

Instituto de Radioproteção e Dosimetria – IRD

Wiclif Francisco Torohate

**AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE DE FONTES RADIOATIVAS DE
MEDIDORES NUCLEARES**

Rio de Janeiro

2016

Wiclif Francisco Torohate

**AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE DE FONTES RADIOATIVAS DE MEDIDORES
NUCLEARES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado para obtenção da certificação de Especialista pelo Programa de Pós-Graduação em Proteção Radiológica e Segurança de Fontes Radioativas do Instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Cesar Augusto da Silva

Rio de Janeiro – Brasil

Instituto de Radioproteção e Dosimetria – Comissão Nacional de Energia Nuclear

Coordenação de Pós-Graduação

2016

Ficha Catalográfica

Torohate, Wiclif Francisco

AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE DE FONTES
RADIOATIVAS DE MEDIDORES NUCLEARES /Wiclif
Francisco Torohate. – Rio de Janeiro:

IRD, 2016.

xiv, 49 f. : il. ; 29cm.

Orientador: Francisco Cesar Augusto da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso (Lato-Sensu) – Instituto de
Radioproteção e Dosimetria.

Referências bibliográficas: 38 f.

1. Medidores Nucleares. 2. Fontes Radioativas. 3. Inventário de
Fontes. 4. Teste de Esfregação. 5. Avaliação Radiológica. 6.
Risco Radiológico

Wiclif Francisco Torohate

**AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE DE FONTES RADIOATIVAS DE MEDIDORES
NUCLEARES**

Rio de Janeiro, 25 de Agosto de 2016.

Prof. Dr. Francisco Cesar Augusto da Silva – IRD/CNEN

Prof. Dr. João Carlos Leocadio – IRD/CNEN

Prof. M.Sc. Alexandre Roza de Lima – COSAP/CNEN

O presente trabalho foi desenvolvido no Instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear, sob orientação do Prof. Dr. Francisco Cesar Augusto da Silva.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me deu força, saúde e me acompanhou em todos os momentos.

Aos meus pais, Verónica Pedro e Artur Torohate em memória, que, formaram os fundamentos do meu carácter e são o meu porto seguro, incentivando-me e acreditando no meu potencial.

Ao meu filho Wiclif Artur Torohate, que é o melhor de mim, que me faz superar diversidades, e me devolve o sorriso,

Aos meus irmãos e amigos que compreenderam minha ausência nesta difícil jornada de estudos.

O meu muito obrigado especial a professora Ana Cristina Davales

Agradecimento especial ao meu orientador Francisco Cesar por me ter suportado com a paciência (de santo) e de forma incondicional ter transmitido todo o seu conhecimento

Agradecemos a coordenação do curso ao Professor Doutor Aucyone Augusto da Silva, nos receber a mim e Adelaide e ter dedicado toda a sua energia de modo que nos sentíssemos Brasil a nossa segunda casa ao longo de todo este curso,

Agradeço ao chefe do laboratório do IRD, da biblioteca e a seus funcionários, por permitirem utilizar as instalações e recursos ao longo do trabalho.

Agradeço aos meus colegas do curso de Pós-Graduação, que me acompanharam nessa jornada de troca de conhecimento, a minha colega de Moçambique Adelaide Francisco pela partilha das tensões durante este curso.

Agradeço Agencia Internacional de Energia Atómica, ao Diretor da Agencia Nacional de Energia Atómica de Moçambique, Professor Doutor Alexandre Maria Maphossa pela oportunidade.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização desde curso o meu muito obrigado!

RESUMO

Os Medidores nucleares são equipamentos principalmente utilizados na indústria no controle de qualidade e processos de controle. O princípio de funcionamento consiste em uma fonte radioativa blindada juntamente com um detector de radiação de modo que a radiação interaja com o material a ser analisado antes de chegar ao detector, fornecendo dados em tempo real. Podem ser quanto a sua mobilidade fixa e móvel, as propriedades únicas das radiações ionizantes são usadas de três modos básicos, por transmissão, retroespalhamento ou dispersão ou induzida (reativo). Com o avanço e modernização tecnológica no mundo, a procura de medidores nucleares torna-se cada vez maior. Atualmente no Brasil existem cerca de 465 instalações de controle de processo e 21 de sistemas portáteis e em Moçambique cerca de 45 instalações utilizando medidores nucleares. Este registo de fontes é feito através dum processo denominado inventario de fonte que possibilita igualmente saber a categoria da fonte, a periculosidade ou o risco a saúde humana que a fonte oferece. A manipulação destes equipamentos requer pessoal, certificada, especializado e bem treinado na área de proteção radiológica de acordo com os requisitos das diversas Normas CNEN. Devido a presença de fonte radioativa e porque estes equipamentos são utilizados por trabalhadores existe risco externo devido a radiação. Neste contexto, se fez o teste de esfregação nos dois medidores fixos do laboratório de indústria do IRD, que determina a integridade do encapsulamento da fonte, item obrigatório nos testes periódicos de integridade da fonte de radiação deste tipo de aparelho. Um conjunto de procedimentos se efetuou para a sua realização como avaliação do risco radiológico através do levantamento radiológico. Com isso se pretendeu contribuir no aprendizado de manipulação e uso seguro destes medidores.

Palavras chave: Medidores Nucleares. Fontes Radioativas. Inventario de Fontes. Teste de Esfregação. Avaliação Radiológica.

ABSTRACT

Nuclear equipment meters are mainly used in the industry in quality control and process control. The principle of operation consists in a shielded radioactive source together with a radiation detector such that the radiation interacts with the material to be analyzed before reaching the detector, providing real time data. Can be as their fixed and mobile mobility, the unique properties of ionizing radiation are used in three basic modes, transmission, backscatter or dispersion or induced (reactive). With the advancement and technological modernization in the world, the demand for nuclear gauges becomes increasingly larger. Currently in Brazil there are about 465 process control plants and 21 portable systems and Mozambique about 45 facilities using nuclear gauges. This font registration is done through a process called source inventory that allows also to know the category of the source, the danger or risk to human health that the source offers. The handling of this equipment requires personnel, certified, skilled and well trained in radiation protection area in accordance with the requirements of the various CNEN Rules. Due to the presence of radioactive source and because these devices are used by workers risk because there external radiation. In this context, we made the smear test in two fixed meters from the IRD industry laboratory, which determines the integrity of the source package, mandatory item in periodic integrity testing of the radiation source of this type of device. A set of procedures is made for its implementation as an evaluation of the radiological risk by radiological survey. It was intended to contribute to the learning handling and safe use of these meters.

Keywords: Nuclear meters. Radioactive Sources. Inventory sources. Wipe test. Radiological assessment.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivo	2
1.2. Justificativa	2
2. MEDIDORES NUCLEARES.....	4
2.1. Tipos de Medidores Nucleares.....	4
2.2. Inventário de medidores nucleares no Brasil e em Moçambique.....	10
2.3. Risco radiológico através da categorização das fontes radioativas da AIEA.....	10
2.4. Inventario de medidores nucleares no Brasil e em Moçambique.....	12
2.5 Regulamentações em Moçambique.....	17
2.6 Recomendações Internacionais.....	17
3. METODOLOGIA.....	19
3.1. Avaliação do risco radiológico através da categorização das fontes radioativas medidores nucleares fixos.....	19
3.2. Avaliação radiológica dos medidores nucleares fixos.....	19
3.3. Avaliação da integridade da fonte radioativa dos medidores nucleares fixos através do método de esfregaço	21
4. RESULTADOS.....	31
4.1. Risco radiológico das fontes radioativas medidores nucleares fixos do Laboratório de Indústria.....	31
4.2. Avaliação radiológica dos medidores nucleares fixos do Laboratório de Indústria.....	32
4.3. Avaliação da integridade da fonte radioativa por esfregaço de medidores nucleares do Laboratório de Indústria.....	32
5. CONCLUSÕES.....	34
6. RECOMENDAÇÕES.....	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

Lista de figuras

Figura 1:	Medidores Nuclear	2
Figura 2:	Medidor por Transmissão.....	5
Figura 3:	Medidor por Retroespalhamento.....	6
Figura 4:	Medidor de Fluxo.....	8
Figura 5:	Levantamento Radiometrico.....	20
Figura 6:	Croqui do Levantamento Radiometrico.....	20
Figura 7:	Suporte para os cotonetes.....	21
Figura 8:	Divisão da bancada.....	22
Figura 9:	Bancada de Monitoração.....	22
Figura 10:	Bancada de Esfregação.....	23
Figura 11:	Isolamento da área fora do laboratório.....	24
Figura 12:	Dosímetro anelar.....	24
Figura 13:	Luvas de proteção.....	24
Figura 14:	Medidor com feixe do irradiador em direção ao jogo de espelho.....	25
Figura 15:	Colocação no cotonete.....	26
Figura 16:	Introdução da haste no orifício da fonte com ajuda de jogo de espelhos	26
Figura 17:	Esfregação com haste no interior do orifício.....	27
Figura 18:	Colocação do cotonete no envelope.....	27
Figura 19:	Cotonete no envelope identificado.....	28
Figura 20:	Suporte.....	28
Figura 21:	Verificação de contaminação na haste.....	29
Figura 22:	Verificação de contaminação na luva.....	29
Figura 23:	Cotonete no centro do suporte.....	29
Figura 24:	Medição da atividade.....	29
Figura 25:	Imagem da haste em contato com a fonte.....	30
Figura 26:	Endoscopia industrial.....	30

Lista de Quadros

Quadro1: Aplicação dos Medidores por Transmissão.....	5
Quadro2: Aplicação dos Medidores por Retroespalhamento.....	6
Quadro3: Fontes e Aplicações de Medidores reativos.....	7
Quadro4: Resumo de Sistema de Categorização.....	11
Quadro5: Categorização e sua Periculosidade.....	12
Quadro6: Limites de Doses Individuais.....	13
Quadro7: Dados dos Medidores Nucleares.....	19
Quadro8: Modelo de ficha de identificação da amostra.....	30

Lista de Tabelas

Tabela1:	Avaliação Radiológica de medidor de densidade.....	32
Tabela2:	Avaliação Radiológica de medidor de Nível.....	32
Tabela3:	Valores da atividade do Teste de esfregaço do medidor de densidade..	32
Tabela4:	Valores da atividade Teste de esfregaço do medidor de nível.....	33
Tabela5:	Valores da atividade nos pontos na bancada.....	33

1. INTRODUÇÃO

Os métodos de produção moderna, sobretudo os automáticos, devem ser submetidos a uma constante vigilância para se assegurar a qualidade dos produtos e controlar o processo de produção.

Esse tipo de vigilância muitos, casos é feito com dispositivos de controle de qualidade empregam as propriedades das radiações ionizantes conhecidos pela denominação genérica de medidores nucleares.

Medidores Nucleares empregam fontes seladas, isto é, fontes cujo radioisótopo está encapsulado, ou seja, contido em um involucro ou capsula selada. A mesma permanece armazenada num irradiador que serve de porta fonte e blindagem além de colimador e obturador, o feixe de radiação. Os medidores nucleares não necessitam estar em contato com o material que se examina e, portanto, podem ser utilizados para controlar processos de alta velocidade, materiais com temperaturas extremas ou propriedades químicas nocivas, materiais susceptíveis a danos por contato e produtos envasados. (Santa Rita, 2016).

Os medidores nucleares são equipamentos simples, que permitem a aquisição de dados em tempo real e podem ser adaptados a diversos usos conforme a necessidade. Sua construção se baseia em uma fonte emissora de radiação ionizante (selada e de meia vida longa) e um receptor desta radiação. Este receptor geralmente fica acoplado a uma parte eletrônica responsável por ativar ou desativar um determinado comando. Atualmente, a maioria das indústrias conta, direta ou indiretamente, com os dados de medidores nucleares em suas atividades a fim de gerir seus processos.

A figura 1 mostra a esquerda o encapsulamento do material radioativo utilizado e a direita uma representação do corte de um irradiador típico de medidor nuclear com obturador fechado (a) e aberto (b). A parte hachurada representa material de blindagem. Deve ser lembrado que as fontes radioativas utilizadas em medidores nucleares possuem atividade que as classificam como fontes de categoria três isto é, possuem quantidade de material radioativo que pode causar lesões permanentes em exposição com duração de algumas horas.

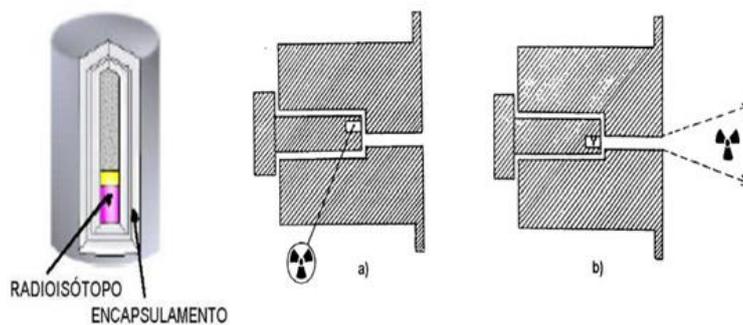


Figura 1: Medidor nuclear

Fonte: Santa Rita, 2016.

Os medidores nucleares estão presentes nos mais diversos ramos de atividade. Segundo a Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN, o Brasil possui hoje 494 instituições registradas e autorizadas a operar com tais equipamentos, que se distribuem principalmente em indústrias que necessitam de um grande controle de qualidade e acompanhamento constante em suas linhas de produção, tais como as indústrias petroquímica, alimentícia, têxtil, agrícola, cimenteira, automobilística, de celulose, aeronaval, etc. Dentre os principais usos podemos citar: medição de densidade em borrachas, tecidos, papéis, cimentos, produtos químicos e em líquidos em geral, medições de espessura em papel, vidro e chapas de aço, medições de umidade em cimentos e minerais e medições de nível em caldeiras e silos.

1.1 Objetivo

Realizar uma avaliação de integridade de fontes radioativas de medidores nucleares fixos do Laboratório de Indústria do IRD/CNEN através do método de esfregaço.

1.2 Justificativa

De acordo com as recomendações internacionais e dos fabricantes a verificação da integridade das fontes radioativas utilizadas nos medidores nucleares deve incluir um teste de avaliação de contaminação. Dentre os testes existentes, o mais utilizado é o teste de esfregaço, que é feito na superfície das fontes e nas superfícies expostas do equipamento próximas às fontes. Sua finalidade é verificar a integridade do encapsulamento das fontes radioativas seladas, garantindo que seu manuseio seja feito de forma segura, isto é, sem riscos de contaminação, desta forma ajudando a manter as doses de radiação dos operadores e do

público abaixo dos níveis recomendados e evitando a contaminação do meio ambiente (Santiago, Silva, Pinto, 2012).

Utilizando um setup para a realização do teste de esfregaço, desenvolvido no Laboratório de Indústria do IRD/CNEN, serão avaliadas as integridades do encapsulamento das fontes radioativas de dois medidores nucleares fixos com fontes de Cs-137 de forma a constatar a existência ou não de contaminação radioativa.

2. MEDIDORES NUCLEARES

Os medidores nucleares são uma ferramenta importantíssima para a indústria moderna. São equipamentos dotados de fontes de radiação ionizante e um detector e que, através da interação desta radiação com a matéria, geram um sinal que pode ser programado para executar uma série de funções.

2.1 Tipos de Medidores Nucleares

Os medidores nucleares são divididos em duas categorias principais, os fixos e os portáteis e, os princípios básicos de funcionamento em ambos são: transmissão direta, retro espalhamento e reatividade.

2.1.1 Medidores fixos

São mais frequentemente utilizados em minas, fábricas e instalações de produção como uma maneira de monitorar um processo de produção e garantir o control de qualidade.

Em muitos processos, em que os produtos não podem ser controlados eficazmente por métodos tradicionais uma técnica de medição não destrutiva é desejada. Nestas situações, um medidor nuclear fixo pode ser utilizado para proporcionar medições precisas da espessura, densidade ou quantidade. Estes medidores fixos abrigam uma fonte selada que contém uma substância nuclear radioativo. Quando obturador do titular da fonte é aberto, um feixe invisível da radiação é dirigido para o material a ser processado. Um detector, montada em frente à fonte selada, mede a radiação que passa através do material. A leitura quer no indicador ou em um terminal de computador conectado, registra as informações necessárias.

Por exemplo, numa fábrica de papel, medidores fixos pode medir a espessura de uma folha de papel à medida que sai das prensas, enquanto numa fábrica de cerveja, um medidor fixo garante que cada frasco contém a quantidade certa de cerveja. Seja qual for a aplicação, estes medidores de garantem o controle de qualidade em um processo. A passagem de radiação através do material não causa qualquer alteração física ou química, e o material em si não se torna radioactivo (CNSC, 2007).

2.1.2 Medidores portáteis

São utilizados em indústrias como a agricultura, construção e engenharia civil para medir parâmetros como a umidade ou compactação no solo, e a densidade de asfalto para a pavimentação de mistura. Existem dois métodos básicos de material com medidores portáteis de medição; o método retroespalhamento e o método de transmissão directa (CNSC, 2007).

2.1.3 Medidores por Transmissão

A fonte radioativa e o detector de radiação estão situados em lados opostos do material. A radiação é atenuada ao atravessar o material e o detector mede a intensidade da radiação transmitida. Se a radiação atravessar um material mais denso, seu grau de atenuação será maior e a intensidade transmitida diminuirá. Exemplo de um medidor por transmissão na figura 2. O quadro 1 ilustra algumas aplicações dos medidores de transmissão.

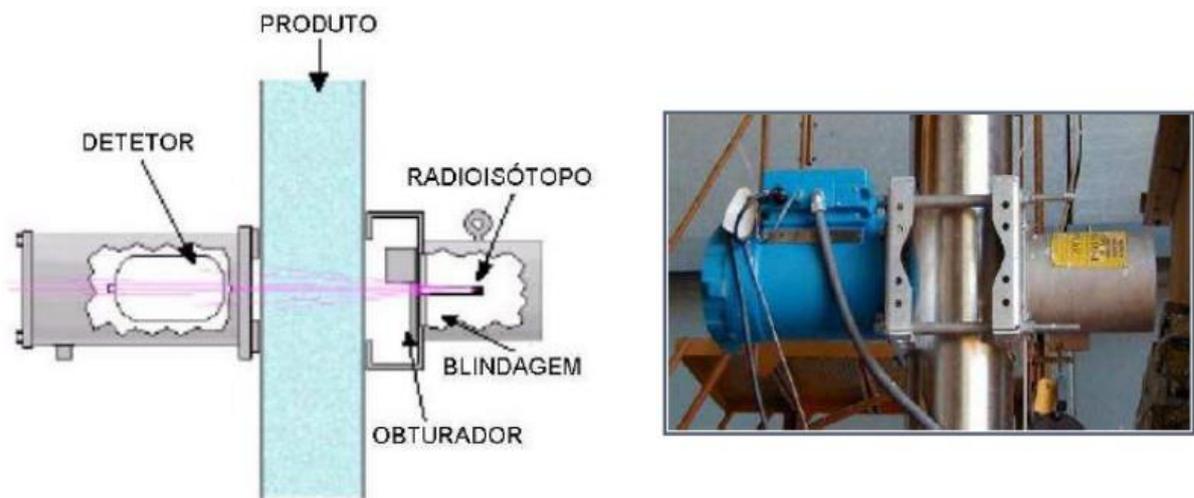


Figura 2: Medidor por transmissão

Fonte: Santa Rita, 2016.

Fonte	Tipo de decaimento	Aplicações típicas	Atividade (GBq)
^{147}Pm	β^-	Densidade de papel	0,04 - 40,0
^{204}Tl	β^-	Espessura de papel, borracha e produtos têxteis	
^{85}Kr	β^-	Espessura de papelão	
$^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$	β^-	Espessura de metais delgados	
Raios X	--	Aço até 20 mm; nível de líquidos em embalagens	:
^{241}Am	γ	Aço até 10 mm; conteúdo de vasilhames	0,4 - 4,0
^{137}Cs	γ	Nível em tanques e vasos	
^{60}Co	γ	Nível em fornos de coque e de cerâmica	

Quadro 1: Aplicação dos medidores por transmissão

Fonte: Santa Rita, 2016.

2.1.4 Medidor de Retrodispersão ou Retroespalhamento

A fonte radioactiva e o detector estão situados no mesmo lado em relação ao material. O detector é protegido contra a radiação primária. A radiação penetra o material e interage com seus átomos e moléculas. O detector mede as radiações secundárias que se retrodispersam a partir da interação. Se houver geometria constante, indicará a densidade e se a densidade for constante, indicará a espessura do material. A figura 3 mostra medidor de retrodispersão.

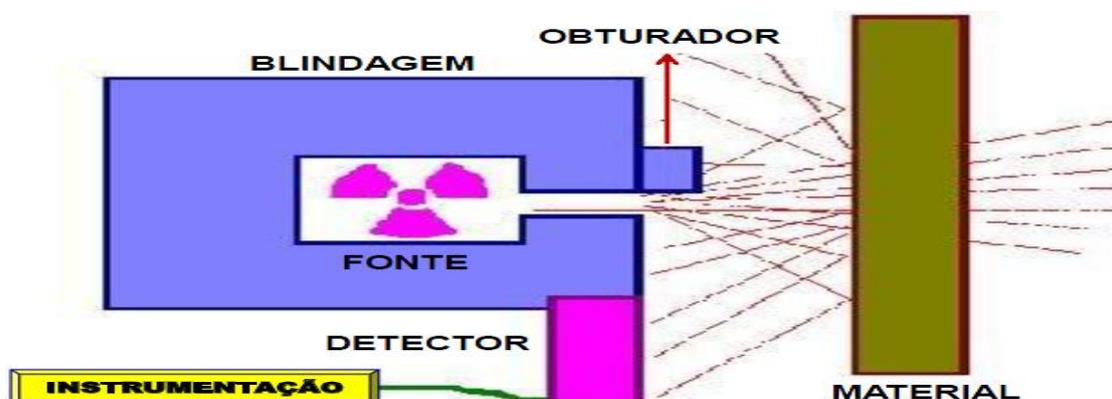


Figura 3: Medidor por Retrodispersão

Fonte : Santa Rita, 2016.

O quadro 2, exemplifica as fontes, aplicação, tipo de radiação usada em medidores por retrodispersão.

Fonte	Tipo de decaimento	Aplicações típicas	Atividade (GBq)
^{147}Pm	β^-	Densidade de papel; recobrimento de metal delgado	0,04-0,2
^{204}Tl	β^-	Espessura de borracha e produtos têxteis	
$^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$	β^-	Espessura de plástico, borracha e vidro	
^{241}Am	γ	Vidro até 10 mm e plástico até 30 mm	0,44-110
^{137}Cs	γ	Vidro acima de 20 mm; densidade de rochas e carvão	
$^{241}\text{Am-Be}$	η	Detecção de hidrocarbonetos em rochas	1,9-3,7

Quadro 2: Aplicação de Medidores por Retroespalhamento

Fonte: Santa Rita, 2016.

2.1.5 Medidores Reactivos

A principal aplicação análise de hidrocarbonetos em rocha e, diferenciando camadas petrolíferas de aquíferos salinos pela determinação de cloro, outro uso destes medidores é a fluorescência, a partir de fonte gama e raios X de baixa energia, em solos para a identificação e determinação de elementos de baixo Z, médio Z e alto Z em função do tipo de fonte utilizada. Possibilitando a análise de elementos constituintes de minerais assim como a espessura de camadas de substratos de materiais distintos (Santa Rita, 2016).

Quadro 3 mostra as fonte e aplicações deste medidor.

Fonte	Tipo de decaimento	Aplicações típicas	Atividade (GBq)
^{55}Fe	γ	Análise em elementos de baixo Z e em plástico de 0-25 μm sobre alumínio	0,02-0,4
^{241}Am	γ	Análise em elementos de médio Z e em zinco de 0-100 μm sobre ferro	
^{109}Cd	γ	Análise em elementos de alto Z	
Raios X (até 60keV)	--	Elementos diversos	--
Geradores de nêutrons	η	Análise de hidrocarbonetos em rocha	0,0022-4,1

Quadro 3: Fonte e aplicação de medidores reativos

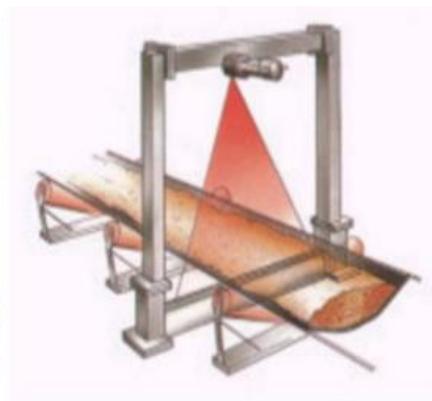
Fonte: Santa Rita, 2016.

2.1.6 Medidores de fluxo

A determinação do fluxo de material sólido a granel, em esteiras transportadoras ou em queda livre, é particularmente interessante na indústria química, de papel e celulose, de mineração e de alimentos. Através do método de transmissão, pode-se determinar instantaneamente a massa por unidade de área do material e da velocidade de deslocamento do material. Uma fonte gama é instalada acima da esteira e um detector alongado (câmara de ionização ou detector de cintilação), abaixo dela. Observa-se que o feixe de radiação abrange toda seção transversal do material na esteira, como ilustra a figura 4 (Santa Rita, 2016).



Esteira transportadora.



Balança nuclear.

Figura 4: Medidores de Fluxo

Fonte: Santa Rita, 2005.

2.1.7 Medidores Nucleares de Nível

São usados em silos de armazenamento de produtos diversos e em caldeiras, bem como em indústrias onde as linhas de produção possuem um alto fluxo de produtos, como a de bebidas. Utilizam principalmente fontes gama e raio X de alta energia (silos e caldeiras) ou beta (em bebidas; devido a natureza desta radiação suas fontes são eletro depositadas). Eles são responsáveis por controlar os níveis mínimo e máximo, permitindo controlar a quantidade de matérias primas e outros insumos sem a necessidade da presença física de um operador em locais de difícil acesso ou insalubres.

2.1.8 Medidores Nucleares de Espessura

São utilizados em diversas indústrias que necessitam controlar a espessura de seus produtos, por exemplo, em indústrias de celulose (para medir a espessura dos papéis e papelões) e siderúrgicas (para medir a espessura das chapas de aço). Utilizam principalmente fontes betas e gama/X de alta energia, respectivamente.

2.1.9 Medidores Nucleares de Umidade

É utilizado em indústrias que necessitam controlar a umidade, tanto em seus insumos e matérias primas quanto em seus produtos finais. Utilizam basicamente fontes de nêutrons. Como exemplos, podemos citar indústrias que utilizam cimento, minérios e vidros.

2.1.10 Medidores Nucleares de Densidade

São utilizados em indústrias com necessidade de controlar a densidade de seus insumos e matérias primas. Utilizam principalmente fontes gama e X de alta energia. São muito utilizados em indústrias de borracha, cimento, lama, líquidos em geral, alimentos, produtos químicos, tecidos, celulose, etc. (Santiago, Da Silva, Pinto, 2012)

2.1.11 Componentes dos medidores

Um medidor nuclear pode incluir algumas ou todas as seguintes partes:

- Uma fonte radioativa encapsulada ou equipamento de geração de radiação

- Armazenamento da fonte e blindagens;
- Equipamentos de detecção e análise e controles interativos.

Além disso, o medidor tem de ser sinalizado adequadamente.

2.1.12 Encapsulamento de Fontes Radioativas

As fontes radioativas são totalmente encapsuladas, isto significa que o material radioativo, geralmente sob uma forma quimicamente estável, é mantido dentro de uma cápsula bastante resistente dentro de uma blindagem.

Isto também significa que o material radioativo não pode entrar no ambiente de trabalho, exceto no caso de um sério acidente, o qual pode ocorrer inadvertidamente ou através de uma interferência proposital com a fonte. Tal acidente teria que exceder em muito os rigorosos testes e limites de projeto definidos pela AIEA e pela ISO para tais fontes.

Testes executados na fonte radioativa incluem a sua inserção no fogo a altas temperaturas durante certo período de tempo e severos testes contra impactos (Da Silva, 2016).

2.2 Inventários de medidores nucleares no Brasil e em Moçambique

Segundo o órgão regulador do Brasil a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), existem 465 instalações de controle de processo e 21 de sistemas portáteis. (CNEN, 2016)

Moçambique é um país da costa ocidental de África Austral que tem como limites a norte, a Tanzânia, noroeste Malawi, Zâmbia, a oeste o Zimbábue, a África do Sul, a Suazilândia e a leste o oceano Índico designado de canal de Moçambique. (Portal do governo, 2016)

É um dos países com baixo índice de desenvolvimento humano no mundo, com uma população estimada em 24.692.144 de habitantes. (Indexmundi, 2016)

Nos últimos dez anos, foram descobertos importantes reservas de carvão, gás, petróleo que tem ser explorado, daí a importância do arranque da indústria de extração mineira já que a economia tem permanecido na produção de bens agrícolas. Obviamente que este arranque não tirou o país da dependência dos fluxos de capitais externos.

Os medidores nucleares são uma das maiores técnicas usadas na radiologia indústrias principalmente no processo na melhoria dos processos de qualidade.

As principais aplicações são no controle de qualidade de junção de peças metálicas. As fontes mais usadas são de Cobalto-60, Césio-137, Irídio-192 e o Amerício-241.

A facilidade de penetração da radiação em diversas matérias bem como a variação da sua atenuação com a densidade do meio que atravessa, tornam o seu uso conveniente em medidores de nível, espessura, para atender as exigências de qualidade do mercado mundial, enquanto, na indústria de bebidas, a radiação é usada para o controle de enchimento de vasilhames (Biodieselbr, 2016).

Em Moçambique existem 45 instalações notificadas e 10 autorizadas pelo órgão regulador Agencia Nacional de Energia Atômica (ANEA, 2016).

1.3. Risco radiológico através da categorização das fontes radioativas da AIEA

A partir das resoluções da Conferência Geral e do Código de Conduta foi editado a Guia para Categorização de Fontes Radioativas Seladas, o RS-G-1.9 (IAEA, 2005), com o objetivo de promover um sistema simples e lógico de graduação de fontes radioativas de acordo com seu potencial para causar danos à saúde humana, agrupando-as por prática, de acordo com o uso. A abrangência deste Guia inclui fontes radioativas utilizadas na indústria, medicina, agricultura, pesquisa e educação e aplica-se a fontes seladas, mas a metodologia pode também ser usada para fontes radioativas abertas. É previsto o uso do Sistema de Categorização pelas Autoridades Reguladoras no estabelecimento de um nível adequado de controle relacionado à segurança das fontes radioativas existentes ou adquiridas/fabricadas.

As bases para o sistema de categorização das fontes é seu potencial para causar danos; práticas similares devem estar em uma mesma categoria e o estabelecimento do conceito de “fontes perigosas”, ou seja, uma “fonte perigosa” se não estiver sob controle adequado, pode resultar em uma exposição causando efeitos determinísticos severos, o que pode ser fatal ou colocar a vida em risco ou, ainda, resultar em danos irreversíveis, diminuindo a qualidade de vida. O conceito de fonte perigosa diz respeito ao seu potencial em causar danos à saúde e é determinado pela relação A/D , na qual: A = atividade do material radioativo contido na fonte, de uma determinada prática. D = valor normalizador, estabelecido em função da atividade

específica do radionuclídeo. (Fator criado no contexto de emergência radiológica para comparar riscos).

No caso de medidores nucleares à sua classificação, pertence a categoria três como ilustra os quadros 4 e 5.

Resumo do Sistema de Categorização		Relação A/D
1	Fontes de Teleterapia Irradiadores	1000
2	Fontes de radiografia gama industrial Fontes de braquiterapia de alta e média taxa de dose	10
3	Medidores industriais com fontes de alta atividade Fontes utilizadas em perfilagem de poços	1
4	Fontes de braquiterapia de baixa taxa de dose Medidores industriais com fontes de atividade baixa/moderada	0.01
5	Dispositivos de fluorescência de raios X (FRX) Dispositivos de captura eletrônica	Nível de isenção

Quadro 4: Resumo do Sistema de Categorização

Fonte: IAEA, 2005

Categoria	Relação A/D	Descrição
Categoria 1	$A/D \geq 1000$	Fonte extremamente perigosa; Pode causar lesões permanentes em alguns segundos; Pode levar ao óbito em exposições de alguns minutos;
Categoria 2	$1000 > A/D \geq 10$	Fonte muito perigosa; Pode causar lesões permanentes em alguns minutos; Pode levar ao óbito em exposições de horas ou dias;
Categoria 3	$10 > A/D \geq 1$	Fonte perigosa; Pode causar lesões permanentes em algumas horas; Pode levar ao óbito em exposições de dias ou semanas;
Categoria 4	$1 > A/D \geq 0,01$	Fonte pouco perigosa; Nenhuma lesão permanente é esperada devido à sua manipulação; Pouca probabilidade de ocorrência de efeitos temporários devido à sua manipulação por períodos de semanas.
Categoria 5	$0,01 > A/D$ e $A > \text{Nível de isenção}$	Fonte não perigosa; Muito próxima ou abaixo do nível de isenção; Nenhuma lesão ou efeito são esperados.

Quadro 5: Categorização e sua periculosidade.

Fonte: IAEA, 2005

2.4. Inventário de medidores nucleares no Brasil e em Moçambique

Segundo o órgão regulador do Brasil a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), existem 465 instalações de controle de processo e 21 de sistemas portáteis. (CNEN, 2016). Em Moçambique existem 45 instalações notificadas, estão 10 autorizadas pelo órgão regulador Agência Nacional de Energia Atômica (ANEA).

2.4.1 Regulamentação no Brasil, em Moçambique e recomendações internacionais (IAEA)

2.4.2 Regulamentação no Brasil

Tendo em conta a magnitude de uso deste equipamento nos processos de construção, perfilagem geofísica, prospecção petrolífera, no Brasil, a regulamentação para o uso dos medidores nucleares, incluindo o licenciamento das empresas para sua utilização, é feito pela CNEN que, apesar de não possuir uma regulamentação específica para medidores nucleares,

através de suas normas gerais e regulamentos específicos, determina ações e procedimentos a serem adotados.

2.4.2.1 Norma CNEN NN 3.01 Resolução 164/14 março / 2014 - Diretrizes básicas de proteção radiológicas

O objetivo desta Norma é estabelecer os requisitos básicos de proteção radiológica das pessoas em relação à exposição à radiação ionizante, aplicam-se as práticas, incluindo todas as fontes associadas a essas práticas, bem como a intervenções.

a) Limitação de dose individual

A exposição normal dos indivíduos deve ser restringida de tal modo que nem a dose efetiva nem a dose equivalente nos órgãos ou tecidos de interesse, causadas pela possível combinação de exposições originadas por práticas autorizadas, excedam o limite de dose especificado no quadro 6 a seguir, salvo em circunstâncias especiais, autorizadas pela CNEN. Esses limites de dose não se aplicam às exposições médicas.

Grandeza	Órgão	Individuo Ocupacionalmente exposto	Individuo Público
Dose Efetiva	Corpo Inteiro	20 mSv [b]	1 mSv[c]
	Cristalino	20 mSv [b] (Alterado pela Resolução CNEN 114/2011)	15 mSv
Dose equivalente	Pele[d]	500 mSv	50 mSv
	Mãos e pele	500 mSv	-----

Quadro 6: Limitação de dose individual anual [a]

Fonte: CNEN, 2014

[a] Para fins de controle administrativo efetuado pela CNEN, o termo dose anual deve ser considerado como dose no ano calendário, isto é, no período decorrente de janeiro a dezembro de cada ano.

[b] Média aritmética em 5 anos consecutivos, desde que não exceda 50 mSv em qualquer ano. (Alterado pela Resolução CNEN 114/2011)

[c] Em circunstâncias especiais, a CNEN poderá autorizar um valor de dose efetiva de até 5 mSv em um ano, desde que a dose efetiva média em um período de 5 anos consecutivos, não exceda a 1 mSv por ano.

[d] Valor médio em 1 cm² de área, na região mais irradiada.

b) Exposição do público

Em relação às fontes sob sua responsabilidade, os titulares devem estabelecer programar e manter medidas para garantir a segurança dessas fontes, tomando todas as medidas necessárias para prevenir falhas e erros que possam resultar em exposição acidental do público, ou para minimizar as suas consequências.

c) Controle de visitante

Os titulares devem:

- ✓ Tomar as medidas necessárias para assegurar a proteção radiológica adequada de visitantes a áreas controladas, incluindo informações e instruções apropriadas;
- ✓ Assegurar que visitantes menores que 16 anos não tenham acesso às áreas controladas.

d) Classificação de áreas

Para fins de gerenciamento da proteção radiológica, os titulares devem classificar as áreas de trabalho com radiação ou material radioativo em áreas controladas, áreas supervisionadas ou áreas livres, conforme apropriado.

Uma área deve ser classificada como área controlada quando for necessária a adoção de medidas específicas de proteção e segurança para garantir que as exposições ocupacionais normais estejam em conformidade com os requisitos de otimização e limitação de dose, bem como prevenir ou reduzir a magnitude das exposições potenciais.

Uma área deve ser classificada como área supervisionada quando, embora não requeira a adoção de medidas específicas de proteção e segurança, devem ser feitas reavaliações regulares das condições de exposições ocupacionais, com o objetivo de determinar se a classificação continua adequada.

As áreas controladas devem estar sinalizadas com o símbolo internacional de radiação ionizante, acompanhando um texto descrevendo o tipo de material, equipamento ou uso relacionado à radiação ionizante.

As áreas supervisionadas devem ser indicadas como tal, em seus acessos.

2.4.2.2 Norma CNEN NN 6.02 Resolução CNEN 166/14 abril / 2014 - Licenciamento de instalações radiativas

Dispõe sobre o licenciamento de instalações radiativas que utilizam fontes seladas, fontes não seladas, equipamentos geradores de radiação ionizante e instalações radiativas para produção de radioisótopos.

Para fins de aplicação desta Norma, as instalações radiativas subdividem-se em: instalações que utilizam fontes seladas; instalações que utilizam fontes não seladas;

instalações que utilizam equipamentos geradores de radiação ionizante; e instalações para produção de radioisótopos e classificam-se, segundo a gradação do risco, em grupos e subgrupos.

No caso de medidores nucleares, pertence ao Grupo 3 segundo a definição desta contida na nesta norma:

GRUPO 3 - Instalações, incluindo aquelas para fins de comércio e prestação de serviços, nas quais se manipulam, utilizam ou armazenam fontes seladas que não se enquadram nos Grupos 1 (Instalações de grande porte) e 2 (Instalações que utilizam fontes seladas em equipamentos), as quais, considerando os valores de referência D, listados no Anexo I desta norma, se subdividem em um dos subgrupos especificados a seguir:

No caso de um único radionuclídeo:

1. Subgrupo 3A - Instalações que utilizam fontes seladas com atividade inferior ou igual a 1/10 (um décimo) do valor de referência D;
2. Subgrupo 3B - Instalações que utilizam fontes seladas com atividade superior a 1/10 (um décimo) do valor de referência D e inferior ou igual a D ou;
3. Subgrupo 3C - Instalações que utilizam fontes seladas com atividade superior ao valor de referência D.

Caso a instalação utilize mais de uma fonte selada, sua classificação será determinada pelo valor da atividade normalizada de fontes seladas.

No processo de licenciamento dos medidores nucleares, segundo esta norma existem atos administrativos e requisitos a se cumprir de acordo com tipo de grupo e subgrupo deste equipamento que a pessoa jurídica vai operar.

- Todos os subgrupos de medidores nucleares, para a sua aquisição, operação, movimentação da fonte de radiação, retirada de operação, são necessárias uma Autorização da CNEN, para todas as instalações radiativas;
- No caso de medidores nucleares do subgrupo 3C, há necessidade de uma autorização de construção de uma Instalação e para modificação de itens de segurança.

2.4.2.3 CNEN NE 3.02 Agosto/1988 - Serviços de Radioproteção

Esta Norma aplica-se às Instalações Nucleares e às Instalações Radiativas e tem como objetivo estabelecer os requisitos relativos à implantação e ao funcionamento de Serviços de Radioproteção.

Sendo Medidor Nuclear um equipamento com fonte radioativa, obedece aos requisitos estabelecidos pelos Serviços de Radioproteção como:

- Constituir o único órgão ou serviço autorizado pela Direção da instalação para a execução das atividades de radioproteção especificadas nesta Norma;
- SR deve estar diretamente subordinado à Direção da instalação, sem ser estruturalmente vinculado a grupos de manutenção ou de operação da instalação;
- O pessoal lotado no Serviço de Radioproteção deve ser constituído por um Supervisor de Radioproteção, por um número apropriado de técnicos de nível superior e/ou médio, e por auxiliares devidamente qualificados para o exercício das suas funções específicas, em conformidade com disposições da seção 5 desta Norma.

O Serviço de Radioproteção deve possuir equipamentos necessários para realizar:

- Monitoração individual de trabalhadores;
- Monitoração de área;
- Ensaio de instrumentos;
- Proteção pessoal, tais como máscaras, luvas, vestimentas etc.
- Descontaminação externa de pessoas e superfícies.

Os Serviços de Radioproteção relacionados com medidor nuclear devem desempenhar atividade como:

- Controle dos trabalhadores;
- Controle de área
- Controle de equipamentos;
- Controle de fontes de radiação e de rejeitos;
- Treinamento de trabalhadores; e
- Registros de dados e preparação de relatórios

2.4.2.4 Norma CNEN NN 7.01 - Resolução CNEN 146/13 Março / 2013 - Certificação da Qualificação de Supervisores de Proteção Radiológica

Dispõe sobre a certificação da qualificação de supervisores de proteção radiológica.

Para um Supervisor de Radioproteção ser certificado pela CNEN para área de medidores nucleares, requisitos específicos para estes equipamentos que se diferem das outras práticas são exigidos para fazer jus à certificação tais como:

- As áreas de atuação para as quais a CNEN certifica supervisores de proteção radiológica são agrupadas por classes I ou II, para caso de medidores nucleares a classe é II.
- O tempo mínimo de experiência do candidato a supervisor de proteção radiológica, na área de Medidor Nuclear, é no mínimo 100 horas.
- A experiência deve ter sido adquirida nos cinco anos anteriores à data de solicitação da certificação. No caso de instalações radiativas, alternativamente, a experiência pode ser adquirida até um ano após a aprovação no exame da CNEN.

2.4.2.5 Norma CNEN NE 5.01 Resolução CNEN 013/88 Agosto / 1988 - Transporte de materiais radioativos

O objetivo desta Norma é estabelecer, com relação ao transporte de materiais radioativos, requisitos de radioproteção e segurança a fim de garantir um nível adequado de controle da eventual exposição de pessoas, bens e meio ambiente à radiação ionizante.

Esta Norma, no contexto do transporte de materiais radioativos, aplica-se:

Ao transporte por terra, água ou ar.

Esta Norma não se aplica ao transporte de material radioativo que se realize no interior de instalações nucleares ou radiativas, a ser efetuado e supervisionado de acordo com procedimentos elaborados pelo Supervisor de Radioproteção da instalação.

2.5 Regulamentações em Moçambique

Em Moçambique ainda não existe uma lei sobre Energia Atômica, aprovada pela Assembleia da República de Moçambique.

Atualmente existe um Decreto Lei que dá plenos poderes a Agência Nacional de Energia Atômica de Moçambique, para regular e fiscalizar toda atividade relacionada com radiação ionizante.

2.6 Recomendações Internacionais

O teste de esfregaço é um teste que está aprovado pela International Organization for Standardization – ISO 9978 “Radiation protection – Sealed radioactive sources – Leakage test

methods”. Nesta norma, é apresentado o limite de aprovação para o teste de esfregação (ISO, 1992).

Segundo a norma (ISO, 1992) este teste do esfregação pode ser utilizado em situações em que não é apropriado usar uma mecha de algodão molhada, por exemplo, para alta atividade de fonte de cobalto-60 ou, em alguma inspeção recorrente. Para realizar o teste, esfregar cuidadosamente toda a superfície externa da fonte selada com mecha de algodão seca e medir a atividade do cotonete. Se atividade detectada não exceder 0,2 kBq a fonte selada é considerada integra

3. METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Indústria do IRD em três etapas distintas: Levantamento Radiométrico, Risco Radiológico e Teste de Esfregação.

Estes medidores fixos de densidade e de nível são usados em aulas práticas para demonstrar o mecanismo de funcionamento destes equipamentos nas indústrias no controle de nível em líquidos e controle de densidade em, por exemplo, em papel, possuem uma fonte radioativa de Césio 137, número de série, o modelo do equipamento entre outras características como ilustra o quadro 7.

Identificação	Densidade	Nível
Marca	NOMASA	OHMART CORP
Modelo	7063 P	ED -12
Número de série	11337	65352
Radioisótopo	Cs ¹³⁷	Cs ¹³⁷
Atividade inicial	200 mCi	100 mCi
Data de atividade	08/85	09/76

Quadro 7: Dados dos Medidores Nucleares
Fonte: Autor

3.1. Avaliação do risco radiológico através da categorização das fontes radioativas medidores nucleares fixos

Para avaliar de risco radiológico através da categorização das fontes radioativa, utilizou-se o valor da atividade radioativa inicial da fonte e a data de fabrico do medidor para calcular atividade atual e por fim a categoria que é determinada pela relação A/D, na qual: A = atividade do material radioativo contido na fonte, D = valor normalizador, estabelecido em função da atividade específica do radionuclídeo.

3.2. Avaliação radiológica dos medidores nucleares fixos

Para avaliação radiológica dos dois medidores nucleares, fez-se o levantamento radiométrico, nas diferentes posições dos medidores com a sonda Geiger Muller, de fabrico LUDLUM, modelo E 600 e com número de série 2072, na superfície e a um metro de distancia nos diferentes pontos, e os valores comparados com os limites de dose do quadro 6 e anotados na tabela para cada medidor. As figuras 5 e 6 ilustram as partes onde foram medidas as atividades.



Figura 5: Levantamento radiométrico

Fonte: Autor

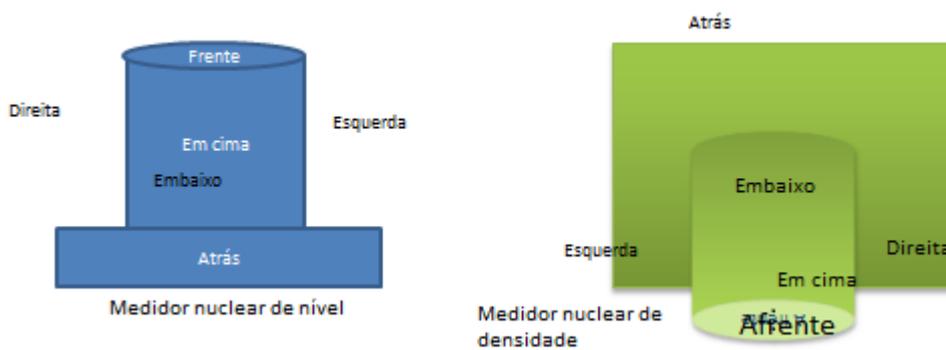


Figura 6: Croqui das partes do levantamento radiométrico

Fonte: Autor

3.3. Avaliação da integridade da fonte radioativa dos medidores nucleares fixos através do método de esfregaço

É importante que o executor deste teste conheça bem, as regras de radioproteção e segurança, além de possuir o guia de procedimentos para auxiliá-lo durante o teste, bem como o guia de procedimentos em caso de emergência ou de acidentes envolvendo o medidor nuclear.

De seguida, como o teste seria feito com cotonetes dentre outros materiais, criou-se um arranjo, que serviria de suporte com características que possibilitassem uma medição da taxa de dose no pedaço de algodão do cotonete nas duas faces de modo que os valores fossem mais precisos e fidedignos como ilustra a figura 7.



Figura 7: Suporte para os cotonetes

Fonte: Autor

Separou-se todo o material necessário (monitor, detectores, guia de procedimentos, guia de emergência, o mostrador, equipamento de segurança, jogos de espelhos, fontes teste). Em seguida verificaram-se as condições de operação dos equipamentos de monitoração do Geiger Miller, Pancake e Bip (data de calibração, teste de resposta com fonte teste, nível de bateria, compatibilidade com o tipo de radiação a ser medida).

Dividiu-se a realização das atividades em duas bancadas, sendo uma bancada para realização do teste de esfregaço e outra bancada de monitoração dos cotonetes antes e após o esfregaço como ilustram as figuras 8, 9 e 10:

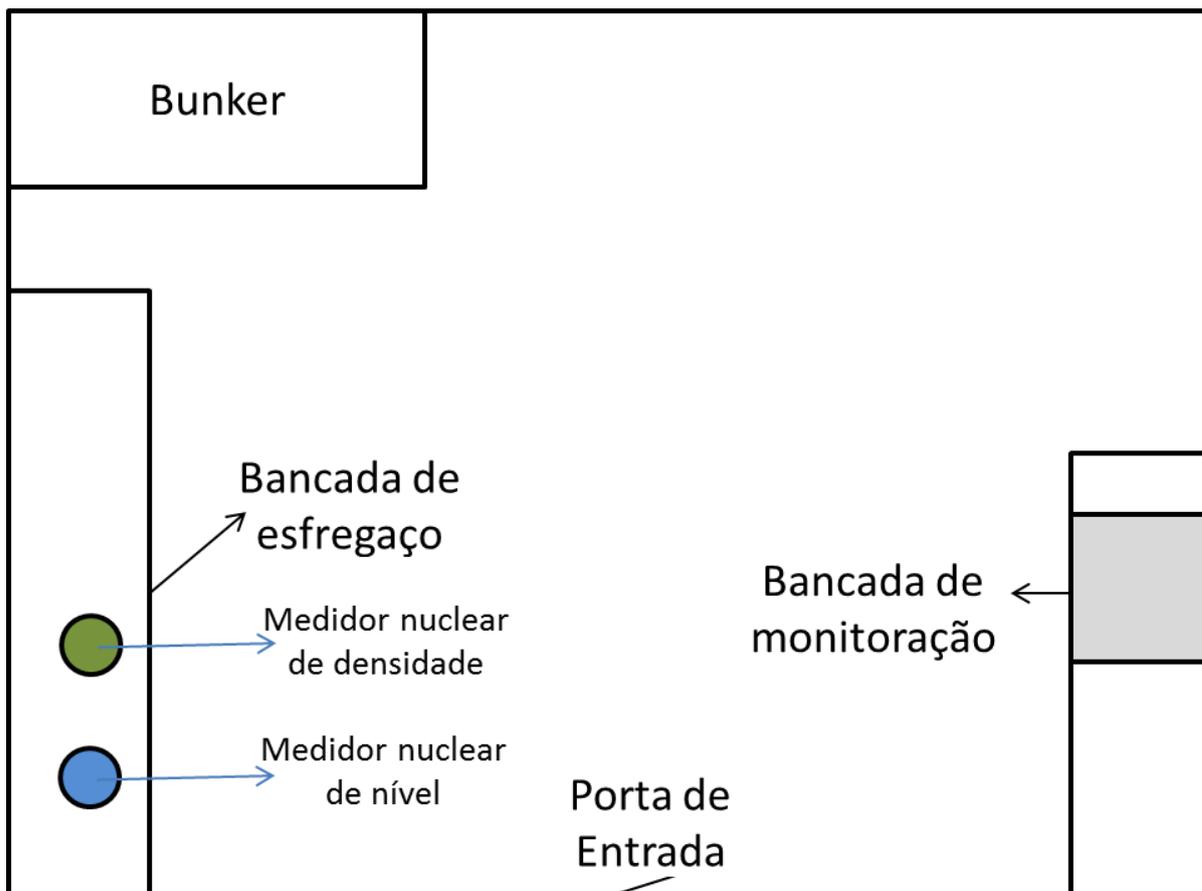


Figura 8: Divisão da bancada

Fonte: Autor



Figura 9: Bancada de Monitoração

Fonte: Autor



Figura 10: Bancada de esfregaço

Fonte: Autor

Escolheram-se seis pontos em forma de retângulo na bancada de monitoração e mediuse atividade para verificação de contaminação na superfície e calculou-se a média aritmética, os valores estão representados na tabela 5, pagina 33.

3.3.1. Realização do teste de esfregaço

Na preparação para realização do teste do esfregaço foram assegurados todos os requisitos de segurança radiológica, como por exemplo, o isolamento da área de lado de fora do laboratório onde o feixe iria atravessar com uma corda e sinal radiação (Figura 11), colocação do dosímetro anelar para registrar a taxa dose na superfície da mão direita (Figura 12), usar luvas de proteção à contaminação (Figura 13) e cuidadosamente inclinar o medidor numa posição do feixe do irradiador em direção ao jogo de espelho (figura 14).



Figura 11: Isolamento da Área fora do Laboratório

Fonte: Autor



Figura 12: Dosimetro Anelar

Fonte: Autor



Figura 13: Luvas de proteção

Fonte: Autor



Figura 14: Medidor com feixe do irradiador em direção ao jogo de espelho

Fonte: Autor

Em seguida, fez-se a realização do teste de esfregaço propriamente dito, que consistiu em colocar o cotonete cortado ao meio com uma tesoura na ponta de haste (Figura 15), abrir o obturador e com ajuda do jogo de espelhos, introduzir a haste no canal (Figura 16) onde fica alojada a fonte até sentir o fundo.

Depois se girou a haste em 180 graus para esquerda e direita (figura 17), tirou-se a haste e colocou-se o pedaço de cotonete diretamente num envelope de plástico e fechou-se o obturador.

Enquanto o medidor nuclear fica com a blindagem aberta, há monitoração constante dos níveis de radiação.



Figura 15: Colocação do cotonete na haste
Fonte: Autor



Figura 16: Introdução da haste no orifício da fonte com ajuda do jogo de espelho
Fonte: Autor



Figura 17: Esfregaço com haste no interior do orifício

Fonte: Autor



Figura 18: Colocação do cotonete no envelope

Fonte: Autor

Em seguida, preencheu-se a ficha do quadro 8 e colocou-se no envelope (figura 19) correspondente ao medidor nuclear fixo na qual foi feito o esfregão. Em cada medidor foram feitos três esfregaços e achou-se a média aritmética dos valores.



Figura 19: Envelope com o cotonete identificado

Fonte: Autor

Depois, foi medida a atividade nos cotonetes após o esfregão na bancada de monitoração com auxílio de um arranjo designado suporte (figura 20).



Figura 20: Suporte (Setup)

Fonte: Autor

Antes de se fazer a monitoração, fez-se a verificação da contaminação na haste e nas luvas (Figura 21 e 22).

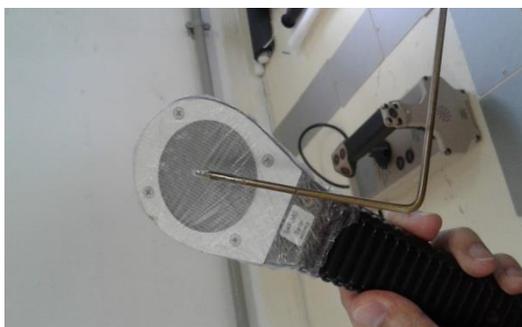


Figura 21: Verificação de contaminação na haste

Fonte: Autor



Figura 22: Verificação de contaminação nas luvas.

Fonte: Autor

Este suporte foi concebido de modo que as pontas dos cotonetes ficassem exatamente no centro da sonda (figura 23), ponto onde se observou com maior consistência os valores da atividade em relação a outros pontos da extremidade da sonda para as três repetições do esfregão de cada medidor nuclear. A verificação da atividade consistiu em medir as duas faces da superfície de algodão (figura 24) de cada um dos cotonetes e compararam-se os valores com o critério da norma ISO 9978. Os valores estão representados nas tabelas 3 e 4



Figura 23: Cotonete no centro do suporte

Fonte: Autor



Figura 24: Medição da atividade pelo Pancake

Fonte: Autor

FICHA DE IDENTIFICAÇÃO DE AMOSTRA		
Data: 02/08/2016	Hora: 14h20min	
Proprietário/Titular: Wiclif Torohate		
Dados do medidor nuclear		
Fabricante: Nomasa	Modelo: 7063 P	Nº de série: 11337
Dados da fonte		
Tipo de radiação: Beta	Atividade: 200 mCi	Data da fonte: 08/1985
Dados do detector/monitor de radiação		
Fabricante: LUDLUM	Modelo: E600	Nº de série 2072
Tipo de monitor: Geiger Muller	Data da calibração: 03/07/2014	Radiação de fundo: 0,2µSv/h
Responsável pela coleta: Wiclif	Tipo de amostra:	
Resultado:		

Quadro 8: Modelo de ficha de identificação da amostra

Fonte: Santiago ET AL, 2012.

Depois de se ter analisado os valores e confirmado que a blindagem estava íntegra, isto é, não contaminada, foi refeito o teste de esfregação com objetivo de visualizar o canal do medidor nuclear, a fonte radioativa e a haste com o cotonete, através da câmera do equipamento de endoscopia industrial, como ilustram as figuras 25 e 26.



Figura 25: Imagem do cotonete em contato com a fonte

Fonte: Autor



Figura 26: Endoscópio industrial

Fonte: Autor

4. RESULTADOS

De acordo com a metodologia serão mostrados os resultados em forma de cálculos para determinação da categoria das fontes de césio 137 dos medidores fixos do laboratório de indústria do IRD de modo a verificar o perigo que estas oferecem a saúde humana.

4.1. Risco radiológico das fontes radioativas medidores nucleares fixos do Laboratório de Indústria

Medidor de Nível

$$A = 3,7 \text{ GBq} * e^{-[(0,693/30) \times 40]} \rightarrow A = 3,7 \text{ GBq} \times e^{-0,924} \rightarrow A = 3,7 \text{ GBq} \times 0,39692814 = 1,469 \text{ GBq}$$

$$A = 0,001469 \text{ TBq}$$

Medidor de Densidade

$$A = 7,4 \text{ GBq} * e^{-[(0,693/30) \times 31]} \rightarrow A = 7,4 \text{ GBq} * e^{-0,716} \rightarrow A = 7,4 \text{ GBq} \times 0,4887 = 3,616 \text{ GBq}$$

$$A = 0,0036 \text{ TBq}$$

Os valores de D para césio 137 é de 0,1 TBq segunda (IAEA, 2005)

Para definir a categoria da fonte para cada medidor de acordo com atividade atual dos temos o seguinte:

$$C = A/D = 0,001469/0,1 = 0,015$$

$$C = A/D = 0,0036/0,1 = 0,036$$

Onde o C é a categoria, A é atividade atual. De acordo com a tabela VI o valores obtidos de 0,015 e 0,036, o perigo que a fonte nos medidores podem oferecer a saúde humana é de categoria 4 (fonte pouco perigosa).

4.2. Avaliação radiológica dos medidores nucleares fixos do Laboratório de Indústria

Nas tabelas 1 e 2 estão representados os valores de taxa de dose dos diferentes partes dos medidores

Tabela 1: Avaliação radiológica medidor densidade ($\mu\text{Sv/h}$)

Posição	Em cima	Atrás	Embaixo	Lado Esquerdo	Lado Direito	Frente
Superfície	3,50	3.60	3.30	3.90	4.90	4.80
1 metro	0,56	0.70	0.51	0.61	0.55	2.10

Fonte: Autor

Tabela 2: Avaliação radiológica medidor de nível ($\mu\text{Sv/h}$)

Posição	Frente	Lado Esquerdo	Em cima	Lado Direito	Embaixo	Atrás
Superfície	1,01	2.26	3.31	2.16	10,78	3.60
1 metro	1.40	1.60	1.11	1.07	1.40	1.80

Fonte: Autor

4.3. Avaliação da integridade da fonte radioativa pelo teste de esfregaço de medidores nucleares do Laboratório de Indústria

As tabelas 3 e 4 estão representadas os valores da atividade registados antes do esfregaço na primeira coluna e nas ultimas duas colunas as atividades das duas faces do cotonete.

Tabela 3: Valores das atividades dos Testes no Medidor de Densidade

Teste	Bg antes (Bq)	Face 1 (Bq)	Face 2 (Bq)	Amostra (Bq)
Teste 1	2,95	3,10	4,62	3,86
Teste 2	2,93	4,10	3,43	3,77
Teste 3	2,41	3,07	4,83	3,96
Média				3,86

Fonte: Autor

Tabela 4: Valores das atividades dos Testes no Medidor de Nível.

Teste	Bg antes (Bq)	Face 1 (Bq)	Face 2 (Bq)	Amostra
Teste 1	2,69	5,72	3,53	4,63
Teste 2	2,02	4,27	3,70	3,99
Teste 3	2,75	3,90	4,28	4,09
Média				4,24

Fonte: Autor

Os valores das amostras das tabelas 3 e 4 depois foram convertidos em kilobequerel e comparados ao valor do critério de aprovação estabelecido pela Norma ISSO.

Tabela 5: Valores das atividades nos pontos na bancada

Valor	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Valor (Bq)	2,89	2,51	2,44	2,44	2,12	3,18
Média				2,59		

Fonte: Autor

5. CONCLUSÕES

Durante a realização deste trabalho de avaliação do risco radiológico com base na categorização, levantamento radiológico e por último o teste de esfregaço para avaliar a integridade das fontes radioativa de Césio-137 chegaram-se as seguintes conclusões:

- Em relação ao risco radiológico, equipamento não oferece risco à saúde humano sendo que é de categoria quatro.
- Quanto à avaliação radiológica, pelas taxa de dose registadas presentes nas tabelas 3 observou-se que estão nos níveis baixos aceites pela Autoridade Reguladora do Brasil e pela Agência Internacional de Energia Atómica (AIEA).
- Na avaliação da integridade da fonte radioativa por esfregaço de medidores nucleares do Laboratório de Indústria/IRD no caso os medidores fixos, apresentam valores baixos de níveis de aceitação por esta razão conclui-se que os encapsulamentos encontram-se íntegros.

Durante a realização deste trabalho, foi possível ter uma visão geral do mecanismo de funcionamento de um medidor fixo e a grande importância para as diversas aplicações como controle de processos e qualidade. Entender todo processo da realização do teste de esfregaço, de acordo com os princípios de proteção, conhecer as diferentes etapas no processo de registo dos valores das taxas de dose para que os valores registados fossem credíveis.

6. RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se uso do suporte desenvolvido neste trabalho para avaliação de contaminação após o teste de esfregaço nas fontes radioativas dos medidores nucleares. Pois serviu de aprendizado para medição da taxa de dose nas duas faces do cotonete, porque os valores de taxa variam de acordo com os diferentes pontos ao redor do centro da sonda, devendo se divulgar a técnica para os próximos alunos, desta forma a minimização de risco de erro na medição do valor da taxa de dose de radiação.

Recomenda-se um curso técnico sobre “Avaliação da Integridade de Fontes Radioativas de Medidores Nucleares”, usando a técnica de esfregaço, direcionado a Supervisores de Proteção Radiológica, utilizando os equipamentos do Laboratório de Indústria do IRD, com o objetivo dos participantes se familiarizarem na prática com esse teste.

Por último recomenda-se o manuseio destes medidores nucleares com todo o cuidado necessário devido ao peso deles, de modo a preservar a integridade física do operador.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Canadian Nuclear Commission Safety (CNCS). Working Safely With Nuclear_Gauges. Revision 2. Canada, 2007

CNEN. **Entidades Autorizadas e Registradas**. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/seguranca/cons-ent-prof/entidades-aut-cert.asp>. Acesso em 18 de Julho 2016

CNEN. Norma NE-3.02 – Serviços de Radioproteção, 1988.

CNEN. Norma NE-5.01 – Transporte de Material Radioativo, 1988.

CNEN. Norma NN- 7.01- Certificação da Qualificação de Supervisores de Proteção Radiológica, 2013.

CNEN. Normas NN-3.01 – Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica, 2014.

CNEN. CNEN. Res. 166/14 – Licenciamento de Instalações Radioativas, 2014

Comodities. Disponível em (www.biodieselbr.com/energia/nuclear/-industria.htm). Acessado em 30 de Junho 2016

DA SILVA, Francisco Cesar. Radiologia Industrial. Curso de Pós-Graduação em Radioproteção e Segurança de Fontes Radioativas. IRD. De 17.06.2016 à 25.06.2016. Notas de aula– 2016

Index Mundi. População de Moçambique. Disponível em (www.indexmundi.com). Acesso 04 de Julho 2016, 13:10)

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Categorization of radioactive sources, safety standards, Vienna: IAEA, 2005. (Series No. RS-G-1.9).

ISO 9978. Radiation protection - Sealed radioactive sources - Leakage test methods. 1992

Luciano Santa Rita. Medidores Nucleares – Proteção e Segurança Radiológica. Disponível em: <http://www.lucianosantarita.pro.br>. Acesso em: 01 de Agosto de 2016.

MOÇAMBIQUE. Portal do Governo de Moçambique. Disponível em www.portaldogoverno.gov.moz, acesso em 17 de Julho 2016

SANTIAGO, André Alves, SILVA ,Caroline Schwartz da e PINTO, Fernando Breno da Silva - Avaliação Radiológica de Medidor Nuclear de Densidade de Solo. Rio de Janeiro – 2012