

ALGORÍTMO PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL COM DETECTOR PASSIVO NA IMPOSSIBILIDADE DE BLINDAGEM

José Eduardo Manzoli¹ e Oziride Manzoli Neto²

¹ Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN,
Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, Brasil

² Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos - ICMSC-USP, São Carlos, Brasil

Resumo: A precisão, a exatidão e a confiabilidade na medição de uma grandeza ambiental depende, dentro da correta validação do método, do monitoramento apenas no campo e não no traslado Laboratório/campo/Laboratório. É desejável que o detector esteja inativo neste traslado. Como um detector pode não ter esta possibilidade; propõe-se aqui um algoritmo de colocação destes monitores no campo, minimizando resultados de medições espúrios, durante este traslado, exemplificando o mesmo com dosimetria de radiação ambiental.

Palavras chave: algoritmo, monitoramento ambiental, dosimetria.

1. INTRODUÇÃO

Diversas formas de monitoramento ambiental são realizadas utilizando detectores passivos, ou seja, que acumulam a grandeza a ser avaliada até o momento de sua avaliação. Estes apresentam os mais variados princípios de funcionamento, sejam físicos ou químicos, em forma sólida, líquida ou gasosa, polimérica, cristalina etc.

As grandezas mensuradas por estes detectores podem ser relacionadas a níveis de poluição, a salinidade, a pH, a luminosidade, a níveis de radiação etc.

Estes detectores permanecem no ponto de monitoramento (ou *em campo*) por horas, dias, meses ou anos. Completado o seu turno, estes são então trocados por novos detectores e retornam ao Laboratório para sua avaliação.

Nesta avaliação, a precisão na medição da grandeza ambiental em questão depende de que o monitoramento ocorra apenas no campo e não no traslado Laboratório/campo/Laboratório, sendo de muito interesse que o detector esteja inativo neste traslado.

Muitos detectores não têm a possibilidade de se manterem completamente inertes até a chegada no campo. É o caso, por exemplo, de dosímetros de radiação ambiental os quais, mesmo sendo levados ao campo em blindagens, captam radiação dentro destas.

Neste trabalho apresenta-se um algoritmo do processo de colocação e coleta dos detectores, com as alternativas para se minimizar a incerteza de medição. Apresenta-se também

um exemplo de aplicação, num procedimento utilizado para dosimetria de radiação ambiental.

2. CONSIDERAÇÕES MATEMÁTICAS

O deslocamento dos detectores desde a sua produção, passando pelo seu envio ao campo, permanência captando a grandeza em questão (de agora em diante chamada grandeza X), retorno ao Laboratório e avaliação, é mostrado na figura 1.

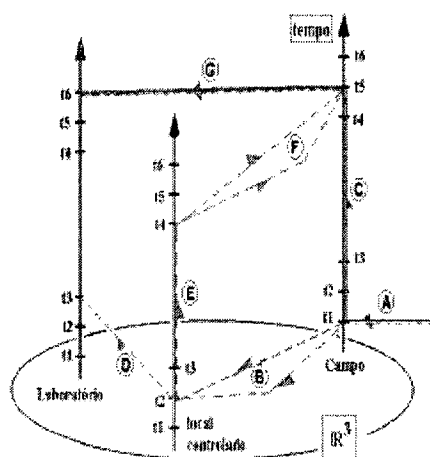


Figura 1: Representação esquemática do "espaço-tempo" (R^4). Os locais de interesse para as medições estão no R^3 , esquematizado como o "plano" da base como *Campo*, *Laboratório* e *local controlado*. Os eixos verticais representam o tempo, cujos instantes de interesse são: t_1 -chegada dos dosímetros ao campo, t_2 -chegada dos dosímetros de controle ao local cuja grandeza ambiental é conhecida (*local controlado*), t_3 -avaliação inicial de alguns dos detectores de controle, t_4 -instante que os detectores de controle deixam o local controlado para irem "buscar" os de campo, t_5 -chegada ao campo para busca dos detectores e t_6 -avaliação dos detectores. As trajetórias A até G são explicadas no procedimento, onde o tracejado representa o deslocamento de detectores de controle e a linha contínua, de detectores de campo.

9788

O valor de X de interesse ocorre entre t_1 e t_5 no campo (trajeto C), vide figura 1. A avaliação direta da grandeza X acumulada no detector dito "de campo" contém inconvenientemente o que o mesmo acumulou antes de t_1 (trajeto A) e após t_5 (trajeto G).

O procedimento para a avaliação da grandeza X apenas em C necessita de, no mínimo, 6 detectores de controle. Os detectores *de controle* servem, em última instância, para se poder subtrair dos valores mensurados nos detectores *de campo* o que estes acumularam inevitavelmente em A e G.

3. PROCEDIMENTO

Todos os detectores são produzidos conjuntamente e enviados ao campo pelo trajeto A da figura 1. Neste envio, os mesmos acumularam o mesmo valor da grandeza X, dentro das incertezas de medição.

Chegando ao campo, os detectores de controle retornam ao *local controlado*, três deles por um trajeto e os outros 3 retornam por outro trajeto. As trajetórias em B são diferentes no "espaço-tempo", ou seja, podem até percorrer os mesmos caminhos, mas em instantes diferentes. Os detectores *de controle* aguardarão no *local controlado* até a busca dos detectores *de campo*, exceto 1 detector de cada trajeto diferente, que irão conjuntamente pelo trajeto D até o Laboratório para suas avaliações. A diferença da grandeza X acumulada entre estes dois detectores, avaliados no instante t_3 , deve-se exclusivamente às diferentes trajetórias em B.

Caso a diferença mensurada no instante t_3 seja significativa, os dois detectores que aguardam no *local controlado* e que acumularam maior X deverão ser descartados. Isto porque os mesmos absorveram X espúrio em quantidade maior do que os outros dois e, portanto, colaborariam para um aumento da incerteza combinada final, se fossem utilizados. Como diferença significativa pode-se estabelecer o *limite de detecção*. Esta também poderá ser regulamentada por norma.

Os detectores *de campo* realizam sua função primeira com o passar do tempo em C e os detectores *de controle* aguardam em E. No instante t_4 um dos detectores *de controle* deixa o *local controlado* por um trajeto e o outro o deixa por um trajeto diferente, vide F na figura 1. Ambos encontram-se com os detectores *de campo* em t_5 , retornando ao Laboratório para suas avaliações.

Uma diferença significativa entre X acumulado entre os dois detectores *de controle*, em t_6 , deve-se exclusivamente à diferença de X absorvida nos trajetos F. Novamente, apenas o menor deverá ser utilizado.

O valor mensurado de X em C é calculado subtraindo-se da avaliação do detector de campo (que acumulou X nos trajetos ACG) o valor de controle (que acumulou em ABFG) e somando-se o valor de X que se supõe para os trajetos B, E e F.

O valor de X acumulado em E é conhecido pois é um local controlado.

Nos trajetos B e F supõem-se que X seja o mesmo de um local "comum". Este valor "comum" é o análogo do chamado "branco", em métodos analíticos. Nesta suposição, há o risco de ambos os trajetos, tanto em B como em F, assumirem um valor de X muito elevado, não apresentando diferença significativa entre si. Este risco pode ser minimizado aumentando-se o número de detectores *de controle* e de trajetos diferenciados. Não se pode tecer considerações corretivas caso se observe um valor elevado nos detectores de controle pois este valor de X pode ter sido absorvido pelos detectores de campo nos trajetos A e G também.

4. EXEMPLO: DOSIMETRIA TERMOLUMINESCENTE AMBIENTAL

Um importante ensaio para se avaliar a quantidade de radiação ionizante presente nos mais diversos locais, principalmente próximos a instalações radioativas ou nucleares, é a *dosimetria ambiental*. Esta medição não admite uma blindagem absoluta, apenas um conhecimento preciso dos níveis baixos de radiação dentro das blindagens de chumbo, sujeitas a variações consideráveis em poucos meses.

Cada vez mais utilizada mundialmente, uma das mais sensíveis dosimetrias é a que utiliza dosímetros cujos detectores são termoluminescentes (TL).

A grandeza física de interesse é a *Exposição*, mensurada na unidade coulombs por quilograma ou submúltiplos ($\mu\text{C}/\text{kg}$)^{1,2}.

Nos ensaios do Laboratório de Dosimetria Termoluminescente, LDT, do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN/CNEN, são avaliados cerca de 400 pontos em indústrias, mineradoras e no próprio IPEN.

A rastreabilidade das medições é garantida pelas irradiações dos dosímetros para o estabelecimento da curva de calibração, vide figura 2, em campos padrão de radiação gama do Laboratório de Calibração de Instrumentos, LCI-IPEN.

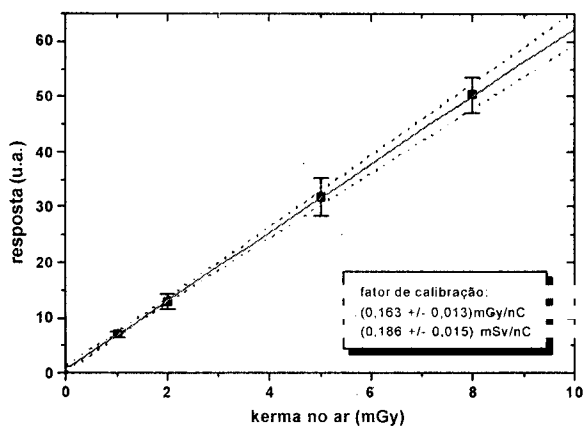


Figura 2: Curva de calibração do método com intervalo de confiança fiducial (95%).

A conversão da unidade *kerma no ar* para *exposição* é realizada e a extrapolação da curva de calibração para regiões abaixo de 0.5mGy, níveis ambientais de radiação, é necessária e possível graças ao comportamento linear dos detectores TL^{3,4}.

Intercomparações laboratoriais são realizadas mensalmente e auditorias de inspeção ocorrem anualmente, para os ensaios de *monitoração individual externa*, sob a responsabilidade do *Comitê de Avaliação de Serviços de Monitoração Individual Externa* - CASMIE-IRD, segundo as normas nacionais⁵. A normatização para a dosimetria ambiental ainda não se encontra firmemente estabelecida no Brasil.

A troca dos dosímetros ocorre semestralmente e o recente algoritmo aqui proposto foi colocado em prática à pouco tempo, tendo os primeiros resultados práticos em outubro de 2003.

4.1. Resultados Simulados

Utilizando-se deste algoritmo, os resultados de uma simulação hipotética, perfeitamente possível, vide resultados de dosimetrias ambientais realizadas pelo LDT desde 1991, estão na tabela 1.

Tabela 1. Medições no ponto "branco".

Dosímetro	Trajeto	Medição Bruta ($\mu\text{C/kg}$)	Exposição em C ($\mu\text{C/kg}$)
1	ACG	25 \pm 1	25 \pm 2
2	ACG	26,5 \pm 0,9	
3	ACG	28 \pm 1	
controle 1	ABD	3,0 \pm 0,1	*Descartados.
controle 2	ABEFG	9,3 \pm 0,6	
controle 3	ABEFG	9,9 \pm 0,7	
controle 4	ABD	5,7 \pm 0,5	
controle 5	AB*D	5,9 \pm 0,5	
controle 6	AB*D	6,0 \pm 0,5	

Cada dosímetro apresenta 3 detectores e sua incerteza tipo A é a principal colaboradora nas incertezas.

O ponto "branco" é um local onde têm-se a máxima confiança possível de que não possua radioatividade ambiental de origem não-natural. Por isto mesmo, os níveis de radiação são muito baixos e é importante ter-se minimizado a incerteza de medição. O valor dos níveis de radiação aí mensurados servirão de comparação para todos os ensaios realizados. Atualmente seu valor semestral é estabelecido em 20 $\mu\text{C/kg}$, com 20% de incerteza padrão combinada relativa. O *local controlado* é uma blindagem de chumbo no LDT com taxa diária de exposição de (0,034 \pm 0,001) $\mu\text{C/kg}$, re-avaliada anualmente. O mínimo de detecção do método⁵ no LDT é 2,5 $\mu\text{C/kg}$.

Nota-se que a diferença entre as avaliações nas trajetórias em B, mensuradas em t3 com os controles 1 e 4, foi de (2,7 \pm 0,5) $\mu\text{C/kg}$, daí o descarte dos controles 5 e 6. Nas trajetórias F, entre os controles 2 e 3, a diferença foi (0,6 \pm 0,9) $\mu\text{C/kg}$, não sendo, portanto, considerada significativa. Utilizou-se então uma média destes para as avaliações. O valor da exposição em B e F foi estimado pelo valor anterior do "branco". Considerou-se que os dosímetros permaneceram exatos 180 dias no campo, 10 dias para o traslado de ida, 10 dias para a volta e 160 dias na blindagem.

5. CONCLUSÃO

O algoritmo mostrou na simulação uma grande diminuição na incerteza combinada, de 20% para 8%. Se os controles 5 e 6 fossem utilizados, um erro na exatidão de 10% poderia ocorrer no resultado final, o que este algoritmo previniu.

O inconveniente de se ter que utilizar 6 detectores de controle é compensatório principalmente quando o traslado é sujeito a muitas exposições indesejadas à grandeza X, como ocorre frequentemente dentro de instalações radioativas, onde o transporte de material radiativo esporádico pode afetar os dosímetros de controle.

REFERÊNCIAS

- [1] Associação Brasileira de Normas Técnicas. Grandezas e Unidades de Reações Nucleares e Radiação Ionizante, 1992; NBR 12539, 21p. ABNT, Rio de Janeiro.
- [2] International Commission on Radiation Units and Measurements. Radiation Quantities and Units, 1980. ICRU Report 33. Bethesda, Maryland.
- [3] S.W.S. McKeever, M. Moscovitch, P.D. Townsend. "Thermoluminescence Dosimetry Materials: Properties and Uses", Nuclear Technology Publishing (1995).
- [4] M. Oberhofer, A. Scharmann, "Applied Thermoluminescence Dosimetry", Adam Hilger (1981).
- [5] CASMIE - Regulamentos Técnicos Referentes ao Processo de Certificação de Sistemas de Monitoração Individual Externa - IRD-RT N°001 ao 004.01/95 (1995).

Autores: Dr. José Eduardo Manzoli, Centro de Metrologia das Radiações Dosimetria - CMRD/IPEN/CNEN, av. prof. Lineu Prestes, 2242, Cidade Universitária, CEP 05508-000, São Paulo-SP, Brasil, telefone (11) 3816 - 9212, fax 3816 - 9209, jmanzoli@net.ipen.br.

Dr. Oziride Manzoli Neto, Instituto de Ciências Matemáticas e Computação, av. Trabalhador Saocarlense, 400 - centro, Caixa Postal 669 - CEP 13560-970, ozimneto@icmc.sc.usp.br.