

	22/02
	801/0
	08/01/7



CETESB

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

MEDIÇÃO DE RADIOATIVIDADE NO AMBIENTE
EXTERIOR À USINA SANTO AMARO, DA NUCLEMON

DIRETORIA

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA
Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 - CEP. 05459 - Pinheiros
SÃO PAULO - BRASIL

MEDIÇÃO DE RADIOATIVIDADE NO
AMBIENTE EXTERIOR À USINA
SANTO AMARO, DA NUCLEMON

março - 1982

SOMA
SECRETARIA DE OBRAS
E DO MEIO AMBIENTE
Eng^o Walter Antunes

Governo
Paulo Maluf



São Paulo
trabalhando.

CLASS	0201
AUTOR	C 338m
T.C.MBO	12185



CETESB

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

DIRETORIA

Victor Didrich Leig
Diretor Presidente

Paulo Leite Julião
Diretor Vice-Presidente

Camal Abdon Salomão Rameh
Diretor de Engenharia e Ação Regional

Carlos Celso do Amaral e Silva
Diretor de Tecnologia e Desenvolvimento

José Rubens Rezende Gonçalves da Motta
Diretor Financeiro

Nelson Nefussi
Diretor de Engenharia do Ar e de Ação Metropolitana

Paulo Lauro Junior
Diretor Administrativo

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

MEDIÇÃO DE RADIOATIVIDADE NO AMBIENTE
EXTERIOR À USINA SANTO AMARO, DA NUCLEMON

DIRETORIA DE TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS AMBIENTAIS
GERÊNCIA DE ESTUDOS HIDROLÓGICOS

MARÇO/1982

E Q U I P E T É C N I C A

EDMUNDO GARCIA AGUDO

AZOR CAMARGO PENTEADO FILHO

SIGMA GONÇALVES

JORDONS TEVIS FRANCISCO

VALDEMAR ARRABAL RODRIGUES

I N D I C E

1.0 - HISTÓRICO	01
2.0 - CAMPANHAS DE AMOSTRAGEM	04
3.0 - LOCAIS DE AMOSTRAGEM	05
4.0 - MATERIAL E MÉTODOS	06
5.0 - RESULTADOS	12
6.0 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	16
7.0 - CONCLUSÕES	19

ANEXO I: RELATÓRIOS DO INSTITUTO DE FÍSICA DA USP

MEDIÇÃO DE RADIOATIVIDADE NO AMBIENTE EXTERIOR À USINA SANTO AMARO, DA NUCLEMON

1.0 - HISTÓRICO

A indústria Nuclemon, Nuclebrás Monazita e Associados, possui uma usina de beneficiamento e separação de terras raras e minérios de lítio, tório e urânio, na cidade de São Paulo, no bairro de Santo Amaro.

Esta usina vem operando no local desde 1941.

As primeiras reclamações da população sobre a poluição oriunda das instalações da Nuclemon datam de 1975. A CETESB tem atuado firmemente junto a indústria, exigindo uma série de medidas de controle para a poluição.

Grande parte das exigências da CETESB já foram cumpridas, e as restantes encontram-se em vias de instalação.

Assim sendo, a poluição convencional oriunda das instalações industriais pode ser considerada sob controle.

Entretanto, nos últimos tempos, houve denúncias jornalísticas sobre uma eventual contaminação do ambiente circunvizinho às instalações, com radioatividade presente na matéria prima processada.

O controle da radioatividade ambiental, dentro das instalações, é rotineiramente efetuado pela própria Nuclebrás, e nos relatórios que a CETESB teve oportunidade de analisar, verificou-se que os níveis eram compatíveis com a legislação em vigor.

Entretanto, não existem dados sobre a concentração de material radioativo no exterior das instalações.

A interação dos materiais radioativos com o meio ambiente pode ser produzida pelas radiações penetrantes (gama) originadas na desintegração das substâncias radioativas existentes no interior da fábrica, que atravessando as paredes, podem atingir as pessoas no exterior. Neste caso, trata-se de um risco de radiação direta.

Outra forma de interação ocorre quando restos de material radioativo são eliminados para o exterior das instalações.

Estes materiais podem contaminar o meio ambiente e atingir também a população vizinha.

A contaminação radioativa pode alcançar o meio ambiente por três caminhos diferentes.

- a - Despejos líquidos dos processos industriais. Por ocasião do tratamento químico dos materiais processados pela Nuclemon, uma parcela da radioatividade neles presente, pode ser carregado, em solução ou suspensão, junto com os despejos líquidos da indústria. Esta fração é geralmente pouco significativa do ponto de vista de risco radiológico, porque mistura-se ao esgoto, experimentando uma diluição muito grande, sem propiciar seu contato com os seres humanos.
- b - Resíduos sólidos: A maior parte dos rejeitos radioativos gerados no processamento dos materiais, (óxidos de tório e urânio), são produzidos em forma sólida e dispostos pela Nuclemon, em instalações apropriadas fora da cidade. Assim sendo, estes materiais não representam risco nenhum para a população vizinha à U.S.A.M.
- c - Gases e material particulado: Os minerais normalmente presentes na areia monazítica processada pela Nu

clemon, contém urânio e tório com concentrações máximas de 6,0% de ThO_2 e 0,3% de U_3O_8 , aproximadamente.

A partir destes dois elementos radioativos, se originam duas cadeias de desintegração diferentes. Em ambos casos são produzidos átomos de radônio, que por ser um gás inerte, pode escapar para o ambiente, nos processos de moagem e ataque químico. O radônio produzido a partir do ^{238}U é o ^{222}Rn . Este gás decai com meia vida de 3,8 dias. Por esse motivo, da quantidade total liberada, apenas uma fração muito pequena tem condições de decair nas vizinhanças das instalações. A maior parte é dispersa e diluída para longe do local, não representando risco. Da fração que consegue decair na área, se forma uma série de novos elementos radioativos que em conjunto decaem com meia vida de 26,8 minutos.

O ^{232}Th , produz em sua desintegração, o ^{220}Rn , que decai com meia vida de 55,6 segundos. Ao se desintegrar forma outros elementos que decaem, em conjunto, com meia vida de 10,6 horas. Neste caso pode se considerar que todo o ^{220}Rn decai nas vizinhanças das instalações.

Estes elementos radioativos, formados no ar a partir da desintegração dos átomos de radônio, se fixam sobre as partículas de material em suspensão no ar e são carregadas e dispersadas pelo vento.

Respirando esse ar, as partículas, dependendo de seu tamanho, podem ficar retidas nos pulmões dos indivíduos.

Entretanto, a Usina de Santo Amaro não é a única fon

te que produz estes elementos radioativos. A terra e os materiais de construção em geral, possuem traços de urânio e tório em sua composição química. Por esse motivo, tanto o ^{222}Rn como o ^{220}Rn e todos os seus descendentes, encontram-se naturalmente presentes na atmosfera da terra, em maior ou menor proporção. Sua concentração dependerá do tipo e quantidade de materiais de construção, prédios, paralelepípedos nas ruas, etc.

Por esse motivo, a eventual detecção desses materiais na área da USAM/Nuclemon, não necessariamente implica que provenham dessas instalações, embora sua operação certamente venha a aumentar os níveis naturalmente presentes na região.

Considerando a falta de informações sobre os níveis de radioatividade no exterior da Usina Santo Amaro, a CETESB solicitou à Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN, a colaboração do Instituto de Radioproteção e Dosimetria - IRD para efetuar uma monitoragem completa nas vizinhanças das instalações.

Nas campanhas de amostragem e nas medições posteriores, houve participação da CETESB e do Instituto de Física.

2.0 - CAMPANHAS DE AMOSTRAGEM

As campanhas de amostragem foram programadas da maneira seguinte:

- 22-01-82: A equipe do IRD/CNEN fez um levantamento dos níveis de radiação gama junto às paredes externas da Usina Santo Amaro, e nas residências a ela vizinhas.

A equipe da CETESB retirou amostras dos efluentes líquidos da indústria, para quantificação posterior dos níveis de radioatividade, no IRD e no Instituto de Física da USP.

- 26-01 a 29-01-82: A equipe da CETESB retirou oito amostras dos efluentes líquidos em horários escolhidos aleatoriamente no período, cobrindo as 24 horas do dia.

Estas amostras foram posteriormente compostas numa só e enviadas ao IRD para sua análise.

- 02-02 a 05-02-82: Uma equipe mixta, IRD-CETESB procedeu a coleta de material particulado da atmosfera e a posterior medição de sua radioatividade.
- 16.02 e 17-02-82: A CETESB efetuou uma amostragem de 24 horas na região de Pinheiros, para ser utilizada como comparação com as obtidas na área da Nuclemon.

3.0 - LOCAIS DE AMOSTRAGEM

- . Efluentes líquidos: foram coletados na caixa de inspeção localizada na calçada da Avenida Santo Amaro, junto ao posto de gasolina adjacente à fábrica.
- . Material particulado: foram escolhidos três locais em volta das instalações da USAM:
 - Jardim do Bradesco, na esquina das avenidas Morumbi e Santo Amaro;
 - Jardim das indústrias Lacta, na rua Barão do Triunfo, frente a rua Eleutério;
 - Pátio dianteiro de um prédio de apartamentos, situado na Rua Barão do Triunfo nº 332.

4.0 - MATERIAL E MÉTODOS

- Efluentes líquidos: Na primeira amostragem, em 22-01-82, coletaram-se várias alíquotas de 1,5ℓ. Tentou-se acidificar as amostras com HCl concentrado, mas os despejos eram tão intensamente alcalinos que a quantidade necessária de ácido para neutralizá-las poderia ter interferido na medição da radioatividade alfa. Assim sendo, não foi adicionado ácido em quantidade significativa.

No laboratório, foram filtrados 3 litros de amostra, através de papel SS banda branca. O resíduo retido no filtro, foi entregue ao Instituto de Física da USP, para sua medição. Dos três litros filtrados, separaram-se duas frações de 1,5ℓ que foram entregues para o IRD e o Instituto de Física.

Esta última instituição identificou e quantificou os emissores de radiação gama presentes no resíduo e no filtrado, por meio de espectrometria gama com detetor de Ge de alta resolução.

As coletas realizadas entre 26 e 29-01-82 tiveram como finalidade preparar uma amostra composta, que fosse mais representativa da composição média dos efluentes líquidos da USAM.

Assim, foram programadas oito coletas independentes, em horários aleatórios, cobrindo o período diurno e o noturno.

As datas, horas e características das amostras individuais, encontram-se relacionadas na tabela I.

TABELA I

HORÁRIO DE COLETA DAS AMOSTRAS DE EFLUENTES LÍQUIDOS DA USINA
SANTO AMARO (NUCLEMON)

AMOSTRA	DIA	HORÁRIO	pH	TEMP. AMB. (°C)	TEMP. AMOSTRA (°C)
I	26/01	09:05	12	19	26
II	26/01	14:50	13	26	32
III	27/01	18:45	13	25	36
IV	27/01	23:50	08	20	28
V	28/01	12:25	14	28	32
VI	28/01	17:30	14	26	36
VII	29/01	03:20	12	21	31
VIII	29/01	07:40	14	20	31

O volume amostrado em cada vez, foi de 1,5ℓ. Destes, 0,5 litros de cada uma delas, foram combinados para dar 4ℓ de amostra composta.

Uma alíquota desta amostra foi enviada ao IRD para análise de radiação alfa e beta total.

O resto da amostra composta e o que sobrou das amostras individuais foram reservadas na CETESB para o caso eventual de ser necessária uma nova análise.

- Levantamento radiométrico: este levantamento foi efetuado pela equipe do IRD, porque os equipamentos disponíveis na CETESB e no Instituto de Física eram pouco sensíveis para medir os baixos níveis de radiação presentes naquele local.

O equipamento utilizado pelo IRD era um medidor de taxa de exposição, com sensor de cintilação, de NaI(Tl).

- Coleta e medição do material particulado: A coleta de material particulado foi realizada com dois tipos de equipamento diferentes. O IRD utilizou dois amostradores STAPLEX, com filtro de fibra de vidro e área efetiva de filtração de 8,9 cm de diâmetro. As amostragens realizadas com estes equipamentos foram de 60 ou 90 minutos de duração, e foram alternadas nos três locais de amostragem especificados na figura 1.

A CETESB utilizou três amostradores HIGH VOL com filtro de fibra de vidro, e área efetiva de filtração de 7x9 polegadas. Com estes equipamentos, instalados em cada um dos três locais de amostragem, efetuou-se uma amostragem de 24 horas, com o objetivo de reter suficiente quantidade de material para tentar identificar a presença de nuclídeos de meia vida longa.

Foi efetuada também uma amostragem de 90 minutos com cada um destes três equipamentos, para a medição da radioatividade de meia vida curta.

O IRD entregou também à CETESB, uma fração dos filtros utilizados nos equipamentos STAPLEX, para efetuar medições independentes.

A CETESB dividiu os filtros com amostra de 24 horas em três partes, entregando uma para o IRD, outra para o Instituto de Física e retendo a terceira para suas próprias medições.

Com o objetivo de poder comparar os níveis de radioatividade medidos nas vizinhanças da USAM, foram coletadas e medidas outras duas amostras, em locais diferentes. A primeira, com 90 minutos de amostragem, nas instalações da CETESB, com o amostrador STAPLEX, em 05-02-82. A segunda, de 24 horas, com equipamento HIGH VOL, no bairro de Pinheiros, nos dias 16 e 17-02-82.

Na tabela II encontram-se relacionadas as amostras de material particulado obtido, com alguns detalhes referentes à coleta.

Para a identificação e quantificação da radioatividade presente nos filtros com material particulado, a CETESB utilizou um sistema para detecção de partículas alfa, por cintilação, desenvolvido originalmente para a medição de radônio em Câmara de Lucas e especialmente adaptado para a medição dos filtros. Como cintilador utilizou-se uma lâmina de plástico, recoberta com fina camada de ZnS(Ag), gentilmente cedida pelo IRD. O detetor era uma válvula fotomultiplicadora, com uma polegada de diâmetro, associada a um preamplificador e conetada a

TABELA II

AMOSTRAS DE MATERIAL PARTICULADO

AMOSTRA	LOCAL	EQUIPAMENTO	DATA	HORA		TEMPO DE AMOSTRA GEM (h)	VOLUME DE AR (m ³)
				INICIAL	FINAL		
—	—	—	—	—	—	(h)	(m ³)
1	Bradesco	Staplex	03.02.82	08:55	10:25	1,5	70,5
2	Prédio	Staplex	03.02.82	10:10	11:40	1,5	68,0
3	Prédio	Staplex	03.02.82	12:00	13:30	1,5	68,0
4	Lacta	Staplex	03.02.82	12:15	13:45	1,5	65,6
5	Lacta	Staplex	04.02.82	09:20	10:50	1,5	68,0
6	Bradesco	Staplex	04.02.82	09:55	11:25	1,5	68,0
7	Prédio	Staplex	04.02.82	12:15	13:15	1,0	72,9
8	Bradesco	Staplex	04.02.82	12:05	13:35	1,5	68,0
9	Prédio	Staplex	04.02.82	13:40	15:10	1,5	72,9
10	Lacta	Staplex	04.02.82	13:55	15:25	1,5	72,9
B ₁	Bradesco	HIGH VOL	03-04.02.82	09:50	09:50	24	2230,5
L ₁	Lacta	HIGH VOL	03-04.02.82	10:20	10:20	24	2006,2
P ₁	Prédio	HIGH VOL	03-04.02.82	10:10	10:10	24	2344,6
B ₂	Bradesco	HIGH VOL	04.02.82	09:55	11:25	1,5	149,8
L ₂	Lacta	HIGH VOL	04.02.82	10:25	11:55	1,5	134,8
P ₂	Prédio	HIGH VOL	04.02.82	10:15	11:45	1,5	144,8
F ₁	CETESB	Staplex	05.02.82	10:20	11:50	1,5	72,9
F ₂	Pinheiros	HIGH VOL	16-17.02.82	08:30	08:30	24	1745,1

um contador de impulsos, marca BERTHOLD, modelo LB 1821.

A eficiência do sistema amostra/detector resultou em 44,9%. A radiação de fundo do sistema é de 0,09 cpm.

Com este dispositivo, associado a um contador de pulsos, foi medida a radioatividade alfa total das amostras, acompanhando seu decaimento ao longo do tempo.

A partir destes valores, foram analisadas as curvas de decaimento da radioatividade presente nos filtros e de terminando a atividade presente no fim da amostragem (A_0), por extrapolação a tempo zero.

A partir dos valores de A_0 , calculou-se a concentração de ^{212}Pb e seus descendentes, utilizando-se a relação seguinte:

$$C \text{ (pCi/}\ell\text{)} = \frac{A_0 \text{ (cpm)} \cdot F_T \cdot F_G}{R.A. E \text{ (cpm/dpm)} \cdot V(\ell) \cdot 2,22 \frac{\text{dpm}}{\text{pCi}}}$$

onde

C = concentração de ^{212}Pb , em pCi/ℓ;

A_0 = atividade no fim da amostragem;

F_T = fator de correção devido ao decaimento do ^{212}Pb no filtro durante o tempo de amostragem;

F_G = fator geométrico, relação entre a área efetiva do filtro e a área do disco utilizado na medição;

R = eficiência de retenção do filtro e considerada de 98%;

A = fator de correção pela auto-absorção da atividade alfa pelo filtro. Este fator resultou ser de 0,95;

E = eficiência do detetor para a geometria de medição;

V = volume de ar que atravessou o filtro, em litros;

2,22 = relação entre atividade, em dpm e em pCi.

5.0 - RESULTADOS

- Efluentes líquidos: as amostras analisadas pelo Instituto de Física, acusaram a presença de traços de tório insolúvel no material em suspensão liberado pela USAM junto com os resíduos líquidos (ver anexo I), com uma concentração de 0,4 nCi/l, aproximadamente.

As medições do efluente líquido filtrado mostraram a presença de urânio e tório, ambos com concentração de 240 pCi/l.

O Instituto de Física estima que estes valores podem estar sujeitos a um erro de até um fator 2, em decorrência da flutuação estatística das contagens e de problemas com reprodutibilidade de geometria e extensão da amostra.

- Taxa de exposição da radiação gama: as medições efetuadas pela CNEN/IRD no perímetro exterior da USAM mostraram taxas de exposição que variaram entre 30 µR/h e 70 µR/h. Este último valor foi detectado junto à pare

de da USAM na avenida Santo Amaro.

- Material particulado: a análise das curvas de decaimento da radioatividade alfa presente no material particulado na atmosfera, mostrou a presença de duas famílias de decaimento (Figura 2). A primeira, com meia vida de 27 minutos, corresponde ao decaimento do ^{214}Pb , em equilíbrio com seus descendentes (^{214}Bi e ^{214}Po), produzidos na desintegração do ^{222}Rn , da família do urânio.

A segunda, com meia vida de 10,6 horas, corresponde ao decaimento do ^{212}Pb , em equilíbrio com seus descendentes (^{212}Bi , ^{208}Tl e ^{212}Po), produzidos na desintegração do ^{220}Rn , da família do tório.

O ^{212}Pb e seus descendentes, apresentam maior risco radiológico que o ^{214}Pb , em decorrência de sua maior meia vida. Por esse motivo, as concentrações de material radioativo no material particulado, foram referidas apenas ao ^{212}Pb .

Nas figuras 3 a 20 apresentam-se as curvas de decaimento obtidas para as diversas amostras de material particulado coletadas.

Nestes gráficos, as retas apresentadas correspondem às retas teóricas de decaimento do ^{212}Pb , com meia vida de 10,6 horas. Em alguns casos os últimos pontos apresentam divergências com a reta teórica. Entretanto, como os pontos iniciais são muito mais representativos, se deu preferência a eles para posicionar a reta de decaimento.

A partir dos valores de A_0 e dos parâmetros de coleta,

calcularam-se as concentrações de ^{212}Pb no ar, em pCi/l. Os resultados encontram-se relacionados na Tabela III.

Os valores obtidos pelo Instituto de Física, por meio da identificação e quantificação da radiação gama associada aos filtros, encontram-se no Anexo I.

TABELA III
 VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE ^{212}Pb , NO AR
 EM PICOCURIES POR LITRO (pCi/l)

AMOSTRA	A_0 (cpm)	F_T	F_G	VOL. AR (m^3)	C pCi/l
1	5,4	1,050	16,4	70,5	$1,4 \times 10^{-3}$
2	13,7	1,050	16,4	68,0	$3,7 \times 10^{-3}$
3	16,0	1,050	16,4	68,0	$4,4 \times 10^{-3}$
4	10,0	1,050	16,4	65,6	$2,8 \times 10^{-3}$
5	16,8	1,050	16,4	68,0	$4,6 \times 10^{-3}$
6	8,9	1,050	16,4	68,0	$2,4 \times 10^{-3}$
7	17,8	1,033	16,4	48,6	$6,7 \times 10^{-3}$
8	5,6	1,050	16,4	68,0	$1,5 \times 10^{-3}$
9	27,0	1,050	16,4	72,9	$6,9 \times 10^{-3}$
10	11,3	1,050	16,4	72,9	$2,9 \times 10^{-3}$
B ₂	6,6	1,050	107	149,8	$5,4 \times 10^{-3}$
L ₂	6,3	1,050	107	134,8	$5,7 \times 10^{-3}$
P ₂	7,8	1,050	107	144,8	$6,5 \times 10^{-3}$
B ₁	110	1,98	107	2230,5	$11,3 \times 10^{-3}$
L ₁	130	1,98	107	2006,2	$14,8 \times 10^{-3}$
P ₁	130	1,98	107	2344,6	$12,7 \times 10^{-3}$
F ₁	5,4	1,050	16,4	72,9	$1,4 \times 10^{-3}$
F ₂	54	1,98	107	1746,1	$7,1 \times 10^{-3}$

6.0 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os valores de concentração de urânio e tório detectados pelo Instituto de Física nos efluentes líquidos da USAM encontram-se dentro dos limites permitidos pela legislação e não se constituem em problema radiológico nem de contaminação para o meio ambiente, porque esses efluentes acabam-se misturando com o esgoto doméstico da região, atingindo o rio Pinheiros. A diluição alcançando nesse percurso é muito alta.

As taxas de exposição à radiação gama medidos pela CNEN/IRD do lado exterior da usina são também muito baixos. Segundo a legislação brasileira e internacional, a dose máxima de radiação que qualquer indivíduo do público pode receber é de 500 mrem, acumulada por período de doze meses. Para que esse limite fosse atingido considerando o valor máximo de taxa de radiação medida (70µR/h), um indivíduo deveria permanecer encostado na parede da USAM, na calçada da avenida Santo Amaro, durante vinte horas diárias, em média, nos 365 dias do ano. Todos os outros índices medidos no perímetro da fábrica, incluindo algumas residências vizinhas às instalações são menores que os permitidos para exposição contínua de 24 horas por dia, todos os dias do ano.

Da análise dos valores de concentração de ^{212}Pb no ar nas diversas amostras de material particulado medidas (Tabela III) podemos verificar que:

- Nas amostras coletadas durante 90 minutos, pela equipe do IRD nas vizinhanças da USAM, nos dias 03 e 04 de fevereiro, as concentrações oscilaram entre $1,4 \times 10^{-3}$ e $6,9 \times 10^{-3}$ pCi/l.

- . As amostras de 90 minutos obtidas pela CETESB, com os equipamentos HIGH VOL, em 04 de fevereiro, encontram-se dentro dessa mesma faixa de valores;
- . A amostra de 90 minutos coletada em 05 de fevereiro nas instalações da CETESB, corresponde a uma concentração de ^{212}Pb de $1,4 \times 10^{-3}$ pCi/l;
- . As amostras de 24 horas coletadas pela CETESB entre 03 e 04 de fevereiro correspondem a concentrações de ^{212}Pb no ar entre $11,3 \times 10^{-3}$ e $14,8 \times 10^{-3}$ pCi/l, praticamente o dobro dos valores máximos obtidos nas amostras diurnas de 90 minutos;
- . A amostra de 24 horas coletada pela CETESB em Pinheiros, nos dias 16 e 17 de fevereiro, apresentou uma concentração de ^{212}Pb que equivale a $7,1 \times 10^{-3}$ pCi/l no ar;
- . Não foi detectada a presença de nuclídeos com meia vida longa, em quantidade significativa, nos filtros.

O fato de que as amostras de 24 horas correspondem a maiores concentrações de ^{212}Pb que as de 90 minutos, pode ser consequência de uma série de fatores:

Na noite de 03 para 04 de fevereiro, na região de Santo Amaro, houve um período de ventos fracos e calmaria que se estendeu desde às 20 horas do dia 03 até às 07 horas do dia 04 (Figura 21).

Essa falta da ação dispersiva dos ventos de superfície, associada a uma movimentação de veículos e pessoas muito mais reduzida à noite e madrugada, fez com que o radônio emitido tanto pela USAM, como aquele liberado

nas ruas, prédios e materiais de construção em geral, ficassem mais concentrados a baixas altitudes.

Por outro lado, na determinação do fator de correção devido ao decaimento do ^{212}Pb no filtro durante o tempo de amostragem, se fez a suposição de que a taxa de deposição desse radionuclídeo no filtro, ao longo do tempo, fosse praticamente constante.

Entretanto, essa condição não aconteceu na filtração de 24 horas. Devido a calmaria, pode-se supor que a taxa de deposição do radionuclídeo no filtro foi superior na segunda metade da amostragem.

Dessa forma, os resultados obtidos serão sobredimensionados.

A concentração máxima permissível de ^{212}Pb no ar, para a população, é de 0,67 pCi/l.

Os valores registrados na atmosfera nas vizinhanças da USAM, apresentaram um valor médio de $5,9 \times 10^{-3}$ pCi de ^{212}Pb por litro, sendo portanto, 114 vezes menor que o máximo permissível.

Por outro lado, os valores individuais de concentração de ^{212}Pb no ar, são equivalentes a outros obtidos em regiões onde não existem instalações que trabalhem com areia monazítica.

Medições efetuadas por Nestor Figueiredo (*) na Praia

(*) Nestor Figueiredo "Alguns Aspectos da Contaminação Radioativa do Ar pelo ^{212}Pb e pelo ^{232}Th numa Indústria de Beneficiamento da Monazita" - Tese de Mestrado, Instituto de Biofísica, UFRJ, 1972, pag. 59.

Vermelha, Rio de Janeiro, revelaram uma concentração média de 20×10^{-3} pCi/l de ^{212}Pb , com valores individuais variando entre $1, \times 10^{-3}$ e 30×10^{-3} pCi/l.

Todos os valores observados nas vizinhanças da USAM, encontram-se dentro dessa faixa de variação.

7.0 - CONCLUSÕES

As medições efetuadas no meio ambiente vizinho às instalações da USAM/NUCLEMON, em Santo Amaro, cidade de São Paulo, demonstram que não existe nenhum risco para a população dessa região.


Os níveis de urânio e tório detectados nos despejos líquidos da indústria, lançados na rede de esgoto, encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela Comissão Nacional de Energia Atômica.

Da mesma forma, os níveis de radiação gama que atravessam as paredes das instalações são inferiores ao máximo permissível, permitindo a permanência segura do público na rua e nas residências anexas à fábrica.

A emissão de material radioativo por via atmosférica também não constitui nenhum risco à população. Os níveis detectados nas vizinhanças das instalações da

USAM são tão baixos que resulta difícil distingui-los dos níveis considerados naturais, provenientes dos materiais de construção.

São Paulo, 15 de março de 1982



EDMUNDO GARCIA AGUDO
Gerente de Estudos Hidrológicos



CETESB

FIGURAS E ILUSTRAÇÕES

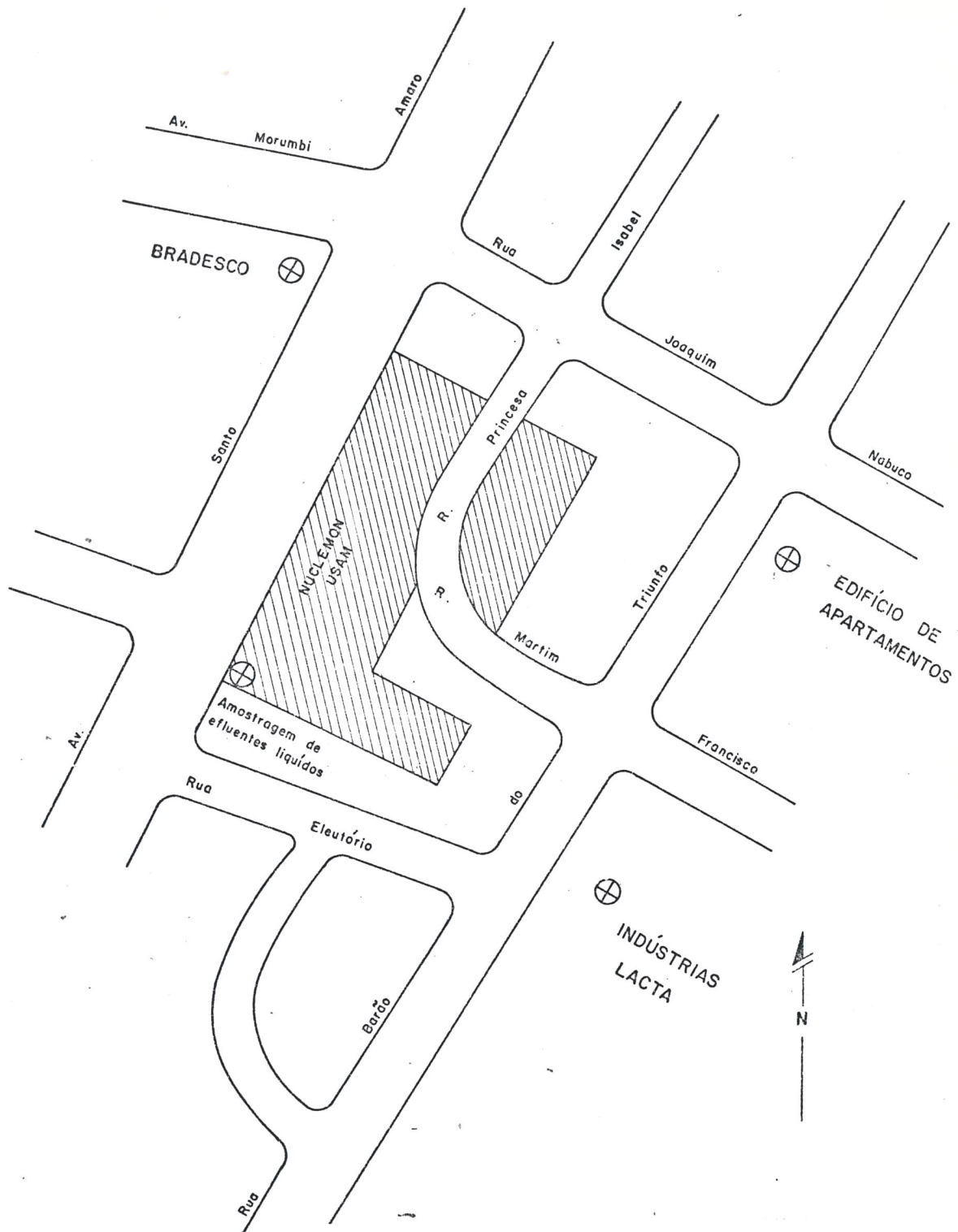
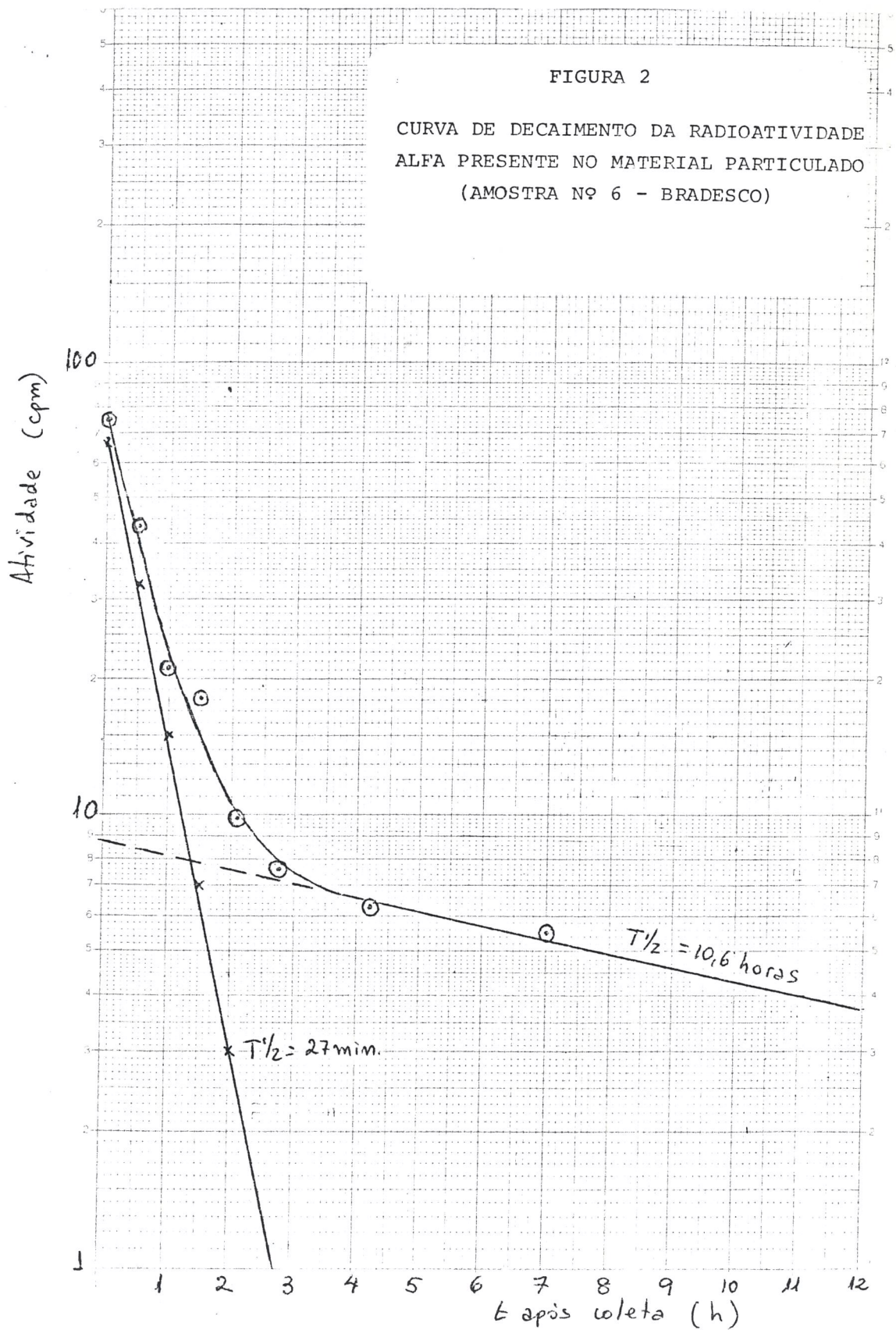


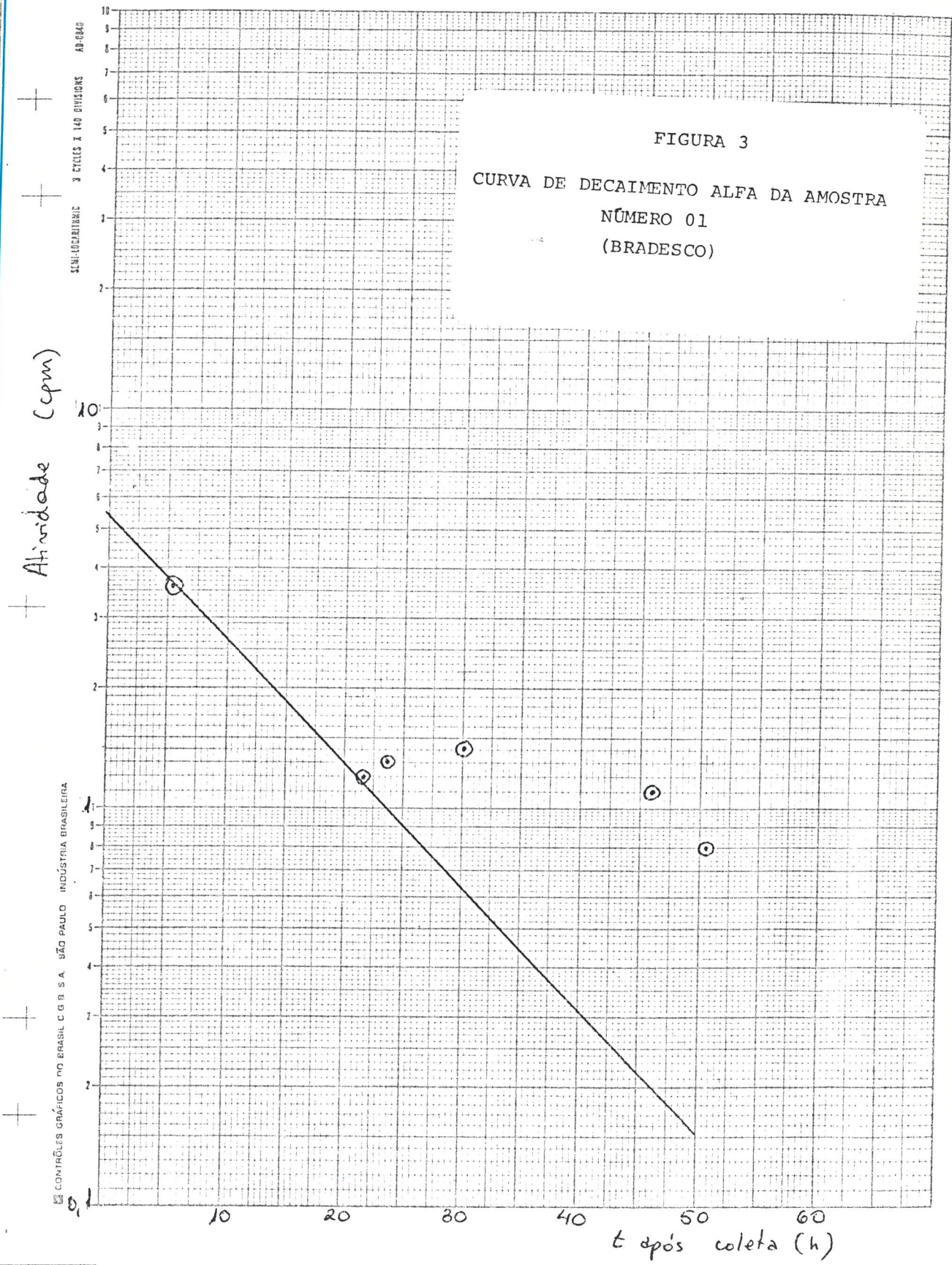
FIGURA 1

LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM

FIGURA 2

CURVA DE DECAIMENTO DA RADIOATIVIDADE
ALFA PRESENTE NO MATERIAL PARTICULADO
(AMOSTRA Nº 6 - BRADESCO)





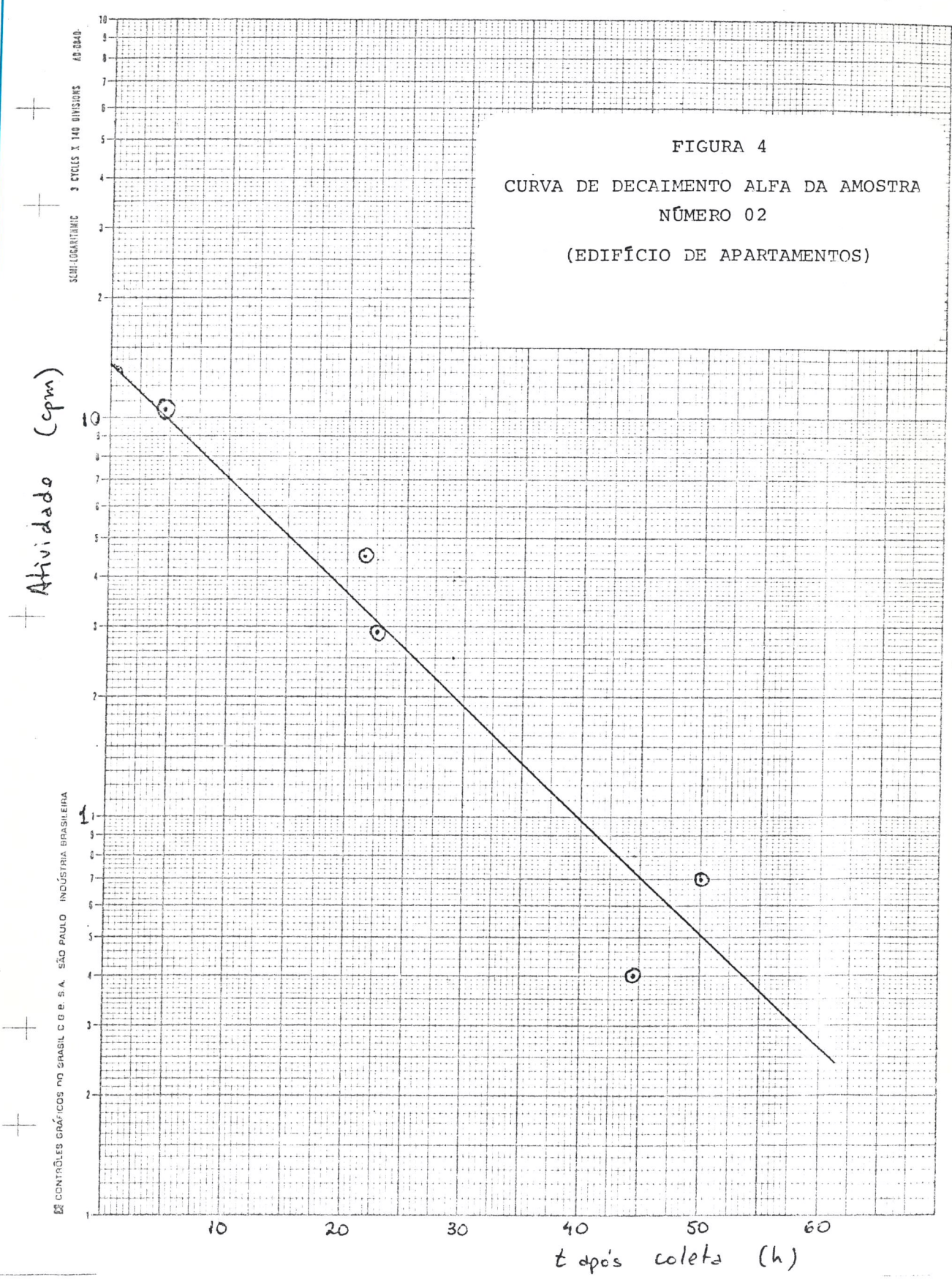


FIGURA 4
 CURVA DE DECAIMENTO ALFA DA AMOSTRA
 NÚMERO 02
 (EDIFÍCIO DE APARTAMENTOS)

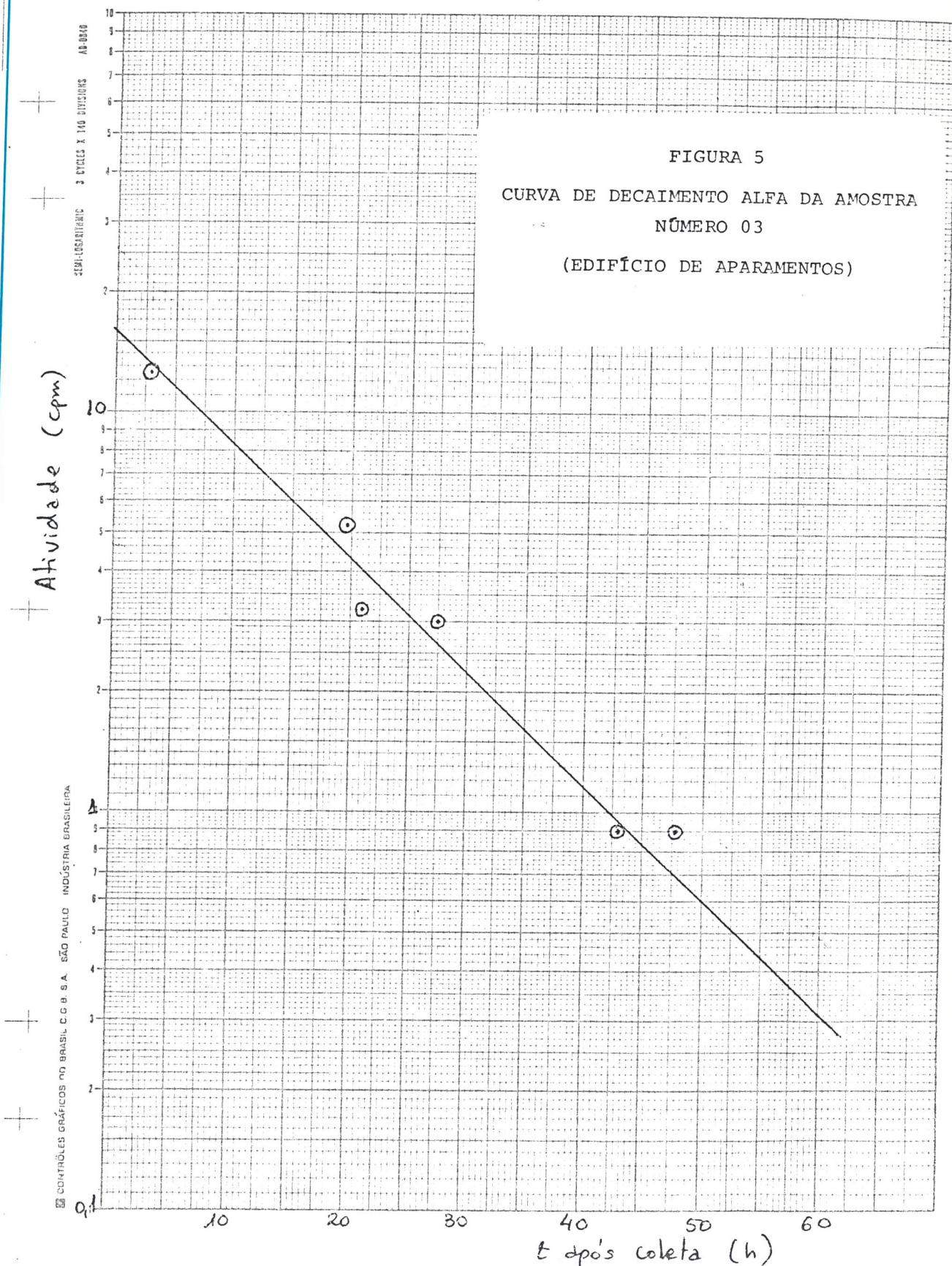
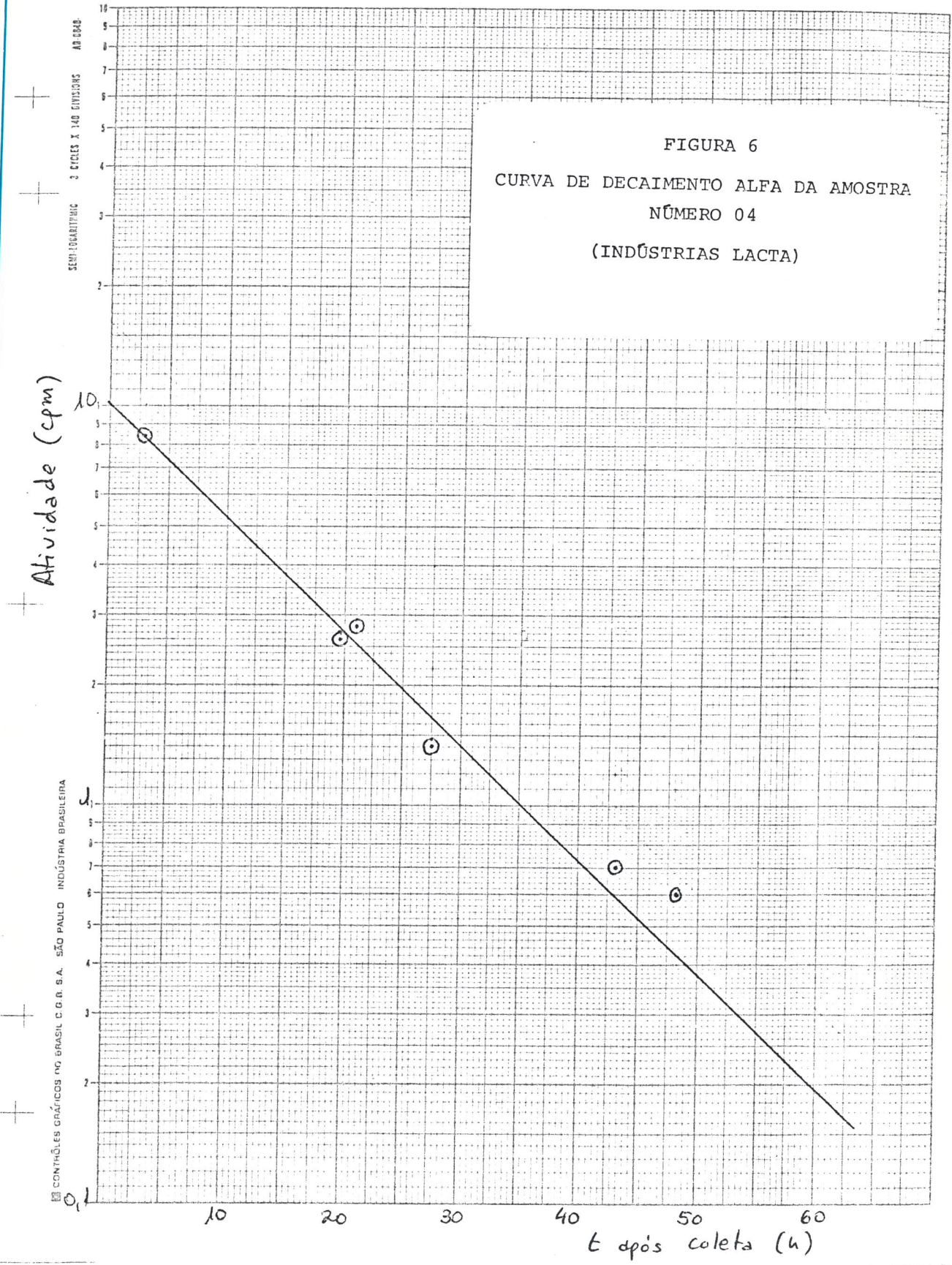
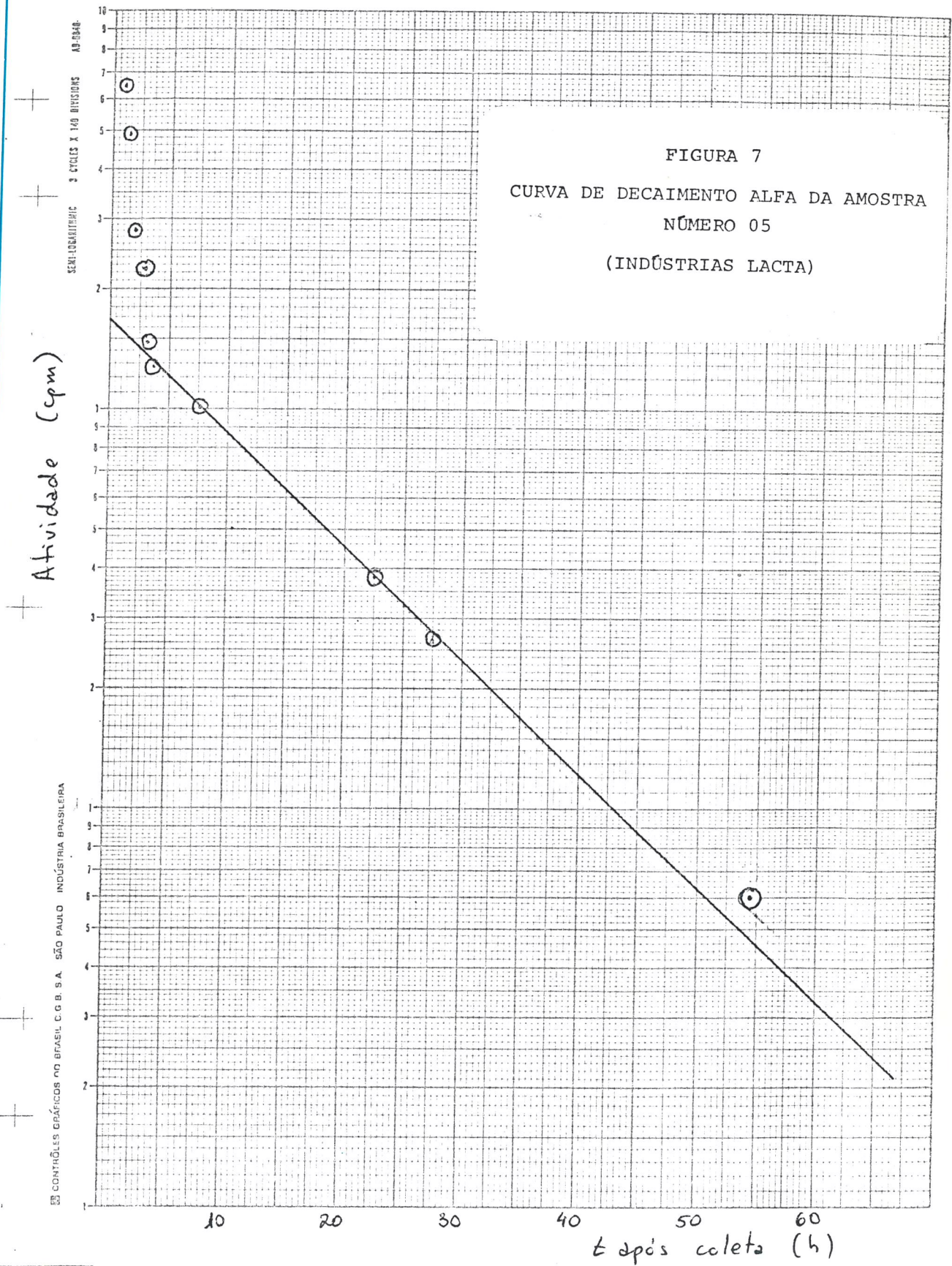
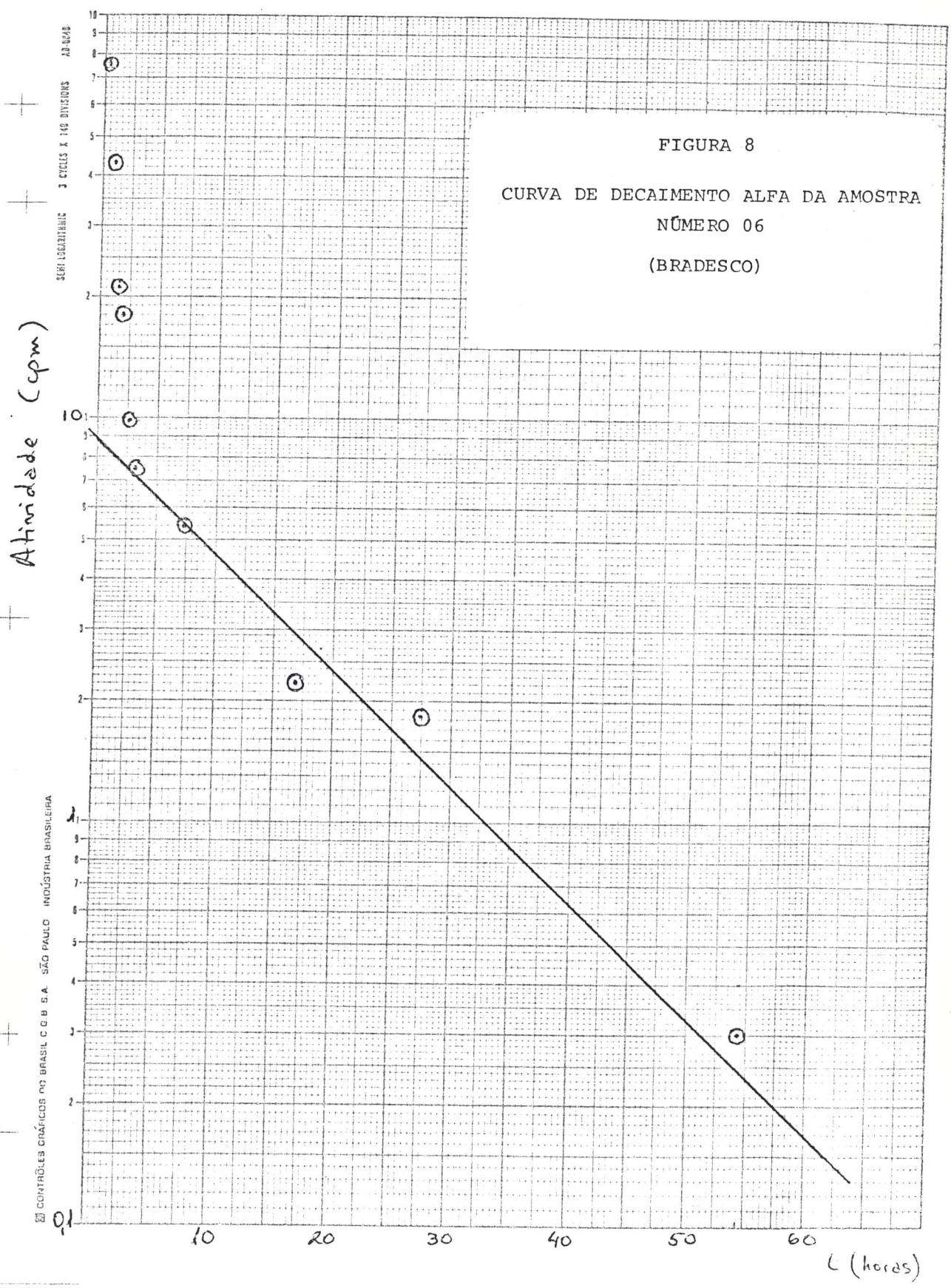
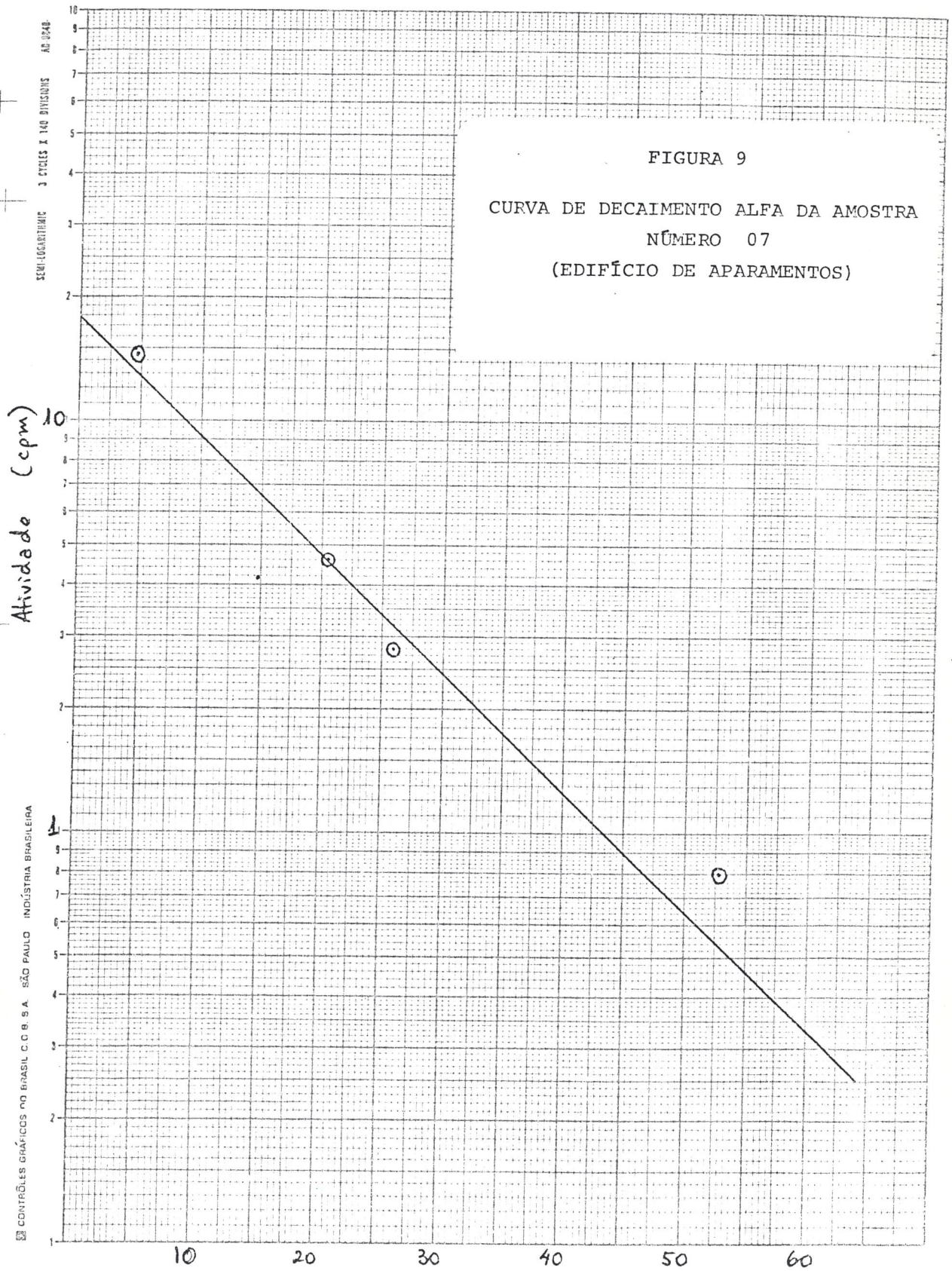


FIGURA 5
 CURVA DE DECAIMENTO ALFA DA AMOSTRA
 NÚMERO 03
 (EDIFÍCIO DE APARTEMENTOS)

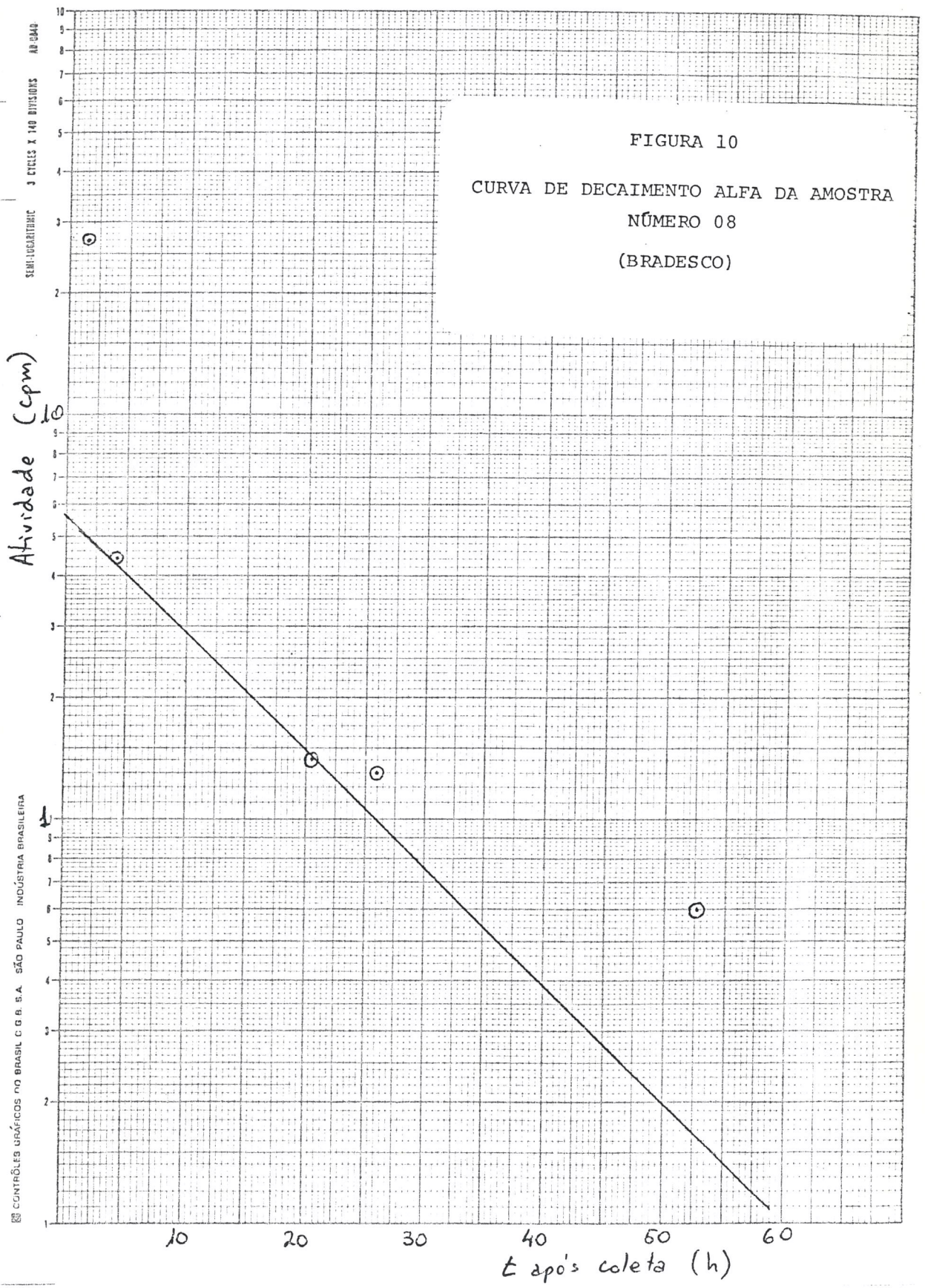








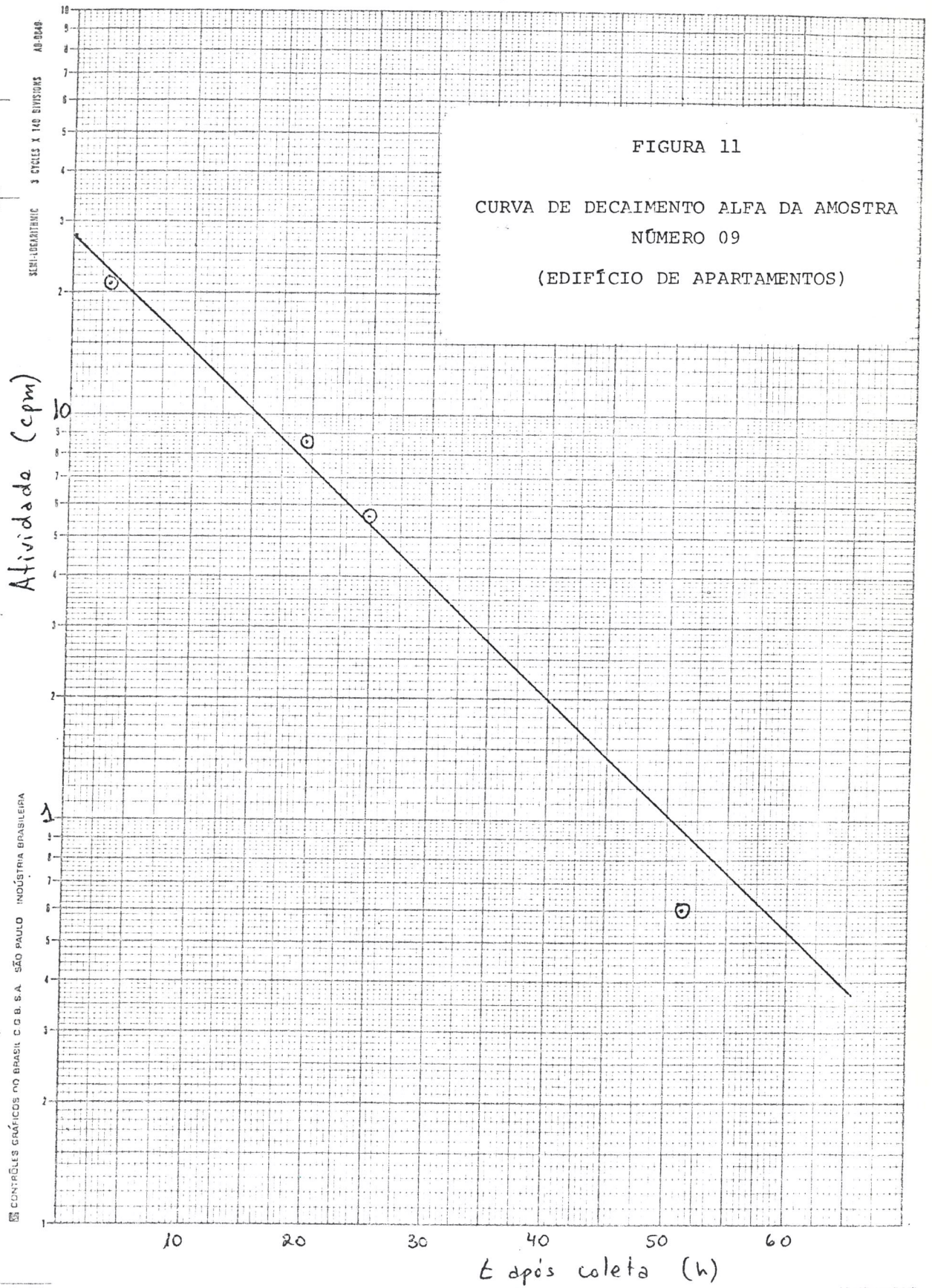
CONTROLES GRÁFICOS DO BRASIL C. O. B. S. A. SÃO PAULO INDÚSTRIA BRASILEIRA

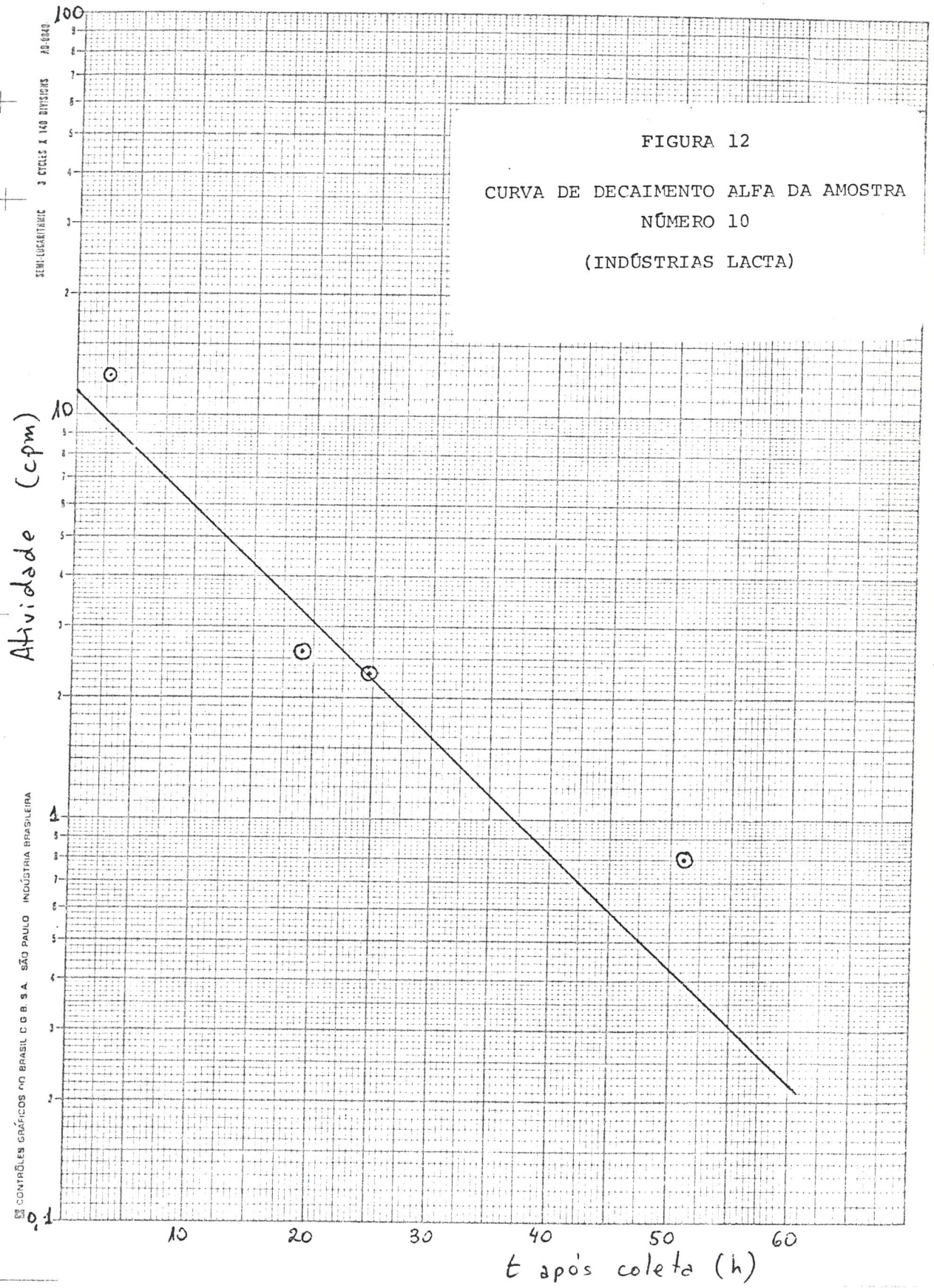


CONTROLES GRÁFICOS DO BRASIL C. B. S. A. SÃO PAULO INDÚSTRIA BRASILEIRA

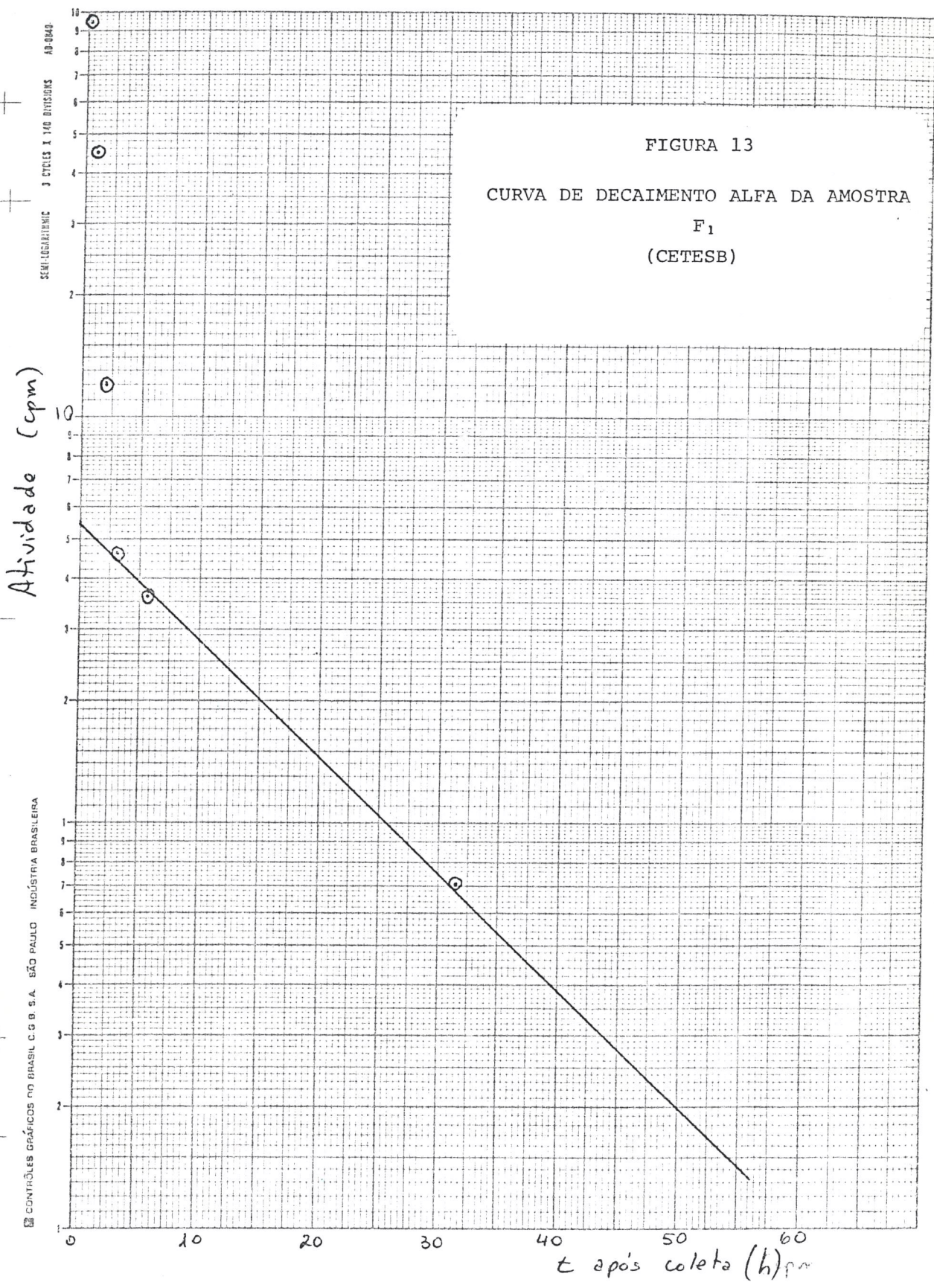
Atividade (cpm)

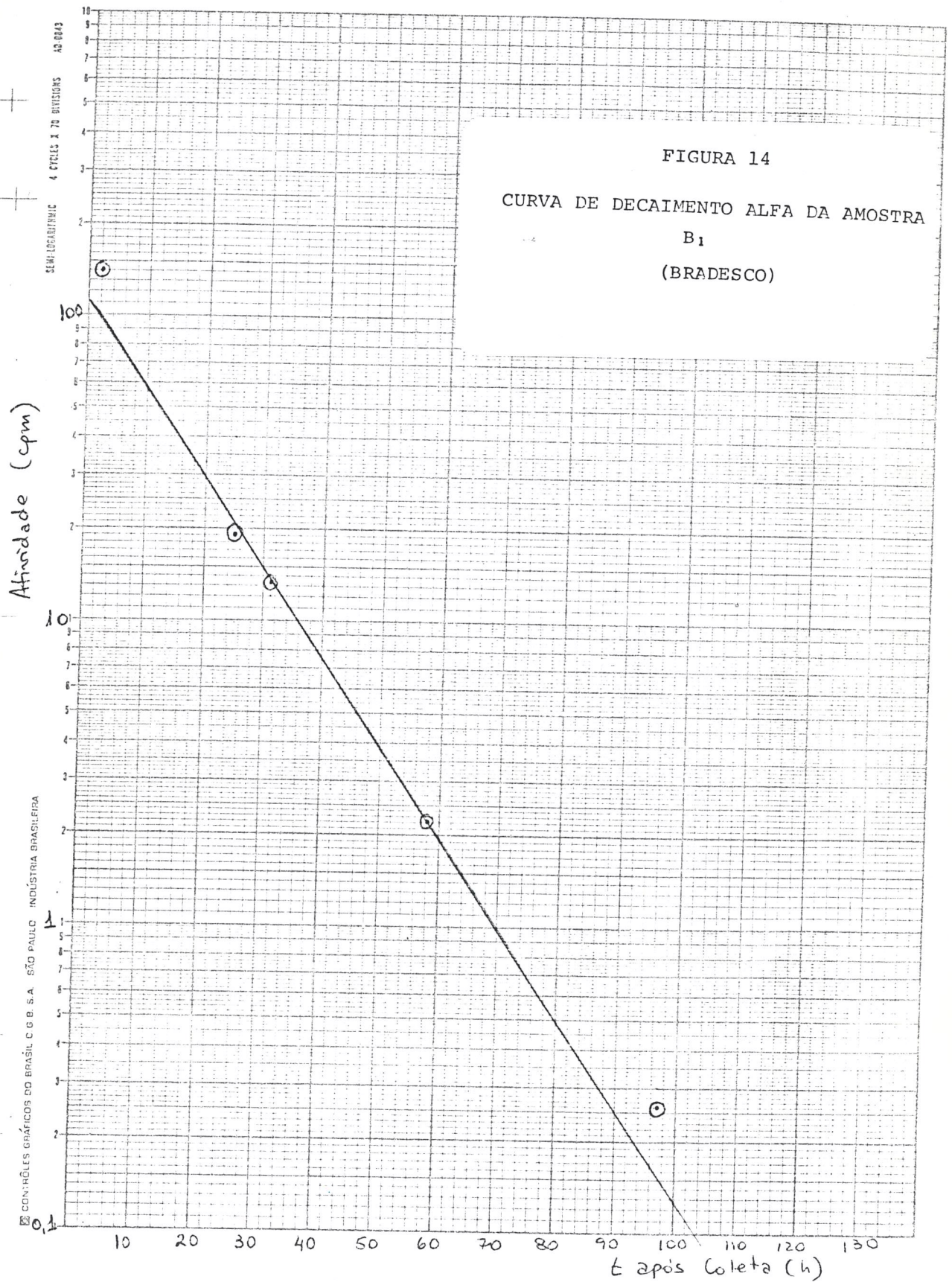
t após coleta (h)

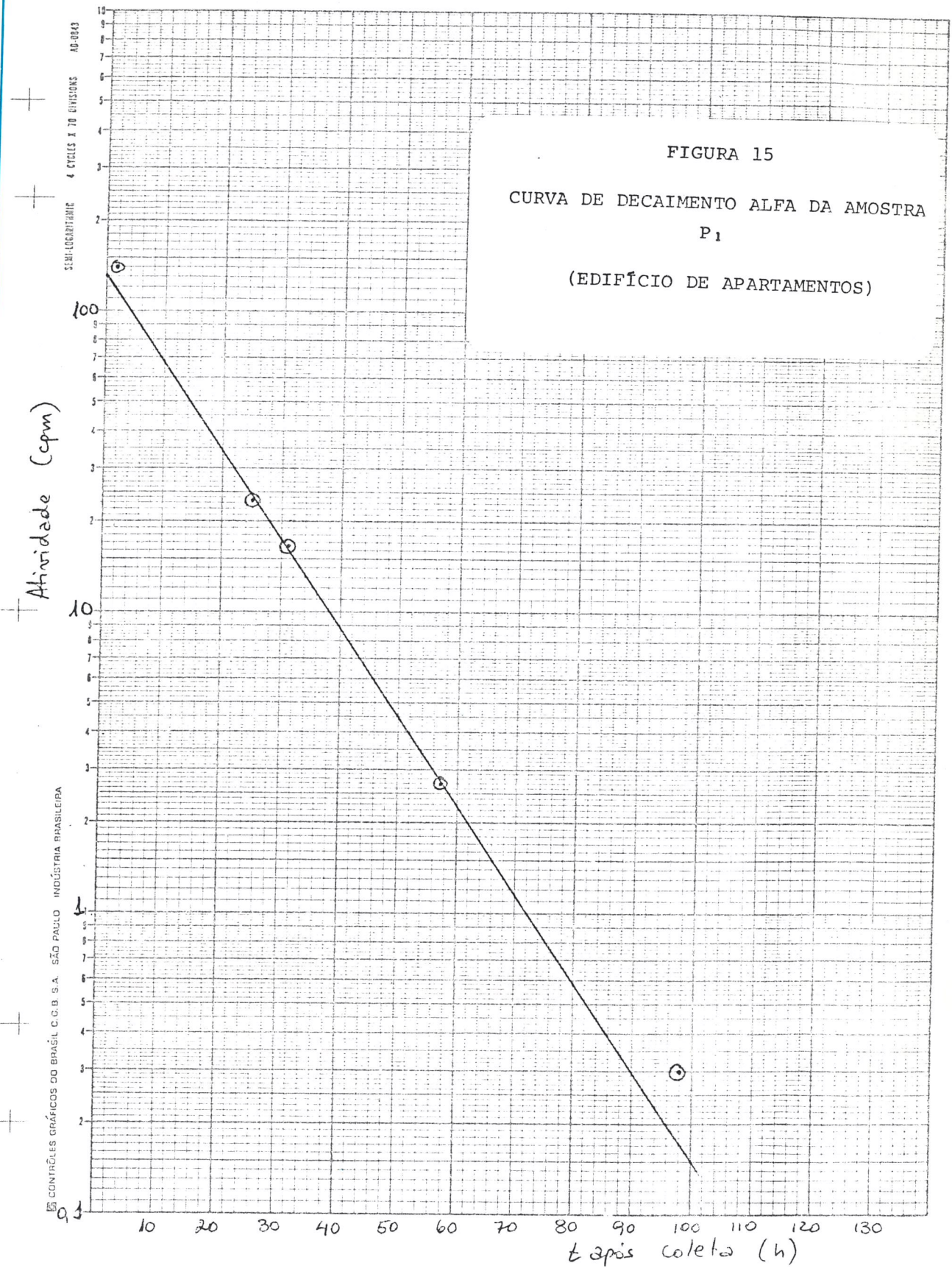


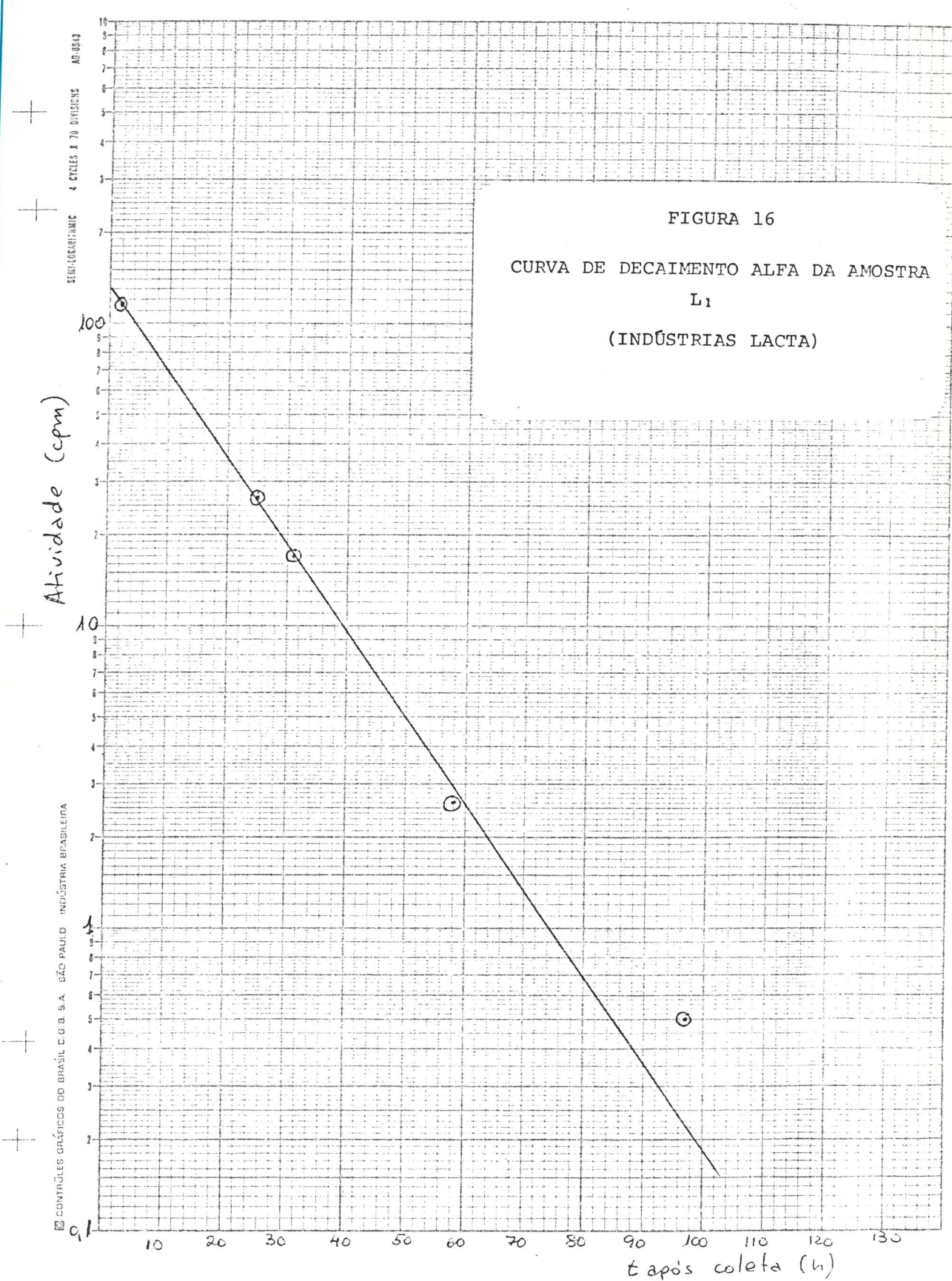


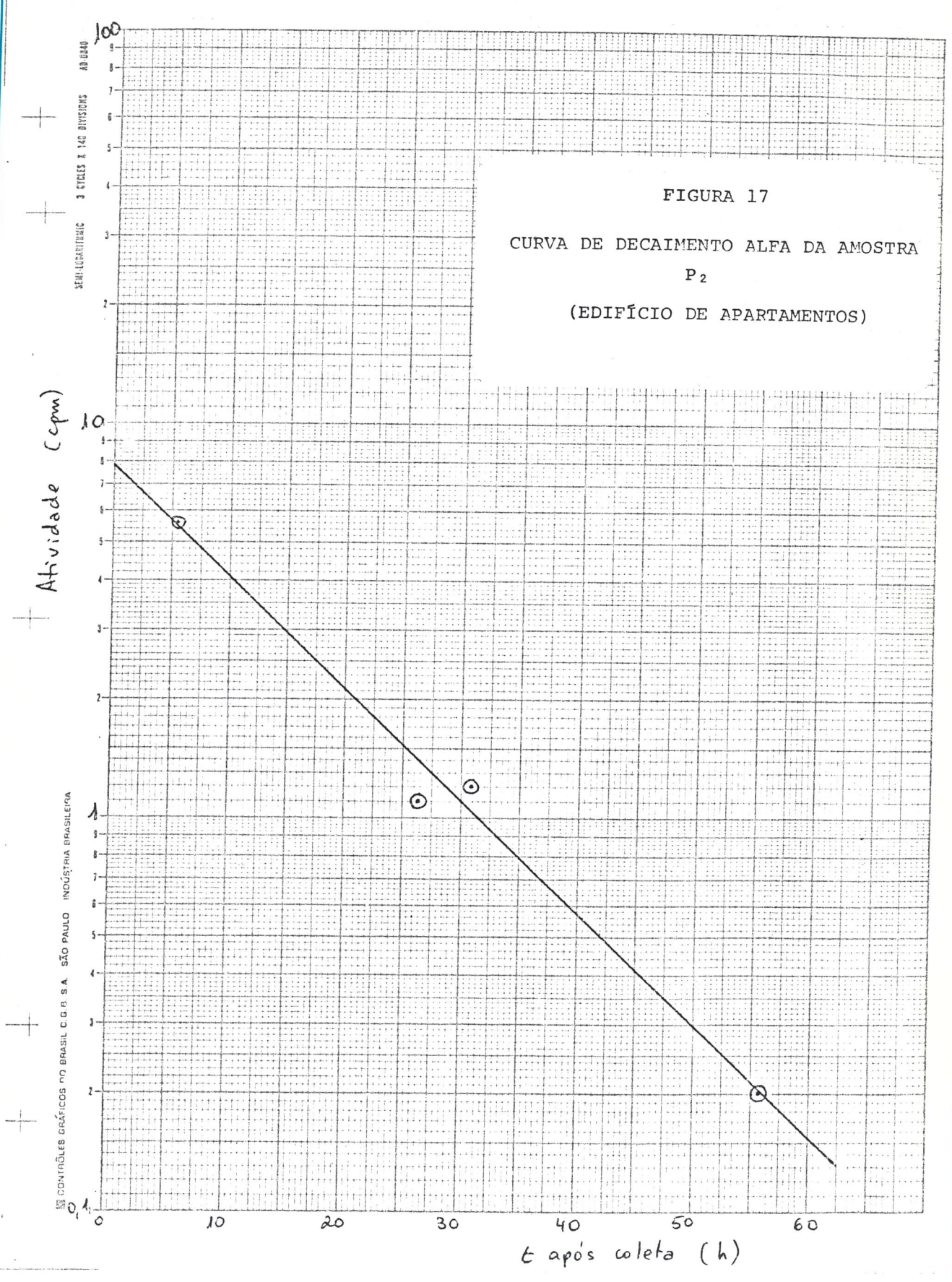
CONTROLES GRÁFICOS DO BRASIL C. G. B. S. A. SÃO PAULO INDÚSTRIA BRASILEIRA



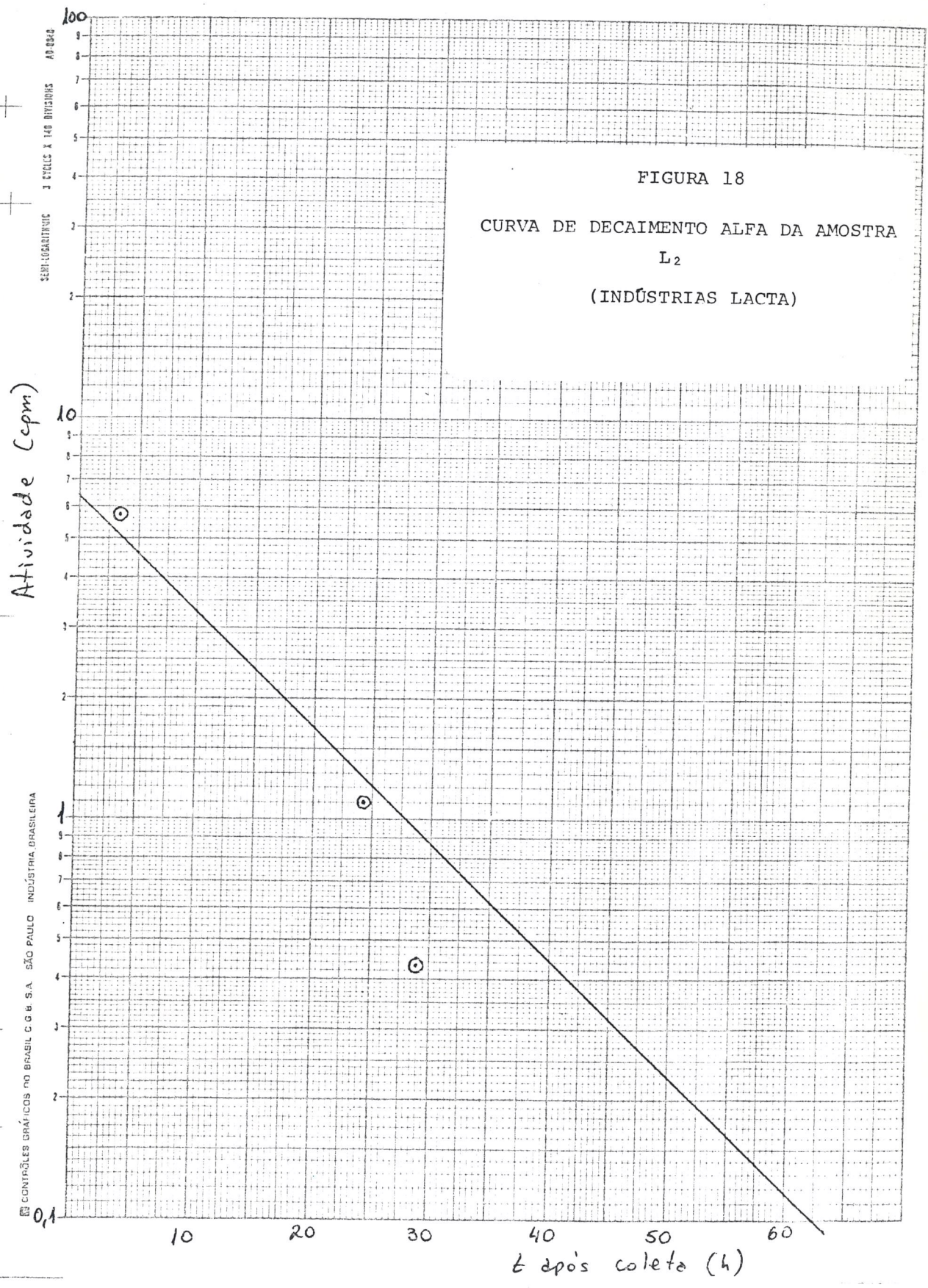




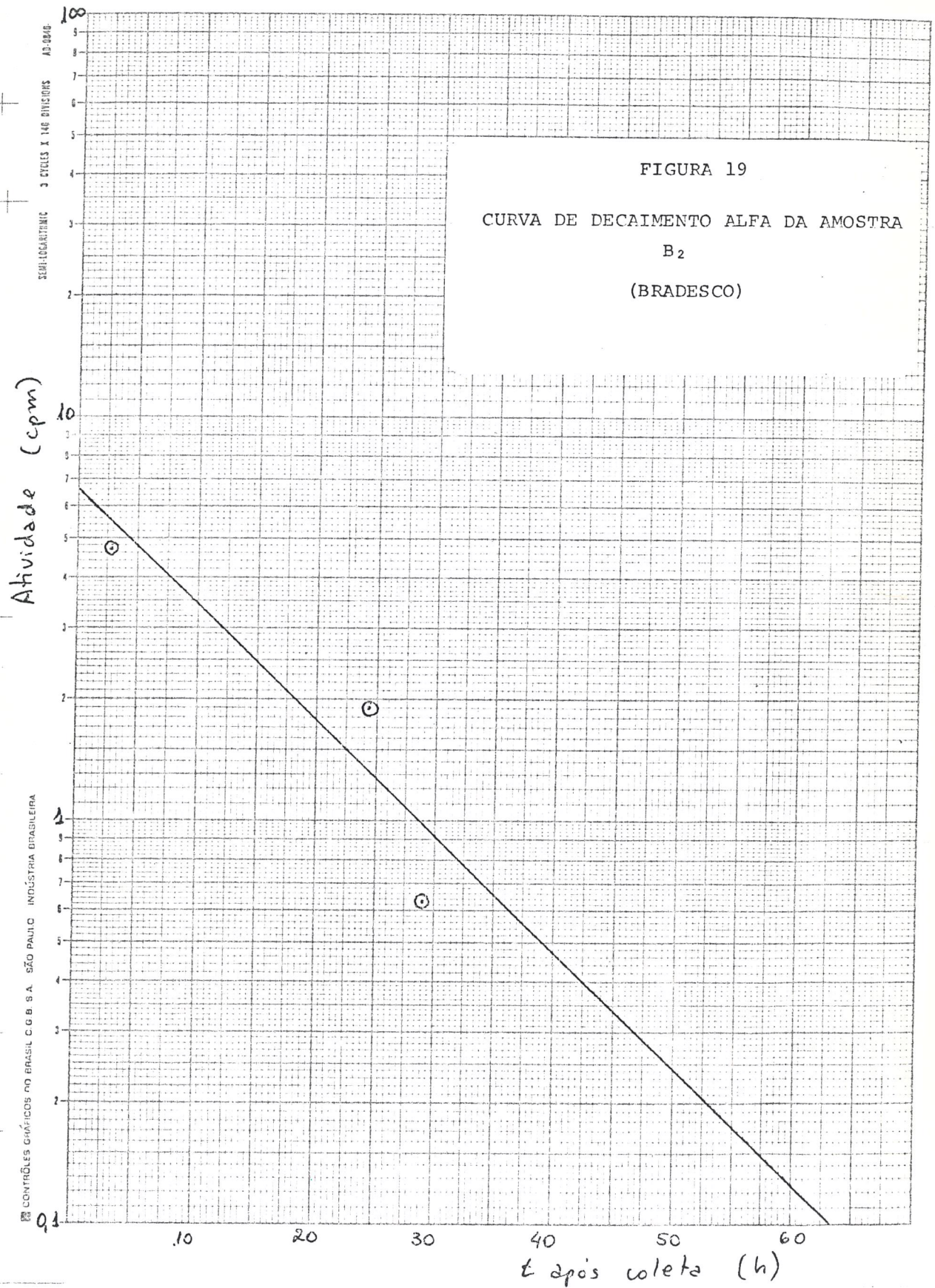




OS CONTROLES GRÁFICOS DO BRASIL C. G. B. S. A. SÃO PAULO INDÚSTRIA BRASILEIRA



CONTIÇÕES GRÁFICOS DO BRASIL C & B. S.A. SÃO PAULO INDÚSTRIA BRASILEIRA



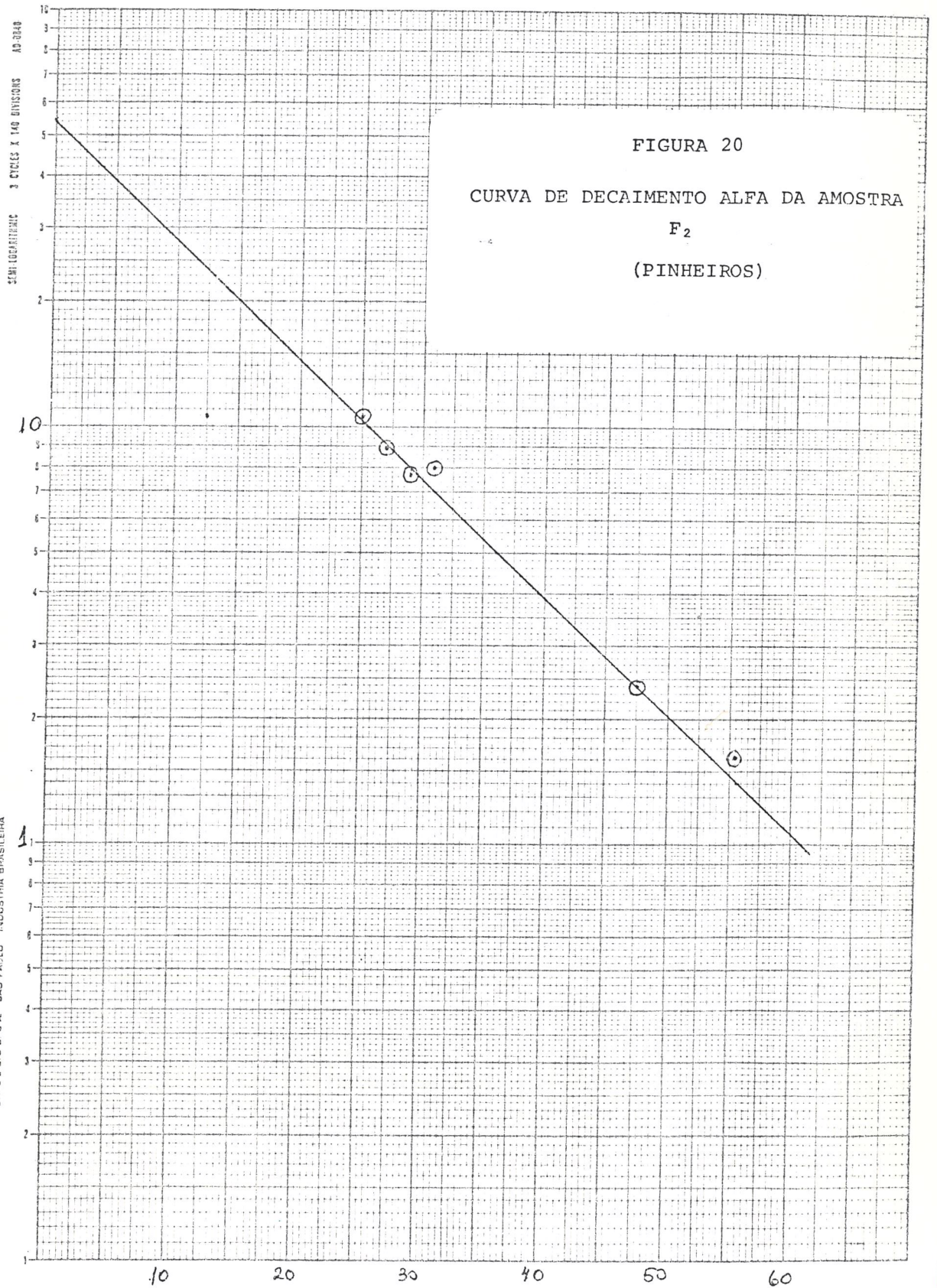
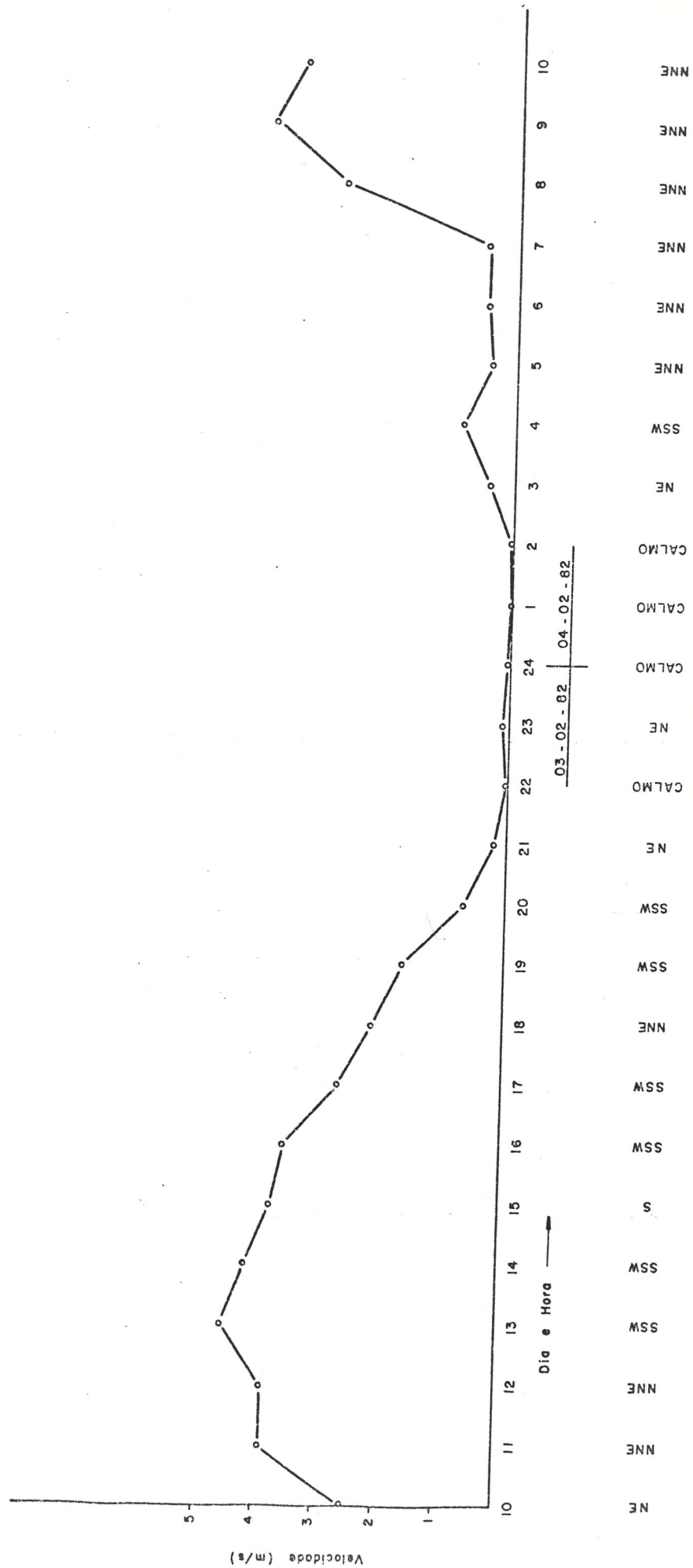
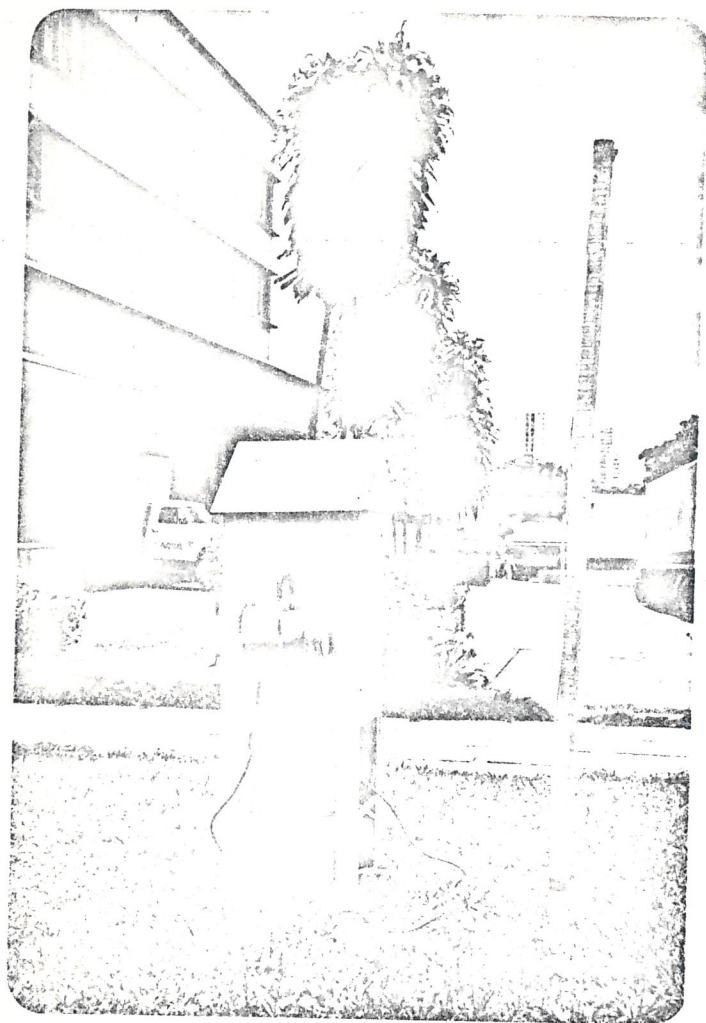


FIGURA 21
 DIREÇÃO E VELOCIDADE DO VENTO
 DURANTE A AMOSTRAGEM DE 24 HORAS
 PARA MATERIAL PARTICULADO

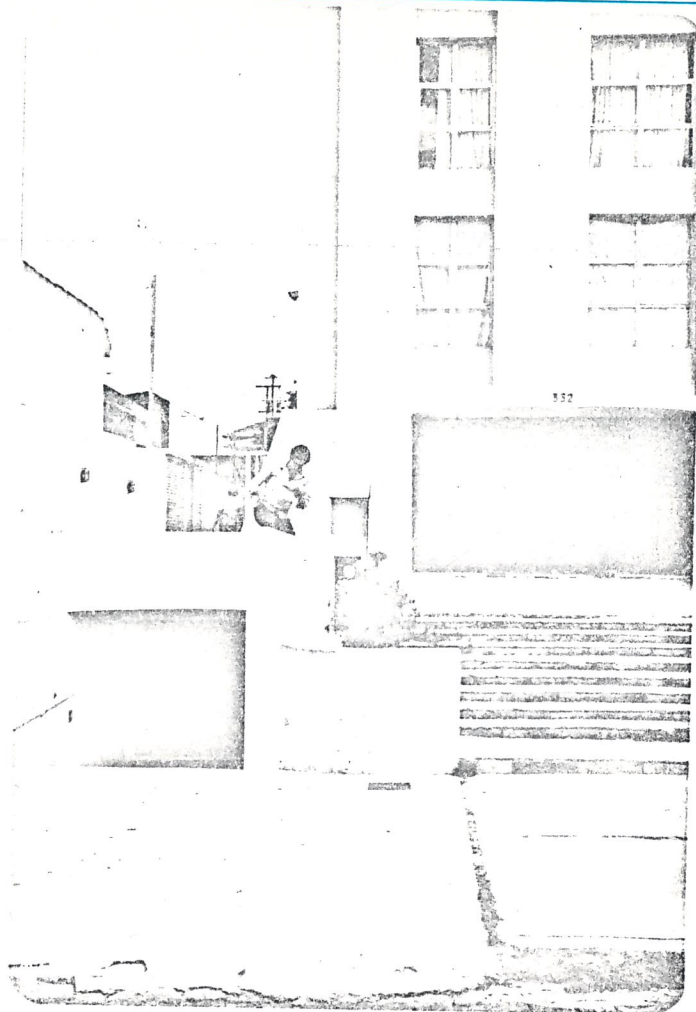




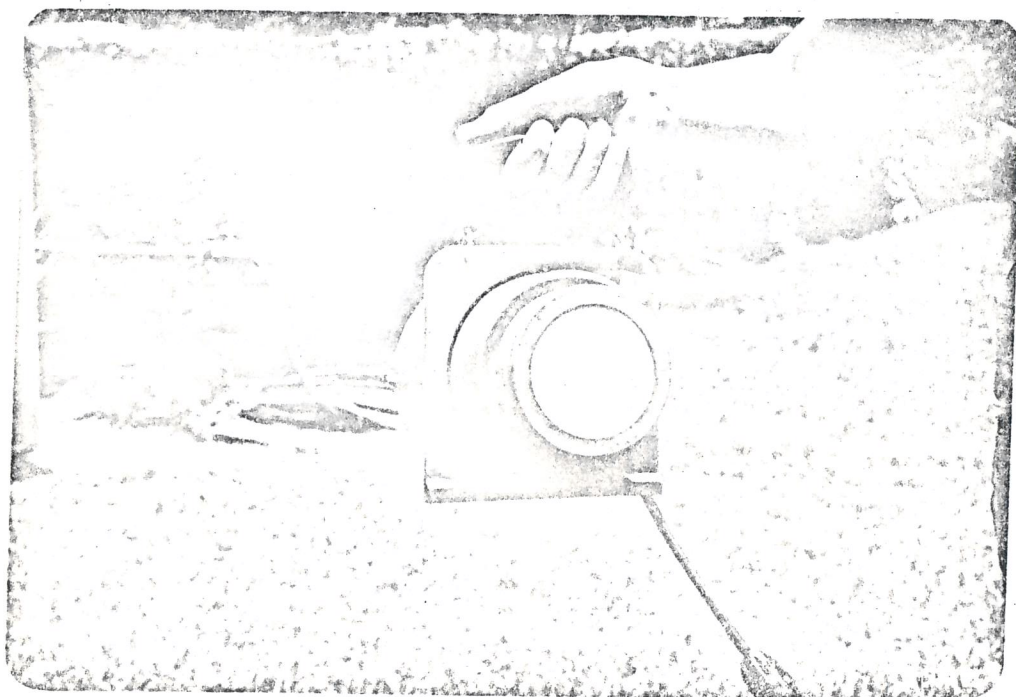
Amostragem no jardim das
Indústrias Lacta.

Amostragem no Bradesco

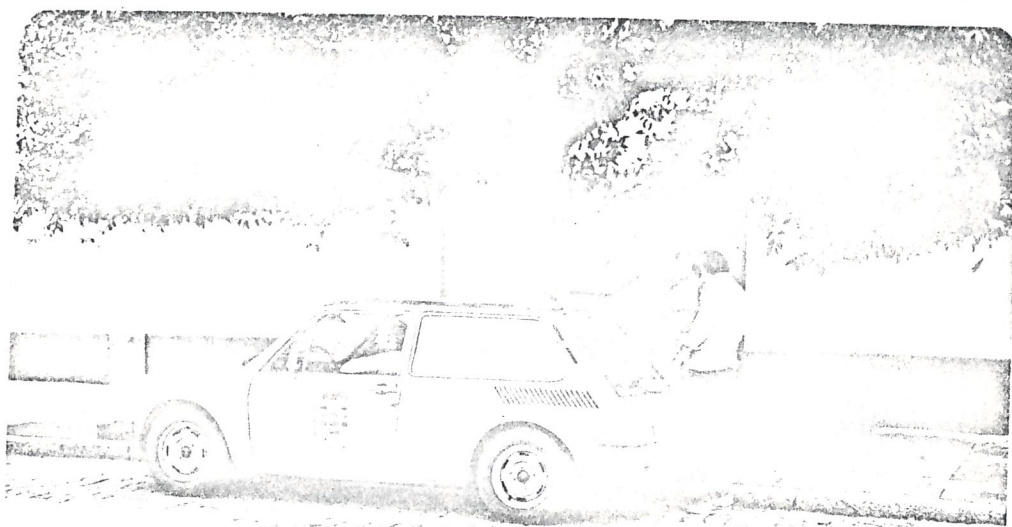




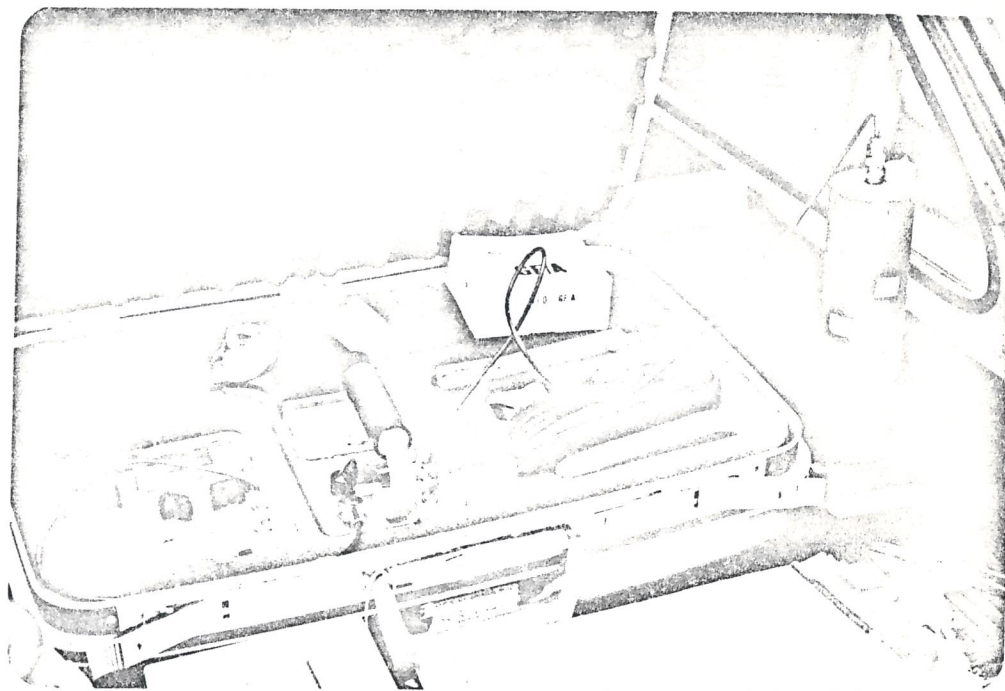
Amostragem no Edifício de Apartamentos



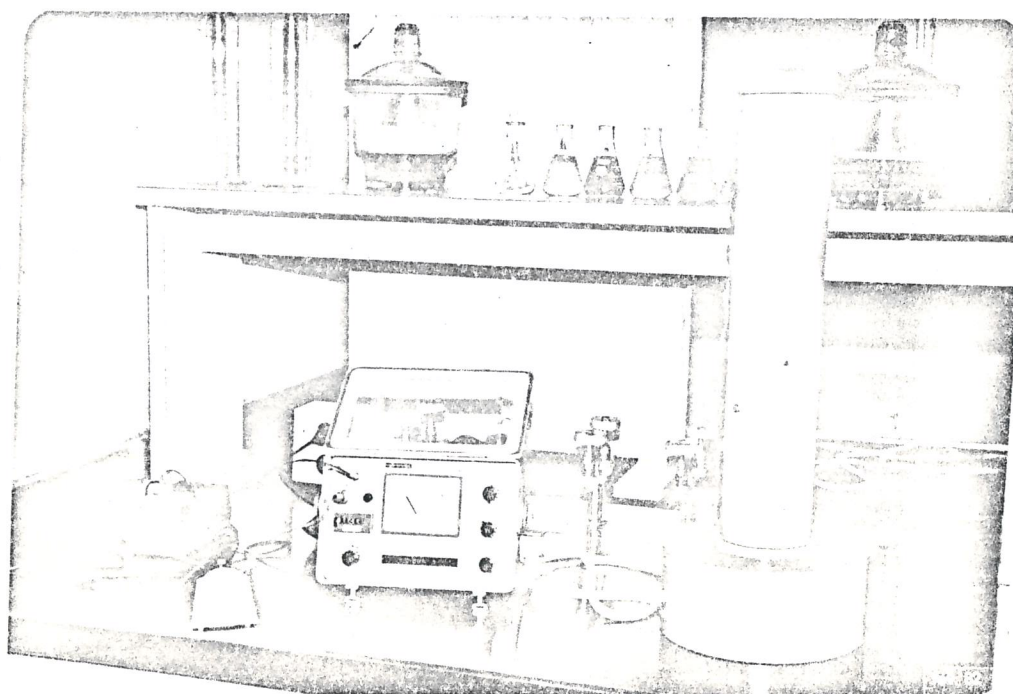
Detalhe do amostrador "Staplex" do IRD



Preparação dos filtros para medição de radioatividade alfa.



.Equipamento de mediçãõ utilizado pelo IRD/CNEN



Equipamento de mediçãõ utilizado pela CETESB

ANEXO I

LAL/21/82

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA

CIDADE UNIVERSITÁRIA - CAIXA POSTAL 20516
END. TELEG. "FISUSPE" - SÃO PAULO - BRASIL

São Paulo, 2 de fevereiro de 1982

Ilmº Sr.

DR. EDMUNDO GARCIA AGUDO
Gerente de Estudos Hidrológicos

CETESB

CAPITAL

Prezado Senhor

Estamos encaminhando em anexo, relatório referente a medidas de atividade gama das amostras líquida e sólida correspondentes ao efluente líquido colhido nas proximidades da fábrica da NUCLEMON, fornecidas por V.Sa. em 26/01/82.

Atenciosamente



Otaviano A.M. Helene



Paulo R. Pascholati

CETESB - CIA. DE TÉCNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

PRODUTO SÓLIDO DA FILTRAGEM

A atividade gama do resíduo sólido correspondente a filtragem de 3 litros de efluente foi medida com detetor de Ge. puro Ortec, de volume 104 cm^3 , do Laboratório do Acelerador Linear.

Nas medidas feitas foram utilizados todas as amostras a nós encaminhadas, embaladas em um único volume, formando assim uma única amostra.

A atividade da amostra foi comparada com o fundo radiativo, com o objetivo de identificar-se linhas correspondentes a transições gama associadas as cadeias do ^{232}Th e ^{238}U .

Após medidas preliminares foi feita uma medida definitiva da amostra, com duração de 5000s. O fundo radiativo foi medido durante 30000s. A figura 1 mostra o espectro de gamas da amostra já subtraído o fundo radiativo.

Os resultados referentes a transições gama associadas a cadeia do ^{232}Th aparecem na tabela 1. Os valores de atividade que aparecem nessa tabela referem-se a atividade total na amostra do ^{232}Th , supondo-se a cadeia em equilíbrio. Com essa hipótese o valor médio dos cinco resultados individuais é $1,2 \text{ nCi}$. Os desvios padrão associados a cada um dos dados não aparece indicado uma vez que não foi feito um acompanhamento dos desvios padrão individuais dos dados necessários para a obtenção dos resultados finais. No entanto tal desvio padrão é pequeno quando comparado a um possível erro sistemático.

São causas possíveis de erro sistemático o desvio padrão da atividade da amostra usada para a calibração de eficiên-

TABELA 1 - Dados referentes a transições gama associadas a cadeia do ^{232}Th . A taxa é a diferença entre a amostra e o fundo.

Nuclídeo	Energia (keV)	Taxa (cps)	%	E	ativ. (pCi)
^{212}Pb	239	0,24	43	0,011	1400
^{208}Tl	584	0,065	31	0,0055	1030
	2615	0,027	36	0,0015	1400
^{212}Bi	727	0,0086	6,5	0,0045	800
^{228}Ac	911	0,053	28	0,0039	1300

cia e problemas com reprodutibilidade de geometria e extensão da amostra. Tais erros sistemáticos podem ter contribuído com um erro final de no máximo um fator 2. No entanto esse limite não coloca em dúvida a presença de nuclídeos da série do ^{232}Th na amostra.

Não foi observada a presença de nuclídeos associados a série do ^{238}U . Um limite superior para a presença de tais elementos pode ser dado pelo valor da atividade de fundo, que, tomando como base a linha de 609 keV do ^{214}Bi , corresponderia a uma atividade da amostra de 0,3nCi.

Em caso de medidas posteriores propomos que seja filtrado um volume bem maior do que aquele que deu origem a amostra medida. Para que esse processo não dê origem a uma quantidade excessivamente grande de papéis de filtro, propomos que estes sejam usados para a filtragem da maior quantidade de líquido possível.

AMOSTRA LÍQUIDA

A atividade gama de um litro da amostra que nos foi fornecida foi medida e sua atividade comparada com o fundo radioativo. As transições gama referentes a cadeia do ^{232}Th medidas, bem como a atividade correspondente e demais dados, aparecem na tabela 2.

Neste caso, uma vez que a geometria era desfavorável devido a extensão da amostra, a contagem foi feita por 54300s. O fundo foi acompanhado por 76200s. A figura 2 apresenta a diferença entre o espectro da amostra e do fundo, corrigidos os tempos diferentes de contagens. O valor médio dos dados de atividade

TABELA 2 - Dados e resultados referentes a transições gama associadas ao decaimento de nuclídeos da família do ^{232}Th .

Nuclídeo	E (keV)	Taxa (cps)	%	E	atv. (pCi)
^{212}Pb	239	0,016	43	0,0031	320 (60)
^{208}Tl	584	0,006	31	0,0017	310 (50)
	2615	0,006	36	0,0005	900 (50)
^{212}Bi	727	-0,0003	6,5	0,0014	-90 (30)
^{228}Ac	911	0,006	28	0,0012	480 (80)
	969	0,005	16	0,0011	770 (150)

de é 0,24 pCi. Neste caso a margem devida a erros estatísticos é também da ordem de um fator 2. O fato da atividade medida pela linha de 727 keV ter apresentado um valor negativo não significa nada mais além de flutuação estatística dos dados, devida ao pe-

queno número de contagens, a saber, 194 contagens no espectro da amostra e 300 contagens no fundo. Esse pequeno número deve-se a atividade baixa da amostra, a eficiência pequena por causa da forma geométrica da amostra e a pequena intensidade da transição (6,5% em relação a cadeia em equilíbrio).

A tabela 3 apresenta dados relativos a transições gama associadas aos nuclídeos ^{214}Bi e ^{214}Pb , da cadeia do ^{238}U . O valor médio dos dados é 240 pCi, valendo ainda neste caso um limite de no máximo um fator 2 devido a erros sistemáticos.

TABELA 3 - Dados referentes a transições gama associadas a cadeia do ^{238}U . Os erros estatísticos referem-se a propagação de erros associada as integrais das áreas dos picos.

Núclídeo	E (keV)	Taxa (cps)	%	E	ativ. (pCi)
^{214}Pb	242	0,0036	8	0,003	410 (230)
	352	0,0048	39	0,0025	130 (30)
	295	0,007	20	0,0027	350 (200)
^{214}Bi	609	0,010	47	0,0015	380 (40)
	1120	0,0040	16	0,0010	680 (140)

CONCLUSÃO

A tabela 4 apresenta um resumo dos resultados obtidos. Devemos observar que as atividades apresentadas das cadeias do urânio e do tório foram medidas a partir da atividade de alguns nuclídeos, não tendo sido determinado se a amostra está ou não em equilíbrio secular.

TABELA 4 - Atividade das séries do ^{238}U e ^{232}Th medidas nas amostras, em nCi.

Série	Produto da filtração de 3 litros	Amostra líquida (1 litro)
Urânio (238)	< 0,3	0,24
Tório	1,2	0,24

Os dados apresentados podem estar sujeitas a um erro de até um fator 2 por motivos explicados anteriormente. No entanto não há dúvida quanto a presença de elementos radiativos das cadeias do ^{232}Th e do ^{238}U , nos casos indicados.

As medidas feitas mostram que técnicas de detecção gama são eficazes na determinação de baixas atividades. As técnicas podem ser aprimoradas com o objetivo de obter-se erros menores e melhor controlados e medir atividades bem menores que as observadas. Esse aprimoramento constitui na técnica de coleta de amostras bem como nas técnicas de detecção, sendo neste caso os fatores mais importantes a construção de uma blindagem específica para o fundo radiativo e melhoria na disposição geométrica das amostras, especialmente da líquida, em relação do detetor.

Paulo Reginaldo Pascholati
 Paulo Reginaldo Pascholati

Otaviano A. Marcondes Helene
 Otaviano A. Marcondes Helene

Figura 1 - Espectro de gamas da amostra sólida, já diminuído o fundo radiativo.

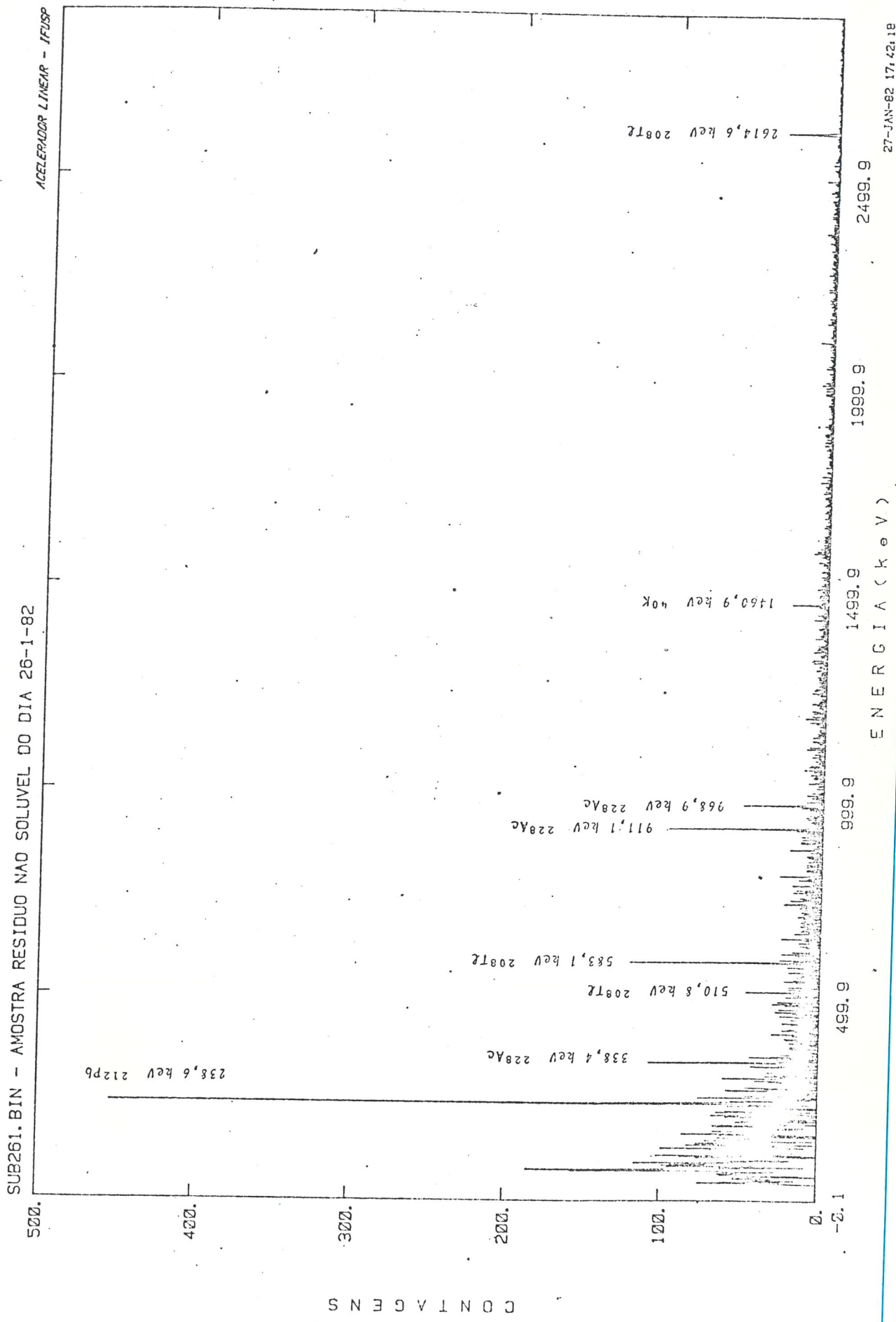
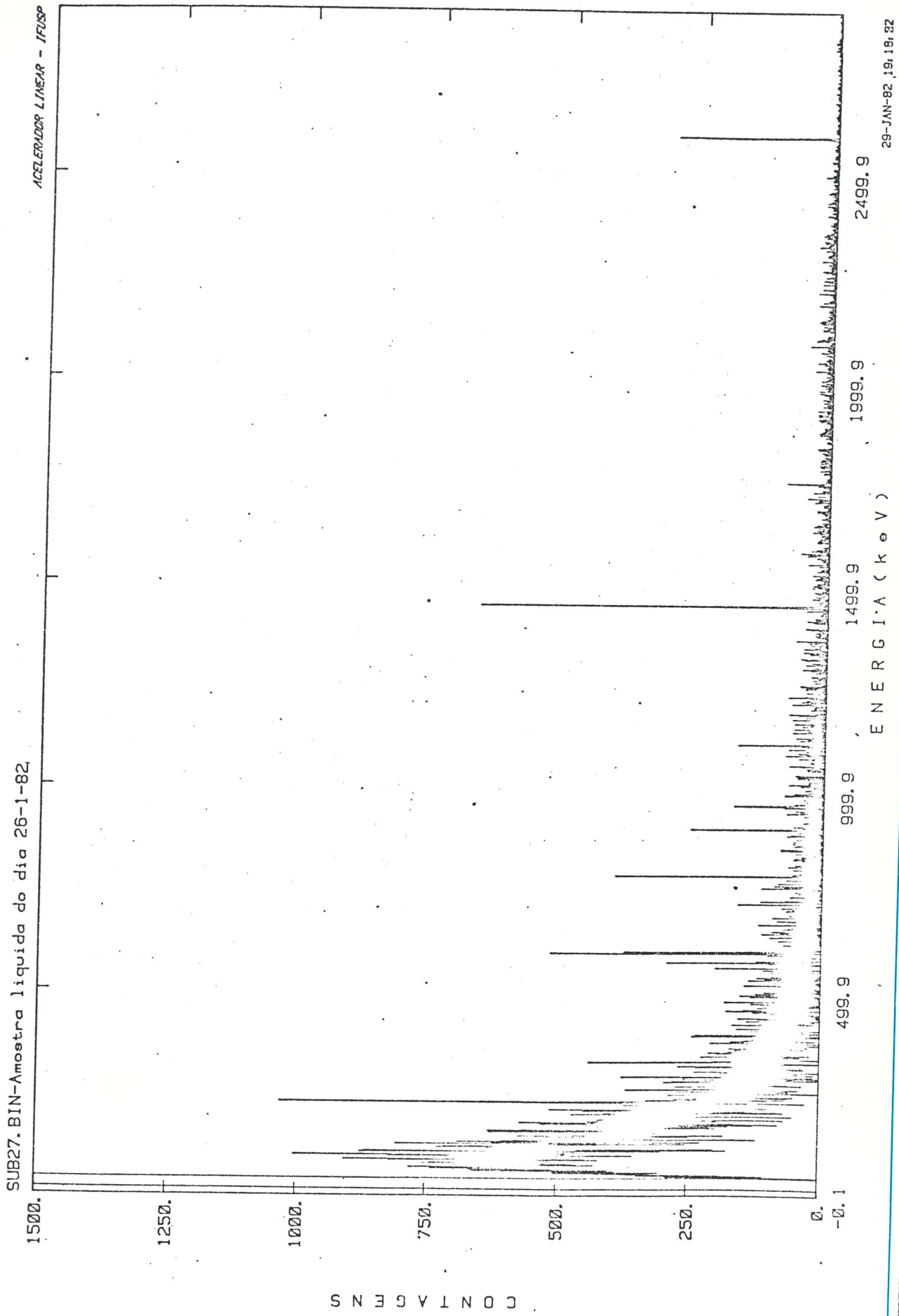


Figura 2 - Espectro de gamas da amostra líquida, já subtraído o fundo radiativo.



29-JAN-82 19:16:22

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA

CIDADE UNIVERSITÁRIA - CAIXA POSTAL 20516
END. TELEG. "FISUSPE" - SÃO PAULO - BRASIL

ATIVIDADE DE AMOSTRAS DE MATERIAL PARTICULADO NO AR

A atividade gama residual dos filtros fornecidos pela CETESB foi medida, com o objetivo de identificar as transições associadas a elementos das cadeias do Th^{232} e do U^{238} . As medidas foram feitas com detetor de Ge puro, de alta resolução e volume de 104 cc, com a eletrônica associada. A atividade das amostras foi acompanhada por períodos da ordem de 1800 min., correspondentes a aproximadamente três meias-vidas do Pb^{212} .

Nas medidas feitas, identificou-se as linhas de 239 KeV do Pb^{212} , 584 e 2615 KeV do Tl^{208} ; 727 KeV do ^{212}Bi , 339 e 911 KeV do Ac^{228} . A atividade de transições gama associadas ao Ac^{228} (da série do Th^{232} , anterior à formação do Rn^{220}) não foi diferenciada do fundo radioativo, não foram também diferenciadas do fundo radioativo linhas associadas a elementos da cadeia do ^{238}U .

A tabela I apresenta resultados referentes a transições gama observadas, corrigidas para as 12 horas do dia 04/fevereiro. Os desvios padrões indicados nesta tabela correspondem a propagação de desvios padrões derivados das áreas dos picos, e não levam em conta erros nas intensidades das linhas e da eficiência do detetor, estando portanto subestimados. Assim, as médias foram calculadas pela expressão:

$$\bar{A} = \frac{\sum \frac{A_i}{\sigma_i^2}}{\sum \frac{1}{\sigma_i^2}}$$

e os desvios padrões pela expressão:

$$\sigma^2 = \frac{\sum \frac{(A_i - \bar{A})^2}{\sigma_i^2}}{(N - 1) \sum \frac{1}{\sigma_i^2}}$$

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA

CIDADE UNIVERSITÁRIA - CAIXA POSTAL 20516
END. TELEG. "FISUSPE" - SÃO PAULO - BRASIL

Supondo um fluxo constante de ar nos filtros, com concentrações de particulado no ar constante durante a amostragem, e uma eficiência de coleta de particulado pelo filtro de 100%, e usando dados fornecidos pela CETESB, podemos determinar a atividade média de Pb^{212} no ar.

NUCLÍDEO	ENERGIA (KeV)	L1	AMOSTRA B1	P1
Pb^{212}	239	9,35 (4)	7,43 (4)	9,66 (5)
Tl^{208}	584	6,43 (5)	5,11 (5)	6,71 (7)
Bi^{212}	2615	11,93 (20)	9,52 (20)	12,63 (47)
	727	7,53 (17)	6,19 (17)	8,24 (21)
MÉDIA		$8,3 \pm 0,9$	$6,6 \pm 0,7$	$8,7 \pm 0,8$

TABELA I: Atividade em nCi, do Pb^{212} às 12:00 hs. do dia 04/02/82, medida a partir de transições gama do próprio Pb^{212} e descendentes deste.

A tabela II apresenta a atividade final do Pb^{212} , supondo ainda que a amostra medida corresponde exatamente a metade da amostra coletada.

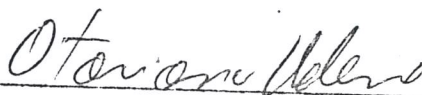
AMOSTRA	Volume de ar amostrado (m^3)	Hora do fim da coleta (4/fev.)	A_0 (nCi) (da Tab. I)	Atividade $\left(\frac{pCi}{litro}\right) \times 10^{-3}$
L ₁	2006,2	10:20	$8,3 \pm 0,9$	$18,3 \pm 1,9$
B ₁	2230,5	9:50	$6,6 \pm 0,7$	$13,5 \pm 1,4$
P ₁	2344,6	10:10	$8,7 \pm 0,8$	$16,6 \pm 1,5$

TABELA II: Atividade de Pb^{212} no ar, determinado a partir de nossos resultados da tabela I, e dos dados (início e fim da amostragem, e volume total de ar) fornecidos pela CETESB. A amostra medida corresponde à metade do volume indicado.

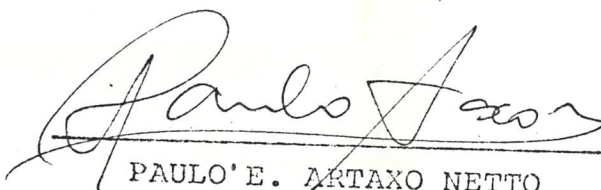
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA

CIDADE UNIVERSITÁRIA - CAIXA POSTAL 20516
END. TELEG. "FISUSPE" - SÃO PAULO - BRASIL

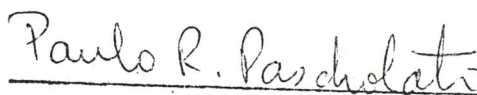
Possíveis erros sistemáticos são: a atividade da fonte de calibração utilizada no cálculo da eficiência do detector, até 9%, dimensões finitas da amostra e posicionamento desta em relação ao detector, até $\approx 10\%$, e a divisão do filtro em duas partes, que pode fornecer um erro de até 5%.



OTAVIANO A.M. HELENE



PAULO E. ARTAXO NETTO



PAULO R. PASCHOLATTI