

**Edna Felicina Lisboa Machavane**

**REQUISITOS DE PROTEÇÃO E SEGURANÇA RADIOLÓGICA PARA NORM NAS  
INSTALAÇÕES DE PETRÓLEO E GÁS**

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

Coorientador: Prof. M.Sc. Paulo Roberto Rocha  
Ferreira

Rio de Janeiro – Brasil

Instituto de Radioproteção e Dosimetria – Comissão Nacional de Energia Nuclear

Coordenação de Pós-Graduação

2017

T

621.4835

M113r

Machavane, Edna Felicina Lisboa

Requisitos de proteção e segurança radiológica para NORM nas instalações de petróleo e gás / Edna Felicina Lisboa Machavane . Rio de Janeiro: IRD/IAEA, 2017.

XIII, 64 f.: il.; gr.; tab.; 29 cm.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Cesar Augusto Da Silva  
Coorientador: Prof. M.Sc. Paulo Roberto Rocha Ferreira

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização (Lato Sensu) em Proteção Radiológica e Segurança de Fontes Radioativas) – Instituto de Radioproteção e Dosimetria. 2017.

Referências bibliográficas: f. 48-50

1. NORM 2. Proteção Radiológica 3. Espectrometria Gama I. Título

**Edna Felicina Lisboa Machavane**

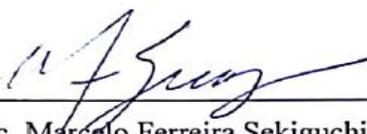
**REQUISITOS DE PROTEÇÃO E SEGURANÇA RADIOLÓGICA PARA NORMAS NAS  
INSTALAÇÕES DE PETRÓLEO E GÁS**

Rio de Janeiro, 18 de Setembro de 2017.



---

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



---

M.Sc. Marcelo Ferreira Sekiguchi – SEKIM Consultoria



---

Prof. Dr. Laís Alencar de Aguiar - IRD/CNEN

O presente trabalho foi desenvolvido no Instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear, sob a orientação de Prof. Dr. Francisco Cesar Augusto Da Silva e coorientação Prof. M.Sc. Paulo Roberto Rocha Ferreira.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por sempre me dar força para lutar e correr atrás dos meus sonhos.

Aos meus pais Lisboa Augusto Machavane e Francelina Alexandre Uamusse, pela ajuda que tem me disponibilizado nos cuidados com meu filho Cassamo António Nhamuanzo Júnior durante a minha formação, ao meu marido Cassamo António Nhamuanzo pelo apoio nos momentos de angústia, expectativas, ansiedade e na vida compartilhada ao longo destes anos, ao meu irmão João Jorge Júnior, as minhas irmãs Kátia Teresa Massalane, Afrânia Celeste Lisboa Machavane, Sheron Benedita Lisboa Machavane, Yórika Helena Lisboa Machavane, Anita Felicina Lisboa Machavane, Érica Bibi Lisboa Machavane.

À Agência Internacional de Energia Atômica, por ter me concedido a bolsa de estudo a qual tornou possível a minha formação.

Ao Professor Doutor Francisco Cesar Augusto Da Silva pela orientação, pelas valiosas informações científicas, paciência, dedicação, atenção e ensinamentos.

Ao Professor Doutor Aucyone Augusto Da Silva pela ajuda, amizade e atenção.

Ao Diretor Geral da ANEA, Professor Doutor Alexandre Maria Maphossa por me ter autorizado a participar no curso.

Ao Professor Paulo Roberto Rocha Ferreira pela ajuda, ensinamentos e oportunidade de estágio na DIRAD.

Ao Fernando Ribeiro e Carlos Henrique pela ajuda na utilização e análise de dados, valiosas sugestões e ensinamentos prestados durante o estágio na Divisão de Radiometria do IRD.

- Aos professores da pós-graduação pelos conhecimentos que me transmitiram durante a minha formação.
- Agradeço aos meus colegas do Lato Sensu 2017 pelo companheirismo e amizade em especial, Amilton de Sousa Lins Júnior, Eunícia João Goessa, Evelyn Pereira Martins Neri, Gustavo Henrique Ribeiro Gomes, Jerry Rawlings Pereira dos Santos, José Manuel Sucumula Diogo, Luana Kerlly de Medeiros Ferreira, Luis Carlos Jansen Silva, Marcos Cunha da Silva, Prycyla Gomes Creazolla, Roberta da Silva Sousa, Stefanie Gomes Rodrigues, Tatiana Souto Carneiro, Thais Nascimento de Almeida, Dirceu de Castro.

## RESUMO

O trabalho estabelece requisitos de proteção e segurança radiológica para NORM nas instalações de petróleo e gás, permitindo a Agência Nacional de Energia Atômica a elaboração de regulamentos sobre NORM. Procedeu-se a um estudo de revisão bibliográfica e medida das concentrações de atividade da borra de petróleo para o alcance do objetivo. Significativas quantidades de NORM originárias da rocha do reservatório são encontradas durante a produção, manutenção e descomissionamento. A indústria de petróleo e gás opera em todos os climas e ambientes, incluindo as condições mais árduas e é continuamente desafiado a alcançar alta eficiência de operação, mantendo um alto padrão de segurança e controle - isso inclui a necessidade de manter o controle sobre a exposição ocupacional, bem como proteger o público e o meio ambiente através da gestão adequada dos rejeitos que podem ser radiologicamente e quimicamente perigosos. O principal objetivo deste trabalho não foi apenas o de apresentar os principais requisitos de proteção e segurança radiológica para NORM nas instalações de petróleo e gás, mas também para nortear as autoridades governamentais competentes da República de Moçambique, que a instalação de um laboratório de radiometria e elaboração de regulamento de NORM envolvem um grande controle da segurança radiológica. A autoridade reguladora é responsável por autorizar instalações para o armazenamento de rejeitos radioativos, incluindo o armazenamento de rejeitos contaminados. Recomenda-se que estudos deste género sejam feitos para analisar a concentração de atividade de radioisótopos de ocorrência natural.

Palavras chaves: NORM, Proteção Radiológica, Espectrometria Gama.

## **ABSTRACT**

The work establishes radiation protection and safety requirements for NORM in oil and gas installations, enabling the National Atomic Energy Agency to draw up regulations on NORM. A bibliographic review and measurement of oil sludge activity concentrations was carried out to reach the objective. Significant amounts of NORM originating from reservoir rock are encountered during production, maintenance and decommissioning. The oil and gas industry operates in all climates and environments including the most arduous conditions and is continually challenged to achieve high operating efficiency while maintaining a high standard of safety and control - this includes the need to maintain control over exposure as well as protecting the public and the environment through the proper management of tailings that may be radiologically and chemically hazardous. The main objective of this work was not only to present the main radiological protection and safety requirements for NORM in oil and gas installations, but also to guide the competent governmental authorities of the Republic of Mozambique, that the installation of a radiometry laboratory and elaboration of NORM regulations involve a great control of radiological safety. The regulatory authority is responsible for authorizing facilities for the storage of radioactive waste, including the storage of contaminated tailings. It is recommended that studies of this kind be made to analyze the concentration of naturally occurring radioisotope activity.

Keywords: NORM, Radiological Protection, Gamma Spectrometry.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivo Geral.....	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Problema e Justificativa.....	2
<b>2.MATERIAL RADIOATIVO DE OCORRÊNCIA NATURAL (NATURALLY OCCURRING RADIOACTIVE MATERIAL - NORM).....</b>	<b>4</b>
2.1Definição e origem de NORM.....	4
2.1.1 Origem do NORM.....	6
2.1.2 Radionuclídeos de NORM.....	7
2.1.3 Principal forma de aparecimento de NORM na industria de petróleo e gás .....	8
2.2 Atividades industriais envolvendo NORM.....	8
2.2.1 Produção de petróleo e gás natural.....	9
<b>3. INVENTÁRIO DE INSTALAÇÕES DE PETRÓLEO E GÁS NO BRASIL E MOÇAMBIQUE .....</b>	<b>11</b>
3.1 Inventários de instalações de petróleo e gás no Brasil .....	11
3.2 Inventários de instalações de petróleo e gás em Moçambique .....	11
<b>4. RISCOS DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL, DO PÚBLICO E MEIO AMBIENTE PARA NORM DE PETRÓLEO E GÁS.....</b>	<b>12</b>
4.1 Risco da exposição ocupacional .....	13
4.2 Risco da exposição do público.....	14
4.3 Risco de impacto ambiental NORM de petróleo e gás, enfocando a deposição de rejeitos. ....	14
4.3.1 Problemas ambientais associados ao NORM na indústria de petróleo e gás .....	14

4.3.2 Os volumes de rejeitos de NORM e concentrações de atividade .....	15
4.3.3 Volumes e concentrações de rejeitos sólidos de atividade .....	16
4.3.3 Volumes e concentrações de rejeitos sólidos de atividade .....	16
4.3.4 Gestão de rejeitos de NORM .....	15
<b>5. COMPARAÇÃO DOS LIMITES DE DOSES OCUPACIONAIS E AMBIENTAIS PARA NORM NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO E GÁS ENTRE OS PAÍSES MEMBROS DA IAEA .....</b>	<b>18</b>
<b>6. CONCEITOS RELACIONADOS À PROTEÇÃO RADIOLÓGICA SOBRE NORM .....</b>	<b>19</b>
6.1 Situações de exposições .....	19
6.1.1 Situações de exposição planejadas.....	19
6.1.2 Situações de exposição existentes.....	20
<b>7. RECOMENDAÇÕES INTERNACIONAIS, LEGISLAÇÃO E REGULAMENTAÇÃO BRASILEIRA, REGULAMENTAÇÃO DE MOÇAMBIQUE SOBRE RELACIONADOS A NORM, ENFOCANDO A ÁREA DE PETRÓLEO E GÁS. ....</b>	<b>20</b>
7.1 As recomendações da IAEA.....	20
7.1.1 Safety reports series n° 34 “ radiation protection series the management of radioactive waste in oil and gas industry” .....	20
7.1.2 Safety standards series n°. GSG-1 “classification of radioactive waste” .....	21
7.1.3 GSRr-3 “radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards” .....	22
7.1.4 Specific safety requirements n° SSR-6 “regulations for the safe transport of radioactive material” .....	23
7.2 Legislação e Regulamentação brasileira .....	23
7.2.1 Legislação brasileira.....	23
7.2.2 Regulamentos da cnen aplicados a NORM na indústria de petróleo e gás .....	24

7.2.2.1 Norma CNEN-NN-4.01: Maio/2005-Rrequisitos de segurança e proteção radiológicas para instalações minero-industriais.....	24
7.2.2.2 Norma CNEN-NN--8.01: Abril/2014- Gerência de rejeitos radioativos de baixos e médios níveis de radiação .....	26
7.2.2.3 Norma CNEN-NN-8.02: Maio/2014- Licenciamento de depósitos de rejeitos radioativos de baixos e médios níveis de radiação .....	26
7.2.2.4 Norma CNEN-NN-5.01: Agosto/1988- Transporte de material radioativo .....	27
7.3 Legislação e Regulamentação de Moçambique.....	29
7.3.1 Legislação de Moçambique .....	29
7.3.2 Regulamentos da anea aplicados a norm na indústria de petróleo e gás .....	29
<b>8. METODOLOGIA .....</b>	<b>32</b>
8.1 Determinação e análise de atividade de radioisótopos de NORM por espectrometria gama. ....	32
8.2Espectrometria gama.....	33
8.3 Preparação da amostra (borra de petróleo) .....	33
8.4 Detector germânio Hiper-puro.....	35
<b>9. RESULTADOS .....</b>	<b>32</b>
9.1 Medidas de proteção e segurança radiológica que devem ser seguidos para a segurança dos trabalhadores e dos membros do público para o manuseio de NORM.....	38
9.1.1 Medidas contra exposição externa .....	38
9.1.2 Medidas contra exposição interna.....	38
9.1.3 Medidas contra exposição para descontaminação do equipamento e instalação .....	39
9.2 Critérios para gestão de rejeitos de NORM.....	39
9.2.1 Avaliação do risco os rejeitos de NORM .....	40
9.2.2 Caracterização dos rejeitos de NORM .....	40
9.2.3 Métodos de deposição de rejeitos .....	40

9.2.4 Armazenamento de rejeitos radioativos sólidos de NORM .....	40
9.3 Revisão e aprovação regulamentar .....	41
9.3.1 Aspectos não radiológicos.....	41
9.4 Responsabilidades de autoridade reguladoras e operadores.....	42
9.4.1 Responsabilidades de autoridade reguladora.....	42
9.4.2 Responsabilidades do operador.....	42
9.4.3 Responsabilidades dos trabalhadores .....	43
9.5 Limites de dose para o transporte de NORM. ....	44
9.6 Limites de regulatórios sobre norm na indústria de petróleo e gás.....	44
9.7 Resultados de análise por espectrometria gama realizada nas 3 amostras de borra de petróleo no IRD/CNEN.....	44
<b>10. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>46</b>
10.1 Conclusões.....	46
10.2 Recomendações.....	47
<b>11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>48</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>51</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	NORM na produção de petróleo e gás	8
Tabela 2:	NORM na produção de petróleo e gás natural	10
Tabela 3:	Panorama das Legislações	18
Tabela4:	Sistema de classificação	22
Tabela 5:	Concentrações de níveis de isenção de atividades de radionuclídeos	22
Tabela 6:	Níveis de Dispensa de radionuclídeos	22
Tabela 7:	Valores de radionuclídeos	23
Tabela 8:	Normas CNEN	24
Tabela 9:	Concentrações de atividade de $^{226}\text{Ra}$ e $^{228}\text{Ra}$ (Bq/g) determinado por espectrometria gama	45

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Exposição do homem à radiação ionizante	5
Figura 2:	Série de decaimento radioativo de Tório e Urânio	7
Figura 3:	Incrustações depositadas num tubo de produção de petróleo e gás natural	10
Figura 4:	Distribuição da produção de petróleo e gás natural por estado	11
Figura 5:	Distribuição da produção de petróleo e gás natural por província	12
Figura 6:	Alternativas de eliminação de rejeitos NORM. Eliminação de rejeitos mais concentrados requer maior isolamento de rejeitos.	17
Figura 7:	Preparação da amostra no pote	34
Figura 8:	Pesando o pote com a amostra dentro	34
Figura 9:	Contagem da amostra no detector HPGe	35
Figura 10:	Nitrogênio líquido usado para refrigeração	36
Figura 11:	Calibração em energia com fonte de $^{152}\text{Eu}$	36
Figura 12:	Curva de eficiência do detector	37
Figura 13:	Resultados das concentrações de atividade de $^{226}\text{Ra}$ e $^{228}\text{Ra}$ determinados pelo método de espectrometria gama	45

## LISTA DE ABREVIATURAS

ANEA	Agência Nacional de Energia Atômica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
CAPP	Canadian Association of Petroleum Producers
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CNSC	Canadian Nuclear Safety Commission
IAEA	International Atomic Energy Agency
ICRP	International Committee Radiological Protection
INE	Instituto Nacional de Estatística
INP	Instituto Nacional de Petróleo
IOE	Indivíduo Ocupacionalmente Expostos
IRD	Instituto de Radioproteção e Dosimetria
NORM	Naturally Occurring Radioactive Material
OGP	International Association of Oil and Gas Producers
TNP	Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee
WNA	World Nuclear Association
IAEA	International Atomic Energy Agency

## 1. INTRODUÇÃO

As atividades de extração e produção de petróleo e gás acumulam materiais radioativos de ocorrência natural (Natural Occurring Radioactive Material - NORM), em níveis que variam de uma instalação para outra, dependendo da formação geológica, processos de extração e tratamento, fatores operacionais, entre outros. Estes materiais são geralmente produzidos em grandes volumes, onde as quantidades presentes de radionuclídeos de meia-vida longa têm implicações importantes para o gerenciamento de rejeitos (Aguiar et al, 2013).

No passado, os rejeitos e equipamentos contaminados por NORM eram gerenciados sem o controle de proteção radiológica e, desde a década de 80, as agências reguladoras no mundo tem aumentado o controle concernente ao NORM. Entretanto, em muitos países, incluindo o Brasil, as diretrizes federais e programas regulatórios não são direcionados especificamente à deposição de NORM, sendo a maior parte deste material armazenado provisoriamente nas instalações de petróleo e gás, até que orientações para a deposição sejam desenvolvidas (Aguiar et al. 2013). No Brasil, o controle regulatório exercido pela Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN, nas instalações de armazenamento de NORM e equipamentos contaminados, iniciaram-se no final da década de 90, com a finalidade de verificar o cumprimento dos requisitos de segurança e de radioproteção para os trabalhadores, público e ambiente. O objetivo principal do controle regulatório é manter as doses de radiação tão baixas quanto razoavelmente exequível, considerando os aspectos sociais e econômicos (ALARA) e também garantir que as doses individuais nos trabalhadores envolvidos permaneçam abaixo dos limites prescritos nas normas CNEN.

Atividades sem o devido controle associadas a níveis de NORM podem contaminar o meio ambiente e representam um risco para a saúde humana. Esses riscos podem ser minimizados pela adoção de controles para identificar onde o NORM está presente; e pelo controle de equipamentos e rejeitos contaminados com NORM enquanto protegem os indivíduos ocupacionalmente expostos (IOE's). Os princípios gerais de proteção radiológica são implementados principalmente por meio de boas medidas de proteção nos locais de trabalho. Assim, o controle da exposição e a dosimetria adequada são os componentes mais críticos de um programa de saúde e segurança (OGP, 2008).

Segundo ICRP (2013), controle regulatório de descargas radioativas para o meio ambiente também é relevante para a indústria de petróleo e gás. As pessoas sempre foram

expostas à radiação de natural; radioatividade de radionuclídeos encontrados naturalmente em solos e rochas; radioatividade em alimentos, água, e ar; e a radiação do espaço. Enquanto os níveis de radiação e radioatividade variam amplamente de um lugar para outro.

De acordo com o Comitê Científico das Nações Unidas sobre os efeitos da radiação atômica (UNSCEAR), a exposição média mundial à radiação devido a todas as fontes naturais é estimada ser em torno de 2,4 mSv por ano com uma variação de aproximadamente 1-13 mSv por ano (UNSCEAR, 2000).

Sendo assim, é importante estabelecer requisitos de proteção e segurança radiológica para NORM nas instalações de petróleo e gás natural.

### **1.1 Objetivo Geral**

O presente trabalho tem como objetivo apresentar os principais requisitos de proteção e segurança radiológica para NORM nas instalações de petróleo e gás.

### **1.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Apresentar medidas de proteção radiológica que devem ser seguidos para a segurança dos trabalhadores e dos membros do público para o manuseio de NORM;
- ✓ Estabelecer os limites de dose regulatórios sobre NORM na indústria de petróleo e gás;
- ✓ Estabelecer os critérios para gestão de rejeitos de NORM na indústria de petróleo e gás;
- ✓ Estabelecer os limites de dose para o transporte de NORM na indústria de petróleo e gás;
- ✓ Determinar e analisar as concentrações de atividades de radioisótopos de NORM por espectrometria gama.

### **1.3 Justificativa**

Várias atividades industriais, principalmente as relacionadas com a extração de petróleo e gás, têm como característica dentro de seu processo o contato com Material

Radioativo de Ocorrência Natural (Naturally Occurring Radioactive Material - NORM), seja na forma de atividade fim, ou como parte de seu processo, apresentando conseqüentemente várias problemáticas relacionadas ao impacto deste manuseio. Na área de petróleo e gás, o NORM aparece nas tubulações, tanques e vasos quando da extração de petróleo e gás, na forma de borra e incrustações altamente radioativas, o que pode gerar um risco radiológico para os trabalhadores com radiação (IOE) e os indivíduos do público.

Pode-se citar primeiramente o risco da exposição ocupacional, visto que o tempo de permanência dos indivíduos expostos pode variar desde algumas horas até longos períodos do dia dependendo da atividade industrial. A exposição de indivíduos do público é outra problemática relacionada ao manuseio de NORM que está diretamente relacionada ao gerenciamento de resíduos gerados e ao seu correto tratamento e descarte. Pode-se por fim citar o impacto ambiental, nesse contexto convém ressaltar as indústrias que necessitam processar a água em contato com NORM e a possíveis conseqüências de contaminação (Ferreira Silva e Da Silva, 2016).

Como este é um problema mundial, Moçambique também deve se preparar para solucioná-lo adequadamente, pois segundo o Instituto Nacional de Petróleo (INP, 2017), Moçambique é o terceiro país lusófono africano a explorar o petróleo. As quantidades são muito menores em comparação com Angola, uma pequena descoberta próxima do campo de gás de Temane, na província de Inhambane, permitiu à petrolífera sul-africana Sasol a pensar na produção comercial de petróleo; projeto vai produzir perto de dois mil barris de petróleo diários, uma pequena quantidade em termos comerciais, mas que permite diversificar a base de exportações moçambicanas. Até o momento, segundo a nota do INP, foram abertos cinco poços de produção, sendo três de gás natural em Temane e dois de petróleo na área de Inhassoro. Preocupado com esse tema, o Instituto Nacional do Petróleo organizou workshop sobre Preparação de Emergência na Indústria do Petróleo em Moçambique, com o objetivo principal de coletar experiências e contribuições das diversas instituições e organizações envolvidas e ativas nos processos de prevenção, mitigação, resposta e restauração, para desenvolver os procedimentos operacionais em caso de ocorrência de uma emergência (derramamento de petróleo, explosão, etc.) nas operações petrolíferas em Moçambique, tanto no mar como em terra. (INP, 2014).

Com esse trabalho, onde serão apresentados os principais requisitos de proteção e segurança radiológica para NORM nas instalações de petróleo e gás, a indústria e governo de Moçambique poderá identificar remediar, e se necessário, remover a contaminação NORM

que permanece em sítios de produção de petróleo e gás, mantendo, assim, um nível adequado de proteção radiológica no País.

## 2. MATERIAL RADIOATIVO DE OCORRÊNCIA NATURAL (NATURALLY OCCURRING RADIOACTIVE MATERIAL - NORM)

### 2.1 Definição e origem de NORM

Segundo Tauhata (2014), na comparação dos dados publicados de 1982 e 2008 pela UNSCEAR, mostrados na Figura 1, percebe-se a evolução da Proteção Radiológica. As exposições mundiais do homem devido à radiação natural em 1982 contribuíam, em termos relativos, com 67,6% e em 2008, com 79,68%. As exposições médicas contribuíam com 30,7% e passaram para 19,92%. Da mesma forma as exposições ocupacionais de 0,45% para 0,01%. O ciclo do combustível nuclear que contribuíam com 0,15% passaram para 0,17%. Fontes diversas que contribuíam com 0,5% passaram para 0,07%. Precipitação que contribuíam com 0,6% passaram para 0,17%.

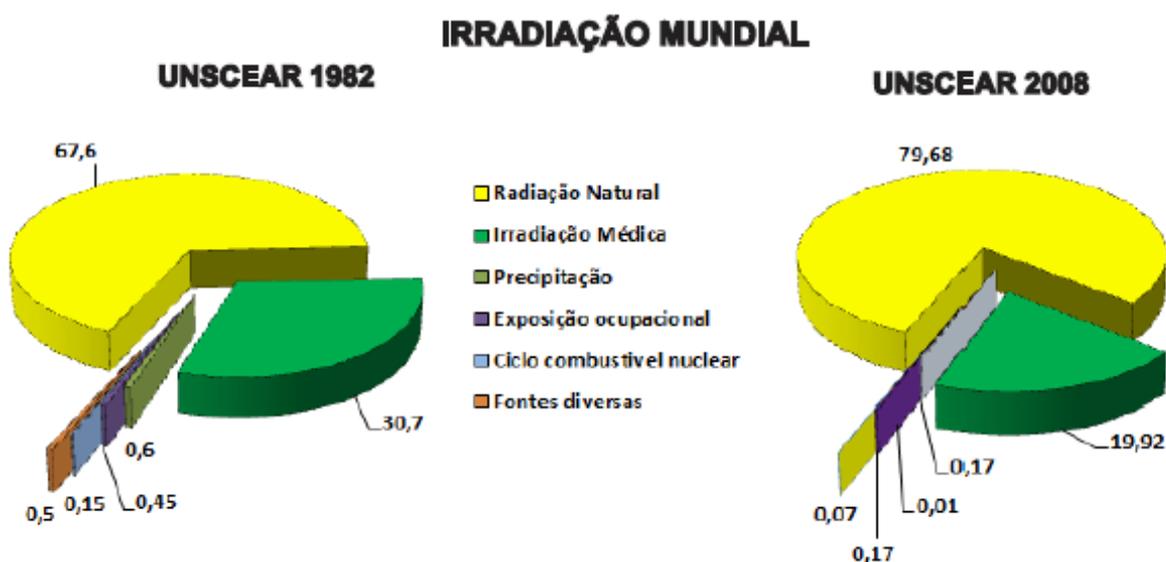


Figura 1. Exposição do homem à radiação ionizante.

Segundo a IAEA (2005), o processamento de material em que as concentrações de atividade de radionuclídeos de origem natural no material em si mesmo, ou em qualquer material resultante do processo, são significativamente elevadas - tal material passou a ser referido como material radioativo de ocorrência natural (NORM).

O NORM é um resíduo de produtos derivados da produção de petróleo e sua presença em tubulações, tanques e vasos nas instalações e máquinas pode causar restrição de operabilidade e potenciais riscos radiológicos para a saúde (Cowie et al., 2008).

A IAEA (2013) enfatizou que todos os minerais e matérias-primas contêm radionuclídeos de origem natural, dos quais os mais importantes para efeitos de proteção contra radiações são os radionuclídeos nas séries de decaimento de  $^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$ , para a maioria das atividades humanas exposições que podem precisar ser controladas por regulação, o material que dá origem a essas exposições tornou-se conhecido como Naturally Occurring Radioactive Material - NORM, mas a Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC) em 2016 definiu NORM como o material radioativo de ocorrência natural encontrado no ambiente que contêm elementos radioativos de origem natural, principalmente urânio e tório (elementos que também liberam gás de rádio e radônio uma vez que começam a decair) e potássio, esses elementos são considerados um contribuinte para a dose anual de radiação de fundo.

### 2.1.1 Origem do NORM

A presença de material radioativo natural (NORM) na crosta terrestre é bem conhecida, as séries  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$  são particularmente importantes porque contêm quantidade de radionuclídeos encontrados em produtos de petróleo e gás natural (IAEA, 2002).

O NORM é frequentemente encontrado em seu estado natural em rochas ou areia, podem ser associadas aos resíduos de produção de petróleo e gás, cinzas de carvão (produzidas a partir de combustão de carvão para produção de energia) e em meios de filtração (como os filtros usados da água de consumo), também pode estar presentes em produtos de consumo, incluindo produtos de construção comuns (como tijolos e blocos de cimento), bancadas de granito, azulejos, fertilizantes de fosfatos e produtos de tabaco (CNSC, 2016).

Segundo Matta (2016),  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{210}\text{Pb}$  são mobilizados, e aparecem, principalmente, na água de produção durante a extração de petróleo e gás. Estes isótopos e seus descendentes radioativos podem, então, precipitar da solução, juntamente com sulfato e depósitos de carbonato, formando incrustações ou borras em tubos e equipamentos.

O  $^{222}\text{Rn}$  é o produto de decaimento imediato do  $^{226}\text{Ra}$  e, preferencialmente, segue as linhas de gás. Ele decai (por várias etapas rápidas) para  $^{210}\text{Pb}$ , que pode, portanto, agregar-se como uma película fina em equipamentos da linha de extração de gás.

## 2.1.2 Radionuclídeos de NORM

A lista de isótopos que contribuem para a radiação natural pode ser dividida em materiais que provêm do solo (fontes terrestres - a grande maioria) e aqueles que são produzidos como resultado da interação de gases atmosféricos com os raios cósmicos. Os níveis de NORM são tipicamente expressos Becquerel por quilograma (ou grama) indica nível de radioatividade devido a um isótopo particular (WNA, 2016).

Segundo WNA (2016), o NORM terrestre consiste em material radioativo que sai da crosta terrestre, e onde a atividade humana resulta em aumento da exposição radiológica, os materiais podem ser originais (como urânio e tório) ou seus produtos de decaimento, fazendo parte de séries de cadeia de decaimento características ou  $^{40}\text{K}$ , as duas cadeias mais importantes que fornecem radionuclídeos de significância no NORM são as séries de tório e de urânio, apresentados na figura 2:

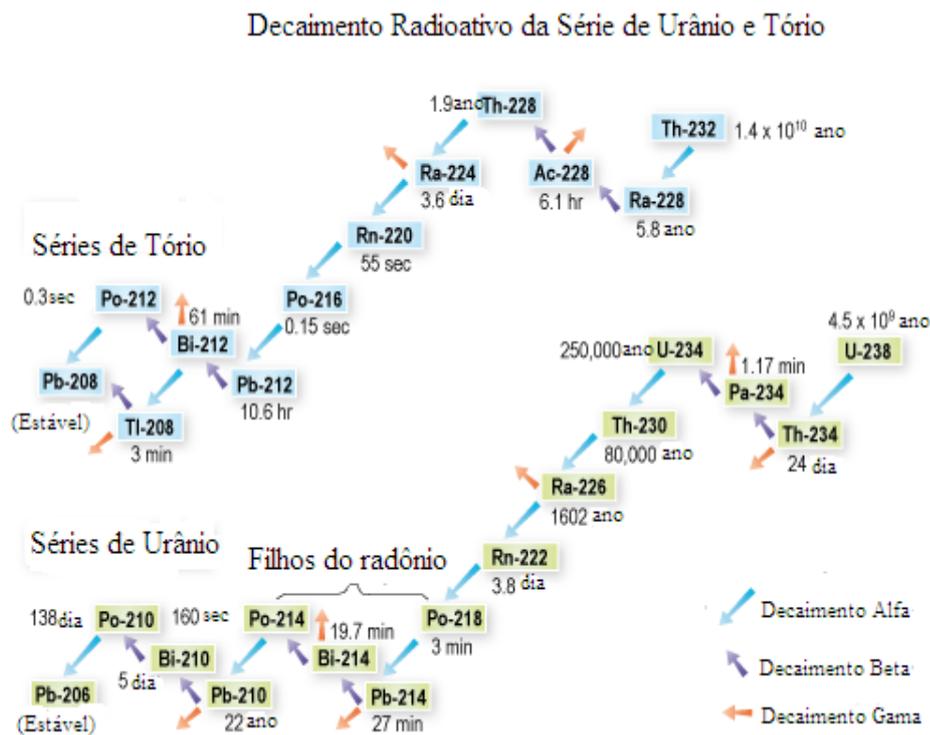


Figura 2: Série de decaimento radioativo de Tório e Urânio  
Fonte: World Nuclear Association, 2016

### 2.1.3 Principal forma de aparecimento de NORM na indústria de petróleo e gás

As principais formas de aparecimento de NORM na produção de petróleo e gás estão resumidas na tabela (Ipen, 2006):

Tabela 1. NORM na produção de petróleo e gás

<b>Tipo</b>	<b>Radionuclídeos</b>	<b>Características</b>	<b>Ocorrência</b>
Incrustação	$^{226}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Ra}$ , $^{224}\text{Ra}$ e seus filhos	Depósitos resistentes de sulfato e carbonato de Ca, Sr e Ba.	Partes húmidas da instalação de produção. Revestimento do poço.
Borras	$^{226}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Ra}$ e seus filhos	Areia, argila, parafinas, metais pesados.	Separadores válvulas, tanques.
Incrustação de Pb	$^{210}\text{Pb}$ e seus filhos	Depósitos de chumbo estável	Partes húmidas da instalação de produção de gás. Revestimento do poço.
Gás natural	$^{222}\text{Rn}$ , $^{210}\text{Pb}$ , $^{210}\text{Po}$	Gás nobre na superfície.	Sistema de tratamento e transporte de gás.
Água produzida.	$^{226}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Ra}$ e $^{210}\text{Pb}$	Mais ou menos salino, grandes volumes na produção de petróleo.	Nas instalações de produção.

Fonte: Ipen. 2006.

### 2.2 Atividades industriais envolvendo NORM

Segundo a IAEA (2013), existem 12 tipos de indústrias que devem ser consideradas em relação ao controle de exposição a fontes naturais:

- (1) Mineração e processamento de minério de urânio;
- (2) Extração de elementos das terras raras;
- (3) Produção e uso de tório e seus compostos;
- (4) Produção de nióbio e ferro nióbio;
- (5) Mineração de minérios além do minério de urânio;
- (6) Produção de petróleo e gás;**
- (7) Fabricação de pigmentos de dióxido de titânio;
- (8) A indústria de fosfato;

- (9) As indústrias do zircão e da zircônia;
- (10) Produção de estanho, cobre, alumínio, zinco, chumbo, ferro e aço;
- (11) Combustão de carvão;
- (12) Tratamento de água.

Das instalações produtoras de NORM listadas acima pela IAEA, em Moçambique existem 9 instalações :

- 1) Mineração e processamento de minério de urânio;
- 2) Produção de nióbio e ferro nióbio;
- 3) Produção de petróleo e gás;**
- 4) Fabricação de pigmentos de dióxido de titânio;
- 5) A indústria de fosfato;
- 6) Produção de estanho, cobre, alumínio, zinco, chumbo, ferro e aço;
- 7) Combustão de carvão;
- 8) Tratamento de água.
- 9) Extração de elementos das terras raras.

Este trabalho teve como foco a produção de petróleo e gás natural.

### **2.2.1 Produção de Petróleo e Gás Natural**

Aproximadamente 64% dos equipamentos produtores de gás e 57% de produção de petróleo contêm níveis de radioatividade próximos (EPA, 2010).

Os isótopos de urânio e de tório são em grande parte imóveis durante extrações de petróleo e gás, Mas  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{210}\text{Pb}$  são ligeiramente mais solúveis e podem se mobilizar nas fases fluidas da formação de reservatórios de petróleo e gás que coexistem com água que tem sais dissolvidos (ICRP, 2013).

Um separador é usado para separar correntes de petróleo, gás e água, dependendo da sua densidade (ICRP, 2013). A água produzida é armazenada em tanques de água e geralmente reinjetada de volta em poços de deposição ou recuperação, quando a mistura de

água e petróleo é trazida para a superfície, uma incrustação contendo rádio pode formar dentro de tubos e vasos lama radioativa que se acumula na parte inferior do estoque de petróleo e armazenamento de tanques de água (WNA, 2013). A figura 3 apresenta incrustações de NORM depositado num tubo de produção de petróleo e gás natural.



Figura 3: Incrustações depositadas num tubo de produção de petróleo e gás natural. Fonte: IAEA, Management of NORM Residues, 2013.

O nível de radioatividade relatada varia significativamente, dependendo da radioatividade da rocha do reservatório e da salinidade da água produzida a partir do poço, ou seja, quanto maior a salinidade, mais NORM provavelmente será precipitado, como a salinidade geralmente aumenta com a idade de um poço, os poços velhos tendem a exibir níveis NORM mais elevados do que os mais jovens (WNA 2016). A Tabela 2 apresenta as características do NORM produzido durante a extração de petróleo e gás e algumas medidas indicativas de concentrações.

Tabela 2: NORM na produção de petróleo e gás natural

Radionuclídeo	Gás natural Bq/m <sup>3</sup>	Água produzida Bq/l	Incrustação Bq/g	Borras Bq/g
U-238			0,001-0,5	0,005-0,01
Ra-226		0,002-1200	0,1-15000	0,05-800
Po-210	0,002-0,08		0,02-1,5	0,004-160
Pb-210	0,005-0,02	0,05-190	0,02-75	0,1-1300
Rn-222	5-200.000			
Th-232			0,001-0,002	0,002-0,01
Ra-228		0,3-180	0,05-2800	0,5-50
Ra-224		0,05-40		

Fonte: IAEA, 2010

### 3. INVENTÁRIO DE INSTALAÇÕES DE PETRÓLEO E GÁS NO BRASIL E MOÇAMBIQUE

#### 3.1 Inventários de instalações de petróleo e gás no Brasil

Atualmente o Brasil tem 25 instalações da produção de petróleo e gás natural operacionais, a produção de petróleo e gás natural até maio de 2017 no Brasil foi de aproximadamente 2.653 mil barris por dia e 105 milhões de m<sup>3</sup> por dia, respectivamente, totalizando em torno de 3.312 mil barris de petróleo por dia (ANP, 2017). A produção de petróleo e gás natural esta distribuída em 10 estados, concretamente, Rio de Janeiro (RJ), São Paulo (SP), Espírito Santo (ES), Bahia (BA), Rio grande do Sul (RN), Maranhão (MA), Sergipe (SE), Alagoas (AL), Ceara (CE), Amazonas (AM) como ilustrado na figura 4.

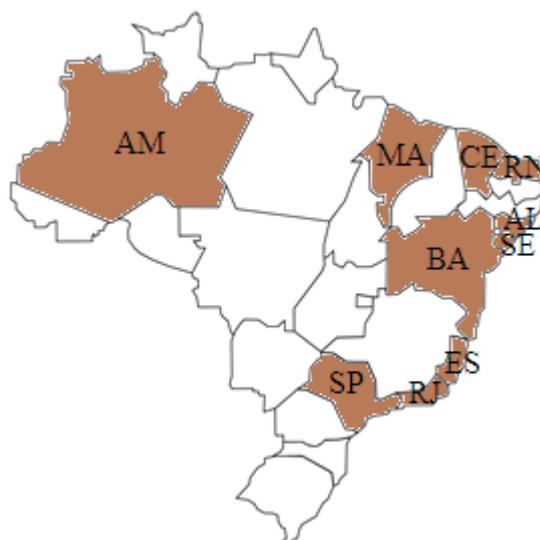


Figura 4. Distribuição da produção de petróleo e gás natural por estado

#### 3.2 Inventários de instalações de petróleo e gás em Moçambique

Moçambique localiza-se na África Austral e faz fronteira com Tanzânia, Malawi, Zâmbia, Zimbabwe, África do sul e Suazilândia (figura 5), tem uma população de aproximadamente 27.128.530 milhões de habitantes (INE, 2017). É um dos países do continente africano com muitos recursos naturais que contribuem com maior percentagem para a economia nacional tais como Gás natural e Petróleo, Carvão, Areias pesadas, Minerais de ferro, Manganês, Titânio, entre outros. Atualmente o Moçambique tem 17 instalações da produção de petróleo e gás natural (INP, 2015).

O sector extrativo tem um potencial para contribuir muito mais para a economia nacional do que aquilo que faz hoje, uma vez que tem atraído grandes investimentos.

A produção de petróleo e gás natural esta distribuída em 3 províncias na região sul na província de Inhambane (IB), região centro na província de Sofala (SF) e região Norte na província de Cabo Delgado (CD) como ilustrado na figura 5.



Figura 5. Distribuição da produção de petróleo e gás natural por província

#### **4. RISCOS DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL, DO PÚBLICO E MEIO AMBIENTE PARA NORM DE PETRÓLEO E GÁS.**

Os radionuclídeos mais comuns são o  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{210}\text{Pb}$ , e a atividade desses radionuclídeos pode atingir valores bastante altos, fazendo-se necessário o controle adequado desses materiais, identificando-se as áreas e tarefas onde pode ocorrer a exposição (Matta, 2001). O risco pode ser ocupacional, público e ambiental.

#### 4.1 Risco da exposição ocupacional

O  $^{226}\text{Ra}$  é um emissor alfa, que pode causar danos a saúde dos trabalhadores devido a inalação e ingestão de poeira contaminada gerada durante a manutenção dos equipamentos e tubos que conduzem o petróleo e gás.

Em particular,  $^{210}\text{Pb}$  é um emissor beta, é uma preocupação apenas quando as áreas internas dos tubos ficam expostas (Matta, 2016).

Na manutenção de rotina devem ser tomados cuidados para reduzir os riscos de contaminação para os trabalhadores e meio ambiente.

O  $^{226}\text{Ra}$  é encontrado na maioria dos campos de petróleo e gás no mundo em diferentes concentrações (CAPP, 2000).

Como a radiação gama emitida pelo  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$  pode entrar em vasos e tubos, sua presença pode ser detectada de fora do equipamento de processo, o Radônio é difícil de detectar, pois apenas dois de seus produtos de decaimento emitem raios gama, tem meia-vida de menos de 30 minutos e são apenas detectáveis quando as instalações operam há pelo menos duas horas (CAPP, 2000).

O  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$  são os radionuclídeos de maior interesse na indústria de petróleo e gás pois tem propriedades similares a do cálcio e pode se alojar nos ossos e pulmão causando câncer.

Segundo IAEA (2010), a avaliação das doses ocupacionais de NORM envolve a análise das vias de exposição. Para trabalhadores na indústria de petróleo e gás, as seguintes vias de exposição devem ser levadas em consideração:

- a) Exposição externa (irradiação) à radiação gama;
- b) Exposição interna (ingestão e inalação).

Os efeitos sobre a saúde associados à exposição externa variam dependendo da quantidade total de energia absorvida, do período de tempo, da taxa de dose e do órgão particular exposto (OGP, 2008).

Segundo IAEA (2010), as taxas de dose dependem da quantidade e atividade de concentrações de radionuclídeos presentes no interior e blindagem fornecida por tubulação. A exposição externa pode ser restrita apenas maximizando a distância e minimizando o tempo durante a exposição.

A radiação alfa tem o maior efeito para exposições internas, porque é a energia relativamente alta e poder de baixa penetração significa que toda a energia da partícula alfa é depositada em uma curta distância (Hamlat, 2000).

## **4.2 Risco da exposição do público**

A exposição do público engloba todas as exposições do público que não sejam de IOE (IAEA, 2010).

O Rádio não sai do corpo rapidamente ao longo do tempo. Por esta razão, todas as exposições devem ser mantidas abaixo dos padrões de exposição reconhecidas (CAPP, 2000).

A exposição excessiva à radiação ao feto pode aumentar o risco de câncer após nascimento. O feto é mais sensível à radiação do que um adulto, de modo que uma mulher que é ou está planejando engravidar deve informar ao seu empregador para garantir que a exposição à radiação do NORM seja minimizada (CAPP, 2000).

Segundo OGP (2008), a exposição crônica aos limites de exposição acima do NORM para o público em geral ou após precauções de segurança inadequadas são tipicamente efeitos retardados, como o desenvolvimento de certas formas de câncer.

Assim os indivíduos do público são expostos através da inalação, ingestão de água (subterrânea ou de superfície) e ingestão de alimentos, quando da deposição inadequada de NORM. A descarga da água produzida pode também oferecer riscos potenciais de exposição aos indivíduos que consomem alimentos produzidos próximos a estes pontos de descarga (Aguar et al., 2013).

## **4.3 Riscos de impacto ambiental do NORM na indústria de petróleo e gás, enfocando a deposição de rejeitos.**

### **4.3.1 Problemas ambientais associados ao NORM na indústria de petróleo e gás**

O manuseio, o armazenamento, o transporte e o uso de equipamentos contaminados com NORM ou de rejeitos sem controles podem levar à disseminação da contaminação NORM e resultar em contaminação de áreas de terra, resultando em exposição do público (OGP, 2008).

Segundo IAEA (2003), os rejeitos sólidos e líquidos são gerados em quantidades significativas durante as vidas operacionais de instalações de petróleo e gás.

Dependendo das concentrações da atividade, eles podem ter impactos radiológicos sobre os trabalhadores, bem como sobre os membros do público que podem estar expostos se os rejeitos estiverem dispersos no meio ambiente (IAEA, 2003). Segundo a IAEA (2003), vários tipos de rejeitos NORM são gerados durante as operações na indústria de petróleo e gás, incluindo:

- a) As borras;
- b) Água produzida;
- c) Os itens contaminados;
- d) Rejeitos provenientes de atividades de tratamento de rejeitos;
- e) Rejeitos provenientes das atividades de descomissionamento.

As concentrações de atividade de radionuclídeos na água produzida são baixas, mas os volumes são grandes. As concentrações de atividade de radionuclídeos em rejeitos sólidos variam de baixo a alto, mas os volumes são muitas vezes pequenos. As meias-vidas longas dos radionuclídeos têm implicações importantes para a gestão de rejeitos sólidos devido aos longos períodos de tempo para os quais o controle pode ser necessário (IAEA, 2003).

#### **4.3.2 Os volumes de rejeitos de NORM e concentrações de atividade**

Segundo IAEA (2010), os volumes de água produzida variam consideravelmente entre as instalações e ao longo da vida de um campo, com uma variação típica de 2400-40000 m<sup>3</sup>/d de petróleo produzindo nas instalações e 1,5-30 m<sup>3</sup>/d para a produção de gás. A água produzida pode conter <sup>226</sup>Ra, <sup>228</sup>Ra e <sup>210</sup>Pb que são os radionuclídeos dominantes em concentrações de até algumas centenas de Becquerels por litro.

Se a injeção de água do mar for usada para manter a pressão do reservatório em produção de petróleo que pode penetrar em poços de produção e aparecer na água produzida, a água produzida contém hidrocarbonetos dissolvidos, uma variação de compostos inorgânicos, amplamente diferentes ocorre na água produzida compreendendo não apenas os elementos de toxicidade de baixo potencial: Na, K, Ca, Ba, Sr e Mg, mas também os elementos mais tóxicos Pb, Zn, Cd e Hg. As implicações para a saúde dos dois últimos são o foco de atenção especial dos órgãos reguladores e convenções internacionais (IAEA, 2010).

### **4.3.3 Volumes e concentrações de rejeitos sólidos de atividade**

Os rejeitos sólidos NORM incluem incrustações, borras. A atividade das concentrações de  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  e seus produtos de decaimento em e incrustação podem variar de menos de 1 Bq/g para mais de 1000 Bq/g. Para comparação, a concentração média de radionuclídeos nas séries de decaimento de  $^{238}\text{U}$  nos solos é cerca de 0,03 Bq/g. Uma instalação de produção pode gerar quantidades de incrustações variando de menos de 1 tonelada a mais de 10 toneladas, dependendo do tamanho e outras características, a descontaminação dos equipamentos produzirá rejeitos sólidos ou líquidos, o último também pode estar contaminado com material não radioativo se forem utilizados métodos químicos.

A deposição de incrustações de sulfato e carbonato em tubulações de produção de gás, válvulas, as bombas e os tubos de transporte às vezes são acompanhados pelo mercúrio mobilizado da rocha do reservatório. Depósitos de  $^{210}\text{Pb}$  têm concentrações muito altas, borras retiradas das instalações de produção de petróleo e gás contêm não só areia, limo e argila do reservatório, mas também material perigoso não radioativo (IAEA, 2010).

### **4.3.4 Gestão de rejeitos de NORM**

A figura 6 ilustra o isolamento relativo de rejeitos contendo NORM. O American Petroleum Institute preparou uma deposição NORM que inclui uma avaliação de diferentes opções de deposição como ilustrado na Figura 6. Um método adicional de eliminação é a descarga direta no mar das incrustações que foram moídas a um tamanho pequeno. Embora, em princípio, esta abordagem de gerenciamento diluída e dispersa deve levar a uma saúde mínima de impactos, os dados mostraram que grandes montes da incrustação podem se acumular sob uma plataforma de perfuração e produção ou outras abordagens envolvendo mistura de NORM (IAEA, 2003). A descarga direta no mar não é feito no Brasil.

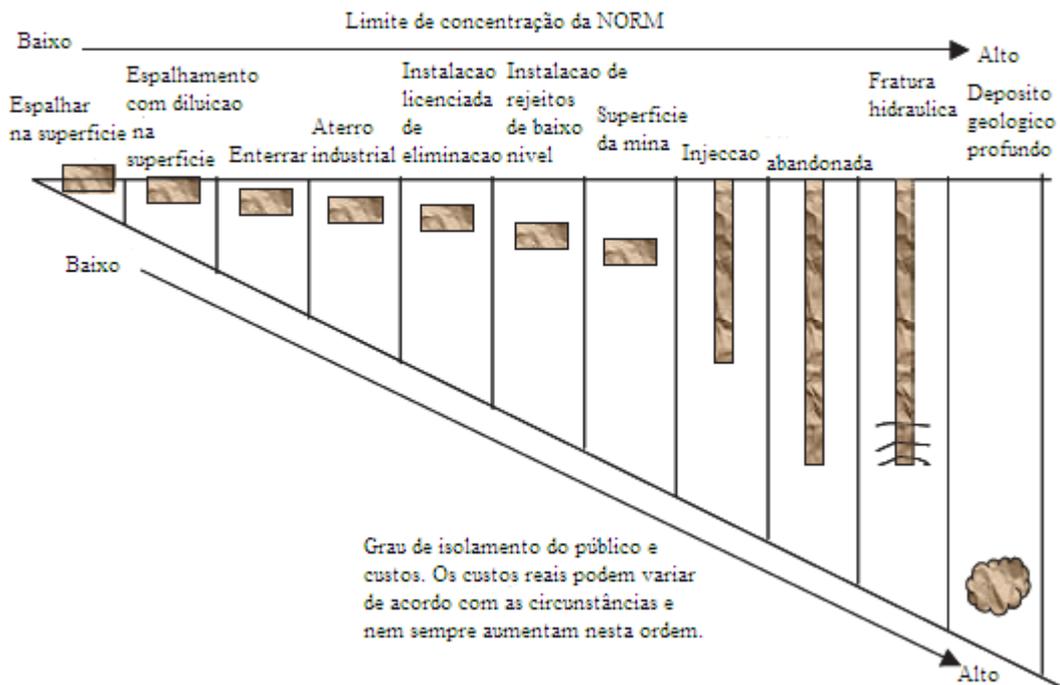


Figura 6. Alternativas de eliminação de rejeitos NORM. Eliminação de rejeitos mais concentrados requer maior isolamento de rejeitos.

Nesta abordagem, a concentração de NORM é diluída no solo até um nível considerado aceitável com base em regulamentos.

Abordagens de gestão para a água produzida que é separada do petróleo e o gás variam de local para local. Em alguns casos, tanto em alto mar, a água separada é reinjectada na formação de rolamento de petróleo/gás.

No entanto, em outros casos, é descarregado em lagoas de superfície para evaporação ou descarregado diretamente no mar no caso de plataformas terrestres. Quando descarregado em tanques de evaporação, o NORM resultante contendo borras e sal requer tratamento e eliminação adequados.

O descomissionamento das instalações de produção de petróleo e gás dá origem a um fluxo de rejeitos de materiais metálicos contaminados, principalmente tubos e acessórios (IAEA, 2003).

## 5. LIMITES DE DOSES OCUPACIONAIS E AMBIENTAIS PARA NORM NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO E GÁS ENTRE OS PAÍSES MEMBROS DA IAEA.

Para comparação dos limites de doses ocupacionais e ambientais de NORM fez-se a seleção dos países que tenham regulamento sobre NORM e são referenciados em alguns manuais da IAEA conforme indicado na tabela 3:

Tabela 3. Panorama dos limites de doses ocupacionais e ambientais de NORM

País	Limite de dose Ocupacional (mSv/a)	Limite de dose para o Público (mSv/a)	Níveis de isenção de $^{226}\text{Ra}$ e $^{228}\text{Ra}$ (Bq/g)
Inglaterra	20	1	<1
Canada	20	1	<1
Estados Unidos da América	50	1	<0,2
Brasil	20	1	<10
IAEA	20	1	<1 mSv/a <10
Moçambique	20	1	

Fonte: NORM guia prático, 2016.

## 6. CONCEITOS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA RELACIONADOS COM NORM.

### a) Exposição Ocupacional

O BSS define a exposição ocupacional como “Todas as exposições de trabalhadores decorridos durante o seu trabalho” (IAEA, 2010).

### b) Exposição do Público

Engloba todas as exposições que não sejam ocupacionais e médica de pacientes (IAEA, 2010).

### c) Restrições de dose

É um limite superior na dose anual que os membros do público ou os trabalhadores expostos incidentalmente devem receber da operação planejada de qualquer fonte. Para garantir que o público e os trabalhadores incidentalmente expostos não excedam o limite de dose anual de 1 mSv (CNSC, 2011).

#### **d) Dispensa**

Retirada do controle regulatório de materiais ou objetos radioativos associados a uma prática autorizada (CNEN-NN-3.01, 2014), se as fontes cumprem com critérios relativos a dose ex: Detectores de fumaça, rejeitos de indústria minero-industrial (NORM), rejeitos oriundos de medicina nuclear, implica remoção do material radioativo. Os níveis podem estar estabelecidos tanto em termos de doses quanto em termos de concentração.

#### **e) Exclusão**

Inaplicabilidade de controle regulatório para *exposições* cuja intensidade ou probabilidade de ocorrência não seja suscetível a tal controle, a critério da *CNEN* (CNEN-NN-3.01, 2014). Exposição impossível de controlar ex:  $^{40}\text{K}$  no corpo humano, radiação cósmica na superfície da terra.

#### **f) Isenção**

Ato regulatório que isenta uma prática ou uma fonte associada a uma prática de posterior controle regulatório, sob o ponto de vista de proteção radiológica (CNEN-NN-3.01). Aplica-se a quantidades da ordem de 1 tonelada. Não requer controle regulatório (notificação, registro, licença).

### **6.1 Situações de exposições**

Três tipos de situação de exposição são definidos na Publicação 103 da ICRP para os fins de estabelecer princípios de proteção contra radiação, nomeadamente, situações de exposição planejada, situações de exposição de emergência e situações de exposição existentes (IAEA, 2010). No caso de NORM na indústria de petróleo e gás natural duas situações devem ser consideradas:

#### **6.1.1 Situações de exposição planejadas**

Situações de exposição planejadas podem originar exposições que se prevê que ocorram (exposições normais) e exposições que não são antecipadas a ocorrer (exposições potenciais) (IAEA, 2010).

### **6.1.2 Situações de exposição existentes**

Situações de exposição existentes são situações de exposição que já existem quando uma decisão sobre controle deve ser tomada, incluindo situações de exposição prolongada após emergências. São muitos tipos de situações de exposição existentes que podem causar exposições altas o suficiente para justificarem ações de proteção contra radiações, ou pelo menos sua consideração. Mas também existem situações de exposição existentes feitas pelo homem, como resíduos no ambiente resultante das emissões de radionuclídeos.

## **7. RECOMENDAÇÕES INTERNACIONAIS, LEGISLAÇÃO E REGULAMENTAÇÃO BRASILEIRA, REGULAMENTAÇÃO DE MOÇAMBIQUE RELACIONADOS A NORM, ENFOCANDO A ÁREA DE PETRÓLEO E GÁS.**

### **7.1 As recomendações da IAEA**

O primeiro relatório de NORM associados a petróleo e gás apareceu em 1904. Relatórios posteriores descrevem a ocorrência de  $^{226}\text{Ra}$  em reservatório de água de campos de petróleo e gás e nos anos 70 e 80 várias observações levaram a um renovado interesse. Os aspectos radiológicos desses fenômenos, os resultados de monitoramento e análises e os desenvolvimentos de diretrizes para a segurança da radiação estão agora reportados extensivamente.

#### **7.1.1 Safety Reports Series n° 34 “ Radiation Protection Series the Management of Radioactive Waste in Oil and Gas Industry”.**

Em Novembro de 2003 foi publicada o Safety Reports Series n° 34 “ *Radiation Protection Series the Management of Radioactive Waste in Oil and Gas Industry*”, com o objetivo de abordar os problemas associados à proteção contra radiações da saúde radiológica, a segurança e o bem-estar dos trabalhadores, o público e o meio ambiente, gestão segura de resíduos radioativos, treinamento em segurança de radiação, eliminação segura de resíduos sólidos, descarga de água contaminada, liberação dos componentes descontaminados, as responsabilidades dos órgãos reguladores, operadores e trabalhadores, armazenamento, deposição de resíduos radioativos, descomissionamento das instalações de petróleo e gás e promover um entendimento comum entre a indústria e órgãos reguladores.

Além disso, procedimentos que envolvam a exposição à radiação devem ser inspecionados como parte do processo de aquisição de autorização para determine se as práticas seguras aprovadas estão em uso e verifica que ações corretivas foram implementadas.

### **7.1.2 Safety Standards Series nº. GSG-1 “Classification of Radioactive Waste”**

Em novembro de 2009, foi publicada Safety Standards Series nº. GSG-1, com objetivos, critérios e requisitos para a proteção da saúde humana e do meio ambiente que se aplicam à localização, projeto, construção, comissionamento, operação e descomissionamento de instalações para o gerenciamento de rejeitos radioativos e os requisitos que devem ser atendidos para garantir a segurança de tais instalações e atividades.

Esta publicação de requisitos de segurança aplica-se à disposição inicial na gestão de rejeitos radioativos de todos os tipos e abrange todas as etapas em seu gerenciamento de sua geração até sua deposição final, incluindo seu processamento (pré-tratamento, tratamento e condicionamento), armazenamento e transporte.

Esses rejeitos podem surgir do comissionamento, operação e descomissionamento de instalações energia nuclear, o uso de radionuclídeos em medicina, indústria, agricultura, pesquisa e educação, o processamento de materiais que contém radionuclídeo de ocorrência natural e a remediação de áreas contaminadas. Esta publicação estabelece os requisitos de segurança aplicáveis a todas as instalações e atividades envolvidas na gestão de recursos de rejeitos radioativa acima, seis classes de rejeitos são derivados e utilizados como base para o esquema de classificação: rejeito isento (EW), rejeito de meia vida muito curta (VSLW), rejeito de nível muito baixo (VLLW), rejeito de baixo nível (LLW), rejeito de nível intermediário (ILW), rejeito de alto nível (HLW).

Para a indústria de petróleo e gás aplica-se o “*rejeito de nível muito baixo (VLLW)*” descrito na tabela4.

Tabela4. Sistema de classificação

Classe de rejeito	Característica	Opções de deposição
Rejeito de Nível Muito Baixo (VLLW)	Possui radionuclídeos com concentração de atividade próximas aos níveis de dispensa. Não atende os critérios de isenção (EW). Pode possuir concentrações de radionuclídeos de meia vida longas muito limitadas. Ex.: Descomissionamento de instalações nucleares, NORM.	Não precisa de um alto nível de contenção e isolamento. Deposição em instalações tipo aterro sanitário, próximo a superfície, com controle regulatório limitado. Ex. solo e material de construção com baixos níveis de concentração de atividade.

### 7.1.3 GSR-3 “Radiation Protection and safety of Radiation Sources: International Basic safety Standards”

Em julho de 2014, a IAEA publicou o GSR-3 “*Radiation Protection and safety of Radiation Sources: International Basic safety Standards*”, estabelece os requisitos que devem ser cumpridos para garantir a proteção das pessoas e o ambiente, agora e no futuro. O GSR-3 estabelece como requisito para isenção o limite de dose para os trabalhadores até 1 mSv/a acima deste devem ser regulados e para membros do público o limite de dose é de 1 mSv/a, mas valores de referência de 0.3 mSv/a devem ser adotados considerando o princípio ALARA na indústria de petróleo e gás, os requisitos de isenção estão especificados na tabela 5:

Tabela 5. Concentrações de níveis de isenção de atividades de radionuclídeos

Radionuclídeo	Concentração de atividade para isenção (Bq/g)
<sup>226</sup> Ra	10
<sup>228</sup> Ra	10

E para dispensa de material radioativo segue na tabela 6:

Tabela 6. Níveis de Dispensa de radionuclídeos

Radionuclídeo	Concentração de atividade (Bq/g)
Serie de urânio e tório	1

### 7.1.4 Specific Safety Requirements nº SSR-6 “Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material”

Em Outubro de 2012, a IAEA publicou o Specific Safety Requirements nº SSR-6 “*Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material*” com o objetivo de estabelecer padrões de segurança que forneçam um nível aceitável de controle da radiação. O NORM segundo o SSR-6 é classificado como material de baixa de atividade específica (LSA I). Este regulamento aplica-se ao transporte de material radioativo por todos os modos em terra, água ou no ar, neste caso os valores para isenção para o NORM de indústrias de petróleo e gás estão descritos na tabela7:

Tabela 7. Valores de radionuclídeos

Radionuclídeo	Concentração de atividade para isenção (Bq/g)	Limite de atividade para isenção de remessa (Bq)
$^{226}\text{Ra}$	10	$10^4$
$^{228}\text{Ra}$	10	$10^5$

## 7.2 Legislação e regulamentação Brasileira

### 7.2.1 Legislação Brasileira

A Lei 4.118/62 — alterada pelas leis nº 6.189/74, e nº 6.571/78 — destaca-se pela criação da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), Já a Lei nº 6.189/74 — modificada pela Lei nº 7.781/89 — estabelece as atividades nucleares por meio da CNEN, como órgão superior de orientação, planejamento, supervisão, fiscalização e de pesquisa científica, estabelece também a Competência da CNEN:

- a) Estabelecer normas e conceder licenças e autorizações para o comércio interno e externo:
  - De minerais, minérios, materiais, equipamentos, projetos e transferência de tecnologia de interesse para a energia nuclear;
  - De urânio cujo isótopo 235 ocorra em percentagem inferior ao encontrado na natureza;
- b) Expedir normas, licenças e autorizações relativas a:
  - Instalações nucleares;

- Posse, uso, armazenamento e transporte de material nuclear;
  - Comercialização de material nuclear, minérios nucleares e concentrados que contenham elementos nucleares.
- c) Expedir regulamentos e normas de segurança e proteção relativas:
- Ao uso de instalações e de materiais nucleares;
  - Ao transporte de materiais nucleares;
  - Ao manuseio de materiais nucleares;
  - Ao tratamento e à eliminação de rejeitos radioativos;
  - À construção e à operação de estabelecimentos destinados a produzir materiais nucleares e a utilizar energia nuclear

### 7.2.2 Regulamentos da CNEN aplicados a NORM na indústria de petróleo e gás

As normas de segurança radiológica aplicadas a NORM na indústria de petróleo e gás são as seguintes:

Tabela 8. Normas CNEN

❖ NORMA CNEN-NN-4.01:	Maio/2005- Requisitos de Segurança e Proteção Radiológicas para instalações minero-industriais;
❖ NORMA CNEN-NN-8.01:	Abril/2014- Gerência de Rejeitos Radioativos de Baixos e Médios Níveis de Radiação;
❖ NORMA CNEN-NN-8.02:	Maio/2014- Licenciamento de Depósitos de Rejeitos Radioativos de Baixos e Médios Níveis de Radiação;
❖ NORMA CNEN-NN-5.01:	Agosto/1988- Transporte de Material radioativo

#### 7.2.2.1 Norma CNEN-NN-4.01: Maio/2005- Requisitos de Segurança e Proteção Radiológicas para instalações minero-industriais

Estão isentas do cumprimento dos requisitos desta norma as instalações que apresentam atividade específica das substâncias radioativas sólidas naturais ou concentradas

inferior a 10 Bq/g (0,27nCi/g) e a dose a que possam estar submetidos os seus trabalhadores seja inferior a 1mSv/ano.

Na Norma CNEN-NN-4.01 as instalações são classificadas em 3 categorias:

**Instalações da categoria I-** São as instalações que apresentam atividade específica das substâncias radioativas sólidas naturais ou concentradas superior a 500 Bq/g (0,014  $\mu$ Ci/g).

**Instalações da categoria II-** São as instalações que apresentam atividade específica das substâncias radioativas sólidas naturais ou concentradas compreendidas entre 500 Bq/g (0,014  $\mu$ Ci/g) e 10 Bq/g (0,27nCi/g).

**Instalações da categoria III-** São as instalações que apresentam atividade específica das substâncias radioativas sólidas naturais ou concentradas inferior a 10 Bq/g (0,27nCi/g) ou que a dose a que possam estar submetidos os seus trabalhadores seja superior a 1 mSv por ano, acima do nível de radiação de fundo local.

A Norma 4.01 estabelece requisitos de proteção radiológica em função da categoria da instalação:

**a) Para instalações da Categoria I**

São necessárias medidas de segurança e radioproteção para evitar exposições do indivíduo do público acima de 1mSv/a. Informações são requeridas:

- Informações preliminares;
- Relatório de Análise de Segurança (RAS).

**b) Para instalações da Categoria II**

Podem ser necessárias medidas de segurança e radioproteção para evitar exposições do indivíduo do público acima de 1mSv/a. Informações são requeridas:

- Informações preliminares;
- Relatório de Análise de Segurança Simplificado (RASS).

**c) Para instalações da Categoria III**

Não são necessárias medidas de segurança e radioproteção para evitar exposições do indivíduo do público acima de 1mSv/a). Pouca informação requerida:

- Informações preliminares.

### **7.2.2.2 Norma CNEN-NN-8.01: Abril/2014- Gerência de Rejeitos Radioativos de Baixos e Médios Níveis de Radiação**

Norma CNEN-NN-8.01 estabelece os critérios gerais e requisitos básicos de segurança e proteção radiológicos relativos à gerência de rejeitos radioativos de baixos e médios níveis de radiação, bem como de rejeitos radioativos de meia-vida muito curta.

Esta Norma aplica-se à gerência de rejeitos radioativos da Classe 1 e da Classe 2 acondicionados em embalagens.

De acordo com a abordagem descrita a acima, oito classes de rejeitos são derivados e utilizados como base para o esquema de classificação: Classe 0, Classe 1, Classe 2, Classe 2.1, Classe 2.2, Classe 2.3, Classe 2.4, Classe 3.

Para a indústria de petróleo e gás aplica-se o “*Rejeito de Baixo e Médio Nível-Radionuclídeo Natural (RBMN-RN)*”, são rejeitos de extração e exploração de petróleo, contendo radionuclídeos das séries do urânio e tório em concentrações de atividade ou atividades acima dos níveis de dispensa estabelecidos no Anexo VI da Norma.

### **7.2.2.3 Norma CNEN-NN-8.02: Maio/2014- Licenciamento de Depósitos de Rejeitos Radioativos de Baixos e Médios Níveis de Radiação**

Estabelece os critérios gerais e requisitos básicos de segurança e proteção radiológicos relativos ao licenciamento de depósitos iniciais, intermediários e finais de rejeitos radioativos de baixos e médios níveis de radiação.

Os rejeitos radioativos das Classes 1 e 2 devem ser gerenciados de modo a cumprir os requisitos estabelecidos na Norma CNEN NN 8.01 Gerência de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação. Esta Norma não se aplica ao licenciamento de depósitos de rejeitos radioativos das Classes 2.2 e 2.3 que não estejam acondicionados em embalagens. Os rejeitos radioativos das Classes 2.2 e 2.3 devem ser depositados em depósitos próximos à superfície ou em profundidade definida pela análise de segurança.

Os depósitos de rejeitos radioativos são classificados em quatro tipos:

**a) Depósito inicial**

Destinado ao armazenamento de rejeitos radioativos cuja responsabilidade para administração e operação é do titular, pessoa jurídica responsável legal pela instalação geradora dos rejeitos;

**b) Depósito intermediário**

Destinado a receber e, eventualmente, acondicionar rejeitos radioativos, objetivando a sua remoção para depósito final, em observância aos critérios de aceitação estabelecidos na Norma CNEN NN 6.09 Critérios de Aceitação para Deposição de Rejeitos Radioativos de Baixos e Médios Níveis de Radiação;

**c) Depósito final**

Destinado à deposição final de rejeitos radioativos;

**d) Depósito provisório**

Destinado a receber rejeitos radioativos provenientes de acidentes nucleares ou radiológicos.

**7.2.2.4 Norma CNEN-NN-5.01: Agosto/1988- Transporte de Material radioativo**

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, compreendendo:

- a) Especificações sobre materiais radioativos para transporte;
- b) Seleção do tipo de embalado;
- c) Especificação dos requisitos de projeto e de ensaios de aceitação de embalados;
- d) Disposições pertinentes ao transporte propriamente dito; e
- e) Responsabilidades e requisitos administrativos.

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

- a) Ao transporte por terra, água ou ar;
- b) Ao projeto, fabricação, ensaios e manutenção de embalagens;
- c) À preparação, expedição, manuseio, carregamento, armazenagem em trânsito e recebimento no destino final de embalados; e,
- d) Ao transporte de embalagens vazias, que tenham encerrado material radioativo.

Esta Norma não se aplica ao transporte de material radioativo que se realize:

- a) No interior de instalações nucleares ou radiativas, a ser efetuado e supervisionado de acordo com procedimentos elaborados pelo Supervisor de Radioproteção da instalação;
- b) através de seres humanos nos quais tenham sido implantados marca-passo cardíaco ou outros aparelhos radioisotópicos ou que tenham sido tratados com produtos radiofarmacêuticos;
- c) Tendo o material radioativo como parte integrante do *meio de transporte*.

Para efeito de transporte de materiais radioativos prevalece a seguinte classificação:

- a) Atividade Específica  $>2$  nCi/g classificado como material radioativo para fins de transporte
  - i. Sob forma especial  $A_1$  (Fonte Selada encapsulada em metal e Sólido);
  - ii. Outras formas  $A_2$  (Objeto Contaminado na superfície-OCS, Baixa atividade Específica-BAE, Materiais Físseis, Fontes líquidas (Medicina nuclear) Fontes sólidas não seladas (para-raios), Fontes Gasosas;
- b) Atividade Específica  $\leq 2$  nCi/g classificado como material não radioativo para fins de transporte.

No caso da indústria de petróleo e gás aplica-se a classificação de “*Baixa Atividade Específica- BAE*”.

Os requisitos desta Norma se aplicam às exposições ocupacionais, exposições médicas e exposições do público, em situações de exposições normais ou exposições potenciais.

## **7.3 Legislação e Regulamentação de Moçambique**

### **7.3.1 Legislação de Moçambique**

A lei 8/2017-Lei de Energia Atômica- destaca-se pela criação da *Agência Nacional de Energia Atômica (ANEA)*- estabelece o regime jurídico que rege o uso seguro e pacífico da energia nuclear, sua aplicação nas radiações ionizantes, a proteção do indivíduo, dos bens e do meio ambiente de eventuais acidentes e atos dolosos que envolvam material radioativo.

A presente Lei aplica-se a todas as atividades ou práticas que envolvam o uso pacífico de energia nuclear ou radiações ionizantes realizadas em Moçambique.

As atividades referidas incluem, em especial:

- a) As que envolvam o uso de material nuclear;
- b) As do ciclo de combustível nuclear, incluindo as de investigação e desenvolvimento e outras relacionadas;
- c) As de produção e o uso de fontes para fins médicos, industriais, veterinários, agrícolas, educacionais, formação e investigação, incluindo as atividades relacionadas com esses usos que causem, ou possam vir a causar exposição a radiações ou a materiais radioativos;
- d) Outras conexas a radiações nucleares.

As fontes radioativas previstas nesta Lei incluem, em especial:

- a) Os materiais radioativos e os dispositivos de irradiação que contenham substâncias radioativas ou produzam radiações, em especial, em bens de consumo, em fontes seladas e não seladas e geradores de radiação, incluindo equipamento de radiografia móvel;
- b) As instalações e fontes que contenham substâncias radioativas ou dispositivos de irradiação, incluindo instalações de irradiação, minas, instalações de processamento de minérios radioativos, instalações de processamento de substâncias radioativas, instalações nucleares e instalações de gestão de resíduos radioativos;
- c) Qualquer outra fonte que seja incluída nos regimes de proteção e segurança.

A lei 8/2017 tem como objetivo:

- a) Permitir a utilização benéfica e pacífica da energia nuclear e sua aplicação;
- b) Garantir que o Estado cumpra com as suas obrigações nos termos dos instrumentos Internacionais relevantes, em particular o Tratado de Não-Proliferação de Armas Nucleares (TNP), o Tratado Africano de Zona Livre de Armas Nucleares, o Acordo entre o Estado e a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) para a aplicação do Acordo de Salvaguardas no âmbito do Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares e outros Protocolos adicionais;
- c) Assegurar a proteção adequada dos indivíduos, da sociedade e do meio ambiente, no presente e no futuro, contra os efeitos nocivos das radiações ionizantes;
- d) Garantir a segurança das fontes de radiação e de resíduos radioativos, bem como a Segurança e a proteção das fontes radioativas;
- e) Definir um mecanismo que assegure o licenciamento, controle e sanção no âmbito das atividades relativas à energia atômica.

No âmbito da regulação, licenciamento e desenvolvimento competem a ANEA:

- a) Assistir o Governo na formulação de políticas, estratégias e respectivo quadro legal de Proteção e segurança contra a exposição a radiações ionizantes e das fontes de Radiação;
- b) Elaborar, propor regulamentos e aprovar procedimentos específicos necessários à execução da presente Lei;
- c) Rever e avaliar os pedidos de licença, emitir, rever, alterar, suspender ou revogar as referidas licenças relacionadas com as atividades e práticas que envolvam radiações ionizantes;
- d) Avaliar os pedidos e emitir pareceres sobre os processos de emissão, revisão, alteração, suspensão ou revogação de autorizações profissionais para os trabalhadores envolvidos em atividades sujeitas à exposição a radiações ionizantes ou cujo trabalho envolva o manuseamento de fontes radioativas;
- e) Propor medidas de regulamentação para a segurança de materiais nucleares e outros radioativos e os seus recursos associados, incluindo medidas para a detecção, prevenção e resposta à atos não autorizados ou mal-intencionados que envolvam tais materiais ou instalações;
- f) Definir os níveis de exposição das pessoas às radiações ionizantes que estejam fora do âmbito de aplicação da presente Lei;

- g) Participar na definição da Linha de Base de Ameaça para a implementação das disposições de segurança nuclear;
- h) Estabelecer mecanismos e procedimentos adequados de informação e consulta do público e outras partes interessadas sobre o processo regulatório e segurança, saúde e aspectos ambientais das atividades reguladas e práticas, incluindo os incidentes, acidentes e ocorrências anormais;
- i) Propor ao Governo a fixação de taxas das licenças de atividades e práticas no âmbito da presente Lei;
- j) Promover o desenvolvimento de infraestruturas que permitam o manuseamento seguro de materiais e fontes de radiações ionizantes.

Na lei 8/2017 algumas praticas são consideradas proibidas:

- a) A importação de resíduos radioativos para qualquer finalidade;
- b) A adição intencional de substâncias radioativas na produção de géneros alimentícios, brinquedos, adornos pessoais e cosméticos, ou a importação ou exportação de produtos nessas condições;
- c) O fabrico ou aquisição de armas nucleares e outros engenhos explosivos;
- d) A recepção de qualquer ajuda para o fabrico de armas nucleares e outros engenhos explosivos.
- e) A posse, o transporte ou a utilização de material radioativo ou potencialmente radiativo, sem a devida licença ou autorização da Autoridade Reguladora.

### **7.3.2 Regulamentos da ANEA aplicados a NORM na indústria de petróleo e gás**

Moçambique não dispõe de regulamentos sobre NORM, a ANEA poderá apoiar-se a lei 8/2017 e regulamentos estabelecidos pela IAEA sobre NORM.

## 8. METODOLOGIA

Para o alcance do objetivo deste trabalho a metodologia usada consistiu em duas etapas: revisão da bibliografia relacionada a NORM e atividade de laboratório de medida de NORM.

Na 1ª etapa, de revisão da bibliografia relacionada a NORM, o método utilizado no estudo foi a pesquisa qualitativa por ter sido uma investigação de nível descritivo. Para contemplar a investigação, realizou-se análise em diversos artigos, revistas, regulamentos técnicos, normas, leis, recomendações nacionais e internacionais, buscando-se assuntos pertinentes ao tema a ser explorado no estudo em questão. À metodologia baseou-se na comparação dos limites de doses ocupacionais, do público e ambiental para o NORM na indústria de petróleo e gás entre os países membros da IAEA, não apenas na comparação, mas também nas recomendações internacionais IAEA, a legislação e regulamentação brasileiras, a regulamentação de Moçambique sobre NORM, enfocando a área de petróleo e gás. Procurou-se estabelecer requisitos de proteção e segurança radiológica para NORM para o manuseio de NORM, critérios de gestão de rejeitos de NORM para Moçambique, limites de dose para transporte. Ainda na revisão bibliográfica foram abordados regulamentos da CNEN abordando os requisitos de rejeitos de NORM disponibilizando formulários (Anexo I e II) para o controle regulatório entre as demais normas abordadas ao longo do trabalho.

Na 2ª etapa, a atividade de laboratório de medida de NORM, foram realizadas medidas em 3 amostras de borra de petróleo para a determinação do rádio  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$ .

Para tal, foi realizada a preparação das 3 amostras para análise por espectrometria gama no detector de Germânio Hiper-puro (HPGe), realizando a devida calibração em energia e fazendo a curva de eficiência do detector, usando fonte radioativa de  $^{152}\text{Eu}$ .

As análises realizadas para determinar as concentrações de atividades de  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$  foram efetuadas seguindo o processo seguinte:

### 8.1. Determinação e análise de atividade de radioisótopos de NORM por espectrometria gama

Segundo Testa (2001) os radionuclídeos mais importantes presentes em borras e incrustações são  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$  são altamente tóxicos, pertence as séries de urânio e tório respectivamente. Outro radionuclídeo importante é o  $^{210}\text{Pb}$  aparece nas instalações de produção

de gás. Para determinação e análise de atividade de radioisótopos de NORM nas borras de petróleo utiliza-se o método de espectrometria gama cujo radionuclídeos de interesse são  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$ .

Os isótopos de rádio estão frequentemente presentes em produtos de resíduos industriais de NORM. Considerando a toxicidade de diferentes radionuclídeos, os isótopos de rádio são importantes porque eles podem ser facilmente incorporados nos ossos devido a propriedades semelhantes aos do cálcio e produz radionuclídeos de alto teor específico de atividade. Para o público em geral, o consumo de alimentos e água contendo rádio pode levar à acumulação desses radionuclídeo (IAEA, 2010).

## **8.2 A espectrometria gama**

A IAEA (2010) relata que a espectrometria gama é um método que permite a simultânea determinação de muitos radionuclídeos em uma amostra, sem a necessidade de separações radioquímicas complicadas e demoradas, como realizadas para espectrometria alfa. No entanto, é limitada pelas fracas probabilidades de emissão de muitos radionuclídeos, a eficiência relativamente baixa do detector de Germânio Hiper-puro (HPGe).

A espectrometria gama depende da geração de um pulso eletrônico, proporcional em magnitude para as emissões de raios gama produzida a partir da decomposição radioativa de um material radioativo a ser medido. Cada material radioativo que emite radiação gama tem uma característica que pode ser usada tanto para identificar qualitativamente o radionuclídeo presente, e estabelecer quantitativamente a concentração de atividade do material. A espectrometria permite a separação de fotopicos próximos (IAEA, 2010).

## **8.3 Preparação da amostra de borra de petróleo**

A determinação do rádio  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$  pode ser feita pelo método directo dos raios gama (186,10 KeV), no entanto esse valor está próximo ao valor do  $^{235}\text{U}$  (185,72) tornando-se inviável a determinação do  $^{226}\text{Ra}$  (Araújo, 2005).

A medida utilizada no IRD/CNEN é o método indireto pelos seus filhos, para isso a amostra sólida é colocada num pote com geometria cheia, de 10 cm de comprimento, de material polietileno (figura 7).



Figura7. Preparação da amostra no pote

O pote é pesado contendo a amostra, em seguida é selado com papel vegetal todo ele para que não haja evaporação do gás radônio (figura 8).



Figura 8. Pesando o pote com a amostra dentro

A amostra é guardada por 30 dias para que seja atingido o equilíbrio secular entre o  $^{214}\text{Bi}$  e  $^{214}\text{Pb}$ , isto é, “o Equilíbrio Secular ocorre quando a meia-vida do pai é muito maior que a do filho, logo as atividades dos pais e filhos tornam-se exatamente iguais”.

São utilizados o  $^{214}\text{Bi}$  e  $^{214}\text{Pb}$  porque, além de emitir gama, tem menos interferência dos outros radionuclídeos e as energias são distintas. O  $^{210}\text{Pb}$  tem uma energia muito baixa estando logo no início do espectro e sofre influências dos outros radionuclídeos.

Após decorrido esse tempo a amostra é levada para contagem num espectrômetro gama de Germânio Hiper-puro (HPGe) como ilustrado na figura 9.



Figura 9. Contagem da amostra no detector HPGe-IRD/CNEN

O  $^{226}\text{Ra}$  pode ser determinado através de  $^{214}\text{Pb}$  (351 Kev) e  $^{214}\text{Bi}$  (609 Kev) e o  $^{228}\text{Ra}$  a partir de  $^{228}\text{Ac}$ , usando o tempo de contagem de 1h-3600s (Araújo, 2005).

#### 8.4 Detector de Germânio Hiper-puro

Os detectores modernos de Germânio Hiper-Puro (HPGe) estão normalmente disponíveis com uma resolução máxima de largura total máxima de aproximadamente 2 keV no 1332 KeV fotopico de cobalto ( $^{60}\text{Co}$ ). Detectores de germânio tem um intervalo de energia de cerca de 5 keV para vários MeV com 20% de eficiência. O sistema básico de espectrometria gama consiste no detector de cristal (mantido em aproximadamente  $-190^{\circ}\text{C}$  por nitrogênio líquido para refrigeração para reduzir o ruído eletrônico (figura 10), uma integral pré-amplificador, um fornecimento de alta tensão, amplificador e analisador multicanal, é operado através de um sistema de computador externo software Canberra TM (Gennie 2000).



Figura 10. Nitrogênio líquido usado para refrigeração

O detector foi utilizado para contar as amostras. A energia e calibrações de eficiência foram realizadas com características padrão de  $^{152}\text{Eu}$ , fonte esta que abrange todo espectro (figura 11) e tem energias bem distintas, pode-se usar  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{60}\text{Co}$  mas estes não cobrem todo espectro, quanto maior a faixa de canais de espectro melhor é a eficiência (figura 12).

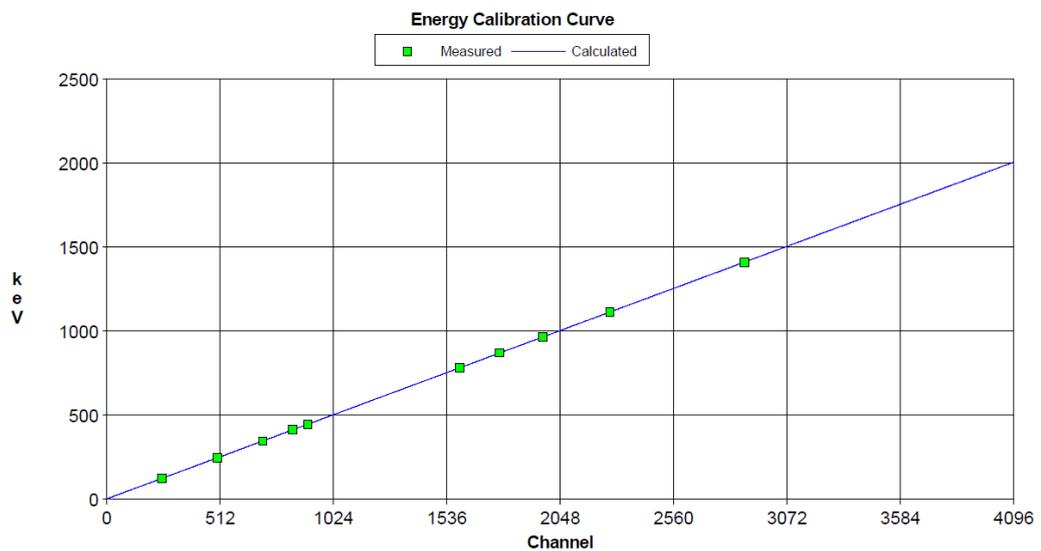


Figura 11. Calibração em energia com fonte de  $^{152}\text{Eu}$

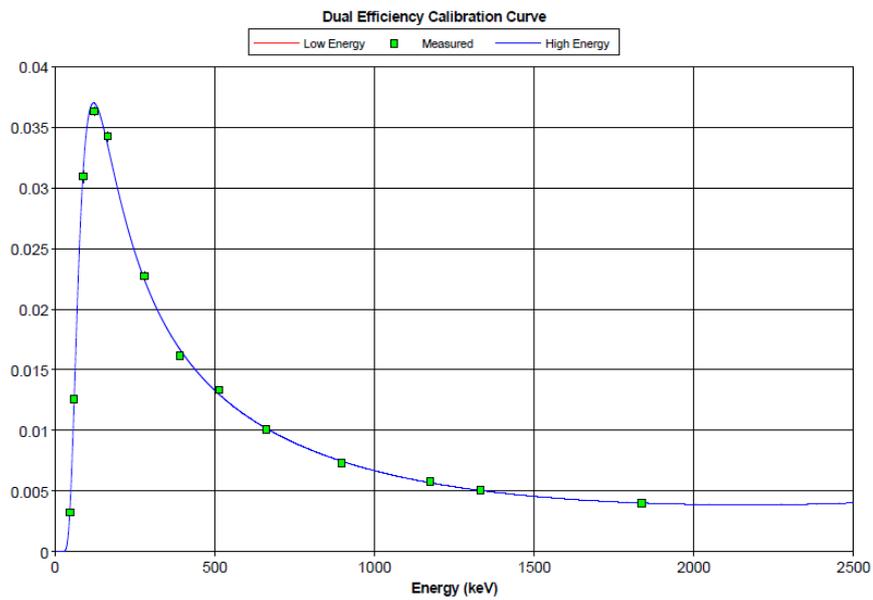


Figura 12. Curva de eficiência do detector

A blindagem do detector é feita com chumbo para blindar a radiação externa (de fundo e cósmica) com apoio de cobre para reduzir a interferência de raio X (IAEA, 2010).

## **9. RESULTADOS**

Os resultados e discussão foram obtidos de acordo com os objetivos. Foi feita uma análise dos requisitos das normas da IAEA e do Brasil de medidas contra exposição externa, interna, métodos de descontaminação, medidas de proteção radiológica, critérios a serem adotados para limite de dose, gestão de rejeitos radioativos e transporte.

São apresentados os resultados de análise por espectrometria gama realizada nas 3 amostras de borra de petróleo no IRD/CNEN.

### **9.1 Medidas de proteção radiológica que devem ser seguidos para a segurança dos trabalhadores e dos membros do público para o manuseio de NORM;**

#### **9.1.1 Medidas contra exposição externa**

- ✓ As incrustações podem ser medidas sem abrir o equipamento otimizando a distancia e minimizar a duração da exposição usando o monitor de radiação;
- ✓ Restringir o acesso;
- ✓ Manter a blindagem entre o NORM e as pessoas expostas;
- ✓ Isolar a área e classifica-la se controlada e supervisionada;

#### **9.1.2 Medidas contra exposição interna**

- ✓ Usar equipamento de proteção individual efetivo (incluindo proteção respiratória) de maneira a reduzir o risco de transferência de contaminação;
- ✓ Não fumar, beber, comer, mastigar, aplicar cosméticos (incluindo cremes médicos ou barreiras);
- ✓ Lavar as roupas, mãos depois de terminar o trabalho;
- ✓ Limites de dose regulatórios sobre NORM para Moçambique;
- ✓ Manter as doses tão baixa quanto razoavelmente exequível e abaixo dos limites de dose regulamentares;

- ✓ Estão isentos de controle regulatório os rejeitos e instalações cuja concentração de atividade não excede 10 Bq/g de radionuclídeos de ocorrência natural e não excede 1 mSv/a para os trabalhadores.

### **9.1.3 Medidas contra exposição para descontaminação do equipamento e instalação**

- ✓ Para realizar a descontaminação deve-se antes construir um depósito temporário;
- ✓ A descontaminação deve ser realizada fora do local contaminado;
- ✓ A instalação e equipamento precisa ser descontaminado para permitir uma eliminação como rejeito radioativo;
- ✓ As empresas contratadas precisam ser informadas dos riscos potenciais e serem supervisionados por uma pessoa qualificada;
- ✓ As empresas contratadas podem fornecer equipamento para condução segura das operações de contaminação (contentor de carga).

## **9.2 Critérios para gestão de rejeitos de NORM**

Uma boa prática operacional se concentrará em maneiras pelas quais a quantidade de rejeitos radioativos pode ser minimizada, como mostrado a seguir:

### **9.2.1 Avaliação do risco**

Na fase de avaliação de risco, as seguintes considerações radiológicas são abordadas:

- ✓ Identificação e caracterização das fontes de rejeitos radioativos;
- ✓ Exposições ocupacionais e públicas associadas aos vários rejeitos;
- ✓ Etapas de gerenciamento da geração de rejeitos até a deposição;
- ✓ Impacto radiológico em longo prazo do método de deposição em seres humanos e no ambiente;
- ✓ Todas as fases da operação, desde a construção até o descomissionamento;
- ✓ Projeto das instalações de gestão de rejeitos;

- ✓ Todos os cenários e caminhos pelos quais os trabalhadores, o público e o ambiente podem estar sujeito a riscos radiológicos e não radiológica.

### **9.2.2 Caracterização dos rejeitos de NORM**

- ✓ Planejamento e projeto de instalações de gerenciamento de rejeitos;
- ✓ Seleção da opção de gerenciamento de rejeitos mais apropriada;
- ✓ Seleção do processamento, tratamento, embalagem, métodos de armazenamento e / ou deposição;
- ✓ É importante que os registros sejam compilados e mantidos por um período de tempo apropriado.

### **9.2.3 Métodos de deposição de rejeitos**

- ✓ A eliminação de rejeitos líquidos e gasosos devem ser diluídos e dispersados no meio ambiente;
- ✓ Contenção dos rejeitos na eliminação em instalações autorizados;
- ✓ Processamento dos rejeitos com outros rejeitos químicos por incineração ou outros métodos;
- ✓ O rejeito pode ser dispensado após a concentração ser inferior a 1 Bq/g;
- ✓ A água produzida deve ser eliminada pelo método de reinjeção de reservatórios, descarga em ambientes marinhos e descarga nas lagoas, na superfície (seleção de um local adequado que requer uma profundidade mínima de colocação) segundo os critérios de dispensa acima mencionados.

### **9.2.4 Armazenamento de rejeitos radioativos sólidos de NORM**

A autoridade reguladora é responsável por autorizar instalações para o armazenamento de rejeitos radioativos, incluindo o armazenamento de rejeitos contaminados.

A autoridade reguladora exigirá que os rejeitos sejam encapsulados ou de outra forma isolada a um padrão aprovado e a taxa de dose no exterior da instalação de armazenamento a manter dentro de valores aceitáveis para a regulamentação. A autoridade reguladora também irá impor requisitos específicos para manutenção de registros dos rejeitos armazenados.

A seleção de um sítio adequado deve ter as considerações seguintes:

- ✓ Controles para impedir o acesso do público à área;
- ✓ Avaliações de risco para determinar os impactos humanos e ambientais, incluindo implicações em longo prazo, decorrentes da contaminação do solo, águas subterrâneas e águas superficiais;
- ✓ Possibilidade de avaliação de riscos ocupacionais e proteção contra radiações programadas para determinadas atividades ou áreas, para controlar as exposições e limitar a disseminação da contaminação nas áreas públicas;
- ✓ Programas de garantia de qualidade e manutenção de registros, como aqueles para estoques de rejeitos;
- ✓ Custos de transporte e conformidade com os regulamentos de transporte da IAEA;
- ✓ Custos de limpeza e remediação.

### **9.3 Revisão e aprovação regulamentar**

A eliminação de rejeitos radioativos NORM provenientes do petróleo e indústria de gás exigirá a aprovação do órgão regulador em relação a:

- ✓ A aceitabilidade e a segurança em longo prazo do método de eliminação proposto;
- ✓ As avaliações de risco apresentadas pelo proprietário / operador para demonstrar que o método de eliminação atende a todos os aspectos relevantes nacionais e internacionais, requisitos legais e regulamentares.

#### **9.3.1 Aspectos não radiológicos**

O método de eliminação selecionado, além de atender aos princípios de gestão de rejeitos radioativos, também tem que ter em conta o impacto ambiental dos riscos não

radiológicos significativos associados com os rejeitos - isto se aplica em particular às borras que contêm metais pesados. A discussão desses riscos não radiológicos fora do âmbito deste Relatório de Segurança, mas podem constituir um aspecto na seleção de um método de deposição.

## **9.4 Responsabilidades de autoridade reguladoras e operadores**

### **9.4.1 Responsabilidades de autoridade reguladora**

- ✓ A autoridade reguladora precisa estabelecer critérios para garantir que ele receba notificação do licenciado de quaisquer acidentes ou incidentes envolvendo material radioativo. Os tipos de incidentes relatados incluem derrames, vazamentos ou qualquer outra perda de controle de material radioativo, exposição excessiva à radiação dos trabalhadores ou membros do público, e perda material, ou seja, radionuclídeo, atividade e número de série;
- ✓ A autoridade reguladora organiza que os relatórios do licenciado incluem uma descrição do incidente, investigações de exposições de indivíduos e ações tomadas para evitar uma recorrência desse tipo de incidente;
- ✓ A autoridade reguladora precisa desenvolver um sistema para documentar e rastrear incidentes e acidentes que ocorrem durante o uso de material radioativo e um meio de divulgação das "lições aprendidas" para outros órgãos similares e indústria. Isto é essencial para que um programa de regulamentação possa identificar tendências e tomar medidas corretivas para evitar acidentes futuros semelhantes e / ou Incidentes.

### **9.4.2 Responsabilidades do operador**

Operador também precisa nomear um Supervisor de Proteção radiológica (SPR) que seja tecnicamente competente e experiente em matéria de proteção contra radiação. O SPR assumirá a liderança no desenvolvimento e implementação de um plano de proteção contra radiação. Os deveres do SPR podem incluir:

- ✓ Monitoramento de radiação e contaminação;
- ✓ Identificar e manter um inventário de acumulações de NORM;

- ✓ Manter um inventário de quaisquer outras fontes de radiação possuídas pelo operador;
- ✓ Aprovar e supervisionar o trabalho de qualquer empreiteiro ou empresa de serviços usando radiações ionizantes na propriedade do operador;
- ✓ Fornecer avaliações de perigo e identificação das áreas controlada e supervisionada;
- ✓ Usando um programa de garantia de qualidade para manter medidas de proteção;
- ✓ Controle de acesso a áreas controladas;
- ✓ Avaliações radiológicas de amostras e doses individuais avaliadas;
- ✓ Elaboração e revisão de procedimentos administrativos escritos para o trabalho em áreas onde o material radioativo é tratado;
- ✓ Verificar a conformidade com as condições autorizadas e outros requisitos regulamentares;
- ✓ Supervisionar o trabalho em áreas que são controladas como resultado dos níveis de radiação ou armazenamento de material radioativo;
- ✓ Aconselhando e exigindo o uso de proteção pessoal apropriada equipamentos em áreas controladas;
- ✓ Fornecer aconselhamento geral e assegurar o treinamento de pessoal;
- ✓ Investigar e documentar incidentes ou ocorrências incomuns;
- ✓ Apresentar qualquer relatório a ANEA, conforme ditado por regulamentos;
- ✓ Manutenção de registros e documentos de acordo com as normas nacionais e internacionais.

#### **9.4.3 Responsabilidades dos trabalhadores**

O treinamento inclui uma explicação das regras locais, sistemas de segurança e alerta, e procedimentos de emergência. O cuidado deve ser exercido sempre que as pessoas que não podem ser envolvidos na tarefa que envolve a exposição estão trabalhando nas proximidades de fontes de radiação e, portanto, precisam ser informados

previamente dos riscos relevantes através do fornecimento de informações ou treinamento apropriado.

É importante que os trabalhadores se familiarizem com todos os sinais de radiação e avisos os trabalhadores precisam ser encorajados a denunciar ao SPR qualquer violação de uma regra ou política relativa a procedimentos de proteção contra radiações e para relatar imediatamente qualquer incidente, acidente ou outra ocorrência provável afetar a proteção contra radiações, saúde e segurança.

### **9.5 Limites de dose para o transporte de NORM.**

Para o NORM de indústrias de petróleo e gás as considerações seguintes são tecidas:

- ✓ As concentrações de atividade para Radionuclídeos de ocorrência natural de NORM na indústria de petróleo e gás para isenção devem estar de acordo com os regulamentos da IAEA.

### **9.6 Limites de dose regulatórios sobre NORM na indústria de petróleo e gás**

Como requisito para isenção o limite de dose para os trabalhadores será 1 mSv/a, acima deste devem ser regulados e para membros do público o limite de dose é de 1 mSv/a, mas valores de referência de 0.3 mSv/a devem ser adoptados considerando o princípio ALARA na indústria de petróleo e gás.

### **9.7 Resultados de análise por espectrometria gama realizada nas 3 amostras de borra de petróleo no IRD/CNEN.**

Os valores de concentração de atividade obtidos para  $^{226}\text{Ra}$  foram comparadas com os valores obtidos para  $^{228}\text{Ra}$  através de espectrometria gama para mesmas amostras. Os resultados mostrados na figura 13 indicam que o  $^{226}\text{Ra}$  tem maior concentração de atividade em relação ao  $^{228}\text{Ra}$  nas 3 amostras.

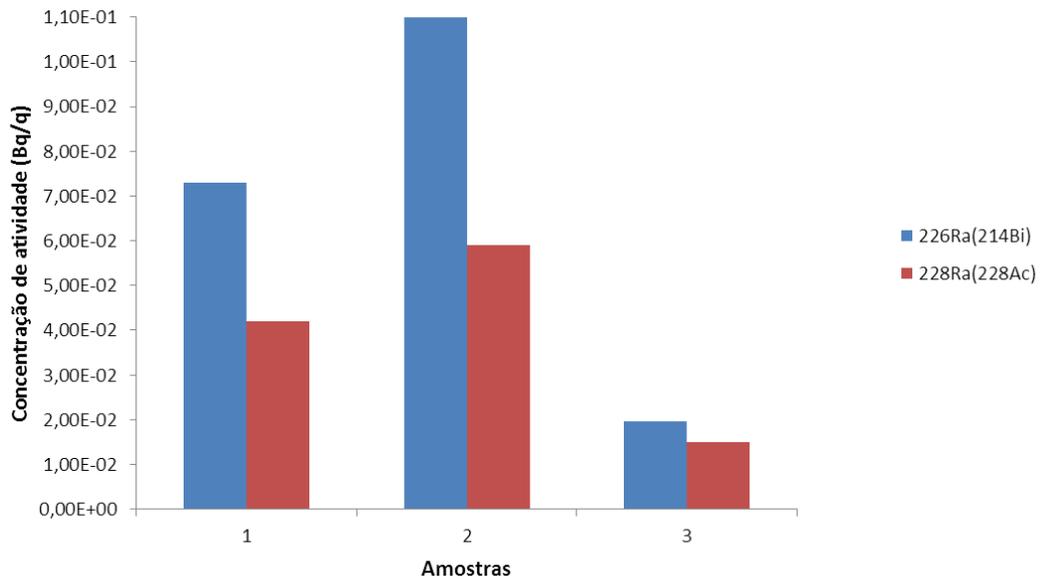


Figura 13. Resultados das concentrações de atividade de  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$  determinados pelo método de espectrometria gama

Por outro lado a tabela 9, apresenta valores maiores na amostra 2 para  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$ , bem como a incerteza observada. A tabela indica também maior concentração da soma de  $^{226}\text{Ra} + ^{228}\text{Ra}$  é o 0,12 Bq/g da amostra 1 e menor é da amostra 3 com 0,03Bq/g.

Tabela 9. Concentrações de atividade de  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$  (Bq/g) determinado por espectrometria gama.

Amostra	$^{226}\text{Ra}(^{214}\text{Bi})$	$^{228}\text{Ra}(^{228}\text{Ac})$	$^{226}\text{Ra} + ^{228}\text{Ra}$	Incerteza (%)
1	7,30E-02	4,20E-02	0,12	0,01
2	1,10E-01	5,90E-02	0,17	0,01
3	1,97E-02	1,50E-02	0,03	0,01

Segundo os critérios de isenção e dispensa de 10 Bq/g e 1 Bq/g respectivamente, as concentrações de atividades estão abaixo dos limites estabelecidos pela CNEN e IAEA .

## 10. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

### 10.1 Conclusão

O objetivo do trabalho foi estabelecer requisitos de proteção e segurança radiológica para NORM nas instalações de petróleo e gás, levando em consideração a segurança do trabalhador, público e meio ambiente enfocando o limite de dose, gestão de rejeitos, transporte e medidas associadas ao risco contra exposição de radiação.

Conclui-se que as os requisitos importantes para proteção e segurança radiológica para NORM nas instalações de petróleo e gás são:

1. Uso de dosímetro;
2. Uso de equipamento de proteção individual, incluindo proteção respiratória para evitar a inalação, ingestão e exposição externa;
3. Não comer ou beber enquanto estiver manuseando os rejeitos de NORM;
4. Uso de monitor de radiação para detecção da taxa de dose a que o trabalhador estará sujeito e identificação do radionuclídeo;
5. Manter a área isolada e sinalizada;
6. Após o termino do trabalho de descontaminação os trabalhadores devem lavar as mãos, a roupa e serem monitorados para verificar qualquer tipo de contaminação;
7. Manter um registro ou inventario dos tipos de rejeitos, radionuclideos presentes no NORM;
8. Comunicar o órgão regulador de qualquer movimento com os rejeitos de NORM desde a exploração ate a deposição;
9. Depositar o rejeito a uma profundidade adequada considerando a meia vida do radionuclídeo;
10. Deve ser nomeado um SPR.

De acordo com os limites de concentração de atividade estabelecidos pela IAEA e CNEN na soma de  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$  encontrados na amostra 1 (0,12 Bq/g), amostra 2 (0,17 Bq/g) e amostra 3 (0,03 Bq/g), mostram que as atividades estão abaixo de 10 Bq/g para isenção e 1

Bq/g para dispensa de  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$ . Os valores das concentrações mostram que as borras de petróleo estão isentas do controle regulatório, desse modo mais um requisito é estabelecido:

11. As concentrações de atividades para isenção e dispensa deve ser a estabelecida pela IAEA.

## **10.2 Recomendações**

A Agência Nacional de Energia Atômica de Moçambique (ANEA) deverá:

1. Implementar um laboratório ambiental para análises de amostras contendo NORM;
2. Elaborar regulamento de NORM para indústrias mineradoras;
3. Treinar técnicos para licenciar e fiscalizar adequadamente as instalações produtoras de NORM;
4. Proceder com a recolha de amostras para avaliação do nível de concentrações de atividades existentes sobre NORM.

## 11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP. Boletim da Produção de Petróleo e Gás Natural. 2017. Brasil.

Araújo, A. A. D. Determinação radioquímica de  $^{210}\text{Pb}$  e  $^{226}\text{Ra}$  em borras e incrustações de petróleo. 2005. Recife.

CAPP. Naturally Occurring Radioactive Material (NORM). 2000. Canada.

CNSC. Canadian Guidelines for the Management of Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM). 2011. Canada

CNSC. Naturally Occurring Radioactive Material (NORM). 2016. Canada.

Cowie, M.; Mously, K.; Fageeha O.; Nassar R. NORM Management in the Oil & Gas Industry. 2008. Arabia Saudita.

EPA. Regulations of NORM. 2010.

Hamlat, M.S. , Djeflal, S., Kadi, D. Assessment of radiation exposures from naturally occurring radioactive materials in the oil and gas industry. 2000. Algéria.

IAEA. Analytical Methodology for the Determination of Radium Isotopes in Environmental Samples. 2010.

IAEA. Classification of Radioactive Waste. 2009. Vienna.

IAEA. extent of environmental contamination by naturally occurring radioactive material (norm) and technological options for mitigation. 2003. Vienna.

IAEA. Management of NORM residues. 2013. Vienna.

IAEA. Naturally occurring radioactive materials (NORM IV). 2005. Vienna.

IAEA. Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards. 2014. Vienna.

IAEA. Regulations for the safe transport of radioactive material. 2012. Vienna.

IAEA. Status of NORM Nigéria: a new beginning. Technical meeting on regulatory approaches for the control of environmental residues containing NORM. 2002. Vienna-Áustria;

IAEA. Radiation Protection and the Management of Radioactive Waste in the Oil and Gas Industry. 2010. Vienna.

ICRP. Overview of ICRP Committee 4: application of the Commission's recommendations. 2015. Vienna.

ICRP. Radiological protection in North American naturally occurring radioactive material industries. 2013. Abu Dhabi- United Arab Emirates;

INE. Dados do censo populacional. 2017. Maputo-Moçambique.

INP. Conferência sobre os ganhos do estado na exploração de hidrocarbonetos. 2015. Maputo-Moçambique.

INP. Petróleo em Moçambique. 2017. Maputo-Moçambique.

INP.1 Workshop sobre Emergência e Prontidão na Indústria de Petróleo. 2015. Maputo-Moçambique.

INP. Workshop and exhibition on emergency preparedness in the petroleum industry in mozambique. 2014. Maputo-Moçambique.

Ipen. Proteção Radiológica e Gerenciamento de Rejeitos Radioativos na Indústria do Óleo e do Gás. 2006. RJ-Brasil.

Lei 8/2017 de Energia Atômica. 2017. Maputo-Moçambique.

Matta, L. E. S. C.; Godoy, J. M. O.; Reis, M. C. D.  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Th}$ . Avaliação dos problemas radiológicos devido aos radionuclídeos naturais em unidades de exploração e produção de petróleo. 2001.

Mazzilli, B. P.; Lauria, D. D. C.; Borges F. L. S.; Schenato, F.; Matta, L. E. S. D. C.; Jr, N. R.; Cruz, P. R.; Ferreira, P. R. R.; Villegas, R. A. S.; Reis, R. G. D.; Feliciano V. M. D. NORM. Guia Prático. 2016. RJ-Brasil.

Norma CNEN NN 5.01. Transporte de materiais radioativos. 1988. Brasil.

Norma CNEN NN 3.01. Diretrizes básicas de proteção radiológica. 2014. Brasil.

Norma CNEN NN 8.02. Licenciamento de depósitos de rejeitos radioativos de baixos e médios níveis de radiação. 2015. Brasil.

Norma CNEN- NN- 8.02. (2014). Licenciamento de depósitos de rejeitos radioativos de baixo e médio níveis de radiação. 2014. Brasil.

Norma CNEN-NN-4.01. Requisitos de segurança e proteção radiológicas para instalações minero-industriais. 2005. Brasil.

Norma CNEN-NN-8.01. Gerência de rejeitos radioativos de baixos e médios níveis de radiação. 2014. Brasil.

OGP. Guidelines for the management of naturally occurring radioactive material (NORM) in the oil & gas industry. 2008.

Schenato, F.; Aguiar, L.A.; Leal A. M.; Jr, N. R. Deposição de NORM gerado pelas indústrias de petróleo e gás no brasil. 2013. RJ-Brasil.

Tauhata, L. Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos. 2014. RJ-Brasil.

UNSCEAR. Effects and risks of ionizing radiation. 2000.

WNA. Naturally occurring radioactive material. 2013.

WNA. Naturally-Occurring Radioactive Materials (NORM). 2016.

