INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Autarquia associada à Universidade de São Paulo

**ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DAS DOSES OCUPACIONAIS EM
OPERAÇÕES DE MANUTENÇÃO E INTERVENÇÃO EM ÁREAS
RESTRITAS DO CENTRO DE RADIOFARMÁCIA DO IPEN**

JÉSSICA SOARES MACHADO

Dissertação apresentada como parte
dos requisitos para obtenção do
Grau de Mestre em Ciências na Área
de Tecnologia Nuclear - Aplicações.

Orientador:

Prof. Dr. Alberto Saburo Todo

São Paulo

2013

Dedicatória

A Deus

Pela ajuda nos momentos difíceis, saúde e bênçãos.

À Minha Família

À minha Mãe, Maria Lúcia

À minha Avó, Ilda Júlio

Ao meu Pai, Antônio

À minha Irmã, Joyce

Ao meu Irmão, Júlio Cesar

Pelo amor incondicional, incentivo e dedicação.

Ao meu Orientador

Alberto

Para mim um exemplo de pessoa com quem adquiri um precioso conhecimento durante os anos do meu mestrado e o levo para resto da minha vida, pessoal e profissional.

Aos meus Amigos

Uma segunda Família.

Agradecimentos

Ao MSc. Eduardo Gerulis e ao Olavo P. Silva por terem contribuído imensamente para este trabalho e para minha formação, pelo incentivo e amizade.

Ao MSc. Matias Sanches e ao Dr. Demerval Rodrigues, por terem contribuído tanto para elaboração da minha pesquisa.

Ao Prof. Dr. Orlando Rodrigues Jr. Pela participação e dedicação na elaboração do meu trabalho.

Ao Prof. Dr. Roberto Vicente, por ter me inspirado ainda na graduação a entrar na área nuclear. Pelas discussões construtivas e contribuição para meu pensamento científico.

Ao Prof. Dr. Gian-Maria A. A. Sordi, pelas discussões construtivas e pela enorme contribuição para o meu conhecimento em Proteção Radiológica e por sempre estar disposto a me ensinar e orientar.

Ao MSc. Fábio F. Suzuki, por ter me incentivado a fazer mestrado e pela contribuição na realização deste trabalho.

Ao Centro de Radiofarmácia: Serviço de Proteção Radiológica, Departamento de Manutenção, Gerência e Administração. A todos que acompanharam a minha pesquisa e sempre estiveram dispostos a contribuir com conhecimento e informações.

A todos do Departamento da Oficina do IPEN. Em especial, MSc. Agnaldo Negrini, Dr. Fábio Campos, Josevaldo Clemente, Ricardo Acosta e Valdomiro Pereira.

À Gerência de Metrologia das Radiações – GMR, à Gerência de Radioproteção – GPR e à Gerência de Ensino do IPEN por todo apoio.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES que financiou a minha bolsa de estudos.

ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DAS DOSES OCUPACIONAIS EM OPERAÇÕES DE MANUTENÇÃO E INTERVENÇÃO EM ÁREAS RESTRITAS DO CENTRO DE RADIOFARMÁCIA DO IPEN

Jéssica Soares Machado

RESUMO

Este estudo foi desenvolvido no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN mais especificamente, no Centro de Radiofarmácia - CR que realiza pesquisa e processamento de radiosótopos como o ^{99}Mo , ^{131}I , ^{123}I , ^{67}Ga , ^{201}Tl , ^{18}F , ^{177}Lu e ^{153}Sm para uso em medicina nuclear. Os radioisótopos são produzidos em escala industrial e a instalação foi projetada para atender aos padrões de segurança radiológica e às exigências da Garantia de qualidade. No CR há profissionais qualificados que realizam as tarefas de manutenção dos equipamentos e instrumentos, instalados nas celas de processamento de radiofármacos, sem os quais não é possível conduzir a produção com segurança e qualidade. Neste estudo foi realizada uma pesquisa denominada “Pesquisa de Variáveis”, baseada nas operações de manutenções e intervenções em áreas restritas do CR e no levantamento da distribuição de doses nessas tarefas no período de 2005 a 2011. Esta pesquisa tem por objetivo identificar e determinar as principais variáveis que tem impacto sobre a dose do trabalhador. Os resultados obtidos foram apresentados para variável Indivíduo Ocupacionalmente Exposto - IOE, variável Operação, variável Área/Cela, variável Tipo de Tarefa e variável Duração de Operação, em função da variável Dose. O objetivo deste trabalho foi contribuir com melhorias nas operações em áreas restritas que possam resultar em doses individuais mais baixas sem causar alterações significativas na rotina de trabalho. A análise dos resultados mostrou que a Pesquisa a Variáveis identificou os fatores que mais impactam com a dose recebida. São eles variável Operação, variável Área/Cela e variável Tipo de Tarefa.

OCUPATIONAL DOSES DISTRIBUTION ANALYSIS IN OPERATION OF MAINTENANCE AND INTERVENTIONS IN RESTRICTED AREAS AT RADIOFARMACY CENTER OF IPEN

Jéssica Soares Machado

ABSTRACT

This study was developed at IPEN - Institute of Energy and Nuclear Research more specifically in CR - Center of Radiopharmacy that conducts research and processing of radiopharmaceuticals such as ^{99}Mo , ^{131}I , ^{123}I , ^{67}Ga , ^{201}Tl , ^{18}F , ^{177}Lu and ^{153}Sm for use in nuclear medicine. The radioisotopes are produced on industrial scale and the facility was designed to meet the standards of radiation safety requirements and quality control. To ensure the production, there are qualified professionals who perform the maintenance tasks of the equipments and instruments, in the radiopharmaceuticals processing cells, to conduct the work with quality and safety. This study were based in a research called "Search of Variables", for the operations carried out in restricted areas of CR, taking into account the doses distribution data for these tasks, from 2005 to 2011. This research aims to identify and determine the key variables that impact on the worker's dose. The results were presented for the following variables: Individual occupationally exposed - IOE, operation variable, Area/Cell, Type of Task and Duration of Operation, which depend on the variable Dose. The main objective is to contribute to the improvements in operations in restricted areas that may result in lower individual doses without causing significant changes in the working routine. The results have shown the variable that most affect the dose of the workers, which are: the variable Operation, the variable Area/Cell and the variable Type of Task.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	16
1.1 O CR - Centro de Radiofarmácia do IPEN	16
1.2 Histórico de Reformas	17
1.3 Motivação do Trabalho	18
1.4 Objetivo Geral	19
1.5 Objetivos Específicos	19
2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	20
2.1 Fundamentos de Proteção Radiológica	20
2.1.1 Exposição Laboral	20
2.1.2 Controle de Exposição Laboral	21
2.1.3 Classificação das Áreas de Trabalho	22
2.1.4 Limites de Dose ocupacional	22
2.1.5 Níveis de Referência	23
2.1.6 Monitoramento de Área e Individual	23
2.2 Conceito Básico de Variáveis	24
3 A INSTALAÇÃO – CR	26
3.1 Áreas Restritas do CR	27
3.1.1 Celas de Produção	30
3.1.2 Laboratório de Produção	30
3.1.3 Alas-Quentes	31
3.1.4 Subsolo de Rejeito Radioativo	32
3.1.5 Operações em Áreas Restritas	34
3.2 Histórico de Produção de Radiofármacos	35
4 METODOLOGIA DE PESQUISA	41
4.1 Considerações Gerais	41
4.2 Pesquisa de Variáveis	43
4.2.1 Variável IOE	44
4.2.2 Variável Operação – OP	45
4.2.3 Variável Área/Cela	47
4.2.4 Variável Tipo de Tarefa	48
4.2.5 Variável Duração de operação - OP	49

5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
5.1	Resultados obtidos para a Variável IOE.	53
5.2	Resultados obtidos para a variável Operação – OP	58
5.3	Resultados obtidos para a variável Área/Cela	66
5.4	Resultados obtidos para a variável Tipo de Tarefa	76
5.5	Resultados obtidos para a variável Duração de Operação – OP	83
5.6	Discussão	87
6	SUGESTÕES	89
7	CONCLUSÃO	90
8	FUTUROS TRABALHOS	91
	APÊNDICE A	92
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 – Rejeitos radioativos sólidos gerados por semana no CR.....	33
TABELA 3.2 - Principais características físicas dos radioisótopos.....	36
TABELA 5.1 - Representação dos resultados dos dados de 2005 a 2011 por empresa.	52
TABELA 5.2 - Distribuição de dose e número de operações por IOE da empresa FCR.....	56
TABELA 5.3 . Distribuição de dose e número de operações por IOE da empresa SAI.	57
TABELA 5.4 - Distribuição de dose e número de operações por IOE da empresa SAE.....	58
TABELA 5.5 - Dados classificados por operação para empresa FCR.....	63
TABELA 5.6 - Dados classificados por operação para empresa SAI.	64
TABELA 5.7 - Dados classificados por operação para empresa SAE.....	65

LISTA DE FIGURA

- FIGURA 3.1-** Planta da Instalação Centro de Radiofarmácia do IPEN. Prédio 70 com as áreas livres com as áreas administrativas; as áreas restritas constituídas pelas AS – áreas supervisionadas que são os laboratórios de produção e as AC- áreas controladas que são as alas-quentes e subsolo de rejeitos radioativos.....27
- FIGURA 3.2** - Área do subsolo de rejeitos radioativos classificada como AC- Área controlada.28
- FIGURA 3.3** - Desenho esquemático do sistema de exaustão das alas-quentes e celas de produção do Centro de Radiofarmácia - CR do IPEN.....29
- FIGURA 3.4** - Laboratório de Produção com face da cela para processamento, com visores plumbíferos, painéis de controle e garras mecânicas para manipulação à distância.30
- FIGURA 3.5** - Ala-quente 1 onde se situam as celas de produção com abertura para colocação de radioisótopos primários e manutenções.....31
- FIGURA 3.6** - Equipamentos de Proteção Individual: 1 Macacão impermeável com touca. 2 Luvas de borracha. 3 Botas de borracha. 4 Máscara com filtro. 5 Dosímetro de leitura direta para monitoramento em tarefa.32
- FIGURA 3.7** - Recipiente de 50l com rejeito sólido descartados das celas de produção. Fonte: GERULIS; A. A. SORDI; DA SILVA, 2005.33
- FIGURA 3.8** - Cercado onde ficam os recipientes com rejeitos sólidos esperando decaimento para serem descartados como lixo comum.34
- FIGURA 3.9** - Operação em cela de produção de ^{131}I dentro da ala-quente.35
- FIGURA 3.10** - Histograma da produção de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ em atividade (mCi) por ano, de 2007 a 2011.37
- FIGURA 3.11** - Histograma da produção de Iodo-131 em forma líquida e de cápsula, por atividade (mCi) e por ano no período de 2007 a 2011.38
- FIGURA 3.12** - Histograma da produção de Iodo-123, Flúor-18 Samário-153, em atividade (mCi) e por ano no período de 2007 a 2011.39

FIGURA 3.13 - Histograma da produção de Gálio-67, Tálcio-201 e Lutécio-177, em atividade (mCi) e por ano no período de 2007 a 2011.	40
FIGURA 4.1 - Dosímetro Termo Luminescente - TLD.	41
FIGURA 4.2 - Dosímetro de leitura direta.	41
FIGURA 4.3 - Detector de Taxa de Exposição.	42
FIGURA 4.4 - Organograma das empresas que prestam serviços de manutenções e intervenções no CR do IPEN que são, a FCR – Funcionários do CR, a SAI – Serviço de Apoio Interno ao IPEN e a SAE – Serviço de Apoio Externo ao IPEN.	44
FIGURA 4.5 - Organograma da classificação de operações com subdivisões, de acordo com sua característica, Preventiva – PREV, Corretiva – CORR e Interventora – INTV.	46
FIGURA 4.6 - Organograma das áreas restritas do CR sabendo que em todas elas está uma face das celas de produção.	47
FIGURA 4.7 - Organograma da classificação dos tipos de tarefas executados durante as operações em áreas restritas.	48
FIGURA 5.1 - Dose anual totais das empresas FCR, SAI e SAE em operações em áreas restritas (supervisionadas e controladas) do CR no período de 2005 a 2011, consolidadas da TAB.1.	53
FIGURA 5.2 - Distribuição de dose (mSv) e número de IOE por empresa no período de 2005 a 2011. Empresas: FCR – Funcionários do CR; SAI – Serviço de apoio interno; SAE – Serviço de apoio externo.	54
FIGURA 5.3 - Distribuição da dose em operações por número de operações por empresa no período de 2005 a 2011. Empresas: FCR – Funcionários do CR; SAI – Serviço de apoio interno; SAE – Serviço de apoio externo.	59
FIGURA 5.4 - Número de operações por empresa classificadas por característica no período de 2005 a 2011. Característica de operação (OP): PREV – Preventiva. Empresas: FCR – Funcionários do CR; SAI – Serviço de apoio interno; SAE – Serviço de apoio externo.	60
FIGURA 5.5 - Número de operações por empresa classificadas por característica no período de 2005 a 2011. Característica de operação (OP): CORR- Corretiva. Empresas: FCR – Funcionários do CR; SAI – Serviço de apoio interno; SAE – Serviço de apoio externo.	61
FIGURA 5.6 - Número de operações por empresa classificadas por característica no período de 2005 a 2011. Característica de operação (OP): INTV- Interventora. Empresas: FCR – Funcionários do CR; SAI – Serviço de apoio interno; SAE – Serviço de apoio externo.	61

FIGURA 5.7 - Número de operações por áreas restritas e celas de produção de radiofármacos, distribuídas por anos. Operações preventivas realizadas pela empresa FCR- Funcionários do CR no período de 2005 a 2011. Áreas restritas - AQ – Alas-quentes, SR – Subsolo de rejeitos radioativos. Celas de produção – Flúor-18, Samário-153, Tálío-203, Gálio 67, Iodo-131, Iodo-123, Molibdênio-99 e Lutécio-177.67

FIGURA 5.8 - Número de operações por áreas restritas e celas de produção de radiofármacos, distribuídas por anos. Operações preventivas realizadas pela empresa SAI – Serviço de Apoio Interno no período de 2005 a 2011. Áreas restritas - AQ – Alas-quentes, SR – Subsolo de rejeitos radioativos. Celas de produção – Flúor-18, Samário-153, Tálío-203, Gálio 67, Iodo-131, Iodo-123, Molibdênio-99 e Lutécio-177.68

FIGURA 5.9 - Número de operações por áreas restritas e celas de produção de radiofármacos, distribuídas por anos. Operações preventivas realizadas pela empresa SAE – Serviço de Apoio Externo no período de 2005 a 2011. Áreas restritas - AQ – Alas-quentes, SR – Subsolo de rejeitos radioativos. Celas de produção – Flúor-18, Samário-153, Tálío-203, Gálio 67, Iodo-131, Iodo-123, Molibdênio-99 e Lutécio-177.69

FIGURA 5.10 - Número de operações por áreas restritas e celas de produção de radiofármacos, distribuídas por anos. Operações corretivas realizadas pela empresa FCR- Funcionários do CR no período de 2005 a 2011. Áreas restritas - AQ – Alas-quentes, SR – Subsolo de rejeitos radioativos. Celas de produção – Flúor-18, Samário-153, Tálío-203, Gálio 67, Iodo-131, Iodo-123, Molibdênio-99 e Lutécio-177.70

FIGURA 5.11 - Número de operações por áreas restritas e celas de produção de radiofármacos, distribuídas por anos. Operações corretivas realizadas pela empresa SAI – Serviço de Apoio Interno no período de 2005 a 2011. Áreas restritas - AQ – Alas-quentes, SR – Subsolo de rejeitos radioativos. Celas de produção – Flúor-18, Samário-153, Tálío-203, Gálio 67, Iodo-131, Iodo-123, Molibdênio-99 e Lutécio-177.70

FIGURA 5.12 - Número de operações por áreas restritas e celas de produção de radiofármacos, distribuídas por anos. Operações corretivas realizadas pela empresa SAE – Serviço de Apoio Externo no período de 2005 a 2011. Áreas restritas - AQ – Alas-quentes, SR – Subsolo de rejeitos radioativos. Celas de produção – Flúor-18, Samário-153, Tálío-203, Gálio 67, Iodo-131, Iodo-123, Molibdênio-99 e Lutécio-177.71

FIGURA 5.13 - Número de operações por áreas restritas e celas de produção de radiofármacos, distribuídas por anos. Operações interventoras realizadas pela empresa FCR- Funcionários do CR no período de 2005 a 2011. Áreas restritas - AQ – Alas-quentes, SR – Subsolo de rejeitos radioativos. Celas de produção – Flúor-18, Samário-153, Tálio-203, Gálio 67, Iodo-131, Iodo-123, Molibdênio-99 e Lutécio-177. 72

FIGURA 5.14 - Número de operações por áreas restritas e celas de produção de radiofármacos, distribuídas por anos. Operações interventoras realizadas pela empresa SAI – Serviço de Apoio Interno no período de 2005 a 2011. Áreas restritas - AQ – Alas-quentes, SR – Subsolo de rejeitos radioativos. Celas de produção – Flúor-18, Samário-153, Tálio-203, Gálio 67, Iodo-131, Iodo-123, Molibdênio-99 e Lutécio-177.73

FIGURA 5.15 - Número de operações por áreas restritas e celas de produção de radiofármacos, distribuídas por anos. Operações interventoras realizadas pela empresa SAE – Serviço de Apoio Externo no período de 2005 a 2011. Áreas restritas - AQ – Alas-quentes, SR – Subsolo de rejeitos radioativos. Celas de produção – Flúor-18, Samário-153, Tálio-203, Gálio 67, Iodo-131, Iodo-123, Molibdênio-99 e Lutécio-177.73

FIGURA 5.16 - Dose do IOE por operação distribuída por áreas restritas e celas de produção de radiofármacos, distribuídas por anos, no período de 2005 a 2011. Áreas restritas - AQ – Alas-quentes, SR – Subsolo de rejeitos radioativos. Celas de produção – Flúor-18, Samário-153, Tálio-203, Gálio 67, Iodo-131, Iodo-123, Molibdênio-99 e Lutécio-177.75

FIGURA 5.17 - Número de operações por tipo de tarefa efetuada, distribuídas por locais e empresas. Tarefas: cela aberta – CA, com cela fechada – CF; nas áreas ala-quente – AQ e no subsolo de rejeito – SR; nos sistema de exaustão da ala-quente – EAQ e no sistema de exaustão do subsolo de rejeito – ESR; tarefas que envolvem o gerenciamento de rejeitos radioativos – GRR. EMP- Empresas: FCR – Funcionários do CR; SAI – Serviço de apoio interno; SAE – Serviço de apoio externo.77

FIGURA 5.18 - Número de operações por tipo de tarefa efetuada, distribuídas por áreas e celas classificadas por característica, no período de 2005 a 2011. Tarefas: cela aberta – CA, com cela fechada – CF; nas áreas ala-quente – AQ e no subsolo de rejeito – SR; nos sistema de exaustão da ala-quente – EAQ e no sistema de exaustão do subsolo de rejeito – ESR; tarefas que envolvem o gerenciamento de rejeitos radioativos – GRR. Característica de operações – CAR; PREV – Preventiva; CORR – Corretiva; INTV – Interventora; MONT – Montagem e Reforma.78

FIGURA 5.19 - Número de operações por tipo de tarefa efetuada, distribuídas por anos, realizadas pela empresa FCR – Funcionários do CR, no período de 2005 a 2011. Tarefas: cela aberta – CA, com cela fechada – CF; nas áreas ala-quente – AQ e no subsolo de rejeito – SR; nos sistema de exaustão da ala-quente – EAQ e

no sistema de exaustão do subsolo de rejeito – ESR; tarefas que envolvem o gerenciamento de rejeitos radioativos – GRR.....79

FIGURA 5.20 - Distribuição da dose por operações por tipo de tarefa efetuada, por anos, realizadas pela empresa FCR – Funcionários do CR, no período de 2005 a 2011. Tarefas: cela aberta – CA, com cela fechada – CF; nas áreas ala-quente – AQ e no subsolo de rejeito – SR; nos sistema de exaustão da ala-quente – EAQ e no sistema de exaustão do subsolo de rejeito – ESR; tarefas que envolvem o gerenciamento de rejeitos radioativos – GRR.....79

FIGURA 5.21 - Número de operações por tipo de tarefa efetuada, distribuídas por anos, realizadas pela empresa SAI- Serviço de Apoio Interno, no período de 2005 a 2011. Tarefas: cela aberta – CA, com cela fechada – CF; nas áreas ala-quente – AQ e no subsolo de rejeito – SR; nos sistema de exaustão da ala-quente – EAQ e no sistema de exaustão do subsolo de rejeito – ESR; tarefas que envolvem o gerenciamento de rejeitos radioativos – GRR.....80

FIGURA 5.22 - Distribuição da dose por operações por tipo de tarefa efetuada, por anos, realizadas pela SAI – Serviço de Apoio Interno, no período de 2005 a 2011. Tarefas: cela aberta – CA, com cela fechada – CF; nas áreas ala-quente – AQ e no subsolo de rejeito – SR; nos sistema de exaustão da ala-quente – EAQ e no sistema de exaustão do subsolo de rejeito – ESR; tarefas que envolvem o gerenciamento de rejeitos radioativos – GRR.81

FIGURA 5.23 - Número de operações por tipo de tarefa efetuada, distribuídas por anos, realizadas pela empresa SAE- Serviço de Apoio Externo, no período de 2005 a 2011. Tarefas: cela aberta – CA, com cela fechada – CF; nas áreas ala-quente – AQ e no subsolo de rejeito – SR; nos sistema de exaustão da ala-quente – EAQ e no sistema de exaustão do subsolo de rejeito – ESR; tarefas que envolvem o gerenciamento de rejeitos radioativos – GRR.....82

FIGURA 5.24 - Distribuição da dose por operações por tipo de tarefa efetuada, por anos, realizadas pela SAE – Serviço de Apoio Externo, no período de 2005 a 2011. Tarefas: cela aberta – CA, com cela fechada – CF; nas áreas ala-quente – AQ e no subsolo de rejeito – SR; nos sistema de exaustão da ala-quente – EAQ e no sistema de exaustão do subsolo de rejeito – ESR; tarefas que envolvem o gerenciamento de rejeitos radioativos – GRR.82

FIGURA 5.25 - Número de operações e total em horas de operação por empresa no período de 2005 a 2011. Empresas: FCR – Funcionários do CR; SAI – Serviço de apoio interno; SAE – Serviço de apoio externo.....84

FIGURA 5.26 - Distribuição das operações por característica de operação e por tempo de duração em minutos no período de 2005 a 2011. Característica de operações – CAR; PREV – Preventiva; CORR – Corretiva; INTV – Interventora; MONT – Montagem e Reforma.85

FIGURA 5.27 - Distribuição da dose em operações por empresa e por tempo de duração em minutos de cada operação no período de 2005 a 2011. EMP-

Empresas: FCR – Funcionários do CR; SAI – Serviço de apoio interno; SAE – Serviço de apoio externo.....86

FIGURA 5.28 - Distribuição da dose em operações classificadas por característica, por tempo de duração em minutos de cada operação no período de 2005 a 2011. Característica de operações – CAR; PREV – Preventiva; CORR – Corretiva; INTV – Interventora; MONT – Montagem e Reforma.87

LISTA DE ABREVIATURAS

<i>Ala-quente</i>	=	AQ
<i>Cela - Aberta</i>	=	CA
<i>Característica de Operação</i>	=	CAR
<i>Cela Fechada</i>	=	CF
<i>Corretiva</i>	=	CORR
<i>Centro de Radiofarmácia</i>	=	CR
<i>Exaustão da Ala-quente</i>	=	EAQ.
<i>Exaustão do Subsolo de Rejeitos</i>	=	ESR
<i>Funcionários do Centro de Radiofarmácia</i>	=	FCR
<i>Gerenciamento de Rejeitos Radioativos</i>	=	GRR
<i>Interventora</i>	=	INTV
<i>Indivíduo Ocupacionalmente Exposto</i>	=	IOE
<i>Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares</i>	=	IPEN
<i>Laboratório de Produção</i>	=	LAB. PROD
<i>Montagem</i>	=	MONT
<i>Operação</i>	=	OP
<i>Preventiva</i>	=	PREV
<i>Reforma</i>	=	REF
<i>Serviço de apoio Externo</i>	=	SAE
<i>Serviço de Apoio Interno</i>	=	SAI

1 INTRODUÇÃO

1.1 O CR - Centro de Radiofarmácia do IPEN

O Centro de Radiofarmácia - CR, do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN, desenvolve prioritariamente desde a década de 80, radioisótopos primários e radiofármacos (radioisótopos em condições de serem aplicados em seres humanos) para pesquisa e uso em medicina nuclear. A etapa de produção dos radioisótopos inicia-se no reator IEA-R1 ou no Centro de Aceleradores Cíclotron - CAC, onde os materiais são irradiados para a obtenção dos radioisótopos primários e posteriormente encaminhados ao CR para processamento. Os principais radioisótopos processados são ^{99}Mo , ^{131}I , ^{123}I , ^{67}Ga , ^{201}Tl , ^{18}F , ^{177}Lu e ^{153}Sm com meias-vidas físicas curtas, em geral de até 60 dias. (Gerulis, 2006; Rodrigues, 2002)

As produções dos radiofármacos são realizadas com frequência semanal, quinzenal ou sob encomenda específica. Sabe-se que cada radiofármaco é processado em dias específicos da semana. As tarefas diárias relacionadas à produção direta e indiretamente envolvem um grande número de trabalhadores em diferentes funções. (Sanches, 2004).

O CR é uma instalação radiativa projetada para trabalhar com fontes não seladas. Dentro da estrutura organizacional da instalação, a Gerência de Radioproteção tem como responsabilidade e objetivo garantir que as atividades sejam executadas de acordo com as normas vigentes específicas, assegurando que as doses sejam mantidas em condições tão baixas quanto razoavelmente exequível considerando fatores econômicos e sociais. Nesse sentido, a Gerência de Radioproteção designou uma Equipe de Radioproteção (ERP) para aplicar os procedimentos de segurança radiológica supervisionando as tarefas como a produção de radiofármacos, a liberação de embalados para transporte, o gerenciamento de rejeitos radioativos e as operações em áreas restritas (CNEN NN 3.01, 2005).

1.2 Histórico de Reformas

A necessidade de acompanhar os avanços no desenvolvimento da pesquisa de novos fármacos e para suprir a crescente demanda na área de aplicação de medicina nuclear, a planta de processamento de radioisótopos do IPEN passou por sucessivas reformas ao longo do tempo. Estas reformas foram efetuadas com diversos propósitos, como a melhoria na segurança do processo e dos trabalhadores assim como na modernização e ampliação da instalação.

As áreas restritas do CR, descritas nos próximos capítulos, são os locais onde se situam as celas de produção e onde são processados os radiofármacos. Nos últimos sete anos foram efetuadas reformas significativas nestas celas para otimizar a produção dos principais radiofármacos. O grupo que planeja e realiza as manutenções e intervenções no CR elaborou um relatório apresentando o histórico das principais operações de reforma efetuadas para o período estudado, apresentadas a seguir:

Em 2005 foi realizado melhoramento nas autoclaves das celas de ^{131}I , ^{67}Ga , ^{18}F e ^{177}Lu , que é o ano inicial deste estudo.

No ano de 2006 realizou-se mudanças no sistema de automação, onde foram trocados cilindros que controlam a abertura de portas nas celas de ^{67}Ga , ^{201}Tl , ^{18}F , ^{177}Lu e ^{153}Sm .

Em 2007 foi realizada uma importante reforma nas celas de ^{67}Ga e ^{201}Tl com o principal objetivo de diminuir a dose do trabalhador e a frequência de manutenções nessas celas. A realização destas reformas foi para sanar os problemas causados pela oxidação de materiais metálicos e desgastes em mecanismos específicos destas celas. Além dessa reforma, foram feitas modificações nos painéis de controles das celas de ^{67}Ga e ^{201}Tl nesse mesmo ano.

O ano de 2008 foi feita uma grande reforma no sistema de exaustão das celas de produção, onde foram mudados os tipos dos filtros utilizados. Os filtros Hepa tipo cunha foram substituídos por filtros Hepa tipo cilindro com tubulação rígida. As celas que tiveram melhoramentos foram: ^{99}Mo , ^{131}I (líquido), ^{131}I (cápsula), ^{123}I , ^{67}Ga , ^{201}Tl , ^{18}F , ^{177}Lu e ^{153}Sm .

No ano de 2010 as principais melhorias foram efetuadas nas celas de ^{99}Mo (Geradores de $^{99\text{m}}\text{Tc}$), ^{131}I , ^{67}Ga , ^{201}Tl , ^{18}F , ^{177}Lu e ^{153}Sm . Houve

modificações no sistema de fluxos laminares, que tem como função filtrar o ar dentro das celas quentes. A outra reforma realizada foi no sistema de contagem de partículas. Por meio deste sistema é feito o controle periódico da contaminação do ar dentro das celas.

Em 2011 foram realizadas três principais modificações em celas. A primeira foi a vedação das partes internas das celas de ^{131}I , ^{18}F e ^{177}Lu . A segunda modificação foi feita na vedação de portas das celas de ^{99}Mo e ^{153}Sm . E, por fim, foram efetuados melhoramentos na parte de dispensa de rejeitos sólidos nas celas de ^{99}Mo e ^{131}I .

A execução das reformas efetuadas nesse período teve como objetivo atender os requisitos do sistema da garantia de qualidade no que se refere à qualidade do produto e à segurança da instalação e do trabalhador. A melhoria na vedação está diretamente relacionada à estanqueidade das celas implicando na qualidade boa do ar e também na segurança do trabalhador que realiza tarefas durante produção. Sob o ponto de vista de radioproteção, as operações de manutenção, intervenção e reforma das celas de produção são consideradas importantes para que a exposição dos trabalhadores durante a realização destas tarefas seja minimizada.

1.3 Motivação do Trabalho

O CR dispõe de total infraestrutura para a segurança dos trabalhadores, além da Equipe de Radioproteção (ERP) que aplica os procedimentos de radioproteção, para que as doses dos trabalhadores sempre sejam “tão baixas quanto razoavelmente exequíveis” (princípio ALARA). Contudo, o risco de ocorrência de efeitos biológicos por radiação nunca é “nulo” por menores que sejam as doses recebidas. Portanto, é imprescindível que sempre haja a revisão dos procedimentos de proteção radiológica que contemplem as transformações, sejam elas tecnológicas, na infraestrutura, nas tarefas, e se adapte a rotina de trabalho da instalação para dar segurança ao trabalhador. (CIPR 75, 1997; AIEA Safety Series 115, 1996).

1.4 Objetivo Geral

A finalidade deste trabalho é contribuir com melhorias nas tarefas realizadas em operações nas áreas restritas no Centro de Radiofarmácia – CR do IPEN, por meio de sugestões de aperfeiçoamento nos procedimentos para que possam resultar em doses individuais mais baixas sem causar alterações significativas na rotina de trabalho. Além disso, pretende-se analisar o comportamento da dose do trabalhador ao longo dos anos de atividade da instalação durante a produção dos radiofármacos.

1.5 Objetivos Específicos

- i) O objetivo deste trabalho é analisar as doses ocupacionais oriundas das operações de manutenções e intervenções realizadas no Centro de Radiofarmácia do IPEN – CR, através da metodologia da Pesquisa de Variáveis, no período de 2005 a 2011.
- ii) Fazer o levantamento e a análise de doses ocupacionais individuais e doses por tarefa em operações, mais especificamente, manutenções e intervenções de 2005 a 2011.
- iii) Por meio de observações da rotina de trabalho e da Pesquisa de Variáveis, determinar os fatores que contribuem para o aumento da dose efetiva do IOE.
- iv) Identificar as principais variáveis da pesquisa que tem impacto direto com a dose efetiva e relacioná-las entre si para sugerir melhorias.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Fundamentos de Proteção Radiológica

2.1.1 Exposição Laboral

A exposição de um indivíduo pode ser classificada como irradiação externa e interna por radiação ionizante. A irradiação externa ocorre quando a fonte de radiação está externa ao corpo humano. Por outro lado a irradiação interna acontece quando o indivíduo inala, ingere ou tem contato da pele intacta ou ferida com uma fonte radioativa não selada que se distribui no interior do corpo humano. (CNEN 3.01, 2005; Okuno, 2010)

A exposição à radiação ionizante de um indivíduo decorrente do trabalho ou treinamento em práticas autorizadas é denominada exposição ocupacional. O Indivíduo Ocupacionalmente Exposto - IOE é a pessoa que trabalha em locais onde há exposição à radiação ionizante. A exposição laboral pode ser classificada como normal ou potencial (ICRP 75)(*). A exposição normal, é esperada decorrente de uma prática autorizada em condições normais de operação de uma fonte ou instalação, incluindo casos de pequenos imprevistos que possam ser mantidos sob controle. Já a exposição potencial cuja ocorrência não pode ser prevista com certeza, mas pode resultar em um acidente envolvendo diretamente uma fonte de radiação ou em consequência de um evento ou de uma série de eventos de natureza probabilística. (CIPR 75, 1997). A CIRP classificou as atividades envolvendo radiações ionizantes como prática e intervenção. É considerada prática, o manuseio, a produção, a posse, a utilização, o transporte, o armazenamento e deposição de material radioativo, abrangendo todas as atividades relacionadas que envolvam ou possam envolver exposição à radiação. É considerada intervenção, as situações de emergência que requeiram uma ação para reduzir ou evitar as exposições às radiações e as situações de exposições crônicas que requeiram ação remediadora para reduzi-las ou evitá-las. (CNEN 3.01, 2005).

(*) Prática e Intervenção – A ICRP atualizou este conceito na Publicação 103(2008).

2.1.2 Controle de Exposição Laboral

As principais formas de controle das exposições laborais são: controle de áreas que envolvem a classificação das áreas de trabalho, controles de engenharia e monitoramento de área, controle de fontes, controle de trabalhadores, controle de equipamentos e gerenciamento de rejeitos radioativos. O Controle de áreas é realizado pela avaliação e classificação periódica das áreas da instalação.

Os principais controles de engenharia para exposição às radiações ionizantes em áreas laborais são: blindagem, sistemas de ventilação, sistemas para evitar acesso a fonte, sistema de alarme de taxa de dose e de contaminação. (CNEN 3.01, 2005).

O controle de trabalhadores é efetuado por meio da monitoração individual, da avaliação das doses recebidas pelos trabalhadores durante seu período laboral e também do acompanhamento de supervisão médica. Os registros das monitorações das doses individuais dos trabalhadores da instalação e de qualquer ocorrência, devem ser organizados, atualizados e arquivados pelo serviço de proteção radiológica. (CIPR 75, 1997; Sordi, 2011)

O controle das fontes de radiação da instalação deve ser efetuado por meio de um programa de controle físico, incluindo verificação da integridade das fontes quanto a possíveis vazamentos, além de manutenções em estruturas de blindagem. (AIEA Safety Series 115, 1996)

O gerenciamento de rejeitos radioativos consiste basicamente em cuidar convenientemente dos rejeitos radioativos de forma a realizar uma série de ações que vai desde a coleta dos rejeitos no ponto onde são gerados, até seu destino final, obedecendo aos requisitos de proteção aos trabalhadores, aos indivíduos do público e ao meio ambiente. (CNEN 6.05, 1985; GERULIS; A. A. SORDI; DA SILVA, 2005).

2.1.3 Classificação das Áreas de Trabalho

Em locais onde há exposição à radiação ionizante, o controle operacional das exposições deve ser abordado de maneira estruturada. Entre os principais métodos de controle de exposição às radiações ionizantes está a classificação de áreas de trabalho (por forma de exposição), o estabelecimento de regras e responsabilidades locais que os trabalhadores devem obedecer, o monitoramento de trabalhadores e locais de trabalho e o treinamento. (CNEN 3.01, 2005).

A classificação das áreas de trabalho torna o controle de exposição laboral mais eficiente e simplificado. A proteção radiológica estabeleceu duas áreas, a livre e a restrita. A área livre é aquela em que os níveis de dose devem estar dentro do limite estabelecido para o público em geral. Já a área restrita é subdividida em duas áreas, supervisionada e controlada. A área supervisionada requer atenção, contudo, em condições normais de trabalho não são necessários procedimentos especiais. Já na área controlada são exigidos procedimentos operacionais específicos, pois, nela existe o risco potencial de contaminação e irradiação do trabalhador. As exigências mínimas para o estabelecimento das áreas controladas são de estarem adequadamente demarcadas e sinalizadas, para indicar aos trabalhadores, especialmente ao grupo que realiza manutenções no CR, os locais onde estão as fontes de radiação. Além disso, o acesso a esta área deve ser restrito apenas a pessoas adequadamente treinadas e autorizadas. (AIEA Safety Series 21, 2002)

2.1.4 Limites de Dose ocupacional

Os limites de restrição de dose são uma exigência do procedimento de otimização da proteção que deverão estar ligados ao decréscimo nas doses efetivas para indivíduos, ou no risco para os indivíduos em caso de exposição potencial.

O princípio da limitação de dose recomenda que os limites de dose devam ser aplicados de forma que a dose recebida por qualquer indivíduo como resultado de todas as práticas, exceto diagnóstico ou tratamento médico, esteja em acordo com as recomendações dos órgãos competentes. O limite de dose

primário para trabalhador deve ser de 20 mSv sendo esse valor a média para um período de cinco anos. (CIPR 60, 1990; AIEA Safety Series 115, 1996)

2.1.5 Níveis de Referência

Os níveis de referência recomendados pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica – CIPR são nível de registro, o nível de investigação, nível de intervenção e nível de ação. O nível de registro com valor recomendado de 0,2 mSv por mês é aplicado de forma consistente para exposições laborais com ênfase no monitoramento individual e do local de trabalho. O nível de investigação com valor recomendado de 6 mSv por ano e 1 mSv por mês é solicitado quando é excedido, então é feita uma investigação local. Este limite é aplicado para exposições laborais. O nível de intervenção é determinado pela autoridade regulatória e é aplicado à exposição do público para dose que pode ser evitada por uma medida específica. O nível de ação é aplicado quando é exigida uma determinada ação. (CNEN 3.01, 2005).

2.1.6 Monitoramento de Área e Individual

A finalidade do monitoramento é avaliar o controle de exposição externas e internas dos indivíduos para radiações ionizantes e deve ser obtida de forma eficiente e econômica. (AIEA-PRTM 2, 1995; Sordi, 2011).

Existem dois tipos de monitoramentos: os do local de trabalho, que envolve as medidas realizadas no ambiente e o monitoramento individual, que é aplicado para obter medidas por meio de um detector de radiação portado pelo trabalhador. O monitoramento do local de trabalho mede a radiação externa, a contaminação de superfície e a contaminação do ar e tem como objetivo garantir condições satisfatórias de trabalho, visando o controle da exposição. O monitoramento individual mede a exposição externa, a contaminação de pele e roupa e a exposição interna. (TAUHATA et al., 2002)

As funções do monitoramento estão relacionadas com seus objetivos, são o monitoramento de rotina, o monitoramento relacionado a tarefa e o monitoramento interventor.

O monitoramento de rotina está associado às atividades contínuas e rotineiras que ocorrem na instalação. Este é aplicado para demonstrar as condições de trabalho, inclusive para saber se valores de doses individuais estão satisfatórios e abaixo dos limites de restrição. (CIPR 75, 1997; CIPR 60, 1990; Sordi, 2011).

O monitoramento relacionado à tarefa é aplicado a uma tarefa específica e fornece dados para tomada de decisão imediata para condução da operação realizada, para otimização da proteção. Este monitoramento normalmente é realizado com instrumentos portáteis e deve prever as doses prováveis de serem acumuladas durante a tarefa. (CIPR 75, 1997; CIPR 60, 1990; Sordi, 2011).

O monitoramento interventor tem natureza investigadora, pois envolve uma situação no local de trabalho onde as informações são insuficientes para demonstrar um controle adequado. Esse monitoramento é ideal para fornecer informações mais detalhadas de forma que possa elucidar o problema ocorrido e assim, determinar procedimentos futuros. (CIPR 75, 1997; CIPR 60, 1990; Sordi, 2011).

2.2 Conceito Básico de Variáveis

A hipótese na ciência consiste basicamente na suposição verossímil, comprovável ou denegável por fatos que não de decidir posteriormente, sobre a verdade ou falsidade dos fatos que se deseja explicar. (Deppe apud Cervo et al., 2007, Pág. 77)

A hipótese, como resposta e explicação provisória, relaciona dois ou mais fatores de um problema levantado, deve ser testável e também responder ao problema em questão. (Deppe apud Cervo et al., 2007 Pág. 78)

A pesquisa científica tem como tarefa essencial descobrir e expressar as relações que existem entre os fenômenos, isto é, a relação entre variáveis. (Deppe apud Cervo et al., 2007, Pág. 78)

“Variáveis são aspectos, propriedades ou fatores reais ou potencialmente mesuráveis pelos valores que assumem e são discerníveis em um objeto de estudo”. Portanto, é definida como um valor que pode ser dado a uma

quantidade, qualidade, característica, magnitude, traço etc., que pode oscilar em cada caso particular. (Cervo et al., 2007)

As variáveis são divididas da seguinte forma:

Variável independente(x): é o fator, causa ou antecedente que determina a ocorrência do outro fenômeno, efeito ou consequência. (Deppe apud Cervo et al., 2007, Pág. 78)

Variável dependente(y): é o fator, propriedade, efeito ou resultado decorrente da ação da variável independente. (Deppe apud Cervo et al., 2007, Pág. 78)

- As variáveis podem ser classificadas quanto ao nível de mensuração como:
 - Nominal: variável cujos valores são classificados apenas de forma qualitativa. (Morettin & Bussab, 2010)
 - Ordinal: variável cujos valores são classificados em ordem e também podem ser quantificados, mas não comparados entre si. (Morettin & Bussab, 2010)
 - Intervalar: variáveis cujos valores são classificados de forma ordenada, podem ser qualitativos e suas diferenças comparadas entre si. (Morettin & Bussab, 2010)

3 A INSTALAÇÃO – CR

A instalação do CR possui dois prédios (prédio 70 e prédio 71) e três construções de apoio, todos com proteção física e uma portaria de acesso. Além disso, há também um sistema de som para comunicação entre os trabalhadores e câmeras de vídeo instaladas na portaria de acesso, nos corredores e nas áreas restritas da instalação com repetição de imagens na sala de controle da radioproteção. (Gerulis, 2006)

As instalações do CR são subdivididas em regiões de acordo com as propriedades dos radiofármacos manuseados e suas atividades.

Região 1: Estão presentes nos prédios 70 e 71, onde trabalha-se com radiofármacos e radioisótopos primários na forma líquida em volumes pequenos e com atividades pequenas. A região é composta por laboratórios de pesquisa, laboratório químico, laboratório de espectrometria de radionuclídeos e laboratório de preparo de insumos para produções. (Gerulis, 2006)

Região 2: Existente apenas no prédio 70 e trabalha-se com radiofármacos e radioisótopos primários na forma líquida com atividades grandes. A possibilidade de exposição é exclusivamente externa. A região é composta pelo setor de embalagem e laboratórios de operação de celas de produção. (Gerulis, 2006)

Região 3: Existente apenas no prédio 70 e trabalha-se com atividades altas de radiofármacos e radioisótopos primários na forma líquida dentro das celas, capelas e caixa-com-luvas. Nessa área há a possibilidade de exposição externa e incorporação de material radioativo por ser uma região contaminada conhecida por ala-quente. (Gerulis, 2006)

3.1 Áreas Restritas do CR

O CR possui três áreas restritas que são: os laboratórios de produção classificados como áreas supervisionadas, as alas-quentes 1 e 2 (FIG. 3.1), e o subsolo de rejeito radioativo, classificadas como áreas controladas (FIG. 3.2). Dentro destas áreas restritas localizam-se as celas de produção de radiofármacos, de forma que cada cela tem face para as três áreas citadas. A face anterior está voltada para o laboratório de produção. A face posterior situa-se nas alas-quentes. A face inferior está voltada para o subsolo de rejeitos radioativos por meio desta são descartados os rejeitos líquidos e sólidos gerados durante a produção. A face superior das celas situa-se nas alas-quentes e nesta está instalado o sistema de exaustão. (Gerulis, 2006)

FIGURA 3.1- Planta da Instalação Centro de Radiofarmácia do IPEN. Prédio 70 com as áreas livres com as áreas administrativas e as áreas restritas.

PISO SUBSOLO
PORÃO PRÉDIO CR 70

LEGENDA

- 1- Rejeito Sólido da Eluição (1x1x0,94m)
- 2- Rejeito Líquido da Lavagem (2,9x1,3x2,2m)
- 3- Rejeito Sólido do Gerador (1x1x0,94m)
- 4- Rejeito Sólido do Mo99tc (1x1x0,94m)
- 5- Rejeito Sólido da MIBG 131 (1x1x0,94m)
- 6- Rejeito Sólido do Lutécio (1x1x0,94m)
- 7- Rejeito Sólido do 18FDG (1x1x0,94m)
- 8- Rejeito Sólido I131 (1x1x0,94m)
- 9- Rejeito Líquido I131 (1x1x0,94m)
- 10- Rejeito Sólido do I131 Via seca (1x1x0,94m)
- 11- Rejeito Líquido do I131 Via seca (1x1x0,94m)
- 12- Rejeito Sólido do I131 Via Secca (1x1x0,94m)
- 13- Rejeito Sólido do Hidróxido Apatita (1x1x0,94m)
- 14- Rejeito Sólido da Cápsula I131 (1x1x0,94m)
- 15- Rejeito Líquido da Cápsula I131 (1x1x0,94m)
- 16- Rejeito Sólido do Samário 153 (1x1x0,94m)
- 17- Rejeito Líquido do Samário 153 (1x1x0,94m)
- 18- Rejeito Sólido do cortador de coelho (1x1x0,94m)
- 19- Rejeito Sólido do MIBG-123 (1x1x0,94m)
- 20- Rejeito Sólido Pesquisa e Desenvolvimento Gallo68 (1x1x0,94m)
- 21- Rejeito Sólido das Substâncias marcadas (1x1x0,94m)
- 22- Rejeito Líquido das Substâncias marcadas (1x1x0,94m)
- 23- Rejeito Líquido do Mo Via gel (1,9x3,2x1,2m)
- 24- Rejeito Sólido do Gallo 67 (1x1x1m)
- 25- Rejeito Líquido do Gallo 67 (1x1x1m)
- 26- Rejeito Sólido do Tallo 201 (1x1x1m)
- 27- Rejeito Líquido do Tallo 201 (1x1x1m)

FIGURA 3.2 - Área do subsolo de rejeitos radioativos classificada como AC- Área controlada.

As áreas restritas do CR possuem detectores fixos presentes em vários pontos da instalação e são utilizados para medida de taxa de exposição de área. Além disso, existem os equipamentos para medida de contaminação pessoal, tipo portal que utilizam detectores proporcionais ou cintiladores para medida da radiação gama e que são localizados nas entradas das áreas supervisionadas e controladas. (Gerulis, 2006)

As alas-quentes, o subsolo de rejeito e as celas de produção tem um sistema de exaustão e insuflação de ar, como parte dos requisitos de construção dessas instalações que manipulam fontes não seladas de radiação, para controle do fluxo de ar e gases antes da liberação no meio ambiente. Na ala quente e no subsolo de rejeito radioativo há um sistema de exaustão que causa depressão em relação ao ambiente externo (FIG. 3.3). As celas também possuem outro sistema

de exaustão independente e análogo ao das alas-quentes que causa uma depressão maior que a das alas-quentes (FIG. 3.3). (Sanches, 2004)

FIGURA 3.3 - Desenho esquemático do sistema de exaustão das alas-quentes e celas de produção do Centro de Radiofarmácia - CR do IPEN.

A seguir as áreas restritas e as celas serão descritas com mais detalhes estruturais.

3.1.1 Celas de Produção

As celas de produção do CR são compostas por uma gaiola de lucite estanque para contenções dos radioisótopos primários de grande atividade sendo a quantidade da ordem de terabequerel. Além disso, são envoltas por uma parede de chumbo e visores plumbíferos para minimizar a exposição. Os rejeitos gerados na cela durante as produções são descartados por meio de um encanamento. Este encanamento situa-se na face inferior da cela e está ligado aos recipientes de armazenamento de rejeitos radioativos líquidos e sólidos.

As celas são denominadas de acordo com radioisótopo processado, sendo as principais, a cela de ^{99}Mo (Geradores $^{99\text{m}}\text{Tc}$), a cela de ^{131}I , a cela de ^{123}I , a cela de ^{67}Ga , a cela de ^{201}Tl , a cela de ^{18}F , a cela de ^{177}Lu e a cela de ^{153}Sm . (Gerulis, 2006)

3.1.2 Laboratório de Produção

Os laboratórios de produção são os locais onde os operadores de celas realizam o processamento dos radiofármacos. Os objetos presentes no interior da cela são manipulados à distância por meio de garras mecânicas e por um painel de controle como mostrados na FIG. 3.4. (Gerulis, 2006)

FIGURA 3.4 - Laboratório de Produção com face da cela para processamento, com visores plumbíferos, painéis de controle e garras mecânicas para manipulação à distância.

3.1.3 Alas-Quentes

A ala-quente tem três subdivisões, a ala-quente 1, a ala-quente 2, e a ala semi-quente. Nas alas-quentes situa-se a face das celas de processamento com aberturas por onde são executadas as operações de manutenção e intervenção. Além disso, são locais de acesso para abastecimento e descarga. (FIG. 3.5) Na ala semi-quente existem laboratórios de recuperação de alvos irradiados e de descontaminação, além de salas para decaimento de rejeitos, insumos, equipamentos e ferramentas contaminadas. (Gerulis, 2006)

FIGURA 3.5 - Ala-quente 1 onde se situam as celas de produção com abertura para colocação de radioisótopos primários e manutenções.

Durante operações nas alas-quente é necessário e obrigatório o uso de roupas exclusivas (EPIs), macacões, toucas, botas e luvas para evitar a contaminação de pele (FIG. 3.6). Durante operações de manutenção realizadas internamente às celas exige-se também o uso de máscaras com filtros e óculos de proteção para evitar incorporação de material radioativo. (Gerulis, 2006)

FIGURA 3.6 - Equipamentos de Proteção Individual: 1 Macacão impermeável com touca. 2 Luvas de borracha. 3 Botas de borracha. 4 Máscara com filtro. 5 Dosímetro de leitura direta para monitoramento em tarefa.

3.1.4 Subsolo de Rejeito Radioativo

O Subsolo de rejeito radioativo é assim denominado, pois é o local onde é realizado o gerenciamento de rejeitos radioativos sólidos e líquidos de pequena e média atividade. Os rejeitos sólidos consistem basicamente de frascos de vidros, seringas, papéis absorvedores e são descartados das celas de produção por meio de tubulações até chegarem por gravidade a um recipiente contido em uma blindagem no andar inferior do prédio. Quando esse recipiente atinge a sua capacidade máxima é realizado um procedimento denominado “substituição de rejeito sólido” (FIG. 3.7). O recipiente é retirado da blindagem e transportado para outro local provisório no próprio subsolo de rejeitos (FIG. 3.8). Após um tempo de decaimento (depende da meia-vida do radionuclídeo) o valor da atividade deve ser igual ou menor a $7,5 \times 10^4$ Bq/kg para serem liberados como lixo comum. A TAB. 3.1 apresenta a quantidade de rejeitos sólidos gerados semanalmente no CR. (Gerulis, 2005; CNEN 6.05, 1985).

TABELA 3.1– Rejeitos radioativos sólidos gerados por semana no CR.

Radionuclídeo	Rejeitos provenientes do interior das celas (kg por semana)	Rejeitos provenientes de descontaminação e operações (kg por semana)
^{99}Mo $^{99\text{m}}\text{Tc}$	2 a 3	10 a 15
^{131}I	1 a 2	5 a 10
^{67}Ga , ^{201}Tl , ^{153}Sm , ^{123}I e ^{18}F	2 a 5	1 a 5

Fonte - Gerulis et al., 2005.

FIGURA 3.7 - Recipiente de 50l com rejeito sólido descartados das celas de produção. Fonte- Gerulis et al., 2005.

FIGURA 3.8 - Cercado onde ficam os recipientes com rejeitos sólidos esperando decaimento para serem descartados como lixo comum.

Os rejeitos líquidos das celas de produção são eliminados por meio de um sistema de encanamentos e são armazenados em tanques para controle da atividade, pH e outras propriedades antes de serem descartados ao meio ambiente, em consonância com os requisitos estabelecidos em normas da CNEN – NE 6.05. (Gerulis et al., 2005).

3.1.5 Operações em Áreas Restritas

As operações estudadas neste trabalho são realizadas em áreas restritas do CR, descritas anteriormente. As operações são tarefas de conserto, substituição e montagem de equipamentos e mecanismos específicos, que se situam internamente às celas de produção. Estas operações foram classificadas de acordo com a característica e objetivo das atividades realizadas em manutenções e intervenções. As manutenções ocorrem semanalmente, por isso, são consideradas de rotina e possuem procedimentos específicos pré-estabelecidos. As intervenções não são consideradas de rotina, pois ocorrem em

momentos inesperados e os procedimentos são definidos de acordo com a situação. (CNEN 3.01, 2005).

Nessa pesquisa, o Indivíduo ocupacionalmente exposto - IOE é o trabalhador que realiza as operações em áreas restritas do CR. As operações de manutenção e intervenção são executadas por profissionais qualificados e são imprescindíveis para garantir a produção de radiofármacos (FIG. 3.7). (Negrini, 2010)

FIGURA 3.9 - Operação em cela de produção de ^{131}I dentro da ala-quente.

3.2 Histórico de Produção de Radiofármacos

Os dados do histórico da quantidade de radiofármacos produzidos (em atividade em Bq) no CR foram obtidos de relatórios feitos pela gerência da instalação e antes de apresenta-lo é relevante fazer a abordagem das informações relacionadas às características físicas e à frequência de produção dos principais radioisótopos processados no CR, como ^{99}Mo , ^{131}I , ^{123}I , ^{67}Ga , ^{201}Tl , ^{18}F , ^{177}Lu e ^{153}Sm . (Gerulis, 2006; Sanches, 2004)

As características físicas dos radioisótopos processados no CR tem relação direta com a frequência de produção. A partir disso é possível determinar datas de encomendas baseadas no tempo de meia-vida ($T_{1/2}$) dos radionuclídeos. A contaminação nas celas, que está relacionada com o tempo de meia-vida e com a energia dos fótons e partículas, e esse fator influencia na taxa de exposição local. As características físicas dos principais radionuclídeos processados no CR são apresentadas na TAB. 3.2.

TABELA 3.2- Principais características físicas dos radioisótopos.

Radioisótopo	Meia – vida física ($T_{1/2}$)	Energia (MeV)(%)		
		Beta (β)	Gama (γ)	Raios-X
Molibdênio – 99	66,7 h	1,23(82) 0,45(17)	0,181(7) 0,740(14) 0,778(5)	
Iodo-131	8,05 d	0,61(90)	0,08(2,6) 0,284(5) 0,364(82) 0,635(6,5)	
Iodo-123	13,20 h	0,13(83,4)	0,159(97)	
Gálio-67	78 h	0,09(15)	0,93(40) 0,185(24) 0,296(22) 0,388(7)	
Tálio-201	73 h		0,135(2,6) 0,167(10)	0,068(95)
Flúor- 18	1,8 h	-0,65(97)	0,511(194)	
Samário-153	1,9 d	0,64 0,71 0,81	0,103(28)	

FONTE: Gopal, 1998.

Atualmente, o ^{99}Mo é produzido no reator com frequência semanal, segunda-feira, quarta-feira e sexta-feira. O ^{131}I é produzido no reator com frequência de produção semanal, todas as segundas-feiras. O ^{123}I é produzido no ciclotron semanalmente às quartas-feiras. O ^{67}Ga e o ^{201}Tl são processados no ciclotron semanalmente às sextas-feiras. O ^{177}Lu e o ^{18}F são produzidos em reator nuclear e no ciclotron, respectivamente, semanalmente às segundas-feiras.

E por fim o ^{153}Sm é processado em reator nuclear com frequência semanal às quartas-feiras (¹comunicação pessoal).

O CR produz radiofármacos em escala industrial, sendo que na última década teve um crescimento anual considerável para alguns radioisótopos. Por meio de dados obtidos pela gerência do Centro de Radiofarmácia, foram elaborados os histogramas das FIG. 3.10, 3.11, 3.12 e 3.13. Onde é apresentado o volume de produção dos principais radioisótopos processados no CR nos últimos cinco anos (¹comunicação pessoal).

A produção de geradores de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ apresentou um crescimento quando se compara os resultados do ano de 2007 aos de 2008 (FIG. 3.10) . Em 2009 a produção apresenta uma queda como resultado “crise da Medicina Nuclear” quando o reator nuclear da empresa canadense, responsável por 40% do fornecimento mundial de ^{99}Mo interrompeu suas atividades (para manutenções), resultando em uma crise no mercado de radiofármacos, e portanto, na área de medicina nuclear. (De Aquino & Vieira, 2010)

Este fato também influenciou o Brasil, mais especificamente o CR, de forma que a produção teve um decréscimo. Para atender a demanda no fornecimento e distribuição houve a importação de geradores de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ de outros países como Argentina e África do Sul (¹comunicação pessoal).

FIGURA 3.10 - Histograma da produção de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ em atividade (Bq) por ano, de 2007 a 2011.

¹ Entrevista “in loco” com Geraldo Alves, funcionário da Gerência do Centro de Radiofarmácia do IPEN no dia 09 de outubro 2012.

A produção de ^{131}I em forma líquida e em cápsula (FIG. 3.11), apresenta um aumento anual nesse período, isso porque esse radioisótopo é cada vez mais utilizado em medicina nuclear não só para exames de diagnóstico como também para tratamento hormonal e de câncer em tireóide (¹comunicação pessoal).

FIGURA 3.11 - Histograma da produção de Iodo-131 em forma líquida e de cápsula, por atividade (Bq) e por ano no período de 2007 a 2011.

A produção de ^{123}I apresentou uma pequena diminuição em 2010 e 2011 pois, houve uma diminuição na produção, em mais de 50% de 2009 para 2010 (FIG. 3.12). Nestes anos aconteceram reformas no reator que produz esse entre outros radioisótopos e influenciou no volume de processamento de Iodo-123 (¹comunicação pessoal).

O processamento de ^{18}F teve um aumento anual no período de 2007 a 2009 (FIG. 3.12). Após isso, houve uma diminuição na produção em 2010 e 2011, pois, com o aumento da aplicação de ^{18}F , também houve o aumento da concorrência nesse mercado (¹comunicação pessoal).

A produção de ^{153}Sm apresentou uma diminuição anual em todo o período deste estudo (FIG. 3.12). A produção deste radioisótopo em 2011 foi afetada pela reforma que ocorreu no reator, influenciando na quantidade de seu processamento (¹comunicação pessoal).

¹ Entrevista “in loco” com Geraldo Alves, funcionário da Gerência do Centro de Radiofarmácia do IPEN no dia 09 de outubro 2012.

FIGURA 3.12 - Histograma da produção de Iodo-123, Flúor-18 Samário-153, em atividade (Bq) e por ano no período de 2007 a 2011.

O processamento de ^{67}Ga apresentou valores próximos para todo período (FIG. 3.13). A produção de ^{201}Tl apresenta a maior produção no ano de 2009. Esse fato se deve a “crise da medicina nuclear” já que este radioisótopo foi utilizado em substituição ao $^{99\text{m}}\text{Tc}$ para alguns exames nesse ano (¹comunicação pessoal).

As aplicações com os radionuclídeos ^{67}Ga e o ^{201}Tl têm diminuído, face ao aparecimento de novos radiofármacos marcados com $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Nos anos de 2010 e 2011, com o término da “crise da medicina nuclear” a produção de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ se normalizou, e assim, o processamento de Tálcio-201 voltou a diminuir apresentando a menor produção em 2011 (FIG. 3.13). A produção de ^{177}Lu aumentou nos últimos três anos, de 2009 a 2011, por causa de sua crescente aplicação e do aumento da sua demanda (FIG. 3.13) (¹comunicação pessoal).

¹ Entrevista “in loco” com Geraldo Alves, funcionário da Gerência do Centro de Radiofarmácia do IPEN no dia 09 de outubro 2012.

FIGURA 3.13 - Histograma da produção de Gálio-67, Tálcio-201 e Lutécio-177, em atividade (Bq) e por ano no período de 2007 a 2011.

4 METODOLOGIA DE PESQUISA

4.1 Considerações Gerais

As atividades que envolveram esta pesquisa foram realizadas em áreas controladas e supervisionadas do CR onde foram utilizados detectores para medida da radiação externa, que incluem equipamentos portáteis e fixos. Além disso, foram utilizados os dados dos laboratórios de monitoração individual externa com dosímetro termoluminescente (FIG. 4.1), dosímetros de leitura direta tipo proporcional (FIG. 4.2), detectores de taxa de exposição com sonda de longo alcance (FIG. 4.3) e detectores de contaminação com sonda Geiger Muller tipo panela. Durante as operações nas alas-quentes e subsolo de rejeito radioativo foram utilizados os EPIs, já descritos no capítulo 3. (AIEA-PRTM 2, 1995)

FIGURA 4.1 - Dosímetro Termoluminescente - TLD.

FIGURA 4.2 - Dosímetro de leitura direta.

FIGURA 4.3 - Detector de Taxa de Exposição.

A coleta de dados desta pesquisa foi realizada primeiramente por meio do acompanhamento e observação da rotina de trabalho em operações de manutenções e intervenções. Assim, as informações relevantes como a característica de cada operação, foram registradas de forma detalhada. Durante o período de observação foi criada uma ficha denominada “Ficha de Manutenção e Intervenção”, com objetivo de registrar e organizar informações obtidas na rotina de trabalho em operações, para contribuir na análise futura dos dados.

Posteriormente, foi efetuado um levantamento dos registros das operações de manutenção e intervenção que estavam arquivadas em um sistema informatizado do CR. Além disso, as doses por tarefa foram coletadas de arquivos do Serviço de Proteção Radiológica de cada operação registrada que estavam anotadas em fichas de papel (impressa e manuscrito). A partir desse levantamento, também foram coletadas informações como o tempo gasto em cada operação, o local onde foi executada a tarefa e a data em que foi executada.

As informações sobre a participação de cada trabalhador e da sua respectiva empresa também foi coletada. Além disso, foram coletadas informações de observações feitas pela equipe do Serviço de Proteção Radiológica e por trabalhadores que realizam as manutenções, sobre as tarefas realizadas em operações, por meio de depoimentos e registros por escrito. Após reunir todas as informações para o período de 2005 a 2011, foi elaborada uma planilha de dados e posteriormente estes foram organizados e classificados por meio da Pesquisa de Variáveis.

4.2 Pesquisa de Variáveis

A “Pesquisa de Variáveis” é assim denominada por causa das variáveis que podem contribuir para o aumento da dose do trabalhador, nas operações de manutenção e intervenção de forma direta e indireta, de acordo com as particularidades de cada operação. O propósito da Pesquisa de Variáveis é levantar dados primários para oferecer informações relevantes ao objetivo da pesquisa e com isso, fornecer dados secundários para criar instrumentais estatísticos e humanos possibilitando a análise dos resultados.

As informações da rotina de trabalho no CR foram obtidas por meio de acompanhamento das operações, entrevistas “in loco”, relatórios e fichas com descrição das tarefas efetuadas.

Procedeu-se com a coleta dos dados relacionados aos trabalhadores, às operações de manutenção ou intervenção e aos procedimentos de radioproteção e estes foram organizadas em planilhas e ordenadas por ano de trabalho.

Baseados nestas informações foram formulados hipóteses das variáveis que tem influência na dose do trabalhador que realiza manutenções e intervenções nas áreas restritas do CR. O estudo conduziu à hipótese mais significativa com três variáveis iniciais:

- i) IOE, ou o Indivíduo Ocupacionalmente Exposto, que é a variável que define um perfil para o trabalhador que executa as operações em áreas restritas do CR;
- ii) Radioproteção, que é a variável definida para a observação dos valores de doses recebidas em diferentes situações e para a aplicação dos procedimentos de proteção radiológica com a finalidade de evitá-las ou diminuí-las;
- iii) Operação, esta variável foi determinada para observar as operações que apresentaram as maiores doses, relacionando-as às variáveis IOE e Radioproteção.

Desta forma, foi possível analisar o perfil do IOE relacionando a característica das operações de manutenções e intervenções (preventiva,

corretiva e interventora), os procedimentos de proteção radiológica, as tarefas realizadas e o tempo gasto para serem executadas.

A reclassificação dos dados foi obtida considerando somente os fatores que influenciam na dose do trabalhador e definido pelas seguintes variáveis: Indivíduo Ocupacionalmente Exposto, Operação, Área/Cela, Tipo de Tarefa e Duração da Operação, em função da variável Dose.

4.2.1 Variável IOE

O IOE - Indivíduo Ocupacionalmente Exposto é o trabalhador que realiza as operações nas celas, na ala-quente e no subsolo dos rejeitos radioativos no CR. Aqui o fator humano da pesquisa é uma das principais variáveis a ser estudada e avaliada, pois além de ser o objeto de estudo, estão associadas a ela outras variáveis importantes, tratadas mais à frente. As empresas às quais os trabalhadores pertencem e o tipo de prestação de serviços também são considerados, pois isso influencia na formação de um perfil de trabalhador que é o objetivo dessa variável. A variável IOE é classificada como independente e nominal.

Os IOE's foram classificados em grupos de acordo com sua empresa, como mostra o organograma na FIG. 4.4 que são: o grupo dos funcionários do CR, o FCR, o grupo que presta serviços de apoio e são funcionários internos ao IPEN, o SAI, e por fim, o grupo que presta serviços de apoio e são funcionários de empresas terceirizadas, externas ao IPEN, o SAE.

FIGURA 4.4 - Organograma das empresas que prestam serviços de manutenções e intervenções no CR do IPEN que são, a FCR – Funcionários do CR, a SAI – Serviço de Apoio Interno ao IPEN e a SAE – Serviço de Apoio Externo ao IPEN.

O grupo do FCR realizam operações relativamente mais complexas com característica de urgência, pois trabalham na instalação em período integral. O número de operadores dessa empresa é menor quando comparado aos outros grupos. Por isso, junto ao FCR atua o grupo do SAI e do SAE com funções operacionais distintas. O SAI atua na instalação executando manutenções complexas e com característica de urgência, além de participar de reformas e montagens de celas e seus sistemas integrantes. O SAE também atua na instalação efetuando manutenções complexas, contudo a maioria com objetivo de prevenir possíveis defeitos. O grupo do SAE pode ser subdividido em residentes e não residentes. O SAE – residente trabalha na instalação em regime integral e o SAE - não residente atua na instalação realizando operações de manutenção periodicamente, em concertos de equipamentos específicos em algumas celas.

As participações dos IOEs de todas as empresas resultam em um número grande de eventos para serem analisados individualmente. Desta forma, a Pesquisa de Variáveis classificou os grupos, não só por empresa, mas também por funções realizadas. Além disso, os IOEs pertencentes a esses grupos apresentaram características em comum como o tempo de experiência em operações em áreas restritas e treinamento. O FCR e o SAI tem operadores com tempo de experiência acima de dez anos e “reciclagem” em treinamento de proteção radiológica com intervalo de dois anos. O SAE tem operadores com tempo de experiência de até seis anos, além do treinamento de proteção radiológica de dois em dois anos. As operações efetuadas pelos grupos descritos anteriormente serão detalhadas na próxima variável apresentada.

4.2.2 Variável Operação – OP

A variável Operação - OP é classificada como independente e nominal, sendo uma das variáveis mais importantes, pois representa a quantidade de operações realizadas pelos IOEs e empresas. As operações foram divididas em manutenções e intervenções. As manutenções podem ter característica preventiva - PREV e corretiva - CORR, e são consideradas de “rotina”, pois há procedimentos pré-estabelecidos para cada uma delas (FIG 4.5). O objetivo operacional das manutenções preventivas é prevenir possíveis defeitos, desgaste

de peças ou mecanismos muito utilizados, por outro lado, o das manutenções corretivas é consertar o defeito que já ocorreu. As intervenções - INTV são manutenções corretivas de urgência (FIG. 4.5). E seu objetivo é consertar o defeito já ocorrido de forma que seja feito o mais rápido possível. Em intervenções não existem procedimentos pré-estabelecidos, portanto, são executados de acordo com as circunstâncias. Além das operações de manutenção e intervenção, foram consideradas também as operações de reforma e montagem – REF que foram realizadas no período estudado e são importantes para otimização na instalação, sendo que as principais foram descritas no capítulo introdução deste trabalho.

FIGURA 4.5 - Organograma da classificação de operações com subdivisões, de acordo com sua característica, Preventiva – PREV, Corretiva – CORR e Interventora – INTV.

Além da frequência de operações e característica operacional das manutenções e intervenções, os locais onde foram executadas podem influenciar na complexidade da manutenção ou intervenção e nas tarefas efetuadas, pois são locais contaminados. A complexidade da operação também está relacionada ao tempo e a forma em que as tarefas podem ser realizadas, pois, dependendo da situação e do risco radiológico que a envolve o operador deve conduzir ações de acordo com os procedimentos. Baseada nesse raciocínio a Pesquisa de Variáveis determinou as próximas variáveis a serem apresentadas, para posterior análise, Área/Cela, Tipo de Tarefa e Duração de operação.

4.2.3 Variável Área/Cela

A variável Área/Cela é uma variável independente, nominal que representa os locais onde são feitas as operações de manutenção e intervenção. Os locais são sempre os mesmos, porém como já foi citado antes, o CR produz diferentes radioisótopos que possuem diferentes energias e tempo de meio-vida, além da frequência de produção que está relacionada à contaminação das celas.

Esses fatores podem influenciar na dose do IOE durante as operações. As áreas onde são realizadas as operações são as alas-quentes - AQ e o subsolo de rejeito radioativo – SR. As celas de processamento de radiofármacos estão situadas nas áreas citadas anteriormente (FIG. 4.6), e recebem denominação de acordo com os radioisótopos produzidos. Os laboratórios de produção são áreas supervisionadas e neste local o risco radiológico (contaminação e irradiação) é relativamente mais baixo, por outro lado, a maioria das operações ocorre nas áreas controladas, como, as alas-quentes e o subsolo de rejeitos radioativos que recebem maiores cuidados sob ponto de vista da proteção radiológica.

FIGURA 4.6 - Organograma das áreas restritas do CR sabendo que em todas elas está uma face das celas de produção.

4.2.4 Variável Tipo de Tarefa

Além dos locais onde são feitas as operações, outro fator a ser considerado é o tipo de tarefa executada. Nessa pesquisa, as tarefas foram classificadas de acordo com suas principais características ou seja tarefas com cela aberta – CA, com cela fechada – CF; nas áreas ala-quente – AQ e no subsolo de rejeito – SR; nos sistema de exaustão da ala-quente – EAQ; no sistema de exaustão do subsolo de rejeito – ESR e finalmente as tarefas que envolvem a manipulação de rejeitos radioativos, denominado gerenciamento de rejeitos radioativos – GRR (FIG. 4.7). É uma variável independente, nominal.

FIGURA 4.7 - Organograma da classificação dos tipos de tarefas executados durante as operações em áreas restritas.

As tarefas em cela aberta – CA são basicamente as manutenções e as intervenções que ocorrem dentro das celas. Nas alas-quentes a porta blindada da cela fica aberta e quando possível e necessário, o IOE entra parcialmente ou totalmente dentro da cela. Nos laboratórios de produção as tarefas em CA ocorrem quando é necessário fazer manutenções e não tem como realizá-las pela abertura na face da ala-quente. Por exemplo, quando o IOE faz o conserto de mecanismos como as pinças mecânicas, é necessário retirá-las do encaixe nas celas e para isso é retirado uma blindagem que a envolve e não deixa a contaminação passar da cela para o laboratório. Portanto, operações como esta apresentam risco maior de contaminação e irradiação do IOE.

As tarefas em cela fechada- CF ocorrem nas alas-quentes e nos laboratórios de produção. São manutenções que envolvem tarefas na parte exterior das celas ou em equipamentos que se situam nas áreas, como, ar condicionado, portas automáticas, autoclaves, painéis de controle, medidores de radiação.

As tarefas nos sistemas de exaustão são executadas nas áreas controladas do CR e foram classificadas como EAQ – Exaustão da ala-quente e ESR – Exaustão do subsolo de rejeito radioativo. Estas receberam importância entre as tarefas, pois são executadas com certa periodicidade. Em geral, as doses nestas manutenções são baixas, contudo ainda existe o risco de irradiação com doses altas quando é feita a substituição de filtros muito contaminados.

As tarefas relacionadas ao gerenciamento de rejeitos radioativos são executadas no subsolo da instalação do CR. Estas são manutenções e intervenções que na maioria envolvem a manipulação de rejeitos sólidos. As principais intervenções ocorrem quando o encanamento por onde descem os rejeitos sólidos descartados das celas fica obstruindo a passagem, ou quando é feita a substituição de rejeito sólido, já descrita no capítulo 3. Ambas as tarefas são passíveis de ter doses baixas e altas, além do risco de contaminação externa.

4.2.5 Variável Duração de operação - OP

A variável Duração da OP representa o tempo gasto pelo IOE na realização das tarefas, nas operações em áreas restritas do CR. A dose recebida é diretamente proporcional ao tempo de exposição, e este pode ser um fator que contribua para o aumento da dose do IOE. A variável duração de OP é independente e ordinal.

A duração das operações pode variar de acordo com outros fatores relacionados às manutenções e intervenções, como, o número e a característica das operações, o risco radiológico, ao planejamento das tarefas quando é bem executado e o número de IOEs envolvidos. O tempo tem uma importância relativa quando relacionado à dose no operador. Alguns trabalhadores que executam tarefas em um mesmo tempo podem receber doses diferentes. Este fato pode estar diretamente relacionado à experiência dos mesmos nas atividades envolvidas, pois quando realizam as tarefas em equipe aquele que tem mais

experiência geralmente efetua as atividades com maior risco em menor tempo. Além disso, é importante também considerar a posição do IOE nos pontos em que a taxa de exposição do local pode estar mais alta.

4.2.6 Variável Dose

A variável Dose representa os valores de doses individuais dos IOEs, dose por operação e o valor da dose total para cada ano estudado. A análise foi baseada nos valores de limites de dose estabelecidos em normas e recomendações, além dos níveis de referência para monitoração laboral. Todas as outras variáveis citadas anteriormente foram relacionadas em função da variável dose para observar as respectivas contribuições para o aumento ou diminuição da dose ocupacional. A variável dose é classificada como quantitativa contínua.

Os dados das doses recebidas em operações de manutenção e intervenção nas áreas restritas do CR foram coletados dos registros de dose da Equipe de radioproteção do CR e da Gerência de radioproteção do IPEN.

As doses efetivas mensais e anuais foram medidas por meio de dosímetros termoluminescentes (TLD). As doses por tarefa foram medidas com um detector individual de leitura direta, durante as operações realizadas por cada IOE.

No presente estudo foram utilizadas para análise somente as doses por tarefas, pois representam as doses recebidas exclusivamente em operações em áreas restritas do CR. Estas doses foram classificadas por variável, de acordo com o raciocínio lógico do trabalho, para melhor análise e discussão dos resultados baseada no objetivo desta pesquisa.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os dados obtidos dos registros do programa de monitoramento do CR durante o período de 2005 a 2011. Os dados têm por objetivo apresentar a evolução histórica das atividades de manutenção e intervenção ocorridas no CR, salientando os aspectos operacionais como as empresas operadoras, o número de trabalhadores envolvidos, o tempo gasto nas operações, as características das operações, o tipo de tarefas executadas em cada uma das operações e a dose recebida pelos IOEs.

A partir dos dados da TAB. 5.1 foram consolidados os histogramas das FIG. 5.1 a 5.6 e 5.25 considerando as variáveis determinadas pela Pesquisa de Variáveis.

TABELA 5.1 - Representação dos dados de 2005 a 2011 por empresa.

ANO	EMP	HORAS OP	Nº IOE	Nº OP	PREV	CORR	INTV	REF	DOSE (mSv)
2005	FCR	206,9	17	80	25	48	7	1	10,23
	SAI	135,6	8	54	16	34	4	0	5,31
	SAE	67,8	15	23	18	4	1	0	0,47
2006	FCR	193,7	16	61	24	34	4	0	8,11
	SAI	283,2	18	71	10	58	3	1	29,79
	SAE	162,3	26	49	33	16	0	0	3,21
2007	FCR	256,6	16	53	9	40	2	2	3,33
	SAI	316,3	23	57	3	49	2	3	3,77
	SAE	100,5	22	29	20	8	0	1	0,34
2008	FCR	236,7	21	40	8	23	10	0	6,57
	SAI	256,1	14	35	4	29	2	1	1,91
	SAE	147,1	19	28	19	8	1	0	1,13
2009	FCR	125,2	19	35	1	15	19	0	9,14
	SAI	148,6	8	40	0	26	14	0	2,64
	SAE	467	39	62	26	25	12	0	2,53
2010	FCR	75,7	14	22	3	9	10	1	2,76
	SAI	189	17	56	9	31	15	1	4,8
	SAE	258,5	26	50	22	25	3	0	2,07
2011	FCR	76,9	15	30	1	9	20	1	4,58
	SAI	149,2	16	53	7	36	10	1	3,17
	SAE	197,8	21	42	26	10	3	1	1,07
TOTAL 7 anos		4050,7	390	970	284	537	142	14	106,93
TOTAL 5 anos		3001,2	290	632	158	343	123	12	49,81
Média 5 anos		600,2	58	126,4	31,6	68,6	24,6	2,4	9,962

Empresas: FCR – Funcionários do CR; SAI – Serviço de apoio interno; SAE – Serviço de apoio externo. Característica de operação (OP): PREV – Preventiva; CORR – Corretiva; INTV – Interventora; MONT – Montagem e/ou reforma de cela. Número de indivíduos ocupacionalmente expostos - Nº IOE, número de operações realizadas - Nº OP, horas de operação - HORAS OP, operação preventiva - PREV, operação corretiva - CORR, operação interventora - INTV, Reforma e/ou Montagem de cela - REF e Dose em mSv.

Baseado na análise de dose do período estudado as doses por operação são relativamente baixas (FIG. 5.1), sendo que a média de doses em operações nos últimos cinco anos, de 2007 a 2011, não excederam os limites de restrição de dose anual.

FIGURA 5.1 - Dose anual total das empresas FCR, SAI e SAE em operações em áreas restritas (supervisionadas e controladas) do CR no período de 2005 a 2011, consolidadas da TAB.1.

5.1 Resultados obtidos para a Variável IOE.

A seguir apresentam-se, os dados tabulados para os anos de 2005 a 2011 especificando os resultados de dados relacionados aos trabalhadores e a dose recebida em operações. Na FIG. 5.2 está representada a variável IOE (por empresa) em função da variável dose (mSv) por ano.

Os anos de 2005 e 2006 somados foram os anos que apresentaram a maior dose e o menor número de IOE. Por outro lado no período de 2008 a 2011, ocorreu o inverso, somados possuem a menor dose e o maior número de IOEs. Em 2007 a instalação passou por reformas importantes e teve no total sessenta e oito IOEs que realizaram operações, sendo a SAI a que teve mais participações (FIG. 5.2). Portanto, aconteceram as operações com característica de reforma/montagem – REF, que exigem um grande número de IOEs por operação; observa-se pelos dados obtidos que participaram no mínimo cinco pessoas.

A empresa FCR teve as maiores doses do período quando comparando às outras empresas, exceto em 2006, 2007 e em 2010 quando teve a segunda maior dose. O número de trabalhadores da FCR não teve grandes alterações, apresentando um aumento nos anos de 2008 e 2009, por causa da participação de IOEs nas reformas executadas nestes anos (FIG. 5.2). Comparando aos anos de 2005 e 2006 o número de IOEs foi inversamente

proporcional à dose recebida em operações. As doses foram menores com o aumento do número de IOEs que participaram em operações. Em 2010 e 2011 a FCR apresentou uma diminuição no número de IOEs e na dose recebida.

A empresa SAI teve a segunda maior dose do período estudado e nos anos de 2006, 2007 e 2010 foi a empresa com a maior dose do ano (FIG. 5.2). Em 2006 os IOEs da SAI que realizavam a maioria das operações na cela de ^{67}Ga que apresentava defeitos com frequência. Sendo assim, em 2007 foi efetuada uma importante reforma, já descrita no capítulo 1, e a participação de IOES da SAI foi a maior no período chegando a um total de vinte e três pessoas.

A empresa SAE apresentou os menores valores de dose do período estudado e o maior número de IOEs que participaram de operações, sendo o maior em 2009 com trinta e nove IOEs, esse aumento se deve a contratação de uma empresa terceirizada para atuar em período integral na instalação.

FIGURA 5.2 - Distribuição de dose (mSv) e número de IOE por empresa no período de 2005 a 2011. Empresas: FCR – Funcionários do CR; SAI – Serviço de apoio interno; SAE – Serviço de apoio externo.

A TAB. 5.2 apresenta dados dos trabalhadores individualmente. Foram destacados os IOEs dos três grupos de empresas estudadas que receberam valores de dose acima de 0,1 mSv, durante período estudado. O limite inferior definido um pouco abaixo do nível de registro recomendado. Além disso, as doses em operações são relativamente baixas. Assim é possível visualizar de forma mais detalhada, aspectos importantes relacionados à variável IOE.

Foram estudados no total trinta e três IOEs do grupo dos Funcionários do CR, destes, vinte e três apresentaram doses acima de 0,1mSv. A maior dose foi recebida pelo IOE 11 que realizou o maior número de operações. Mais de 50% das operações que o IOE 11 realizou foram nos anos de 2005 e 2006. Os dez IOEs que receberam as maiores doses também apresentaram a maior frequência de participações em manutenções e intervenções e assim como o IOE 11, realizaram a maioria das operações nos anos de 2005 e 2006. Observando o grupo pode-se afirmar que a relação entre a dose e o número de operações foi proporcional. Contudo, se for observado os dados por cada trabalhador, percebe-se que alguns IOEs efetuaram menos operações, mas apresentam as maiores doses. O IOE 12 recebeu a segunda maior dose, porém efetuou menos da metade do número de operações do IOE 11. Observando a média de dose por operação, o IOE 12 apresenta um valor de dose maior que o IOE 11.

TABELA 5.2 - Distribuição de dose e número de operações por IOE da empresa FCR.

FCR			DISTRIBUIÇÃO DE OP POR ANOS							
IOE	Dose (mSv)	Nº OP	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Dose/OP (mSv)
11	10,5	60	18	13	8	2	9	5	5	0,18
12	4,29	11	4	2	1	1	3	0	0	0,39
21	3,67	27	4	4	4	5	3	5	2	0,14
23	2,81	49	6	8	7	9	5	5	9	0,06
18	2,67	29	6	4	6	4	4	4	1	0,09
17	2,02	31	9	3	13	4	1	1	0	0,07
101	1,78	13	0	0	0	7	3	1	2	0,14
111	1,64	16	0	0	0	1	4	3	8	0,10
16	1,61	67	16	20	12	7	3	4	5	0,02
7	1,57	24	9	4	7	2	2	0	0	0,07
106	1,47	3	0	0	0	1	0	1	1	0,49
3	1,46	8	1	1	0	4	1	0	0	0,18
26	1,45	20	1	1	3	6	2	4	3	0,07
84	0,8	3	0	0	3	0	0	0	0	0,27
89	0,73	6	0	0	1	4	1	0	0	0,12
30	0,64	5	1	0	1	1	1	0	1	0,13
31	0,45	10	2	2	0	2	1	3	0	0,05
149	0,35	2	0	0	0	0	0	0	2	0,18
103	0,32	6	0	0	0	1	1	3	1	0,05
28	0,28	1	1	0	0	0	0	0	0	0,28
85	0,18	1	0	0	1	0	0	0	0	0,18
67	0,15	1	0	1	0	0	0	0	0	0,15
150	0,1	1	0	0	0	0	0	0	1	0,10

Apresentação dos dados por IOE da empresa FCR e suas respectivas doses recebidas em operações, no período de 2005 a 2011. Além das doses, o número de operações realizadas também foi organizado. FCR – Funcionários do CR. OP- Operações.

A TAB. 5.3 apresenta dados dos trabalhadores individualmente. Assim é possível visualizar de forma mais detalhada, aspectos importantes relacionados à variável IOE do grupo da SAI. Foi estudado um total de trinta IOEs do grupo da SAI. Deste total onze trabalhadores receberam doses acima de 0,1mSv. O IOE 10 executou mais de cem operações e recebeu a maior dose do grupo. Contudo, o IOE 24 que recebeu quase a metade do valor da dose do IOE10 apresentou uma

média de dose por operação três vezes maior. Isso porque, o IOE 24 realizou um número de operações bem menor. Portanto, ele recebeu uma dose maior relativamente. O mesmo fato ocorreu para o IOE 56 que apresentou o maior valor de dose por operação deste grupo.

TABELA 5.3. Distribuição de dose e número de operações por IOE da empresa SAI.

SAI			DISTRIBUIÇÃO DE OP POR ANOS							
IOE	Dose (mSv)	Nº OP	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Dose/OP (mSv)
10	14,15	159	34	40	19	13	17	20	16	0,09
6	6,59	135	23	30	15	13	18	18	18	0,05
24	6,13	29	2	2	9	11	0	1	4	0,21
5	5,85	99	13	26	17	7	12	13	11	0,06
1	5,6	68	30	7	7	3	13	4	4	0,08
56	5,45	20	0	4	4	7	0	3	2	0,27
29	4,78	20	1	4	5	8	0	0	2	0,24
49	4,11	21	0	7	4	9	0	0	1	0,20
27	1,39	10	1	2	4	0	2	1	0	0,14
63	0,2	7	0	1	2	3	0	0	1	0,03
74	0,16	1	0	1	0	0	0	0	0	0,16

Apresentação dos dados por IOE da empresa SAI e suas respectivas doses recebidas em operações, no período de 2005 a 2011. Além das doses, o número de operações realizadas também foi organizado. SAI – Serviço de Apoio Interno. OP- Operações.

A TAB. 5.4 apresenta dados dos trabalhadores individualmente. Assim é possível visualizar de forma mais detalhada, aspectos importantes relacionados à variável IOE do grupo da SAE. Foram avaliados no total os dados de noventa e cinco IOEs que trabalharam periodicamente ou atuaram como residentes na instalação. Destes, aproximadamente 10% estavam no grupo que recebeu as maiores doses. O IOE 47 recebeu a maior dose por operação apesar de ter apresentado a segunda maior dose acumulada. O IOE realizou um número pequeno de operações e recebeu uma dose relativamente alta comparada ao IOE 37.

TABELA 5.4 - Distribuição de dose e número de operações por IOE da empresa SAE.

SAE			DISTRIBUIÇÃO DE OP POR ANOS							
IOE	Dose (mSv)	Nº OP	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Dose/OP (mSv)
37	1,64	39	1	0	0	4	10	24	0	0,04
47	1,47	3	0	2	0	0	0	1	0	0,49
53	1,29	6	0	6	0	0	0	0	0	0,22
117	0,96	39	0	0	0	0	23	2	14	0,02
102	0,95	29	0	0	0	1	6	13	9	0,03
78	0,71	9	0	0	5	4	0	0	0	0,08
19	0,56	27	5	8	5	5	0	2	2	0,02
2	0,49	6	3	1	1	0	0	1	0	0,08
118	0,48	4	0	0	0	0	1	3	0	0,12
128	0,44	35	0	0	0	0	14	6	15	0,01
81	0,24	6	0	0	2	0	4	0	0	0,04
127	0,15	10	0	0	0	0	6	4	0	0,02
61	0,14	2	0	2	0	0	0	0	0	0,07
52	0,12	7	0	5	2	0	0	0	0	0,02
120	0,11	11	0	0	0	0	5	6	0	0,01

Apresentação dos dados por IOE da empresa SAE e suas respectivas doses recebidas em operações, no período de 2005 a 2011. Além das doses, o número de operações realizadas também foi organizado. SAE – Serviço de Apoio Externo. OP- Operações.

A variável IOE apresentou resultados relevantes. Todavia, fazendo uma comparação do número de IOEs com o número de operações, os respectivos valores de dose podem ser relativos. Portanto, para uma análise mais aprofundada sobre as operações serão apresentados os resultados para variável operação – OP.

5.2 Resultados obtidos para a variável Operação – OP

A seguir, são apresentados os dados tabulados para os anos de 2005 a 2011 especificando os resultados relacionados às operações e as dose recebidas. A FIG. 5.3 representa a variável Operação – OP, comparando o número de operações e a dose recebida pelo trabalhador nestas operações. Assim, é possível observar se a quantidade de operações é diretamente proporcional ao aumento ou diminuição da dose.

O ano de 2006 é o único do período que apresentou uma relação diretamente proporcional entre número de operações e dose recebida, mais especificamente para empresa SAI que realizou setenta e uma operações e recebeu uma dose relativamente alta. Os outros anos do período apresentaram que a relação número de operação e dose não é diretamente proporcional. A empresa SAE apresentou nos anos de 2009, 2010 e 2011 um número relativamente grande de operações, porém com as menores doses entre as empresas. Por isso, pode se afirmar baseando-se nos dados apresentados na FIG. 5.3 que quantidade de operações não é um fator determinante para o aumento ou diminuição da dose. Contudo, foi feita a classificação das operações por característica para observar relações com a dose de forma mais específica.

A empresa FCR é a empresa que apresenta o menor número de IOEs (FIG. 5.2) sendo que em 2008 atingiu o máximo de 21 IOEs. Todavia, a FCR é a empresa com a segunda maior participação em operações em todo período estudado, FIG. 5.3.

FIGURA 5.3 - Distribuição da dose em operações por número de operações por empresa no período de 2005 a 2011. Empresas: FCR – Funcionários do CR; SAI – Serviço de apoio interno; SAE – Serviço de apoio externo.

As FIG. 5.4, 5.5 e 5.6 também representam a variável operação- OP apresentando os dados de uma forma mais detalhada. As operações de manutenção e intervenção estão classificadas por característica operacional, como, preventivas, corretivas e interventoras.

A FIG. 5.4 mostra a empresa SAE que efetuou o maior número de operações preventivas no período de 2006 a 2011. Particularmente em 2006 o número de operações preventivas efetuadas pela SAE apresentou um valor máximo, resultante de reformas de melhoria na instalação do CR. O segundo maior número de operações preventivas é apresentado para empresa FCR.

Nas FIG. 5.5 e 5.6 pode - se observar que as empresas SAE apresenta um número de operações corretivas e interventoras muito menor comparado aos outros grupos. Por outro lado, a empresa SAI realizou ao longo do período de 2005 a 2011 o maior número de operações corretivas, conforme apresentado nas FIG. 5.5. A FIG. 5.6 destaca que a empresa FCR realizou um maior número de operações interventoras em comparação com os outros grupos. Esse fato pode ser determinante para a dose no trabalhador.

FIGURA 5.4 - Número de operações por empresa classificadas por característica no período de 2005 a 2011. Característica de operação (OP): PREV – Preventiva. Empresas: FCR – Funcionários do CR; SAI – Serviço de apoio interno; SAE – Serviço de apoio externo.

FIGURA 5.5 - Número de operações por empresa classificadas por característica no período de 2005 a 2011. Característica de operação (OP): CORR- Corretiva. Empresas: FCR – Funcionários do CR; SAI – Serviço de apoio interno; SAE – Serviço de apoio externo.

FIGURA 5.6 - Número de operações por empresa classificadas por característica no período de 2005 a 2011. Característica de operação (OP): INTV- Interventora. Empresas: FCR – Funcionários do CR; SAI – Serviço de apoio interno; SAE – Serviço de apoio externo.

As TAB. 5.5, 5.6 e 5.7 apresenta dados organizados por número de operações, característica das operações, os locais onde foram realizadas e as respectivas doses. Os dados também foram apresentados por IOE e ano.

Foram destacados as operações em que os IOES receberam valores de dose acima de 0,1 mSv durante período estudado. Assim é possível visualizar de forma mais detalhada, aspectos importantes relacionados à variável operação - OP.

Analisando os dados da TAB. 5.5 do grupo da FCR pode se observar que as doses foram recebidas principalmente nas operações corretivas e interventoras, sendo doze interventoras, nove corretivas e apenas uma preventiva para os anos de 2005 a 2011 exceto 2010. A “crise da medicina nuclear” começou no segundo semestre de 2009 e terminou no segundo semestre de 2010, e nesse ano o volume de produção de ^{99}Mo ficou reduzido e como consequência ocorreram poucas intervenções da FCR (FIG. 5.6) e a maioria das doses permanecendo abaixo de 1,0 mSv. A TAB. 5.5 mostra que apenas a OP 73 apresentou um valor de dose acima do nível de investigação para um mês e um total de onze OP apresentaram valores acima do nível de registro de 0,2 mSv.

TABELA 5.5 - Dados classificados por operação para empresa FCR.

EMPRESA - FCR					
OP	CAR	ÁREA/CELA	IOE	DOSE (mSv)	ANO
73	INTV	I-131	106	1,15	2011
92	CORR	I-131	12	0,83	2006
59	CORR	I-131	84	0,8	2007
46	INTV	Mo-99	3	0,72	2008
21	INTV	Mo-99	21	0,45	2009
98	INTV	Mo-99	30	0,39	2009
39	INTV	Ga-67	17	0,36	2005
49	INTV	Mo-99	89	0,36	2008
39	INTV	Ga-67	16	0,3	2005
76	CORR	Ga-67	28	0,28	2005
45	INTV	Mo-99	149	0,28	2011
46	INTV	Mo-99	101	0,27	2008
41	CORR	I-131	3	0,2	2006
53	CORR	Ga-67	7	0,2	2005
9	CORR	Ga-67	11	0,2	2005
59	CORR	I-131	85	0,18	2007
111	INTV	I-131	67	0,15	2006
134	CORR	SR	26	0,12	2006
87	CORR	I-131	111	0,12	2008
83	PREV	Ga-67	18	0,11	2005
54	INTV	Mo-99	103	0,11	2008
45	INTV	SR	23	0,1	2009

Os dados estão apresentados individualmente por IOE, que consistem em número de operações realizadas; a característica da operação; o local onde foram executadas; a soma da dose recebida nas operações e o ano. Empresa: FCR – Funcionários do CR. Característica de operações – CAR; PREV – Preventiva; CORR – Corretiva; INTV – Interventora; MONT – Montagem e Reforma.

Analisando os dados da TAB. 5.6 da empresa SAI os IOEs que receberam as maiores doses por ano, efetuaram mais operações corretivas. Comparando com o grupo da FCR os valores de dose são mais altos para SAI (TAB. 5.5). O ano de 2006 foi o mais crítico para esta empresa SAI, quando apresentou as maiores doses. Os IOEs 24, 29, 49 e 56 receberam dose de 4 mSv na operação 47, este valor está acima do nível de investigação para um mês.

Estes IOEs efetuaram a mesma operação e característica de operação, no mesmo local (cela de ^{131}I), então pode se afirmar que estes trabalhadores executavam tarefas parecidas durante as manutenções.

TABELA 5.6 - Dados classificados por operação para empresa SAI.

EMPRESA - SAI					
OP	CAR	ÁREA/CELA	IOE	DOSE (mSv)	ANO
47	CORR	I-131	24	4	2006
47	CORR	I-131	29	4	2006
47	CORR	I-131	49	4	2006
47	CORR	I-131	56	4	2006
1	CORR	Ga-67	6	1,3	2006
25	CORR	I-131	27	0,97	2006
134	CORR	Mo-99	5	0,33	2006
60	CORR	Ga-67	1	0,26	2009
92	INTV	I-131	63	0,2	2007
16	CORR	Mo-99	10	0,16	2006
133	CORR	Ga-67	74	0,16	2006

Os dados estão apresentados individualmente por IOE, que consistem em número de operações realizadas; a característica da operação; o local onde foram executadas; a soma da dose recebida nas operações e o ano. Empresa: SAI – Serviço de apoio interno. Característica de operações – CAR; PREV – Preventiva; CORR – Corretiva; INTV – Interventora; MONT – Montagem e Reforma.

Analisando os dados da TAB. 5.7 da empresa SAE, as maiores doses foram recebidas em operações corretivas e interventoras. Ainda comparando às outras empresas, a SAE foi que recebeu as menores doses.

TABELA 5.7 - Dados classificados por operação para empresa SAE.

EMPRESA - SAE					
OP	CAR	ÁREA/CELA	IOE	DOSE (mSv)	ANO
25	CORR	I-131	47	1,46	2006
38	CORR	SR	53	1,29	2006
17	CORR	Mo-99	118	0,43	2009
116	CORR	Lu-177	117	0,25	2009
51	PREV	TI-201	102	0,21	2008
39	INTV	Ga-67	19	0,18	2005
29	CORR	Mo-99	81	0,18	2009
26	PREV	F-18	78	0,15	2007
64	CORR	I-131	37	0,13	2009
79	CORR	I-131	61	0,12	2006
41	CORR	I-131	2	0,1	2006
37	CORR	TI-201	52	0,1	2006
74	INTV	Lu-177	128	0,1	2009

Os dados estão apresentados individualmente por IOE, que consistem em número de operações realizadas; a característica da operação; o local onde foram executadas; a soma da dose recebida nas operações e o ano. Empresa: SAE – Serviço de apoio externo. Característica de operações – CAR; PREV – Preventiva; CORR – Corretiva; INTV – Interventora; MONT – Montagem e Reforma.

Baseado na análise de dados para variável operação pode-se afirmar que o número de operações executadas pelos IOEs não foi determinante para o aumento da dose do trabalhador, mas quando associado à característica da operação pode-se observar uma relação diretamente proporcional ao aumento ou diminuição da dose por IOE e por empresa. As empresas que efetuaram um maior número de operações corretivas e interventoras, a FCR e a SAI, apresentaram os maiores valores de dose (FIG.5.3,5.5 e 5.6). Por outro lado, a SAE que efetuou o maior número de operações preventivas apresentou as menores doses recebidas (FIG. 5.3 e 5.4). Além disso, o local também foi significativo para a dose, pois os três grupos das empresas estudadas apresentaram as maiores doses por ano para as celas de ^{131}I , ^{99}Mo e ^{67}Ga (TAB. 5.5, 5.6 e 5.7). Por isso, a próxima variável a ter os resultados apresentados e detalhados é a Área/Cela que representa as áreas restritas do CR.

5.3 Resultados obtidos para a variável Área/Cela

A seguir, são apresentados os dados tabulados para os anos de 2005 a 2011 especificando os resultados de dados relacionados às operações. As manutenções e intervenções foram classificadas de acordo com os locais onde foram realizadas, as áreas restritas e as celas de produção. Para obtenção de uma análise mais completa, os dados das operações foram classificados por locais e por características preventiva, corretiva e interventora. Além disso, foi feita uma distribuição por anos e por empresas, FCR – Funcionários do CR, SAI – Serviço de Apoio Interno e SAE- Serviço de Apoio Externo. As FIG. 5.7 a 5.15 representam os resultados para a variável Área/Cela, apresentando o número de operações com característica preventiva, corretiva e interventora que cada empresa realizou.

As FIG. 5.7, 5.8 e 5.9 mostram que a grande parte das operações preventivas foi realizada nas áreas das alas-quentes – AQ e nas celas de produção de ^{18}F , ^{67}Ga , ^{201}Tl e ^{181}I . Por outro lado, na área do subsolo de rejeitos – SR, nas celas de ^{153}Sm , ^{177}Lu , ^{123}I e ^{99}Mo foi realizada uma quantidade de operações preventivas bem menor comparado aos outros locais citados anteriormente.

FIGURA 5.7 - Número de operações por áreas restritas e celas de produção de radiofármacos, distribuídas por anos. Operações preventivas realizadas pela empresa FCR- Funcionários do CR no período de 2005 a 2011. Áreas restritas - AQ – Alas-quentes, SR – Subsolo de rejeitos radioativos. Celas de produção – Flúor-18, Samário-153, Tório-203, Gálio 67, Iodo-131, Iodo-123, Molibdênio-99 e Lutécio-177.

A FIG. 5.7 mostra que a empresa FCR efetuou o maior número de manutenções preventivas nos anos de 2005 a 2008 principalmente nas alas-quentes e nas celas de ^{201}Ti , ^{67}Ga e ^{131}I . A partir de 2009 ocorreu uma diminuição da frequência de manutenções preventivas para a FCR, esse fato se deve a contratação de uma empresa terceirizada residente (SAE) que passou a realizar a maioria destas operações na instalação do CR.

FIGURA 5.8 - Número de operações por áreas restritas e celas de produção de radiofármacos, distribuídas por anos. Operações preventivas realizadas pela empresa SAI – Serviço de Apoio Interno no período de 2005 a 2011. Áreas restritas - AQ – Alas-quentes, SR – Subsolo de rejeitos radioativos. Celas de produção – Flúor-18, Samário-153, Tálcio-203, Gálio 67, Iodo-131, Iodo-123, Molibdênio-99 e Lutécio-177.

A FIG. 5.8 apresenta o número de operações preventivas realizadas pela empresa SAI distribuído pelos locais nas áreas restritas. O grupo da SAI participou de varias reformas preventivas no sistema de exaustão das celas de produção de ^{131}I e ^{99}Mo em 2008 e nas áreas das alas-quentes e do subsolo de rejeitos radioativos em 2010 e 2011.

FIGURA 5.9 - Número de operações por áreas restritas e celas de produção de radiofármacos, distribuídas por anos. Operações preventivas realizadas pela empresa SAE – Serviço de Apoio Externo no período de 2005 a 2011. Áreas restritas - AQ – Alas-quentes, SR – Subsolo de rejeitos radioativos. Celas de produção – Flúor-18, Samário-153, Tálcio-203, Gálio 67, Iodo-131, Iodo-123, Molibdênio-99 e Lutécio-177.

A FIG. 5.9 mostra que a empresa SAE efetuou manutenções preventivas apenas em determinados locais durante todo período estudado que são as áreas das alas-quentes e subsolo de rejeito radioativo e as celas de ^{18}F , ^{201}Tl , ^{67}Ga e ^{131}I , sendo assim, é possível afirmar que a grande parte das operações preventivas foi efetuada nestes locais.

As FIG. 5.10, 5.11 e 5.12 representam os resultados para variável Área/Cela, apresentando o número de operações com característica corretiva que cada empresa realizou. É possível observar que a maioria das manutenções corretivas é executada nas áreas das alas-quentes – AQ e do subsolo de rejeitos radioativos – SR e nas celas de processamento de ^{67}Ga , ^{131}I e ^{99}Mo .

FIGURA 5.10 - Número de operações por áreas restritas e celas de produção de radiofármacos, distribuídas por anos. Operações corretivas realizadas pela empresa FCR- Funcionários do CR no período de 2005 a 2011. Áreas restritas - AQ – Alas-quentes, SR – Subsolo de rejeitos radioativos. Celas de produção – Flúor-18, Samário-153, Tálcio-203, Gálio 67, Iodo-131, Iodo-123, Molibdênio-99 e Lutécio-177.

FIGURA 5.11 - Número de operações por áreas restritas e celas de produção de radiofármacos, distribuídas por anos. Operações corretivas realizadas pela empresa SAI – Serviço de Apoio Interno no período de 2005 a 2011. Áreas restritas - AQ – Alas-quentes, SR – Subsolo de rejeitos radioativos. Celas de produção – Flúor-18, Samário-153, Tálcio-203, Gálio 67, Iodo-131, Iodo-123, Molibdênio-99 e Lutécio-177.

FIGURA 5.12 - Número de operações por áreas restritas e células de produção de radiofármacos, distribuídas por anos. Operações corretivas realizadas pela empresa SAE – Serviço de Apoio Externo no período de 2005 a 2011. Áreas restritas - AQ – Alas-quentes, SR – Subsolo de rejeitos radioativos. Células de produção – Flúor-18, Samário-153, Tório-203, Gálio 67, Iodo-131, Iodo-123, Molibdênio-99 e Lúteo-177.

As FIG. 5.13, 5.14 e 5.15 representam os resultados para variável Área/Cela, apresentando o número de operações com característica interventora que cada empresa realizou. É possível observar que a maioria das intervenções é executada principalmente nas células de ^{99}Mo e ^{131}I e este resultado está diretamente relacionado à frequência de produção, pois, são os radioisótopos com o maior volume produção do CR (FIG. 3.10 e 3.11). Em virtude deste fato, o desgaste das peças e mecanismos das células de processamento destes radioisótopos é mais frequente. A célula de ^{67}Ga também apresenta um número relativamente grande de operações corretivas e interventoras, contudo, a frequência destas operações foi diminuindo a partir de 2007, quando foram realizadas reformas de melhorias nesta célula. Além disso, é importante considerar também que a célula de ^{67}Ga apresenta um número maior de operações preventivas se comparado ao das células de ^{99}Mo e ^{131}I , então analisando de forma comparativa as FIG. 5.7 a 5.15 observa-se que os locais onde se executaram o maior número de operações preventivas apresentaram um número menor de manutenções corretivas e intervenções.

O subsolo de rejeitos radioativos – SR é a área na qual se realiza mais operações interventoras, pois neste local ocorrem as atividades relacionadas ao gerenciamento de rejeitos radioativos que são classificadas como intervenções.

FIGURA 5.13 - Número de operações por áreas restritas e celas de produção de radiofármacos, distribuídas por anos. Operações interventoras realizadas pela empresa FCR- Funcionários do CR no período de 2005 a 2011. Áreas restritas - AQ – Alas-quentes, SR – Subsolo de rejeitos radioativos. Celas de produção – Flúor-18, Samário-153, Tálcio-203, Gálio 67, Iodo-131, Iodo-123, Molibdênio-99 e Lutécio-177.

FIGURA 5.14 - Número de operações por áreas restritas e celas de produção de radiofármacos, distribuídas por anos. Operações interventoras realizadas pela empresa SAI – Serviço de Apoio Interno no período de 2005 a 2011. Áreas restritas - AQ – Alas-quentes, SR – Subsolo de rejeitos radioativos. Celas de produção – Flúor-18, Samário-153, Tálzio-203, Gálio 67, Iodo-131, Iodo-123, Molibdênio-99 e Lutécio-177.

FIGURA 5.15 - Número de operações por áreas restritas e celas de produção de radiofármacos, distribuídas por anos. Operações interventoras realizadas pela empresa SAE – Serviço de Apoio Externo no período de 2005 a 2011. Áreas restritas - AQ – Alas-quentes, SR – Subsolo de rejeitos radioativos. Celas de produção – Flúor-18, Samário-153, Tálzio-203, Gálio 67, Iodo-131, Iodo-123, Molibdênio-99 e Lutécio-177.

A FIG. 5.16 apresenta a distribuição dos valores de dose em operações, nos locais estudados. As áreas e celas onde foi realizada a maioria das operações corretivas e interventoras apresentaram os maiores valores de doses recebidas que são a área do subsolo de rejeitos radioativos – SR e as celas de ^{67}Ga , ^{131}I e ^{99}Mo . Por outro lado, os locais onde foi realizado um maior número de operações preventivas que são a área das alas-quentes, celas de ^{18}F , ^{153}Sm , ^{201}Tl e ^{123}I apresentaram os menores valores de doses em operações (TAB. 5.5, 5.6 e 5.7). Baseado nestes resultados é possível afirmar que as operações preventivas podem contribuir para diminuição da frequência de operações corretivas e interventoras, e consequentemente da dose do trabalhador. Apesar disso, existe um fato importante que influencia no planejamento das operações preventivas realizadas nas celas que é a frequência de produção. Como já foi descrito no capítulo 3, o ^{99}Mo e do ^{131}I apresentaram o maior volume de produção de atividade em Bq (FIG. 3.10 e 3.11) com frequência semanal, além disso, considera-se também o tempo de meia-vida física de cada um, aproximadamente sessenta e seis horas e oito dias, respectivamente, sendo assim são as celas mais contaminadas ou “quentes”. Portanto, para realização de operações preventivas nas celas de Molibdênio-99 e Iodo-131 seria necessário interromper o processamento até diminuir o nível da contaminação nestas celas e assim efetuar a manutenção.

FIGURA 5.16 - Dose do IOE por operação distribuída por áreas restritas e celas de produção de radiofármacos, distribuídas por anos, no período de 2005 a 2011. Áreas restritas - AQ – Alasquentes, SR – Subsolo de rejeitos radioativos. Celas de produção – Flúor-18, Samário-153, Tório-203, Gálio 67, Iodo-131, Iodo-123, Molibdênio-99 e Lutécio-177.

As variáveis Operação e Área/Cela são variáveis que influenciam no aumento da dose recebida em operações. Contudo, além do local e da característica da operação, as tarefas realizadas durante as manutenções e intervenções é outra variável relevante para a dose no IOE, pois diferentes tarefas em um mesmo local podem apresentar diferentes valores de doses. A variável que será vista a seguir representa as tarefas executadas nas operações em áreas restritas do CR.

5.4 Resultados obtidos para a variável Tipo de Tarefa

A seguir, são apresentados os dados tabulados e organizados de acordo com o tipo de tarefas que são realizadas durante as operações de manutenção e intervenção. As tarefas podem ser executadas com cela aberta – CA; com cela fechada – CF; nas áreas ala-quente – AQ e no subsolo de rejeito – SR; nos sistema de exaustão da ala-quente – EAQ e no sistema de exaustão do subsolo de rejeito – ESR. Além disso, existem as tarefas relacionadas à manipulação de rejeitos radioativos e, portanto, ao gerenciamento de rejeitos radioativos – GRR. Foi feita uma distribuição por empresas, FCR – Funcionários do CR, SAI – Serviço de Apoio Interno e SAE- Serviço de Apoio Externo. A FIG. 5.17 apresenta o número de operações por tipo de tarefa organizado por empresas e distribuído por locais, nesta relação é possível observar que a empresa FCR apresentou as maiores concentrações em operações com cela aberta efetuadas nas celas de ^{131}I , ^{67}Ga e Molibdênio-99. Além disso, a FCR também executou a maioria das operações relacionadas ao GRR no subsolo de rejeitos radioativos e nas celas de ^{99}Mo e ^{131}I . Por outro lado, o grupo da SAE apresentou as maiores concentrações nas operações com cela fechada nas alas-quentes e com cela aberta nas celas de ^{18}F e ^{201}Tl . As operações efetuadas pela SAI estão mais bem distribuídas por locais para todas as tarefas, todavia, as maiores concentrações estão nas celas de ^{99}Mo e ^{67}Ga (FIG.5.17).

FIGURA 5.17 - Número de operações por tipo de tarefa efetuada, distribuídas por locais e empresas. Tarefas: cela aberta – CA, com cela fechada – CF; nas áreas ala-quente – AQ e no subsolo de rejeito – SR; nos sistema de exaustão da ala-quente – EAQ e no sistema de exaustão do subsolo de rejeito – ESR; tarefas que envolvem o gerenciamento de rejeitos radioativos – GRR. EMP- Empresas: FCR – Funcionários do CR; SAI – Serviço de apoio interno; SAE – Serviço de apoio externo.

A FIG. 5.18 apresenta o número de operações por tipo de tarefa, distribuídas por áreas e celas classificadas por característica preventiva, corretiva e interventora. É possível observar que as tarefas com cela aberta e relacionadas ao GRR realizadas durante as operações corretivas e interventoras foram executadas em maioria nas celas de Molibdênio-99 e no subsolo de rejeitos radioativos. Por outro lado, as tarefas com cela aberta e cela fechada efetuadas durante as operações preventivas foram executadas na maioria das vezes nas celas de ^{131}I , ^{18}F , ^{67}Ga e ^{201}Ti . A maioria das tarefas executadas no sistema de exaustão do subsolo de rejeitos radioativos e das alas-quentes foram realizadas durante operações preventivas.

Os dados das FIG 5.17, 5.18, 5.26, 5.27 e 5.28 foram plotados com software Jitter ferramenta utilizada para melhor representar visualmente variáveis qualitativas de forma que é possível ver pontos que ficariam sobrepostos em um histograma comum.

FIGURA 5.18 - Número de operações por tipo de tarefa efetuada, distribuídas por áreas e celas classificadas por característica, no período de 2005 a 2011. Tarefas: cela aberta – CA, com cela fechada – CF; nas áreas ala-quente – AQ e no subsolo de rejeito – SR; nos sistema de exaustão da ala-quente – EAQ e no sistema de exaustão do subsolo de rejeito – ESR; tarefas que envolvem o gerenciamento de rejeitos radioativos – GRR. Característica de operações – CAR; PREV – Preventiva; CORR – Corretiva; INTV – Interventora; MONT – Montagem e Reforma.

A FIG. 5.19 apresenta o número de operações por tipo de tarefa para empresa FCR. É possível observar que as tarefas mais efetuadas em todos os anos foram relacionadas aos rejeitos radioativos, seguida por tarefas com cela aberta. Nos anos de 2009, 2010 e 2011 o grupo da FCR praticamente executou apenas operações com CA e GRR, isso porque a partir de 2009 a maioria das tarefas com CF, EAQ e ESR foram realizadas pela empresa SAE (residente) e pela empresa SAI.

A FIG. 5.20 mostra os valores das doses recebidas em operações por tipo de tarefa e anos para o grupo da FCR. As maiores doses para todos os anos, destacando 2005, 2006 e 2009 foram recebidas em tarefas CA seguida de GRR.

FIGURA 5.19 - Número de operações por tipo de tarefa efetuada, distribuídas por anos, realizadas pela empresa FCR – Funcionários do CR, no período de 2005 a 2011. Tarefas: cela aberta – CA, com cela fechada – CF; nas áreas ala-quente – AQ e no subsolo de rejeito – SR; nos sistema de exaustão da ala-quente – EAQ e no sistema de exaustão do subsolo de rejeito – ESR; tarefas que envolvem o gerenciamento de rejeitos radioativos – GRR.

FIGURA 5.20 - Distribuição da dose por operações por tipo de tarefa efetuada, por anos, realizadas pela empresa FCR – Funcionários do CR, no período de 2005 a 2011. Tarefas: cela aberta – CA, com cela fechada – CF; nas áreas ala-quente – AQ e no subsolo de rejeito – SR; nos sistema de exaustão da ala-quente – EAQ e no sistema de exaustão do subsolo de rejeito – ESR; tarefas que envolvem o gerenciamento de rejeitos radioativos – GRR.

A FIG. 5.21 apresenta o número de operações por tipo de tarefa em todo período para empresa SAI. Este grupo, assim como o FCR, efetuaram em sua maioria, as tarefas com CA e de GRR. Contudo, além destas tarefas a SAI também apresenta um número considerável de tarefas em cela fechadas – CF e nos sistema de exaustão das alas-quentes e do subsolo de rejeitos EAQ e ESR. Nos anos de 2010 e 2011 a SAI foi o grupo que mais realizou operações de sistemas de exaustão.

A FIG. 5.22 mostra os valores das doses recebidas em operações por tipo de tarefa e anos para o grupo da SAI. Assim como para FCR, as maiores doses recebidas foram em tarefas com CA e GRR. Porém, apresentaram doses menores que FCR. A SAI recebeu uma dose relativamente grande em 2006 em tarefas com CA e os valores abaixaram consideravelmente nos anos seguintes.

FIGURA 5.21 - Número de operações por tipo de tarefa efetuada, distribuídas por anos, realizadas pela empresa SAI- Serviço de Apoio Interno, no período de 2005 a 2011. Tarefas: cela aberta – CA, com cela fechada – CF; nas áreas ala-quente – AQ e no subsolo de rejeito – SR; nos sistema de exaustão da ala-quente – EAQ e no sistema de exaustão do subsolo de rejeito – ESR; tarefas que envolvem o gerenciamento de rejeitos radioativos – GRR.

FIGURA 5.22 - Distribuição da dose por operações por tipo de tarefa efetuada, por anos, realizadas pela SAI – Serviço de Apoio Interno, no período de 2005 a 2011. Tarefas: cela aberta – CA, com cela fechada – CF; nas áreas ala-quente – AQ e no subsolo de rejeito – SR; nos sistema de exaustão da ala-quente – EAQ e no sistema de exaustão do subsolo de rejeito – ESR; tarefas que envolvem o gerenciamento de rejeitos radioativos – GRR.

A FIG. 5.23 apresenta o número de operações por tipo de tarefa em todo período para empresa SAE. Este grupo assim como o FCR e SAI, efetuam em maioria, as tarefas com CA e de GRR. O grupo da SAE realizou também um número significativo de operações com CF e no sistema de exaustão do subsolo de rejeito - ESR.

A FIG. 5.24 mostra os valores das doses recebidas em operações por tipo de tarefa e anos para o grupo da SAE. Assim como nos outros grupos, a SAE apresenta as maiores doses para tarefas com CA para os anos de 2006 e GRR, para os anos de 2009 e 2010. Apesar disso, as doses da SAE foram baixas comparadas as doses dos outras empresas.

FIGURA 5.23 - Número de operações por tipo de tarefa efetuada, distribuídas por anos, realizadas pela empresa SAE- Serviço de Apoio Externo, no período de 2005 a 2011. Tarefas: cela aberta – CA, com cela fechada – CF; nas áreas ala-quente – AQ e no subsolo de rejeito – SR; nos sistema de exaustão da ala-quente – EAQ e no sistema de exaustão do subsolo de rejeito – ESR; tarefas que envolvem o gerenciamento de rejeitos radioativos – GRR.

FIGURA 5.24 - Distribuição da dose por operações por tipo de tarefa efetuada, por anos, realizadas pela SAE – Serviço de Apoio Externo, no período de 2005 a 2011. Tarefas: cela aberta – CA, com cela fechada – CF; nas áreas ala-quente – AQ e no subsolo de rejeito – SR; nos sistema de exaustão da ala-quente – EAQ e no sistema de exaustão do subsolo de rejeito – ESR; tarefas que envolvem o gerenciamento de rejeitos radioativos – GRR.

A distribuição das doses por tipo de tarefa evidência dois fatores importantes que são as tarefas em CA e no GRR que apresentam as maiores doses e estão relacionados às características das operações. As empresas FCR e a SAI apresentam as maiores doses, pois, realizam a maioria das operações corretivas e interventoras (FIG. 5.18).

As FIG. 5.19, 5.21 e 5.23 mostram que as tarefas em CA e as tarefas relacionadas ao GRR apresentaram os maiores números para todas as empresas, em todos os anos do período estudado. Isso porque, a maioria da ocorrência de problemas nas áreas restritas do CR acontece em mecanismos internos às celas de produção e nos encanamentos por onde são descartados os rejeitos sólidos. Além disso, é realizada com frequência mensal, a “substituição de rejeitos sólidos”, classificada como operação de intervenção, já descrita no capítulo 3.

Além das tarefas, o local onde são realizadas, a característica da operação e o tempo que o IOE leva para executá-las, podem influenciar na dose recebida. Os resultados dos dados da próxima variável Duração de operação - OP a serem apresentados podem completar essa análise.

5.5 Resultados obtidos para a variável Duração de Operação – OP

A seguir, os dados tabulados para os anos de 2005 a 2011 especificando os resultados relacionados ao tempo de duração das operações. Os dados foram organizados por empresas, os FCR – Funcionários do CR, o SAI – Serviço de Apoio Interno e o SAE- Serviço de Apoio Externo. Além disso, foi feita uma comparação com o número de operações – OP, característica de operação e com a dose.

A FIG. 5.25 mostra que relação entre as horas de duração de operação e número de operações não mantém uma regra de proporcionalidade. Em 2005 e 2006 as três empresas realizaram um número considerável de operações em tempos relativamente curtos, por outro lado, em 2008 as empresas FCR, SAI e SAE efetuaram um número menor de operações despendendo um tempo maior. Nos anos de 2009, 2010 e 2011 observa-se uma tendência na queda de horas de duração de operação gasta em relação ao número de operações realizadas para as três empresas estudadas.

Observando a FIG. 5.25 percebe-se que em 2009 a empresa SAE apresentou o maior tempo gasto em horas de duração de operações para o período estudado.

FIGURA 5.25 - Número de operações e total em horas de operação por empresa no período de 2005 a 2011. Empresas: FCR – Funcionários do CR; SAI – Serviço de apoio interno; SAE – Serviço de apoio externo.

A FIG. 5.26 apresenta o tempo de duração das tarefas classificadas por característica de operações. As tarefas realizadas na CA, CF, EAQ, GRR e no ESR apresentaram operações com tempo de duração entre trinta minutos e aproximadamente dez horas e apenas uma manutenção corretiva em CA apresentou aproximadamente quinze horas de duração, fato que representa uma manutenção corretiva que durou dias.

FIGURA 5.26 - Distribuição das operações por característica de operação e por tempo de duração em minutos no período de 2005 a 2011. Característica de operações – CAR; PREV – Preventiva; CORR – Corretiva; INTV – Interventora; MONT – Montagem e Reforma.

As FIG. 5.27 mostra a distribuição da dose individual em função do tempo de duração da operação para diferentes empresas. A empresa FCR apresenta operações com os maiores valores de dose e menores períodos de tempo comparado aos outros grupos, sendo a maioria com até três horas. A SAE mostrou o inverso, têm os menores valores de dose e os maiores períodos de tempo, com operações de até nove horas de duração. A FIG. 5.27 também mostra dados com pontos isolados como uma operação realizada pela SAI de cinquenta minutos onde os IOEs receberam uma dose de 4 mSv e se trata de uma manutenção corretiva (TAB. 5.6).

FIGURA 5.27 - Distribuição da dose em operações por empresa e por tempo de duração em minutos de cada operação no período de 2005 a 2011. EMP- Empresas: FCR – Funcionários do CR; SAI – Serviço de apoio interno; SAE – Serviço de apoio externo.

Na FIG. 5.28 pode-se analisar as operações por característica sendo que as preventivas e corretivas apresentam-se em maioria e com tempos de duração mais longos comparados as intervenções. Contudo, algumas operações interventoras tiveram tempos longos de até oito horas, iguais às preventivas. As doses recebidas nas manutenções preventivas são mais baixas comparadas as corretivas e interventoras.

FIGURA 5.28 - Distribuição da dose em operações classificadas por característica, por tempo de duração em minutos de cada operação no período de 2005 a 2011. Característica de operações – CAR; PREV – Preventiva; CORR – Corretiva; INTV – Interventora; MONT – Montagem e Reforma.

5.6 Discussão

Analisando os resultados para variável IOE pode-se afirmar que o número de trabalhadores em uma operação não é um fator que tem influencia direta na dose. A maioria das manutenções é efetuada por até cinco IOEs, dependendo das tarefas realizadas e da distribuição das mesmas para cada trabalhador. Por exemplo, uma operação em CA em que participaram três IOEs e apenas um deles ficou em uma posição onde a taxa de dose é mais alta, então este recebeu uma dose maior que os outros dois. Em outro exemplo, uma operação também em CA participaram três IOEs e os três executaram consertos em diferentes mecanismos dentro da cela, porém ficaram na mesma posição, no mesmo período de tempo. Os três receberam a mesma dose, pois estavam em um ponto onde a taxa de dose era a mesma. A TAB. 5.6 apresenta um resultado de doses iguais para diferentes IOES para a mesma operação. É importante ressaltar que a experiência do operador também influencia na separação das tarefas realizadas, sendo que alguns trabalhadores atuam com mais frequência

em determinados locais onde a contaminação e a exposição são mais altas e, por isso, requer maior rapidez e habilidade do operador na tarefa realizada. Portanto, a variável IOE influencia na dose de acordo com a situação, associada às outras variáveis.

Analisando a variável Operação pode-se afirmar que o número de operações realizadas por cada IOE não é um fator que influencia diretamente na dose individual. Alguns operadores receberam doses maiores do que outros mesmo executando um número menor de manutenções (TAB. 5.2), contudo, relacionando o número de operações com a característica da operação, é possível observar a influência direta na dose do trabalhador (FIG. 5.3). As operações preventivas apresentaram os menores valores de doses comparados aos valores das operações corretivas e interventoras.

A variável Área/Cela está diretamente relacionada ao aumento ou diminuição da dose do IOE, pois, a dose recebida é diretamente proporcional à taxa de dose, que está relacionada ao nível de contaminação no local, onde são realizadas as operações de manutenção e intervenção.

A variável Tipo de Tarefa está relacionada diretamente com a dose do IOE sendo que as tarefas complexas como as em CA e relacionadas ao GRR apresentaram maiores valores de doses individuais recebidas comparados aos em CF (FIG. 5.20, 5.21 e 5.22). Isso porque os IOEs que efetuam as tarefas em CA são expostos a uma taxa de dose maior, pois realizam atividades no interior da cela e nas tarefas de GRR os IOEs manipulam os rejeitos que são fontes de radiação. Por outro lado, nas tarefas executadas em CF a cela está com a porta blindada fechada e apesar dos IOEs realizarem estas tarefas em áreas restritas a taxa de dose é relativamente menor.

A variável Duração de operação, que representa o tempo de cada manutenção é um fator que pode influenciar a dose no trabalhador, todavia, depende das outras variáveis citadas anteriormente. Observando a FIG. 5.28 podem-se perceber operações com um mesmo tempo de duração, mas as operações corretivas e interventoras apresentaram maiores valores de dose recebida. Por isso, pode-se afirmar que a variável duração de operação não é um fator que contribui diretamente para o aumento ou diminuição da dose recebida.

6 SUGESTÕES

Baseadas na análise dos resultados do presente estudo foram elaboradas algumas possíveis sugestões de melhoria para procedimentos que envolvem as operações de manutenções e intervenções nas áreas restritas do CR e que estão relacionados ao aumento da dose do trabalhador de acordo com a Pesquisa de Variáveis.

As operações preventivas apresentaram as menores doses e contribuem para diminuição da frequência de operações corretivas e intervenções. Após uma análise custo-benefício, é possível considerar a instalação de mais uma cela para os radioisótopos com maior volume de produção. Na prática, quando uma cela estivesse operando a outra estaria em manutenção preventiva, assim poderia acarretar na diminuição da dose do trabalhador e as operações poderiam ser agendadas quando a cela apresentasse um baixo nível de contaminação.

As tarefas relacionadas ao GRR como as manutenções realizadas no encanamento do rejeito sólido envolvem altas taxas de dose, por isso, é imprescindível fazer uma revisão nos procedimentos do descarte de rejeitos sólidos, para entender o que pode ser a causa dos entupimentos. Para as operações interventoras de “substituição de rejeito sólido” poderia ser aplicado o uso de algum objeto para transporte mais rápido dos recipientes com rejeitos. Assim, diminuiria o tempo de exposição à fonte que no caso desta intervenção é bastante significativo.

7 CONCLUSÃO

O presente estudo mostra que as constantes melhorias efetuadas no CR tem proporcionado uma redução da dose. Os limites de dose não foram excedidos em operações de manutenções e intervenções em áreas restritas do CR. Apesar disso, é importante considerar que as normas e recomendações nacionais e internacionais de proteção radiológica salientam a importância de manter as doses tão baixas quanto razoavelmente exequível, por meio de revisões de procedimentos nas instalações.

Este trabalho alcançou os objetivos propostos, por meio de análise de variáveis mais significativas para o impacto na dose dos IOEs. Baseado na mesma fez sugestões para alguns procedimentos específicos que mais contribuem para o aumento da dose do trabalhador. A Pesquisa a Variáveis identificou os fatores que mais impactam com a dose recebida. O aumento ou diminuição da dose no trabalhador depende diretamente das variáveis, Operação – OP, Área/Cela e Tipo de tarefa. Quando relacionadas entre si podem resultar em operações com maior ou menor risco radiológico. Por outro lado, as variáveis IOE e Duração de operação – OP contribuem indiretamente para a dose do trabalhador.

8 FUTUROS TRABALHOS

- i) Fazer uma análise de uma coleta de dados relacionados às operações em áreas restritas do CR a partir do o ano de 2012. Por meio desta análise, observar como as reformas realizadas nas Áreas Restritas do CR, a partir deste ano, influenciaram nas doses ocupacionais em Operações de manutenção e intervenção.
- ii) Como apresentaram os resultados desta pesquisa às doses em operações estão abaixo dos limites de dose recomendados. Contudo, é possível fazer um estudo de prováveis exposições potenciais, considerando que são realizadas um grande número de intervenções nas áreas restritas.

APÊNDICE A – Modelo da Ficha de Manutenção e Intervenção utilizada durante o acompanhamento das operações de manutenção e intervenção nas áreas restritas do CR do IPEN.

RELATÓRIO DE OPERAÇÕES EM ÁREAS RESTRITAS - CR	
Ficha de Manutenção e Intervenção	
Pesquisa Variáveis	
1. Trabalhador (es):	
Nome IOE 1:	Nome IOE 3:
Nome IOE 2:	Nome IOE 4:
2. Empresa (s):	
Empresa IOE 1:	Empresa IOE 3:
Empresa IOE 2:	Empresa IOE 4:
3. Intervenção:	
Descrição (breve) do trabalho:	
Preventiva () Corretiva () Urgência ()	
Local:	
Data:	
Horário de Início:	
Horário de Término:	
Tempo total da Intervenção:	
Observações do pesquisador:	
4. Radioproteção	
EPIS utilizados:	
<div>Corpo:</div> <div>Avental Tecido ()</div> <div>Avental de chumbo ()</div> <div>Macacão de tecido ()</div>	<div>Face:</div> <div>Óculos ()</div> <div>Máscara meia face ()</div> <div>Máscara face inteira ()</div> <div>Filtro partículas ()</div>
<div>Cabeça:</div> <div>Capuz ()</div> <div>Touca ()</div>	
<div>Mãos:</div> <div>Luva grossa ()</div> <div>Luvas fina ()</div>	<div>Pés:</div> <div>Sapatilha ()</div> <div>Botas ()</div>
Ambiente:	
Ala-quente () Qual? ()	Lab. De Produção ()
Subsolo de Rejeitos Radioativos ()	

Fontes:	
Cela () Aberta () Fechada ()	c/ material () s/ material ()
Rejeito () Radioisótopo:	Emissor:
Monitoração e Dose:	
Detector (es) utilizado(s):	Unidade:
Medida do ambiente (antes da intervenção):	
Medida do ambiente (durante a intervenção):	
Medida da fonte (antes da intervenção): c/ material:	
s/ material:	
Medida da fonte (durante a intervenção):	
Distância da fonte:	
Dosímetro Individual utilizado (IOE):	Unidade:
Medida do trab.: IOE1 IOE 2	
IOE 3 IOE 4	
Distância do trab.:	Tempo:
Monitoração individual de contaminação pós - intervenção:	
Detector (es):	
Detector de contaminação c/ Sonda (nº) Unidade: Bq:	
Monitor de Pés e Mãos:	
Portal monitor de contaminação:	
Observações do pesquisador:	
Contaminação? Sim () Não ()	
Parte do corpo: Extremidades () Tórax () Cabeça () Região Lombar ()	
Outros:	
Medida na região contaminada:	
Observações do pesquisador (EPIs):	
5. Gerenciamento de rejeitos radioativos	
Total de intervenções no subsolo no mês:	
Observações do pesquisador:	
Conclusões gerais:	

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.A. SORDI, Gian-Maria. **Filosofia e Técnica para Monitoramento do Trabalho para Radiação Ionizante**. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN-CNEN/SP. São Paulo. 2011, 154p.

A. A. SORDI, Gian-Maria. **Otimização e Tomada de Decisão**. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN-CNEN/SP. São Paulo. 2011.

BELLINTANI, Sandra A. et al. **Noções Básicas de Proteção Radiológica** – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN/CNEN. São Paulo, Agosto de 2002, 54p.

CERVO, A. L.; BERVIAN, A. P.; DA SILVA, R. **Metodologia Científica**. 6ª Ed. São Paulo: Person Prentice Hall, 2007.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Diretrizes Básicas de Radioproteção** (CNEN NN 3,01). São Paulo, 2005.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Gerência de Rejeitos Radioativos em Instalações Radiativas**. (CNEN – NE 6.05). Rio de Janeiro, 1985.

DE AQUINO, A.R.; VIEIRA, M. M F.; Molibdênio-99, crise e oportunidade. **Sientific American Brasil**, São Paulo, Jul. 2010. Edição nº98. Disponível em: http://www2.uol.com.br/sciam/artigos/molibdenio-99_crise_e_oportunidade.html. Acesso em: 12 Jul. 2011.

GERULIS, Eduardo; A. A. SORDI, Gian-Maria; DA SILVA, Olavo Pedro. **Gerenciamento de Rejeitos no Centro de Radiofarmácia do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares**. In: International Nuclear Atlantic Conference; Encontro Nacional de Aplicacoes Nucleares, 7th, ago. 28 - set. 2, 2005, Santos - SP. 8 p.

GERULIS, E. **Controle da dose de Radiação Ionizante para trabalhadores em uma instalação radiativa com fontes não – seladas**. 2006. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CNEN. São Paulo. 98p.

IAEA INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Practical Radiation Technical Manual Personal Monitoring**. Vienna, 1995. (IAEA-PRTM-2)

IAEA INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **International basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for Safety or Radiation Sources**. Vienna, 1996. (Safety Series, 115).

IAEA INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Optimization of Radiation Protection in the Control of Occupational Exposure. Vienna, 2002. 66 p. (Safety Series, 21).

IAEA INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Radiation, People and Environment**. Vienna, 2004, 81p.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. **Recommendations of the International Commission on Radiological Protection**. ICRP, Oxford, 1991. (ICRP Publication 60).

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. **Radiological Protection and Safety in Medicine**. ICRP, Pergamon Press, 1996. (ICRP Publication 73).

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. **Principles for the Radiation Protection of Workers**. ICRP, Oxford, 1997. (ICRP Publication 75).

MORETTIN, Pedro A; BUSSAB, Wilton O. Estatística Básica. 6.ed. São Paulo: Saraiva, 2010. 540 p.

NEGRINI, Aguinaldo D.; **Automação de Células de Produção de Radiofármacos**. 2010. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP, São Paulo. 104 p. Orientador: Valdir Sciani.

OKUNO, Emico ; YOSHIMURA, Elisabeth. **Física das Radiações**. São Paulo: Oficina de textos, 2010. 296 p.

RODRIGUES, Demerval Leônidas. **Otimização no controle dos Valores de Radiação nas Dependências do Ciclotron de 30 MeV do IPEN**. 2002. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN. São Paulo. 106 p.

SAHA, GOPAL B. **Fundamentals of Nuclear Pharmacy**. Fourth Edition, New York, 1998 (ISBN 0-387-98341-4).

SANCHES, Matias P. **Identificação e análise dos principais radionuclídeos que potencialmente contribuem para a dose interna dos trabalhadores do Centro de Radiofarmácia**. 2004. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CNEN. São Paulo. 63 p.
Orientador: Alberto S. Todo.

TAUHATA, L; SALATI, I.P.A; PRINZIO, R. D; PRINZIO, A. R. D.:
Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos. Instituto de Radioproteção e Dosimetria - IRD/CNEN. Rio de Janeiro, 2002. 238p.