



CNEN/SP

ipen *Instituto de Pesquisas
Energéticas e Nucleares*

**AVALIAÇÃO RADIOSSANITÁRIA DO MEIO AMBIENTE SOB
INFLUÊNCIA DO IPEN**

DEPARTAMENTO DE RADIOPROTEÇÃO AMBIENTAL

IPEN-Pub-401

NOVEMBRO/1995

SÃO PAULO

**AVALIAÇÃO RADIOSSANITÁRIA DO MEIO AMBIENTE SOB
INFLUÊNCIA DO IPEN**

Departamento de Radioproteção Ambiental

DEPARTAMENTO DE RADIOPROTEÇÃO AMBIENTAL

Série PUBLICAÇÃO IPEN

INIS Categories and Descriptors

C50 00

RADIOACTIVE EFFLUENTS

RADIOACTIVE WASTE FACILITIES

RADIATION MONITORING

ENVIRONMENTAL IMPACTS

BRAZILIAN CNEN

GAMMA SPECTROSCOPY

NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS

IPEN Doc-05210

Aprovado para publicação em 16/08/96

Nota: A redação, ortografia, conceitos e revisão final são de responsabilidade do(s) autor(es)

Agradecemos a participação dos integrantes do Serviço de Monitoração Ambiental que tornaram possível a realização deste trabalho

- Adir Janete Godoy dos Santos
- Ana Claudia Peres
- Ana Maria Pinho Leite Gordon
- Brigitte Roxana Soreanu Pecequillo
- Goro Hiromoto
- Izabel Cristina Pereira Bueno Gatti
- Jurandyr Schmiedell de Carvalho
- Luzia Venturini
- Marcelo Bessa Nisti
- Marcelo Francis Maduar
- Marcos Medrado de Alencar
- Marina Ferreira Lima
- Ricardo Nunes de Carvalho
- Sandra Aparecida Bellintani
- Sandra Regina Damatto Moreira
- Sônia Pinto Prates Assumpção
- Tadeu Domingos Lozada
- Thereza Fontana
- Vanusa Maria Feliciano Jacomino

Barbara Paci Mazzilli
Chefe do Serviço de Monitoração Ambiental
SPA

**AVALIAÇÃO RADIOSSANITÁRIA DO MEIO AMBIENTE
SOB INFLUÊNCIA DO IPEN**

Serviço de Monitoração Ambiental

**Comissão Nacional de Energia Nuclear-SP
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
Caixa Postal 11 049 - Pinheiros
05422-970 - São Paulo, SP - Brasil**

RESUMO

A fim de controlar a descarga de material radioativo para o meio ambiente resultante do funcionamento das instalações nucleares e radioativas do IPEN, um programa de controle de efluentes e de monitoração ambiental foram estabelecidos em escala de rotina. O programa de controle de efluentes radioativos líquidos e gasosos, cujo caráter é preventivo, é realizado medindo-se a atividade dos radionuclídeos presentes nos efluentes (termo-fonte) por meio da espectrometria gama e análise por ativação com nêutrons. Os resultados obtidos são comparados com os limites de descarga adotados pela Comissão Nacional de Energia Nuclear, quando então é autorizada a sua liberação. A partir do conhecimento do termo-fonte e de dados referentes à análise do local, é feita a estimativa da dose equivalente efetiva recebida pelos indivíduos do público, levando-se em conta as vias críticas de exposição interna e externa. No presente relatório são apresentados os resultados do termo-fonte e os dados de dose desde 1984. Os valores encontrados para a dose equivalente efetiva em todos estes anos de monitoração foram sempre inferiores a 1/10 do limite de dose máximo admissível para indivíduos do público, estabelecido pelas Diretrizes Básicas de Radioproteção⁽¹⁾, que é de 1 mSv/ano. O programa de monitoração ambiental, cujo caráter é confirmatório, é realizado medindo-se "in loco" os níveis de radioatividade presente em amostras de origem atmosférica, aquática e terrestre na área de influência da instalação. Esta monitoração tem como principal objetivo detectar possíveis liberações não planejadas, acima dos limites operacionais pré-estabelecidos, e certificar que o controle de descarga de material radioativo no meio ambiente está sendo conduzido satisfatoriamente. No presente relatório são apresentados os resultados do programa de monitoração ambiental obtidos desde 1983. A partir dos resultados obtidos na execução do programa de controle de efluentes e do programa de monitoração ambiental pode-se concluir que o impacto causado no meio ambiente receptor é desprezível.

**EVALUATION OF THE RADIOLOGICAL IMPACT IN THE ENVIRONMENT
AROUND IPEN FACILITIES**

Serviço de Monitoração Ambiental

**COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR-SP
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Caixa Postal 11 049 - Pinheiros
05422-970 - São Paulo, SP - Brasil**

ABSTRACT

In order to control the discharges of radioactive material released by IPEN facilities, an effluent monitoring program and an environmental monitoring program were established on a routine basis. The radioactive effluents monitoring program is carried out by measuring the activity of the radionuclides present in the liquid and gaseous effluents (source-term) using gamma spectrometry and neutron activation analysis. The results obtained are then compared with the operational limits adopted, when a decision is made upon the discharge of the effluents to the environment. In this paper the data concerning the source-term since 1984, as well as, the effective dose in the critical group are presented. All the results are below 1/10 of the limits of dose recommended by the Radiological Protection Standards. These data prove that the radiological impact due to the discharge of liquid and gaseous radioactive effluents by IPEN facilities is negligible. The environmental monitoring program is carried out by measuring "in loco" the levels of radioactivity in the atmosphere, by using thermoluminescent dosimeters, and in aquatic and terrestrial samples. The aim of this monitoring is to assess the effectiveness of the discharge control, as well as, to detect a non planned release (above the pre-selected operational limits). In this report the results obtained for the environmental monitoring program since 1983 are presented. The results obtained in the effluent monitoring program and in the environmental monitoring program show that there are no radiological impact in the environment around IPEN facilities.

INTRODUÇÃO

A atividade normal de uma instalação nuclear, assim como qualquer outra atividade humana, apresenta um certo risco. A operação da instalação envolve a liberação de efluentes radioativos, sendo que uma completa remoção dos radionuclídeos contidos nestes efluentes, antes de serem descarregados para o meio ambiente, é praticamente impossível.

Cabe à proteção radiológica da instalação estabelecer um programa de controle de efluentes⁽⁸⁾ para determinar a quantidade de material radioativo (termo-fonte) liberada para o meio ambiente, assim como detectar, imediatamente, uma liberação não planejada, acima dos limites operacionais pré-estabelecidos. O controle de efluentes tem portanto um caráter preventivo, já que, conhecendo-se o termo-fonte e as características ambientais do meio receptor é possível avaliar a dose de radiação recebida pelos indivíduos do público, e, em particular, pelo grupo crítico, antes que o material radioativo seja lançado no meio ambiente.

A fim de verificar se estas liberações estão sendo feitas de forma controlada, e que portanto resultam em um grau de risco aceitável para a população em geral, deve-se realizar o programa de monitoração ambiental⁽⁹⁾, medindo-se "in-loco" o nível de radioatividade ao qual os membros do público estão expostos. Este controle tem, portanto, um caráter confirmatório e irá avaliar se as suposições feitas no cálculo da dose a partir do termo-fonte estão corretas.

Se a dose de radiação no grupo crítico for inferior a 1/10 do limite da dose estipulado pelas Diretrizes Básicas de Radioproteção⁽¹⁾, não se justifica a realização do controle ambiental rotineiro. Neste caso, é necessário apenas controlar a descarga de material radioativo, antes que o mesmo seja lançado para o meio ambiente, por meio do controle de efluentes.

Este trabalho descreve o programa rotineiro de controle de efluentes radioativos líquidos e gasosos produzidos pelas diversas instalações do IPEN para a geração do termo-fonte e o controle de descargas. Apresenta também o programa de monitoração ambiental para a determinação dos níveis de radioatividade no meio ambiente receptor sob influência do IPEN. São discutidos os dados referentes a estes controles efetuados desde 1983.

A partir dos dados do termo-fonte foi feita a avaliação do impacto causado no meio ambiente utilizando-se um modelo genérico que descreve a transferência dos radionuclídeos para o meio ambiente em questão

INSTALAÇÕES NUCLEARES E RADIOATIVAS DO IPEN

O IPEN é um centro de formação e de desenvolvimento científico e tecnológico nos vários campos da energia nuclear, ocupando uma área de 524000 m² no "campus" da Universidade de São Paulo

As instalações nucleares e radioativas do IPEN que contribuem para a geração de efluentes líquidos e gasosos são

- o Reator IEA-R1, tipo piscina, que opera a uma potência nominal máxima de 2 MW durante 40h/semana, destinado à pesquisa fundamental e aplicada para fins diversos, incluindo a Medicina, a Engenharia e a Indústria,
- o Departamento de Processamento destinado à produção de substâncias marcadas, geradores de ^{99m}Tc e radioisótopos primários para uso em Medicina Nuclear
- outras instalações tais como o Laboratório de Descontaminação e uma usina piloto, aonde são desenvolvidas as diferentes etapas do ciclo do combustível, contendo as seguintes unidades purificação e conversão, enriquecimento, fabricação do elemento combustível e tratamento de rejeitos radioativos, dão origem somente a efluentes líquidos

EFLUENTES LÍQUIDOS

Sistema de monitoração

Os efluentes líquidos gerados na maioria destas instalações são estocados e controlados nos seus respectivos tanques de retenção. As instalações ou laboratórios que não possuem seus próprios tanques de retenção armazenam o efluente líquido em recipientes de polietileno

Os efluentes gerados são amostrados, após homogeneização (manual ou automática), e enviados ao Serviço de Monitoração Ambiental do IPEN para análise. A frequência de amostragem é determinada pelo supervisor de proteção radiológica da instalação

O volume amostrado (1L) é enviado ao Serviço de Monitoração Ambiental, devidamente identificado. Esta amostra é colocada em um frasco Marinelli e analisada por espectrometria gama por meio de um detector semicondutor hiperpuro (HPGe) com eficiência de 25%, acoplado a um analisador multicanal de 4096 canais. O tempo máximo de contagem é de 5000s. Para as amostras que contêm urânio e tório natural faz-se uma análise específica para a determinação da concentração destes radionuclídeos pelo método de análise por ativação com nêutrons ou espectrofotometria⁽¹¹⁾

Para a identificação e quantificação dos radionuclídeos contidos nas amostras de efluentes analisadas por espectrometria gama foi utilizado o programa SAMPO⁽¹²⁾ e o programa OMNIGAM⁽¹⁰⁾

Após a determinação da concentração dos radionuclídeos presentes na alíquota amostrada, o resultado é corrigido para o volume total do efluente armazenado. Nesta etapa é feita a comparação do valor encontrado com o limite de descarga diário adotado pelo IPEN que corresponde a um dos sugeridos pela Comissão Nacional de Energia Nuclear⁽²⁾, quando então é tomada a decisão de liberação única ou fracionada. Quando em vista dos limites adotados o efluente não puder ser liberado o mesmo deverá ser enviado a Supervisão de Rejeitos e Descontaminação.

O resultado da análise é entregue ao supervisor de proteção radiológica na forma de um relatório onde constam os seguintes dados:

- Atividade total de cada um dos radionuclídeos encontrados (Bq)
- Condição de liberação ou envio como rejeito

Após a autorização da descarga, os efluentes são eliminados no sistema aquático, por meio da rede de esgoto sanitário do IPEN.

O sistema de liberação e o ambiente aquático

Todos os efluentes radioativos autorizados para liberação alcançam o rio Pinheiros. As liberações feitas por meio de dois sistemas da rede de esgoto do Instituto, separados do sistema de águas pluviais, entram no rio Pinheiros em dois pontos separados E1 e E2 (Figura 1), sendo a distância aproximada entre ambos de 2 km.

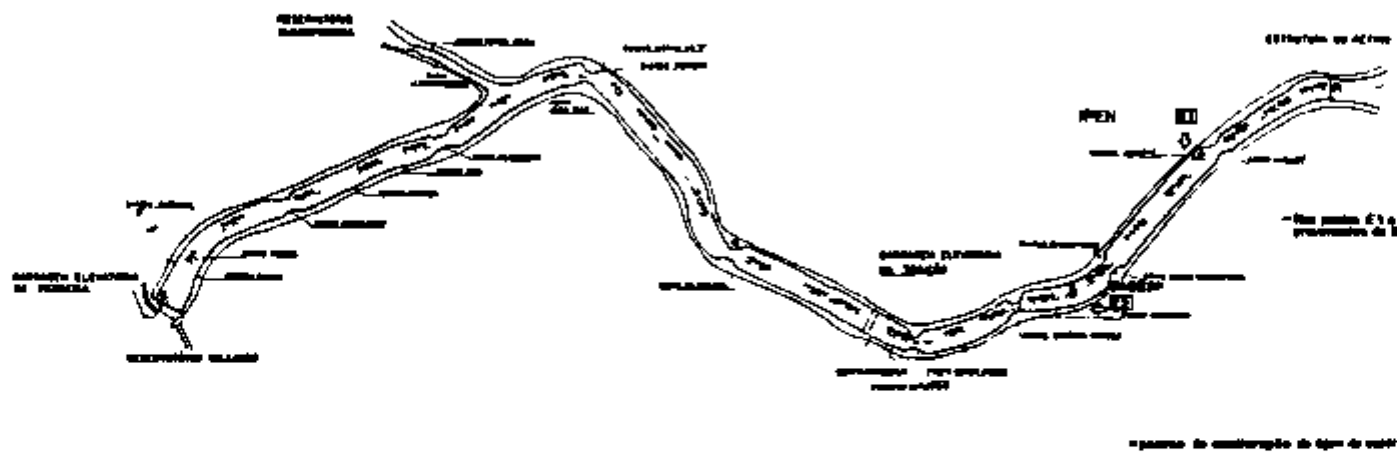


Figura 1 - Sistema aquático sob influência do IPEN-CNEN/5P

Os efluentes líquidos provenientes do centro em que são desenvolvidas as diferentes etapas do ciclo do combustível são liberados na rede de esgoto do IPEN, atingem o córrego do Jaguaré e alcançam o rio Pinheiros no Ponto E1, a jusante do viaduto do Jaguaré como mostrado na Figura 1

Os efluentes das demais instalações, a saber reator IEA-R1, Centro de Processamento e Laboratório de Descontaminação entram em uma segunda linha da rede de esgoto do IPEN. Esta linha une-se à rede de esgoto da Cidade Universitária e finalmente desemboca na planta receptora de esgoto da Estação de Tratamento de Águas e Esgoto da SABESP, que recebe uma boa parte dos esgotos da zona sul da cidade de São Paulo

Esta estação de tratamento, no momento, separa somente o material sólido como lama sedimentar, areia e plásticos e descarrega o líquido no rio Pinheiros, a jusante do viaduto da Cidade Universitária, no ponto E2 (vide Figura 1). O material sólido é, periodicamente, transportado a alguns quilômetros da cidade e depositado em um aterro sanitário

A 2 km do ponto E2 se encontra a Usina Elevatória da Traição que é usada para bombear a água do rio Pinheiros para o reservatório Billings. Esta barragem, assim como a de Pedreira, controla o fluxo do rio em casos de emergência, como por exemplo durante as enchentes. A água do rio Pinheiros pode ser bombeada em dois extremos A e B (Figura 1), no ponto A, o rio Pinheiros é tributário do reservatório Billings e no ponto B, é um tributário do rio Tietê. Durante a maior parte do tempo o bombeamento se dá no sentido rio Pinheiros-reservatório Billings

O rio no seu percurso recebe, além dos esgotos e outros efluentes industriais, as águas pluviais provenientes de vários drenos, como pode ser observado na Figura 1. Além disso, a Companhia Estadual Eletropaulo, aproximadamente a cada 6 meses, executa a dragagem do rio e o material sólido retirado é colocado em "bota-foras" existentes ao longo de suas margens. Posteriormente este material é transportado para aterros sanitários existentes na periferia da cidade de São Paulo

A vazão média anual do rio Pinheiros é de $70 \text{ m}^3/\text{s}$ (6) ($2,2 \times 10^{12} \text{ L/ano}$) podendo alcançar até $270 \text{ m}^3/\text{s}$, dependendo da época do ano, do bombeamento de A e B, assim como das operações de manutenção e de dragagem realizadas em várias secções do rio. O tempo de trânsito entre os pontos A e B é estimado em cerca de 15 horas

A área superficial do reservatório Billings é de cerca de $120 \times 10^6 \text{ m}^2$ e sua capacidade cerca de $1200 \times 10^6 \text{ m}^3$. O tempo de residência da água no reservatório é de aproximadamente 100 dias⁽⁵⁾. A descarga da água do reservatório, cerca de $75 \text{ m}^3/\text{s}$, se dá para o reservatório do rio das Pedras, em direção à Serra do Mar, aonde se aproveita o potencial hidráulico da Usina Elétrica Henry Bordon localizada na cidade de Cubatão.

Há mais de 20 anos a qualidade da água do rio Pinheiros era tal que ele era utilizado para pesca de peixes. Atualmente há completa ausência de vida aquática neste rio em virtude da poluição industrial e de esgotos sanitários. Suas águas não são utilizadas para fins de irrigação e nem tratadas para posterior fornecimento de água potável à população. Algumas indústrias, localizadas ao longo das margens do rio Pinheiros, captam suas águas para fins de refrigeração dos maquinários ou para uso em combate a incêndios.

As águas do reservatório Billings são utilizadas para irrigação de horticulturas em pequena escala nas áreas adjacentes. Em algumas zonas do reservatório há peixes e a pesca é praticada em caráter recreativo.

Dados do termo-fonte líquido no período compreendido entre 1984 e 1993

Na tabela 1 são apresentados os dados relativos à atividade liberada nos efluentes radioativos líquidos gerados pelas instalações do IPEN no período compreendido entre 1984 e 1993.

Tabela 1- Atividade dos efluentes líquidos liberados por ano (1984 a 1993)

Ano	Atividade total liberada (Bq)
1984	$1,1 \times 10^9$
1985	$2,6 \times 10^9$
1986	$1,4 \times 10^9$
1987	$7,3 \times 10^8$
1988	$2,0 \times 10^9$
1989	$3,9 \times 10^9$
1990	$7,6 \times 10^8$
1991	$7,1 \times 10^8$
1992	$8,5 \times 10^8$
1993	$2,6 \times 10^8$

Estimativa da dose de radiação no grupo crítico devido à liberação de efluentes líquidos

A estimativa da dose de radiação no grupo crítico foi feita por meio de um modelo^(7,13) genérico. Foi suposto que existe uma liberação contínua de efluentes na água do rio, o que leva a uma superestimativa da dose de radiação.

Como descrito anteriormente, a água do rio Pinheiros não é utilizada para irrigação ou tratada para posterior consumo de água potável pela população. Neste caso, a via de contaminação a ser considerada é a dispersão e sedimentação dos radionuclídeos, sendo que a principal via de exposição é a irradiação externa gama de indivíduos do público que trabalham nas áreas que contêm sedimentos contaminados^(7,13). O grupo crítico são os trabalhadores da ELETROPAULO e SABESP que permanecem próximos aos pontos de descarga dos efluentes no rio Pinheiros.

A equação⁽⁷⁾ que fornece a concentração dos radionuclídeos na água em determinado ponto de interesse é dada por

$$C_{ii} = P \frac{M_p}{F} \sum_i Q_i \exp(-\lambda_i t_p) \quad (1)$$

sendo

- $C_{W,1}$ = concentração do radionuclídeo 1 na água do rio (Bq/L)
- P = fator de conversão que relaciona as unidades usadas para taxa de liberação e vazão do rio em unidades de concentração na água (No caso, p é igual a 1)
- Q_1 = taxa de entrada do radionuclídeo 1 no rio (Bq/ano) (vide Tabela 1)
- F = volume total anual de efluentes (L/ano)
- M_p = fator de mistura que equivale ao inverso do fator de diluição (adimensional)
- t_p = tempo de trânsito médio para os radionuclídeos atingirem o local de interesse (s)
- λ_1 = constante de decaimento do radionuclídeo 1 (s^{-1})

M_p é igual a F/R , onde R é a vazão média anual do rio (no caso, R é igual a $2,2 \times 10^{12}$ L/ano e t_p foi estimado em 4 horas (14400 s))

A concentração do radionuclídeo 1 no sedimento⁽¹³⁾ é dada por

$$C_{s,1} = \frac{C_{W,1} [1 - \exp(-\lambda_1 t_p)] K_C}{\lambda_1} \quad (2)$$

onde

- $C_{s,1}$ = concentração do radionuclídeo 1 no sedimento Bq/kg)
- $C_{W,1}$ = concentração do radionuclídeo 1 na água (Bq/L)
- λ_1 = constante de decaimento do radionuclídeo 1 (s^{-1})
- t_p = período de tempo no qual o sedimento está exposto à água contaminada, que é dado como 15 anos (aproximadamente metade da vida útil de operação de uma instalação nuclear)
- K_C = constante de proporcionalidade empírica que leva em conta a transferência da água para o sedimento (L/kg h)

A equação 2 é usada para facilitar a estimativa da taxa de exposição de emissores gama a um metro acima da superfície do sedimento, sendo feita uma estimativa da contaminação superficial efetiva⁽¹³⁾. A contaminação superficial foi considerada como sendo aquela contida dentro de uma camada de 2,5 cm de sedimento (com uma área superficial de massa igual a 40 kg/m²). A contribuição da dose proveniente de radionuclídeos depositados abaixo da camada de 2,5 cm foi ignorada.

A equação resultante⁽¹³⁾ será

$$S_i = 100 T_i C_w W [1 - \exp(-\lambda_i t_i)] \quad (3)$$

sendo

S_i = contaminação superficial efetiva (Bq/m²)

T_i = meia vida física do radionuclídeo i (dias)

W = fator que descreve a geometria de exposição. Para exposições na margem do rio W é igual a 0,2.

O valor 100 (L/m² dia) é equivalente à expressão

$$\frac{K_i (L/kg \cdot h) \cdot 40 (kg/m^2) \cdot 24 (h/dia)}{0,693}$$

A dose de radiação no corpo inteiro (H_E) em virtude da irradiação gama de indivíduos do público que trabalham em áreas que contém sedimentos contaminados será

$$H_E = 100 P \frac{M_P}{F} U_{op} W \sum_i Q_i T_i D_i (e^{-\lambda_i t_i}) (1 - e^{-\lambda_i t_i}) \quad (4)$$

onde

H_E = dose equivalente efetiva anual nos indivíduos do público (mSv/ano)

D_f = fator dosimétrico, o qual é usado para calcular a dose equivalente efetiva proveniente da exposição de uma dada concentração de radionuclídeos no sedimento,

sendo expresso como a razão entre a taxa de dose (mSv/ano) e a concentração do radionuclídeo por unidade de área (Bq/m²)

Os fatores dosimétricos usados neste trabalho, convertidos para as unidades novas, foram retirados da literatura^(4,13)

A contribuição relativa de cada radionuclídeo para a dose total foi calculada segundo o modelo descrito. A dose equivalente efetiva (H_E) obtida por ano é apresentada na tabela 2. Os radionuclídeos que mais contribuíram para a dose equivalente efetiva no grupo crítico foram o ⁶⁰Co (aproximadamente 85%) e o ¹³⁷Cs (aproximadamente 14%). Os valores encontrados podem ser considerados como sendo zero, do ponto de vista de proteção radiológica, pois estão abaixo do nível de registro que é igual a 1/10 do limite de dose anual máximo admissível para indivíduos do público que é 1 mSv/ano.

Tabela 2- Dose equivalente efetiva no grupo crítico por ano (1984 a 1993)

Ano	Dose equivalente efetiva (mSv)
1984	1,3x10 ⁻⁵
1985	5,1x10 ⁻⁵
1986	2,8x10 ⁻⁵
1987	5,1x10 ⁻⁵
1988	2,7x10 ⁻⁵
1989	5,6x10 ⁻⁵
1990	6,8x10 ⁻⁵
1991	5,6x10 ⁻⁵
1992	8,0x10 ⁻⁵
1993	3,3x10 ⁻⁵

EFLUENTES GASOSOS

Sistema de monitoração

O ponto de liberação de efluentes gasosos e aerossóis, produzidos durante a operação de uma instalação nuclear deve ser monitorado e controlado de forma a respeitar

os limites de liberação autorizados (ou outros limites que porventura possam ser impostos pelas autoridades competentes) (8,10)

A monitoração dos efluentes gasosos e aerossóis gerados pelas instalações do IPEN Reator IEA-R1, Departamento de Processamento de Radioisótopos (GPI e GPF) responsável pela Produção de Radioisótopos primários e marcados e Reator Nuclear IPEN/MB01, é feita através de uma chaminé, localizada em cada uma das instalações, após passagem por um sistema de tratamento (acerto de pH e filtragem) e por um sistema de controle que consiste na monitoração do ar antes da descarga dos efluentes para o meio ambiente

Esta monitoração é feita basicamente por meio de dois métodos de medida a saber

- a) Método de medida direta a monitoração é feita por meio de uma sonda detectora de radiação acoplada a um sistema de aquisição e registro de dados calibrada para os radionuclídeos de interesse e conectada a um sistema de alerta
- b) Método de medida indireta a monitoração é feita por meio de filtros acoplados a um sistema de amostragem de ar posicionados após o sistema de filtros absolutos e de carvão ativo existentes no sistema de exaustão da instalação A atividade dos radionuclídeos nos filtros é medida utilizando-se os mesmos equipamentos e detector descritos no item Sistema de Monitoração dos Efluentes Líquidos

No primeiro método, para o reator IEA-R1 e prédio de processamento de radioisótopos (GPI) e Reator MB01 este sistema irá auxiliar o operador da instalação a tomar medidas corretivas no caso de ocorrer uma liberação não planejada acima dos limites operacionais pré-estabelecidos

No segundo método, para as quatro instalações citadas é feita uma análise completa (espectro de energia e atividade) de todos os radionuclídeos eventualmente presentes nos efluentes Este tipo de medida possibilita a determinação do termo-fonte da instalação e conseqüentemente o cálculo da dose equivalente recebida pelos indivíduos do público, tanto para condições normais de operação como para o caso de um acidente A frequência de amostragem é determinada levando-se em conta a meia vida dos radionuclídeos de interesse, volume total amostrado e aspectos econômicos O sistema de amostragem é constituído por um filtro para aerossol e dois

filtros em série de carvão ativo para gases ou vapores. O segundo filtro de carvão serve para controlar a eficiência de retenção do primeiro.

A atividade liberada é obtida multiplicando-se a atividade medida no filtro pela relação entre o fluxo de ar na chaminé (Q) e fluxo de ar no duto de amostragem (q).

Sistema de liberação e dados meteorológicos

a) Produção de efluentes radioativos gasosos e aerossóis

A instalação de Processamento de Radioisótopos do IPEN-CNEN/SP é responsável pela produção de radioisótopos primários para aplicações médicas tais como ^{131}I , ^{32}P , ^{123}I , ^{35}S , ^{24}Na , ^{42}K , ^{45}Ca , ^{67}Ga , ^{51}Cr , etc., assim como a produção de geradores de $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Todos estes radioisótopos são manipulados e processados em celas ligadas ao sistema de ventilação e exaustão de prédio, que lança os efluentes para o meio ambiente após passagem por um sistema de filtração, com uma vazão de aproximadamente $9\ 860\ \text{m}^3/\text{h}$ através de uma chaminé. Esta tem aproximadamente 22,5 metros de altura em relação ao nível do terreno onde se encontra a Instalação (altura de 776 m em relação ao nível do mar).

b) Sistema de tratamento

O sistema de tratamento consiste na exaustão do ar das celas e do ambiente de trabalho e filtração dos gases e aerossóis. As celas estão em depressão com relação ao ambiente de trabalho e este em depressão com relação à atmosfera ambiente. O ar de insuflação do ambiente de trabalho também é filtrado. Desta maneira todo o ar que circula pelas celas e ambiente de trabalho passa por um sistema de filtração e é obrigatoriamente liberado para o meio ambiente via um sistema de circulação e exaustão do ar do prédio.

O sistema de ventilação compreende três circuitos independentes, insuflamento de ar para área de trabalho, exaustão do ambiente da área restrita e das celas de processamento e distribuição. O circuito de exaustão do ambiente da área restrita tem um conjunto de filtros absolutos para aerossóis à montante dos exaustores. O ar que circula no circuito de exaustão das celas passa por filtros absolutos antes da entrada nestas celas e passa por filtros de carvão ativo e filtros absolutos para aerossóis posicionados antes da saída de cada cela. O ar de circuito de

insuflamento passa por filtros metálicos antes de penetrar na área de trabalho

c) Meteorologia do local

Os dados meteorológicos foram avaliados e sumarizados a partir dos dados coletados na estação hidrometeorológica da Cidade Universitária pertencente ao Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE), distante cerca de 200m da instalação⁽¹⁴⁾

A Estação Hidrometeorológica do DAEE está localizada longe das áreas densamente urbanizadas, de modo que os dados estão sujeitos a pouca influência das edificações

Analisando-se a distribuição da frequência de velocidade média dos ventos a 10 m, por setor, constatou-se que a predominância do vento se dá segundo a direção sudeste com frequência de 39,8% e com velocidade média de 3,6 m/s. A segunda predominância ocorre para a direção noroeste com frequência de 21,4% e velocidade média de 3,2 m/s. A frequência de calmaria fica em torno de 2% com velocidades do vento menores que 0,4 m/s.

A taxa de precipitação anual total é de 1407,7 mm

Dados do termo-fonte gasoso no período compreendido entre 1988 e 1993

Os resultados obtidos das medidas no reator IEA-R1 e reator IPEN/MB01 indicaram sempre níveis de atividade da ordem da radiação de fundo (termo-fonte igual a zero)

Os efluentes radioativos gasosos e aerossóis liberados pelas instalações do IPEN no período compreendido entre 1988 e 1993 são apresentados na tabela 3. O único radionuclídeo detectado foi ^{131}I .

Neste relatório só será apresentado o cálculo realizado para a instalação de Processamento de Radioisótopos (GPI) uma vez que esta instalação, liberando 1000 vezes mais do que a instalação de Radiofármacos (GPF), apresenta uma dose equivalente efetiva 1000 vezes menor do que o limite de dose anual para indivíduos do público (1 mSv/ano) estipulado pelas normas de Proteção Radiológica.

Tabela 3- Termo-fonte em Bq das instalações do IPEN no período de 1988 e 1993

Ano/Instalação	IEA-R1	MB-01	GPF	GPI
1988	----	----	----	$6,5 \times 10^{10}$
1989	----	----	----	$0,9 \times 10^{10}$
1990	----	----	$1,8 \times 10^8$	$1,7 \times 10^{10}$
1991	----	----	$5,5 \times 10^7$	$1,1 \times 10^{10}$
1992	----	----	$9,4 \times 10^7$	$2,7 \times 10^{10}$
1993	----	----	$3,9 \times 10^7$	$2,5 \times 10^{10}$

Vias críticas, grupo crítico e modelo dosimétrico

No caso de liberação de efluentes gasosos é necessário que se analise as seguintes possibilidades de liberação

- a) irradiação interna gama das pessoas em virtude da inalação das partículas radioativas colocadas em suspensão a partir dos depósitos e na passagem da nuvem (inalação)
- b) irradiação externa gama em virtude de depósitos de radionuclídeos no solo (irradiação do solo)
- c) irradiação externa gama em virtude da imersão na nuvem radioativa
- d) irradiação externa beta das pessoas em virtude da imersão na nuvem radioativa
- e) irradiação interna por ingestão após transferência para os alimentos (ingestão)

Em trabalho anterior⁽¹⁴⁾ constatou-se que o grupo crítico é constituído pelos indivíduos que permanecem a uma distância em torno de 3000 m da instalação no setor de difusão atmosférica noroeste (NW). A via crítica é devida a dose externa em virtude do depósito de ^{131}I no solo. A contribuição das demais vias é desprezível.

Modelo dosimétrico e cálculo da dose externa em virtude do depósito no solo

a) Determinação do fator de difusão e cálculo da dose

Na literatura⁽¹⁵⁾ foram desenvolvidos numerosos modelos para a determinação do fator de difusão. Dentre estes destacam-se aqueles baseados em gráficos obtidos a partir de medidas experimentais e que fornecem o fator de difusão em função da distância entre a fonte (ponto de liberação) e o ponto de interesse. Neste trabalho foram utilizados os gráficos que fornecem o fator de difusão em função da distância e da altura efetiva de liberação para diferentes velocidades médias de vento na direção de dispersão⁽¹⁶⁾. Considerou-se os valores dos fatores de difusão para diferentes distâncias entre 500 e 7000 m e altura efetiva de liberação de aproximadamente 25m, onde a super elevação ΔH foi determinada a partir da equação empírica⁽¹⁸⁾

$$\Delta H = 1,5 S^{-1/4} (F_m/V)^{1/7}$$

sendo

S = parâmetro de estabilidade igual a $1,75 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-2}$ (15)

V = velocidade aproximada do vento na altura da chaminé ($3,6 \text{ m s}^{-1}$)

$$F_m = w_0^2 \frac{D_1}{2} \quad (5)$$

onde

w_0 = velocidade na saída da chaminé (este dado foi medido experimentalmente e é igual a $3,4 \text{ m s}^{-1}$)

D_1 = diâmetro interno da chaminé (aproximadamente 1,4 m)

b) Modelo Dosimétrico e Cálculo de dose

A dose equivalente efetiva em virtude da deposição de radionuclídeos no solo, supondo que a atividade depositada

dentro do raio de interesse é igual àquela no ponto de referência é dada por⁽⁷⁾

$$H_i = Q(\bar{F}_p + \bar{W}_p) K_b D$$

onde

H_E = dose equivalente efetiva a 1m de altura em virtude da contaminação do solo pelo radionuclídeo no setor p (Sv)

\bar{F}_p = fator de deposição no setor p (m^{-2})

\bar{W}_p = fator de lavagem no setor p (m^{-2})

D = fator dosimétrico específico que relaciona a atividade depositada por unidade de área do solo com dose equivalente efetiva Para o ^{131}I esse fator é igual a $3,0 \times 10^{-16}$ Sv Bq $^{-1}$ por $m^2 s^{-1}$ (18)

K_b = equivale a equação (18)

$$K_b = \frac{1 - \exp(-\lambda t_{B0})}{\lambda}$$

sendo

λ = contante de decaimento do radionuclídeo (s^{-1})

t_{B0} = intervalo de tempo no qual o nuclídeo se acumula no solo (s)

O valor de K_b para ^{131}I é igual a 10^6 seg (18)

O fator de lavagem é determinado pela relação (18)

$$\bar{W}_p = \frac{N C B_p}{2\pi x \bar{u}}$$

sendo

N = número de setores da direção do vento que neste trabalho foi considerado igual a 8

- B_p = taxa de precipitação anual total (1407,7mm)
- C = constante de lavagem que para o todo elementar é (18)
 $1,2 \cdot 10^{-8} \text{ (mm s)}^{-1}$
- x = distância entre o ponto de liberação e o ponto de interesse (m)
- u = velocidade média do vento no setor p (m/s) O fator de deposição pode ser obtido pela relação (18)

$$\bar{F}_p = V_d (\chi/Q)_p$$

sendo

- V_d = velocidade de deposição que para o todo elementar tem o valor $0,04 \text{ m s}^{-1}$ (18)
- $(\chi/Q)_p$ = fator de difusão no setor p

A dose equivalente efetiva no grupo crítico devido a via crítica irradiação do solo é mostrada na tabela 4. A maior dose recebida desde 1988 foi de $1,1 \times 10^{-3} \text{ Sv/ano}$. No entanto este grupo recebeu um valor 1000 vezes menor do que o limite anual máximo admissível (1 mSv/ano).

Tabela 4- Dose equivalente efetiva total nos anos compreendidos entre 1988 e 1993 para o grupo crítico proveniente da liberação de ^{131}I da instalação de processamento de radioisótopos do IPEN

Ano	Dose equivalente efetiva no grupo crítico (mSv/ano)
1988	$1,1 \times 10^{-3}$
1989	$1,6 \times 10^{-4}$
1990	$2,9 \times 10^{-4}$
1991	$1,9 \times 10^{-4}$
1992	$4,7 \times 10^{-4}$
1993	$4,3 \times 10^{-4}$

PROGRAMA DE MONITORAÇÃO AMBIENTAL

Um Programa de Monitoração Ambiental objetiva avaliar a exposição real do público em geral à radioatividade presente no ambiente e confirmar que esta exposição não exceda os limites de dose para o público⁽⁹⁾

O PMA do IPEN-CNEN/SP é uma monitoração de caráter confirmatório, estabelecida para verificar se a liberação dos efluentes radioativos líquidos e gasosos nas atividades rotineiras da instituição está sendo feita de maneira controlada

O PMA permite avaliar os níveis de radioatividade aos quais estão expostos os indivíduos do público que vivem nas circunvizinhanças das instalações do IPEN

Para a avaliação dos níveis de radioatividade aos quais estão expostos os indivíduos do público são analisadas amostras de origem atmosférica, aquática e terrestre. A radiação direta no meio ambiente é determinada a partir de medidas com dosímetros termoluminescentes (TL)

O programa geral foi estabelecido em 1988⁽³⁾ levando-se em consideração as principais vias de transferência dos radionuclídeos até chegarem ao homem e os dados referentes à caracterização da região

Segundo as diretrizes básicas de Radioproteção⁽¹⁾ como a dose equivalente efetiva encontrada na monitoração dos efluentes líquidos desde 1984 até a presente data foi sempre inferior a 1/10 do limite de dose máximo admissível para indivíduos do público (1 mSv/ano), não se justifica a realização do controle ambiental rotineiro, sendo suficiente apenas o controle da descarga do material radioativo, antes de sua liberação para o meio ambiente

Em 1988 foram analisadas amostras de origem atmosférica, aquática e terrestre por espectrometria gama passiva, sendo encontrados em todas as amostras para os radionuclídeos artificiais presentes no termo-fonte, valores abaixo do limite de detecção do sistema de contagem

Como a dose equivalente efetiva nos anos seguintes manteve-se inferior a 1/10 do limite de dose máximo, interrompeu-se a coleta das amostras e procedeu-se a uma reavaliação do PMA

Em 1993 foi iniciada a coleta nos pontos reavaliados, a saber 2 pluviômetros para coleta da precipitação pluviométrica e 7 pontos de coleta de lençol freático, situados perto das instalações nucleares do IPEN, conforme mostrado na figura 2

A coleta de água de chuva é uma coleta composta mensal, num total de 12 amostras anuais por pluviômetro. A coleta de água do lençol freático é bimensal, num total de 6 amostras anuais por ponto de coleta

Todas as amostras foram analisadas por espectrometria gama passiva⁽¹⁷⁾. Os resultados mostram que a atividade dos radionuclídeos artificiais ^{60}Co e ^{137}Cs presentes no termo-fonte está abaixo dos limites de detecção do sistema de medida (0,14 Bq/amostra). As taxas de contagem observadas para os radionuclídeos naturais das séries do ^{238}U e ^{232}Th (^{228}Ac , ^{208}Tl , $^{212}\text{,}^{214}\text{Pb}$ e $^{212}\text{,}^{214}\text{Bi}$) e também para o ^{40}K indicam não ter ocorrido variação estatisticamente significativa na atividade natural

Quanto à radiação direta no meio ambiente determinada a partir de medida com dosímetros termoluminescentes, a monitoração do IPEN vem sendo efetuada desde 1983. O preparo, a calibração e a leitura destes dosímetros é realizado pelo Serviço de Calibração e Dosimetria do IPEN. Ao longo dos anos, foi sempre feita a reavaliação dos pontos, levando em consideração a entrada em funcionamento de novas instalações, até chegar aos 15 pontos críticos atuais ao longo das instalações nucleares do IPEN, conforme figura 2. De 1983 a 1990 eram utilizados dosímetros com cristais de LIF importados. A partir de 1991 a monitoração é realizada com dosímetros com cristais de $\text{CaSO}_4 \cdot \text{Dy}$, fabricados no próprio IPEN pelo Serviço de Calibração e Dosimetria e mais adequados para monitoração de taxas de exposição de nível ambiental, devido a sua alta sensibilidade.

Os dosímetros são sempre posicionados a 1 m da superfície do solo, em estacas de madeira e as medidas são trimestrais.

O ponto "branco", isto é, o ponto para a medida da radiação de fundo (RF) está situado fora do raio de 15 km da área de influência do IPEN.

Nas figuras 3 a 18 apresentamos os valores médios anuais, para todos os pontos, desde 1983 até 1993.

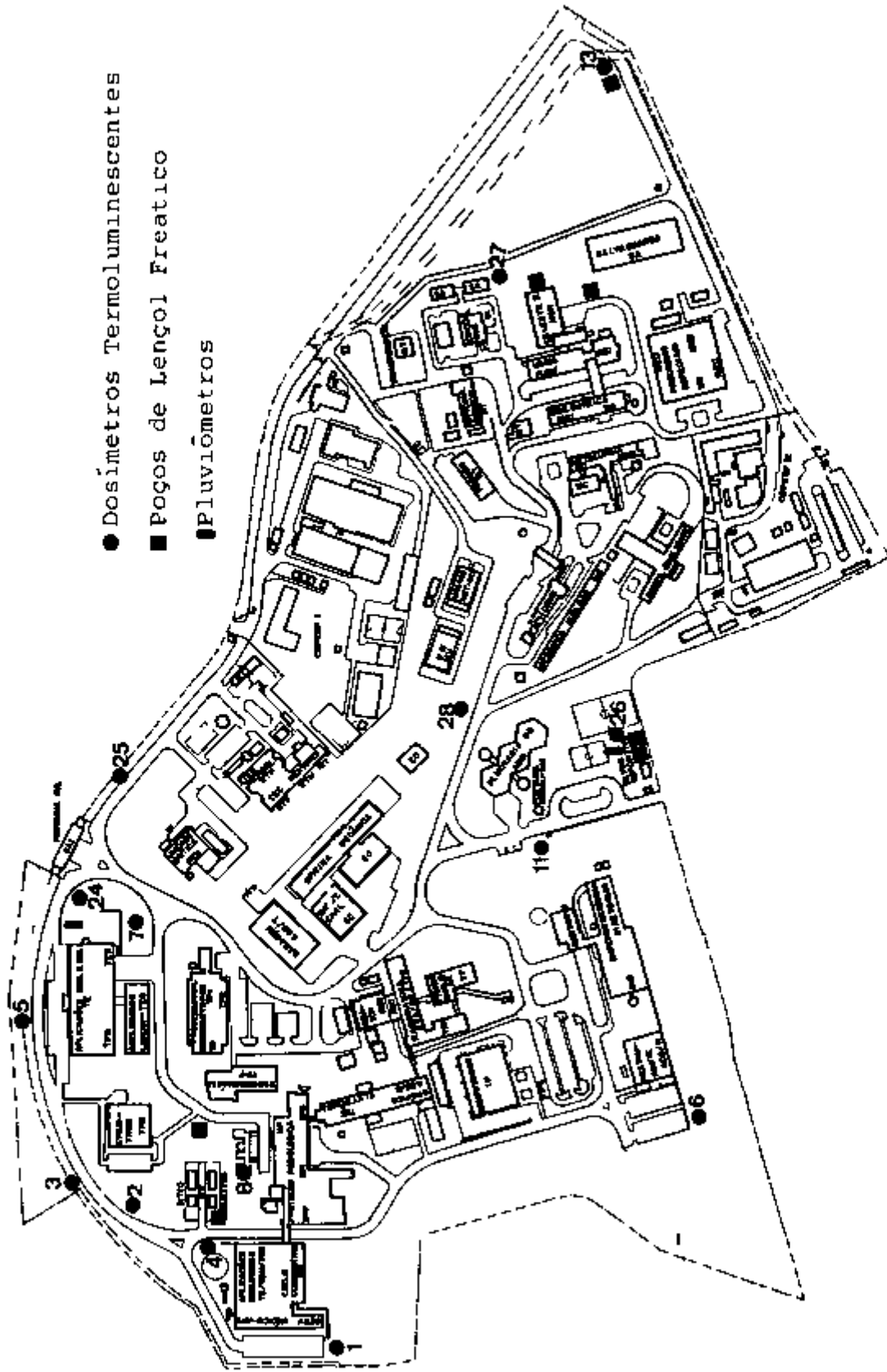


Figura 2 - Localização dos pontos de amostragem do Programa de Monitoração Ambiental

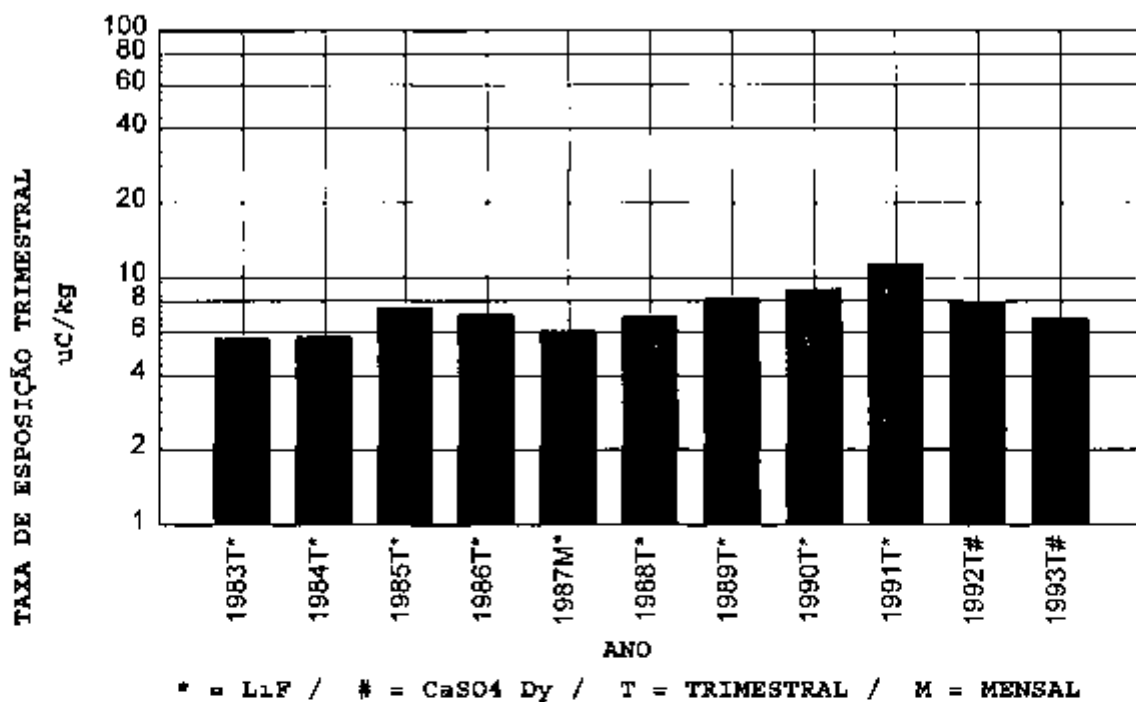


Figura 3 - PONTO 1 médias anuais do ponto de amostragem com dosímetros termoluminescentes

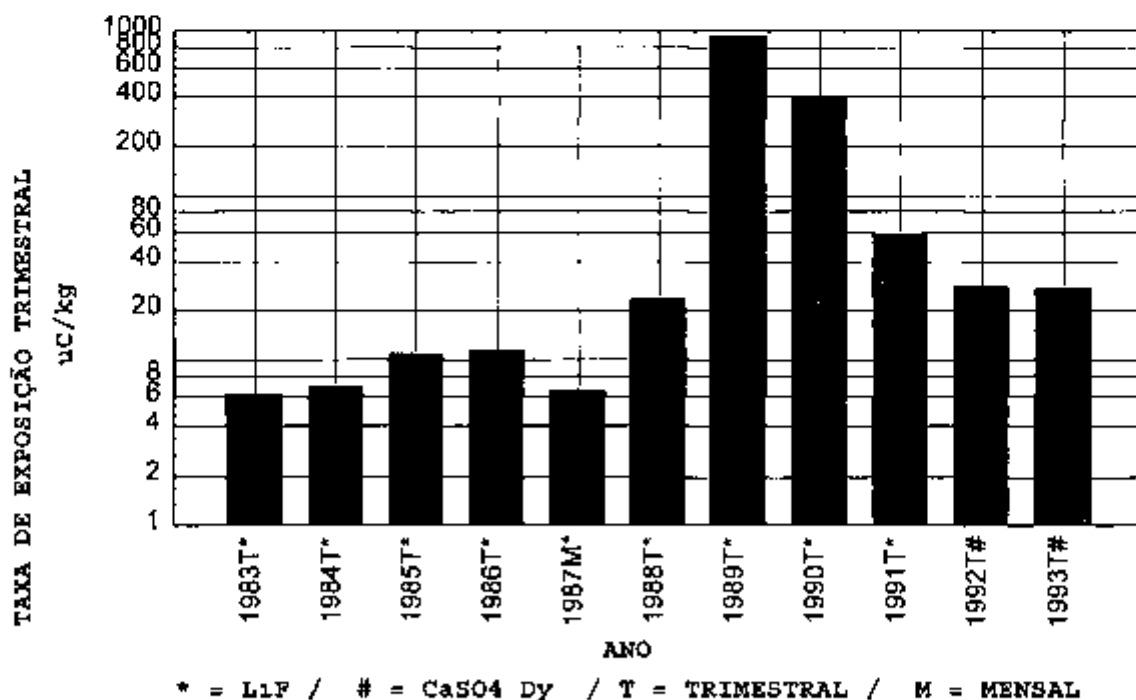


Figura 4 - PONTO 2 médias anuais do ponto de amostragem com dosímetros termoluminescentes

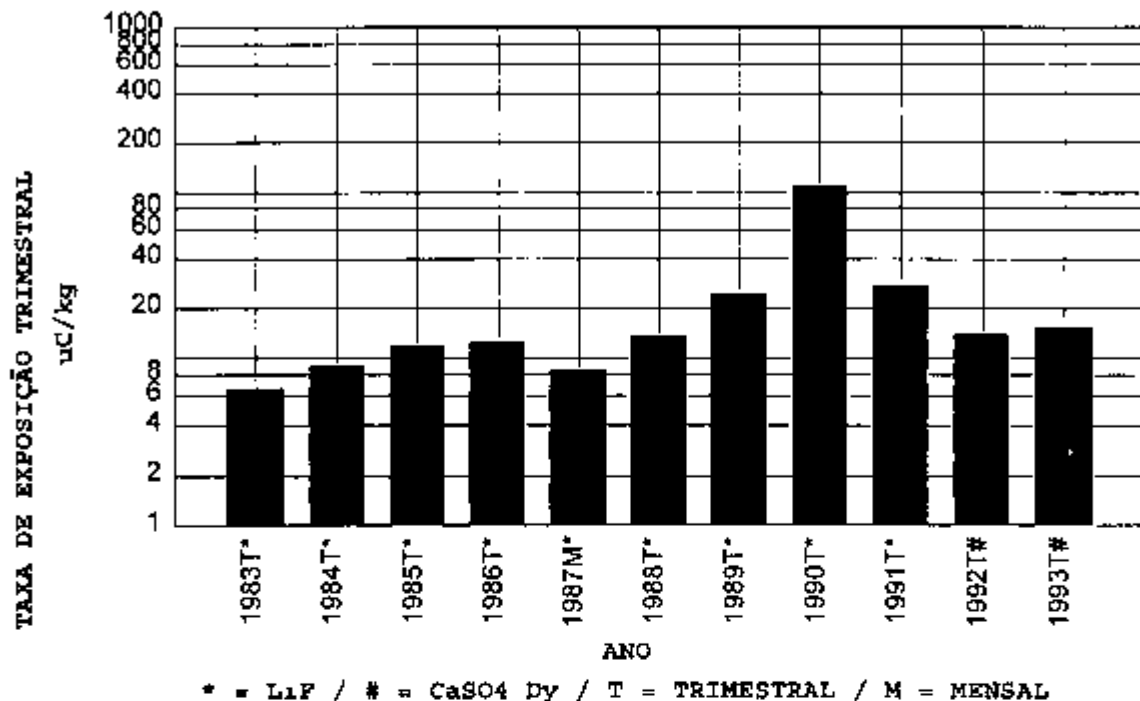


Figura 5 - PONTO 3 médias anuais do ponto de amostragem com dosímetros termoluminescentes

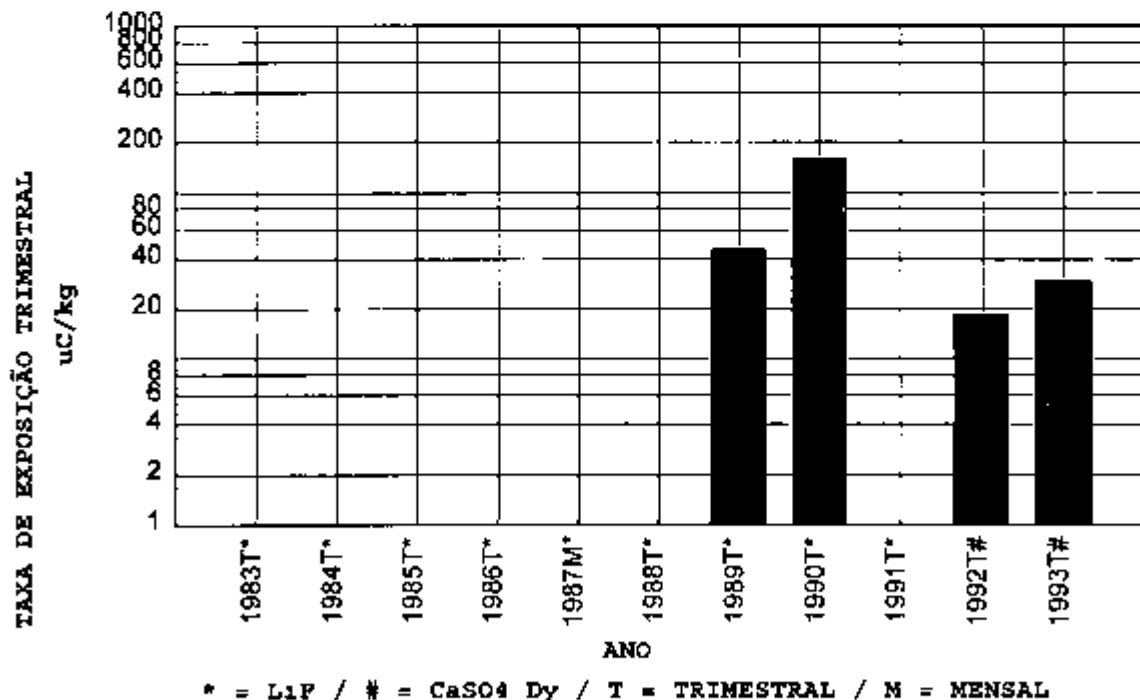


Figura 6 - PONTO 4 médias anuais do ponto de amostragem com dosímetros termoluminescentes

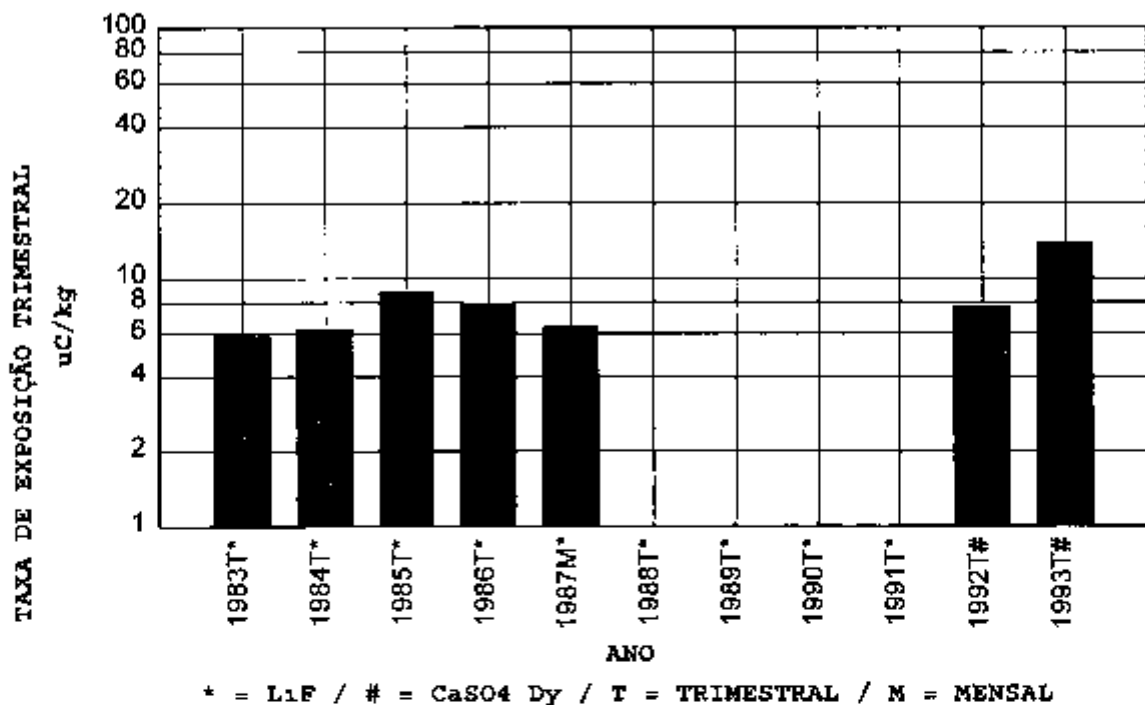


Figura 7 - PONTO 5 médias anuais do ponto de amostragem com dosímetros termoluminescentes

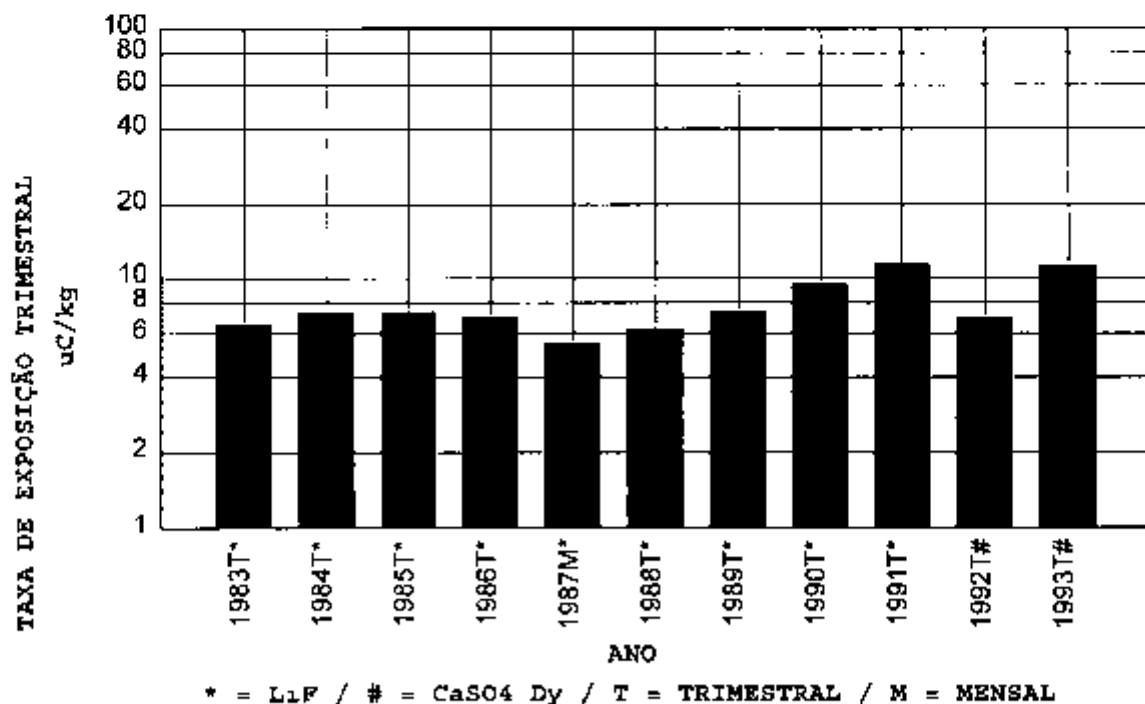


Figura 8 - PONTO 6 médias anuais do ponto de amostragem com dosímetros termoluminescentes

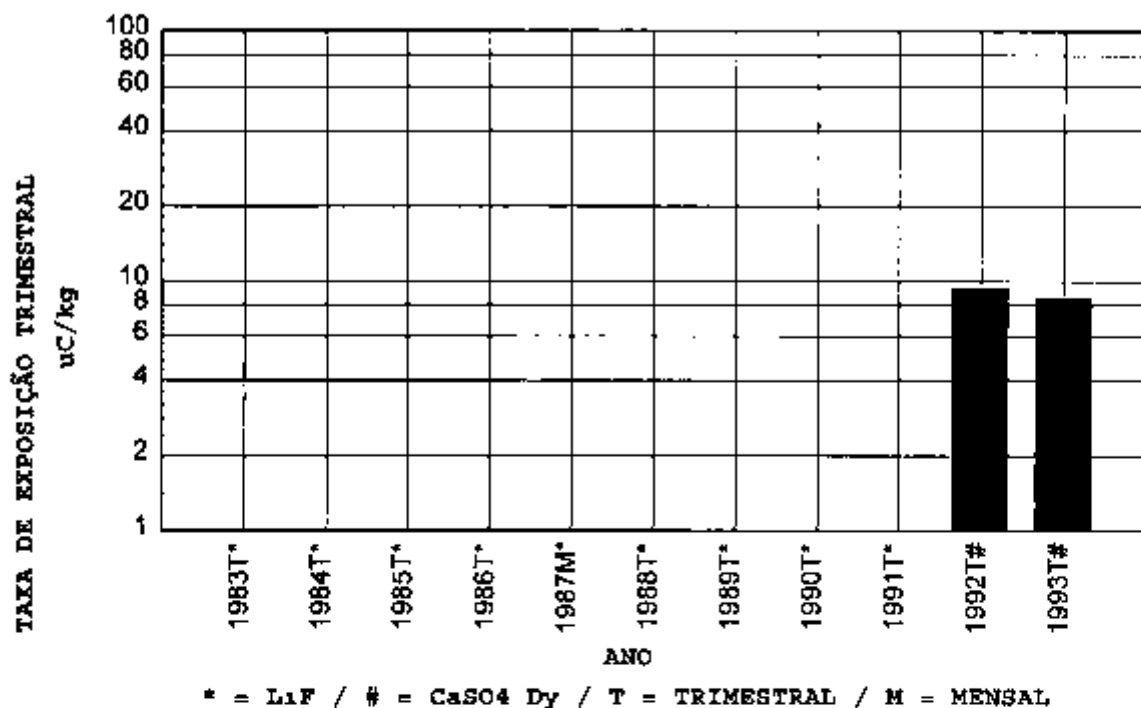


Figura 9 - PONTO 7 médias anuais do ponto de amostragem com dosímetros termoluminescentes

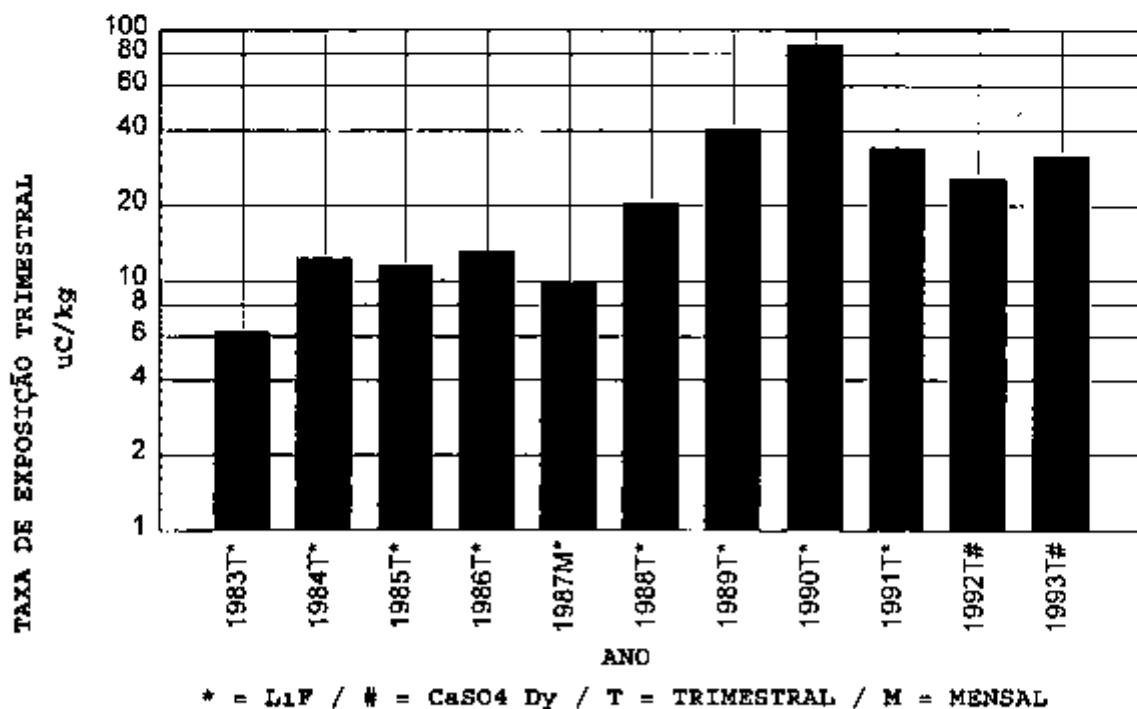


Figura 10- PONTO 8 médias anuais do ponto de amostragem com dosímetros termoluminescentes

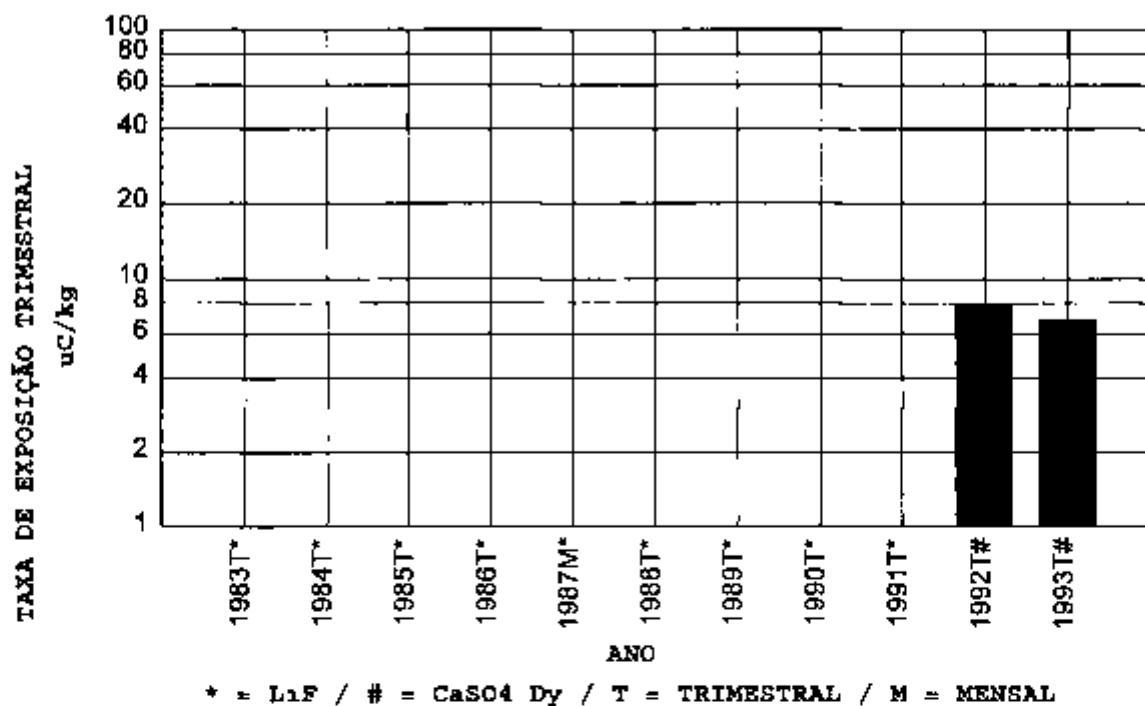


Figura 11- PONTO 11 médias anuais do ponto de amostragem com dosímetros termoluminescentes

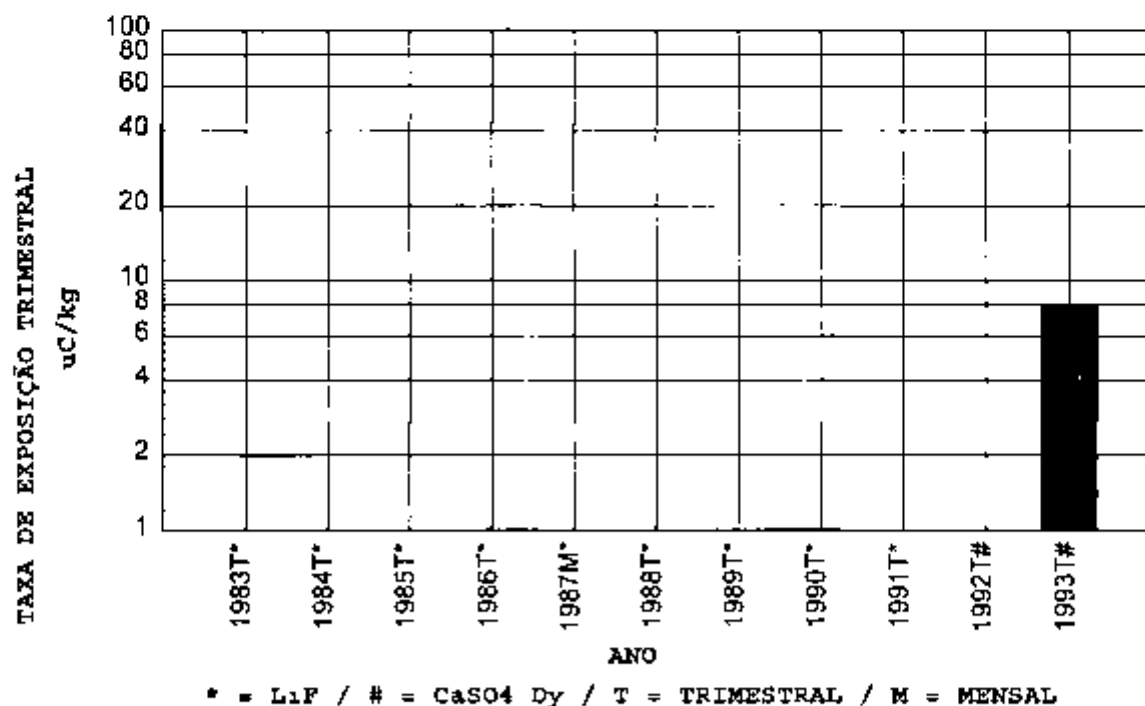


Figura 12- PONTO 13 médias anuais do ponto de amostragem com dosímetros termoluminescentes

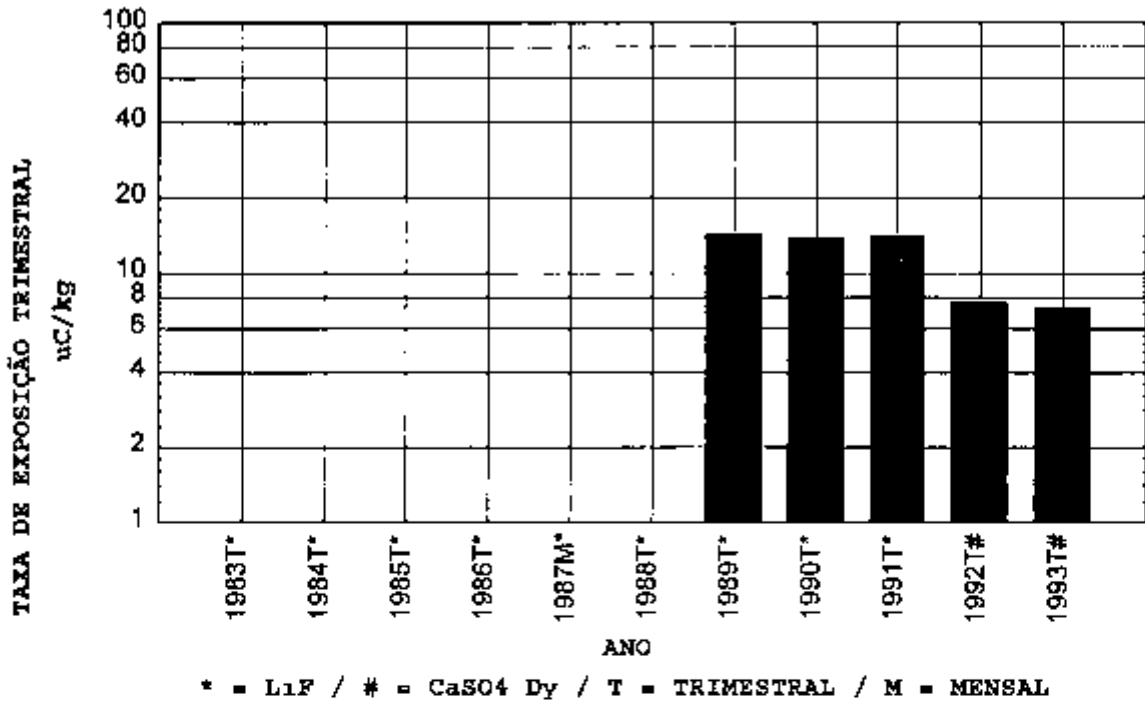


Figura 13- PONTO 24 médias anuais do ponto de amostragem com dosímetros termoluminescentes

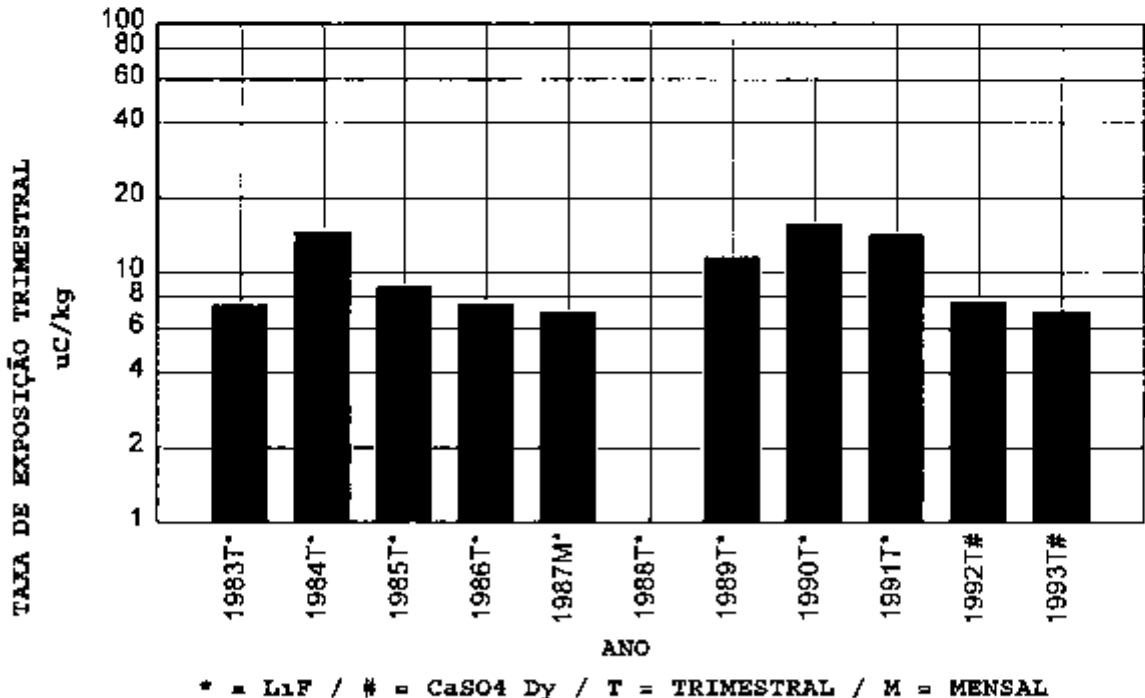


Figura 14- PONTO 25 médias anuais do ponto de amostragem com dosímetros termoluminescentes

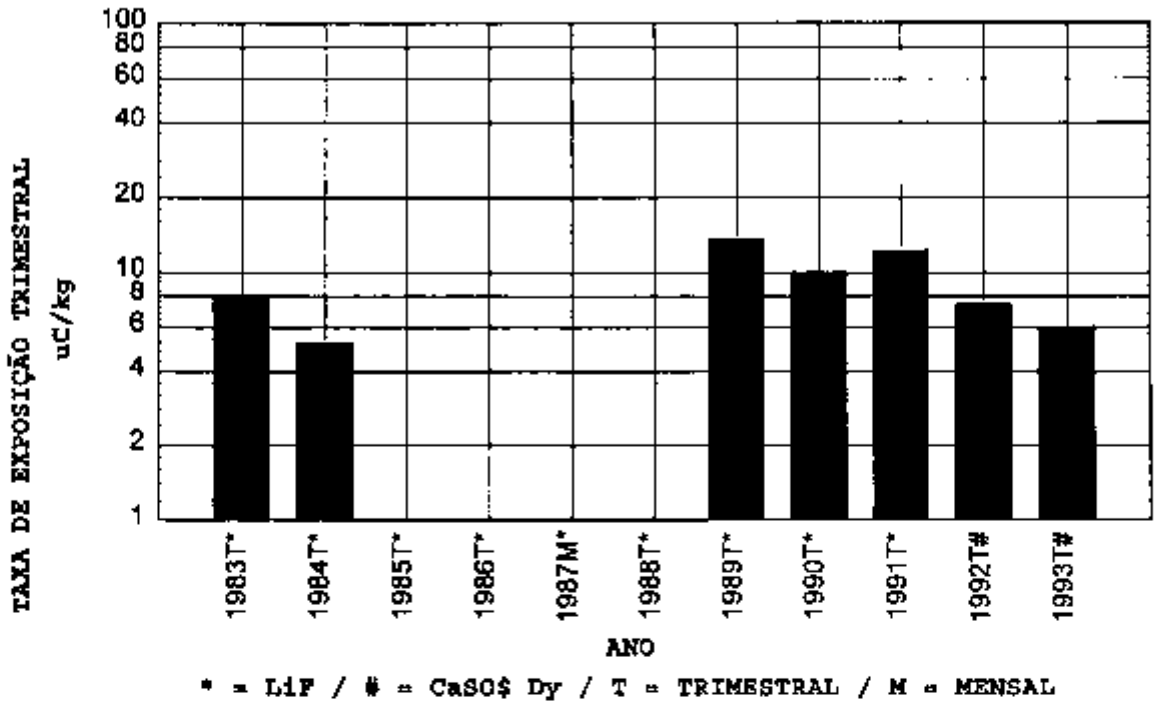


Figura 15- PONTO 26 médias anuais do ponto de amostragem com dosímetros termoluminescentes

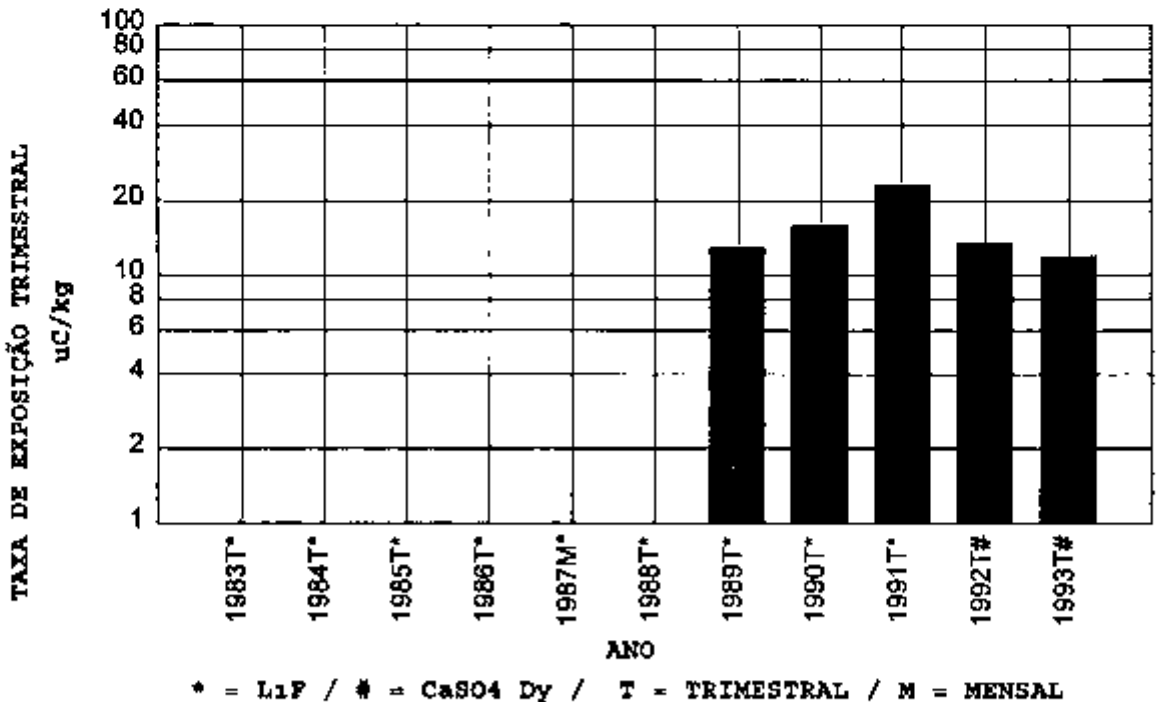


Figura 16- PONTO 27 médias anuais do ponto de amostragem com dosímetros termoluminescentes

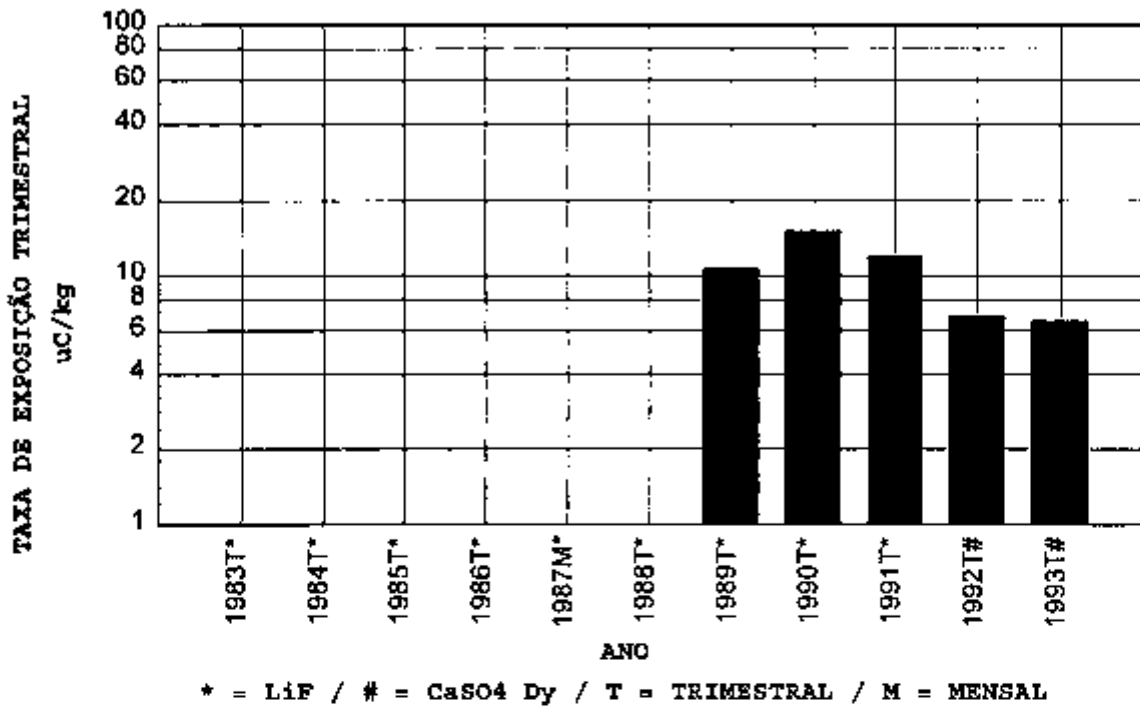


Figura 17- PONTO 28 médias anuais do ponto de amostragem com dosímetros termoluminescentes

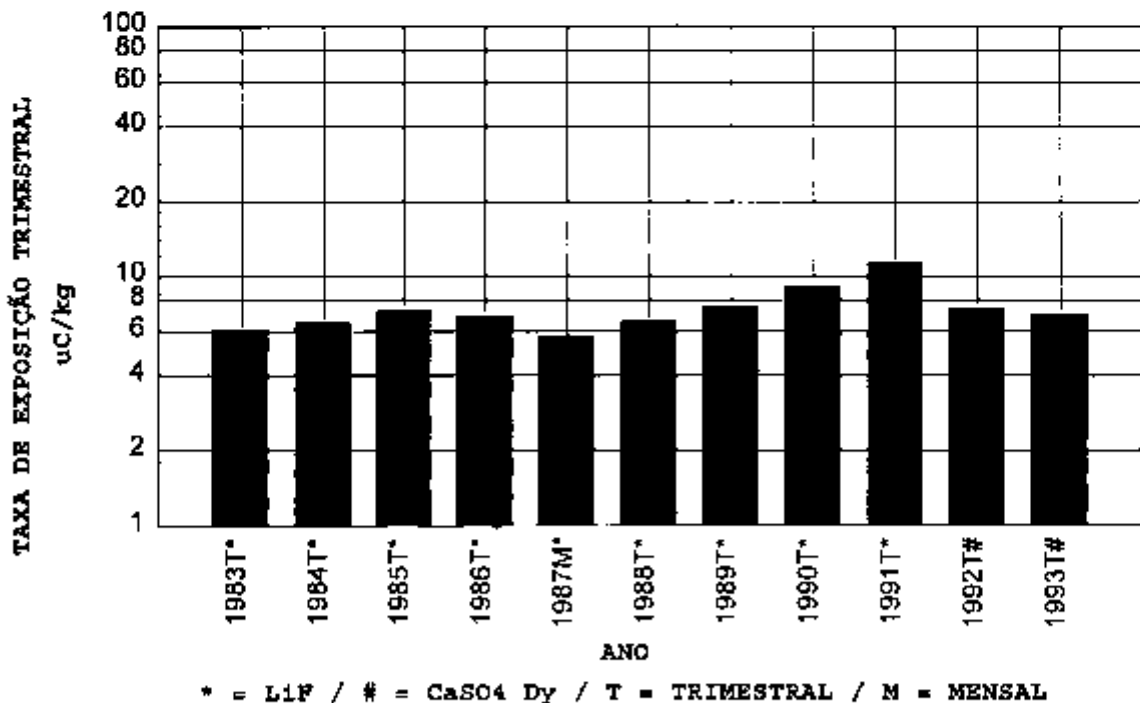


Figura 18- R F médias anuais do ponto de amostragem com dosímetros termoluminescentes

Podemos observar que os valores mais altos estão sempre nas proximidades do ciclotron, da Usina de Reprocessamento, do "bunker" (instalação para irradiação e estocagem de fontes radioativas) e da Unidade de Tratamento de Rejeitos Radioativos Sólidos (pontos 2, 3, 4, 8 e 27) enquanto que os menores valores estão dentro da faixa de variação da radiação de fundo (RF)

Todos os resultados obtidos até o momento confirmaram que a liberação dos efluentes radioativos está sendo devidamente controlada, tal como indica também o termo-fonte anual

Ainda assim, continuaremos realizando o PMA do IPEN como uma "prestação de contas" à sociedade, uma monitoração confirmatória do controle da descarga dos efluentes radioativos para o meio ambiente

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR *Diretrizes básicas de radioproteção* Rio de Janeiro 1988 (CNEN-NE-3 01-88)
- (2) COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR *Gerência de rejeitos radioativos em instalações radioativas* Rio de Janeiro 1985 (CNEN-NE-6 05-85)
- (3) JACOMINO, V M F , GORDON, A M P L , CARVALHO, R N , VENTURINI, L, SANTOS, A J G Programa de Monitoração Ambiental do IPEN-CNEN/SP In CONGRESSO GERAL DE ENERGIA NUCLEAR, 3 , 22-27 de abril, 1990 *Anais* Rio de Janeiro 1990 p 132-139
- (4) CORLEY, C P , DENHAM, D M , JAQUISH, R E , MICHELS, D E , OLSEN, A R , WAITE, D A *A guide for environmental radiological surveillance at U S Department of Energy Installations* Washington, D C , Department of Energy 1981 (DOE/EP-0023)
- (5) GARCIA AGUDO, E , SANCHES, W , SANTOS, J L , MERIGHI, A J Determinação das características hidráulicas da represa Billings utilizando traçadores radioativos In CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 8 , 14-19 de dezembro, 1975 *Anais* Rio de Janeiro 1975
- (6) GARCIA AGUDO, E , SANTOS, J L , MERIGHI, A J , SANCHES, W , ALBUQUERQUE, A M *Estudo do tempo de trânsito das águas dos rios Tietê e Pinheiros* São Paulo, Instituto de Energia Atômica 1976 (IEA-Pub-404)
- (7) TILL, J E & MEYER, H E *Radiological assessment a text book on environmental dose analysis* Washington, D C , Nuclear Regulatory Commission 1983
- (8) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY *Monitoring of airborne and liquid radioactive releases from nuclear facilities to the environment* Vienna 1978 (IAEA-SS-46)
- (9) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY *Objectives and design of environmental monitoring programmes for radioactive contaminants* Vienna 1975 (IAEA-SS-41)
- (10) OMNIGAM Gamma-ray spectrum analysis B30-BI software manual EG&G ORTEC - Oak Ridge, Tenn 1989

- (11) **MANUAL** de procedimentos para execução do programa de monitoração ambiental da usina de enriquecimento de urânio Almirante Álvaro Alberto São Paulo, Divisão de Monitoração Ambiental, Departamento de Proteção Radiológica do IPEN-CNEN/SP 1988 (Informação privada)
- (12) **ROUTTI, J T SAMPO, a FORTRAN IV program for computer analysis of gamma spectra from Ge(Li) detectors and for other spectra with peaks** Berkeley, Calif Univ , California 1969 (UCRL-19452)
- (13) **UNITED STATES REGULATORY COMMISSION Calculation of annual doses to man from routine releases of reactor for the purpose of evaluating compliance with 10CFR part 50, Appendix** Washington, D C 1977 (Regulatory Guide 1 109-77, rev 1)
- (14) **GORDON, A M P L , JACOMINO, V M F , SORDI, G M A A Estimativa das doses na população causadas pelas liberação de efluentes gasosos por uma instalação de produção de radioisótopos** São Paulo 1990 (IPEN-Pub-305)
- (15) **INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY Atmospheric dispersion in nuclear power plant siting** Vienna 1982 (IAEA-SS-50-SG-S3)
- (16) **DOURY, A , GERARO, R , PICOL, M Abaque d'evaluation des transferts atmospheriques d'effluents gazeux** France, Commissariat a L'Energie Atomique 1980 (Rapport DSN-84)
- (17) **VENTURINI, L** Comunicação pessoal
- (18) **INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY Generic models and parameters for assessing the environmental transfer of radionuclides from routine releases** Vienna 1982 (IAEA-SS-57)



Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira
Caixa Postal 11049 CEP 05422-970 Pinheiros
Tel (011) 816-9000 End Telegráfico IPENUCLEAR
Telex (11) 83862 IPEN BR Fax (011) 212-3840
São Paulo SP Brasil