

WLADIMYR SANCHES
EDMUNDO GARCIA AGUDO
JOSÉ LEOMAX DOS SANTOS

Soma OK

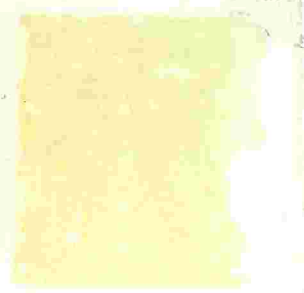


CURSO DE SEGURANÇA RADIOLÓGICA PARA
GAMAGRAFIA INDUSTRIAL

CETESB - CIL DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA - Prof. Dr. Lucas Nogueira Garcez
Av. Prof. Frederico Hermann Junior, 345 - Pinheiros
05489-900 - SÃO PAULO - BRASIL

SÃO PAULO

1977



9601
Sa55c
002571

CLASS.	
AUT.	
TOMO	2571

Wladimir Sanchez
Edmundo Garcia Arudo
Jose Leonax Dos Santos

CURSO DE SEGURANCA RADIOLOGICA PARA

GAMAGRAFIA INDUSTRIAL

1. Nome - Wladimir Sanchez
2. Endereco - Rua da Ind. Logica, 345 - Friburgo
3. Cidade - Sao Paulo - Brasil

Sao Paulo

1977

SUMÁRIO:

- . BLINDAGEM PARA RADIAÇÃO X
- . ESTRUTURA DA MATERIA E NOÇÕES DE FÍSICA NUCLEAR
- . EFEITOS BIOLÓGICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE
- . CALIBRAÇÃO DE APARELHOS DE LEVANTAMENTO RADIOMÉTRICO
- . DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE ABSORÇÃO LINEAR E DE MASSA PARA RADIAÇÃO GAMA DE DIFERENTES ENERGIAS
- . RECUPERAÇÃO DE FONTES DE GAMAGRAFIA QUE SE DESPRENDEM DOS CABOS DE COMANDO E DO INTERIOR DOS IRRADIADORES
- . ABSORÇÃO DA RADIAÇÃO NÃO COLINADA
- . SEGURANÇA RADIOLÓGICA (MATEMÁTICAS)

6.9/04

ES/PL1000/02

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB

CURSO DE SEGURANÇA RADIOLÓGICA PARA CANDIDATOS A
SUPERVISOR NA ÁREA DE GAMAGRAFIA INDUSTRIAL.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA Prof. Dr. Lucas Nogueira Garcez
Av. Prof. Frederico Hermann Junior, 345 - Pinheiros
05489-900 - SÃO PAULO - BRASIL

BLINDAGEM PARA RADIAÇÃO X

Dr. WLADIMYR SANCHEZ

AGOSTO DE 1977

A FLUOROSCOPIA E A RADIAÇÃO X.

A fluoroscopia é um método de ensaio não destrutivo que utiliza a propriedade de penetração da radiação eletromagnética X, através de um corpo de prova, para analisar suas eventuais descontinuidades metálicas, projetadas em uma tela fluorescente. O sistema geométrico de exposição, formado por aparelho de raios-X, corpo de prova e detector é semelhante ao do ensaio radiográfico. O tubo de imagem, a televisão e os componentes eletrônicos associados constituem vantagem econômica sobre o ensaio radiográfico porque, ao longo do tempo, custam menos que os filmes radiográficos. A desvantagem dessa técnica, quando comparada com o ensaio radiográfico, diz respeito a inferior qualidade de imagem.

O componente principal da fluoroscopia é o aparelho de raios X, porque a fluorescência é uma função linear da intensidade dos raios X. Representa-se na figura 1 a relação entre a exposição, em roentgen e a tensão de pico, para uma corrente fixa de 1 mA, na saída do tubo (janela). É importante que os operadores dos aparelhos de raios X conheçam as taxas de exposição, quando o tubo encontra-se em funcionamento, para protegerem-se adequadamente.

A dose limite derivada do trabalho mensal, para os operadores de aparelhos de raios X também é 400 mRem. Essa dose pode se apresentar distribuída uniformemente ao longo do mês de trabalho ou concentrada. O importante, do ponto de vista da segurança radiológica é que essa dose limite não seja ultrapassada.

No cálculo de blindagens assume-se que a exposição a radiação é uniforme, ao longo da jornada de trabalho. Por isso, o limite de dose, nas superfícies das blindagens é considerado constante.

Para propósitos práticos, considera-se a dose limite semanal como 100 mRem, ou seja 20 mRem/dia, para jornada de trabalho de se

.../...

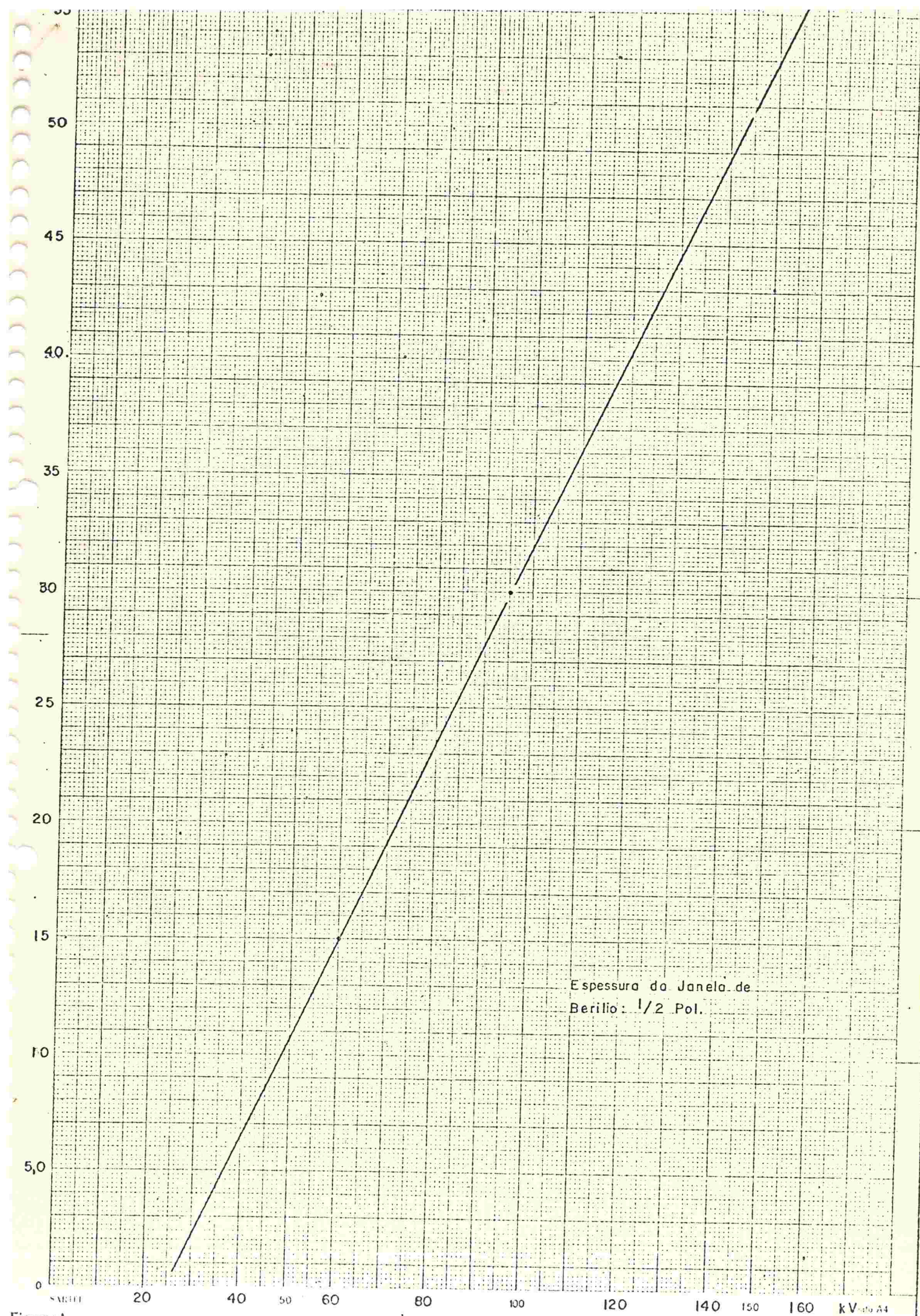


Figura: 1

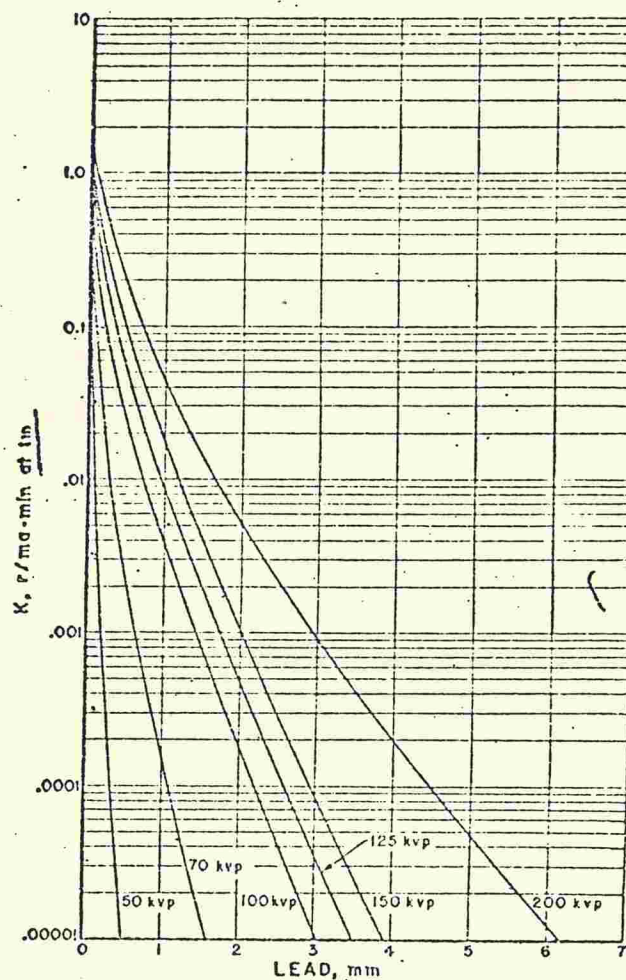


FIGURE 2. Attenuation in lead of X-rays produced by potentials of 50- to 200-kv peak.

The measurements were made with a 60° angle between the electron beam and the axis of the X-ray beam and with a pulsed waveform. The curves at 50 and 70 kvp were obtained by interpolation and extrapolation of available data (Hirastrup, 1941). The filtrations were 0.6 mm. of aluminum for 50, 70, 100, and 125 kvp, and 3 mm. of aluminum for 150 and 200 kvp.

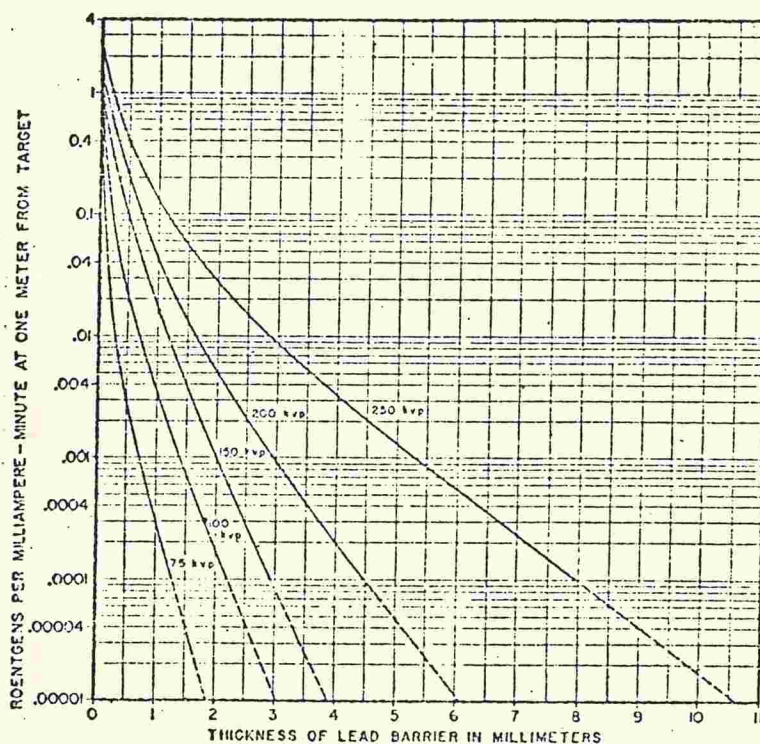


FIGURE 3 Attenuation in lead of X-rays produced by potentials of 75- to 250-kvp.

The curves were obtained with a half-wave generator and with a 90-degree angle between the electron beam and the axis of the X-ray beam. The filter was 2 mm of aluminum for the 150-, 200-, and 250-kvp curves and 0.5 mm of aluminum for the 75- and 100-kvp curves. Direct-current potentials require 10-percent thicker barriers than for the pulsating potentials given above [3].

984859* 52 -2

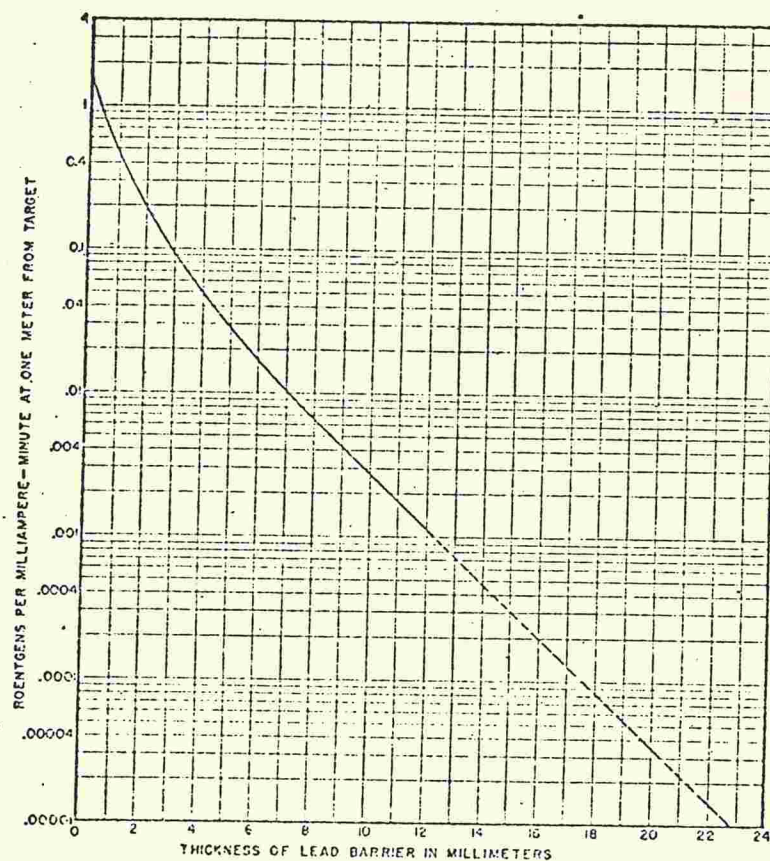


FIGURE 4. Attenuation in lead of X-rays produced by a potential of 400 kvp.

The curves were obtained with a half-wave generator and with a 90-degree angle between the electron beam and the axis of the X-ray beam. The filter was 0.4 mm of tin, 0.75 mm of copper, 2 mm of aluminum, plus the inherent filtration of the tube (1).

RES B - CIA. IN DOCUMENTS & RESEARCH
BIBLIOTHECA

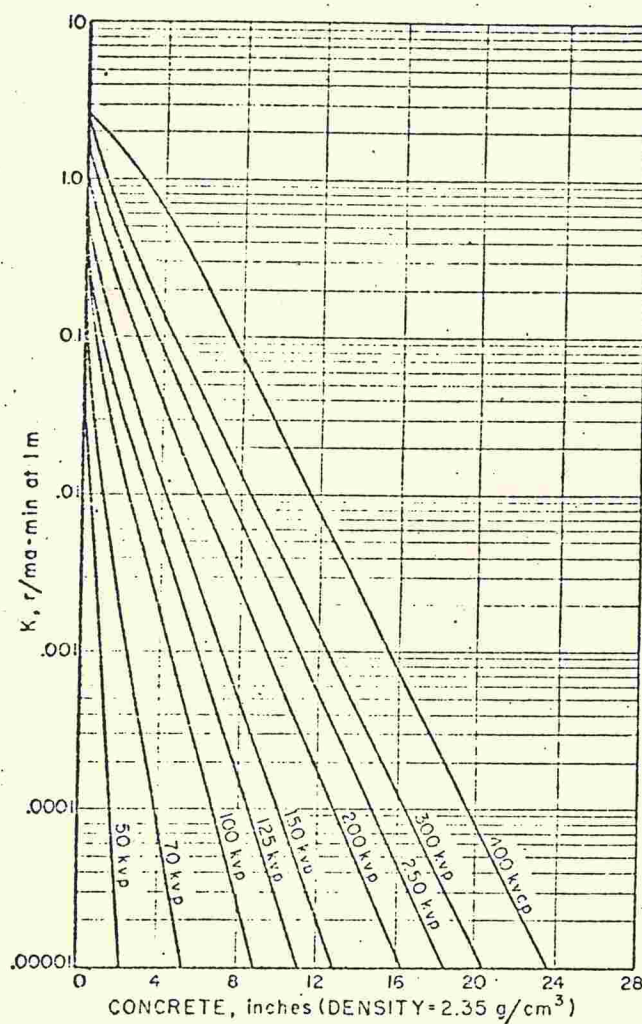


FIGURE 5. Attenuation in concrete of X-rays produced by potentials of 50 to 400 kv.

The measurements were made with a 90° angle between the electron beam and the axis of the X-ray beam. The curves for 50 to 300 kVp are for a pulsed waveform. The filtrations were 1 mm of aluminum for 50 kVp, 2 mm of aluminum for 100 kVp, and 3 mm of aluminum for 125 to 300 kVp (Trout et al., 1965 and 1979). The 400-kVp curve was interpolated from data obtained with a constant potential generator and inherent filtration of approximately 3 mm of copper (Miller and Kennedy, 1966).

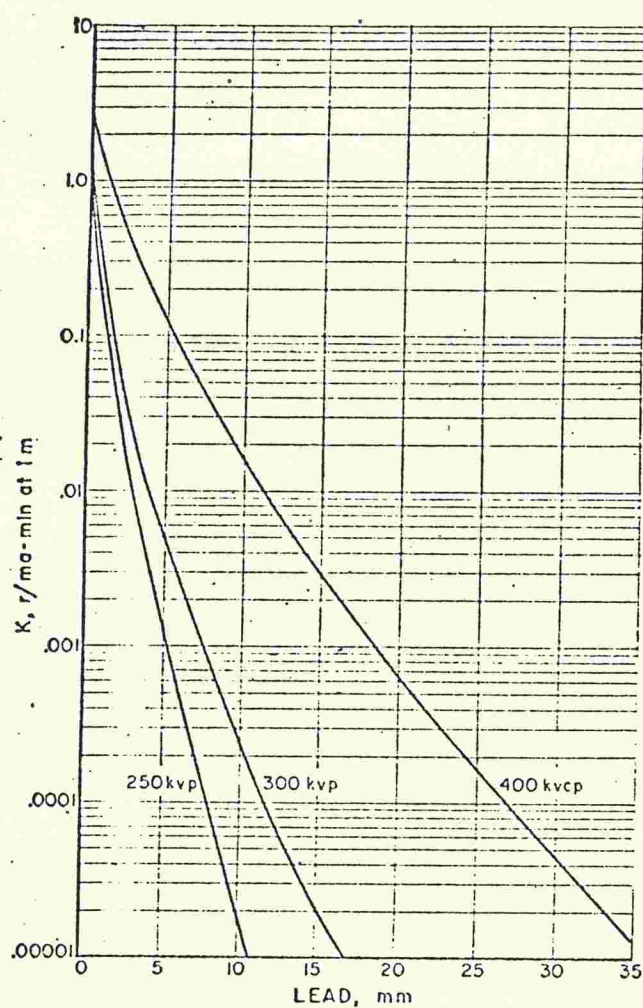


FIGURE 6. Attenuation in lead of X-rays produced by potentials of 250 to 400 kv.

The measurements were made with a 90° angle between the electron beam and the axis of the X-ray beam. The 250-kvp curve is for a pulsed waveform and a filtration of 3 mm of aluminum (Brastrup, 1941). The 400-kvcp curve was obtained with a constant potential generator and inherent filtration of approximately 3 mm of copper (Miller and Kennedy, 1953). The 300-kvp curve is for pulsed waveform and 3 mm of aluminum (Trout et al., 1959).

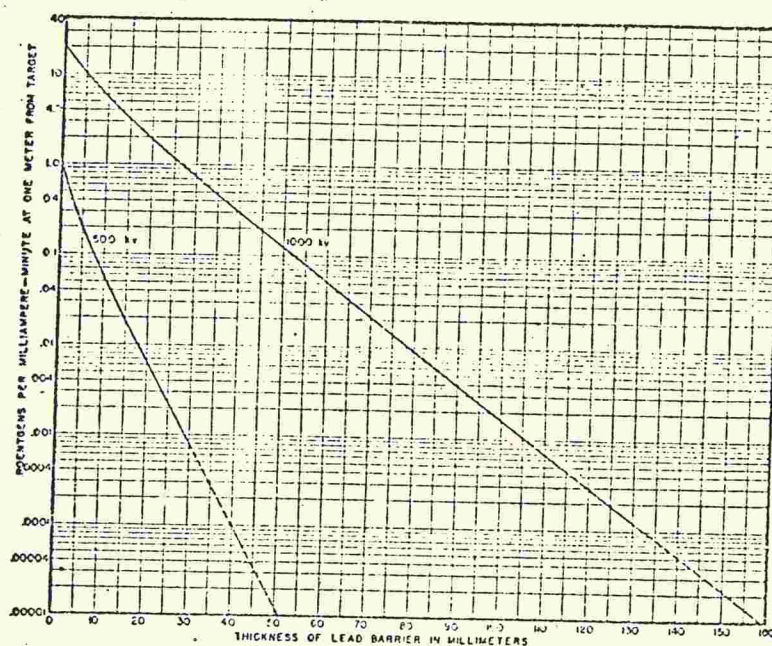


FIGURE 7. Attenuation in lead of X-rays produced by potentials of 500 and 1,000 kv.

The curves were obtained with a direct-current generator and with an angle of zero degrees between the electron beam and the axis of the X-ray beam. The inherent filtration was 2.8 mm of tungsten, 2.8 mm of copper, 2.1 mm of brass, and 18.7 mm of water [5].

FECSB - CIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

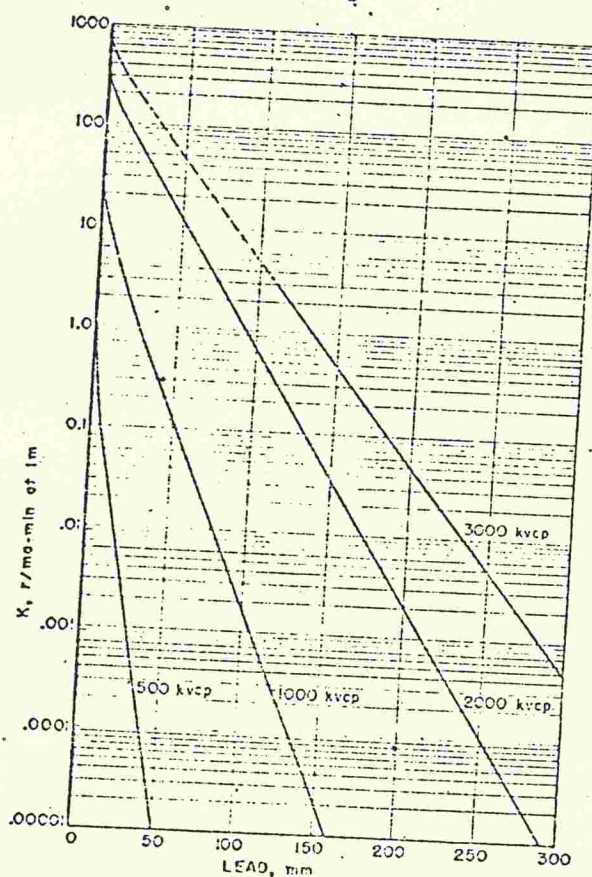


FIGURE 8. Attenuation in lead of X-rays produced by potentials of 500- to 3,000-kr constant potential.

The measurements were made with a 0° angle between the electron beam and the axis of the X-ray beam and with a constant potential generator. The 500- and 1,000-kvcp curves were obtained with filtration of 2.88 mm of pyrolytic, 2.8 mm of copper, 2.1 mm of brass, and 18.7 mm of water (Wysocki et al., 1918). The 2,000-kvcp curve was obtained by extrapolating to broad-beam conditions (E. E. Smith) the data of Ryan et al., 1952. The inherent filtration was equivalent to 6.8 mm of lead. The 3,000-kvcp curve has been obtained by interpolation of the 2,000-kvcp curve given herein, and the data of Miller and Kennedy, 1956.

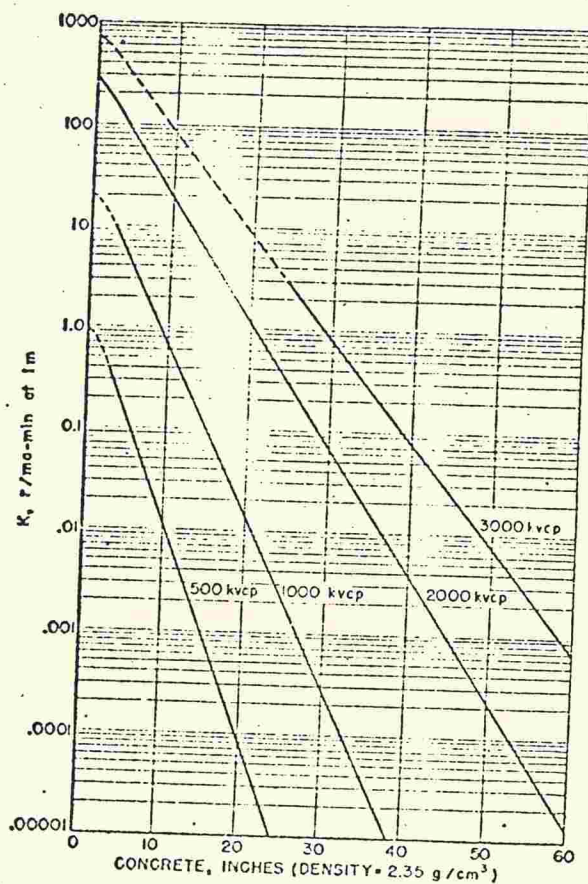


FIGURE 9. Attenuation in concrete of X-rays produced by potentials of 500- to 3,000-kv constant potential.

The measurements were made with a 0° angle between the electron beam and the axis of the X-ray beam and with a constant potential generator. The 500- and 1,000-kvcp curves were obtained with filtration of 2.8 mm of copper, 2.1 mm of brass, and 18.7 mm of water (Wyckoff et al., 1948). The 2,000-kvcp curve was obtained by extrapolating to broad-beam conditions (E. E. Smith) the data of Evans et al., 1952. The inherent filtration was equivalent to 6.8 mm of lead. The 3,000-kvcp curve has been obtained by interpolation of the 2,000-kvcp curve given herein, and the data of Kinn and Kennedy, 1954.

gunda a sexta feira. Levando em conta uma jornada de oito horas diárias tem-se 2,5 mRem/hora ou 0,04 mRem/minuto. Esses valores não devem ser considerados doses toleradas porque se desconhece qualquer limite de tolerância do organismo humano para as radiações ionizantes. Entretanto, esses valores, até o presente, não causaram qualquer tipo de doença clinicamente detectável.

No caso de um feixe de radiação X, devem ser considerados dois aspectos, a saber:

- 1 - as baixas energias caracterizam a predominância do efeito fotoelétrico, durante a interação dessa radiação com a matéria;
- 2 - na interação com altas energias predomina o efeito Compton. Nessa região, deve se analisar bem as curvas de atenuação da radiação em função da espessura da blindagem e verificar se elas foram obtidas com feixe colimado ou não colimado. A atenuação da radiação é menor quando se trata de feixe não colimado, em decorrência da contribuição proveniente do espalhamento. O uso de curvas de atenuação da radiação, obtidas com feixe colimado, pode conduzir a subdimensionamento da blindagem, porque, na realidade, os feixes de radiação X são divergentes, a partir do foco.

As curvas representadas nas figuras 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9 satisfazem a condição de feixe não colimado. As ordenadas logaritmicas correspondem a exposição produzida pelo feixe principal, em roentgen por minuto, por miliampère, a um metro de distância.

As ordenadas dessas figuras, representadas por K, correspondem a intensidade da radiação transmitida. A abcissa, linear, representa a espessura da blindagem necessária para atenuar a radiação, até a dose desejada. Pode se construir famílias de curvas considerando-se diferentes tensões e materiais absorvedores.

Quando se deseja calcular espessuras de blindagens, o primeiro passo consiste em determinar K, que depende da dose máxima permissível admitida. Somente para considerações de projeto admite-se a taxa de exposição de 100 mR/semana para trabalhadores com radiação e 10 mR/semana para indivíduos do público. Além disso, K também é função dos parâmetros seguintes:

W - número de exposições produzidas pelo aparelho de raios X durante a jornada de trabalho, expresso em ma-min/semana;

U - fator de uso, que representa uma fração de W, durante a qual o feixe principal de radiação X encontra-se na direção considerada;

T - fator de ocupação, representa o fator que deve multiplicar W para corrigi-lo, levando em conta o grau ou tipo de ocupação da área em questão;

d - distância do foco a área de interesse, em metro.

A relação entre essas variáveis pode ser assim representada:

$$K = \frac{Pd^2}{WUT}$$

P - dose de 100 mR/semana.

Considera-se o exemplo ilustrativo seguinte:

Calcule a espessura da blindagem necessária para proteger uma área situada a 10 metros do foco de um aparelho de raios X que opera com 100 kVp. A parede que separa o local de exposição tem um fator de uso de 1/4, o número médio de exposições é 1000 ma-min/semana e o fator de ocupação da área a ser protegida é 1. Assim:

P = 0,1 R/semana;

d = 10 metros;

W = 1000;

U = 1/4;

T = 1;

.../...

$$K = \frac{(0,1) \cdot (100)}{(1000) (1/4) (1)} = 0,04$$

Lançando esse valor nos gráficos representados nas figuras 2 e 5 encontramos 0,4mm de espessura para blindagem de chumbo e 1 1/2 polegada para concreto.

Representa-se na tabela abaixo os fatores de uso mais comuns, levando-se em conta o tipo de equipamento de radiação X, com objetivo de facilitar o cálculo de blindagens, na ausência de dados mais específicos.

Natureza do anteparo	Radiografia Industrial	Radiografia Médica	Radiografia Dental
Piso	1	1	1/16
Parede	1/4	1/4	1/4
Forro	1/16	1/16	1/16

Representam-se, a seguir relações contendo alguns fatores de ocupação, com o objetivo de facilitar o planejamento de blindagens destinadas a radiação X, na ausência de dados concretos. O grau de ocupação de uma área deve ser considerado em termos do tempo de permanência, de qualquer pessoa, pelo período de um ano, nesse local. Tem-se:

OCUPAÇÃO PLENA $T = 1$

Espaço controlado, escritórios, enfermarias, corredores, salas de espera, biblioteca, residência, área de recreação destinada a crianças, oficinas mecânicas, portarias, etc.

OCUPAÇÃO PARCIAL $T = 1/4$

Dependências usadas intermitentemente por pessoas, sanitários, elevadores, etc.

OCUPAÇÃO OCASIONAL $T = 1/16$

Dependências que são frequentadas pouco tempo e raramente, por

.../...

peessoas.

Alem do feixe principal de radiação X, que emerge do foco, po_{dem} existir outras contribuições, provenientes de fugas de ra_{di}ação pelas laterais do tubo e pela radiação espalhada. Nes_{tas} condições, o fator de uso é sempre igual a unidade. Como aproximação, são válidas as considerações seguintes:

- 1 - Fuga de Radiação - A intensidade da radiação que pode es_{cap}ar do tubo, durante seu funcionamento, dependerá de di_{versos} fatores tais como:
 - a - tipo de revestimento do tubo (industrial, diagnóstico, dental, terapia, etc);
 - b - a tensão de trabalho do tubo;
 - c - frequência de operação do tubo;
 - d - distância das pessoas envolvidas ao tubo;
 - e - natureza e grau de ocupação da área.

Representam-se na tabela seguinte os valores das meias espes_{suras}, para diversos materiais que servem de blindagem, em função da tensão de operação do tubo de raios X.

Material de Blindagem	Tensão de Operação do Aparelho de Raios-X - kvp									
	50	70	100	125	150	200	250	300	400	500
chumbo (mm)	0,05	0,18	0,24	0,27	0,30	0,50	0,80	1,3	2,2	3,6
concreto (mm)	5,10	12,7	18,0	20,0	23,0	25,0	28,0	30,0	33,0	36
aluminio (mm)	4,60	10,1	16,3	18,4	21,5	23,5	26,6	28,3	31,5	35

A espessura da blindagem pode ser calculada determinando-se o número de meias espessuras necessárias para reduzir a taxa de exposição aos limites permitidos para a distância conside_{rada} e multiplicando-a pelo valor da meia espessura, expressa

.../...

em mm ou cm, do elemento considerado blindagem (chumbo, concreto, etc).

- 2 - Radiação Espalhada - No caso de aparelhos que funcionam com tensão inferiores a 500kv o espalhamento Compton não degrada acentuadamente a energia do foton. Para proprósitos práticos pode se considerar a radiação espalhada em ângulo de 90° , com relação ao feixe principal, como tendo energia média igual a do feixe direto.

Assim, a curva de transmissão do feixe principal pode ser usada no cálculo envolvendo a radiação espalhada.

RETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E AMBIENTE
BIBLIOTECA

Date added:	8/9/93
Notes:	
Location:	
Price:	
Date found:	8/9/93

SAMPAIO

6.9/17

23/01/06/09

CETESB

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA Prof. Dr. Lucas Nogueira Garcez
Av. Prof. Frederico Hermann Junior, 345 - Pinheiros
05489-900 - SÃO PAULO - BRASIL

ESTRUTURA DA MATÉRIA E NOÇÕES DE FÍSICA NUCLEAR

Dr. Edmundo Garcia Agudo

São Paulo, 1977

2. ESTRUTURA DA MATÉRIA

2.1. ÁTOMOS

Os antigos gregos já tinham a idéia de que a matéria estava formada por partículas elementares, que eles chamavam de "átomos".

As idéias modernas sobre a estrutura de matéria começaram no início do século passado, a partir das idéias do físico John Dalton.

As idéias deste cientista sobre a estrutura da matéria podem ser resumidas nos seguintes postulados:

- a) a matéria está formada por partículas reais, muito pequenas, chamadas átomos;
- b) os átomos de qualquer substância pura, não podem ser subdivididos ou se transformar em outros diferentes;
- c) os átomos não podem ser destruídos nem criados;
- d) os átomos de uma substância pura são idênticos entre si, em todas as propriedades físicas (peso, tamanho, etc.);
- e) os átomos de duas substâncias puras diferentes são diferentes entre si;
- f) a combinação química dos elementos para formar compostos é o resultado da união de átomos em proporções numéricas definidas.

Proust, em 1815, propôs que os pesos de todos os átomos eram múltiplos simples do peso do átomo de hidrogênio, e que estes constituíam a matéria fundamental a partir da qual podem ser obtidas outras substâncias.

Embora esta idéia seja incorreta, seu valor histórico é importante por admitir que os átomos são estruturas complexas, formados por partículas mais simples.

Em 1833, M. Faraday conseguiu demonstrar que a matéria é de natureza elétrica, e determinou a equivalência entre energia elétrica e transformações químicas.

Posteriormente, com o descobrimento da radioatividade por H. Bequerel em 1896, e do elétron como constituinte da matéria, por J.J. Thomson em 1897, tiveram-se evidências de que os átomos estariam constituídos por partículas menores, e que certos átomos poderiam se transformar em outros.

Por outro lado, comprovou-se que os átomos de uma substância pura não são necessariamente idênticos, como será visto com detalhe posteriormente.

O oxigênio atmosférico, por exemplo, que é uma substância pura, está formado por três tipos de átomos, com massas diferentes.

O conceito de átomo ficou portanto modificado, e hoje poderíamos dizer que *átomo é a menor porção de matéria que pode ser obtida a partir de uma substância qualquer, por procedimentos exclusivamente químicos.*

A imagem mais simples que pode se dar ao átomo, como consequência das pesquisas de grande número de cientistas, entre os quais destacam-se J. J. Thomson, Rutherford, Geiger, Moseley, Chadwick, Bohr e outros, é a que o representa constituído por uma parte central, muito pequena, carregada positivamente, onde praticamente se concentra toda a massa do átomo, e vários elétrons se movimentando na parte exterior, em diversos níveis de energia (camadas eletrônicas).

Os fenômenos nucleares, chamados assim por se originar dentro do núcleo, são os que apresentam maior importância para nós.

Nas camadas eletrônicas originam-se diversos fenômenos, como a produção de raios X, uniões químicas, fenômenos luminosos, etc.

2.2. PESO ATÔMICO OU MASSA ATÔMICA

A massa dos átomos é tão pequena, quando expressa nas unidades comuns (um átomo pesa da ordem de 10^{-21} g), que foi necessário criar outras escalas de medida.

Uma das escalas utilizadas chama-se escala física de pesos atômicos, muito comum em física nuclear. Nesta, toma-se como padrão, a massa de um átomo do oxigênio mais abundante na atmosfera, e, por definição, considera-se que pesa (16,00000u.m.a.).

Em outras palavras, a unidade de massa atômica física equivale a 1/16 do peso do átomo de oxigênio mais abundante na natureza.

Portanto, o peso de um átomo qualquer nesta escala, é a relação entre o peso real desse átomo, e a décima sexta parte do peso real do átomo de oxigênio 16.

Esta relação se conhece com o nome de peso atômico físico ou massa atômica precisa.

Outra escala muito utilizada é a escala química de pesos atômicos, que considera o oxigênio natural como padrão. (o oxigênio natural está formado por 99,759% de átomos de massa atômica precisa 16,00000 u.m.a., 0,2039% de átomos de massa atômica precisa 18,00486 u.m.a. e 0,0374% de átomos com massa atômica precisa 17,004534 u.m.a.).

Nesta escala, atribui-se o peso atômico 16,00000 para o oxigênio natural. A equivalência entre as duas escalas de pesos atômicos, está dada por:

Peso atômico na escala física = 1,000281 peso atômico na escala química .

Em 1961, foi proposta e aceita como unidade de massa atômica 1/12 da massa do átomo de carbono 12. Nesta escala, atribui-se o peso atômico 12,000000 a este isótopo.

As massas atômicas são abreviadas u.m.a. (unidade de massa atômica) quando expressas na escala física.

Em geral, a maior parte das substâncias puras naturais, são constituídas por átomos de pesos diferentes.

O estanho natural, por exemplo, é uma mistura de 10 tipos de átomos com pesos diferentes.

Os átomos de oxigênio de massas diferentes (16,00000 u.m.a.; 17,00453 e 18,00485 u.m.a.) são conhecidos com o nome de istópos do oxigênio. A mistura de todos eles, na proporção em que se encontram na natureza, recebe o nome de elemento oxigênio.

Portanto, a palavra "*elemento*" substitui a "substância pura" no sentido em que foi empregado até aqui.

2.3. MOLÉCULA

Os átomos combinam-se entre si para formar moléculas. Quando os átomos que se combinam são iguais, forma-se uma molécula de um elemento puro (por exemplo, todos os gases, com exceção dos gases nobres, estão formados por moléculas biatômicas).

2.4. PESO MOLECULAR

Assim como se definiu peso atômico baseado na escala química ou física, pode-se também definir peso molecular como a relação entre o peso de uma molécula e 1/16 do peso do átomo de oxigênio.

Pode-se também dizer que o peso molecular de uma substância, é obtido somando os pesos atômicos de seus elementos constituintes, tantas vezes quantas eles apareçam na molécula

Ex.: Peso molecular da água (H_2O):

Peso atômico do Hidrogênio - 1,00797

Peso atômico do Oxigênio - 15,9994

(dados baseados no carbono 12)

Peso molecular da água = $2 \times 1,00797 + 15,9994$

PM (H_2O) = 18,01534

2.5. MOLÉCULA GRAMA (MOL)

Uma molécula grama de qualquer substância é uma quantidade, em gramas, igual a seu peso molecular.

Ex.: Peso molecular da água = 18,015

1 mol de água = 18,015 gramas de água.

O número de moléculas que existe em um mol de qualquer substância é constante, e recebe o nome de número de Avogadro.

Número de Avogadro (N_A) = $(6,0228 \pm 0,0011) \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

2.6. ÁTOMO GRAMA

Átomo grama de um elemento é uma quantidade em gramas igual ao seu peso atômico.

Ex.: peso atômico do alumínio (Al) = 26,9815

1 átomo grama de alumínio = 26,9815 g

O átomo grama de qualquer elemento, contém o número de Avogadro de átomos.

1 átomo grama de Al (26,9815g) contém $6,02 \times 10^{23}$ átomos.

A partir destes conceitos será possível calcular o peso real dos átomos e moléculas, em gramas.

Ex.: 1 átomo grama de cobre = 63,54 gr.

$$\text{Peso do átomo de cobre} = \frac{1 \text{ átomo grama}}{n^{\circ} \text{ de Avogadro}} = \frac{63,54 \text{ g}}{6,02 \times 10^{23}} = 1,05 \times 10^{-23} \text{ g.}$$

$$\text{Peso da molécula de água} = \frac{16 \text{ g}}{6,02 \times 10^{23}} = 2,656 \times 10^{-23} \text{ g.}$$

Levando em conta que 1 u.m.a. é 1/16 do peso de um átomo de oxigênio 16, teremos:

$$1 \text{ u.m.a.} = \frac{2,656 \times 10^{-23} \text{ g}}{16} = 1,66 \times 10^{-24} \text{ g}$$

2.7. RAIOS ATÔMICOS

Se considerarmos os átomos como esferas, pode-se calcular também a ordem de grandeza dos raios atômicos:

$$V \text{ esfera} = \frac{4}{3} \pi r^3 \quad (1)$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{3 V}{4 \pi}} \quad (2)$$

$$\text{densidade } (\delta) = \frac{M}{V} \therefore V = \frac{M}{\delta} \quad (3)$$

$$\text{Massa de um átomo} = \frac{\text{átomo grama}}{N_A} \quad (4)$$

Substituindo na equação (2), teremos:

$$r = \sqrt[3]{\frac{3}{4} \frac{\text{átomo grama}}{\pi \delta N_A}} \quad (5)$$

Tomemos como exemplo o átomo de ferro:

$$N_A = 6,03 \times 10^{23}$$

δ = densidade do ferro = $7,86 \text{ gr/cm}^3$

1 átomo grama de ferro = $55,85 \text{ gr}$

$$\text{Raio atômico} = \sqrt[3]{\frac{3 \times 55,85 \text{ gr}}{4 \times 3,14 \times 7,86 \times 6,02 \times 10^{23} \text{ g/cm}^3}}$$

$$\text{Raio atômico} = 1,4 \times 10^{-8} \text{ cm}$$

2.8. RAIOS NUCLEARES

Os raios nucleares estão compreendidos entre $1,45 \times 10^{-13} \text{ cm}$ (núcleo do átomo de hidrogênio) e $9,5 \times 10^{-13} \text{ cm}$ (núcleo do átomo do urânio)

2.9. DENSIDADE NUCLEAR

Consideraremos novamente o exemplo do átomo de ferro.

$$\text{Densidade do núcleo de ferro} = \frac{\text{massa do núcleo}}{\text{volume do núcleo}} =$$

$$= \frac{\frac{\text{átomo grama}}{N_A}}{\frac{4}{3} \pi (\text{raio nuclear})^3}$$

$$\text{Densidade núcleo de ferro} = \frac{\frac{55,8 \text{ g}}{6,03 \times 10^{23}}}{\frac{4}{3} \times 3,14 \times (5,7 \times 10^{-13})^3} =$$

$$= 1,2 \times 10^{14} \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = 1,2 \times 10^8 \text{ toneladas/cm}^3.$$

A densidade de todos os núcleos é aproximadamente igual a esta.

2.10 ESTRUTURA DO ÁTOMO

A imagem mais simples do átomo, seria a equivalente a um sistema planetário, com um núcleo central, carregado positivamente, que concentra praticamente toda a massa do átomo e uma série de eletrons girando em torno dele, em diversas órbitas.

O núcleo, com densidade muito elevada, está formado por dois tipos de partículas; *neutrons* e *protons*, que em conjunto recebem a denominação de *nucleons*.

O *neutron* foi descoberto em 1932 por J. Chadwick, embora a sua existência tenha já sido postulada por Rutherford em 1919. Possui uma massa de 1,00898 u.m.a. = $1,6747 \times 10^{-24}$ g, sendo eletricamente neutro.

O *proton* possui uma massa de 1,00759 u.m.a. ou $1,6724 \times 10^{-24}$ g, valor muito semelhante ao do átomo de hidrogênio. Esta carregado positivamente (carga unitária, equivalente a $4,8021 \times 10^{-10}$ u.e.s (q)).

Embora a força de repulsão eletrostática entre os diversos prótons que formam o núcleo, seja muito elevada, estes são mantidos unidos pela ação de forças nucleares ainda mal conhecidas.

Embora não exista ainda uma teoria geral e satisfatória sobre a natureza das forças nucleares, admite-se que os nucleons são mantidos unidos dentro do núcleo, pela troca de certo tipo de partículas, chamadas *mésons*. A sua existência foi prevista teoricamente pelo físico japonês Yukawa em 1935 e foram experimentalmente detetadas nos raios cósmicos em 1937.

Outro constituinte dos átomos, o elétron, já era conhecido desde o século passado, como a unidade mínima de eletricidade negativa. As suas características físicas são as seguintes:

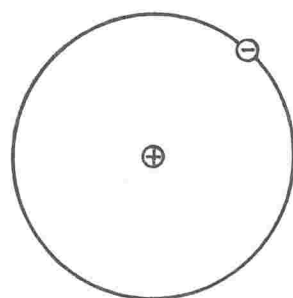
carga: negativa, $4,8021 \times 10^{-10} \mu\text{e.s. (q)}$

massa em repouso: $9,1066 \times 10^{-29} \text{g}$, aproximadamente 1840 vezes inferior a massa do átomo de hidrogênio.

raio do eletron: $2,8 \times 10^{-13} \text{cm}$.

Podemos resumir a imagem atômica, da seguinte forma: o átomo está constituído por um núcleo central, positivo, contendo neutrons, prótons e mésons, e eletrons nas órbitas externas. O número de eletrons é igual ao de prótons no núcleo, de tal forma que o átomo resulta eletricamente neutro.

O átomo mais simples que existe é o do hidrogênio mais abundante na natureza (99,9850% de abundância), com um próton no núcleo e um eletron orbital, como se indica na figura 2.1.



Hidrogênio ${}^1_1\text{H}$

Figura -2.1

Existem outros átomos do hidrogênio, pouco abundantes na natureza (0,01492%), com um proton e um neutron no núcleo, e um eletron orbital. É conhecido com o nome de deutério, e pode ser representado segundo a figura 2.2.

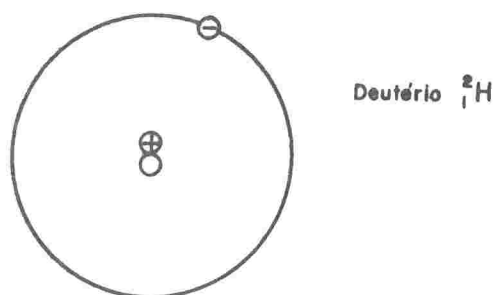


Figura-.2. 2

Outro átomo simples   o do hélio, com dois protons e dois neutrons no núcleo, e dois eletrons orbitais (fig. 2.3)

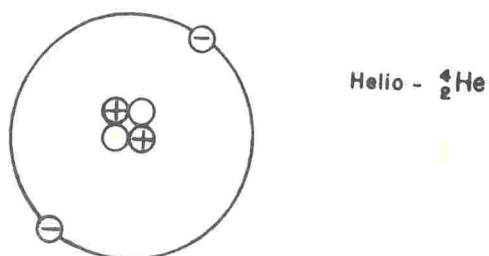


Figura-.2. 3

Seguindo a ordem crescente de pesos atômicos, chega-se ao berílio, com quatro protons no núcleo e quatro ou cinco neutrons. Os quatro eletrons ocupam duas órbitas.

A cada unidade de incremento de peso atômico, aumenta em um o número de protons e de eletrons no átomo.

Os novos eletrons vão se adicionando na órbita mais externa até completar oito elétrons (gás nobre).

As órbitas designam-se com letras: K, L, M, N, O, P, Q, etc. A órbita K é a mais próxima do núcleo. Um elétron na órbita N encontra-se a um nível energético maior que um elétron da órbita M. Quanto mais afastados as órbitas, maior a energia dos elétrons que as ocupam.

Quando, por qualquer motivo, um elétron passa a ocupar uma órbita mais próxima do núcleo que a que originalmente ocupava, o átomo emitirá energia, na forma de raios X.

Cada órbita tem uma capacidade máxima para receber eletrons. Assim, a órbita K pode comportar dois eletrons; a L oito, a M, dezoito; a N, trinta e dois, e assim por diante.

2.11 NÚMERO ATÔMICO E NÚMERO DE MASSA

O número de protons que um átomo possui no seu núcleo denomina-se "número atômico". Representa-se com o símbolo Z , e determina as propriedades químicas do átomo.

Os números atômicos dos elementos conhecidos até hoje, vão de 1 (hidrogênio) até 104 (kurchatório).

O número de neutrons no núcleo representa-se com a letra N .

O número total de nucleos (protons mais neutrons) existentes em um átomo, denomina-se *número de massa*, e simboliza-se com a

letra A. Este número de massa é também o número inteiro mais próximo ao peso atômico de um átomo em particular. $A = N + Z$

A diferença $(N-Z)$ ou $(A-2Z)$, entre o número de neutrons e protons em um núcleo designa-se com o nome de *número isotópico ou excesso de neutrons*.

O símbolo utilizado para representar espécies nucleares (também chamados *nuclídeos*) consiste no símbolo químico do elemento, com o número atômico como subíndice a esquerda, abaixo, e o número de massa como supraíndice, a esquerda e acima.



Normalmente pode-se omitir o número atômico como subíndice, porquanto o símbolo químico é suficiente para identificar o elemento.

São conhecidos mais de 1.500 átomos diferentes, dos quais 278 são estáveis e constituem a matéria normal que todos nós conhecemos. Os outros são instáveis, ou seja, radioativos, e desintegram-se até se transformar em átomos estáveis.

2.12. NUCLÍDEO

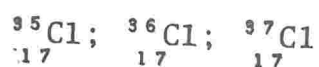
Chama-se nuclídeo qualquer espécie atômica, definida por seu número de massa, número atômico e seu estado energético.

2.13 ISÓTOPOS

Todos os nuclídeos que possuem a mesma carga nuclear, denominam-se de isótopos.

Os isótopos de um elemento tem o mesmo número de protons mas diferente número de neutrons, e como consequência, diferente número de massa.

Exemplo de Isótopos:

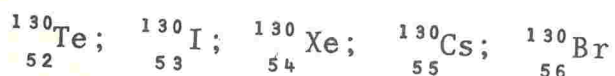


Como o número atômico determina as propriedades químicas dois isótopos, os três se comportam da mesma forma. Daí o nome do isótopo, sugerido por Soddy em 1913, e que faz referência ao fato de ocupar o mesmo lugar na tabela periódica dos elementos.

2.14. ISÓBAROS

São aqueles nuclídeos com o mesmo número de massa e diferente número atômico.

Exemplo de Isóbaros:



Tendo número atômico distintos, comportam-se quimicamente de forma diferente

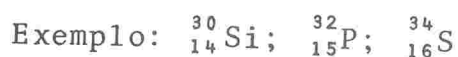
2.15. ISÓTONOS

São os nuclídeos que possuem o mesmo número de neutrons no núcleo.



2.16. ISODIÁFAROS

Designam-se com este nome os nuclídeos com o mesmo excesso de neutrons.



2.17. ISÔMEROS

São aqueles nuclídeos que se diferenciam só em seu conteúdo energético, apresentando igual número de massa e número atômico

Exemplo: $^{113\text{m}}_{49}\text{In}$ e $^{113}_{49}\text{In}$

O elemento simbolizado com m ao lado do número de massa (meta estável), indica que é o isomero com maior conteúdo energético.

2.18. ELEMENTO

Denomina-se elemento à mistura natural de isótopos com o número atômico correspondente. Existem elementos, como alumínio e iodo, constituídos por um isótopo só:

$^{27}_{13}\text{Al}$ e $^{127}_{53}\text{I}$, mas, a maioria dos elementos estão formados por

vários isótopos. O estanho natural, por exemplo, é uma mistura de dez isótopos:

^{112}Sn ; ^{114}Sn ; ^{115}Sn ; ^{116}Sn ; ^{117}Sn ; ^{118}Sn ; ^{119}Sn ; ^{120}Sn ; ^{122}Sn ;
e ^{124}Sn .

A relação entre o número de átomos dos diferentes isótopos na mistura natural, chama-se abundância, e se expressa como percentagem.

A composição do oxigênio atmosférico é a seguinte:

$^{16}\text{O} = 99,759\%$; $^{17}\text{O} = 0,037\%$; $^{18}\text{O} = 0,204\%$

ou seja, por cada 100.000 átomos de oxigênio atmosférico, 99759 átomos terão número de massa 16; 37 átomos com número de massa 17 e 204 átomos com número de massa 18.

2.2.3 EQUIVALENCIA ENTRE MASSA E ENERGIA

Em 1905, como parte de sua teoria especial da relatividade, Albert Einstein enunciou que o conteúdo total de energia E de um sistema de massa M , está dado pela relação

$$E = M c^2$$

onde $c = 2,99776 \times 10^{10}$ cm/seg, velocidade da luz.

Quando M é expresso em gramas, e c em cm/seg. a energia resulta em erg. Em física nuclear, utiliza-se muito mais frequentemente outra unidade para a energia: o eletrôn-volt (eV) e, seus múltiplos. Um eletrôn-volt é a energia adquirida por um eletrôn ao atravessar um campo elétrico de um volt.

Esta unidade de energia representa um valor muito pequeno. Sua relação com o erg é a seguinte:

$$1 \text{ erg} = 0,624 \times 10^{12} \text{ e V}$$

São normalmente utilizados múltiplo do eletrôn-volt, estes são:

$$\text{kiloeletrôn volt (keV)} = 10^3 \text{ e V}$$

$$\text{megaeletrôn volt (MeV)} = 10^6 \text{ e V}$$

Calcularemos a energia equivalente a uma unidade de massa atômica.

$$1 \text{ u.m.a.} = 1,6598 \times 10^{-24} \text{ g}$$

$$E = 1,658 \times 10^{-24} \times (2,99776 \times 10^{10})^2 \text{ g} \frac{\text{cm}^2}{\text{seg}^2}$$

$$E = 1,493 \times 10^{-3} \text{ erg.}$$

A energia de 1 u.m.a., expressa em MeV será, portanto:

$$1 \text{ u.m.a.} = 1,493 \times 10^{-3} \text{ erg} \times 0,624 \times 10^6 \text{ MeV/erg} = 931 \text{ MeV}$$

Repetindo o cálculo para a massa em repouso do elétron, obtem-se a seguinte equivalência:

$$1 \text{ eletr\~{o}n} = 0,5107 \text{ MeV}$$

2.2.4. ENERGIA DE UNIÃO DOS NÚCLEOS

A massa real de um núcleo é sempre menor que a soma das massas dos nucleons que o constituem. A diferença entre os dois valores recebe o nome de *energia de união dos núcleos*.

Esta quantidade seria a massa que se transformaria em energia se fosse possível construir um átomo a partir dos protons, neutrons e elétrons que o constituem.

Ao mesmo tempo, é a energia necessária para romper o átomo em suas partículas constituintes, e portanto, esta energia é considerada uma medida da energia de união dos nucleos.

Calcularemos a energia de união do átomo de hélio, a partir dos seguintes dados:

$$\text{Massa do proton} = 1,007593 \text{ u m a}$$

$$\text{Massa do neutron} = 1,008982 \text{ u m a}$$

$$\text{Massa do elétron} = 0,000549 \text{ u m a}$$

$$\begin{aligned} &2 \text{ protons} + 2 \text{ neutrons} + \\ &+ 2 \text{ eletr\~{o}ns} = \dots\dots\dots 4,034248 \text{ u m a} \end{aligned}$$

$$\text{Massa do átomo de } {}^4_2\text{He} = \underline{4,003873 \text{ u m a}}$$

$$\text{Diferença de Massa} = 0,030375 \text{ u m a}$$

$$1 \text{ u m a} \text{ equivale a } 931 \text{ MeV}$$

$$\text{Diferença de Energia} = 0,030375 \times 931 \text{ MeV} = 28,3 \text{ MeV}$$

Como o núcleo está formado por quatro núcleons, podemos dizer que a energia de união do hélio é de 7,07 MeV por núcleon.

Ao longo de toda a tabela periódica dos elementos a energia de união por nucleon varia entre 6 e 9 MeV, com exceção de alguns nuclídeos de baixo número atômico.

A energia de união por núcleon apresenta um máximo de aproximadamente 8,8 MeV nas vizinhanças do ferro ($A = 55$). Na fig.2.4 está representada a variação de energia de união em função de A .

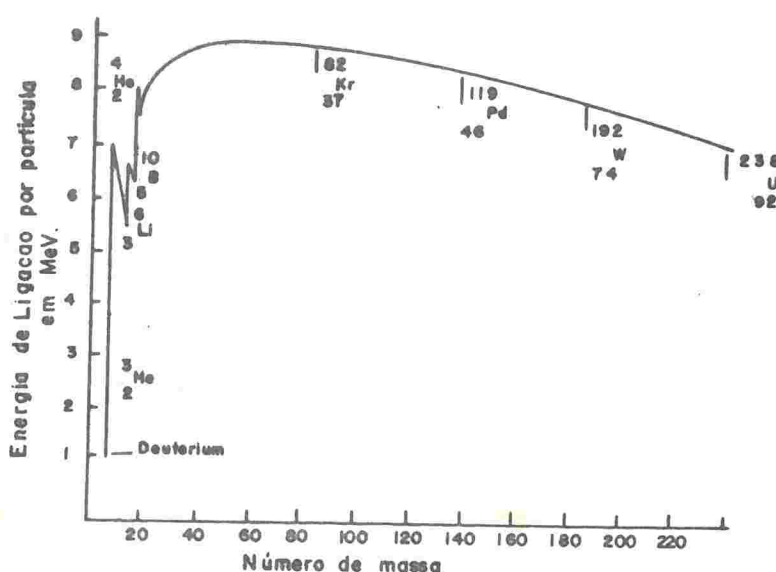


Figura-2.4 Gráfico correlacionando o número de massa de certos isótopos com a energia de ligação expressa em MeV

2.2.5. ESTABILIDADE NUCLEAR

Os nuclídeos, como já foi visto, podem ser estáveis ou instáveis, entendendo-se por estáveis, aqueles que não se desintegram.

Na fig. 2.5 representaram-se os nuclídeos estáveis num gráfico onde nas abscissas indica-se o número de protons (Z), e nas ordenadas o número de neutrons ($A-Z$)

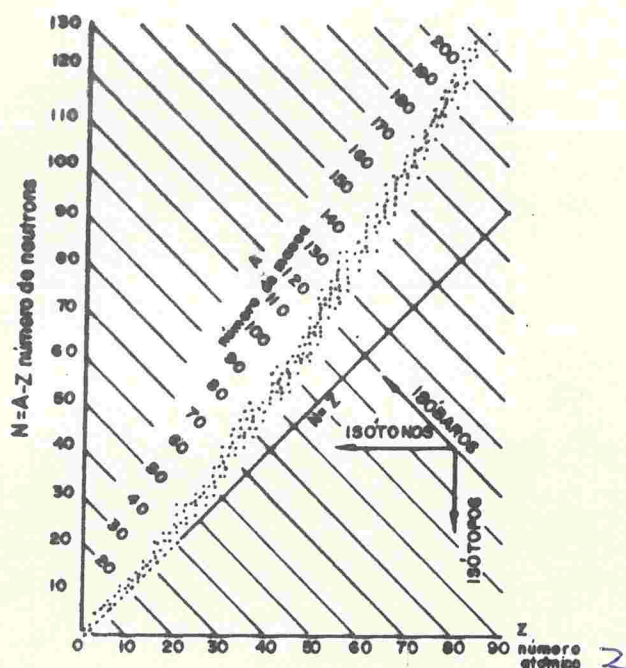


Figura-2.5 Diagrama dos elementos naturais

A reta a 45° indica igual número de protons e neutrons no núcleo.

Observa-se que nos nuclídeos com Z baixo, a relação neutron/proton está próxima a unidade.

Já para $Z > 20$, a relação neutron/proton nos nuclídeos estáveis é sempre maior que a unidade. Para o nuclídeo estável mais pesado, como o $^{208}_{82}\text{Pb}$, esta relação ultrapassa 1,5.

Os nuclídeos podem ser classificados em quatro grupos diferentes, segundo tenham número par ou ímpar de protons e neutrons.

Os nuclídeos estáveis conhecidos estão distribuídos entre estes quatro grupos da seguinte maneira:

162 nuclídeos estáveis com número par de protons e número par de neutrons (P - P)

56 nuclídeos estáveis com número par de protons e número ímpar de neutrons (P - I)

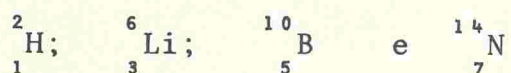
52 nuclídeos estáveis com número ímpar de protons e número par de neutrons (I-P)

4 nuclídeos com número ímpar de neutrons e protons (I - I)

Pode-se concluir, observando a lista anterior, que os nuclídeos com número par de protons e neutrons são os mais estáveis.

Os núcleos (P-I) e (I-P) tem estabilidade equivalente, porém menor que os núcleos (P-P)

Os núcleos (I,I) são instáveis em geral, com exceção dos núcleos de baixo Z:



Estes nuclídeos possuem igual número de protons e de neutrons.

SAMPALHO 12/77

G.9/13

03/01/0106/08

7. DOSIMETRIA

7.1. UNIDADES USADAS EM PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

Quando a radiação interage com a matéria, de acordo com os mecanismos já expostos nos capítulos anteriores, produzindo ionização e excitação dos átomos e moléculas, estão entregando parte de sua energia para o meio que elas atravessam. Em outras palavras, esse meio está absorvendo energia da radiação.

A quantidade de energia absorvida no material dependerá da qualidade e quantidade da radiação incidente.

Os efeitos que essa energia absorvida produzirá no material, dependerá da qualidade deste. No caso de ser filme fotográfico, ele ficará exposto, em maior ou menor grau, dependendo da energia absorvida.

Se o material for tecido humano, os danos produzidos nas células, dependerão também da energia absorvida.

Vemos que a quantidade de energia absorvida é de grande importância para estudar os efeitos das radiações e que ela vai depender da intensidade e qualidade da radiação incidente e do tipo de material absorvente.

O conceito de dose de radiação está intimamente ligado à energia absorvida.

Veremos a continuação, alguns conceitos e unidades utilizadas em dosimetria.

7.1.1. Exposição

A exposição é uma unidade de radiação que baseia-se na capacidade de ionizar o ar. A unidade de exposição é o Roentgen (R), sendo também muito utilizado um submúltiplo, o miliroentgen (mR).

Podemos dizer que, de certa forma, a exposição mede a intensidade do campo de radiação em um certo ponto.

Um roentgen é uma quantidade de radiação (raios γ ou X), que produz uma unidade eletrostática de carga de cada sinal em 1,293 mg de ar seco (ou seja, 1 cm³ de ar, em condições normais de pressão e temperatura), rodeado por ar.

Para produzir este número de ionizações, são transferidos aproximadamente 83 erg da radiação para cada grama de ar. A exposição simboliza-se por X.

7.1.2. Taxa de Exposição

É a exposição por unidade de tempo. A unidade mais utilizada é o miliroentgen por hora (mR/h). Os monitores de radiação medem a taxa de exposição, em mR/h ou R/h. Simbolizar-se-á a taxa de exposição com X.

7.1.3. Dose Absorvida

Quando colocamos um material qualquer em um campo de radiação, este absorverá uma certa quantidade de energia, por meio dos processos já descritos. A energia absorvida por cada grama de material, chama-se dose absorvida.

A unidade é o *rad* e equivale a absorção de 100 erg/grama. O símbolo que utilizaremos para dose absorvida é D.

7.1.4. Taxa de Dose Absorvida

É a dose absorvida por unidade de tempo, a unidade é o rad/hora ou mrad/hora. O símbolo é D.

7.1.5. Rem

O roentgen é uma medida da radiação no ar, e por conseguinte, não pode ser utilizado como unidade para medir os efeitos

biológicos no homem. A razão disto é que a quantidade de energia necessária para produzir um par de íons no ar é diferente da requerida para produzir o mesmo efeito em tecido humano.

A unidade utilizada em dosimetria para o homem é o *rem* ("roentgen equivalent man").

Os níveis máximos de dose permissíveis estão sempre fixados em *rem*.

A dose, expressa em *rem*, está relacionada com a dose em *rad*, como será visto a continuação.

7.1.6. Eficiência Biológica Relativa.

Os efeitos biológicos das radiações são de grande importância pois são eles que determinam as doses máximas permissíveis.

Uma mesma quantidade de energia absorvida por tecido humano, pode produzir efeitos diferentes, dependendo do tipo de radiação que interage.

Para corrigir essa diferença, utiliza-se o conceito de Eficiência Biológica Relativa (E.B.R.) para os diversos tipos de radiação.

A dose, expressa em rem obtem-se multiplicando a dose em *rad* pela eficiência biológica relativa

$$\text{Dose (rem)} = \text{Dose (rad)} \times \text{EBR}$$

A eficiência biológica relativa recebe também o nome de *Fator de Qualidade* (F.Q.).

Na tabela 7.1. incluímos os valores de FQ que constam nas Normas Básicas de Proteção Radiológica da Comissão Nacional de Energia Nuclear.

Para raios X e raios γ , nas energias normalmente utilizadas em radiografia industrial, o fator de qualidade é unitário, e portanto, a dose em rem será numericamente igual a dose em rad.

TABELA 7.1

Valores do Fator de Qualidade Usados na Definição de Dose Equivalente

Radiação	FQ
- Raios X, Radiação γ , partículas beta e eletrons:	
. Energia > 30 KeV	1,0
. Energia < 30 KeV	1,7
- Neutrons com E < 10 Kev	3
- Neutrons rápidos e prótons, até 10 MeV	10
- Partículas α da desintegração radioativa de emissores naturais	10
- Núcleos pesados de recuo	20

7.1.7 Relação entre Dose e Exposição

Conhecendo a energia necessária para formar um par de íons no ar (33,7 eV), e a relação entre os coeficientes de absorção do ar e dos tecidos, resulta possível calcular a dose que receberia um indivíduo colocado em um local onde a exposição fosse de 1 roentgen.

A relação entre estes dois parâmetros será:

$$D \text{ (rad)} = f. X \text{ (roentgen)}$$

$$f = 0,96 \frac{\text{rad}}{\text{roentgen}}$$

Para cálculos estimativos pode-se considerar que um roentgen equivale a um rad, ou seja, os valores numéricos da exposição e dose, em um ponto, são praticamente iguais, mas nunca deve-se dizer que um roentgen é igual a um rem, por quanto, como já foi visto, estas duas magnitudes expressam conceitos diferentes.

7.2. CONSTANTE ESPECÍFICA DA RADIAÇÃO GAMA

A taxa de exposição produzida por uma fonte radioativa a certa distancia, dependerá do tipo de partículas emitidas pela fonte, energia e abundância de cada tipo de radiação e, logicamente, da atividade da fonte.

O tipo, energia e abundância das radiações emitidas por uma fonte, são características próprias de cada radioisótopo. Portanto, a taxa de exposição produzida por uma fonte de um curie de um radioisótopo, a certa distancia, será sempre a mesma. Isso nos leva ao conceito de *Constante Específica da Radiação Gama*, que é a taxa de exposição obtida a um metro de distancia de uma fonte radioativa de 1 Ci.

Esta constante simboliza-se com a letra grega, gama maiúscula (Γ) e, apresenta um valor característico para cada radioisótopo.

Na tabela 7.2. constam os valores de Γ para as fontes mais utilizadas em gamagrafia.

TABELA 7.2

Constante Específica da Radiação Gama

Fonte	$\Gamma \left(\frac{\text{Rm}^2}{\text{h Ci}} \right)$
^{60}Co	1,34
^{192}Ir	0,486
^{137}Cs	0,324
^{170}Tm	0,0025

Dizer que a constante específica gama do ^{192}Ir é $0,486 \text{ Rm}^2/\text{h Ci}$, equivale a dizer que quando colocamos uma fonte de ^{192}Ir , com 1 Ci de atividade, suspensa no ar, a taxa de exposição a um metro será de $0,486 \text{ R/h}$ ou 486 mR/h .

O conhecimento da constante gama, nos fornece um método simples de calcular a atividade de uma fonte radioativa.

Exemplo:

Foi medida a taxa de exposição produzida por uma fonte de ^{192}Ir , a um metro de distancia, utilizando-se um monitor de radiação perfeitamente calibrado. O valor obtido foi:

$$\dot{X} = 4100 \text{ mR/h.}$$

Sabemos que $\Gamma (^{192}\text{Ir}) = 0,486 \text{ R/h}$ ou 486 mR/h

Isso significa que a atividade da fonte será:

$$A = \frac{4100 \text{ mR/h}}{486 \text{ mR/h/Ci}} = 8,44 \text{ Ci}$$

Outra grande utilidade da constante gama é que nos permite calibrar um monitor de radiação utilizando fontes padrão, com atividade perfeitamente conhecida.

Exemplo:

Dispõe-se de uma fonte de ^{137}Cs , com atividade de $18,6 \text{ mCi}$. A taxa de exposição produzida por esta fonte, a um metro de distancia, será:

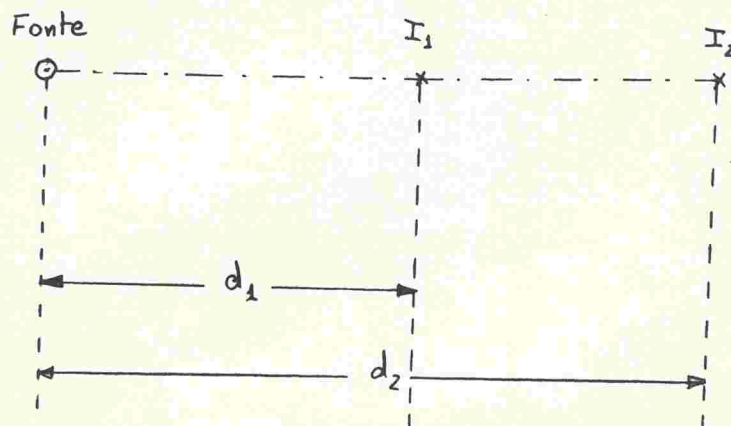
$$\begin{aligned} \dot{X} &= 0,324 \text{ R/hCi} \times 18,6 \text{ mCi} \times 10^{-3} \frac{\text{Ci}}{\text{mCi}} = \\ &= 0,006 \text{ R/h ou } 6 \text{ mR/h.} \end{aligned}$$

Um monitor de radiação, colocado a 1 metro desta fonte, deverá dar uma leitura de aproximadamente 6 mR/h (uma variação de $\pm 15\%$ é considerada aceitável, de tal forma que se a leitura do monitor de radiação estiver compreendida entre 5 e 7 mR/h , o monitor funciona corretamente)

7.3. LEI DO INVERSO DO QUADRADO DA DISTANCIA

A intensidade de um campo de radiação γ ou X, não colimado e proveniente de uma fonte puntiforme, igual que a intensidade da luz ou de qualquer outra radiação eletromagnética, varia com o inverso do quadrado da distancia. Isto significa, que ao duplicar a distancia de uma fonte, a intensidade da radiação diminui quatro vezes. Ao se aproximar da fonte acontece o fenômeno inverso, diminuir a distancia pela metade, significa aumentar a intensidade da radiação em um fator quatro.

Assim como nesta explicação, utilizou-se o termo intensidade da radiação, poderia ter-se falado de taxa de exposição ou taxa de dose absorvida.



$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$$

I_1 = Intensidade da radiação à distancia d_1

I_2 = Intensidade da radiação é distancia d_2

Utilizando-se esta lei, pode-se calcular a taxa de exposição de qualquer fonte, conhecendo a atividade e a constante gama da fonte, por meio da equação:

$$\dot{X} = \frac{A \cdot \Gamma}{d^2}$$

Exemplo 1:

Calcular a taxa de exposição de uma fonte de ^{60}Co de 50 Ci, a 20 m de distancia.

$$A = 50 \text{ Ci}; \Gamma = 1,34 \frac{\text{Rm}^2}{\text{hCi}}; d = 20 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \dot{X} &= \frac{50 \text{ Ci} \times 1,34 \frac{\text{Rm}^2}{\text{hCi}}}{(20\text{m})^2} = \frac{50 \text{ Ci} \times 1,34 \frac{\text{Rm}^2}{\text{hCi}}}{400 \text{ m}^2} = \\ &= 0,168 \text{ R/h ou } 168 \text{ mR/h} \quad \checkmark \end{aligned}$$

Exemplo 2:

A que distancia de uma fonte de ^{192}Ir , a taxa de exposição será de 2,5 mR/h?

$$\dot{X} = \frac{A\Gamma}{d^2} \quad \text{ou seja} \quad d^2 = \frac{A \cdot \Gamma}{\dot{X}}$$

$$d = \sqrt{\frac{A \cdot \Gamma}{\dot{X}}}$$

$$A = 100 \text{ Ci}; \quad \Gamma = 0,486 \text{ Rm}^2/\text{h Ci}; \quad \dot{X} = 2,5 \text{ mR/h}$$

$$d = \sqrt{\frac{100 \text{ Ci} \times 0,486 \text{ Rm}^2/\text{hCi}}{2,5 \text{ mR/h} \times 10^{-3} \text{ R/mR}}}$$

$$d = 139 \text{ m} \quad \checkmark$$

Exemplo 3:

A taxa de exposição de uma fonte de ^{137}Cs , a 12 m de distancia, é de 50 mR/h. Qual é a atividade da fonte?

$$\Gamma = (^{137}\text{Cs}) = 0,324 \frac{\text{R m}^2}{\text{h Ci}}; d = 12 \text{ m}; \dot{X} = 50 \text{ mR/h}$$

$$\dot{X} = \frac{A \cdot \Gamma}{d^2}; \quad \text{ou seja,} \quad A = \frac{\dot{X} \cdot d^2}{\Gamma}$$

$$A = \frac{50 \text{ mR/h} \times 10^{-3} \text{ R/mR} \times (12\text{m})^2}{0,324 \frac{\text{R m}^2}{\text{h Ci}}}$$

$$A = 22,2 \text{ Ci} \quad \checkmark$$

O aumento da taxa de exposição com a diminuição da distancia, é dramático. Na tabela 7.3 constam as taxas de exposição para uma fonte de 10 Ci de ^{192}Ir , a várias distancias. A taxa de exposição a 1mm, será de $4,86 \times 10^6 \text{ R/h}$ ou 1350 R/seg. Um operador que colocasse a mão, a 1 mm de uma fonte de ^{192}Ir , durante um décimo de segundo, receberia uma dose de:

$$D = 0,96 X$$

$$X = 135 \text{ R}$$

$$D = 0,96 \times 135 \text{ rad} \approx 130 \text{ rad.}$$

TABELA 7.3

Taxa de Exposição de uma fonte de ^{192}Ir , de 10 Ci, a várias distancias

Distancia	Taxa de exposição (R/h)
10 m	0,049
5 m	0,194
2 m	1,215
1 m	4,860
50 cm	19,44
20 cm	121,5
10 cm	486,0
5 cm	1.944,0
1 cm	48.600,0
0,1 cm	4.860.000,0

7.4. RELAÇÃO ENTRE TAXA DE DOSE ABSORVIDA E TAXA DE EXPOSIÇÃO

Existe, em geral, muita confusão entre os conceitos e as unidades de dose, exposição e suas respectivas taxas. Tentaremos aclarar um pouco estes conceitos.

A palavra taxa, indica uma velocidade. Cada vez que esta palavra antecede um certo parâmetro, indica a velocidade com que está sendo processado esse parâmetro. Por exemplo: consideremos o parâmetro "dose absorvida"; este parâmetro indica quantidade, ou seja: é a dose que um certo indivíduo recebe em decorrência de estar exposto a radiação durante certo tempo. Pode-se dizer que um indivíduo, após trabalhar um mês com radiação, recebeu uma dose absorvida de 320 mrad. Isso não indica se foi recebido todo de uma só vez, em poucos minutos, ou uniformemente ao longo do tempo.

A quantidade de dose recebida foi de 320 mrad. Quando o parâmetro está antecedido pela palavra "taxa", o sentido muda. Não se trata mais de quantidade, e sim, da velocidade. Dizer que a taxa de dose absorvida por um indivíduo é de 10 mrad/hora, significa que ele receberá uma dose de 10 mrad por cada hora que estiver exposto a radiação. Para poder obter a dose que um indivíduo recebe quando está exposto a um campo de radiação com uma certa taxa de dose, será necessário multiplicar o valor da taxa pelo tempo que o indivíduo fica exposto. Por exemplo, uma pessoa está trabalhando em um local onde a taxa de dose é de 20 mrad/hora, esse indivíduo permanece no local durante 3 horas. A dose absorvida por essa pessoa nesse intervalo de tempo, será de $20 \text{ mrad/h} \times 3 \text{ h} = 60 \text{ mrad}$.

Existe também muita confusão entre os conceitos taxa de exposição e taxa de dose, ou entre exposição e dose.

Para tentar esclarecer este problema, poderíamos considerá-lo do seguinte ponto de vista:

-consideremos uma fonte de gamagrafia fora da blindagem. A radiação por ela emitida, propaga-se em todas as direções no espaço. Em

todo o recinto, existe um campo de radiação, com intensidade tanto menor quanto mais nos afastarmos da fonte. A intensidade desse campo no ponto considerado, pode ser expressa pela taxa de exposição. Nesse ponto existe uma certa taxa de exposição porque existe uma fonte nas vizinhanças. Se retirarmos a fonte, o valor da taxa de exposição cairá praticamente a zero. Associamos, portanto, taxa de exposição, com intensidade do campo de radiação em certo local. As palavras dose absorvida ou taxa de dose recebida por uma pessoa, não tem sentido, desde que ninguém esteja exposto ao campo de radiação. Em outras palavras, uma pessoa recebe determinada dose, quando se encontra no campo de radiação. Acontece que quando uma pessoa está exposta a radiação em um ponto onde a taxa de radiação é de 1 m R/h, a taxa de dose que ela receberá será de 1 mrad/h (a rigor o valor certo é de 0,96 mrad/h, mas por simplicidade toma-se o valor unitário).

Esta semelhança nos números entre roentgen e rad, cria geralmente confusão entre os conceitos.

Tentaremos esclarecer ainda mais o problema com um exemplo prático.

A taxa de exposição a 10 m de uma fonte de ^{192}Ir de 1 Ci é de 4,86 mR/h. Este valor só é consequência de existir a fonte a 10 m de distancia.

Associamos então, taxa de exposição, à existência de uma fonte radioativa. Se um indivíduo encontra-se nesse ponto, como consequência da existência do campo de radiação, ele receberá uma taxa de dose do mesmo valor que a taxa de exposição no local, ou seja, 4,86 mrad/h.

A dose que o indivíduo receberá será função do tempo de permanência no local. Caso ele fique 30 minutos, receberá uma dose de 2,43 mrad.

A dose que qualquer indivíduo recebe em certo local, dependerá de dois fatores. A taxa de exposição no local e o tempo de exposição.

Para diminuir ao máximo a dose recebida em trabalhos com radiação é necessário reduzir o tempo de exposição e/ou trabalhar em locais com baixa taxa de exposição. Como este último parâmetro varia com o quadrado da distancia à fonte, a melhor forma de diminuir a taxa de exposição é aumentando a distancia tanto quanto for possível.

Existem casos especiais, onde deve-se escolher entre aumentar a distancia de trabalho, realizando operações mais devagar, ou trabalhar bem mais perto e mais rápido.

A escolha certa dependerá dos cálculos de dose à cada caso. Como exemplo típico deste problema podemos tomar o seguinte:

- uma fonte de gamagrafia de ^{192}Ir , com 10 Ci de atividade, caiu ao chão, sendo necessária a sua recuperação. O operador encarregado da operação tem duas opções:
 - a) trabalhar com pinças de 50 cm de comprimento para recuperar e colocar a fonte no seu lugar. Esta operação é mais demorada por quanto perde-se sensibilidade ao trabalhar com pinças. A operação toda pode demorar 2 minutos.
 - b) o operador pensa que utilizando-se das próprias mãos, ele consegue realizar a operação em apenas 3 segundos.

Qual é o procedimento certo a utilizar?

Podemos realizar um cálculo aproximado da dose que esse indivíduo receberia.

Caso a: Tempo de exposição = 2 minutos

Distancia = 50 cm

$$\text{Taxa de exposição} = \frac{10 \text{ Ci} \times 0,48 \text{ Rm}^2/\text{hCi}}{(0,5\text{m})^2 (0,25)}$$

$$= 19,44 \text{ R/h}$$

$$\text{Taxa de Dose} = 19,44 \text{ rad/h}$$

$$\text{Dose absorvida} = \frac{19,44 \text{ rad/h} \times 2 \text{ min}}{60 \text{ min/h}} = 0,65 \text{ rad}$$

Dose absorvida pelo operador = 0,65 rad. ✓

Caso b: Tempo de exposição = 3 segundos

Distancia: Os dedos encontram-se separados da parte ativa da fonte, só pelo invólucro metálico da cápsula. Consideremos esta espessura de 1 mm (o resultado será só aproximado).

$$\text{Taxa de exposição} = \frac{10\text{Ci} \times 0,486 \text{ Rm}^2/\text{hCi}}{(0,001 \text{ m})^2}$$

$$= 4.860.000 \text{ R/h}$$

$$\text{Taxa de Dose} = 4.860.000 \text{ rad/h}$$

$$\text{Dose absorvida} = \frac{4.860.000 \text{ rad/h} \times 3 \text{ seg}}{3600 \text{ seg/h}}$$

$$= 4050 \text{ rad.} \quad \checkmark$$

A dose recebida pelo operador neste segundo caso, quando pega a fonte com os dedos, é mais de seis mil vezes superior a quando trabalha com pinça de 50 cm, apesar da demanda do tempo ser 40 vezes superior.

Destas considerações podemos concluir que:

A FONTE RADIOATIVA NUNCA DEVE SER TOCADA COM OS DEDOS

No caso de não ser disponível uma pinça do comprimento utilizado no problema, deve-se pensar que, inclusive um alicate é muito mais seguro para recolher uma fonte que os próprios dedos.

Seria importante que toda pessoa que trabalha com fontes de alta atividade imaginasse em todos os momentos, que a fonte possui uma temperatura muito elevada, que ela acaba de sair de um forno, e esta a 2000°C. Com certeza, se esse fosse o caso, ninguém

permaneceria muito tempo perto, por causa das queimaduras que ela produziria. Na prática, embora a fonte esteja praticamente fria, os danos que ela pode produzir são muito piores que essa fonte hipotética a 2000°C.

As queimaduras por radiação são mais perigosas que as convencionais, e produzem efeitos a muito maior prazo.

6-9/07

23/02/0000/03

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB

CURSO DE SEGURANÇA RADIOLÓGICA PARA CANDIDATOS A
SUPERVISOR NA ÁREA DE GAMAGRAFIA INDUSTRIAL

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA Prof. Dr. Lucas Nogueira Garcez
Av. Prof. Frederico Hermann Junior, 345 - Pinheiros
05489-900 - SÃO PAULO - BRASIL

EFEITOS BIOLÓGICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE

AGOSTO DE 1977

INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO DE DOSE DO PESSOAL EXPOSTO À RADIAÇÃO

I - INTRODUÇÃO.

É difícil medir, com exatidão, a dose absorvida pelos tecidos irradiados.

Em geral, as condições de execução de um trabalho com material radioativo são irregulares e mal definidas. Normalmente, o máximo que se consegue é uma estimativa da dose de exposição a radiação X ou gama. Porém, para consegui-la, são necessários vários métodos e instrumentos. Talvez, o mais prático deles, se bem que menos preciso, seja o dosímetro fotográfico.

Para conseguir uma estimativa confiável da dose de exposição é necessário:

- definição precisa das características das fontes radioativas;
- controle adequado das condições de utilização e interpretação correta dos efeitos e interações prováveis;
- medições das taxas de doses, obtidas com instrumentos radiométricos, em levantamentos do meio ambiente, nas áreas de trabalho;
- dados obtidos com dosímetros fotográficos ou câmaras de bolso, portados pelo pessoal exposto;
- análise e interpretação deste conjunto de informações.

Portanto, os dispositivos de aplicação mais geral, na monitoração individual do pessoal exposto a radiação são os dosímetros fotográficos e as câmaras de bolso.

II - DOSIMETRIA POR MEIO DE FILMES.

A maioria dos filmes utilizados em dosimetria caracteriza-se por uma base de gelatina contendo sal de prata , (em geral brometo de prata), espalhada sob a forma de camada, com espessura variável entre 10 e 25 microns, sobre um suporte de celulose ou de placa de vidro. Geralmente, a emulsão é recoberta por uma camada protetora de gelatina de 0,5 microns de espessura.

O tamanho do grão de sal de prata, presente na emulsão , é muito importante para caracterizar a grande sensibilidade. Algumas substâncias sensibilizadoras, como por exemplo o Bôro-10, também podem ser adicionadas.

A dosimetria fotográfica está sujeita a uma série de limitações, das quais as mais importantes são:

1 - Dependência da energia da radiação.

A sensibilidade do filme depende da energia da radiação incidente e diminui a medida que essa energia aumenta.

Portanto, nos casos em que se conhece aproximadamente o nível de energia da radiação incidente, empregam-se filmes previamente calibrados, e nos casos em que ocorre exposição com radiações de várias energias é necessário preparar um filme, cuja resposta seja a mais constante possível, no intervalo compreendido entre 50 KeV e 3 MeV ou utilizar um sistema de filtros, que tem a preferência geral.

2 - Dependência angular.

O escurecimento do filme é altamente dependente do ângulo de incidência da radiação.

A tabela seguinte ilustra esta dependência.

Sensibilidade relativa de filmes, para radiação γ incidente, sob vários ângulos.

ÂNGULO	ENERGIA DA RADIAÇÃO GAMA		
	0,11 MeV	0,2 MeV	1,2 MeV
0° (perpendicular)	1,00	1,00	1,00
45°	0,46	0,73	0,91
90°	0,16	0,41	0,94

3 - Dependência da taxa de exposição.

A medida que aumenta a taxa da exposição ou a atividade da fonte, o fenômeno da interação múltipla (um grão de sal de prata é atingido por mais de uma partícula) pode ser significativa.

Selecionando filmes de sensibilidade diferentes, pode-se obter dosímetros que cobrem uma larga faixa de taxas de exposição.

4 - Dependência dos técnicos de revelação.

Pequenos desvios no tempo de revelação, tipo, qualidade e temperatura do revelador podem afetar a densidade do filme. Portanto, o procedimento usual é o de estabelecer padrões de revelação para cada processamento.

5 - Dependência do material envoltório.

O material envoltório, num dosímetro de filme, também influi no resultado. Normalmente, empregam-se materiais equivalentes ao tecido humano como a baquelite ou lucite, com uma janela aberta para medida da radiação beta. A espessura desse material depende, entretanto, da energia da radiação a ser medida.

Para a dosimetria de nêutrons, empregam-se separadamente, filtros de cádmio e latão, que atenuam a radiação gama na mesma proporção.

Entretanto pela reação (n, γ) induzida no cádmio, por nêutrons lentos, a exposição com filtro de cádmio é superior a de filtro de latão e, por comparação entre ambos, consegue-se obter a dose de nêutrons.

Para distinguir entre nêutrons lentos e rápidos a sensibilidade da emulsão é aumentada relativamente, para nêutrons lentos, pela adição de Boro-10.

III - DOSÍMETROS E CÂMARAS DE BOLSO.

III.1 - Dosímetros.

Um dosímetro de bolso, consta de uma câmara contendo 2 (dois) eletrodos. Um deles possui uma alça móvel, de fibra de quartzo, com revestimento metálico e liberdade de movimento, em relação ao suporte metálico, onde está montado, e uma outra alça fixa, também de fibra de quartzo, com revestimento metálico, presa rigidamente no mesmo suporte.

Este conjunto é totalmente isolado das paredes da câmara que constitui o outro eletrodo.

Carrega-se positivamente o eletrodo interno para que as cargas provoquem o afastamento das duas alças. A ionização proveniente da interação da radiação com o interior da câmara reduz a carga positiva do eletrodo interno, permitindo que a alça móvel volte para a sua posição normal.

Um sistema ótico, com escala graduada, permite a leitura do afastamento das duas alças, que é proporcional a ionização produzida pela radiação na câmara.

O conjunto tem o tamanho de uma lapizeira ou caneta de bolso.

Existem dosímetros de bolso com vários fundos de escala, porém os mais comuns são os de 200 mR.

A vantagem no uso do dosímetro de bolso é que ele pode ser "lido" a qualquer instante.

III.2 - Câmaras de Bolso.

A câmara de bolso é constituída por um eletrodo cilíndrico, contendo internamente outro eletrodo, coaxial, isolado do primeiro e formando uma câmara de gás.

Não possui dispositivo para a medição do potencial criado pela ionização. Ela deve ser efetuada por um sistema externo, medidor, e recarregador da câmara. Seu custo é bem inferior ao do dosímetro.

IV - USO DOS FILMES DOSIMÉTRICOS.

O controle dosimétrico do pessoal técnico é efetuado por instituições credenciadas junto a Comissão Nacional de Energia Nuclear. Em São Paulo, o principal órgão é o Instituto de Energia Atômica que utiliza a técnica de dosimetria fotográfica, baseada na leitura de transparência de filmes sensíveis, expostos a ação ionizadora das radiações.

Os filmes dosimétricos, devem ser trocados a cada intervalo de trinta dias, no próprio local de trabalho, exceto , quando os porta-filmes necessitam de reparos, em consequência da perda dos filtros de radiação. Para isto, deve se estabelecer aos radiólogos, a rotina seguinte:

- 1 - Trocar os filmes dosimétricos, no início de cada mês, no próprio local de trabalho, remetendo para a sede os que já foram usados no mês anterior.

Os filmes do IEA estão contidos no interior dos porta-filmes, modelos I e II, representados na figura 1 .

2 - Substituir os filmes dosimétricos, do porta-filme, modelo I, da maneira seguinte:

a) introduzir uma espátula na fenda do porta filme e pressionar até que o calço saia pelo lado oposto, conforme apresentado na figura 2 . Depois, com a ponta do dedo, pressione o filme pela janela circular. Introduza a espátula na fenda e pressione até que o filme saia pelo lado oposto.

b) para carregar, o procedimento é inverso, conforme representado na figura 2.

Pegue o filme marcado com o código respectivo e coloque-o pela fenda, até ficar completamente encaixado no porta-filme.

Em seguida, introduza o calço pela fenda.

Feito isto, o porta-filme estará carregada, constituindo-se no DOSÍMETRO. O filme, uma vez inserido no porta-filme, não deve ser deslocado.

3 - Substituição dos filmes dosimétricos nos porta-filmes modelo II :

a) retire a presilha com uma chave de fenda, mas tome cuidado para não perde-la. Para isso proteja-a com a mão, no instante em que ela se soltar.

b) gire o porta-filme de modo que ele fique com a parte posterior voltada para você, conforme representado na figura 3.

c) para carregar, basta tomar o filme com o código respectivo e inseri-lo no porta-filme, ficando

a parte do verso, de frente para você, conforme representação mostrada na figura 3.

d) feche o porta-filme e coloque a presilha.

Efetuada as substituições, embale convenientemente os filmes dosimétricos usados durante o mês passado em uma caixa de papelão e remeta-os à sede.

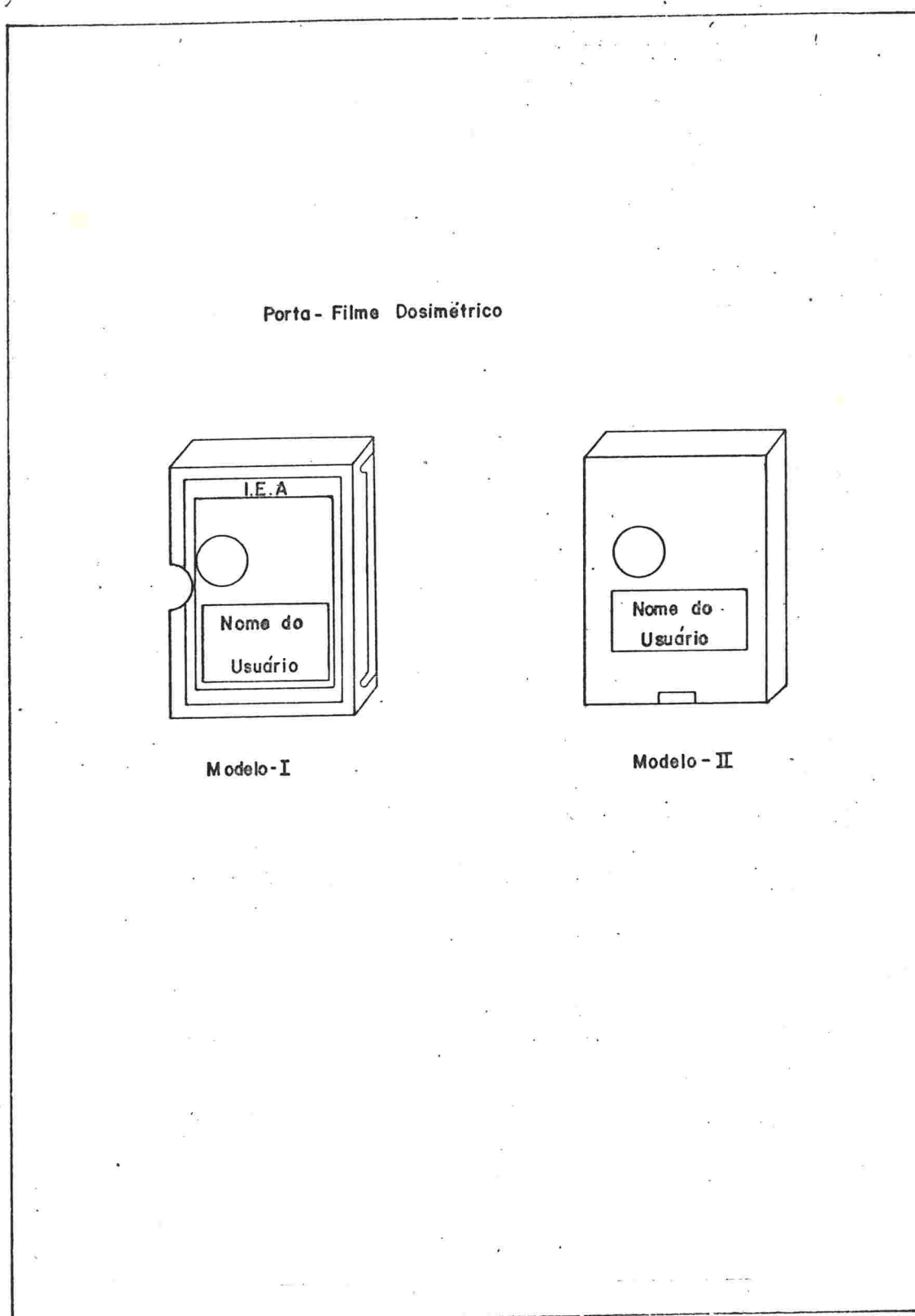


Figura 1 - Porta-filmes, modelos I e II, do Instituto de Energia Atômica, usados na Dosimetria Fotográfica.

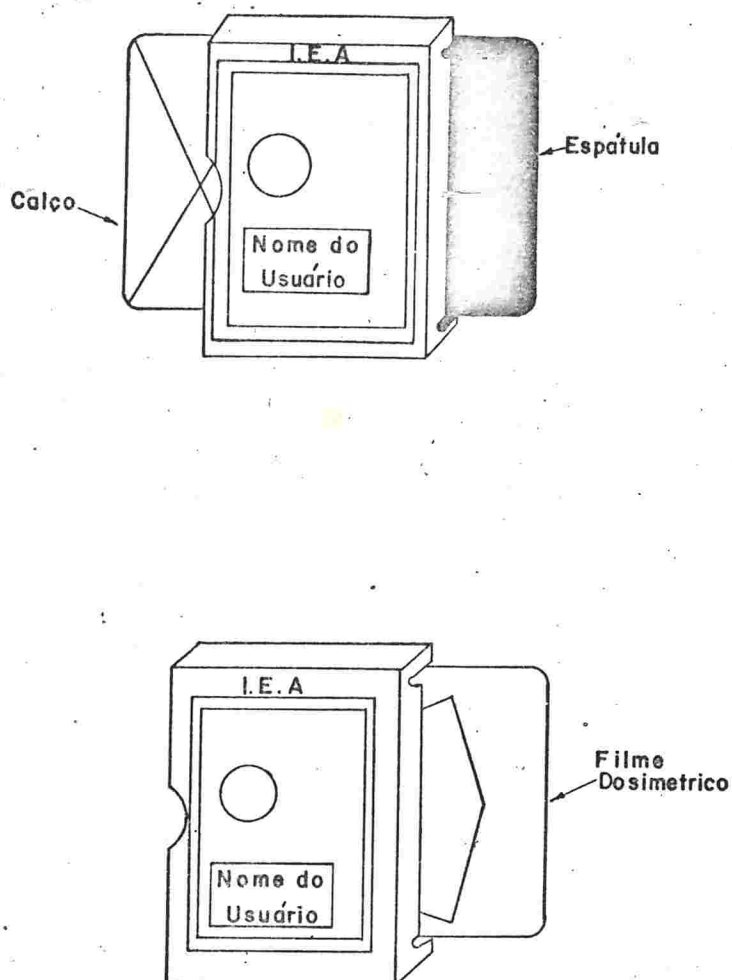


Figura - 2 (a) - Técnica para substituição do filme dosimétrico, no modelo I.

(b) - Técnica usada para carregamento do filme dosimétrico no modelo I.

6.9/09

23/01/2006/04

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB

CURSO DE SEGURANÇA RADIOLÓGICA PARA
GAMAGRAFIA INDUSTRIAL

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA Prof. Dr. Lucas Negueira Garcez
Av. Prof. Frederico Hermann Junior, 645 - Pinheiros
05489-900 - SÃO PAULO - BRASIL

CALIBRAÇÃO DE APARELHOS DE LEVANTAMENTO RADIOMÉTRICO

DR. WLADIMYR SANCHEZ

1977

CALIBRAÇÃO DE APARELHOS DE LEVANTAMENTO RADIOMÉTRICO

I - INTRODUÇÃO

Os monitores de radiação, que utilizam tubos Geiger-Muller, são muito solicitados para medir baixas e médias exposições de radiações beta e gama. Eles são instrumentos de taxas de contagem porque os registradores assinalam as taxas médias (contagem/unidade de tempo), provenientes das radiações emitidas por fontes beta e gama, que interagem com o gás contido no volume ativo dos contadores e provocam ionizações. Assim, a leitura de um medidor é função apenas da taxa média de ionização, produzida no volume ativo do tubo G.M. Para se medir diferentes valores das taxas de exposição a radiação, costumam-se dota-los de distintas escalas, que geralmente variam entre si por um fator dez (10). Consegue-se boa fidedignidade, na leitura de um instrumento de medição de taxa de exposição, por meio de calibrações, tomando-se por referência a exposição fornecida por uma fonte padrão, cuja atividade é bem conhecida.

Para se calibrar qualquer tipo de medidor, a leitura em uma escala particular deve ser comparada com o valor obtido pelo cálculo da exposição correspondente, levando-se em conta a fonte padrão.

Cada escala deve ser cuidadosamente calibrada, tomando-se por referência cinco (5) pontos, sendo um nas proximidades de cada extremidade da escala, outro no centro e os outros dois (2) simetricamente distribuídos, em relação ao valor do meio. Durante a calibração ou no decorrer do uso rotineiro, o instrumento nunca deve ser usado em um campo de radiação que provoque exposição acima do valor máximo da escala. Quando isto acontecer, o número de pulsos se torna tão intenso que bloqueia o mecanismo eletrônico de contagem, fazendo o ponteiro da escala retornar ao zero, indicando falsa ausência de radiação.

As câmaras de ionização devem ser utilizadas nas detecções de altas exposições, decorrentes do uso das grandes atividades, das atuais fontes de gamagrafia. Como no caso anterior, a confiabilidade dos valores registrados, por esse tipo de detector, depende fundamentalmente da calibração do instrumental.

Uma das fontes usadas na calibração dos aparelhos de levantamento radiométrico é o ^{60}Co , que possui meia vida suficientemente longa e energia praticamente monoenergética. As exposições, a diferentes distâncias, produzidas por uma fonte de ^{60}Co , podem ser calculadas com o auxílio da equação:

(1)

$$\dot{X}(\text{mR/h}) = 1,3300 \times \frac{A}{d^2}$$

d é expresso em cm, A em mCi e 1,3300 representa a constante de ionização, em $\text{mR.cm}^2/\text{h.mCi}$.

Exemplo: 6,2 mCi de ^{60}Co fornece, a 1 metro de distância, a exposição de: $1.3300 \times 6,2 \times \frac{1}{10^4} = 8,25 \text{ mR/h}$.

Na distância de 0,5, essa exposição cresce para $8,25 \times 4 = 33,0 \text{ mR/h}$. A 10 cm de distância, a exposição será de $1.3300 \times \frac{6,2}{(10)^2} = 825 \text{ mR/h}$

II - EQUIPAMENTO A SER CALIBRADO

O equipamento de levantamento radiométrico, a ser calibrado é um contador Nortron, tipo NDG-50R, portátil, equipado com quatro (4) baterias alcalinas, de 1,5 V cada, recarregáveis, que permitem longa autonomia de uso. A intensidade da radiação detectada é lida em um galvômetro, com escala linear, cobrindo as faixas de 10,100 e 1000 mR/h e escala logarítmica que permite registrar a taxa de até 50 R/h. O tempo de resposta do medidor varia automaticamente com a escala escolhida. A sensibilidade para a detecção da radiação gama emitida por fontes de ^{60}Co é de 120 pulsos, por minuto, por mR/h, aproximadamente.

O tempo morto é inferior a 120 microsegundos e a sua sensibilidade relativa chega a 88%, aproximadamente, para a energia média do irídio-192 (^{192}Ir), avaliada em 350 KeV. Os tempos de resposta são:

- escala de 0 - 10 mR/h : 4 segundos
- escala de 0 - 100 mR/h : 3 segundos
- escala de 0 - 1000 mR/h : 2 segundos
- escala de 0 - 50 R/h : 0,6 segundos

Esses aparelhos podem ser utilizados em locais onde a temperatura do meio ambiente, situa-se entre - 10°C a 60°C.

III - MATERIAIS E EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS

- uma fonte de ^{60}Co , com 6,2 mCi;
- um monitor de radiação Nortron - NDG-50R;
- papel milimetrado;
- uma régua (50 cm);
- um suporte para fonte;
- papel log x log.

IV - PROCEDIMENTOS

- a. Ligue o aparelho e espere 1 minuto para o sistema atingir a estabilidade desejada. Verifique se a bateria de alimentação encontra-se carregada, observando o posicionamento do ponteiro indicador.
- b. Gire o seletor para a escala 1K que permitirá obter leituras de 1000 mR/h.

Se o ponteiro indicador não acusar nada, gire o seletor, primeiro para a escala intermediária (0 - 100 mR/h), e depois para a escala mais sensível (0 - 10 mR/h). Não havendo nenhuma fonte de radiação nas proximidades, o ponteiro deveria indicar apenas a taxa de exposição, produzida pela radiação de fundo, da ordem de 0,02 mR/h. Esse valor é muito pequeno para ser registrado adequadamente, no contador Nortron - NDG-50R.

- c. Mantenha o medidor na escala mais sensível. Aproxime a fonte do contador, até que o ponteiro indique, 90% do valor total da escala. Registre a leitura e assinale a distância que a fonte se encontra do detector. Essa distância deve ser medida, - considerando-se o espaço compreendido entre a fonte e o centro do tubo G.M., mantido perpendicularmente, em relação ao feixe de radiação.
- d. Movimente a fonte em direção ao contador, até que o ponteiro indicador atinja 70% do valor total da escala. Leia o valor da exposição e registre a distância fonte-detector.
- e. Repita estes procedimentos, para os valores da exposição que correspondem as posições do ponteiro indicador, nos valores de 50% da escala total, 30% e 10%.
- f. Proceda analogamente para as outras duas escalas - (0 - 100 mR) e (0- 1000 mR/h).
- g. Terminada as medições, gire o seletor para a posição desl., desligando o aparelho.

Cálculos

- a. Por meio da equação (1), calcule os valores das exposições, correspondentes a cada distância fonte-detector, em cada escala.
- b. Utilizando-se de papel logxlog, desenhe curvas que correlacionem a distância com a taxa de exposição, para cada escala considerada. Coloque no mesmo gráfico os valores correspondentes, das taxas de exposição que foram lidos, no aparelho.
- c. Utilizando-se de papel milimetrado, desenhe os pontos correspondentes às leituras efetuadas, no medidor (eixo Y) e as que foram calculadas (eixo X). Para cada escala deve se construir uma curva.

- d. Anote os dados do medidor (número de série, modelo, fabricante), a natureza e atividade da fonte e registre-os, em tabela semelhante a seguinte:

Calibração de Instrumento de Levantamento Radiométrico

Data:

Fonte:

Calibrado por:

Modelo:

Série:

Fabricante:

Distância Fonte-Detector	Escala do Detector	Leitura do Detector (mR/h)	Valor Calculado pela Equação (1) (mR/h)

6-9/11

001911 ex00/06

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

CURSO DE SEGURANÇA RADIOLÓGICA PARA
GAMAGRAFIA INDUSTRIAL

DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE AB
SORÇÃO LINEAR E DE MASSA PARA RADIA
ÇÃO GAMA DE DIFERENTES ENERGIAS

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA Prof. Dr. Lucas Nogueira Galvão
Av. Prof. Frederico Hermann Júnior, 345 - Pinheiros
05489-900 - SÃO PAULO - BR SL

DR. WLADIMYR SANCHES

1977

DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE ABSORÇÃO LINEAR E DE MASSA PARA RADIAÇÃO GAMA DE DIFERENTES ENERGIAS.

I. INTRODUÇÃO

Todas as radiações possuem energia, que se manifesta na forma cinética, quando se trata de partículas em movimento ou inerentemente como no caso das radiações eletromagnéticas.

A absorção da radiação constitui um processo de transferência dessa energia aos átomos dos elementos, que formam o corpo material, através do qual ela passa. A radiação interage com a matéria quando sofre absorção ou espalhamento.

O mecanismo de absorção da radiação é de interesse fundamental, para a segurança radiológica, pelos motivos seguintes:

1. a absorção pelo tecido humano, pode provocar danos à saúde das pessoas;
2. a absorção é o princípio em que se baseia a detecção da radiação;
3. a absorção é que determina o tipo e as dimensões das blindagens.

Quando a radiação eletromagnética gama passa através da matéria, ela interage com os elétrons dos átomos constituintes e produz ionizações. Existem três (3) mecanismos, por meio dos quais a radiação gama sofre atenuação, ao atravessar um corpo material, a saber:

- a. efeito fotoelétrico. A radiação gama incidente colide com um elétron e transfere a ele toda a sua energia, que é suficiente para arrancá-lo do átomo. O raio gama

desaparece e o eléctron se movimenta com uma energia cinética bem alta, suficiente para deslocar outros eléctrons das órbitas de seus átomos e provocam novas ionizações, até perder toda a energia adquirida.

- b. efeito Compton. A radiação gama interage com o eléctron, mas não perde toda a sua energia. O eléctron é arrancado de sua órbita e dotado de alta energia cinética, provocando novas ionizações. Também o raio gama incidente, que sofreu apenas um desvio de trajetória, continua a provocar novas ionizações até ser totalmente absorvido, via efeito fotoelétrico. Essa radiação gama, que sofre desvio de trajetória é conhecida pela denominação de "radição espalhada", e por isso é comum o uso da expressão "espalhamento Compton".
- c. produção de pares. Quando a radiação gama, de energia superior a 1,02 MeV, se aproxima do núcleo de um átomo, ela pode se transformar em um par de partículas, eléctron - pósitron, cada qual com energia de 0,51 MeV. Os elétrons e pósitrons, podem provocar novas ionizações secundárias, até perderem suas energias. A partir daí, quando o pósitron encontra um eléctron, eles se atraem, por possuírem cargas opostas e se aniquilam, provocando o aparecimento de dois raios gama, cada qual com 0,51 Mev. Esses raios gama podem provocar novas ionizações, por meio dos efeitos fotoelétrico e Compton.

Assim, a radiação eletromagnética gama, ao interagir com a matéria, perde energia e sofre atenuação, que pode ser representada pela equação:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

I_0 - intensidade original do feixe de radiação;

μ - coeficiente de absorção linear do material atravessa
do pela radiação;

x - espessura do material atravessado pela radiação;

I - intensidade do feixe de radiação emergente

A equação (1) pode ser escrita na forma seguinte:

$$\ln \frac{I_0}{I} = \mu x$$

$$\mu = \frac{\ln \frac{I_0}{I}}{x} \quad (2)$$

A equação (2), pode ser escrita de outra forma, quando se leva em conta a densidade do material atravessado pela radiação gama.

$$\mu' = \frac{\mu}{\delta} = \frac{\ln \frac{I_0}{I}}{x} \quad (3)$$

Assim, δ é a densidade do material atravessado pela radiação $\frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$, sendo a espessura x expressa em cm^2 .

μ recebe a denominação de coeficiente de absorção linear total, e tem a dimensão de cm^{-1} .

$\mu' = \frac{\mu}{\delta}$ recebe a denominação de coeficiente de absorção de massa, e tem a dimensão de $\frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$.

O coeficiente de absorção linear total, μ , é considerado a soma:

$$\mu_t = \mu_{\text{fotoelétrico}} + \mu_{\text{Compton}} + \mu_{\text{f.pares}}$$

II. DETERMINAÇÕES EXPERIMENTAIS DOS COEFICIENTES DE ABSORÇÃO

II.1. Materiais e equipamentos necessários.

- a. fontes radioativas (^{60}Co e ^{192}Ir)
- b. colimadores de chumbo para as fontes e contador de cintilação;
- c. corpos de prova (ferro, chumbo e água);
- d. contador de cintilação;
- e. escalímetro portátil;
- f. papel semilogarítmico.

II.2. Procedimento experimental.

- a. alinhe a posição dos colimadores, que contêm a fonte radioativa e o contador de cintilação, usando se necessário o feixe de luz de uma lanterna;
- b. coloque o contador de cintilação no interior da sua blindagem, tomando cuidado para não provocar desalinhamento do sistema de medição;
- c. ligue o escalímetro, coloque a alta tensão em 1100V, espere (5) minutos para a estabilização, zere o instrumento fixe o discriminador de energia em 9,5, com sensibilidade de entrada ajustada para 100 mV e inicie a contagem da radiação de fundo. Deixe contar por dez (10) minutos. Denomine I_0' , essa taxa de contagem;
- d. coloque a fonte radioativa de ^{60}Co , na sua blindagem;
- e. determine a intensidade I_0 , do feixe de radiação, contando por dois (2) minutos, o fluxo de raios gama, que atinge o detector;

- f. coloque a menor espessura do corpo de prova de aço, entre a fonte e o detector, na posição definida pelo suporte apropriado. Zere o escalímetro e conte a radiação, por dois (2) minutos. Denomine I_1 , essa taxa de contagem;
- g. adicione uma segunda placa de aço, dobrando a espessura original. Zere o escalímetro e conte a radiação por dois (2) minutos. Denomine I_2 , essa taxa de contagem;
- h. repita o procedimento anterior, adicionando, em cada caso, novas espessuras de aço. Denomine $I_3, I_4, \dots, I_n$, as taxas de contagem obtidas;
- i. calcule as taxas líquida de contagem

$$I_0 = I_0' - I''$$

$$I_1 = I_1' - I''$$

$$I_2 = I_2' - I''$$

$$I_n = I_n' - I''$$

- j. repita as medições substituindo a fonte de $^{60}_{27}\text{Co}$, por uma fonte de $^{192}_{78}\text{Ir}$. Se necessário modifique a sensibilidade de entrada, no discriminador.
- k. repita as medições usando as duas fontes, uma de cada vez, e corpos de prova de chumbo, e de água;

II.3. Cálculos

- a. calcule o desvio σ de cada medida efetuada;
- b. organize, para cada material e fonte, uma tabela do tipo especificado adiante;
- c. desenhe em papel semilogarítmico, para cada fonte e material, um gráfico que representa a variação de espessura do corpo de prova (escala linear), em função da intensidade do feixe emergente (escala logarítmica);
- d. o coeficiente angular dessa curva corresponde ao coeficiente de absorção linear, total μ ;
- e. calcule o valor de μ' , usando para as densidades os valores tabelados abaixo:

aço	: $\rho = 7,86 \text{ g/cm}^3$
chumbo	: $\rho = 11,34 \text{ g/cm}^3$
água	: $\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$

- f. considere a energia média da radiação gama emitida pelo cobalto-60, como sendo 1,25 MeV e a energia média do irídio-192, como sendo 0,35 MeV;
- g. compare os valores obtidos com os que estão representados na tabela anexa. Discuta as diferenças encontradas.

CALCULO DOS COEFICIENTES DE ABSORÇÃO

[illegible]

COEFICIENTES DE ABSORÇÃO LINEAR E DE MASSA, PARA ALGUNS ISÓTOPOS USADOS COMO FONTES DE GAMAGRAFIA

Fonte	$\mu \text{ (cm}^{-1}\text{)}$					$\frac{\mu}{\delta} \text{ (} \frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \text{)}$	
	Água $\delta = 1 \text{ g/cm}^3$	Pb $\delta = 11,3 \text{ g/cm}^3$	Fe $\delta = 7,8 \text{ g/cm}^3$	Concreto $\delta = 2,35 \text{ g/cm}^3$	Al $\delta = 2,7 \text{ g/cm}^3$	ar	água
^{60}Co	0,063	0,67	0,41	0,132	0,148	0,0267	0,0297
^{137}Cs	0,088	1,21	0,56	0,181	0,2	0,0294	0,0327
^{198}Au	0,108	2,37	0,72	0,221	0,248	0,03	0,033
$^{192}\text{Ir}^*$	0,105	2,6	0,76	0,23	0,25	0,03	0,033

* Valores medios aproximados

6.9/10

E3/P2/0906/05

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA Prof. Dr. Lucas Nogueira Garcez
Av. Prof. Frederico Hermann Junior, 345 - Pinheiros
05489-000 - SÃO PAULO - BRASIL

CURSO DE SEGURANÇA RADIOLÓGICA PARA

GAMAGRAFIA INDUSTRIAL

RECUPERAÇÃO DE FONTES DE GAMAGRAFIA
QUE SE DESPRENDEM DOS CABOS DE COMANDO
DO E DO INTERIOR DOS IRRADIADORES

DR. WLADIMYR SANCHEZ

1977

RECUPERAÇÃO DE FONTES DE GAMAGRAFIA QUE SE DESPRENDEM DOS CA BOS DE COMANDO E DO INTERIOR DOS IRRADIADORES.

I - INTRODUÇÃO

Durante a realização de um ensaio radiográfico perde
ram-se duas fontes de gamagrafia que se desprenderam dos cabos
de comando mecânico. Uma das fontes é de ^{192}Ir , com ativida
de de 40 Ci e a outra de ^{60}Co com atividade 5,0 Ci. Depois
que se constatou a perda das fontes, o chefe da equipe de
gamagrafia isolou as áreas onde elas se encontram co
locou guardas para impedir o acesso de pessoas estranhas ao
local, e notificou o Supervisor da Segurança Radiológica, pa
ra as providências necessárias a recuperação desses materiais
radioativos. Chegando ao local do acidente, o Supervisor reu
niu a sua equipe de trabalho, recebeu as informações sobre a
ocorrência e planejou as etapas necessárias para a recupera
ção das fontes.

II - PLANEJAMENTO

Para planejar a recuperação das fontes o Supervisor reu
niu os equipamentos e materiais seguintes:

- 1 - dois (2) aparelhos de levantamento radiométrico, sen
do um deles com escala de até 50 R;
- 2 - duas (2) blindagens auxiliares, dimensionadas de
acordo com as atividades e energias das fontes en
volvidas no acidente;
- 3 - duas (2) garras mecânicas, com comprimento de
um (1) metro;

- 4 - um (1) modelo inativo de cada fonte envolvida no acidente;
- 5 - dosímetros de leitura direta (canetas dosimétricas) com fundo de escala de 5 R, um para cada membro da equipe;
- 6 - placas de sinalização de área radioativa;
- 7 - fichas dosimétricas dos componentes da equipe de gamagrafia.

A análise das doses que cada um dos membros da equipe recebeu durante os últimos doze (12) meses de trabalho e o saldo de dose respectivo são dados considerados pelo Supervisor na escolha dos integrantes da equipe de recuperação. Definido o tempo de participação de cada componente, a equipe será treinada, por meio de simulação, usando-se os modelos inativos das fontes perdidas. Deverá ser cronometrado o tempo de participação de cada componente e avaliada as doses recebidas pelas mãos e pelo corpo todo, levando em conta as atividades envolvidas e as distâncias fonte-membros do operador.

A simulação deverá prosseguir, em todos os detalhes, até que a equipe sinta-se segura para efetuar a recuperação das fontes no menor tempo possível, levando em conta as doses máximas admitidas pelas normas da CNEN.

III - PARTE PRÁTICA

- 1 - escolher um Supervisor de Segurança Radiológica e os demais membros da equipe de gamagrafia.
- 2 - O Supervisor tomará iniciativa do planejamento de recuperação das fontes, e discutirá com seus comandos as etapas envolvidas, levando em conta:

- a) dosimetria do pessoal;
 - b) ferramentas disponíveis para o manuseio do material radioativo;
 - c) tempo provável gasto por cada membro da equipe, na operação de resgate;
 - d) uso de dosímetros de leitura direta e indireta;
 - e) blindagem de armazenamento;
 - f) rodizio dos técnicos;
 - g) implicações locais.
- 3 - O pessoal escolhido para participar do resgate usará obrigatoriamente dois (02) dosímetros de leitura indireta, sendo um deles de pulso.
- 4 - Encerrada a operação de resgate o Supervisor da Segurança Radiológica deverá emitir um relatório ao Departamento de Instalação e Materiais Nucleares, da CNEN, comunicando todas as providências tomadas, descrevendo as doses recebidas pelas pessoas envolvidas. Quando a dose recebida por qualquer operador for superior a duas (2) vezes o valor máximo anual permissível especificar os exames médicos solicitados ao técnico e apresentar cópia dos resultados.

IV - EXEMPLOS DE MAL FUNCIONAMENTO DE IRRADIADORES.

IV.1 - Fonte Solta no Cabo Dianteiro.

Durante a movimentação da fonte, do interior da blindagem de armazenamento para a posição de exposição, o engate mecânico pode se romper deixando-a presa no interior do cabo dianteiro.

Se o desengate ocorrer no momento em que a fonte é dirigido para a posição de exposição, o operador notará uma resistência bem grande, com relação movimentação da manivela.

O operador deve interromper o movimento da manivela, munir-se do aparelho de levantamento radiomêtrico e localizar a posição da fonte no interior do cabo dianteiro. A seguir deve blindar o local onde se encontra a fonte, com tijolos de chumbo, desconectar o cabo dianteiro do irradiador e escolher a alma. A seguir, desconectar o cabo trazeiro de comando e, deixa-se a blindagem livre.

O operador fixa a pinça de um metro de comprimento no local onde se encontra retida a fonte e levanta o cabo, mantendo-o na vertical e agitando-o. Esse movimento conduz a fonte para fora do cabo. Logo que isso ocorrer coloca-se a fonte na blindagem auxiliar e daí para o irradiador.

Se o desengate ocorrer no momento em que a fonte retorna para a blindagem de armazenamento, o operador só constatará a ocorrência quando efetuar a monitoração do irradiador, na posição prê-fixada pelo supervisor. Por isso é indispensável que, depois de cada exposição radiográfica, seja monitora

do o irradiador, para verificar se a fonte foi realmente recolhida.

Essa falha é totalmente eliminada, quando se usa colimadores de tungstênio, direcional ou panorâmico, em substituição ao cabo dianteiro.

Fontes retidas no interior da mangueira dianteira podem causar acidentes graves, de exposição a radiação, porque no instante em que o operador for recolher a mangueira, partes do seu corpo poderão ficar muito próxima da fonte e serem super-expostas.

IV.2 - Cabos Dianteiro ou de Comando Danificados.

Outra ocorrência comum, em gamagrafia industrial, é a redução de secção dos cabos, decorrentes do peso de veículos que passam por cima deles.

Quando a fonte dirige-se da blindagem para a posição de irradiação, o operador notará resistência na movimentação da manivela de comando. Ele deve parar o movimento e retornar a fonte para o interior da blindagem. Em seguida desconectar o cabo dianteiro e providenciar-se o reparo ou substituição.

Se a redução de secção do cabo dianteiro ocorrer quando a fonte encontra-se exposta, a movimentação do cabo de comando, no retorno, será muito dificultada.

Para recuperar a fonte a primeira providência consiste em blindá-la, de preferência com tijolos de chumbo. A seguir estica-se a mangueira, puxando a extremidade por meio da garra mecânica de um metro.

Desconecta-se a mangueira traseira, de comando mecânico e puxa-se a alma com as mãos, forçando a passagem da fonte para o interior da blindagem. Se este esforço for insuficiente, deve-se cortar a mangueira, na posição onde a fonte se encontra, em dois pedaços e coloca-la na blindagem auxiliar.

Quando o cabo de comando sofrer redução de secção basta desconecta-lo da blindagem e recolher a fonte, puxando o cabo com as mãos, até a posição normal. Desconecta-se o engate cabo-fonte e providencia-se o reparo necessário.

IV.3 - Ausência de Movimento Correto da Manivela da Caixa de Comando Mecânico.

Às vezes, é difícil ou mesmo impossível girar a manivela de comando mecânico do cabo que movimenta a fonte.

Quando isto ocorrer, desconecta-se o cabo do irradiador e movimenta-se a fonte puxando manualmente a alma. Ao chegar a fonte na sua posição de armazenamento, desconecta-se o cabo e providencia-se o reparo da caixa de manivela.

6-9/12

E3/P21ex06/02

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

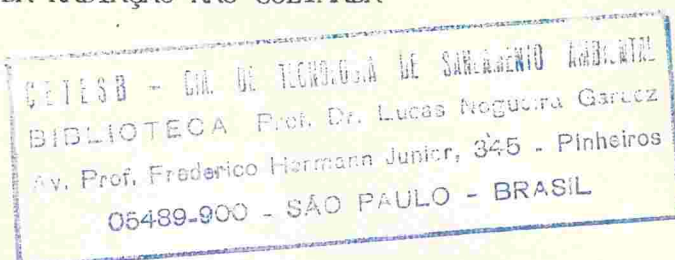
CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA Prof. Dr. Lucas Nogueira Garcez
Av. Prof. Frederico Hermann Junior, 345 - Pinheiros
05489-900 - SÃO PAULO - BR SL

CURSO DE SEGURANÇA RADIOLÓGICA PARA
GAMAGRAFIA INDUSTRIAL

ABSORÇÃO DA RADIAÇÃO NÃO COLINADA

DR. WLADIMYR SANCIEZ
- 1977 -

ABSORÇÃO DA RADIAÇÃO NÃO COLIMADA



I - INTRODUÇÃO

As técnicas de gamagrafia baseiam-se, principalmente, no uso de feixe divergente de radiação gama. Nesse caso, chega ao filme radiográfico uma quantidade de radiação que é bem superior a que o atingiria, se o feixe fosse colimado. A radiação que sofre espalhamento, no interior do corpo de prova sob ensaio, ou em enteparos situados nas proximidades do filme, aumenta o feixe, primário que atinge a emulsão sensível. A fração de radiação que sofre espalhamento cresce com o aumento do campo de radiação e com a espessura do corpo de prova.

Quando se trata da segurança radiológica, a radiação espalhada torna-se muito perigosa as pessoas, porque pode atingir o operador, mesmo que ele não se encontre na direção do feixe direto.

De modo geral, quanto maior a energia da radiação incidente, menor será o seu espalhamento. Por exemplo, a radiação proveniente de uma fonte de ^{60}Co ($E = 1,25 \text{ MeV}$) proporciona um retroespalhamento que varia entre 1 e 3%, mas que pode chegar entre 30 a 40%, se a energia fosse reduzida para 200 KeV.

A intensidade de um feixe de radiação não colimado, que atravessa um corpo material, pode ser representada pela equação:

$$I = I_0 e^{-\mu x} + I_{\text{esp}} \quad (1)$$

$I_0 e^{-\mu x}$ - representa a contribuição do feixe colimado;

μ - é o coeficiente de absorção do feixe colimado;

I_{esp} - representa a contribuição produzida pela intensidade da radiação espalhada, em dado ponto.

Para se calcular a atenuação da intensidade de um feixe de radiação não colimado, torna-se necessário calcular I_{esp} . Os valores de I_{esp} dependem de diversos parâmetros, tais como o espectro energético, sua variação durante o espalhamento, a absorção da radiação, etc. Naturalmente, isto dificultará a determinação de I_{esp} por meio de cálculos.

Na prática, a intensidade da radiação espalhada é determinada experimentalmente, registrando-se a diferença entre as intensidades dos feixes de radiação colimados e não colimados, depois de atravessarem um absorvedor de espessura definida.

A lei física que governa a atenuação do feixe de radiação divergente, ao atravessar um corpo material, pode ser representada por uma equação do tipo:

$$I_{\text{nc}} = I_0 e^{-\mu_{\text{nc}} x} \quad (2)$$

I_{nc} - intensidade do feixe de radiação gama divergente, após atravessar um corpo de prova de espessura x ;

I_0 - intensidade do feixe divergente, no mesmo ponto, na ausência do corpo de prova;

μ_{nc} - representaria um coeficiente de absorção linear, para a radiação pertencente ao feixe divergente.

Esse coeficiente de absorção, para feixe divergente de radiação gama, pode ser determinado experimentalmente. Para isso constrói-se uma curva que representa a passagem do feixe não colimado por absorvedor de diferentes espessuras. Essa curva de absorção será utilizada para determinar μ_{nc} , em função de diferentes espessuras atravessadas, levando-se em conta a equação (2) escrita sob a forma:

$$\ln \frac{I_0}{I_{\text{nc}}} = \mu_{\text{nc}} x \quad (3)$$

Construindo-se a curva em papel semilogarítmico, obtém-se uma reta cujo coeficiente angular é μ_{nc} .

II - DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL

II.1 - Materiais e equipamentos necessários.

- a. fontes radioativas (^{60}Co e ^{192}Ir);
- b. colimadores para as fontes;
- c. corpos de prova (ferro, chumbo e água);
- d. contador de cintilação;
- e. escalímetro portátil;
- f. papel semilogarítmico.

II.2 - Procedimento experimental.

O procedimento experimental é análogo ao da aula de determinação dos coeficientes de absorção para distintos materiais e energias.

- a. alinhe a posição dos colimadores, que contém a fonte radioativa tomando por base o centro da superfície do cristal do contador de cintilação;
- b. ligue o escalímetro, coloque a alta tensão em 1100V, espere cinco (5) minutos para a estabilização, zere o instrumento fixe o discriminador de energia em 9.5, com sensibilidade de entrada ajustada para 100 mV e inicie a contagem da radiação de fundo. Deixe contar por dez (10) minutos. Denomine I_0 , essa taxa de contagem;
- c. coloque a fonte radioativa de ^{60}Co , na sua blindagem;
- d. determine a intensidade I_0 , do feixe de radiação, contando por dois (2) minutos, o fluxo de raios gama que atinge o detector;
- e. coloque a menor espessura do corpo de prova de aço, entre a fonte e o detector, na posição definida pelo suporte apropriado. Zere o escalímetro e conte a radiação, por dois (2) minutos. Denomine I_1 , essa taxa de contagem;
- f. adicione uma segunda placa de aço, dobrando a espessura original. Zere o escalímetro e conte a radiação por (2)

dois minutos. Denomine I_2 , essa taxa de contagem;

g. repita o procedimento anterior, adicionando, em cada caso, novas espessuras de aço. Denomine $I_3, I_4, \dots, I_n$, as taxas de contagem obtidas;

h. calcule as taxas líquidas de contagem

$$I_0 = I_0' - I_0''$$

$$I_1 = I_1' - I_1''$$

$$I_2 = I_2' - I_2''$$

$$I_n = I_n' - I_0''$$

i. repita as medições substituindo a fonte de ^{60}Co , por uma fonte de ^{192}Ir . Se necessário modifique a sensibilidade de entrada, no discriminador;

j. repita as medições usando as duas fontes, uma de cada vez, e corpos de prova de chumbo, e de água;

II.3 - Cálculos

a. calcule o desvio σ de cada medida efetuada;

b. organize, para cada material e fonte, uma tabela do tipo especificado na aula anterior;

c. desenhe em papel semilogarítmico, para cada fonte e material, um gráfico que representa a variação de espessura do corpo de prova (escala linear), em função da intensidade do feixe emergente (escala logarítmica);

d. determine, para cada espessura ensaiada um valor do coeficiente μ_{nc} ;

e. compare os valores de μ_{nc} com os valores de μ , obtidos na aula anterior;

f. desenhe em gráfico semilogarítmico os valores de μ_c e

μ_{nc} (escala logarítmica) versus espessura do corpo de prova. Analise a curva obtida;

- g. admitindo-se que $\mu_c = \mu_{nc}$ a equação (2) passará para a forma:

$$I = I_0 e^{-\mu_c x}$$

como a intensidade I_0 é a mesma, usando geometria colimada ou não, deve existir um fator de multiplicação $B(\mu x)$ tal que o produto $I_0 B(\mu x) e^{-\mu_c x} = I$. (eq.2) determine o fator B , para cada espessura do material ensaiado e para cada fonte usada no ensaio (^{60}Co e ^{192}Ir).

SAMPALLO :

9.9/18

es/p2/ex06/10.

CETESB

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA Prof. Dr. Lucas Nogueira Garcez
Av. Prof. Frederico Hermann Junior, 345 - Pinheiros
05489-900 - SÃO PAULO - BRASIL

SEGURANÇA RADIOLÓGICA

(MATEMÁTICAS)

Engº José Leomax dos Santos

São Paulo, 1977

1. EXPRESSÕES ALGÉBRICAS

Denomina-se expressão algébrica, ao conjunto de letras ou letras e números, ligados por sinais de quaisquer das 6 operações fundamentais.

São exemplos de expressões algébricas:

$$1) \quad 3xy + \frac{3x^2 + 9}{y} + 4xy^3$$

$$2) \quad ax^2 + bx + c$$

$$3) \quad 3y^2 \sqrt{x} + \frac{2ax^4}{5} + by^3$$

Conforme contenha ou não uma ou mais letras sob radical, uma expressão algébrica é dita irracional ou racional. Assim, as expressões (1) e (2) são racionais e a expressão (3) é irracional.

Diz-se que uma expressão algébrica é inteira quando não contém letra em denominador. Em caso contrário, diz-se que ela é fracionária. Assim, a expressão (1) é fracionária e a (2) é inteira.

Em definições dada acima podem ser referidas apenas a uma determinada letra da expressão algébrica.

Monômio - chama-se monômio uma expressão algébrica onde não há indicação das operações de adição e subtração. São exemplos de monômios :

$$\frac{2ax}{9}, \quad \frac{4y \sqrt{xy}}{3x}, \quad \frac{5a^2 \sqrt{ay}}{zx}$$

São particularmente importantes os monômios racionais inteiros, que podem sempre ser apresentados sob a forma de um produto de

um fator numérico por um produto de potências de uma ou mais letras.

São monômios semelhantes os que têm a mesma parte literal.

O grau de um monômio é a soma dos expoentes de suas letras. Em particular, o grau de um monômio em relação a uma letra é o expoente dessa letra do monômio.

Polinômio - Denomina-se polinômio a uma soma algébrica de monômios. Aplicam-se aos polinômios, os conceitos gerais relativos às expressões algébricas.

Os polinômios de 2 e 3 termos, chamam-se binômios e trinômios, respectivamente.

O valor numérico de um polinômio, é o número que se obtém substituindo-se no polinômio todas as suas letras por números determinados e efetuando-se as operações indicadas.

2. FUNÇÕES

Se a cada valor que uma variável X pode assumir, corresponde um ou mais valores da variável Y , diz-se que Y é uma função de X , e escreve-se $Y = f(X)$ (lê-se Y igual a função de X), para indicar essa dependência funcional. Outras letras, tais como G , Ψ , ψ , etc., podem ser usadas em vez de F .

A variável X chama-se variável independente, e y chama-se a variável dependente.

Se apenas um valor de y corresponde a cada um de x diz-se que y é uma função unívoca de x ; de outro modo, ela seria denominada uma função plurívoca de x .

A dependência funcional ou correspondência entre duas variáveis é; muitas vezes, representada em um quadro. Entretanto, ela também

pode ser representada por uma equação que correlaciona as variáveis, como $y = 2x - 3$, da qual y pode ser determinado, em correspondência com os vários valores de x .

Se $y = F(x)$, é hábito fazer com que $F(3)$ signifique "o valor de y quando $x = 3$ ", o valor $F(10)$ significa "o valor de y quando $x = 10$ ", etc.,. Assim, se $y = F(x) = x^2$, então $F(3) = 3^2 = 9$ é o valor de y quando $x = 3$.

O conceito de função pode ser estendido a duas ou mais variáveis.

3. COORDENADAS RETANGULARES

Consideremos duas retas perpendiculares, $X'OX$ e $Y'OY$, denominados eixo dos X e dos Y , respectivamente (ver figura 1), sobre os quais são indicadas as escalas apropriadas. Essas retas dividem o plano por elas determinados, denominado plano XY , em 4 regiões representadas por I, II, III e IV e denominadas primeiro, segundo, terceiro e quarto quadrantes, respectivamente.

O ponto chama-se origem ou ponto zero. Dado um ponto P , baixam-se por ele perpendiculares aos eixos dos X e dos Y .

Os valores de X e Y nos pontos em que as perpendiculares encontram os eixos, são denominadas coordenadas retangulares ou simplesmente coordenadas de P e são representadas por (XY) . A coordenada X chama-se abscissa do ponto e Y é sua ordenada. Na figura 1, a abscissa do ponto P é 2, a ordenada é 3 e as coordenadas de P são $(2,3)$.

Reciprocamente, dadas as coordenadas de um ponto, podemos localiza-lo ou locá-lo. Assim, os pontos de coordenadas $(-4,-3)$; $(-2, 5)$ e $(2,5, -4)$ são representados na figura 1, por Q, R e S respectivamente.

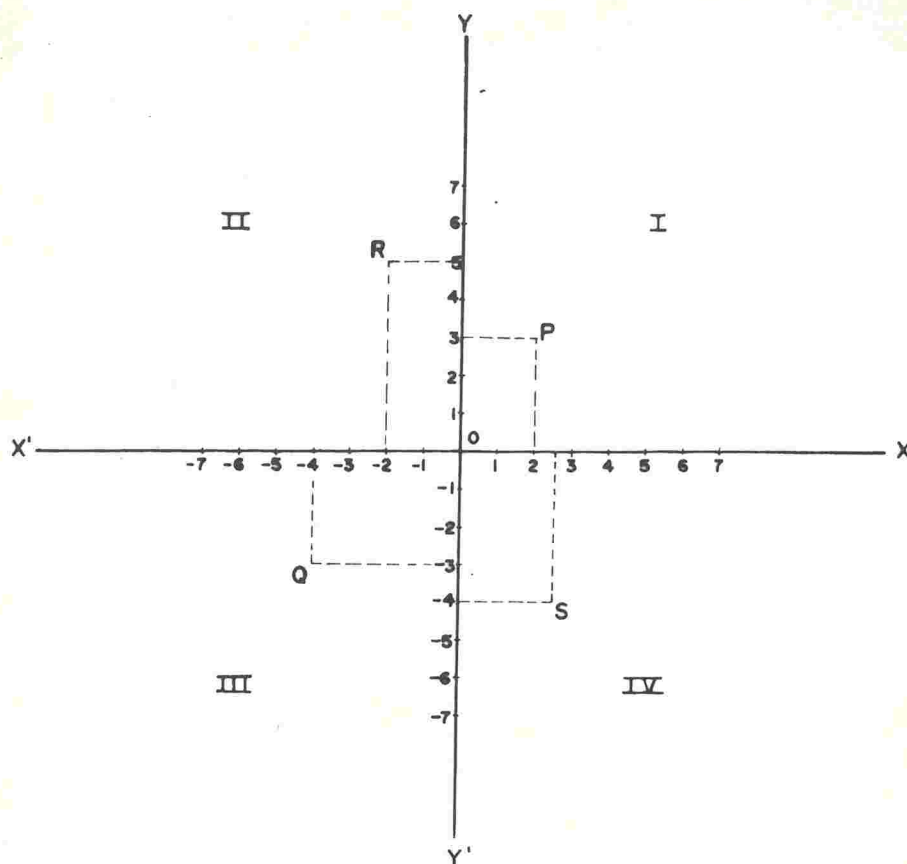


Figura 01

4. EQUAÇÕES

Equações são relações da forma $A = B$, onde A é chamado o primeiro membro da equação e B o segundo membro. Sempre que se efetuam as mesmas operações em ambos os membros de uma equação, obtêm-se equações equivalentes. Assim, podem-se adicionar, subtrair, multiplicar e dividir ambos os membros de uma equação pelo mesmo valor e obter uma equivalente, com a única exceção da divisão por zero, que não é permitida.

Exemplo: Dada a equação $2x + 3 = 9$.

Subtraindo 3 a ambos os membros:

$$2x + 3 - 3 = 9 - 3 \quad \text{ou} \quad 2x = 6.$$

Dividindo ambos os membros por 2:

$$2x/2 = 6/2 \text{ ou } x = 3.$$

Este valor de X é a solução da equação dada, pois vê-se que, substituindo-se X por 3, obtém-se $2(3) + 3 = 9$ ou $9 = 9$, o que é uma identidade. O processo para se obter as soluções de uma equação é denominado resolução da equação.

Os princípios acima podem ser extendidos para encontrar as soluções de duas equações a duas incógnitas, três equações a três incógnitas, etc.,. Essas equações chamam-se equações simultâneas.

5. GRÁFICOS

Um gráfico é uma representação gráfica da relação entre variáveis.

Muitos tipos de gráficos são empregados em matemática, dependendo da natureza dos dados pertinentes e da finalidade para a qual ele é destinado.

6. DESIGUALDADES

Os símbolos $>$ e $<$ significam "maior do que" e "menor do que" respectivamente. Os símbolos $\geq$ e $\leq$ significam "maior ou igual do que" e "menor ou igual do que", respectivamente. São conhecidos como símbolos de desigualdade.

Exemplo 1. $3 < 5$ leia-se "3 é menor do que 5"

Exemplo 2. $5 > 3$ leia-se "5 é maior do que 3".

Exemplo 3. $X < 8$ leia-se "X é menor do que 8".

Exemplo 4. $X \geq 10$ leia-se "X é maior do que ou igual a 10".

Exemplo 5. $4 < Y \leq 6$ leia-se "4 é menor do que Y, o qual é menor do que ou igual a 6", ou "Y esta compreendido entre 4 e 6, com exclusão de 4, mas incluindo 6", ou "Y é maior do que 4 e menor do que ou igual a 6".

As relações que envolvem símbolos de desigualdade são denominadas desigualdades. Assim como nos referimos aos membros de uma equação, pode-se também falar em membros de uma desigualdade. Assim, na desigualdade $4 < Y \leq 6$, 4, Y e 6 são os membros.

Uma desigualdade permanece válida quando:

- a) O mesmo número é adicionado a ou subtraído de cada um de seus membros.

Exemplos: Como $15 > 12$; $15 + 3 > 12 + 3$ (i.e. $18 > 15$) e $15 - 3 > 12 - 3$ (i.e., $12 > 9$);

- b) Cada membro é multiplicado ou dividido pelo mesmo número positivo.

Exemplos: Como $15 > 12$; $(15)(3) > (12)(3)$ (i.e., $45 > 36$) e

$$\frac{15}{3} > \frac{12}{3} \quad (\text{i.e., } 5 > 4);$$

- c) Cada membro é multiplicado ou dividido pelo mesmo número negativo, desde que se proceda à inversão do símbolo de desigualdade.

Exemplos: Como $15 > 12$; $(15)(-3) < (12)(-3)$ (i.e., $-45 < -36$) e $\frac{15}{-3} < \frac{12}{-3}$ (i.e., $-5 < 4$).

7. FUNÇÕES TRIGONOMÉTRICAS SIMPLES

Seja ABC, um triângulo retângulo em A (figura 2). O lado a, oposto ao ângulo reto, é chamado hipotenusa. Os lados opostos dos ângulos

$$\begin{aligned} \text{sen } B &= \frac{\text{cat. opost.}}{\text{hipot.}} = \frac{b}{a} & \text{cotg } B &= \frac{\text{cat. adj.}}{\text{cat. opost.}} = \frac{c}{b} = \frac{1}{\text{tg } B} \\ \text{cos } B &= \frac{\text{cat. adj.}}{\text{hip.}} = \frac{c}{a} & \text{sec } B &= \frac{\text{hip.}}{\text{cat. adj.}} = \frac{a}{c} = \frac{1}{\text{cos } B} \\ \text{tg } B &= \frac{\text{cat. opost.}}{\text{cat. adj.}} = \frac{b}{c} & \text{cosec } B &= \frac{\text{hip.}}{\text{cat. opost.}} = \frac{a}{b} = \frac{1}{\text{sen } B} \end{aligned}$$

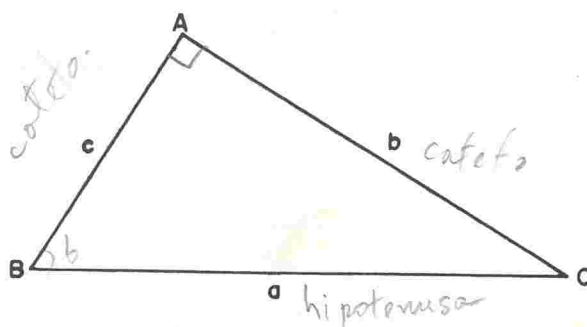


Figura 02

B e C são chamados catetos (b e c, respectivamente).

As funções trigonométricas simples, são definidas em um triângulo retângulo, da maneira seguinte:

O Seno de B, que se abrevia $\text{sen } b$, é definido pela relação:

$\text{sen } B = \frac{b}{a}$, ou seja o seno de um ângulo é a relação entre o cateto oposto e a hipotenusa.

O Cosseno de B, que se abrevia $\text{cos } B$, é a relação entre o cateto adjacente e a hipotenusa, ou seja:

$$\text{cos } B = \frac{c}{a}$$

A tangente de B, que se abrevia $\text{tg } B$, é a relação entre o cateto oposto e o cateto adjacente.

$$\text{tg } B = \frac{b}{c}$$

A Contangente de B, que se abrevia $\text{cotg } B$, é a relação entre o cateto adjacente e o cateto oposto, ou seja:

$$\text{cotg } B = \frac{c}{b} = \frac{1}{\text{tg } B}$$

A Secante de B, que se escreve $\sec B$, e a relação entre a hipotenusa e o cateto adjacente, ou seja:

$$\sec B = \frac{a}{c} = \frac{1}{\cos B}$$

A Cossecante de B, que se abrevia $\cossec B$, é a relação entre a hipotenusa e o cateto oposto, ou seja:

$$\cossec B = \frac{a}{b} = \frac{1}{\sen B}$$

Os valores dessas funções encontram-se tabelados para diferentes ângulos.

8. COEFICIENTE ANGULAR

Chama-se inclinação de uma reta, o ângulo α que ela forma com o eixo dos x (figura 3).

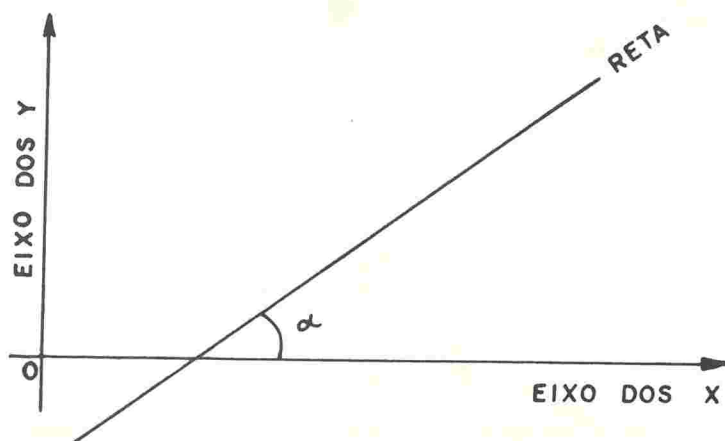


Figura 03

Coeficiente angular ou declividade de uma reta é a tangente trigonométrica de sua inclinação. O coeficiente angular pode ter qualquer valor real.

O coeficiente angular de uma reta paralela ao eixo dos X é zero e o de uma reta paralela ao eixo dos Y é infinito.

Se a inclinação de uma reta é designada pela letra grega α e

e seu coeficiente angular por $\underline{m}$, tem-se:

$$\operatorname{tg} \alpha = m$$

9. EXERCÍCIOS PROPOSTOS

9.1. EXPRESSÕES ALGÉBRICAS

- a) Determinar o mínimo valor positivo que pode ser atribuído a $\underline{m}$ de modo que o polinômio

$$f(x) \equiv 2x^3 + 4x^2 + 5\sqrt[4]{x^{m+1}} + 3$$

fique racional

- b) Calcular o valor numérico do polinômio

$$f(x) \equiv 1 + 2x + 3x^2 + 4x^3 + 5x^4$$

para $x = -1$

- c) Sendo

$$f(x) \equiv x^2 + x + 1$$

$$\varphi(x) \equiv x^3 + 2x + 1$$

Calcular:

$$\frac{f(2) + \varphi(2)}{f(0) + \varphi(2)}$$

- d) Ordenar, em relação as potências decrescentes de x os seguintes polinômios

$$2x^3 - 7x^2 + 8 - 4x^2 + 6x^5 - 3x^4$$

$$2ax^2 - 6a^2x^2 + 2x^4 - 6a^4 + a^3x$$

$$3x^3y^2 - 4x^2y^3 + 6y^5 - 2xy^4 + x^5 - 3x^4y$$

9.2. FUNÇÕES

Se $Z = 16 + 4x - 3y$, determinar o valor de Z correspondente a:

- a) $x = 2, y = 5$
- b) $x = -3, y = -7$
- c) $x = -4, y = 2$

9.3. COORDENADAS RETANGULARES

Localizar, num sistema de coordenadas retangulares, os pontos que têm as coordenadas seguintes:

- A (5; 2)
- B (2; 5)
- C (-3; 1)
- D (1;-3)
- E (3;-4)
- F (-2,5; -4,8)
- G (0;-2,5)
- H (4; 0)

9.4. EQUAÇÕES E GRÁFICOS

- a) Representar graficamente as equações seguintes:

$$y = 2x - 3$$

$$y = x^2 - 2x - 8$$

9.5. *DESIGUALDADES*

- a) Usando os símbolos de desigualdade, ordenar os números 3;42; -0,6; -2,1; 1,45 e -3 em ordem crescente e em ordem decrescente de grandeza
- b) Resolva as desigualdades abaixo, em relação a x.

$$6 - 4x < -2$$

$$3x - 8 \geq 4$$

$$\frac{2}{3}x + \frac{3}{5} \leq 6$$

9.6. *FUNÇÕES TRIGONOMÉTRICAS*

Num triângulo retângulo, os catetos medem 8m e 6m .

Determinar o valor das funções trigonométricas simples de todos os seus ângulos.

9.7. *COEFICIENTE ANGULAR*

Qual o coeficiente angular de cada uma das retas definidas pelas equações:

a) $y = 3x^2 + 4$

b) $3y = 4x^2 - 2$

c) $2y = -2x - 1$

1. DEFINIÇÃO DE ESTATÍSTICA

A Estatística é a parte da matemática aplicada que se ocupa em obter conclusões a partir de dados observados.

Estes dados podem corresponder a uma série de observações de um mesmo acontecimento, ou a uma série de observações de acontecimentos diferentes que, dentro das condições do problema, podem ser considerados pertencentes a uma mesma categoria.

No primeiro caso - série de observações de um mesmo acontecimento temos, por exemplo, a série de medidas de uma mesma grandeza, cujo estudo, conhecido por Teoria dos Erros, faz parte integrante da Estatística.

No segundo caso - série de vários acontecimentos pertencentes a uma mesma categoria - temos, por exemplo, a série de vazões em uma dada secção de um rio ou a duração de lâmpadas produzidas em uma fabrica ou ainda a qualidade dos produtos que constituem uma partilha.

Quando realizamos a medida de uma série de vazões, ao inspecionarmos a qualidade de um grupo de produtos pertencentes a uma partida, estamos realmente interessados em chegar a conclusões sobre o conjunto de todas as possíveis vazões na secção do rio, ou na qualidade de todos os produtos que formam a partilha.

O conjunto parcial sobre o qual fazemos as observações denomina-se amostra e o conjunto global, sobre o qual desejamos chegar a conclusões, denomina-se população ou universo.

Uma população pode ser finita ou infinita. Por exemplo, a população constituída por todos os pneus produzidos numa fábrica em certo dia é finita, enquanto que a população constituída de todos os resultados (cara ou coroa) em lances sucessivos de uma moeda é infinita.

2. ESTATÍSTICA INDUTIVA E DESCRITIVA

Se uma amostra é representativa de uma população, conclusões importantes sobre a população podem ser inferidas a partir da análise da amostra.

A parte da estatística que trata das condições sob as quais essas inferências são válidas, é chamada de estatística indutiva ou inferência estatística.

Como essa inferência não pode ser absolutamente certa, a linguagem da probabilidade é muitas vezes usada, no estabelecimento das conclusões.

A parte da estatística que procura somente discrever e analisar um certo grupo, sem tirar conclusões ou referências sobre um grupo maior, é chamada descritiva ou estatística dedutiva.

3. VARIÁVEIS CONTÍNUAS E DISCRETAS

Uma variável é um símbolo que pode assumir qualquer valor em um conjunto de valores que lhe são atribuídos, conjunto este chamado de domínio da variável. Se a variável pode assumir apenas um valor, é denominada constante.

Uma variável que pode assumir teoricamente qualquer valor entre dois outros dados, chama-se variável contínua. Todavia, se a variável só pode assumir certos valores, entre dois outros dados, é uma variável discreta.

Exemplos de Variável Discreta

- O número N de crianças, em uma família, que pode assumir um dos valores $0, 1, 2, 3, \dots, N, \dots$ (mas não pode ser $2,5$ ou $3,212$).
- O número X de radiografias que são processadas por mês em um

laboratório. Este número pode assumir um dos valores 0,1,2, ... 190 , 78033, ... X ... (mas nunca 2,714 ou 31,99).

Exemplos de Variável Contínua

- A vazão Q de um certo curso d'água, que pode assumir desde um Valor 0 (quando esta seco) até um valor máximo teoricamente possível, digamos $100 \text{ m}^3/\text{s}$.
- A altura H de uma pessoa, que pode ser, em metros, 1,70, 1,72, 1,725, 1,7253, ... H, ..., conforme a precisão da medida, é uma variável contínua.

4. ARREDONDAMENTOS DE DADOS

O resultado do arredondamento de um número como 14,8 para o inteiro mais próximo é 15, uma vez que 14,8 é mais próximo de 15 do que 14. Da mesma forma 14,8264 arredondado para o décimo mais próximo é 14,8 (pois 14,8264 é mais próximo de 14,8 que 14,9). Se o arredondamento fosse feito para o centésimo mais próximo, teríamos 14,83 (pois 14,8264 é mais próximo de 14,83 que de 14,82).

Ao arredondar 72,325 para o centésimo mais próximo, entretanto, deparamo-nos com um dilema pois 72,325 dista igualmente de 72,32 e 72,33.

Em casos como esse ao arredondamento é feito de acordo com a paridade do número que antecede o dígito 5: se o dígito anterior é par, o arredondamento é, feito mantendo-se esse número e se o dígito anterior é impar, o arredondamento é feito substituindo-o pelo dígito par que o segue. Assim, no caso, citado no parágrafo anterior, o arredondamento correto conduz ao número 72,32.

No caso de se arredondar 72,335 para o centésimo mais próximo, teríamos 72,34.

5. ALGARISMOS SIGNIFICATIVOS E NOTAÇÃO CIENTÍFICA

Se uma altura foi determinada com precisão como 3,40m, isto significa que seu valor verdadeiro está compreendido entre 3,395m e 3,405m. Os algarismos corretos, separados dos zeros necessários para a colocação da vírgula, chamam-se algarismos significativos ou dígitos significativos do número.

Exemplos:

1,2	tem 2 algarismos significativos
0,0012	tem 2 algarismos significativos
4,53	tem 3 algarismos significativos
412,34	tem 5 " "
412,340	tem 6 " "

Os números resultantes de enumerações e contagens, ao contrário dos das medições, são naturalmente exatos e, assim, têm uma quantidade ilimitada de algarismos significativos.

Em alguns destes casos, contudo, pode ser difícil decidir quais são os algarismos significativos sem informações adicionais. Por exemplo, o número 147.600.000, pode ter de 4 à 9 algarismos significativos. Se, se souber que ele tem 6 algarismos significativos, é conveniente empregar a notação científica para escreve-lo. Esta notação consiste em escrever o número como sendo o produto entre um número compreendido entre 1 e 10 (que aparece com todos os seus dígitos significativos) por uma potência de 10 adequada. Ou seja, se 147.600.000 tem 6 dígitos significativos, essa informação já esta implícita quando ele é escrito com notação científica, ou seja;

$$1,47600 \times 10^8$$

Outros exemplos de notação científica

- O número 0,00312 escrito em notação científica, é:

$$3,12 \times 10^{-3}$$

- O número $1,23 \times 10^{-3}$ tem 3 dígitos significativos, mas $1,230 \times 10^{-3}$ tem 4 e $1,2300 \times 10^{-3}$ tem 5.

É fundamentalmente importante escrever o resultado de uma medição com o número de dígitos significativos corretos, pois estes dependem da sensibilidade do seu instrumento de medida. Se por exemplo, o comprimento de uma peça é dado por 4,2000cm, se conhece o comprimento de peça até o milésimo de milímetro, o que indica que o instrumento utilizado, pode ter sido um esferômetro, mas nunca uma régua. Se a mesma peça fosse medida com um paquímetro (que dá o centésimo de milímetro) o resultado poderia ser 4,200 cm. Com uma régua, mesma peça poderia ter seu comprimento dado por 4,20 cm.

Portanto, conhecendo-se apenas o número de dígitos significativos corretos da medida, pode-se inferir sobre o instrumento utilizado na medição.

6. CÁLCULOS COM ALGARISMOS SIGNIFICATIVOS

Ao efetuar cálculos que envolvem multiplicação, divisão e extração de raízes de números, o resultado final não pode ter mais algarismos significativos do que o que tem menor quantidade deles.

Exemplos:

- a) $73,24 \times 4,54 = 333$
- b) $1,648 \times 0,023 = 0,038$
- c) $\sqrt{38,7} = 6,22$
- d) $8,416 \times 50 = 420,8$, se 50 é exato

Ao efetuar adições e subtrações de números, o resultado final não pode ter mais algarismos significativos depois da vírgula do que o que tiver menor quantidade deles nessa condição.

Exemplos:

a) $3,16 + 2,7 = 5,9$

b) $83,42 - 72 = 11$

c) $47,816 - 25 = 22,816$ se 25 for exato.

7. EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7.1. DE O DOMÍNIO DE CADA UMA DAS VARIÁVEIS ABAIXO, E DIGA SE SÃO CONTÍNUAS OU DISCRETAS.

- a) Número (G) de livros numa biblioteca. *o a ∞ discreta*
- b) Soma (S) dos pontos obtidos ao lançar um par de dados. *menor = 2
maior = 12
discreta*
- c) Produto (P) dos pontos obtidos ao lançar um par de dados. *menor = 1
maior = 36
discreta
qualquer valor + excetuando o zero.*
- d) Diâmetro (D) uma esfera. *contínuo*
- e) Peso (P) de uma pessoa *contínuo.
qualquer valor positivo excetuando o zero.
a partir do valor mínimo*

7.2. ARREDONDAMENTO DE DADOS

Arredonde cada um dos números seguintes, conforme a precisão indicada.

- a) 49,3 para a unidade mais próxima ~~49~~ 49
- b) 49,5 " " " " ~~50~~ 50
- c) 50,5 " " " " 51
- d) 2,7849 " o décimo mais próximo 2,8
- e) 0,0435 " o milésimo mais próximo 0,044

- f) 368 para a centena mais próxima,
 g) 24 448 para o milhar mais próximo.

7.3. NOTAÇÃO CIENTÍFICA

Escreva os seguintes números sem usar notação científica, e diga quantos algarismos significativos existem em cada número.

- a) $6,0225 \times 10^{23}$
 b) $1,381 \times 10^{-16}$
 c) $1,01 \times 10^6$
 d) $6,626 \times 10^{-27}$
 e) $5,29 \times 10^{-9}$
 f) $2,82 \times 10^{-13}$
 g) $1,6 \times 10^{11}$
 h) 10^{-5}

7.4. SOME OS NÚMEROS

4,19355; 15,28; 5,9561; 12,3 e 8,472 considerando significativos todos os algarismos.

7.5. EFETUAR AS OPERAÇÕES INDICADAS

Considerando que os números foram anotados corretamente sob o ponto de vista de algarismos significativos

- a) $0,36 \times 781,4$
 b)
$$\frac{873,00}{4,881}$$

 c) $5,78 \times 3 \times 4,2$, onde 3 é exato.

d) $\frac{4,1 \times 0,000187}{\sqrt{73,86}}$

e) $\sqrt{\frac{7(4,386)^2 - 3(6,47)^2}{6}}$, onde

3, 6 e 7 são exatos.

f) $4,120 \sqrt{\frac{3,1416 (9,483)^2 - (5,075)^2}{0,0001980}}$

1. FUNÇÃO EXPONENCIAL - Consideremos a função

$$y = a^x$$

na qual a é um número real e positivo. Estudemos esta função, considerando separadamente os dois seguintes casos:

- 1) $a > 1$
- 2) $a < 1$

1.1 Primeiro caso: $a > 1$.

Observemos, inicialmente, que para $x = 0$ o valor de y será 1. Atribuindo a x valores crescentes, a partir de zero, a potência a^x irá crescendo e ultrapassará qualquer limite quando x crescer indefinidamente.

Atribuíamos, agora, a x valores negativos, decrescentes a partir de zero. Sejam

$$0 > -x_1 > -x_2 > -x_3 > \dots$$

esses valores. Sendo as potências

$$a^{-x_1}, a^{-x_2}, a^{-x_3} \dots \quad (1)$$

por definição, iguais respectivamente a

$$\frac{1}{a^{x_1}}, \frac{1}{a^{x_2}}, \frac{1}{a^{x_3}}, \dots$$

e sendo

$$a^{x_1} < a^{x_2} < a^{x_3} < \dots \quad (2)$$

visto que

$$x_1 < x_2 < x_3 < \dots$$

será

$$1 \gg a^{-x_1} > a^{-x_2} > a^{-x_3} > \dots$$

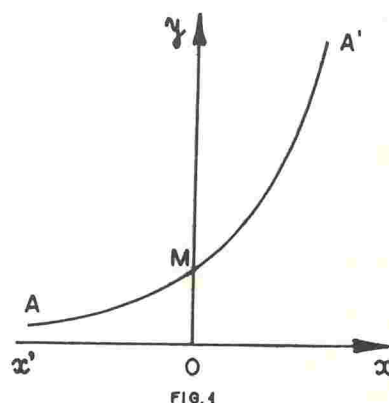
Então, as potências (1) decrescem à medida que x decresce, podendo-se tornar menores do que qualquer quantidade positiva arbitrária, visto que as potências (2), de que são os inversos, crescem indefinidamente com o expoente.

Estes resultados dão uma idéia da forma da curva exponencial.

$$y = a^x$$

quando $a > 1$. Ela é constituída de um ramo único ascendente AMA' (fig. 1), passando pelo ponto M de abscissa zero e ordenada 1.

Aproxima-se indefinidamente do semi-eixo negativo Ox' e afasta-se indefinidamente do semi-eixo positivo Ox .



1.2. Segundo caso: $a < 1$.

Observemos, inicialmente, que a curva passa pelo ponto de abscissa zero e ordenada 1, pois, para $x = 0$, se tem

$$y = a^0 = 1$$

Observemos, ainda, que

$$y = a^x = \left(\frac{1}{\frac{1}{a}} \right)^x$$

onde $\frac{1}{a}$ é um número maior do que 1, visto que a é menor do que 1.

Então, em cada ponto, a ordenada da função

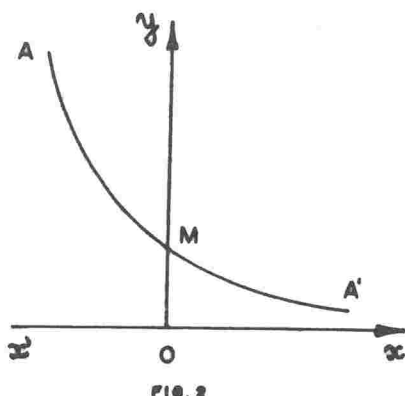
$$y = a^x \tag{3}$$

é o inverso da ordenada correspondente da função

$$Y = \left(\frac{1}{a} \right)^x \tag{4}$$

cujo gráfico, segundo a variação anteriormente estudada, tem o aspecto da fig. 1.

Como a função (4) é sempre crescente a função (3) é sempre decrescente. Ela é constituída de um ramo único descendente AMA' (fig.2), que se afasta indefinidamente do semi-eixo negativo Ox' e se aproxima indefinidamente do semi-eixo positivo Ox .



Exemplo - Traçar o gráfico da função

$$y = 2^x$$

Resolução: Determinemos os valores de y para alguns valores de x . Temos:

$$x = 0 \quad y = 1$$

$$x = 1 \quad y = 2^1 = 2$$

$$x = 2 \quad y = 2^2 = 4$$

$$x = 3 \quad y = 2^3 = 8$$

.....

$$x = -1 \quad y = 2^{-1} = \frac{1}{2}$$

$$x = -2 \quad y = 2^{-2} = \frac{1}{2^2} = \frac{1}{4}$$

$$x = -3 \quad y = 2^{-3} = \frac{1}{2^3} = \frac{1}{8}$$

.....

Marcando, então, os pontos

$$\dots \left(-3, \frac{1}{8}\right), \left(-2, \frac{1}{4}\right), \left(-1, \frac{1}{2}\right), (0, 1), (1, 2), (2, 4), (3, 8), \dots$$

podemos, ligando-os por uma curva contínua, obter um traçado aproximado do gráfico pedido (fig.3).

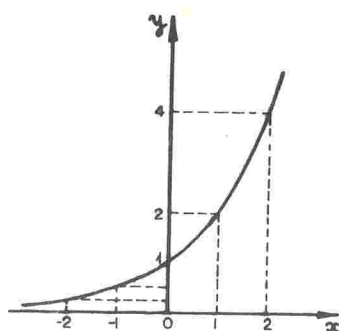


FIG. 3

2. NOÇÃO DE FUNÇÃO INVERSA - Seja

$$y = f(x) \quad (5)$$

uma função unívoca e contínua de x , definida no intervalo (a, b) e seja MN sua representação gráfica (fig.4). Sejam

$$A = f(a)$$

$$B = f(b)$$

os valores da função, correspondente aos valores extremos a e b de seu campo de definição, e sejam A' e B os seus valores extremos, como indica a fig.4.

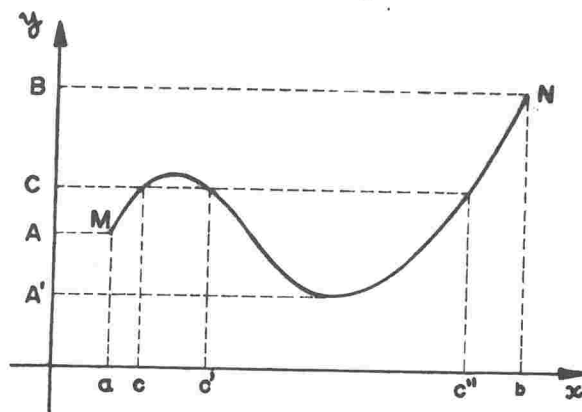


FIG. 4

Consideremos a função

$$x = \phi(y) \quad (6)$$

cujo campo de definição é o domínio de y na função (5), ou seja o intervalo (A', B) e cujo domínio de x é o campo de definição de (5), ou seja o intervalo (a, b) .

A função (6), assim definida, denomina-se função inversa de (5). Observemos que ela é contínua, podendo, entretanto, não ser unívoca, pois a um valor de y pode corresponder mais de um valor de x . Na fig. 4, por exemplo, ao valor C de y vemos que correspondem três valores c , c' e c'' de x .

Se a função (5), além de unívoca e contínua, fosse sempre crescente ou sempre decrescente, a função (6), além de contínua, seria, também, unívoca e sempre crescente ou sempre decrescente.

3. FUNÇÃO LOGARÍTMICA

Vimos que a função exponencial

$$y = a^x, \quad (7)$$

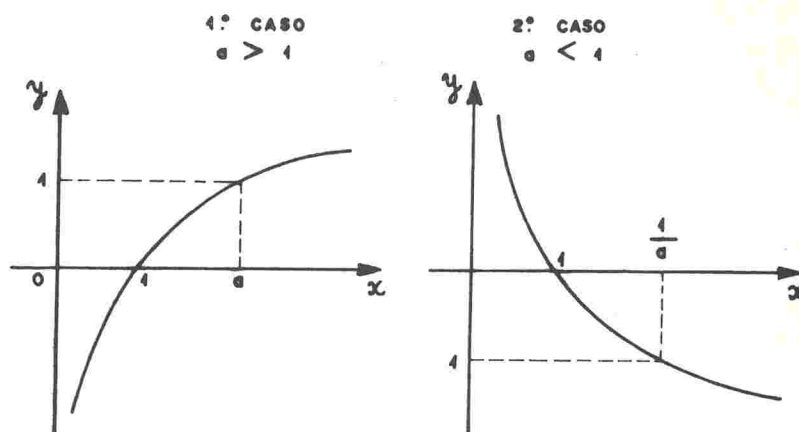
na qual a é um número positivo. é contínua, unívoca e sempre crescente ou sempre decrescente, conforme seja a maior ou menor do que 1. De acordo com o que foi dado no item 2, concluímos, então, que a função inversa da função exponencial (7), que representaremos provisoriamente por

$$x = f(x) \quad (8)$$

é uma função unívoca e contínua, sempre crescente ou sempre decrescente conforme a seja maior ou menor do que 1.

Seu campo de definição será o conjunto dos números positivos e sua representação gráfica terá um dos aspectos indicados na fig. 5.

GRÁFICO DA FUNÇÃO LOGARÍTMICA



A função (8), assim definida, denomina-se função logarítmica. A razão dessa denominação será compreendida mais adiante.

4. LOGARITMOS

4.1. Preliminares

Sejam a e N dois números reais e positivos sendo a diferente de 1. Demonstra-se que existe um único número real x tal que

$$a^x = N$$

Diz-se, então, que x é o logaritmo de N na base a , escrevendo-se

$$x = \log_a N$$

4.2. Variação dos logaritmos

O estudo sobre potências e sobre as funções exponenciais e logaritmica, permite-nos tirar as seguintes conclusões sobre os logaritmos dos números reais numa base a ($a > 1$):

- I. *Os números negativos não têm logaritmos reais.*
- II. *O logaritmo de 1 é 0.*
- III. *O logaritmo da base a é 1.*
- IV. *Os logaritmos dos números maiores do que 1 são positivos e crescem indefinidamente quando o número cresce indefinidamente.*
- V. *Os logaritmos dos números menores do que 1 são negativos e decrescem indefinidamente quando o número decresce aproximando-se indefinidamente de zero.*

4.3. Propriedade dos logaritmos

A aplicação dos logaritmos ao cálculo, como veremos mais adiante, baseia-se nas propriedades fundamentais dos logaritmos que passaremos a estudar.

4.3.1. Logaritmos de um produto

Sejam $A_1, A_2, \dots, A_n$ números reais positivos, cujos logaritmos num sistema de base a são respectivamente $x_1, x_2, \dots, x_n$. Pela própria definição de logaritmos, podemos, então, escrever

$$\begin{aligned}
 A_1 &= a^{x_1} \quad \text{ou} \quad x_1 = \log_a A_1 \\
 A_2 &= a^{x_2} \quad \text{ou} \quad x_2 = \log_a A_2 \\
 &\dots\dots\dots \\
 A_n &= a^{x_n} \quad \text{ou} \quad x_n = \log_a A_n
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

Multiplicando, membro a membro, essas n igualdades à esquerda, e atendendo à regra de multiplicação de potências de mesma base, obtemos

$$A_1 \cdot A_2 \dots A_n = a^{x_1 + x_2 + \dots + x_n}$$

Pela própria definição de logaritmos, podemos, então, escrever

$$\log_a (A_1 \cdot A_2 \dots A_n) = x_1 + x_2 + \dots + x_n$$

ou, levando em conta as igualdades (9)

$$\log_a (A_1 \cdot A_2 \dots A_n) = \log_a A_1 + \log_a A_2 + \dots + \log_a A_n.$$

Conclusão: O logaritmo de um produto é a soma dos logaritmos dos fatores.

4.3.2. Logaritmo de um quociente

Sejam A_1 e A_2 dois números reais positivos, cujos logaritmos num sistema de base a são respectivamente x_1 e x_2 . Pela própria definição de logaritmo, podemos então, escrever

$$\begin{aligned} A_1 &= a^{x_1} \quad \text{ou} \quad x_1 = \log_a A_1 \\ A_2 &= a^{x_2} \quad \text{ou} \quad x_2 = \log_a A_2 \end{aligned} \tag{10}$$

Dividindo, membro a membro, a primeira igualdade à esquerda pela segunda, e atendendo à regra de divisão de potências de mesma base, obtemos

$$\frac{A_1}{A_2} = a^{x_1 - x_2}$$

Pela própria definição de logaritmo, podemos, então, escrever

$$\log_a \frac{A_1}{A_2} = x_1 - x_2$$

ou, substituindo x_1 e x_2 pelos seus valores dados em (10)

$$\log_a \frac{A_1}{A_2} = \log A_1 - \log A_2$$

CONCLUSÃO: O logaritmo de um quociente (ou de uma fração) é igual ao logaritmo do dividendo (ou do numerador) menos o logaritmo do divisor (ou do denominador)

4.3.3. Logaritmo de uma potência

Seja A um número real positivo, cujo logaritmo num sistema de base a é x . Pela própria definição de logaritmo, podemos escrever

$$A = a^x \quad \text{ou} \quad x = \log_a A \quad (11)$$

Sendo m um número real, a potência

$$A^m = (a^x)^m$$

em virtude da regra para determinação de potência de potência, será

$$A^m = a^{mx}$$

Pela própria definição de logaritmo, podemos, então, escrever

$$\log_a (A^m) = mx$$

ou substituindo x por seu valor dado em (11)

$$\log (A^m) = m \log_a A$$

CONCLUSÃO: O logaritmo de uma potência é igual ao produto do expoente pelo logaritmo da base.

4.3.4. Logaritmo de uma raiz

Sendo a propriedade anterior válida para qualquer potência de expoente real, será, em particular, válida também para as potências de expoente racional do tipo $A^{\frac{1}{p}}$, onde p é um número inteiro, isto é:

$$\log_a \left(A^{\frac{1}{p}} \right) = \frac{1}{p} \log_a A$$

Sendo, por definição

$$A^{\frac{1}{p}} = \sqrt[p]{A}$$

podemos escrever

$$\log \left(\sqrt[p]{A} \right) = \frac{\log_a A}{p}$$

CONCLUSÃO: O logaritmo da raiz $p^{\text{ésima}}$ de um número é igual ao logaritmo do radicando, dividido por p .

4.4. Introdução dos logaritmos ao cálculo

As propriedades anteriores mostram a grande utilidade dos logaritmos no cálculo, pois substituem operações por operações mais simples. Assim a multiplicação, a divisão, a potenciação e a radiciação são substituídas respectivamente pela adição, pela subtração (ou pela adição), pela multiplicação e pela divisão. Desse modo, para calcular, por exemplo, um produto de dois ou mais números, em vez de multiplicar-se esses números, somam-se os seus logaritmos.

Desde que haja, pois, um meio rápido para determinar o logaritmo (numa certa base) correspondente a um número dado, e reciprocamente, o número correspondente a um logaritmo dado (referido à mesma base), torna-se vantajoso o emprego de logaritmos no cálculo. As tábuas de logaritmos, como veremos mais adiante, fornecem esse meio.

4.5. Sistemas de logaritmos

Do que já foi dito se deduz que, dado um número a real e positivo, qualquer número real e positivo tem um e apenas um logaritmo real, relativamente à base a. O conjunto de todos os números reais e seus logaritmos na base a denomina-se o sistema de logaritmos de base a.

Pode-se, portanto, pelo menos teoricamente, construir uma infinidade de sistemas de logaritmos, escolhendo-se arbitrariamente a base a. Entretanto, somente dois sistemas de logaritmos são de utilidade em Matemática:

1) Sistema decimal ou de Briggs

Cuja base é 10 e cujos logaritmos se denominam decimais, vulgares ou de Briggs.

2) Sistema neperiano

Cuja base é o número irracional: $e = 2,7182818284590 \dots$ e cujos logaritmos se denominam neperianos, hiperbólicos ou naturais. A primeira denominação deriva-se do nome do matemático escossês John Napier (1550-1671)

4.6. Logaritmos decimais

Os logaritmos decimais são os únicos usados nos cálculos numéricos, pois, sendo decimal o sistema de numeração universalmente adotado, apresentam eles três seguintes vantagens que passaremos a analisar.

I. *O logaritmo de qualquer potência de 10 é o expoente dessa potência.* Assim sendo :

$$1000 = 10^3$$

será: $\log_{10} 1000 = 3$

Igualmente, sendo

$$0,0001 = \frac{1}{10000} = \frac{1}{10^4} = 10^{-4}$$

será: $\log_{10} 0,0001 = -4$

II. *Dado um número é possível determinar, pela simples observação do mesmo, a parte inteira de seu logaritmo, isto é, sua característica.*

De fato, admitamos, primeiramente que o número tenha n algarismos na parte inteira. Logo, está compreendido entre 10^{n-1} e 10^n , isto é, seu logaritmo estará compreendido entre $n-1$ (logaritmo de 10^{n-1}), e n (logaritmo de 10^n). Será, portanto, um número decimal cuja parte inteira é $n-1$. Por exemplo, o número 7438,276, tendo 4 algarismos na parte inteira, está compreendido entre 1000 (ou 10^3) e 10.000 (ou 10^4). Logo seu logaritmo, estando compreendido entre 3 (logaritmo de 1000 ou de 10^3) e 4 (logaritmo de 10.000 ou de 10^4), é um número decimal cuja parte inteira é 3.

Admitamos, agora, que o número não tenha parte inteira. Seja, então, n o número de zeros à esquerda de seu primeiro algarismo significativo. O número estará, pois, compreendido entre 10^{-n} e 10^{-n+1} . (Por exemplo, o número 0,00645 que tem 3 zeros antes de seu primeiro algarismo significativo, está compreendido entre 0,001 ou 10^{-3} , e 0,01 ou 10^{-2}). Então o logaritmo do número será maior do que $-n$ (logaritmo de 10^{-n}) e menor do que $-n+1$ (logaritmo de 10^{-n+1}), isto é, será igual ao número negativo $-n$ mais um número decimal positivo, menor do que 1. Veremos, mais adiante, como são introduzidos no cálculo, logaritmos como este, de característica negativa e de mantissa positiva.

As considerações feitas permitem concluir:

1. *A característica do logaritmo de um número maior do que 1 é igual ao número de algarismos de sua parte inteira menos 1.*

2. A característica do logaritmo de um número (positivo) menor do que 1 é o número negativo cujo valor absoluto é o número de zeros à esquerda do primeiro algarismo significativo do número.

III. Multiplicando-se ou dividindo-se um número por uma potência de 10, a mantissa de seu logaritmo não se altera mas sua característica fica aumentada ou diminuída do expoente dessa potência.

De fato, sendo

$$\log (A \times 10^m) = \log A + \log 10^m = \log A + m$$

$$\log (A \div 10^m) = \log A - \log 10^m = \log A - m$$

está demonstrado o teorema, pois sendo $\underline{m}$ um número inteiro, a soma $\log A + \underline{m}$ (ou a diferença $\log A - m$) se obtém acrescentando $\underline{m}$ à parte inteira de $\log A$ (ou subtraindo $\underline{m}$ da parte inteira de $\log A$).

Desse modo, sendo 0,2392995 a mantissa do logaritmo do número 1735, podemos escrever:

$$\log 1735 = 3,239.2995$$

$$\log 173,5 = 2,239.2995$$

$$\log 17,35 = 1,239.2995$$

$$\log 1,735 = 0,239.2995$$

$$\log 0,1735 = \bar{1},239.2995$$

$$\log 0,01735 = \bar{2},239.2995$$

4.7. Logaritmo negativo e logaritmo preparado

Chegamos, anteriormente, à seguinte conclusão: a característica do logaritmo de um número (menor do que 1) que contém $\underline{n}$ zeros à esquerda de seu primeiro algarismo significativo é $-n$ e sua mantissa é um número positivo menor do que 1. Então, o valor do logaritmo é a soma algébrica de sua característica e sua mantissa. Por exemplo, a característica do logaritmo de 0,0073 é -3 e sua

mantissa é 0,8633229 ... O valor do logaritmo é, então, a soma algébrica

$$-3 + 0,8633229 = -2,1366771$$

Como não é conveniente, no cálculo, trabalhar com um logaritmo negativo, adota-se não realizar a operação anterior, indicando-se pelo símbolo

$$\bar{3},8633229$$

O logaritmo considerado. Um logaritmo como este, de característica negativa e mantissa positiva, denomina-se logaritmo preparado

A transformação de um logaritmo preparado num logaritmo negativo realiza-se facilmente efetuando-se a operação indicada, como se fez no exemplo anterior.

A transformação inversa se realiza com um pequeno artifício, como se vê a seguir:

$$\begin{aligned} -2,1366771 &= -2 - 0,1366771 = \\ &= -2 - 1 + 1 - 0,1366771 = -3 + 0,8633229 = \\ &= \bar{3},8633229 \end{aligned}$$

4.8. Determinação do logaritmo de um número

A determinação do logaritmo de um número faz-se pela determinação separada de sua característica e de sua mantissa.

A primeira é feita de acordo com a regra 4.6, II. Vejamos, então, como se determina, com o auxílio de uma tábua de logaritmos, a mantissa do logaritmo de um número dado.

Se o número é inteiro, procura-se na tábua de logaritmos sua mantissa de acordo com a regra que veremos a seguir. Tratando-se de um número decimal, procura-se a mantissa do número inteiro que se obtém suprimindo-se a vírgula do número decimal, pois

essa mantissa é a mesma do logaritmo do número decimal dado (4.6, III).

Assim sendo, o problema recai sempre na determinação da mantissa do logaritmo de um número inteiro.

Dois casos, então, se podem apresentar:

- 1) O número dado está na tábua.
- 2) O número dado não está na tábua.

4.8.1. Primeiro caso

Seja determinar o logaritmo do número 0,01625. Sua característica é -2.

Procuremos, então, a mantissa do número 1625. Recorrendo às Tábuas de Logaritmos, encontramos nela a mantissa 2108534. Podemos, pois, escrever

$$\log 0,01625 = \bar{2},2108534$$

4.8.2 Segundo caso

Seja calcular o logaritmo do número 16,39 84. Sua característica é 1. Determinemos, então, a mantissa do número 163 984. Ora, a tábua que estamos utilizando, dá as mantissas dos números de a 10.000. Portanto o número dado está fora de seus limites.

Raciocinemos do seguinte modo: o número dado está compreendido entre 163.900 e 164.000. As mantissas dos logaritmos desses números são as mesmas dos logaritmos dos números 1639 e 1640, as quais são fornecidas pela tábua:

Mantissa de 1639 ou de 163900: 214.5790

Mantissa de 1640 ou de 164000: 214.8438

Quando não existe uma tabela de partes proporcionais para a diferença tabular achada, faz-se o cálculo tal como foi indicado anteriormente, ou, então, utiliza-se uma tabela calculada para uma diferença tabular muito próxima.

4.9. Determinação do número cujo logaritmo é dado

Consideraremos separadamente os dois seguintes casos:

- I. *A mantissa do logaritmo dado está na tábua.*
- II. *A mantissa do logaritmo dado não está na tábua.*

4.9.1. Primeiro caso

Seja calcular o número cujo logaritmo é $\bar{2},2385479$. A tábua nos fornece a mantissa 2385479 correspondendo ao número 1732. Como a característica é -2, o número dado tem dois zeros antes do primeiro algarismo significativo, sendo, portanto, 0,01732

4.9.2. Segundo caso

Seja achar o número cujo logaritmo é 1,2419776. A maior mantissa inferior a 2419776, que figura na tábua é 2417954, correspondendo ao número 1745. Admitindo a proporcionalidade referida no 4.8.2, podemos estabelecer a seguinte regra de três simples, direta: quando o número cresce de 1 (isto é, passa de 1745 a 1746) a mantissa cresce de 2488 (isto é, passa de 2417954 para 2420442); de quanto deve crescer o número quando a mantissa cresce de 1822 (isto é, passa de 2417954 para 2419776)?

Portanto,

$$\begin{array}{rcl} 2488 & \text{-----} & 1 \\ 1822 & \text{-----} & x \end{array}$$

donde

$$x = \frac{1822 \times 1}{2488} = 0.73$$

Adicionando este resultado a 1745 obtemos 1745,73. O número inteiro correspondente a mantissa dada é, pois, 174573. Como a característica do logaritmo é 1, o número procurado será 17,4573.

As tâbuas facilitam o cálculo dessa aproximação, fornecendo à tabela de partes proporcionais. Vejamos como utiliza-la para o exemplo dado. Procurando, na coluna da diferença 2488, o maior número contido em 1822, encontramos 1742 correspondendo ao acréscimo 7 no número. Calculamos, então, a diferença

$$1822 - 1742 = 80$$

e procuramos, nessa mesma coluna, o maior número contido em 10 vezes essa diferença, isto é, em 800. Esse número é 746 que corresponde ao acréscimo 3. Obtemos, assim, os algarismos 7 e 3 que são sucessivamente acrescentados ao número 1745, obtendo 174573. A disposição de cálculo é a seguinte:

$$\begin{array}{rcl}
 241 \ 97 \ 76 & \dots & 2488 \text{ (diferença tabular)} \\
 \hline
 79 \ 54 & \dots & 1745 \\
 18 \ 22 & & \\
 \hline
 17 \ 42 & \dots & 7 \\
 800 & & \\
 746 & \dots & 3
 \end{array}$$

4.10. Conversão de logaritmos

Seja N um número real e positivo cujos logaritmos nos sistemas de base a e b (sendo a e b números reais e positivos) são respectivamente α e β . Podemos, então, escrever

$$N = a^{\alpha} \quad e \quad N = b^{\beta} \quad (12)$$

ou

$$\alpha = \log_a N \text{ e } \beta = \log_b N \quad (13)$$

Das igualdades (12) tiramos respectivamente

$$\begin{aligned} \log_b N &= \alpha \log_b a \\ \log_a N &= \beta \log_a b \end{aligned}$$

ou, levando em conta os valores (13),

$$\begin{aligned} \beta &= \alpha \log_b a \\ \alpha &= \beta \log_a b \end{aligned} \quad (14)$$

As igualdades (14) traduzem o seguinte princípio:

Dado o logaritmo de um número num sistema de base a (ou b), obtém-se o logaritmo desse número num sistema de base b (ou a) multiplicando-se o primeiro pelo logaritmo de a na base b (ou de base b na base a).

O fator $\log_b a$ (ou $\log_a b$) denomina-se módulo do sistema de base b em relação ao de base a (ou do sistema de base a em relação ao de base b).

Das igualdades (6) tiram-se respectivamente

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{1}{\log_a a}$$

$$\frac{\alpha}{\beta} = \log_a b$$

ou

$$\log_a b = \frac{1}{\log_b a}$$

isto é, os módulos $\log_a b$ e $\log_b a$ são recíprocos.

É hábito tomar-se para sistema de referência o sistema neperiano; assim sendo, o módulo do sistema decimal (em relação ao neperiano) é o logaritmo decimal de e (ou o inverso do logaritmo neperiano de 10), cujo valor aproximado é

$$\log_{10} e = \frac{1}{\log_e 10} = 0,434229448 \dots$$

5. EXERCÍCIOS

5.1. Representar graficamente as funções:

a) $y = \left(\frac{1}{2}\right)^x$

b) $y = -2 \ln x$

OBS.: Representar em papel milimetrado e mono-log.

5.2. Determinar os logaritmos dos números seguintes:

a) 0,6854

b) 4,30076

c) 384,163

d) 0,000126

e) 7846

5.3. Determinar os números correspondentes aos logaritmos seguintes:

a) $\bar{2}$, 5022905

b) $\bar{1}$, 5022080

c) 0,6975218

d) 3,8061840

5.4. Efetuar por logaritmos as expressões seguintes:

a) $70,435 \times 8,27635$

b) $\frac{3,18 \times \sqrt[4]{218,7}}{9,793}$

c) $\frac{2,68 \times \sqrt[3]{0,76}}{47,68^2}$

5.5. Calcular o logaritmo neperiano dos números seguintes:

a) 612,4

b) 3,91

c) 0,00391

d) 1,12

CETESB

**FICHA DE DEVOLUÇÃO
BIBLIOTECA**

DEVOLVER EM	DEVOLVER EM
15-12-87	

AX-00133

**CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA
DE SANEAMENTO AMBIENTAL**

BIBLIOTECA

Se este livro não for devolvido dentro
do prazo regulamentar, o leitor ficará sujeito
às penalidades do regulamento da biblioteca.

O prazo poderá ser prorrogado se
não houver pedido para este livro.

AX-00041

3
2 = 2
1