

EXPOSIÇÃO DOS INDIVÍDUOS DO PÚBLICO DECORRENTE DA DESCARGA DE
EFLUENTES LÍQUIDOS RADIOATIVOS PROVENIENTES DO IPEN-CNEN/SP

Fátima Fernandes Della Rocca - Aluna de pós-graduação
Goro Hiromoto - Pesquisador
Gian-Maria A.A.Sordi - Assessor técnico-científico

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
Comissão Nacional de Energia Nuclear
Caixa Postal 11049 - São Paulo, Brasil

I INTRODUÇÃO

O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) se localiza no "campus" da Universidade de São Paulo, no bairro do Butantã, a uma distância de aproximadamente 10,5 km do ponto central da cidade de São Paulo.

O efluente líquido radioativo gerado no IPEN é descarregado, após monitoração, no sistema aquático sob sua influência, de forma única ou fracionada de acordo com o limite de descarga adotado (CNEN 1985).

A fim de se estimar a dose nos indivíduos do público devido à liberação de efluentes líquidos radioativos pelo IPEN, procedeu-se a uma reavaliação das possíveis vias de exposição, englobando alterações ocorridas nos últimos anos nas características de uso e ocupação da região sob influência do IPEN.

A dose resultante devido às vias de exposição identificadas foi calculada com a aplicação dos modelos de dispersão e transferência sugeridos pela Agência Internacional de Energia Atômica (1982) para os grupos populacionais mais expostos em cada caso.

Neste trabalho são apresentadas as características principais do meio sob influência do IPEN e os valores de dose nos grupos populacionais mais expostos através das vias de exposição identificadas.

II CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA AQUÁTICO SOB INFLUÊNCIA DO IPEN

Os efluentes gerados pelas instalações do IPEN são, após monitoração, liberados ao meio ambiente através da rede de esgoto sanitário do IPEN, que se liga à rede da Cidade Universitária e desemboca na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Pinheiros da SABESP.

Na ETE Pinheiros, o esgoto passa por um processo de decantação pelo qual é retirada uma pequena fração de material sólido (0,03% do volume total de esgoto que entra na ETE). O tempo de permanência do esgoto no tanque de decantação é, em média, 2 horas. A parte líquida que sai do tanque de decantação é descarregada no canal Pinheiros a uma vazão média de 3 m³/s.

O canal Pinheiros foi formado na década de 30 pela canalização dos rios Grande e Pinheiros no trecho compreendido entre o reservatório Billings e a confluência com o rio Tietê, numa extensão de 26200 m.

Simultaneamente, foi construído no sistema Tietê-Pinheiros um conjunto elevatório que possibilitou a reversão das águas da Bacia do Alto Tietê e a sua condução através do canal Pinheiros até o reservatório Billings, visando o seu aproveitamento para a geração de energia na Usina Hidrelétrica Henry Borden, em Cubatão.

O conjunto elevatório é composto por duas barragens e duas usinas elevatórias: Barragem Edgar de Souza, localizada no rio Tietê no município de Santana de Parnaíba; Estrutura do Retiro, no canal Pinheiros junto à confluência com o rio Tietê; Usina Elevatória de Traição, localizada no canal Pinheiros; e Usina Elevatória de Pedreira, construída no canal Pinheiros, junto ao reservatório Billings.

A localização do IPEN junto à Bacia do Alto Tietê e reservatório Billings é mostrada na Figura 1.

A Usina Elevatória de Traição divide o canal Pinheiros em 2 trechos: Superior (entre Traição e Pedreira) e Inferior (entre Traição e a confluência com o rio Tietê), cujas principais características são:

Canal Pinheiros Superior:

- extensão: 15.461 m;
- largura média: 87,40 m;
- seção livre média de água: 333,8 m².

Canal Pinheiros Inferior :

- extensão: 10.740 m;
- largura média: 81,70 m;
- seção livre média de água: 336,0 m².

As Usinas Elevatórias de Traição e Pedreira possuem unidades geradoras reversíveis, podendo bombear as águas do canal Pinheiros tanto em sentido Billings quanto em sentido Tietê. Entretanto, até o início de outubro/92 a operação predominante encaminhava as águas para o reservatório Billings. A partir de 05 de outubro foi suspenso o bombeamento das águas do Pinheiros para a Billings, seguindo a Constituição paulista que fixava essa data como prazo final para o início da despoluição do reservatório Billings, visando sua futura utilização como manancial de abastecimento de água para a Região Metropolitana de São Paulo.

Porém, mesmo após esta data o bombeamento não foi completamente interrompido, sendo previstos casos emergenciais nos quais o bombeamento será reiniciado. São eles: quando houver ameaça de inundação do rio Tietê na Região Metropolitana de São Paulo; quando houver formação e concentração de espumas de detergentes não degradáveis, extravasando o espelho d'água à jusante da Barragem Edgar de Souza; quando houver o florescimento e expansão de algas nos rios da Região Metropolitana de São Paulo e do Médio Tietê, comprometendo a qualidade da água para fins de abastecimento; para assegurar a geração de energia em Henry Borden em casos de emergência; e para evitar que, por insuficiência de vazão, a maré alta invada o rio Cubatão, aumentando sua salinidade e colocando em risco o funcionamento do parque industrial local.

A máxima capacidade de bombeamento da Usina de Pedreira para a Billings é de 320 m³/s. No período anterior a outubro de 1992, a vazão média bombeada em Pedreira foi de 70 m³/s, enquanto que em época de cheias atingia-se o valor médio de 130 m³/s.

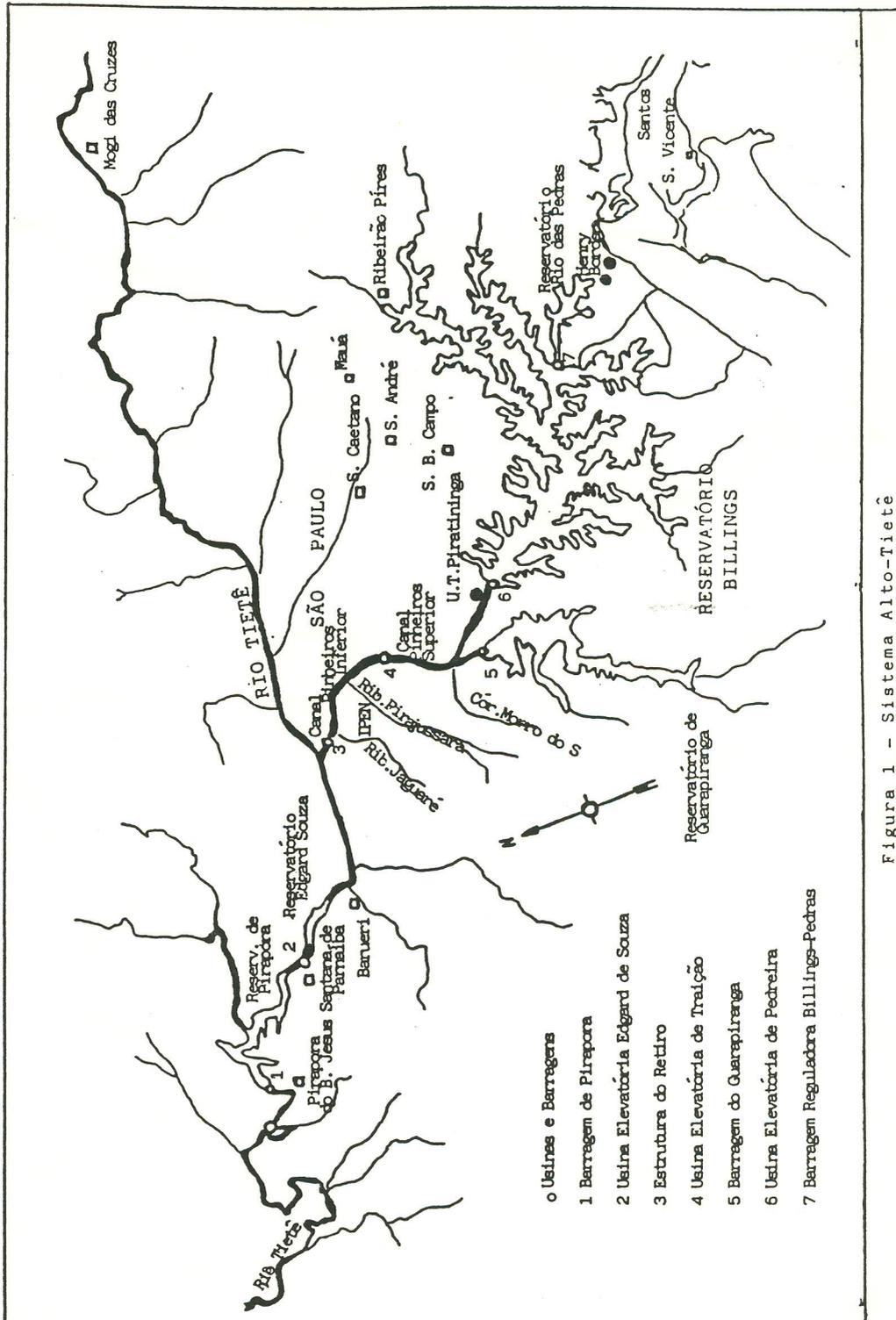


Figura 1 - Sistema Alto-Tietê

...pos o início de 1992, o bombeamento em Pedreira tem se dado em época de alta pluviosidade, quando há ameaça de inundação na região metropolitana de São Paulo. A vazão média atual do canal Pinheiros no sentido Billings - Tietê não ultrapassa $10 \text{ m}^3/\text{s}$, que é uma vazão bastante baixa quando comparada à vazão média bombeada para a Billings em períodos de cheias do rio Tietê, que é de $70 \text{ m}^3/\text{s}$.

II.1. RESERVATÓRIO BILLINGS

O reservatório Billings foi formado pelo barramento do rio Grande em Pedreira e posteriormente aumentado pela construção do conjunto elevatório que possibilitou a reversão das águas da bacia do Alto Tietê para geração de energia na Usina Hidrelétrica de Henry Borden.

Abrange os municípios de São Paulo, São Bernardo do Campo, Santo André, Diadema, Ribeirão Pires e Rio Grande da Serra. Possui capacidade de armazenamento útil de $1.148.750.000 \text{ m}^3$, nível útil máximo de $747,65 \text{ m}$ e inunda uma área de $126,8 \text{ km}^2$, perfazendo um perímetro de 900 km .

Em 1981 o reservatório foi dividido em dois compartimentos pela construção da Barragem Anchieta no rio Grande, em São Bernardo do Campo. Desta forma, separou-se o braço do rio Grande do restante do reservatório. As principais características dos dois compartimentos são:

Compartimento Rio Grande - Possui capacidade de armazenamento útil de $153.147.000 \text{ m}^3$ e inunda uma área de $20,25 \text{ km}^2$;

Compartimento de Pedreira - Possui capacidade de armazenamento útil de $995.603.000 \text{ m}^3$ e inunda uma área de $106,55 \text{ km}^2$.

O reservatório Billings possui vários afluentes naturais, que somam uma vazão afluente anual média de $20,7 \text{ m}^3/\text{s}$. O sentido natural de escoamento destas águas é dos braços para o corpo principal, entretanto em época de chuvas, quando o bombeamento em Pedreira proporciona uma vazão muito maior do que a natural, as águas do corpo principal invadem os braços do reservatório.

O sentido de escoamento do corpo central do reservatório é determinado pelo bombeamento em Pedreira e pela tomada d' água da Usina Henry Borden no reservatório do rio das Pedras, sendo o inverso do originalmente existente no rio Grande antes do represamento.

Próximo à Pedreira, as águas do canal Pinheiros são utilizadas pela Usina Térmica Piratininga para refrigeração, estando portanto a uma temperatura maior do que as águas do reservatório Billings.

Em estudo realizado no reservatório (Garcia Agudo et al. 1975) observou-se que as águas bombeadas atingem rapidamente a superfície, devido à alta temperatura, e se deslocam em direção oblíqua com relação ao eixo do reservatório, gerando uma corrente de recirculação na primeira seção do reservatório.

Com isso as águas bombeadas misturam-se com as já existentes, ficando retidas alguns dias nesta seção de 2 km de extensão. Medições mostraram uma excelente homogeneização das águas bombeadas no trecho inicial do reservatório, tanto em largura quanto em profundidade. Na saída desta primeira bacia foram medidas velocidades da ordem de 7 cm/s , em época de alta pluviosidade.

Nesse estudo foram obtidas as curvas de passagem em 6 seções ao longo do reservatório, tendo sido determinado o tempo de trânsito desde Pedreira até cada uma delas. O valor obtido para a primeira seção a partir de Pedreira (2 km) foi 16,3 dias.

II.2. RIO TIETÊ

O rio Tietê nasce no extremo leste do estado de São Paulo, no município de Salesópolis, e segue sentido leste-oeste, atravessando a zona mais urbanizada de São Paulo. A partir da entrada de São Paulo até a Barragem de Pirapora tem-se a Bacia do Alto Tietê.

O escoamento do rio Tietê neste trecho depende das condições de operação do sistema elevatório. Atualmente, devido a suspensão do bombeamento em Pedreira, as águas do Alto Tietê são descarregadas Tietê abaixo. Esta situação somente tem sido alterada na operação Controle de Cheias, quando as águas do Tietê que atingem o canal Pinheiros são bombeadas para o reservatório Billings.

A vazão média anual do Alto Tietê, na Barragem Edgard de Souza, em época de cheias é 150 m³/s, enquanto que em época de estiagem tem o valor de 90 m³/s.

II.3. USO E OCUPAÇÃO DOS CORPOS D'ÁGUA SOB INFLUÊNCIA DO IPEN

As águas do rio Tietê, na região que engloba a Zona Metropolitana de São Paulo até a Barragem de Pirapora, e do canal Pinheiros foram enquadradas na classe 4 segundo Resolução do CONAMA nº 20 de 18/06/86 (CONAMA 1986), que são águas destinadas aos usos menos exigentes. Sua qualidade é péssima e seu uso restrito aos sistemas de resfriamento e combate a incêndios de indústrias próximas às suas margens.

A ocupação do solo próximo do canal Pinheiros é tipicamente urbana, não sendo verificado seu uso para agricultura ou outro fim mais nobre.

O leito do canal Pinheiros é dragado continuamente em pontos de perda de carga devido ao assoreamento provocado pelo acúmulo de material sólido carreado pelos seus afluentes. O material dragado é disposto em botaforas nas margens do canal, onde sofre decantação e secagem ao ar livre. Depois de seco, o sedimento dragado é retirado dos botaforas e transportado para aterros definitivos no município de São Paulo.

Verificou-se que muitos dos botaforas existentes nas margens do Pinheiros não possuem cerca ou qualquer outra estrutura que impeça a entrada de pessoas, o que possibilita o seu uso como área de lazer pelos moradores das vizinhanças, principalmente crianças.

Com relação ao reservatório Billings, a análise relacionada ao uso e ocupação de suas águas e solo mostrou uma ocupação descontrolada do solo, através de crescente formação de conjuntos habitacionais, favelas e loteamentos clandestinos, sem quaisquer sistemas de esgoto e/ou abastecimento de água (SEHAB 1991).

Esta situação faz com que a população residente nas margens do reservatório utilize suas águas para fins diversos, apesar de seu conhecido nível de poluição. Dentre estes fins, pode-se citar a recreação de contato primário (natação), irrigação de horticulturas para uso doméstico e pesca nos locais onde há vida aquática.

As Figuras 2 e 3 apresentam um esboço da situação de ocupação das áreas mais próximas às margens do reservatório em termos de uso do solo e densidade demográfica, respectivamente.

Além dos usos já citados, as águas do reservatório são utilizadas para a geração de energia na Usina Hidrelétrica Henry Borden, para aumentar a vazão do rio Cubatão na Baixada Santista, e para abastecimento público da região do ABC pela captação no braço seccionado do rio Grande, e da Baixada Santista em situações de emergência.

III. VIAS DE EXPOSIÇÃO

Tendo-se em vista o uso e ocupação das águas e do solo dos corpos d'água sob influência do IPEN pode-se concluir que os possíveis modos de exposição são os seguintes:

- i) Exposição externa dos trabalhadores que retiram o sedimento contaminado dos botaforas nas margens do canal Pinheiros;
- ii) Exposição interna dos trabalhadores que retiram o sedimento contaminado dos botaforas, devido a inalação de pó contaminado;
- iii) Exposição interna dos moradores de áreas nas margens do reservatório Billings, devido ao consumo de hortifrutícolas irrigados com água contaminada do reservatório;
- iv) Exposição interna pelo consumo de peixes contaminados pescados no reservatório Billings;
- v) Exposição devido à recreação de contato primário no reservatório Billings.

IV. AVALIAÇÃO DE DOSE

Considerando-se as possíveis vias de exposição, a estimativa de dose nos indivíduos do público foi efetuada utilizando-se os seguintes modelos genéricos propostos pela AIEA:

- a) Concentração na água do Rio Pinheiros

$$C_{w,i} = \frac{Q_i}{R} \exp(-\lambda_i t_p),$$

- onde $C_{w,i}$ = concentração média do radionuclídeo i na água do rio (Bq/L)
 Q_i = taxa de descarga do radionuclídeo i no rio (Bq/ano)
 R = vazão média do rio (L/ano)
 λ_i = constante de decaimento do radionuclídeo i (h)
 t_p = tempo de trânsito médio ao ponto de interesse (h)

- b) Concentração na represa Billings

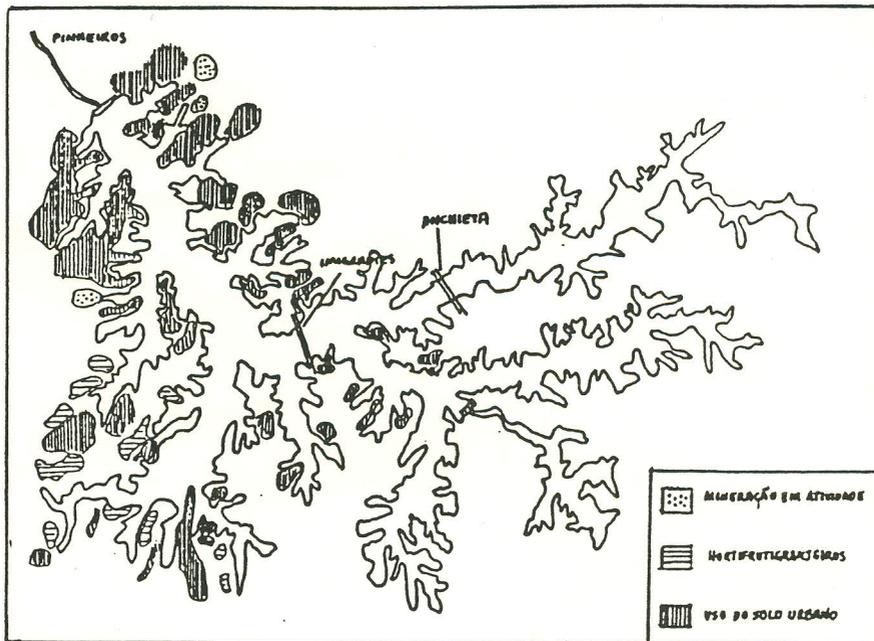


Figura 2 - Reservatório Billings - Uso do solo

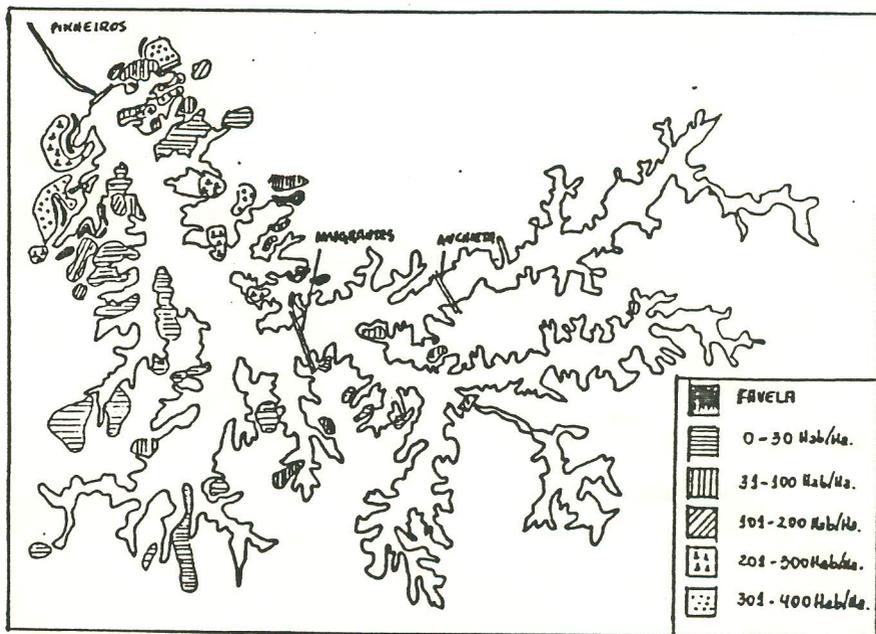


Figura 3 - Reservatório Billings - Densidade demográfica

$$C_{wB,i} = C_{w,i} \exp(-\lambda_i t_p)$$

onde $C_{wB,i}$ = concentração média do radionuclídeo i na represa Billings

c) Concentração na vegetação

$$C_{v,i} = \left[\frac{d_i R [1 - \exp(-\lambda_{v,i} t_e)]}{Y \lambda_{v,i}} + C_{so,i} B_v \right] \exp(-\lambda_i t_h)$$

$$C_{so,i} = \frac{d_i [1 - \exp(-\lambda_{s,i} t_b)]}{P \lambda_{s,i}}$$

$$\lambda_{v,i} = \lambda_i + \lambda_w$$

$$\lambda_{s,i} = \lambda_i + \lambda_{l,i}$$

$$\lambda_{l,i} = \frac{V}{15(1 + d K_{d,i}/n)}$$

onde $d_i = C_{wB,i} \times I$

$C_{v,i}$ = concentração do radionuclídeo i na vegetação (Bq/kg)

$C_{s,i}$ = concentração do radionuclídeo i no solo (Bq/kg)

d_i = taxa de deposição do radionuclídeo i no solo (Bq/m².h)

I = taxa de irrigação (L/m².h)

R = fração interceptada pela vegetação durante o processo de irrigação

$\lambda_{v,i}$ = constante de remoção efetiva do radionuclídeo i da vegetação (h⁻¹)

λ_w = constante de remoção da vegetação por outros processos, que não o decaimento radioativo (h⁻¹)

$\lambda_{s,i}$ = constante de remoção efetiva do radionuclídeo i do solo (h⁻¹)

λ_l = constante de remoção do solo por outros processos, que não o decaimento radioativo (h⁻¹)

V = velocidade de percolação da água no solo (cm/ano)

d = densidade do solo (g/cm³)

n = porosidade do solo

$K_{d,i}$ = coeficiente de distribuição do radionuclídeo i, no solo (cm³/g)

t_e = tempo de exposição da vegetação durante seu período de crescimento (h⁻¹)

Y = produtividade da parte comestível da vegetação (kg/m²)

B_v = fator de transferência solo/vegetação (Bq.kg⁻¹/Bq.kg⁻¹)

t_b = densidade superficial efetiva do solo (kg/m²)

t_h = tempo decorrido entre a colheita e o consumo da vegetação (h⁻¹)

d) Concentração em peixes

$$C_{p,i} = C_{wB,i} \times F_{c,i}$$

onde $C_{p,i}$ = concentração do radionuclídeo i na parte comestível do peixe (Bq/kg)

$F_{c,i}$ = fator de transferência água/peixe (L/kg)

e) Concentração no sedimento do rio e botaforas

$$C_{s,i} = K_{c,i} C_{w,i} \frac{[1 - \exp(-\lambda_i t_b)]}{\lambda_i}$$

onde $C_{w,i}$
 $K_{c,i}$
 t_b
 f) Conce
 disponib
 condiçõe
 $S_i = C_{s,i}$
 onde S_i
 1,6
 A
 $K = 1,0 \times 10^{-1}$
 $K = A \exp$
 onde A v
 Portanto,
 $C_{ar,i} = S_i$
 onde $C_{ar,i}$
 A
 anuais, co
 obtidos do
 Par
 foram ado
 consumo d
 contato pri
 h/ano. Para
 citados na
 Th foram s
 (Ferreira L
 Cor
 radionuclíd
 V. RESULT
 Na
 indivíduos
 A c
 totalidade d
 A c
 atividades l

onde $C_{s,i}$ = concentração do radionuclídeo i no sedimento (Bq/kg)
 $K_{c,i}$ = coeficiente de transferência dinâmico da água para o sedimento (L/kg.h)
 t_b = período de tempo no qual o sedimento fica exposto à água contaminada (h)

f) Concentração no ar sobre o botafora

A estimativa da concentração superficial no botafora foi feita considerando-se uma disponibilidade de 0,1 m de camada seca de sedimento para ressuspensão. Nestas condições, a contaminação superficial é dada por:

$$S_i = C_{s,i} \times 1,6 \times 10^3 \times 0,1 = 160 C_s$$

onde S_i = concentração do radionuclídeo i no botafora (Bq/m²)
 $1,6 \times 10^3$ = densidade do sedimento (kg/m³)

A concentração no ar foi calculada adotando-se um fator de ressuspensão $K = 1,0 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$, correspondendo ao máximo valor obtido da expressão (IAEA 1982):

$$K = A \exp(-\lambda_1 t) + B \exp(-\lambda_2 t)$$

onde A varia de 10^{-4} a 10^{-6} m^{-1} , e B varia de 10^{-8} a 10^{-10} m^{-1} .

Portanto,

$$C_{ar,i} = S_i \times 1,0 \times 10^{-4}$$

onde $C_{ar,i}$ = concentração do radionuclídeo i no ar, sobre o botafora (Bq/m³)

As doses individuais foram estimadas a partir dos valores de ingestão e inalação anuais, considerando-se as possíveis vias de exposição e fatores de conversão de dose obtidos do ICPR-30 (1979) e Kocher (1979).

Para o consumo local de alimentos e ocupação da represa Billings e dos botaforas, foram adotados os seguintes valores: (1) consumo de hortaliças: 50 kg/ano-pessoa; (2) consumo de peixes: 10 kg/ano-pessoa; (3) ocupação da represa Billings para recreação de contato primário: 100 h/ano-pessoa; e (4) ocupação média dos botaforas por indivíduo: 160 h/ano. Para as variáveis em que não há dados específicos disponíveis, adotou-se os valores citados na publicação da AIEA (IAEA 1982). Os valores de K_d para ⁶⁰Co, ¹³⁷Cs e ²³²Th foram selecionados de trabalhos experimentais realizados no sedimento do rio Pinheiros (Ferreira Lima 1992).

Como termo-fonte, apresentado na Tabela 1, considerou-se a atividade média dos radionuclídeos liberados pelo IPEN nos últimos 5 anos.

V. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Na Tabela 1 são apresentados os resultados obtidos de dose equivalente efetiva nos indivíduos do público, para as várias vias de exposição.

A coluna 1 indica os 5 radionuclídeos que contribuem com praticamente a totalidade das doses para cada via considerada.

A coluna 2 indica o respectivo termo-fonte, considerando-se o valor médio das atividades liberadas nos efluentes líquidos, nos últimos 5 anos.

A coluna 3 indica a dose equivalente efetiva comprometida decorrente da ingestão de hortaliças nas imediações da represa Billings.

A coluna 4 indica a dose equivalente efetiva comprometida decorrente da ingestão de peixes da represa Billings.

A coluna 5 indica a dose equivalente efetiva decorrente da prática de recreação de contato primário na represa Billings.

A coluna 6 indica a dose equivalente efetiva decorrente da exposição direta ao sedimento depositado no botafora.

A coluna 7 indica a dose equivalente efetiva comprometida decorrente da ressuspensão do sedimento no botafora.

Tabela 1. Dose equivalente efetiva nos indivíduos do público devido a diferentes vias de exposição

Elemento	Termo-fonte (Bq/ano)	Hortaliças (mSv/ano)	Peixes (mSv/ano)	Natação (mSv/ano)	Botafora (mSv/ano)	Ar (mSv/ano)
Co-60	3.7E+08	2.9E-07	3.7E-06	1.0E-08	2.7E-05	7.1E-05
Cs-137	9.5E+07	1.7E-07	1.2E-05	7.2E-10	2.1E-06	3.4E-06
Th-232	1.2E+07	9.1E-07	1.2E-06	3.1E-14	3.2E-11	2.4E-02
Ra-228	7.7E+06	3.2E-07	6.8E-07	8.5E-11	2.3E-07	3.3E-05
U-nat	5.4E+08	4.0E-06	1.7E-06	9.8E-13	5.8E-10	4.5E-03
Total	1.0E+09	5.7E-06	1.9E-05	1.1E-08	2.9E-05	2.9E-02

Os resultados mostram que a inalação do ar durante as atividades de remoção do sedimento do botafora, é a única via de exposição a ser considerada, mantidas as atuais características de uso e ocupação da região e níveis de descarga de efluentes no rio Pinheiros. A contribuição das demais vias para a dose total é negligenciável, considerando-se que o limite anual de dose para indivíduos do público é de 1 mSv/ano.

Como pode ser observado, a dose devido à inalação de ^{232}Th e U_{nat} corresponde a aproximadamente 3% do limite anual de dose. Embora esse valor não seja significativo sob o ponto de vista radiológico, convém salientar que o mesmo foi obtido adotando-se hipóteses bastante conservativas no modelo de cálculo da concentração de radionuclídeos no sedimento disposto nos botaforas, bem como na modelagem da suspensão à atmosfera. Estudos estão sendo desenvolvidos visando o equacionamento mais realista das vias de exposição identificadas neste trabalho e, em particular, aquelas diretamente relacionadas à concentração de radionuclídeos no sedimento.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Gerência de Rejeitos Radioativos em Instalações Radioativas*. 1985. (CNEN-NE-6.05-85).
2. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. *Resoluções do CONAMA 1984/86*. Jun., 1986.

3. FERREIRA LIMA, M. *Determinação dos coeficientes de distribuição para os radionuclídeos ^{137}Cs , ^{60}Co e ^{234}Th* . São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. 1992 (Dissertação de Mestrado).
4. GARCIA AGUDO, E.; SANCHES, W.; SANTOS, J. L.; MERIGHI, A. J. Determinação das Características Hidráulicas da Represa Billings Utilizando Traçadores Radioativos. In: ABES. *Anais do VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, realizado no Rio de Janeiro, 14-19 dezembro, 1975*. Rio de Janeiro, 1975.
5. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Generic models and parameters for assessing the environmental transfer of radionuclides from routine releases: exposures of critical groups*. Vienna, Aug., 1982 (IAEA-SS-57).
6. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. *Limits for intakes of radionuclides by workers*. Oxford, Pergamon, 1979 (ICRP-30).
7. KOCHER, D.C. *Dose-rate conversion factors for external exposure to photon and electron radiation from radionuclides occurring in routine releases from nuclear fuel cycle facilities*. Washington, D.C., U.S. Nuclear Regulatory Commission. 1979 (NUREG/CR-0494).
8. SEHAB. *Adequação de projeto habitacional (Glebas Chácara do Conde) aos objetivos de proteção dos mananciais- Reservatório Billings*. Prefeitura Municipal de São Paulo 1991. (Relatório R1).
9. UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. *Calculation of annual doses to man from routine releases of reactor effluents for the purpose of evaluating compliance with 10 CFR Part 50, Appendix I*. Washington, D.C. 1977. (Regulatory Guide 1.109 - Rev.1)