

Eunícia João Goessa

**REQUISITOS DE SEGURANÇA RADIOLÓGICA E SEGURANÇA FÍSICA EM
INSTALAÇÕES DE PERFILAGEM DE POÇOS DE PETRÓLEO**

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

Orientador: Prof. Dr. Francisco Cesar Augusto Da Silva

Rio de Janeiro – Brasil

Instituto de Radioproteção e Dosimetria – Comissão Nacional de Energia Nuclear

Coordenação de Pós-Graduação

2017

Goessa, Eunícia João

Requisitos de segurança radiológica e segurança física em instalações de perfilagem de poços de petróleo / Eunícia João Goessa / Rio de Janeiro: IRD/IAEA, 2017.

XIII, 63 f.: il.; gr.; tab.; 29 cm.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Cesar Augusto Da Silva

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. 50-52

1. Perfilagem de poço de petróleo 2. Segurança radiológica 3. Segurança física.

Eunícia João Goessa

**REQUISITOS DE SEGURANÇA RADIOLÓGICA E SEGURANÇA FÍSICA EM
INSTALAÇÕES DE PERFILAGEM DE POÇOS DE PETRÓLEO**

Rio de Janeiro, 18 de Setembro de 2017.

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

Dr. Rogério dos Santos Gomes - CGMI/CNEN

Dr. João Carlos Leocadio - 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.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que está sempre presente, iluminando e permitindo que eu siga nesta caminhada, pela realização de um sonho e por suas constantes providências.

Aos meus pais João Goessa (em memória) e a minha mãe Suzana Agostinho Mulungo, pela dedicação e coragem para o alcance dos meus sonhos, apoio e por contribuir para minha formação pessoal e profissional.

Meu esposo Eliseu Cossa, pelo estímulo, por dividir comigo minhas angústias e inquietações, pela compreensão da minha ausência e apoio, contribuindo para o meu sucesso.

As minhas filhas Chonguissa Eliseu Cossa e Kianga Eliseu Cossa pelo sacrifício e paciência na minha ausência.

As minhas irmãs Delfina e Margarida, minhas cunhadas Joaquina e Argentina pelo incentivo e apoio incondicional.

À todos os meus familiares e amigos, que mesmo indiretamente estiveram presentes torcendo por mais uma conquista da minha vida.

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

Ao Professor Doutor Alexandre Maria Maphossa, Diretor Geral da Agência Nacional de Energia Atômica, por ter me autorizado a frequentar o curso.

Ao Professor Doutor Aucyone Augusto da Silva pelo carinho, acolhimento e apoio incansável durante a minha estadia no Brasil.

Meu orientador, Dr. Francisco Cesar Augusto Da Silva muito obrigado por ter abraçado a causa e, sem medir esforços e com impecável profissionalismo e dedicação, por este trabalho realizado.

Ao responsável pelo laboratório de indústria do IRD, Dr. João Carlos Leocadio pelo apoio e conhecimento disseminado.

Aos professores do curso Lato Sensu, pelo incentivo e pelas aulas ministradas com conhecimento disseminado, e também aos meus colegas da turma que apesar de todos os obstáculos fomos capazes de superar e conquistar o nosso objetivo.

E finalmente, a todos que de alguma forma contribuíram para a consolidação dessa etapa e o desenvolvimento de minha carreira profissional. Incluindo os membros da banca por participarem deste momento de minha conclusão.

RESUMO

O petróleo é gerado a partir da transformação da matéria orgânica acumulada nas rochas sedimentares, quando submetida às condições térmicas adequadas e é encontrado tanto no subsolo marinho como no terrestre. Para determinar o volume de petróleo existente numa jazida é usada técnica de perfilagem de poços de petróleo que consiste num conjunto de operações na qual são registados em função da profundidade, algumas características das camadas geológicas ao longo do poço, tais como permeabilidade e porosidade com o uso de fontes radioativas. As fontes usadas nesta prática pertencem a categoria 3, dentre cinco classes de categorização, considerada perigosa e em caso de acidente representa um nível de risco radiológico maior. O presente trabalho visa apresentar os principais requisitos de segurança radiológica e segurança física para ser aplicados no licenciamento de uma instalação de perfilagem de poços de petróleo. Neste trabalho, a autora apoiou-se na revisão bibliográfica, que consistiu na recolha da literatura essencial relacionada com o tema. A literatura é composta de referências teóricas publicadas em livros, teses, normas brasileiras, leis moçambicanas, manuais da IAEA e alguns publicados na internet. A metodologia usada neste trabalho foi a revisão bibliográfica com o objetivo de obter informações sobre a formação do petróleo, conceito de perfilagem de poço de petróleo, as fontes radioativas usadas nesta prática, para obter informações sobre os principais requisitos de segurança radiológica e segurança física aplicáveis as fontes radioativas e as instalações da perfilagem de poço de petróleo. O inventário de fontes radioativas, o uso de blindagens e a realização de testes de esfregaço nas fontes radioativas são requisitos técnicos que integram a segurança radiológica e segurança física que devem ser seguidos pelos licenciados da perfilagem de poço de petróleo.

Palavras chaves: Perfilagem de poço de petróleo, segurança radiológica, segurança física.

ABSTRACT

Petroleum is generated from the transformation of the organic matter accumulated in the sedimentary rocks, when submitted to the appropriate thermal conditions and is found both in the marine and terrestrial subsoil. In order to determine the volume of petroleum existing in a deposit oil wells technique is used which consists of a set of operations in which are recorded as a function of the depth, some characteristics of the geological layers along the well, such as permeability and porosity with the use of radioactive sources. The sources used in this practice belong to category 3, among five categories of categorization considered dangerous and in case of accident represents a higher level of radiological risk. The present work aims to present the main requirements of radiological safety and physical security to be applied in the licensing of an oil well profiling plant. In this work, the author supported the bibliographical review, which consisted in the collection of the essential literature related to the theme. The literature is composed of theoretical references published in books, theses, Brazilian norms, Mozambican laws, IAEA manuals and some published on the internet. The methodology used in this work was the bibliographical review with the objective of obtaining information on the formation of oil, oil well profiling concept, the radioactive sources used in this practice, for information on the main applicable radiological security and safety requirements radioactive sources and oil well profiling facilities. The inventory of radioactive sources, the use of shielding and the smear tests in radioactive sources are technical requirements that integrate the radiological safety and physical safety that must be followed by the licensees of the oil well profiling.

Key words: Well logging petroleum, safety, security.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo	3
1.2 Justificativa.....	3
2. O Petróleo.....	4
2.1 Formação do Petróleo.....	4
2.1.1 Importância Atual do Petróleo	6
2.1.2 Perfuração de Poço de Petróleo.....	6
2.1.3 A Técnica de Perfuração de Poços de Petróleo	7
2.1.4 Perfuração Gama-Natural.....	8
2.1.5 Perfuração Gama-Gama	10
2.1.6 Perfuração Neutrônica.....	12
2.1.7 Risco Radiológico das Instalações Radiativas	14
2.1.8 Risco Físico das Instalações Radiativas	16
2.2 Inventários de Instalações e Fontes de Perfuração de Poços de Petróleo no Brasil.....	18
2.3 Inventário de Instalações e Fontes de Perfuração de Poços de Petróleo em Moçambique	20
2.3 Principais Conceitos Relacionados À Segurança Radiológica.....	21
2.4 Principais Conceitos Relacionados à Segurança Física.....	23
2.5 Recomendações Internacionais Sobre a Proteção Radiológica em Instalações de Perfuração de Poço de Petróleo.....	25
2.6 Recomendações Internacionais Sobre a Segurança Física de Fontes Radioativas em Perfuração de Poço de Petróleo.....	33
2.6.1 Medidas de Segurança para a Detenção	34
2.6.2 Medidas de Segurança para o Retardo	34
2.6.3 Medidas de Segurança para a Resposta.....	35
2.6.4 Gestão de Segurança.....	35
2.7 Regulamentação no Brasil	36
2.7.1 Norma Cnen NN 3.01 Março / 2014 - Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica.....	36
a) Justificação	36
b) Limitação de Dose Individual	36
c) Otimização	37

2.7.2 Norma CNEN NN 6.02 Abril/2014 - Licenciamento de Instalações Radiativas	37
2.7.3 Norma CNEN NN 3.02 Agosto/1988 - Serviços de Radioproteção.....	38
2.7.4 Norma CNEN NN 7.01 Março/2013 - Certificação da Qualificação de Supervisores de Proteção Radiológica.....	40
2.7.5 Norma CNEN NN 5.01 Agosto / 1988 - Transporte de Materiais Radioativos	40
2.8 Regulamentação em Moçambique	41
3. METODOLOGIA.....	43
4.RESULTADOS	44
4.1 Principais Requisitos de Segurança Radiológica e de Segurança Física que devem ser Seguidos para a Segurança dos Trabalhadores e dos Membros do Público.....	44
4.2 Proposta de Requisitos Necessários poara a Segurança Radiológica.....	44
4.3 Proposta de Requisitos Necessários para a Segurança Física das Fontes Radioativas e das Instalações.	45
5.CONCLUSÃO.....	47
6.RECOMENDAÇÕES.....	49
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Categorização de fontes radioativas	16
Tabela 2: Grupos de segurança baseados na categorização de fontes	18
Tabela 3: Inventário das instalações de perfilagem de poço de petróleo no Brasil	19
Tabela 4: Limites de dose estabelecidos pela CNEN	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de petróleo e sua profundidade	5
Figura 2: <i>log</i> do perfil gama natural	10
Figura 3: Princípio de ferramenta compensadora	11
Figura 4: Fonte de Césio-137 usada na perfilagem de poço de petróleo	12
Figura 5: Posicionamento de ferramentas para a perfilagem neutrónica	13
Figura 6: Fonte de ²⁴¹ Am-Be usada na perfilagem de poço de petróleo	14
Figura 7: Gerador de nêutron usado em perfilagem de poço de petróleo	13
Figura 8: Distribuição das instalações de prospecção do petróleo no Brasil	20
Figura 9: Mapa de Moçambique	21
Figura 10: Funções do Sistema de Segurança Física	25
Figura 11: Ferramenta usada no manuseio da fonte	29
Figura 12: encaixe com um torque específico na colocação e remoção da fonte na sonda	29
Figura 13: sonda usada na perfilagem de poço de petróleo	30
Figura 14: Tipos de blindagens de fontes radioativas	32
Figura 15: Local de armazenamento de fontes radioativas	33
Figura 16: Integração dos requisitos de segurança radiológica e segurança física	48

LISTA DE ABREVIATURAS

IAEA- Agencia Internacional de Energia Atômica

ANEA- Agencia Nacional de Energia Atômica

ANP- Agencia Nacional do Petróleo

CNEN- Comissão Nacional de Energia Nuclear

ISO- International Standard Organization

IRD -Instituto de Radioproteção e Dosimetria

IAEA - International Atomic Energy Agency

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

SR- Serviço de Radioproteção

1. INTRODUÇÃO

O petróleo é gerado a partir da transformação da matéria orgânica acumulada nas rochas sedimentares, quando submetida às condições térmicas adequadas e é encontrado tanto no subsolo marinho como no terrestre. Uma jazida de petróleo consta, em geral, de uma zona de rochas porosas saturadas de petróleo cuja permeabilidade é suficientemente grande para permitir a sua extração econômica. Depois de haver encontrado uma zona petrolífera, é necessário precisar a localização, espessura, densidade e composição das camadas. Todos estes dados são muito importantes para facilitar uma exploração normal. Uma das técnicas mais comuns para obter alguns destes dados é a chamada técnica de perfilagem.

Segundo ELLIS (2008), a Perfilagem de poços é a prática de efetuar um registro detalhado das formações geológicas atravessadas por uma perfuração. O perfil de raio gama contém medições da radiação natural gama, emitidas pelas rochas ou sedimentos num poço. Este método é usado na prospecção mineral, durante a perfuração de poços de água para avaliação das formações durante a perfuração de poços de petróleo. Para obter esse registro contínuo, utiliza-se uma sonda de medição, que é introduzida e deslocada na perfuração a partir da leitura desta sonda, é possível ter informações em tempo real na superfície sobre a localização, quantidade e a profundidade de óleo e gás.

Um tipo de perfilagem desenvolvida é a baseada na radioatividade. Nesta perfilagem, tanto a radioatividade natural como os processos de interação entre as radiações emitidas por fontes introduzidas no poço e a formação rochosa constituem meios eficazes de se obter importantes dados sobre os poços perfurados. As fontes usadas nesta prática pertencem a categoria 3, dentre cinco classes de categorização, considerada perigosa e em caso de acidente representa um nível de risco radiológico maior.

Atualmente, com a crescente preocupação com os atentados terroristas, as fontes radioativas devem ser protegidas de atos maliciosos. Devido a este fato, notou-se a necessidade de regulação e controle no uso das fontes radioativas e a questão da segurança radiológica e segurança física tem sido tema para muitas discussões por parte de organizações nacionais e internacionais. Estas preocupações possivelmente são reflexos dos atentados terroristas de 11 de Setembro de 2001. O acervo de documentos e relatórios técnicos da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) discorre sobre

este tema, recomendando no licenciamento dessa prática, requisitos necessários para resguardar essas fontes radioativas.

A radioproteção é o conjunto de medidas que visam a proteger o ser humano e seus descendentes contra possíveis efeitos indesejados causados pela radiação ionizante (CNEN, 2005)

Segundo a CNEN (2011) segurança física é o conjunto de medidas destinadas a evitar atos de sabotagem contra materiais, equipamentos e instalações; a impedir a remoção não autorizada de material, em especial, nuclear; prover meios para rápida localização e recuperação de material desviado; à defesa do patrimônio e da integridade física do pessoal de uma unidade operacional.

As medidas de proteção radiológica e as medidas de segurança física das fontes e das instalações tem em comum o objetivo de proteger a vida e a saúde do homem e o meio ambiente contra os efeitos nocivos da radiação ionizante. Assim essas medidas, devem ser concebidas e implementadas de forma integrada de modo que as medidas de proteção radiológica não comprometam as medidas de proteção física, bem como a segurança dos indivíduos e do meio ambiente.

O licenciamento de uma instalação de perfilagem de poços de petróleo, incluindo as autorizações e inspeções, deve ser realizado baseado num regulamento onde contém os requisitos de segurança radiológica que as instalações devem seguir. No Brasil, a CNEN é o órgão que faz o licenciamento das atividades perfilagem de poços de petróleo e em Moçambique, o licenciamento de instalações de perfilagem de poço de petróleo é feito pela Autoridade Reguladora denominada Agencia Nacional de Energia Atômica criada pela Lei 08/2017 de 21 de julho que dá plenos poderes, de regulação, supervisão, fiscalização, inspeção e sancionamento, da radioproteção e segurança nuclear. Em Moçambique, normas específicas de proteção radiológica e segurança nuclear ainda não foram aprovadas, sendo adotadas como referência os documentos da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA).

No presente, são apresentados os principais requisitos de segurança radiológica e segurança física, que o licenciado deve seguir para manter um nível adequado de proteção radiológica e de proteção física na instalação de perfilagem de poços de petróleo.

1.1 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo apresentar os principais requisitos de segurança radiológica e segurança física para serem aplicados no licenciamento de uma instalação de perfilagem de poços de petróleo.

1.2 Justificativa

A Perfilagem de poços é a prática de efetuar um registro detalhado das formações geológicas atravessadas por uma perfuração. O perfil de raio gama contém medições da radiação natural gama, emitidas pelas rochas ou sedimentos num poço. Este método é usado na prospecção mineral, durante a perfuração de poços de água para avaliação das formações durante a perfuração de poços de petróleo e gás ELLIS, SINGER (2008).

A perfilagem geofísica tem atenção e prioridade, pois as fontes usadas nesta prática pertencem a categoria 3, dentre cinco classes de categorização, considerada perigosa e em caso de acidente representa um nível de risco radiológico maior.

O licenciamento de uma instalação de perfilagem de poços de petróleo, incluindo as autorizações e inspeções, deve ser realizado baseado num regulamento onde contem os requisitos de segurança radiológica que as instalações devem seguir. Atualmente, com a crescente preocupação com os atentados terroristas, as fontes radioativas devem ser protegidas de atos maliciosos. Para tal, a Autoridade Reguladora deve emitir requisitos de segurança física para resguardar essas fontes radioativas. Com esse trabalho, onde serão apresentados os principais requisitos de segurança radiológica e segurança física, o licenciado poderá manter um nível adequado de proteção radiológica e de proteção física na instalação de perfilagem de poços de petróleo.

2. O PETRÓLEO

Segundo a Agência Nacional do Petróleo ANP, o petróleo é um material fóssil, oleoso e inflamável, de alto valor energético, geralmente menos denso do que a água, com cheiro característico e coloração que pode variar do incolor até o preto, extraído em terra (*onshore*) ou abaixo do fundo do mar (*offshore*). Por seu alto valor energético e também por ser uma fonte não renovável, o petróleo se tornou um produto estratégico para o desenvolvimento das nações no mundo, com forte influência nas políticas internas e nas relações internacionais tanto para os países que possuem reservas como para os que não possuem. A composição química do petróleo é uma combinação complexa de hidrocarbonetos (carbono e hidrogênio), podendo conter também quantidades pequenas de nitrogênio, oxigênio, compostos de enxofre e íons metálicos. Em termos elementares, o petróleo é composto essencialmente por carbono (80 a 90% em peso), hidrogênio (10 a 15%), enxofre (até 5%), oxigênio (até 4%), nitrogênio (até 2%). O gás natural se refere à fração do petróleo que ocorre no estado gasoso ou em solução no óleo em reservatórios de subsuperfície. A maioria dos compostos identificados no petróleo é de origem orgânica, mas até que a matéria chegue ao estado do petróleo são necessárias condições especiais.

2.1 Formação do Petróleo

Dados disponíveis atualmente indicam que o petróleo é gerado a partir da transformação da matéria orgânica acumulada nas rochas sedimentares, quando submetida às condições térmicas adequadas.

Segundo TISSOT (1984), o petróleo é encontrado tanto no subsolo marinho como no terrestre, sobretudo nas bacias sedimentares. Os principais fatores que condicionam a ocorrência de petróleo em bacias sedimentares são:

- A existência de rochas ricas em matéria orgânica, denominadas de rochas geradoras;
- As rochas geradoras devem ser submetidas às condições adequadas (tempo e temperatura) para a geração do petróleo;
- A existência de uma rochas com porosidade e permeabilidade necessárias à acumulação e produção do petróleo, denominada de rochas reservatório;
- A presença de condições favoráveis à migração do petróleo da rocha geradora até a rocha reservatório;

- A existência de uma rocha impermeável que retenha o petróleo, denominada de rocha selante ou capeadora; e
- Um arranjo geométrico das rochas reservatório e selante que favoreça a acumulação de um volume significativo de petróleo.

Uma acumulação comercial de petróleo é o resultado de uma associação adequada destes fatores no tempo e no espaço. A ausência de apenas um desses fatores inviabiliza a formação de uma jazida petrolífera por essa razão a sua formação leva milhões de anos. Após a formação do petróleo para que o mesmo se acumule formando um reservatório é necessário que após a geração ocorra a migração, e que no percurso dessa migração exista uma armadilha geológica que permita a sua acumulação. A figura 1 ilustra os tipos de petróleo e os seus derivados existentes na subsuperfície e a respectiva profundidade que ocorrem.

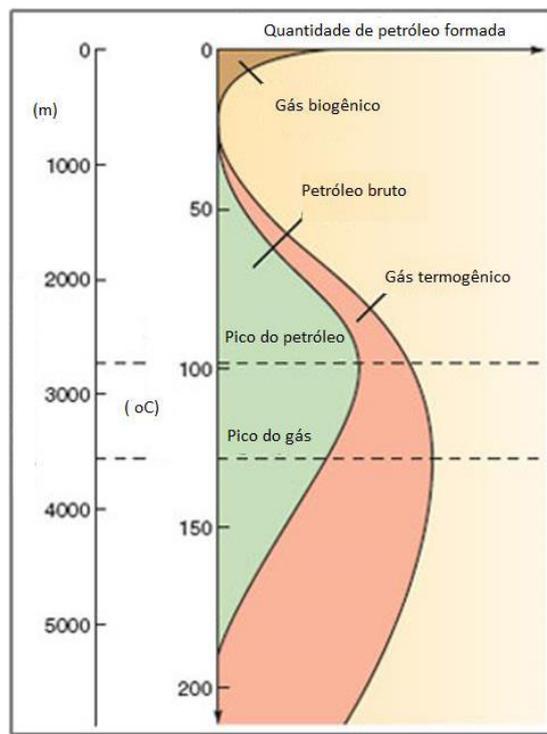


Figura 1: Tipos de petróleo e sua profundidade
Fonte: Wyoming State Geological Survey, 2014

2.1.1 Importância Atual do Petróleo

O petróleo é uma fonte de energia primária, em geral de baixa substituíbilidade, pois a sua renovação não ocorre no curto prazo. Dentre vários derivados os principais destacam-se os seguintes: gás de petróleo, gás liquefeito de petróleo, gasolina, óleo diesel, óleo combustível, devido a esta característica e a amplitude do consumo de seus derivados fazem do petróleo uma fonte energética fundamental para a economia de todos os países. A disponibilidade de petróleo e seus derivados e seus níveis de preços têm grande importância para a determinação do nível de crescimento econômico e do nível de preços das economias nacionais, pois energia e transporte são insumos necessários para produção de quaisquer bens ou serviços. A indústria de petróleo está assim na formação e sustentação dos alicerces da economia industrial moderna, e seu *modus operandi*, e, por conseguinte *do modus vivendi* do homem moderno (YERGIN, 2014).

A indústria de petróleo e gás representa agregadamente atualmente cerca de 55,61% da oferta mundial de energia primária, e 59% das necessidades energéticas mundiais em termos da matriz de consumo energético final IEA (2016).

2.1.2 Perfilagem de poço de petróleo

O perfil de poço é a prática de efetuar um registro detalhado das formações geológicas atravessadas por uma perfuração. O perfil pode ter descrições baseadas em inspeção visual de amostras levadas para a superfície ou medições de grandezas geofísicas, feitas com instrumentos, para formar um perfil do poço. A perfilagem de poço de petróleo é o levantamento completo de perfis referente ao poço para a produção de petróleo com o objetivo de determinar a profundidade e a estimativa do volume da jazida de hidrocarboneto ou do aquífero. O processo de extração de petróleo varia de acordo com a profundidade em que o óleo se encontra, podendo variar de centenas de metros a até milhares de metros abaixo do nível do mar (*offshore*) ou da terra (*onshore*). Para a sua efetivação são necessários dois passos importantes: prospecção e a perfuração ELLIS, SINGER (2008).

Na prospecção faz-se o estudo da localização e do tipo de bacias sedimentares, através de uma análise detalhada do solo e do subsolo, com base nos seguintes métodos: imagens de satélites, gravímetro, magnetômetros e sismólogos. Nesta etapa,

os hidrofones são rebocados pelo navio, recebem as ondas sonoras que representam camadas do solo e as decodificam, transformando-as em imagens. Através delas os especialistas identificam a sua ocorrência e a sua localização. Para além do mar, a prospecção é feita na terra, através do estudo geofísico da profundidade da terra, que consiste na medição das suas propriedades físicas e a interpretação dessas medidas obtém-se informações úteis sobre a estrutura e a composição das zonas inacessíveis de grandes profundidades. Dentre os diversos métodos geofísicos usados para a prospecção na terra, os principais destacam-se: gravitacional, magnético, elétrico, sísmico e radioativo.

A perfuração consiste em várias operações e atividades necessárias para atravessar as formações geológicas, com o objetivo principal que é a prospecção de hidrocarbonetos. Esta perfuração de poços pode ser feita em terra (*onshore*) assim como no mar (*offshore*) e tem a seguinte classificação: verticais, direcionais, horizontais e multilaterais segundo a sua trajetória e a escolha do percurso dependerá de critérios técnicos específicos. A perfuração pode atingir profundidades de 800 a 6.000 metros, utilizam-se sondas de perfuração que consistem em um conjunto de equipamentos bastante complexos. Tais sondas podem ser terrestres ou marítimas conforme o local de operação. Dentre vários tipos de plataforma os mais usados são: fixas, semissubmersíveis, FPS (Sistemas Flutuantes de Produção) e plataformas de pernas atirantadas. A sonda, equipamento utilizado para perfurar poços, é composta por uma torre que sustenta os tubos de perfuração, os tubos que conduzem a broca passam por uma mesa giratória, na base da torre e, por rotação, vão atravessando as camadas do subsolo nas perfurações submarinas a sonda é instalada sobre plataformas fixas ou móveis e navios de perfuração essas operações são semelhantes às de terra (IAEA, 2017).

2.1.3 A técnica de perfilagem de poços de petróleo

A técnica de perfilagem de poços de petróleo constituem um conjunto de operações na qual são registados em função da profundidade, algumas características das camadas geológicas ao longo do poço, tais como permeabilidade, porosidade e condutividade.

Os procedimentos para obter as medições variaram com o passar dos anos, assim como o conjunto de ferramentas utilizadas. Atualmente, nas sondas de perfuração

são integradas múltiplas ferramentas de medição (sensores) de diferentes propriedades geofísicas, além das ferramentas de medição dos parâmetros, são acoplados as técnicas que permitem realizar a medição durante a perfuração e registro durante a perfuração. A partir da leitura destas ferramentas, é possível ter informações em tempo real na superfície através de um gráfico chamado *log* e a interpretação deste gráfico ajuda a determinar a localização, quantidade e a profundidade de óleo e gás (ELLIS & SINGER, 2008).

Com as técnicas MWD (*Measurement While Drilling*) e LWD (*Logging While Drilling*) são realizadas medições em tempo real durante a operação de perfuração de um poço. Ao mesmo tempo em que o poço está sendo perfurado, estas ferramentas fazem as medições e enviam para a superfície valores de propriedades mecânicas e geológicas referentes a este poço.

As ferramentas MWD tem a função de determinar a trajetória do poço, gerar energia elétrica para si e também para as ferramentas LWD. Os MWDs tem moduladores os quais geram flutuações de pressão no fluido de perfuração que se encontra no poço.

As ferramentas LWD tem a função de realizar a medição de propriedades geológicas das formações que estão sendo perfuradas. A partir da medição dos valores das propriedades das rochas pelas ferramentas LWD, é possível determinar em tempo real qual é a formação que está sendo perfurada.

Entre os tipos de perfilagem mais conhecidas podem ser citadas: a perfilagem elétrica, a perfilagem de indução, a perfilagem sônica e outras. Um tipo de perfilagem recentemente desenvolvida é a baseada na radioatividade. Na perfilagem radioativa, tanto a radioatividade natural como os processos de interação entre as radiações emitidas por fontes introduzidas no poço e a formação rochosa constituem meios eficazes e, muitas vezes, o único, de se obter importantes dados sobre os poços perfurados. Na perfilagem radioativa encontramos a perfilagem gama-natural, a perfilagem gama-gama e a perfilagem neutrônica.

2.1.4 Perfilagem Gama-Natural

A perfilagem gama-natural consiste na detecção da radioatividade total emitidos pela da formação geológicas atravessadas pela perfuração com o objetivo de diferenciar zonas potencialmente produtivas de gás ou petróleo e de efetuar cálculo do

volume das argilas. A radioatividade natural de uma rocha depende principalmente do seu conteúdo de Potássio-40 (^{40}K) e dos elementos radioativos originados durante o decaimento da série do Urânio-238 (^{238}U) e da série do Tório-232 (^{232}Th). A existência de elementos radioativos naturais, apesar do tempo decorrido desde a origem da Terra, explica-se por suas meias-vidas extremamente longas, a saber: ^{40}K com $1,3 \times 10^9$ anos; ^{238}U com $4,5 \times 10^9$ anos e ^{232}Th com $1,5 \times 10^{10}$ anos. Nesta perfilagem, mede-se o conteúdo relativo do urânio, tório e potássio da rocha mediante comparação das intensidades de radiação gama características destes elementos. A detecção dos raios gama nas distintas camadas das rochas usualmente efetua-se com detectores do tipo, cintilômetro. A figura 2 apresenta um exemplo de duas curvas de raios gama convencional em um mesmo poço quando em aberto e após a ser revestido com revestimento metálico. Observa-se que ambas as curvas apresentam ótima correlação entre suas características, porém com valores quantitativos distintos, curva em poço aberto apresenta-se sempre maior que a do poço revestido. Isto significa que a interposição do aço entre a formação e o cintilômetro reduziu sensivelmente a radioatividade total registrada devido a uma maior absorção de raios gama pelo revestimento metálico AIEA (2017).

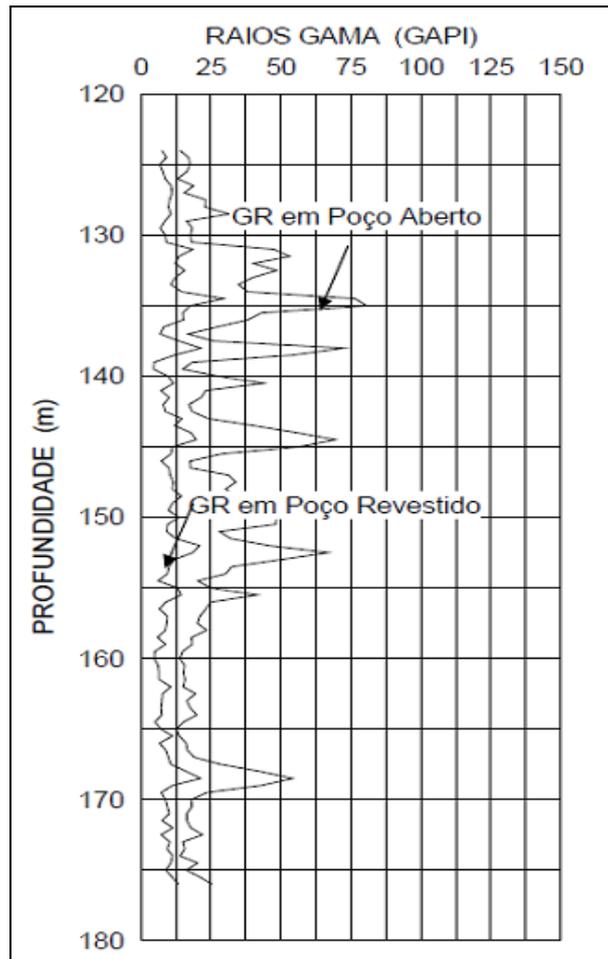


Figura 2: log do perfil gama natural
 Fonte: AIEA, 2017

2.1.5 Perfilagem Gama-Gama

Na perfilagem gama-gama ou gama induzida um feixe de raios gama choca-se sucessivamente com os elétrons da formação, de acordo com o efeito Compton com o objetivo de efetuar medição de densidade global das formações litológicas atravessadas pela perfuração na medida que os raios gama vão sendo espalhados ou absorvidos, a intensidade do feixe inicial diminui. Esta diminuição de intensidade, que é função da mudança na densidade eletrônica do meio, é então medida pelo detector. A perfilagem gama - gama baseia-se no princípio de espalhamento que consiste na colocação do detector e a fonte no mesmo lado do material, com o detector blindado contra o feixe direto da radiação. Assim, a radiação entra ao redor do poço e interage com os átomos e moléculas, e ocorrerão mais interações em materiais mais espessos ou densos, o detector mede as radiações retroespalhadas pelo material com uma geometria constante, o medidor indicando assim, a densidade do material.

Na figura 3, encontra-se representado o esquema da ferramenta compensada, com uma fonte (F) e dois detectores, um perto (DP) e outro longe (DL), pressionada contra as paredes dos poços, onde o fóton atinge os elétrons do meio, deflete-se gradualmente e perde energia até ser detectado, o fluxo final no DP é maior que no DL, em função da distância AIEA (2017).

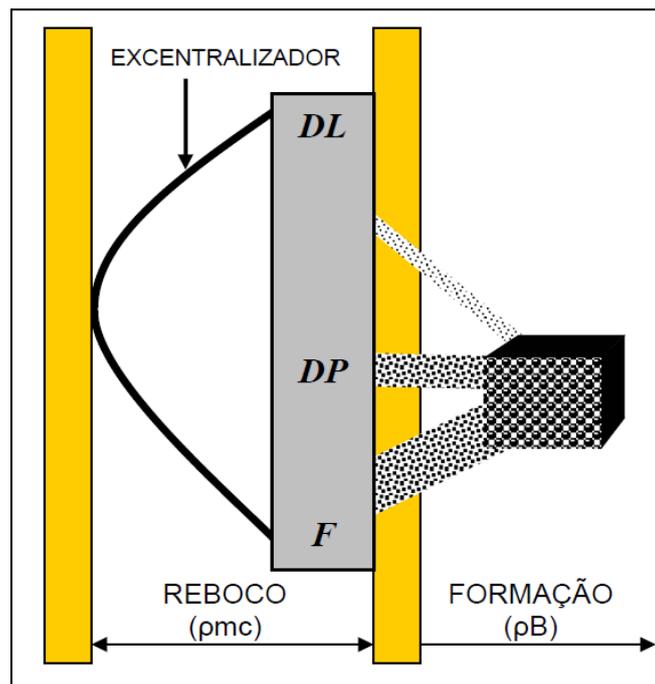


Figura 3: Princípio de ferramenta compensadora
Fonte: IAEA, 2017

O radioisótopo mais utilizados na perfilagem gama-gama é o ^{137}Cs com meia-vida de 30 anos e com atividade de 370 MBq (10 mCi) a 74 GBq (2Ci). Este radioisótopo é produzido artificialmente em reatores nucleares pela fissão nuclear induzida de vários radionuclídeos pesados tais como: ^{232}U , ^{235}U . Embora o ^{137}Cs seja o mais utilizado, em perfilagem e podem também ser utilizados outros radionuclídeos tais como: ^{134}Cs , e o ^{133}Ba IAEA (2007).



Figura 4: Fonte de Césio-137 usada na perfilagem de poço de petróleo
Fonte: IAEA(2007)

2.1.6 Perfilagem Neutrônica

A perfilagem neutrônica é usada principalmente para delinear a formação de poros e para a determinação da porosidade. Este tipo de perfilagem está relacionado principalmente com a quantidade de hidrogênio presente na formação, podendo ser também indicador da presença de gás.

De acordo com IAEA (2005a), os nêutrons rápidos de alta energia emitidos pelas fontes de nêutrons colidem com o núcleo do material sob investigação reduzindo a sua energia. Em geral, os nêutrons perdem mais energia em colisões com núcleos leves do que com núcleos pesados. Devido a isto, os núcleos leves de hidrogênio são muito mais efetivos para o processo de moderação dos nêutrons provenientes da fonte. A fonte radioativa utilizada na perfilagem para emitir nêutrons na formação é a fonte de Amerício241 - Berílio ($^{241}\text{Am-Be}$) cuja energia média dos nêutrons é de 4 MeV, onde o amerício libera partículas alfa que ativam o núcleo do berílio, provocando assim a emissão de nêutrons. Devido a liberação da radiação com energia de 4 MeV classifica o nêutron como rápido, favorecendo a ocorrência de interações do tipo espalhamento.

Para o perfil neutrônico utiliza-se o principio de espalhamento que consiste na colocação do detector e a fonte no mesmo lado do material, com o detector blindado contra o feixe direto da radiação conforme mostra a figura 5. O resultado desta perfilagem é um registro contínuo das variações do hidrogênio uma vez que o hidrogênio é o maior constituinte em líquidos esta detecção é obtida através da medição do teor de umidade (densidade de hidrogênio) em solos, coque ou outros materiais .

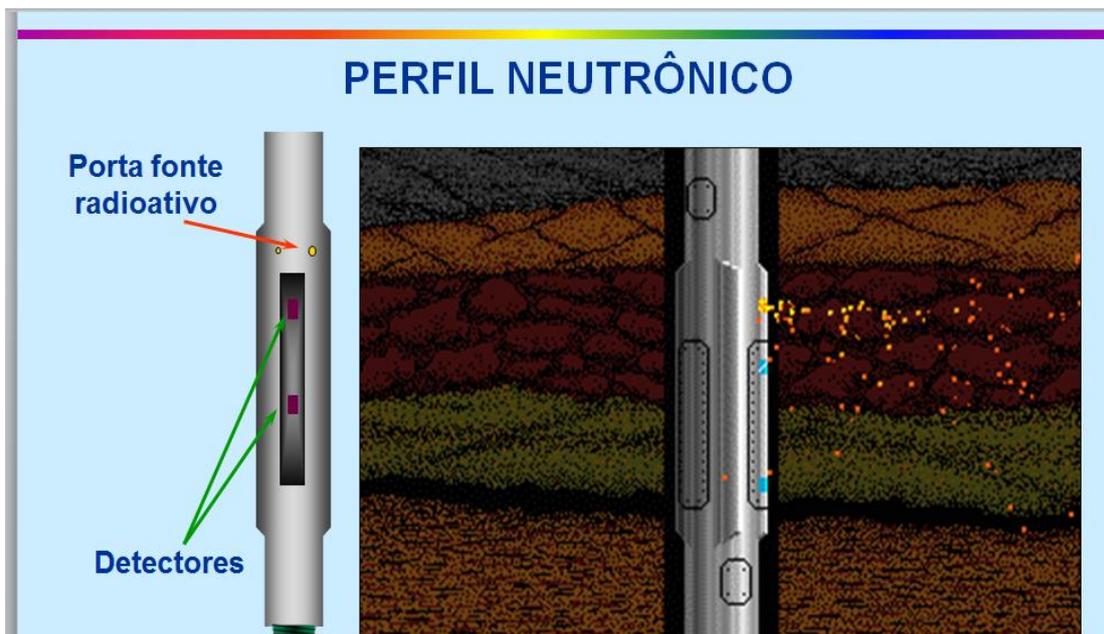


Figura 5: Posicionamento de ferramentas para a perfilagem neutrônica
 Fonte: AIEA (2017)

Nesta perfilagem os radioisótopos mais utilizados são: amerício-berílio ($^{241}\text{Am-Be}$) com atividade de 1.85 GBq (50 mCi) até 740 GBq (20 Ci) e 462 anos de meia vida, califórnio (^{252}Cf) com atividade de 72 MBq (2 mCi) a 720 MBq (20 mCi) e 2,6 anos de meia vida. O radioisotopo de $^{241}\text{Am-Be}$ é o mais usado, o decaimento alfa do ^{241}Am interage com nêutrons secundários de Berílio para iniciar a radiação de nêutrons. As fontes geralmente estão contidas em dispositivos blindados e acesso a própria fonte geralmente requer ferramentas especializadas. A blindagem é constituída por um material alto com teor de hidrogênio e, portanto, não é tão denso como os materiais utilizados para proteção contra neutróns, conforme mostra a figura 6 IAEA (2007).



Figura 6: Fonte de $^{241}\text{Am-Be}$ usada na perfilagem de poço de petróleo
 Fonte: IAEA (2007)

Na perfilagem neutrônica para além das fontes radioativas, são usados geradores de nêutrons cujo o seu funcionamento baseia-se em reações de Deutério - Trítio (DT) expressa pela seguinte equação: $D + T \rightarrow He-4 + n + 17.6 \text{ MeV}$. O gerador de nêutron é usado para medir a porosidade, a composição elementar e o limite do hidrocarboneto presente nas rochas. Este é acoplado a três detectores posicionados em diferentes espaçamentos ao longo da ferramenta que através do princípio de retrospalhamento registam o número de nêutrons que chegam de várias distâncias do gerador e o respectivo tempo de chegada, conforme mostra a figura 7 Burkhart (2006).

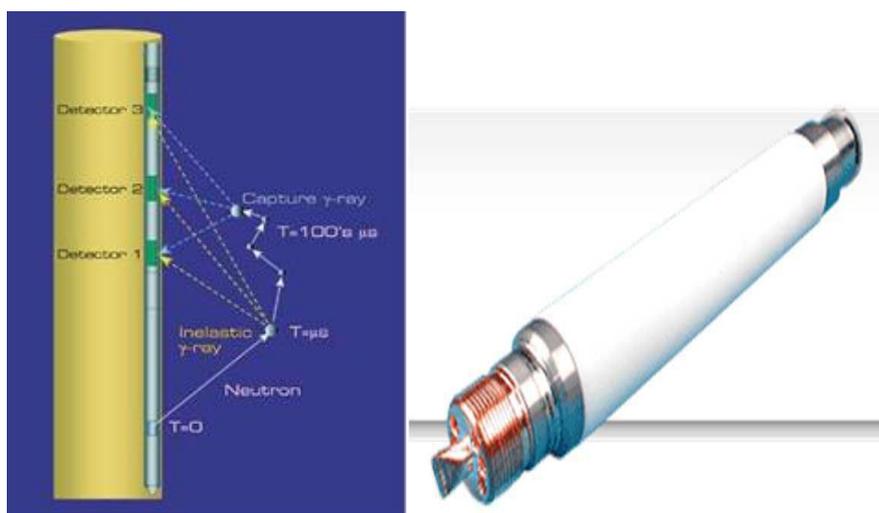


Figura 7: gerador de nêutron usado em perfilagem de poço de petróleo
Fonte: BURKHART (2006).

Na perfilagem de poço de petróleo, basicamente divide-se as áreas de operações de uma instalação radioativa em dois grupos que são: as bases onde fica o local de armazenamento de fontes radioativas da instalação, a área de calibração das ferramentas utilizadas; e as plataformas marítimas e terrestres (sondas) onde as fontes radioativas encontram a sua aplicação final MIRANDA (2002).

2.1.7 Risco radiológico das instalações radiativas

A categorização de fontes da IAEA (2005b) fornece um sistema para a classificação das fontes e prática de acordo com sua potencialidade de causar danos à saúde humana. O sistema de categorização fornece uma base fundamental e internacionalmente harmonizada para a tomada de decisões com base no risco, fornecendo uma classificação relativa e agrupamento de fontes e práticas, que é baseada em uma metodologia lógica e transparente, considerando os usos esperados da

categorização em consideração, um sistema composto por cinco categorias consideradas para fornecer o agrupamento otimizado, dando flexibilidade para usar as categorias como estão ou combiná-las, se necessário.

A categorização das fontes contribui para o desenvolvimento das estratégias nacionais para o melhoramento do controle sobre as fontes radioativas e para a otimização na utilização dos recursos mediante o estabelecimento de prioridades para a regulação. Assim como pode ser aplicada a aperfeiçoar as medidas de segurança física das fontes e no planejamento de respostas a emergência. Ela está baseada no conceito de periculosidade das fontes, o qual se quantifica utilizando os valores D. O valor D é a atividade de um radionuclídeo em uma fonte, a qual, se estivesse fora de controle, poderia causar severos efeitos determinísticos. Os valores D se utilizam como fator de normalização para brindar uma referência na hora de comparar riscos.

Práticas similares devem estar em uma mesma categoria e o estabelecimento do conceito de “fontes perigosas”, ou seja, uma “fonte perigosa” se não estiver sob controle adequado, pode resultar em uma exposição causando efeitos determinísticos severos, o que pode ser fatal ou colocar a vida em risco ou, ainda, resultar em danos irreversíveis, diminuindo a qualidade de vida. O conceito de fonte perigosa diz respeito ao seu potencial em causar danos à saúde e é determinado pela relação A/D , na qual: A = atividade do material radioativo contido na fonte, de uma determinada prática. D = valor normalizador, estabelecido em função da atividade específica do radionuclídeo e o resultado dessa divisão indica a posição da respectiva categoria. Na tabela 1 encontram-se a categorização das fontes com o respectivo nível de periculosidade.

Tabela 1: Categorização das fontes e sua periculosidade

Categoria	Relação A/D	Descrição
Categoria 1 Irradiadores de grande porte e fontes de tele terapia	$A/D \geq 1000$	Fonte extremamente perigosa; Pode causar lesões permanentes em alguns segundos; Pode levar ao óbito em exposições de alguns minutos;
Categoria 2 Fontes de gamagrafia industrial e fontes de branquiterapia de alta e media taxa de dose	$1000 > A/D \geq 10$	Fonte muito perigosa; Pode causar lesões permanentes em alguns minutos; Pode levar ao óbito em exposições de horas ou dias;
Categoria 3 Medidores industriais com fontes de altas atividades e fontes utilizadas em perfilagem de poços	$10 > A/D \geq 1$	Fonte perigosa; Pode causar lesões permanentes em algumas horas; Pode levar ao óbito em exposições de dias ou semanas;
Categoria 4 Fontes de branquiterapia de baixa taxa de dose ; Medidores industriais com fontes de baixas atividades/moderadas	$1 > A/D \geq 0,01$	Fonte pouco perigosa; Nenhuma lesão permanente é esperada devido à sua manipulação; Pouca probabilidade de ocorrência de efeitos temporários devido à sua manipulação por períodos de semanas
Categoria 5 Dispositivos de fluoroscopia de raios X(FRX); Dispositivos de captura eletrônica	$0,01 > A/D$ e $A >$ Nível de isenção	Fonte não perigosa; Muito próxima ou abaixo do nível de isenção; Nenhuma lesão ou efeito são esperados.

Fonte: IAEA, 2005b

2.1.8 Risco Físico das instalações radiativas

Após a ocorrência de vários acidentes resultantes de fontes não controladas, ou fora do controle regulatório, a questão de segurança das fontes tem sido discutida várias vezes pelos estados membros da IAEA e incentivou todos os governos a tomar medidas para garantir e estabelecer dentro do território sistemas nacionais de controle efetivos de modo a garantir a segurança das fontes de radiação e a segurança dos materiais radioativos.

As fontes radioativas possuem uma ampla gama de características que as tornam atraentes em diferentes níveis para os adversários. Torna-se necessário empregar medidas de segurança eficazes para assegurar que

as fontes estejam adequadamente protegidas usando uma abordagem graduada a fim de garantir capacidade adequada de segurança.

A IAEA (2009) estabelece os principais aspectos a serem considerados para garantir a segurança das fontes e do material radioativo. Esses aspectos se referem ao objetivo de desempenho através da criação dos grupos de segurança baseado na análise da vulnerabilidade e o nível desse risco determinara as medidas de segurança necessárias para proteger a fonte. Quanto maior for o risco, maior será a capacidade dos sistemas de segurança. Assim, são definidos quatro grupos de segurança que fornecem uma maneira sistemática de categorizar o desempenho.

O grupo A é baseado nas fontes de categoria 1 considerado extremamente perigosa, o grupo B agrega as fontes da categoria 2 e 3 classificadas como perigosas a muito perigosas. O grupo C pertence a categoria 4 classificada como pouco perigosa e as fontes do grupo D são classificadas como não perigosas.

Na tabela 2, encontram-se apresentados os grupos em função da sua categorização, por praticas, a perfilagem de poço de petróleo objeto da presente pesquisa, é parte integrante desta classificação e pertence a categoria 2 considerada perigosa e em caso de acidente representa um nível de risco radiológico maior. Assim, essa pratica pertence ao grupo de segurança B e neste grupo é necessário estabelecer medidas para impedir o acesso não autorizado, detectar o acesso não autorizado e aquisição em tempo hábil.

Tabela 2: grupos de segurança baseados na categorização das fontes

Grupo de segurança	Categoria	Fontes e práticas	Razão das atividades (A/D)
A	1 Extremamente perigosas	Irradiadores de grande porte e fontes de tele terapia	$A/D \geq 1000$
B	2 Muito perigosas	Fontes de gamagrafia industrial e fontes de branquiterapia de alta e media taxa de dose	$1000 > A/D \geq 10$
	3 Perigosas	Medidores industriais com fontes de altas atividades e fontes utilizadas em perfilagem de poços	$10 > A/D \geq 0.01$
C	4 Provavelmente não perigosas	Fontes de branquiterapia de baixa taxa de dose ; Medidores industriais com fontes de baixas atividades/moderadas	$1 > A/D \geq 0.01$
D	5 Não perigosas	Dispositivos de fluorescopia de raios X(FRX); Dispositivos de captura eletrônica	$0.01 > A/D$

Fonte (IAEA, 2003a)

2.2 Inventários de instalações e fontes de perfilagem de poços de petróleo no Brasil

Brasil, oficialmente República Federativa do Brasil, é o maior país da América do Sul e da região da América Latina, sendo o quinto maior do mundo em área territorial de 8.515.767 km² e com uma população de 207.916.459 habitantes (IBGE, 2017).

O Brasil possui 29 bacias sedimentares com interesse para pesquisa de hidrocarbonetos, cuja área é de 7,175 milhões de km². Mas apenas um pequeno percentual dessas áreas está sob contratação para as atividades de exploração e produção (ANP,2017).

Para a prospecção dos recursos existentes nas bacias sedimentares utiliza-se varias tecnologias com o maior destaque a radiação ionizante. Assim, o governo através da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), autarquia federal, criada pela lei nº 4.118 de 27 de agosto de 1962 , vinculada ao Ministério da ciência e tecnologia e inovação é o órgão que regula e fiscaliza a radioproteção e segurança nuclear no Brasil.

Segundo a CNEN (2017a) existem 13 instalações licenciadas na perfilagem de petróleo, distribuídas nas cidades de varias unidades de federação e com as datas de validades das licenças, conforme mostra a tabela 3 e o mapa da figura 7, mostra a distribuição das instalações a nível das unidades de federação.

Tabela 3: Inventario das instalações de perfilagem de poço de petróleo no Brasil

Matricula	Instituição	Cidade	Unidade de Federação	Autorização
16123	AFC Geofísica LTDA	Porto Alegre	RS	30/09/2017
13944	Baker Hughes Do Brasil Ltda - Divisão INTEQ – S/A	Macaé	RJ	30/11/2018
15593	Geosol Geologia e Sondagens S/A	Belo Horizonte	MG	30/07/2019
16491	Halliburton Serviços Ltda	Mossoro	RN	31/01/2019
165520	Halliburton Serviços Ltda – Catu/BA	Catu	BA	31/01/2019
16314	Halliburton Serviços Ltda	Macaé	RJ	30/01/2019
10248	Halliburton Serviços Ltda – Catu/BA	Catu	BA	30/01/2019
15113	Schlumberger Serviços de Petróleo Ltda	Mossoro	RJ	30/09/2019
16430	Schlumberger Serviços de Petróleo Ltda	Catu	BA	30/04/2020
14361	Schlumberger Serviços de Petróleo Ltda Schlumberger Serviços de Petróleo Ltda – Catu	Catu	BA	08/01/2019
15940	Schlumberger Serviços de Petróleo Ltda – Mossoro	Mossoro	RN	08/01/2019
10571	Schlumberger Serviços de Petróleo Ltda – Urucu	Manaus	AM	30/09/2017
15139	Schlumberger Serviços de Petróleo Ltda – D E M/ANA	Macaé	RJ	30/11/2018

Fonte: CNEN (2017a)

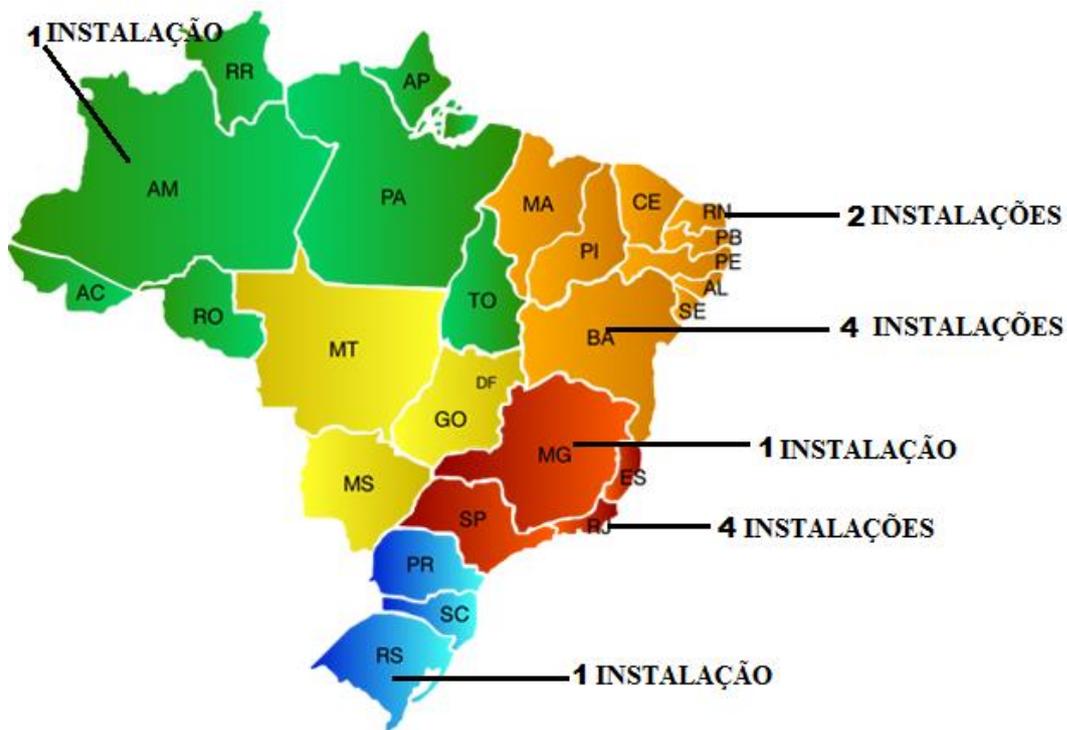


Figura 8: Distribuição das instalações de perfilagem de poço de petróleo no Brasil
 Fonte: a autora da pesquisa

2.3 Inventário de instalações e fontes de perfilagem de poços de petróleo em Moçambique

Moçambique é um país que fica localizado na costa oriental da África Austral, limitado a norte pela Tanzânia, a noroeste pelo Malawi e Zâmbia, a oeste pelo Zimbábwe, a leste pelo Canal de Moçambique e oceano Índico, e a sul e sudoeste pela África do Sul e Suazilândia. Tem uma área de 801.590 km² e uma população estimada em 27.128.530, conforme mostra a figura 8 (Portal do Governo, 2017).



Figura 9: Mapa de Moçambique

Em Moçambique foram descobertos jazigos de gás e carvão que contam entre os maiores do mundo. De acordo com o Instituto Nacional de Petróleo, Moçambique possui mais de 2,8 bilhões de metros cúbicos de reservas de gás, comparáveis às reservas do Iraque (HOFMANN, K & MARTINS, 2012).

Devido a descoberta desses recursos, a indústria extrativa tem ganhado grandes proporções, daí cresce a demanda de uso de várias tecnologias para a sua exploração dentre os quais o uso das radiações ionizantes.

Segundo o órgão regulador de Moçambique a Agencia Nacional de Energia Atomica (ANEA), em 2016 foram licenciadas 9 empresas que operaram na prospecção de petróleo em 6 bacias sedimentares localizadas nas regiões Norte, Centro e Sul de Moçambique com um total de 48 fontes de céσιο-137, 17 fontes de amerício-241-berílio, 3 de amerício, 2 de 4 de califórnio-252.

2.3 Principais conceitos relacionados à segurança radiológica

A radioproteção é o conjunto de medidas que visam a proteger o ser humano e seus descendentes contra possíveis efeitos indesejados causados pela radiação ionizante CNEN (2005).

Segundo a AIEA (2017) o principal objetivo da segurança radiológica é proteger a pessoas e o meio ambiente dos efeitos nocivos das radiações ionizantes, para o alcance destes objetivos foram estabelecidos 10 princípios de radioproteção a saber:

- A responsabilidade principal em matéria de segurança deve recair na pessoa ou organização responsável das instalações e atividades que levem a riscos de radiação. O Titular mantém a responsabilidade primordial da segurança durante a vida útil das instalações e atividades, e esta responsabilidade não pode ser delegada.
- O Governo é responsável pela adoção, dentro de seu ordenamento jurídico, de leis, regulamentos, e outras normas e de medidas que sejam necessárias para cumprir todas suas responsabilidades nacionais e as obrigações internacionais de maneira eficaz, e para o estabelecimento de um órgão regulador independente.
- A liderança em matéria de segurança tem que ser demonstrada nos mais altos níveis da organização. A segurança tem que ser alcançada e mantida por meio de um sistema eficaz de gestão. O sistema de gestão também tem que velar pela promoção de uma cultura de segurança, a avaliação periódica de resultados em matéria de segurança e a aplicação das lições aprendidas da experiência.
- A Justificação das instalações e atividades que levem a riscos de radiação deve proporcionar um benefício geral.
- A proteção deve ser otimizada para proporcionar o nível máximo de segurança que, razoavelmente, pode ser logrado.
- Na Limitação de Riscos para as Pessoas, as medidas para o controle dos riscos de radiação devem garantir que nenhum indivíduo tenha um risco inaceitável de dano.
- As gerações presentes do futuro e o meio ambiente devem ser protegidos contra riscos de radiação, pois, os riscos de radiação podem transcender as fronteiras nacionais e podem persistir por longos períodos de tempo. As possíveis consequências, agora e no futuro, das atuais ações devem ser levadas em conta para julgar a adequação das medidas destinadas ao controle de riscos da radiação.
- Todos os esforços devem ser feitos para prevenir e mitigar acidentes nucleares ou radiológicos através da adoção de medidas que previnem a perda de fontes radioativas ou o controle sobre a fonte.

- Na preparação para casos de emergência e resposta devem ser tomadas medidas para preparar resposta ante situações de emergências nucleares e radioativas. O Titular da licença, o empregador, o órgão regulador e outros setores do governo têm que estabelecer, antecipadamente, os acordos de preparação e resposta a emergência a nível local, regional, nacional e internacional.
- Medidas de proteção para reduzir os riscos de radiação existente ou não Autorizada, devem ser justificadas e otimizadas.

A presente pesquisa prioriza a aplicação dos seguintes princípios: Justificação da prática, otimização da proteção e a limitação da dose, pois é através deles que se norteiam a adequação das medidas de proteção radiológica para a prática de perfuração de poço de petróleo.

2.4 Principais conceitos relacionados à segurança física

As atividades que envolvem as aplicações de radioisótopos devem ser realizadas de forma segura para garantir proteção física da instalação e da fonte radioativa de modo a não permitir que indivíduos usem as fontes para cometer um evento mal intencionado. Segundo a norma 2.01 CNEN, segurança física é o conjunto de medidas destinadas a evitar atos de sabotagem contra materiais, equipamentos e instalações; a impedir a remoção não autorizada de material, em especial, nuclear; prover meios para rápida localização e recuperação de material desviado; à defesa do patrimônio e da integridade física do pessoal de uma unidade operacional.

Para a proteção das fontes radioativas é preciso ter um sistema de segurança que execute as funções básicas da segurança física, e nesse projeto está incluso um gerenciamento seguro, implantação de sistemas que impossibilitam ou atrasam o acesso não autorizado até a fonte, a detecção caso tal acesso não autorizado ocorra, e a garantia de medidas para minimizar as consequências e a recuperação das fontes.

As 5 funções básicas da segurança física são a Dissuasão, Detecção, Retardo, Resposta e Gestão de Segurança IAEA(2009).

A Dissuasão é a ação ou processo de ações de desencorajamento ou prevenção de ocorrências por incutir medo, dúvida ou ansiedade ao adversário, induzindo ou instigando a este a mudar de opinião ou de intenção. A dissuasão pode ser alcançada

através de: barreiras físicas, sistemas de controle de acesso, sinalizações, circuito fechado de televisão e iluminação.

A Detecção é a descoberta de uma tentativa ou intrusão da área ou instalação onde a fonte radioativa está localizada com o objetivo de remover uma fonte radioativa sem a devida autorização. A detecção pode ser feita através de: observação visual, vigilância por vídeo, sensores eletrônicos e registros de contabilidade.

O Retardo tem como objetivo de fornecer um retardo suficiente após a fase de detecção e certificação, permitindo que a força de resposta interrompa e neutralize o adversário. Este, deve ser projetado para fornecer proteção equilibrada para evitar um caminho fácil para o adversário geralmente alcançado através de barreiras ou outros meios físicos.

A Resposta engloba as ações empreendidas após a detecção para impedir que os adversários tenham sucesso na conclusão de sua tarefa. As ações de resposta incluem: Comunicação eficaz e oportuna com a força de resposta; desdobramento efetivo da força de resposta à localização do adversário em tempo hábil e resposta adequada para neutralizar o adversário. O tempo de resposta após a detecção deve ser concebido para ser inferior ao tempo necessário para quebrar as barreiras e as tarefas necessárias para remover ou sabotar a fonte radioativa. A equipe de resposta deve ser de tamanho e recursos suficientes para neutralizar o adversário.

A Gestão de Segurança consiste na disponibilização de recursos (pessoal e financiamento) para a segurança das fontes, através do desenvolvimento de procedimentos, políticas, registros e planos para a segurança das fontes e para a adoção de uma cultura de segurança mais efetiva. A gestão de segurança também inclui desenvolvimento de procedimentos para o bom manejo de informações sensíveis protegendo-as contra a divulgação não autorizada (IAEA, 2009).

A figura 9 mostra os principais conceitos básicos da segurança física estabelecidos pela Agencia Internacional de energia atômica e aplicáveis as fontes e instalações de perfuração de poços de petróleo.



Figura 10: Funções do Sistema de Segurança Física
 Fonte: (CNEN, 2017b)

A IAEA (2009) destaca ainda que para além de fornecer segurança de fontes radioativas, é necessário proteger informações relacionadas as fontes que inclui documentos, dados do computador, sistemas e outros meios que podem ser usados para identificar detalhes sobre: a localização específica das fontes, o inventario de fontes, o plano de segurança, sistemas de segurança, limitações de segurança e os mecanismos de resposta ao furto. Dai surge a necessidade de aprimorar cada vez mais a aplicação dos conceitos de modo a fortalecer o sistema de segurança por todos os envolvidos nas atividades com fontes radioativas.

2.5 Recomendações internacionais sobre a proteção radiológica em instalações de perfuração de poço de petróleo

A Agência Internacional de Energia Atômica através do documento "*Radiation Protection And The Management Of Radioactive Waste In The Oil And Gas Industry*" (IAEA, 2003b) fornece orientações praticas baseadas em bom funcionamento das praticas na indústria de petróleo e gás. Estas orientações baseiam-se nas exigências contidas nas normas de segurança básica internacionais para proteção frente às radiações ionizantes e para a segurança das fontes de radiação, a saber:

a) Segurança Radiológica em Condições Normais de Trabalho

As fontes usadas na perfilagem de poço de petróleo pertencem a categoria 3, portanto representam grande potencial de exposição para os grupos de trabalhadores desta indústria. O transporte e o movimento de embalagens e despachos contendo fontes expõem potencialmente os trabalhadores empregados pelas várias empresas de transporte que abastecem materiais para esta indústria por terra, mar e ar. Por isso, existe uma necessidade de uma boa organização logística por parte dos operadores para assegurar que as fontes e os trabalhadores treinados para usá-las ou instalá-las sejam mobilizados para se apresentarem de modo coordenado. Os acordos para armazenamento temporário e permanente que são disponibilizados para as fontes em sua chegada devem atender aos regulamentos estabelecidos pela Autoridade Reguladora. Estas normas providenciam a inclusão de exigências quanto à segurança, sinalização de aviso inteligível na linguagem local ou em múltiplas línguas; blindagens adequadas; e armazenagem separada de outros materiais perigos, outros materiais não radioativos, e locais de trabalho. Os trabalhos que incluem a remoção de fontes de radiação de seu recipiente blindado, particularmente aquelas manipuladas durante registradores de poço, normalmente demandam o uso de barreiras físicas para delimitar o perímetro das áreas controladas.

b) Perda ou colocação em lugar inadequado de fontes de radiação

As fontes usadas nesta prática, frequentemente são transportadas entre as bases das empresas de serviços e os pontos de uso, algumas vezes são transferidas ou redirecionadas para novos locais e podem ser movidas, removidas para armazéns temporários ou recolocadas dentro de um campo ou entre locais. São vulneráveis a perda ou roubo ou simplesmente serem colocadas em locais indevidos. As empresas de serviços e operadores devem manter registros detalhados e precisos da contabilidade sobre a localização das fontes durante todo o seu tempo de vida útil até o seu descarte de tal modo que possam ser evitados acidentes com exposição laboral ou de público.

c) Recuperação de fontes desconectadas em um poço

Quando a ferramenta de perfilagem é colocada em um poço existe o risco de que a fonte de radiação contida nela, tal como Césio 137 e amerício – berílio²⁴¹ e possa

não ser recuperada. Nesta situação, o licenciado deve notificar imediatamente a Autoridade Reguladora e auxiliar o operador, assegurando que todos os esforços racionais sejam praticados para recuperar a fonte. É importante que a maneira com que é feita a recuperação não comprometa a integridade do encapsulamento do material radioativo. Danos provocados no encapsulamento podem causar a dispersão de contaminação radioativa no poço, e de todos os equipamentos associados ao trabalho no poço. Durante as operações de recuperação, deve-se monitorar as lamas de retorno para demonstrar qualquer evidência de danos na fonte fazendo uso de instrumentos adequados para a detecção dos tipos e energias das emissões do material da fonte radioativa.

d) Danos físicos na fonte, recipiente e outros equipamentos.

Os recipientes onde as fontes de radiação são transportadas, movimentadas e armazenadas, geralmente, são projetados para proporcionar blindagem adequada e segurança radiológica sob muitas condições climáticas. Demandam um grau de manutenção que pode necessitar ser aumentado em ambientes de trabalho com condições mais rigorosas, por exemplo, em ambientes salgados e arenosos onde a corrosão e umidade excessiva podem ter que ser consideradas.

As medidas preventivas adequadas normalmente de modo a garantir melhor conservação física da fonte, recipiente e outros equipamentos são:

- Realização de medidas regulares das propriedades da blindagem dos recipientes para fontes de radiação,
- Monitoramento das taxas de dose medidas na superfície.
- Realizar teste de esfregaço a fim de verificar a fuga em fontes, em intervalos considerados pelo fabricante da fonte ou conforme exigências da Autoridade Reguladora. As fontes apresentam maiores riscos de ruptura quando colocadas no fundo do poço podem demandar a realização de testes com maior frequência, por exemplo, duas vezes ao ano.

e) Treinamento em radioproteção dos trabalhadores

Os empregadores e os licenciados devem fornecer aos trabalhadores informações, instruções e treinamento sobre proteção e segurança com informações

adequadas sobre os riscos para a saúde resultante da exposição ocupacional em operação normal, ocorrências e condições de acidente, e reciclagem periódica em proteção e segurança. Este treinamento deve abranger procedimentos operacionais, carga horária definida e conteúdo programático, deve ser registrado e arquivado para assegurar a sua integridade.

f) Procedimentos de radioproteção para situações de emergências

Na área de perfilagem de poços de petróleo podem ocorrer diversas situações de emergência, com maior destaque as seguintes: destruição do veículo de transporte do material radioativo, incêndio no local das operações de rotina, vazamento das fontes radioativas e perda da fonte radioativa com a ferramenta dentro do poço de perfilagem. Assim, para lidar com situação de emergência radiológica é necessário disponibilizar os procedimentos de emergência com orientações gerais sobre como proceder em termos de proteção radiológica laboral, escritos de forma clara e objetiva que esteja ao alcance de todos os trabalhadores envolvidos. Nos procedimentos deve-se incluir informações sobre os mecanismo de notificação à autoridade reguladora, medidas de segurança para limitar a e evitar exposições indesejadas e restrição de acesso até que uma pessoa seja autorizada avaliar a magnitude do evento.

g) O manuseio das fontes radioativas nas operações de rotina

As fontes radioativas seladas usadas na perfilagem de poço de petróleo são fabricadas com especificações definidas por norma ISO. No manuseio é necessário tomar atenção na remoção da fonte do recipiente e encaixar através de um torque específico na sonda. Quando este procedimento é feito de forma inadequada, surgem situações de emergências tais como irradiações longas que podem resultar em doses significativas recebidas pelos engenheiros e técnicos realizando este tipo de trabalho. A causa mais provável de dose significativa recebida acidentalmente é a falha em usar um equipamento de monitoração adequado para detectar uma fonte sem blindagem. A Figura 11 mostra um tipo de ferramenta utilizada como chave para rosquear as fontes da blindagem e transferi-las para a sonda.



Figura 11: Ferramenta usada no manuseio da fonte
Fonte: autora da pesquisa

A figura 12, ilustra a forma adequada de fazer o encaixe e a respectiva remoção da fonte na sonda e a figura 13, mostra a sonda usada na perfilagem de poço de petróleo.



Figura 12: encaixe com um torque específico na colocação e remoção da fonte na sonda
Fonte: (AIEA, 2017a)



Figura 13: sonda usada na perfilagem de poço de petróleo
Fonte: autora da pesquisa

h) Calibração das sondas

À medida que o tempo passa, as fontes radioativas se desintegram de acordo com suas meias-vidas. Para garantir que a ferramenta continue a fornecer resultados precisos, ela deve ser calibrada regularmente. As taxas de dose causadas pela fonte de ^{137}Cs podem exceder a $7,5 \mu\text{Sv/h}$ em até 30 metros na direção frontal e aproximadamente 4 metros atrás do operador. A radiação proveniente da fonte é direcionada para pontos distantes de qualquer área ocupada. As taxas de dose de fontes de nêutrons podem exceder a $7,5 \mu\text{Sv/h}$ para distâncias de até 4 metros. As calibrações principais na ferramenta são realizadas periodicamente na base de operação estas verificações envolvem a colocação da fonte na sonda IAEA (2003b).

Quando da realização de calibração dos detectores das ferramentas, o local deve ser isolado e sinalizado, o levantamento radiométrico deve ser realizado e os resultados destas operações devem ser registrados. Segundo a AIEA (2017a) são realizadas as calibrações com as seguintes especificações:

- A calibração de uma ferramenta para gama natural utilizam-se as seguintes especificações: os radioisótopos são o tório-232 e o rádio-226 com atividades de 92,5 a 185 kBq (2,5 a 5 mCi) e meia vida de $1,4 \times 10^{10}$ anos, através da missão de radiação gama respetivamente.

- Na calibração de uma ferramenta de densidade (gama) o radioisótopo mais usado é o Césio-137 com atividades de 37 GBq a 92,5 GBq (1 a 2,5 Ci) e meia-vida de 30,2 anos através da emissão de radiação gama.
- Calibração de uma ferramenta de Porosidade (nêutrons) nesta calibração utiliza-se o amerício-berílio 241 com atividades de 222 GBq a 814 GBq (6 a 22 Ci) e meia-vida de 432 anos através da emissão de nêutrons.

i) Levantamentos radiométricos das blindagens das fontes radioativas

As fontes de radiação gama e de nêutrons usadas na perfilagem de poço de petróleo, normalmente são transportadas em recipientes massivos separados denominados blindagens de transporte ou blindagens de carga. São embalados de transporte do Tipo A (ou algumas vezes do Tipo B para fontes de nêutrons) que atendem às especificações para rótulos de Categoria Amarela III conforme definição dos Regulamentos da IAEA para o Transporte seguro de materiais radioativos. Podem ser transportadas por rodovia nos veículos das empresas prestadoras de serviços que fazem uso de perfilagem de poços em terra. Quando são utilizadas distante da costa, as blindagens normalmente estão acomodadas em sobre embalados. Todas as blindagens devem estar sinalizadas com a etiqueta de material radioativo e no caso de transporte, deve constar o índice de transporte, que é obtido por meio do levantamento radiométrico. Este levantamento deve ser registrado e arquivado para assegurar a integridade da blindagem. A figura 14 mostra a blindagem aplicada as fontes usadas em perfilagem de poço de petróleo.



Figura 14: Tipos de blindagens de fontes radioativas à esquerda, blindagem utilizada para fonte de céscio 137 e à direita para fonte de amerício - berílio241

Fonte: AIEA (2017)

j) Procedimentos de radioproteção para armazenamento do material radioativo

Na perfilagem de poço de petróleo o armazenamento é feito em dois locais distintos, a saber: armazenamento permanente localizada na base ou na sede da empresa proprietária das fontes e o armazenamento temporário que se localiza na área de realização dos trabalhos nas proximidades do poço. No armazenamento as fontes devem ser segregadas de outros materiais perigosos e deve ser feito em áreas seguras, isoladas, trancadas, blindadas, sinalizadas com a devida identificação do tipo de radioisótopo, número de série e a respectiva atividade. Elas devem conter também o símbolo internacional da radiação. A Figura 15 mostra um exemplo de um local de armazenamento de fontes radioativas.



Figura 15: Local de armazenamento de fontes radioativas
Fonte: AIEA, (2005a)

Os locais de armazenamento devem ser projetado e construído obedecendo a pré-requisitos estipulados de forma a garantir a segurança física e radiológica aos trabalhadores e aos indivíduos do público.

2.6 Recomendações internacionais sobre a segurança física de fontes radioativas em perfilagem de poço de petróleo

As fontes radiativas possuem uma ampla gama de características que os tornam atraentes em vários níveis para os adversários. Várias medidas de segurança devem ser utilizadas para garantir que as fontes sejam protegidas. A IAEA (2009), estabeleceu três níveis de segurança (A, B e C) com os seguintes objetivos:

- O nível de segurança A impedir a remoção não autorizada de uma fonte;
- O nível de segurança B minimizar a probabilidade de remoção não autorizada de um fonte;
- O nível de segurança C reduzir a probabilidade de remoção não autorizada de uma fonte.

Como as fontes radioativas usadas na perfilagem de poço de petróleo pertencem ao grupo B, o objetivo do nível de segurança B é minimizar a probabilidade de remoção não autorizada de fontes radioativas. Se uma tentativa acesso não autorizado ou a remoção não autorizada ocorrerem, a resposta deve ser iniciada imediatamente após a detecção e avaliação da intrusão. A quando da realização deste objetivo, reduzirá a probabilidade de um ato malicioso ser bem sucedido e para atingi-los é necessário alcançar um nível adequado de desempenho para cada uma das

seguintes funções de segurança: dissuasão, detecção, atraso, resposta e gestão de segurança.

A dissuasão é uma função de segurança que é difícil de quantificar, consequentemente não foi atribuído um conjunto de objetivos e medidas de segurança associados.

2.6.1 Medidas de segurança para a detenção

A detenção tem como objectivo de segurança fornecer a detenção imediata de qualquer acesso não autorizado as fontes radioativas. Assim, as medidas de segurança recomendadas para este grupo são:

- Equipamentos eletrônicos de detenção de intrusão;
- Vigilância contínua pelo pessoal da operação;
- Monitoramento remoto de circuito fechado de televisão;
- Meios de comunicação rápidos e confiáveis tais como: telefones, telefones celulares e rádios.
- Verificação semanal através de verificações físicas se a fonte está no local;
- Verificação de adulteração dos selos ou das blindagens e medição da radiação;

Para as fontes em armazenamento, tais medidas devem detectar o acesso não autorizado a sala trancada ou ao local onde as fontes são armazenadas. Para as fontes móveis ou portáteis em uso, a vigilância visual contínua pode ser o único meio viável de detenção de intrusão.

2.6.2 Medidas de segurança para o retardo

O principal objectivo do retardo é minimizar a probabilidade de remoção não autorizada das fontes. A medida de segurança aplicável para esta função é o sistema de duas camadas de barreiras (paredes e gaiolas) no local de armazenamento. Um sistema equilibrado de duas barreiras deve separar a fonte de pessoal não autorizado. Para o local de uso, a vigilância visual contínua pelo pessoal do operador pode substituir as barreiras.

2.6.3 Medidas de segurança para a resposta

O objetivo de segurança é proporcional à inicialização imediata de resposta de modo a interromper a remoção não autorizada de uma fonte radiativa. As principais medidas de segurança são disponibilização de equipamentos e procedimentos para iniciar imediatamente a resposta.

O operador deve estabelecer protocolos para garantir a implantação imediata de pessoal de resposta sem demora, em resposta a um alarme, para interromper a ação do adversário. A resposta pode ser através de uma força de segurança diretamente empregada, polícia local ou segurança contratada e deve ser coordenada com as autoridades locais para mitigar as possíveis consequências.

2.6.4 Gestão de segurança

Tem o objetivo de fornecer controles de acesso e restringir apenas a pessoas autorizadas através da identificação.

A identidade e a autorização de uma pessoa que procura acesso podem ser verificadas através de:

- Um PIN para ativar um leitor de controle de porta;
- Um sistema de crachá que também pode ativar um leitor eletrônico;
- Características biométricas para ativar um dispositivo de controle de porta;

Para fontes em armazenamento, tais medidas devem controlar o acesso local onde a fonte é armazenada e para fontes móveis ou portáteis em uso, a vigilância visual contínua pelo pessoal do operador pode substituir o controle de acesso.

A IAEA (2009) destaca ainda que para além de fornecer segurança de fontes radioativas, é necessário proteger informações relacionadas às fontes que inclui documentos, dados do computador, sistemas e outros meios que podem ser usados para identificar detalhes sobre: a localização específica das fontes, o inventário de fontes, o plano de segurança, sistemas de segurança, limitações de segurança e os mecanismos de resposta ao furto. Daí surge a necessidade de aprimorar cada vez mais a aplicação das medidas de segurança de modo a fortalecer o sistema de segurança por todos os envolvidos nas atividades com fontes radioativas.

2.7 Regulamentação no Brasil

Tendo em conta a magnitude de uso de fontes radioativas na prospecção petrolífera, no Brasil, a regulamentação, incluindo o licenciamento das empresas para sua utilização, é feito pela CNEN que através de suas normas gerais e regulamentos específicos, determina ações e procedimentos a serem adotados. No Brasil, norma específica para a perfilagem de poço de petróleo esta em elaboração na fase final de correções e tem a previsão de estar pronta no próximo ano (2018), assim, apoiam-se nas seguintes normas gerais:

- Norma CNEN NN 3.01 Março / 2014 - Diretrizes básicas de proteção radiológica;
- Norma CNEN NN 6.02 Abril/2014 - Licenciamento de Instalações Radiativas
- Norma CNEN NE 3.02 Agosto/1988 - Serviços de Radioproteção
- Norma CNEN NN 7.01 Marco/2013 - Certificação da Qualificação de Supervisores de Proteção Radiológica
- Norma CNEN NE 5.01 Agosto / 1988 - Transporte de Materiais Radioativos

2.7.1 Norma CNEN NN 3.01 Março / 2014 - Diretrizes básicas de proteção radiológica

O objetivo desta Norma é estabelecer os requisitos básicos de proteção radiológica das pessoas em relação à exposição à radiação ionizante, aplicam-se as práticas, incluindo todas as fontes associadas a essas práticas, bem como a intervenções. Os responsáveis principais pela aplicação desta norma são os titulares e os empregadores. Esta norma, apresenta os três princípios básicos da proteção radiológica, a saber:

a) Justificação

Nenhuma prática ou fonte associada a essa prática será aceita pela CNEN, a não ser que a prática produza benefícios, para os indivíduos expostos ou para a sociedade, suficientes para compensar o detrimento correspondente, tendo-se em conta fatores sociais e econômicos, assim como outros fatores pertinentes.

b) Limitação de dose individual

A exposição normal dos indivíduos deve ser restringida de tal modo que nem a dose efetiva nem a dose equivalente nos órgãos ou tecidos de interesse, causadas pela

possível combinação de exposições originadas por práticas autorizadas, excedam o limite de dose especificado na tabela a seguir, salvo em circunstâncias especiais, autorizadas pela CNEN. Na tabela 4, encontram-se os limites de dose individual estabelecidos nesta norma.

Tabela 4: Limites de dose estabelecidos pela CNEN

Limites de Dose Anuais			
Grandeza	Órgão	Indivíduo ocupacionalmente exposto	Indivíduo do público
Dose efetiva	Corpo inteiro	20 mSv [a]	1 mSv
Dose Equivalente	Cristalino	20 mSv [a]	15 mSv
	Pele	500 mSv	50 mSv
	Mãos e pés	500 mSv	---

Fonte: (CNEN, 2014a)

[a] Média aritmética em 5 anos consecutivos, desde que não exceda 50 mSv em qualquer ano.

c) Otimização

Em relação às exposições causadas por uma determinada fonte associada a uma prática, salvo no caso das exposições médicas, a proteção radiológica deve ser otimizada de forma que a magnitude das doses individuais, o número de pessoas expostas e a probabilidade de ocorrência de exposições mantenham-se tão baixas quanto possa ser razoavelmente exequível, tendo em conta os fatores econômicos e sociais. Nesse processo de otimização, deve ser observado que as doses nos indivíduos decorrentes de exposição à fonte devem estar sujeitas às restrições de dose relacionadas a essa fonte.

2.7.2 Norma CNEN NN 6.02 Abril/2014 - Licenciamento de Instalações Radiativas

Esta norma tem por objetivo estabelecer os requisitos para o licenciamento de instalações radiativas, bem como ao controle de aquisição e movimentação de fontes de radiação. A norma subdivide as instalações radiativas da seguinte maneira: Instalações que utilizam fontes seladas; instalações que utilizam fontes não seladas; instalações que utilizam equipamentos geradores de radiação ionizante; e instalações para a produção de

radioisótopos, classificando-se de acordo com a gradação do risco, em grupos e subgrupos.

No caso da perfilagem de poço de petróleo, pertencente ao grupo 3, segundo a definição contida nesta norma:

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

No caso de um único radionuclídeo:

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

A perfilagem de poço de petróleo segundo esta norma, pertence a ao subgrupo 3C, onde para processo de licenciamento os atos administrativos e requerimentos esta norma determina que:

- i. As pessoas jurídicas que desejarem operar instalações radiativas devem requerer, previamente ao início de suas atividades, as devidas autorizações junto à CNEN, em conformidade;
- ii. Para as instalações radiativas o subgrupo 3C é necessário autorização para modificação de itens importantes à segurança,
- iii. Toda e qualquer instalação radiativa deve contar com, pelo menos, um supervisor de proteção radiológica e pessoal qualificado, de acordo com normas específicas expedidas pela CNEN.

2.7.3 Norma CNEN NE 3.02 Agosto/1988 - Serviços de Radioproteção

O objetivo desta Norma é estabelecer os requisitos relativos à implantação e ao funcionamento de Serviços de Radioproteção e aplica-se as instalações radiativas. Uma

vez que na perfuração de poço de petróleo usa-se fontes radioativas, obedece aos requisitos estabelecidos pelos Serviços de Radioproteção como:

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

Em função das suas necessidades, o serviço de radioproteção deve possuir instalações para:

- Acomodação do pessoal;
- Higiene pessoal;
- Troca e guarda de vestimentas;
- Descontaminação externa de pessoas;
- Aferição, ajuste, guarda e descontaminação de equipamentos;
- Elaboração e arquivamento de documentos e registros; e
- Pronta comunicação entre pessoas apropriadas da instalação e com as pessoas e instituições externas relevantes para o caso de notificações e tomada de decisões em emergências.

Em função das suas necessidades, o serviço de radioproteção deve possuir os equipamentos necessários para:

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

Ainda segundo esta norma, o titular de uma instalação radiativa deve designar um supervisor de radioproteção e este deve desempenhar as seguintes atividades:

- Controle de trabalhadores;

- Controle de áreas;
- Controle do meio ambiente e da população;
- Controle de fontes de radiação e de rejeitos;
- Controle de equipamentos;
- Treinamento de trabalhadores; e
- Registros de dados e preparação de relatórios.

2.7.4 Norma CNEN NN 7.01 Março/2013 - Certificação da Qualificação de Supervisores de Proteção Radiológica

Esta norma tem por objetivo estabelecer os requisitos necessários à certificação da qualificação de supervisores de proteção radiológica. O candidato deve ser aprovado em exame de certificação mediante provas. As áreas de atuação para as quais a CNEN certifica supervisores de proteção radiológica são agrupadas por classes I ou II, estando também especificado o tempo de experiência requerido para cada área. Na tabela, encontram-se as relações das classes e suas respectivas áreas de atuação. Segundo esta norma, a perfuração de poço de petróleo pertence a classe II com o tempo de experiência de 200 horas.

2.7.5 Norma CNEN NE 5.01 Agosto / 1988 - Transporte de materiais radioativos

O objetivo da presente 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. Nela, no contexto do transporte de materiais radioativos, aplica-se: ao transporte por terra, água ou ar, ao projeto, fabricação, ensaios e manutenção de embalagens, à preparação, expedição, manuseio, carregamento, armazenagem em trânsito e recebimento no destino final de embalados e ao transporte de embalagens vazias, que tenham encerrado material radioativo. Esta norma não se aplica ao transporte de material radioativo que se realize: no interior de instalações nucleares ou radiativas, a ser efetuado e supervisionado de acordo com procedimentos elaborados pelo Supervisor de Radioproteção da instalação ou através de seres humanos nos quais tenham sido implantados marca-passo cardíaco ou outros aparelhos radioisotópicos ou

que tenham sido tratados com produtos radio farmacêuticos, ou tendo o material radioativo como parte integrante do meio de transporte.

2.8 Regulamentação em Moçambique

Em Moçambique foi aprovada pela Assembleia da República em Maio de 2017, a Lei de energia atômica designada Lei nº 08/2017 de 21 de Julho de 2017, tem como principal objetivo assegurar a proteção adequada dos indivíduos, da sociedade e do meio ambiente, no presente e no futuro, contra os efeitos nocivos das radiações ionizantes, bem como a segurança e a proteção das fontes radioativas. Lei aplica-se a todas as atividades ou práticas que envolvam o uso pacífico de energia nuclear ou radiações ionizantes realizadas em Moçambique e dá plenos poderes a Agência Nacional de Energia Atômica, de regulação, supervisão, fiscalização, inspeção e sancionamento, da radioproteção e segurança nuclear em Moçambique. Não existe ainda uma norma específica para as práticas, assim, a perfilagem de poço de petróleo apoia-se à Lei 08/2017, onde apresenta os princípios básicos da radioproteção, a saber:

a) **justificação:** a atividade ou prática que envolva o uso pacífico de energia nuclear ou radiações ionizantes é licenciada quando produza benefícios para as pessoas expostas ou para a sociedade de modo a compensar pelos danos causados pela radiação, tomando em consideração aspectos de carácter social, económico e outros fatores relevantes;

b) **otimização:** as exposições decorrentes de qualquer atividade ou prática que envolva o uso pacífico de energia nuclear ou radiações ionizantes devem ser mantidas tão baixa quanto razoavelmente possível, tendo em conta fatores sociais e económicos;

c) **limitação da dose:** A soma das doses de todas atividades ou práticas que envolvam o uso pacífico de energia nuclear ou radiações ionizantes, não deve ultrapassar o limite da dose estabelecida, de modo a que nenhuma pessoa possa estar sujeita a um risco inaceitável atribuível à exposição à radiação.

Quanto aos requisitos de proteção contra radiações, a Lei estabelece que entidade reguladora deve fixar os requisitos para proteção contra as radiações, a serem

cumpridas antes de autorizar qualquer atividade ou prática que envolva o uso pacífico de energia nuclear ou radiações ionizantes, nomeadamente:

- a) Que a entidade licenciada tenha uma compreensão adequada dos princípios fundamentais de proteção contra as radiações;
- b) Que a entidade licenciada tome todas as medidas necessárias para a proteção e segurança dos trabalhadores e do público, através da manutenção das doses abaixo do limite e assegurar que todas as medidas adequadas sejam tomadas para minimizar os efeitos adversos na população e no ambiente, no presente e no futuro, bem assim ao ambiente;
- c) Que a entidade licenciada planeie e implemente as medidas técnicas e organizativas necessárias para garantir a segurança adequada, incluindo a proteção eficaz contra riscos radiológicos;
- d) Que a entidade licenciada prepare e implemente um plano de emergência adequado;
- e) Que a entidade licenciada assegure a sua conformidade com os limites de dose estabelecidos e monitorar a exposição dos trabalhadores à radiação;
- f) Que a entidade licenciada tenha recursos humanos e financeiros para realizar a atividade ou prática requerida de forma que garanta a segurança e proteção física;
- g) Que a entidade licenciada tenha celebrado acordos financeiros adequados para eliminação de resíduos, desmantelamento e responsabilidade potencial por dano radiológico e nuclear;
- h) Que a entidade licenciada disponibilize o acesso dos inspetores da Entidade Reguladora aos locais necessários para o desempenho das suas funções;
- i) Que a entidade licenciada não altere o modo de condução de qualquer atividade ou prática licenciada de uma forma que possa afetar a proteção dos trabalhadores, do público ou do ambiente sem a necessária aprovação da Entidade Reguladora;
- j) Que a entidade licenciada forneça, a pedido ou de acordo com os requisitos regulamentares, todas as informações consideradas necessárias pela Entidade Reguladora.

3. METODOLOGIA

Neste trabalho, a autora apoiou-se na revisão bibliográfica, que consistiu na recolha da literatura essencial relacionada com o tema. A literatura é composta de referências teóricas publicadas em livros, teses, normas brasileiras, leis moçambicanas, manuais da IAEA e alguns publicados na internet.

Foi usada a revisão bibliográfica neste trabalho com o objetivo de obter informações sobre o conceito de perfilagem de poço de petróleo, as fontes radioativas usadas nesta prática, para obter informações sobre os principais requisitos de segurança radiológica e segurança física aplicáveis as fontes radioativas e as instalações da perfilagem de poço de petróleo.

Discussões com Dr. João Carlos Leocadio da divisão da indústria do IRD (responsável pela elaboração da norma de perfilagem de poços), participação no seminário sobre “segurança radiológica e segurança física: harmonização e ação” e interação com os palestrantes.

Observação direta é um ponto de partida para todo o estudo científico e meio para verificar e validar os conhecimentos adquiridos. Esta técnica não consiste em apenas ver e ouvir, mas também em examinar factos ou fenómenos que se desejam estudar. É um elemento básico de investigação científica, utilizado na pesquisa de campo como qualitativa (RUDIO, 1997).

A autora aplicou esta técnica para colher as imagens sobre as ferramentas usadas na operação de rotina com fontes radiativas na perfilagem de poço de petróleo.

A observação de vídeos online referentes a procedimentos a serem seguidos em operações com as fontes radiativas na prática em alusão contribuiu significativamente para a consolidação da referida matéria.

4. RESULTADOS

4.1 Principais requisitos de segurança radiológica e de segurança física que devem ser seguidos para a segurança dos trabalhadores e dos membros do público.

As atividades que envolvem as aplicações de radioisótopos devem ser realizadas segundo preceitos que envolvem a proteção dos trabalhadores, do público e do meio ambiente. Por isso para além da radioproteção torna-se necessário a inclusão da segurança física das fontes de modo que a proteção dos trabalhadores, do público e do meio ambiente seja efetiva, e sempre devem ser consideradas em tais atividades. Na área de perfilagem de poços de petróleo alguns requisitos se tornam necessários, assim, na presente pesquisa como resultado das referências bibliográficas, apresenta-se a proposta dos principais requisitos técnicos de segurança radiológica e física das instalações e das fontes radioativas que devem ser seguidos.

4.2 Proposta de requisitos necessários para a segurança radiológica:

Na pratica de perfilagem de poços de petróleo os requisitos necessários para um bom planejamento da radioproteção são:

- a) Plano de proteção radiológica;
- b) Dosímetros pessoais para radiação gama e nêutrons;
- c) Serviço de calibração e leitura dos dosímetros para radiação gama e nêutrons;
- d) Monitores para radiação gama e nêutrons;
- e) Certificação da qualificação de um supervisor de radioproteção;
- f) Realizar teste de esfregaço nas fontes radioativas anualmente em laboratório certificado para o efeito;
- g) Procedimento de radioproteção para situação de emergência;
- h) Uso de blindagem nas fontes;
- i) Inventário e controlo de movimentação das fontes radioativas;
- j) Realização de medidas regulares das propriedades da blindagem dos recipientes para fontes de radiação;
- k) Calibração dos equipamentos

O Plano de proteção deve apresentar informações sobre: a descrição da instalação; serviço de radioproteção; inventário das fontes e equipamentos emissores de radiação ionizante; controle e segurança; programa de controle dos equipamentos do serviço de radioproteção programa de monitoração de área e equipamentos emissores de radiação ionizante; descrever o programa; função, descrição e classificação das áreas; programa de treinamento; instruções fornecidas aos trabalhadores, ou afixadas em locais determinados; programa de monitoração individual; local de armazenamento; programa de emergência; programa de garantia da qualidade aplicável ao sistema de proteção radiológica; planta da instalação com a localização dos equipamentos emissores de radiação ionizante.

Faz-se necessário enfatizar que a elaboração de um plano de radioproteção específico para a instalação é essencial, bem como a descrição de forma objetiva do sistema operacional implementado pelo serviço de radioproteção da instalação, contemplando os princípios, limites, obrigações e controles básicos estabelecidos em normas.

4.3 Proposta de requisitos necessários para a segurança física das fontes radioativas e das instalações.

Para proteger as fontes e instalações radioativas da perfuração de poço de petróleo, são propostos os seguintes requisitos:

- a) Uso de cercas e paredes nas bases;
- b) Sistema de crachá que ativa o leitor de controle da porta de modo a controlar o acesso à base;
- c) Verificação de adulteração dos selos ou das blindagens;
- d) Patrulhamento através de guardas;
- e) Garantir a vigilância na base através do uso de Circuito fechado de televisão e nas plataformas através de vigilância contínua pelo pessoal da operação;
- f) Registo de contabilidade das fontes radioativas.
- g) A comunicação via rádio e celular para garantir a neutralização rápida do adversário.
- h) Plano de segurança física das instalações e das fontes radioativas segundo os requisitos regulamentares;

- i) Uso de pacotes e recipientes bloqueados e selados durante o transporte das fontes radioativas;
- j) Conscientização dos trabalhadores sobre a implementação da cultura de segurança;

O Plano de segurança é um documento essencial que tem com objetivo de garantir a segurança física das fontes de radiação, quando armazenadas ou durante o transporte, nele deve-se incluir o seguinte: descrição da fonte, sua categorização e uso; descrição dos locais de armazenamento, uso em relação as suas áreas acessíveis ao publico; sistemas de vigilância, detecção e controle de acesso de pessoas às fontes de radiação; relação das pessoas e instituições envolvidas no programa de proteção física e suas responsa bilidades; equipamentos para o estabelecimento de canais que agilizem a comunicação entre as pessoas envolvidas nesse programa; realização de treinamentos e exercícios periódicos para validar o programa de proteção física e medidas preventivas contra:

- i. Atos de roubo, furto e sabotagem às fontes de radiação e instalações;
- ii. Remoção não autorizada de fontes de radiação;
- iii. Acesso indevido de pessoas não autorizadas às áreas supervisionadas e controladas da instalação.

De salientar que o plano de proteção física e os detalhes de projeto, localização e operação de dispositivos e de equipamentos de proteção física são de caráter sigiloso.

5. CONCLUSÃO

A perfilagem de poços é uma etapa fundamental para a determinação de importantes propriedades das rochas, e para identificação de fluidos e litologias. Com a geração dos perfis, obtêm-se os dados relacionados à profundidade, densidade e o que permite determinar a estimativa da quantidade de petróleo numa jazida de hidrocarboneto. Atualmente, nesta prática são usadas fontes radioativas de césio-137 que emite radiação gama e fontes de amerício-berílio²⁴¹ que emite neutrões. Estas fontes pertencem a categoria 3, dentre cinco classes de categorização, considerada perigosa e em caso de acidente representa um nível de risco radiológico maior.

Roubo, perda, esquecimento e manuseio errado de fontes radioativas são ações que podem causar acidentes e causar danos a saúde do homem e ao meio ambiente. Para evitar tais consequências, o armazenamento, transporte, calibração e manuseio devem seguir rigorosamente os requisitos de proteção radiológica e de proteção física indicados nas normas nacionais e internacionais, e devem ser monitorados pelos Supervisores de Radioproteção.

As medidas de proteção radiológica e as medidas de segurança física das fontes e das instalações tem em comum o objetivo de proteger a vida e a saúde do homem e o meio ambiente contra os efeitos nocivos da radiação ionizante. Assim essas medidas, devem ser concebidas e implementadas de forma integrada de modo que as medidas de proteção radiológica não comprometam as medidas de proteção física, bem como a segurança dos indivíduos e do meio ambiente. Na figura 16, apresenta-se a integração dos principais requisitos entre a proteção radiológica e física das instalações e das fontes radioativas usadas na prática de perfilagem de poço de petróleo.



Figura 16: Integração dos requisitos de segurança radiológica e segurança física
 Fonte: A autora da pesquisa

Nesta integração verifica-se a complementaridade que existe entre a segurança física e a segurança radiológica e a aplicação dos requisitos de segurança radiológica e segurança física em instalações de perfilagem de poços de petróleo, pode-se tornar uma ferramenta de grande auxílio no processo de licenciamento executado pela Autoridade Reguladora.

6. RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos na elaboração do presente trabalho e nas conclusões, a autora recomenda:

Que a partir da divulgação deste trabalho, a Agência Nacional de Energia Atômica, de Moçambique, deve elaborar um regulamento onde contem os requisitos de segurança radiológica e de segurança física de modo a melhorar o licenciamento de instalações de perfilagem de poço de petróleo.

Aos licenciados em perfilagem de poço de petróleo a seguir os 20 requisitos de segurança radiológica e de segurança física apresentados neste trabalho.

Por último recomenda-se ao laboratório de indústria do IRD a dispor de equipamentos para simulação da prática de perfilagem de poço de petróleo com o objetivo de familiarização com os procedimentos de manuseio das fontes usadas nesta prática.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Petróleo e seus Derivados**. Disponível em <http://www.anp.gov.br/wwwanp/petroleo-ederivados2/petroleo>, acesso em 09.06.2017 as 16 horas.

AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA. **Dados Técnicos Sobre Medidores Nucleares**. 2005a

AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA. **notas de aula**. 2017.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA. **Relatório de atividades**. 2016

Bob .B. **Neutron Generators and Well Logging**.2006

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Instalações autorizadas**. Disponível em <http://www.cnen.gov.br/instalacoes-autorizadas> acesso em 26 de Agosto de 2017a, as 22horas.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Proteção física de unidades operacionais da área**. CNEN Setembro/2011.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Notas de palestras**. 2017b.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Diretrizes básicas de proteção radiológica**. CNEN Março / 2014 a.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Licenciamento de Instalações Radiativas**. CNEN Abril/2014b.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Certificação da Qualificação e c Supervisores de Proteção Radiológica**. CNEN Março 2013. Transporte de Materia Radioativos. CNEN Agosto/1988.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Serviços de Radioproteção**. CNEN Agosto/1988.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Roteiro para elaboração de Plano de Radioproteção para Medidores Nucleares e Perfilagem de Poços** Disponível em <http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/drs/orientacoes> acesso em 1.08.2017

- ELLIS DV & SINGER JM. **Well Logging for Earth Scientists**. Springer. 2008.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Security of Radioactive Sources**. Viena. 2009.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards**. Viena. 2003a.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Radiation Protection and the Management of Radioactive Waste in the Oil and Gas Industry**. Viena. 2003b.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Categorization of Radioactive Sources**. Viena. 2005b.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Identification of Radioactive Sources and Devices**. 2007.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Analysis of the Impact of High Oil Prices on the Global Economy**. 2016.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/> acesso em 26 de agosto 2017 as 23:00.
- MIRANDA.V.F.E. **Aspectos relevantes no licenciamento de instalações radiativas em perfuração de poços de petróleo e gás**. 2012.
- PORTAL DO GOVERNO DE MOÇAMBIQUE. Disponível em <http://portaldogoverno.gov.mz/por/Mocambique> acesso em 23.06.2017 às 20 horas
- PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Lei nº 4.118 de 27 de agosto de 1962**.
- REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE. **Lei número 08/2017 de 21 de Julho de 2017**.
- RUDIO, F. V. **Introdução ao Projeto de Pesquisa Científica**. 1997.
- TISSOT, B.P END WELTE, D.H. **Petroleum Formation and Occurrence**, 1984

WYOMING STATE GEOLOGICAL SURVEY, 2014 disponível em <http://sales.wsgs.wyo.gov/> acesso aos 21.06.2017

YERGIN,D. O petróleo uma historia Mundial de conquistas, poder e dinheiro.2014.