos dados verdadeiros. Já os teores deste furo previstos com os coeficientes do furo 80 não apresentam uma boa previsão, apresentando a soma de teor calculado como apenas 8,4% do teor verdadeiro, provavelmente em função da esfalerita no furo 80, Figura-21. Os perfis geofísicos e geoquímicos

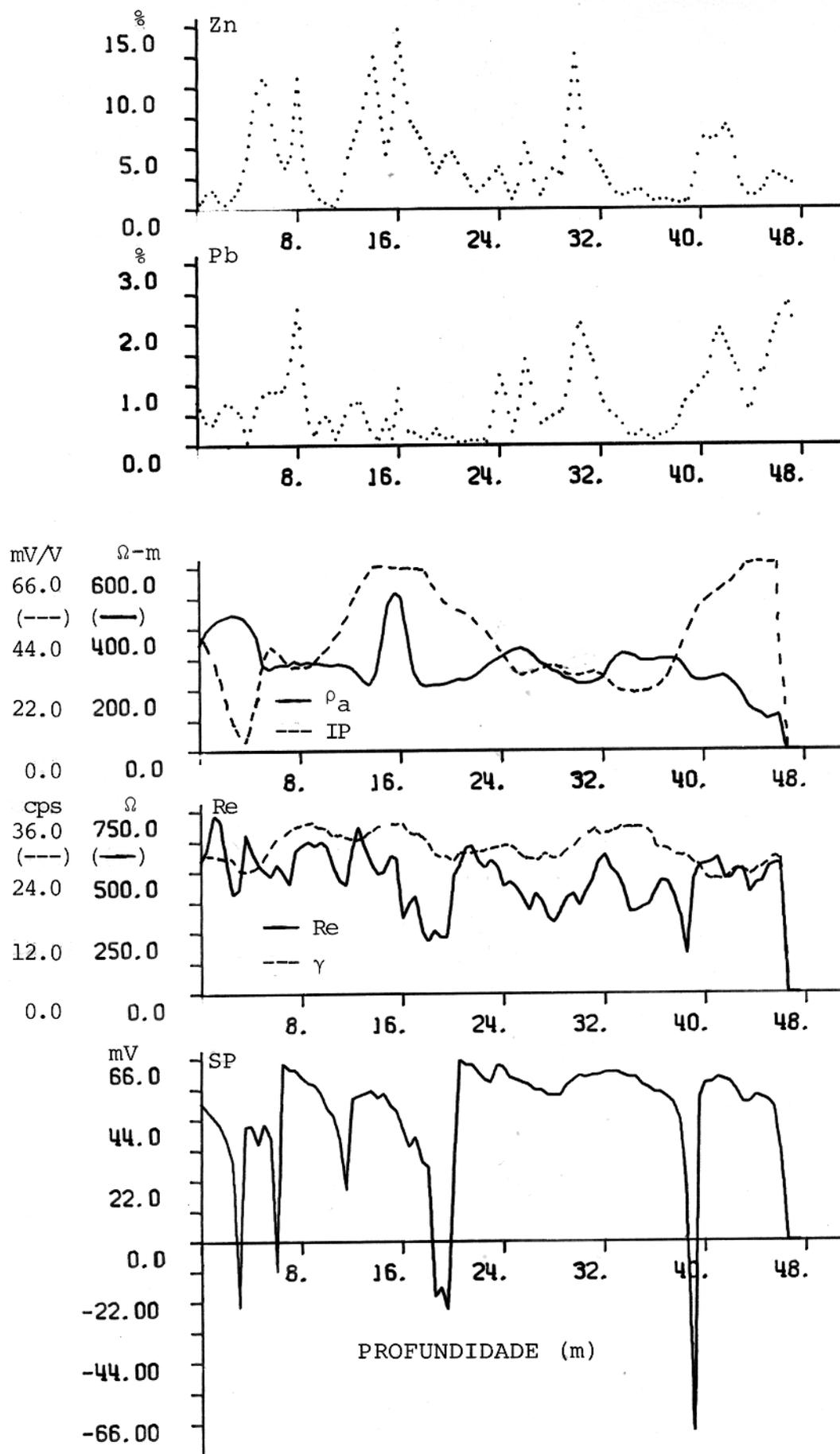


Figura 18 - Perfis medidos: geoquímicos de Zn, Pb e geofísicos de IP, ρ_a , Re, SP e γ do furo de Santa Maria-80.

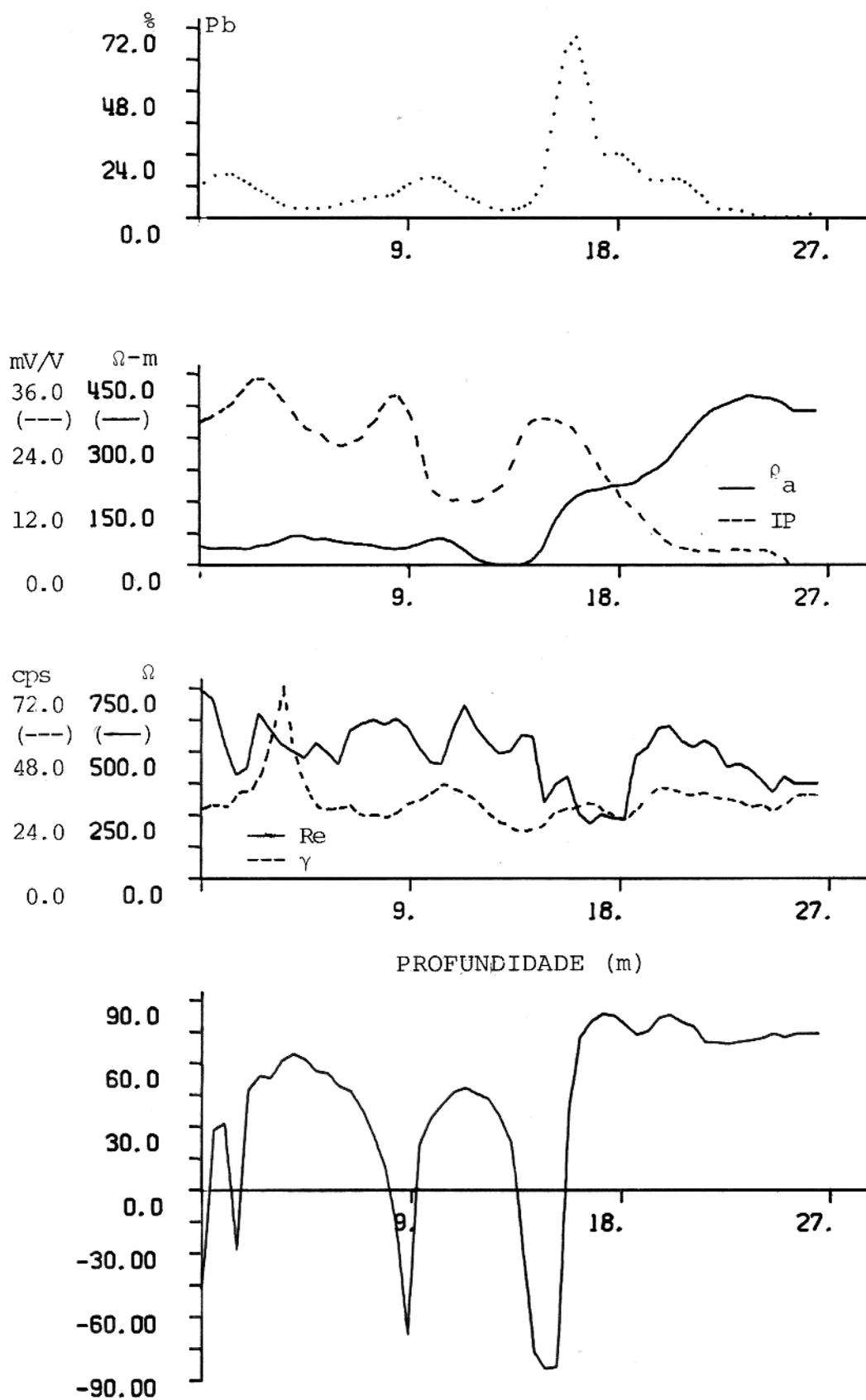
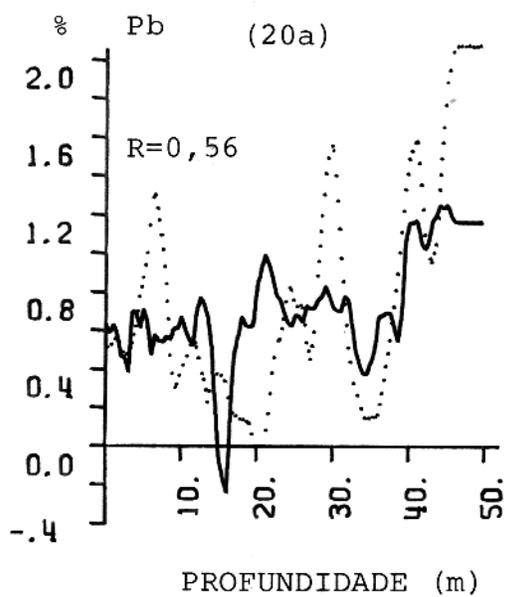
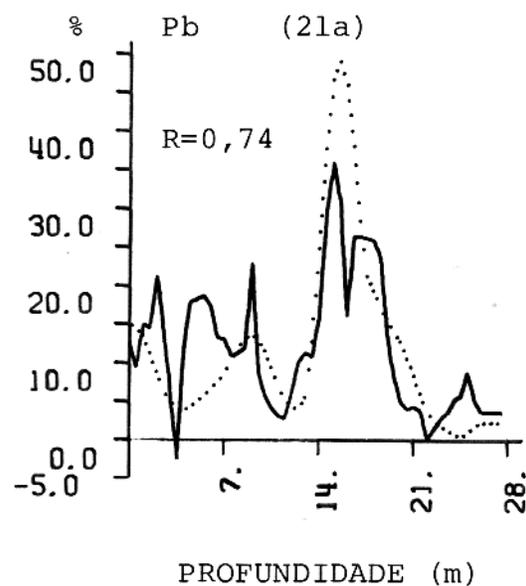


Figura 19 - Perfis medidos: geoquímico de Pb e geofísicos de IP, ρ_a , Re, SP e γ do furo Santa Maria-81.



... Teor médio medido



— Calculado

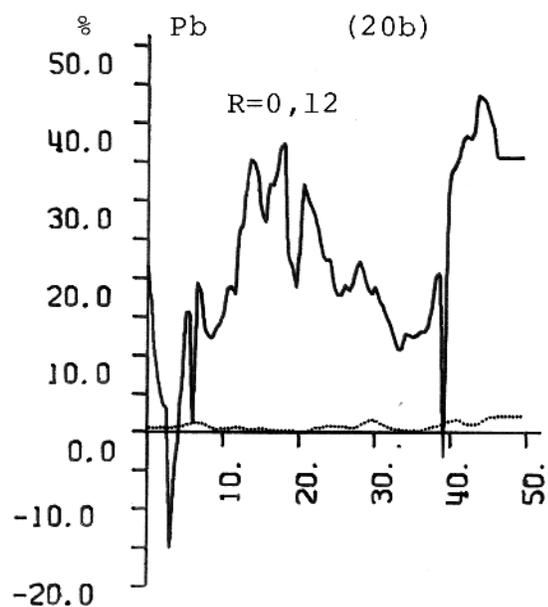


Figura 20 - Teor de Pb do furo Santa Maria-80 previsto com coeficientes do (a) próprio furo (b) furo 81.

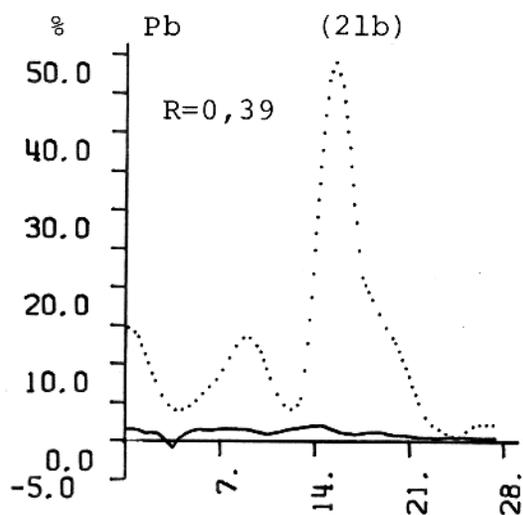


Figura 21 - Teor de Pb do furo Santa Maria-81 previsto com coeficientes do (a) próprio furo (b) furo 80.

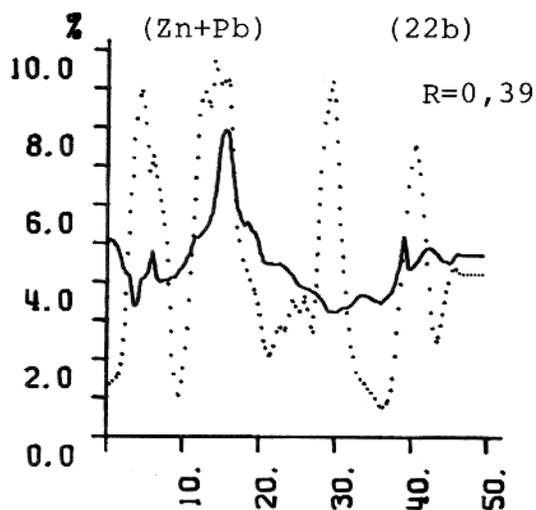
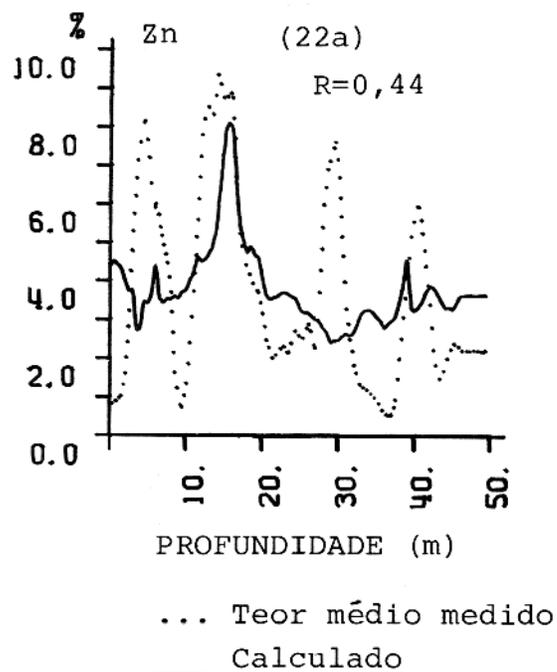


Figura 22 - Furo Santa Maria-80, previsto com coeficientes do próprio furo para os teores de (a) Zn (b) Zn+Pb.

estão apresentados na Figura-19.

A Tabela-13 mostra os coeficientes e a Tabela-14 a soma deste furo.

	teor-verdadeiro	:	teor-médio	:	teor-regressão
furo 81 Pb :	684,00	:	649,88	:	649,74
furo 81 com:		:		:	
coef. de 80:	684,00	:	649,88	:	57,43

Tabela-14: Soma dos teores de Pb do furo 81 de Santa Maria.

A geologia deste furo no intervalo de pesquisa é composta principalmente de uma zona mineralizada em arenito.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A regressão múltipla apresenta resultados favoráveis principalmente no que se refere à comparação das somas dos teores verdadeiros e dos teores calculados, isto, quando usamos dados do próprio poço. No entanto, quando precisamos prever teores em poços com coeficientes derivados de um outro poço da mesma área, os resultados são menos significativos devido à mudança geológica de cada furo localmente, necessitando, portanto, ser testado em mais poços de uma mesma área. Além disso, seria necessário uma maior suavização dos dados de campo do que a média de cinco pontos.

Considerando as três áreas estudadas, podemos verificar que a área que apresentou melhores resultados foi a de Carajás, pois no que se propõe este trabalho, que é a previsão de um furo por outro da mesma área, os poços desta área apresentaram melhores previsões entre si. Isto pode ser devido ao número de medidas da análise geoquímica que mostra o teor mineral de cada furo a cada metro de profundidade e em quantidade suficiente para se fazer uma análise estatística confiável. Enquanto nos outros furos tanto os teores amostrados quanto o intervalo de amostragem não permitem uma estatística criteriosa.

É conveniente verificar a quantidade total de sulfetos, pois os métodos elétricos respondem ao volume total de minerais metálicos que são responsáveis pela condutividade metálica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. - 1969 - Diferenciação Tectônica da Plataforma Brasileira. In: XXIII Congresso Brasileiro de Geologia. Salvador, Sociedade Brasileira de Geologia. Vol. 1, p. 29-46.
- ASTIER, J.L. - 1975 - Geofísica Aplicada a la Hidrologia. Madrid, Paraninfo. 344 p.
- BADI, W.S.R.; GONZALEZ, A.P. - 1980 - Jazida Santa Maria: Pb e Zn no Membro Vargas, RS. In: XXXI Congresso Brasileiro de Geologia, Camboriú, Sociedade Brasileira de Geologia. Vol. 3, p. 1360-1372.
- BEVINGTON, P.R. - 1969 - Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences. New York, Mcaw-Hill Book. 336 p.
- DAVIS, J.C. - 1973 - Statistical and Data Analysis in Geology. New York, John Wiley & Sons. Vol. 1.
- DYCK, A.V.; HOOD, P.J.; HUNTER, J.A.; KILLEEN, P.G.; OVERTON, A.; JESSOP, A.M.; JUDGE, A.S. - 1975 - Borehole Geophysics Aplied to Metallic Mineral Prospecting; A Review. Geological Survey of Canada, paper 75-31.
- FARIAS, N.F.; SAUERESSIG, R. - 1982 - Pesquisa Geológica da Jazida de Cobre Salobo 3A. In: Anais do I Simpósio de Geologia da Amazonia, Belém, Sociedade Brasileira de Geologia. Vol. 2, p. 39-45.
- FRAGOSO CESAR, A.R.S.; WERNICK, E.; SOLANI Jr., E. - 1982 - A Evolução Geotectônica do Cinturão Dom Feliciano: Uma contribuição Através da Aplicação do Modelo de Tectônica de Placas. In: XXXII Congresso Brasileiro de Geologia.

- Salvador, Sociedade Brasileira de Geologia. Vol. 1, p. 12-23.
- GLENN, W.E.; NELSON, P.H. - 1979 - Borehole Logging Techniques Applied to Base Metal Ore Deposits. Geological Survey of Canada. Ottawa, 31:273-294.
- GONZALEZ, M.; TEIXEIRA, A. - 1980 - Considerações Sobre Estratigrafia e Ambiente de Sedimentação da Região de Minas do Camaquã e Jazida Santa Maria, RS. In: XXXI Congresso Brasileiro de Geologia, Camboriú, Sociedade Brasileira de Geologia. Vol. 3, p. 1513-1524.
- HORSCHUTZ, P.M.C.; FAVERA, J.C.D.; PASSOS, L.J. - 1973 - Sedimentação Deltaica das Sequências Santiago e Cambuqui, Formação Pojuca, Bacia do Recôncavo. In: Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Geologia, Aracajú, Sociedade Brasileira de Geologia. Vol. 3, p. 315-338.
- KELLER, G.V.; FRISCHKNECHT, F.C. - 1977 - Electrical Methods in Geophysical Prospecting. New York, Pergamon Press. Vol. 10.
- MARTINS, L.P.B.; SAUERESSIG, R.; VIEIRA, M.A.M. - 1982 - Aspectos Petrográficos das Principais Litologias da Sequência Salobo. In: Anais do I Simpósio de Geologia da Amazonia, Belém, Sociedade Brasileira de Geologia. Vol. 2, p.253-262.
- MEIRELES, E.M.; HIRATA, W.K.; AMARAL, A.F.; MEDEIROS FILHO, C.A.; GATO, W.C. - 1984 - Geologia das Folhas Carajás e Rio Verde, Província Mineral dos Carajás, Estado do Pará. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Geologia. Vol. 5, p.2164-2178.
- MILANI, E.J. - 1987 - Aspectos da Evolução Tectônica das Bacias Recôncavo e Tucano Sul, Bahia, Brasil. Ciência Técnica

- Petróleo (PETROBRAS), Seção: Exploração de Petróleo.
(18):61.
- RIBEIRO, M.Y.; BADI, W.S.E.; GONZALES, A.P.; GONZALES, M.A.;
LICHT, O.B.; TEIXEIRA, G. - 1980 - Jazida Santa Maria,
Chumbo e Zinco Estratiformes do Grupo Bom Jardim, RS. In:
Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Geologia, Camboriú,
Sociedade Brasileira de Geologia. Vol. 3, p.1725-1735.
- SCHLUMBERGER - 1972 - Log Interpretation Principles. New York,
Vol. 1.
- SCHLUMBERGER - 1979 - Log Interpretation Charts. New York,
93 p.
- VIANNA, C.F.; GAMA Jr., E.; SIMÕES, I.A.; MOURA, J.A.; FONSE -
CA, J.R.; ALVES, R.J. - 1971 - Revisão Estratigráfica da
Bacia do Recôncavo/Tucano. Boletim Técnico PETROBRAS, Rio
de Janeiro. 14(3,4):157-192.
- WAGG, D.M.; SEIGEL, H.O. - 1963 - Induced Polarization in Drill
Holes. Canadian Mining Journal, Toronto. p. 54-59.
- WARD, S.H. - 1966 - Introduction: The Search for Massive
Sulfides; in Hansen, D.A.; Heinrichs, W.E.; Holmer, R.C.;
Macdougall, R.E.; Rogers, G.R.; Summer, J.S.; Ward, S.H.,
Eds. Mining Geophysics- Case Histories, Oklahoma Soc. Expl.
Geophys.; Vol. 1, p. 117-129.