

UTFPR  
PPGEB

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA  
CURSO TÉCNICO INTEGRADO EM SEGURANÇA DO TRABALHO

PEDRO HENRIQUE SILVESTRE LOPES

UTILIZAÇÃO DO MAPA ESPACIAL DE RADIAÇÃO E DOSE  
ACUMULADA COMO FERRAMENTA PARA OTIMIZAÇÃO DE DOSES  
EM PACIENTES E TRABALHADORES NAS CLÍNICAS DE MEDICINA  
NUCLEAR

DISSERTAÇÃO

CURITIBA  
2015

UTILIZAÇÃO DO MAPA ESPACIAL DE RADIAÇÃO E DOSE ACUMULADA COM  
FERRAMENTA PARA OTIMIZAÇÃO DE DOSES EM PACIENTES E TRABALHADORES  
NAS CLÍNICAS DE MEDICINA NUCEAR

2015

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA

PEDRO HENRIQUE SILVESTRE LOPES

**UTILIZAÇÃO DO MAPA ESPACIAL DE RADIAÇÃO E DOSE  
ACUMULADA COMO FERRAMENTA PARA OTIMIZAÇÃO DE DOSES  
EM PACIENTES E TRABALHADORES NAS CLÍNICAS DE MEDICINA  
NUCLEAR**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA

2015

PEDRO HENRIQUE SILVESTRE LOPES

**UTILIZAÇÃO DO MAPA ESPACIAL DE RADIAÇÃO E DOSE  
ACUMULADA COMO FERRAMENTA PARA OTIMIZAÇÃO DE DOSES  
EM PACIENTES E TRABALHADORES NAS CLÍNICAS DE MEDICINA  
NUCLEAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Biomédica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Biomédica. Área de concentração : Física Médica.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Frieda Saicla Barros.

CURITIBA

2015

---

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**

---

L864u      Lopes, Pedro Henrique Silvestre  
2015      Utilização do mapa espacial de radiação e dose  
         acumulada como ferramenta para otimização de doses em  
         pacientes e trabalhadores nas clínicas de medicina nuclear  
         / Pedro Henrique Silvestre Lopes.-- 2015.  
         180 f.: il.; 30 cm

         Texto em português, com resumo em inglês.  
         Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica  
         Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
         Biomédica, Curitiba, 2015.  
         Bibliografia: f. 133-139.

         1. Medicina nuclear. 2. Radiação - Dosimetria. 3.  
         Radioproteção. 4. Radiação - Medidas de segurança. 5.  
         Pacientes - Medidas de segurança. 6. Exposição ocupacional.  
         7. Engenharia biomédica - Dissertações. I. Barros, Frieda  
         Saicla, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do  
         Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica.  
         III. Título.

CDD: Ed. 22 -- 610.28

---

**Biblioteca Central da UTFPR, Câmpus Curitiba**

Aos meus pais, Nilson Benedito Lopes e Sonia Maria Silvestre Lopes, pelo amor que me acompanhou durante toda vida, por acreditarem na minha capacidade.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por estar presente constantemente em minha vida, abençoando e iluminando o caminho percorrido até aqui.

A Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Frieda Saicla Barros, pelos preciosos conhecimentos transmitidos, a disponibilidade, compreensão, apoio e, acima de tudo, pela paciência e confiança depositadas em mim.

A minha irmã, Louise Cristine Silvestre Lopes, pelo carinho e apoio incondicional.

Aos Serviços de Medicina Nuclear, que permitiram o desenvolvimento desse estudo em suas dependências, disponibilizando os dados necessários.

Aos trabalhadores dos Serviços de Medicina Nuclear, pela colaboração nesse trabalho.

Ao Prof. Dr. Eraldo Schunk Silva, da Universidade Estadual de Maringá, pelo precioso auxílio nas análises estatísticas.

## RESUMO

LOPES, Pedro. Utilização do mapa espacial de radiação e dose acumulada como ferramenta para otimização de doses em pacientes e trabalhadores nas clínicas de medicina nuclear. 2015. Número total de páginas, 183. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Biomédica, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Curitiba, 2015.

Esse estudo tem por objetivo geral propor um mapa espacial de doses como ferramenta auxiliar na avaliação da necessidade de otimização de ambientes em serviços de medicina nuclear e, por objetivos específicos, avaliar as dosimetrias individuais dos trabalhadores; analisar a estrutura física dos serviços de medicina nuclear; avaliar as taxas de dose do ambiente. A pesquisa realizada se caracteriza como um estudo de caso, de natureza exploratória e explicativa, em três Serviços de Medicina Nuclear estabelecidos na região Noroeste do Estado do Paraná. Os resultados obtidos indicaram que as taxas de dose avaliadas e a dosimetria dos trabalhadores, em todas as dependências dos serviços pesquisados, respeitam os limites de doses anuais, mas algumas excedem os limites de investigações preconizados na norma NN-CNEN 3.01 (2014). Concluiu-se que o mapa espacial de dose é uma ferramenta importante para os serviços de medicina nuclear, pois facilita a visualização das áreas com maior concentração de radiação, bem como a revisão contínua de tais medidas e recursos para identificar quaisquer falhas e deficiências na sua aplicação, corrigi-las e evitar suas repetições, além de verificar regularmente se os objetivos de proteção radiológica estão sendo alcançados.

**Palavras chave:** Medicina nuclear. Otimização. Mapa espacial de dose.

## ABSTRACT

LOPES, Pedro. Employment of the radiation and cumulative dose spatial map as a tool for optimization of doses in patients and workers in nuclear medicine clinics. 2015. 183 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Biomédica, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Curitiba, 2015.

This study has as general aim to propose a spatial map of doses as an auxiliary tool in assessing the need for optimization of the workplace in nuclear medicine services. As specific aims, we assessed the workers individual dosimetry; we analyzed the facilities of the nuclear medicine services; and we evaluated environment exposure rates. The research is characterized as a case study, with an exploratory and explanatory nature. It was conducted in three Nuclear Medicine Services, all established in the Northwest of the Paraná State. Results indicated that the evaluated dose rates and workers dosimetry, in all the dependencies of the surveyed services, are within the limits of annual doses. However some exceeded the limits recommended in the standard CNEN-NN 3:01 (2014). It was concluded that the spatial map dose is an important tool for nuclear medicine services because it facilitates the visualization of areas with highest concentration of radiation, and also helps in the constant review of these measures and resources, aiding in the identification of any failures and shortcomings, providing resources to correct any issues and prevent their repetition. The spatial map dose is also important for the regular inspection, evaluating if the radiation protection objectives are being met.

**Key words:** Nuclear Medicine. Optimization. Space Map dose.





**Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica**

**Nome Do Aluno**

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO EM LETRAS MAIÚSCULAS E  
NEGRITO, IGUAL AO TÍTULO QUE FOI APROVADO NA DEFESA  
DO MESTRADO**

**Dissertação – Mestrado**

**Curitiba  
2013**



**Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia**

**Adriano Lopes**

**PROPOSTA METODOLÓGICA DE MONITORAMENTO DE  
INFORMAÇÕES PARA AS ROTAS ESTRATÉGICAS DA  
INDÚSTRIA PARANAENSE**

**Dissertação – Mestrado**

**Curitiba  
2010**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Emissão de energia gama .....	22
Figura 2 - Região de predominância de cada interação .....	23
Figura 3 - Layout da Clínica A .....	55
Figura 4 - Pontos de medição da radiação na Clínica A .....	58
Figura 5 - Dose média e média do número de exames realizados por dia da semana – Clínica A .....	59
Figura 6 - Taxa de dose por ambiente, por período e por dia da semana – Clínica A .....	60
Figura 7 - Mapa espacial de dose da Clínica A .....	63
Figura 8 - Mapa espacial de dose da sala de espera – Clínica A .....	65
Figura 9 - Mapa espacial de dose do laboratório de manipulação – Clínica A .....	66
Figura 10 - Mapa espacial de doses da sala de exames – Clínica A .....	68
Figura 11 - Mapa espacial de dose da sala de administração de radiofármacos – Clínica A .....	69
Figura 12 - Mapa espacial de dose da sala de ergometria – Clínica A .....	70
Figura 13 - Taxa de dose média de radiação na sala de espera conforme o número de pacientes – Clínica A .....	72
Figura 14 - Percentuais de pontos com radiação igual ou superior $\geq 0,5 \mu\text{Sv/h}$ (média geral por ambiente) – Clínica A .....	72
Figura 15 - Percentuais de taxas $\geq 0,5 \mu\text{Sv/h}$ – Clínica A .....	74
Figura 16 - Layout da Clínica B .....	76
Figura 17 - Pontos de medição da radiação na Clínica B .....	78
Figura 18 - Dose média e média do número de exames realizados por dia da semana – Clínica B .....	79
Figura 19 - Taxa de dose por ambiente, por período e por dia da semana – Clínica B .....	81
Figura 20 - Mapa espacial de dose da Clínica B .....	84
Figura 21 - Mapa espacial de dose da sala de espera – Clínica B .....	85
Figura 22 - Mapa espacial de dose do laboratório de manipulação – Clínica B .....	86
Figura 23 - Mapa espacial de doses da sala de exames – Clínica B .....	88
Figura 24 - Mapa espacial de dose da sala de administração de radiofármacos – Clínica B .....	90
Figura 25 - Mapa espacial de dose da sala de ergometria – Clínica B .....	91
Figura 26 - Dose média de radiação na sala de espera conforme o número de pacientes – Clínica B .....	92
Figura 27 - Percentuais de pontos com radiação igual ou $\geq 0,5 \mu\text{Sv/h}$ (média geral por ambiente) – Clínica B .....	94

Figura 28 - Percentuais de taxas $\geq 0,5 \mu\text{Sv/h}$ – Clínica B .....	94
Figura 29 - Layout da Clínica C .....	97
Figura 30 - Pontos de medição da radiação na Clínica C .....	100
Figura 31 - Dose média e média do número de exames realizados por dia da semana – Clínica C .....	101
Figura 32 - Taxa de dose por ambiente, por período e por dia da semana – Clínica C .....	102
Figura 33 - Mapa espacial de dose da Clínica C .....	105
Figura 34 - Mapa espacial de dose da sala de espera – Clínica C .....	107
Figura 35 - Mapa espacial de dose do laboratório de manipulação – Clínica C .....	108
Figura 36 - Mapa espacial de doses da sala de exames – Clínica C .....	108
Figura 37 - Mapa espacial de dose da sala de administração de radiofármacos – Clínica C .....	108
Figura 38 - Mapa espacial de dose da sala de ergometria – Clínica C .....	112
Figura 39 - Taxa de dose média de radiação na sala de espera conforme o número de pacientes – Clínica C .....	114
Figura 40 - Percentuais de pontos com radiação igual ou $\geq 0,5 \mu\text{Sv/h}$ (média geral por ambiente) – Clínica C .....	115
Figura 41 - Percentuais de taxas $\geq 0,5 \mu\text{Sv/h}$ – Clínica C .....	116
Figura 42 - Distribuição dos entrevistados quanto ao gênero .....	120
Figura 43 - Distribuição dos entrevistados quanto à faixa etária .....	121
Figura 44 - Distribuição dos entrevistados quanto ao grau de instrução .....	122
Figura 45 - Distribuição dos entrevistados quanto ao cargo .....	122
Figura 46 - Percepção dos entrevistados quanto ao nível de radiação nos ambientes .....	123
Figura 47 - Avaliação dos entrevistados da ferramenta proposta para otimização .....	123

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Conformidades da Clínica A, de acordo com as normas CNEN e ANVISA .....	56
Tabela 2	- Dosimetria individual dos trabalhadores da Clínica A (em mSv/ano) .....	57
Tabela 3	- Taxa média de dose, desvio-padrão, Teste de comparação de Wilcoxon (aproximação Z), por turnos da Clínica A .....	61
Tabela 4	- Taxa média de dose, desvio-padrão, coeficiente de variação (CV), escore médio e Teste de comparação de Wilcoxon, por turnos e por ambiente da Clínica A .....	61
Tabela 5	- Taxa média de dose, desvio-padrão, (Teste de Kruskal-Wallis) da Clínica A .....	63
Tabela 6	- Média, desvio-padrão e teste de comparação de Wilcoxon para níveis de concentração de radiação observados na sala de espera de pacientes injetados da Clínica A .....	65
Tabela 7	- Média, desvio-padrão e teste de comparação de Wilcoxon para níveis de concentração de radiação observados no laboratório de manipulação da Clínica A .....	66
Tabela 8	- Média, desvio-padrão e teste de comparação de Wilcoxon para níveis de concentração de radiação observados na sala de exame da Clínica A .....	68
Tabela 9	- Média, desvio-padrão e teste de comparação de Wilcoxon para níveis de concentração de radiação observados na sala de administração de radiofármacos da Clínica A .....	70
Tabela 10	- Média, desvio-padrão e teste de comparação de Wilcoxon para níveis de concentração de radiação observados na sala de ergometria da Clínica A .....	71
Tabela 11	- Projeções anuais de dose equivalente para os pontos mensurados da Clínica A .....	74
Tabela 12	- Conformidades da Clínica B de acordo com as normas CNEN e ANVISA .....	77
Tabela 13	- Dosimetria individual dos trabalhadores da Clínica B (em mSv/ano) .....	78
Tabela 14	- Taxa média de dose, desvio-padrão, Teste de comparação de Wilcoxon (aproximação Z), por turnos da Clínica B .....	81
Tabela 15	- Taxa média de dose, desvio-padrão, coeficiente de variação (CV), escore médio e Teste de comparação de Wilcoxon, por turnos e por ambiente da Clínica B .....	82
Tabela 16	- Taxa média de dose, desvio-padrão, (Teste de Kruskal-Wallis) da Clínica B .....	84
Tabela 17	- Média, desvio-padrão e teste de comparação de Wilcoxon para níveis de concentração de radiação observados na sala de espera de pacientes injetados da Clínica B .....	86
Tabela 18	- Média, desvio-padrão e teste de comparação de Wilcoxon para níveis de concentração de radiação observados no laboratório de manipulação da Clínica B .....	87
Tabela 19	- Média, desvio-padrão e teste de comparação de Wilcoxon para	

	níveis de concentração de radiação observados na sala de exame da Clínica B .....	89
Tabela 20 -	Média, desvio-padrão e teste de comparação de Wilcoxon para níveis de concentração de radiação observados na sala de administração de radiofármacos da Clínica B .....	90
Tabela 21 -	Média, desvio-padrão e teste de comparação de Wilcoxon para níveis de concentração de radiação observados na sala de ergometria da Clínica B .....	92
Tabela 22 -	Projeções anuais de dose equivalente para os pontos mensurados da Clínica B .....	96
Tabela 23 -	Conformidades da Clínica C de acordo com as normas CNEN e ANVISA .....	99
Tabela 24 -	Dosimetria individual dos trabalhadores da Clínica C (em mSv/ano) .....	100
Tabela 25 -	Taxa média de dose, desvio-padrão, Teste de comparação de Wilcoxon (aproximação Z), por turnos da Clínica C .....	104
Tabela 26 -	Taxa média de dose, desvio-padrão, coeficiente de variação (CV), escore médio e Teste de comparação de Wilcoxon, por turnos e por ambiente da Clínica C .....	104
Tabela 27 -	Taxa média de dose, desvio-padrão, (Teste de Kruskal-Wallis) da Clínica C .....	106
Tabela 28 -	Média, desvio-padrão e teste de comparação de Wilcoxon para níveis de concentração de radiação observados na sala de espera de pacientes injetados da Clínica C .....	108
Tabela 29 -	Média, desvio-padrão e teste de comparação de Wilcoxon para níveis de concentração de radiação observados no laboratório de manipulação da Clínica C .....	109
Tabela 30 -	Média, desvio-padrão e teste de comparação de Wilcoxon para níveis de concentração de radiação observados na sala de exame da Clínica C .....	110
Tabela 31 -	Média, desvio-padrão e teste de comparação de Wilcoxon para níveis de concentração de radiação observados na sala de administração de radiofármacos da Clínica C .....	112
Tabela 32 -	Média, desvio-padrão e teste de comparação de Wilcoxon para níveis de concentração de radiação observados na sala de ergometria da Clínica C .....	113
Tabela 33 -	Projeções anuais de dose equivalente para os pontos mensurados da Clínica C .....	117
Tabela 34 -	Taxas de dose de dose das três clínicas .....	119
Tabela 35 -	Tabela de resumo das comparações citadas na discussão.....	131

## LISTA DE ABREVIATURAS

ANVISA	AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA
Ba-133	Bário-133
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
Co-57	Cobalto-57
Cs-137	Césio-137
DEA	Dose efetiva acumulada
IAEA	<i>International Atomic Energy Agency</i>
ICRP	<i>International Commission on Radiological Protection</i>
ICRU	<i>International Commission on Radiation Units and Measurements</i>
IOEs	Indivíduos Ocupacionalmente Expostos
MN	Medicina Nuclear
NR	Norma Regulamentadora
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
SI	Sistema Internacional
SMN	Serviço de Medicina Nuclear
TLD	Dosímetro Termoluminescente

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1	OBJETIVO GERAL .....	15
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b> .....	16
2.1	DEFINIÇÕES FÍSICAS .....	17
2.1.1	Radioisótopos .....	17
2.1.2	Radiações ionizantes .....	18
2.1.3	Decaimento nuclear e energia emitida .....	19
2.1.4	Interações da radiação ionizante e os materiais .....	20
2.1.4.1	Partícula alfa ( $\alpha$ ) .....	20
2.1.4.2	Partícula beta ( $\beta$ ) .....	21
2.1.4.3	Raios gama .....	23
2.1.5	Processos de deposição de energia e de ionização .....	24
2.1.6	Grandezas relevantes .....	26
2.1.6.1	Grandezas físicas .....	26
2.1.6.2	Grandezas de proteção .....	28
2.1.6.3	Grandezas operacionais .....	30
2.2	EFEITOS BIOLÓGICOS .....	30
2.2.1	Danos biológicos causados pela radiação .....	31
2.2.2	Classificação dos efeitos biológicos .....	32
2.2.2.1	Efeitos estocásticos .....	32
2.2.2.2	Efeitos determinísticos .....	33
2.2.2.3	Efeitos somáticos .....	34
2.2.2.4	Efeitos genéticos ou hereditários .....	34
2.3	PROTEÇÃO RADIOLÓGICA .....	35
2.3.1	Princípios de proteção radiológica .....	35
2.3.1.1	Justificação .....	36
2.3.1.2	Limites de dose .....	36
2.3.1.3	Otimização .....	37
2.3.2	Proteção dos pacientes contra a irradiação externa .....	40
2.3.2.1	Monitoração individual externa para fótons.....	42
2.3.2.2	Monitoração do nível de radiação ambiente.....	43
2.4	NORMAS DE SEGURANÇA PARA SERVIÇOS DE MEDICINA NUCLEAR .....	44
2.4.1	Ambientes de um serviço de medicina nuclear, de acordo com a ANVISA .....	46
2.4.1.1	Sala de espera pacientes injetados .....	46
2.4.1.2	Laboratório de manipulação .....	46
2.4.1.3	Sala de administração de radiofármaco .....	47
2.4.1.4	Sala de armazenamento .....	49
2.4.1.5	Sala de exames .....	50



<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>51</b>
3.1	ASPECTOS ÉTICOS E NORMALIZAÇÃO .....	
3.2	DEFINIÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO .....	51
3.3	PROCEDIMENTOS .....	51
3.3.1	Avaliação da estrutura das clínicas .....	51
3.3.2	Avaliação das dosimetrias individuais dos trabalhadores .....	52
3.3.3	Avaliação das taxas de dose ambiental .....	52
3.3.3.1	Instrumento de medida .....	52
3.3.3.2	Elaboração dos mapas espaciais de doses .....	53
3.3.4	Avaliação dos mapas espaciais como ferramenta de otimização pelos trabalhadores .....	54
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>56</b>
4.1	CLÍNICA A .....	
4.1.1	Avaliação das dosimetrias individuais dos trabalhadores da Clínica A .....	58
4.1.2	Avaliação das taxas de dose ambiental da Clínica A .....	59
4.1.2.1	Dose de radiação e taxa de dose por dia da semana e turno da Clínica A .....	58
4.1.2.2	Taxa de dose por ambientes de monitoração da Clínica A .....	63
4.1.2.3	Taxas médias de dose por pontos de medição e local da Clínica A .....	65
4.1.2.4	Relação entre número de pacientes e taxa de dose na sala de espera da Clínica A .....	72
4.1.2.5	Comparação das taxas de radiação encontradas com os limites estabelecidos pela CNEN para exclusão de otimização da Clínica A .....	73
4.1.2.6	Comparação das taxas de radiação encontradas com os limites de dose do trabalhador, I.P estabelecidos pela CNEN da Clínica A ....	75
4.2	CLÍNICA B .....	77
4.2.1	Avaliação das dosimetrias individuais dos trabalhadores da Clínica B .....	79
4.2.2	Avaliação das taxas de dose ambiental da Clínica B .....	80
4.2.2.1	Dose de radiação e taxa de dose por dia da semana e turno da Clínica B .....	81
4.2.2.2	Taxa de dose por ambientes de monitoração da Clínica B .....	85
4.2.2.3	Taxas médias de dose por pontos de medição e local da Clínica B .....	87
4.2.2.4	Relação entre número de pacientes e taxa de dose na sala de espera da Clínica B .....	94
4.2.2.5	Comparação das taxas de radiação encontradas com os limites estabelecidos pela CNEN para exclusão de otimização da Clínica B .....	95
4.2.2.6	Comparação das taxas de radiação encontradas com os limites de dose do trabalhador, I.P estabelecidos pela CNEN da Clínica B ....	96
4.3	CLÍNICA C .....	98
4.3.1	Avaliação das dosimetrias individuais dos trabalhadores da Clínica C .....	100
4.3.2	Avaliação das taxas de dose ambiental da Clínica C .....	101

4.3.2.1	Dose de radiação e taxa de dose por dia da semana e turno da Clínica C .....	102
4.3.2.2	Taxa de dose por ambientes de monitoração da Clínica C ....	106
4.3.2.3	Taxas médias de dose por pontos de medição e local da Clínica C .....	108
4.3.2.4	Relação entre número de pacientes e taxa de dose na sala de espera da Clínica C .....	115
4.3.2.5	Comparação das taxas de radiação encontradas com os limites estabelecidos pela CNEN para exclusão de otimização da Clínica C .....	116
4.3.2.6	Comparação das taxas de radiação encontradas com os limites de dose do trabalhador, I.P estabelecidos pela CNEN da Clínica C ....	118
4.4	COMPARAÇÃO DAS ÁREAS DE MAIOR DOSE DAS TRÊS CLÍNICAS .....	120
4.5	AVALIAÇÃO DA FERRAMENTA PROPOSTA PARA OTIMIZAÇÃO DE DOSES PELOS TRABALHADORES .....	121
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>125</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>132</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>133</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>140</b>
	<b>APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PARA OS TRABALHADORES .....</b>	<b>141</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>144</b>
	<b>ANEXO 1- Parecer consubstanciado do comitê de ética em pesquisa.....</b>	<b>144</b>
	<b>ANEXO 2 - Termo de consentimento de uso de dados (TCUD) .....</b>	<b>145</b>
	<b>ANEXO 3 - Termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE).....</b>	<b>149</b>
	<b>ANEXO 4 - Laboratório nacional de metrologia das radiações ionizantes do instituto de radioproteção e dosimetria da comissão nacional de energia nuclear .....</b>	<b>157</b>
	<b>ANEXO 5 – Relatório consultoria estatística – prof. Dr. Eraldo Schunk Silva .....</b>	<b>160</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A medicina nuclear é uma especialidade médica aplicada ao diagnóstico e à terapia, que utiliza fontes radioativas não seladas (CHUNG, 2002; ZAÚ, 2008), as quais são administradas aos pacientes por via oral, injeção intravenosa ou inalação, tornando o paciente uma fonte de radiação (MORAES, 2007).

Dessa forma, em um serviço de medicina nuclear, as fontes de radiação podem ser provenientes dos pacientes injetados ou da manipulação de radiofármacos, bem como das práticas de controle de qualidade de equipamentos e/ou contaminação do ambiente (IAEA, 2002).

Além disso, a movimentação gera constantes mudanças nos níveis radiométricos ambientais nas dependências de um SMN, podendo obter desde taxas de exposição muito baixas, como radiação de fundo, até taxas que podem levar a doses acumuladas nos indivíduos ocupacionalmente expostos (IOEs) (OLIVEIRA et al., 2013).

Não apenas o uso inadequado, mas também a desnecessária à radiação ionizante é responsável por danos ao organismo vivo. Entretanto, tais agravos podem ser evitados ou prevenidos, considerando que se trata de riscos e, portanto, representam probabilidades e não certezas (BRAND; FONTANA; SANTOS, 2011).

Em consequência, um SMN deve contemplar uma estrutura física que permita obter segurança e ao mesmo tempo facilitar o fluxo dos materiais radioativos e de pessoas, para evitar exposição desnecessária à radiação dos profissionais e demais pessoas que por ali transitem (ZAÚ, 2008), pois, embora, seja de consenso geral a existência de riscos de exposições a altas doses de radiação, ainda pouco se sabe sobre os efeitos causados por baixas doses recebidas por trabalhadores e doses ainda menores recebidas pelo público (MACHADO et al., 2011).

Todo Serviço de Medicina Nuclear, inicia com um número de exames reduzido, mas com o decorrer do tempo, verifica-se o crescimento do volume de pacientes, resultando no aumento do fluxo de fontes radioativas nas dependências do serviço, elevando os riscos da exposição à radiação ionizante. Dessa forma, é imprescindível a adoção dos princípios fundamentais de proteção radiológica, ou

seja, justificação, otimização da proteção e aplicação dos limites individuais de dose (ICRP, 2007).

A monitoração da taxa de exposição em SMN tem por objetivo controlar e estimar as doses recebidas pelos trabalhadores, pacientes e indivíduos do público, cabendo aos titulares e empregadores a responsabilidade pela avaliação da exposição ocupacional, a qual deve ter por base a monitoração individual e de área, conforme aplicável (CNEN 3.01, 2005).

As exposições podem ser minimizadas por meio do planejamento adequado, boa prática, instrução e cooperação do paciente e atenção às recomendações básicas de radioproteção, incluindo tempo, distância e blindagem (KOMATSU, 2013). Caso a análise do levantamento radiométrico e o mapa de exposição de doses indiquem que os níveis operacionais de dose possam ser ultrapassados nas áreas monitoradas, deve-se considerar a utilização de blindagens e adoção de outras medidas de proteção radiológica (OREJUELA *et al.*, 2010).

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Propor um mapa espacial de doses como ferramenta auxiliar na avaliação da necessidade de otimização de ambientes em serviços de medicina nuclear.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar as dosimetrias individuais dos trabalhadores;
- Analisar a estrutura física dos serviços de medicina nuclear; e
- Avaliar a taxa de dose de radiação nos ambientes de serviços de medicina nuclear.

## 2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A medicina nuclear é uma especialidade médica responsável pelo diagnóstico e tratamento de doenças através de fontes radioativas não seladas (LESLIE; GREENBERG, 2003; NASCIMENTO; COSTA, 2014). Diferentemente de outras técnicas, como a radiografia convencional e tomografia computadorizada, que permitem imagens estruturais, a medicina nuclear é essencialmente funcional (ROBILOTA, 2006).

As imagens são obtidas a partir da radiação emitida por um marcador radioativo introduzido no corpo do paciente. O acesso do radiofármaco geralmente se dá através de via venosa e sua concentração e localização estão diretamente relacionadas à função de um determinado órgão (POZZO *et al.*, 2014). Átomos radioativos (radionuclídeos) com emissão de radiação são fundamentais como marcadores, pois a imagem gerada do órgão, nada mais é do que o resultado da contagem dos fótons emitidos. Normalmente os radionuclídeos usados para diagnóstico emitem radiação gama ou pósitrons e, após serem fixados a marcadores biológicos clinicamente úteis, que irão direcioná-los ao local de interesse, são chamados de radiofármacos ou radiotraçadores (DIMENSTEIN; GHILARDI NETTO, 2005).

A meia vida física dos radionuclídeos deve ser a mais breve possível para que a atividade dentro do corpo, depois de realizadas as imagens diagnósticas, diminua rapidamente (OLIVEIRA *et al.*, 2006). Há casos em que a meia-vida é muito curta e não há tempo suficiente para preparação do radiofármaco e injeção no paciente sem que a atividade seja muito alta, como o caso do carbono-11 ( $C^{11}$ ), com meia-vida de 20 minutos. Já se a meia-vida física for excessivamente longa, maior será o tempo que o paciente permanecerá com a atividade no corpo, o que acarreta uma dose desnecessária. O tempo dinâmico do radiofármaco no corpo deve ser considerado, já que alguns têm rápida absorção e eliminação, enquanto outros circulam no sangue com lenta absorção no tecido interessado. O período estimado para que haja a eliminação biológica de metade da atividade do radiofármaco

administrado no corpo, é chamado meia-vida biológica (TAUHATA et al., 2014; SCHMITZ; ALESSIO; KINABAN, 2011; LIMA; GUIMARÃES, 2012).

Quando estão relacionadas, a meia-vida física e a meia-vida biológica dos radionuclídeos, apresentam a meia vida efetiva. Essa, é definida como o número de decaimentos radioativos que serão observados em uma determinada região do tecido por função do tempo (SCHMITZ; ALESSIO; KINABAN, 2011; LIMA; GUIMARÃES, 2012).

Essencial na medicina nuclear, a introdução da terapia de planejamento define os protocolos de dosimetria para se obter precisão e evitar qualquer impacto negativo sobre as rotinas da instalação e sobre os pacientes (WILLEGAIGNON et al., 2010).

A medicina nuclear engloba diferentes técnicas de imagem tais como a Tomografia por Emissão de Pósitrons e Tomografia Computadorizada por Emissão de Fóton Único (BENADIBA et al., 2012). Hoje em dia, ambas as técnicas possuem equipamentos híbridos, realizando tanto imagens estruturais quanto funcionais. São exemplos; Tomografia por Emissão de Pósitron com a tomografia computadorizada, e com a ressonância magnética, e também a Tomografia por emissão de Fótons Único combinada com o Tomografia Computadorizada (JASINOWODOLINSKI; DIMENSTEIN, 2013).

## 2.1 DEFINIÇÕES FÍSICAS

### 2.1.1 Radioisótopos

Todos os radioisótopos utilizados em medicina nuclear são produzido artificialmente, isto é, núcleos de elementos estáveis têm seus estados energéticos elevados por algum processo de ativação nuclear (ROBILLOTA, 2007; ROBILLOTA, 2011).

Os radioisótopos, devido à sua instabilidade, apresentam decaimento radioativo por emissão de partículas corpusculares (partículas alfa, beta, nêutrons,

entre outras) e muitas vezes, após a desintegração, ainda permanecem emitindo radiação gama (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

Uma das maneiras dos radioisótopos serem produzidos artificialmente é através do ciclotron, que foi criado por Ernest Orlando Lawrence e Milton Stanley Livingston, no começo da década de 1930. Através de campos magnéticos e elétricos, essas máquinas fornecem às partículas velocidades para se chocarem com um determinado alvo, induzindo reações nucleares (ROBILLOTA, 2011).

### 2.1.2 Radiações ionizantes

As radiações eletromagnéticas são formadas pela propagação de campos elétricos e campos magnéticos com velocidade constante no vácuo de  $3 \times 10^8$  m/s. Elas são classificadas em luz visível, ondas de rádio e televisão, ondas infravermelho, ultravioleta, raios X e radiações gama, dependendo do comprimento de onda e da frequência de oscilação (DIMENSTEIN; GHILARDI NETTO, 2005).

A radiação eletromagnética pode ser classificada, do ponto de vista energético, em ionizante e não ionizante (CASTRO JÚNIOR, 2000). As radiações ionizantes, segundo Okuno e Yoshimura (2010), têm energia suficiente para retirar elétrons dos átomos e, por consequência, quebrar as ligações químicas e causar a perda de elétrons, tornando os átomos eletricamente carregados. Esse processo chama-se ionização. Exemplos de radiação eletromagnética ionizante são os raios-X e os raios gama. Já as não ionizantes são caracterizadas por não apresentarem energia suficiente para arrancar elétrons dos átomos do meio pelo qual se deslocam, mas podem alterar a energia dos elétrons, provocando excitações nos átomos que, conseqüentemente, poderão gerar novas ligações químicas. Ondas eletromagnéticas como a luz visível, a radiofrequência, o calor e as ondas de rádio são formas comuns de radiações não ionizantes.

A radiação ultravioleta, cuja faixa de frequência e comprimento de onda está no limite entre a radiação ionizante e não ionizante, geralmente é considerada não ionizante no contexto da radiobiologia (ATTIX, 1986), por ter capacidade de penetração na pele menor que a da luz visível. Segundo a *International Commission on Radiation Units and Measurements* (ICRU) a escolha do limiar de energia abaixo

do qual a radiação não é mais ionizante depende da aplicação e que, em radiobiologia, o valor 10 eV pode ser apropriado (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

### 2.1.3 Decaimento nuclear e energia emitida

Os átomos são formados por um núcleo e uma eletrosfera. Na eletrosfera estão presentes os elétrons e no núcleo os prótons e nêutrons. Os núcleons são mantidos juntos pela força nuclear, uma força atrativa intensa de curto alcance, apesar da repulsão elétrica entre os prótons e a inexistência de interação elétrica entre os nêutrons e o próton. A configuração desses núcleons determina o estado energético do núcleo (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

Na configuração dos núcleons do radioisótopo, o núcleo está em um estado instável, energeticamente mais elevado que aquele correspondente a uma configuração estável. Essa energia em excesso deve ser emitida para que o núcleo possa ficar em um nível energético mais baixo, ou mesmo estável, em um processo conhecido como decaimento nuclear ou desintegração radioativa (ROBILOTTA, 2007).

A emissão de energia por um núcleo instável ou radioativo, o radionuclídeo, ocorre de acordo com certas regras de seleção, que vão determinar o seu modo de decaimento. O núcleo radioativo inicial é denominado nuclídeo-pai, que quando decai torna-se núcleo-filho, o qual se não for estável, pode ainda emitir energia para chegar a um outro radionuclídeo e, assim, sucessivamente até atingir um estado estável (ROBILOTTA, 2007).

Na natureza, existem muitos núcleos estáveis, que são, predominantemente, núcleos de elementos leves, enquanto os radionuclídeos naturais se encontram, em grande parte, na extremidade dos elementos mais pesados. Em especial, todos os núcleos com Z superior a 82 (chumbo) são radioativos e se desintegram até chegar a um núcleo estável do chumbo (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

A probabilidade de um radionuclídeo decair por unidade de tempo é dada pela constante de decaimento  $\lambda$ . Chama-se de meia vida ( $T_{1/2}$ ) o intervalo de tempo após o qual a metade de uma amostra de núcleos radioativos teria se desintegrado (TAUHATA et al., 2014).

Na medicina nuclear são utilizados vários tipos de radionuclídeos para fins diagnósticos e terapêuticos. Esses radionuclídeos ao sofrerem decaimento



radioativo emitem partículas  $\beta^-$ ,  $\beta^+$  e gama (MACHADO; PLEITZ; TIJERO, 2006). Essas partículas emitidas servem para produção de imagem e tratamento de câncer. Mesmo com todos os benefícios que podem ser gerados com a utilização dos radioisótopos, cuidados devem ser tomados já que estas partículas são consideradas ionizante e geram consequências biológicas (SANTOS, 2010; SEGRETO, 2013).

#### 2.1.4 Interações da radiação ionizante e os materiais

As interações entre a radiação e os materiais dependem das características da radiação dos átomos irradiados (OKUNO e YOSHIMURA, 2010). As principais radiações ionizantes emitidas a serem consideradas são: raios gama, radiação  $\beta^+$ ,  $\beta^-$  e partícula  $\alpha$  e nêutrons (ROBILLOTA, 2007).

##### 2.1.4.1 Partícula alfa ( $\alpha$ )

Um dos tipos de radiação emitido por um núcleo instável é a partícula alfa. A partícula alfa ( $\alpha$ ) é constituída de 2 prótons e 2 nêutrons. Como em sua estrutura há 2 prótons, a partícula alfa é uma partícula de carga +2 (HALLIDAY, 2012). Estas partículas estão fortemente ligadas entre si, pois, possuem alta energia de ligação e quanto maior a energia de ligação de um núcleo mais estável ele é (TAUHATA *et al.*, 2014).

Esta partícula é considerada pesada, pois é a única com 4 partículas e, por isso, sua massa é grande. Como a massa dessas partículas é grande comparada com uma emissão de elétrons pressupõe-se que a probabilidade de interação da alfa com a matéria é maior. O processo de decaimento é descrito na equação 1 como:

$$U_Z^A = \alpha + I_{Z-2}^{A-4} \quad (1)$$

onde, (Z) é o número atômico, (A) é número de massa, enquanto (U) e (I) simbolizam diferentes espécies atômicas (LIMA; GUIMARÃES, 2012).

#### 2.1.4.2 Partícula beta ( $\beta$ )

A emissão de radiação beta é o processo mais comum entre os núcleos leves ou de massa intermediária, que possuem um excesso de nêutrons ou de prótons em relação à estrutura estável correspondente. Radiação  $\beta$  é o termo usado para descrever elétrons de origem nuclear carregados negativamente ou positivamente (SANTOS, 2010).

Há cerca de 800 núcleos emissores de  $\beta^+$ . O decaimento  $\beta^+$  corresponde à conversão no núcleo de um próton (z) em um nêutron (n) + um pósitron ( $\beta^+$ ) + um neutrino (U), sendo os dois últimos ejetados. Uma reação típica é descrita na equação 2, como:



É interessante investigar o destino do pósitron emitido. Quando a partícula  $\beta^+$  para e encontra um elétron nas vizinhanças ocorre uma interação de aniquilação. O pósitron e o elétron desaparecem nessas interações e em seu lugar há a emissão de dois fótons de direções opostas, cada um com energia de 0,511 MeV. Algumas vezes, a aniquilação ocorre com o pósitron não em repouso e, nesse caso, os fótons carregam a energia cinética remanescente (JASINOWODOLINSKI; DIMENSTEIN, 2012).

O flúor 18 ( $F^{18}$ ) é um emissor de pósitron usado para marcar molécula similar a da glicose, que é administrada para se obter imagens do interior do corpo com a técnica Tomografia por Emissão de Pósitron. Por meio da Tomografia por Emissão de Pósitron, a imagem é feita detectando-se esses dois fótons simultaneamente (JASINOWODOLINSKI; DIMENSTEIN, 2012).

Há cerca de 660 núcleos emissores beta ( $\beta^-$ ) ocorre em átomos instáveis com número de nêutrons em

excesso em relação ao número de prótons, ou seja, faltam prótons. Para encontrar a estabilidade nuclear, o núcleo atômico transforma nêutrons em prótons para equilíbrio. Na transformação nêutrons em prótons o átomo emite partículas  $\beta^-$  e antineutrino ( $\bar{\nu}$ ) (TILLY JUNIOR, 2010).

Uma reação típica é descrita na equação 3 como:

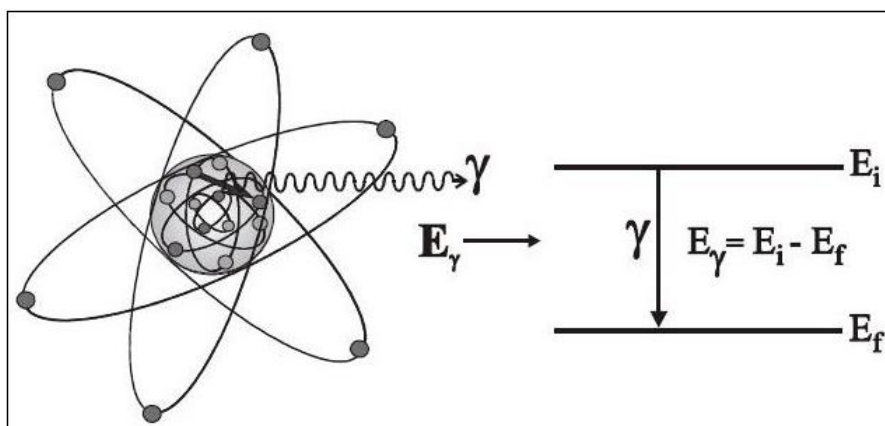


As partículas  $\beta^-$  têm pouco poder de penetração, ou seja, percorrem pequenas espessuras de materiais sólidos como, por exemplo, o tecido mole, onde a partícula  $\beta^-$  penetra apenas poucos milímetros (TAUHATA *et al.*, 2014).

#### 2.1.4.3 Raios gama

Os raios gama são radiações eletromagnéticas emitidas por núcleos que possuem núcleos em estados excitados e que, para atingir o equilíbrio, emitem o excesso de energia em forma de radiação. Os raios também podem ser produzidos em reações de aniquilação entre matéria e antimatéria (HALLIDAY, 2012).

A Figura 1 mostra a emissão de energia gama causada por uma variação de energia interna do núcleo.



**Figura 1 – Emissão de energia gama**  
 Fonte: Tauhata *et al.* (2014, p. 25).

A energia da radiação é quantizada, dependendo somente dos valores inicial e final da energia dos orbitais envolvidos nas transições; além de ser igual à energia quântica de qualquer fóton eletromagnético, ou seja descrita na equação 4:

$$E = h.f \quad (4)$$

onde, (E) é a energia da radiação emitida, (h) constante de Planck, cujo valor é  $6,6252 \times 10^{-34}$  J.s e (f) frequência da radiação.

A radiação gama possui um grande poder de penetração nos materiais, podendo percorrer grandes distâncias antes de interagir. Por conta disso, em medicina nuclear, a radiação mais interessante em nível de proteção radiológica é a gama.

#### 2.1.5 Processos de deposição de energia e de ionização

Os raios gama interagem indiretamente transferindo energia às partículas com cargas que produzirão ionização durante a passagem pelo material, destacando-se três processos principais de deposição de energia e de ionização: efeito fotoelétrico, efeito compton e criação de par elétron-pósitron (OLIVEIRA; LIMA GUIMARÃES, 2008; OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

Na medicina nuclear, os dois processos mais importantes de interação dos fótons com a matéria são: efeito fotoelétrico e efeito compton. A probabilidade de ocorrência desses efeitos depende tanto da energia do fóton (E) quanto do número atômico (Z) do meio absorvedor (SANTOS, 2010; TAUHATA *et. al.*, 2014).

A Figura 2 indica as regiões de (Z) do absorvedor em função da (E) energia do fóton incidente que cada interação predomina.

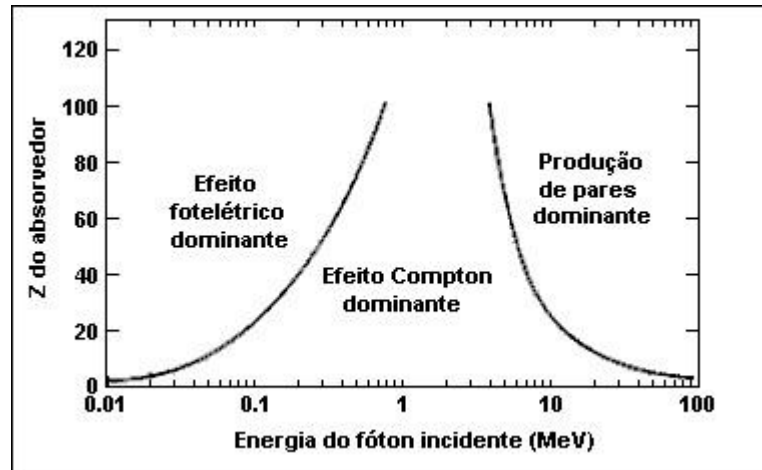


Figura 2 – Região de predominância de cada interação  
 Fonte: Tahuata et al. (2014, p. 78).

A absorção fotoelétrica ocorre quando a energia do fóton incidente é maior que à energia de ligação do elétron. No efeito fotoelétrico, a energia do fóton incidente é transmitida ao elétron orbital, expelindo-o com energia cinética, que é a diferença entre a energia de ligação e a energia do fóton incidente. Muitas vezes, neste tipo de interação o fóton incidente não possui energia maior que a energia de ligação do elétron orbital, neste caso o elétron não é expelido (ROBILOTTA, 2011; HALLIDAY, 2012).

O efeito fotoelétrico ocorre principalmente com elétrons dos orbitais mais internos do átomo (camada k), ou seja, quando a energia de ligação do elétron é maior. A direção de saída do fotoelétron em relação ao fóton incidente varia com a energia deste último. O fotoelétron pode ser expelido ou reabsorvido devido a seu pequeno alcance no material. Quando é ejetado, o fotoelétron rapidamente transfere sua energia para um meio absorvedor e pode produzir efeitos (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

O efeito Compton tem maior probabilidade de ocorrer para energias mais altas quando comparadas com o efeito fotoelétrico. Chamamos de efeito Compton a diminuição da energia de um fóton, ou seja, o aumento do seu comprimento de onda, tipicamente na faixa de raio gama que acontece devido à interação com a matéria. Seu estudo é importante devido à interação com os elétrons livres. (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

Para a faixa de energia dos isótopos de medicina nuclear há possibilidade de interagir por efeito fotoelétrico ou e Compton é maior. Para avaliar os tipos de

interação física gama com a matéria, as variáveis analisadas são número atômico do material e energia gama emitida (TAUHATA *et al.*, 2014).

Recentemente, no Brasil, a medicina nuclear iniciou a utilização de um radioisótopo emissor de pósitrons, o flúor ( $F^{18}$ ), que tem meia-vida de 110 minutos. Esse material emite um pósitron que, em uma reação de aniquilação, emite dois gamas em direções opostas, com energia de 511 keV cada (CASTRO JÚNIOR; ROSSI; DIMENSTEIN, 2000).

#### 2.1.6 Grandezas relevantes

As grandezas de física das radiações estão separadas em três principais categorias: grandezas físicas, grandezas de proteção e grandezas operacionais. As duas últimas foram apresentadas mais detalhadamente pela ICRU e ICRP (*International Commission on Radiological Protection*), a partir de 1985, especificamente para uso em proteção radiológica (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

##### 2.1.6.1 Grandezas físicas

As principais grandezas físicas são: exposição, dose absorvida e kerma. A grandeza exposição dá uma medida de capacidade de fótons ionizarem o ar (OKUNO e YOSHIMURA, 2010). A exposição caracteriza-se pela quantidade de íons de um mesmo sinal liberado em uma quantidade de ar devido à interação dos fótons com a matéria. Essa carga elétrica resulta das ionizações efetuadas por partículas carregadas, como o elétron emitido nos efeitos fotoelétrico e Compton, e ambos, elétron e pósitron, emitidos em processo de produção de pares (TAUHATA *et al.*, 2014; HALLIDAY, 2012).

A definição de exposição ( $X$ ) é descrita na equação 5:

$$X = \frac{dQ}{dm} \text{ ( C/kg)} \quad (5)$$

onde ( $dQ$ ) é o valor absoluto da carga total de íons de mesmo sinal, produzido no ar, quando todos os elétrons e pósitrons liberados ou criados por fótons, num elemento de volume de ar cuja massa é  $dm$ , forem completamente freados no ar. Note que, eventualmente elétrons e pósitrons liberados no volume de interesse podem sair dele e depositar a energia fora do volume. Mesmo nessa situação, os pares de íons produzidos devem ser contabilizados em ( $dQ$ ) (OKUNO e YOSHIMURA, 2010). Os instrumentos de medida da radiação, em sua maioria, registram a taxa de exposição, que é medida por unidade de tempo, isto é,  $C/(kg.h)$  ou  $C/(kg.s)$  (IPEN, 2002).

A grandeza física mais importante em radiobiologia, radiologia e proteção radiológica é a dose absorvida ( $D$ ), que se relaciona com a energia absorvida, diretamente ligada a danos biológicos (OKUNO e YOSHIMURA, 2010). A relação entre a energia absorvida e a massa de volume de material atingido é a base da definição da grandeza Dose absorvida. Entretanto, para especificar melhor as variações espaciais e evitar a variação da quantidade de energia absorvida em diferentes pontos do volume do material, a Dose absorvida é definida como uma função no ponto  $P$ , de interesse (TAUHATA *et al.*, 2014; OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

A dose absorvida é descrita na equação 6:

$$D = \frac{dE_{ab}}{dm} \quad (J.kg^{-1}=Gray) \quad (6)$$

onde ( $dE_{ab}$ ) é a energia média depositada pela radiação em um volume elementar de massa ( $dm$ ).

Ela foi introduzida em 1950 para ser usada principalmente em radioterapia para tratamento de tumores (TILLY JUNIOR, 2010). Precisava-se saber a quantidade de energia a ser fornecida ao tumor para matar células malignas. Essa grandeza vale para qualquer meio, para qualquer tipo de radiação e qualquer geometria de irradiação (WILLEGAIGNON; SAPIENZA; BUCHPIGUEL, 2013).

### 2.1.6.2 Grandezas de proteção

Entre as grandezas de proteção incluem-se a dose equivalente no tecido ou órgão e a dose efetiva.

A dose equivalente representa a quantidade de radiação absorvida em um determinado tecido levando em consideração o fator peso da radiação incidida (OKUNO e YOSHIMURA, 2010). A unidade da grandeza equivalente de dose no Sistema Internacional de Medidas SI, é o J/kg, que recebe o nome especial de sievert (TILLY JUNIOR, 2010).

A dose equivalente ( $H_T$ ) é o produto da dose absorvida em um ponto de interesse no tecido e o correspondente fator de qualidade neste ponto (ICRU, 2007). A equação 9 a seguir representa a dose equivalente.

$$H_T = \frac{dE \cdot w_R}{dm} \quad (\text{J/kg} = \text{sievert}) \quad (7)$$

onde ( $dE$ ) é a energia absorvida no meio em um elemento de volume de massa ( $dm$ ). O fator peso da radiação ( $w_R$ ) é baseado na avaliação da eficiência biológica relativa (RBE) dos diferentes tipos de radiação com respeito aos efeitos estocásticos. Valores de RBE são dados como a relação entre as doses absorvidas de dois tipos de radiação produzindo um mesmo efeito biológico nas mesmas condições de irradiação. O RBE está relacionado com a densidade de ionizações ao longo do caminho das partículas carregadas no tecido (SALVAJOLLI; SOUNHAMI; FARIA, 1999).

A grandeza de dose efetiva serve para estabelecer limite de exposição do corpo todo à radiação, a fim de limitar a ocorrência de efeitos cancerígenos e hereditários (OKUNO e YOSHIMURA, 2010; SOARES; PEREIRA; FLÔR, 2011). É a soma de doses equivalentes nos tecidos ou órgãos multiplicada pelo fator de ponderação de tecido ou órgão e sua unidade é o sievert e será mostrada na equação 10:

$$H_E = H_T \cdot w_T \quad \left(\frac{J}{kg} = \text{Sievert}\right) \quad (8)$$



onde ( $H_E$ ) é a dose efetiva, ( $H_T$ ) dose equivalente e ( $w_T$ ) fator de ponderação no tecido (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

Os fatores de ponderação de tecido ou órgão ( $w_T$ ) são relacionados com a sensibilidade de um dado tecido ou órgão à radiação, no que concerne à indução de câncer e a efeitos hereditários. São valores médios obtidos de muitos indivíduos de ambos os sexos. Os valores de ( $w_T$ ) nas recomendações de 1977 eram baseados em risco de morte de câncer e sérias doenças hereditárias nas primeiras duas gerações. Nas recomendações de 1990, os valores de ( $w_T$ ) foram obtidos considerando não só o risco de morte por câncer, mas por doenças hereditárias em toda as futuras gerações. Levou-se em conta, ainda, o detrimento, conceito complexo que considera a gravidade da doença, a qualidade de vida e os anos de vida perdidos por causa dos efeitos danosos. Os novos valores de ICRP 2007 resultaram de estudos epidemiológicos mais recentes de sobreviventes das bombas atômicas de Hiroshima e Nagasaki de dosimetrias mais precisas (ICRP, 2007).

### 2.1.6.3 Grandezas operacionais

As duas principais grandezas operacionais são o equivalente de dose pessoal e o equivalente de dose ambiente.

O equivalente de dose pessoal é uma grandeza operacional de monitoração individual externa (radiação que incide em um indivíduo de fora para dentro do corpo). A grandeza é obtida pelo produto da dose absorvida no ponto, na profundidade  $d$  do corpo humano, pelo fator de  $Q$  no ponto. O valor ( $H_p$ ) é obtido por meio individual que o IOE utiliza no local do corpo representativo à exposição, geralmente no tórax. Na rotina, a dose é acumulada durante um mês para posterior processamento do dosímetro. O valor obtido deve fornecer uma estimativa conservadora da dose efetiva (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

Equivalente de dose ambiental,  $H^*(10)$ , é definido como o equivalente de dose produzido por um campo de radiação expandido e alinhado, a uma profundidade de 10 mm em uma esfera ICRU. Essa grandeza operacional é recomendada pela Comissão Internacional de Unidades e Medidas da Radiação (ICRU) para a monitoração de área. Com base na sua definição, as medidas em

termos de  $H^*(10)$  devem ser efetuadas com um instrumento com resposta isotrópica e com um volume sensível pequeno a fim de não perturbar o campo de radiação. Na prática, no entanto, os monitores de área geralmente encontrados são projetados para medidas de exposição ou de Kerma no ar. Por essa razão alguns equipamentos que apresentam excelente resposta em termos de exposição são inadequados para medidas em termos de  $H^*(10)$  (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

## 2.2 EFEITOS BIOLÓGICOS

O processo de ionização ao alterar os átomos retirando elétrons, pode alterar a estrutura das moléculas que os contêm. Se a energia de excitação ultrapassar a energia de ligação entre os átomos, pode ocorrer quebra das ligações químicas e conseqüentes mudanças moleculares. Da energia transferida pela radiação ao tecido, metade dela induz excitações, cujas conseqüências, são menores que as de ionização (SALVAJOLLI, SOUNHAMI e FARIA, 1999).

Se as moléculas alteradas compõem uma célula, esta pode sofrer as conseqüências de suas alterações, direta ou indiretamente, com a produção de radicais livres, íons e elétrons. Os efeitos da radiação dependem da dose, taxa de dose, do fracionamento, do tipo de radiação, do tipo de célula ou tecido e do indicador considerado. Tais alterações nem sempre são nocivas ao organismo humano. Se a substância alterada possui um papel crítico para o funcionamento da célula, pode resultar na alteração ou na morte da célula. Em muitos órgãos e tecidos o processo de perda e reposição celular, faz parte de sua operação normal. Quando a mudança tem caráter deletério, ela significa um dano (SEGRETO, 2013).

Dos danos celulares, os mais importantes são os relacionados à molécula de DNA. As lesões podem ser quebras simples e duplas da molécula, ligações cruzadas, alterações nos açúcares ou em bases do DNA (SCAFF, 1997).

As células danificadas podem morrer ao tentar se dividir ou conseguir realizar reparos mediados por enzimas. Se o reparo é eficiente e em tempo curto, o DNA pode voltar à sua composição original, sem conseqüências posteriores. Em um reparo propenso a erros, pode dar origem a mutações na sequência de bases ou rearranjos mais grosseiros, podendo levar à morte da célula ou a alterações no

material genético das células sobreviventes, com consequências em longo prazo (SEGRETO, 2013).

### 2.2.1 Danos biológicos causados pela radiação

Os efeitos biológicos são descritos por estudos de radiobiologia, em que são estabelecidas as relações de doses *versus* efeito. A radiobiologia é a parte da ciência que estuda os efeitos das radiações ionizantes nos organismos vivos. Toda matéria é feita de átomos. Existem aproximadamente 105 tipos diferentes de átomos que se combinam e formam moléculas que, por sua vez, apresentam diferentes tamanhos, formas e funções. A vida, do ponto de vista biológico, decorre de uma sequência integrada e complexa de reação química, que acontece dentro das mais variadas células existentes no organismo (TAUHATA et al., 2014).

O primeiro efeito insalubre das radiações ionizantes ocorre quando sua energia é depositada nos átomos e moléculas de um indivíduo, provocando a ocorrência de dois efeitos – ionização e excitação – que são prejudiciais às moléculas (SEGRETO, 2013; TAUHATA et al., 2014).

A interação da radiação ionizante com os tecidos poderá produzir quebras cromossômicas e aberrações de diversos tipos. A quantidade do dano biológico produzido dependerá da energia depositada, ou seja, da dose de radiação. Dependendo da dose, a radiação ionizante poderá induzir um efeito biológico em órgãos e tecidos (DIMENSTEIN; GHILARDI NETTO, 2005).

### 2.2.2 Classificação dos efeitos biológicos

Os efeitos radioinduzidos podem receber denominações em função do valor da dose e forma de resposta, em função do tempo de manifestação e do nível orgânico atingido. Assim, em função de dose e forma de resposta, são classificados em estocásticos e determinísticos; em termos do tempo de manifestação, em

imediatos e tardios; em função do nível de dano, em somáticos e genéticos (hereditário) (TAUHATA *et al.*, 2014; SANTOS, 2010).

#### 2.2.2.1 Efeitos estocásticos

São efeitos em que a probabilidade de ocorrência é proporcional à dose de radiação recebida, sem a existência de limiar. Isto significa que doses pequenas, abaixo dos limites estabelecidos por normas e recomendações de radioproteção, podem induzir tais efeitos. Entre estes efeitos, destaca-se o câncer. A probabilidade de ocorrência de um câncer radioinduzido depende do número de clones de células modificadas no tecido ou órgão, uma vez que depende da sobrevivência de pelo menos um deles para garantir a progressão. O período de aparecimento do câncer após a exposição pode chegar até 40 anos. No caso, da leucemia, a frequência passa por um máximo entre 5 e 7 anos, com período de latência de 2 anos (OKUNO e YOSHIMURA, 2013; TAUHATA *et al.*, 2014). Os efeitos estocásticos mais conhecidos são os desenvolvimentos de cânceres sólidos e leucemias (LITTLE *et al.*, 2009; FAZEL *et al.*, 2009).

#### 2.2.2.2 Efeitos determinísticos

São efeitos causados por irradiação total ou localizada de um tecido, causando um grau de morte celular não compensado pela reposição ou reparo, com prejuízos detectáveis no funcionamento do tecido ou órgão. Existe um limiar de dose, abaixo do qual a perda de células é insuficiente para prejudicar o tecido ou órgão de um modo detectável. Isto significa que, os efeitos determinísticos, são produzidos por doses elevadas, acima do limiar, onde a severidade ou gravidade do dano aumenta com a dose aplicada (TAUHATA *et al.*, 2014).

Para doses superiores a 0,5 Gy o efeito da radiação é chamado determinístico ou, mais comumente, não estocástico. (OKUNO e YOSHIMURA,

2013). Exemplos de efeitos determinísticos incluem, eritema, indução a catarata, epilação e indução a fertilidade. Anorexia, náuseas, vômitos e diarreias são síndromes agudas da radiação que ocorrem a partir de doses superiores a 1,0 Gy. Uma dose de 1,0 Gy no corpo inteiro induz a efeitos severos como os já descritos, mas uma dose de 1,0 Gy em somente uma parte do corpo pode não ter efeitos tão severos (TAUHATA *et al.*, 2014).

Para doses entre 5,0 Gy a 10,0 Gy, síndromes do trato gastrointestinal e pulmonares ocorrem com óbito entre dez e vinte dias após a exposição. Para irradiações superiores a 10,0 Gy, o dano no sistema nervoso leva a um tempo de vida inferior a uma semana (TAUHATA *et al.*, 2014).

Para doses de 1,0 Gy são observadas reduções de linfócitos, que são as células mais sensíveis do corpo, enquanto para doses com a irradiação de corpo inteiro de 3,0 Gy a 5,0 Gy os efeitos determinísticos são letais, ocorrendo o óbito em um período de um a dois meses após a irradiação, se não houver tratamento. O principal dano ao corpo humano, que contribui para a morte, é o que ocorre na medula óssea (CASTRO JÚNIOR; ROSSI; DIMENSTEIN, 2000; SANTOS, 2010).

É Preciso considerar que nos procedimentos de diagnósticos com radioisótopos, a probabilidade de ocorrências de efeitos biológicos do tipo determinísticos é praticamente nula (DIMENSTEIN, 2007).

### 2.2.2.3 Efeitos somáticos

Os efeitos somáticos surgem do dano nas células do corpo e aparecem na própria pessoa irradiada. Dependem da dose absorvida, da taxa de absorção da energia da radiação, da região e da área do corpo irradiada (SANTOS, 2010).

Os efeitos somáticos podem ser observados em pessoas com câncer que fazem tratamentos de radioterapia e em pessoas que receberam a radiação da bomba atômica lançada em Hiroshima e Nagasaki. Geralmente, os efeitos somáticos aparecem de forma imediata e podem ser observados por um pequeno período após a exposição à radiação (LITTLE *et al.*, 2009).

#### 2.2.2.4 Efeitos genéticos ou hereditários

Os efeitos genéticos (hereditários) são aqueles que podem surgir quando as gônadas (testículos e ovários) são expostas às radiações ionizantes, afetando as futuras gerações das pessoas irradiadas. As radiações são absorvidas pelas células germinativas (espermátides e ovogônia), podendo haver uma alteração da informação genética codificada e provocando como consequência uma mutação genética. Se a célula mudada for, mais tarde, utilizada na concepção, o dano será incorporado ao óvulo fertilizado e, durante o período da gravidez, quando o zigoto se reproduzir, esse dano será fatalmente transmitido (TAUHATA *et al.*, 2014).

O resultado é que todas as células do recém-nascido conterão as informações genéticas modificadas, incluindo ainda as células germinativas. Isso significa que, quando a criança se transformar em um adulto e gerar um filho, a transferência dessa informação genética alterada será inevitável, podendo continuar por muitas gerações. Algumas dessas mutações chegam a ser letais antes do nascimento do organismo, enquanto outras podem produzir defeitos físicos nas crianças ou simplesmente aumentar a susceptibilidade dos defeitos bioquímicos que podem não ser facilmente observados (TAUHATA *et al.*, 2014).

### 2.3 PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

#### 2.3.1 Princípios de proteção radiológica

A principal finalidade da proteção radiológica é proteger os indivíduos, seus descendentes e a humanidade como um todo dos efeitos danosos das radiações ionizantes, permitindo, desta forma, as atividades que fazem uso das radiações (IAEA, 2002).

Há duas situações em que as pessoas podem ficar sujeitas às radiações ionizantes: a) situação normal, em que a fonte radioativa encontra-se controlada e a exposição limitada com a utilização de medidas adequadas de controle; e b)

situação anormal ou acidental, em que se perde o controle sobre a fonte de radiação e a exposição, requerendo medidas corretivas (ENGELBRECHT; SCHWAIGER, 2008; SILVA et al., 2012).

As exposições à radiação são divididas em exposições médicas, do público e ocupacional. São consideradas como exposição: a) médica: exposição a que são submetidos pacientes, acompanhantes e voluntários em programas de pesquisa médica; b) do público: exposição do indivíduo do público a fontes e práticas autorizadas ou situação de intervenção; e c) ocupacional: exposição de um indivíduo em decorrência do seu trabalho com fontes de radiação (CNEN, 2014).

Para atingir essa finalidade, três princípios básicos da proteção radiológica são estabelecidos: Justificação, Otimização e Limite de Dose (ANVISA, 1998).

#### 2.3.1.1 Justificação

As atividades envolvendo radiação devem ser justificadas em relação a outras opções e também produzir um benefício positivo para a sociedade. As exposições médicas devem ser justificadas ponderando-se os benefícios diagnósticos e terapêuticos que elas venham a produzir em relação ao detrimento correspondente, levando-se em conta os riscos e benefícios das técnicas alternativas disponíveis que não envolvam exposição (MACHADO *et. al.*, 2011). As exposições dos trabalhadores devem ser avaliadas mensalmente de modo que haja controle das doses recebidas por estes durante o trabalho (CNEN, 2014).

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

### 2.3.1.2 Limites de dose

Limites de dose representam um valor máximo de dose, abaixo do qual os riscos decorrentes da exposição à radiação são considerados aceitáveis. No caso das radiações ionizantes, são estabelecidos limites de dose anuais máximos admissíveis, que são valores de dose às quais os indivíduos podem ficar expostos, sem que isto resulte em um dano à sua saúde, durante toda sua vida. Para o estabelecimento dos limites máximos admissíveis para trabalhadores foram considerados os efeitos somáticos tardios, principalmente o câncer (MACHADO *et. al.*, 2011).

As medidas adotadas para situações normais de operação devem ser tais que os limites de dose para trabalhadores e para indivíduos do público não excedam aos níveis recomendados pela CNEN.

O Quadro 1 indica os limites primários anuais de dose equivalente para alguns órgãos isolados e o limite de dose equivalente efetiva para o corpo inteiro.

<b>Dose equivalente trabalhador/público</b>	<b>Indivíduo Ocupacionalmente Exposto – IOE (mSv)</b>	<b>Indivíduo Público - I.P.(mSv)</b>
Efetiva	20	1
Cristalino	20	15
Pele	500	50
Extremidades	500	...

**Quadro 1 – Limites de dose de acordo com a norma CNEN NN-3.01**

Fonte: CNEN 3.01 (2014, p. 14).

A primeira verificação do cumprimento dos limites primários muitas vezes não é praticável e, então, são utilizadas outras grandezas cuja avaliação é possível e que são definidas como limites secundários (CNEN 3.01, 2014), ou seja:

- a) Mulher grávida não deve ser afastada do serviço. Com relação à gravidez, uma vez constatada a concepção, a dose no feto não deverá exceder a 1 mSv durante todo o período de gestação.
- b) Acompanhantes não devem ultrapassar 5 mSv. Quando os acompanhantes forem crianças a dose não deve ultrapassar 1 mSv.
- c) Indivíduos abaixo de 18 anos não devem receber doses por exposição ocupacional.



d) Maiores de 18 anos não devem receber por ano, doses maiores que o limite primário para trabalhadores.

De acordo com a norma da NN-CNEN 3.01 de 2014, além dos limites é importante que os níveis de referência para investigação de doses sejam avaliados. Sendo que mensalmente o IOE poderia receber até 1 mSv/mês ou 6 mSv/ano com relação a dose efetiva acumulada.

### 2.3.1.3 Otimização

Toda exposição à radiação ionizante pode trazer riscos à saúde humana, e estes riscos aumentam de forma proporcional às radioexposições. As aplicações que resultam em aumento de exposições devem ser justificadas, para garantir que o benefício decorrente dessa aplicação seja maior que o risco devido ao aumento a exposição (CNEN NN-3.01, 2005).

Mesmo que a aplicação das radiações ionizantes seja justificada e que os limites de dose sejam obedecidos, é necessário otimizar os níveis de radiação, ou seja, a exposição de indivíduos a fontes de radiação deve ser mantida “tão baixo quanto razoavelmente exequível”, considerando-se fatores sociais e econômicos (IAEA, 2008; SANTOS, 2010).

O projeto, o planejamento do uso e a operação de instalação ou de fontes de radiação devem ser feitos de modo a garantir que as exposições médicas, exposições ocupacionais e exposições do público sejam tão reduzidas quanto razoavelmente exequíveis, levando-se em consideração fatores sociais e econômicos (MACHADO *et. al.*, 2011; KOMATSU, 2013). Nesse processo de otimização, deve ser observado que as doses, tórax e extremidades, decorrentes de exposição à fonte devem estar sujeitas às restrições de dose relacionadas a essa fonte (KUBO, 2011).

A otimização da radioproteção deve ser aplicada em dois níveis: nos projetos e construções de equipamentos e instalações e nos procedimentos de trabalho (ANVISA, 1998; SANTOS, 2010). No emprego de radiações na área de saúde, deve-se dar ênfase à otimização da proteção nos procedimentos de trabalho

por exercer uma influência direta na qualidade e na segurança da assistência aos pacientes.

As exposições médicas de pacientes devem ser otimizadas ao valor mínimo necessário para obtenção do objetivo radiológico (diagnóstico e terapêutico), compatível com os padrões aceitáveis de qualidade de imagem (CNEN NN-3.01, 2005). Para tanto, no processo de otimização de exposições médicas, devem-se considerar:

- a) a seleção adequada do equipamento e dos acessórios;
- b) os procedimentos de trabalho;
- c) a garantia da qualidade;
- d) os níveis de referência de radiodiagnóstico para pacientes; e
- e) as restrições de dose para indivíduo que colabore, conscientemente e de livre vontade, fora do contexto de sua atividade profissional, no apoio e conforto de um paciente, durante a realização do procedimento radiológico.

Segundo CNEN NN-3.01 (2005), devem ser tomadas medidas para reduzir, o quanto for exequível, a contribuição de erros humanos que levem a acidentes ou outros eventos que possam vir a originar exposições inadvertidas ou não intencionais em qualquer indivíduo.

De acordo com a Norma CNEN NN-3.01 (2013), a otimização deve ser feita avaliando as exposições médicas, exposições ocupacionais e exposições do público e somente não é necessária se no ano:

- a) a dose individual for menor que  $10\mu\text{Sv}$ ;
- b) a dose dos trabalhadores for menor que  $1\text{mSv}$ ;
- c) a dose coletiva menor que 1 pessoa.sievert.

A monitoração de área em serviços de medicina nuclear tem por objetivo controlar e estimar as doses recebidas pelos trabalhadores, pacientes e indivíduos do público (CNEN 3.01, 2005). Os titulares e empregadores são responsáveis pela avaliação da exposição ocupacional dos indivíduos operacionalmente expostos (IOE). Essa avaliação deve estar baseada na monitoração individual e de área, conforme estabelecido no item 5.9.2 da norma CNEN 3.01 (2005).

Segundo a norma CNEN 3.05 (2013), deve ser feito o levantamento radiométrico, com periodicidade máxima quinzenal, considerando todos os pontos de abrigo de fontes radioativas e o valor da radiação de fundo em área livre. Caso a análise do levantamento radiométrico indique que os níveis operacionais de dose

possam ser ultrapassados nas áreas monitoradas, a utilização de blindagens e adoção de outras medidas de proteção radiológica devem ser consideradas.

Ainda de acordo com a norma CNEN 3.01 (2005), o sistema de garantia da qualidade estabelecido e implementado pelo titular deve proporcionar, no que se refere à proteção radiológica:

- a) garantia de que os requisitos especificados estão satisfeitos;
- b) os mecanismos e procedimentos de controle da qualidade, para revisar e avaliar se as medidas de proteção radiológica adotadas são efetivas.

Devem ser tomadas medidas para reduzir, o quanto for exequível, a contribuição de erros humanos que levem a acidentes ou outros eventos que possam vir a originar exposições inadvertidas ou não intencionais em qualquer indivíduo (NN-CNEN 3.01, 2005). Segundo Oliveira (2013), o programa de monitoração de área ou mapa espacial de dose é uma ferramenta que auxilia no processo de investigação de doses.

A Norma Regulamentadora NR-9 (BRASIL - MTE, 2014) estabelece “a obrigatoriedade da elaboração e implementação, por parte de todos os empregadores e instituições que admitam trabalhadores como empregados, do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais - PPRA, visando à preservação da saúde e da integridade dos trabalhadores, através da antecipação, reconhecimento, avaliação e conseqüente controle da ocorrência de riscos ambientais existentes ou que venham a existir no ambiente de trabalho, tendo em consideração a proteção do meio ambiente e dos recursos naturais”. Segundo a norma, o PPRA deve ser desenvolvido e implementado com a participação dos trabalhadores, sendo discutido seu documento-base e alterações na CIPA, quando esta existir na empresa. A norma considera riscos ambientais os agentes físicos, químicos e biológicos existentes nos ambientes de trabalho que, em função de sua natureza, concentração ou intensidade e tempo de exposição, são capazes de causar danos à saúde do trabalhador.

Tradicionalmente, entretanto, as avaliações de risco são realizadas por especialistas – que aplicam métodos científicos cada vez mais sofisticados para identificar e mensurar quantitativamente os riscos – ou são baseados em instrumentos pré-definidos por comissões de biossegurança ou de qualidade para avaliar os riscos e a conformidade a práticas de segurança. Essas abordagens valorizam a adesão a padrões previamente estabelecidos e a modelagem de

atitudes e comportamentos dos trabalhadores (uso de equipamento de proteção individual, adesão a boas práticas e capacitação de recursos humanos) e dos ambientes (otimização de infraestrutura). Segundo a ICRU (1985) e Peixoto (1987), a monitoração especial visa fornecer informações mais detalhadas, de modo a esclarecer os problemas e definir procedimentos futuros. Qualquer programa de monitoração especial deve, dessa forma, ter objetivos bem determinados e duração limitada, dando lugar à rotina apropriada, ou à monitoração operacional, quando os objetivos forem atingidos.

### 2.3.2 Proteção dos pacientes contra a irradiação externa

A dose equivalente recebida pelos pacientes de medicina nuclear proveniente de irradiação externa é função da atividade recebida por outros pacientes, distâncias entre os pacientes, tempo de meia vida dos radionuclídeos, tempo de permanência na sala de espera, entre outros. Desta forma, existem várias maneiras para se reduzir a dose equivalente recebida pelos pacientes, tais como tempo de irradiação, distância da fonte radioativa e blindagem. Essa redução de dose pode também ser conseguida utilizando-se os requisitos básicos de radioproteção (CASTRO JÚNIOR, ROSSI e DIMENSTEIN, 2000).

A dose recebida por irradiação externa é diretamente proporcional ao tempo. Quanto maior o tempo de irradiação maior a dose recebida. Evidentemente, a redução do tempo de irradiação deve ser compatível com a correta realização das operações necessárias para o bom funcionamento da instalação (COUTINHO; GUIMARÃES, 2012).

A redução da atividade da fonte pode ser conseguida diminuindo-se a quantidade de material radioativo manipulado. Esta redução pode ser obtida, por exemplo, fracionando-se a fonte em fontes com atividades menores. Outro procedimento para redução da atividade de uma fonte é seu armazenamento para que ocorra o decaimento radioativo do material. Este processo é geralmente empregado para radionuclídeos de meia-vida curta e, principalmente, para rejeitos radioativos. Para tanto é necessário ter locais adequados para armazenamento do material, de acordo com suas características (COUTINHO; GUIMARÃES, 2012).

A dose de radiação recebida por um indivíduo é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre o indivíduo e a fonte, ou seja, à medida que um indivíduo se afasta da fonte de radiação, a dose por ele recebida diminui. Conhecendo-se, portanto, a taxa de dose a uma determinada distância da fonte, pode-se calcular a taxa de dose resultante em qualquer distância (SANTOS, 2010).

Segundo Tahuata et al. (2014), é possível verificar a taxa de dose em várias distâncias utilizando a equação 11:

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{(d_2)^2}{(d_1)^2} \quad (11)$$

onde, ( $H_1$ ) é a dose equivalente efetiva inicial a uma certa distância ( $d_1$ ) e ( $H_2$ ) é a dose equivalente efetiva inicial a uma certa distância ( $d_2$ ).

Outra forma de reduzir a exposição de radiação recebida pelos pacientes é através da blindagem, que pode ser conceituada como todo sistema destinado a atenuar um campo de radiação por interposição de um meio material entre a fonte de radiação e as pessoas ou objetos a proteger, sendo a blindagem o método mais importante de proteção contra a irradiação externa. Para um bom planejamento no processo de blindagens de paredes estas devem ser otimizadas e seguidas de uma avaliação no tipo de material utilizado, espessura de parede, custos totais e detrimientos causados pela exposição à radiação (OREJUELA et al., 2010).

### 2.3.2.1 Monitoração individual externa para fótons

A nova norma NN-CNEN 3.01 (2005), estabelece que nos serviços de medicina nuclear o uso do dosímetro deve ser individual, o mesmo deve ser trocado mensalmente e seu uso exclusivo do serviço de medicina nuclear e uso exclusivo da prática de medicina nuclear.

A monitoração individual externa tem como objetivo a obtenção de dados para avaliar as doses equivalentes recebidas pelo corpo inteiro, pela pele ou pelas

extremidades, quando o indivíduo é irradiado externamente (MACHADO *et al.*, 2013).

Nesta monitoração, dosímetros individuais são colocados em determinadas regiões do corpo, geralmente no tórax e são utilizados continuamente pelo indivíduo, durante a jornada de trabalho. Os dosímetros mais utilizados com esta finalidade são: os filmes dosimétricos, os dosímetros termoluminescentes, as câmaras de ionização de bolso e os dosímetros eletrônicos de alerta (TAUHATA *et al.*, 2014).

Os filmes dosimétricos e os dosímetros termoluminescentes são de leitura indireta e necessitam ser recolhidos periodicamente (geralmente dentro de um mês) para a avaliação das doses (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

As câmaras de ionização de bolso e os dosímetros eletrônicos de alerta são providos de escalas visíveis, que permitem a avaliação imediata das doses recebidas pelo usuário. Os dosímetros eletrônicos de alerta (visuais ou sonoros), além de registrar a dose, emitem sinais sonoros ou luminosos, alertando imediatamente o usuário quando um valor de dose pré-estabelecido for atingido (TAUHATA *et al.*, 2014).

#### 2.3.2.2 Monitoração do nível de radiação ambiente

A monitoração do nível de radiação é utilizada para dar uma indicação dos níveis de radiação existentes em locais de trabalho (CNEN NN-3.05, 2013). Por este método, pode-se estimar com antecedência a dose esperada nas pessoas que permanecerem nesta área, por um determinado tempo, podendo-se adverti-las quando os níveis de radiação forem inadequados (CNEN NN-3.01, 2005).

Deste modo, um programa de controle pode ser utilizado para um número específico de fins, dependendo da natureza e da extensão da prática. Estes efeitos podem incluir: a) confirmação de boas práticas de trabalho e normas; b) prestação de informações sobre as condições no local de trabalho e meios de determinar se estes estão sob controle satisfatório e se alterações operacionais melhoraram ou pioraram as condições radiológicas de trabalho; c) estimativa da exposição real dos trabalhadores, para demonstrar a conformidade com os requisitos regulamentares; d) avaliação e desenvolvimento de procedimentos operacionais de avaliação de

dados de monitoração recolhidos para os indivíduos e grupos; e) fornecimento de informações que podem ser usadas para permitir que os trabalhadores compreendam como, quando e onde eles estão expostos e motivá-los a reduzir a sua exposição; e f) prestação de informações para a avaliação de doses em caso de acidente (IAEA, 2003).

De acordo com Engelbrecht e Schwaiger (2008), os programas de monitoração de rotina são projetados a fim de verificar o cumprimento dos limites nacionais ou internacionais, e as restrições previstas para a proteção da população em nível apenas detectável.

Os instrumentos utilizados na monitoração do nível de radiação são: câmaras de ionização, detectores Geiger-Muller, cintiladores, entre outros. Estes monitores, utilizados nas áreas de trabalho, são geralmente calibrados para medir as taxas de dose (mSv/h ou mGy/h) ou as taxas de exposição (mC/(kg.h)). Segundo Engelbrecht e Schwaiger (2008), o mais simples e menos caro e, portanto, mais difundido método de monitoramento ambiental é a contínua e de controle remoto de medição de taxa de dose ou de dose gama integrada ao longo de um determinado período de tempo. Atualmente, um aparelho portátil comumente utilizado em medicina nuclear é o detector Geiger-Muller, muitas vezes denominado “detector beta gama” (DEMIR *et al.*, 2010; GUTIERREZ-VILLANUEVA *et al.*, 2013).

Este tipo de aparelho possui um invólucro metálico com uma janela. Quando esta janela estiver fechada, permite detecção apenas da radiação gama e, quando aberta, permite detectar as radiações gama e beta (TAUHATA *et al.*, 2014).

Monitores do tipo fixo podem ser instalados em locais estratégicos. Medem o nível de radiação constantemente e, quando um nível pré-determinado é atingido, um sinal de alerta luminoso e/ou sonoro chama a atenção do operador, não permitindo que ele receba uma dose excessiva de radiação. É importante que trabalhadores saibam utilizá-los de forma correta já que apresenta variação na eficiência (DUARTE *et al.*, 2012).

## 2.4 NORMAS DE SEGURANÇA PARA SERVIÇOS DE MEDICINA NUCLEAR

Um serviço de medicina nuclear só pode funcionar mediante a liberação e autorização da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), órgãos estes competentes por regulamentar a instalação e o funcionamento dos serviços de medicina nuclear do país.

A ANVISA, por meio das Resoluções RDC nº. 50/2002 (ANVISA A., 2002), RDC nº. 189/2003 (ANVISA B., 2003) e RDC nº. 38/2008 (ANVISA C., 2008), dispõe de normativas sobre o desenvolvimento de atividades em medicina nuclear, organização, infraestrutura física, equipamentos, produtos e procedimentos clínicos e ressalta, ainda, no item 4.1.4 da RDC nº. 38 DE 2008 que o alvará de funcionamento do serviço será expedido pela Vigilância Sanitária local, estando este condicionado à apresentação da Autorização para Operação a ser emitida pela CNEN.

A CNEN, por sua vez, é responsável por regulamentar as práticas de manuseio, produção, posse, utilização, transporte, armazenamento e a deposição de materiais radioativos, bem como por estabelecer requisitos de radioproteção, segurança e as condições relacionadas à estrutura física dos serviços de medicina nuclear (CNEN, 2013).

Atualmente, cerca de quarenta normas mandatórias emitidas pela CNEN estão em vigor, algumas delas sobre aspectos muito específicos do uso de radiação ou de materiais nucleares como a CNEN-NN-3.01 (CNEN, 2011) que institui os aspectos básicos de proteção radiológica. Essa norma contempla traduções, associadas a adaptações, do documento da *International Commission on Radiological Protection* – ICRP 60 (ICRP, 1990) atualizado na publicação ICRP 103 (ICRP, 2007).

A norma CNEN-NN-3.05 estabelece os requisitos de radioproteção e segurança para serviços de medicina nuclear, dentre os quais se destacam as dependências físicas consideradas indispensáveis ao serviço: sala de espera de pacientes, sanitário de uso exclusivo de pacientes, sala para armazenamento de rejeitos radioativos, laboratório de manipulação e armazenamento de fontes em uso, sala de administração de radiofármacos, sala de exames e quarto para internação



de paciente que recebe dose terapêutica com sanitário exclusivo (doses terapêuticas de iodo 131 maiores do que 50 mCi).

O Ministério do Trabalho e Emprego também traz, por meio da Norma Regulamentadora nº. 32 (MTE, 2005), orientações quanto à segurança e saúde no trabalho em ambientes de medicina nuclear contidos em Estabelecimentos de Assistência à Saúde.

Para que haja segurança em um serviço de medicina nuclear é importante que todas as normas e requisitos de radioproteção sejam respeitados, de modo que traga segurança aos trabalhadores, pacientes e indivíduos do público. De acordo com Madsen *et al.* (2006), o planejamento cuidadoso do engenheiro e de um físico médico qualificados também é necessário para produzir segurança, mantendo os padrões de radioproteção no serviço. Por outro lado, o não cumprimento das normas estabelecidas pode acarretar a suspensão das atividades do serviço (MENDES, FONSECA e CARVALHO, 2004).

#### 2.4.1 Ambientes de um serviço de medicina nuclear, de acordo com a ANVISA

A RDC nº. 50/2002 estabelece os ambientes que devem fazer parte desta unidade, são eles:

- laboratório de manipulação e estoque de fontes em uso;
- sala de decaimento;
- box para coleta de material;
- sala de administração de radiofármacos;
- sala ou box de pacientes injetados;
- sala de exames;
- sala de laudos e arquivos;
- quarto para internação com banheiro exclusivo

É importante ressaltar que para o funcionamento desta unidade é imprescindível a existência dos chamados ambientes de apoio técnico e logístico. Fazem parte destes ambientes de apoio: depósito de material de limpeza, área de recepção e espera para pacientes e acompanhantes, sanitários com vestiário para pacientes exclusivo da unidade, copa, sanitários para funcionários, laboratório de

revelação de filmes (*in loco* ou não), sala de utilidades, rouparia, sala administrativa, área para guarda de macas e cadeira de rodas, dentre outros (ANVISA A, 2002).

A Norma do CNEN-NE-3.05 (2013) coloca como indispensável os seguintes ambientes para um serviço de Medicina Nuclear:

- sala de espera de pacientes;
- sanitário exclusivo de pacientes;
- local para armazenamento de rejeitos radioativos;
- laboratório de manipulação e armazenamento de fontes em uso;
- sala de administração de radiofármacos;
- sala de exame;
- quarto para internação de paciente com dose terapêutica, com sanitário privativo (quando forem aplicadas doses terapêuticas de iodo-131);
- sala de espera pacientes PET; e
- sala para avaliação de stress cardíaco.

Diferente da RDC nº. 50, esta norma não estabelece valores para a área dos ambientes, observa-se que todos os ambientes relacionados nesta última constam na RDC nº. 50, mas a recíproca não é verdadeira.

#### 2.4.1.1 Sala de espera pacientes injetados

É considerado como paciente injetado qualquer paciente administrado com fontes radioativas (radiofármacos). Esses pacientes após receberem doses de radiofármacos lançam ao seu redor ondas eletromagnéticas e acabam expondo à radiação as suas redondezas (MACHADO *et al.*, 2011).

Na sala de espera de pacientes injetados, o paciente aguarda em repouso pós-aplicação até o exame. Este ambiente é usualmente denominado de Espera quente. Para o dimensionamento deste ambiente deve ser considerado no mínimo 0,90 m<sup>2</sup> por cadeira, sendo obrigatória a existência de no mínimo um box para maca com área mínima de 3,00 m<sup>2</sup> (ANVISA A, 2002).

Observa-se que na sala de espera de pacientes injetados a existência de bebedouro e televisão, deve-se à necessidade do paciente de esperar o radiofármaco circular no organismo e a ingestão de água ajuda na circulação do

mesmo no organismo, além disso, a televisão serve para entreter os pacientes enquanto esperam (THRALL, 2003).

Este ambiente deve possuir blindagem adequada, ser sinalizado e localizado em área de acesso controlado, por ser classificado como área controlada (CNEN NN-3.05, 2013). Embora neste ambiente não aconteça a manipulação de elementos radioativos a proteção é necessária devido ao fato dos pacientes injetados emitirem radiação (MORAES, 2007).

#### 2.4.1.2 Laboratório de manipulação

Este ambiente é usualmente chamado de sala quente (ANVISA A, 2002). O laboratório de manipulação deve ser revestido com material impermeável, que permita a descontaminação, ter piso e paredes com cantos arredondados, ter uma pia com no mínimo 40 cm de profundidade e torneiras sem controle manual. Nos casos de fontes voláteis, de Iodo-131, ou de serviços que realizem estudos de ventilação pulmonar, é necessário um sistema de extração de ar (CNEN NN-3.05, 2013). Segundo Kubo (2011), é o ambiente do serviço que mais contribui com a exposição de radiação já que nesta dependência é feito a manipulação de fontes radioativas.

De acordo com Mendes, Fonseca e Carvalho (2004), o laboratório de guarda e manipulação de fontes, ou “sala quente”, deve guardar algumas peculiaridades físicas, tais como paredes e pisos lisos e impermeáveis. Isto se deve ao fato de ser um local onde ocorre, com frequência, pequenos incidentes de respingo ou mesmo quebra de recipientes contendo material radioativo. Essas características facilitam a descontaminação.

#### 2.4.1.3 Sala de administração de radiofármaco

Neste ambiente são aplicados os radioisótopos no paciente pelos meios injetável, oral ou inalável. O local tem área mínima 5,50 m<sup>2</sup> com dimensão mínima de 2,20 m<sup>2</sup> (ANVISA A, 2002).

Para a radioproteção na administração de doses terapêuticas, na sala de manipulação deve ser previsto adequado sistema de exaustão de ar e instalações hidráulicas, assim como, deve ser prevista para a bancada de manipulação material liso, de fácil descontaminação, recoberta com plástico e papel absorvente (CNEN 3.05, 2013).

#### 2.4.1.4 Sala de armazenamento

Neste ambiente, é feito o armazenamento dos radioisótopos e das fontes radioativas. A área mínima exigida é de 8,00 m<sup>2</sup>, podendo constituir-se em um recipiente blindado acondicionado no laboratório de manipulação, exceto quando a unidade possuir mais de três equipamentos de diagnóstico e/ou ao menos um quarto terapêutico (ANVISA C, 2004).

O armazenamento provisório dos rejeitos radioativos de um estabelecimento assistencial de saúde deve (CNEN 3.05, 2013):

- a) conter com segurança os rejeitos, do ponto de vista físico e radiológico até que possam ser removidos do serviço;
- b) possuir um sistema que permita o controle da liberação de material radioativo para o meio ambiente;
- c) dispor de monitoração de área;
- d) situar-se distante das áreas normais de trabalho sendo cercado e sinalizado, com acesso restrito ao pessoal autorizado;
- e) ter piso e paredes impermeáveis e de fácil descontaminação;
- f) possuir blindagem para o exterior que assegure o cumprimento dos requisitos de radioproteção;
- g) possuir sistemas de ventilação exaustão e filtragem;

- h) dispor de meios que evitem a dispersão do material por animais;
- i) apresentar delimitação clara das áreas restritas e, se necessário, locais reservados à monitoração e descontaminação individuais;
- j) possuir sistemas de tanques e drenos de piso para coleta de líquidos provenientes de vazamentos, descontaminações etc;
- k) dispor de meios para evitar decomposição de matérias orgânicas;
- l) prover segurança contra ação de eventos induzidos por fenômenos naturais.

O local para armazenamento de rejeitos radioativos deve ser constituído de compartimentos que possibilitem a segregação deste por grupo de radionuclídeos com meia-vida física próxima e por estado físico. Deve ainda possuir blindagem adequada, ser sinalizado e localizado em área de acesso controlado (CNEN 3.05, 2013).

#### 2.4.1.5 Sala de exames

Neste ambiente, são realizados exames nos pacientes injetados. O dimensionamento deste ambiente depende do equipamento que será instalado devendo, no entanto, respeitar as distâncias mínimas entre as bordas ou extremidades do equipamento e todas as paredes da sala igual a 1,00 m das bordas laterais da mesa de exame do equipamento e 0,60 m das demais bordas ou extremidades do equipamento (ANVISA A, 2002).

Além disto, deve-se obedecer as distâncias mínimas informadas pelo fabricante considerando a movimentação das partes do equipamento. A cabine de comando do equipamento deve ter dimensões e blindagem que proporcione atenuação suficiente para garantir a proteção do operador. A localização desta cabine deve permitir ao operador, eficaz comunicação e observação visual dos pacientes. As dimensões e disposição dos equipamentos na sala de exame dependem do tipo do equipamento. Os próprios fabricantes sugerem um *layout* típico que deve ser adequado para cada local onde será instalado (SIEMENS, 2008).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa realizada neste trabalho se caracteriza como um estudo de caso, de natureza exploratória e explicativa.

#### 3.1 ASPECTOS ÉTICOS E NORMALIZAÇÃO

A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa – CEP da Universidade Tecnológica Federal do Paraná CAAE nº. 39378614.5.0000.5547, PARECER nº 953.493 em 12/02/2015 (Anexo 1).

#### 3.2 DEFINIÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO

Como etapa inicial deste trabalho, foi realizado um levantamento dos serviços de medicina nuclear estabelecidos no interior do Estado do Paraná. Para tanto, foram realizadas buscas na Internet e contatos prévios para identificar as atividades desenvolvidas pelos mesmos.

Foram selecionadas três clínicas, identificadas como A, B e C, das quais as duas primeiras estão estabelecidas em Maringá e a terceira em Umuarama. Os critérios de seleção foram: as clínicas prestarem serviços de medicina nuclear e aceitarem participar dessa pesquisa.

A Unidade de Medicina Nuclear denominada Clínica A está localizada em uma clínica privada na região Noroeste do Paraná, Brasil. Este serviço atende unicamente a especialidade de Medicina Nuclear.

A Unidade de Medicina Nuclear nominada Clínica B está localizada em uma clínica privada na região Norte do Paraná, Brasil. Este serviço atende a especialidade de Medicina Nuclear e Radiologia.

A Unidade de Medicina Nuclear denominada Clínica C está localizada em um hospital privado na região Noroeste do Paraná, Brasil. Este serviço atende somente especialidades de Medicina Nuclear.

### 3.3 PROCEDIMENTOS

#### 3.3.1 Avaliação da estrutura das clínicas

A avaliação da distribuição dos ambientes foi realizada a partir do projeto arquitetônico disponibilizado e autorizado pelas clínicas, conforme o Termo de Consentimento de Uso de Dados (TCUD) (Anexo 3), para verificação da conformidade das mesmas com as normas da ANVISA e CNEN.

#### 3.3.2 Avaliação das dosimetrias individuais dos trabalhadores

Foram avaliados em 3 clínicas de medicina nuclear os relatórios de dosimetrias individuais de 15 trabalhadores, sendo que 6 relatórios são da clínica A, 6 da clínica B e 3 da clínica C. Os dados da dosimetria são referentes aos anos de 2012, 2013 e 2014, os quais foram cedidos por cada clínica, que autorizaram a sua utilização conforme o Termo de Consentimento de Uso de Dados (TCUD) (Anexo 3), bem como Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (Anexo 2). Estes relatórios de dosimetria foram avaliados para verificar se nestas clínicas os trabalhadores excediam os valores referência de otimização da norma da CNEN.

### 3.3.3 Avaliação das taxas de dose ambiental

As clínicas participantes da pesquisa realizam a mensuração das taxas de dose ambiental com a periodicidade indicada, a qual é realizada por técnicos, autorizando a utilização desses dados através do TCUD.

#### 3.3.3.1 Instrumento de medida

O instrumento de medida utilizado foi um monitor de radiação Geiger Muller marca MRA modelo MRA MIR -233, tecnologia brasileira produzida em Ribeirão Preto, que é frequentemente utilizado para indicar os níveis de radiação existente no local de trabalho (OLIVEIRA, 2013; NNCNEN 3.05, 2013), em todo Brasil devido a sua simplicidade, baixo custo, facilidade de operação e manutenção (VIVOLO, 2000; TAHAUTA, 2014). Esse método permite estimar a dose esperada em cada ponto da área do serviço, por um determinado tempo, bem como indicar os locais onde os níveis de radiação são inadequados (NNCNEN 3.05, 2013).

O monitor Geiger Muller foi calibrado para medir as taxas de dose equivalente em mSv/h. A calibração foi realizada em condições padronizadas, seguindo os procedimentos recomendados pelo Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes (LNMRI) do Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) nº 8513/0415.

Foi realizado o teste de aferição do monitor Geiger-Muller para verificar a compatibilidade entre a leitura de taxa de dose e o valor nominal esperado para o  $^{99m}\text{Tc}$ . Foram feitas medidas da taxa de dose gerada por uma fonte de 30 mCi ( $111.10^7$  Bq) às distâncias de 1m, 2m, 3m e 4m.



### 3.3.3.2 Elaboração dos mapas espaciais de doses

Para a realização do levantamento radiométrico foram definidos pontos de mensuração, com distância entre eles de 1,20 m, respeitando a área de cada dependência. Para evitar a saturação do detector, foram aceitas as medidas feitas a uma distância superior a 60 cm de qualquer fonte radioativa. Além disso, as medidas foram realizadas a uma altura de 1,75 m do piso, visando diminuir a dependência angular e para simular o tórax do paciente.

As medições em cada clínica foram realizadas em três etapas de 15 dias, somando um total de 45 dias, iniciando na segunda-feira e finalizando na sexta-feira, no horário compreendido entre 10:00h e 17:30h sendo feito 3 medidas em cada ponto a cada 30 minutos.

Como em cada clínica foi definido um total de 20 pontos, foram definidos 6 pontos (P1 a P6) na sala de espera; no laboratório de manipulação quatro pontos (P7 a P10); na sala de exames estão seis pontos (P11 a P16); na sala de administração de radiofármacos tem-se dois pontos (P17 e P18); na sala de ergometria dois pontos (P19 e P20). No total obteve-se 1440 medições para cada ponto e 28.880 medidas em todos pontos, que receberam tratamento estatístico, realizado pelo Prof. Dr. Eraldo Schunk Silva, da Universidade Estadual de Maringá (Anexo 4). Foram definidos 20 pontos e feitas as medidas durante o dia todo a fim de fornecer informações das monitorações mais detalhadas.

Os níveis de concentração de radiação foram descritos por meio da média, desvio-padrão e coeficiente de variação. Para testar a diferença entre os níveis de concentração de radiação, entre os períodos matutino e vespertino, dos diferentes ambientes da clínica e dos diferentes pontos de medida dentro de cada ambiente, foram realizados testes de hipóteses estatísticos não-paramétricos. Os métodos não-paramétricos podem ser aplicados a uma ampla diversidade de situações, porque não exigem populações distribuídas normalmente, caso ocorrido com os dados desta pesquisa. As técnicas da Estatística não-paramétrica são, particularmente, adaptáveis aos dados das ciências do comportamento. A aplicação desses técnicas não exige suposições quanto à distribuição da variável populacional. Os testes não-paramétricos são extremamente interessantes para análises de dados qualitativos. Na Estatísticas Paramétricas, para aplicação de teste

como “t” de Student, a variável em análise precisa ser numérica. Como o próprio nome sugere, a Estatísticas não-paramétrica independe dos parâmetros populacionais e de suas respectivas estimativas. Assim, se a variável populacional analisada não segue uma distribuição normal e/ou as amostras forem pequenas, pode-se aplicar um teste não- paramético.

Para comparar a igualdade entre os níveis de concentração de radiação entre os locais distintos em cada clínica, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis (KW), trata-se de teste extremamente útil para decidir se k amostras ( $k > 2$ ) independentes provêm de populações com médias iguais. Esse teste só deve ser se amostra for pequena e/ou as pressuposições, exigidas para proceder à Análise de Variância, estiverem seriamente comprometidas. Como o teste de Mann-Whitney, esse teste também condiciona que a variável em análise seja medida em escala ordinal ou numérica. Para o caso de duas amostras independentes foi aplicado o Teste de Wilcoxon-Mann-Whitney, com aproximação para a Distribuição Normal (Z). Para se determinar os grupos, sejam de locais, sejam de pontos de medição, que apresentavam os mesmos níveis de concentração, foi aplicado o teste para amostras pareadas de Wilcoxon (*Wilcoxon Signed Rank Test*). Para se determinar os grupos, sejam de locais, sejam de pontos de medição, que apresentavam os mesmos níveis de concentração, foi aplicado o teste de comparações múltiplas *post hoc* de Dunn. Este foi para todos os possíveis pares de combinações de locais ou pontos. A decisão de se rejeitar  $H_0$  ou não foi tomada considerando um nível de confiança de 95% ( $\alpha = 0,05$ ), ou seja, p-valor menor que 0,05. todos os testes foram unicaudais. Os dados foram analisados no programa *Statistical Analysis Software* (SAS, *version* 9.0), a partir de uma base de dados construída por meio do aplicativo Excel.

Para cada ponto foi se criado uma média da taxa de dose equivalente e em seguida criado um mapa com os dados da dose em cada ponto. A significância entre as concentrações de radiação dos mapas espaciais foram a partir da análise estatística da média e desvio-padrão da taxa de dose equivalente.

### 3.3.4 Avaliação dos mapas espaciais como ferramenta de otimização pelos trabalhadores

Os mapas espaciais de dose como ferramenta de otimização pelos trabalhadores foram avaliados pelos trabalhadores utilizando-se como instrumento um questionário (Apêndice A), o qual foi construído com três blocos de questões: a) características sociodemográficas, que incluiu o gênero, idade, grau de instrução e cargo e função; b) percepção do nível de radiação existente em cada ambiente da clínica; e c) avaliação do mapa espacial de dose como recurso didático para a otimização

Em cada clínica onde foi realizada a pesquisa, participaram dessa etapa os mesmos funcionários cuja dosimetria havia sido analisada. Os participantes da pesquisa assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (Anexo 2).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 CLÍNICA A

Como a localização da Clínica A não foi planejada, houve necessidade de adequação às normas da CNEN e da ANVISA. Na Clínica A tem-se um acesso para a entrada e um outro para a saída. Na Figura 3 apresenta-se o *layout* das áreas da clínica onde foi realizado o estudo.

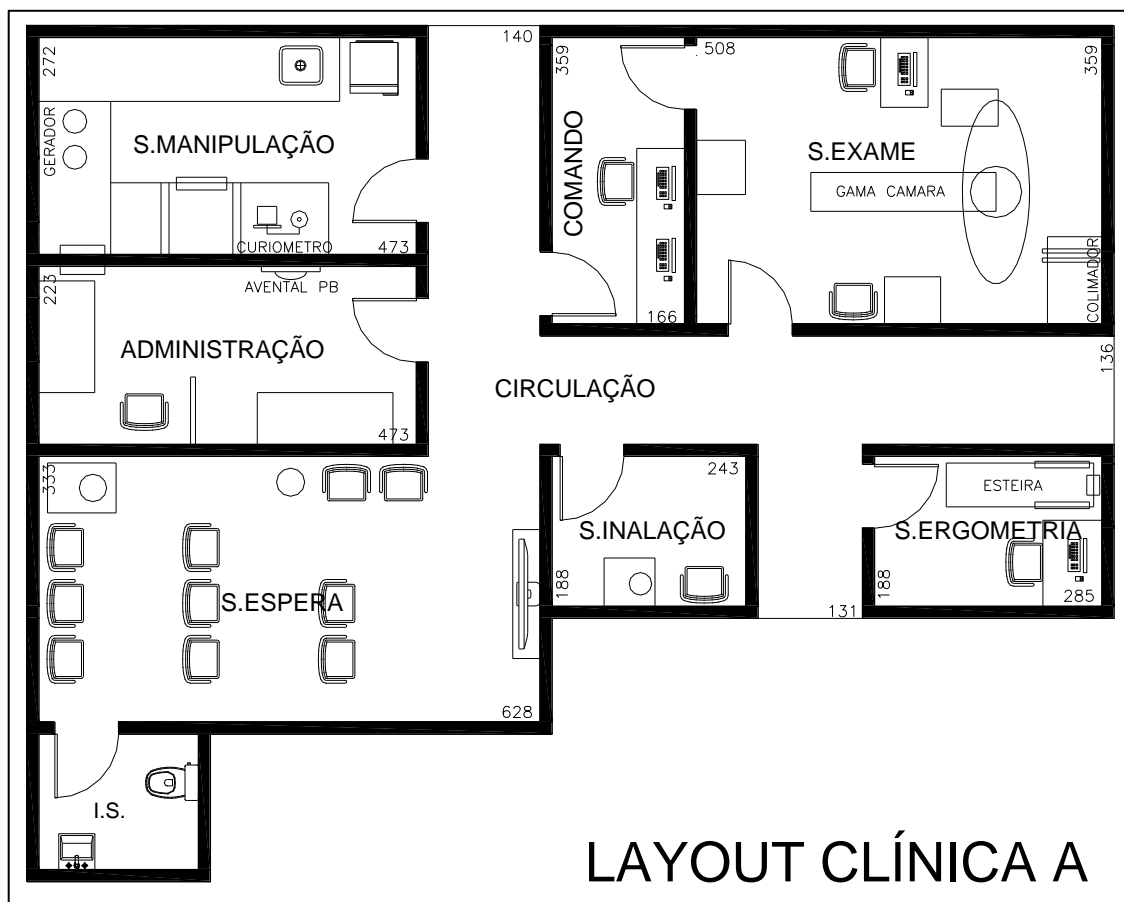


Figura 3 - Layout da Clínica A  
Fonte: Clínica A.

A sala de espera de pacientes injetados está ao lado da sala de inalação e da sala de ergometria e possui dez cadeiras bem distribuídas, um aparelho de televisão, um bebedouro e um cesto de lixo. Junto a esta sala tem-se a instalação sanitária para pacientes injetados. Esta sala está em conformidade com a norma Anvisa no que diz respeito à dimensão mínima (3,0 m<sup>2</sup>), pois possui 17,6 m<sup>2</sup>, e com a norma CNEN quanto à blindagem e por conter instalação sanitária para pacientes injetados.

O laboratório de manipulação possui as dimensões (12,8 m<sup>2</sup>) em conformidade com a norma ANVISA e tem blindagem adequada, respeitando a norma CNEN. Acoplado ao laboratório de manipulação, encontra-se o depósito de rejeitos radioativos.

Na sala de exames verifica-se o cumprimento da norma da ANVISA com relação à distância da gama câmara das paredes, tanto em relação à sua largura quanto ao comprimento. Essa sala possui blindagem adequada, conforme estabelecido pelo CNEN. Essa sala possui 18,2 m<sup>2</sup>.

A sala de administração de radiofármacos respeita a dimensão mínima estabelecida pela ANVISA, possuindo 10,5 m<sup>2</sup>, e a blindagem adequada, o mesmo ocorrendo com a sala de ergometria.

Com relação aos fluxos de paciente, funcionários e insumos radioativos, observa-se que existe uma certa preferência de fluxo de pacientes na sala de espera de pacientes injetados.

O projeto de blindagem deste serviço de medicina nuclear foi avaliado em relação as blindagens e verificado que neste consta a aprovação da ANVISA e da CNEN em todas as dependências.

A Tabela 1 apresenta as conformidades encontradas nos ambientes da Clínica A.

**Tabela 1 - Conformidades da Clínica A de acordo com as normas CNEN e ANVISA**

<b>Ambientes</b>	<b>Dimensão mínima (ANVISA)</b>	<b>Dependências indispensáveis conforme CNEN e ANVISA</b>	<b>Blindagem</b>
Sala de espera (paciente injetado)	3,0 m <sup>2</sup>	Conforme	Adequada
Sanitário (paciente injetado)	NE	Conforme	Adequada
Laboratório de manipulação	8,0 m <sup>2</sup>	Conforme	Adequada
Sala de exames	100 cm*	Conforme	Adequada

	60 cm**		
Sala de administração de radiofármacos	2,2 m <sup>2</sup>	Conforme	Adequada
Ergometria	NE	Conforme	Adequada
Armazenamento de rejeitos radioativos	4,0 m <sup>2</sup>	Conforme	Adequada

NE = não estabelecido; \* distância do aparelho das paredes quanto à largura; \*\* distância do aparelho das paredes quanto à distância.

#### 4.1.1 Avaliação das dosimetrias individuais dos trabalhadores da Clínica A

A dosimetria mensal dos trabalhadores foi avaliada para saber se os limites ultrapassaram 1mSv. A Tabela 2 mostra os valores de dose recebidos pelos trabalhadores da Clínica A.

**Tabela 2 - Dosimetria individual dos trabalhadores da Clínica A (em mSv/ano)**

Clínica	IOE	Dose individual (mSv)		
		2012	2013	2014
Clínica A	IOE1	4,3	6,0	4,6
	IOE2	BG	BG	BG
	IOE3	BG	BG	BG
	IOE4	3,9	5,4	4,5
	IOE5	BG	BG	BG
	IOE6	1,8	6,7	4,1

BG = abaixo de 0,2 mSv

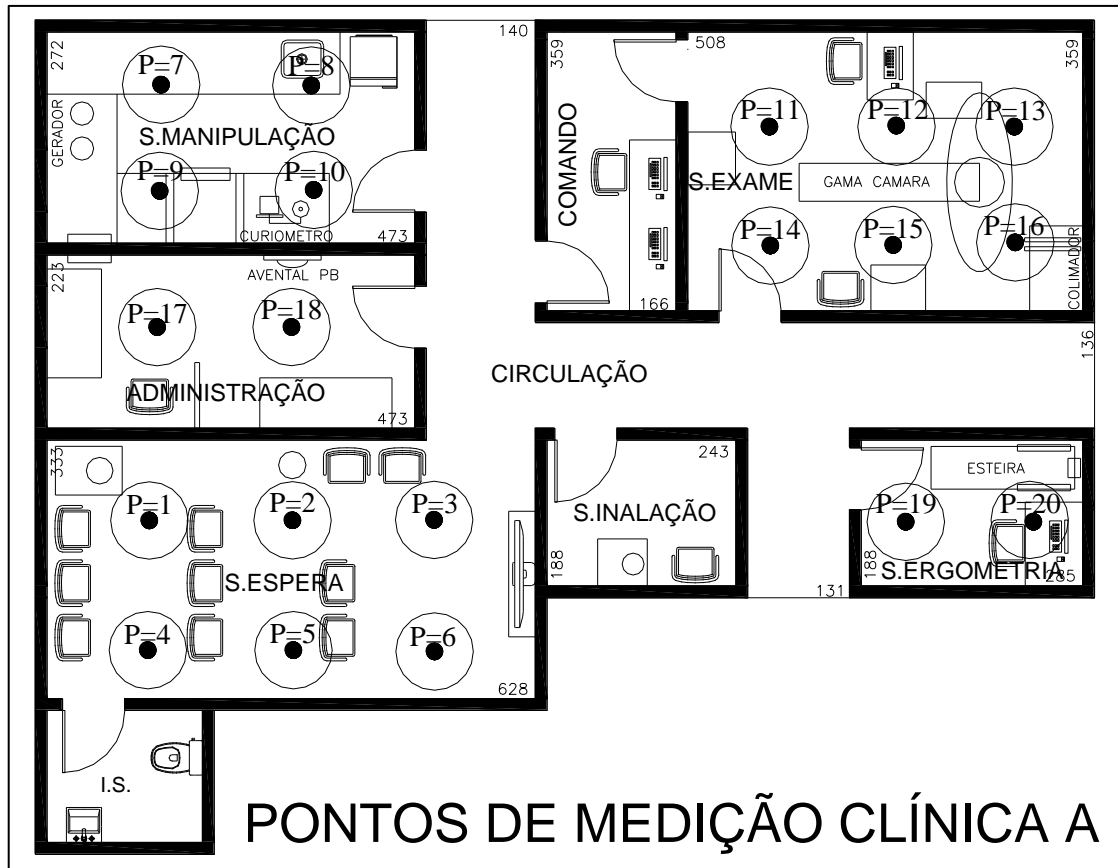
**Fonte: Dados da pesquisa.**

Os dados da dosimetria dos trabalhadores da clínica A mostraram que nos anos de 2012 a 2014 os IOE 1, IOE 4 e IOE 6 excederam os valores de 1mSv/ano em todos os anos.

Os dados da dosimetria dos trabalhadores mostram que as doses excederam os valores de referência de otimização da norma NN-CNEN 3.01 (2005), desrespeitando o 5.4.3.3 (item a) da norma, que diz que não é necessária a otimização se a dose dos trabalhadores forem menores que 1 mSv, exigindo que novos procedimentos sejam analisados a fim de melhorar a qualidade do serviço. Os dados da dosimetria comprovam a necessidade de otimização através de planejamento e procedimentos a fim de diminuir as doses recebidas pelos trabalhadores.

#### 4.1.2 Avaliação das taxas de dose ambiental da Clínica A

Para avaliação das taxas de dose ambiental foram definidos 20 pontos de medição, representados na Figura 4.



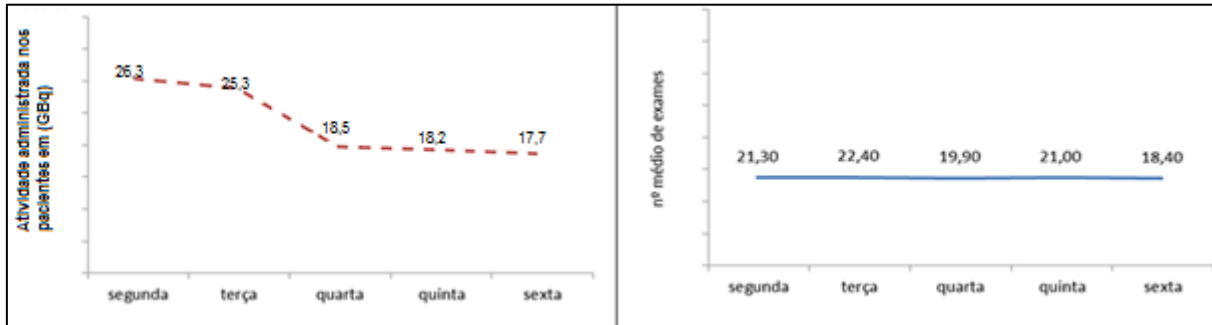
**Figura 4 - Pontos de medição da radiação na Clínica A**  
**Fonte: Autor.**

Como mostra a Figura 4, na sala de espera foram definidos 6 pontos (P1 a P6); no laboratório de manipulação quatro pontos (P7 a P10); na sala de exames estão seis pontos (P11 a P16); na sala de administração de radiofármacos tem-se dois pontos (P17 e P18); na sala de ergometria dois pontos (P19 e P20).

As medições foram realizadas em três momentos diferentes: 5 a 16 de janeiro; 2 a 13 de março e 8 a 19 de junho do corrente ano.

#### 4.1.2.1 Dose de radiação e taxa de dose por dia da semana e turno da Clínica A

Na Figura 5 são apresentadas as médias da atividade administrada e o número médio de exames realizados por dia da semana.



**Figura 5 – Atividade administrada e média do número de exames realizados por dia da semana – Clínica A**

Fonte: Documentos da clínica.

De acordo com o gráfico da Figura 5, a segunda-feira é o dia da semana em que é realizado o maior número de exames, atingindo também as maiores doses de radiofármacos. As atividades administradas de radiação vão decrescendo no transcorrer da semana, apresentando na sexta-feira o menor valor. As doses de radiofármacos no início da semana são maiores em função do gerador de tecnécio que chega do IPEN com grande quantidade de tecnécio na segunda-feira e decai no decorrer da semana passando a ter menor atividade na sexta-feira.

Os dados obtidos em cada dependência, referente às medições das taxas de exposições, indicam maior taxa no início da semana em todos os locais, conforme a Figura 6. Porém, não se concluiu, através dos gráficos, se as taxas de exposições no período da manhã são maiores que as da tarde. Essa análise será feita mais adiante através de avaliações por métodos estatísticos.



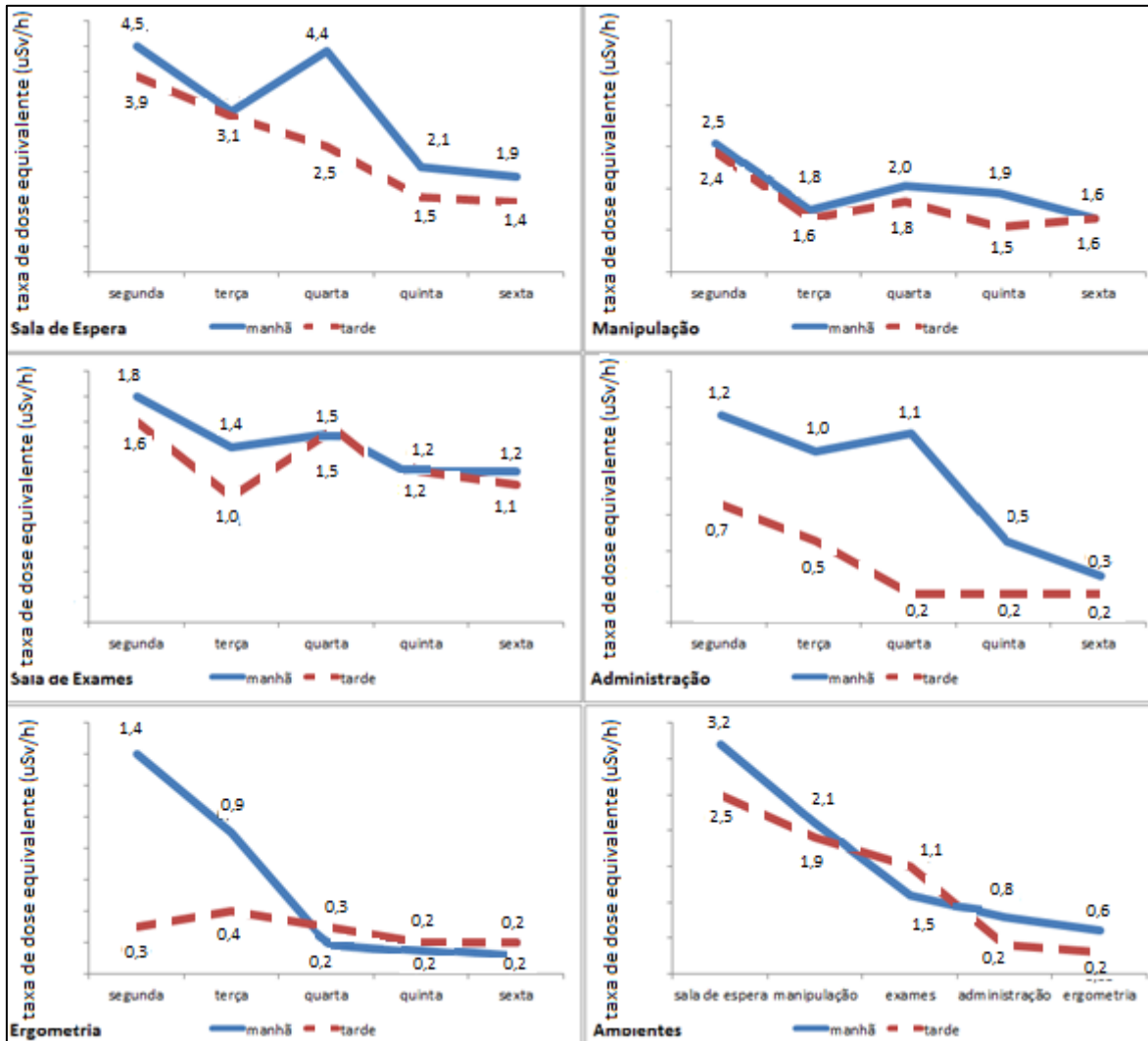


Figura 6 - Taxa de dose por ambiente, por período e por dia da semana – Clínica A  
Fonte: Dados da pesquisa.

No que diz respeito à taxa de dose por turno, foi verificado que a taxa de dose no período matutino é levemente superior ao vespertino (Tabela 3). Essa avaliação foi feita através de uma análise estatística, considerando todas as medidas dos 20 pontos. As taxas de exposições no período da manhã se mostraram maiores que as da tarde devido à dose de radiação e ao maior número de pacientes no período da manhã.

O teste de comparação de Wilcoxon mostrou que o nível de confiança é de 95%. A diferença entre as taxas de dose entre os períodos matutino e vespertino é estatisticamente significativa.

A Tabela 3 apresenta a taxa média de dose por turnos da Clínica A.

**Tabela 3 - Taxa média de dose, desvio-padrão, Teste de comparação de Wilcoxon (aproximação Z), por turnos da Clínica A**

Ambientes	Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	DP da Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Escore médio	Teste de Wilcoxon	p-valor
Matutino	1,4	2,5	20467,9712	10,9265	< 0,0001*
Vespertino	1,3	2,4	19062,6611		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%.

Fonte: Dados da pesquisa.

A Tabela 4 mostra a taxa média de dose por turnos e ambientes da Clínica A.

**Tabela 4 - Taxa média de dose, desvio-padrão, coeficiente de variação (CV), escore médio e Teste de comparação de Wilcoxon, por turnos e por ambiente da Clínica A**

Ambientes	Taxa de Dose Equivalente Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	DP da Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	CV (%)	Escore médio	Teste de Wilcoxon	p-valor
Sala de espera						
Matutino	3,0	3,8	125,44	4650,2047 <sup>a</sup>	7,2480	< 0,0001*
Vespertino	2,7	2,7	124,56	4202,8058 <sup>b</sup>		
Manipulação						
Matutino	2,0	3,0	153,89	2807,1334 <sup>b</sup>	-1,8275	0,0338*
Vespertino	2,0	3,2	156,59	2899,5794 <sup>a</sup>		
Sala de exames						
Matutino	1,1	1,2	105,46	4111,5829 <sup>b</sup>	-4,3808	< 0,0001*
Vespertino	1,4	1,6	110,59	4382,0137 <sup>a</sup>		
Administração						
Matutino	1,1	1,6	152,44	1736,9617 <sup>a</sup>	12,6787	< 0,0001*
Vespertino	0,4	0,9	235,77	1339,1972 <sup>b</sup>		
Ergometria						
Matutino	0,6	1,7	271,22	1502,4993 <sup>a</sup>	4,7119	< 0,001*
Vespertino	0,3	0,6	200,48	1417,2064 <sup>b</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%.

Fonte: Dados da pesquisa.

A Tabela 4 mostra que ao nível de confiança de 95%, no laboratório de manipulação (média 2,0  $\mu\text{Sv/h}$ ) e na sala de exames (média 1,4  $\mu\text{Sv/h}$ ) o período da tarde apresenta maiores níveis médios de concentração. Na sala de espera (média 3,0  $\mu\text{Sv/h}$ ), na sala de administração (1,1  $\mu\text{Sv/h}$ ) e sala de ergometria (média 0,6  $\mu\text{Sv/h}$ ), os maiores níveis médios de concentração de radiação se concentram no período da manhã.

Além disso, deve-se observar que, de acordo com o coeficiente de variação, ocorre uma variação bastante ampla entre as taxas de dose, que em todos os ambientes apresenta-se superior a 100,00%.

#### 4.1.2.2 Taxa de dose por ambientes de monitoração da Clínica A

Com relação aos diferentes ambientes, pode-se afirmar que existem três grupos de taxas de dose na Clínica A. O primeiro grupo, que apresenta as maiores taxas inclui a sala de espera e laboratório de manipulação. No segundo grupo tem-se a sala de exames, que apresenta a terceiro maior taxa média de dose, enquanto no terceiro grupo, se encaixam a sala de administração de radiofármacos, a ergometria e o corredor, observando que a taxa de dose deste último ambiente é equivalente a taxa de exposição natural, ou seja, menor ou igual a 0,05 mR/h.

Com os valores da taxa de dose foi elaborado um mapa espacial de dose (Figura 9), que permite visualizar as dependências em relação a exposição. As dependências classificadas como livres apresentam uma quantidade menor de pontos que as áreas de maior concentração de radiação, que podem ser observadas nas regiões mais escuras, onde os pontos estão mais intensos.

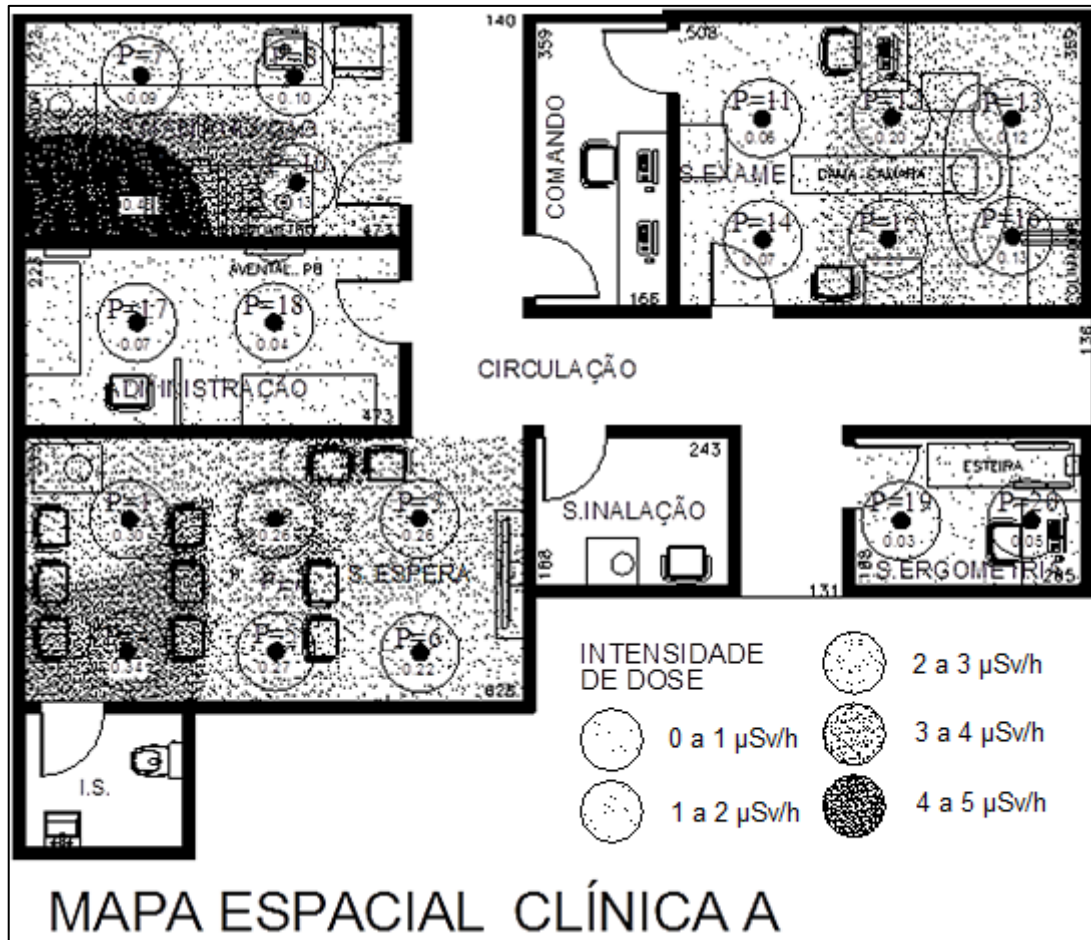


Figura 7 - Mapa espacial de dose da Clínica A  
Fonte: Autor.

A taxa média de dose, desvio-padrão, escore médio e teste são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Taxa média de dose, desvio-padrão, (Teste de Kruskal-Wallis) da Clínica A

Ambientes	Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	DP da Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Escore médio	Kruskal-Wallis	p-valor
Sala de espera	2,7	3,4	25060,6794 <sup>b</sup>	12656,0559	< 0,0001*
Manipulação	2,0	3,2	26333,0622 <sup>a</sup>		
Sala de exames	1,3	1,5	22690,2151 <sup>c</sup>		
Administração	0,5	1,1	10307,3548 <sup>d</sup>		
Ergometria	0,4	1,0	13752,3592 <sup>e</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%.

Fonte: Dados da pesquisa.

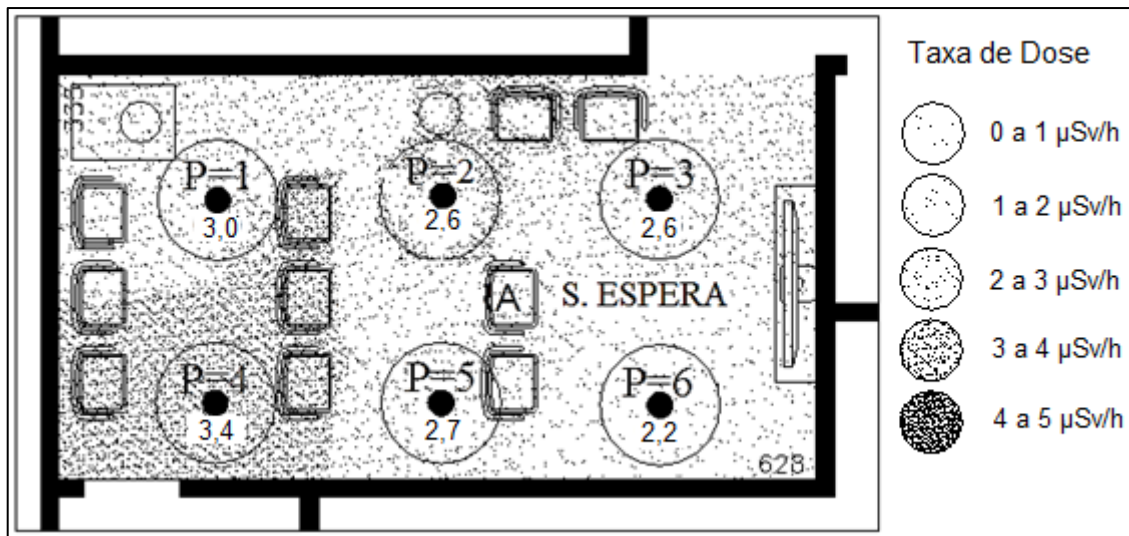
A Tabela 5 mostra que a maior média foi encontrada para a sala de espera, entretanto, é o laboratório que possui maior escore médio. A avaliação da média, desvio padrão e escore médio mostram que a sala de espera é mais quente em relação a média de taxa de dose que o laboratório, porém, menos radioativo em relação ao escore médio. Na sala de espera observou-se variação de taxa de dose durante todo o horário de funcionamento da clínica, o que podemos concluir que é uma dependência radioativa somente na presença de pacientes e contaminação. O laboratório de manipulação apresentou um desvio padrão menor em relação à sala de espera, já que nesta dependência os dados se mostraram mais constantes que a sala de espera durante o horário de funcionamento da clínica. Foram observadas variações nas medidas de taxa de dose no laboratório durante manipulação de fontes radioativas, controle de qualidade e outros.

De acordo com o método de Kruskal-Wallis verificou-se que o laboratório de manipulação e a sala de espera são as dependências com maior taxa de dose e escore médio. O método de Kruskal-Wallis mostra que essas diferenças da taxa de radiação são relativamente significantes e que algumas áreas devem ser usadas procedimentos específicos para segurança e proteção.

#### 4.1.2.3 Taxas médias de doses por pontos de medição e local da Clínica A

A sala de espera de pacientes injetados é uma dependência indispensável em serviços de medicina nuclear. Nela pacientes injetados com radiação aguardam a espera da execução do exame. Com os dados da taxa de dose foi permitido criar o mapa espacial de dose da sala de espera de pacientes injetados. O mapa mostra as regiões mais quentes ou mais quantidade de pontos de radiação que podem contribuir com aumentos de doses recebidas pelos trabalhadores da clínica.

A Figura 8 representa as variações das médias de taxa de dose em cada região do espaço físico, os pontos de intensidade de radiação foram utilizadas como ferramenta para facilitação visual. Regiões com poucos pontos representam baixo nível radiométrico. Os Pontos com aumento do nível radiométrico ambiental podem ser observados nos locais onde aumentam as quantidade de pontos de intensidade de dose.



**Figura 8 - Mapa espacial de dose da sala de espera – Clínica A**  
**Fonte: Autor.**

Na Tabela 6 são apresentadas as taxas médias de doses por ponto nos locais de monitoração.

**Tabela 6 - Taxa de dose média, desvio-padrão e teste de comparação de Kruskal-Wallis para níveis de concentração de radiação observados na sala de espera de pacientes injetados da Clínica A**

S. Espera	Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	DP da Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Escore médio	Teste de Kruskal-Wallis	p-valor
P1	3,0	4,0	4466,7243 <sup>b</sup>	44,0691	< 0,0001*
P2	2,6	2,8	4361,3011 <sup>d</sup>		
P3	2,6	3,5	4120,4030 <sup>e</sup>		
P4	3,4	4,3	4529,6700 <sup>a</sup>		
P5	2,7	3,0	4370,5407 <sup>c</sup>		
P6	2,2	2,4	4038,3613 <sup>f</sup>		

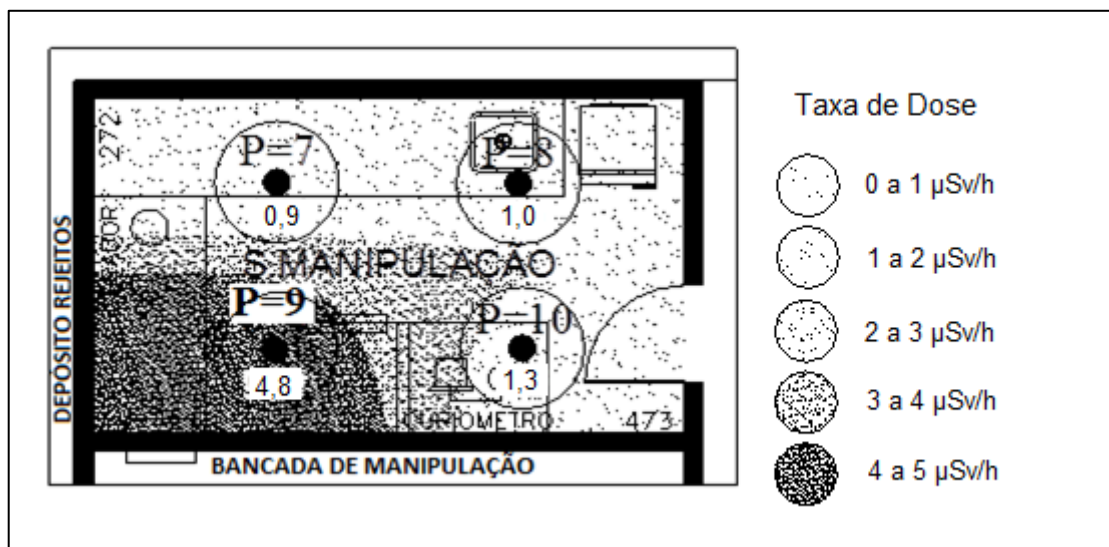
\*Significativo ao nível de confiança de 95%.

**Fonte: Dados da pesquisa.**

Pode ser observado na Figura 8 maior concentração de radiação em regiões próximas as cadeiras representadas pela maior concentração de pontos. O método de Kruskal-Wallis mostrou que essas diferenças da taxa de radiação são relativamente significantes

Na sala de espera são observados dois níveis médios de concentração de radiação. O mais alto nível médio é observado no Ponto 1 (3,0  $\mu\text{Sv/h}$ ), Ponto 2 (2,5  $\mu\text{Sv/h}$ ), Ponto 4 (3,3  $\mu\text{Sv/h}$ ) e Ponto 5 (2,7  $\mu\text{Sv/h}$ ). Nos demais pontos Ponto 3 (2,6  $\mu\text{Sv/h}$ ) e Ponto 6 (2,2  $\mu\text{Sv/h}$ ) (Tabela 6). A sala apresentou variações de taxa de doses significativas, mas com semelhanças em relação a taxa média de dose mostrada no mapa, já que as cadeiras de pacientes nessa dependência está bem distribuída.

A sala de manipulação do serviço de medicina nuclear é a dependência onde se faz a manipulação e armazenamento das fontes radioativas. Com os dados da taxa de dose foi permitido criar-se o mapa espacial de dose da sala de manipulação. O mapa mostra as regiões mais quentes e intensas que podem contribuir com aumentos de doses recebidas pelos trabalhadores da clínica (Figura 9).



**Figura 9 - Mapa espacial de dose do laboratório de manipulação – Clínica A**  
**Fonte: Autor.**

Na Tabela 7 são apresentadas as taxas médias de dose por ponto nos locais de monitoração.

**Tabela 7 - Taxa de dose média, desvio-padrão e teste de comparação Kruskal-Wallis para níveis de concentração de radiação observados no laboratório de manipulação da Clínica A**

S. Espera	Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	DP da Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Escore Escore médio	Teste de Kruskal-Wallis	p-valor
P7	0,9	1,7	2120,3738 <sup>a</sup>	1459,0762	< 0,0001*
P8	1,0	2,4	2276,8171 <sup>b</sup>		
P9	4,8	4,2	4242,5442 <sup>c</sup>		
P10	1,3	1,5	2866,2650 <sup>d</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%.

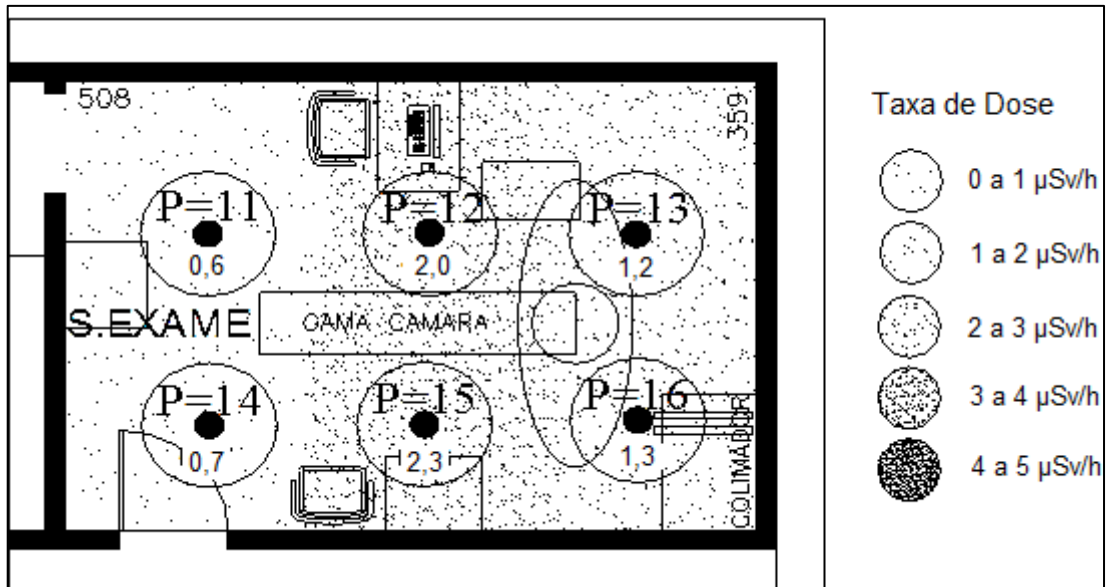
**Fonte: Dados da pesquisa.**

No laboratório de manipulação, os pontos apresentam níveis distintos de concentração de radiação. Todavia, chama atenção o nível médio de concentração de radiação observado no ponto P9 (escore médio 4242,5442), que chega a ser o dobro do nível de radiação encontrado no P7. A análise do desvio padrão mostrou que as regiões próximas à bancada de manipulação no ponto P9 foram as regiões do laboratório que mais sofreram variações durante o horário de funcionamento da clínica. Ou seja, o P9 é o local com maior taxa de dose, escore médio e desvio padrão do laboratório em relação aos outros pontos do laboratório. Sendo assim, o mapa e a análise estatística mostram, aos funcionários e ao físico médico, os locais do laboratório que mais ofereceriam perigo a radiação ionizante.

De acordo com o mapa o laboratório de manipulação apresenta maior taxa de dose na região próxima ao depósito de rejeitos (P9 e P10). O ponto P9 tem taxa de dose significativamente maior que as demais regiões por ser próxima de fontes radiativas e geradores de tecnécio. O método de Kruskal-Wallis mostrou que essas diferenças da taxa de radiação são relativamente significantes.

A sala de exames é o local onde os pacientes são colocados um a um e são retiradas informações fisiológicas através do gama câmara. O exame demora em média 30 minutos, o tempo depende de vários fatores tais como peso do paciente, tamanho, tipo de exame outros. Com os dados da taxa de dose foi permitido criar-se o mapa espacial de dose da sala de exames. O mapa mostra as regiões mais quentes que podem contribuir com aumentos de doses recebidas pelos trabalhadores da clínica, acompanhantes e outros (Figura 10).





**Figura 10 - Mapa espacial de doses da sala de exames – Clínica A**  
**Fonte: Autor.**

Na Tabela 8 são apresentadas as taxas médias de dose por ponto nos locais de monitoração.

**Tabela 8 - Taxa de dose média, desvio-padrão e teste de comparação de Kruskal-Wallis para níveis de concentração de radiação observados na sala de exame da Clínica A**

S. Exames	Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	DP da Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Escore médio	Teste de Kruskal-Wallis	p-valor
P11	0,6	0,5	3300,3901 <sup>c</sup>	860,7853	< 0,0001*
P12	2,0	1,6	5030,7260 <sup>b</sup>		
P13	1,2	1,3	4277,8178 <sup>d</sup>		
P14	0,7	0,7	3366,6245 <sup>c</sup>		
P15	2,3	2,1	5415,7152 <sup>a</sup>		
P16	1,3	1,2	4495,7264 <sup>d</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%.

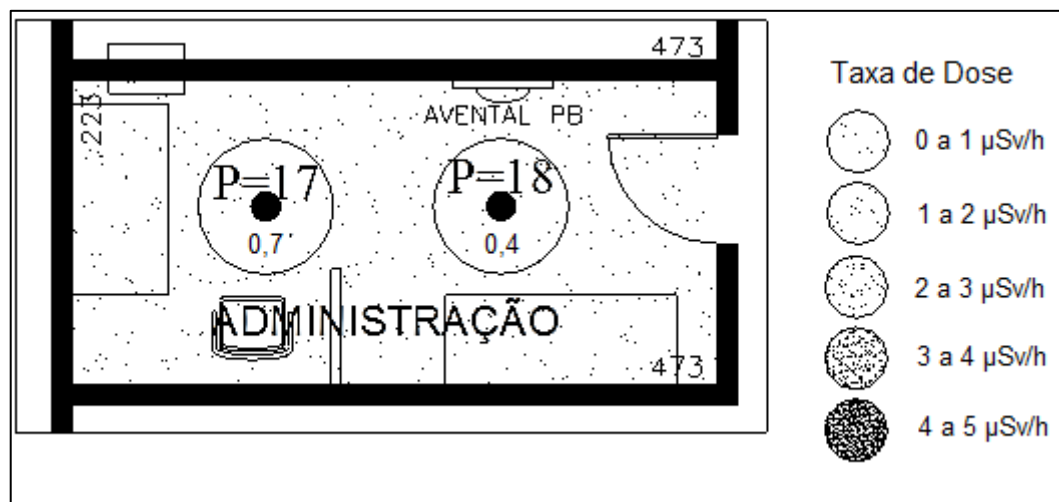
**Fonte: Dados da pesquisa.**

O método de Kruskal-Wallis mostrou que essas diferenças da taxa de radiação são relativamente significantes. Na sala de exames, o nível de concentração de radiação é distinto para todos os pontos. O ponto P15 (média 2,3  $\mu\text{Sv/h}$ ) é o que apresenta a maior concentração média e o ponto P1 (média 0,6  $\mu\text{Sv/h}$ ), a menor. De acordo com o mapa a taxa de dose se mostrou significativamente maior no ponto P15 que é o ponto mais próximo da maca de

exames de paciente radioativo. Os pontos P11 e P14 foram os que apresentaram menores taxas de dose já que estes estão mais distantes da maca de pacientes radioativos. Observa-se ainda que os pontos P13 e P16, mesmo próximos, apresentam taxas inferiores às do ponto P15. Isso se dá devido à blindagem existente na gama câmara. Já a cadeira do acompanhante e do técnico de radiologia ficam em regiões quentes do mapa espacial de dose, ou seja, neste caso, o mapa serviria de auxílio aos funcionários dos serviços que poderiam colocar essas cadeiras em regiões com menor concentração de radiação.

Na sala de administração de radiofármacos a taxa de dose encontrada se mostraram pequenas em relação as outras dependências do serviço. Esta dependência é utilizada somente para as administrações de radiofármacos que geralmente eram feitas no período da manhã. As fontes radioativas são levadas até essa dependência no horário da administração, momento em que a sala fica radioativa, fora isto essa dependência não fornece perigo.

Com os dados da taxa de dose foi permitido criar o mapa espacial de dose da sala de administração (Figura11). O mapa mostra as regiões mais quentes que podem contribuir com aumentos de doses recebidas pelos trabalhadores da clínica, acompanhantes e outros.



**Figura 11 – Mapa espacial de dose da sala de administração de radiofármacos – Clínica A**  
**Fonte: Autor.**

Na Tabela 9 são apresentadas as taxas médias de dose por ponto nos locais de monitoração.

**Tabela 9 - Taxa de dose média, desvio-padrão e teste de comparação de Teste de Wilcoxon para níveis de concentração de radiação observados na sala de administração de radiofármacos da Clínica A**

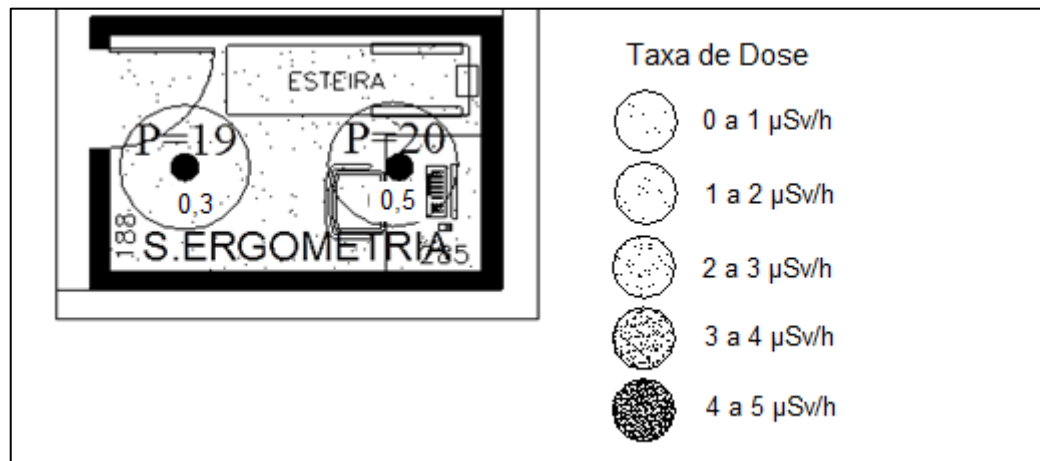
Administração	Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	DP da Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Escore médio	Teste de Wilcoxon	p-valor
P17	0,7	1,4	1489,0313 <sup>a</sup>	3,7214	< 0,0002*
P18	0,4	0,6	1387,9687 <sup>b</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%.

**Fonte: Dados da pesquisa.**

Para a sala de administração de radiofármacos, o ponto P17 (média 0,7  $\mu\text{Sv/h}$ ) apresenta o dobro do nível médio de concentração de radiação do ponto P18 (média 0,4  $\mu\text{Sv/h}$ ). Nota-se em análise a maior taxa de radiação está concentrada no local onde fica a cadeira de injeção. O mapa mostra, ainda, as regiões mais frias ou menos intensas onde poderiam diminuir as doses recebidas pelos acompanhantes nos momentos das injeções.

A sala de ergometria é uma dependência em que se faz teste ergométrico para exames do coração de pacientes radioativos. Esta sala geralmente é utilizada nesta clínica na segunda-feira e terça-feira. Os exames geralmente são feitos no final do período matutino e início do vespertino. O mapa espacial de dose foi criado nesta dependência considerando as taxas de dose nos dias em que a sala é utilizada e nos dias que ela não é utilizada (Figura 12).



**Figura 12 - Mapa espacial de dose da sala de ergometria – Clínica A**  
**Fonte: Autor.**

Na Tabela 10 são apresentadas as taxas médias de dose por ponto nos locais de monitoração.

**Tabela 10 - Taxa de dose média, desvio-padrão e teste de comparação de Teste de Wilcoxon para níveis de concentração de radiação observados na sala de ergometria da Clínica A**

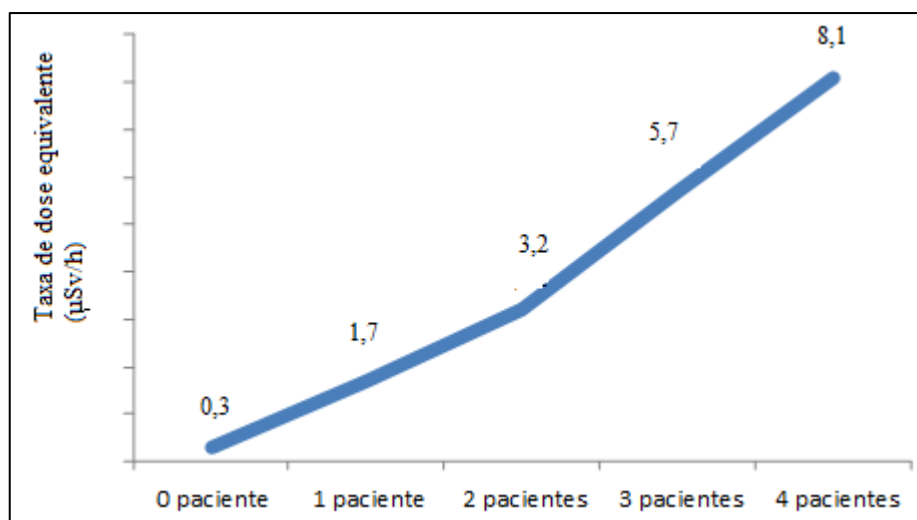
Ergometria	Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	DP da Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Escore médio	Teste de Wilcoxon	p-valor
P19	0,3	0,5	1435,1978 <sup>a</sup>		
P20	0,5	1,3	1441,8022 <sup>a</sup>	-0,4214	< 0,6734

Fonte: Dados da pesquisa.

A sala de ergometria foi o único ambiente em que não foi observada diferença estatisticamente significativa de taxa de dose entre os pontos P19 e P20.

#### 4.1.2.4 Relação entre número de pacientes e taxa de dose na sala de espera da Clínica A

Foi verificada, ainda, a dose média de radiação de acordo com o número de pacientes na sala de espera (Figura 13).



**Figura 13 – Taxa de dose média de radiação na sala de espera conforme o número de pacientes – Clínica A**

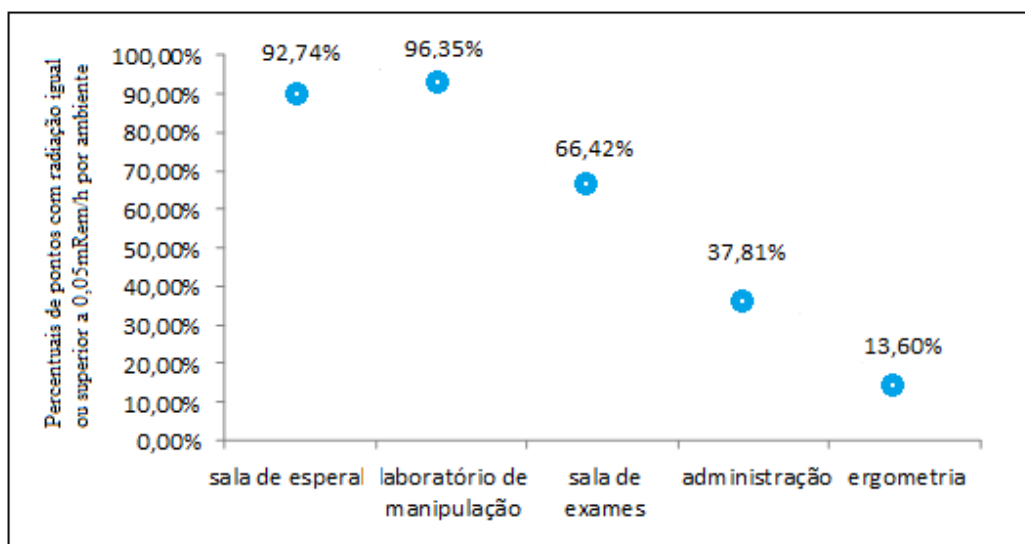
Fonte: Dados da pesquisa.

A Figura 13 mostra a dose média da sala de espera de acordo com o número de pacientes. A taxa de dose na sala de espera depende de diversas variáveis tais como número de pacientes, dose administrada, peso do paciente, altura do paciente, local e posicionamento do paciente, entre outros.

A avaliação da Figura 13 permite mostrar que a taxa de dose na sala de espera sofreu um acréscimo de acordo com o aumento do número de pacientes. Esse resultado indica que a presença de um único paciente já requer a prática de otimização, por estar acima do valor de referência para otimização e valor limite de área livre.

#### 4.1.2.5 Comparação das taxas de radiação encontradas com os limites estabelecidos pela CNEN para exclusão de otimização da Clínica A

Foi avaliada a quantidade de medidas que excediam o limite do trabalhador por hora em cada dependência (Figura 14), apresentando os percentuais de pontos com taxa de dose superior a  $0,5 \mu\text{Sv/h}$ .

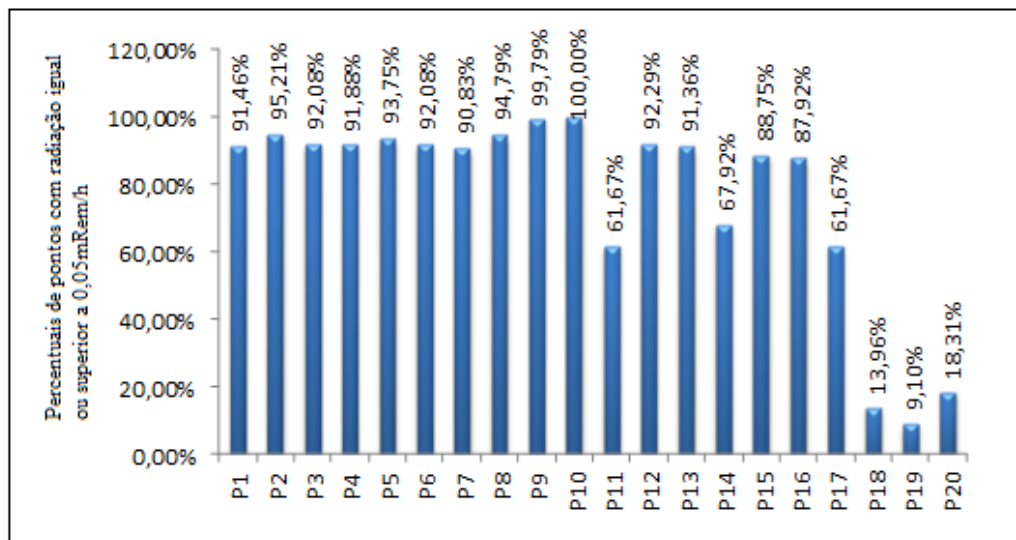


**Figura 14 - Percentuais de pontos com radiação igual ou superior a  $0,5 \mu\text{Sv/h}$  (média geral por ambiente) – Clínica A**

**Fonte: Dados da pesquisa.**

Em todos os ambientes avaliados, são encontrados pontos que apresentam taxa de dose superior ao estabelecido pela Norma CNEN, destacando que o laboratório de manipulação é a que apresenta maior percentual de medições igual ou acima de  $0,5 \mu\text{Sv/h}$  (96,35%), enquanto a sala de ergometria é a que apresenta menor percentual (13,6%).

Na Figura 15 são apresentados os percentuais de pontos avaliados com taxa de dose superior a  $0,5 \mu\text{Sv/h}$  por ponto.



**Figura 15 - Percentuais de taxas por ponto  $\geq 0,5 \mu\text{Sv/h}$  – Clínica A**  
**Fonte: Dados da pesquisa.**

Maiores percentuais de taxas de dose igual ou maior  $0,5 \mu\text{Sv/h}$  foram encontrados para os pontos P10 (laboratório de manipulação) e P12 (sala de exames), que atingiram 92,29%, enquanto P9 (laboratório de manipulação) chegou a 99,79% de pontos com valor igual ou superior a  $0,5 \mu\text{Sv/h}$ .

Os dados mostram que mesmo taxas de doses pequenas em relação ao limite de dose anual do trabalhador, o percentual de medidas feitas não dispensam otimização, pois os valores da taxa de dose excedem  $0,5 \mu\text{Sv/h}$ .

#### 4.1.2.6 Comparação das taxas de radiação encontradas com os limites de dose do trabalhador, I.P estabelecidos pela CNEN da Clínica A

Após o cálculo das médias da taxa de dose dos serviços de medicina nuclear, os dados de taxa por hora foram transformados em taxa por ano para verificar se as dependências do serviço alcançam os valores de radiação anual limitados pela norma NN-CNEN 3.01 (2005). Foi considerado que a Clínica A fica aberta durante um período de 2.000 horas por ano, valor estipulado em cálculos de blindagem, segundo a CNEN/IRD. O tempo em horas por ano que a Clínica A fica aberta foi baseado no período de trabalho dos empregados estipulados na norma CNEN-3.01. A Tabela 11 representa uma simulação da taxa de dose média em cada dependência do serviço de medicina nuclear baseada na estimativa que o serviço permaneça aberto durante o período de 2000h no ano.

**Tabela 11 - Projeções anuais de dose equivalente para os pontos mensurados da Clínica A**

Pts	Ambiente	Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Taxa de dose (mSv/h)	Dose (mSv/dia)	Dose (mSv/ano)	Lim. IOE (mSv/ano)	Lim. anual I.P. e otimização (mSv)	Lim. anual IOE invest. (mSv)
P1	Espera	3,0	0,0030	0,0240	6,0	20	1	6
P2		3,7	0,0037	0,0296	7,4	20	1	6
P3		2,6	0,0026	0,0208	5,2	20	1	6
P4		3,4	0,0034	0,0272	6,8	20	1	6
P5		2,7	0,0027	0,0216	5,4	20	1	6
P6		2,2	0,0022	0,0176	3,8	20	1	6
P7		0,9	0,0009	0,0072	1,8	20	1	6
P8	Manipulação	1,0	0,0010	0,0080	2,8	20	1	6
P9		4,8	0,0048	0,0384	9,6	20	1	6
P10		1,3	0,0013	0,0104	2,6	20	1	6
P11	Exame	0,6	0,0006	0,0048	1,2	20	1	6
P12		2,0	0,0020	0,0160	4,0	20	1	6
P13		1,2	0,0012	0,0096	2,4	20	1	6
P14		0,7	0,0007	0,0048	1,4	20	1	6
P15		2,3	0,0023	0,0056	4,6	20	1	6
P16		1,3	0,0013	0,0104	2,6	20	1	6
P17		Administração	0,7	0,0007	0,0056	1,2	20	1
P18	0,4		0,0004	0,0032	0,8	20	1	6
P19	Ergometria	0,5	0,0005	0,0040	1,0	20	1	6
P20		0,5	0,0005	0,0040	1,0	20	1	6

Fonte: Dados da pesquisa.

De acordo com os dados da taxa de dose de radiação das dependências comparados pode se perceber que os valores da taxa de dose foram maiores no laboratório de manipulação, sala de espera de pacientes injetados e sala de exames. No entanto, apesar dos altos valores da taxa de dose, nenhuma dependência atingiu o limite máximo de dose permitido pela NN-CNEN 3.01 (2005) que é de 20 mSv/ano.

Foi observado que nesta clínica a sala de espera de pacientes injetados, laboratório de manipulação e sala de exames apresentaram pontos cujas concentrações de radiação foram maiores. O ponto P9 do laboratório de manipulação, que está perto do depósito de rejeitos, e o P1, P2 e P4 da sala de espera atingiram o limite de investigação de 6 mSv/h. O fato de grande concentração de radiação na sala de manipulação pode ser explicado por causa do armazenamento e manipulação das fontes radioativas, já na sala de espera a radiação existente na maioria das vezes é oriunda de pacientes injetados com radiofármacos.

A sala de espera de pacientes injetados, que não apresenta fluxo de elementos radioativos, atingiu valores significativos em relação ao limite de investigação por causa do número de pacientes injetados com elementos radioativos que ali aguardam pelos exames.

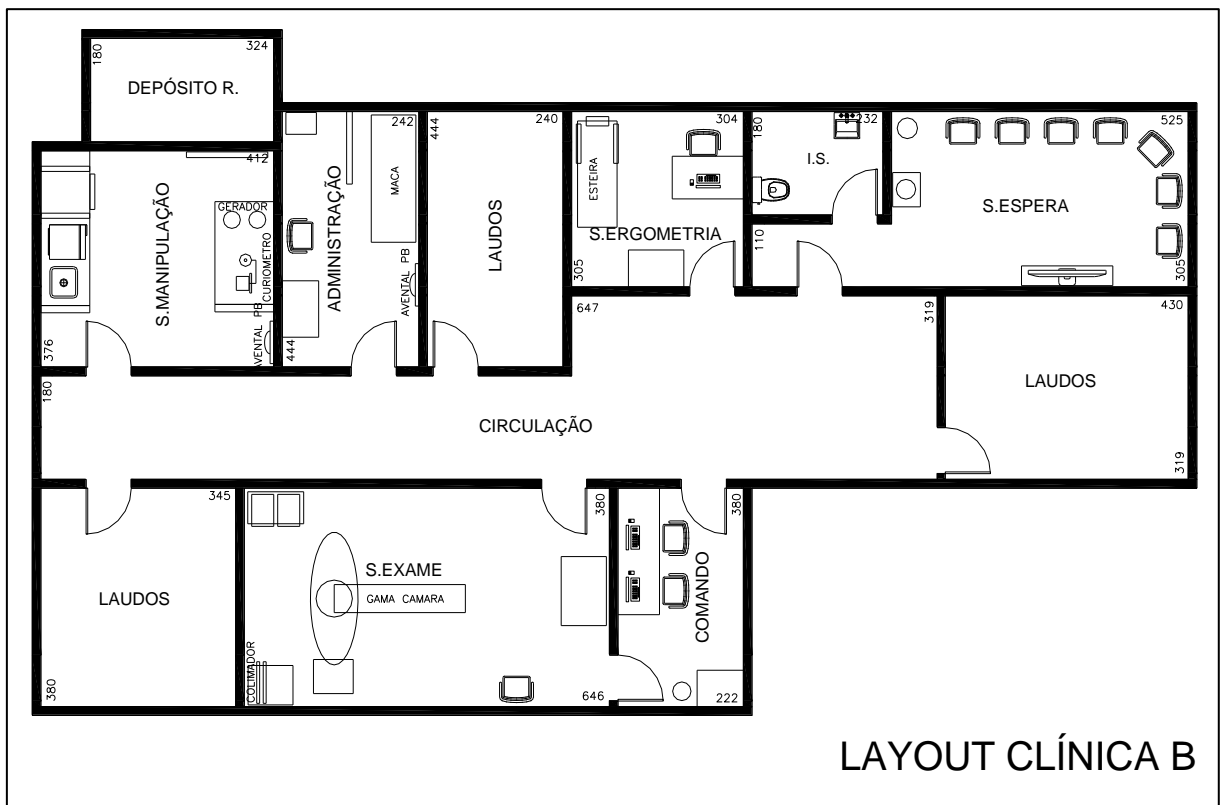
A avaliação de taxa de dose por dia mostrou que os pontos P2 e P3 da sala de espera forneceram taxa de dose de 0,02 mSv/dia, que são inferiores ao limite do acompanhante adulto de 5mSv e de acompanhante criança de 1mSv.

A maior parte dos pontos ofereceram em geral medidas acima do valor BG de radiação, limite do I.P e de otimização. A sala de espera, laboratório de manipulação, sala de exames tiveram todos os pontos de taxa de dose acima do limite I.P e dos valores de referência para otimização de 1mSv/ano. Pelo princípio ALARA, acredita-se que mesmo que o nível de radiação seja pequeno, estas devem ser otimizadas através de procedimentos e projetos de construções.



## 4.2 CLÍNICA B

A unidade de Medicina Nuclear nomeada como Clínica B, nesse estudo, está localizada em uma clínica privada na região Norte do Paraná, Brasil. Este serviço atende a especialidade de Medicina Nuclear e Radiologia. Sua localização foi planejada, mas ainda assim para funcionar o serviço teve que se adequar as normas da CNEN e da ANVISA. A instalação possui um único acesso de entrada e saída. Na Figura 16 apresenta-se o *layout* das áreas da clínica onde foi realizado.



**Figura 16 - Layout da Clínica B**  
**Fonte: Clínica B.**

A sala de espera de pacientes injetados fica localizada no final do corredor e contém sete cadeiras, um aparelho de televisão, um bebedouro, um cesto de lixo. Acoplado à sala de espera encontra-se a instalação sanitária para uso dos pacientes injetados. Esta sala está em conformidade com a norma Anvisa no que diz respeito à dimensão mínima (3,0 m<sup>2</sup>), possuindo 18,8 m<sup>2</sup>, e com a norma CNEN quanto à

blindagem, que no caso é de barita e chumbo, bem como por conter instalação sanitária para pacientes injetados.

O laboratório de manipulação tem 15,4 m<sup>2</sup> e, portanto, possui as dimensões em conformidade com a norma ANVISA (8,0 m<sup>2</sup>) e tem blindagem adequada, respeitando a norma CNEN. Como a clínica não possui um ambiente específico para acomodação dos rejeitos radioativos até a sua destinação final, estes são acondicionados dentro do laboratório de manipulação, visando reduzir a possibilidade de contaminação.

Na sala de exames, a câmara gama encontra-se à distância adequada das paredes em sua largura e também em seu comprimento, conforme estabelecido pela ANVISA. A área da sala de exames é de 22 m<sup>2</sup>. Também possui blindagem adequada conforme recomendado pelo CNEN.

A sala de administração de radiofármacos atende à dimensão mínima estabelecida pela ANVISA, pois possui 10,4 m<sup>2</sup>, e a blindagem adequada, o mesmo ocorrendo com a sala de ergometria.

Quanto aos fluxos de paciente, funcionários e insumos radioativos, observa-se que existe uma certa preferência de fluxo de pacientes na sala de espera de pacientes injetados. A sala de ergometria tem uma área de 9,12 m<sup>2</sup>. A Tabela 12 representa as conformidades dos ambientes da Clínica B segundo as normas da ANVISA e CNEN.

**Tabela 12 - Conformidades da Clínica B de acordo com as normas CNEN e ANVISA da Clínica B**

<b>Ambientes</b>	<b>Dimensão mínima (ANVISA)</b>	<b>Dependências indispensáveis</b>	<b>Blindagem</b>
Sala de espera (paciente injetado)	3,0 m <sup>2</sup>	Conforme	Barita e chumbo
Sanitário (paciente injetado)	NE	Conforme	Adequada
Laboratório de manipulação	8,0 m <sup>2</sup>	Conforme	Adequada
Sala de exames	100 cm* 60 cm**	Conforme	Adequada
Sala de administração de radiofármacos	2,2 m <sup>2</sup>	Conforme	Adequada
Ergometria	NE	Conforme	Adequada
Armazenamento de rejeitos radioativos	4,0 m <sup>2</sup>	Não conforme	-

NE = não estabelecido; \* distância do aparelho das paredes quanto à largura; \*\* distância do aparelho das paredes quanto à distância.

**Fonte: Dados da pesquisa.**

#### 4.2.1 Avaliação das dosimetrias individuais dos trabalhadores da Clínica B

Foi avaliada a dosimetria mensal dos trabalhadores para saber se estes ultrapassam limites de 1mSv. A Tabela 13 compara os valores de dose recebidos pelos trabalhadores e o valor de exclusão do princípio de otimização na clínica B.

**Tabela 13 - Dosimetria individual dos trabalhadores do serviço de medicina nuclear (em mSv/ano) da Clínica B**

Clínica	IOE	2012	2013	2014
Clínica A	IOE1	4,1	3,3	5,2
	IOE2	5,2	6,0	1,9
	IOE3	N	N	12,5
	IOE4	N	N	2,7
	IOE5	BG	BG	BG
	IOE6	BG	BG	BG

N = não teve; BG = abaixo de 0,2 mSv

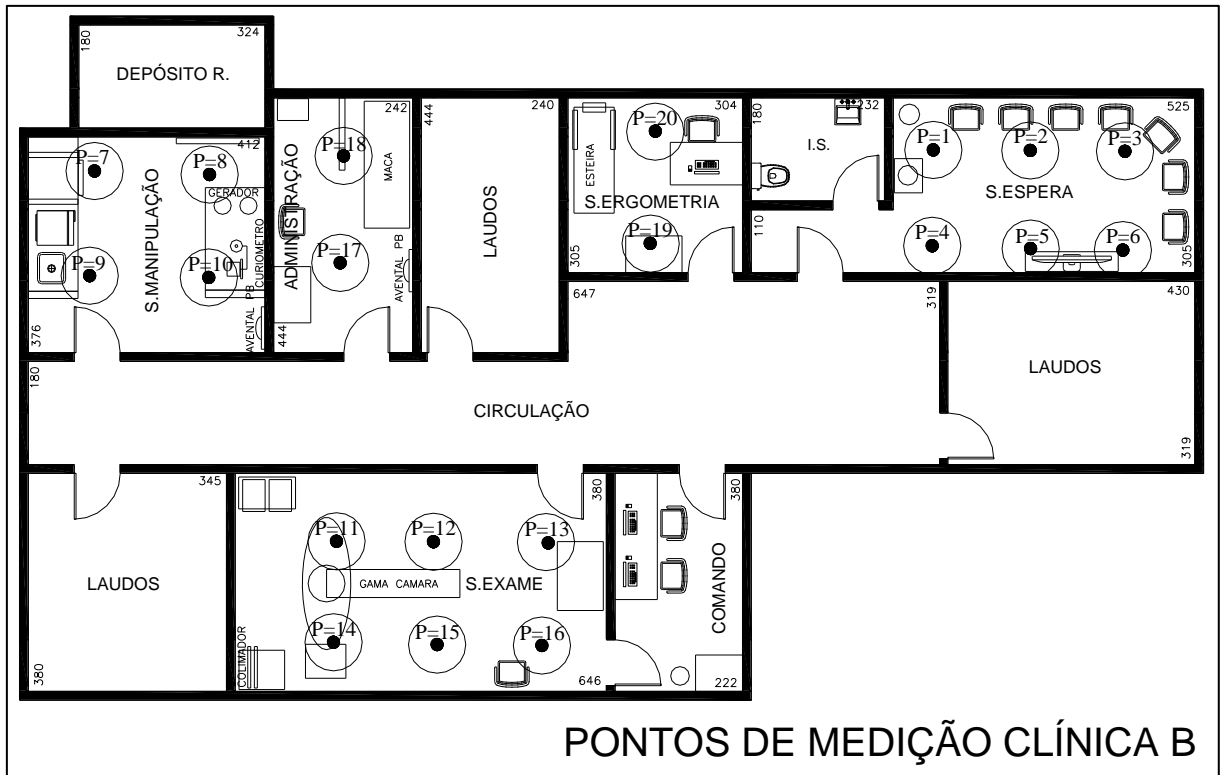
**Fonte: Dados da pesquisa.**

A dosimetria do IOE 3 atingiu os maiores valores de dose equivalente desta pesquisa, superando 12x os valores de referência de necessidade de otimização. Dos 6 IOEs avaliados, 4 atingiram os limites de otimização de 1mSv/ano.

Os dados da dosimetria dos trabalhadores mostram que as doses excederam os limites de otimização da norma NN-CNEN 3.01 (2005), desrespeitando o item (b) da norma, exigindo que novos procedimentos sejam analisados a fim de melhorar a qualidade do serviço.

#### 4.2.2 Avaliação das taxas de dose ambiental da Clínica B

Para avaliação das taxas de dose ambiental foram definidos 20 pontos de medição, conforme mostra a Figura 17.



**Figura 17 - Pontos de medição da radiação na Clínica B**

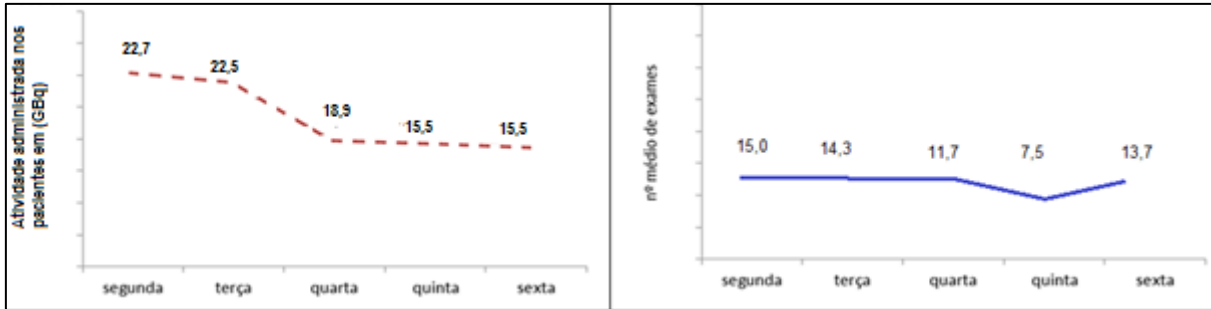
**Fonte: Autor.**

Como mostra a Figura 17, na sala de espera foram definidos 6 pontos (P1 a P6); no laboratório de manipulação quatro pontos (P7 a P10); na sala de exames estão seis pontos (P11 a P16); na sala de administração de radiofármacos tem-se dois pontos (P17 e P18); na sala de ergometria dois pontos (P19 e P20).

As medições foram realizadas em três momentos diferentes: 02 a 13 de fevereiro; 6 a 17 de abril e 18 a 29 de maio do corrente ano.

#### 4.2.2.1 Dose de radiação e taxa de dose por dia da semana e turno da Clínica B

Os exames realizados nesses períodos são apresentados na íntegra no Apêndice A. A Figura 18 traz a média da dose por dia da semana e o número médio de exames realizados por dia da semana.



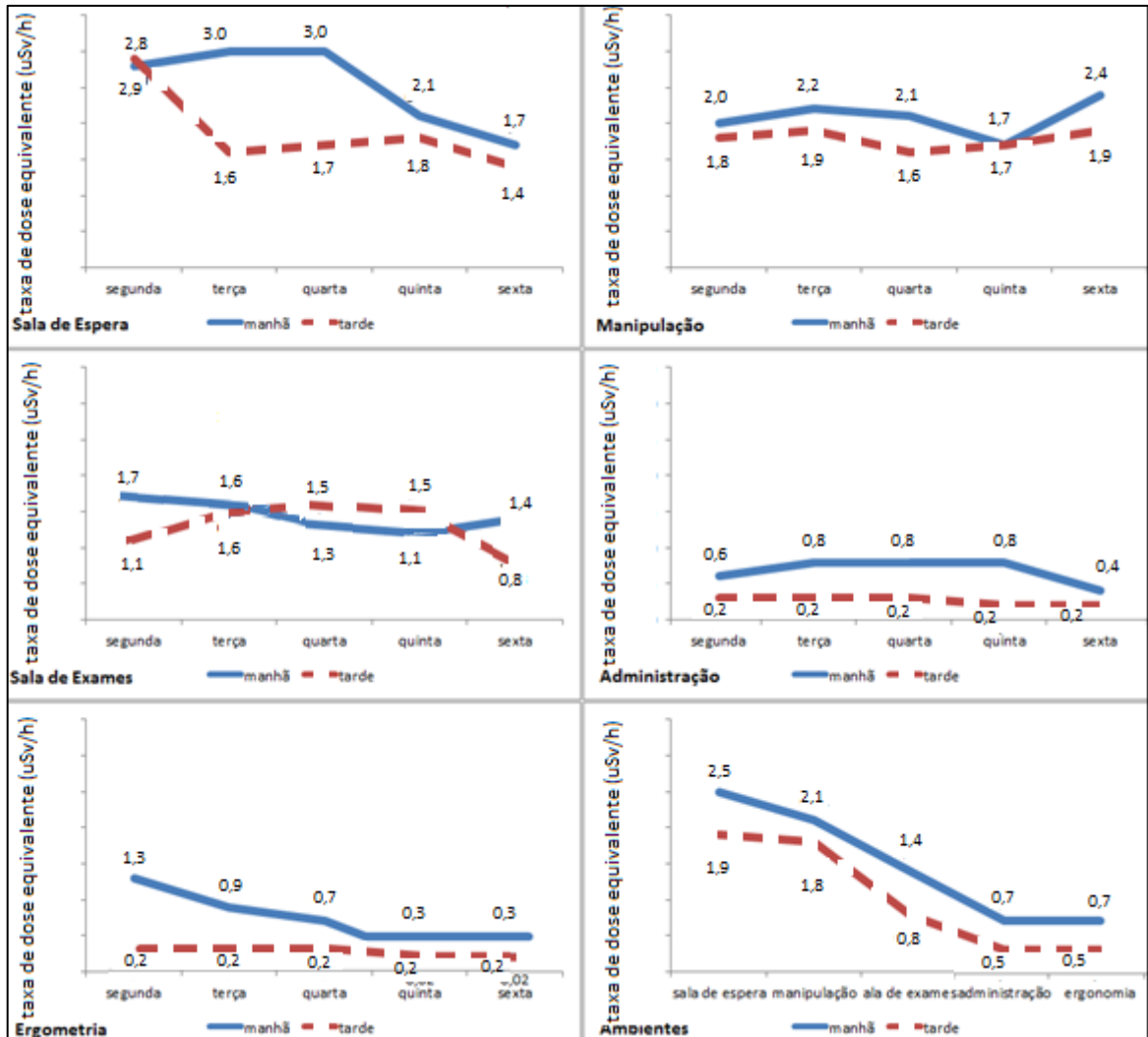
**Figura 18 – Atividade administrada e média do número de exames realizados por dia da semana – Clínica B**

Fonte: Documentos da clínica.

De acordo com a Figura 18, foi realizado maior número de exames nas segundas e terças-feiras, enquanto na quinta-feira foi realizado o menor número de exames, voltando esse número a subir na sexta-feira, mas sem alcançar os valores de doses do início da semana. Como consequência, a dose de radiação utilizada para a realização dos exames também apresentou valores maiores no início da semana e decaiu no decorrer dela.

As doses de radiofármacos no início da semana são maiores em função do gerador de tecnécio que chega do IPEN com grande quantidade de tecnécio na segunda-feira e decai no decorrer da semana passando a ter menor atividade na sexta-feira.

A Figura 19 traz a média de taxa de dose por turnos em cada ambiente da Clínica B.



**Figura 19 - Taxa de dose por ambiente, por período e por dia da semana – Clínica B**  
**Fonte: Dados da pesquisa.**

Em concordância com o relatório de exames fornecido pela clínica, os dados obtidos com as medições das taxas de exposições também indicam maior taxa de dose no início da semana, decaindo no transcorrer desta (Figura 19).

Com relação à taxa de dose por turno, foi verificado que a taxa média de dose observada no período matutino é, aproximadamente, 25% superior à taxa média de dose do período vespertino (Tabela 14). Nessa clínica, a maioria da administração de doses são realizadas no período matutino, pois exames como fisiologia do miocárdio, cintilografias cerebral e óssea requerem a administração antecipada de dose de radiofármacos, o que é feito pela manhã, elevando a taxa de dose no laboratório de manipulação e na sala de espera de pacientes injetados.

O teste de comparação de Wilcoxon mostrou que a taxa de dose entre os turnos foram significativamente diferentes entre o período matutino e vespertino. Ao

nível de confiança de 95%, a diferença entre as taxas de dose entre os períodos matutino e vespertino são estatisticamente significativos.

A Tabela 14 apresenta a taxa média de dose por turnos da Clínica B.

**Tabela 14 - Taxa média de dose, desvio-padrão, Teste de comparação de Kruskal-Wallis (aproximação Z), por turnos da Clínica B**

Ambientes	Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	DP da Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Escore médio	Teste de Kruskal-Wallis	p-valor
Matutino	1,4	2,0	20738,5391 <sup>a</sup>	25,2921	0,0001*
Vespertino	1,1	1,9	17749,6967 <sup>b</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%.

**Fonte: Dados da pesquisa.**

O teste de comparação de Wilcoxon por turnos e ambiente mostrou que a taxa de dose entre os turnos e ambientes foram significativos.

A Tabela 15 apresenta a taxa média de dose dos ambientes por turnos da Clínica B.

**Tabela 15 - Taxa média de dose, desvio-padrão, coeficiente de variação (CV), escore médio e Teste de comparação de Kruskal-Wallis, por turnos e por ambiente da Clínica B**

Ambientes	Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	DP da Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	CV (%)	Escore médio	Teste de Kruskal-Wallis	p-valor
Sala de espera						
Matutino	2,6	2,6	100,68	4990,8923 <sup>a</sup>	2,5826	0,0049*
Vespertino	1,9	2,7	137,96	4003,7469 <sup>b</sup>		
Manipulação					17,5378	<0,0001*
Matutino	2,1	2,2	109,06	2958,4796 <sup>a</sup>		
Vespertino	1,8	1,9	107,09	2836,4587 <sup>b</sup>		
Sala de exames					11,5514	<0,0001*
Matutino	1,5	1,8	123,19	4764,2487 <sup>a</sup>		
Vespertino	1,3	1,9	144,91	4106,4126 <sup>b</sup>		
Administração					11,6949	<0,0001*
Matutino	0,8	1,4	181,81	1651,8689 <sup>a</sup>		
Vespertino	0,2	0,4	162,72	1340,3946 <sup>b</sup>		
Ergometria					6,5565	<0,001*
Matutino	0,6	1,4	230,63	1504,7790 <sup>a</sup>		
Vespertino	0,3	0,7	230,99	1407,0238 <sup>b</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%.

**Fonte: Dados da pesquisa.**

A Tabela 15 mostra que a diferença entre as taxas de e dose observada entre os dois períodos é estatisticamente significativa ao nível de confiança de 95% em todos os ambientes. Além disso, deve-se observar que, de acordo com o coeficiente de variação, ocorre uma variação bastante ampla entre as taxas de dose, que em todos os ambientes apresenta-se superior a 100,00%. Em todas as dependências desse serviço as médias de taxa de dose e escores médios foram maiores no período da manhã. A análise estatística mostra que as necessidades de otimização para este serviço são maiores no período da manhã para cada dependência. Sendo assim, sugere-se mais atenção no requisito de radioproteção, através de cuidados e novos procedimentos, nessa parte do dia.

#### 4.2.2.2 Taxa de dose por ambientes de monitoração da Clínica B

Com relação aos diferentes ambientes, pode-se afirmar que existem três grupos de taxas de dose na Clínica A. O primeiro grupo apresenta as maiores taxas: sala de espera e laboratório de manipulação. No segundo grupo está sala de exames, que apresenta a terceiro maior taxa média de dose, enquanto no terceiro grupo, se encaixam a sala de administração de radiofármacos, a ergometria e o corredor, observando que a taxa de dose deste último ambiente é equivalente a taxa de exposição natural, ou seja, menor ou igual a  $0,5 \mu\text{Sv/h}$ .

Com os valores da taxa de dose criou-se um mapa espacial de dose que mostra em análise visual as dependências que fornecem mais exposição.

Dependências de classificação livre apresentaram menores quantidade de pontos de dose. Pontos de maior concentração de pacientes injetados e fontes radioativas contribuíram para aumento do nível radiométrico ambiental e podem ser observados nos pontos onde a intensidade de pontos de dose aumentam (Figura 20).



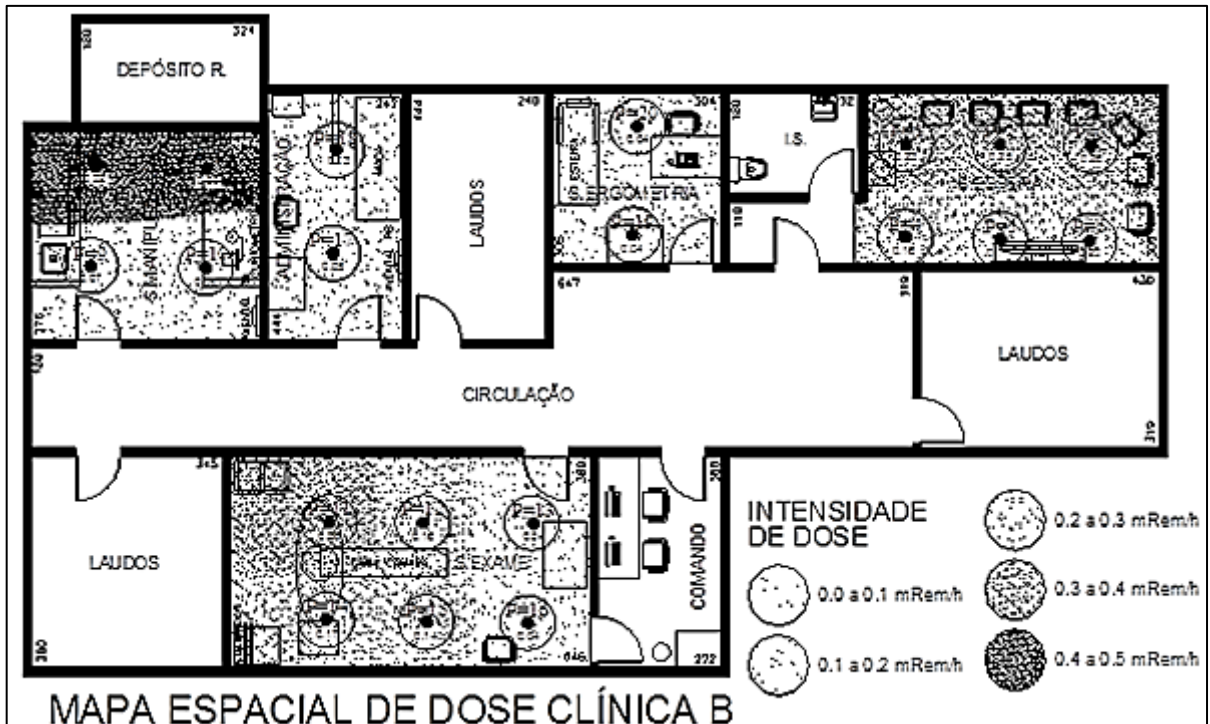


Figura 20 - Mapa espacial de dose – Clínica B

Fonte: Autor.

Esses resultados são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Taxa média de dose, desvio-padrão, (Teste de Kruskal-Wallis) da Clínica B

Ambientes	Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	DP da Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Escore médio	Teste de Kruskal-Wallis	p-valor
Sala de espera	2,1	2,0	20871,5783 <sup>a</sup>	8571,9230	<0,0001*
Manipulação	1,9	2,6	27131,9233 <sup>a</sup>		
Sala de exames	1,4	1,9	20021,0401 <sup>b</sup>		
Administração	0,4	0,9	9308,8833 <sup>c</sup>		
Ergometria	0,4	1,0	15179,4292 <sup>e</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%.

Fonte: Dados da pesquisa.

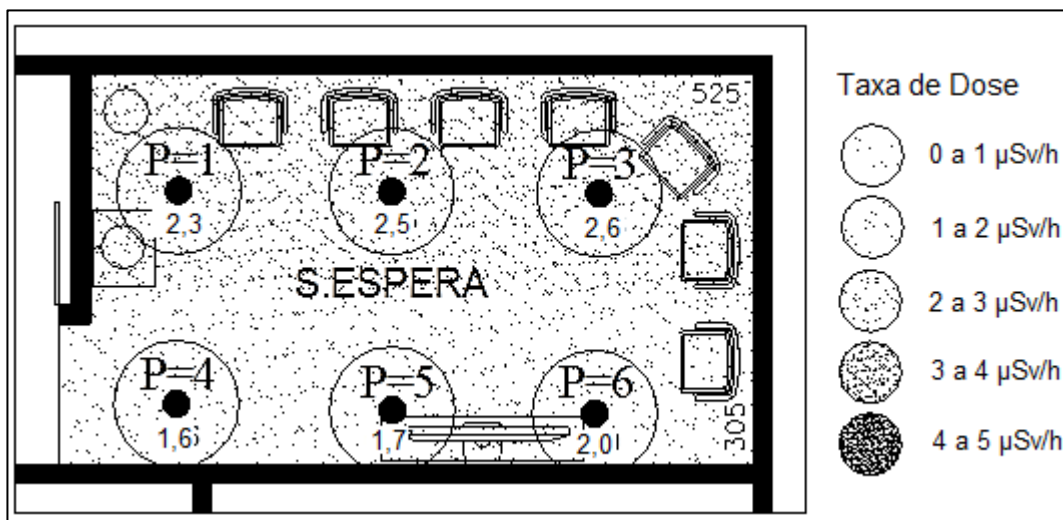
De acordo com a média de taxa de dose verificou-se que o laboratório de manipulação e a sala de espera são as dependências mais quentes. Como o desvio padrão foi grande comparado com o valor da média, o método de Kruskal-Wallis mostrou que essas diferenças da taxa de radiação são relativamente significantes.

A sala de espera apresentou a maior média devido ao fluxo de pacientes que, em alguns momentos, chegou a sete pessoas injetadas com radiação. Porém, o laboratório de manipulação foi o que atingiu o maior escore médio em análise estatística por apresentar radiação mais constante durante todo o período de abertura da clínica.

#### 4.2.2.3 Taxas médias de dose por pontos de medição e local da Clínica B

A partir dos dados da taxa de dose foi criado o mapa espacial de dose da sala de espera de pacientes injetados. A Figura 21 representa as variações das médias de taxa de dose em cada região do espaço físico, os pontos de intensidade de dose foram utilizadas como ferramenta para facilitação visual.

Os locais de aumento do nível radiométrico ambiental podem ser observados nas regiões onde a concentração de pontos é mais intensa.



**Figura 21 - Mapa espacial de dose da sala de espera – Clínica B**  
**Fonte: Autor.**

Na Tabela 17 são apresentadas as taxas médias de dose por ponto nos locais de monitoração.

**Tabela 17 - Taxa de dose média, desvio-padrão e teste de comparação de Kruskal-Wallis para níveis de concentração de radiação observados na sala de espera de pacientes injetados da Clínica B**

S. Espera	Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	DP da Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Escore médio	Teste de Kruskal-Wallis	p-valor
P1	2,3	3,0	4322,4809 <sup>a</sup>		
P2	2,5	3,2	4551,6768 <sup>b</sup>		
P3	2,6	3,0	4643,8518 <sup>b</sup>	81,1563	<0,0001*
P4	1,6	1,8	3977,0877 <sup>c</sup>		
P5	1,7	1,9	4087,2139 <sup>d</sup>		
P6	2,0	2,2	4286,6889 <sup>e</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%.

**Fonte: Dados da pesquisa.**

Pode ser observado na Figura 21 maior concentração de radiação em regiões próximas as cadeiras representadas pelas concentrações de pontos de doses. Na sala de espera não foi observada diferença significativa nas taxas de dose entre os pontos P2 e P3, enquanto nos demais pontos as taxas de dose apresentaram diferença significativa estatisticamente.

Para níveis de concentração de radiação na sala de espera podem ser observadas diferenças de taxa de dose em regiões mais distantes das cadeiras nos pontos P4 e P5. Os pontos P4 e P5 tiveram menores taxas médias de dose à radiação e menores escores médios. Sendo assim, de acordo com o mapa espacial de dose, sugere-se que os trabalhadores e enfermeiros fiquem na porta no momento que forem chamar os pacientes para a execução do exame. Outro ponto que pode ser otimizado no serviço, é uma melhor distribuição das cadeiras a fim de reduzir a concentração de radiação em regiões da sala, o que poderia, nesse caso, diminuir a quantidade desnecessária de radiação pelos pacientes que aguardam o exame. O método de Kruskal-Wallis mostrou que essas diferenças da taxa de radiação são relativamente significantes.

A sala de manipulação do serviço de medicina nuclear é a dependência onde se faz a manipulação e armazenamento das fontes radioativas. Com os dados da taxa de dose foi permitido criar-se o mapa espacial de dose da sala de manipulação. O mapa mostra as regiões mais quentes que podem contribuir com aumentos de doses recebidas pelos trabalhadores da clínica (Figura 22).

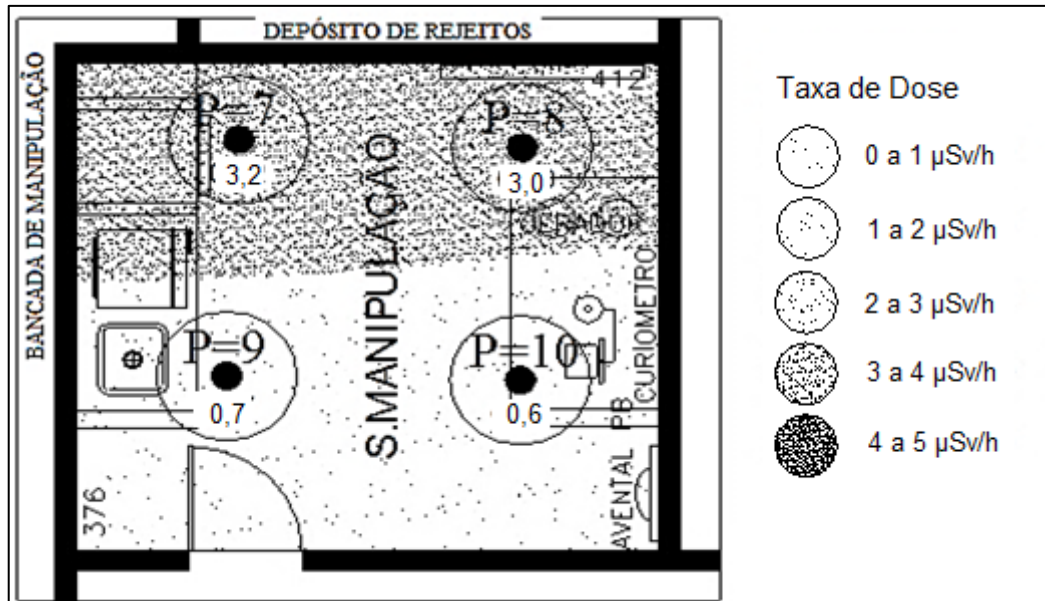


Figura 22 - Mapa espacial de dose do laboratório de manipulação - Clínica B  
Fonte: Autor.

Na Tabela 18 são apresentadas as taxas médias de dose por ponto nos locais de monitoração.

Tabela 18 - Taxa de dose média, desvio-padrão e teste de comparação de Teste de Kruskal-Wallis para níveis de concentração de radiação observados no laboratório de manipulação da Clínica B

Manipulação	Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	DP da Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Escore médio	Teste de Kruskal-Wallis	p-valor
P7	3,2	2,4	4262,2853 <sup>a</sup>		
P8	3,0	1,9	4124,9450 <sup>a</sup>		
P9	0,7	0,9	1679,0706 <sup>b</sup>	3653,8133	<0,0001*
P10	0,6	0,6	1431,6990 <sup>c</sup>		

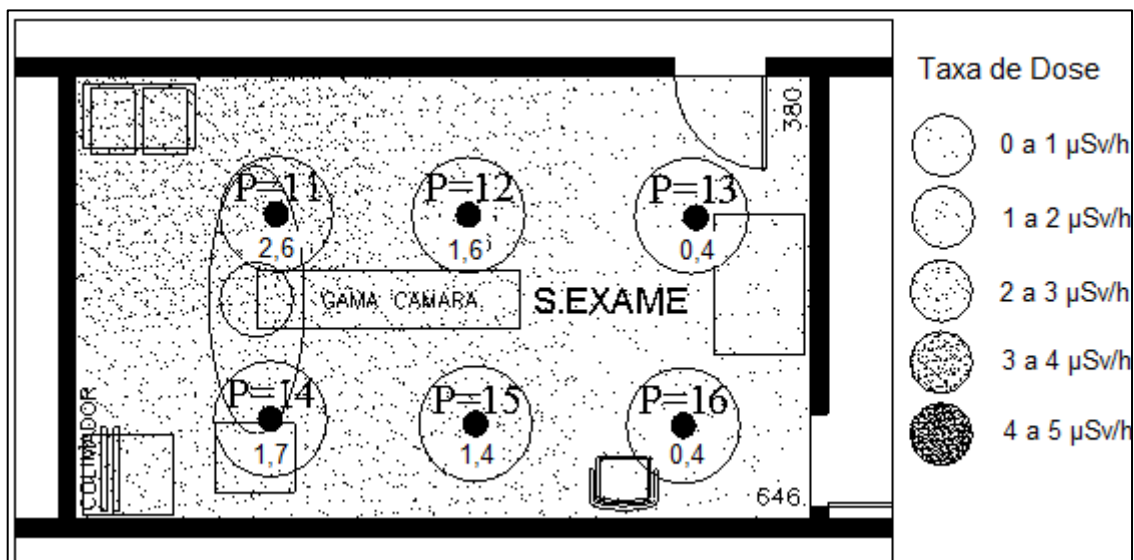
\*Significativo ao nível de confiança de 95%.

Fonte: Dados da pesquisa.

O método de Kruskal-Wallis mostrou que essas diferenças da taxa de radiação são relativamente significantes. No laboratório de manipulação, os pontos P7 e P8 apresentam taxas de dose semelhantes, enquanto os pontos P9 e P10 apresentam valores menores, mas estatisticamente diferentes. Observa-se que devido ao fato da clínica não possuir um local específico para colocação dos rejeitos radioativos, estes são mantidos no laboratório de manipulação e, embora estejam

devidamente acondicionados, podem elevar a taxa de dose. A taxa de dose nos pontos P7 e P8 se mostraram maiores devido a distância entre o local de armazenamento das fontes de radiação e o ponto de execução da medida. Os valores da taxa de dose no ponto P9 e P10 foram menores e foram apresentados no mapa espacial de dose com menos quantidades de pontos de dose. O mapa mostrou que os níveis de radiação em regiões perto do depósito são significativamente superiores, exigindo do trabalhador cuidados específicos com essas regiões de trabalho, tais como a utilização de avental de chumbo e diminuição de tempo durante a manipulação de fontes.

A sala de exames é o local onde os pacientes são colocados um a um e são retiradas informações fisiológicas através do gama câmara. O exame demora em média 30 min, o tempo dependerá de vários fatores tais como peso do paciente, tamanho, tipo de exame outros. Com os dados da taxa de dose foi permitido criar-se o mapa espacial de dose da sala de espera de pacientes injetados. O mapa mostra as regiões mais quentes que podem contribuir com aumentos de doses recebidas pelos trabalhadores da clínica, acompanhantes e outros (Figura 23).



**Figura 23 - Mapa espacial de doses da sala de exames - Clínica B**  
 Fonte: Autor.

Na Tabela 19 são apresentadas as taxas médias de dose por ponto nos locais de monitoração.

**Tabela 19 - Taxa de dose média, desvio-padrão e teste de comparação de Teste de Kruskal-Wallis para níveis de concentração de radiação observados na sala de exame da Clínica B**

S. Exame	Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	DP da Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Score médio	Teste de Kruskal-Wallis	p-valor
P11	2,6	2,7	5403,0351 <sup>a</sup>	1205,2167	<0,0001*
P12	1,6	1,7	4845,2641 <sup>b</sup>		
P13	0,4	1,0	3028,8967 <sup>c</sup>		
P14	1,7	1,7	4796,9426 <sup>b</sup>		
P15	1,4	1,4	4713,5251 <sup>d</sup>		
P16	0,4	0,5	3081,3365 <sup>e</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%.

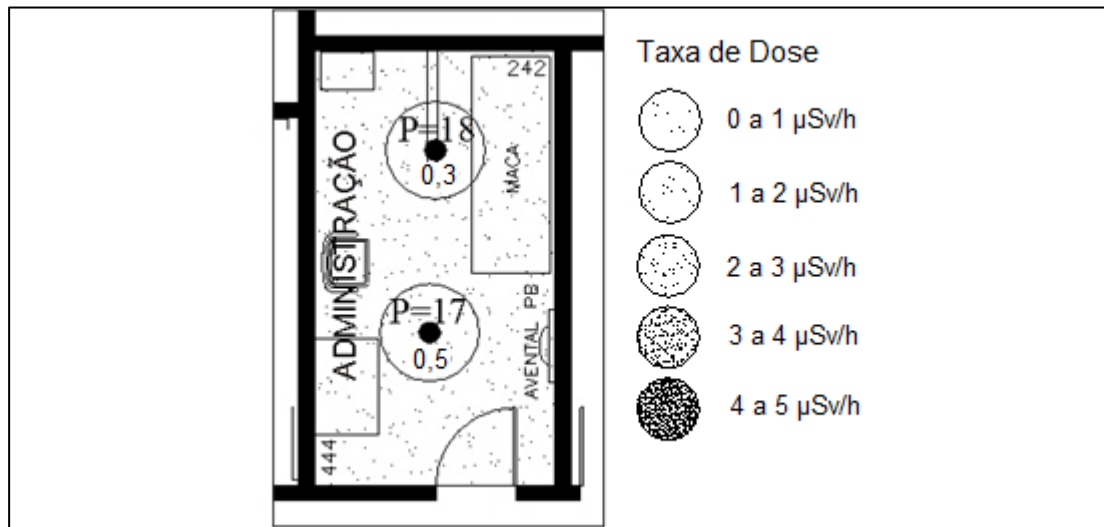
**Fonte: Dados da pesquisa.**

O método de Kruskal-Wallis mostrou que essas diferenças da taxa de radiação são relativamente significantes. Na sala de exames, os pontos P11, P12, P14 e P15 apresentam as maiores taxas de dose, enquanto os pontos P13 e P16 apresentam valores menores. Observa-se que devido ao fato da clínica não possuir um local específico para colocação dos rejeitos radioativos, estes são mantidos no laboratório de manipulação e, embora estejam devidamente acondicionados, podem elevar a taxa de dose. A taxa de dose nos pontos P13 e P16 se mostraram menores devido a distância entre o paciente radioativo e o ponto de execução da medida. Os valores da taxa de dose no ponto P13 e P16 foram menores e foram apresentados no mapa espacial de dose com menores concentrações de pontos. O mapa mostrou que os níveis de radiação em regiões perto do local de posicionamento do paciente são significativamente superiores exigindo do trabalhador cuidados específicos com essas regiões de trabalho. O mapa mostrou que nesta sala de exames a cadeira do acompanhante encontra-se em posição favorável onde se concentra menos radiação. Além disso, é muito importante que, durante os exames, os técnicos fiquem dentro da sala de comando para que não recebam radiação de forma desnecessária.

Na sala de administração de radiofármacos as taxas de dose encontrada se mostraram pequenas em relação às outras dependências do serviço. Esta dependência é utilizada somente para as administrações de radiofármacos que

geralmente eram feitas no período da manhã. As fontes radioativas são levadas até essa dependência no horário da administração, momento em que a sala fica radioativa, fora isto essa dependência não fornece perigo.

Com os dados da taxa de dose foi permitido criar o mapa espacial de dose da sala de administração (Figura 24). O mapa mostra as regiões mais quentes que podem contribuir com aumentos de doses recebidas pelos trabalhadores da clínica, acompanhantes e outros.



**Figura 24 – Mapa espacial de dose da sala de administração de radiofármacos Clínica B**  
**Fonte: Autor.**

Na Tabela 20 são apresentadas as taxas médias de dose por ponto nos locais de monitoração.

**Tabela 20 - Taxa de dose média, desvio-padrão e teste de comparação de Wilcoxon para níveis de concentração de radiação observados na sala de administração de radiofármacos da Clínica B**

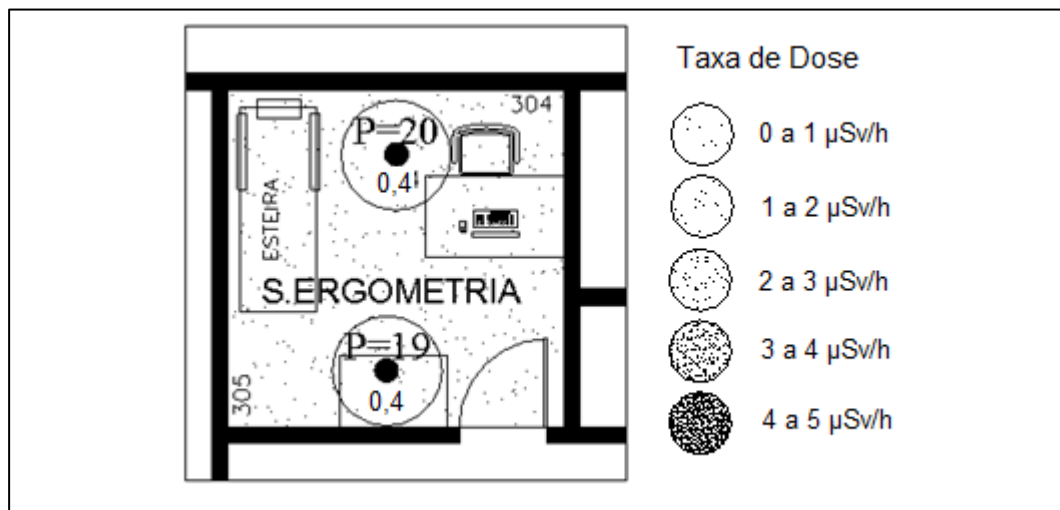
Administração	Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	DP da Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Escore médio	Teste de Wilcoxon	p-valor
P17	0,5	1,1	17728,0280 <sup>a</sup>	2,3782	<0,0087*
P18	0,3	0,3	1408,1604 <sup>b</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%.

**Fonte: Dados da pesquisa.**

Na sala de administração de radiofármacos a taxa de dose encontrada para o P17 corresponde ao dobro do valor encontrado para o P18. A taxa de dose no P17 se mostrou maior que no P18 devido a distância entre o ponto e o local da administração do radiofármaco. O teste de comparação de Wilcoxon mostrou que os níveis de radiação em regiões perto do local de administração de radiofármacos são significativamente superiores.

A sala de ergometria é uma dependência em que se faz teste ergométrico para exames do coração de pacientes radioativos. Esta sala geralmente é utilizada nesta clínica nas segunda-feira e terça-feira. Os exames geralmente são feitos no final do período matutino e início do vespertino. O mapa espacial de dose foi criado nesta dependência considerando as taxas de dose nos dias em que a sala é utilizada e nos dias que ela não é utilizada (Figura 25).



**Figura 25 - Mapa espacial de dose da sala de ergometria – Clínica B**  
**Fonte: Autor.**

Na Tabela 21 são apresentadas as taxas médias de dose por ponto nos locais de monitoração



**Tabela 21 - Taxa de dose média, desvio-padrão e teste de comparação de Wilcoxon para níveis de concentração de radiação observados na sala de ergometria da Clínica B**

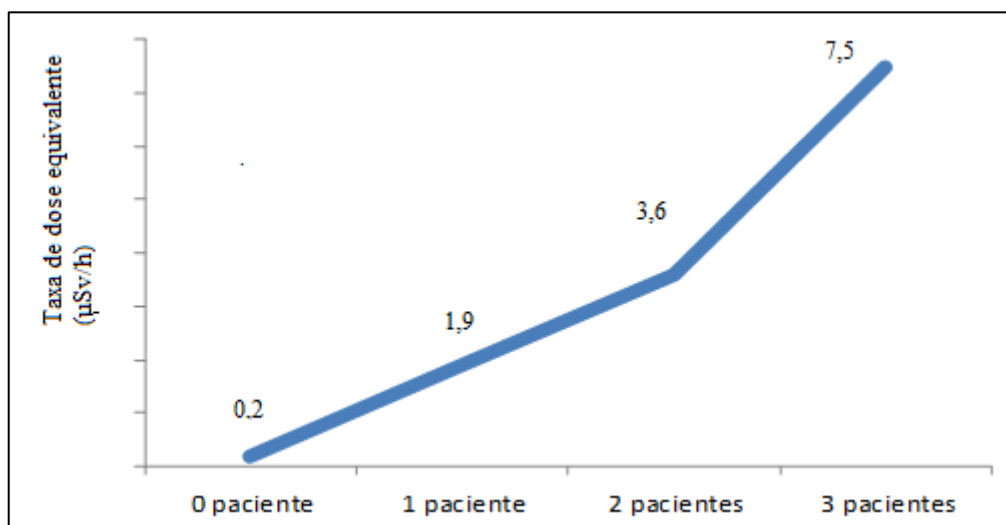
Ergometria	Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	DP da Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Escore médio	Teste de Wilcoxon	p-valor
P19	0,4	0,7	1438,3403 <sup>a</sup>	0,1216	<0,4516
P20	0,4	1,2	1436,6597 <sup>a</sup>		

Fonte: Dados da pesquisa.

A sala de ergometria foi o único ambiente em que não foi observada diferença estatisticamente significativa de taxa de dose entre os pontos P19 e P20, ou seja, a taxa de dose em relação ao escore médio nesta sala é homogênea, já que não teve significância pelo teste de Wilcoxon. Desse modo, sugere-se vestimentas de proteção e atenção básica de proteção radiológica em todas a região dessa dependência, já que não foram encontradas diferenças estatísticas significativas.

#### 4.2.2.4 Relação entre número de pacientes e taxa de dose na sala de espera da Clínica B

Foi verificada, ainda, a dose média de radiação de acordo com o número de pacientes na sala de espera (Figura 26).



**Figura 26 – Taxa de dose média de radiação na sala de espera conforme o número de pacientes – Clínica B**

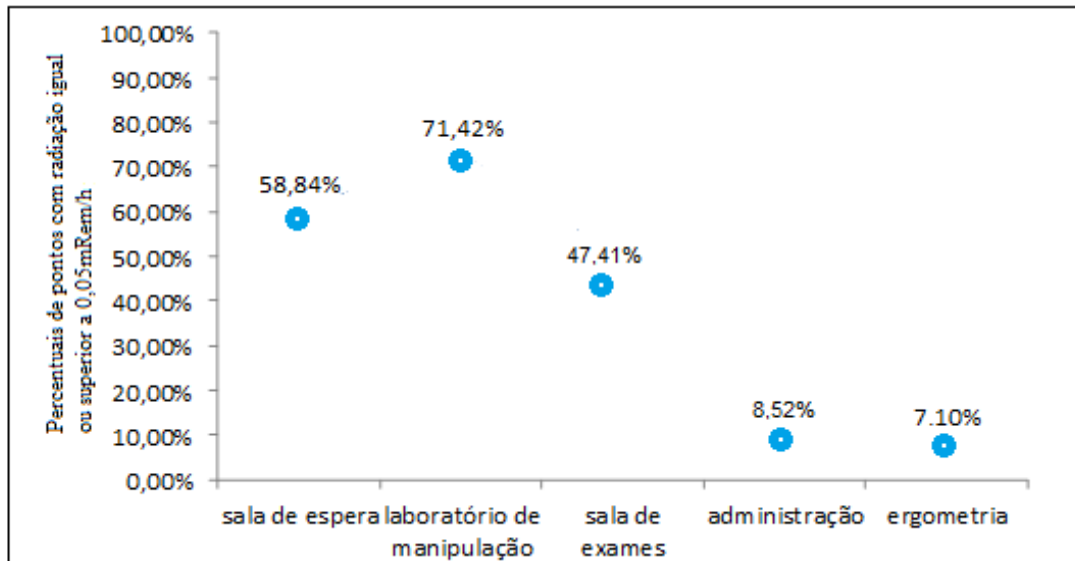
Fonte: Dados da pesquisa.

Na Figura 26 apresenta-se a dose média da sala de espera de acordo com o número de pacientes, em três etapas de medidas. A taxa de dose na sala de espera depende de diversas variáveis tais como número de pacientes, dose administrada, peso do paciente, altura do paciente, local e posicionamento do paciente, entre outros.

A avaliação da Figura 26 permite mostrar que a taxa de dose na sala de espera sofre um acréscimo de acordo com o aumento do número de pacientes na sala de espera. Esse resultado indica que a presença de um único paciente na sala de espera já requer a prática de otimização por parte dos trabalhadores. Os valores de taxa de dose mostram que os valores de  $0,5 \mu\text{Sv/h}$  com a presença de um único paciente não dispensa o requisito de otimização, comprovando assim que um único paciente no ambiente pode indicar necessidade de otimização. Além disso, ainda não se pode garantir que essas doses não oferecem nenhum risco a esses pacientes que aguardam pelo exame.

#### 4.2.2.5 Comparação das taxas de radiação encontradas com os limites estabelecidos pela CNEN para exclusão de otimização da Clínica B

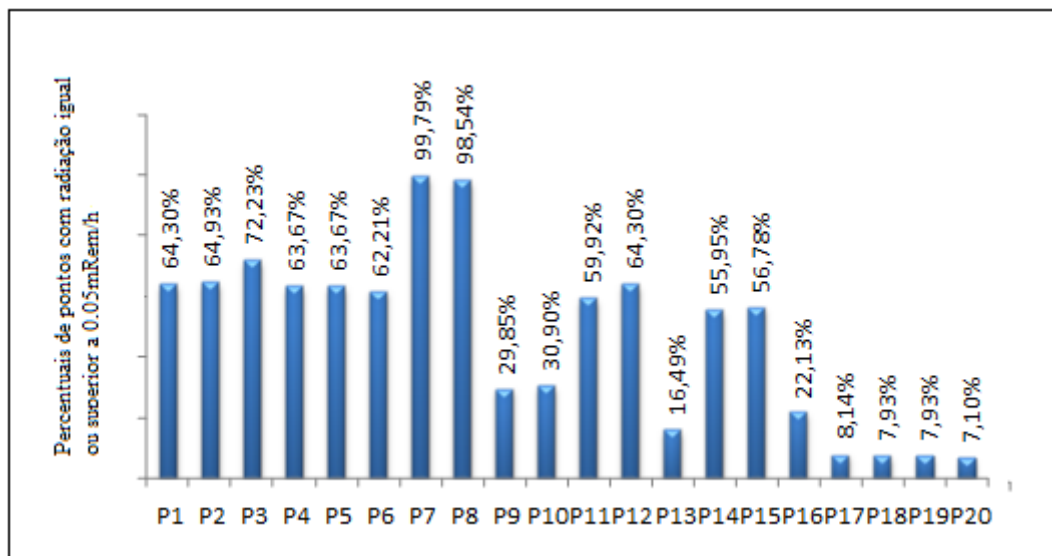
Foi avaliada a quantidade de medidas que excediam o limite do trabalhador por hora em cada dependência. Na Figura 27 são apresentados os percentuais de pontos avaliados com taxa de dose superior a  $0,5 \mu\text{Sv/h}$  por dependência.



**Figura 27 - Percentuais de pontos com radiação igual ou superior a 0,5  $\mu$ Sv/h (média geral por ambiente) – Clínica B**  
**Fonte: Dados da pesquisa.**

Em todos os ambientes avaliados, são encontrados pontos que apresentam taxa de dose superior ao estabelecido pela Norma CNEN.

Na Figura 28 são apresentados os percentuais de pontos avaliados com taxa de dose superior a 0,5  $\mu$ Sv/h por ponto.



**Figura 28 - Percentuais de taxas de radiação por ponto  $\geq$  0,5  $\mu$ Sv/h – Clínica B**  
**Fonte: Dados da pesquisa.**

Maiores percentuais de taxas de dose igual ou maior a  $0,5 \mu\text{Sv/h}$  foram encontrados para os pontos P7 e P8, que se encontram no laboratório de manipulação e corresponde ao local onde são armazenados os rejeitos radioativos da clínica em estudo.

Os dados mostram que mesmo que as taxas de doses sejam pequenas em relação ao limite de dose anual do trabalhador, o percentual de medidas feitas não dispensa otimização, pois os valores da taxa de dose excedem  $0,5 \mu\text{Sv/h}$ .

#### 4.2.2.6 Comparação das taxas de radiação encontradas com os limites de dose do trabalhador, I.P estabelecidos pela CNEN da Clínica B

Após a criação dos dados das médias da taxa de dose dos serviços de medicina nuclear, os dados de taxa por hora foram transformados em taxa por ano para verificar se as dependências do serviço alcançam os valores de radiação anual limitados pela norma NN-CNEN 3.01 (2005). Foi considerado que a Clínica B fica aberta durante um período de 2.000 horas por ano, valor estipulado em cálculos de blindagem, segundo a CNEN/IRD. O tempo em horas por ano que a Clínica B fica aberta foi baseado no período de trabalho dos empregados estipulados na norma CNEN-3.01. A Tabela 22 representa uma simulação da taxa de dose média em cada dependência do serviço de medicina nuclear baseada na estimativa que o serviço permaneça aberto durante o período de 2000 h no ano.

Tabela 22 - Projeções anuais de dose equivalente para os pontos mensurados da Clínica B

Pts	Ambiente	Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Taxa de dose (mSv/h)	Dose (mSv/dia)	Dose (mSv/ano)	Lim. IOE (mSv/ano)	Lim. anual I.P. e otimização (mSv)	Lim. anual IOE invest. (mSv)
P1	Espera	2,3	0,0022	0,0170	4,4	20	1	6
P2		2,5	0,0025	0,0200	5,0	20	1	6
P3		2,6	0,0025	0,0200	5,0	20	1	6
P4		1,6	0,0016	0,0120	3,2	20	1	6
P5		1,7	0,0017	0,0130	3,4	20	1	6
P6		2,0	0,0020	0,0160	4,0	20	1	6
P7		3,2	0,0032	0,0250	6,4	20	1	6
P8	Manipulação	3,0	0,0029	0,0230	5,8	20	1	6
P9		0,7	0,0007	0,0005	1,4	20	1	6
P10	Exame	0,6	0,0005	0,0004	1,0	20	1	6
P11		2,6	0,0026	0,0208	5,2	20	1	6
P12		1,6	0,0015	0,0120	3,0	20	1	6
P13		0,4	0,0004	0,0320	0,8	20	1	6
P14		1,7	0,0016	0,0128	3,2	20	1	6
P15		1,5	0,0014	0,0112	2,8	20	1	6
P16		0,4	0,0004	0,0032	0,8	20	1	6
P17		Administração	0,5	0,0005	0,0040	1,0	20	1
P18	0,3		0,0002	0,0016	0,4	20	1	6
P19	Ergometria	0,4	0,0003	0,0024	0,6	20	1	6
P20		0,4	0,0004	0,0032	0,8	20	1	6

Fonte: Dados da pesquisa.

De acordo com os dados da taxa de dose de radiação das dependências comparados pode se perceber que os valores da taxa de dose foram maiores no laboratório de manipulação, sala de espera de pacientes injetados e sala de exames. No entanto, apesar dos altos valores da taxa de dose, nenhuma dependência atingiu o limite máximo de dose permitido pela NN-CNEN 3.01 (2005) que é de 20 mSv/ano.

Foi observado que nesta clínica a sala de espera de pacientes injetados, laboratório de manipulação e sala de exames apresentaram pontos cujas concentrações de radiação foram maiores. O ponto P7 do laboratório de manipulação, que está perto do depósito de rejeitos, atingiu o limite de investigação de 6 mSv/h. O fato de grande concentração de radiação na sala de manipulação pode ser explicado por causa do armazenamento e manipulação das fontes radioativas.

A sala de espera de pacientes injetados, que não apresenta fluxo de elementos radioativos, atingiu valores significativos em relação ao limite de investigação por causa do número de pacientes injetados com elementos radioativos

que ali aguardam pelos exames. Na sala de exames o ponto mais quente (P11) atingiu valores de 5,2 mSv/ano, próximo ao limite de investigação de 6 mSv/ano.

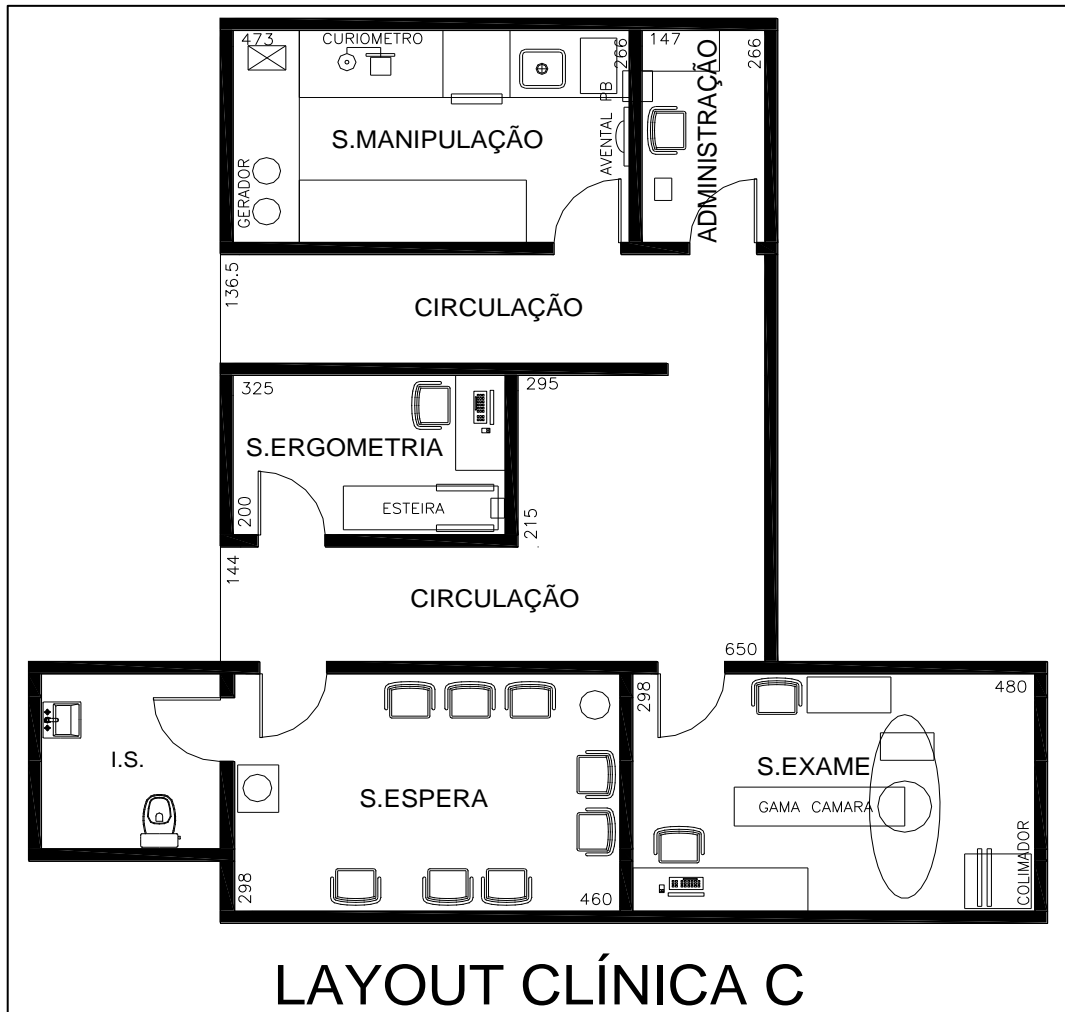
A avaliação de taxa de dose por dia mostrou que os pontos P2 e P3 da sala de espera forneceram taxa de dose de 0,02 mSv/dia, que são inferiores ao limite do acompanhante adulto de 5mSv e de acompanhante criança ou gestante de 1mSv.

A maior parte dos pontos ofereceram em geral medidas acima do valor BG de radiação, limite do I.P e de otimização. Essas medidas acima do valor BG mostraram que nessas dependências existe presença de radiação acima de valores naturais, de acordo com Tahuata (2011) e acima dos limites do I.P estabelecidos pela Comissão Nacional de Energia Nuclear. A existência de radiação acima de valores naturais nas dependências das clínicas pode ser causada pelo fluxo de pacientes injetados, fontes e contaminação radioativa. Pelo princípio ALARA, acredita-se que mesmo que o nível de radiação seja pequeno, estas devem ser otimizadas através de procedimentos.

#### 4.3 CLÍNICA C

A unidade de Medicina Nuclear, aqui denominada de “Clínica C”, está localizada em um hospital privado na região Noroeste do Paraná, Brasil. Este serviço atende somente especialidades da medicina nuclear. Sua localização não foi projetada e para o funcionamento do serviço foram necessárias adequações às normas da CNEN e da ANVISA. A instalação possui mesmo acesso para a entrada e saída.

O zoneamento da unidade divide o espaço em área controlada, área supervisionada e área livre (Figura 29).



**Figura 29 - Layout da Clínica C**

Fonte: Clínica C.

A sala de espera de pacientes injetados fica localizada ao lado da sala de exames e na frente da sala de ergometria; contém oito cadeiras, um aparelho de televisão, um bebedouro, um cesto de lixo. Esta sala tem 12,9 m<sup>2</sup> e, portanto, está em conformidade com a norma Anvisa, que estabelece dimensão mínima de 3,0 m<sup>2</sup> e, também contém blindagem adequada e instalações sanitárias para pacientes injetados, conforme estabelecido pela norma CNEN.

A ANVISA determina que o laboratório de manipulação deve ter dimensão mínima de 8,0 m<sup>2</sup>. Como o laboratório de manipulação da Clínica C possui cerca de 12,2 m<sup>2</sup>, atende o disposto nessa norma. Essa dependência, bem como o estoque de fontes em uso, encontra-se localizado no final do corredor, o que permite diminuir o número de pessoas que passam por ele.

A sala de exames atende a norma da ANVISA quanto à distância necessária entre a câmara gama e as paredes em sua largura e também em seu comprimento. Além disso, possui blindagem adequada conforme recomendação do CNEN. Esta sala possui 14,3 m<sup>2</sup>.

A sala de administração de radiofármacos atende à dimensão mínima estabelecida pela ANVISA, pois possui 3,93 m<sup>2</sup>, e a blindagem adequada, o mesmo ocorrendo com a sala de ergometria. Observa-se que o local destinado aos rejeitos radioativos encontra-se junto à sala de administração de radiofármacos.

Com relação aos fluxos de paciente, funcionários e insumos radioativos, observa-se que existe uma certa preferência de fluxo de pacientes na sala de espera de pacientes injetados. A sala de ergometria possui 4,07 m<sup>2</sup>. A tabela 23 mostra as conformidades da Clínica C de acordo com as normas CNEN e ANVISA.

**Tabela 23 - Conformidades da Clínica C de acordo com as normas CNEN e ANVISA**

<b>Ambientes</b>	<b>Dimensão mínima (ANVISA)</b>	<b>Dependências indispensáveis</b>	<b>Blindagem</b>
Sala de espera (paciente injetado)	3,0 m <sup>2</sup>	Conforme	Barita e chumbo
Sanitário (paciente injetado)	NE	Conforme	Adequada
Laboratório de manipulação	8,0 m <sup>2</sup>	Conforme	Adequada
Sala de exames	100 cm* 60 cm**	Conforme	Adequada
Sala de administração de radiofármacos	2,2 m <sup>2</sup>	Conforme	Adequada
Ergometria	NE	Conforme	Adequada
Armazenamento de rejeitos radioativos	4,0 m <sup>2</sup>	Conforme	Adequada

NE = não estabelecido; \* distância do aparelho das paredes quanto à largura; \*\* distância do aparelho das paredes quanto à distância.

**Fonte: Dados da pesquisa.**

#### 4.3.1 Avaliação das dosimetrias individuais dos trabalhadores

Foi avaliada a dosimetria mensal dos trabalhadores para saber se estes ultrapassam o valor de referência de otimização, conforme estabelecido pela Norma NN-CNEN 3.01 (2005) . A Tabela 24 compara os valores de dose recebidos pelos trabalhadores e o valor de exclusão do princípio de otimização na clínica C.



**Tabela 24 - Dosimetria individual dos trabalhadores do serviço de medicina nuclear (em mSv/ano)**

<b>Clínica</b>	<b>IOE</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
<b>Clínica C</b>	IOE1	1,2	1,1	0,6
	IOE2	0,6	0,7	0,4
	IOE3	BG	BG	BG

BG = abaixo de 0,2 mSv

**Fonte: Dados da pesquisa.**

Os dados da dosimetria dos trabalhadores mostram que em 2012 e 2013 as doses excederam os valores de referência de otimização da norma NN-CNEN 3.01 (2005), desrespeitando o item (b) da norma, exigindo que novos procedimentos sejam analisados a fim de melhorar a qualidade do serviço.

#### 4.3.2 Avaliação das taxas de dose ambiental

Foi realizada a avaliação das taxas de dose ambiental em 20 pontos de medição definidos como mostra a Figura 30.



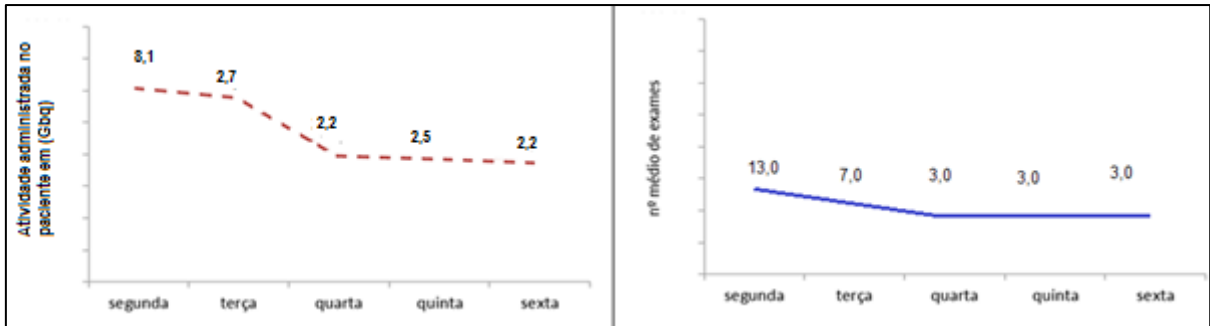
**Figura 30 - Pontos de medição da radiação na Clínica C**  
**Fonte: Autor.**

De acordo com a Figura 30, na sala de espera foram definidos 6 pontos (P1 a P6); no laboratório de manipulação quatro pontos (P7 a P10); na sala de exames estão seis pontos (P11 a P16); na sala de administração de radiofármacos tem-se dois pontos (P17 e P18); na sala de ergometria dois pontos (P19 e P20).

As medições foram realizadas em três momentos diferentes: 19 a 30 de janeiro; 16 a 27 de março e 4 a 15 de junho do corrente ano.

#### 4.3.2.1 Dose de radiação e taxa de dose por dia da semana e turno

A Figura 31 apresenta a média da dose de radiação injetada por dia da semana e o número médio de exames realizados por dia da semana.

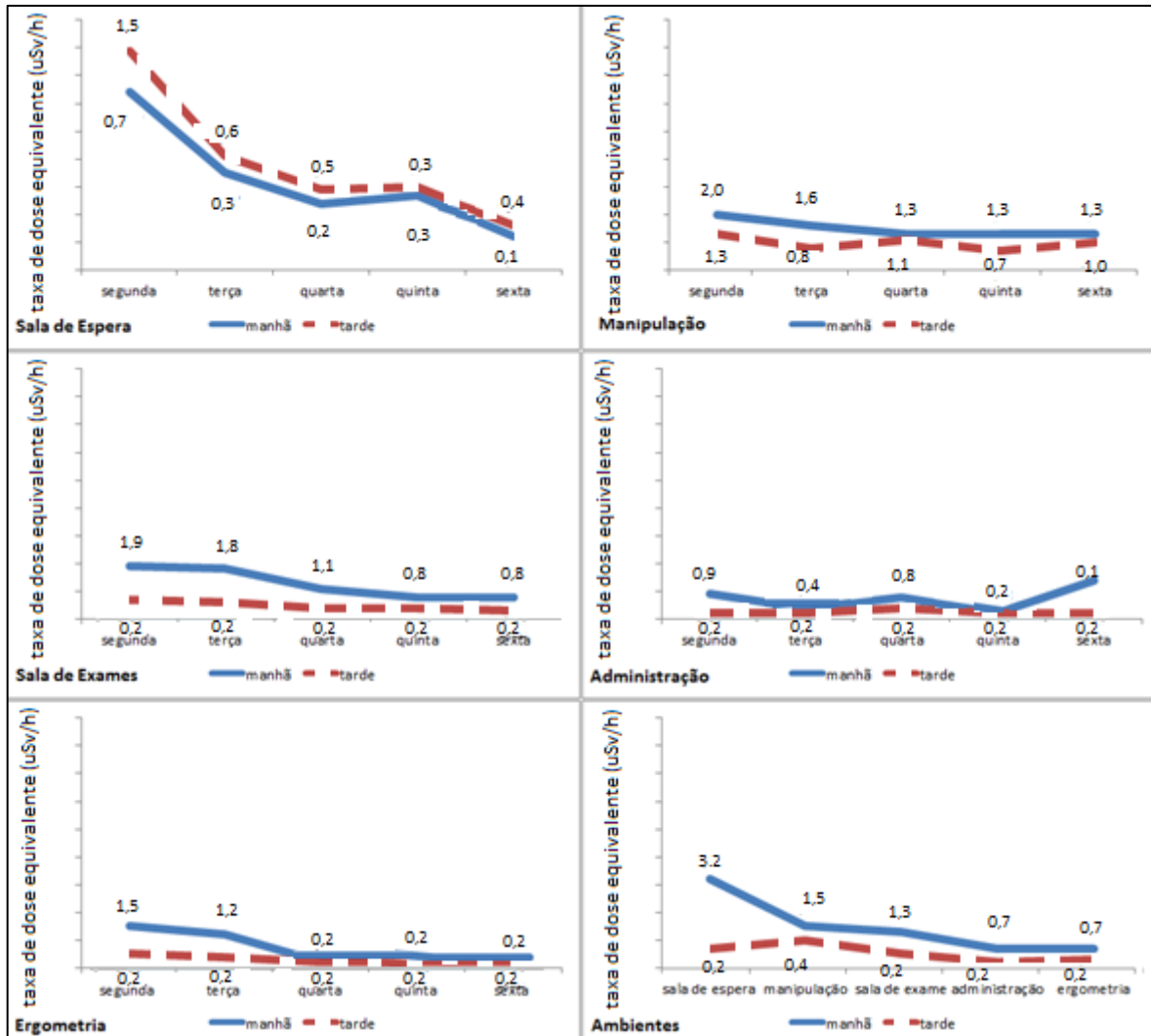


**Figura 31 - Atividade média administrada e média do número de exames realizados por dia da semana – Clínica C**

Fonte: Documentos da clínica.

A Figura 31 evidencia que foi realizado maior número de exames nas segundas e terças-feiras, enquanto na quinta feira e sexta feira foi realizado o menor número de exames. A dose de radiação injetada para a realização dos exames também apresenta valores maiores no início da semana e decai no transcorrer desta. Isso ocorre porque o gerador de tecnécio chega do IPEN no início da semana com grande quantidade de tecnécio, que diminui no transcorrer da semana.

A Figura 32 apresenta a taxa de dose a radiação em cada ambiente por dia da semana e o número médio de exames realizados por dia da semana.



**Figura 32 - Taxa de dose por ambiente, por período e por dia da semana – Clínica C**  
**Fonte: Dados da pesquisa.**

Confirmando o relatório de exames fornecido pela clínica, as medições das taxas de dose indicam que no início da semana tem-se um taxa maior de dose, a qual diminui gradativamente, atingindo menores valores na sexta-feira exceto a sala de administração (Figura 32).

Ao avaliar a taxa de dose por turno percebe-se que no período matutino tem-se uma taxa bastante superior àquela encontrada no período vespertino (Tabela 25). Tal fato ocorre porque a maior parte da administração de doses é feita de manhã, uma vez que são realizados exames que precisam da administração antecipada de radiofármacos, o que se faz pela manhã e, conseqüentemente, aumenta-se a taxa de dose no laboratório de manipulação.

O teste de comparação de Wilcoxon mostrou que a taxa de dose entre os turnos foram significativamente diferentes entre o período matutino e vespertino. Ao nível de confiança de 95%, a diferença entre as taxas de dose entre os períodos matutino e vespertino são estatisticamente significativos.

Na Tabela 25 são apresentadas as taxas médias de dose por turnos.

**Tabela 25 - Taxa média de dose, desvio-padrão, Teste de comparação de Wilcoxon (aproximação Z), por turnos**

Ambientes	Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	DP da Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Escore médio	Teste de Wilcoxon	p-valor
Matutino	1,5	3,3	23684,0049 <sup>a</sup>	44,76	0,0001*
Vespertino	0,6	1,2	18024,5680 <sup>b</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%.

**Fonte: Dados da pesquisa.**

O teste de comparação de Wilcoxon por turnos e ambientes mostrou que a taxa de dose entre os turnos e ambientes foram significativos.

Na Tabela 26 são apresentadas as taxas médias de dose por ambientes nos locais de monitoração.

**Tabela 26 - Taxa média de dose, desvio-padrão, coeficiente de variação (CV), escore médio e Teste de comparação de Wilcoxon, por turnos e por ambiente**

Ambientes	Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	DP da Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	CV (%)	Escore médio	Teste de Wilcoxon	p-valor
Sala de espera						
Matutino	3,9	5,8	0,58	6013,9250 <sup>a</sup>	40,7201	0,0001*
Vespertino	0,9	1,8	0,18	3756,0250 <sup>b</sup>		
Manipulação						
Matutino	1,8	2,2	0,22	3570,5045 <sup>a</sup>	18,2102	<0,0001*
Vespertino	1,0	0,9	0,09	2650,4985 <sup>b</sup>		
Sala de exames						
Matutino	1,2	1,6	0,16	5400,7676 <sup>a</sup>	26,4830	<0,0001*
Vespertino	0,6	1,2	0,12	3958,9662 <sup>b</sup>		
Administração						
Matutino	0,7	1,2	0,12	1821,5222 <sup>a</sup>	20,4946	<0,0001*
Vespertino	0,3	0,6	0,07	1313,4926 <sup>b</sup>		
Ergometria						
Matutino	0,5	1,2	0,11	1472,8000 <sup>a</sup>	2,5917	<0,0096*
Vespertino	0,4	1,1	0,11	1429,7333 <sup>b</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%.

**Fonte: Dados da pesquisa.**

A Tabela 26 mostra que a diferença entre as taxas de dose observada entre os dois períodos é estatisticamente significativa ao nível de confiança de 95% em todos os ambientes exceto na sala de ergometria, apresentando-se bem maior no período matutino. A avaliação da média de taxa de dose e escore médio mostram que todas as dependências desses serviço de medicina nuclear apresentaram maiores valores de concentração de radiação no período da manhã. Assim, os dados da avaliação do mapa espacial de dose por período propõem que os trabalhadores redobrem a atenção com as regras básicas de proteção radiológica nesse período, já que as taxas de exposições são maiores.

#### 4.3.2.2 Taxa de dose por ambientes de monitoração

A Clínica C apresenta três grupos de ambientes: no primeiro grupo, com as maiores taxas de dose, estão a sala de espera e o laboratório de manipulação (maiores intensidade de pontos de dose ou radiação). No segundo grupo, com taxa intermediária de dose está a sala de exames e, no terceiro grupo, com as menores taxas de dose incluem-se a sala de administração de radiofármacos, a sala de ergometria e a o corredor interno (menores intensidades de pontos de dose ou radiação) (Figura 33).

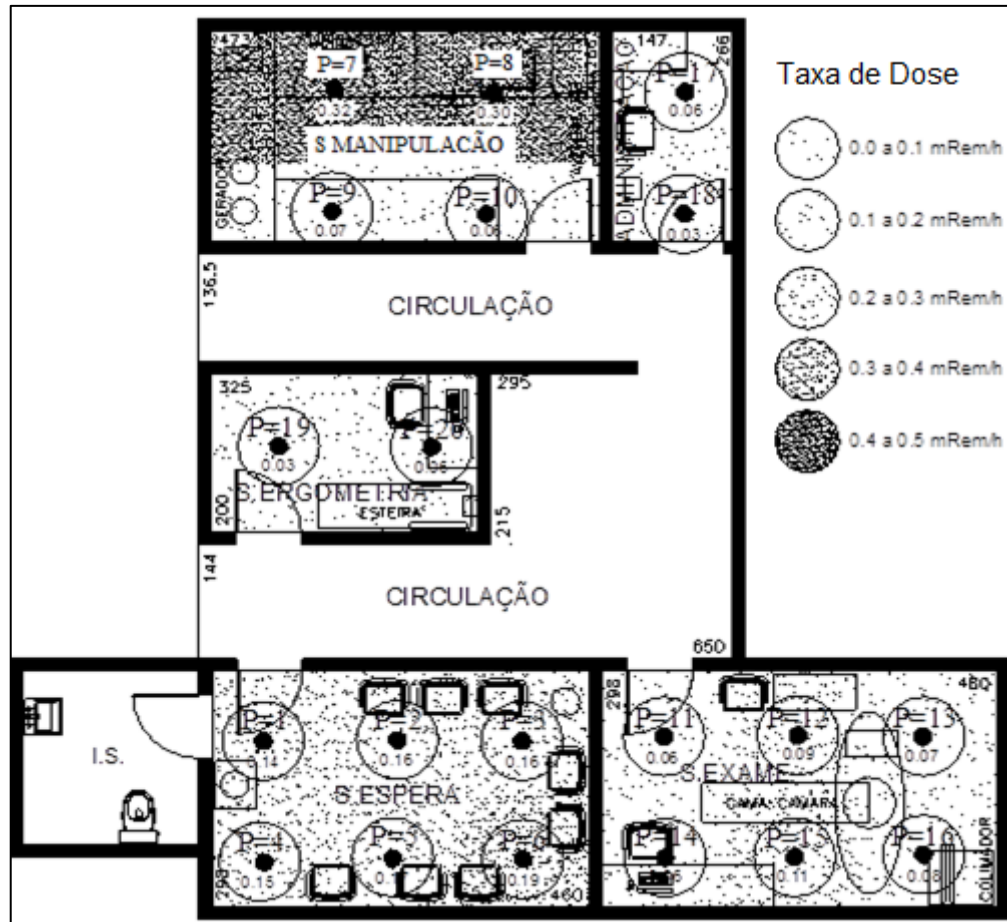


Figura 33 - Mapa espacial de dose – Clínica C  
Fonte: Autor.

Esses resultados são apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 - Taxa média de dose, desvio-padrão, (Teste de Kruskal-Wallis)

Ambientes	Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	DP da Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Escore médio	Teste de Kruskal-Wallis	p-valor
Sala de espera	1,6	3,5	18028,0347 <sup>b</sup>	9252,8891	0,0001*
Manipulação	1,2	1,4	31242,3531 <sup>a</sup>		
Sala de exames	0,8	1,4	16754,4769 <sup>c</sup>		
Administração	0,4	0,9	11958,2889 <sup>d</sup>		
Ergometria	0,4	1,1	17837,7891 <sup>e</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%.

Fonte: Dados da pesquisa.

A Tabela 27 mostra que a sala de espera e o laboratório de manipulação são os ambientes mais “quentes” da Clínica C. Observa-se que embora a média obtida

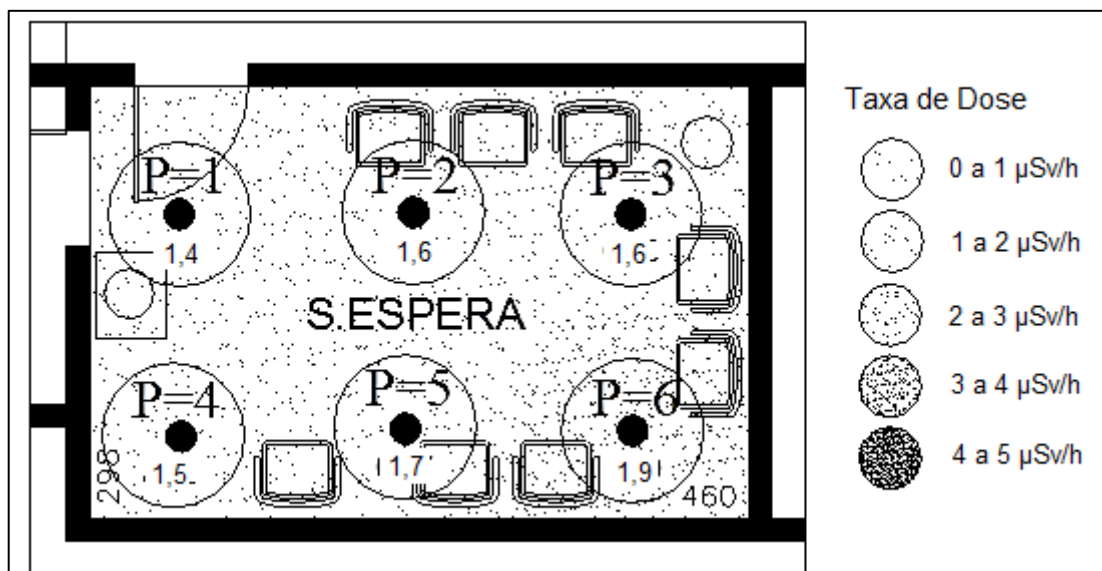
para a sala de espera seja maior que a do laboratório de manipulação, o desvio padrão mostrou que os valores de radiação obtidos na sala são bastante variáveis, enquanto os do laboratório de manipulação são mais constantes. Por outro lado, o escore médio do laboratório de manipulação é maior que o da sala de espera.

De acordo com o método de Kruskal-Wallis verificou-se que o laboratório de manipulação e a sala de espera são as dependências com maior taxa de dose. O método de Kruskal-Wallis mostra que essas diferenças da taxa de radiação são relativamente significativas e que em algumas áreas devem ser usadas procedimentos específicos para segurança e proteção.

#### 4.3.2.3 Taxas médias de dose por pontos de medição e local

A sala de espera é o local em que os pacientes injetados com radiação aguardam o momento de realização do exame.

Na Figura 34 são mostradas as variações das médias de taxa de dose em cada região do espaço físico.



**Figura 34 - Mapa espacial de dose da sala de espera**  
**Fonte: Autor.**



Na Tabela 28 são apresentadas as taxas médias de dose por ponto nos locais de monitoração.

**Tabela 28 – Taxa de dose média, desvio-padrão e teste de Kruskal-Wallis para níveis de concentração de radiação observados na sala de espera de pacientes injetados**

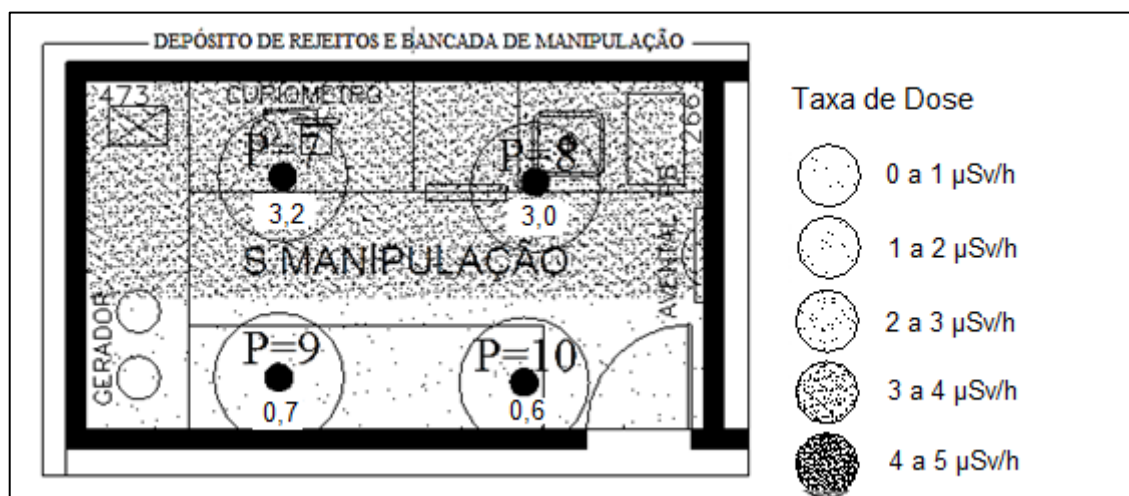
S. Espera	Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	DP da Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Escore médio	Teste de Kruskal-Wallis	p-valor
P1	1,4	2,9	4169,3781 <sup>a</sup>	17,5664	0,0035*
P2	1,6	3,5	4223,4326 <sup>b</sup>		
P3	1,6	3,6	4313,9434 <sup>c</sup>		
P4	1,5	3,3	4387,6823 <sup>d</sup>		
P5	1,7	3,5	4357,9125 <sup>e</sup>		
P6	1,9	4,1	4470,6510 <sup>f</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%.

**Fonte: Dados da pesquisa.**

Pode ser observado na Figura 34 que todos os pontos apresentam níveis médios de concentração de radiação distintos, sem diferenças significativas em relação ao escore médio, o que pode estar relacionado à disposição das cadeiras.

Os dados coletados na sala de manipulação de radiofármacos permitiram a criação do mapa espacial de dose, o qual mostra as regiões mais quentes que podem contribuir com aumentos de doses recebidas pelos trabalhadores da clínica (Figura 35).



**Figura 35 - Mapa espacial de dose do laboratório de manipulação  
Clínica C  
Fonte: Autor.**

Na Tabela 29 são apresentadas as taxas médias de dose por ponto nos locais de monitoração.

**Tabela 29 - Taxa de dose média, desvio-padrão e Teste de Kruskal-Wallis para níveis de concentração de radiação observados no laboratório de manipulação**

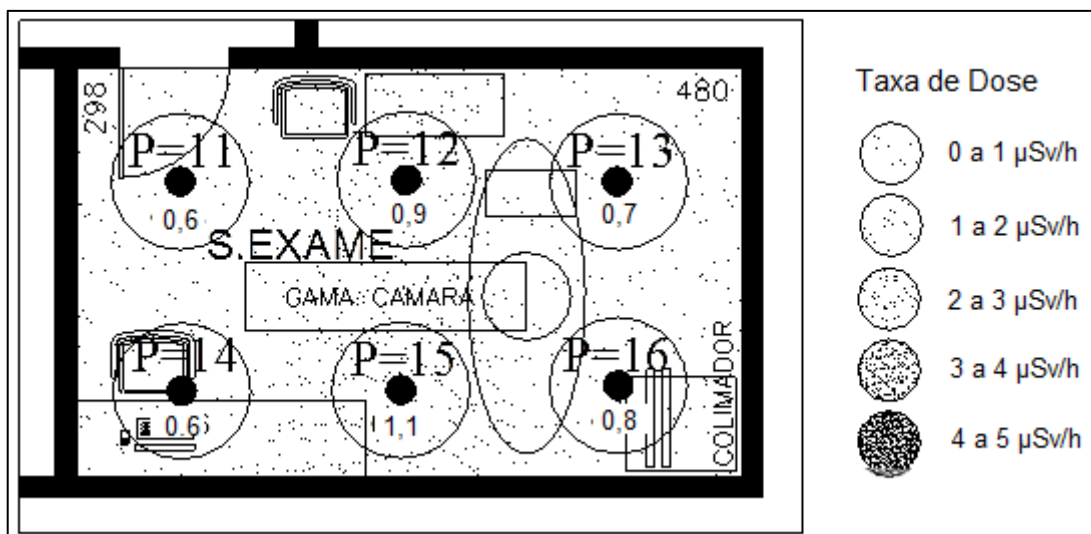
Manipulação	Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	DP da Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Escore médio	Teste de Kruskal-Wallis	p-valor
P7	3,2	2,4	4262,2853 <sup>a</sup>	3653,8133	<0,0001*
P8	3,0	1,9	4124,9450 <sup>a</sup>		
P9	0,7	0,9	1679,0706 <sup>b</sup>		
P10	0,6	0,6	1431,6990 <sup>c</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%.

**Fonte: Dados da pesquisa.**

O método de Kruskal-Wallis mostrou que essas diferenças da taxa de radiação são relativamente significantes. No laboratório de manipulação, os pontos P7 e P8 apresentam taxas de dose semelhantes, enquanto os pontos P9 e P10 apresentam valores menores, mas estatisticamente diferentes. A taxa de dose nos pontos P7 e P8 se mostraram maiores devido a distância entre o local de armazenamento das fontes de radiação e o ponto de execução da medida. Os valores da taxa de dose no ponto P9 e P10 foram menores e foram apresentados no mapa espacial de dose com menores quantidade de pontos de radiação. O mapa mostrou que os níveis de radiação em regiões perto da bancada são significativamente superiores, o que exige do trabalhador cuidados específicos com essas regiões de trabalho.

A sala de exames é o local onde são realizados os exames utilizando a câmara gama. O mapa mostra as regiões mais quentes que podem contribuir com aumentos de doses recebidas pelos trabalhadores da clínica, acompanhantes e outros (Figura 36).



**Figura 36 - Mapa espacial de doses da sala de exames – Clínica C**  
**Fonte: Autor.**

Na Tabela 30 são apresentadas as taxas médias de dose por ponto nos locais de monitoração.

**Tabela 30 - Taxa de dose média, desvio-padrão e teste de comparação de Kruskal-Wallis para níveis de concentração de radiação observados na sala de exame da Clínica C**

S. Exame	Taxa de Dose Equivalente Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	DP da Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Escore médio	Teste de Kruskal-Wallis	p-valor
P11	0,6	1,0	4182,1647 <sup>a</sup>	34,9251	<0,0001*
P12	0,9	1,6	4382,2986 <sup>b</sup>		
P13	0,7	1,2	4274,1251 <sup>c</sup>		
P14	0,6	1,1	4156,9875 <sup>a</sup>		
P15	1,1	1,6	4573,2170 <sup>d</sup>		
P16	0,8	1,2	4348,0802 <sup>c</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%.

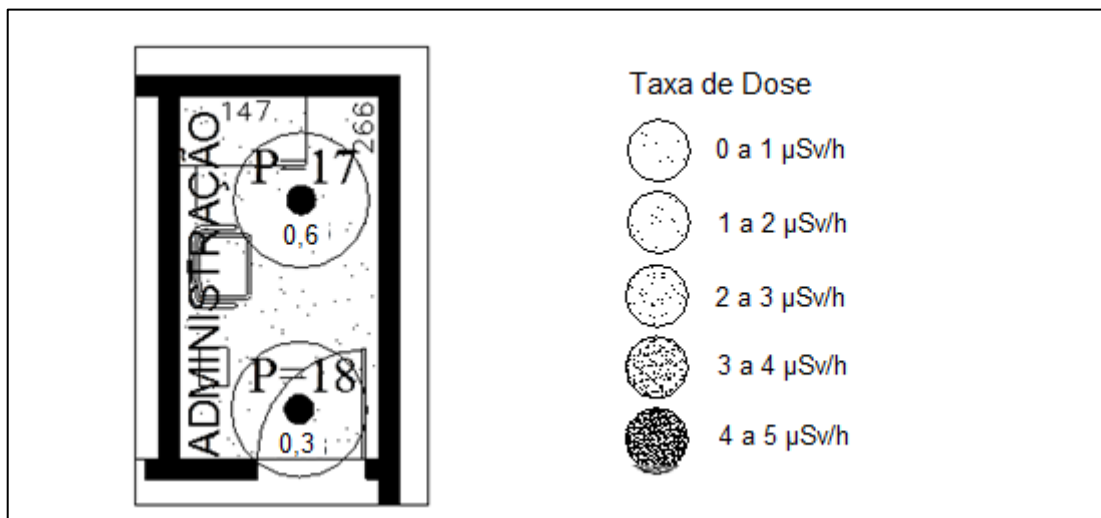
**Fonte: Dados da pesquisa.**

Na sala de exames, observa-se três níveis de radiação. Os pontos P15 e P12, que estão mais próximos do paciente injetado, são os mais quentes, de acordo com a média da taxa de dose e o escore médio. Nos pontos P13 e P16 a taxa de dose pode ter sido menor devido a blindagem da cabeça do gama câmara. Os pontos P11 e P14 apresentam as menores taxas de dose.

O método de Kruskal-Wallis mostrou que essas diferenças da taxa de radiação são relativamente significantes. O mapa mostrou que os níveis de radiação

em regiões perto do local de posicionamento do paciente são significativamente superiores. Com a análise visual é permitido encontrar local apropriado para o posicionamento da cadeira do acompanhante que favoreça a proteção radiológica. O mapa mostra uma concentração de radiação no P14 e P15 significativa, o que poderia concluir que o local do comando do trabalhador foi mal planejado, de acordo com os requisitos básicos de proteção radiológica. Sendo assim, o trabalhador estaria recebendo radiação de forma desnecessária em suas costas e o mapa levantaria a discussão de um novo planejamento para a sala de exames deste serviço.

Na sala de administração de radiofármacos a taxa de dose encontrada se mostrou pequenas em relação as outras dependências do serviço. Esta dependência é utilizada somente para as administrações de radiofármacos que geralmente eram feitas no período da manhã. As fontes radioativas são levadas até essa dependência no horário da administração, momento em que a sala fica radioativa, fora isto essa dependência não fornece perigo. Com os dados da taxa de dose foi permitido criar o mapa espacial de dose da sala de administração (Figura 37).



**Figura 37 – Mapa espacial de dose da sala de administração de radiofármacos – Clínica C**  
**Fonte: Autor.**

Na Tabela 31 são apresentadas as taxas médias de dose por ponto nos locais de monitoração.

**Tabela 31 - Taxa de dose média, desvio-padrão e teste de comparação de Wilcoxon para níveis de concentração de radiação observados na sala de administração de radiofármacos da Clínica C**

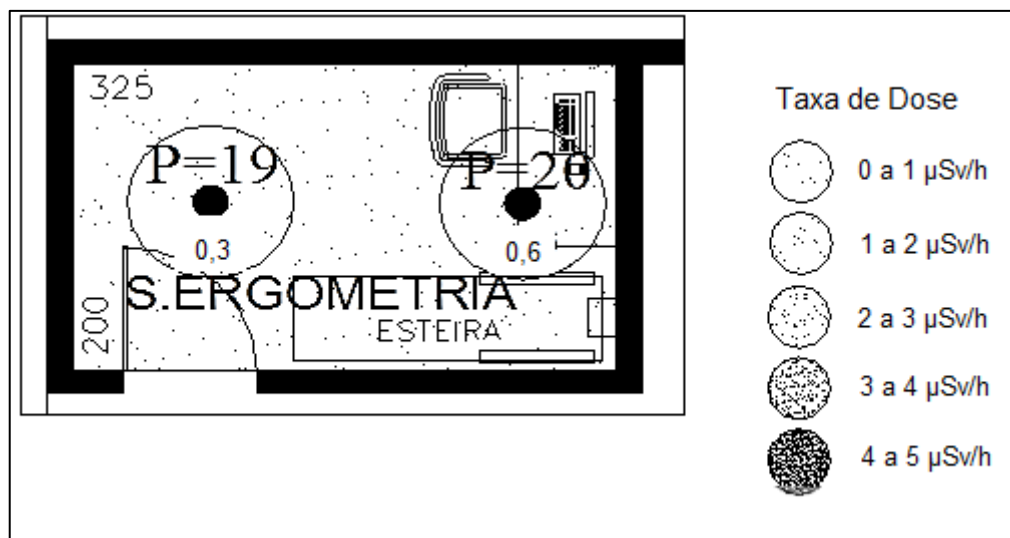
Administração	Taxa de Dose Equivalente Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	DP da Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Escore médio	Teste de Wilcoxon	p-valor
P17	0,6	1,1	1414,4646 <sup>a</sup>	- 2,4255	<0,0153*
P18	0,3	0,4	1466,5354 <sup>b</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%.

**Fonte: Dados da pesquisa.**

Na sala de administração de radiofármacos a taxa de dose encontrada para o P17 corresponde ao dobro do valor encontrado para o P18. A taxa de dose no P17 se mostrou maior que no P18 pelo fato de muitas vezes serem deixadas seringas com radiofármacos próximas ao P17. O teste de comparação de Wilcoxon mostrou que os níveis de radiação em regiões perto do local de administração de radiofármacos são significativamente superiores. A visualização do mapa evidencia que a região do Ponto P17 é mais quente que a do Ponto P18, e a análise estatística permite mostrar que nessa região de P17 a probabilidade de um dano biológico é o dobro que em P18. Isso ocorre, pois de acordo com o método de comparação de Wilcoxon, o escore médio de radiação e a média de taxa de dose são maiores.

A sala de ergometria é uma dependência em que se faz teste ergométrico para exames do coração de pacientes radioativos. Esta sala geralmente é utilizada nesta clínica nas segunda-feira e terça-feira. Os exames geralmente são feitos no final do período matutino e início do vespertino. O mapa espacial de dose foi criado nesta dependência considerando as taxas de dose nos dias em que a sala é utilizada e nos dias que ela não é utilizada (Figura 38).



**Figura 38 - Mapa espacial de dose da sala de ergometria- Clínica C**  
**Fonte: Autor.**

Na Tabela 32 são apresentadas as taxas médias de dose por ponto nos locais de monitoração.

**Tabela 32 - Taxa de dose média, desvio-padrão e teste de comparação de Wilcoxon para níveis de concentração de radiação observados na sala de ergometria da Clínica C**

Ergometria	Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	DP da Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Escore médio	Teste de Wilcoxon	p-valor
P19	0,3	0,5	1436,9056 <sup>a</sup>	-04995	<0,6174
P20	0,6	1,5	1444,0944 <sup>a</sup>		

**Fonte: Dados da pesquisa.**

A radiação no P20 é correspondente ao dobro daquela encontrada no P19. Observa-se que o P20 está mais próximo da fonte de radiação (paciente injetado na esteira), a qual se encontra no canto direito da sala.

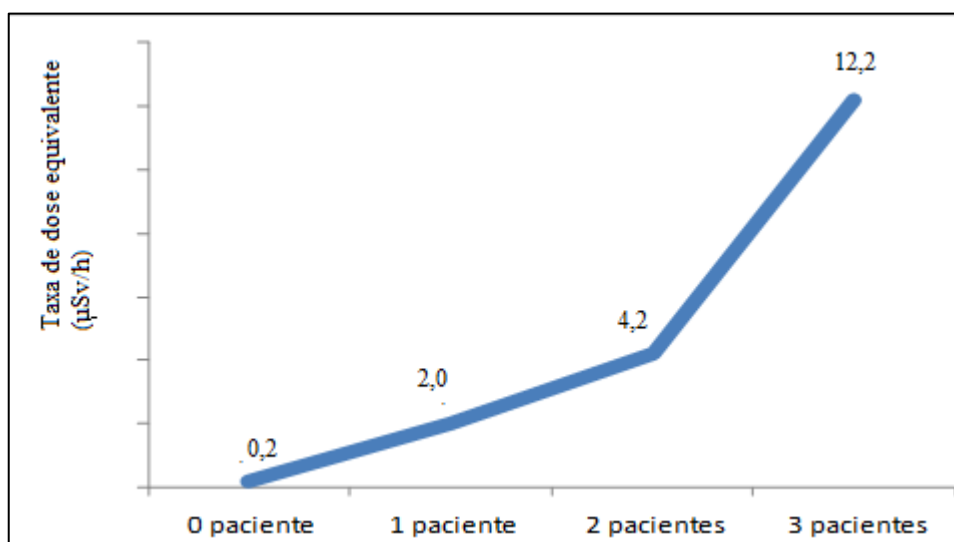
A sala de ergometria foi o único ambiente em que não foi observada diferença estatisticamente significativa de taxa de dose entre os pontos P19 e P20. Porém, mesmo com o escore médio e análise estatística próximos, a análise visual do mapa mostra uma média de taxa de dose maior em regiões próximas ao computador e cadeira do médico cardiologista. O mapa evidencia, então, que nessa região de P20 seria necessária maior atenção com os requisitos básicos de radioproteção por parte do médico, já que a cadeira se encontra muito próxima à

esteira de teste ergométrico de pacientes radioativos. Desse modo, o mapa serviria de alicerce, também, para os profissionais que fazem parte dos planejamentos de clínicas de medicina nuclear, como engenheiros e arquitetos que configuram a distribuição dos móveis desses tipos de salas.

#### 4.3.2.4 Relação entre número de pacientes e taxa de dose na sala de espera da Clínica C

Foi verificada, ainda, a dose média de radiação de acordo com o número de pacientes na sala de espera (Figura 39).

Na Figura 39 é apresentada a dose média da sala de espera de acordo com o número de pacientes, obtida em três etapas de medidas. A taxa de dose na sala de espera depende de diversas variáveis tais como número de pacientes, dose administrada, peso do paciente, altura do paciente, local e posicionamento do paciente, entre outros.



**Figura 39 – Taxa de dose média de radiação na sala de espera conforme o número de pacientes – Clínica C**

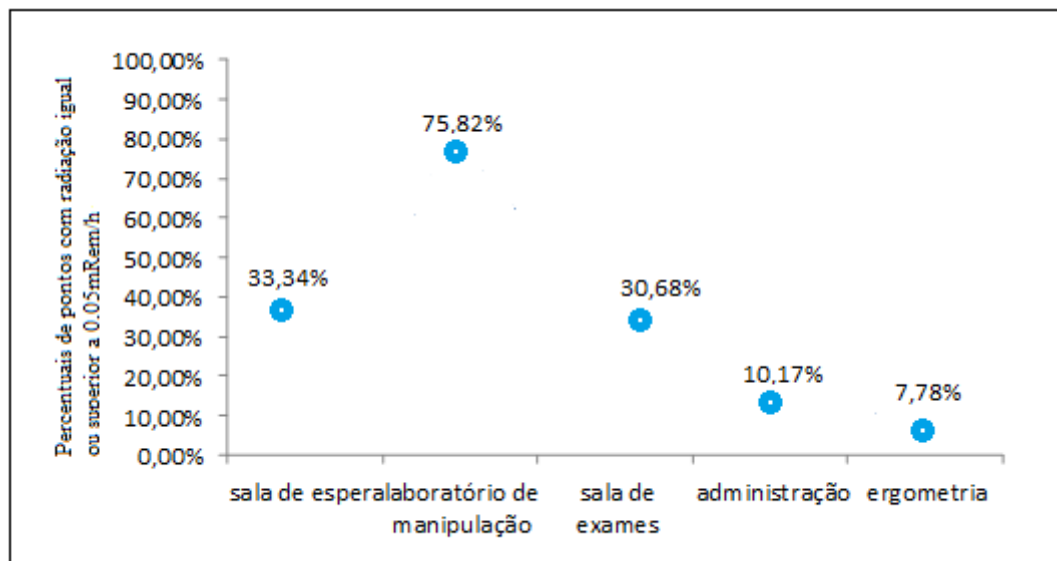
**Fonte: Dados da pesquisa.**

A avaliação da Figura 39 permite mostrar que a taxa de dose na sala de espera sofre um acréscimo de acordo com o aumento do número de pacientes na

sala de espera. Esse resultado indica que a presença de um único paciente na sala de espera já requer a prática de otimização por parte dos trabalhadores. Os valores de taxa de dose mostram que os valores de  $0,5 \mu\text{Sv/h}$  com a presença de um único paciente não dispensa o requisito de otimização, comprovando assim que um único paciente no ambiente pode indicar necessidade de otimização.

#### 4.3.2.5 Comparação das taxas de radiação encontradas com os limites estabelecidos pela CNEN para exclusão de otimização

Foi avaliada a quantidade de medidas que excediam o limite do trabalhador por hora em cada dependência. Na Figura 40 estão os percentuais de pontos avaliados com taxa de dose superior  $0,5 \mu\text{Sv/h}$  por dependência.



**Figura 40 - Percentuais de pontos com radiação igual ou superior  $0,5 \mu\text{Sv/h}$  (média geral por ambiente) – Clínica C**

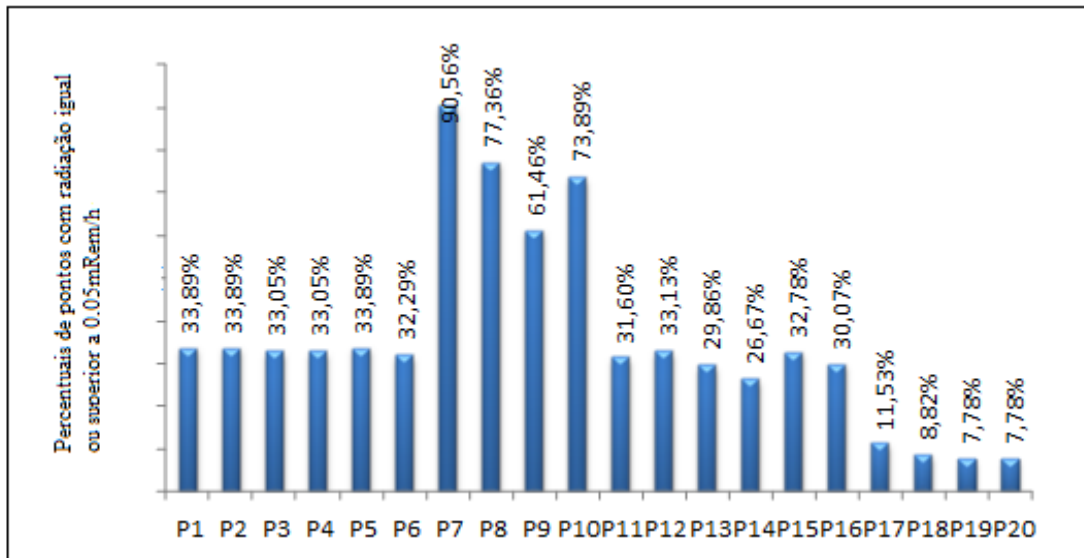
Fonte: Dados da pesquisa.

Em todos os ambientes avaliados, são encontrados pontos que apresentam taxa de dose superior ao estabelecido pela Norma CNEN, destacando que o laboratório de manipulação é o que apresenta maior percentual de medições igual



ou acima de  $0,5 \mu\text{Sv/h}$  (75,82%), enquanto a sala de ergometria é a que apresenta menor percentual (7,78%).

Na Figura 41 são apresentados os percentuais de pontos avaliados com taxa de dose superior a  $0,5 \mu\text{Sv/h}$  por ponto.



**Figura 41 - Percentuais de taxas de radiação por pontos  $\geq 0,5 \mu\text{Sv/h}$  – Clínica C**  
 Fonte: Dados da pesquisa.

Maiores percentuais de taxas de dose igual ou maior a  $0,5 \mu\text{Sv/h}$  foram encontrados para os pontos P7 e P8, que se encontram no laboratório de manipulação e corresponde ao local onde são armazenados os rejeitos radioativos da clínica em estudo.

Os dados mostram que mesmo que as taxas de doses são pequenas em relação ao limite de dose anual do trabalhador o percentual de medidas feitas não dispensam otimização, pois os valores da taxa de dose excedem  $0,5 \mu\text{Sv/h}$ .

#### 4.3.2.6 Comparação das taxas de radiação encontradas com os limites de dose do trabalhador, I.P estabelecidos pela CNEN da Clínica C

Após a criação dos dados das médias da taxa de dose dos serviços de medicina nuclear, os dados de taxa por hora foram transformados em taxa por ano

para verificar se as dependências do serviço alcançam os valores de radiação anual limitados pela norma NN-CNEN 3.01 (2005). Foi considerado que a Clínica C fica aberta durante um período de 2.000 horas por ano, valor estipulado em cálculos de blindagem, segundo a CNEN/IRD. O tempo em horas por ano que a Clínica C fica aberta foi baseado no período de trabalho dos empregados estipulados na norma CNEN-3.01. A Figura 35 representa uma simulação da taxa de dose média em cada dependência do serviço de medicina nuclear baseada na estimativa que o serviço permaneça aberto durante o período de 2000 h no ano.

**Tabela 33 - Projeções anuais de dose equivalente para os pontos mensurados da Clínica C**

Pts	Ambiente	Taxa de Dose Média ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Taxa de dose (mSv/h)	Dose (mSv/dia)	Dose (mSv/ano)	Lim. IOE (mSv/ano)	Lim. anual I.P. e otimização (mSv)	Lim. anual IOE invest. (mSv)
P1	Espera	1,4	0,0014	0,0112	2,8	20	1	6
P2		1,6	0,0016	0,0128	3,2	20	1	6
P3		1,6	0,0016	0,0128	3,2	20	1	6
P4		1,5	0,0015	0,0120	3,0	20	1	6
P5		1,7	0,0017	0,0136	3,4	20	1	6
P6		1,9	0,0019	0,0152	3,8	20	1	6
P7	Manipulação	1,4	0,0014	0,0112	2,8	20	1	6
P8		1,4	0,0014	0,0112	2,8	20	1	6
P9		1,0	0,0010	0,0008	2,0	20	1	6
P10		1,0	0,0010	0,0008	2,0	20	1	6
P11	Exame	0,6	0,0006	0,0048	1,2	20	1	6
P12		0,9	0,0009	0,0072	1,8	20	1	6
P13		0,7	0,0007	0,0056	1,4	20	1	6
P14		0,6	0,0006	0,0048	1,2	20	1	6
P15		1,1	0,0011	0,0088	2,2	20	1	6
P16		0,6	0,0006	0,0048	1,2	20	1	6
P17	Administração	0,6	0,0006	0,0048	1,2	20	1	6
P18		0,3	0,0003	0,0024	0,6	20	1	6
P19	Ergometria	0,3	0,0003	0,0024	0,6	20	1	6
P20		0,6	0,0006	0,0048	1,2	20	1	6

**Fonte: Dados da pesquisa.**

De acordo com os dados da taxa de dose de radiação das dependências comparados pode se perceber que os valores da taxa de dose foram maiores no laboratório de manipulação, sala de espera de pacientes injetados e sala de exames. No entanto, apesar dos altos valores da taxa de dose, nenhuma dependência atingiu o limite máximo de dose permitido pela NN-CNEN 3.01 (2005) que é de 20 mSv/ano.

Foi observado que nesta clínica a sala de espera de pacientes injetados, laboratório de manipulação e sala de exames apresentaram pontos cujas concentrações de radiação foram maiores. Nenhum ponto atingiu o limite de investigação de 6 mSv/h. O fato de grande concentração de radiação na sala de manipulação pode ser explicado por causa do armazenamento e manipulação das fontes radioativas.

A sala de espera de pacientes injetados, que não apresenta fluxo de elementos radioativos, atingiu valores significativos em relação ao limite de investigação por causa do número de pacientes injetados com elementos radioativos que ali aguardam pelos exames. Na sala de exames o ponto mais quente (P11) atingiu valores de 2,2 mSv/ano, acima do limite de dose do I.P. de 1 mSv/ano.

A avaliação de taxa de dose por dia mostrou que os pontos P6 da sala de espera forneceram taxa de dose de 0,0015 mSv/dia, que são inferiores ao limite do acompanhante adulto de 5 mSv e de acompanhante criança de 1mSv.

A maior parte dos pontos ofereceram em geral medidas acima do valor BG de radiação, limite do I.P e de referência de otimização. Essas medidas acima do valor BG mostraram que nessas dependências existe presença de radiação acima de valores naturais, de acordo com Tahuata (2011) e acima dos limites do I.P estabelecidos pela Comissão Nacional de Energia Nuclear. A existência de radiação acima de valores naturais nas dependências das clínicas pode ser causada pelo fluxo de pacientes injetados, fontes e contaminação radioativa. Pelo princípio ALARA, acredita-se que mesmo que o nível de radiação seja pequeno, estas devem ser otimizadas através de procedimentos.

#### 4.4 COMPARAÇÃO DAS ÁREAS DE MAIOR EXPOSIÇÃO DAS TRÊS CLÍNICAS

Na Tabela 34 são apresentadas as taxas de dose e de exposição para as três clínicas dos ambientes com maior exposição.

Tabela 34 – Taxas de dose de dose das três clínicas

Ambiente	Pontos	Taxa de dose (μSv/h) Clínica A	Taxa de dose (μSv/h) Clínica B	Taxa de dose (μSv/h) Clínica C
Espera	P1	3,0	2,3	1,4
	P2	3,7	2,5	1,6
	P3	2,6	2,6	1,6
	P4	3,4	1,6	1,5
	P5	2,7	1,7	1,7
	P6	2,2	2,0	1,9
	<b>Taxa média</b>	<b>2,7</b>	<b>2,1</b>	<b>1,6</b>
Manipulação	P7	0,9	3,2	1,4
	P8	1,0	3,0	1,4
	P9	4,8	0,7	1,0
	P10	1,3	0,6	1,0
	<b>Taxa média</b>	<b>2,0</b>	<b>1,9</b>	<b>1,2</b>
Exame	P11	0,6	2,6	0,6
	P12	2,0	1,6	0,9
	P13	1,2	0,4	0,7
	P14	0,7	1,7	0,6
	P15	2,3	1,5	1,1
	P16	1,3	0,4	0,6
	<b>Taxa média</b>	<b>1,3</b>	<b>1,4</b>	<b>0,8</b>
Administração	P17	0,7	0,5	0,6
	P18	0,4	0,3	0,3
	<b>Taxa média</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>
Ergometria	P19	0,5	0,4	0,3
	P20	0,5	0,4	0,6
	<b>Taxa média</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>
Número de exames		20,6 pacientes	12,3 pacientes	5,8 pacientes
Atividade de dose		574,5 mCi	515,4 mCi	96,9 mCi
Dose IOE		2,29 mCi	2,7 mCi	0,5 mSv

Fonte: Dados da pesquisa.

De acordo com os dados de comparação das clínicas, todos os serviços de medicina nuclear tiveram maior taxa de dose média na sala de espera sendo que em todas as clínicas obtiveram maior escore médio no laboratório de manipulação. As dependências nessas clínicas apresentaram maiores concentrações de radiação na sala de espera e laboratório de manipulação acompanhados pela sala de exames, ergometria e sala de administração de doses.

Os pontos com maior concentração de radiação no laboratório de manipulação foram os pontos P9 da clínica A, P7 da clínica B e P7 e P8 da clínica C. Em análise visual dos mapas dos laboratórios de manipulação concluiu-se que as maiores taxas de dose estiverem próximas a bancada de manipulação e depósito de rejeitos.

Os pontos com maiores concentrações de radiação na sala de exames foram o P13 na clínica A, P11 na clínica B e P15 na Clínica C. A análise visual permite concluir que os pontos com maiores médias de taxa de dose estiveram próximos das regiões da maca do aparelho.

A avaliação estatística da sala de espera mostrou-se que as maiores taxas de edose a radiação foram nos pontos P1 da Clínica A, ponto P3 Clínica B e ponto P6 Clínica C que foram os locais analisados visualmente com maiores concentrações de cadeiras para pacientes injetados.

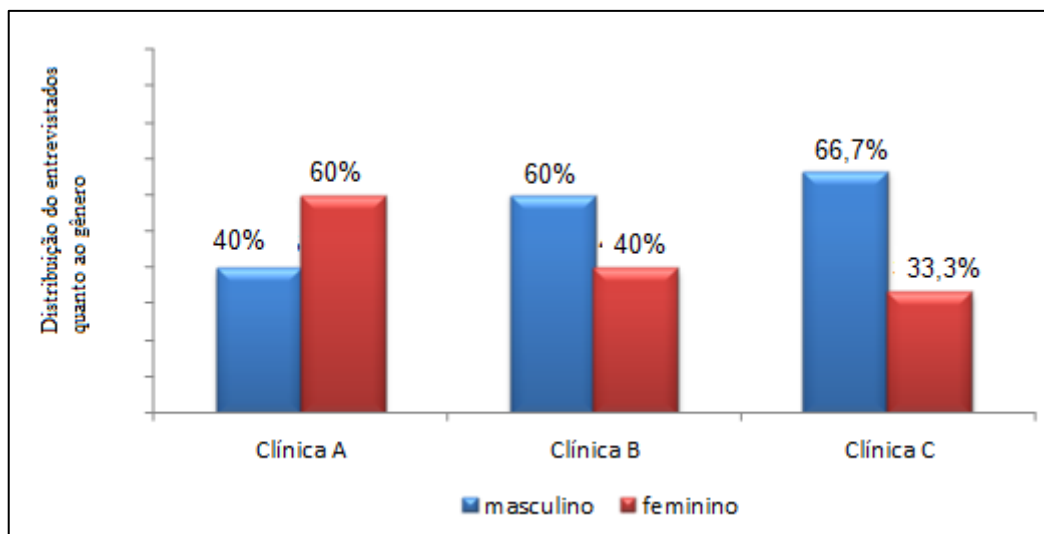
Os valores médios por dependência na Clínica C apresentaram as menores médias quando comparadas com a Clínica A e Clínica B, o que pode ser explicado devido o menor fluxo de pacientes e doses de radiação administradas nesta clínica.

A dosimetria média dos trabalhadores avaliados na Clínica C se mostrou inferior aos da Clínica A e Clínica B. Esses valores podem ser explicados devido ao menor número de pacientes radioativos e quantidade de doses administradas que diminuem a taxa média de dose a radiação nas dependências da clínica.

#### 4.5 AVALIAÇÃO DOS TRABALHADORES DA FERRAMENTA PROPOSTA PARA OTIMIZAÇÃO DE DOSES

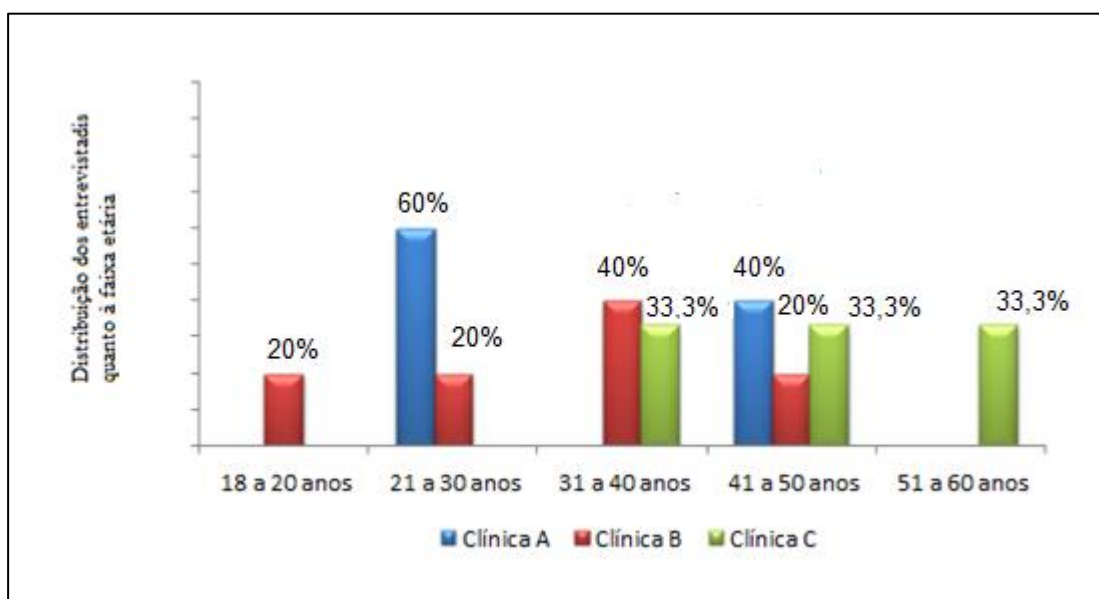
A seguir são apresentados os resultados da pesquisa realizada com os trabalhadores das três clínicas, a qual visou verificar como os mesmos avaliam a ferramenta proposta para otimização de doses pelos trabalhadores.

A Figura 42 mostra que apenas na Clínica A ocorre predominância de trabalhadores do gênero feminino, que atinge 60% do total.



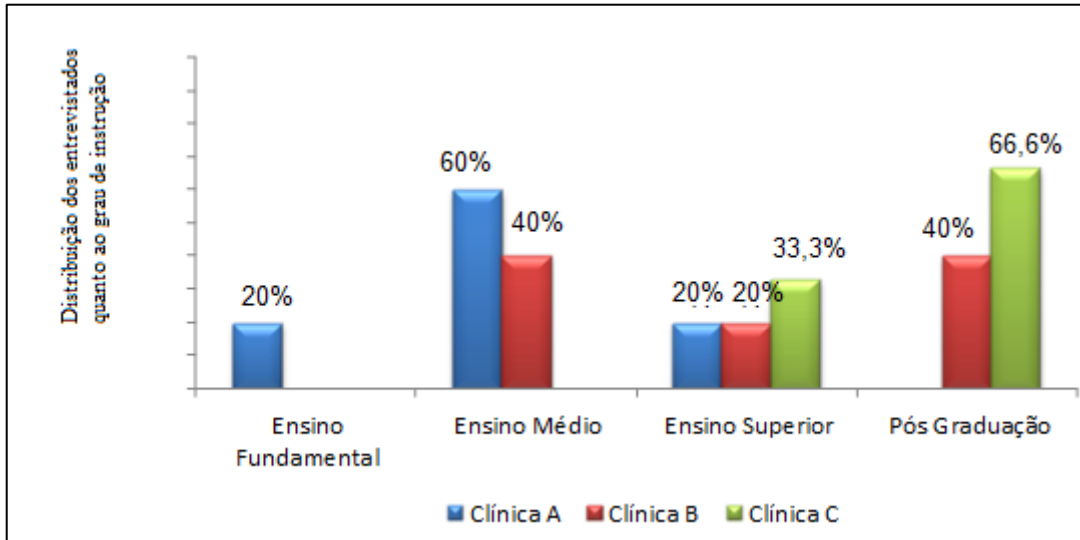
**Figura 42 - Distribuição dos entrevistados quanto ao gênero**  
 Fonte: Dados da pesquisa.

No que diz respeito à idade, foi encontrado na Clínica A idade mínima de 28 anos e máxima de 43 anos (média de 32,6 anos), com a maioria dos trabalhadores na faixa etária dos 21 aos 30 anos. Na Clínica B a idade mínima é de 18 anos e a máxima de 48 anos (média de 32,2 anos), com leve predomínio de indivíduos com idade entre 31 e 40 anos (40%). Na Clínica C a idade mínima encontrada é de 36 anos e a máxima de 48 anos (média 46 anos) (Figura 43).



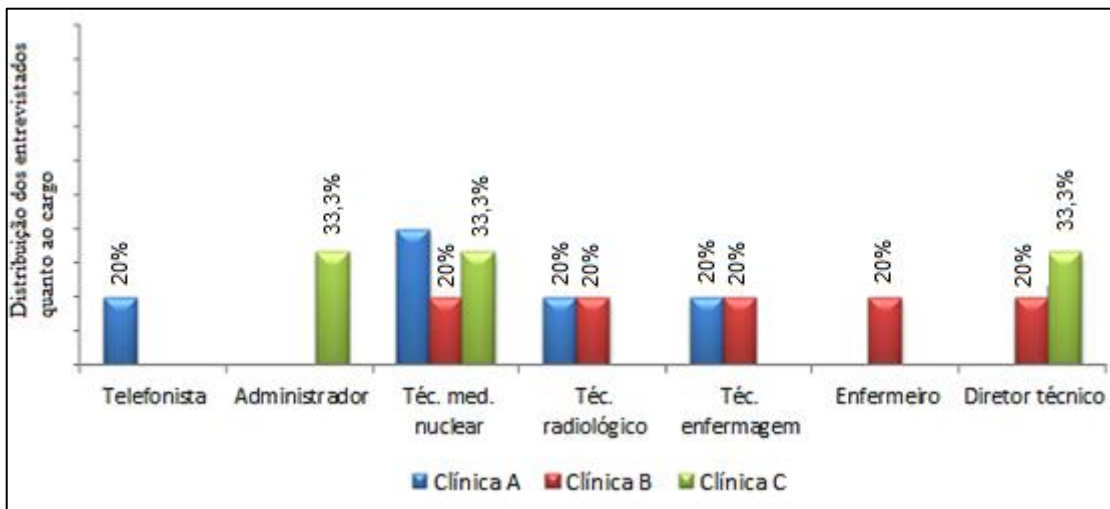
**Figura 43 – Distribuição dos entrevistados quanto à faixa etária**  
 Fonte: Dados da pesquisa.

A Figura 44 mostra que nas Clínicas A e B predomina trabalhadores com Ensino Médio, enquanto na Clínica C, tem-se principalmente trabalhadores com pós graduação.



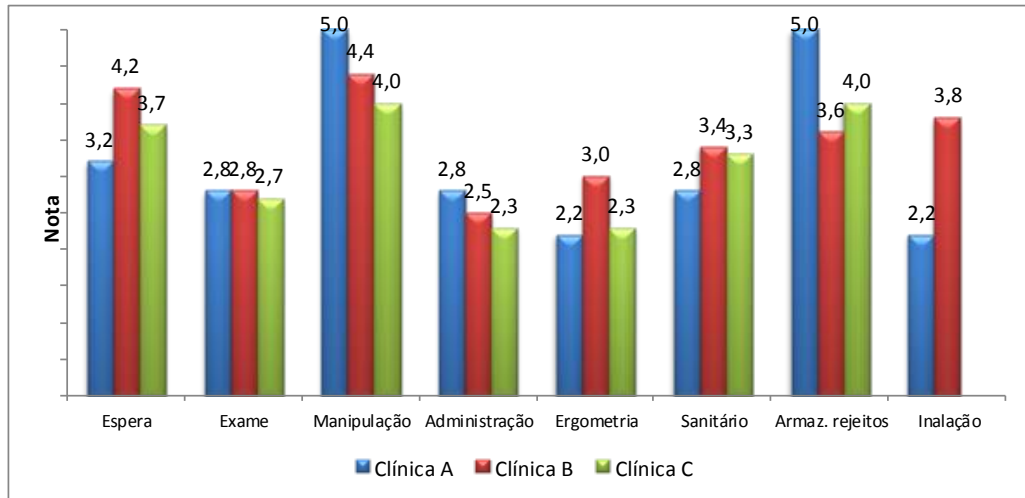
**Figura 44 - Distribuição dos entrevistados quanto ao grau de instrução**  
 Fonte: Dados da pesquisa.

Com relação aos cargos ocupados pelos participantes dessa pesquisa, verifica-se que de maneira geral predominam-se técnicos (Figura 45).



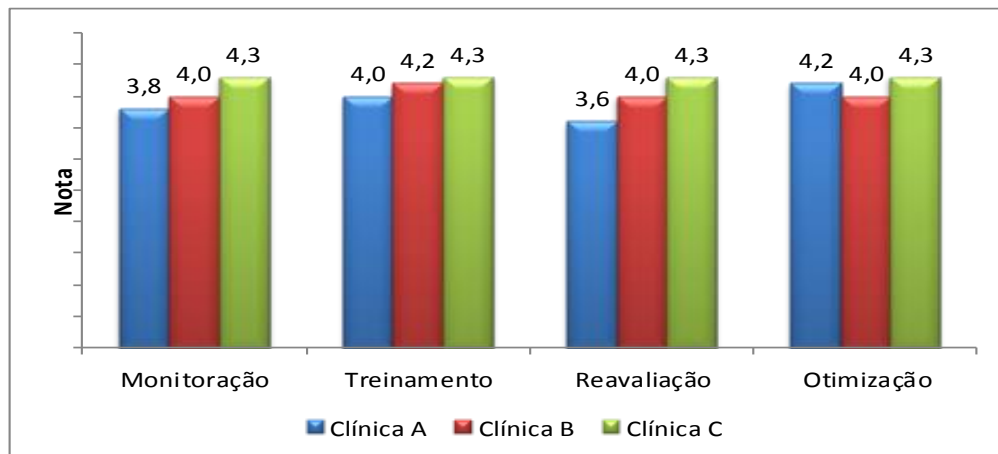
**Figura 45 - Distribuição dos entrevistados quanto ao cargo**  
 Fonte: Dados da pesquisa.

Para os trabalhadores das três clínicas, são encontrados maiores níveis de radiação no laboratório de manipulação e no armazenamento de rejeitos (Figura 46).



**Figura 46 - Percepção dos entrevistados quanto ao nível de radiação nos ambientes**  
**Fonte: Dados da pesquisa.**

A ferramenta proposta, ou seja, o mapa espacial de dose, foi avaliado como adequado (nota 4,0) para fazer parte do programa de monitoração de área, para ser inserido nos programas de treinamentos periódicos, para reavaliar os procedimentos que podem resultar em aumento de dose e, também, para colaborar com os procedimentos de otimização da dose, nas três clínicas participantes desse estudo (Figura 47).



**Figura 47 - Avaliação da ferramenta proposta para otimização pelos entrevistados**  
**Fonte: Dados da pesquisa.**



Com base nos dados acima pode-se perceber que mesmo com tantas divergências em relação as idades, sexo, profissão, grau de escolaridade e local de trabalho dos entrevistados a ferramenta mapa espacial de risco foi bem aceita.

## 5 DISCUSSÃO

A comparação dos resultados obtidos no presente estudo com os valores apresentados na literatura apresenta-se limitada devido às diferenças de metodologias utilizadas nas medidas e nos protocolos clínicos (incluindo a atividade administrada aos pacientes em cada tipo de exame). Acredita-se que as principais diferenças sejam: o fato de a maior parte dos estudos apresentarem avaliações das doses equivalentes de trabalhadores e não da taxa de dose ambiental de serviços de medicina nuclear; e o fato dos estudos feitos com taxa de dose ambiental utilizarem metodologia diferentes.

De acordo com estudos realizados por autores como Almeida et al. (1989), Ho et al. (2002), Sales et al. (2004), Kubo (2011), as referências as doses equivalentes de radiação se mostraram inferiores aos limites anuais de 20 mSv e superiores ao valor de referência de otimização de 1 mSv estipulados pela norma NN-CNEN 3.01.

Na Clínica A, a média de dose equivalente nos três anos avaliados foi de 2,30 mSv/ano, enquanto na Clínica B, obteve-se a média de dose equivalente de 3,96 mSv/ano e na Clínica C 0,51 mSv/ano.

Nos estudos de dose efetiva acumulada (DEA) em MN, os resultados publicados divergem, pois a metodologia de medidas varia. Em um serviço de MN de Hong Kong, em 2002, os valores das DEA médias foi de  $2,07 \pm 0,97$  mSv para os trabalhadores da área técnica (HO, 2002).

Sales et al. (2004) avaliaram registros das doses equivalentes individuais dos IOE em MN de um hospital de Ribeirão Preto, entre 1994 e 2003. Em hospitais da Lituânia, as DEA médias dos profissionais técnicos ficaram em  $2,12 \pm 1,2$  mSv, entre 1991 e 2003 (VALUCKAS et al., 2007).

No entanto, Martins e Alves (2010), relataram os resultados das DEA médias obtidas em Portugal, no período de 2000 a 2006. Entre os trabalhadores expostos, a

DEA média foi de 2,2mSv, tendo variado de 1,8mSv a 2,5mSv entre os anos de monitoração. Em 2007, a DEA média dos trabalhadores monitorados aumentou, chegando a 2,6 mSv. No ano de 2008, a dose efetiva média anual alcançou 3,5 mSv.

No presente trabalho, a maior DEA encontrada foi de 12,5 mSv, do funcionário IOE3, o qual atua na área técnica, no ano de 2014, da Clínica B. Esse profissional recebe maior dose de radiação por estar em contato direto com o paciente injetado, além de ser responsável pela manipulação de material radioativo, ou seja, cabe a ele preparar o radiofármaco e administrá-lo no paciente, o que justifica uma maior exposição do profissional. Resultados semelhantes foram encontrados por Almeida et al. (1989), Sales et al. (2004), Kubo (2011) e Silva et al. (2014).

A segunda maior dose efetiva foi recebida pelo funcionário IOE6, que atingiu o valor de 6,7 mSv/ano, em 2013, na Clínica A. Esse funcionário é um profissional da área da Enfermagem, o que é justificado pelas funções exercidas pelo mesmo, ou seja, administração intravenosa do radiofármaco nos pacientes e acompanhamento destes no teste ergométrico.

O estudo realizado por Ho et al. (2002) evidenciou que os trabalhadores que realizam a aquisição de imagens e administração de radionuclídeos recebem uma dose média anual de  $2,07 \pm 0,97$  mSv, enquanto os assistentes de laboratório estão expostos a uma dose anual de  $1,97 \pm 0,05$  mSv.

Os resultados de Sylvain et al. (2002) foram apresentados em  $\mu\text{Sv}/\text{dia}$ . Assim, quando multiplicados por 229 dias trabalhados por ano, as doses anuais médias foram estimadas em 2,2 mSv para os assistentes técnicos durante as cintilografias ósseas e 1,4 mSv para os enfermeiros.

Nos resultados de Sales et al. (2004), a dose média anual para todos os trabalhadores do SMN foi estimada em 3,3 mSv, enquanto Valuckas et al. (2007) encontrou o valor de  $2,12 \pm 1,2$  mSv. Piwowarska-Bilska et al (2013) verificaram que a dose anual recebidas pelos enfermeiros era de 4,6 mSv e Kubo (2011) reportou uma dose anual média para os técnicos e farmacêuticos de 2,84 mSv, enquanto para os enfermeiros, a dose anual média é de 1,94 mSv.

No entanto, Taha et al. (2008) encontraram valores bastante superiores aqueles encontrados neste estudo. Porém, não é cabível a comparação dos resultados, pois Taha et al. (2008) mediram as doses nas extremidades (mãos) dos

trabalhadores. Neste caso, espera-se que as doses sejam maiores pela maior proximidade aos radionuclídeos manipulados.

Com a implementação de mudanças no protocolo de proteção radiológica, Piwowska-Bilska et al. (2013) conseguiram obter reduções de aproximadamente 63% para a dose da enfermagem (1,7 mSv) e não mais do que 22% para a dose nos técnicos de radiofarmácia (1,8 mSv).

De acordo com a taxa de dose ambiental outras pesquisas se mostraram inferiores aos limites anuais de 20 mSv ou 10,0  $\mu\text{Sv/h}$  para clínicas que funcionam 2000h por ano e superiores ao valor de referência de otimização de 1mSv ou 0,5  $\mu\text{Sv/h}$  para clínica de 2000h estipulados pela norma NN-CNEN 3.01.

Segundo Oliveira (2013), os pontos de maior dose normalmente localizados em sala quente e sala de espera de pacientes injetados foram confirmados. A sala de espera de pacientes injetados é um ambiente no qual apenas pacientes injetados e em, algumas exceções, acompanhantes devem permanecer aguardando para a realização dos exames, como foi comprovado. A sala quente, conforme demonstrado é uma área com altas taxas de dose, o que reafirma a necessidade de blindagem e uso de material de proteção para os indivíduos ocupacionalmente expostos, além da permanência mínima para realização das tarefas.

Oliveira (2013) mostrou que as salas que dispuseram de maior taxa de dose equivalente foram o laboratório de manipulação (3,6  $\mu\text{Sv/h}$ ) e sala de espera de pacientes injetados (5,4  $\mu\text{Sv/h}$ ), seguidos pela sala de exames (1,3  $\mu\text{Sv/h}$ ). Pinheiro (2013) encontrou uma média da taxa de dose no laboratório de manipulação de 2,4  $\mu\text{Sv/h}$ , sala de espera de 2,2  $\mu\text{Sv/h}$  e na sala de exames a média foi 1,8  $\mu\text{Sv/h}$ .

Nesta pesquisa, foi encontrado na Clínica A uma média da taxa de dose no laboratório de manipulação de 1,8  $\mu\text{Sv/h}$ , na sala de espera o valor foi de 2,1  $\mu\text{Sv/h}$  e na sala de exames 1,3  $\mu\text{Sv/h}$ . Na clínica B, a média da taxa de dose no laboratório de manipulação foi 2,0  $\mu\text{Sv/h}$ , na sala de espera 2,9  $\mu\text{Sv/h}$  e na sala de exames 1,3  $\mu\text{Sv/h}$ . Na clínica C, a média da taxa de dose no laboratório de manipulação foi 1,2  $\mu\text{Sv/h}$ , sala de espera 1,6  $\mu\text{Sv/h}$  e sala de exames 0,7  $\mu\text{Sv/h}$ .

De acordo com esta pesquisa, as áreas mais quentes do serviço de medicina nuclear é o laboratório de manipulação e a sala de espera acompanhados pela sala de exame. Segundo Kubo (2011), o laboratório de manipulação é o ambiente do serviço que mais contribui com a dose de radiação, já que nesta dependência é feito a manipulação de fontes radioativas.

Neste estudo, foi observado na clínica A, que o laboratório quente apresentou estatisticamente ponto com maior taxa de dose no ponto P7 de 3,2  $\mu\text{Sv/h}$ . Na clínica B, o laboratório quente apresentou estatisticamente ponto com maior taxa de dose no ponto P9 de 4,8  $\mu\text{Sv/h}$ . Na clínica C, o laboratório quente apresentou estatisticamente ponto com maior taxa de dose no ponto P7 e P8 de 1,2  $\mu\text{Sv/h}$ . Nas três clínicas pesquisadas os pontos com maiores taxas de dose foram as regiões próximas ao depósito de rejeitos e geradores de radiação.

Segundo Pinheiro (2013), o ponto mais quente da sala de espera apresentou taxa de dose de  $8,5 \pm 7,8 \mu\text{Sv/h}$ . Para Oliveira (2013), as regiões mais quentes do laboratório de manipulação foram próximas do gerador e depósito de rejeitos com taxa de exposições respectivamente de  $6,9 \pm 2,0 \mu\text{Sv/h}$  e  $4,8 \pm 1,9 \mu\text{Sv/h}$ . Os dados desta pesquisa se mostraram compatíveis com os dados de Oliveira (2013) e Pinheiro (2013) em relação ao ponto de maior risco, mas não se mostraram compatíveis em relação aos valores de taxa de dose.

Pinheiro (2013) observou que as dependências do serviço que apresentaram maiores taxas de dose correspondem àquelas onde estão as fontes (pacientes na sala de espera e salas de exames e fontes na sala quente).

Na presente pesquisa, na Clínica A, a sala de exames apresentou ponto com maior taxa de dose no ponto P11 de 2,6  $\mu\text{Sv/h}$ . Na Clínica B, a sala de exames, o ponto com maior taxa de dose no ponto P15 de 2,3  $\mu\text{Sv/h}$ , enquanto a Clínica C, esta dependência apresentou ponto com maior taxa de dose no ponto P15 de 1,1  $\mu\text{Sv/h}$ , local este próximo das fontes radioativas (cadeiras de pacientes injetados).

Segundo Oliveira (2013) e Pinheiro (2013), as regiões mais quentes na sala de exames foram maca de pacientes com taxa de exposições respectivamente de  $0,9 \pm 4,2 \mu\text{Sv/h}$  e  $4,5 \pm 16,1 \mu\text{Sv/h}$ . De acordo com Komatsu (2013), no cálculo projetado para o acúmulo da dose no tórax para o período de um ano, obteve-se valores equivalentes a 4% (repouso) e 10% (estresse) em relação ao limite médio de 20 mSv.

Na presente pesquisa, na clínica A, a sala de espera estatisticamente apresentou ponto com maior taxa de dose no ponto P3 de 2,6  $\mu\text{Sv/h}$ . Na clínica B, a sala de espera estatisticamente o ponto com maior taxa de dose no ponto P2 de 3,7  $\mu\text{Sv/h}$ . A clínica C, o a sala de espera apresentou estatisticamente ponto com maior taxa de dose no ponto P6 de 1,9  $\mu\text{Sv/h}$  local próximo das fontes radioativas (cadeiras de pacientes injetados). Segundo Oliveira (2013) e Pinheiro (2013), as regiões mais

quentes da sala de espera foram próximas das cadeiras dos pacientes com taxa de exposições respectivamente de  $4,27 \pm 8,14 \mu\text{Sv/h}$  e  $7,0 \pm 3,2 \mu\text{Sv/h}$ .

De acordo com Oliveira (2013), todos os valores de expectativa de dose anual ficaram abaixo do limite de dose dos IOEs de 20 mSv/ano. As dependências de classificação como “area livre” (pontos 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32 e 33) tiveram dose anual inferior a limitação para indivíduos do público igual a 1 mSv/ano e a grande maioria dos pontos tiveram dose acima de 1 mSv/ano ou taxa média de dose de  $0,5 \mu\text{Sv/h}$ . Segundo Pinheiro (2013), as taxas de dose no serviço de medicina nuclear de Botucatu foram inferiores a 20 mSv e na maioria dos pontos excederam o limite de dose dos indivíduos do público.

Foram evidenciados valores variados na dosimetrias dos trabalhadores que possam ser correspondidos, dependendo da função e experiência de trabalho. Segundo Komatsu (2013), além disso, as doses dos trabalhadores menos experientes foram, em média, 1,7 vezes superiores àquelas dos trabalhadores mais experientes que exercem as mesmas funções. Essa grande variação da dose tórax e extremidade foram encontrada também em outros trabalhos (VANHAVERE et al., 2006; COVENS et al., 2007; WRZESIEN et al., 2008; MERCE et al., 2011; TANDON; VENKATESH; BATH, 2007).

Pádua et al. (2008) ressalta que apesar das doses apresentarem valores na faixa de  $\mu\text{Sv}$ , devido ao aumento do número de exames, essas doses podem acarretar exposições ocupacionais relevantes. Segundo Sylvain et al. (2002), os demais trabalhadores (técnicos de laboratório e farmacêuticos), devido às suas funções, não possuem situações semelhantes nem equivalentes neste estudo, para que possa ser feita uma comparação de dose. Mais uma vez, considerou-se a variedade nos exames realizados como a principal causa na diferença dos resultados.

De acordo com Oliveira (2013), os dados mostram valores maiores para o período da manhã em relação ao da tarde na maioria dos pontos, este comportamento deve-se ao maior número de exames realizados pela manhã, como, manipulação de fontes para marcação de radiofármacos, administração aos pacientes e testes de controle de qualidade.

Os dados da taxa de dose neste trabalho foram maiores no período da manhã nas três clínicas de medicina nuclear e se mostraram coerentes com o trabalho realizado por Oliveira (2013). Este autor explica que o gerador de

Mo/99mTc é eluido na primeira hora de funcionamento do serviço e, assim, o horário de maior atividade, gerando uma taxa de dose elevada na área de sala quente durante o período da manhã. Devido a maior disponibilidade de fonte nas primeiras horas do dia, neste período ocorre a marcação dos radiofármacos, seguida da administração aos pacientes, acarretando uma maior taxa de dose nos pontos 7 e 8, localizados na “sala de injeção”, em comparação com o período da tarde.

Segundo Silva Neto (2012), pode-se visualizar a atividade inicial do gerador de 99mTc, bem como os dias de chegada dos mesmos (sábado e segunda) e o decaimento da atividade durante uma semana. Observa-se que as atividades iniciais até o dia 23/10/2011 eram de 18,5 MBq chegando ao final da semana a 4 Bq Após este período a atividade solicitada passou a ser de 27,0 MBq indo ao fim da semana a 6 MBq.

Os dados da dose disponível pelo gerador de tecnécio neste trabalho foram coerentes com o trabalho de Silva Neto (2012) e Oliveira (2013), ou seja, as doses disponíveis e utilizadas no início da semana são maiores nas três clínicas de medicina nuclear pesquisadas.

A avaliação estatística das diferenças de taxa de dose nos diversos pontos permitem inferir que existe riscos significativos por dependência e por região da dependência .

Para Pinheiro (2013), o uso do monitor Gëiger existente no serviço, disponível em tempo integral, mostrou-se recurso útil e eficaz para estimar as regiões de risco de dose à radiação. Mapeamentos desta natureza podem integrar os Planos de Proteção a Riscos Ambientais exigidos nas normas trabalhistas vigentes. Aumentam a riqueza de informações com relação ao risco físico da dose à radiação, pois indicam na dependência a área espacial e a intensidade do risco e não apenas uma indicação simplificada que na dependência há o risco.

Ainda, de acordo com Pinheiro (2013), o levantamento radiométrico periódico em um número maior de pontos associado à confecção do mapa de distribuição das taxas de dose ou dose bem como o mapa e projeção de dose anual constituem rica informação para prevenção à dose à radiação ionizante nas dependências do serviço de Medicina Nuclear na medida em que apontam com elevada clareza as áreas de risco e sua intensidade.

Assim, torna-se necessário e urgente não só garantir a soma das exposições ocupacionais, como preceitua a legislação para os titulares de cada serviço, mas

também criar regulamentos direcionados ao próprio trabalhador, de modo que ele também se responsabilize pela sua própria dose. De modo geral, esses estudos mostram que, apesar dos esforços da comunidade científica em estabelecer normas de proteção radiológica, principalmente para as exposições ocupacionais, ainda vicejam muitas irregularidades, como o descumprimento das leis vigentes e a pouca informação aos trabalhadores.

Tabela 35 – Tabela de resumo das comparações citadas na discussão

Ambiente	Dose IOE (mSv/ano)	Taxa de Dose Sala de Espera ( $\mu$ Sv/h)	Taxa de Dose Espera (máxima) ( $\mu$ Sv/h)	Taxa de Dose Lab. ( $\mu$ Sv/h)	Taxa de Dose Lab. (máxima) ( $\mu$ Sv/h)	Taxa de Dose Sala de Exames ( $\mu$ Sv/h)	Taxa de Dose Sala de Exames (máxima) ( $\mu$ Sv/h)
Taxa de dose ( $\mu$ Sv/h) Clínica A	2,3	2,7	3,7	2,0	4,8	1,3	2,3
Taxa de dose ( $\mu$ Sv/h) Clínica B	3,9	2,1	2,6	1,9	3,2	1,4	2,6
Taxa de dose ( $\mu$ Sv/h) Clínica C	0,5	1,6	1,9	1,2	1,4	0,8	1,1
Oliveira	-	5,5	-	3,6	6,9	1,3	0,9
Pinheiro	-	2,2	8,5	2,4	-	1,8	4,5
Sales	2,12	-	-	-	-	-	-
HO	2,07 1,97	-	-	-	-	-	-
Valuskas	2,1	-	-	-	-	-	-
Martins e Alves	2,2	-	-	-	-	-	-
Sylvain	2,2	-	-	-	-	-	-

Fonte: Autor



## 6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo permitem concluir que:

a. As doses dos serviços de medicina nuclear não dispensam a exclusão de otimização, visto que os trabalhadores e a taxa de dose dos ambientes excedem a 1 mSv/ano;

b. A dose efetiva acumulada dos trabalhadores e a taxa de dose ambiental não excedem os valores limites de dose ocupacional dos trabalhadores;

c. A dose diária de radiação ambiental não oferece risco aos acompanhantes, mesmo que estes sejam crianças ou gestantes, desde que sejam tomados cuidados com relação à distância, tempo e blindagem, que são os fatores básicos da proteção radiológica;

d. Os locais com maiores concentração de radiação foram os pontos próximos a fontes radioativas (maca do paciente injetado, cadeiras de paciente injetado, depósito de rejeitos, esteira de pacientes injetados); e

e. As dependências mais “quentes” dos serviços de medicina nuclear são o laboratório de manipulação e a sala de espera de pacientes injetados, seguidos pela sala de exames.

Com base nos resultados e as conclusões deles decorrentes, é recomendável a substituição das medições quinzenais estipuladas na norma CNEN NN3.05 (2013), por medições semestrais mais rigorosas com avaliação estatística e elaboração por um profissional da física médica do mapa de risco geral e por dependência, os quais deveriam ser fixados em local visível em cada dependência, para orientar os trabalhadores na sua rotina de trabalho.

Essa recomendação está em consonância com o programa de monitoração especial recomendada pela *International Commission on Radiation Units and Measurements* (ICRU) e *International Atomic Energy Agency* (IAEA).

Para dar continuidade a esse estudo sugere-se a realização de uma nova pesquisa, utilizando-se dos mesmos procedimentos metodológicos, porém com instrumentos de medição mais precisos, como por exemplo, dosímetro termoluminescente (TLD), que permitirá a obtenção de resultados mais precisos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, B.A.L. et al. Ctilografia óssea no câncer de próstata. **Radiol. Bras.**, v.38, n. 5, p. 365-369, 2005.

ALMEIDA, A. et al. Avaliação das doses equivalentes médias mensais em um hospital de grande porte. **Rev. Radiol. Bras.**, v. 22, n. 3, p. 157-159, jul./set. 1989.

ANJOS, R.M. et al. Natural sources of radiation exposure and the teaching of radioecology. **Physics Education**, v. 43, n. 4, p. 423-428, Jul. 2008.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução - RDC nº 50, de 21 de fevereiro de 2002**. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 3 mar. 2014.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **RDC nº 306, de 7 de dezembro de 2004**. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 3 mar. 2014.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução nº 38, de 4 de junho de 2008**. Dispõe sobre a instalação e o funcionamento de Serviços de Medicina Nuclear "in vivo". Acesso em: 3 mar. 2014.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Portaria SVS/MS n. 453, de 1 de junho de 1998**. Aprova o Regulamento Técnico que estabelece as diretrizes básicas de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico, dispõe sobre o uso dos raios-x diagnósticos em todo território nacional e dá outras providências. Acesso em: 3 mar. 2014.

ATTIX, F. H. **Introduction to radiological physics and radiation dosimetry**. New York: John Wiley & Sons, 1986.

BENADIBA, M. et al. Novos alvos moleculares para tomografia por emissão de pósitrons (PET) e tomografia computadorizada por emissão de fóton único (SPECT) em doenças neurodegenerativas. **Rev. Bras. Psiquiatr.**, São Paulo, v. 34, n. 2, p. 125-148, Oct. 2012.

BRAND, C.I.; FONTANA, R.T.; SANTOS, A.V. A saúde do trabalhador em radiologia: algumas considerações. **Texto Contexto Enferm**, Florianópolis, v. 20, n. 1, p. 68-75, jan./mar. 2011.

BRASIL. MTE. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora NR nº 9 - NR 9 - Programa de prevenção de riscos ambientais**. Brasília, 2014.

BRASIL. MTE. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora NR nº 32 -Segurança e saúde no trabalho em serviços de saúde**. Brasília, 2005.

CASTRO JÚNIOR, A.; ROSSI, G.; DIMENSTEIN, R. **Guia prático em medicina nuclear: a instrumentalização**. 3. ed. São Paulo: Senac São Paulo, 2000.

CHAIB, J.P.M; ASSIS, A.K.T. Distorção da obra eletromagnética de ampère nos livros didáticos. **Rev. Bras. Ens. Fís.**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 65-70, 2007.

CHUNG, J.K. Sodium iodide symporter: its role in nuclear medicine. **J. Nucl. Med.**, v. 43, n. 9, p.1188-1200, Sep. 2002.

CNEN. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **NN-3.01 – Diretrizes básicas de radioproteção**. 2005.

CNEN. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **NN-3.01 - Diretrizes básicas de proteção radiológica**. mar. 2011.

CNEN. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **NN-3.05 – Requisitos de radioproteção e segurança para serviços de medicina nuclear**. Dez. 2013.

COUTINHO, A.M.N.; GUIMARÃES, M.I.C.C. Proteção radiológica e dosimetria. In: HIRONAKA, F.H. et al. (Eds.). **Medicina nuclear: princípios e aplicações**. São Paulo: Atheneu, 2012. p. 67-76.

COVENS, P. et al. Personal dose monitoring in hospitals: global assessment, critical applications and future needs. **Radiation Protection Dosimetry**, v.124, n.3, p.250-259, 2007.

DEMIR, M. Radiation protection for accompanying person and radiation workers in PET/CT. **Radiation Protection Dosimetry**, p. 1-5, Dec. 2010.

DIMENSTEIN, R.; GHILARDI NETTO, T. **Bases físicas e tecnológicas aplicadas aos raios X**. São Paulo: Senac São Paulo, 2005.

DUARTE, D.D. et al. Estudo da eficiência de detecção de um monitor portátil de contaminação de superfícies em função da distância e do débito de emissão da fonte. **Saúde & Tecnologia**, n. 8, p. 18-23, nov. 2012.

ENGELBRECHT, R.; SCHWAIGER, M. State of the art of standard methods used for environmental radioactivity monitoring. **Applied Radiation and Isotopes**, v. 66, p.1604-1610, 2008.

FAZEL, Reza *et al.* Exposure to Low-Dose Ionizing Radiation from Medical Imaging Procedures. **N. Engl. J. Med.**, v. 361, n. 9, p.849-857, Ago. 2009.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GUTIERREZ-VILLANUEVA, J.L. et al. Intercomparison exercise on external gamma dose rate under field conditions at the laboratory of natural radiation (Saelices el Chico, Spain). **Radiation Protection Dosimetry**, p. 1-8, Feb. 2013.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos da física**. 9. ed. São Paulo: LTC, 2012. v. 3.

HO, W.Y. et al. Radiation doses to staff in a nuclear medicine department. **J HK Coll Radiol**, v. 5, p. 24-28, 2002.

IAEA. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Occupational radiation protection**: protecting workers against exposure to ionizing radiation proceedings of an International Conference on Occupational Radiation Protection. Viena: IAEA, 2003.

IAEA. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Practical radiation technical manual**: individual monitoring. Viena: IAEA, 2004.

IAEA. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Nuclear technology review**. Viena: IAEA, 2008.

ICRP. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. **ICRP 103 – Recommendations of the International Commission on Radiological Protection**. Oxford: Pergamon Press, v. 37, n. 2-4, 2007.

ICRU - International Commission on Radiation Units and Measurements Determination of Dose Equivalents Resulting from External Radiation Source. **Report 39**. Bethesda, MD: International Commission on Radiation Units and Measurements, 1985.

IPEN. INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. **Noções básicas de proteção radiológica**. Ago. 2002. Disponível em: <[http://uab.ufac.br/modle/pluginfile.php/6732/mod\\_resource/content/1/RADIOPROTE%C3%87%C3%83O%20-%20PRINC%C3%8DPIOS%20B%C3%81SICOS%20-%20IPEN.pdf](http://uab.ufac.br/modle/pluginfile.php/6732/mod_resource/content/1/RADIOPROTE%C3%87%C3%83O%20-%20PRINC%C3%8DPIOS%20B%C3%81SICOS%20-%20IPEN.pdf)>. Acesso em: 3 fev. 2014.

JASINOWODOLINSKI, D.; DIMENSTEIN, R. **Bases físicas e tecnológicas Pet e Tc**. São Paulo: SENAC, 2012.

KOMATSU, C.V. **Avaliação da dose de radiação ocupacional em medicina nuclear nos exames de cintilografia de perfusão miocárdica**. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade Federal Tecnológica do Paraná. Curitiba. 2013.

KUBO, A.L.S.L. **Estudo da exposição ocupacional externa nos serviços de medicina nuclear do Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado em Radioproteção e dosimetria). Instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear. Rio de Janeiro. 2011.

LITTLE, Mark P *et al.* Risks Associated with Low Doses and Low Dose Rates of Ionizing Radiation: Why Linearity may be (Almost) the Best we can do. **Radiology**, v. 251, n. 1, p.6-12, Apr. 2009.

LESLIE, W.D.; GREENBERG, I.D. **Nuclear medicine**. Georgetown: Landes Bioscience, 2003.

LIMA, M.S.; GUIMARÃES, M.I.C.C. Princípios básicos. In: HIRONAKA, F.H. et al. (Eds.). **Medicina nuclear: princípios e aplicações**. São Paulo: Atheneu, 2012. p. 11-23.

MACHADO, A.C.B.; PLEITZ, V.; TIJERO, M.C. Usando a antimatéria na medicina moderna. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo, v. 28, n.4, p. 407-416, 2006.

MACHADO, L.S. et al. Tecnécio-99m-Tc no acompanhamento de carcinoma diferenciado de tireóide. **Revista Brasileira de Cancerologia**, v. 50, n. 3, p. 203-210, 2004.

MACHADO, M.A.D. et al. Revisão: radioproteção aplicada à medicina nuclear. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 4, n. 3, p. 47-52, 2011.

MADSEN, M.T. AAPM task group 108: PET and PET/CT shielding requirements. **Medical Physics**, v. 33, n. 1, p. 4-15, Jan. 2006.

MARTINS, M.B.; ALVES, J.G. **Exposição ocupacional em Portugal (2000 a 2006)**. Scavén, Portugal: Instituto Tecnológico e Nuclear, 2010.

MENDES, L.C.G.; FONSECA, L.M.B.; CARVALHO, A.C.P. Proposta de método de inspeção de radioproteção aplicada em instalações de medicina nuclear. **Radiol. Bras.**, v. 37, n. 2, p. 115-123, 2004.

MERCE, M.S. et al. Extremity exposure in nuclear medicine: preliminary results of a european study. **Radiation Protection Dosimetry**, v.144, p.607-610, 2011.

MORAES, A.F. **Manual de medicina nuclear**. São Paulo: Atheneu, 2007.

NASCIMENTO, C.C.S.V.; COSTA, W.B. O impacto do uso de radiofármacos na sociedade. **CET – Caderno de Estudos Tecnológicos**, Bauru, v. 2, n. 1, p. 149-167, jul. 2014.

OKUNO, E. Efeitos biológicos das radiações ionizantes. Acidente radiológico de Goiânia. **Estudos Avançados**, v. 27, n. 77, p. 185-199, 2013.

OKUNO, E.; YOSHIMURA, E.M. **Física das radiações**. São Paulo: Oficina de Texto, 2010.

OLIVEIRA, A.D.; LIMA, J.J.P. Dosimetria e efeitos biológicos da radiação. In: LIMA, J.J.P. (Coord.). **Física em medicina nuclear: temas e aplicações**. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2008. p. 479-562.

OLIVEIRA, C.V. et al. Mapa espacial de dose do serviço de medicina nuclear do Hospital das Clínicas de Botucatu. In: XVII Congresso Brasileiro de Física Médica. VI SIIM – Simpósio de Instrumentação e Imagens Médicas. IX CONFIAM – Congresso de Física Aplicada a Medicina. 12 a 15 ago. 2013. São Pedro-SP. **Anais ... 12 a 15 de agosto de 2013**. São Pedro: ABFM, 2013. p. 261-263.

OLIVEIRA, J.P. et al. Análise dosimétrica de acompanhantes de pacientes de medicina nuclear internados em quarto terapêutico. **Radiol Bras.**, v. 41, n. 1, p. 35-38, jan./fev. 2008.

OLIVEIRA, R. et al. Preparações radiofarmacêuticas e suas aplicações. **Rev. Bras. Ciências Farmacêuticas**, v. 42, n. 2, p. 151-165. abr./jun. 2006.

OREJUELA, D.M. et al. Cálculo de blindagens para servicios de medicina nuclear. In: VIII Congreso Regional de Seguridad Radiológica y Nuclear. I Congreso Latinoamericano Del IRPA, V Congreso Nacional de Protección Radiologica DSSA. 11 a 15 Oct. 2010. Medellin, Colombia. **Anais ...** Medellin, Colômbia, 2010.

PÁDUA, R.D.S. et al. Auxílio à detecção de anormalidade perfusional miocárdica utilizando atlas de SPECT e registro de imagens: resultados preliminares. **Radiologia Brasileira**, v. 41, n. 6, p. 397-402, 2008.

PEIXOTO, J. E. **Princípios básicos para monitoração ocupacional em radiologia médica e odontológica**. Adaptado da publicação Safety Series n. 8 da Agência Internacional de Energia Atômica. Viena, 1987.

PINHEIRO, R.M. **Mapeamento do nível radiométrico e construção de mapa espacial em serviço de medicina nuclear**. Monografia (Graduação em Física Médica). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"- UNESP. Botucatu. 2013.

PIWOWARSKA-BILSKA, H. et al. Radiation doses of employees of nuclear medicine department after implementation of more rigorous radiation protection methods. **Radiat Prot Dosimetry**, v. 157, n. 1, p.142-145, Apr. 2013.

POZZO, L. et al. O SUS na medicina nuclear do Brasil: avaliação e comparação dos dados fornecidos pelo Datasus e CNEN. **Radiol Bras**, São Paulo, v. 47, n. 3, p. 141-148, May/Jun. 2014.

ROBILOTTA, C.C. Conceitos básicos de física das radiações. In: THOM, A.F.; SMANIO, P.E.P. (Eds.). **Medicina nuclear em cardiologia: da metodologia à clínica**. São Paulo: Atheneu, 2007. p. 11-21.

ROBILOTTA, C.C. Princípios físicos da tomografia por emissão de pósitrons (PET). In: RAMOS, C.D.; SOARES JUNIOR, J. (Eds.). **PET e PET/CT em oncologia**. São Paulo: Atheneu, 2011. p. 9-18.

SAFETY STANDARDS SERIES No. RS-G-1.5. **Radiological protection for medical exposure to ionizing radiation: safety guide**. Vienna : International Atomic Energy Agency, 2002.

SALES, C.P. et al. Avaliação de doses equivalentes num serviço de Medicina Nuclear. In: IX Brazilian Congress of Medical Physics and III Latin american and Caribbean Congress of Medical Physics, 2004. Rio de Janeiro. CD do Congresso. 2004.

SANTOS, A.F. Interação da radiação com a matéria. In: SANTOS, A.F. **Física médica em mamografia**. São Paulo: Atheneu, 2010. p. 91-100.

SANTOS, A.F. Radiações ionizantes. In: SANTOS, A.F. **Física médica em mamografia**. São Paulo: Atheneu, 2010. p.1-20.

SANTOS, A.F. Segurança radiológica. In: SANTOS, A.F. **Física médica em mamografia**. São Paulo: Atheneu, 2010. p.65-80.

SANTOS, J.S. et al. Colectomia: aspectos técnicos e indicações para o tratamento da litíase biliar e das neoplasias. **Medicina**, Ribeirão Preto, v. 41, n. 4, p. 449-464, 2008.

SAPIENZA, M.T. et al. Radioiodoterapia do carcinoma diferenciado da tireoide: impacto radiológico da liberação hospitalar de pacientes com atividades entre 100 e 150 mCi de iodo-131. **Arq Bras Endocrinol Metab.**, v. 53, n. 3, p. 318-325, 2009.

SCAFF, A.M. **Física da radioterapia**. São Paulo: Savier, 1997.

SCHWARCKE, M.M.B.; CARDOSO, D.D.; FERREIRA, N.M.P.D. Comparação entre detectores utilizados para medidas ambientais em serviços de medicina nuclear. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**, p. 26-32, 2009.

SCHMITZ, R.E.; ALESSIO, A.M.; KINABAN, P.E. Física dos PET/TC scanners. LINN, E.C.; ALAVI, A. **PET e PET/TC: guia prático clínico**. Rio de Janeiro: Revinter, 2011. p. 3-14.

SEGRETO, H.R.C. Radiobiologia. In: SALVAJOLLI, J.V.; SOUNHAMI, L.; FARIA, S.L. **Radioterapia em oncologia**. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2013. p. 61-72.

SEVERINO, J. A. **Metodologia do trabalho científico**. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

SIEMENS. **Sugestão de posicionamento para instalação de equipamento**. Salvador, 2008.

SILVA NETO, J.A. Fator de correção de dose individual em grupos ocupacionais obtido por monitoração individual externa em serviço de medicina nuclear. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares). Universidade Federal de Pernambuco. 2012.

SILVA, N.O. et al. Incentivando a prática da radioproteção. IX Latin American IRPA Regional Congress on Radiation Protection and Safety - IRPA 2013. **Anais ...** Rio de Janeiro, RJ, Brazil, April 15-19, 2013.

SILVA, F.L. et al. Avaliação da dose efetiva acumulada em três clínicas de medicina nuclear. In: XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica – CBEB 2014. p. 220-223.

SYLVAIN, I. et al. Radiation exposure in nuclear medicine: real-time measurement. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 45, n. special, p.111-114, Sep. 2002.

SOARES, F.A.P.; PEREIRA, A.G.; FLÔR, R.C. Utilização de vestimentas de proteção radiológica para redução de dose absorvida: uma revisão integrativa da literatura. **Radiol Bras.**, v. 44, n. 2, p. 97-103, mar./abr. 2011.

TAHA, T. M. et al. Hand dose in nuclear medicine staff members. In: IX Radiation Physics & Protection Conference, 2008, Nasr City Cairo, Egypt. **Proceedings of the ninth radiation physics and protection conference**. Nasr City Cairo, Egypt, 2008. p.125-130.

TAHUATA, L. et al. **Radioproteção e dosimetria: fundamentos**. Rio de Janeiro: IRD/CNEN, 2014.

TANDON, P.; VENKATESH, M.; BHATT, B.C. Extremity dosimetry for radiation workers handling unsealed radionuclides in nuclear medicine departments in India. **Health Physics**, v. 92, n. 2, p. 112-118, 2007.

THRALL, J.H. **Medicina nuclear**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.

TILLY JUNIOR, J.G. **Física radiológica**. São Paulo: Saraiva, 2010.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. Comissão de Normalização de Trabalhos Acadêmicos. **Normas para elaboração de trabalhos acadêmicos**. Curitiba: UTFPR, 2008.

VALUCKAS, K.P. et al. Occupational exposure of medical radiation workers in Lithuania, 1991-2003. **Acta Medica Lituanica**, v. 14, n. 3, p.155-159, 2007.

VANHAVERE, F. et al. The use of extremity dosimeters in a hospital environment. **Radiation Protection Dosimetry**, v.118, n. 2, p. 190-195, 2006.

VÍVOLO, V. **Aplicação de metodologia de testes de desempenho para monitores portáteis de radiação**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. USP, São Paulo, 2000.

WILLEGAIGNON, J. et al. Is it necessary to reduce the radioiodine dose in patients with thyroid cancer and renal failure? **Arq Bras Endocrinol Metab.**, v. 54, n. 4, p. 413-418, 2010.

WILLEGAIGNON, J.; SAPIENZA, M.T.; BUCHPIGUEL, C.A. Radioiodine therapy for graves disease: thyroid absorbed dose of 300 gyvtuning the target for therapy planning. **Clinical Nuclear Medicine** , v. 38, n. 4, p. 231-236, Apr. 2013.

WHITBY, M.; MARTIN, C.J. Investigation using an advanced extremity gamma instrumentation system of options for shielding the hand during the preparation and injection of radiopharmaceuticals. **Journal of Radiological Protection**, v.23, p. 79-96, 2003.

WRZESIEN, M.; OLSZEWSKI, J.; JANKOWSKI, J. Hand exposure to ionizing radiation of nuclear medicine workers. **Radiation Protection Dosimetry**, v.130, n.3, p.325-330, 2008.

ZAU, M.A.C.O. **Necessidades do espaço físico em unidade de medicina nuclear**. Monografia (Especialização em Arquitetura e Sistemas de Saúde). Universidade Federal da Bahia. Salvador. 2008.



## APÊNDICES

## **APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PARA OS TRABALHADORES**

## QUESTIONÁRIO PARA OS TRABALHADORES

1. Gênero

( ) masculino                      ( ) feminino

2. Idade: \_\_\_\_\_ anos

3. Grau de instrução

( ) Ensino Fundamental              ( ) Ensino Médio

( ) Ensino Superior                      ( ) Pós graduação

4. Cargo/função: \_\_\_\_\_

Nas questões 5 a 15, atribua um valor de 1 a 5, considerando 1 = muito baixo e 5 = muito elevado, para o nível de radiação que você acredita existir.

	<b>Locais</b>	<b>Não tem na clínica</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
5.	Sala de espera de pacientes (injetados)						
6.	Sala de exame						
7.	Sala de manipulação						
8.	Sala de administração						
9.	Sala de ergometria						
10.	Sanitário exclusivo pacientes (injetados)						
11.	Local de armazenamento de rejeitos radioativos						
12.	Sanitário exclusivo ergometria						
13.	Quarto de dose terapêutica						
14.	Sanitário exclusivo quarto terapêutico						
15.	Sala de inalação						

## MAPA ESPACIAL DE DOSE

16. Na sua opinião, o recurso utilizado para otimização de dose é adequado para fazer parte do programa de monitoração de área do serviço?
- ( ) totalmente inadequado (nota=1)                      ( ) inadequado (nota=2)  
( ) indiferente (nota=3)                                      ( ) adequado (nota=4)  
( ) totalmente adequado (nota=5)
17. Na sua opinião, o recurso é didático e adequado para fazer parte dos treinamentos periódicos?
- ( ) totalmente inadequado (nota=1)                      ( ) inadequado (nota=2)  
( ) indiferente (nota=3)                                      ( ) adequado (nota=4)  
( ) totalmente adequado (nota=5)
18. Na sua opinião, o recurso é adequado para reavaliar os procedimentos que podem resultar em aumento de dose?
- ( ) totalmente inadequado (nota=1)                      ( ) inadequado (nota=2)  
( ) indiferente (nota=3)                                      ( ) adequado (nota=4)  
( ) totalmente adequado (nota=5)
19. Em sua opinião, o recurso colabora adequadamente com os procedimentos de otimização da dose?
- ( ) totalmente inadequado (nota=1)                      ( ) inadequado (nota=2)  
( ) indiferente (nota=3)                                      ( ) adequado (nota=4)  
( ) totalmente adequado (nota=5)

**ANEXOS**

**ANEXO 1 - PARECER CONSUBSTANCIADO DO COMITÊ DE ÉTICA EM  
PESQUISA**

UNIVERSIDADE  
TECNOLÓGICA FEDERAL DO



**PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP**

**DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

**Título da Pesquisa:** MAPA ESPACIAL DE DOSES DE SERVIÇOS DE MEDICINA NUCLEAR COM ÊNFASE NA SALA DE ESPERA DE PACIENTES INJETADOS E AVALIAÇÃO DA DOSE EFETIVA ACUMULADA NOS TRABALHADORES

**Pesquisador:** Pedro Henrique Silvestre Lopes

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 39378614.5.0000.5547

**Instituição Proponente:**

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

**DADOS DO PARECER**

**Número do Parecer:** 953.493

**Data da Relatoria:** 11/02/2015

**Apresentação do Projeto:**

A pesquisa submetida tem como objetivo avaliar o mapa espacial de doses de um serviço de medicina nuclear dando ênfase na sala de espera de pacientes injetados da instalação com a finalidade de encontrar maneiras para diminuir exposições a radiação. A coleta de dados será obtida por meio de visitas na instalação, levantamento radiométrico, análise do projeto arquitetônico e do Plano de Radioproteção do serviço avaliado, bem como aplicação de questionário com os trabalhadores. Os resultados permitirão estimar a expectativa de dose para cada ambiente, permitindo o engenheiro clínico dar uma melhor orientação aos pacientes e trabalhadores, indicando os pontos onde a ocupação deve ser a mínima necessária, possibilitando a redução dos riscos à exposições potenciais.

**Objetivo da Pesquisa:**

Segundo o autor o objetivo primário da pesquisa é avaliar a taxa de dose nas dependências do serviço de Medicina Nuclear de acordo com a norma NN CNEN 3.05 para verificar se o ambiente de trabalho encontra-se de acordo com as normas de proteção radiológica, bem como a dose efetiva acumulada nos trabalhadores que atuam nesta área controlada, visando verificar se existe necessidade de otimização segundo a norma NN CNEN 3.01. Como objetivos secundários o autor apresenta: Verificar se os valores da taxa de dose dentro da sala de pacientes encontram-se

**Endereço:** SETE DE SETEMBRO 3165

**Bairro:** CENTRO

**UF:** PR

**Telefone:** (41)3310-4943

**CEP:** 80.230-901

**Município:** CURITIBA

**E-mail:** coep@utfpr.edu.br

Continuação do Parecer: 953.493

próximos aos limites de dose estabelecidos pela norma em vigor;  
 Estimar se os pacientes têm recebido doses desnecessárias de radiação em serviços de Medicina Nuclear;  
 Demonstrar a necessidade de otimização através de regras básicas de proteção na sala de espera em serviços de Medicina Nuclear; Apresentar o mapa de dose dos serviços de Medicina Nuclear, destacando os locais de maior exposição; Sugerir, se necessário, adequação dos espaços em função da distribuição do mobiliário e; Avaliar os relatórios de dose dos trabalhadores, comparando com os limites de dose efetiva acumulada estabelecida por norma verificando a importância do mapa espacial de dose e das monitorações quinzenais.

**Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

Segundo o autor os riscos são: Há riscos mínimos a serem considerados, como por exemplo, o constrangimento dos profissionais responderem as questões dos questionários propostos, em caso de não atenderem as normas regulamentadoras. E quanto aos benefícios o autor descreve: O benefício será o conhecimento dos titulares, trabalhadores e médicos em relação aos mapas espaciais de dose, local com maior concentração de radiação, maneiras para otimização, importância da utilização dos equipamentos de proteção individual, entre outros. Os titulares dos serviços receberão um mapa de concentração de radiação no final da pesquisa. Este documento não acarretará custo para o profissional ou clínica. Além destes benefícios o profissional será informado de como proceder às otimizações de dose, trazendo benefícios para a população em geral por evitar a contaminação do meio ambiente.

**Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

A pesquisa é relevante para a área pois propiciará que as medidas de radioproteção ou de proteção radiológica sejam tomadas de forma adequada, uma vez que a exposição a radiação pode ser minimizada por meio de um bom planejamento, boa prática, boa instrução e pela atenção às recomendações básicas de radioproteção, incluindo tempo, distância e blindagem.

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

O projeto atende as recomendações da Resolução 466/12.

**Recomendações:**

Não há recomendações, uma vez que todas as recomendações descritas em parecer anterior foram apresentadas.

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

Atende a Resolução 466/2012.

Endereço: SETE DE SETEMBRO 3165

Bairro: CENTRO

CEP: 80.230-901

UF: PR

Município: CURITIBA

Telefone: (41)3310-4943

E-mail: coep@utfpr.edu.br



UNIVERSIDADE  
TECNOLÓGICA FEDERAL DO



Continuação do Parecer: 953.493

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

**Considerações Finais a critério do CEP:**

Lembramos aos senhores pesquisadores que, no cumprimento da RESOLUÇÃO Nº 466, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2012, o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) deverá receber relatórios anuais sobre o andamento do estudo, bem como a qualquer tempo e a critério do pesquisador nos casos de relevância, além do envio dos relatos de eventos adversos, para conhecimento deste Comitê. Salientamos ainda, a necessidade de relatório completo ao final do estudo. Eventuais modificações ou emendas ao protocolo devem ser apresentadas ao CEP-UTFPR de forma clara e sucinta, identificando a parte do protocolo a ser modificado e as suas justificativas.

CURITIBA, 12 de Fevereiro de 2015

---

**Assinado por:**  
**Frieda Saicla Barros**  
**(Coordenador)**

**Endereço:** SETE DE SETEMBRO 3165

**Bairro:** CENTRO

**UF:** PR

**Telefone:** (41)3310-4943

**Município:** CURITIBA

**CEP:** 80.230-901

**E-mail:** coep@utfpr.edu.br

**ANEXO 2 – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)**

## TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

**Titulo da pesquisa:** Utilização do mapa espacial de radiação e dose acumulada como ferramenta para otimização de doses em pacientes e trabalhadores nas clínicas de medicina nuclear

**Pesquisadores:**

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dra. Frieda Saicla Barros (Programa de Pós Graduação em Engenharia Biomédica – PPGEb - UTFPR – Curitiba) – saicla@utfpr.edu.br

Endereço: Rua Bonifácio Batista Ribas, 365 – Barreirinha-Curitiba-PR/CEP : 82710-090 – Tel : (041)8441-4316

**Aluno** (mestrado – PPGEb): Pedro Henrique Silvestre Lopes – Pedrosilvestre\_@hotmail.com

Endereço: Avenida Rui Barbosa n 310 – Marialva-PR /CEP : 86.990-000 – Tel : (044) 9902-9644

- 1. Apresentação da pesquisa:** toda clínica de Medicina Nuclear tem em sua estrutura uma sala para pacientes injetados, laboratório de manipulação e sala de exames exigidas por norma. Essas salas apresentam um aumento de radiação ambiental oriundos de pacientes injetados, transporte de fontes radioativa e contaminação do ambiente. Suspeita-se de que essas sala atingem altos níveis de radiação chegando a valores próximos do limite estabelecido por norma e necessitam de acordo com a norma serem otimizadas.
- 2. Objetivos da pesquisa:** este trabalho tem por objetivo geral propor um mapa espacial de doses como ferramenta auxiliar na avaliação da necessidade de otimização de ambientes em serviços de medicina nuclear e, por objetivos específicos, avaliar as dosimetrias individuais dos trabalhadores, avaliar a estrutura física dos serviços de medicina nuclear; e avaliar as taxas de exposição ambiental.
- 3. Participação na pesquisa:** o trabalhador das áreas de medicina nuclear, onde será desenvolvida a pesquisa deverá assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) concordando com os termos aqui apresentados. A partir desta condição, os pesquisadores aplicarão um questionário para os trabalhadores que visa a questões relacionadas a caracterização sociodemográfica e à avaliação do mapa de doses proposto como ferramenta auxiliar na avaliação da necessidade de otimização de ambientes em serviços de medicina nuclear. Os questionários serão aplicados pelo aluno vinculado ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Biomédica da UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Curitiba, devidamente identificado pelo crachá de identificação da Universidade. Caso seja necessário, a clínica poderá pedir para o integrante da pesquisa, preencher formulários próprios de identificação ou seguir condutas próprias da clínica ou instituição. O trabalhador também permitirá o acesso ao relatório individual de dosimetria. As informações obtidas formarão um banco de dados que possibilitará fazer análise estatística através de média e desvio padrão dos resultados obtidos, interpretar as necessidades dos procedimentos e indicar a melhor forma de resolver os problemas.

4. **Confidencialidade:** os dados coletados serão usados na dissertação de mestrado sem a identificação nominal do profissional, nome da Clínica, Instituição de Ensino e os resultados serão divulgados na forma de estatística no meio científico.

**5. Desconfortos, Riscos e Benefícios:**

**5a) Desconfortos e ou Riscos:** há riscos mínimos a serem considerados, como por exemplo, o constrangimento dos trabalhadores em responderem as questões dos questionários propostos .

**5b) Benefícios:** o conhecimento dos titulares e trabalhadores em relação às condições das taxas de exposição do ambiente torna o profissional capaz de manter diálogo e exigir qualidade das empresas de medicina nuclear. Além destes benefícios os profissionais conhecerão quais os pontos de maior taxa de dose dentro da clínica de medicina nuclear e conseguirão através do mapa encontrar maneiras para otimização das doses.

**6. Critérios de inclusão e exclusão:**

**6a) Inclusão:** Clínicas de Medicina Nuclear na região norte do Paraná com a liberação do banco de dados de dosimetria do trabalhadores deste serviço.

**6b) Exclusão:** Clínicas com outros tipos de atividade fora da região do norte do Paraná ou que não queiram participar da coleta de dados da pesquisa.

7. **Direito de sair da pesquisa e a esclarecimentos durante o processo:** não há nenhum risco de desconforto ou para a saúde dos voluntários na participação desta pesquisa, sendo sua participação voluntária. Você não terá nenhum prejuízo se não quiser participar, as medidas não serão realizadas quando não autorizadas pela clínica e pelos trabalhadores.

8. **Ressarcimento ou indenização:** não haverá nenhum tipo de compensação financeira ou premiação por adesão a esta pesquisa.

**CONSENTIMENTO**

Eu declaro ter conhecimento das informações contidas neste documento e ter recebido respostas claras às minhas questões a propósito da minha participação direta (ou indireta) na pesquisa e, adicionalmente, declaro ter compreendido o objetivo, a natureza, os riscos e benefícios deste estudo.

Após reflexão e um tempo razoável, eu decidi, livre e voluntariamente, participar deste estudo. Estou consciente que posso deixar o projeto a qualquer momento, sem nenhum prejuízo.

Nome completo: \_\_\_\_\_

RG: \_\_\_\_\_ Data \_\_\_\_\_ de

Nascimento: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_ Telefone: \_\_\_\_\_

Endereço: \_\_\_\_\_ CEP: \_\_\_ --- \_\_\_\_\_

Cidade: \_\_\_\_\_ Estado: \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

Eu declaro ter apresentado o estudo, explicado seus objetivos, natureza, riscos e benefícios e ter respondido da melhor forma possível às questões formuladas.

Assinatura pesquisador:

Data: \_\_/\_\_/\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(ou seu representante)

Nome completo: \_\_\_\_\_

Para todas as questões relativas ao estudo ou para se retirar do mesmo, poderão se comunicar com PEDRO HENRIQUE SILVESTRE LOPES, via e-mail: pedrosilvestrefisica@gmail.com ou telefone: (44) 9902-9644

**Endereço do Comitê de Ética em Pesquisa**

Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (CEP/UTFPR)  
REITORIA: Av. Sete de Setembro, 3165, Rebouças, CEP 80230-901, Curitiba-PR, Telefone: 3310-4943

e-mail: [coep@utfpr.edu.br](mailto:coep@utfpr.edu.br)

**OBS:** este documento deve conter duas vias iguais, sendo uma pertencente ao pesquisador e outra ao sujeito de pesquisa.

**ANEXO 3 – TERMO DE CONSENTIMENTO DE USO DE DADOS (TCUD)**

## TERMO DE CONSENTIMENTO DE USO DE DADOS (TCUD)

**Titulo da pesquisa:** Utilização do mapa espacial de radiação e dose acumulada como ferramenta para otimização de doses em pacientes e trabalhadores nas clínicas de medicina nuclear

### **Pesquisadores:**

**Professora Orientadora:** Prof. Dra. Frieda Saicla Barros (Programa de Pós Graduação em Engenharia Biomédica – PPGEB - UTFPR – Curitiba) – saicla@utfpr.edu.br

Endereço: Rua Bonifácio Batista Ribas, 365 – Barreirinha – Curitiba-PR

CEP : 82710-090 – Tel : (041)8441-4316

**Aluno** (mestrado – PPGEB): Pedro Henrique Silvestre Lopes – Pedrosilvestre\_@hotmail.com

Endereço: Avenida Rui Barbosa n 310 – Marialva-PR

CEP : 86.990-000 – Tel : (044) 9902-9644

### **9. Apresentação da pesquisa:**

Toda clínica de Medicina Nuclear tem em sua estrutura uma sala para pacientes injetados, laboratório de manipulação e sala de exames exigidas por norma. Essas salas apresentam um aumento de radiação ambiental oriundos de pacientes injetados, transporte de fontes radioativa e contaminação do ambiente. Suspeita-se de que essas sala atingem altos níveis de radiação chegando a valores próximos do limite estabelecido por norma e necessitam de acordo com a norma serem otimizadas.

### **10. Objetivos da pesquisa:**

Este trabalho tem por objetivo geral propor um mapa espacial de doses como ferramenta auxiliar na avaliação da necessidade de otimização de ambientes em serviços de medicina nuclear e, por objetivos específicos, avaliar as dosimetrias individuais dos trabalhadores, avaliar a estrutura física dos serviços de medicina nuclear; e avaliar as taxas de dose ambiental.

### **11. Participação na pesquisa:**

As clínicas de medicina nuclear, representadas por seu representante legal, onde será desenvolvida a pesquisa deverá assinar o Termo de Consentimento de Uso de Dados (TCUD) concordando com os termos aqui apresentados. A partir desta condição, os pesquisadores terão acesso ao banco de dados contendo as informações : relatório de monitoração de área, relatório de monitoração individual, projeto arquitetônico, cadastro dos exames e número de pacientes diários.

Os dados serão avaliados pelo aluno vinculado ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Biomédica da UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Curitiba, devidamente identificado pelo crachá de identificação da Universidade. Caso seja necessário, a clínica poderá pedir para o integrante da pesquisa, preencher formulários próprios de identificação ou seguir condutas próprias da clínica ou instituição.

As informações obtidas formarão um banco de dados que possibilitará fazer análise estatística através de média e desvio padrão dos resultados obtidos, interpretar as necessidades dos procedimentos e indicar a melhor forma de resolver os problemas.

**12. Confidencialidade:**

Os dados coletados serão usados na dissertação de mestrado sem a identificação nominal do profissional, nome da Clínica, Instituição de Ensino e os resultados serão divulgados na forma de estatística no meio científico.

**13. Desconfortos, Riscos e Benefícios:****5a) Desconfortos e ou Riscos:**

Há riscos mínimos a serem considerados, como por exemplo, o constrangimento das clínicas em fornecerem os dados solicitados.

**5b) Benefícios:**

O conhecimento dos titulares e trabalhadores em relação às condições das taxas de dose do ambiente torna o profissional capaz de manter diálogo e exigir qualidade das empresas de medicina nuclear.

Além destes benefícios os profissionais conhecerão quais os pontos de maior taxa de dose dentro da clínica de medicina nuclear e conseguirão através do mapa encontrar maneiras para otimização das doses.

**14. Critérios de inclusão e exclusão:**

**6a) Inclusão:** Clínicas de Medicina Nuclear na região Noroeste do Paraná com a liberação do banco de dados de dosimetria do trabalhadores deste serviço e relatórios de taxa de dose.

**6b) Exclusão:** Clínicas com outros tipos de atividade fora da região do norte do Paraná ou que não queiram participar da coleta de dados da pesquisa.

**15. Direito de sair da pesquisa e a esclarecimentos durante o processo.**

Não há nenhum risco de desconforto ou para a saúde dos voluntários na participação desta pesquisa, sendo sua participação voluntária. Você não terá nenhum prejuízo se não quiser participar, as medidas não serão realizadas quando não autorizadas pela clínica e pelos trabalhadores.

**16. Ressarcimento ou indenização.**

Não haverá nenhum tipo de compensação financeira ou premiação por adesão a esta pesquisa.

**CONSENTIMENTO**

Eu declaro ter conhecimento das informações contidas neste documento e ter recebido respostas claras às minhas questões a propósito da minha participação direta (ou indireta) na pesquisa e, adicionalmente, declaro ter compreendido o objetivo, a natureza, os riscos e benefícios deste estudo.

Após reflexão e um tempo razoável, eu decidi, livre e voluntariamente, participar deste estudo. Estou consciente que posso deixar o projeto a qualquer momento, sem nenhum prejuízo.

Nome completo: \_\_\_\_\_

RG: \_\_\_\_\_ Data de Nascimento: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_ Telefone: \_\_\_\_\_



Endereço: \_\_\_\_\_ CEP: \_\_\_-\_\_\_-\_\_\_\_\_  
Cidade: \_\_\_\_\_ Estado: \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_ Data: \_\_/\_\_/\_\_\_\_

Eu declaro ter apresentado o estudo, explicado seus objetivos, natureza, riscos e benefícios e ter respondido da melhor forma possível às questões formuladas.

Assinatura pesquisador: \_\_\_\_\_ Data: \_\_/\_\_/\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(ou seu representante)

Nome completo: \_\_\_\_\_

Para todas as questões relativas ao estudo ou para se retirar do mesmo, poderão se comunicar com PEDRO HENRIQUE SILVESTRE LOPES, via e-mail: pedrosilvestrefisica@gmail.com ou telefone: (44) 9902-9644

**Endereço do Comitê de Ética em Pesquisa**

Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (CEP/UTFPR)  
REITORIA: Av. Sete de Setembro, 3165, Rebouças, CEP 80230-901, Curitiba-PR, Telefone: 3310-4943  
e-mail: [coep@utfpr.edu.br](mailto:coep@utfpr.edu.br)

**OBS:** este documento deve conter duas vias iguais, sendo uma pertencente ao pesquisador e outra ao sujeito de pesquisa.

**ANEXO 4 - RELATÓRIO CONSULTORIA ESTATÍSTICA  
– PROF. DR. ERALDO SCHUNK SILVA**



## CONSULTORIA ESTATÍSTICA RELATÓRIO

**Avaliação dos espaços físicos em medicina nuclear e  
dose nos pacientes (clínicas e hospitais)**

### CLÍNICA A

**Pesquisador**

Pedro Henrique Silvestre Lopes

**Orientadora**

Frieda Saicla Barros

*Prof. Dr. Eraldo Schunk Silva*  
*Estatístico/Demógrafo*  
*CONRE – 8110-A/3ª Região*  
*DES/UEM*  
*30115341*  
*eraldoschunk@gmail.com*

Maringá  
julho 2015

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 MATERIAIS

### 2.2 MÉTODOS ESTATÍSTICOS

Os níveis de concentração de radiação foram descritos por meio da média, desvio-padrão e coeficiente de variação. Com a finalidade de testar a diferença entre os níveis de concentração de radiação, entre os períodos matutino e vespertino, os diferentes ambientes da clínica (Laboratório de manipulação, Sala de espera, Sala de exames, Sala de administração, Corredor e Sala de Ergometria) e os diferentes pontos de medidas dentro de cada ambiente, foram realizados testes de hipóteses estatísticos não-paramétricos. Para comparar a igualdade entre os níveis de concentração de radiação entre os seis locais distintos utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis (KW), análise de variância para amostras independentes, com aproximação Qui-quadrado. Para o caso de duas amostras independentes (por exemplo: período matutino e vespertino), foi aplicado o Teste de Wilcoxon-Mann-Whitney, com aproximação para a Distribuição Normal (Z). Para se determinar os grupos, sejam de locais, sejam de pontos de medição, que apresentavam os mesmos níveis de concentração, foi aplicado o teste para amostras pareadas de Wilcoxon (Wilcoxon Signed Rank Test)<sup>1</sup>. Este teste foi para todos os possíveis pares de combinações de locais ou de pontos. A decisão de se rejeitar a  $H_0$  ou não foi tomada, considerando-se um nível de confiança de 95% ( $\alpha = 0,05$ ), ou seja, p-valor menor que 0,05. Todos os testes foram unicaudais. Os dados foram analisados no Programa Statistical Analysis Software (SAS, *version* 9.0), a partir de uma base de dados construída por meio do aplicativo Excel.

## 3 CONCENTRAÇÃO DE RADIAÇÃO

### 3.1 NÍVEIS MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO DE RADIAÇÃO POR PERÍODOS E LOCAIS

O nível médio de radiação observado, na Clínica A, no período matutino é, ligeiramente, maior que o nível de radiação observado no período vespertino. As maiores concentrações médias diárias de radiação foram observadas na sala de espera (0,2744270) e no Laboratório de Manipulação (0,2020916) (Tabela 1).

---

<sup>1</sup> Os resultados numéricos dos testes, não foram apresentados neste relatório.

Tabela 1- N° de observações, média, desvio-padrão e coeficiente de variação para os níveis diários de concentração de radiação, por períodos e locais, Clínica A, Maringá (PR), 2014.

	<b>N</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio-padrão</b>	<b>Coeficiente de variação</b>
<b>Período</b>				
Matutino	9693	0,1373569	0,2504372	182,33
Vespertino	29133	0,1304509	0,2352576	180,34
<b>Local</b>				
Laboratório de manipulação	5752	0,2020916	0,3151829	155,96
Sala de espera	8628	0,2744270	0,3433005	125,10
Sala de exames	8628	0,1338325	0,1482690	110,79
Sala de administração	2876	0,0538599	0,1140851	211,82
Corredor	10066	0,0180208	0,0013163	7,30
Ergometria	2876	0,0384682	0,0997890	259,41

Ao nível de confiança de 95% a diferença entre os níveis de radiações emitidos entre os períodos matutino e vespertino são estatisticamente significativos (Tabela 2).

Tabela 2- Teste de comparação de Wilcoxon para os níveis diários de concentração de radiação, por períodos, Clínica A, Maringá (PR), 2014.

<b>Período</b>	<b>Escore médio</b>	<b>Teste de Wilcoxon (Aproximação Z)</b>	<b>p-valor</b>
Matutino	20467,9712	10,9265	<0,0001*
Vespertino	19062,6611		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%.

Em relação aos diferentes ambientes podemos afirmar que todos apresentam níveis distintos de concentração de radiação na Clínica A. Como visto anteriormente, a Sala de Espera (0,2744270) é o ambiente que apresenta maior nível de concentração de radiação, seguido pelo Laboratório de Manipulação (0,2020916). O Corredor (0,0180208) e a Sala de Ergometria (0,0384682) são os ambientes que apresentam os menores níveis de concentração de radiação. (Tabela 3).

Tabela 3- (Teste de Kruskal-Wallis) para os níveis diários de concentração de radiação, por local, Clínica A, Maringá (PR), 2014.

<b>Local</b>	<b>Escore médio</b>	<b>Teste de Kruskal Wallis (Aproximação <math>X^2</math>)</b>	<b>p-valor</b>
Laboratório de manipulação	26333,0622	12656,0559	< 0,0001*
Sala de espera	25060,6794		
Sala de exames	22690,2151		
Sala de administração	10307,3548		
Corredor	12029,6366		
Ergometria	13752,3592		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%

### 3.2 NÍVEIS MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO DE RADIAÇÃO POR LOCAIS EM RELAÇÃO AOS PERÍODOS

Diferentemente, do que foi observado na Clínica B, onde exceção feita ao corredor todos os demais ambientes apresentavam níveis médio de concentração de radiação maiores no período matutino, para a Clínica A, a configuração é bastante diversificada (Tabela 4).

Tabela 4- N° de observações, média, desvio-padrão e coeficiente de variação (CV) para os níveis diários de concentração de radiação, por períodos e locais, Clínica A, Maringá (PR), 2014.

<b>Local</b>	<b>N</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio-padrão</b>	<b>CV (%)</b>
<b>Laboratório de manipulação</b>				
Matutino	1436	0,1971916	0,3034507	153,8862
Vespertino	4316	0,2037219	0,3190084	156,5901
<b>Sala de espera</b>				
Matutino	2154	0,2994812	0,3756772	125,4427
Vespertino	6474	0,2660911	0,3314399	124,5588
<b>Sala de exames</b>				
Matutino	2154	0,1101517	0,1161606	105,4551
Vespertino	6474	0,1417114	0,1567240	110,5938
<b>Sala de administração</b>				
Matutino	718	0,1066797	0,1626251	152,4424
Vespertino	2158	0,0362859	0,0855514	235,7704
<b>Corredor</b>				
Matutino	2513	0,0179897	0,0008539	4,746605
Vespertino	7553	0,0180311	0,0014374	7,971782
<b>Ergometria</b>				
Matutino	718	0,0613928	0,1665117	271,2235
Vespertino	2158	0,0308408	0,0618306	200,4831

Para o corredor não foi observada diferença significativa entre os níveis de concentração entre os dois períodos. No laboratório de Manipulação (0,2037219) e Sala de Exames (0,1417114) o período da tarde apresenta maiores níveis médios de concentração. Na sala de Espera (0,2994812), na Sala de Administração (0,1066797) e na Sala de Ergonometria (0,0613928) os maiores níveis médios de concentração de radiação se concentram no período da manhã. Para o corredor não se observou diferença significativa entre os níveis de concentração de radiação entre os períodos (Tabela 5).

Tabela 5- Teste de comparação de Wilcoxon para os níveis diários de concentração de radiação, por locais e períodos, Clínica A, Maringá (PR), 2014.

Local	N	Escore médio	Teste de Wilcoxon (Aproximação Z)	p-valor
<b>Laboratório de manipulação</b>				
Matutino	1436	2807,13336	-1,8275	0,0338*
Vespertino	4316	2899,57936		
<b>Sala de espera</b>				
Matutino	2154	4650,20474	7,2480	< 0,0001*
Vespertino	6474	4202,80584		
<b>Sala de exames</b>				
Matutino	2154	4111,58287	-4,3808	< 0,0001*
Vespertino	6474	4382,01367		
<b>Sala de administração</b>				
Matutino	718	1736,96170	12,6787	< 0,0001*
Vespertino	2158	1339,19717		
<b>Corredor</b>				
Matutino	2513	5015,42897	-1,3197	0,1869
Vespertino	7553	5039,51251		
<b>Ergometria</b>				
Matutino	718	1502,49930	4,7119	<0,0001*
Vespertino	2158	1417,20644		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%

### 3.3 NÍVEIS MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO DE RADIAÇÃO, POR PONTOS DE MEDIÇÃO E LOCAL

Exceção feita à Sala de Ergometria (Tabela 6), onde não foi observada diferença significativa para os níveis de concentração de radiação, observados no Ponto 1 e no Ponto 2 ( $p=0,6734$ ), para os demais locais observa-se, que os níveis de concentração de radiação não é homogêneo.

Tabela 6 – Média, desvio-padrão e Teste de comparação de Wilcoxon, para os níveis diários de concentração de radiação observados na Sala de ergometria, Clínica A, Maringá (PR), 2014.

Ergometria	Média	DP	Mediana	Escore médio	Teste de Wilcoxon (Aproximação Z)	p-valor
Ponto 1	0,0288282	0,0483309	0,0180000	1435,19784	-0.4214	0,6734
Ponto 2	0,0481081	0,1319119	0,0180000	1441,80216		

No laboratório de manipulação, os pontos apresentam níveis distintos de concentração de radiação. Todavia, chama a atenção o nível médio de concentração de radiação observado no Ponto 3 (4242,54416). Chega a ser o dobro do nível de radiação observado no Ponto 1 (Tabela 7).

Tabela 7 – Média, desvio-padrão e Teste de comparação de Wilcoxon para os níveis diários de concentração de radiação observados no Laboratório de manipulação, Clínica A, Maringá (PR), 2014.

Lab. de manipulação	Média	DP	Mediana	Escore médio	Teste de KW (Aproximação $X^2$ )	p-valor
Ponto 1	0,0898999	0,1695692	0,055000	2120,37378 <sup>a</sup>	1459,0762	<0,0001*
Ponto 2	0,1059021	0,2442134	0,060000	2276,81711 <sup>b</sup>		
Ponto 3	0,4828385	0,4237880	0,381000	4242,54416 <sup>c</sup>		
Ponto 4	0,1297259	0,1536546	0,090000	2866,26495 <sup>d</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%

Na Sala de Espera se observa dois níveis médios de concentração de radiação. O mais alto nível médio é observado no Ponto 1 (0,3025645), Ponto 2 (0,2569244), Ponto 4 (0,3370493) e Ponto 5 (0,2741928). Nos demais pontos, Ponto 3 (0,130000) e Ponto 6 (0,138000) o nível mediano de concentração de radiação é da ordem de 0,138000 (Tabela 8).

Tabela 8 – Média, desvio-padrão e Teste de comparação de Wilcoxon para os níveis diários de concentração de radiação observados na Sala de espera, Clínica A, Maringá (PR), 2014,

Sala de espera	Média	DP	Mediana	Escore médio	Teste de KW (Aproximação $X^2$ )	p-valor
Ponto 1	0,3025645	0,4063771	0,202000 <sup>a</sup>	4466,72427	44,0691	<0,0001*
Ponto 2	0,2569244	0,2779818	0,192000 <sup>a</sup>	4361,30111		
Ponto 3	0,2584038	0,3457214	0,130000 <sup>b</sup>	4120,40299		
Ponto 4	0,3370493	0,4312050	0,136000 <sup>a</sup>	4529,66968		
Ponto 5	0,2741928	0,3049159	0,152000 <sup>a</sup>	4370,54068		
Ponto 6	0,2174273	0,2411619	0,138000 <sup>b</sup>	4038,36127		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%,

Na Sala de Exames, o nível de concentração de radiação é distinto para todos os pontos. O Ponto 5 (0,2303999) é o que apresenta a maior concentração média e o Ponto 1(0,0668881), a menor (Tabela 9).

Tabela 9 – Média, desvio-padrão e Teste de comparação de Wilcoxon para os níveis diários de concentração de radiação observados na Sala de exames, Clínica A, Maringá (PR), 2014.

Sala de exames	Média	DP	Mediana	Escore médio	Teste de KW (Aproximação $X^2$ )	p-valor
Ponto 1	0,0668881	0,0529141	0,050000 <sup>a</sup>	3300,39013	860,7853	0,0001*
Ponto 2	0,1818213	0,1626590	0,146500 <sup>b</sup>	5030,72601		
Ponto 3	0,1237047	0,1343648	0,089000 <sup>c</sup>	4277,81780		
Ponto 4	0,0707851	0,0702188	0,050000 <sup>d</sup>	3366,62448		
Ponto 5	0,2303999	0,2114515	0,191000 <sup>e</sup>	5415,71523		
Ponto 6	0,1293958	0,1216697	0,098000 <sup>f</sup>	4495,72636		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%



Para a Sala de Administração Ponto 1 (0,0740376) apresenta o dobro do nível médio de concentração de radiação que no Ponto 2 (0,0336822) (Tabela 10).

Tabela 10 – Média, desvio-padrão e Teste de comparação de Wilcoxon para os níveis diários de concentração de radiação observados na Sala de administração, Clínica A, Maringá (PR), 2014.

Sala de administração	Média	DP	Mediana	Escore médio	Teste de Wilcoxon (Aproximação Z)	p-valor
Ponto 1	0,0740376	0,1459414	0,0170000 <sup>a</sup>	1489,03129	3,7214	0,0002*
Ponto 2	0,0336822	0,0626589	0,0170000 <sup>b</sup>	1387,96871		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%

O corredor está dividido em duas áreas de níveis de concentração, Os Pontos 1, 2, 4, 6 e 7, que apresentam os maiores níveis de concentração de radiação e os Pontos 3 e 5 que apresentam os menores níveis de concentração de radiação (Tabela 11).

Tabela 11 – Média, desvio-padrão e Teste de comparação de Wilcoxon para os níveis diários de concentração de radiação observados no Corredor, Clínica A, Maringá (PR), 2014,

Corredor	Média	DP	Mediana	Escore médio	Teste de KW (Aproximação $X^2$ )	p-valor
Ponto 1	0,0179861	0,000117151	0,018000 <sup>a</sup>	5079,58345	26,7083	0,0002*
Ponto 2	0,0179861	0,000117151	0,018000 <sup>a</sup>	5079,58345		
Ponto 3	0,0179680	0,000176032	0,018000 <sup>b</sup>	4988,69193		
Ponto 4	0,0180730	0,002004100	0,018000 <sup>a</sup>	5002,35257		
Ponto 5	0,0179680	0,000176032	0,018000 <sup>b</sup>	4988,69193		
Ponto 6	0,0181780	0,002824800	0,018000 <sup>a</sup>	5016,01321		
Ponto 7	0,0179861	0,000117151	0,018000 <sup>a</sup>	5079,58345		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%

#### 4 BIBLIOGRAFIA

STOKES, M, E.; DAVIS, C, S.; KOCH, G, G, **Categorical Data Analysis using The SAS System**, 2<sup>a</sup> ed, North Carolina: SAS Institute and Wiley, 2009.



## CONSULTORIA ESTATÍSTICA RELATÓRIO

**Avaliação dos espaços físicos em medicina nuclear e  
dose nos pacientes (clínicas e hospitais)**

### **CLÍNICA B**

**Pesquisador**

Pedro Henrique Silvestre Lopes

**Orientadora**

Frieda Saicla Barros

*Prof. Dr. Eraldo Schunk Silva*  
*Estatístico/Demógrafo*  
*CONRE – 8110-A/3ª Região*  
*DES/UEM*  
*30115341*  
*eraldoschunk@gmail.com*

Maringá  
julho 2015

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 MATERIAIS

### 2.2 MÉTODOS ESTATÍSTICOS

Os níveis de concentração de radiação foram descritos por meio da média, desvio-padrão e coeficiente de variação. Com a finalidade de testar a diferença entre os níveis de concentração de radiação, entre os períodos matutino e vespertino, os diferentes ambientes da clínica (Laboratório de manipulação, Sala de espera, Sala de exames, Sala de administração, Corredor e Sala de Ergometria) e os diferentes pontos de medidas dentro de cada ambiente, foram realizados testes de hipóteses estatísticos não-paramétricos. Para comparar a igualdade entre os níveis de concentração de radiação entre os seis locais distintos utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis (KW), análise de variância para amostras independentes, com aproximação Qui-quadrado. Para o caso de duas amostras independentes (por exemplo: período matutino e vespertino), foi aplicado o Teste de Wilcoxon-Mann-Whitney, com aproximação para a Distribuição Normal (Z). Para se determinar os grupos, sejam de locais, sejam de pontos de medição, que apresentavam os mesmos níveis de concentração, foi aplicado o teste para amostras pareadas de Wilcoxon (Wilcoxon Signed Rank Test)<sup>2</sup>. Este teste foi para todos os possíveis pares de combinações de locais ou de pontos. A decisão de se rejeitar a  $H_0$  ou não foi tomada, considerando-se um nível de confiança de 95% ( $\alpha = 0,05$ ), ou seja, p-valor menor que 0,05. Todos os testes foram unicaudais. Os dados foram analisados no Programa Statistical Analysis Software (SAS, *version* 9.0), a partir de uma base de dados construída por meio do aplicativo Excel.

## 3 CONCENTRAÇÃO DE RADIAÇÃO

### 3.1 NÍVEIS MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO DE RADIAÇÃO POR PERÍODOS E LOCAIS

O nível médio de radiação observado no período matutino é, aproximadamente, 25%, superior ao nível de radiação observado no período vespertino. As maiores concentrações médias diárias de radiação foram observadas na sala de espera (0,2124295) e no Laboratório de manipulação (0,1886959) (Tabela1).

Tabela 1- N° de observações, média, desvio-padrão e coeficiente de variação para os níveis diários de concentração de radiação, por períodos e locais, Clínica B, Maringá (PR), 2014.

	N	Média	Desvio-	Coeficiente de
--	---	-------	---------	----------------

<sup>2</sup> Os resultados numéricos dos testes, não foram apresentados neste relatório.

			<b>padrão</b>	<b>variação</b>
<b>Período</b>				
Matutino	11648	0,1395422	0,2043857	146,47
Vespertino	25714	0,1110828	0,1907327	171,70
<b>Local</b>				
Laboratório de manipulação	5748	0,1886959	0,2041224	108,18
Sala de espera	8622	0,2124295	0,2649076	124,70
Sala de exames	8622	0,1361108	0,1874975	137,75
Sala de administração	2874	0,0408090	0,0877369	214,99
Corredor	8622	0,0181124	0,0013980	7,72
Ergometria	2874	0,0412603	0,1029028	249,40

Ao nível de confiança de 95% a diferença entre os níveis de radiações emitidos entre os períodos matutino e vespertino são estatisticamente significativos (Tabela 2)

Tabela 2- Teste de comparação de Wilcoxon para os níveis diários de concentração de radiação, por períodos, Clínica B, Maringá (PR), 2014.

<b>Período</b>	<b>Escore médio</b>	<b>Teste de Wilcoxon (Aproximação Z)</b>	<b>p-valor</b>
Matutino	20738,5391	25,2921	0,0001*
Vespertino	17749,6967		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%.

Em relação aos diferentes ambientes podemos afirmar que há três grupos de níveis de concentração de radiação na Clínica B. O primeiro grupo (A) apresenta um nível médio diário de concentração maior: Laboratório de manipulação (0,1886959) e Sala de espera (0,2124295). O grupos B (Sala de exames) apresenta o 3º maior nível médio de concentração e o grupo C, formado pelos ambientes Sala de administração (0,0408090), Corredor (0,0181124) e Ergometria (0,0412603) apresentam níveis médios diários menores (Tabela 3). Note que os escores médios seguidos da mesma letra, não diferem entre si pelo Teste U de Mann-Whitney ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 3- (Teste de Kruskal-Wallis) para os níveis diários de concentração de radiação, por local, Clínica B, Maringá (PR), 2014.

<b>Local</b>	<b>Escore médio</b>	<b>Teste de Kruskal Wallis (Aproximação <math>X^2</math>)</b>	<b>p-valor</b>
Laboratório de manipulação	<b>27131,9233<sup>a</sup></b>	8571,9230	< 0,0001*
Sala de espera	<b>20871,5783<sup>a</sup></b>		
Sala de exames	20021,0401 <sup>b</sup>		
Sala de administração	9308,8833 <sup>c</sup>		
Corredor	13809,8286 <sup>c</sup>		
Ergometria	15179,4292 <sup>c</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%

### 3.2 NÍVEIS MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO DE RADIAÇÃO POR LOCAIS EM RELAÇÃO AOS PERÍODOS

Exceção feita ao corredor da Clínica B, para os demais ambientes, observa-se que o nível médio de concentração de radiação observado, entre os dois períodos, é maior no período matutino (Tabela 4).

Tabela 4- N° de observações, média, desvio-padrão e coeficiente de variação (CV) para os níveis diários de concentração de radiação, por períodos e locais, Clínica B, Maringá (PR), 2014.

<b>Local</b>	<b>N</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio-padrão</b>	<b>CV (%)</b>
<b>Laboratório de manipulação</b>				
Matutino	1792	0,2056611	0,2242912	109,06
Vespertino	3956	0,1810109	0,1938405	107,09
<b>Sala de espera</b>				
Matutino	2688	0,2569538	0,2587072	100,68
Vespertino	5934	0,1922608	0,2652419	137,96
<b>Sala de exames</b>				
Matutino	2688	0,1463981	0,1803428	123,19
Vespertino	5934	0,1314508	0,1904822	144,91
<b>Sala de administração</b>				
Matutino	896	0,0764174	0,1389375	181,81
Vespertino	1978	0,0246790	0,0401579	162,72
<b>Corredor</b>				
Matutino	2688	0,0180841	0,0011091	6,13
Vespertino	5934	0,0181252	0,0015107	8,33
<b>Ergometria</b>				
Matutino	896	0,0620011	0,1429927	230,63
Vespertino	1978	0,0318650	0,0764743	239,99

Como observado, anteriormente, salvo o corredor ( $p = 0,1732$ ), para os demais ambientes, a diferença entre os níveis de concentração observada, para os períodos matutino e vespertino, é estaticamente significativa, ao nível de confiança de 95% (Tabela 5).

Tabela 5- Teste de comparação de Wilcoxon para os níveis diários de concentração de radiação, por locais e períodos, Clínica B, Maringá (PR), 2014.

Local	N	Escore médio	Teste de Wilcoxon (Aproximação Z)	p-valor
<b>Laboratório de manipulação</b>				
Matutino	1792	2958,47963	2,5826	0,0049*
Vespertino	3956	2836,45867		
<b>Sala de espera</b>				
Matutino	2688	4990,89230	17,5378	< 0,0001*
Vespertino	5934	4003,74697		
<b>Sala de exames</b>				
Matutino	2688	4764,24870	11,5514	< 0,0001*
Vespertino	5934	4106,41262		
<b>Sala de administração</b>				
Matutino	896	1651,86886	11,6949	< 0,0001*
Vespertino	1978	1340,39459		
<b>Corredor</b>				
Matutino	2688	4297,64211	-0,9414	0,1732
Vespertino	5934	4317,77738		
<b>Ergometria</b>				
Matutino	896	1504,77902	6,5565	< 0,0001*
Vespertino	1978	1407,02376		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%

### 3.3 NÍVEIS MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO DE RADIAÇÃO, POR PONTOS DE MEDIÇÃO E LOCAL

Exceção feita à sala de Ergometria (Tabela 6), onde não foi observada diferença significativa para os níveis de concentração de radiação, observados no Ponto 1 e no Ponto 2 ( $p=0,4516$ ), para os demais locais observa-se, que os níveis de concentração de radiação não é homogêneo.

Tabela 6 – Média, desvio-padrão e Teste de comparação de Wilcoxon para os níveis diários de concentração de radiação observados na Sala de ergometria, Clínica B, Maringá (PR), 2014.

Ergometria	Média	DP	Escore médio	Teste de Wilcoxon (Aproximação Z)	p-valor
Ponto 1	0,0378149	0,0781597	1438,34029 <sup>a</sup>	0,1216	0,4516
Ponto 2	0,0447056	0,1226892	1436,65971 <sup>a</sup>		

No laboratório de manipulação, o Pontos 1 (0,3238740) e o Ponto 2 (0,2992532) apresentam níveis médios de concentração de radiação semelhantes. E os Pontos 3 e 4 apresentam valores menores, porém em níveis estaticamente diferentes (Tabela 7).

Tabela 7 – Média, desvio-padrão e Teste de comparação de Wilcoxon para os níveis diários de concentração de radiação observados no Laboratório de manipulação, Clínica B, Maringá (PR), 2014.

Laboratório de manipulação	Média	DP	Escore médio	Teste de KW (Aproximação $X^2$ )	p-valor
Ponto 1	0,3238740	0,2360548	<b>4262,28532<sup>a</sup></b>	3653,8133	< 0,0001*
Ponto 2	0,2992532	0,1930632	<b>4124,94502<sup>a</sup></b>		
Ponto 3	0,0733265	0,0938566	1679,07063 <sup>b</sup>		
Ponto 4	0,0583298	0,0640521	1431,69903 <sup>c</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%

Na Sala de espera não se observou diferença significativa, nos níveis de concentração de radiação, entre os Pontos 2 e 3. Nos demais pontos os níveis de concentração são considerados diferentes (Tabela 8).

Tabela 8 – Média, desvio-padrão e Teste de comparação de Wilcoxon para os níveis diários de concentração de radiação observados na Sala de espera, Clínica B, Maringá (PR), 2014.

Sala de espera	Média	DP	Escore médio	Teste de KW (Aproximação $X^2$ )	p-valor
Ponto 1	0,2267370	0,3014906	4322,48086 <sup>a</sup>	81,1563	<0,0001*
Ponto 2	0,2511251	0,3252203	<b>4551,67676<sup>b</sup></b>		
Ponto 3	0,2561447	0,3079099	<b>4643,85177<sup>b</sup></b>		
Ponto 4	0,1633291	0,1852051	3977,08768 <sup>c</sup>		
Ponto 5	0,1746875	0,1894713	4087,21399 <sup>d</sup>		
Ponto 6	0,2025538	0,2282015	4286,68894 <sup>e</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%.

Na sala de exames se observam quatro agrupamentos de pontos. O Ponto 1 apresenta maior nível médio de concentração de radiação (0,2619969). Já o Ponto 2 (0,1584098) e o Ponto 4 (0,1656367) apresentam o segundo maior nível médio de concentração de radiação. Os pontos 3 e 6 são os que apresentam as menores concentrações médias de níveis de concentração de radiação, respectivamente 0,0434032 e 0,0422004 (Tabela 9).

Tabela 9 – Média, desvio-padrão e Teste de comparação de Wilcoxon para os níveis diários de concentração de radiação observados na Sala de exames, Clínica B, Maringá (PR), 2014.

Sala de exames	Média	DP	Escore médio	Teste de KW (Aproximação $X^2$ )	p-valor
Ponto 1	0,2619969	0,2760721	5403,03514 <sup>a</sup>	1205,2167	<0,0001*
Ponto 2	0,1584098	0,1785402	<b>4845,26409<sup>b</sup></b>		
Ponto 3	0,0434032	0,1080338	3028,89666 <sup>c</sup>		
Ponto 4	0,1656367	0,1774804	<b>4796,94259<sup>b</sup></b>		
Ponto 5	0,1450177	0,1478331	4713,52505 <sup>d</sup>		
Ponto 6	0,0422004	0,0565946	3081,33646 <sup>e</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%

Para a sala de administração o nível de concentração de radiação no Ponto 1 e o dobro daquela observada para o Ponto 2 (Tabela 10).

Tabela 10 – Média, desvio-padrão e Teste de comparação de Wilcoxon para os níveis diários de concentração de radiação observados na Sala de administração, Clínica B, Maringá (PR), 2014.

Sala de adm.	Média	DP	Escore médio	Teste de Wilcoxon (Aproximação Z)	p-valor
Ponto 1	0,0545296	0,1162429	17728,0280 <sup>a</sup>	2,3782	0,0087*
Ponto 2	0,0270884	0,0388806	1408,16040 <sup>b</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%

O corredor está dividido em duas áreas de níveis de concentração. Os Pontos 1, 2 e 6, que apresentam os menores níveis de concentração de radiação. Já os Pontos 3, 4 e 5 apresentam níveis de concentração de radiação, ligeiramente maior, porém a diferença entre os níveis é significativa ao nível de confiança de 95%.

Tabela 11 – Média, desvio-padrão e Teste de comparação de Wilcoxon para os níveis diários de concentração de radiação observados no Corredor, Clínica B, Maringá (PR), 2014.

Corredor	Média	DP	Escore médio	Teste de KW (Aproximação $X^2$ )	p-valor
Ponto 1	0,0179930	0,000105326	4297,16145 <sup>a</sup>	144,1176	<0,0001*
Ponto 2	0,0179868	0,000131280	4270,75017 <sup>a</sup>		
Ponto 3	0,0182498	0,0012314	<b>4474,14649<sup>b</sup></b>		
Ponto 4	0,0183076	0,0014284	<b>4458,18128<sup>b</sup></b>		
Ponto 5	0,0179576	0,000211788	<b>4147,49756<sup>b</sup></b>		
Ponto 6	0,0181795	0,0028262	4221,26305 <sup>a</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%

#### 4 BIBLIOGRAFIA

STOKES, M. E.; DAVIS, C. S.; KOCH, G. G. **Categorical Data Analysis using The SAS System**. 2<sup>a</sup> ed. North Carolina: SAS Institute and Wiley, 2009.





## CONSULTORIA ESTATÍSTICA RELATÓRIO

**Avaliação dos espaços físicos em medicina nuclear e  
dose nos pacientes (clínicas e hospitais)**

### CLÍNICA C

**Pesquisador**

Pedro Henrique Silvestre Lopes

**Orientadora**

Frieda Saicla Barros

*Prof. Dr. Eraldo Schunk Silva*  
*Estatístico/Demógrafo*  
*CONRE – 8110-A/3ª Região*  
*DES/UEM*  
*30115341*  
*eraldoschunk@gmail.com*

Maringá  
julho 2015

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 MATERIAIS

### 2.2 MÉTODOS ESTATÍSTICOS

Os níveis de concentração de radiação foram descritos por meio da média, desvio-padrão e coeficiente de variação. Com a finalidade de testar a diferença entre os níveis de concentração de radiação, entre os períodos matutino e vespertino, os diferentes ambientes da clínica (Laboratório de manipulação, Sala de espera, Sala de exames, Sala de administração, Corredor e Sala de Ergometria) e os diferentes pontos de medidas dentro de cada ambiente, foram realizados testes de hipóteses estatísticos não-paramétricos. Para comparar a igualdade entre os níveis de concentração de radiação entre os seis locais distintos utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis (KW), análise de variância para amostras independentes, com aproximação Qui-quadrado. Para o caso de duas amostras independentes (por exemplo: período matutino e vespertino), foi aplicado o Teste de Wilcoxon-Mann-Whitney, com aproximação para a Distribuição Normal (Z). Para se determinar os grupos, sejam de locais, sejam de pontos de medição, que apresentavam os mesmos níveis de concentração, foi aplicado o teste para amostras pareadas de Wilcoxon (Wilcoxon Sgned Rank Test)<sup>3</sup>. Este teste foi para todos os possíveis pares de combinações de locais ou de pontos. A decisão de se rejeitar a  $H_0$  ou não foi tomada, considerando-se um nível de confiança de 95% ( $\alpha = 0,05$ ), ou seja, p-valor menor que 0,05. Todos os testes foram unicaudais. Os dados foram analisados no Programa Statistical Analysis Software (SAS, *version* 9.0), a partir de uma base de dados construída por meio do aplicativo Excel.

## 3 CONCENTRAÇÃO DE RADIAÇÃO

### 3.1 NÍVEIS MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO DE RADIAÇÃO POR PERÍODOS E LOCAIS

O nível médio de radiação observado no período matutino na Clínica C é, quase três vezes superior, ao nível de radiação observado no período vespertino. As maiores concentrações médias diárias de radiação foram observadas na sala de espera (0,1627235) e no Laboratório de manipulação (0,1182112) (Tabela1).

Tabela 1- N<sup>o</sup> de observações, média, desvio-padrão e coeficiente de variação para os níveis diários de concentração de radiação, por períodos e locais, Clínica C, Maringá (PR), 2014.

	<b>N</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio-</b>	<b>Coeficiente de</b>
--	----------	--------------	----------------	-----------------------

<sup>3</sup> Os resultados numéricos do testes, não foram apresentados neste relatório.

			<b>padrão</b>	<b>variação</b>
<b>Período</b>				
Matutino	9720	0,1547355	0,3292831	212,80
Vespertino	291158	0,0581260	0,1175010	202,15
<b>Local</b>				
Laboratório de manipulação	5760	0,1182112	0,1395801	118,08
Sala de espera	8640	0,1627235	0,3538742	217,47
Sala de exames	8638	0,0783610	0,1355331	172,96
Sala de administração	2880	0,0418118	0,0867434	207,46
Corredor	10080	0,0189072	0,0036205	19,15
Ergometria	2880	0,0431104	0,1130856	262,32

Ao nível de confiança de 95% a diferença entre os níveis de radiações emitidos entre os períodos matutino e vespertino são estatisticamente significativos (Tabela 2)

Tabela 2- Teste de comparação de Wilcoxon para os níveis diários de concentração de radiação, por períodos, Clínica C, Maringá (PR), 2014.

<b>Período</b>	<b>Escore médio</b>	<b>Teste de Wilcoxon (Aproximação Z)</b>	<b>p-valor</b>
Matutino	23684,0049	44,76	0,0001*
Vespertino	18024,5680		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%.

Em relação aos diferentes ambientes podemos afirmar que todos os seis ambientes apresentam níveis diferentes de concentração de radiação na Clínica C. (Tabela 3). Note que os escores médios seguidos da mesma letra, não diferem entre si pelo Teste U de Mann-Whitney ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 3- (Teste de Kruskal-Wallis) para os níveis diários de concentração de radiação, por local, Clínica C, Maringá (PR), 2014.

<b>Local</b>	<b>Escore médio</b>	<b>Teste de Kruskal Wallis (Aproximação <math>X^2</math>)</b>	<b>p-valor</b>
Laboratório de manipulação	31242,3531 <sup>a</sup>	9252,8891	0,0001*
Sala de espera	18028,0347 <sup>b</sup>		
Sala de exames	16754,4769 <sup>c</sup>		
Sala de administração	11958,2889 <sup>d</sup>		
Corredor	21208,5938 <sup>c</sup>		
Ergometria	17837,7891 <sup>f</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%

### 3.2 NÍVEIS MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO DE RADIAÇÃO POR LOCAIS EM RELAÇÃO AOS PERÍODOS

Exceção feita ao corredor da Clínica C, para os demais ambientes, observa-se que o nível médio de concentração de radiação observado, entre os dois períodos, é bem maior no período matutino (Tabela 4).

Tabela 4- N° de observações, média, desvio-padrão e coeficiente de variação (CV) para os níveis diários de concentração de radiação, por períodos e locais, Clínica C, Maringá (PR), 2014.

<b>Local</b>	<b>N</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio-padrão</b>	<b>CV (%)</b>
<b>Laboratório de manipulação</b>				
Matutino	1440	0,1774753	0,2203670	0,220367
Vespertino	4320	0,0984566	0,0907594	0,090759
<b>Sala de espera</b>				
Matutino	2160	0,3934819	0,5785810	0,578581
Vespertino	6480	0,0858041	0,1781986	0,178199
<b>Sala de exames</b>				
Matutino	2160	0,1207174	0,1601042	0,160104
Vespertino	6478	0,0642379	0,1230971	0,123097
<b>Sala de administração</b>				
Matutino	720	0,0737611	0,1212117	0,121212
Vespertino	2160	0,0311620	0,0684614	0,068461
<b>Corredor</b>				
Matutino	2520	0,0188929	0,0036024	0,003602
Vespertino	7560	0,0189120	0,0036268	0,003627
<b>Ergometria</b>				
Matutino	720	0,0515000	0,1178611	0,117861
Vespertino	2160	0,0403139	0,1113359	0,111336

Como observado, anteriormente, salvo o corredor ( $p = 0,3663$ ), para os demais ambientes, a diferença entre os níveis de concentração observada, para os períodos matutino e vespertino, é estaticamente significativa, ao nível de confiança de 95% (Tabela 5).

Tabela 5- Teste de comparação de Wilcoxon para os níveis diários de concentração de radiação, por locais e períodos, Clínica C, Maringá (PR), 2014.

Local	N	Escore médio	Teste de Wilcoxon (Aproximação Z)	p-valor
<b>Laboratório de manipulação</b>				
Matutino	1440	3570,50451	18,2102	0,0001*
Vespertino	4320	2650,49850		
<b>Sala de espera</b>				
Matutino	2160	6013,9250	40,7201	0,0001*
Vespertino	6480	3756,0250		
<b>Sala de exames</b>				
Matutino	2160	5400,76759	26,4830	0,0001*
Vespertino	6478	3958,96619		
<b>Sala de administração</b>				
Matutino	720	1821,52222	20,4946	0,0001*
Vespertino	2160	1313,49259		
<b>Corredor</b>				
Matutino	2520	5003,18651	-0,9033	0,3663
Vespertino	7560	5052,93783		
<b>Ergometria</b>				
Matutino	720	1472,80000	2,5917	0,0096*
Vespertino	2160	1429,73333		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%

### 3.3 NÍVEIS MÉDIOS DE CONCENTRAÇÃO DE RADIAÇÃO, POR PONTOS DE MEDIÇÃO E LOCAL

Exceção feita à sala de Ergometria (Tabela 6), onde não foi observada diferença significativa para os níveis de concentração de radiação, observados no Ponto 1 e no Ponto 2 ( $p=0,6174$ ), para os demais locais observa-se, que os níveis de concentração de radiação não é homogêneo.

Tabela 6 – Média, desvio-padrão e Teste de comparação de Wilcoxon para os níveis diários de concentração de radiação observados na Sala de ergometria, Clínica C, Maringá (PR), 2014.

Ergometria	Média	DP	Escore médio	Teste de Wilcoxon (Aproximação Z)	p-valor
Ponto 1	0,0274889	0,0519710	1436,90556 <sup>a</sup>	-0,4995	0,6174
Ponto 2	0,0587319	0,1496536	1444,09444 <sup>b</sup>		

No laboratório de manipulação, todos os pontos apresentam níveis médios de concentração de radiação distintos (Tabela 7). O mesmo ocorre na Sala de espera (Tabela 8).

Tabela 7 – Média, desvio-padrão e Teste de comparação de Wilcoxon para os níveis diários de concentração de radiação observados no Laboratório de manipulação, Clínica C, Maringá (PR), 2014.

Laboratório de manipulação	Média	DP	Escore médio	Teste de KW (Aproximação $X^2$ )	p-valor
Ponto 1	0,1368026	0,1553525	3368,70868 <sup>a</sup>	331,6154	0,0001*
Ponto 2	0,1353347	0,1846209	3171,52674 <sup>b</sup>		
Ponto 3	0,1044507	0,1040489	2554,77882 <sup>c</sup>		
Ponto 4	0,0962569	0,0872613	2426,98576 <sup>d</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%

Tabela 8 – Média, desvio-padrão e Teste de comparação de Wilcoxon para os níveis diários de concentração de radiação observados na Sala de espera, Clínica C, Maringá (PR), 2014.

Sala de espera	Média	DP	Escore médio	Teste de KW (Aproximação $X^2$ )	p-valor
Ponto 1	0,1360648	0,2959320	4169,37813 <sup>a</sup>	17,5664	0,0035*
Ponto 2	0,1592132	0,3483188	4223,43264 <sup>b</sup>		
Ponto 3	0,1627576	0,3618232	4313,94340 <sup>c</sup>		
Ponto 4	0,1539132	0,3339361	4387,68229 <sup>d</sup>		
Ponto 5	0,1706819	0,3540092	4357,91250 <sup>e</sup>		
Ponto 6	0,1937104	0,4163145	4470,65104 <sup>f</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%.

Na sala de exames se observam quatro agrupamentos de pontos. O Ponto 5 (0,1094253) apresenta o maior nível médio de concentração de radiação. O Ponto 3 (0,0734635) e o Ponto 6 (0,0762993) apresentam nível médio intermediário. O Ponto 1 (0,0590050) e Ponto 4 (0,0619292) são os que apresentam os menores níveis médios de concentração de radiação (Tabela 9).

Tabela 9 – Média, desvio-padrão e Teste de comparação de Wilcoxon para os níveis diários de concentração de radiação observados na Sala de exames, Clínica C, Maringá (PR), 2014.

Sala de exames	Média	DP	Escore médio	Teste de KW (Aproximação $X^2$ )	p-valor
Ponto 1	0,0590050	0,1020275	4182,16470 <sup>a</sup>	34,9251	0,0001*
Ponto 2	0,0900271	0,1635933	4382,29861 <sup>b</sup>		
Ponto 3	0,0734635	0,1215417	4274,12509 <sup>c</sup>		
Ponto 4	0,0619292	0,1137424	4156,98750 <sup>a</sup>		
Ponto 5	0,1094253	0,1686041	4573,21701 <sup>d</sup>		
Ponto 6	0,0762993	0,1232345	4348,08021 <sup>c</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%

Para a sala de administração o nível de concentração de radiação no Ponto 1 e o dobro daquela observada para o Ponto 2 (Tabela 10).

Tabela 10 – Média, desvio-padrão e Teste de comparação de Wilcoxon para os níveis diários de concentração de radiação observados na Sala de administração, Clínica C, Maringá (PR), 2014.

Sala de adm.	Média	DP	Escore médio	Teste de Wilcoxon (Aproximação Z)	p-valor
Ponto 1	0,0556465	0,1138671	1414,46458 <sup>a</sup>	-2,4255	0,0153*
Ponto 2	0,0279771	0,0412952	1466,53542 <sup>b</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%

O corredor apresenta uma área de menor nível médio de concentração de radiação formada pelos pontos 3, 4 e 5. Os demais pontos apresentam distintos níveis médios de concentração. Destacam-se o Ponto 1 e o Ponto 2 com maiores níveis médios de concentração de radiação.

Tabela 11 – Média, desvio-padrão e Teste de comparação de Wilcoxon para os níveis diários de concentração de radiação observados no Corredor, Clínica C, Maringá (PR), 2014.

Corredor	Média	DP	Escore médio	Teste de KW (Aproximação $X^2$ )	p-valor
Ponto 1	0,0217250	0,005370200	6936,84861 <sup>a</sup>	2684,3745	0,0001*
Ponto 2	0,0221764	0,005975500	7000,17431 <sup>b</sup>		
<b>Ponto 3</b>	<b>0,0176465</b>	<b>0,000478214</b>	<b>4085,25729<sup>c</sup></b>		
<b>Ponto 4</b>	<b>0,0176590</b>	<b>0,000580900</b>	<b>4103,03125<sup>c</sup></b>		
<b>Ponto 5</b>	<b>0,0176417</b>	<b>0,000492543</b>	<b>4051,25625<sup>c</sup></b>		
Ponto 6	0,0177410	0,000456885	4499,69063 <sup>d</sup>		
Ponto 7	0,0177611	0,000426553	4607,24167 <sup>e</sup>		

\*Significativo ao nível de confiança de 95%

#### 4 BIBLIOGRAFIA

STOKES, M. E.; DAVIS, C. S.; KOCH, G. G. **Categorical Data Analysis using The SAS System**. 2<sup>a</sup> ed. North Carolina: SAS Institute and Wiley, 2009.



## CONSULTORIA ESTATÍSTICA

**Avaliação dos espaços físicos em medicina nuclear e dose nos pacientes (clínicas e hospitais)**

### LAUDO TÉCNICO

**Pesquisador**

Pedro Henrique Silvestre Lopes

**Orientadora**

Frieda Saicla Barros

*Prof. Dr. Eraldo Schunk Silva*  
*Estatístico/Demógrafo*  
*CONRE – 8110-A/3ª Região*  
*DES/UEM*  
*30115341*  
*eraldoschunk@gmail.com*

Maringá  
Fevereiro- 2016



## **-OBJETIVOS DO LAUDO**

A elaboração desse laudo tem a finalidade de esclarecer as análises estatísticas realizadas na AVALIAÇÃO DOS ESPAÇOS FÍSICOS EM MEDICINA NUCLEAR E DOSE NOS PACIENTES (CLÍNICAS E HOSPITAIS).

## **-MÉTODOS ESTATÍSTICOS**

Os níveis de concentração de radiação foram descritos por meio da média, desvio-padrão e coeficiente de variação. Com a finalidade de testar a diferença entre os níveis de concentração de radiação, entre os períodos matutino e vespertino, os diferentes ambientes da clínica (Laboratório de manipulação, Sala de espera, Sala de exames, Sala de administração, Corredor e Sala de Ergometria) e os diferentes pontos de medidas dentro de cada ambiente, foram realizados testes de hipóteses estatísticos não-paramétricos. Para comparar a igualdade entre os níveis de concentração de radiação entre os seis locais distintos utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis (KW), análise de variância para amostras independentes, com aproximação Qui-quadrado. Para o caso de duas amostras independentes (por exemplo: período matutino e vespertino), foi aplicado o Teste de Wilcoxon-Mann-Whitney, com aproximação para a Distribuição Normal (Z). Para se determinar os grupos, sejam de locais, sejam de pontos de medição, que apresentavam os mesmos níveis de concentração, foi aplicado o teste de comparações múltiplas *post hoc* de Dunn. A decisão de se rejeitar a  $H_0$  ou não foi tomada, considerando-se um nível de confiança de 95% ( $\alpha = 0,05$ ), ou seja, p-valor menor que 0,05. Todos os testes foram unicaudais. Os dados foram analisados no Programa Statistical Analysis Software (SAS, *version 9.0*), a partir de uma base de dados construída por meio do aplicativo Excel.

## **-BIBLIOGRAFIA**

STOKES, M, E.; DAVIS, C, S.; KOCH, G, G, **Categorical Data Analysis using The SAS System**, 2<sup>a</sup> ed, North Carolina: SAS Institute and Wiley, 2009.