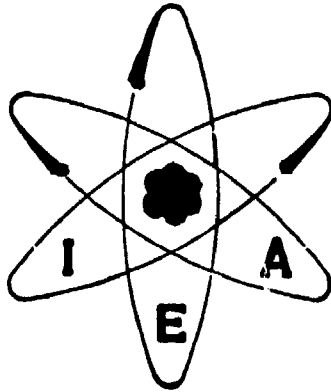


Publicação 398



**MEDIÇÃO DE UMIDADE EM MINÉRIOS DE FERRO, EM VAGÕES DE
CARGA, UTILIZANDO TÉCNICAS NUCLEARES**

ANTÔNIO C. CASTAGNET, MOHSEN SAID e URIEL DUARTE

PUBLICAÇÃO IEA N.º 398
Julho — 1975

INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA
Caixa Postal 11049 (Pinheiros)
CIDADE UNIVERSITÁRIA "ARMANDO DE SALLES OLIVEIRA"
SAO PAULO — BRASIL

**MEDIÇÃO DE UMIDADE EM MINÉRIOS DE FERRO, EM VAGÕES
DE CARGA, UTILIZANDO TÉCNICAS NUCLEARES**

Antônio C. Castagnet, Mohsen Said e Uriel Duarte

**Coordenadoria de Aplicações de Radioisótopos
e Radiações na Engenharia e na Indústria
Instituto de Energia Atômica
São Paulo - Brasil**

**Publicação IEA Nº 398
Julho - 1975**

Instituto de Energia Atômica

Conselho Superior

Eng^o Roberto N. Jafet - Presidente
Prof. Dr. Emilio Mattar - Vice-Presidente
Prof. Dr. Jose Augusto Martins
Prof. Dr. Milton Campos
Eng^o Helcio Modesto da Costa

Superintendente

Prof. Dr. Rômulo Ribeiro Pieroni

ÍNDICE

SECÇÃO		PAG.
1.0.0	INTRODUÇÃO	1
2.0.0	FUNDAMENTOS DA MEDIÇÃO NUCLEAR DE UMIDADE	2
3.0.0	SISTEMA DE MEDIÇÃO	3
4.0.0	METODOLOGIA UTILIZADA	3
4.1.0	Calibração do Sistema de Medição	3
4.2.0	Medições nos Vagões de Minério	7
5.0.0	CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS	10

MEDIÇÃO DE UMIDADE EM MINÉRIOS DE FERRO, EM VAGÕES DE CARGA, UTILIZANDO TÉCNICAS NUCLEARES

Antonio C. Castagnet, Mohsen Said e Uriel Duarte

RESUMO

Descrevem-se a metodologia e os resultados de um estudo experimental, visando a estabelecer a possibilidade e as vantagens de utilizar uma técnica nuclear, para a medição "in-situ", (nos vagões de carga), do teor de umidade presente em minérios de ferro.

O estudo esteve sob a responsabilidade da Coordenadoria de Aplicações de Radioisótopos e Radiações na Engenharia e na Indústria (CARREI), do Instituto de Energia Atômica de São Paulo (I.E.A.), por solicitação do Departamento de Matérias Primas e Transporte, da Companhia Siderúrgica Paulista (COSIPA).

As medições incluíram a determinação da umidade volumétrica e da densidade, calculando-se, a partir desses valores, a umidade percentual por peso.

Utilizou-se para esse fim um equipamento comercial da Nuclear Chicago Corp., composto de uma sonda de superfície com fonte de 5 m Ci de Ra/Ba (para a medição combinada de densidade e umidade de solos) e um escalímetro portátil.

Realizaram-se dois tipos de medições: uma, direta, colocando a sonda em contato com a superfície do minério, e a outra através das paredes dos vagões de transporte, constituídas por chapas de aço, de 5/16" de espessura. Paralelamente, fizeram-se em ambos os casos, determinações gravimétricas de umidade em amostras extraídas dos volumes de minério envolvidos nas medições com a sonda nuclear.

Os valores da umidade percentual, por peso, obtidos por aplicação de ambos os métodos, o nuclear e o gravimétrico, foram correlacionados para cada tipo de medição e processados numa calculadora programável H. P. modelo 9.810 A, para estabelecer quantitativamente o grau de ajuste entre os dados experimentais e uma equação calculada por regressão linear.

No caso das medições feitas com a sonda nuclear diretamente apoiada sobre a superfície do minério, o "coeficiente de determinação" (r^2) da regressão linear resultou 0,9417, enquanto que para as leituras através das paredes dos vagões, obteve-se o valor de 0,2913.

Conseqüentemente, a técnica investigada fornece resultados satisfatórios quando as medições são feitas diretamente sobre a superfície do minério, apresentando vantagens econômicas com relação ao método gravimétrico (por amostragem).

Por último, fez-se a análise das prováveis causas da dispersão aleatória de pontos e da falta de correlação linear entre os valores dos dois métodos, quando a medição nuclear é efetuada através das paredes dos vagões.

1.0.0 - Introdução

Os minérios de ferro tratados pela Companhia Siderúrgica Paulista (COSIPA), são transportados das minas até à usina, em vagões abertos, por via férrea.

Conseqüentemente, seu conteúdo de água pode variar dentro de amplos limites, em função das condições climáticas encontradas ao longo do caminho.

Em razão das enormes quantidades de minério de ferro consumidas anualmente na operação dos altos fornos, e pelo fato das compras serem feitas em base ao peso do minério

sobre vagão, a determinação de seu teor de umidade em ocasião de sua recepção na fábrica assume especial importância econômica. Por outro lado, o teor de umidade do minério deve ser levado em conta toda vez que se procede à contabilização do estoque.

Normalmente, as determinações da umidade são feitas em laboratório, utilizando o método gravimétrico clássico, com secagem prolongada, em estufa. Esse método é demorado e requer uma amostragem freqüente de material, que nem sempre fornece resultados representativos do teor médio de umidade realmente presente na carga controlada.

A técnica nuclear permite fazer medições "in situ", diretamente nos vagões de carga ou sobre cintas transportadoras, dispensando a extração de amostras e fornecendo resultados num tempo médio de 5 minutos por determinação. A exatidão das medidas dependerá, fundamentalmente, do tipo de equipamento selecionado e da metodologia empregada para sua calibração e uso.

Em condições normais, o erro absoluto associado as medidas da umidade volumétrica, obtidas com uma sonda nuclear, é da ordem de $\pm 0,015$ gramas de água por cm^3 de material. Para um minério de ferro de densidade úmida igual a 3 g/cm^3 , isso significaria um erro absoluto de $\pm 0,005$ na determinação da umidade relativa por peso.

O presente relatório descreve os fundamentos da medição nuclear de umidade, a metodologia e os resultados de um estudo experimental para estabelecer a viabilidade de aplicar essa técnica no controle rotineiro de minérios de ferro e na sua recepção na usina.

Este estudo foi feito pela Coordenadoria de Aplicações de Radioisótopos e Radiações na Engenharia e na Indústria (CARREI), do Instituto de Energia Atômica de São Paulo (I E A), a pedido do Departamento de Matérias Primas e Transporte, da Companhia Siderúrgica Paulista (COSIPA).

2.0.0 - Fundamentos da Medição Nuclear de Umidade

As técnicas nucleares de medição de umidade baseiam-se na marcada influência da concentração de hidrogênio no processo de moderação de nêutrons, quando o material é irradiado com uma fonte de nêutrons rápidos.

O hidrogênio tem, com relação aos demais elementos normalmente encontrados nas rochas, uma secção eficaz de espalhamento elástico de nêutrons relativamente alta e, ao mesmo tempo, apresenta o máximo "decremento logarítmico" médio de energia por colisão. Em outras palavras: os nêutrons rápidos têm uma grande probabilidade de provocar uma colisão elástica com um núcleo de hidrogênio, e a perda fracionária média de energia por choque é também grande.

Portanto, dentro do material irradiado, os nêutrons rápidos atingirão a energia térmica num percurso tanto menor, quanto maior seja a concentração de hidrogênio. Se a fonte emissora de nêutrons rápidos está em contato com a superfície do material, o fluxo de nêutrons lentos, nas vizinhanças da fonte, aumentará com a concentração volumétrica de hidrogênio. Neste caso, a intensidade de nêutrons lentos medida a uma distância fixa, bem perto da fonte, será diretamente proporcional ao teor de hidrogênio. Como o hidrogênio presente numa rocha

deriva normalmente de seu conteúdo de água, a resposta de um detector de nêutrons lentos poderá ser relacionada, para outras condições fixas, com o teor de umidade no mineral

Os fundamentos físicos e o tratamento matemático da teoria da medição nuclear da concentração de hidrogênio em minerais encontram-se descritos na Informação IEA Nº 30, intitulada 'Perfilagem de Poços Petrolíferos', Parte II (Perfilagens neutrônicas)

3.0.0 Sistema de Medição

Utilizou-se um equipamento comercial da NUCLEAR CHICAGO CORP. normalmente destinado a medição combinada da densidade e da umidade de solos, composto por uma sonda de superfície e um escalímetro portátil.

A sonda contém uma fonte radioativa de 5 mCi de rádio-berílio ($^{226}\text{Ra}/\text{Be}$), que emite nêutrons rápidos e raios gama simultaneamente, e duas baterias de detectores: uma, com tubos de BF_3 para a detecção de nêutrons lentos e, a outra, com tubos GM para detectar a radiação gama.

O escalímetro recebe os sinais de uma ou outra bateria de detectores (elegíveis mediante uma chave) e os apresenta em leitura digital, após acumular os impulsos durante um intervalo prefixado.

Utiliza-se a radiação gama emitida pela fonte para medir, por retroespalhamento, a densidade do material. Esta medida serve para converter as leituras de umidade volumétrica em umidade fracionária ou percentual por peso.

O sistema de medição inclui, também, um bloco padrão de granito e outro de parafina para normalizar, com relação aos valores obtidos neles, as leituras de densidade e de umidade, respectivamente.

4.0.0 Metodologia Utilizada

4.1.0 Calibração do Sistema de Medição

O sistema foi calibrado para os minérios de ferro tipos CSN e MBR da COSIPA, determinando-se, mediante amostras de volume, densidade e conteúdo de água conhecidos, a resposta do medidor em função da umidade percentual por peso para diferentes valores de densidade úmida.

Para a preparação das amostras, utilizou-se um recipiente cilíndrico de chapa de aço, de 56 cm de diâmetro por 40 cm de altura.

Cada amostra foi medida de duas maneiras diferentes: colocando a sonda neutrônica em contato direto com a superfície do minério e através de uma chapa de aço de 5/16" de espessura. Esta última leitura teve por finalidade simular as condições reais de operação da sonda, no caso das medições serem feitas através das paredes dos vagões de carga.

A representação gráfica das taxas de contagem do medidor (c.p.m.), em função da

densidade úmida (global) e da umidade volumétrica das amostras (determinadas ambas por métodos gravimétricos), resultou em curvas das formas esquematizadas nas figuras 1a e 1b

A resposta do medidor em função da umidade percentual por peso, pode ser obtida mediante a relação entre os valores da umidade volumétrica e a densidade de cada amostra. Verificou-se que para as condições em que foi feita a calibração, a resposta do medidor depende da densidade úmida do minério e deve, portanto, ser representada por uma família de curvas, como se mostra na figura 2

Curvas de calibração do tipo ilustrado nas figuras 1 e 2, obtidas com e sem a intercalação da chapa de aço de 5/16" entre sonda e amostra, permitem comparar a exatidão e a precisão de ambos os métodos de medição.

Finalmente, as curvas foram normalizadas com relação às leituras resultantes das medições sobre os blocos padrões de granito e de parafina.

Os resultados obtidos na calibração do medidor para os diferentes tipos de minério e condições de medição investigados estão condensados nas Tabelas 1 e 2 (A e B), e representados graficamente nas figuras numeradas de 3 a 14, cujos textos são auto explicativos

TABELA 1. Calibração para minério do tipo CSN

A) Leituras da medição dos padrões (contagens por minuto)

DENSIDADE (bloco de granito) 4.751 cpm

UMIDADE (bloco de parafina) 3.293 cpm

B) Especificações das amostras e leituras normalizadas com e sem a intercalação de uma chapa de aço de 5/16" de espessura.

UMIDADE VOLUMÉTRICA MEDIDA (g_{H_2O}/cm^3)	UMIDADE POR PESO CALCULADA (%)	DENSIDADE GLOBAL CALCULADA (g/cm^3)	LEITURAS NORMALIZADAS DO MEDIDOR			
			UMIDADE		DENSIDADE	
			COM CHAPA	SEM	COM CHAPA	SEM
0,0109	0,385	2,83	0,115	0,131	0,613	0,761
0,0570	2,375	2,40	0,131	0,153	0,551	0,860
0,0650	2,375	2,73	0,129	0,161	0,508	0,766
0,1050	4,346	2,43	0,142	0,179	0,615	0,918
0,1160	4,346	2,66	0,155	0,191	0,535	0,837
0,1510	6,341	2,38	0,173	0,224	0,562	0,914
0,1700	6,341	2,68	0,182	0,235	0,527	0,830
0,2130	8,306	2,56	0,212	0,282	0,508	0,824
0,2560	8,306	3,08	0,240	0,313	0,456	0,677
0,2830	8,306	3,40	0,259	0,348	0,434	0,611

As curvas de calibração correspondentes a esta Tabela estão representadas nas figuras 3, 4, 5, 6, 7 e 8

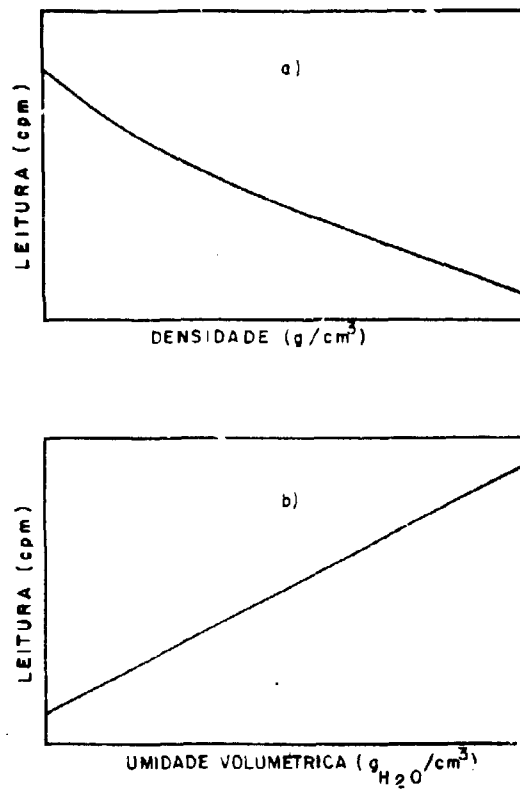


FIG. 1. — FORMAS DAS CURVAS DE CALIBRAÇÃO PARA UM DADO TIPO DE MINÉRIO:

- a) EM FUNÇÃO DA DENSIDADE ÚMIDA
 b) EM FUNÇÃO DO TEOR VOLUMÉTRICO DE UMIDADE.

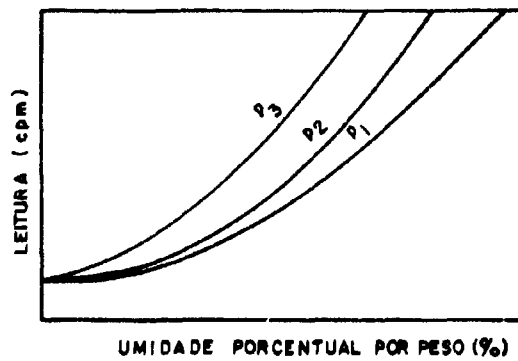


FIG. 2. — RESPOSTA DO MEDIDOR EM FUNÇÃO DA UMIDADE PORCENTUAL POR PESO, PARA VÁRIAS DENSIDADES ÚMIDAS ($p_1 < p_2 < p_3$).

TABELA 2. Calibração para minério MBR

A) Leituras da medição dos padrões

PADRÃO DE MEDIÇÃO	PERÍODO DA MEDIÇÃO	
	MANHÃ	TARDE
DENSIDADE (granito)	4 705 cpm	4 724 cpm
UMIDADE (parafina)	3 352 cpm	3 328 cpm.

B) Especificações das amostras e leituras normalizadas obtidas com e sem a intercalação de uma chapa de aço de 5/16" de espessura

UMIDADE VOLUMÉTRICA MEDIDA ($\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{cm}^3$)	UMIDADE POR PESO CALCULADA (%)	DENSIDADE GLOBAL CALCULADA (g/cm^3)	LEITURAS NORMALIZADAS DO MEDIDOR			
			UMIDADE		DENSIDADE	
			COM CHAPA	SEM	COM CHAPA	SEM
0,012	0,412	2,93	0,085	0,105	0,544	0,734
0,064	2,403	2,67	0,110	0,123	0,511	0,794
0,072	2,403	3,00	0,114	0,129	0,506	0,724
0,109	4,389	2,50	0,124	0,154	0,569	0,874
0,130	4,389	2,94	0,139	0,171	0,539	0,772
0,162	6,367	2,54	0,173	0,205	0,520	0,850
0,199	6,367	3,13	0,184	0,237	0,495	0,894
0,212	7,352	2,88	0,198	0,269	0,485	0,744
0,239	7,352	3,26	0,215	0,276	0,438	0,633

As curvas de calibração correspondentes a esta Tabela, estão representadas nas figuras 9, 10, 11, 12, 13 e 14

4.2.0 Medições nos vagões de minério

Realizaram-se várias medições da umidade do minério de ferro nos vagões de transporte, aplicando a sonda seja sobre as paredes laterais, seja diretamente na superfície do minério.

Os valores calculados com as curvas normalizadas de calibração foram comparados com medidas gravimétricas do teor de umidade. Para esse fim fez-se uma amostragem de minério no volume investigado pela sonda nuclear, determinando-se sua umidade por secagem e pesada no laboratório.

Os resultados de todas essas medições estão condensados nas tabelas seguintes:

TABELA 3. Medições nos vagões de transporte com minério tipo CSN

3.1 Dia 03.09.74

A) Leituras das medições dos padrões

	Período da manhã	Período da tarde
DENSIDADE:	4.659 cpm.	4.604 cpm.
UMIDADE:	3.455 cpm.	3.756 cpm.

B) Medições do minério nos vagões

AMOSTRA Nº	LEITURAS NORMALIZADAS		UMIDADE POR PESO		
	DENSIDADE	UMIDADE	MEDIDOR	LABORATÓRIO	
MANHÃ	1	0,541	0,288	9,75	9,80
	2	0,647	0,286	10,20	9,50
	3	0,522	0,297	10,15	9,30
	4	0,513	0,292	9,90	9,40
	5(x)	0,947	0,304	9,25	9,80
	6(x)	0,830	0,383	10,50	10,00
	7	0,546	0,315	10,60	9,70
TARDE	8	0,678	0,238		8,20
	9	0,927	0,344		9,00
	10	0,890	0,458		8,50
	11	0,540	0,346	11,20	10,00

(x) Medições feitas diretamente sobre o minério.

3.2 Dia 11.09.74

A) Leituras das medições dos padrões

	Período da manhã	Período da tarde
DENSIDADE:	4.661 cpm.	4.647 cpm.
UMIDADE:	3.416 cpm.	3.291 cpm.

B) Medições do minério nos vagões

AMOSTRA Nº	LEITURAS NORMALIZADAS		UMIDADE PCR PESO (%)	
	DENSIDADE	UMIDADE	MEDIDOR	LABORATÓRIO
1	0,534	0,218	8,1	4,8
2	0,547	0,218	8,1	6,3
3	0,557	0,186	6,8	6,6
4	0,556	0,197	7,4	6,2
5(x)	0,949	0,160	3,5	4,7
6(x)	0,928	0,154	3,2	4,5
7(x)	0,900	0,176	4,7	4,6
8(x)	0,928	0,170	4,3	4,5
9	0,574	0,204	7,90	4,20
10	0,612	0,169	6,20	5,60
11	0,593	0,214	8,25	4,20
12	0,587	0,224	8,60	6,90
13(x)	0,976	0,157	3,30	4,40
14(x)	0,884	0,178	4,75	4,40
15	0,572	0,197	7,60	8,50
16	0,535	0,194	7,50	9,80
17	0,577	0,183	7,00	7,30
18	0,556	0,190	7,00	4,70
19(x)	0,947	0,142	2,00	8,00
20	0,603	0,196	7,60	9,80
21	0,557	0,196	7,60	9,10
22(x)	0,894	0,169	4,30	8,00

(x) Medições feitas diretamente sobre o minério

3.3 Dia 15.10.74

A) Leituras da medições dos padrões

	Amostras n ^{os} 1 a 21	Amostras n ^{os} 22 a 25	Amostras n ^{os} 26 a 30
DENSIDADE:	4 654 cpm.	4.700 cpm.	4.674 cpm.
UMIDADE:	3 490 cpm.	3.262 cpm.	3.284 cpm.

B) Medições do minério nos vagões

AMOSTRA N ^o	LEITURAS NORMALIZADAS		UMIDADE POR PESO (%)	
	DENSIDADE	UMIDADE	MEDIDOR	LABORATÓRIO
1	0,539	0,299	10,25	8,40
2	0,495	0,292	9,70	8,30
3(x)	0,784	0,329	9,10	8,40
4	0,530	0,247	8,70	7,20
5	0,535	0,304	10,40	11,20
6(x)	0,683	0,384	9,80	10,10
7	0,597	0,258	9,60	7,50
8	0,588	0,252	9,40	7,60
9(x)	0,770	0,283	7,90	8,10
10	0,515	0,233	8,40	7,70
11	0,546	0,279	9,90	8,00
12	0,558	0,230	8,80	7,20
13	0,571	0,235	9,00	7,40
14(x)	0,889	0,221	6,30	6,60
15(x)	0,818	0,281	8,00	7,00
16	0,528	0,203	7,20	7,80
17	0,553	0,261	9,50	8,40
18	0,600	0,206	8,00	7,00
19(x)	0,791	0,240	6,50	6,20
20(x)	0,752	0,256	6,90	7,00
21	0,513	0,208	8,00	7,20
22	0,527	0,229	8,50	7,80
23	0,502	0,267	9,30	6,50
24	0,518	0,271	9,40	7,60
25	0,553	0,271	10,00	9,10
26	0,567	0,276	10,10	8,50
27	0,593	0,215	8,30	6,00
28(x)	0,778	0,300	8,30	8,40
29(x)	0,812	0,272	7,70	8,00
30(x)	0,658	0,385	9,90	9,60

(x) Medições feitas diretamente sobre o minério.

5.0.0 Conclusões e Comentários

Comprovou-se que a resposta do medidor, em função da umidade percentual por peso dos minérios de ferro investigados nos testes de calibração, não é linear e depende da densidade úmida desses minérios (figuras 7, 8, 13 e 14).

A forma das curvas de calibração é a mesma, desde que a medição se efetue através de uma chapa de aço de 5/16" de espessura ou diretamente sobre o minério. Porém, como era de esperar, a presença da chapa de aço (ou a medição através das paredes dos vagões) fornece resultados mais imprecisos do que a medição direta. Este fato está evidenciado pelas figuras 15 e 16 que mostram a correlação entre os métodos nuclear e gravimétrico para os dois casos.

Teoricamente, supondo-se que as curvas de calibração utilizadas fossem corretas, os pontos que relacionam as leituras do medidor nuclear com os resultados de laboratório, deveriam alinhar-se sobre uma reta a 45°, passando pela origem de coordenadas.

Essa condição cumpre-se satisfatoriamente no caso em que a sonda nuclear é aplicada diretamente sobre a superfície do minério (figuras 16 e 17).

Admitindo-se a presença de erros sistemáticos no traçado das curvas de calibração, a correlação poderá ser expressa, em geral, por uma reta do tipo: $y = a + bx$.

Para determinar os parâmetros a e b da equação anterior, traçar a reta correspondente e estabelecer o grau de ajuste entre os dados experimentais e a regressão linear suposta, utilizou-se uma calculadora programável de mesa, HP modelo 9.810A com "plotter".

O grau de ajuste acima mencionado pode ser avaliado quantitativamente pelo denominado "coeficiente de determinação" (r^2), tal que:

$$r^2 = \frac{\mu^2(x,y)}{\mu(xy) \mu(yy)}$$

onde:

$$\mu(y_1 y_2) = \sum y_1 y_2 - \frac{(\sum y_1)(\sum y_2)}{n}$$

Esse coeficiente é um número entre 0 e 1 que mede o mérito da equação determinada pela regressão, para representar os dados experimentais (x, y). Quando r^2 resulta próximo de um, a equação descreve os dados com boa exatidão; caso contrário, quando r^2 cai perto de zero, a correlação não é boa.

Com auxílio da calculadora obtiveram-se os resultados seguintes:

1) Medição através das paredes dos vagões, computando-se todos os dados experimentais (figura 15):

$$\begin{aligned} a &= 5,5748 \\ b &= 0,4112 \\ r^2 &= 0,2913 \end{aligned}$$

2) Medição direta sobre a superfície do minério, computando-se todos os dados experimentais (figura 16)

$$a = - 0,5979$$

$$b = 0,9990$$

$$r^2 = 0,6145$$

3) Idem que o caso anterior, descartando-se dois pontos afastados da reta (figura 17)

$$a = - 0,8849$$

$$b = 1,1071$$

$$r^2 = 0,9417$$

A grande dispersão dos dados experimentais em torno da reta obtida no primeiro caso (figura 15), e o afastamento dessa reta das condições ideais ($a = 0$; $b = 1$), podem ser explicados por diferentes razões, a saber:

- a) imprecisão no levantamento da curva de calibração quando é utilizada a chapa de aço entre a sonda nuclear e a amostra de minério, decorrente da atenuação das radiações e variações na geometria de medição;
- b) presença de espaços vazios na superfície de contato entre o minério de ferro e a parede do vagão, impossíveis de serem determinados "a priori";
- c) diferenças de espessura (por desgaste) entre as paredes dos vagões e a chapa de 5/16" utilizada na calibração;
- d) erros na geometria de medição "in situ", ao aplicar a sonda nuclear contra a parede do vagão;
- e) dificuldade em retirar a amostra destinada às medições de laboratório, do local correspondente ao volume de minério investigado pela sonda nuclear.

Provavelmente, a causa mais determinante da dispersão obtida na correlação dos métodos nuclear e gravimétrico, quando a medição nuclear se efetua através das paredes dos vagões, é a mencionada no parágrafo e), isto é, a falta de representatividade das amostras analisadas no laboratório.

Em troca, a medição nuclear feita diretamente sobre a superfície do minério, nos vagões de transporte, fornece resultados bem satisfatórios, como o demonstraram as figuras 16 e 17 e os correspondentes valores de a , b e r^2 .

Pode-se concluir então que:

- 1) a medição nuclear da umidade percentual dos minérios de ferro, "in situ", sobre os vagões de transporte, é uma técnica perfeitamente viável e econômica em relação ao método gravimétrico por amostragem.
- 2) no caso desta medição ser feita através das paredes dos vagões, precisa-se extremar as precauções durante a calibração dos equipamentos e no posicionamento da sonda, recomendando-se também o emprego de uma fonte de nêutrons de maior atividade.
- 3) a correta comparação dos métodos nuclear e gravimétrico, visando a verificar a exatidão da curva de calibração, requer numerosas determinações com amostras realmente representativas do volume de minério investigado pela sonda nuclear.

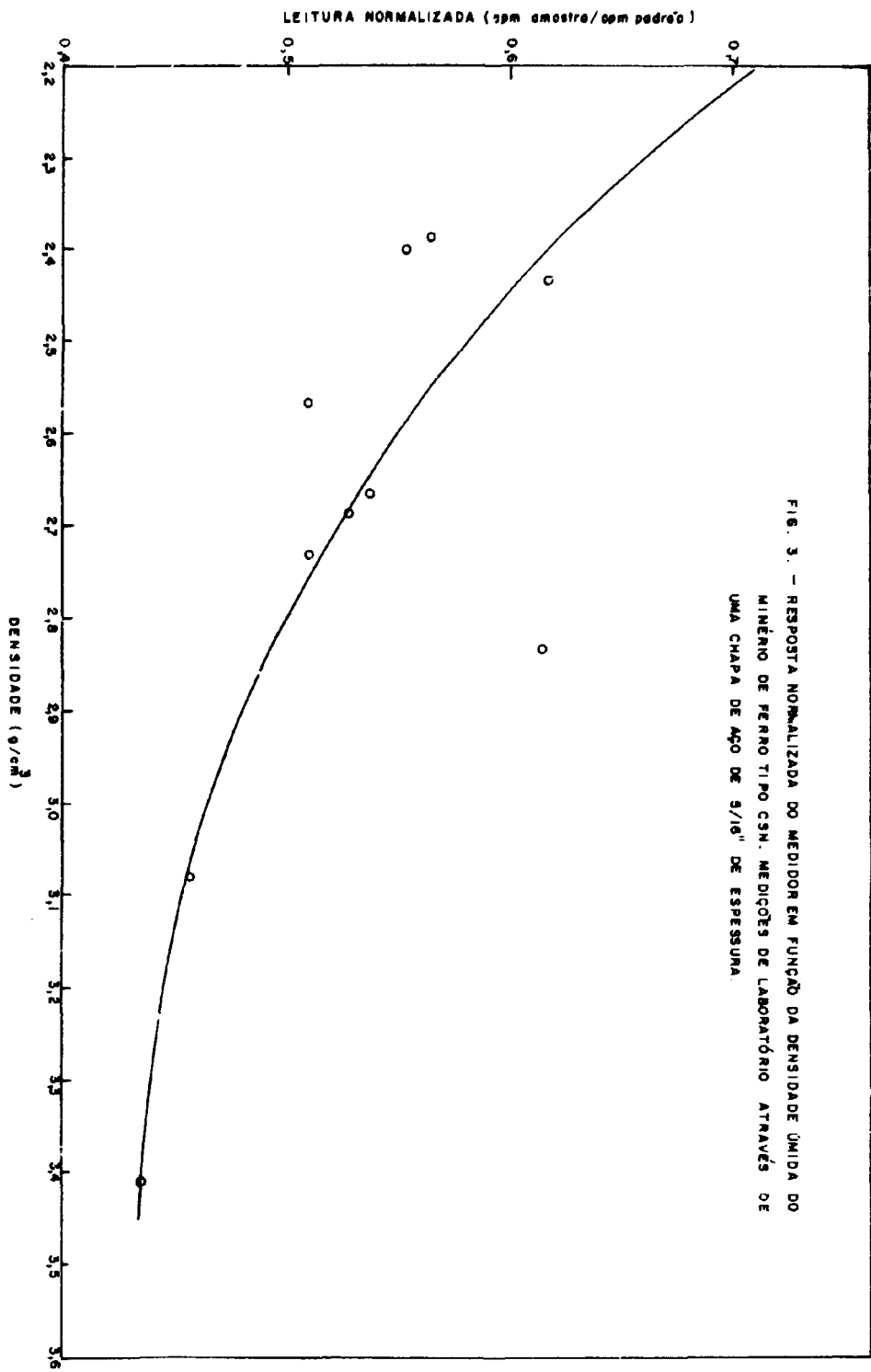
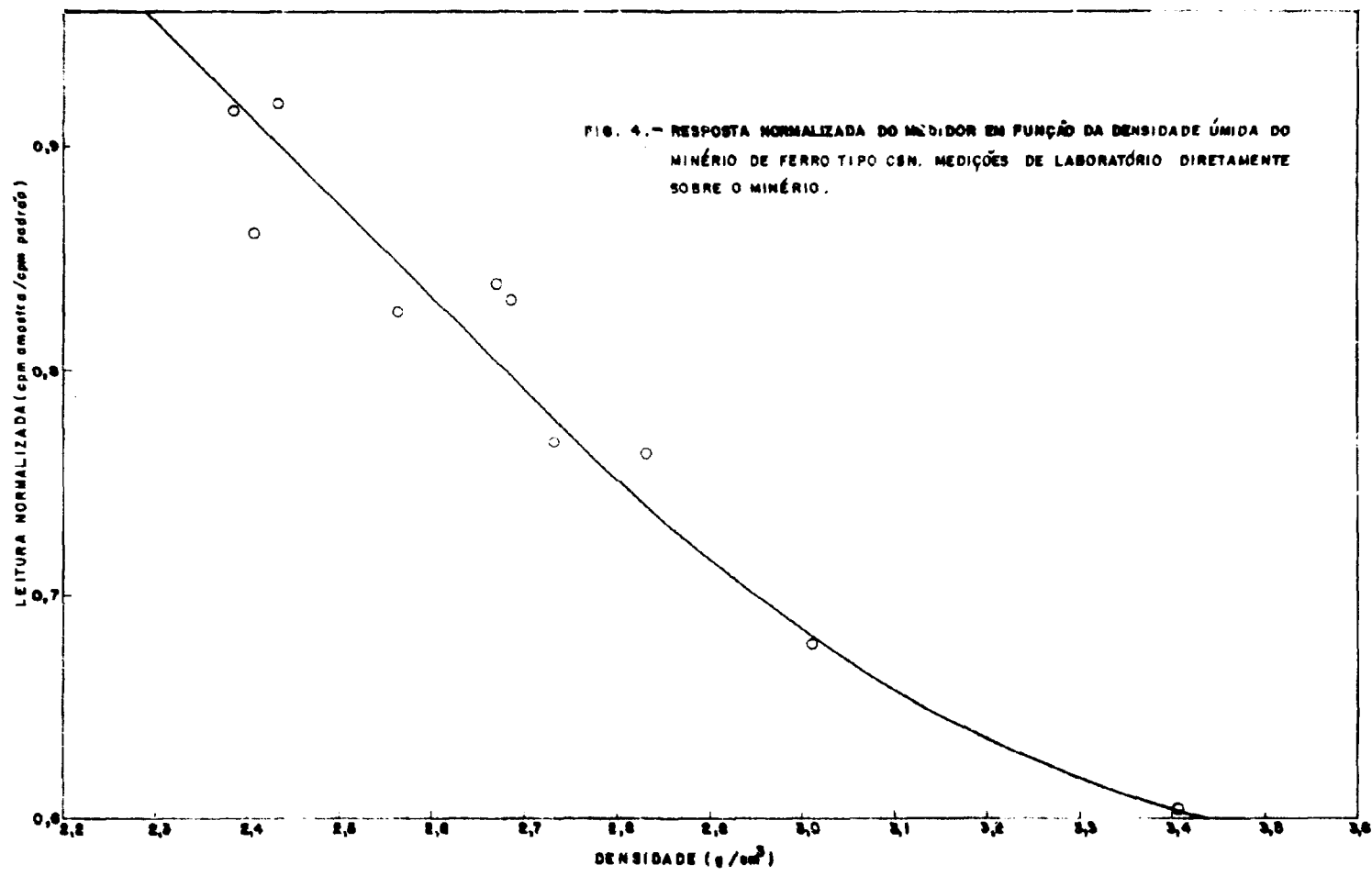
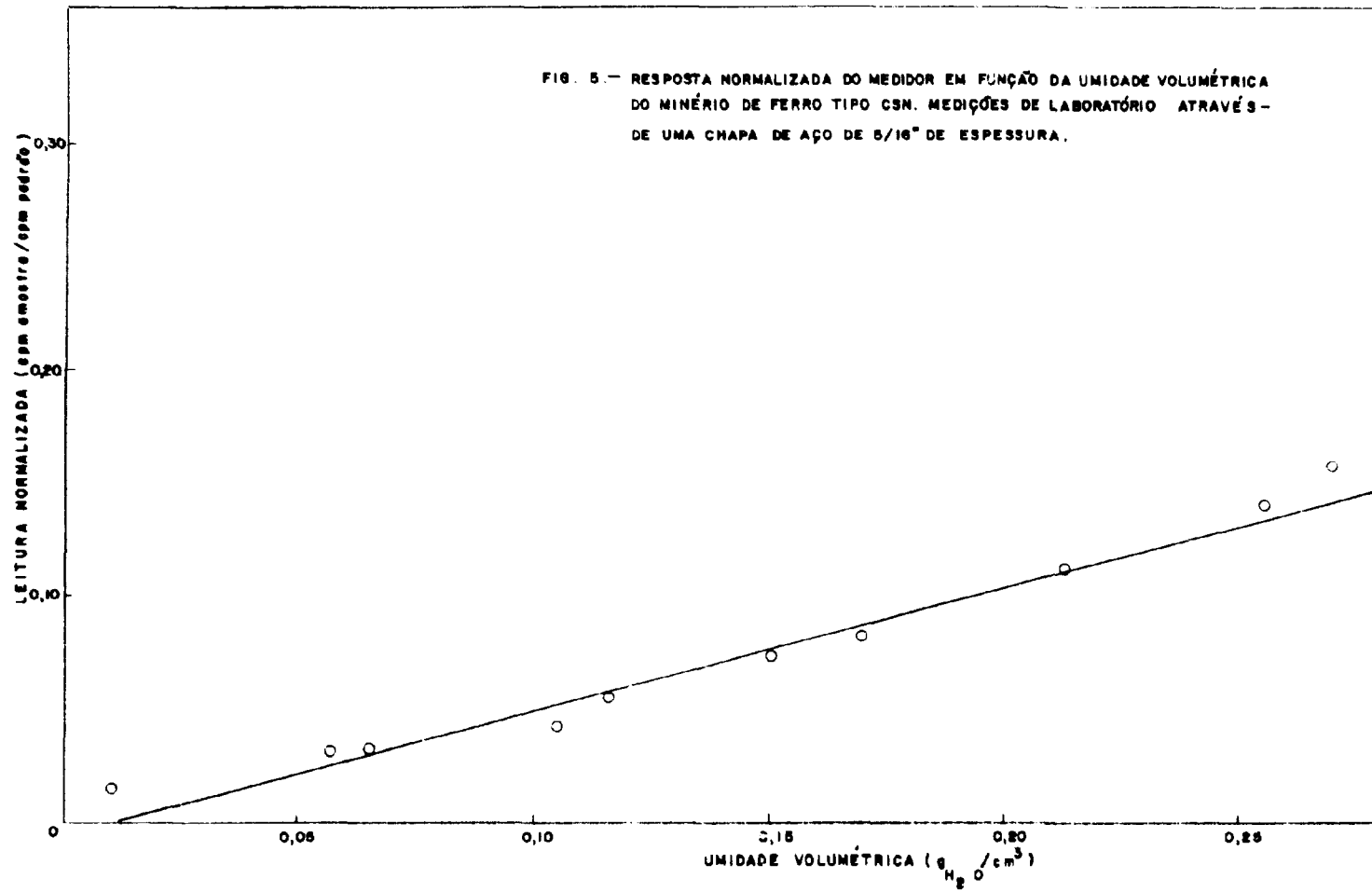
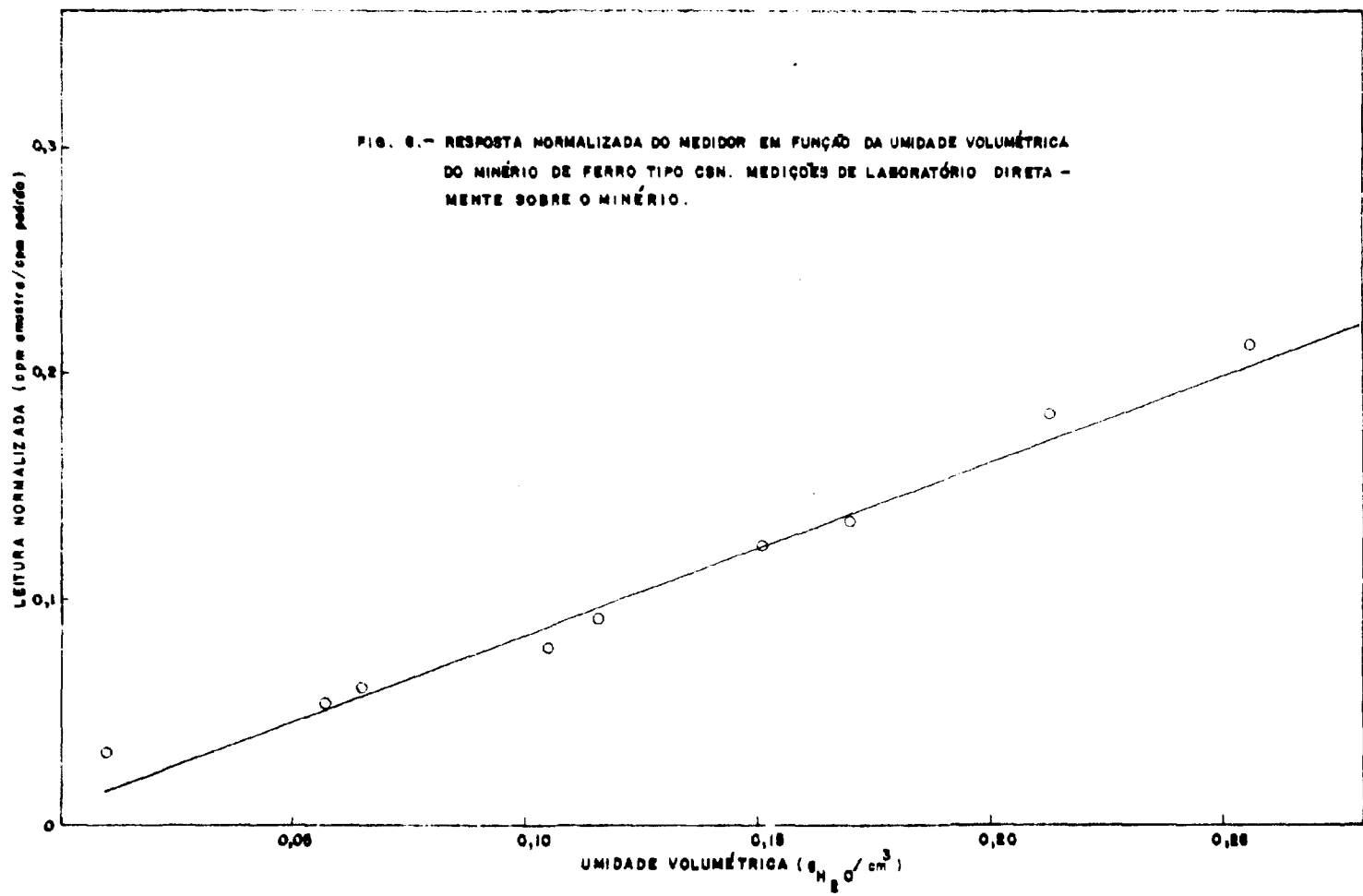


FIG. 3. - RESPOSTA NORMALIZADA DO MEDIDOR EM FUNÇÃO DA DENSIDADE ÚMIDA DO MINÉRIO DE FERRO TIPO CSN. MEDIÇÕES DE LABORATÓRIO ATRAVÉS DE UMA CHAPA DE AÇO DE 9/16" DE ESPESURA.







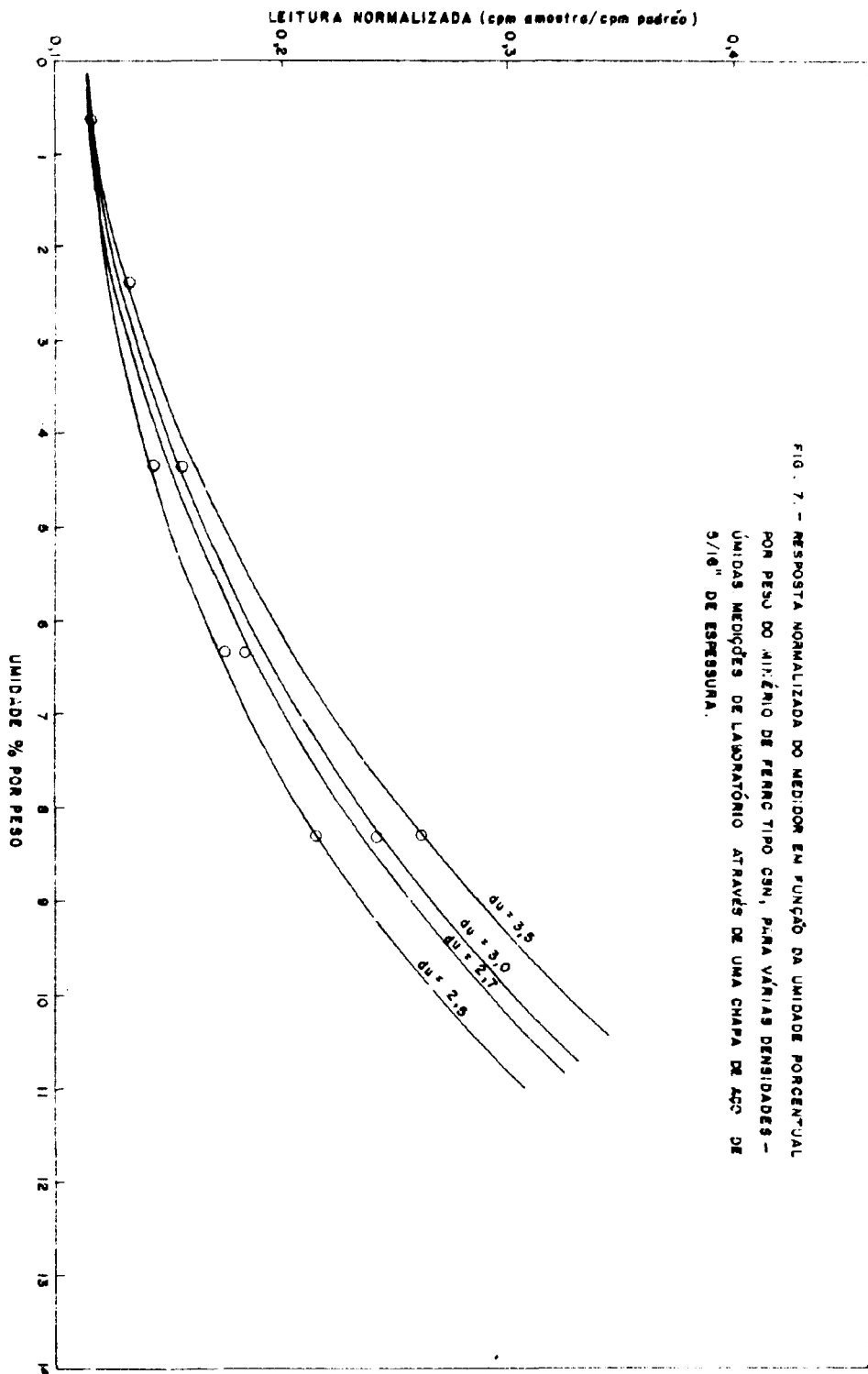
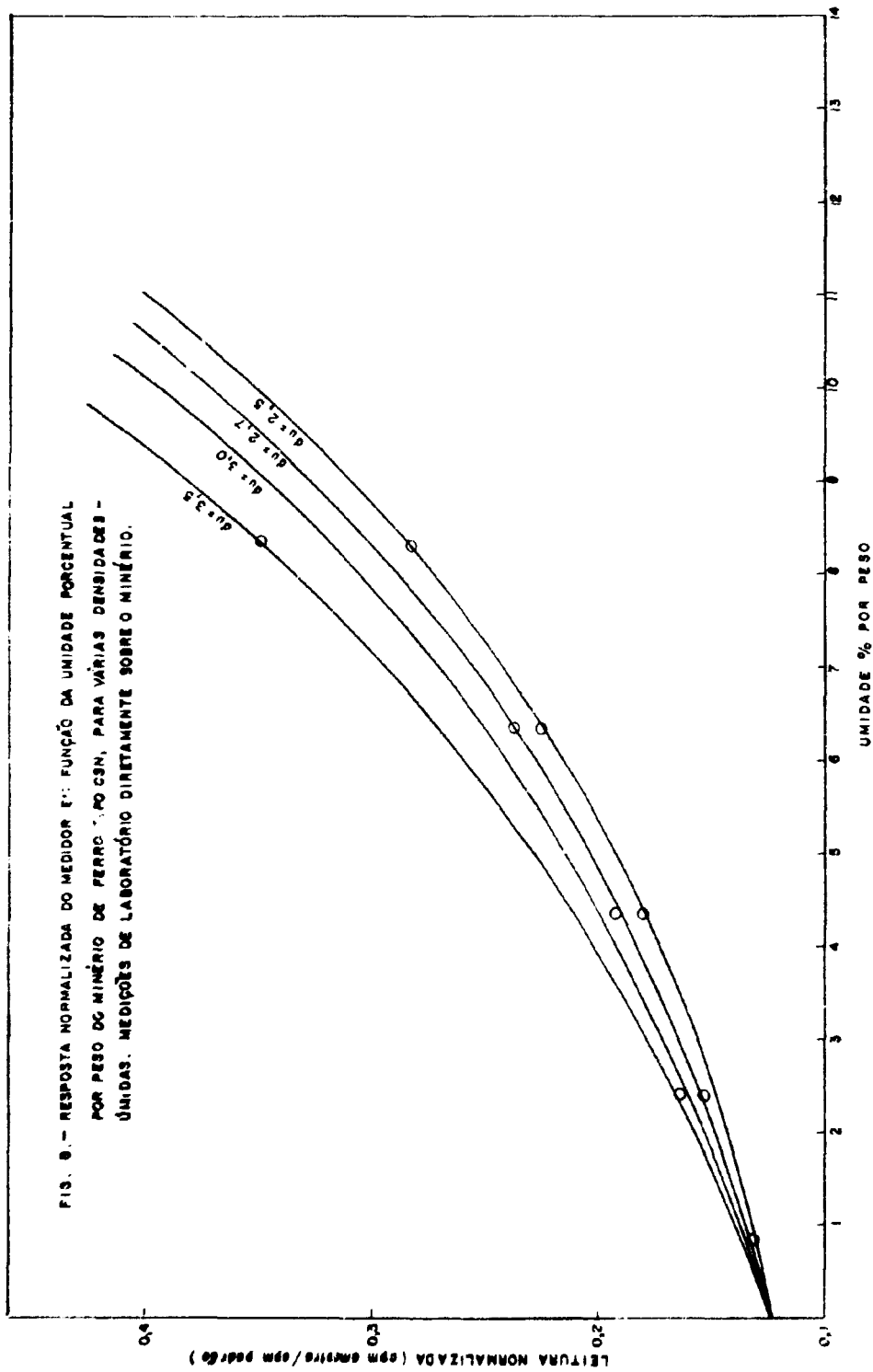


FIG. 7. - RESPOSTA NORMALIZADA DO MEDIDOR EM FUNÇÃO DA UMIDADE PORCENTUAL POR PESO DO MINÉRIO DE FERRO TIPO CSM, PARA VÁRIAS DENSIDADES - UNIDADES MEDIÇÔES DE LABORATÓRIO ATRAVÉS DE UMA CHAPA DE AÇO DE 5/16" DE ESPESSURA.



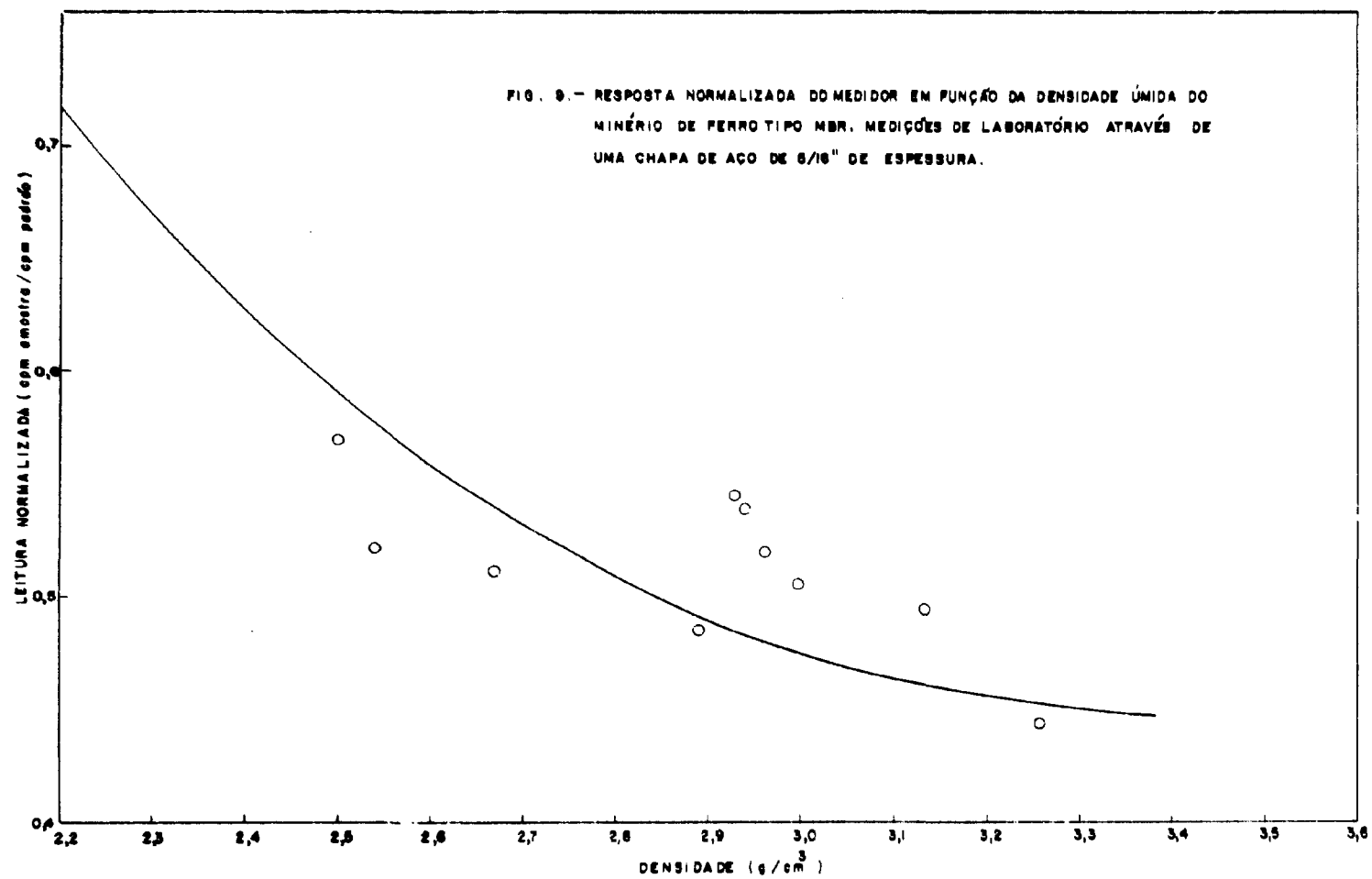
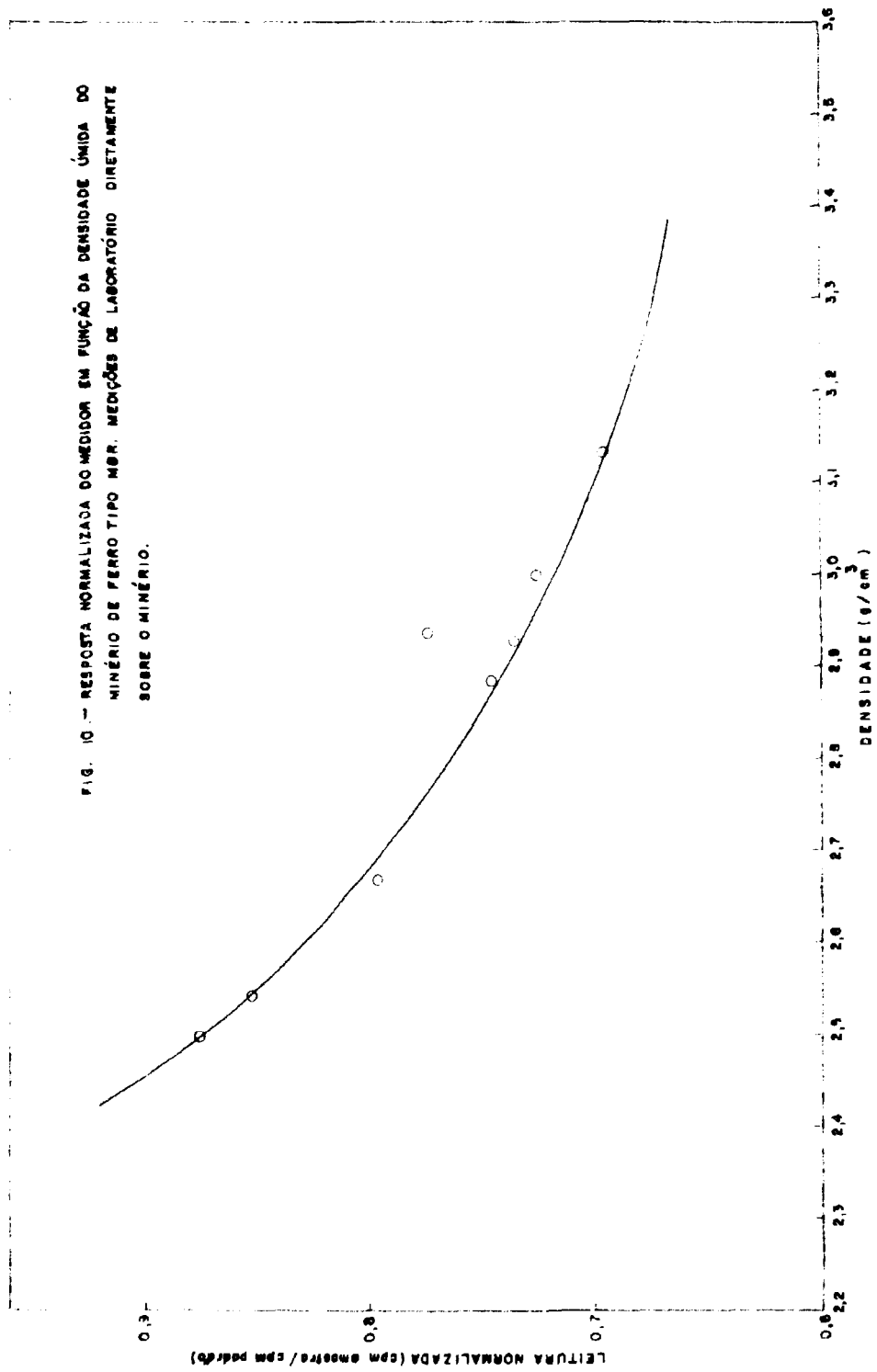
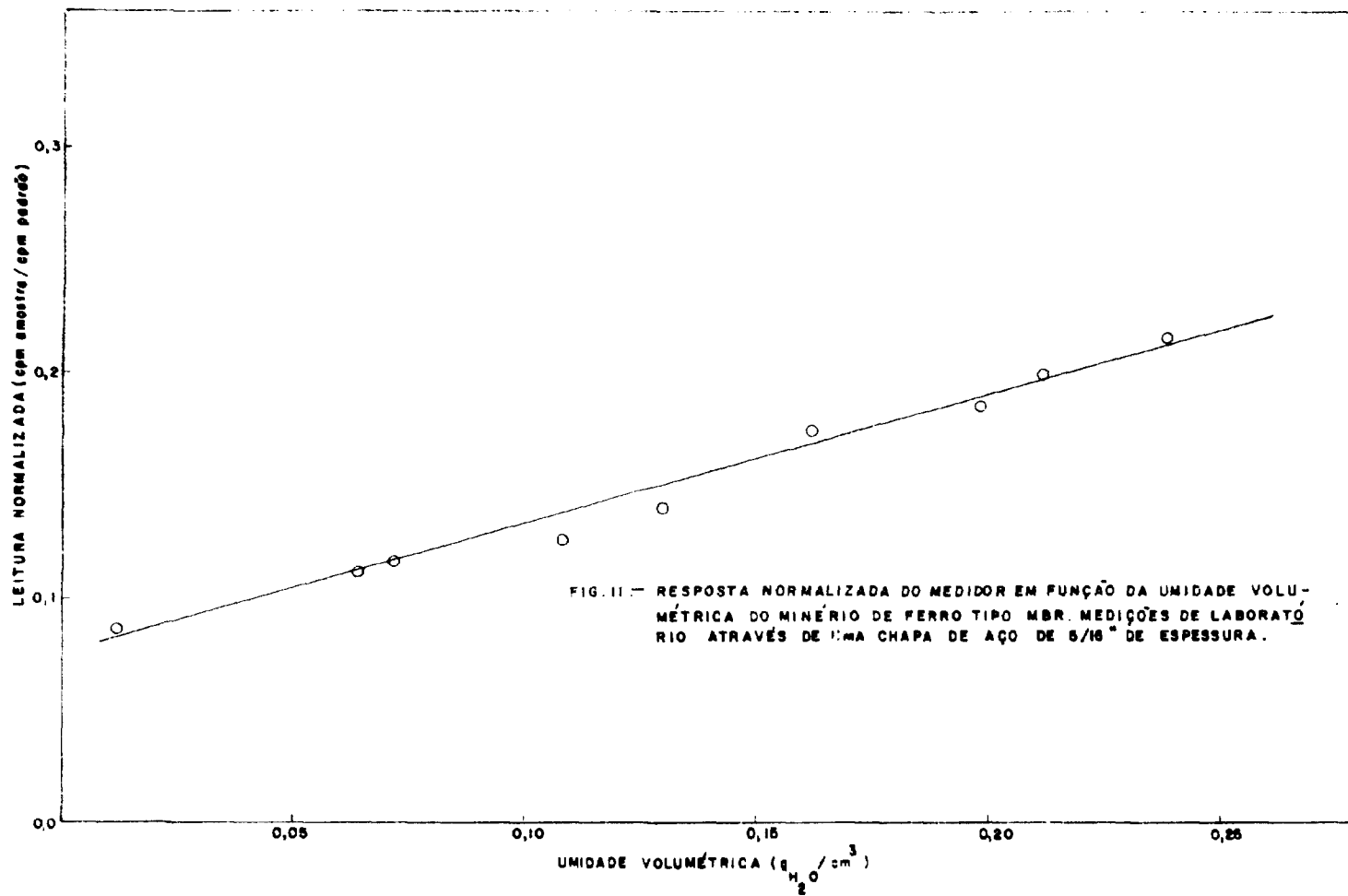
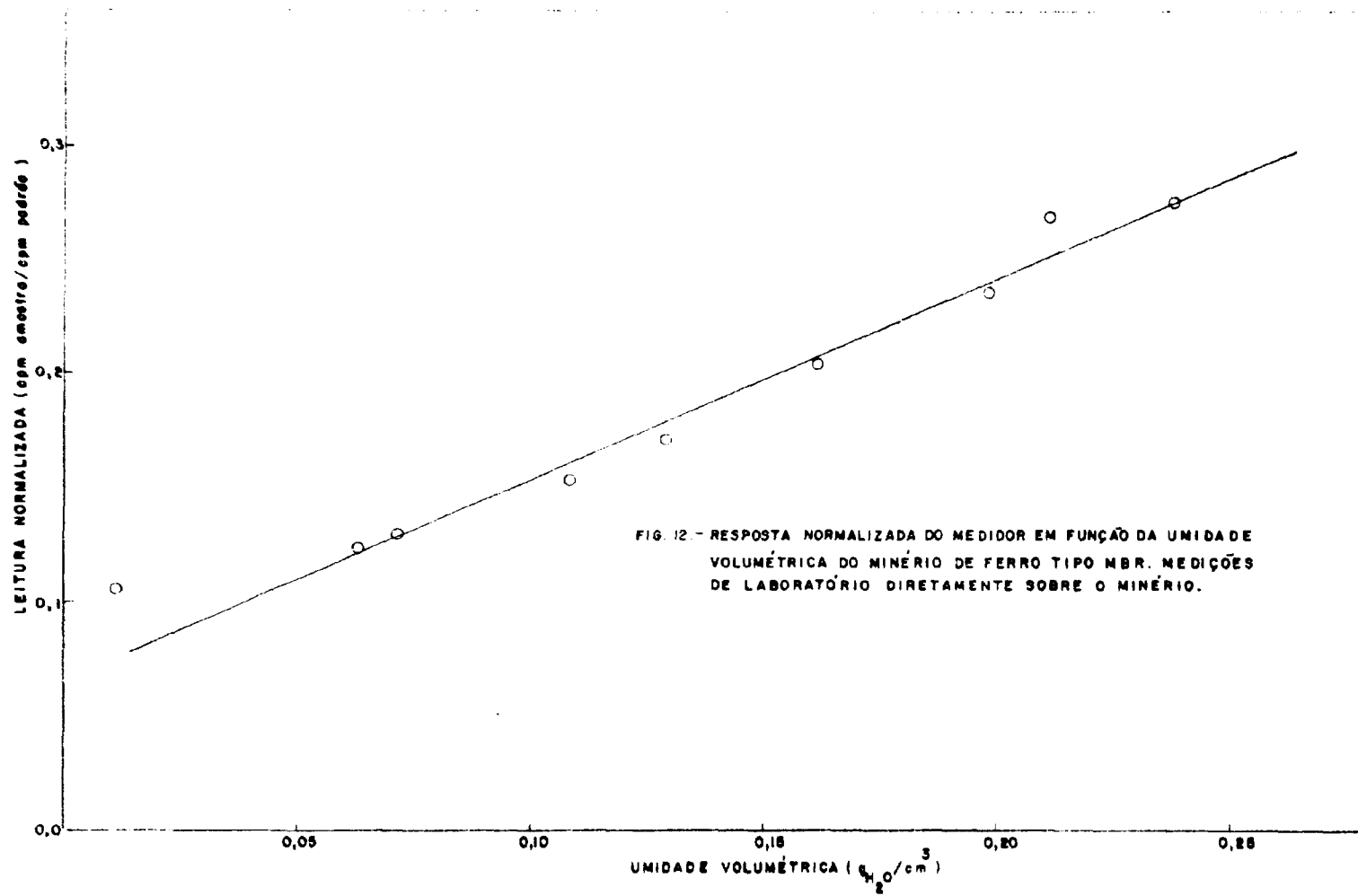
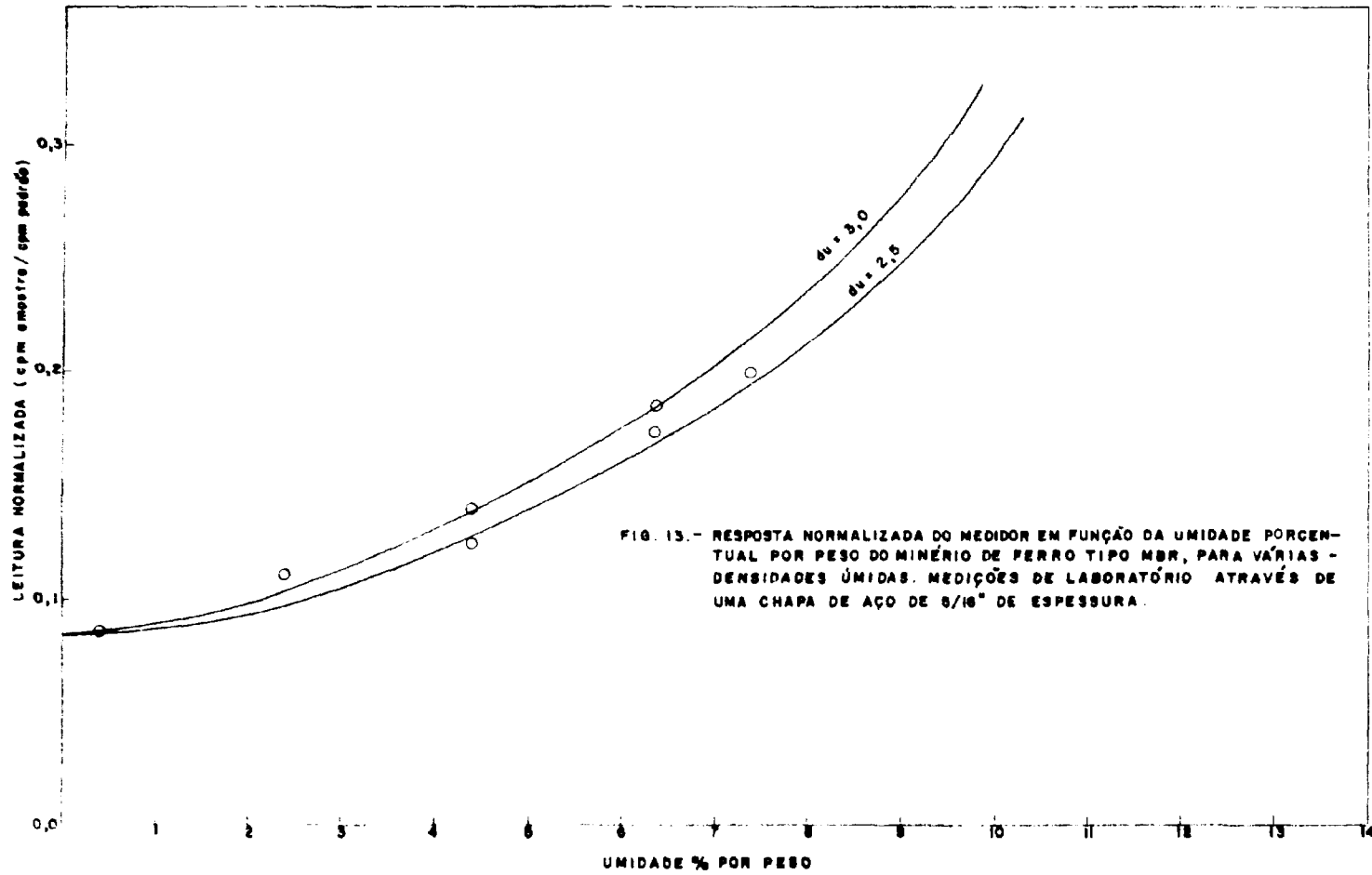


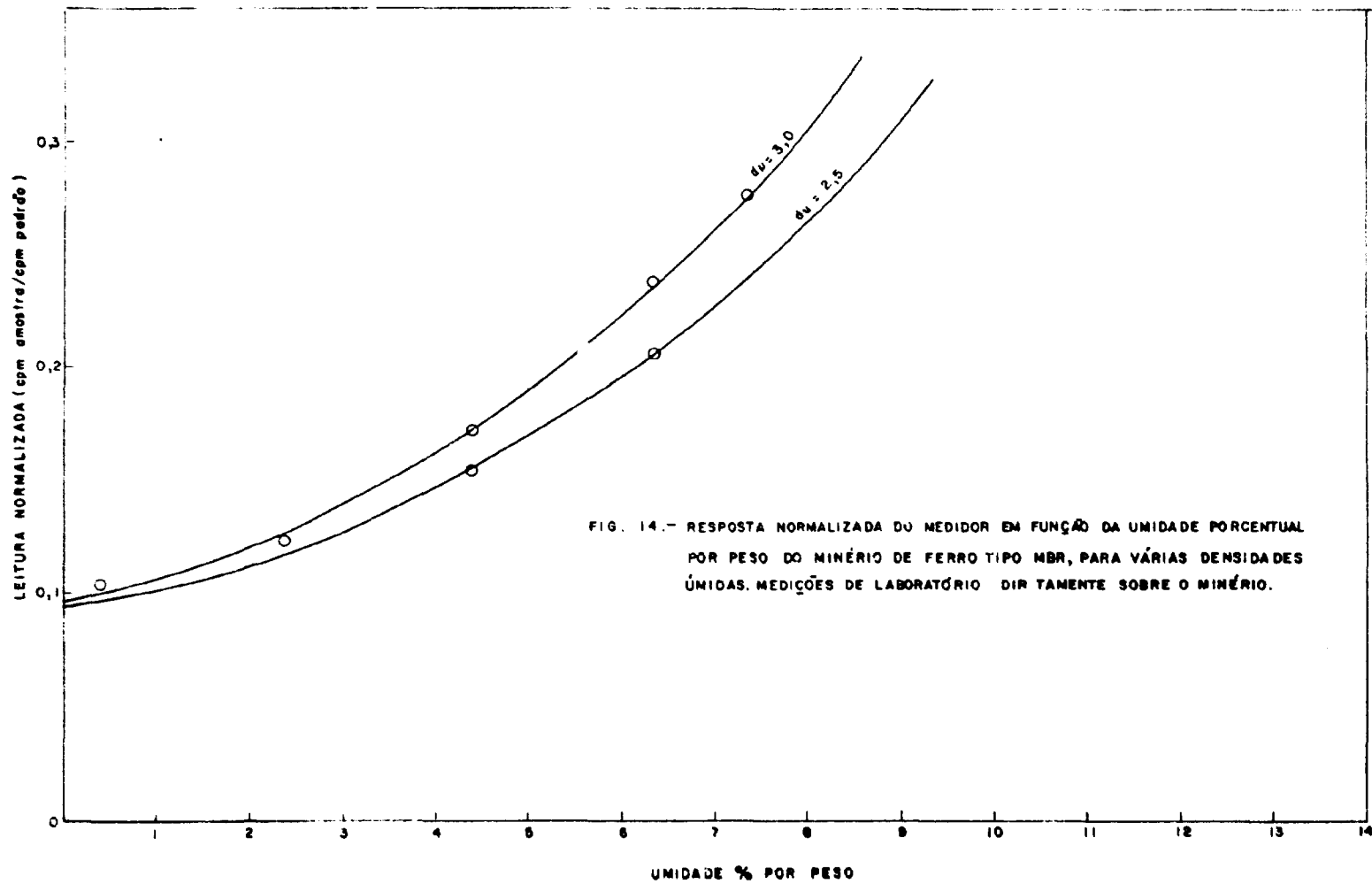
FIG. 10 - RESPOSTA NORMALIZADA DO MEDIDOR EM FUNÇÃO DA DENSIDADE ÚMIDA DO MINÉRIO DE FERRO TIPO MBR. MEDIÇÕES DE LABORATÓRIO DIRETAMENTE SOBRE O MINÉRIO.

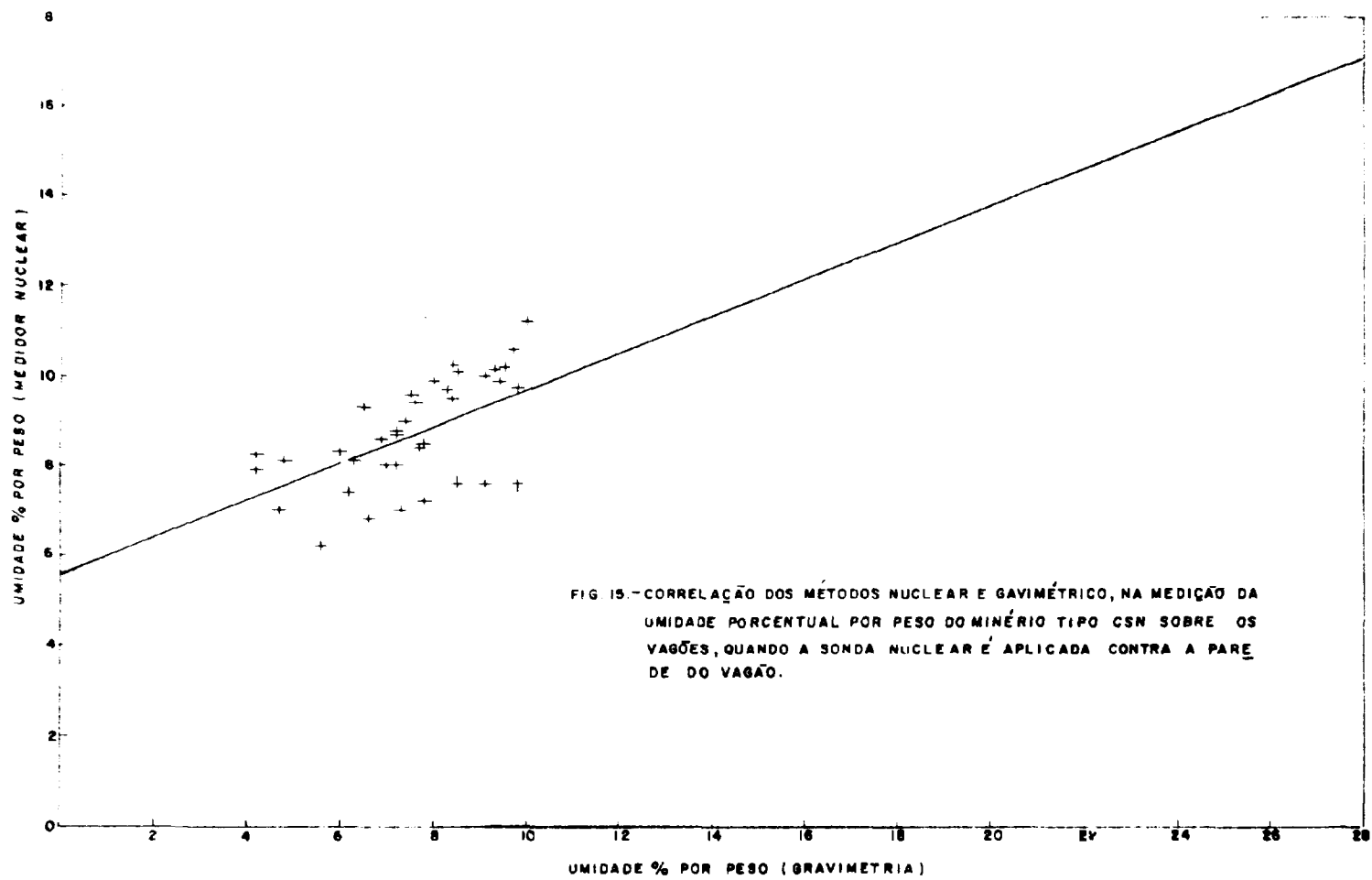


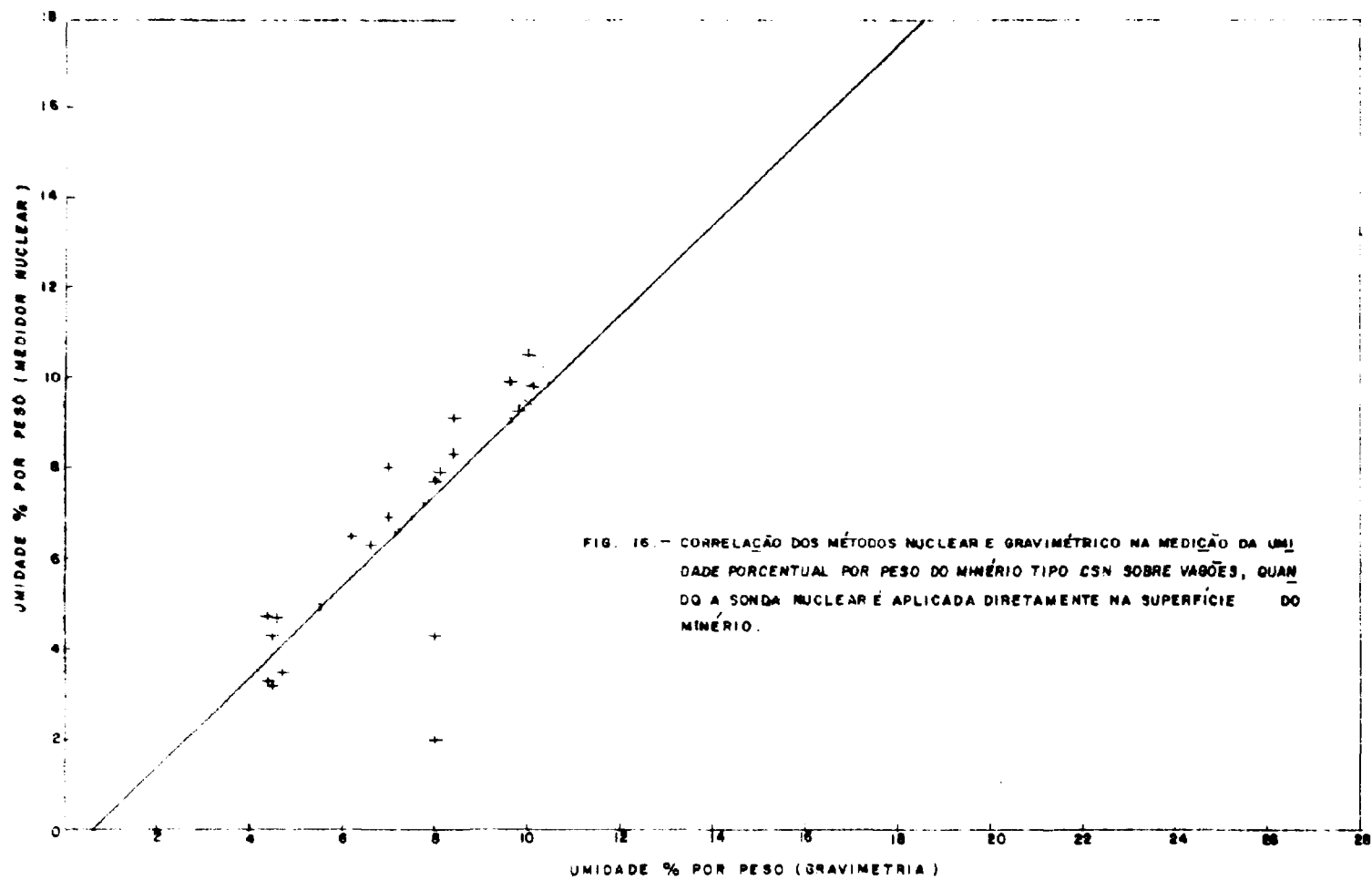


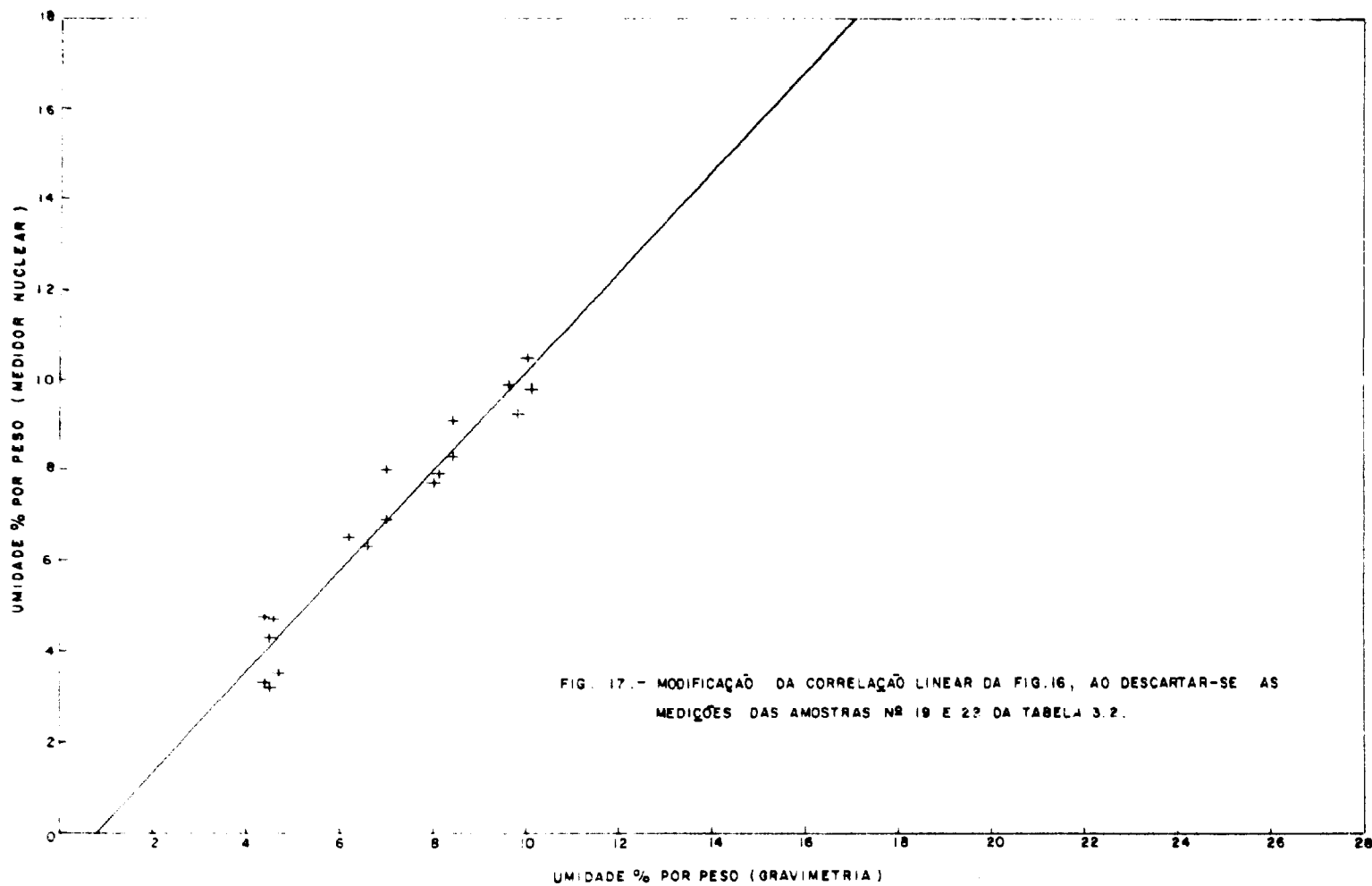












ABSTRACT

The methodology and the results of an experimental study, aimed to establish the possibility and the advantages of using a nuclear technique for measuring on the spot, (in the freight cars), the moisture content of iron ores, are described.

The study was performed by the "Coordenadoria de Aplicações de Radioisótopos e Radiações na Engenharia e na Indústria (CARREI)" of the "Instituto de Energia Atômica (IEA)", São Paulo, Brazil, at the request of the "Companhia Siderúrgica Paulista (COSIPA)".

The measurements included the determination of both, the volumetric moisture content and the density. From this values, the moisture content in percentage by weight, was calculated. For this purpose, a Nuclear Chicago d/M Combination Density-Moisture Probe with a 5 mCi Ra/Be source, and a digital portable scaler, were used.

Two types of measurements were made: a straight one, placing the probe against the ore surface, and the other, across the freight car walls, that consisted of steel plates, 5/16" thick. Gravimetric determinations of moisture were parallelly made in both cases, with samples taken from the same ore volumes involved in the nuclear measurements.

The values of the moisture content in percentage by weight obtained from the application of both methods, the nuclear and the gravimetric, were correlated for each type of measurement and processed in a H.P. Mod. 9810 A calculator, for quantitatively establishing the "goodness of fit" between the experimental data, and a equation determined by a linear regression.

In the case of the measurements made with the nuclear probe directly placed against the ore surface, the "coefficient of determination" (r^2) for the linear regression, resulted in 0,9417, while for the readings across the car walls, it was equal to 0,2913.

Consequently, the investigated technique gives good results when the measurements are made directly on the ore surface, and has economical advantages over the gravimetric method (by sampling).

Finally, the probable reasons for both, the aleatory scattering of points and the lack of linear correlation between the values of both methods, when the nuclear measurement is made across the car walls, are analyzed.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CASTAGNET, A. C. et alii. *Aplicação de radioisótopos nas indústrias do petróleo, gás e petroquímica. Perfilagem de poços petrolíferos, pt2: perfilagens neutrônicas*. S.Paulo, Instituto de Energia Atômica, 1974. (Inf. IEA-30)
2. CASTAGNET, A. C. et alii. *Medición de densidade por retrodispersión gama: bases para el diseño de equipos aplicables a suelos y otros materiales*. Buenos Aires, Comisión Nacional de Energia Atomica, 1965. (CNEA-137)

