

Desenvolvimento de viatura de reconhecimento DQBRN: uma aplicação utilizando-se detectores cintiladores e monitores de área

Ana Carolina Lodi Lobato ¹, Anne Karoline F Mendonça ¹, Ary Machado de Azevedo ¹, Caio Cezar Pontes ¹, Domingos D'Oliveira Cardoso ¹, Marcelus Paulo Cruz Da Silva ¹, Augilmar Pereira Salazar ¹, Thiago de Medeiros S Silva¹, Victor de Castro Vasconcelos ¹, Wallace Vallory Nunes ¹

¹ Instituto Militar de Engenharia

² E-mail: vallory@ime.eb.br ; domin@ime.eb.br

Resumo: No Brasil e no mundo, é visível a crescente demanda por tecnologia na área da segurança social, o que torna fundamental a preparação e o aparelhamento de equipes para lidar com ocorrências das mais diversas naturezas, dentre elas, a defesa radiológica nuclear. Com esse objetivo, foram realizadas revisões bibliográficas seguidas de atividades experimentais, para obtenção da melhor especificação dos equipamentos de detecção de radiação ionizante que possam ser utilizados na viatura de reconhecimento proposta, os detectores estudados foram os cintiladores (NaI e LaBr₃). O estudo analisou as melhores opções de equipamentos e configurações destes, disponíveis no IME-IDQBRN, buscando a melhor otimização na futura aplicação em trabalhos de campo a serem desenvolvidos. Com os resultados obtidos chegou-se à conclusão que ambos cintiladores, utilizados neste trabalho, poderiam ser empregados na viatura de reconhecimento.

Palavras-chave: detectores cintiladores, viatura de reconhecimento, DQBRN

Abstract: In Brazil and in the world, the growing demand for technology in the area of social security is visible, which makes it essential to prepare and equip teams to deal with events of the most diverse nature, among them, nuclear radiological defense. With this objective, bibliographic reviews were carried out followed by experimental activities, in order to obtain the best specification of the ionizing radiation detection equipment that can be used in the proposed recognition vehicle, the detectors studied were the scintillators (NaI and LaBr₃). The study analyzed the best equipment options and configurations, available at IME-IDQBRN, seeking the best optimization in the future application in field work to be developed. With the results obtained, it was concluded that both scintillators, used in this work, could be used in the recognition vehicle.

Keywords: scintillators detectors, recognition vehicle, DQBRN.

1. INTRODUÇÃO

Visando atender as necessidades do Sistema de Defesa Química, Biológica, Radiológica e Nuclear do Exército (SisDQBRNEx), adaptou-se uma viatura 4x4, para detecção e reconhecimento de radiações ionizantes. Vislumbra-se que a referida viatura seja utilizada em acidentes/incidentes onde tenha ocorrido a liberação de radionuclídeos, com potencial perigo para a saúde humana e do meio ambiente. Para tanto, detectores serão instalados no interior e no exterior da viatura, de modo que seja possível registrar; o nível de dose proveniente da radiação existente no meio e a identificação do radionuclídeo presente. O estudo irá auxiliar e aprimorar a logística a ser utilizada pela equipe técnica na área de Defesa Química, Biológica, Radiológica e Nuclear (DQBRN).

O trabalho foi realizado através de uma parceria entre o Instituto Militar de Engenharia (IME) e o Instituto de Defesa Química, Biológica, Radiológica e Nuclear (IDQBRN). O experimento foi realizado por pesquisadores, professores e mestrandos em Engenharia Nuclear, em conjunto. Desenvolveu-se um estudo teórico/metodológico sobre o tema seguido de atividades práticas comprobatórias, para definir qual detector poderia ser empregado na viatura de reconhecimento.

O detector cintilador, em uma comparação simples com os demais detectores utilizados como identificadores de radiação, tem como características: maior eficiência de detecção; segundo os manuais dos fabricantes, boa resistência mecânica e manutenção da sua característica de resposta, em uma determinada faixa variação de temperatura; capacidade de fornecer um espectro em energia para as radiações ionizantes existentes no meio sob análise; não possui o menor tempo morto, nem a melhor resolução em energia.

Para a aplicação proposta neste trabalho, em função das seguintes características; sua maior eficiência de detecção, maior robustez mecânica e térmica, optou-se pela utilização de detectores cintiladores. No experimento prático, serão testados os cintiladores NaI e LaBr₃. Através das análises das respostas obtidas, será indicado qual deles poderá ser aplicado como identificador no anteprojeto da viatura de reconhecimento.

O detector gasoso Geiger-Muller, em função das suas características de funcionamento; maior robustez mecânica e térmica, por funcionar como um medidor de radiação (taxa de dose) será instalado na viatura de reconhecimento para medição da dose efetiva nos operadores da viatura.

1.1 Viatura de Reconhecimento

A viatura para a detecção e reconhecimento de radiações ionizantes foi baseada em uma viatura 4x4 disponível comercialmente. Esta conta com uma carroceria metálica que pode ser utilizada para transporte de tripulantes e/ou carga em diversos terrenos, sendo eles planos ou acidentados. Assim, o veículo destaca-se por sua robustez, segurança e versatilidade de aplicação.

Objetivando a maior eficiência de funcionamento da viatura, deve-se observar requisitos importantes:

- O detector cintilador será instalado externamente à viatura, abaixo do farol dianteiro, conforme ilustrado na Figura 1.

- Deverá ser instalado um aparato para a transmissão dos dados coletados pelo detector cintilador, para uma central de comando, interna a viatura.
- O detector gasoso Geiger-Muller será instalado internamente à cabine da viatura, ao lado do motorista.
- Deverá ser instalado dentro da cabine um armário para a acomodação do material contaminado, recolhido para análise.
- A cabine não possuirá janelas tradicionais, de modo a preservar o ambiente o mais livre de particulado quanto possível.
- Para prover a refrigeração interna da cabine, será instalado um aparelho de ar-condicionado do tipo split com exaustor.
- A cabine deverá possuir um quadro de distribuição elétrica interligado a uma tomada que possa ser conectada a um banco de baterias externo (tensão DC) ou à rede elétrica (tensão AC).
- A cabine deverá possuir um ambiente antes do acesso à sala de medição, conforme ilustrado na Figura 2, onde será possível a realização de troca de roupa, para o caso de haver contaminação na área externa.

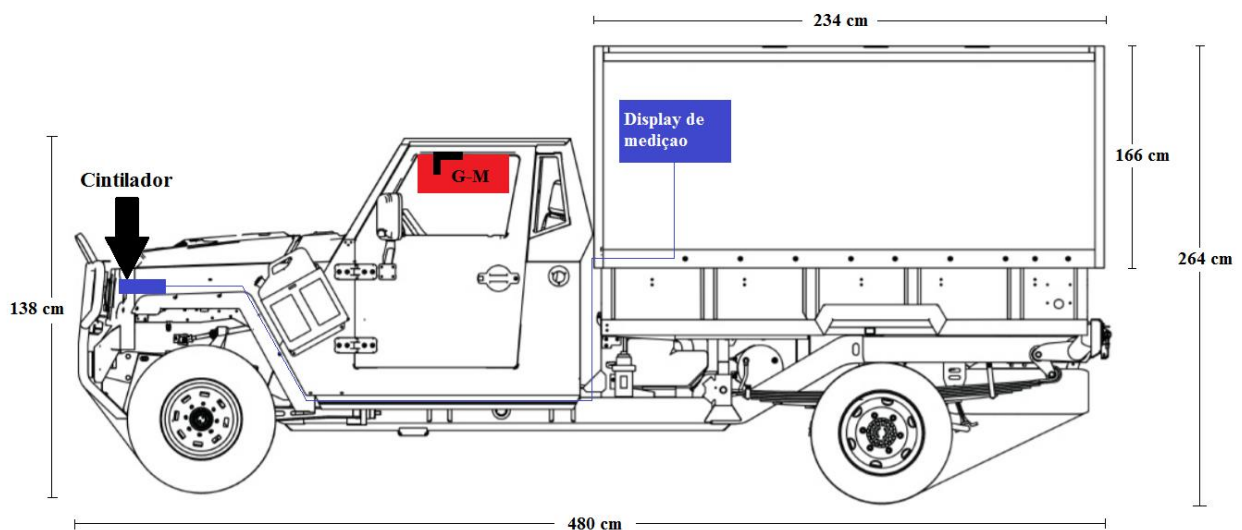


Figura 1 - Vista lateral da viatura de reconhecimento DQBRN.

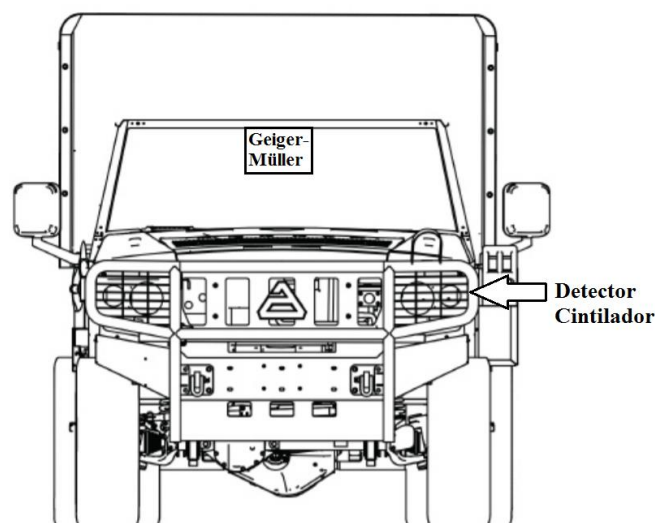


Figura 2 - Vista frontal da viatura de reconhecimento DQBRN.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Detector Cintilador

Os detectores cintiladores podem ser de material orgânico e inorgânico, no estado sólido, líquido ou gasoso. Para a detecção da radiação γ , o cintilador mais comumente utilizado é o de cristais de iodeto de sódio com pequena concentração de tálio como elemento ativador - sendo este um cintilador de material inorgânico com características importantes no que tange à eficiência de detecção. Já os cintiladores orgânicos não apresentam boa resolução em energia para gama (TSOULFANIDIS, 1995).

Como a viatura atuará principalmente na detecção de radiação γ , apenas cintiladores inorgânicos - no caso, NaI e LaBr₃, serão testados para a utilização no projeto. Ambos equipamentos apresentam tempo morto de $5\mu\text{s}$, este é o tempo mínimo no qual o detector analisará dois pulsos distintos como eventos separados.

2.2 Detector Gasoso

O tubo Geiger-Müller consiste em uma câmara metálica cilíndrica preenchida por uma mistura gasosa de Argônio e Bromo à baixa pressão, em cujo eixo é estendido um fio metálico fino possuindo uma faixa de medição de 0,001 mSv/h à 1000 mSv/h.

Este equipamento será utilizado no interior da viatura, o que o torna útil para a monitoração da taxa de dose à qual os operadores estarão expostos e poderá ainda, gerar um alerta de proximidade quanto à presença de radiação, quando os níveis pré-estabelecidos forem ultrapassados no local em que a viatura se encontra.

A sensibilidade do Geiger-Müller à α , β e γ (Baptista Alfredo, 2015) é um fator de suma importância para o caso apresentado, pois permitirá manter os padrões de segurança da equipe. Como

o objetivo dos detectores G-M é a monitoração individual, este deverá ser compacto e de fácil operação.

A eficiência do contador Geiger-Muller está relacionada com a sua capacidade de converter os pulsos recebidos em sinais de medição. Quanto melhores forem essas características, melhor será a qualidade das medições realizadas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Para realizar as análises experimentais foram utilizados dois detectores cintiladores (NaI e LaBr₃), para a identificação do espectro da radiação existente no local e um monitor gasoso, para o levantamento da dose recebida pelos operadores. Mais especificamente, foram escolhidos o detector cintiladores SpiR-ID e RIIDEye e o detector gasoso GEIGER-MULLER RadEye PRD- ER4. Para o projeto da viatura será prevista uma unidade de retransmissão de dados conectada ao identificador cintilador, que possibilitará tanto aos operadores como a central de comando da operação a visualização dos dados medidos pelo detector.

O identificador cintilador estará preso no suporte do para choque, de modo a facilitar a leitura da varredura do local e a retransmissão de dados.

3.1.1 Detector Cintilador SpiR-ID

O detector cintilador SpiR-ID é um detector do tipo NaI(Tl), que possui uma variação de temperatura de -20°C a 50°C e umidade até 100% é resistente a vibração, choque e queda, além, de estar em conformidade com a MIL461D EMI e apresenta IP65 para entrada de poeira e água. Detém, carregador embutido, tornando o detector recarregável com uma autonomia de até 10 horas, com compartimento para pilhas para o caso de necessidade de alimentação imediata.

O SpiR-ID possui 320 x 145 x 175 mm com 3,7 Kg. Atua em uma margem de energia variante de 25 keV a 3 MeV, quando se trata de radiação gama, com amplitude de medida $<0,01\mu Sv/h$ a $10 mSv/h$. Comporta ainda canais digitais MCA 1024 para comunicação e transferência de dados. Sendo que, a aquisição dos espectros contínuos e a estabilização são realizados sem necessidade de calibração em campo, além disso, calcula a taxa de dose de real por meio da ponderação dos espectros criados com base em um tempo morto de 5 μs .

3.1.2 Detector Cintilador RIIDEye

O detector cintilador RIIDEye é um detector do tipo LaBr₃, que possui uma variação de temperatura de -20°C a 50°C e umidade até 100% é resistente a vibração, choque e queda, além, de estar em conformidade com a MIL461D EMI e apresenta IP65 para entrada de poeira e água. Detém, carregador embutido, tornando o detector recarregável com uma autonomia de até 8 horas do banco de bateria e com compartimento para 8 pilhas alcalinas AA para o caso de necessidade de alimentação imediata de até 12 horas.

O RIIDEye possui 135 x 285 x 215 mm com 2,9 Kg. Atua em uma margem de energia variante de 25 keV a 3 MeV, quando se trata de radiação gama, com um tempo de medição de 40 ns a 2,1 μ s. Comporta ainda canais digitais MCA 1024 para comunicação e transferência de dados. Sendo que, a aquisição dos espectros contínuos e a estabilização são realizados sem necessidade de calibração em campo, além disso, calcula a taxa de dose de real por meio da ponderação dos espectros criados com base em um tempo morto de 5 μ s.

Observa-se que as condições de funcionamento são extensas, evidenciando a boa resiliência e leveza do equipamento, atendendo perfeitamente às características climáticas nacionais e operacionais. Informações sobre, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Eficiência Intrínseca do RIIDEye.

Fonte	Energia (keV)	Eficiência Intrínseca
Co^{57}	122	63,95
Ba^{133}	356	39,65
Cs^{137}	662	26,5
Co^{57}	1173	14,35
Co^{57}	1332	13,1

Fonte : Handheld Radio-Isotope Identification Device Mode RIIDEye X-G, -H, -GN, -HN

3.1.3 Detector Geiger-Muller RadEye PRD-ER4

Para segurança dos operadores da viatura, utiliza-se o detector Geiger-Muller RadEye PRD-ER4 da Thermo Scientific. O Tempo morto, que é o tempo mínimo no qual os detectores são capazes analisar dois pulsos distintos como eventos separados, é de 300 ms.

A alimentação do aparelho se dá através de duas pilhas alcalinas AAA, além de uma bateria com duração de até 170 horas. A sua principal vantagem consiste na sua autonomia de alimentação, o que confere ao operador uma menor limitação de seu deslocamento em campo. Acompanhada da sua massa que é aproximadamente 195 g, o que consiste numa vantagem no que se refere a portabilidade do instrumento. Este instrumento possui saídas de comunicação via USB para IR e nas configurações, podendo ser acionado via bluetooth. Sua faixa de medição para doses baixas é de 10 nSv/h - 250 μ Sv/h, e para doses altas é de 250 μ Sv/h - 10 Sv/h.

3.2 Metodologia

A metodologia utilizada na realização das medições com os detectores cintiladores a base de NaI e LaBr₃ consiste na simulação de um cenário de acidentes de cunho radiológico onde a viatura irá operar. O veículo será utilizado para reconhecimento e delimitação de áreas suspeitas, nas quais podem ter ocorrido incidentes/acidentes radiológicos ou nucleares.

- Comparação das respostas dos detectores cintiladores instalados em uma viatura de reconhecimento.

- Um detector Geiger-Müller para a monitoração da taxa de dose recebida pelos operadores.

- As medições deveriam ser realizadas com o detector cintilador instalado na parte frontal da viatura, com o instrumento posicionado abaixo do farol dianteiro e a uma altura de 85 cm a partir do solo. No que se refere ao detector Geiger-Müller, sua instalação deveria ser feita na cabine interna da viatura, ao lado do banco do motorista. Todavia, devido a problemas mecânicos da viatura, não foi possível a utilização dela no processo. Sendo assim, durante as medições, o detector Cintilador foi posicionado a 85 cm de altura a partir do solo, de modo que reproduzisse sua posição na viatura de reconhecimento.

- O detector Geiger-Müller portátil foi utilizado para a monitoração da taxa de dose durante a atividade de campo.

- As medições foram realizadas em local seguro, isolado e em campo aberto (para minimizar o espalhamento da radiação).

- Num dia nublado com temperatura máxima registrada de 28°C na cidade do Rio de Janeiro, o detector cintilador NaI, foi posicionado a 5m, 10m, 15m e 20m de distância de uma fonte selada de Cs-137 com atividade de 136,5 *mCi* fabricada em 25/01/1989, e obteve-se espectro em energia em cada uma das distâncias acima citada.

- Num dia nublado com temperatura máxima registrada de 23°C na cidade do Rio de Janeiro, o detector cintilador LaBr₃, foi posicionado na mesma condição experimental utilizada no item acima citado e com a mesma fonte, e obteve-se espectro em energia em cada uma das distâncias pré estabelecidas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Cintilador SpiR-ID

A Tabela 2 apresenta as condições sob as quais as medições foram realizadas, que serão relacionadas aos espectros de energia coletados pelo detector cintilador à base de NaI.

Tabela 2. Dados coletados pelo identificador NaI.

Distância da fonte (metros)	Horário inicial da coleta (hrs)	Horário do término da coleta (hrs)	Identificação do espectro na figura 3
5	11:00	11:01	A
10	10:58	10:59	B
15	10:53	10:54	C
20	10:49	10:50	D

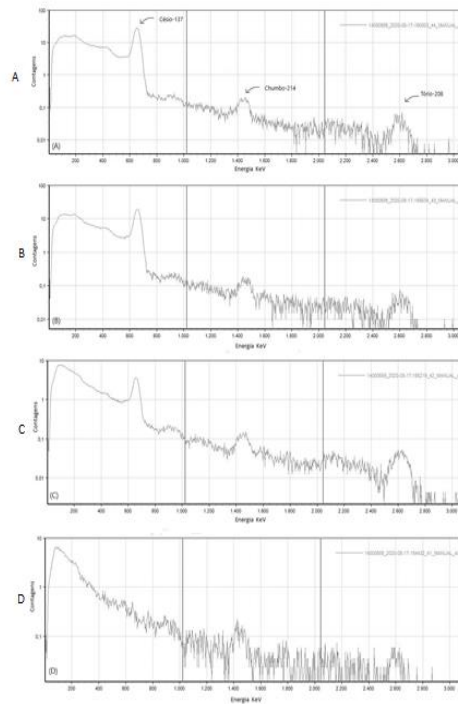


Figura 3 - Espectros do cintilador NaI a (A) 5 m; (B) 10 m; (C) 15 m; (D) 20 m.

- Comparou-se os espectros da Figura 3, observou-se uma perda de resolução com o aumento da distância.

- Nos espectros referentes às distâncias de 5 e 10 metros, observou-se que para energias inferiores a 200 KeV, a ocorrência de altas contagens, em comparação com os espectros obtidos nas distâncias de 15m e 20m. Fato esse atribuído a um maior espalhamento de radiação gama nessas

distâncias, como esperado e observou-se ainda, nas distâncias 5m e 10m um alargamento dos fotopicos indicando assim a ocorrência de saturação do detector nessas distâncias.

- Até a distância de 15m entre o detector e a fonte, observou-se, o fotopico do Césio-137 - que corresponde a uma energia de 662 KeV, nos espectros analisados, na distância de 20m da fonte o detector não apresentou o fotopico de Césio-137.

- Os demais fotopicos encontrado são referentes aos radionuclídeos provenientes dos radionuclídeos da série de decaimento de Urânio, Tório e Potássio, sendo, portanto, associados a radiação de fundo do local (*background*).

- O espectro referente a distância de 20 metros, apresentado na Figura 3 (D), mostrou uma baixa resolução na detecção.

- Observou-se na distância de 20m uma influência maior da radiação de fundo no espectro obtido. Sendo isso atribuído uma diminuição na detecção dos fótons provenientes da fonte utilizada indicando ainda, maior proximidade com limiar de detecção para os fótons de energia 662 KeV.

-Nos espectros obtidos, no terço final a direita dos mesmos, observa-se a influência do ruído eletrônico da instrumentação utilizada nas medidas obtidas.

4.2 Detector Cintilador RIIDEye

A Tabela 3 apresenta as condições sob as quais as medições foram realizadas, que serão relacionadas aos espectros de energia coletados pelo detector cintilador à base de LaBr₃.

Tabela 3. Dados coletados pelo cintilador LaBr₃.

Distância da fonte (metros)	Horário inicial da coleta (hrs)	Horário do término da coleta (hrs)	Identificação do espectro na figura 3
5	16:20	16:21	A
10	16:18	16:19	B
15	16:14	16:15	C
20	16:12	16:13	D

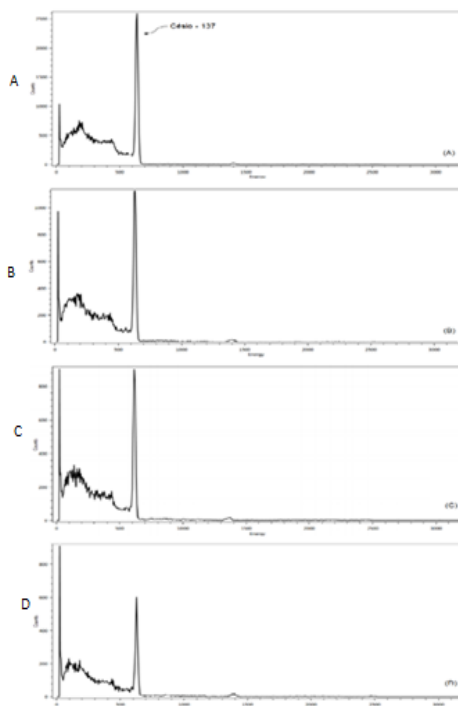


Figura 4 - Espectros do cintilador LaBr₃ (A) 5 m; (B) 10 m; (C) 15 m; (D) 20 m.

- A Figura 4 apresenta os espectros obtidos pelo detector LaBr₃, nas mesmas condições experimentais utilizadas com detector NaI.

- Nos espectros referentes às distâncias de 5 e 10 metros, observou-se que para energias inferiores a 200 KeV, a ocorrência de altas contagens, em comparação com os espectros obtidos nas distâncias de 15m e 20m. Fato esse atribuído a um maior espalhamento de radiação gama nessas

distâncias, como esperado e observou-se ainda que não ocorreu o alargamento dos fotopicos e não há indícios de saturação do detector nessas distâncias.

- Em todas as distâncias onde ocorreu a medição, observou-se o fotopico do Césio-137.

- Os demais fotopicos encontrados são referentes aos radionuclídeos provenientes da série de decaimento de Urânio, Tório e Potássio, sendo, portanto, associados a radiação de fundo do local (*background*).

- O espectro referente a distância de 20 metros, apresentado na Figura 4 (D), mostrou uma resolução similar a obtida nas outras distâncias. Sendo isso atribuído a boa estatística de contagem, no tempo analisado.

- Observou-se na distância de 20m uma influência maior da radiação de fundo no espectro obtido. Sendo isso atribuído a uma diminuição na detecção dos fótons provenientes da fonte utilizada indicando ainda, maior proximidade com limiar de detecção para os fótons de energia 662 KeV.

-Nos espectros obtidos, no terço final a direita dos mesmos, não observou-se a influência do ruído eletrônico da instrumentação utilizada na obtenção das medidas.

5. CONCLUSÃO

Nos espectros da figura 3 itens: A, B e C registrados pelo cintilador NaI, foi possível a identificação do espectro da radiação emitida pela fonte de Césio-137. Para distância de 15m, com a fonte utilizada, foi a maior distância fonte x detector na qual o equipamento foi capaz de identificar o radionuclídeo. Para distância de 20m, a identificação não ocorreu.

Nos espectros registrados pelo cintilador LaBr₃, foi possível a identificação do espectro da radiação emitida pela fonte de Césio-137, para todas as distâncias utilizadas neste trabalho e em todas as medidas obtidas.

Decorrente dos resultados descritos acima, será possível estabelecer um plano de atuação, para os operadores da viatura de reconhecimento, na hipótese de ocorrência de um acidente radiológico envolvendo uma fonte radioativa com atividade máxima 1000 Ci, conforme norma da CNEN – 501.

Percebeu-se na análise do espectro da fonte de Césio, obtida no NaI, uma elevação na taxa de contagem na região de baixa energia. Enquanto que no detector LaBr₃ não foi observado uma elevação na mesma magnitude. Atribuímos isso a diferença da eficiência de detecção entre os detectores analisados nesta faixa de energia, levando em consideração que as condições de espalhamento existentes eram as mesmas para os dois equipamentos.

Desde a década de 50 do século XX até os dias atuais, os detectores de NaI são industrializados em larga escala e possuem uma ampla rede de assistência técnica quer em termos de

manutenção, quer em conhecimento. Os detectores de LaBr_3 foram industrializados a partir do final do século XX, e ainda não possuem uma rede de assistência técnica tão ampla.

Quanto a atuação em campo os detectores apresentaram, nas mesmas condições atmosféricas, respostas em concordância como previsto nos seus respectivos manuais. Continuando na qualificação do sistema de detecção a ser utilizado, objetivo maior deste trabalho, serão realizadas as mesmas medições, nas mesmas condições experimentais porém com temperaturas mais elevadas, ao redor de 40°C .

Na continuação deste trabalho pretende-se avaliar os aspectos operacionais devido a: choque mecânico, trepidação e a influência de campo eletromagnético nas proximidades dos equipamentos de detecção.

Preliminarmente nos trabalhos de campo desenvolvidos, verificou-se que a melhor forma de transmissão de dados para a central de operações deve ser via rádio, pois no Rio de Janeiro no local de realização dos ensaios a internet não funciona adequadamente.

O detector cintilador LaBr_3 possui eficiência de detecção maior do que a do NaI, conforme o especificados nos manuais e constatado nos resultados experimentais deste trabalho. Para a escolha do melhor detector a ser empregado deve-se considerar a ampla rede de assistência técnica dos detectores NaI e o seu baixo custo operacional. Todavia, neste trabalho demonstrou-se experimentalmente que, para o objetivo almejado, tanto os detectores NaI quanto os detectores de LaBr_3 podem ser empregados em viaturas de reconhecimento, oferecendo respostas satisfatórias na detecção de radiação gama.

6. REFERÊNCIAS

BAPTISTA, Alfredo. **Equipamentos detectores de radiação e sua utilização**. Curso de proteção e segurança radiológica em Radiografia Industrial, Lisboa, p. 1-44, 23 ago. 2020.

CANBERRA INDUSTRIES. **Model 802**: Scintillation Detectors. USA: Canberra Industries, 2003. 9 p.

CANBERRA INDUSTRIES. **Model 2005**: Scintillation preamplifier. USA: Canberra Industries, 2003. 21 p.

CANBERRA INDUSTRIES. **Model 2007**: PM tube base. USA: Canberra Industries, 2006. 14 p.

CERRITO, Lucio. **Radiation and Detectors**: Introduction to the physics of radiation and detection devices. 1. ed. London, UK: Springer International Publishing, 2017. 217 p.

DELLAMANO, J.C.; MARUMO, J.T.; SANCHES, M.P.; VICENTE, R.; BELLINTANI, S. **Noções Básicas de Proteção Radiológica**. São Paulo, S.P.: DDRH/DSN/IPEN, 2002

KNOLL, GLENN F; **Radiation detection and measurement**. 3rd ed.. New York, NY. 2000.

LIMA, C. A., 2006, **Avaliação da Performance de Detectores Iodeto de Sódio NaI(Tl) em Centrais Nucleares** – dissertação de mestrado, COPPE/UFRJ, RJ.

MURRAY, I. RAYMOND. **Nuclear Energy fifth**. Butterworth Heineman, 5° edição, 1975. Cap.10.

PHOTON IS OUR BUSINESS. **Photomultiplier tubes: Basics and applications**. 3. ed. [S. l.]: Hamamatsu Photonics K. K, 2007. 323 p.

TAUHATA, L.; SALATI, I.P.A.; DI PRINZIO, R.; DI PRINZIO, A.R.; **Radioproteção e Dosimetria: fundamentos**. 5. rev. Rio de Janeiro, R.J.: 2003. Disponível em: <http://www.ird.gov.br/divulga/divulga1.htm>. Acesso em: 12 Abril 2020.

TSOULFANIDIS, Nicholas *et al.* **Measurement and detection of radiation**. 2. ed. Washigton, DC: Taylor e Francis, 1995. 636 p.

XAVIER, A; Moro, J.T; Heilbron, P.F.L; **Princípios Básicos de Segurança e Proteção Radiológica**. 3a ed. Revisada. 2006 – Porto Alegre – UFRGS

HEATH, R.L.; HOFSTADTER R.; HUGHES E.B. **Inorganic Scintillators - A Review of Techniques and Applications**. North-Holland Publishing Co., 1979.

SAIZU1, Mirela Angela; CATA-DANIL, Gheorghe. **Lanthanum Bromide Scintillation Detector For Gamma Spectrometry Applied In Internal Radioactive Contamination Measurements**. U.P.B. Sci. Bull., Series A Vol. 73, Iss. 4, 2011.

ILTIS, A.; MAYHUGH, M.R.; MENGE, P.; ROSZA, C.M.; SELLES, O.; SOLOVYEV, V. **Lanthanum halide scintillators: Properties and applications**. Nucl.Instr.Meth. A vol. 563, 2006. 359-363 p.

MILBRATH, B. D.; CHOATE, B. J.; FAST, J. E.; HENSLEY, W. K.; KOUZES, R. T.; SCHWEPPE, J. E. **Comparison of LaBr₃:Ce and NaI(Tl) Scintillators for Radio-Isotope Identification Devices**. U. S. Department of Homeland Security - U.S. Customs and Border Protection and Domestic Nuclear Detection Office under U.S. Department of Energy Contract DE-AC05-76RL01830, 2006.