

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM FÍSICA MÉDICA

LUCAS FACONI CAMARGO

Controle de Qualidade dos detectores *Geiger-Müller*

Botucatu

2018

LUCAS FACONI CAMARGO

Controle de Qualidade dos detectores *Geiger-Müller*

Versão original

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto de Biociências da Unesp Campus de Botucatu, como requisito parcial para a conclusão do curso de graduação em Física Médica, sob orientação do Prof. Dra. Kátia Hiromoto Koga

**Botucatu
2018**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSANGELA APARECIDA LOBO-CRB 8/7500

Camargo, Lucas Faconi.

Controle de qualidade dos detectores *Geiger-Müller* /
Lucas Faconi Camargo. - Botucatu, 2018

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Física Médica) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Biociências de Botucatu

Orientador: Kátia Hiromoto Koga

Coorientador: Ednaldo Alexandre Zandona

Capes: 10504001

1. medicina nuclear. 2. Detectores nucleares. 3. Controle de qualidade. 4. Reprodutibilidade dos testes.

Palavras-chave: Controle de Qualidade; *Geiger-Müller*; medicina nuclear; Reprodutibilidade.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer em primeiro lugar a Deus por ter colocado em minha vida três pessoas maravilhosas, meus pais, Adauto e Marcia, e minha vó Benedicta que não mediram esforços para ajudar a alcançar todos os meus objetivos, e que deram sustentação para superar todos os obstáculos até aqui enfrentados, essa vitória não seria possível sem eles. Agradeço também a todos os meus familiares e à minha companheira, Kerolyn, pelo apoio e companheirismo em todos os momentos difíceis, e por tudo que juntos conseguimos conquistar.

Meus eternos agradecimentos à minha segunda família, República Bagudos e, em especial aqueles que desde o começo estiveram juntos comigo, Bruno, João, Leonardo, Gustavo, Caio, Murilo e Abner, sem vocês a vida não teria tanta graça. Obrigado pela amizade, apoio, festas, trabalhos, churrascos e por todas as alegrias. Formamos uma verdadeira família onde apoio, incentivo e solidariedade nunca faltaram. Levo um pouco de cada um de vocês comigo, pois o que vivemos durante esses anos sem dúvida será eterno.

Agradeço ao Prof. Dr. José Ricardo de Arruda Miranda, ao Prof. Dr. Vladimir Elidoro Costa e ao meu coorientador Ednaldo Alexandre Zandona pela amizade, apoio e conselhos profissionais durante esses anos de graduação. Não poderia deixar de agradecer aos técnicos, biomédicos e residentes do Serviço de Medicina Nuclear do HCFMB.

Agradeço também a todos do Laboratório de Biomagnetismo e ao Centro de Isótopos Estáveis pela paciência, apoio e ajuda prestada durante esses anos de graduação.

Por fim gostaria de agradecer à minha orientadora Dra. Kátia Hiromoto Koga pelo tempo, paciência, pelas dúvidas esclarecidas e oportunidade única de aprendizado que tive no estágio no Serviço de Medicina Nuclear do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Botucatu.

RESUMO

A medicina nuclear é uma especialidade médica destinada ao diagnóstico e tratamento, utilizando fontes radioativas não-seladas. A Comissão Nacional de Energia Nuclear é responsável pela regulamentação e fiscalização de instalações que fazem uso de radiação ionizante no Brasil. Segundo a norma regulamentadora *NN 3.05 Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Medicina Nuclear*, um serviço de medicina nuclear deve possuir, no mínimo, monitor de taxa de dose e de contaminação de superfície, principal e reserva, com resolução de escala suficiente para a prática autorizada. Esses monitores conhecidos como *Geiger-Müller* necessitam do teste de controle de qualidade, denominado teste de reprodutibilidade, que deve ser realizado com periodicidade mensal para verificação do seu funcionamento. Com o objetivo de realizar e avaliar o teste de reprodutibilidade nos detectores *Geiger-Müller* do Serviço de Medicina Nuclear do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Botucatu-Unesp, foi proposto esse trabalho. O teste dos detectores a gás do tipo *Geiger-Müller* foi realizado no período de agosto a outubro de 2018. Foram utilizados detectores digitais, modelo *Thermo Scientific Radeye B20* e modelo *Victoreen 190* com sondas cilíndrica e *pancake* e uma fonte de cério – ^{137}Cs . O teste de reprodutibilidade consiste na leitura da Taxa de Exposição (TE) e da Taxa de Monitoração de Superfície (TMS) com o emprego da fonte de ^{137}Cs posicionada a 30 centímetros do detector. Foram realizadas 10 leituras com intervalo de 10 segundos, com a finalidade de observar a concordâncias das leituras em diferentes momentos, nos dois detectores. Foram calculados a média, desvio padrão e coeficiente de variação para as taxas de exposição e monitoração de superfície de cada detector. O limite de variação aceitável para o teste é de 20%. Os coeficientes de variação para o modelo *Thermo Scientific Radeye B20* da TE nos meses de agosto a outubro foram 7,80%, 6,69% e 5,15%, respectivamente e, para a TMS foram 7,51%, 5,96% e 3,56%, respectivamente. Já o modelo *Victoreen 190*, apresentou coeficientes de variação da TE nos meses de agosto a outubro de 13,10%, 16,39% e 10,78% respectivamente e, para a TMS foram 12,10%, 14,67% e 11,78%, respectivamente. Os detectores *Geiger-Müller* modelos *Victoreen 190* e *Radeye B20* encontram-se na faixa de aceitabilidade, segundo as normas vigentes, embora o modelo *Radeye*

apresentou melhor desempenho. Assim, os detectores podem operar adequadamente no Serviço de Medicina Nuclear cumprindo as funções necessárias.

Palavras-chave: medicina nuclear, *Geiger-Müller*, Controle de Qualidade, Reprodutibilidade.

ABSTRACT

Nuclear medicine is a medical specialty for diagnosis and treatment fusing non-sealed radioactive sources. The Brazilian National Nuclear Energy Commission is responsible for the regulation and inspection of installation that uses ionizing radiation in Brazil. According to the regulatory standard *NN 3.05 Safety Requirements and Radiological Protection for Nuclear Medicine Services*, a Nuclear Medicine Service must have at least dose-rate and contamination surface monitors, a main and a reserve, with sufficient scale resolution for authorized practice. These monitors known as *Geiger-Müller* need the quality control test, called reproducibility test to verify their operation, which must be performed on a monthly basis. In order to perform and evaluate the reproducibility test in the *Geiger-Müller* detectors of the Nuclear Medicine Service in the UNESP's Medical Botucatu School, this work was proposed. The *Geiger-Müller's Test* with gas detectors was carried out from August to October 2018. The digital detectors, *Thermo Scientific Radeye B20* model and *Victoreen 190* model with cylindrical and *pancake* probes and a cesium - 137 (^{137}Cs) source were used for this. The reproducibility test consists of reading the Exposure Rate (ER) and the Surface Monitoring Rate (SMR) with the use of the ^{137}Cs source positioned within 30 centimeters of the detector. Ten readings were performed with 10 second intervals, in order to observe the agreement of the readings at different moments in the two detectors. After the mean, standard deviation and coefficient variation for the exposure and surface monitoring rates of each detector were calculated. The limit of variation acceptable for the test is 20%. The coefficients of variation for the *Thermo Scientific Radeye B20* model of the Exposure Rate in the months of August to October were 7,80%, 6,69% and 5,15%, respectively, and for the Surface Monitoring Rate were 7,51%, 5,96% and 3,56%, respectively. The *Victoreen 190* model presented exposure coefficients of Exposure Rate variation in the months of August to October of 13,10%, 16,39% and 10,78%, respectively, and for the Surface Monitoring Rate were 12,10%, 14,67% and 11,78%, respectively. The *Geiger-Müller* detectors *Victoreen 190* and *Radeye B20* models are within the acceptability range, according to current regulations although *Radeye* model has had better performance. Thus, the detectors can operate properly in the Nuclear Medicine Service, fulfilling the necessary functions.

Keywords: nuclear Medicine, *Geiger-Müller*, Quality Control, Reproducibility.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Leitura da Taxa de Exposição (mR/h) do detector a gás do tipo <i>Geiger-Müller</i> digital, modelo <i>Victoreen 190</i> verificadas em 10 medidas, nos meses de agosto, setembro e outubro	29
Tabela 2- Teste de reprodutibilidade do detector a gás do tipo <i>Geiger-Müller</i> digital, modelo <i>Victoreen 190</i> , utilizando a função Taxa de exposição.....	29
Tabela 3- Leitura da Taxa de monitoração de superfície (kcpm) do detector a gás do tipo <i>Geiger-Müller</i> digital, modelo <i>Victoreen 190</i> verificadas em 10 medidas, nos meses de agosto, setembro e outubro	30
Tabela 4- Teste de reprodutibilidade do detector a gás do tipo <i>Geiger-Müller</i> digital, modelo <i>Victoreen 190</i> , utilizando a função Taxa monitoração de superfície.....	30
Tabela 5- Leitura da Taxa de exposição (mR/h) do detector a gás do tipo <i>Geiger-Müller</i> digital, modelo <i>Radeye B20</i> verificadas em 10 medidas, nos meses de agosto, setembro e outubro	31
Tabela 6- Teste de reprodutibilidade do detector a gás do tipo <i>Geiger-Müller</i> digital, modelo <i>Radeye B20</i> , utilizando a função Taxa de exposição	31
Tabela 4- Leitura da Taxa de monitoração de superfície (kcpm) do detector a gás do tipo <i>Geiger-Müller</i> digital, modelo <i>Radeye B20</i> verificadas em 10 medidas, nos meses de agosto, setembro e outubro.....	32
Tabela 8- Teste de reprodutibilidade do detector a gás do tipo <i>Geiger-Müller</i> digital, modelo <i>Radeye B20</i> , utilizando a função Taxa monitoração de superfície	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Curva de operação de um detector a gás, em função da diferença de potencial no gás contido em seu volume sensível	19
Figura 2- Esquema de montagem do detector a gás do tipo <i>Geiger-Müller</i>	22
Figura 3- Detector do tipo <i>Geiger-Müller</i> digital, modelo Thermo Scientific <i>Radeye B20</i> , na função taxa de exposição R/h	25
Figura 4- Painel multifunção do detector a gás do tipo <i>Geiger-Müller</i> digital, modelo Thermo Scientific <i>Radeye B20</i> . A: seleção taxa de exposição (R/h). B: seleção taxa de monitoração de superfície (cpm)	25
Figura 5- Detector do tipo <i>Geiger-Müller</i> digital, modelo <i>Victoreen 190</i> . A: sonda do tipo cilíndrica acoplada. B: sonda do tipo <i>pancake</i> acoplada	26
Figura 6- Fonte de ^{137}Cs em recipiente blindado.....	26
Figura 7- <i>Geiger-Müller</i> digital, modelo <i>Victoreen 190</i> com sonda cilíndrica acoplada	27
Figura 8- <i>Geiger-Müller</i> digital, modelo <i>Victoreen 190</i> com sonda <i>pancake</i> acoplada	28
Figura 9- <i>Geiger-Müller</i> digital, modelo <i>Radeye B20</i> com janela direcionada para fonte radioativa.....	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

μCi	microCurie
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
kcpm	Kilocontagens por minuto
cps	Contagens por segundo
EPC	Equipamento de Proteção Coletivo
EPI	Equipamento de Proteção Individual
MA	Monitor de atividade
MBq	MegaBecquereis
MCS	Monitor de contaminação de superfície
mR/h	mili <i>Röntgen</i> por hora
MTD	Monitor de taxa de dose
NN	Norma nuclear
R/h	<i>Röntgen</i> por hora
TD	Taxa de Dose
TE	Taxa de Exposição
TMS	Taxa de Monitoração de Superfície

LISTA DE SÍMBOLOS

γ	Radiação Gama
^{133}Ba	Bário 133
^{137}Cs	Césio 137
^{57}Co	Cobalto 57
X	Radiação X

SUMÁRIO

RESUMO.....	IV
ABSTRACT.....	VI
LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	X
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
SUMÁRIO	XII
1 MEDICINA NUCLEAR	15
2 DETECTORES DE RADIAÇÃO	16
2.1 Tipos de Detectores	17
2.2 Detector do Tipo <i>Geiger-Müller</i>	20
2.2.1 Princípio de Funcionamento	22
3 OBJETIVOS	23
4 MÉTODOS	24
4.1 Instrumentos	24
4.2 Procedimentos.....	27
5 RESULTADOS	29
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	34

7	REFERÊNCIAS.....	35
----------	-------------------------	-----------

“ A verdadeira medida de um homem não é como ele se comporta em momentos de conforto e conveniência, mas como ele se mantém em tempos de controvérsia e desafio. ”

Martin Luther King Jr.

1 MEDICINA NUCLEAR

A medicina nuclear é uma especialidade médica destinada ao diagnóstico e tratamento, mediante o uso de fontes radioativas não – seladas.

Em decorrência dos serviços de medicina nuclear utilizarem fontes radioativas, cabe à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) ser responsável pela regulamentação e fiscalização de instalações que fazem uso de radiação ionizante no Brasil. Segundo a Norma Regulamentadora *NN 3.05 de 17 de dezembro de 2013, Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para serviços de medicina nuclear (Resolução 159/13)*¹, um serviço de medicina nuclear deve possuir, no mínimo, os seguintes materiais e instrumentos para medição da radiação:

- I. Equipamentos de proteção individual (EPI) e equipamentos de proteção coletiva (EPC);
- II. Fontes radioativas de referência seladas, cobalto – 57 (⁵⁷Co), bário – 133 (¹³³Ba) e cério – 137 (¹³⁷Cs), com atividade mínima de 3,7 MBq, específicas para uso em controle de qualidade dos instrumentos de medição de radiação, nas geometrias e energias compatíveis com as práticas autorizadas;
- III. MTD, principal e reserva, com resolução de escala suficiente para a prática autorizada;
- IV. MCS, principal e reserva, com resolução de escala suficiente para a prática autorizada;
- V. MA compatível com as energias e características específicas encontradas nas práticas autorizadas e com resolução de escala suficiente para os valores das atividades de rotina;

Os equipamentos que são utilizados para medição da radiação são calibrados para associar corretamente a corrente elétrica ou a contagem de pulsos elétricos à exposição ou dose aferidas. Portanto, são suscetíveis às mudanças de causas diversas, como fatores ambientais, e uso indevido ou até mesmo falhas em componentes eletrônicos. Assim, devem ser submetidos a um Programa de Controle de Qualidade, que está estabelecido nas normas da CNEN.¹ Fazem parte desse programa os Testes de Aceitação, que consistem na primeira realização dos testes, que verificam se o equipamento está dentro das especificações do fabricante e

estabelecem a primeira medição como valor de referência, e os Testes Periódicos, que consistem na repetição dos testes imprescindíveis para verificação do bom funcionamento e estabilidade na resposta.

Segundo a *NN*¹, os detectores do tipo monitores de taxa de dose e contaminação de superfície possuem como teste de controle de qualidade o denominado teste de reprodutibilidade, que avalia o grau de concordância das leituras obtidas nos monitores de taxa de dose e contaminação em diferentes condições de medição, e deve ser realizado com periodicidade mensal com limite de variação aceitável sendo de 20%.

2 DETECTORES DE RADIAÇÃO

Detectores de radiação são instrumentos capazes de indicar a presença de radiação ionizante, sendo em geral constituídos de materiais sensíveis à mesma. Estão associados a sistemas, capazes de converter as interações da radiação com o material, em um sinal resposta relacionado a uma grandeza física.^{2 3}

Além de ser apropriado à mensuração daquilo que se deseja, para que um instrumento seja considerado um detector apropriado, torna-se imperativo que o mesmo, durante suas medições, apresente algumas características, tais como:

- Repetitividade: é o grau de concordância das medidas realizadas sob as mesmas condições;
- Reprodutibilidade: é o grau de concordância dos dados em diferentes condições;
- Estabilidade: característica do instrumento em conservar sua calibração ao longo tempo;
- Exatidão: é o grau de concordância em relação ao valor de referência;
- Precisão: o grau de concordância entre as medidas realizadas, expresso pelo desvio padrão em relação à média;

- Sensibilidade: razão entre a variação de resposta do detector com a variação do estímulo;
- Eficiência: capacidade de converter os estímulos recebidos em sinal de medição;

2.1 Tipos de Detectores

O tipo de radiação ionizante presente no ambiente que será monitorado por um detector deve ser levado em conta, pois para cada cenário específico existe um detector mais adequado. Os detectores se dividem em:

- Detectores que utilizam emulsão fotográfica: normalmente constituídos de cristais de haleto de prata dispersos em matriz gelatinosa que, ao reagirem com os fótons incidentes, transformam os íons de prata em prata metálica, formando uma imagem latente que posteriormente é processada, sendo que a densidade óptica obtida será comparada com outras, advindas de filmes irradiados com doses previamente conhecidas.⁴ Utilizados fortemente em gamagrafia e em raios X para diagnóstico.
- Detectores Termoluminescentes: são constituídos de material cristalino dielétrico, contendo ativadores, os quais criam dois tipos de imperfeições na rede cristalina, as armadilhas e os centros de luminescência. A radiação ionizante, ao interagir com os elétrons, transfere energia para os mesmos, que assim são aprisionados nas armadilhas. Se o material é aquecido, esses elétrons são liberados, com perda de energia, para os centros de luminescência. A diferença de energia é então liberada na forma de um fóton na faixa da luz visível. Alguns materiais resistem à temperatura e geram sinal luminoso proporcional à radiação incidente, sendo seu emprego, como dosímetros, muito conveniente.⁵ No Brasil, o sulfato de cálcio dopado com disprósio (CaSO_4):Dy, é um dos materiais termoluminescentes mais utilizados, podendo até serem utilizados como dosímetros em certas ocasiões.

- Detectores à Cintilação: são detectores que utilizam material cintilador para detecção de radiação ionizante, em que a luz gerada através das interações da radiação com a matéria é proporcional à energia do fóton incidente.⁶ Um exemplo desses detectores é a gama – câmara, que geralmente possui cristais de iodeto de sódio ativado com tálio (*NaI(Tl)*), responsável por manter a linearidade num grande *range* de energia para elétrons e raios γ .
- Detectores a Cintilação Líquida: utilizam soluções cintiladoras capazes de produzirem fótons com comprimentos de onda definidos para a sensibilização do tubo fotomultiplicador.⁷ O *Fenil-Fenil-Oxazol* (PPO) é um dos cintiladores mais utilizados, pois apresenta boa solubilidade em baixas temperaturas e em soluções aquosas. O Cintilador Líquido é o instrumento que faz uso de tal técnica, com finalidade de medir a atividade de diversos radionuclídeos emissores de radiação α , β e γ .
- Detectores que utilizam materiais semicondutores: a interação da radiação com o material semicondutor provoca uma avalanche de pares elétrons – buracos, que são coletados pelo campo elétrico aplicado no material.⁸ Os detectores de diodo de silício e os detectores de germânio constituem os principais detectores utilizados na mensuração de partículas carregadas e emissores de radiação γ com baixas energias, respectivamente.
- Detectores a Gás: são os detectores mais difundidos nas instalações onde se faz uso de radiação ionizante. A interação da radiação com os gases provoca excitação e ionização dos seus átomos, sendo essa última responsável pela formação do par elétron – íon, que dependem das características dos gases utilizados, bem como da radiação ionizante empregada. A coleta dos elétrons e de pares de íons armazenados no volume sensível do detector se faz por meio de uma diferença de potencial aplicada entre os eletrodos, estabelecendo assim campos elétricos que acoplados à dispositivos adequados, servem como medida de radiação incidente no detector. De modo geral, a amplitude do pulso de corrente elétrica resultante para uma mesma forma e energia de radiação varia com a diferença de potencial entre os eletrodos, o que permite trabalhar

de acordo com a tensão, como se fossem detectores distintos.⁹ A curva de resposta deste sistema é mostrada na Figura 1.



Figura 1- Curva de operação de um detector a gás, em função da diferença de potencial no gás contido em seu volume sensível. Fonte: Luiz Tauhata (2014)⁹

Os detectores a gás são constituídos por um volume gasoso onde ficam inseridos eletrodos mantidos a uma diferença de potencial. Nesse volume são formados pares de íons quando há passagem da radiação ionizante. Tais pares são acelerados em direção aos eletrodos, devido à ação do campo elétrico presente no interior da câmara. Assim, os elétrons dirigem-se ao ânodo e os íons positivos ao cátodo (*forças Coulombianas*), resultando no surgimento de uma corrente elétrica de pequena intensidade que pode ser mensurada através do uso de eletrômetros. A probabilidade de interação da radiação com o volume sensível do detector e, conseqüentemente, a formação de pares de íons, varia de acordo com a intensidade do campo elétrico aplicado ao referido volume. Dependendo da variação da intensidade do campo elétrico, podemos identificar seis regiões:¹⁰

- Região inicial não proporcional: não coleta 100% das cargas geradas, devido a presença de um baixo campo elétrico. Tal característica faz com que nenhum detector opere nessa região.
- Região de saturação dos íons: nessa região o sinal gerado é proporcional à energia da radiação incidente, na qual operam

detectores como a câmara de ionização do tipo dedal, poço, cilíndrica e canetas dosimétricas.

- Região proporcional: nessa região os elétrons possuem energia cinética suficiente para ionizar outros átomos, ocorrendo então uma multiplicação, que é proporcional aos íons gerados pela radiação inicialmente incidente. Um exemplo de detector operante nessa região é o detector 4π , onde a fonte é inserida dentro do volume sensível, possibilitando uma eficiência de contagem de praticamente 100% para radiações de baixa energia.
- Região de proporcionalidade limitada: com o aumento da tensão, os elétrons formados não guardam mais a relação de proporcionalidade, uma vez que não é possível registrar os elétrons coletados, pois os íons carregados positivamente se concentram em uma verdadeira nuvem, alterando dessa forma o campo elétrico dos detectores.
- Região do *Geiger-Müller*: devido a alta tensão aplicada, a carga espacial gerada pelos íons carregados positivamente provoca brusca perturbação no campo elétrico, que interrompe o processo de multiplicação, gerando sempre um sinal de mesma ordem que independe da energia da radiação incidente.
- Região de descarga contínua: não existem relações entre a tensão aplicada e a amplitude de pulso registrada nessa região. Devido a altíssima tensão, nenhum detector opera nessa região.

2.2 Detector do Tipo *Geiger-Müller*

O detector a gás do tipo *Geiger-Müller* é um instrumento capaz de detectar a radiação ionizante, no entanto não discrimina a energia da radiação, pois qualquer tipo de evento ionizante produz uma avalanche de íons. É empregado na mensuração das radiações alfa, beta e gama, sendo de baixa eficiência para esta última.

O aspecto fundamental de uma sonda a gás é possuir dois eletrodos que são responsáveis por gerar a diferença de potencial no gás contido na sonda. Esses eletrodos podem ser dispostos em diversas geometrias. As mais usuais são de um eletrodo na forma de fio e um cilíndrico, conhecida como sonda cilíndrica, duas placas paralelas, conhecida como sonda *pancake*, e duas placas cilíndricas concêntricas, cuja aplicação na medicina nuclear é no medidor de atividade radioativa ou curiômetro.¹¹

A sonda cilíndrica, por sua simetria radial, é muito indicada e utilizada para medir Taxa de Exposição (TE) ou Taxa de Dose (TD), que é uma grandeza que representa a quantidade de ionização produzida pela radiação X ou γ no ar por unidade de massa na unidade de tempo. A unidade empregada é *Röntgen* por hora (R/h). Nos serviços de medicina nuclear é utilizada para a monitoração de todas as áreas que compõem o serviço, e também pode ser denominado levantamento radiométrico ambiental.

Já a sonda *pancake* apresenta sensibilidade diferenciada, de acordo com a direção da incidência da radiação, sendo assim indicada para detecção e monitoração da Taxa de Contaminação de Superfície (TCS), que é uma grandeza que representa o número de eventos radioativos que atingem o detector por unidade de tempo. A unidade empregada é contagens por minuto (cpm) ou contagens por segundo (cps). Nos serviços de medicina nuclear é utilizada para a monitoração dos locais de manipulação e armazenamento de materiais radioativos, roupas, equipamentos de proteção individual e pessoas.

Diante desse aspecto diferenciado e das limitações tecnológicas do passado, os detectores *Geiger-Müller* possuíam um eletrômetro que permitia que as sondas fossem trocadas para adequar-se, quando o objetivo era medir nível radiométrico ambiental, com sonda cilíndrica ou contaminação de superfície, com sonda *pancake*. Com o avanço tecnológico e o aprimoramento do conhecimento técnico-científico de funcionamento dessas sondas, possibilitou-se o desenvolvimento de detectores *Geiger-Müller* com novas concepções. A internalização da sonda, por exemplo, resolveu um problema crônico dos cabos, decorrente da alta frequência de uso do equipamento.

Em aplicações como na medicina nuclear, a necessidade da avaliação do nível radiométrico ambiental e da contaminação de superfície levou à integração dessas duas funcionalidades em equipamentos com um único formato de sonda, nesse caso o tipo *pancake*. Nesses equipamentos, um painel multifunção permite alterar o modo/unidade de apresentação da grandeza que está sendo medida, de modo que fatores de correção são aplicados para que as grandezas possam ser aferidas adequadamente com uma única sonda de maneira confiável, exata e precisa.

Haja vista a variabilidade de equipamentos, disponibilidade de tecnologia associada ao momento histórico e concepções arquitetônicas da eletrônica embarcada, esses equipamentos podem apresentar diferenças significativas, principalmente na estabilidade e variabilidade de leitura, sendo assim, é importante um programa de qualidade capaz de avaliar esses aspectos nestes equipamentos.

2.2.1 Princípio de Funcionamento

O contador *Geiger-Müller* possui em sua estrutura uma câmara de ionização preenchida em grande parte por um gás inerte e uma pequena fração de outro gás, que é responsável por melhorar sua eficiência. Na concepção da sonda cilíndrica, no eixo central da câmara é posicionado um fio carregado positivamente (ânodo), e toda estrutura da parede da câmara é carregada negativamente (cátodo).¹²

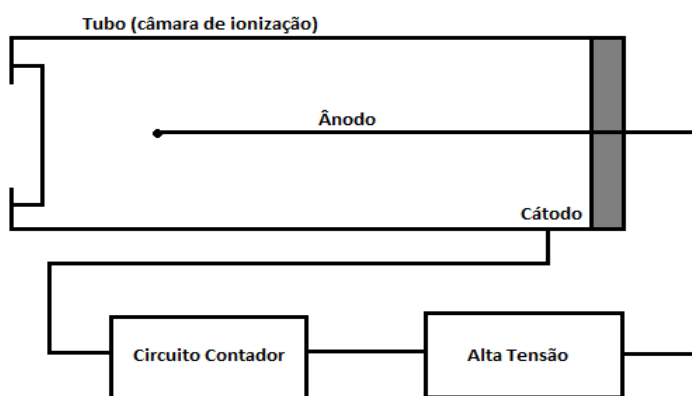


Figura 2- Esquema de montagem do detector a gás do tipo *Geiger-Müller*

A radiação ao interagir com o gás provoca ionizações e quando se aplica uma diferença de potencial entre o fio e a parede da câmara, os íons gerados migram através da *força Coulombiana* para o cátodo, enquanto os elétrons liberados na

ionização migram para o ânodo. O processo de multiplicação de cargas que determina as características do tubo é capaz de produzir um pulso de saída significativo, em um único efeito ionizante.¹²

Dessa forma, quando ocorre a detecção de um evento, há ionização de todas as moléculas do gás. A nuvem de íons positivos aproxima-se do cátodo e recebe elétrons, podendo emitir fótons na faixa do ultravioleta, pois os elétrons transitam de fora para dentro da molécula (dos níveis mais energéticos para níveis menos energéticos). Esses fótons na faixa ultravioleta, podem atingir o cátodo e resultar em emissão de elétrons por efeito fotoelétrico, provocando uma descarga elétrica (*Quenching*) e, conseqüentemente, uma avalanche de íons, que é contabilizada erroneamente como um evento proveniente da incidência da radiação. Para evitar este fenômeno, adiciona-se ao detector certa quantidade de um gás orgânico, que possua espectro de absorção na faixa do ultravioleta. Assim, a absorção do fóton pela molécula desse gás impede o fenômeno conhecido por *Quenching*. No entanto, tal processo resulta na quebra da molécula desse gás, sendo necessária a reposição desse vapor periodicamente.¹²

Os detectores necessitam de um intervalo de tempo para restabelecer os íons formados, até que os átomos reestruem seus elétrons perdidos. Durante esse intervalo de tempo, nenhum evento é detectado, pois não há possibilidade de se formar novos íons. Devido à impossibilidade de se detectar radiação neste intervalo de tempo, tal característica do detector é denominada *tempo morto*.

3 OBJETIVOS

Realizar o teste de reprodutibilidade dos Monitores *Geiger-Müller*, do Serviço de Medicina Nuclear do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Botucatu – Unesp.

Análise do teste e avaliação do comportamento em relação aos limites de aceitabilidade.

4 MÉTODOS

O teste de reprodutibilidade dos detectores a gás do tipo *Geiger-Müller* foi realizado no Serviço de Medicina Nuclear da Faculdade de Medicina de Botucatu-Unesp, no período de agosto a outubro de 2018.

As atividades desse Serviço foram suspensas, devido à reforma da área física, que se iniciou em dezembro de 2017 e com previsão de término para agosto de 2018. Sendo assim, os dados coletados foram realizados somente após este período.

4.1 Instrumentos

- Trena, marca *Stanley* (5m/16');
- Caneta;
- Papel;
- Fita crepe;
- Detector do tipo *Geiger-Müller* digital, modelo *Thermo Scientific Radeye B20*, com sonda *pancake* embutida e dupla funcionalidade (Figuras 3 e 4);
- Detector do tipo *Geiger-Müller* digital, modelo *Victoreen 190* com sondas cilíndrica e *pancake* (Figura 5);
- Fonte de césio – ^{137}Cs (09/05/1995), Atividade de 218 μCi ($\pm$ 8,066 MBq) (Figura 6);



Figura 3- Detector do tipo Geiger-Müller digital, modelo *Thermo Scientific Radeye B20*, na função taxa de exposição R/h. A: vista frontal. B: visão posterior da janela de volume sensível

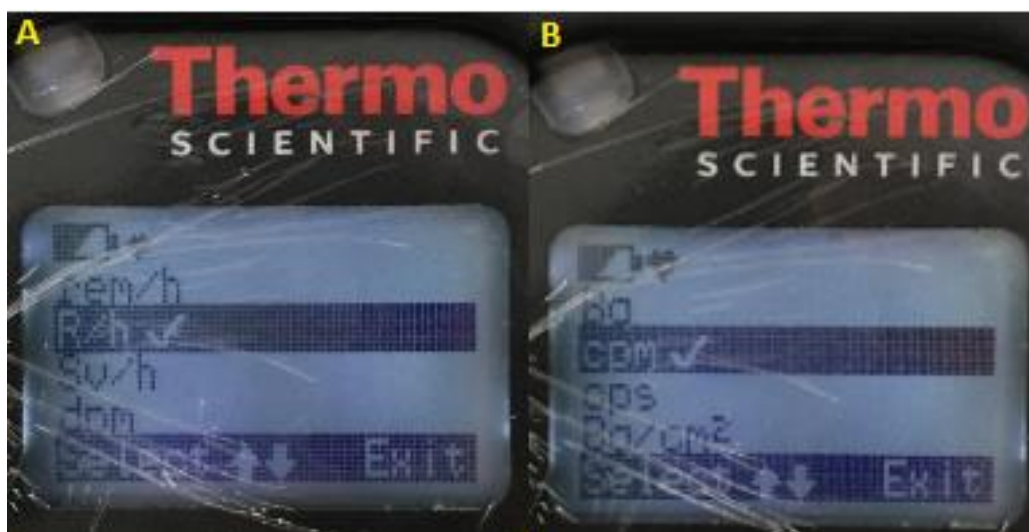


Figura 4- Painel multifunção do detector a gás do tipo Geiger-Müller digital, modelo *Thermo Scientific Radeye B20*. A: seleção taxa de exposição (R/h). B: seleção taxa de monitoração de superfície (cpm)



Figura 5- Detector do tipo *Geiger-Müller* digital, modelo *Victoreen 190*. A: sonda do tipo cilíndrica acoplada. B: sonda do tipo *pancake* acoplada



Figura 6- Fonte de ^{137}Cs em recipiente blindado

4.2 Procedimentos

O detector *Geiger-Müller* e a fonte de ^{137}Cs foram colocados em uma superfície lisa e livre de ranhuras ou qualquer deformidade, para que a trajetória do fóton emitido pela fonte de ^{137}Cs não sofresse nenhuma atenuação, comprometendo as leituras registradas pelo detector. O teste de reprodutibilidade foi realizado em sala apropriada, ou seja, com baixa radiação de fundo (*background*). Com auxílio de uma trena, foi medido uma distância de 30 cm, e foram reproduzidas na fita crepe com as marcações de 0 a 30 cm. Numa das extremidades foi posicionado a fonte radioativa e na outra o detector a gás do tipo *Geiger-Müller* com a janela de entrada da sonda voltada para fonte radioativa. Em seguida, foram realizadas 10 leituras com intervalo de 10 segundos, com a finalidade de observar a concordância das leituras em diferentes momentos. Todos os valores coletados foram anotados para posterior análise.

O modelo *Victoreen 190* foi posicionado primeiramente com a sonda do tipo cilíndrica. A sonda cilíndrica foi posicionada lateralmente, devido à geometria do seu volume sensível, e dessa forma a incidência de fótons é maior na câmara de ionização (Figura 7).



Figura 7- *Geiger-Müller* digital, modelo *Victoreen 190* com sonda cilíndrica acoplada

Em seguida, foi posicionado com a sonda do tipo *pancake*, o volume sensível da sonda foi direcionado para fonte radioativa para que houvesse maior incidência do número de fótons (Figura 8).



Figura 8- Geiger-Müller digital, modelo *Victoreen 190* com sonda *pancake* acoplada

Já com o detector a gás do tipo *Geiger-Müller* digital, modelo *Radeye B20*, foi selecionado em seu display multifunção, primeiramente empregando função Taxa de exposição (R/h), e em seguida a Taxa de contaminação de superfície (cpm) (Figura 9).



Figura 9- Geiger-Müller digital, modelo *Radeye B20* com janela direcionada para fonte radioativa

5 RESULTADOS

Os dados coletados das leituras no período de agosto a outubro de 2018, para o detector a gás do tipo *Geiger-Müller* digital, modelo *Victoreen 190*, com a sonda cilíndrica, estão representados na Tabela 1.

Tabela 1- Leitura da Taxa de exposição (mR/h) do detector a gás do tipo *Geiger-Müller* digital, modelo *Victoreen 190* verificadas em 10 medidas, nos meses de agosto, setembro e outubro

Medida	Taxa de Exposição (mR/h)		
	Agosto	Setembro	Outubro
1	0,36	0,36	0,38
2	0,48	0,51	0,39
3	0,42	0,29	0,32
4	0,39	0,39	0,38
5	0,52	0,37	0,38
6	0,41	0,42	0,34
7	0,48	0,50	0,41
8	0,53	0,46	0,43
9	0,45	0,41	0,47
10	0,51	0,42	0,39

Para realização do teste de reprodutibilidade do detector a gás do tipo *Geiger-Müller* digital, modelo *Victoreen 190*, foram calculados a média, desvio padrão e coeficiente de variação (Tabela 2).

Tabela 2- Teste de reprodutibilidade do detector a gás do tipo *Geiger-Müller* digital, modelo *Victoreen 190*, utilizando a função Taxa de exposição

Período	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação %
Agosto	0,4535	0,059425	13,10%
Setembro	0,4126	0,06762	16,39%
Outubro	0,3877	0,041799	10,78%

Utilizando o mesmo modelo *Victoreen 190*, com a sonda *pancake* acoplada, obtivemos as seguintes leituras para Taxa de monitoração de superfície (Tabela 3).

Tabela 3- Leitura da Taxa de monitoração de superfície (kcpm) do detector a gás do tipo *Geiger-Müller* digital, modelo *Victoreen 190* verificadas em 10 medidas, nos meses de agosto, setembro e outubro

Medida	Taxa Monitoração de Superfície (kcpm)		
	Agosto	Setembro	Outubro
1	2,87	3,08	2,15
2	2,38	2,59	2,02
3	2,96	2,25	2,05
4	3,37	3,62	2,58
5	3,05	3,52	2,46
6	2,99	3,10	2,41
7	2,99	3,37	2,37
8	2,30	3,53	2,89
9	2,97	3,72	2,48
10	2,45	3,26	2,08

O mesmo procedimento foi realizado para o cálculo da média, desvio padrão e coeficiente de variação (Tabela 4).

Tabela 4- Teste de reprodutibilidade do detector a gás do tipo *Geiger-Müller* digital, modelo *Victoreen 190*, utilizando a função Taxa monitoração de superfície

Período	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação %
Agosto	2,833	0,342703	12,10%
Setembro	3,204	0,470158	14,67%
Outubro	2,349	0,276745	11,78%

Para o detector a gás do tipo *Geiger-Müller* digital, modelo *Radeye B20*, foram obtidos os dados utilizando a função Taxa de exposição (Tabela 5).

Tabela 5- Leitura da Taxa de exposição (mR/h) do detector a gás do tipo *Geiger-Müller* digital, modelo *Radeye B20* verificadas em 10 medidas, nos meses de agosto, setembro e outubro

Medida	Taxa de Exposição (mR/h)		
	Agosto	Setembro	Outubro
1	0,56	0,77	0,82
2	0,63	0,79	0,78
3	0,7	0,76	0,77
4	0,59	0,68	0,77
5	0,66	0,8	0,81
6	0,64	0,85	0,8
7	0,63	0,81	0,83
8	0,62	0,84	0,8
9	0,57	0,82	0,77
10	0,55	0,73	0,77

O mesmo procedimento foi realizado para calcular a média, desvio padrão e coeficiente de variação, conforme demonstrado na Tabela 6.

Tabela 6- Teste de reprodutibilidade do detector a gás do tipo *Geiger-Müller* digital, modelo *Radeye B20*, utilizando a função Taxa de exposição

Período	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação %
Agosto	0,6155	0,052472	7,80%
Setembro	0,7847	0,052472	6,69%
Outubro	0,792	0,022998	2,90%

Utilizando a função Taxa de monitoração de superfície, com o mesmo modelo *Radeye B20*, obtivemos as seguintes leituras avaliadas em kilocontagens por minuto (Tabela 4).

Tabela 7- Leitura da Taxa de monitoração de superfície (kcpm) do detector a gás do tipo *Geiger-Müller* digital, modelo *Radeye B20* verificadas em 10 medidas, nos meses de agosto, setembro e outubro

Medida	Taxa Monitoração de Superfície (kcpm)		
	Agosto	Setembro	Outubro
1	2,182	2,397	2,400
2	2,155	2,484	2,291
3	1,931	2,313	2,464
4	2253	2,868	2,464
5	2,360	2,500	2,532
6	2,184	2,415	2,460
7	2,524	2,573	2,437
8	2,455	2,451	2,256
9	2,355	2,562	2,487
10	2,216	2,476	2,428

Os resultados obtidos para o teste de reprodutibilidade do detector *Geiger-Müller*, modelo *Radeye B20* estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8- Teste de reprodutibilidade do detector a gás do tipo *Geiger-Müller* digital, modelo *Radeye B20*, utilizando a função Taxa monitoração de superfície

Período	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação %
Agosto	2,2615	0,1699132	7,51%
Setembro	2,5039	0,1492503	5,96%
Outubro	2,4219	0,0861258	3,56%

Os coeficientes de variação dos dois modelos de detectores do tipo *Geiger-Müller* encontram-se na faixa de variação aceitável segundo a norma *NN*.¹

Para o modelo *Victoreen 190*, os valores do coeficiente foram 13,10%, 16,39%, 10,78% e 12,10%, 14,67% e 11,78% para a Taxa de exposição e Taxa de monitoração de superfície, respectivamente. E para o modelo *Radeye B20* os valores foram de 7,80%, 6,69%, 2,90% e 7,51%, 5,96% e 3,56% para a função Taxa de exposição e função Taxa de monitoração de superfície, respectivamente.

Também é possível notar que o desvio padrão se mostrou baixo, o que implica que os valores registrados se condensam próximos da média, ou seja, que para a distância de 30 cm, ambos detectores são capazes de reproduzir as medidas realizadas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante os meses de agosto, setembro e outubro de 2018 foram realizados o teste de reprodutibilidade dos detectores *Geiger-Müller* modelos *Victoreen 190* e *Radeye B20* que se encontram na faixa de aceitabilidade, segundo as normas vigentes.

Vale ressaltar que a diferença entre os valores registrados se deve ao fato de que o modelo *Victoreen 190* possui uma eletrônica mais antiga em relação ao modelo *Radeye B20*, devido ao fato de suas sondas serem acopladas por um fio, o que se leva a acreditar que a relação sinal/ruído é maior nesse modelo, apresentando valores mais elevados, porém dentro da faixa de aceitabilidade. Assim, os detectores podem operar adequadamente no Serviço de Medicina Nuclear cumprindo as funções necessárias.

7 REFERÊNCIAS

1. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. REQUISITOS DE SEGURANÇA E PROTEÇÃO RADIOLÓGICA. **CNEN**, 2013. Disponível em: <<http://appasp.cnem.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm305.pdf>>. Acesso em: 12 Outubro 2018.
2. EMICO OKUNO, E. Y. **Física das Radiações**. 1ª. ed. São Paulo: Oficina de Texto, 2010. 231 p.
3. LUIZ TAUHATA, I. S. R. D. P. A. R. D. P. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos**. 10ª. ed. Rio de Janeiro: IRD/CNEN, 2014. 181 p.
4. LUIZ TAHUATA, I. S. R. D. P. A. R. D. P. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos**. 10ª. ed. Rio de Janeiro: IRD/CNEN, 2014. 186 p.
5. LUIZ TAHUATA, I. S. R. D. P. A. R. D. P. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos**. 10ª. ed. Rio de Janeiro: IRD/CNEN, 2014. 189 p.
6. LUIZ TAHUATA, I. S. R. D. P. A. R. D. P. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos**. 10ª. ed. Rio de Janeiro: IRD/CNEN, 2014. 200 p.
7. LUIZ TAHUATA, I. S. R. D. P. A. R. D. P. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos**. 10ª. ed. Rio de Janeiro: IRD/CNEN, 2014. 207 p.
8. LUIZ TAHUATA, I. S. R. D. P. A. R. D. P. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos**. 10ª. ed. Rio de Janeiro: IRD/CNEN, 2014. 216 p.
9. LUIZ TAHUATA, I. S. R. D. P. A. R. D. P. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos**. 10ª. ed. Rio de Janeiro: IRD/CNEN, 2014. 191 p.
10. LUIZ TAHUATA, I. S. R. D. P. A. R. D. P. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos**. 10ª. ed. Rio de Janeiro: IRD/CNEN, 2014. 192 p.
11. LUIZ TAHUATA, I. S. R. D. P. A. R. D. P. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos**. 10ª. ed. Rio de Janeiro: IRD/CNEN, 2014. 199 p.
12. SEVEGNAM, F. X. **TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO E PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DE CONTADORES GEIGER-MÜLLER**. PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO. São Paulo, p. 21-70. 1988.