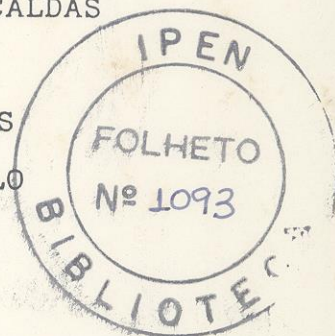


VARIAÇÃO DA TAXA DE EXPOSIÇÃO COM A TENSÃO E A CORRENTE NOMINAIS
DE UM SISTEMA DE RAIOS-X (60kV)

MARCO A. BATISTELLA, MARCOS XAVIER E LINDA V. E. CALDAS

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, SÃO PAULO



INTRODUÇÃO

UM SISTEMA DE RAIOS-X (60kV) FAZ PARTE DOS ARRANJOS DE RADIAÇÃO DO LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO DO IPEN. A SUA UTILIDADE PRINCIPAL SERÁ NA CALIBRAÇÃO DE DOSÍMETROS CLÍNICOS E DE MONITORES DE RADIAÇÃO, APÓS A DETERMINAÇÃO DE TODAS AS CARACTERÍSTICAS DE SEU CAMPO DE RADIAÇÃO. O SISTEMA AINDA SERÁ MUITO UTILIZADO EM IRRADIAÇÕES DE AMOSTRAS VARIADAS, PRINCIPALMENTE DOSIMÉTRICAS, DE PESQUISAS EM ANDAMENTO DO DEPARTAMENTO.

O OBJETIVO DO PRESENTE TRABALHO É O ESTABELECIMENTO DE CAMPOS PADRÕES DE RADIAÇÃO X DE BAIXA ENERGIA.

A MEDIDA DE DOSES DE RADIAÇÃO COM GRANDE EXATIDÃO É ESSENCIAL EM RADIOTERAPIA. CONSEGUIE-SE GRANDE EXATIDÃO APENAS COM O USO DE DOSÍMETROS CALIBRADOS, REGULARMENTE TESTADOS QUANTO À SUA SENSIBILIDADE E CALIBRAÇÃO. A DOSIMETRIA DE FEIXES DE RADIAÇÃO É REALIZADA POR MEIO DE CÂMARAS DE IONIZAÇÃO. ESTAS, PELAS NORMAS DA COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, DEVEM SER RECALIBRADAS ANUALMENTE NUM DOS LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO CREDENCIADOS DO BRASIL. ESTES LABORATÓRIOS POSSUEM PADRÕES SECUNDÁRIOS, QUE FORAM CALIBRADOS NUM DOS LABORATÓRIOS DE PADRONIZAÇÃO PRIMÁRIA INTERNACIONAIS (EM GERAL NA INGLATERRA, ALEMANHA FEDERAL, FRANÇA OU ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA). OS DOSÍMETROS CLÍNICOS SÃO PORTANTO RECALIBRADOS ANUALMENTE EM RELAÇÃO AOS PADRÕES SECUNDÁRIOS DE CADA LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO. OS PADRÕES SECUNDÁRIOS PARTICIPAM ANUALMENTE DE INTERCOMPARAÇÕES NACIONAIS PARA CONTROLE DE QUALIDADE DOS SERVIÇOS DE CALIBRAÇÃO, ORGANIZADAS PELO LABORATÓRIO DE PADRONIZAÇÃO SECUNDÁRIA DO BRASIL, NO INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA, CNEN, RIO DE JANEIRO.

PARA O ACOMPANHAMENTO DE CADA ETAPA NO ESTABELECIMENTO DOS

CAMPOS PADRÕES DE RADIAÇÃO X, NO PRESENTE TRABALHO DUAS CÂMARAS DE IONIZAÇÃO FORAM SUBMETIDAS AO FEIXE DE RADIAÇÃO ANTES E APÓS O ALINHAMENTO DOS COLIMADORES, OBTURADOR, RODA DE FILTROS, ETC., E AS TAXAS DE EXPOSIÇÃO, SEM CORREÇÃO PARA A ENERGIA, FORAM DETERMINADOS PARA UM ESTUDO COMPARATIVO.

PARTE EXPERIMENTAL

O SISTEMA DE RAIOS-X, CONSTITUÍDO POR UM GERADOR RIGAKU DENKI (TIPO POTENCIAL CONSTANTE) E UM TUBO DE RAIOS-X PHILLIPS, MODELO PW 2184/00, COM JANELA DE 1mm DE BERÍLIO E ALVO DE TUNGSTÊNIO. PODE SER OPERADO ENTRE 20 E 60kV DE TENSÃO E ENTRE 2 A 80mA DE CORRENTE, COM A POTÊNCIA LIMITE DE 1,5kW. ESTE SISTEMA JÁ ESTEVE OPERACIONAL PARA CALIBRAÇÃO EM OUTRO LABORATÓRIO DO DEPARTAMENTO⁽¹⁾.

OS COLIMADORES FORAM POSICIONADOS NO EIXO DO FEIXE DE RADIAÇÃO EM FRENTE À JANELA DO TUBO DE RAIOS-X PARA REDUZIR O EFEITO DE PENUMBRA E PARA DEFINIR O CAMPO DE RADIAÇÃO À DISTÂNCIA ONDE AS CÂMARAS DE IONIZAÇÃO SERÃO CALIBRADOS. OS COLIMADORES SÃO DE LATÃO E TÊM ESPESSURA DE 7mm E DIÂMETRO VARIADO ENTRE 1,97 E 10,97cm.

COMO CÂMARA MONITORA FOI UTILIZADA A CÂMARA DE TRANSMISSÃO PTW, MODELO TCH 786/k, TIPO 24390, DE GRAFITE CONECTADA A UM ELETRÔMETRO PTW, MODELO DU4 (ALEMANHA FEDERAL), QUE POSSUI UM CONTADOR ELTRÔNICO PARA A DETERMINAÇÃO DA EXPOSIÇÃO TOTAL. A FINALIDADE DA CÂMARA MONITORA É A DE DETECTAR POSSÍVEIS ALTERAÇÕES DA REDE ELÉTRICA, PARA CORREÇÃO DA TAXA DE EXPOSIÇÃO DO FEIXE DURANTE A OPERAÇÃO DO SISTEMA DE RAIOS-X⁽²⁾.

O ALINHAMENTO DOS COLIMADORES, OBTURADOR E RODA DE FILTROS, EM RELAÇÃO AO FEIXE DE RADIAÇÃO, FOI FEITO COM O AUXÍLIO DE UM SISTEMA DE RAIOS LASER E DE UM INDICADOR AJUSTÁVEL DE POSIÇÃO NUM SUPORTE MÓVEL.

FORAM UTILIZADAS DUAS CÂMARAS DE IONIZAÇÃO, DE PLACAS PARALELAS, DO TIPO SUPERFICIAL, COM JANELA DE ENTRADA DE MYLAR E ESPESSURA $2,3\text{mg/cm}^2$, NESTE ESTUDO PRELIMINAR, NUMA DAS CÂMARAS, MODELO 2536/3B, COM VOLUME SENSÍVEL DE $0,3\text{cm}^3$, ASSOCIADA A UM ELETRÔMETRO MODELO 2560, AMBOS DA NUCLEAR ENTERPRISES LTD, INGLATERRA, É O PADRÃO SECUNDÁRIO PARA RAIOS-X DE BAIXAS ENERGIAS DO LABORATÓRIO DE

CALIBRAÇÃO DO IPEN. O SISTEMA TEM CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO EMITIDO PELO NATIONAL PHYSICAL LABORATORY, INGLATERRA E PARTICIPA DAS INTERCOMPARAÇÕES NACIONAIS ANUAIS. A OUTRA CÂMARA, MODELO 2532/3, COM VOLUME SENSÍVEL DE $0,03\text{cm}^3$, ACOPLADA A UM ELETRÔMETRO MODELO 2502/3, AMBOS DA NUCLEAR ENTERPRISES LTD, TAMBÉM FOI CALIBRADA EM RELAÇÃO AO PADRÃO SECUNDÁRIO (POR ISSO É DITA TERCIÁRIA). TODAS AS CÂMARAS DE IONIZAÇÃO DO LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO SÃO TESTADAS MENSALMENTE QUANTO À SUA ESTABILIDADE TANTO A CURTO COMO A LONGO PRAZO, À POSSIBILIDADE DE APRESENTAÇÃO DE FUGA DE CORRENTE ELÉTRICA E À LINEARIDADE DAS ESCALAS DOS ELETRÔMETROS. PARA ISTO SÃO UTILIZADAS AS FONTES ESPECIAIS PADRÕES DE CONTROLE, DE ^{90}Sr . ESTE PROCEDIMENTO TAMBÉM FOI SEGUIDO TODA VEZ QUE A CÂMARA FOI UTILIZADA NAS EXPERIÊNCIAS DESTE TRABALHO. TODAS AS MEDIDAS FEITAS FORAM CORRIGIDAS PARA AS CONDIÇÕES NORMAIS DE TEMPERATURA E PRESSÃO.

RESULTADOS E CONCLUSÕES

INICIALMENTE FOI MEDIDA A TAXA DE EXPOSIÇÃO COM A CÂMARA PADRÃO SECUNDÁRIA VARIANDO-SE A TENSÃO ENTRE 20 E 50kV E A CORRENTE ENTRE 2 E 40mA, SEM COLIMADORES OU OUTROS ACESSÓRIOS NO FEIXE DE RADIAÇÃO. A CÂMARA NESTE CASO FOI POSICIONADA À DISTÂNCIA DE 30,0cm DO ALVO DO TUBO. A POTÊNCIA DO SISTEMA DE RAIOS-X FOI MANTIDA FIXA EM 1,0kW. OBSERVA-SE COMPORTAMENTO LINEAR APENAS NO CASO DA TAXA DE EXPOSIÇÃO EM FUNÇÃO DA CORRENTE, PARA OS VALORES FIXOS DE TENSÃO.

APÓS O POSICIONAMENTO DOS ACESSÓRIOS NO FEIXE DE RADIAÇÃO X, MAS AINDA SEM FILTRAÇÃO ADICIONAL, AS MESMAS MEDIDAS FORAM REPETIDAS, À DISTÂNCIA DE 53,1cm COM O MESMO SISTEMA DETECTOR. FORAM OBTIDOS RESULTADOS DA TABELA 1, QUE FORAM REPRESENTADOS NAS FIGURAS 1 E 2.

NA TABELA 2 TÊM-SE OS RESULTADOS OBTIDOS DE MEDIDAS SEMELHANTES NAS MESMAS CONDIÇÕES GEOMÉTRICAS ANTERIORES, COM A CÂMARA TERCIÁRIA; NAS FIGURAS 3 E 4 PODE-SE OBSERVAR OS COMPORTAMENTOS DA TAXA DE EXPOSIÇÃO EM FUNÇÃO DA TENSÃO E DA CORRENTE, PARA VALORES FIXOS DE RESPECTIVAMENTE CORRENTE E TENSÃO.

CADA RESULTADO DAS TABELAS REPRESENTA A MÉDIA DE DEZ MEDIDAS.

COMPARANDO-SE AS FIGURAS 1 E 3, PODE-SE OBSERVAR QUE A MÉDIA DAS INCLINAÇÕES DAS RETAS DIFEREM APENAS ENTRE SI DE 1%, VALOR ESTE QUE ESTÁ PERFEITAMENTE DENTRO DO ERRO EXPERIMENTAL DO TIPO DE MEDIDA EM QUESTÃO. MAS OS VALORES DE TAXA DE EXPOSIÇÃO OBTIDOS COM UMA CÂMARA DIFEREM DE CERCA DE 15 A 17% DOS OBTIDOS COM A OUTRA CÂMARA. ISTO SE DEVE AO FATO DE QUE AS DUAS CÂMARAS APRESENTAM SENSIBILIDADES DIFERENTES E NECESSITAM DE CORREÇÃO PARA ISSO. MAS COMO OS CAMPOS DE RADIAÇÃO AINDA NÃO FORAM TOTALMENTE CARACTERIZADOS E AS CÂMARAS NÃO TÊM FATORES DE CALIBRAÇÃO PARA ESTES CASOS, NÃO SE PODE COMPARAR OS VALORES DE TAXAS DE EXPOSIÇÃO DIRETAMENTE.

NO CASO DAS FIGURAS 2 E 4 NOTA-SE QUE OS COMPORTAMENTOS SÃO TAMBÉM SEMELHANTES.

PODE-SE CONCLUIR DOS DADOS APRESENTADOS QUE O COMPORTAMENTO DA TAXA DE EXPOSIÇÃO, MEDIDA COM CÂMARAS DE IONIZAÇÃO DO TIPO SUPERFICIAL, VARIA LINEARMENTE COM A CORRENTE NOMINAL. POR OUTRO LADO, A RELAÇÃO ENTRE A TAXA DE EXPOSIÇÃO E A TENSÃO NOMINAL NÃO PODE SER DESCRITA POR UMA FUNÇÃO MATEMÁTICA SIMPLES.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. JACOMINO, V.M.F. "DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE CAMPOS DE RAIOS-X DE ENERGIA BAIXA", DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES (1982).
2. HENRY, W.H. AND AITKEN, J.H. "MONITORING IONIZATION CHAMBER FOR AN X-RAY GENERATOR", BRIT. J. RADIOL. ³⁴35, 516 (1961).

TABELA 1

TAXAS DE EXPOSIÇÃO (R/min) EM FUNÇÃO DA TENSÃO E DA CORRENTE NOMINAIS DO SISTEMA DE RAIOS-X, SEM FILTRAÇÃO ADICIONAL. SISTEMA PADRÃO SECUNDÁRIO. DISTÂNCIA ENTRE TUBO DE RAIOS-X E DETECTOR: 53cm.

TENSÃO(kV) CORRENTE(mA)	20	30	40	50
5	-	111,19±0,06	168,6 ± 0,2	219,3 ± 0,4
10	107,8 ± 0,2	228,3 ± 0,1	344,3 ± 0,3	448,9 ± 0,6
15	161,3 ± 0,1	340,8 ± 0,5	512,7 ± 0,8	678 ± 2
20	218,8 ± 0,3	458,0 ± 0,7	693 ± 1	909 ± 1
25	272,5 ± 0,3	572,2 ± 0,7	-	-
30	335,6 ± 0,4	694,1 ± 0,9	-	-
40	457,6 ± 0,7	-	-	-

TABELA 2

TAXAS DE EXPOSIÇÃO (R/min) EM FUNÇÃO DA TENSÃO E DA CORRENTE NOMINAIS DO SISTEMA DE RAIOS-X, SEM FILTRAÇÃO ADICIONAL. SISTEMA DETECTOR TERCIÁRIO. DISTÂNCIA ENTRE TUBO DE RAIOS-X E DETECTOR: 53cm.

TENSÃO(kV) CORRENTE(mA)	20	30	40	50
5	-	96,6 ± 0,2	144,6 ± 0,4	192,0 ± 0,4
10	93,7 ± 0,3	196,1 ± 0,2	296,7 ± 0,6	389,9 ± 0,6
15	141,1 ± 0,9	293 ± 1	442 ± 1	576 ± 1
20	191,1 ± 0,6	395 ± 1	590 ± 1	774 ± 2
25	240,5 ± 0,5	493,2 ± 0,9	742 ± 2	-
30	289,4 ± 0,7	596,3 ± 0,6	-	-
40	391 ± 1	-	-	-

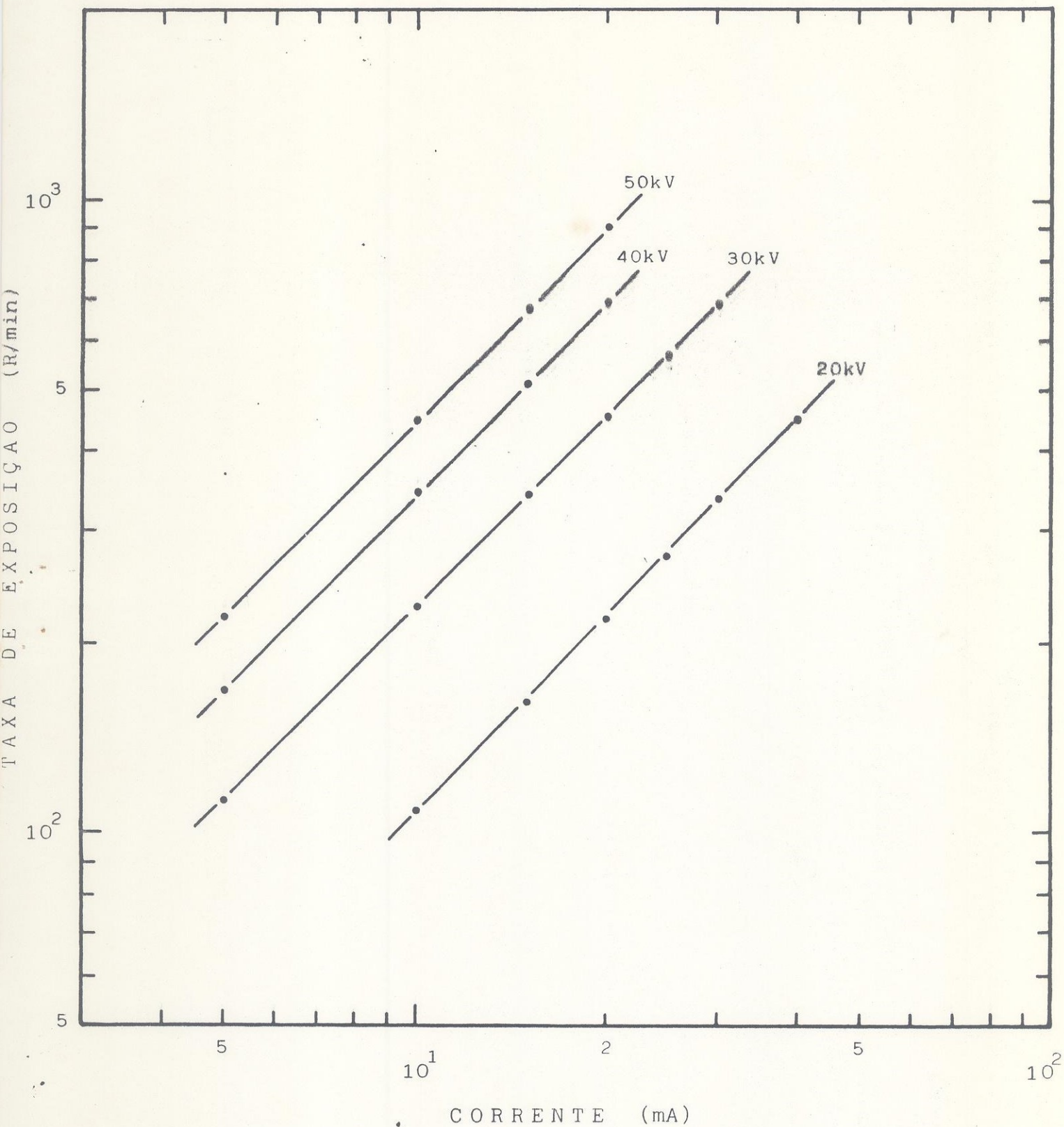


FIGURA 1. VARIAÇÃO DA TAXA DE EXPOSIÇÃO EM FUNÇÃO DA CORRENTE NOMINAL PARA VÁRIOS VALORES FIXOS DE TENSÃO DO SISTEMA DE RAIOS-X. MEDIDAS REALIZADAS COM A CÂMARA SUPERFICIAL 2536/3B ASSOCIADA AO ELETRÔMETRO NE, MODELO 2560.

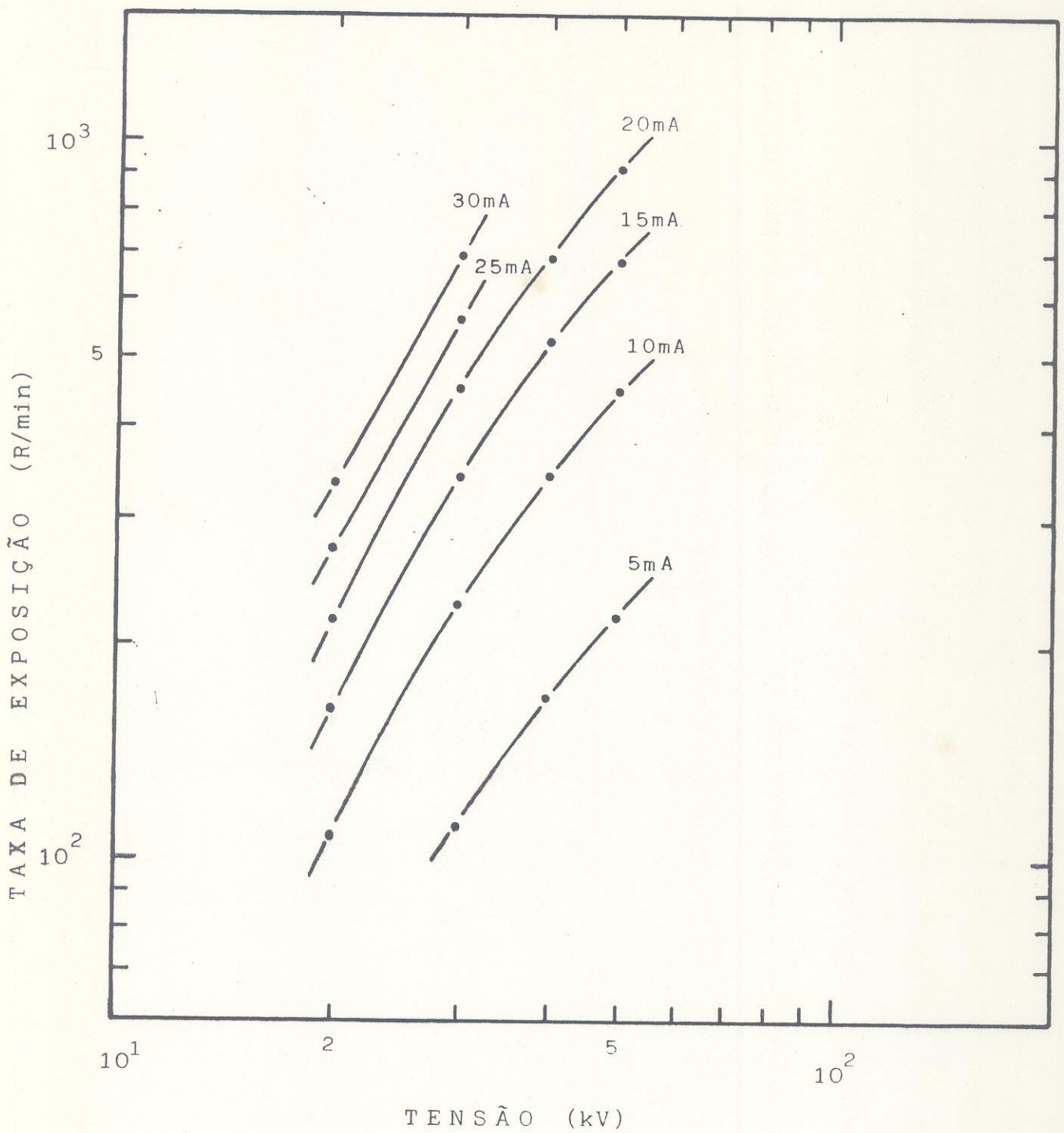


FIGURA 2. VARIAÇÃO DA TAXA DE EXPOSIÇÃO EM FUNÇÃO DA TENSÃO NOMINAL PARA VÁRIOS VALORES FIXOS DE CORRENTE DO SISTEMA DE RAIOS-X. MEDIDAS REALIZADAS COM A CÂMARA SUPERFICIAL 2536/3B ASSOCIADA AO ELETRÔMETRO NE, MODELO 2560.

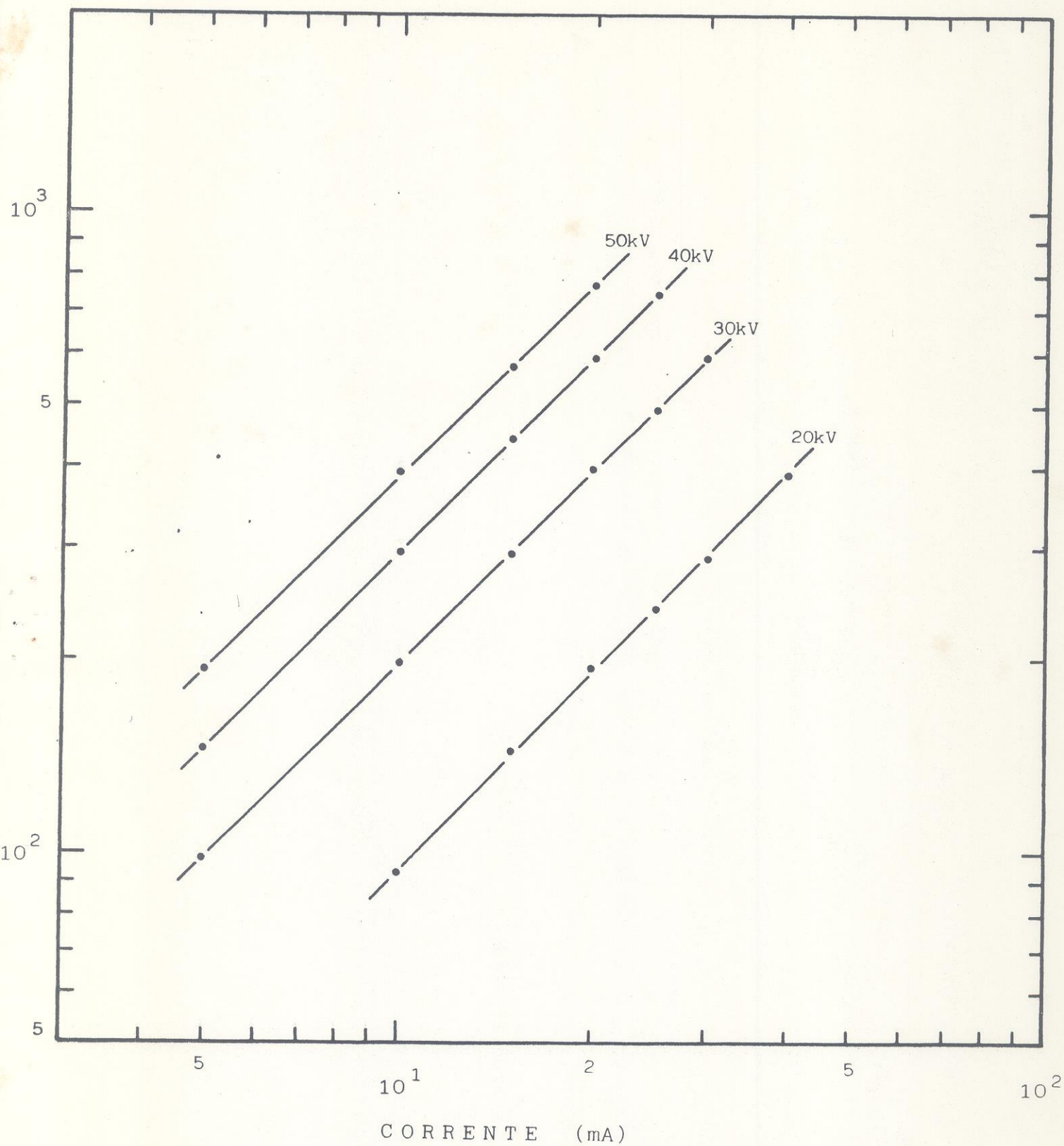


FIGURA 3. VARIAÇÃO DA TAXA DE EXPOSIÇÃO EM FUNÇÃO DA CORRENTE NOMINAL PARA VÁRIOS VALORES FIXOS DE TENSÃO DO SISTEMA DE RAIOS-X. MEDIDAS REALIZADAS COM A CÂMARA SUPERFICIAL 2532/3 ASSOCIADA AO ELETRÔMETRO BALDWIN FARMER, MODELO 2502/3.

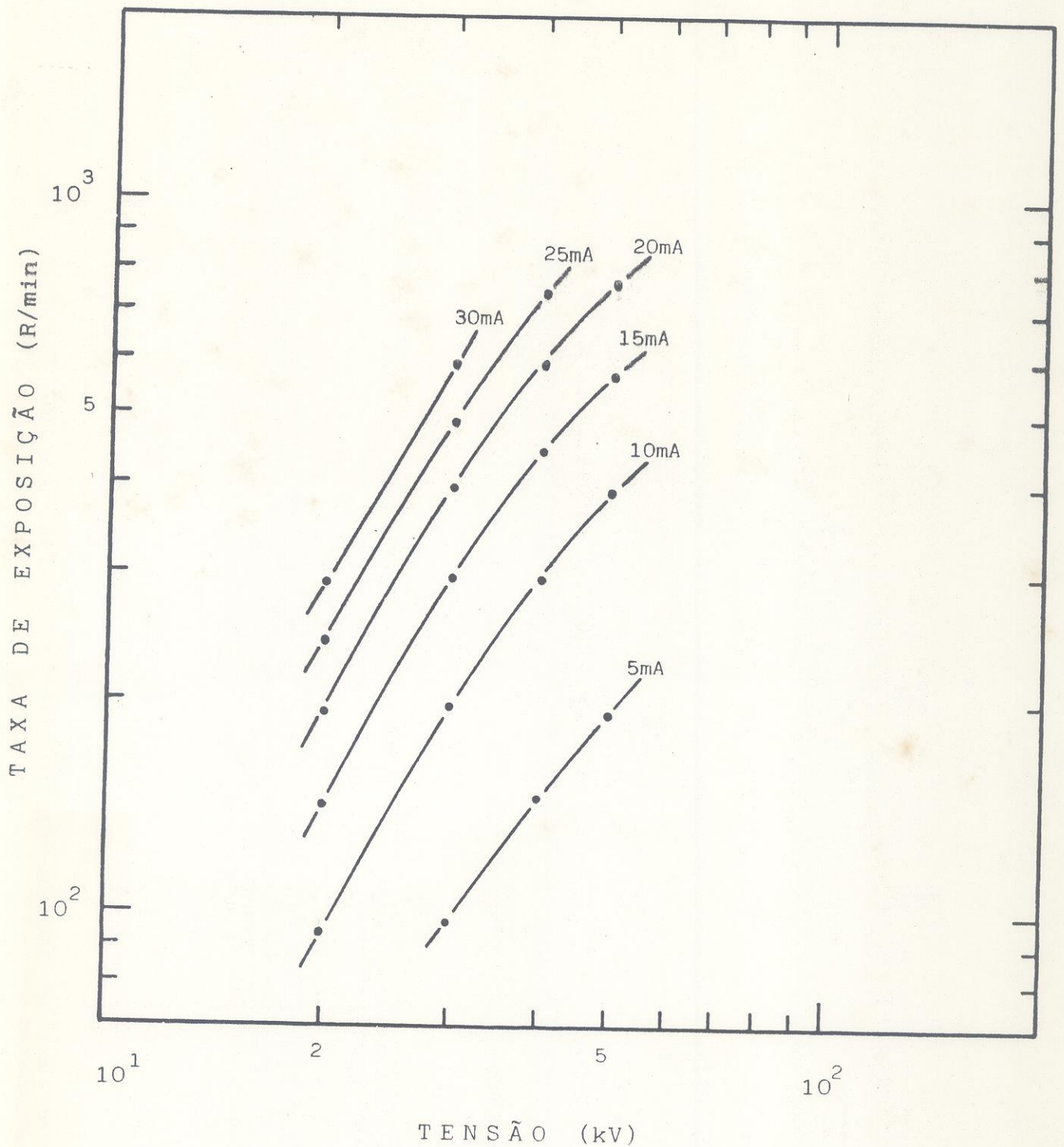


FIGURA 4. VARIAÇÃO DA TAXA DE EXPOSIÇÃO EM FUNÇÃO DA TENSÃO NOMINAL PARA VÁRIOS VALORES FIXOS DE CORRENTE DO SISTEMA DE RAIOS-X. MEDIDAS REALIZADAS COM A CÂMARA SUPERFICIAL 2532/3 ASSOCIADA AO ELETRÔMETRO BALDWIN FARMER, MODELO 2502/3.