

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - JÚLIO DE MESQUITA FILHO
DEPARTAMENTO DE FARMACOLOGIA E BIOFÍSICA
CURSO DE FÍSICA MÉDICA

STEFANIE ZACARIN PEREIRA

**ROTINA DA PROTEÇÃO RADIOLÓGICA EM UMA INSTALAÇÃO DE
PRODUÇÃO DE FLUORDEOXIGLICOSE**

BOTUCATU/SP

2022

STEFANIE ZACARIN PEREIRA

**ROTINA DA PROTEÇÃO RADIOLÓGICA EM UMA INSTALAÇÃO DE
PRODUÇÃO DE FLUORDEOXIGLICOSE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Física Médica da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

Orientador: Prof. Dr José Ricardo de Arruda Miranda

Supervisor: Jorge Alves de Paula Vargas

BOTUCATU

2022

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSEMEIRE APARECIDA VICENTE-CRB 8/5651

Pereira, Stefanie Zacarin.

Rotina da proteção radiológica em uma instalação de produção de fluordeoxiglicose / Stefanie Zacarin Pereira.
- Botucatu, 2022

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Física Médica) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Biociências de Botucatu
Orientador: José Ricardo de Arruda Miranda
Capes: 10504001

1. Proteção radiológica. 2. Exposição a radiação.
3. Radiofármacos. 4. Diagnóstico por imagem.

Palavras-chave: Cíclotron; Fluordeoxiglicose; Imagem diagnóstica; Proteção radiológica; Radiofármaco.

STEFANIE ZACARIN PEREIRA

**ROTINA DA PROTEÇÃO RADIOLÓGICA EM UMA INSTALAÇÃO DE
PRODUÇÃO DE FLUORDEOXIGLICOSE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Física Médica da Universidade
Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".

Aprovação: _____/ _____/ _____

Prof. Dr. José Ricardo de Arruda Miranda
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

Prof. Associado Joel Mesa Hormaza
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

Prof. Assistente Doutor Roberto Morato Fernandez
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

AGRADECIMENTO

Gostaria de agradecer aos meus pais por todo apoio e recursos destinados a mim não somente nesses cinco anos da minha jornada na graduação, mas também em todos os anos da minha vida. À minha família, minha república Mash., meus amigos (em especial Rafael, Bruna e Isabela), meu namorado Vinícius e todos que de alguma forma estiveram comigo em todo esse tempo e proporcionando os melhores momentos enchendo meu coração de gratidão.

Ao Jorge e Durval, não poderia deixar de agradecer, pela oportunidade de ter realizado o estágio em Proteção Radiológica permitindo assim que este trabalho fosse escrito. Terem aberto a porta para o contato com Enrico, Kaique, Amanda e toda a equipe da IBF, onde fiz amigos e adquiri conhecimentos e experiências que levarei por muito tempo.

Ao professor Dr. José Ricardo de Arruda Miranda, por mais uma vez estar me supervisionado e compartilhando todo seu conhecimento comigo.

RESUMO

O fluordeoxiglicose é um radiofármaco produzido industrialmente, usado para administração em pacientes da Técnica de Tomografia por Emissão de Pósitron (PET) para a imagem diagnóstica. No Brasil, a produção deste radiofármaco se dá em Instalações Radioativas certificadas e autorizadas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear. A Proteção Radiológica é o serviço responsável por direcionar, regularizar e inspecionar o cumprimento de normas estabelecidas para ambientes com radioatividade, tendo como base evitar exposições e contaminações dos indivíduos expostos, público e meio ambiente. No trabalho em questão, há a abordagem do serviço de proteção radiológica em uma Instalação Produtora de Radioisótopo, localizada em São José do Rio Preto- SP, detalhando atividades práticas na rotina da produção do fluordeoxiglicose. Tendo como referência três pilares: sistema de segurança, dosimetria e gerenciamento dos rejeitos, para que o intuito de zelo com a unidade física, saúde dos indivíduos e meio ambiente esteja devidamente coerente.

Palavras-chave: Fluordeoxiglicose. Radiofármaco. Imagem diagnóstica.

ABSTRACT

Fluorodeoxyglucose is an industrially produced radiopharmaceutical used for administration to patients using the Positron Emission Tomography (PET) Technique for diagnostic imaging. In Brazil, the production of this radiopharmaceutical takes place in Radioactive Installations certified and authorized by the National Nuclear Energy Commission. Radiological Protection is the service responsible for directing, regulating and inspecting compliance with standards established for environments with radioactivity, based on avoiding exposure and contamination of exposed individuals, the public and the environment. In the work in question, there is an approach to the radiological protection service in a Radioisotope Production Facility, located in São José do Rio Preto- SP, detailing practical activities in the routine of fluorodeoxyglucose production. Having as a reference three pillars: safety system, dosimetry and tailings management, so that the purpose of zeal with the physical unit, the health of individuals and the environment is properly coherent.

Keywords: Fluorodeoxyglucose. Radiopharmaceutical. Diagnostic image.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Acelerador de partículas Cíclotron GE PETtrace 880	12
Figura 2 - Classificação das áreas da instalação	16
Figura 3 - Sinalização de área controlada e área supervisionada com o símbolo internacional da radiação ionizante	17
Figura 4 - Fonte de íons	18
Figura 5 - Frasco utilizado no envase das doses	19
Figura 6 - Castelo de chumbo de tungstênio	20
Figura 7 - Maleta de transporte	21
Figura 8 - Monitor de radiação	22
Figura 9 - Monitor portátil	22
Figura 10 - Chave multipropósito	27
Figura 11 - Botão de emergência.....	28
Figura 12 - Cíclotron ligado	29
Figura 13 - L de chumbo com visor plumbífero	31
Figura 14 - Dosímetro individual de tórax e pulso	31
Figura 15 - Paramentos	33
Figura 16 - Rótulo dos rejeitos radioativos	36

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Condições de produção: condições de irradiação, máxima atividade e número de irradiações por dia	13
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

μm	Micrômetro (unidade de grandeza)
Ci	Curie (unidade de grandeza)
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
FDG	Fluorodeoxiglicose
Bq	Bequerel (unidade de grandeza)
IOE's	Indivíduos Ocupacionalmente Expostos
IPEN	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
MeV	Mega elétron Volt (unidade de grandeza)
mSv	Milésimos de Sievert (unidade de grandeza)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Instalação radioativa	12
1.1.1 Responsáveis pela instalação	13
1.1.2 Equipe.....	13
1.1.3 Áreas da instalação	14
1.2 Produção do radiofármaco.....	17
1.2.1 Produção do flúor.....	17
1.2.2 Fluorodeoxiglicose (FDG).....	18
1.2.3 Envase do fármaco	19
1.2.4 Expedição.....	19
1.2.5 Controle de qualidade	21
1.3 Equipamentos disponibilizados.....	22
2 OBJETIVO	24
3 DESENVOLVIMENTO	25
3.1 Proteção radiológica	25
3.1.1 Sistema de segurança.....	26
3.1.2 Dosimetria	30
3.1.2.1 Contaminação	32
3.1.3 Rejeitos radioativos	34
4 CONCLUSÃO.....	38
REFERÊNCIAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

O Fluorodeoxiglicose - FDG é uma molécula análoga da glicose, marcada com ^{18}F . Este radiofármaco possui a capacidade de atravessar a membrana celular através dos transportadores de glicose por difusão, captado pela célula e o seu acúmulo celular pode ser detectado pela fosforilação do mesmo. A quantidade acumulada do FDG em um período, permite calcular a taxa de absorção pelo tecido, desta forma a glicólise acelerada e a capacidade de produção energética diminuída, caracteriza células malignas, uma vez que necessitam da captação de glicose para manter a célula.

Com tal característica análoga à glicose, o FDG é usado em exames da Medicina Nuclear para obtenção de imagem diagnóstica na Técnica de Tomografia por Emissão de Pósitron (PET), uma vez que administrado, mantém sua característica biológica. A alta captação da imagem pode ser associada a um número elevado de células malignas, facilitando seu diagnóstico.

Dessa forma, é necessário a produção em larga escala do radiofármaco marcado com ^{18}F , para que se atenda a demanda de administração em pacientes para a execução de tal exame.

Em 1997 iniciou-se o monopólio do governo federal de produção ^{18}F pelo IPEN, porém diante da necessidade da melhor e mais abrangente distribuição da produção de FDG nos centros de Medicina Nuclear do Brasil, em 2006 foi alterada a Constituição Brasileira, de forma a permitir que empresas privadas ou governamentais possam assumir a produção de radiofármaco com meia-vida inferior a duas horas.

No Brasil, atualmente dez plantas são licenciadas para produção do radiofármaco, dessa forma, também se fez necessário a preparação de profissionais para que direcionem, regularizem e inspecionem o cumprimento de normas estipuladas pela CNEN para que não haja risco de contaminação e exposição à sociedade durante, após as produções e na distribuição até os centros. Os profissionais citados em questão, podem advir de várias áreas, dentre elas Física Médica, desde que especializado e certificado pela CNEN como Supervisor de Radioproteção. Dessa forma, o supervisor juntamente com sua equipe, são responsáveis pela proteção radiológica da instalação. Vale ressaltar que devido a alta complexidade das instalações produtoras de radioisótopos são necessários dois Supervisores de Radioproteção certificados pela CNEN, sendo um na área de

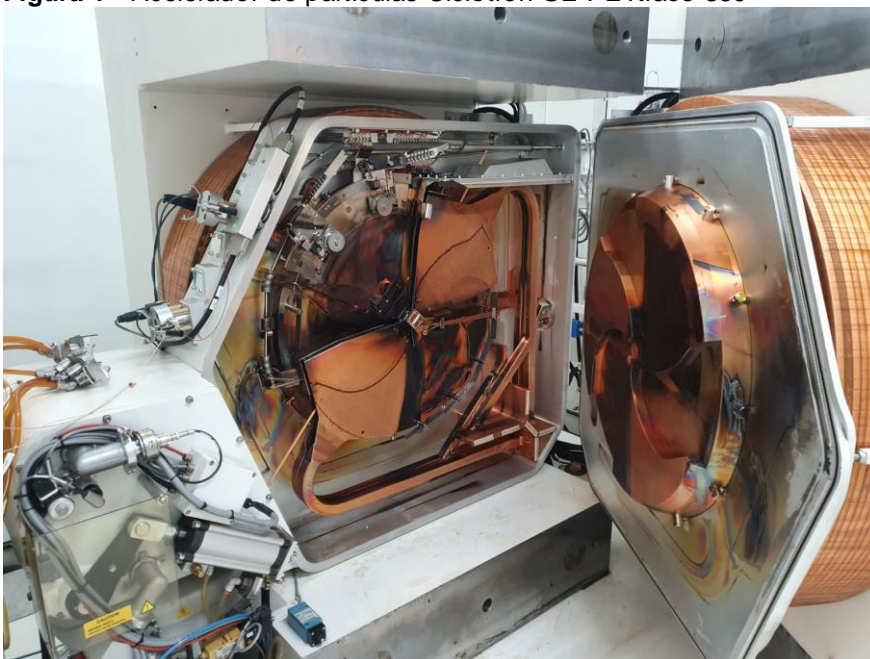
Acelerador de Partículas para Produção de Radioisótopos (I-PR) e outro na área de Radiofarmácia Industrial e Centralizada (I-RF).

A rotina da proteção radiológica atrelada ao processo de produção do radiofármaco é escassa na literatura. Dessa forma, se abordará neste trabalho as suas atividades em uma instalação. É importante mencionar que cada Instalação possui sua particularidade, seu Plano de Proteção Radiológica desenvolvido pelo supervisor, obrigações, limites estipulados e informações necessárias criadas para garantir bom funcionamento e segurança. Além do Plano de Proteção Radiológica também é necessário um Plano de Proteção Física da Unidade, que segue os requisitos básicos e aplicáveis das Normas CNEN-NN-2.06 – Proteção Física de Fontes Radioativas e Instalações Radioativas Associadas. O Plano de Proteção Física deve ser revisto e atualizado pelo menos a cada 2 (dois) anos, ou sempre que novas condições tornem necessária sua atualização.

1.1 Instalação radioativa

A instalação acompanhada está localizada em São José do Rio Preto/SP e possui um acelerador de partículas Cíclotron GE PETtrace 880 (Figura 1), operando feixe de prótons com energia de 16,5 MeV, com módulos de síntese.

Figura 1 - Acelerador de partículas Cíclotron GE PETtrace 880



Fonte: Autora, 2022.

Possui como objetivo a produção e comercialização de radiofármacos para diagnóstico “in vivo”. Nas condições de irradiação e máxima atividade descritas abaixo, na Tabela 1:

Tabela 1 - Condições de produção: condições de irradiação e máxima atividade:

Ativo	Reação Nuclear	Produto	Condição de Irradiação	Atividade Máxima ao Término da Irradiação
Água enriquecida contida em porta alvo de nióbio	$^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$	^{18}F	420 $\mu\text{A.h}$	740 GBq (20Ci)

Fonte: Autora, 2022.

1.1.1 Responsáveis pela instalação

Possui como supervisores: Jorge Alves de Paula Vargas: Físico Médico - Supervisor de Radioproteção e Durval Mescua Vargas Neto: Engenheiro Eletricista – Supervisor de Radioproteção.

Assim como comentado anteriormente, há obrigações que devem ser cumpridas pelo supervisor de forma particular nomeada em cada instalação, neste caso:

- Assessorar e informar a direção da instalação sobre todos os assuntos relativos à proteção radiológica;
- Zelar pelo cumprimento do plano de proteção radiológica aprovado pela CNEN;
- Planejar, coordenar, implementar e supervisionar as atividades do serviço de proteção radiológica, de modo a garantir o cumprimento dos requisitos básicos de proteção radiológica;
- Coordenar o treinamento, orientar e avaliar o desempenho dos IOEs, sob o ponto de vista de proteção radiológica.

1.1.2 Equipe

Têm-se como equipe da instalação todo o quadro de funcionários da Empresa produtora. Todos estão sujeitos ao plano de treinamentos com objetivo de divulgar

entre os colaboradores princípios de Boas Práticas de Fabricação e Proteção Radiológica.

Todos os funcionários devem cumprir um treinamento básico sobre Bases Físicas (modelos e composição atômica, notação, grandezas e unidades, emissão gama e alfa, decaimento radioativo, etc.), Princípios de Radioproteção (interação e atenuação de partículas e radiação, efeitos biológicos, Normas da CNEN, etc.), Cíclotron (sistemas, rendimento, alvos, etc.) e Radiofarmácia (Radioisótopos, FDG, fluxo de produção, reações, sínteses, etc.). A respeito da Proteção Radiológica há dois tipos de treinamentos:

Inicial: para todos os IOE's com noções básicas sobre a proteção na área produtiva, equipamentos de monitoração e gerenciamento dos resíduos;

Reciclagem: feitos a cada um ano com todos os funcionários da área produtiva.

Do mesmo modo, assim como os supervisores, os funcionários também possuem deveres:

- Seguir as regras e procedimentos aplicáveis à segurança e proteção radiológica especificados pelos empregadores e titulares, incluindo participação em treinamentos relativos à segurança e proteção radiológica que os capacite a conduzir seu trabalho de acordo com os requisitos da norma CNEN-NN-3.01;
- Fornecer ao empregador ou ao titular quaisquer informações sobre seu trabalho, passado e atual, incluindo histórico de dose, que sejam pertinentes para assegurar tanto a sua proteção radiológica como a de terceiros;
- Fornecer ao empregador ou ao titular a informação de ter sido ou estar sendo submetido a tratamento médico ou diagnóstico que utilize radiação ionizante;
- Abster-se de quaisquer ações intencionais que possam colocá-los, ou a terceiros, em situações que contrariem os requisitos desta Norma;
- Comunicar ao empregador ou ao titular, tão logo seja possível, qualquer circunstância que não esteja, ou possa vir a não estar, em conformidade com a norma CNEN-NN-3.01.

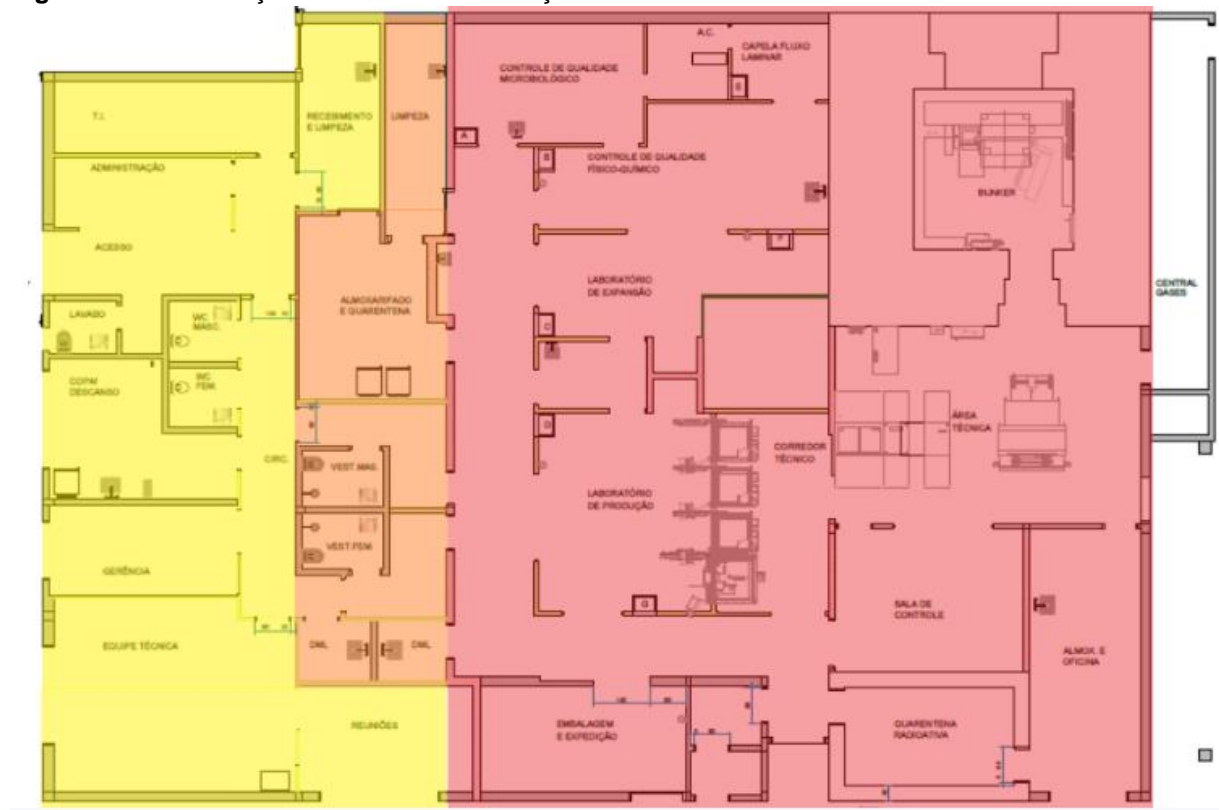
1.1.3 Áreas da instalação

A planta da instalação consiste basicamente em um Bunker onde está alocado o acelerador, um laboratório de produção, salas e laboratórios para darem suporte à essas unidades, são elas:

- Sala de Controle: Onde está localizado o sistema de controle principal do acelerador de partículas, central do sistema de segurança radiológica e central do sistema de climatização da planta.
- Área técnica: Onde estarão localizados os gabinetes com equipamentos necessários para o funcionamento do Cíclotron;
- Oficina: Local onde estão equipamentos utilizados para realizar manutenção nos equipamentos da planta.
- DML: Local de guarda do material utilizado na limpeza do Setor de Produção;
- Sala de Quarentena: Onde os materiais aguardarão pelo prazo necessário para serem liberados, armazenados ou rejeitados;
- Laboratório de preparo: local cuja função será proporcionar condições de limpeza, desinfecção e esterilização dos utensílios e vidraria utilizados no laboratório de produção;
- Sala de Antecâmara: Local para vestir a indumentária indicada para ambientes limpos de produção de medicamentos;
- Laboratório de Controle de qualidade: local onde serão realizadas as análises físico-químicas e microbiológicas de todos os lotes de radiofármacos fabricados pelo Laboratório de Produção e, ainda, elaborar e emitir os laudos de análises;
- Sala de Expedição: setor onde o produto acabado é conferido e entregue ao transportador a partir de um guichê.

De acordo com a CNEN-NN-3.01, a classificação das áreas gera a seguinte planta (Figura 2):

Figura 2 - Classificação das áreas da instalação



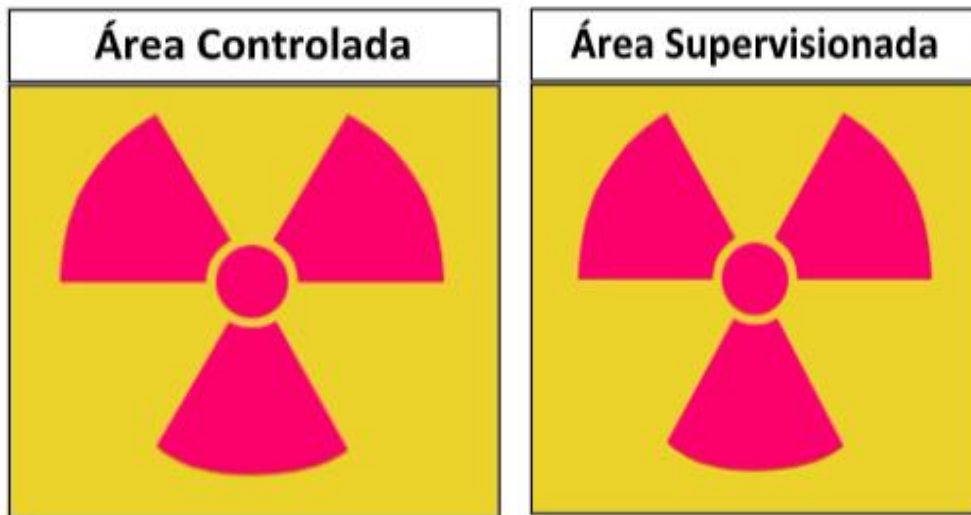
Livres (amarelo); Supervisionadas (laranja); Controladas (vermelho).

Fonte: Autora, 2022.

- Área Livre: Área isenta de regras especiais de segurança, define-se qualquer área que não esteja classificada como supervisionada ou controlada;
- Área Controlada: Área sujeita a regras especiais de proteção e segurança, com a finalidade de controlar as exposições normais, prevenir a disseminação de contaminação radioativa e prevenir ou limitar a amplitude das exposições potenciais. Todas as áreas controladas são sinalizadas com o símbolo internacional de radiação ionizante, acompanhando um texto descrevendo o tipo de material, equipamento ou uso relacionado à radiação ionizante;
- Área Supervisionada: Área para a qual as condições de exposição ocupacional são mantidas sob supervisão, mesmo que medidas de proteção e segurança específicas não sejam normalmente necessárias. Todas as áreas

supervisionadas são indicadas de acordo com sua classificação como mostra a Figura 3:

Figura 3 - Sinalização de área controlada e área supervisionada com o símbolo internacional da radiação ionizante



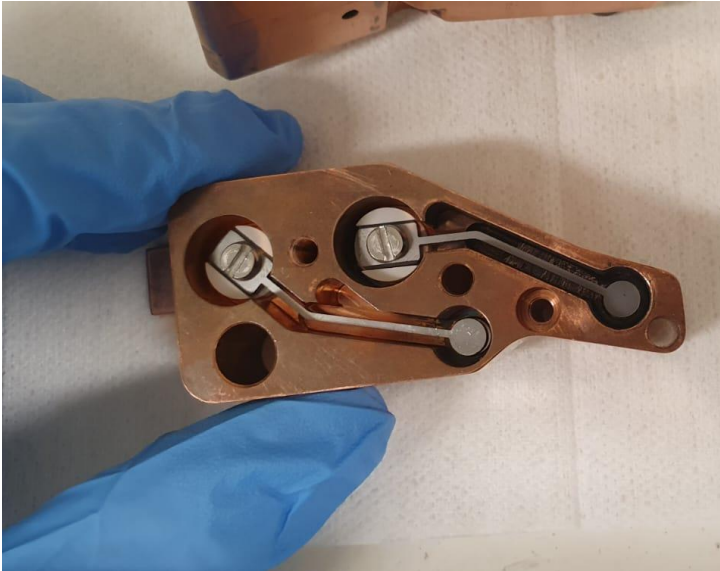
Fonte: Autora, 2022.

1.2 Produção do radiofármaco

1.2.1 Produção do flúor

A produção do ^{18}F é feita no Cíclotron na condição de feixe associado a uma blindagem de solução aquosa. Resumidamente pode ser dito que o feixe de íons, gerado na fonte de íons (Figura 4), no centro do acelerador por um campo elétrico quando atravessa o intervalo entre o Dee's, por meio do campo magnético é atraído até ao outro Dee e passa pelo processo de aceleração novamente, este processo é feito inúmeras vezes até que a partícula atinge o valor desejado para que ocorra a extração até o alvo a ser bombardeado. Quando a partícula passa pela denominada folha de havar, sua carga, sentido da trajetória e direção são invertidas, fazendo com que o feixe extraído chegue até a posição desejada. Quando o alvo que contém água enriquecida é bombardeado por partículas de alta energia (próton - Hélio), promove-se o surgimento de partículas e fótons radioativos pelo próton, tendo como resultado a reação nuclear: $^{18}\text{O} (p, n) ^{18}\text{F}$; obtendo-se de forma ionizada o radionuclídeo ^{18}F . Após a produção do radioisótopo, o material é transferido por meio de uma bomba de hélio, até a célula quente onde começará o processo de síntese.

Figura 4 - Fonte de íons



Fonte: Autora, 2022.

1.2.2 Fluorodeoxiglicose (FDG)

Com a chegada do flúor, dá-se início ao processo de síntese. Processo este que tem 5 principais etapas:

- Eluição: Etapa em que todos os íons que ficaram retidos na coluna aniônica (QMA) são retirados e serão utilizados;
- Secagem: Etapa em que todos os solventes são evaporados do reator;
- Marcação: Etapa mais crítica da síntese, onde o triflato de manose é adicionado ao resíduo seco no recipiente de reação a 125°C e é marcado com o Flúor.
- Purificação: A solução de FDG é purificada passando por um cartucho tC18 retendo compostos parcialmente hidrolisados e subprodutos não polares, e passando por um cartucho N de alumina retendo os últimos vestígios de íons ^{18}F não reagidos.
- Transferência: Um filtro ventilado de 0,22 μm deve ser adicionado no final da linha de coleta como filtro final de partículas para a solução FDG.

Ao final da síntese o radiofármaco será envasado e enviado ao hospital ou clínica. Devido sua meia-vida curta, o radiofármaco é liberado para entrega em seu

destino imediatamente após a sua produção, e o resultado das análises do controle de qualidade são comunicadas por telefone, autorizando ou não a sua administração ao paciente.

1.2.3 Envase do fármaco

Todo o produto sintetizado é recebido em um frasco denominado “frasco mãe”, nele é feito uma diluição que depende da quantidade de atividade produzida. Se a diluição for pouca, a concentração de atividade será alta demais, sendo necessário envasar um volume muito baixo que posteriormente dificultará o trabalho do biomédico responsável por aplicar o produto. Após a diluição o envase é feito automaticamente através do envasador CRP5 que está localizado dentro de uma câmara com fluxo laminar para evitar contaminação durante o envase. Toda a câmara é esterilizada antes de iniciar o envase. Antes do produto chegar ao frasco, ele passa por um filtro 0.22 μm para eliminar impurezas advindas do processo. Após o envase o frasco, semelhante à Figura 5, é colocado dentro de uma blindagem e expedido.

Figura 5 - Frasco utilizado no envase das doses



Fonte: Autora, 2022.

1.2.4 Expedição

Na expedição o técnico esperará o produto com toda a documentação necessária para o transporte. O produto é expedido mesmo antes do controle de qualidade ser liberado, por conta do tempo de meia vida baixo, qualquer minuto ou atraso pode impactar na dose recebida e conseqüentemente no exame do paciente.

O transporte das doses é feito dentro de um castelo de chumbo com tungstênio (Figura 6) que é colocado dentro de uma maleta feita de aço inoxidável que contém um sistema de segurança com senha (Figura7), individual para cada cliente. Neste momento, os motoristas percorrem seu caminho para a entrega à cada cliente, verdadeira corrida contra o tempo, devido o tempo de meia- vida baixo, mas as doses só poderão ser administradas nos pacientes quando for liberado pelo controle de qualidade.

Figura 6 - Castelo de chumbo de tungstênio



Fonte: Autora, 2022.

Figura 7 - Maleta de transporte



Fonte: Autora, 2022.

Vale ressaltar, que o transporte por vias públicas, para a entrega das doses, é realizado por empresa que atenda às exigências da norma CNEN-NE-5.01 “Transporte de Materiais Radioativos” e de outros órgãos como a cartilha de “transporte de produtos perigosos no MERCOSUL”, 2012, da ANTT e ABNT NBR 7503 “Transporte Terrestre de produtos perigosos-Ficha de emergência e envelope- Características, dimensões e preenchimento”, bem como demais leis municipais, estaduais e federais.

1.2.5 Controle de qualidade

O controle de qualidade é realizado pela equipe designada. Logo após a produção, é enviado um frasco com o radiofármaco para o laboratório de controle de qualidade, e testes serão feitos, visando garantir os limiares autorizados para que possam ser utilizados na realização dos exames, de forma a garantir excelência do seu desempenho e não causar danos à quem está administrando e também ao

paciente. Dentre os testes realizados, pode-se citar: cromatografia, decaimento, impureza química e radioquímica.

1.3 Equipamentos disponibilizados

De acordo com CNEN-NN-6.11 Seção II, a proteção radiológica deve dispor de equipamentos de medição de radiação, em toda área da Instalação relacionada à produção do radiofármaco. Há monitores fixos (Figura 8) de área nos laboratórios de controle de qualidade, produção e expansão, e nas sala de embalagem e expedição e no Bunker; além de monitores portáteis de área (Figura 9), que ficam sempre à disposição para monitoração a qualquer momento. Todos os monitores de radiação contam com unidade de alarme luminoso e sonoro, acionados quando a leitura da taxa de exposição ultrapassar o limiar estabelecido. A equipe deve sempre estar atenta ao bom uso e funcionamento dos detectores, executando atividades de aferição semanais e controle e acompanhamento dos certificados de calibração dos dispositivos realizados por laboratórios devidamente certificados pela CNEM.

Figura 8 - Monitor de radiação



Fonte: Autora, 2022.

Figura 9 - Monitor portátil



Fonte: Autora, 2022.

Na chaminé, foi instalado um sistema de monitoração contínua dos efluentes radioativos, o sistema é composto por detector de cintilação, medidor de fluxo, unidade de processamento e computador.

Para o monitoramento individual, conforme descrito na Seção 4.2 Dosimetria deste artigo, são disponibilizados dosímetros portáteis individuais de tórax, mensalmente a todos os envolvidos na área produtiva, para que se tenha o controle de doses.

2 OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é descrever como são desenvolvidas as atividades pela equipe de proteção Radiológica da Instalação em questão, abordando com detalhes seu manuseio e particularidades para que haja o cumprimento das Normas estabelecidas.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Proteção radiológica

Tal conduta é desempenhada na instalação pelo Serviço de Radioproteção, composto por supervisores, técnicos e auxiliares. Sendo o único órgão autorizado para desempenhar tais atividades, segundo a CNEN-NN-3.02:

- a) controle de trabalhadores;
- b) controle de áreas;
- c) controle do meio ambiente e da população;
- d) controle de fontes de radiação e de rejeitos;
- e) controle de equipamentos;
- f) treinamento de trabalhadores; e
- g) registros de dados e preparação de relatórios.

Todas as atividades citadas acima devem ser executadas em conformidade com as diretrizes e regulamentos que abrangem a proteção e segurança da Instalação, como por exemplo a CNEN-NN-6.11.

Com ênfase em Instalações Produtoras de Radioisótopos, tem-se as atribuições também citadas na CNEN-NN-6.11:

Art. 31. Os supervisores de proteção radiológica são os responsáveis pela aplicação prática das diretrizes e regulamentos relativos à segurança e proteção radiológica da Instalação Produtora e devem, obrigatoriamente:

- I - assessorar o titular da Instalação Produtora sobre todos os assuntos relativos à segurança e à proteção radiológica;
- II - aplicar o plano de proteção radiológica;
- III - notificar o titular da Instalação Produtora sobre os requisitos de segurança e proteção radiológica que não estiverem de acordo com o plano de proteção radiológica e normas do órgão regulador;
- IV - revisar o plano de proteção radiológica periodicamente ou quando necessário;
- V - acompanhar os procedimentos de manutenção do acelerador cíclotron, das células quentes, dos módulos de síntese e de fracionamento e do sistema de ventilação;
- VI - acompanhar os testes dos dispositivos de segurança;
- VII - acompanhar e auditar, periodicamente, o processo de produção da Instalação Produtora;
- VIII - acompanhar as inspeções realizadas por inspetores do órgão regulador;
- IX - elaborar o Relatório Anual de Ocorrências da Instalação

Produtora (RAOI), que deve ser enviado ao órgão regulador ao final de cada ano calendário;

X - manter sob controle, em conformidade com requisitos de normas específicas e condições autorizadas pelo órgão regulador: as fontes de radiação; a liberação de efluentes e os rejeitos radioativos; as condições de proteção radiológica dos indivíduos ocupacionalmente expostos e do público; as áreas supervisionadas e controladas; e os equipamentos de proteção radiológica, monitoração da radiação e medidores de atividade. (CNEN, 2020).

Por isso, para o homogêneo cumprimento das conformidades, independentemente do nível hierárquico, se faz necessário o Plano de Proteção Radiológica da Instalação, descrevendo as atividades, responsabilidades, locais, materiais, equipamentos, transporte, telefones de emergência, dentre outras informações e contendo os registros criados como anexos para auxiliar no controle do cumprimento do Plano e posteriormente arquivados, pois tornam-se documentos e auxiliam na elaboração de relatórios.

Além das atividades desempenhadas dentro da Instalação, é necessário não somente que o Serviço garanta a segurança da produção, mas também do fornecimento dos radioisótopos, uma vez que somente instalações com autorização para operar esteja em vigor e aptas para recebê-lo e atentar-se a quantidade máxima autorizada. Para tal controle é utilizado informações do site da CNEN.

Contextualizado a caracterização do serviço e seus deveres, é possível descrever os passos desempenhados em sua rotina na instalação de produção de radiofármaco.

3.1.1 Sistema de segurança

Apesar do serviço de proteção não participar ativamente na produção do flúor, está totalmente ligado ao processo, e deve possuir mecanismos de controle que auxiliam na maior segurança possível ao ambiente físico e aos indivíduos envolvidos durante a operação do ciclotron, como prevê a CNEN-NN-6.11 Seção II- Dos Sistemas de Segurança.

Na instalação em questão por exemplo, conta-se com um sistema de intertravamento que pode ser acionado a qualquer momento em caso de emergência ou até mesmo inconsistência, fazendo a parada ou isolamento do ciclotron para evitar problemas maiores. A seguir os constituintes desse sistema:

a) Chave Multipropósito

Esta chave (Figura 10) fica atrelada a um detector de área, para que seja feito o monitoramento dos níveis de radiação ao fazer o a abertura da Porta do Bunker. Sua função é intertravar o controle de abertura e fechamento da Porta do Bunker, de forma a impedir que o funcionamento do cíclotron ocorra de forma simultânea ao evento de abertura e fechamento da porta.

A chave possui três posições em sua fechadura: a primeira posição (esquerda) habilita fechamento/abertura da porta do bunker, a segunda é o estado neutro (centro) e a terceira habilita o início da ronda (direita).

Para haver o fechamento da porta é obrigatório uma ronda interna, visando se fazer necessário que o operador faça a ronda para garantir a integridade da sala. Quando a chave é virada para a terceira posição e os três botões no interior do Bunker forem pressionados em sequência no tempo de dois minutos, o sistema para o fechamento da porta será armado.

Figura 10 - Chave multipropósito



Fonte: Autora, 2022.

b) Botões de Emergência

Totalizando cinco botões, do tipo soco (Figura 11), espalhados pela área controlada ligados ao painel de energia do cíclotron, eles possuem a função de cortar

a energia do ciclotron quando acionados e impedir a movimentação da Porta do Bunker quando há alguma inconsistência.

BP1 – Botão de Emergência localizado à frente – Interior do Bunker Botão localizado junto ao marco da Porta no interior do bunker.

BP2 – Botão de Emergência localizado ao fundo – Interior do Bunker Botão localizado no interior do bunker.

BP3 – Botão de Emergência ‘Área Técnica’ - Botão na área técnica.

BP4 – Botão de Emergência da Porta do Bunker - ‘Painel de Controle da Porta’ - Botão localizado junto ao ‘Painel de Controle da Porta’.

BP5 – Botão de Emergência do ‘Painel de Segurança do Ciclotron’ - Botão localizado no ‘Painel de Segurança do Ciclotron’ na sala de controle.

Figura 11 - Botão de emergência



Fonte: Autora, 2022.

c) Painel de Transferência

Este painel habilita a transferência do material radioativo do ciclotron para o laboratório de produção, onde acontece a síntese, o operador do ciclotron deve habilitá-lo somente se: porta do ciclotron estiver fechada, pressão negativa dentro do bunker e a ventilação ligada. Caso o botão não tenha sido acionado e não tenha a validação do sistema eletrônico, a transferência não ocorrerá.

d) Painel de Sinalização

Este painel (Figura 12) localizado ao lado da porta do Bunker, apresenta o status do ciclotron sempre que estiver aceso: “ciclotron ligado”, “radiofrequência ligada” e “campo magnético ligado”, sempre que o ciclotron estiver em funcionamento as três sinalizações estarão acesas.

Figura 12 - Ciclotron ligado



Fonte: Autora, 2022.

d) Teste do Sistema de Segurança Radiológico

Mensalmente ou quando necessário são feitos teste dos ciclos e elementos de campo para verificação do adequado funcionamento dos sistemas.

Além destes mecanismos ligados ao ciclotron, há também um sistema de segurança ligado ao acesso de pessoas de acordo com a classificação das áreas:

Área vigiada: definida como o entorno da instalação, em toda sua extensão há iluminação adequada e um posto de vigilância 24 horas, com câmeras ligadas ao circuito de TV. O posto de vigilância é responsável pelo controle de entradas e saídas do prédio e presença de intrusos na área.

Área Protegida: A barreira física da área protegida é constituída pelas paredes de edificação. As portas possuem fechaduras comuns e eletromagnéticas, com leitor de cartão, fazendo a restrição do acesso bloqueando a entrada de pessoas não autorizadas ao seu interior e ao interior da área vital, na qual se encontram o ciclotron

e as células quentes. A monitoração é feita por circuito fechado de TV e a detecção de intrusos na área protegida é feita pelo vigilante.

Área Vital: A barreira física da área vital é constituída pelas paredes internas da instalação, onde as portas de fecho comum e eletromagnético, e apenas funcionários cadastrados portando crachás com cartão de proximidade estarão autorizados a entrarem nesta área. Além disso, também existe circuito fechado de TV e os registros de entrada e saída dos funcionários são arquivados no microcomputador.

3.1.2 Dosimetria

Visando garantir a minimização dos riscos derivados da exposição à radiação ionizante e preservar a saúde dos funcionários, é necessário o controle das doses a qual foram expostos funcionários durante sua jornada de trabalho.

Neste sentido, para o controle das doses é necessário que se calcule os limites de doses, faça o controle e atitudes para prevenir maiores danos.

É importante ressaltar que há uma estimativa de exposição para a produção do FDG, de acordo com cada etapa da produção. Em relação aos limites de tolerância, definidos na Portaria MTB 1.084/2018-CNEN-NN-3.01, Indivíduo Ocupacionalmente Exposto dose efetiva de 20 mSv como média ponderada de 5 anos consecutivos e Indivíduos Públicos 1 mSv, porém a Proteção Radiológica pode definir seus próprios limites no Plano de Proteção Radiológica desde que estejam dentro dos limites autorizados pela CNEN. Nesta Instalação considera-se 10 mSv para Indivíduo Ocupacionalmente Exposto e 1 mSv para Indivíduo do Público.

Para minimizar as doses de exposição, é adotado sempre que possível o uso de blindagens, como por exemplo, no Laboratório de produção possui blindagens especiais em formato de L (Figura 13), visor plumbífero e blindagens específicas para ^{18}F , e o equipamento blindado com paredes de chumbo, além dos funcionários já possuírem treinamentos específicos de radioproteção e de boas práticas de manipulação.

Figura 13 - L de chumbo com visor plumbífero



Fonte: Autora, 2022.

Vale ressaltar, que para tentar minimizar a exposição à radiação, a Proteção Radiológica considera três parâmetros: tempo, distância e blindagem. Tempo, pois é diretamente proporcional à dose acumulada por um indivíduo que é exposto a uma taxa de dose. Distância, atrelando-se a lei do inverso do quadrado da distância. E blindagem, protegendo fisicamente de raios advindos da radiação ionizante, tentando minimizar a exposição direta.

A taxa que o indivíduo é exposto é medida pelos dosímetros individuais (Figura 14), utilizados durante a jornada de trabalho, enviados ao laboratório certificado pela CNEN e são emitidos relatórios mensais de doses individualmente e os IOE's têm livre acesso a eles.

Figura 14 - Dosímetro individual de tórax e pulso



Fonte: Autora, 2022.

Mas é possível fazer a estimativa de dose, por meio da equação:

$$HOP' = \Gamma \times A \times 10^{-d/TVL} / D^2,$$

onde:

Hop': é a taxa de dose do operador em [mSv/h];

Γ : é função gamão p/ o 18 F.

A: é a atividade da fonte

d: é a espessura da blindagem

TVL: é a camada deci-redutora de chumbo para 18 F

D: é a distância entre operador e fonte

Para o efetivo controle das doses e orientar os funcionários sempre que preciso sobre sua dose, é necessário que algumas atitudes sejam cumpridas obrigatoriamente: usar o dosímetro sempre que estiver em áreas restritas, não sair da instalação com o dosímetro, não emprestar o dosímetro, guardar o dosímetro no local determinado pela instituição após o término da jornada de trabalho.

Para operações realizadas em áreas com alta taxa de exposição (exemplo Bunker do Cíclotron) e emergência, há dosímetros de leitura direta, possibilitando acesso as taxas instantaneamente.

Em caso de altas taxas no relatório de doses, é iniciado o processo de investigação para conseguir constatar qual foi o motivo dessa exposição. Em caso de dose efetiva superior a 100 mSv ou dose absorvida superior ou limiar de efeitos determinísticos, em uma única exposição, é solicitado o aconselhamento médico adequado.

3.1.2.1 Contaminação

Quando o indivíduo fica exposto a qualquer que seja a atividade, não é verdadeiro dizer que houve uma contaminação. A contaminação é obtida apenas se há o contato com o material radioativo ou com alguma área que já está contaminada.

Quando há a contaminação de área, é necessário imediatamente fazer o isolamento e sinalização dela, além dos procedimentos descritos no Plano de Proteção para contenção dessa contaminação.

Além da contaminação de área, é possível que haja a contaminação do indivíduo ou de seus paramentos (Figura 15). Dessa forma, há alguns procedimentos adotados para que se minimize ao máximo o contato direto do indivíduo:

Para adentrar na área controlada é preciso que o indivíduo use os paramentos disponibilizados (roupas compridas e limpas, sapato fechado de borracha com propé descartável, touca), para que não haja contaminação da área externa para a área interna e amenizar possíveis contaminações que possa haver na área produtiva. Todos os paramentos, devem ser colocados apenas para adentrar à área controlada e devem ser imediatamente retirados assim que for para a área livre.

Figura 15 - Paramentos



Fonte: Autora, 2022.

Na saída da área supervisionada, é feita a monitoração geral, dos pés e mãos pelos monitores fixos, para garantir que não haja espalhamento em caso de contaminação.

Quando há contaminação dos paramentos, eles são direcionados para a quarentena radioativa onde é monitorado pela Proteção Radiológica até que esteja em estado BG, para ser devidamente direcionado para descarte (propé, luva, touca,

máscara) ou lavagem (caso das roupas e sapatos). Quando a contaminação foi diretamente em alguma área do corpo do indivíduo é necessário que se faça a monitoração, para identificar qual procedimento deverá ser adotado de acordo com a atividade detectada. Caso a atividade seja baixa, é feita a lavagem da área com água corrente, ou em casos mais graves, até que se constate seu decaimento para que o indivíduo seja liberado da área produtiva.

3.1.3 Rejeitos radioativos

Os rejeitos radioativos são caracterizados como material advindo de atividades que contenham radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de isenção.

Através da produção também se obtém rejeitos aos quais podem ser radioativos ou não, no primeiro tipo (radioativos), a proteção radiológica que é responsável de realizar procedimentos técnicos e administrativos para a coleta, segregação, armazenamento e eliminação dos rejeitos, a fim de diminuir ou até mesmo eliminar os efeitos danosos que possam advir de tais materiais. Os procedimentos são orientados e definidos pela CNEN. Tais rejeitos advindos da produção são tratados de acordo com seus estados: gasoso, sólido ou líquido. Além disso, todos os rejeitos passam pelas etapas de armazenamento e monitoração até que se faça o descarte correto de acordo com cada tipo de rejeito.

a) Rejeitos gasosos

Na etapa de transferência da água enriquecida irradiada para os módulos da síntese, são produzidos rejeitos gasosos, principalmente ^{13}N e ^{18}F .

Para estimar os efluentes gasosos divide-se em duas etapas: na primeira, estima-se a atividade total de radionuclídeos em forma gasosa; e na segunda, define-se o caminho dos efluentes e os mecanismos que atenuam a emissão dos radionuclídeos em forma gasosa.

O volume gasoso é lançado do sintetizador para tambores localizados no interior do bunker e passa por filtro de carvão ativado e um absoluto, antes de seguir para o sistema de exaustão onde passam novamente por filtros antes de serem liberados nas chaminés. Por meio de relatórios emitidos diariamente acompanha-se o volume e atividade do rejeito liberado, estando dentro dos critérios estabelecidos pela Norma CNEN-NN-8.01.

b) Rejeitos sólidos

De acordo com o enquadramento na CNEN-NN-8.01, os rejeitos sólidos produzidos na Instalação estão classificados como Classe 2 RBMN e como Classe 2 RBMN-VC.

Os principais pontos de geração desses rejeitos são sintetizadores, dispensador e Cíclotron. Para a segregação dos rejeitos, há lixeiras blindadas localizadas em pontos estratégicos, para minimizar a exposição dos IOE's.

No armazenamento, devido a meia-vida curta dos rejeitos, eles são armazenados nos próprios laboratórios em caixas de papelão protegidas por tijolos de chumbo no interior das capelas e lixeiras blindadas. Há exceção dos rejeitos provenientes do cíclotron (lâminas e kits dos alvos, válvulas, foils, etc.); estes itens são armazenados na quarentena radioativa. Caso haja necessidade de armazenar rejeitos de meia-vida longa, o Bunker conta com uma trincheira que pode ser usada para essa finalidade.

A liberação somente é feita após alcançar o nível de 2 Ci/kg, obedecendo-se ao estabelecido na norma CNEN-NN-8.01. Para o cálculo do período de armazenamento foi utilizada a seguinte equação:

$$\Delta t = \frac{-\ln\left(\frac{2 \times 10^{-6} \cdot M}{Ativ_{abs}}\right)}{\lambda}$$

Onde Δt é o período de armazenamento, M é a massa em gramas, $Ativ_{abs}$ é a atividade absorvida nos frascos em mCi e a constante de decaimento do radionuclídeo em h^{-1} .

Caso estejam abaixo do limite estabelecido, os rejeitos são liberados como lixo perfurocortante contaminado.

c) Rejeitos líquidos

No enquadramento com a Norma CNEN-NN-8.01 os rejeitos líquidos produzidos estão classificados como Classe 2 RBMN. Os rejeitos líquidos poderão ser resultado da produção excedente de FDG, resíduos líquidos da síntese, do controle de qualidade e de eventuais descontaminações provenientes de IOE's nos pontos de lava-olhos, chuveiros e lavatórios de descontaminação.

Grande parte dos rejeitos gerados são armazenados na própria célula quente ou em compartimentos específico, com exceção dos rejeitos líquidos Waste e Recover que ficam na quarentena radioativa.

Para o cálculo do período de armazenamento foi utilizada a seguinte equação:

$$\Delta t = \frac{-\ln\left(\frac{Vol \cdot C}{Ativ}\right)}{\lambda}$$

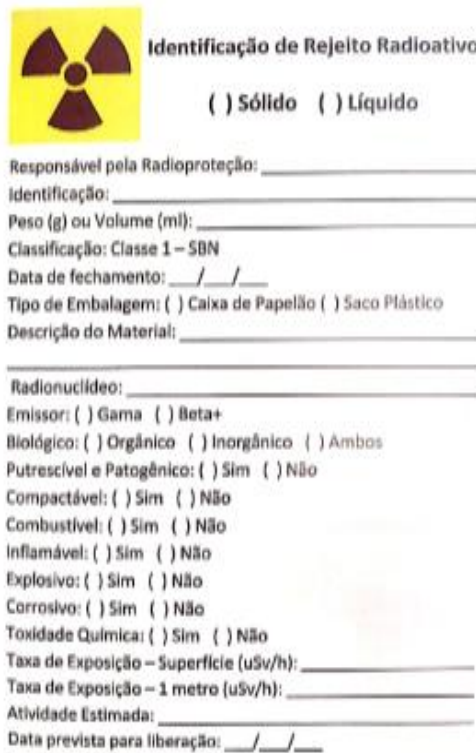
Onde Δt é o período de armazenamento, C é o limite de concentração em mCi/ml, Vol é o volume de diluição, Ativ é a atividade em mCi e λ a constante de decaimento do radionuclídeo em h^{-1} .

Os rejeitos líquidos são armazenados e quando atingem as condições de descarte, vão para o tanque de decaimento.

d) Identificação

Os recipientes que contém os rejeitos radioativos são identificados com o símbolo internacional de radiação e com uma ficha (Figura 16) contendo os dados da unidade, o nome do responsável pela radioproteção, a categoria, a exposição na superfície e a um metro do recipiente, bem como a data de armazenamento.

Figura 16 - Rótulo dos rejeitos radioativos



Identificação de Rejeito Radioativo

() Sólido () Líquido

Responsável pela Radioproteção: _____

Identificação: _____

Peso (g) ou Volume (ml): _____

Classificação: Classe 1 – SBN

Data de fechamento: ___/___/___

Tipo de Embalagem: () Caixa de Papelão () Saco Plástico

Descrição do Material: _____

Radionuclídeo: _____

Emissor: () Gama () Beta+

Biológico: () Orgânico () Inorgânico () Ambos

Putrescível e Patogênico: () Sim () Não

Compactável: () Sim () Não

Combustível: () Sim () Não

Inflamável: () Sim () Não

Explosivo: () Sim () Não

Corrosivo: () Sim () Não

Toxicidade Química: () Sim () Não

Taxa de Exposição – Superfície (uSv/h): _____

Taxa de Exposição – 1 metro (uSv/h): _____

Atividade Estimada: _____

Data prevista para liberação: ___/___/___

Fonte: Autora, 2022.

Essa etiqueta pode ser personalizada por cada serviço de Proteção Radiológica, desde que contenha as informações necessárias para identificação universal e rápida do tipo de rejeito.

4 CONCLUSÃO

Como proposto no objetivo, ao longo do desenvolvimento houve a familiarização e conhecimento das atividades desenvolvidas pela equipe de Proteção Radiológica, visando direcionar, regularizar e inspecionar o cumprimento das normas estipuladas, para que não haja o risco de contaminação e exposição, e proteção física da unidade.

Diante da descrição das atividades percebe-se o tripé seguido pelo Serviço de Proteção Radiológica: sistema de segurança, dosimetria e gerenciamento dos rejeitos. O sistema de segurança possuindo defesa em profundidade, redundância e independência, além de todos os requisitos estipulados nas salas de produção, segundo descrito na CNEN-NN-6.11. Em relação à dosimetria, garantindo que nenhum indivíduo fique exposto sem justificativa e caso haja necessidade de exposição, não ultrapasse os limites estabelecidos; além disso, tenha todos os mecanismos necessários para controle de contaminações. E por fim, gerenciando os rejeitos para que não haja descartes indevidos que possam pôr em risco a sociedade e o meio ambiente.

Por fim, conclui-se que atuação da Proteção Radiológica é essencial para o desenvolvimento do Plano de Proteção Radiológica na Instalação, uma vez que este documento tem como objetivo conforme resolução CNEN-NN-112 de 24 de julho de 2011, apresentar informações e orientações ligadas às atividades desenvolvidas que possam vir colocar em risco a saúde dos trabalhadores e público, e o meio ambiente.

Vale ressaltar, toda experiência que este estágio me trouxe. Saindo de uma pandemia, onde eu estava com minhas matérias concluídas, mas sem visão de futuro a seguir na área de Física Médica, o encontro com a Proteção Radiológica me abriu os olhos para ainda mais oportunidades. Durante os 5 meses do estágio pude ter vivências inimagináveis, acompanhando de perto toda a rotina da Proteção Radiológica, e com profissionais multidisciplinares, engenheiros, farmacêuticos, físico médico e contato com toda a equipe da empresa. Aprender a fazer cada um dos procedimentos padrões, documentos para registros das produções, transporte do material radioativo, controle de inventário de rejeitos e peças, e outras várias atividades, foi incrível! Pois durante os 5 anos da minha graduação, não consegui imaginar tantas atividades na rotina dessa área, e muitos menos executar na prática. Acredito que um dos momentos marcantes, e de maior aprendizado e experiência, foi

o momento pré e durante uma visita de rotina da CNEN até a Instalação. Sem dúvida, estes meses foram essenciais para o meu amadurecimento e futuro profissional, ao qual me motivaram a prestar, em breve, a prova que me dará o direito de ser uma supervisora certificada pela CNEN. Um conselho aos que em algum momento a oportunidade bater à porta, aproveite, principalmente se for algo que você ainda não fez.

REFERÊNCIAS

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Norma CNEN-NN-8.01**, maio de 2014. Gerência de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação. Disponível em: [CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Norma CNEN-NN-2.06**, novembro de 2019. Proteção física de fontes radioativas e instalações radiativas associadas. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm206.pdf>. Acesso em: 15 out. 2022.](https://app.sogi.com.br/Manager/texto/arquivo/exibir/arquivo?eyJ0eXAiOiJKV1QiLCJhbGciOiJIUzI1NiJ9AFFlAjAvNTgzMDIvU0dfUmVxdWlzaXRvX0xlZ2FsX1RleHRvLzAvMC9BTkVYTy5kb2MvMC8wlgAFFS3zyMOnsIOKGyqKKNg0gV0TZ00IJOQzNmzGoUY54CTA#:~:text=Estabelece%20os%20crit%C3%A9rios%20gerais%20e,d e%20meia-vida%20muito%20curta. Acesso em: 15 out. 2022.</p>
</div>
<div data-bbox=)

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Norma CNEN-NN-3.01**, março de 2014. Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm301.pdf>. Acesso em: 15 out. 2022.

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Norma CNEN-NN-3.02**, setembro de 2018. Serviços de Radioproteção. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm302.pdf>. Acesso em: 15 out. 2022.

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Norma CNEN-NN-6.11**, outubro de 2020. Requisitos de segurança e proteção radiológica em instalações produtoras de radioisótopos com aceleradores cíclotrons. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm611.pdf>. Acesso em: 15 out. 2022.

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Resolução CNEN 112**, agosto de 2011. Dispõe sobre o licenciamento de instalações radiativas que utilizam fontes seladas, fontes não-seladas, equipamentos geradores de radiação ionizante e instalações radiativas para produção de radioisótopos. Disponível em: [CYCLOBRAS. **Fluordeoxiglicose - \$^{18}\text{F}\$ \(FDG- \$^{18}\text{F}\$ \)**. Disponível em: <https://www.cyclobras.com.br/uploads/produtos/84690930910006b.pdf?fbclid=IwAR2IVLl6q1Q9qgkcVv1q3dTRa7f340PsrhMlIKUmOqZwmK9bBox5ob5bSvU>. Acesso em: 15 out. 2022.](https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=115282#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20o%20licenciamento%20de,radiativas%20para%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20radiois%C3%B3topos. Acesso em: 15 out. 2022.</p>
</div>
<div data-bbox=)

PÉREZ, S. et al. Occupational dosimetry at a cyclotron facility. **11th International Congress of International Radiation Protection Association**. 2004. Disponível

em: <https://www.yumpu.com/en/document/read/18196041/1-occupational-dosimetry-at-a-cyclotron-facility-irpa>. Acesso em: 15 out. 2022.

VIDEIRA, H. B. **Implantação de um processo comercial de produção de doses do radiofármaco ^{18}F - FDG**. 2014. 178f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.