

PATRICIA SANAE HAMANO

ANÁLISE DE RISCO DA EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO IONIZANTE EM
MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS RADIODIAGNÓSTICOS

São Paulo

2018

PATRICIA SANAE HAMANO

**ANÁLISE DE RISCO DA EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO IONIZANTE EM
MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS RADIODIAGNÓSTICOS**

Monografia apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para a
obtenção do título de Especialista em
Engenharia de Segurança do Trabalho

São Paulo
2018

Dedico este trabalho ao meu amigo, companheiro e esposo, Kouei, por sempre acreditar em mim, pela paciência nas minhas longas horas de trabalho e por ser o meu maior incentivador.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo a descrição da análise de riscos da exposição ocupacional à radiação ionizante realizada nas atividades internas de manutenção corretiva de equipamentos radiodiagnósticos médicos de imagem de uma empresa localizada no Paraná. A identificação de perigos e a estimativa dos riscos foi realizada conforme metodologia desenvolvida por Lapa (2006), com foco no efetivo gerenciamento dos riscos e alinhada com os requisitos normativos da OHSAS 18001. A análise de risco identificou 35 atividades que apresentam exposição à raios X e todos os perigos foram classificados em grau de risco substancial, devido à gravidade e à abrangência dos efeitos adversos potenciais da exposição à radiação ionizante e à precariedade dos meios de controle existentes na empresa. As medidas de controle recomendadas envolveram os requisitos básicos de segurança e proteção radiológica, previstos na legislação brasileira. O cumprimento dos níveis de referência da legislação em termos de dose individual do indivíduo ocupacionalmente exposto apenas reduz a probabilidade de efeitos estocásticos; portanto, as atividades envolvendo exposição à radiação ionizante apresentam um risco intrínseco que deverá ser aceito e assumido pela empresa. Em conclusão, diante do que foi mencionado, o objetivo proposto pelo trabalho foi atingido.

Palavras-chave: Segurança e proteção radiológica. Raios X. Manutenção de equipamentos médicos radiodiagnósticos.

ABSTRACT

The aim of this study is to describe a risk assessment in occupational exposition to ionizing radiation from corrective maintenance activities of medical diagnostic imaging equipments in a company located in the state of Paraná, Brazil. The methodology applied to hazard identification and risk evaluation was developed by Lapa (2006), being an easy and effective tool for risk management and it is in compliance to OHSAS 18001. The risk assessment identified 35 activities which have X-ray exposition and all dangers were classified as high risk level, because of the severity of the adverse effects from ionizing radiation and the poor control measures existing in the organization. The control options recommended were the basic safety and radiological protection requirements from Brazilian legal regulations. Compliance to occupational dose limits established by regulations only reduces occurrence probability of stochastic effects, then, activities with exposure to ionizing radiation have an intrinsic risk which should be accepted and assumed by the company. In conclusion, the objective of this work was achieved.

Keywords: Safety and radiological protection. X-rays. Maintenance of medical radio diagnostic equipments.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Classificação da probabilidade	42
Figura 2 – Classificação da severidade	43
Figura 3 – Matriz de classificação dos perigos nas classes de riscos	44
Figura 4 – Classificação dos perigos nas classes de riscos	44
Figura 5 – Definição do nível de ação gerencial em função da tolerabilidade estabelecida da classe de risco (moderado)	45
Figura 6 – Vista do Laboratório de Eletrônica	50
Figura 7 – Vista do Laboratório de Inserção.....	50
Figura 8 – Vista externa das baias	51
Figura 9 – Vista interna das baias	51
Figura 10 – Monitor individual (termoluminescência) disposto no tórax	55
Figura 11 – Biombo de proteção radiológica, vestimenta de proteção radiológica tipo avental e proteção radiológica de tireóide	56
Figura 12 – Sinalização do Laboratório de Eletrônica	57
Figura 13 – Sinalização do Laboratório de Inserção	57
Figura 14 – Sinalização das Baias	58
Figura 15 – Representação da distribuição de perigos por classe do Departamento de Manutenção Técnica de Campo e Interna	65
Figura 16 – Matriz gerencial de riscos.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fatores de peso da radiação, w_R	24
Tabela 2 – Valores dos fator de peso wT para tecido ou órgão definido na ICRP 60	25
Tabela 3 – Limites de Doses Anuais	29
Tabela 4 – Níveis de Referência Recomendados pela CNEN	34
Tabela 5 – Funcionários por setor e respectivos cargos	52
Tabela 6 – Cargos da empresa, tarefas realizadas e equipamentos atendidos em relação aos cargos	53
Tabela 7 – Atividades e cargos por setor	59
Tabela 8 – Resultado do mapeamento dos perigos e estimativa de risco do Setor Técnico de Campo e Interno (tolerabilidade do risco: classe moderado)	64
Tabela 9 – Resultado do mapeamento dos perigos e estimativa de risco do Setor Técnico de Campo e Interno, se implantadas as medidas de prevenção e proteção recomendadas (tolerabilidade do risco: classe moderado)	69
Tabela 10 – Resultado do mapeamento dos perigos e estimativa de risco do Setor Técnico de Campo e Interno (tolerabilidade do risco: classe substancial)	69
Tabela 11 – Resultado do mapeamento dos perigos e estimativa de risco do Setor Técnico de Campo e Interno, se implantadas as medidas de prevenção e proteção recomendadas (tolerabilidade do risco: classe substancial)	70

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 OBJETIVO	10
1.2 JUSTIFICATIVA.....	10
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	12
2.1 RAIOS X	12
2.1.1 Descoberta dos raios X.....	12
2.1.2 Definição de raios X.....	12
2.1.3 Interação dos raios X com a matéria	13
2.2 EQUIPAMENTOS DE RAIOS X.....	15
2.2.1 Tubos de raios X	16
2.3 EFEITOS BIOLÓGICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE	19
2.3.1 Classificação dos efeitos biológicos.....	20
2.3.1.1 Efeitos determinísticos	20
2.3.1.2 Efeitos estocásticos.....	20
2.3.1.3 Efeitos imediatos e tardios	21
2.3.1.4 Efeitos somáticos	22
2.3.1.5 Efeitos genéticos ou hereditários	22
2.4 GRANDEZAS E UNIDADES.....	22
2.4.1 Dose de exposição (X)	23
2.4.2 Dose absorvida (D)	23
2.4.3 Grandezas da Norma CNEN NN 3.01 (2014)	24
2.4.3.1 Dose equivalente (H_T)	24
2.4.3.2 Dose efetiva (E).....	25
2.5 SEGURANÇA E PROTEÇÃO RADIOLÓGICA.....	25
2.5.1 Legislação sobre segurança e proteção radiológica	25
2.5.2 Requisitos básicos de proteção radiológica	27
2.5.2.1 Justificação.....	27
2.5.2.2 Otimização	28
2.5.2.3 Limitação de dose	28
2.5.3 Fatores de segurança e proteção radiológica	29
2.5.3.1 Controle de exposição.....	30

2.5.3.1.1 Tempo de exposição	30
2.5.3.1.2 Distância	31
2.5.3.1.3 Blindagem	31
2.5.3.2 Controle de áreas	32
2.5.3.3 Controle do indivíduo ocupacionalmente exposto	33
2.5.3.4 Controle das fontes de radiação.....	35
2.5.3.5 Controle dos equipamentos.....	35
2.5.3.6 Defesa em profundidade	35
2.5.3.7 Qualificação e treinamento.....	36
3 MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1 LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES BÁSICAS.....	37
3.2 ANÁLISE DE RISCOS	38
3.2.1 Mapeamento dos perigos	39
3.2.1.1 Construção da matriz gerencial.....	39
3.2.1.2 Identificação do perigo	39
3.2.1.3 Classificação do perigo	40
3.2.2 Estimativa dos riscos.....	41
3.2.3 Definição da tolerabilidade do risco	45
3.2.4 Definição dos indicadores de desempenho.....	46
3.3 RECOMENDAÇÕES DE OPÇÕES DE CONTROLE.....	46
3.4 A EMPRESA E O NEGÓCIO DA EMPRESA	46
3.5 ESTRUTURA ADMINISTRATIVA	47
3.6 PROCESSO PRODUTIVO	47
3.7 DIVISÃO DO TRABALHO	48
3.8 INSTALAÇÕES FÍSICAS	49
3.9 RECURSOS HUMANOS	52
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.1 INFORMAÇÕES BÁSICAS	54
4.1.1 Procedimentos de trabalho	54
4.1.2 Segurança e saúde do trabalho e proteção radiológica	54
4.2 ANÁLISE DE RISCO	58

4.2.1 Matriz gerencial	58
4.2.2 Identificação do perigo, classificação do perigo e estimativa dos riscos	60
4.3 RECOMENDAÇÕES DE OPÇÕES DE CONTROLE.....	66
4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
5 CONCLUSÕES.....	73
REFERÊNCIAS.....	74
APÊNDICE A	77
APÊNDICE B	79
APÊNDICE C	81
APÊNDICE D	88
APÊNDICE E	95
ANEXOS	105

1 INTRODUÇÃO

A descoberta dos raios X, em 1895, por Röntgen, proporcionou grandes mudanças na medicina, principalmente no campo da anatomia e da fisiologia humana, uma vez que possibilitou a visualização do corpo humano, de forma não invasiva. No final da década de 1960, com o advento da mamografia e da tomografia, o radiodiagnóstico se consolidou definitivamente como uma das ferramentas de diagnose mais poderosa à disposição da medicina (NAVARRO, 2009).

A formação da imagem em equipamentos médicos radiodiagnósticos tem como princípio básico a indução de mudanças em detectores químicos ou elétricos por meio dos raios X, que atravessam o corpo humano (NAVARRO, 2009). Entretanto, dependendo da qualidade e da intensidade dos raios X e do grau de exposição, a interação do ser humano com este agente físico poderá resultar em efeitos nocivos, pois os raios X são uma forma de radiação ionizante e, dessa forma, apresentam a capacidade de ionizar átomos e moléculas constituintes das células, podendo causar efeitos biológicos prejudiciais, geralmente associados à exposição ocupacional, tais como a síndrome aguda das radiações e o câncer (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2016a).

Além dos efeitos nocivos das radiações ionizantes, é de suma importância considerar os danos e riscos relacionados aos erros de diagnóstico devido à obtenção de imagem sem a qualidade adequada (NAVARRO, 2009), devendo assim, repeti-la; consequentemente, duplicando a dose de radiação em um mesmo paciente e gerando mais custos ao sistema de saúde e aos profissionais e/ou instituições envolvidas em processos indenizatórios. Nesse sentido, a adoção de conceitos de qualidade em radiodiagnóstico, por meio da implementação de um Programa de Garantia de Qualidade, torna-se primordial; pois auxilia no controle do processo de obtenção de imagem, com a redução de erros previsíveis e com o nível necessário de qualidade de imagem para o correto diagnóstico, que deve ser obtido utilizando-se a dose de radiação mais baixa possível ao paciente (FURQUIN; COSTA, 2009).

Como forma de minimizar esses danos e riscos, no final da década de 70, os países desenvolvidos iniciaram um processo de implantação e fiscalização de

programas de garantia de qualidade em radiodiagnóstico. No Brasil, esses estudos passaram a ter maior repercussão com o advento da publicação da Portaria nº 453/ 98 do Ministério da Saúde (BRASIL, 1998), que definiu a Vigilância Sanitária como autoridade reguladora dos serviços de radiodiagnóstico, estabeleceu as diretrizes regulatórias do radiodiagnóstico no País e instituiu a obrigatoriedade da implantação de Programas de Garantia de Qualidade (NAVARRO, 2009). Também estabeleceu que os serviços de radiodiagnóstico têm como uma das obrigações básicas a implementação de um Programa de Manutenção dos Equipamentos de raios X, por meio de manutenção preventiva e corretiva (COUTO et al., 2003).

Segundo COUTO et al. (2003), estima-se que o mercado brasileiro movimente em torno de US\$ 1,3 bilhões/ano em equipamentos médico-hospitalares, sendo que US\$ 500 milhões são para o setor de diagnóstico por imagem. O Ministério da Saúde estima que 40% dos equipamentos estão subutilizados ou inoperantes e que dos US\$ 1,3 bilhões/ano movimentados no mercado brasileiro em equipamentos médico-hospitalares, cerca de US\$ 500 milhões/ano estão com problemas, sendo que no ano de 1999 o setor saúde gastou, com a mão-de-obra para a manutenção desses equipamentos (vencido o período de 12 meses de garantia), um valor aproximado de US\$ 71 milhões.

1.1 OBJETIVO

O presente trabalho teve por objetivo realizar a análise de riscos da exposição ocupacional à radiação ionizante (raios X) nas atividades internas de manutenção corretiva de uma empresa que realiza manutenção de equipamentos de radiodiagnóstico médico de imagem (raios X, mamografia, densitometria óssea, tomografia, arco cirúrgico e hemodinâmica), localizada no Paraná.

1.2 JUSTIFICATIVA

Considerando a obrigatoriedade de Programa de Manutenção de Equipamentos de radiodiagnóstico e a mão-de-obra empregada para esse fim (manutenção de equipamentos de raios X), torna-se muito importante realizar a

análise de riscos da exposição ocupacional à radiação ionizante (raios X) nas atividades de manutenção de equipamentos para diagnóstico médico de imagem.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 RAIOS X

2.1.1 Descoberta dos raios X

Os raios X foram descobertos pelo cientista alemão e professor de física Wilhelm Conrad Roentgen, em 1895, quando na realização de um experimento utilizando um tubo de Crookes (envoltório de vidro em forma de pêra com dois eletrodos, à vácuo) coberto por uma blindagem de papelão preto, observou que um papel com platino-cianeto de bário luminescia quando se passava corrente pelo tubo (MARTINS, 1998).

Após inúmeros experimentos, Roentgen escreveu um artigo relatando suas observações e descobertas, referindo-se aos raios emitidos pelo tubo de Crookes, responsáveis por fazerem a tela fluorescente brilhar, como “raios X”. Roentgen concluiu em seus experimentos que os raios X: se propagavam em linha reta, produzindo dessa maneira sombras regulares; eram capazes de penetrar grandes espessuras de diversos materiais; eram fortemente absorvidos pelos metais, em especial o chumbo; eram capazes de produzir fluorescência em diversas substâncias; eram capazes de sensibilizar chapas fotográficas; não podiam ser desviados por imãs (MARTINS, 1998).

Essa descoberta gerou grande impacto na medicina, uma vez que possibilitou a visualização do interior do corpo humano de forma não invasiva, tornando-se uma importante ferramenta de diagnóstico médico, conhecida atualmente por radiodiagnóstico, que abrange quatro técnicas: radiografia, fluoroscopia, mamografia e tomografia (NAVARRO, 2009).

2.1.2 Definição de raios X

Os raios X tratam-se de uma radiação eletromagnética indiretamente ionizante (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2016a).

As radiações eletromagnéticas são oscilações em fase de campos magnético e elétrico, perpendiculares entre si, que apresentam as seguintes características: se

propagam no vácuo em linha reta quando não há interação com a matéria; conservam sua energia durante a propagação no vácuo; ao interagir com a matéria, podem ser transmitidas, refletidas, absorvidas e espalhadas; e atenuam (isto é, sofrem redução da sua intensidade) com o quadrado da distância da fonte emissora (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2016a).

Os raios X são classificados como radiação ionizante, pois possuem a capacidade de ionizar átomos ou moléculas, ou seja, são capazes de remover elétrons dos orbitais, resultando em elétrons livres de alta energia, íons positivos ou radicais livres quando ocorre quebra de ligações químicas (TAHUATA et al., 2013).

Ademais, são considerados radiações indiretamente ionizantes por necessitarem de uma partícula secundária para produzir a ionização. Não podem transferir sua energia por meio de atração ou repulsão dos elétrons orbitais, como as radiações diretamente ionizantes (partículas alfa e beta), pelo fato de não possuírem carga elétrica. Desse modo, transferem parte ou totalidade de sua energia para partículas carregadas e estas ionizam o material (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2016a).

2.1.3 Interação dos raios X com a matéria

A radiação eletromagnética ionizante devido ao seu caráter ondulatório, ausência de carga e massa de repouso, apresentam alta penetrabilidade (TAHUATA et al., 2013). E, ao penetrar em um material, podem sofrer ou não interação. A interação ocorre de forma probabilística, sendo que na faixa de energias que inclui os raios X, de poucos keV até MeV, as principais interações que ocorrem com a matéria são: efeito fotoelétrico, espalhamento de Compton (ou efeito inelástico ou espalhamento incoerente), espalhamento coerente (ou efeito Rayleigh), produção de pares e reações fotonucleares (fotodesintegração) (YOSHIMURA, 2009).

A seguir serão explicados apenas o efeito fotoelétrico, o espalhamento Compton e o espalhamento coerente, uma vez que são as interações que ocorrem na faixa de energia utilizada no radiodiagnóstico (10 a 150 keV) (ALMEIDA, 1990).

Antes, porém, introduzir-se-á o conceito de fótons. Fótons é a denominação dada ao conjunto de partículas que constituem a radiação eletromagnética. A energia do fóton $h\nu$ corresponde um momento associado $h\nu/c$; onde h é a constante

de Planck, ν é a frequência da radiação e c a velocidade da luz. O fóton pode transferir energia e momento para outras partículas quando nas interações (colisões) (YOSHIMURA, 2009).

O efeito fotoelétrico caracteriza-se pela transferência total da energia do fóton de raios X incidente (que é totalmente absorvido) a um único elétron orbital mais fortemente ligado, geralmente da camada K do átomo, que é expelido com um a energia cinética E_c , definida por:

$$E_c = h \cdot \nu - B_e \quad (1)$$

onde h é a constante de Planck, ν é a frequência da radiação e B_e é a energia de ligação do elétron orbital.

O espaço deixado pelo elétron expelido (também chamado fotoelétron) pode ser ocupado por elétrons de camadas superiores e assim sucessivamente (SCAFF, 1997), gerando raios X característicos, elétrons Auger e elétrons rápidos (SCAFF, 1997; YOSHIMURA, 2009).

A probabilidade de ocorrência do efeito fotoelétrico aumenta com o número atômico Z^3 do material (ALMEIDA, 1990; TAHUATA, 2013) e é inversamente proporcional à energia dos raios X incidentes ($1/E^3$) (ALMEIDA, 1990).

O efeito fotoelétrico é o fenômeno mais desejado em radiodiagnóstico, pois é o responsável pela formação das imagens. A obtenção de imagens está baseada no efeito de absorção (atenuação) dos fótons dos raios X incidentes, por meio do efeito fotoelétrico. Nos exames de raios X convencional, nas estruturas com maior Z e mais densas e/ou mais espessas (por exemplo, ossos, $Z=13,8$) ocorre maior atenuação dos fótons e, assim, o filme é pouco irradiado, deixando-o com a aparência “branca”. Enquanto que em estruturas com menor Z e menos densas (por exemplo, pulmão, $Z=7,4$) ocorre a transmissão de mais fótons, fazendo com que o filme tenha aparência mais escura (NERSISSIAN, [20--?]).

No efeito Compton, o fóton de raio X é espalhado por um elétron de baixa energia de ligação do átomo (elétron de camada mais externa) do material, denominado elétron Compton, que recebe parte de sua energia e continua sua sobrevivência dentro do material em outra direção e com menor energia (TAHUATA et al., 2013).

O espalhamento Compton independe do número atômico do material. Todos os materiais, por meio do espalhamento Compton, apresentarão o mesmo coeficiente de atenuação (JONHS; CUNNINGHAM, 1974 apud ALMEIDA, 1990).

O espalhamento coerente caracteriza-se pela absorção do fóton incidente e sua re-emissão em uma direção diferente (YOSHIMURA, 2009). Nesse processo não há perda de energia do fóton, não há ionização e, consequentemente, não há dose absorvida no material, sendo que a importância desse efeito na atenuação total é de no máximo 5% em relação aos outros efeitos citados (ALMEIDA, 1990). Ademais, o espalhamento coerente tem maior probabilidade de ocorrência para baixas energias dos fótons e para valores altos de Z (TAHUATA et al., 2013).

O espalhamento Compton e o espalhamento coerente não são desejados em radiodiagnóstico, pois uma grande quantidade de radiação espalhada reduz o contraste da imagem (NERSISSIAN, [200-?]).

2.2 EQUIPAMENTOS DE RAIOS X

Os equipamentos de raios X são dispositivos que utilizam eletricidade como fonte de energia para produzir radiação eletromagnética, por meio da desaceleração de elétrons rápidos por colisão. Possuem variações no formato, no tipo de alvo do anodo, na faixa da tensão (kV) e na corrente (mA) aplicadas e no sistema de refrigeração, embora funcionem com o mesmo princípio de funcionamento (TAHUATA et al., 2013). Os equipamentos normalmente operam numa faixa de tensão de 40 a 150 kVp e a corrente do tubo varia de 25 a 1200 mA (GONDIM, 2009).

Os aparelhos de raios X possuem três componentes principais: o tubo de raios X, o gerador de alta voltagem e o painel de controle. O tubo de raios X será explicado a seguir. O gerador de alta voltagem é o responsável em fornecer a tensão (diferença de potencial) e a corrente necessárias para o funcionamento dos equipamentos de raios X. O painel de controle é onde o operador controla a tensão (kV), a corrente do tubo (mA) e o tempo de irradiação, de modo a obter a quantidade e a penetração necessária de raios X para uma radiografia de qualidade.

2.2.1 Tubo de raios X

O tubo de raios X consiste, basicamente, de um eletrodo negativo (catodo) e um eletrodo positivo (anodo), envoltos por uma ampola de vidro, sob vácuo. A ampola de vidro é revestida por uma blindagem de chumbo (denominada blindagem de cabeçote), exceto por uma janela radiotransparente, por onde ocorre a saída dos raios X, denominado feixe útil. Ao se aplicar uma alta tensão entre os eletrodos, os elétrons gerados do catodo são acelerados em direção ao anodo, onde se chocam com o alvo, gerando raios X e calor (ROS, 2000).

O catodo é constituído por um ou diversos filamentos de tungstênio, por onde passa a corrente elétrica, gerando o seu aquecimento. Sua função é de fonte de geração de elétrons no tubo de raios X. O gerador de voltagem fornece a diferença de potencial para a produção de corrente (mA), que aquece o filamento de tungstênio, a uma temperatura de aproximadamente 2200°C, suficiente para ocorrer, por emissão termoiônica, a formação de uma nuvem de elétrons (ROS, 2000).

O anodo é constituído por uma haste de cobre, molibdênio ou grafite (estacionária ou giratória) que contém um alvo metálico em tungstênio ou molibdênio, onde ocorrem as interações para a produção de raios X. O material mais utilizado é o tungstênio, devido ao seu alto ponto de fusão (3400°C), resistindo à grande quantidade de calor produzida pela colisão dos elétrons com o alvo, e devido ao seu alto número atômico (Z=74), melhorando a eficiência e a qualidade do feixe de raios X (ROS, 2000).

A ampola é envolta por óleo, que atua como condutor térmico e isolante elétrico entre a ampola e o tubo de raios X, uma vez que é necessário dissipar o calor produzido no processo (ROS, 2000).

Para que os elétrons gerados no catodo se desloquem em direção ao anodo é necessário uma diferença de potencial (ddp) entre os dois eletrodos e para isso aplica-se uma alta tensão no tubo de raios X. Quando a tensão é aplicada, os elétrons gerados do catodo são acelerados em direção ao anodo, adquirindo grande energia cinética antes de atingir o alvo. Entretanto, apenas uma pequena parte dos elétrons transformam sua energia cinética em raios X; a maior parte da energia cinética dos elétrons é convertida em calor (ROS, 2000). Apenas 1% dos elétrons que colidem com o anodo é emitida em forma de raios X (NERSISSIAN, [20--?]).

Dos raios X produzidos na colisão com o anodo, apenas uma pequena fração é utilizada para a formação da imagem, pois cerca da metade é absorvida no próprio anodo e a outra parte não é emitida em direção à janela de saída do feixe, sendo atenuada na blindagem de chumbo ao redor do tubo de raios X ou atravessando-a (ROS, 2000).

Os raios X que atravessam a janela radiotransparente na direção do paciente e do sistema de formação de imagem para a realização do exame são denominados de feixe primário ou principal (DA SILVA; PAES, [201-?]).

Os raios X emitidos em direções diferentes da janela radiotransparente que não interagem com a blindagem de chumbo que reveste a ampola, atravessando-a, são denominados radiação de fuga (DA SILVA; PAES, [201-?]).

Além disso, tem-se a radiação espalhada que é aquela produzida fora do tubo devido à interação, por efeito Compton, do feixe primário com a matéria que encontra em seu percurso. Dependendo do ângulo de incidência o feixe espalhado tem energia pouco menor que o feixe principal (DA SILVA; PAES, [200-?])

A radiação de fuga e a radiação espalhada são também chamadas de radiação secundária (DA SILVA; PAES, [201-?]).

Nersessian (20--?) também classifica os raios X em radiação residual, sendo a parte da radiação que atravessa o paciente, o sistema de formação de imagens ou qualquer outro dispositivo, não interagindo com os mesmos, devendo ser absorvida para garantir proteção nas vizinhanças na direção do feixe primário.

Quanto maior a tensão aplicada ao tubo, maior será a energia dos raios X gerados e, assim, maior o seu poder de penetração (a penetração dos raios X é proporcional ao kV). Assim, os raios X de energia muito baixa ($E < 5\text{keV}$) serão prontamente absorvidos pelo alvo e estruturas do equipamento. A emissão dessa radiação, em níveis significantes do ponto de vista biológico, ocorre para da voltagem de operação superior a 15 kV e alvo com número atômico elevado (tal como chumbo ou tungstênio). Nessas condições são gerados raios X com energia superior a 5 keV (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2016a). E, a quantidade de raios X é proporcional kV^2 e a corrente aplicada ao tubo (mA), ou seja, maior o número de elétrons que colidem com o alvo. Entretanto, o poder de penetração da radiação não é influenciada pela corrente (SCAFF, 1997).

A produção de raios X no anodo gera a emissão tanto de raios X característicos quanto de raios X de freamento (TAHUATA et al., 2013)

Os raios X característico são produzidos quando ocorre a retirada de elétrons da eletrosfera do átomo e a vacância originada pelo elétron retirado é imediatamente preenchida por algum elétron de orbitais superiores. Quando o elétron de orbital superior passa de um estado menos ligado para outro mais ligado (camada mais externa), o excesso de energia do elétron é liberado por meio de uma radiação eletromagnética, cuja energia é igual à diferença de energia entre o seu estado inicial e final. Essa energia liberada é denominada de raios X característico pelo fato dos fótons emitidos serem monoenergéticos e característicos da cada elemento. Como os raios X característicos são dependentes de energia da eletrosfera, a forma de seu espectro de distribuição em energia é discreto ou de linhas, ou seja, contém apenas energia de certos valores bem definidos (TAHUATA et al., 2013).

As energias de emissão dos raios X característicos variam de alguns eV a dezenas de keV, uma vez que a emissão de raios X característicos é um fenômeno que ocorre com energia da ordem da energia de ligação dos diversos níveis da eletrosfera (TAHUATA et al., 2013).

Os raios X de freamento são produzidos quando partículas carregadas, principalmente elétrons, interagem com o campo elétrico de núcleos de número atômico elevado, reduzindo sua energia cinética, mudando de direção e emitindo a diferença de energia sob forma de ondas eletromagnéticas. Desse modo, a energia dos raios X de freamento depende fundamentalmente da energia e da intensidade de interação da partícula incidente com o núcleo o seu ângulo de saída. Há maior probabilidade na interação de elétrons com átomos de número atômico elevado. Devido ao mecanismo e ao ângulo aleatório de saída da partícula após a interação, a energia convertida em raios X é imprevisível, com valor variando de zero até um valor máximo, igual à energia cinética da partícula incidente. Os raios X gerados para uso médico não passam dos 500 keV (TAHUATA et al., 2013)

Para tensões aplicadas entre 80 e 150kVp, a radiação característica contribui com aproximadamente 10% do total dos raios X produzidos pelos dois tipos de mecanismos. Para tensões maiores, a contribuição dos raios X característicos torna-se muito pequena e negligenciável (SCAFF, 1997).

2.3 EFEITOS BIOLÓGICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE

Os efeitos biológicos induzidos no homem pela exposição à radiação ionizante foram, inicialmente, observados em pessoas nas primeiras exposições com raios X e nos pioneiros das descobertas sobre radioatividade em exposições com radionuclídeos. Entretanto, somente após a segunda Guerra Mundial, devido às explosões nucleares ocorridas nas cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki iniciaram-se estudos mais detalhados sobre os efeitos produzidos pela radiação a longo prazo (TAHUATA et al., 2013).

Como explicado anteriormente, os raios X são radiações ionizantes por serem capazes de ionizar átomos, isto é, transferem a sua energia produzindo pares iônicos (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2016a). Nos sistemas biológicos esses pares iônicos poderão reagir com outros átomos e moléculas, podendo causar danos biológicos, tais como interferindo no metabolismo celular, causando morte celular ou danificando o DNA (TAHUATA et al., 2013).

A energia mínima transportada pela radiação capaz de produzir ionização em sistemas biológicos é de 12,4 eV, uma vez que o corpo humano é constituído basicamente por água, hidrogênio, oxigênio, carbono e nitrogênio, cujos potenciais de ionização estão entre 12 e 15 eV (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2016a).

Quando a quantidade ou a frequência de efeitos biológicos produzidos pela radiação começa a desequilibrar o organismo humano ou o funcionamento de um órgão, surgem os efeitos orgânicos (doenças), denunciadores da incapacidade do organismo de superar ou reparar tais danos, tais como síndrome aguda das radiações, radiodermatite, câncer, leucemia, catarata e efeitos genéticos (TAHUATA et al., 2013).

Ademais, os danos biológicos causados no indivíduo pelos raios X dependem da quantidade total de radiação recebida (dose), do intervalo de tempo durante o qual a quantidade total de radiação foi recebida (taxa de dose), da quantidade total de radiação recebida anteriormente pelo organismo, sem recuperação, da textura orgânica individual, do dano físico recebido simultaneamente com a dose de radiação (queimadura, por exemplo); da forma de irradiação (fracionada, periódica ou única; corpo inteiro, parcial ou colimada) e da radiosensibilidade das células ou tecidos irradiados (TAHUATA et al., 2013).

2.3.1 Classificação dos efeitos biológicos

Os efeitos induzidos pela radiação ionizante podem ser classificados em função do valor da dose e forma de resposta em efeitos determinísticos ou efeitos estocásticos; em função do tempo de manifestação em efeitos imediatos ou efeitos tardios; e em função do nível de dano em efeitos somáticos ou efeitos genéticos/hereditários.

2.3.1.1 Efeitos determinísticos

São efeitos causados por irradiação total ou localizada em um tecido ou órgão, provocando um alto grau de morte ou dano celular que o organismo não consegue repor ou reparar, causando assim, alterações funcionais detectáveis no tecido ou órgão (TAHUATA et al., 2013).

Nesse tipo de efeito existe um limiar de dose. Acima do limiar de dose a severidade ou gravidade do dano aumenta com a dose aplicada e abaixo do limiar a perda de células é insuficiente para prejudicar o tecido ou órgão de um modo detectável. Assim, a probabilidade de efeito determinístico é considerada nula para valores de dose abaixo do limiar, e 100% para valores acima do limiar (TAHUATA et al., 2013). Apesar de possuírem o caráter determinístico, podem ser reversíveis ou não (NAVARRO, 2009).

2.3.1.2 Efeitos estocásticos

Os efeitos estocásticos ocorrem quando a irradiação total ou localizada em um tecido ou órgão causa alterações que mantêm as células viáveis, embora modificadas, levando ao desenvolvimento de doenças crônicas, como o câncer (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2017).

Este tipo de efeito apresenta caráter probabilístico, sendo que probabilidade de ocorrência do efeito é proporcional à dose de radiação recebida, isto é, há uma relação linear entre a dose de radiação e a probabilidade de ocorrência dos efeitos, sem a existência de limiar. Isto significa que doses pequenas, mesmo abaixo dos

limites estabelecidos por normas e recomendações de proteção radiológica, podem induzir tais efeitos (TAHUATA et al., 2013).

O risco aceito mundialmente de morte de adultos por câncer induzido pela radiação é de 0,05/Sv. Portanto, o valor do limite de dose anual de 20 mSv estabelecido para o indivíduo ocupacionalmente exposto corresponderia a um risco de morte por câncer de 1×10^{-3} (0,01%) e o limite de dose anual de 1 mSv estabelecido para o público estaria associado a um risco de morte por câncer de 5×10^{-5} (0,0005%) (XAVIER; HEILBRON, 2014a).

Segundo NAVARRO (2009), estudos apontam para a possibilidade de existência de limiar de exposição para efeitos estocásticos, além de trazer evidências, com experimentos *in-vitro*, de possíveis efeitos benéficos das radiação ionizante (*hormesis*) abaixo de 100 mSv. Porém, apesar da existência de evidências de limiar de dose e *hormesis* em baixas doses, continua sendo consenso, para propósitos regulatórios e de radioproteção, a utilização do princípio da precaução e a manutenção do modelo sem limiar de exposição e a correlação linear entre dose e efeito, mesmo para baixos valores de dose. Este modelo, utilizado até hoje, se baseia numa extração para doses muito baixas, do ajuste da curva obtida entre dose e efeitos biológicos observados em valores elevados.

2.3.1.3 Efeitos imediatos e tardios

Os efeitos imediatos são os primeiros efeitos biológicos causados pela radiação, que ocorrem num período de poucas horas até algumas semanas após a exposição, como por exemplo, a radiodermite. Esses efeitos predominam em doses muito elevadas, causando lesões severas ou até letais. Também predominam em doses intermediárias, porém com grau de severidade menor. Entretanto, pode ocorrer lesões severas a longo prazo. Em doses baixas não há efeitos imediatos (TAHUATA et al., 2013).

Os efeitos tardios ou retardados são aqueles que aparecem depois de anos ou mesmo décadas após a exposição. Podem ser causados por exposição à baixas doses por longo período de tempo, mas também por exposições agudas (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2017).

Os efeitos tardios, principalmente o câncer, dificultam bastante a implantação de critérios de segurança na exposição ocupacional à radiações ionizantes. Isto ocorre posto que, atualmente, não é possível utilizar critérios clínicos, pois quando os sintomas aparecem, o grau de dano causado já pode ser severo, irreparável e até letal (TAHUATA et al., 2013).

2.3.1.4 Efeitos somáticos

Os efeitos somáticos são aqueles que aparecem na própria pessoa irradiada e dependem da dose absorvida, da taxa de absorção da energia da radiação, da região e da área do corpo irradiada (TAHUATA et al., 2013).

2.3.1.5 Efeitos genéticos ou hereditários

Os efeitos genéticos ou hereditários são aqueles que surgem no descendente da pessoa irradiada, resultantes do dano produzido pela radiação em células dos órgãos reprodutores. Apresenta caráter cumulativo e independe da taxa de absorção da dose (TAHUATA et al., 2013).

De acordo com a Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP), a probabilidade de efeito hereditário significante para toda uma geração está na faixa de $(0,8 - 1,3) \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ (XAVIER; HEILBRON, 2014a).

2.4 GRANDEZAS E UNIDADES

Neste item serão apresentadas apenas as grandezas dosimétricas (dose de exposição e dose absorvida) e de proteção radiológica (dose equivalente e dose efetiva) de interesse para o presente trabalho.

As grandezas de proteção radiológica apresentadas são as presentes na Norma NN 3.01 – Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica (BRASIL, 2014), da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), uma das principais normas regulamentadoras no Brasil sobre proteção radiológica e que foi baseada na Publicação 60, de 1990, da *International Commission on Radiological Protection*

(ICRP), que promove o desenvolvimento da proteção radiológica e recomendações voltadas para as grandezas de proteção radiológica (XAVIER; HEILBRON, 2014b).

2.4.1 Dose de exposição (X)

Dose de exposição ou exposição é a quantidade de energia de radiação eletromagnética transferida para uma unidade de massa de ar, ou seja, corresponde à densidade de ionização produzida por unidade de massa de ar (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2016a), representado pela equação:

$$X = dQ/dm \text{ (C.Kg}^{-1}\text{)} \quad (2)$$

onde dQ é o valor absoluto da carga total de íons de um dado sinal, produzidos no ar, quando todos os elétrons liberados pelos fótons no ar, em uma massa dm , são completamente freados no ar (TAHUATA et al., 2013).

2.4.2 Dose absorvida (D)

Outro efeito da interação da radiação com a matéria é a transferência de energia, que nem sempre é absorvida totalmente, devido à variedade de modos de interação e à natureza do material. Assim, como a dose de exposição não permite quantificar a energia absorvida, definiu-se a dose absorvida (D), que é a quantidade de energia da radiação absorvida por unidade de massa do material (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2016a), em função de um ponto P, de interesse:

$$D = d\varepsilon/dm \text{ (J.Kg}^{-1} = \text{gray} = \text{Gy)} \quad (3)$$

onde $d\varepsilon$ é a energia média depositada pela radiação no ponto P de interesse, num meio de massa dm (TAHUATA et al., 2013).

2.4.3 Grandezas na Norma CNEN-NN-3.01 (2014)

2.4.3.1 Dose equivalente (H_T)

A mesma quantidade de dose absorvida dependendo do tipo de radiação ionizante resulta em efeitos diferentes no sistema biológico. Devido essa variabilidade definiu-se a dose equivalente, H_T , que corresponde ao valor médio da dose absorvida num órgão ou tecido necessário para produzir um determinado efeito, ponderado pela eficiência da radiação em produzir esse efeito (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2016a), ou seja, a dose equivalente, H_T , é o valor médio da dose absorvida num órgão ou tecido, D_T , devido à radiação R , multiplicada pelo fator de ponderação da radiação w_R .

$$H_T = D_T \cdot w_R \text{ (J.Kg}^{-1} = \text{sievert} = \text{Sv}) \quad (4)$$

onde D_T é o valor médio no órgão ou tecido e o w_R é o fator de ponderação da radiação.

Os valores de w_R para um determinado tipo e energia de radiação foram selecionados para serem representativos dos valores de EBR (Efetividade Biológica Relativa) em produzir efeitos estocásticos a baixas doses (XAVIER; HEILBRON, 2014b). A Tabela 1, abaixo, apresenta os valores de w_R .

Tabela 1 – Fatores de peso da radiação, w_R .

Tipo e faixa de energia	Fator de peso da radiação, w_R
Fótons, todas as energias	1
Elétrons e muons, todas as energias	1
Nêutrons ^[d] , energia:	
< 10 keV	5
10 keV a 100 keV	10
>100 keV a 2 MeV	20
> 2 MeV a 20 MeV	10
> 20 MeV	5
Prótons, exceto os de recuo, energia > 2 MeV	5
Partículas α , fragmentos de fissão, núcleos pesados	20

Fonte: Brasil (2010a).

2.4.3.2 Dose efetiva (E)

A dose efetiva é a soma das doses equivalentes ponderadas nos diversos órgãos e tecidos do corpo, expressa por:

$$E = \sum w_T \cdot H_T \text{ (J.Kg}^{-1} = \text{sievert} = \text{Sv}) \quad (5)$$

onde w_T é o fator de ponderação do órgão ou tecido T e H_T é a dose equivalente a ele atribuída.

Os valores de w_T estabelecidos pela ICRP 60 constam na Tabela 2 (TAHUATA, 2013).

Tabela 2 – Valores dos fator de peso w_T para tecido ou órgão definido na ICRP 60.

Órgão ou Tecido	Fator de peso, w_T
Gônadas	0,20
Medula óssea (vermelha)	0,12
Colon	0,12
Pulmão	0,12
Estômago	0,12
Bexiga	0,05
Mama	0,05
Fígado	0,05
Esôfago	0,05
Tireoide	0,05
Pele	0,01
Superfície óssea	0,01
Restantes	0,05

*cérebro, intestino grosso superior, intestino delgado, rins, útero, pâncreas, vesícula, timo, adrenais e músculo

Fonte: TAHUATA et al. (2013).

2.5 SEGURANÇA E PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

2.5.1 Legislação sobre segurança e proteção radiológica

No âmbito internacional, as recomendações relacionadas à Proteção Radiológica são elaboradas pela *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) e pela *International Commission on Radiation Units and Measurements* (ICRU) (TAHUATA et al., 2013).

No âmbito nacional, a legislação foi baseada nas recomendações das organizações internacionais e apresentam um padrão aceito globalmente (COSTA et al., 2017). O arcabouço legal brasileiro encontra-se nas normas da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE).

A ANVISA do Ministério da Saúde (MS) estabeleceu os parâmetros e regulamentou ações para o controle das exposições médicas, das exposições ocupacionais e das exposições do público, decorrentes das práticas com raios X diagnósticos, por meio da Portaria nº 453, de 1º de julho de 1998. Este órgão é responsável pela fiscalização e controle das práticas médicas no Brasil (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, 2018).

A CNEN é responsável pela normatização e controle do uso de equipamentos emissores de radiação ionizante (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, 2018). A Norma NN 3.01, de março de 2014, da CNEN, baseada na recomendação ECRP 60, trata das Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. Esta norma fundamenta-se no conceito de detrimento (qualquer dose, por menor que seja, está relacionada à probabilidade de ocorrência de efeitos estocásticos) e estabelece os três requisitos de radioproteção: justificação, otimização e limitação de dose (BRASIL, 2014).

O MTE, por meio da Portaria nº 485, de 11 de novembro de 2005, instituiu a Norma Regulamentadora 32 – Segurança e Saúde no Trabalho em Serviços de Saúde, visando estabelecer as diretrizes básicas para a implementação de medidas de proteção à segurança e à saúde dos trabalhadores dos serviços de saúde (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, 2018). Quanto à insalubridade devido às radiações ionizantes, a Norma Regulamentadora 15 definiu os limites máximos permissíveis para trabalhadores expostos, baseados em conceitos universais de proteção radiológica, em seu Anexo 5, da seguinte maneira:

Nas atividades ou operações onde trabalhadores possam ser expostos a radiações ionizantes, os limites de tolerância, os princípios, as obrigações e controles básicos para a proteção do homem e do seu meio ambiente contra possíveis efeitos indevidos causados pela radiação ionizante, são os constantes na Norma CNEN NN-3.01.

A Norma Regulamentadora 16 – Atividades e Operações Perigosas conceitua que a exposição às radiações ionizantes são potencialmente prejudiciais à saúde do trabalhador, acrescentando que não se pode evitar risco potencial provenientes dessas atividades ou reduzi-lo a zero, considerado o presente estado de coisas tecnológico (TAHUATA et al., 2013).

2.5.2 Requisitos básicos de proteção radiológica

Os requisitos básicos de proteção radiológica, antes denominados princípios de proteção radiológica, são o tripé de sustentação filosófica da radioproteção (DA SILVA; PAES, [201-?]). São eles: requisito da Justificação, requisito da Otimização e requisito da Limitação de Doses (BRASIL, 2014).

2.5.2.1 Justificação

A Norma CNEN NN 3.01 (BRASIL, 2014) define o requisito da justificação da seguinte maneira:

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 detimento correspondente, tendo-se em conta fatores sociais e econômicos, assim como outros fatores pertinentes.

Assim, o requisito da justificação estabelece que qualquer atividade ou prática envolvendo radiação ou exposição à radiação deve ser justificada em relação a outras alternativas (TAHUATA et al., 2013), isto é, que nenhuma prática deve ser realizada, a não ser que produza benefícios para os indivíduos expostos ou para a sociedade, suficientes para compensar o detimento correspondente (os malefícios correspondentes) (NAVARRO, 2009).

2.5.2.2 Otimização

O requisito da otimização está enunciado na Norma CNEN NN 3.01 (BRASIL, 2014) da seguinte maneira:

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

Este requisito estabelece que todas as exposições devem ser mantidas tão baixas quanto razoavelmente exequíveis, o conhecido princípio ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*), pois qualquer exposição de um tecido envolve um risco carcinogênico, dependendo da radiosensibilidade desse tecido por unidade de dose equivalente. Além disso, qualquer exposição das gônadas pode levar a um detimento genético nos descendentes do indivíduo exposto (TAHUATA et al., 2013).

A aplicação desse requisito requer a otimização da proteção radiológica em todas as situações onde possam ser controladas por medidas de proteção (TAHUATA et al., 2013). A otimização da proteção deve ser aplicada em dois níveis: nos projetos e a construções de equipamentos e instalações e nos procedimentos de trabalho (BRASIL, 1998).

2.5.2.3 Limitação da dose individual

De acordo com a norma CNEN NN 3.01 (BRASIL, 2014), o requisito da limitação de dose individual restringe a exposição normal dos indivíduos à radiação ionizante de tal modo que não exceda os limites de dose estabelecidos pela norma, tanto para os trabalhadores quanto para os indivíduos do público.

Os limites de dose individuais foram estabelecidos a fim de se evitar a ocorrência de efeitos determinísticos e minimizar a probabilidade de ocorrência de

efeitos estocásticos (NAVARRO, 2009). Assim, em condições de exposição rotineira, nenhum indivíduo ocupacionalmente exposto (IOE) pode receber, por ano, doses efetivas e/ou equivalentes superiores aos limites primários estabelecidos pela Norma CNEN NN 3.01, mostrados na Tabela 3 (BRASIL, 2014).

Em caso de mulheres grávidas ocupacionalmente expostas, a partir da notificação da gravidez, suas tarefas devem ser controladas de modo que seja improvável que o feto receba dose efetiva superior a 1 mSv durante o resto do período de gestação (BRASIL, 2014).

Ademais, menores de 18 anos não podem estar sujeitos a exposições ocupacionais (BRASIL, 2014).

Tabela 3 – Limites de Dose Anuais^[a]

Grandeza	Órgão	Indivíduo ocupacionalmente exposto	Indivíduo do público
Dose efetiva	Corpo inteiro	20 mSv ^[b]	1 mSv ^[c]
Dose equivalente	Cristalino	20 mSv ^[b]	15 mSv
	Pele ^[d]	500 mSv	50 mSv
	Mãos e pés	500 mSv	---

^[a] Para fins de controle administrativo efetuado pela CNEN, o termo dose anual deve ser considerado como dose do ano calendário, isto é, no período decorrente de janeiro a dezembro de cada ano.

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

^[c] Em circunstâncias especiais, a CNEN poderá autorizar um valor de dose efetiva de até 5 mSv em um ano, desde que a dose efetiva média em um período de 5 anos consecutivos, não exceda a 1 mSv por ano.

^[d] Valor médio em 1 cm² de área, na região mais irradiada.

Os valores de dose efetiva se aplicam à soma das doses efetivas, causadas por exposições externas, com doses efetivas comprometidas (integradas em 50 anos para adultos e até a idade de 70 anos para crianças, causadas por incorporações no mesmo ano).

Fonte: BRASIL (2014).

2.5.3 Fatores de segurança e proteção radiológica

Os fatores de segurança e proteção radiológica são aqueles que, na prática, contribuem para a proteção contra as radiações ionizantes, diminuindo a dose de

radiação recebida pelo IOE e auxiliam no gerenciamento da segurança e proteção radiológica de uma instalação. De acordo com Tahuata et al. (2013) e Xavier e Heilbron (2014b), são eles: controle de exposição (tempo, distância e blindagem); controle de áreas; controle dos IOE (monitoração individual e monitoração de área); controle das fontes de radiação; controle de equipamentos; defesa em profundidade; qualificação e treinamento de pessoal.

Segundo a Norma CNEN NN 3.01 (BRASIL, 2014), toda instalação deve possuir um Plano de Proteção Radiológica (PPR) e um Serviço de Proteção Radiológica. O PPR é um documento que descreve as diretrizes de proteção radiológica que serão adotadas pelo estabelecimento e o serviço de proteção radiológica é uma estrutura constituída especificamente com o objetivo de executar e manter o PPR da instalação. Desse modo, o Serviço de Proteção Radiológica de uma instalação deve efetuar o controle dos IOE, o controle das áreas, o controle das fontes de radiação, o controle dos equipamentos e manter atualizados os registros (TAHUATA et al., 2013).

Portanto, os requisitos e fatores de segurança e proteção radiológica são de grande importância para a proteção dos IOE e dos indivíduos do público (qualquer membro da população quando não submetido à exposição ocupacional) contra às radiações ionizantes primárias, de fuga, espalhadas e residuais.

2.5.3.1 Controle de Exposição

O controle da exposição à radiação fundamenta-se em três fatores principais: tempo de exposição, distância da fonte e blindagem.

2.5.3.1.1. Tempo de exposição

A prevenção do acúmulo desnecessário de Dose pode ser realizada pela redução do tempo de permanência em áreas onde estão presentes fontes de radiação ionizante, pois a dose acumulada é diretamente proporcional ao tempo de exposição (Dose = Taxa de Dose x Tempo) (XAVIER; HEILBRON, 2014b).

2.5.3.1.2. Distância

A atenuação da radiação também pode ser realizada pelo aumento da distância entre uma fonte de radiação ionizante e um indivíduo e, consequentemente, a diminuição do acúmulo de Dose. Para fontes puntiformes é válida a Lei do Inverso do Quadrado da Distância, qual seja:

$$D1 / D2 = (d1/ d2)^2 \quad (6)$$

onde D1 e D2 são as Taxas de Dose nas distâncias d1 e d2 da fonte, respectivamente (TAHUATA et al., 2013).

2.5.3.1.3. Blindagem

A introdução do fator blindagem, para fins de limitação de dose, é necessária quando os níveis de radiações ionizantes permanecem altos, mesmo aplicando-se baixo tempo de exposição e máxima distância da fonte (XAVIER; HEILBRON, 2014b).

São exemplos de dispositivos para minimizar a exposição à radiação: blindagem de instalações e acessórios como colimadores, biombos, aventais e óculos de proteção (XAVIER; HEILBRON, 2014b).

No cálculo da blindagem de instalações que abrigam equipamentos de raios X consideram-se dois tipos de barreiras: para a radiação proveniente do feixe útil e para a radiação espalhada pela superfície irradiada, somada à radiação de fuga do cabeçote (XAVIER; HEILBRON, 2014b). Os parâmetros considerados para estimar a espessura desejada de chumbo para prover a adequada blindagem são a intensidade da radiação (por exemplo, potência do equipamento emissor de raios X), o valor de dose aceitável após a atenuação pela blindagem, a localização dos equipamentos ou fontes emissoras de radiação, as direções de incidência do feixe, o tempo de operação dos equipamentos, os fatores de ocupação da instalação e das áreas vizinhas, entre outros aspectos (TAHUATA et al., 2013).

A blindagem do cabeçote dos equipamento de raios X é projetada de modo a não permitir que a radiação de fuga, para raios X diagnóstico, não exceda o valor 1 mGy/h a um metro do equipamento (XAVIER; HEILBRON, 2014b).

2.5.3.2 Controle de áreas

O controle das áreas é realizado pela avaliação e classificação das áreas da instalação, o controle de acesso, a sinalização dessas áreas e a execução de um programa de monitoração das mesmas (TAHUATA et al., 2013).

A áreas de trabalho com radiação, para fins de gerenciamento, devem ser classificadas em: áreas controladas, áreas supervisionadas e áreas livres, devendo estar definidas claramente do Plano de Proteção Radiológica (PPR) (BRASIL, 2010b; BRASIL, 2014) e revistas sempre que necessário, em função do modo de operação ou de qualquer modificação que possa alterar as condições de exposição normal ou potencial (BRASIL, 2010b).

Áreas controladas são áreas sujeitas a medidas específicas de proteção e segurança, com a finalidade de garantir que as exposições ocupacionais normais (rotineiras) estejam em conformidade com os requisitos de otimização e limitação de dose, bem como prevenir ou limitar exposições potenciais associadas a acidentes (BRASIL, 2014). Na determinação da delimitação física de qualquer área controlada devem ser considerados a magnitude das exposições normais esperadas, a probabilidade e magnitude das exposições potenciais e o tipo e extensão dos requisitos de proteção e segurança necessários; podendo se estabelecer como valores de taxa de dose para esta área 3/10 do limite de dose (BRASIL, 2010b). Ademais, as áreas controladas devem estar sinalizadas com o símbolo internacional de radiação ionizante (BRASIL, 2014).

As áreas supervisionadas são áreas nas quais as condições de exposição ocupacional necessitam ser mantidas sob supervisão, embora não requeiram a adoção de medidas específicas de proteção e segurança. Devem ser feitas reavaliações regulares das condições de exposições ocupacionais, com o intuito de verificar se a classificação continua adequada (BRASIL, 2014).

Áreas livre são aquelas que não são classificadas como controladas ou supervisionadas e não requerem medidas de proteção radiológica. Em condições

normais de operação, a dose para indivíduos nas áreas livres não deve ultrapassar o limite previsto para indivíduos do público, isto é, 1 mSv/ano ou fração proporcional ao tempo de permanência na área (BRASIL, 2011b).

2.5.3.3 Controle do indivíduo ocupacionalmente exposto

O controle dos IOE deve ser realizado por meio da avaliação da exposição ocupacional dos IOE, baseada na monitoração individual e na monitoração de área. Além disso, deve-se realizar avaliações (inicial e periódica) da aptidão dos IOE, por meio do PCMSO (BRASIL, 2014).

A monitoração individual deve atender os limites estabelecidos na seção 5.4, capítulo 5, da Norma CNEN NN 3.01 (BRASIL, 2014) (Tabela 3). Para estimar a dose efetiva devida à exposição externa à radiação ionizante, deve ser utilizado um monitor individual posicionado no ponto mais exposto do tórax. Para campos não uniformes ou radiação pouco penetrante, deve também ser estimada a dose equivalente em tecidos (cristalino, pele, mãos e pés) (BRASIL, 2010c).

A monitoração individual de rotina deve ser feita por meio da contratação de laboratórios autorizados pela CNEN, com frequência mensal (BRASIL, 2010c). Os laboratórios desenvolvem métodos de medidas que fornecem estimativas de doses ocupacionais, por meio de monitores chamados de dosímetro individual ou monitor pessoal (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, 2018).

Os métodos de medidas baseiam-se em fenômenos físicos apresentados por cristais detectores naturais ou artificiais, como a Termoluminescência (TL) e a Luminescência Opticamente Estimulada (OSL, na sigla em inglês). Esses detectores apresentam a capacidade de armazenar a energia transferida pela passagem de radiação ionizante, permitindo a medida de doses integradas em determinados períodos (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, 2018).

A subseção 5.3.8, alínea n, capítulo 5, da Norma CNEN NN 3.01 (BRASIL, 2014) estabelece que o titular deve definir e submeter à CNEN os níveis operacionais e demais restrições adotados para as monitorações ocupacionais.

Os níveis operacionais são os níveis de dose, estabelecidos pelo responsável pelo estabelecimento, baseados nos níveis de referência e na aplicação de processos de otimização.

Os níveis de referência são os níveis de dose, estabelecidos pela CNEN, com a finalidade de determinar ações a serem desenvolvidas quando esses níveis forem alcançados ou previstos de serem excedidos. Esses níveis incluem os níveis de registro, níveis de investigação, níveis de ação e níveis de intervenção.

O nível de registro para monitoração individual mensal dos IOE é de 0,20 mSv para dose efetiva. Assim, todas as doses maiores ou iguais a 0,20 mSv devem ser registradas (BRASIL, 2010b).

O nível de investigação para monitoração individual dos IOE deve ser, para dose efetiva, 6 mSv por ano ou 1 mSv em qualquer mês. Para dose equivalente, o nível de investigação para pele, mãos e pés é de 150 mSv por ano ou 20 mSv em qualquer mês. Para o cristalino, o nível de investigação é de 6 mSv por ano ou 1 mSv em qualquer mês (BRASIL, 2010b).

Os níveis de intervenção e os níveis de ação são estabelecidos pela CNEN, com o objetivo de proteger os indivíduos do público das exposições crônicas (BRASIL, 2010d). A Tabela 4 apresenta os níveis recomendados pela CNEN.

Tabela 4 – Níveis de Referência Recomendados pela CNEN.

Conceito	Dose Anual Existente
Nível genérico para avaliação da implementação de ações de intervenção	10 mSv/a
Nível para implementação de ações de intervenção, independente de justificativa	50 mSv/a

Fonte: Brasil (2010d)

Os níveis genéricos de intervenção são níveis de referência estabelecidos para serem considerados na fase de planejamento e utilizados em processos de justificativa e otimização para situações de intervenção.

A estimativa ou medida de um valor de dose existente acima de 10 mSv/a deve sempre demandar uma avaliação para a implementação de medidas de proteção ou de remediação. Valores inferiores ao valor genérico de referência normalmente não justificam ações de intervenção para exposições crônicas.

Embora a CNEN não estabeleça um nível superior de intervenção, a partir do qual a introdução de uma medida de proteção ou de remediação seja mandatória,

considera justificada a intervenção quando a dose existente for superior a 50 mSv por ano (BRASIL, 2010d).

A monitoração de área ou levantamento radiométrico têm como objetivo verificar a adequação das blindagens estruturais e comprovar a proteção oferecida para os IOE e indivíduos do público. Na monitoração de área são efetuadas medidas das doses de radiação nas áreas adjacentes às salas onde estão localizadas as fontes de radiação ionizante, escolhendo-se pontos de interesse ao redor da sala e atrás das barreiras primárias e secundárias. Os níveis medidos são corrigidos por estimativas das taxas de uso do equipamento e das taxas de ocupação em cada local e, os resultados são então comparados com os limites estabelecidos pela legislação (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, 2018).

2.5.3.4 Controle das fontes de radiação

As fontes e instalações devem ser mantidas em condições de segurança tais que sejam prevenidos roubos, avarias e quaisquer ações de pessoas físicas ou jurídicas não autorizadas (XAVIER; HEILBRON, 2014b).

Ademais, o controle das fontes de radiação deve ser realizado por meio de um programa de controle físico, com a consequente verificação da integridade das fontes (TAHUATA et al., 2013).

2.5.3.5 Controle de equipamentos

Os equipamentos geradores de radiação devem passar por programas de inspeção periódica enquanto que os instrumentos utilizados para a proteção radiológica devem ser calibrados com a periodicidade estipulada em norma específica (TAHUATA et al., 2013).

2.5.3.6 Defesa em profundidade

Um sistema de segurança e proteção do tipo barreiras múltiplas deve ser aplicado à fontes e instalações, devendo ser adequado à intensidade e à probabilidade das exposições potenciais. Assim, a falha de uma das barreiras deve

ser compensada ou corrigida pela presença de barreiras subsequentes (XAVIER; HEILBRON, 2014b).

Ademais, as condições de trabalho dos trabalhadores devem ser as mais seguras possíveis, sendo que o risco deve ser reduzido de acordo com a hierarquia de controles (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2016b). Assim, as medidas de controle devem priorizar a eliminação ou redução da condição perigosa, seguida da adoção de boas práticas de engenharia (dispositivos elétricos ou mecânicos de controle de acesso à fonte, por exemplo), de modo a minimizar a necessidade de implementação de procedimentos administrativos ou de emprego de equipamentos de proteção individual para a proteção e segurança durante operação normal (XAVIER; HEILBRON, 2014b).

2.5.3.7 Qualificação e treinamento

As pessoas envolvidas em atividades relacionadas a segurança e proteção radiológica devem ser adequadamente qualificadas e treinadas, de modo que tenham ciência das suas responsabilidade e dos riscos associados à radiação ionizante, da necessidade de respeitar os procedimentos de trabalho e as regras de segurança e proteção radiológica (XAVIER; HEILBRON, 2014b).

Além disso, é necessário identificar e disponibilizar peritos e profissionais qualificados no que se refere ao cumprimento das normas de segurança e proteção radiológica, afim de prover aconselhamento (XAVIER; HEILBRON, 2014b).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O processo de avaliação de riscos da exposição ocupacional à radiação ionizante (raios X), nas atividades internas da empresa de manutenção de equipamentos para diagnóstico médico de imagem em estudo, foi realizado conforme as seguintes etapas:

- 1) Levantamento de informações básicas;
- 2) Análise de riscos;
- 3) Recomendações de opções de controle.

Cabe ressaltar que, conforme apresentado no item objetivo do presente trabalho, a análise de risco da exposição à radiação ionizante foi conduzida apenas nas atividades de manutenção corretiva de equipamentos, realizadas internamente na empresa (“dentro da empresa”); não abrangendo as atividades de manutenção preventiva e as atividades externas (realizadas no cliente).

3.1 LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES BÁSICAS

Esta etapa constituiu na obtenção de informações básicas com o objetivo de conhecer a empresa e o negócio da empresa, caracterizar o processo produtivo, as condições de trabalho (instalações físicas e materiais), a organização do trabalho (divisão do trabalho, níveis hierárquicos, procedimentos de trabalho, etc.), a população de trabalhadores e levantar as práticas de SST e proteção radiológica existentes na empresa.

Foram realizadas 5 (cinco) visitas à empresa para o levantamento dessas informações, sendo que os dados foram coletados por meio de reuniões com o diretor de planejamento da empresa (co-proprietário da empresa), o gerente de recursos humanos (responsável pela Segurança e Saúde do Trabalho) e os funcionários responsáveis pela manutenção dos equipamentos e, também, por meio do acompanhamento e observações das atividades dos trabalhadores. Não foi possível ter acesso ao diretor técnico, responsável pela área técnica da empresa.

Porém, o diretor de planejamento apresenta amplo conhecimento de todos os processos da empresa, tendo inclusive já trabalhado na área técnica.

3.2 ANÁLISE DE RISCOS

A análise de riscos foi realizada conforme metodologia de identificação de perigos e avaliação de riscos ocupacionais desenvolvida por Lapa (2006).

A escolha dessa metodologia se deve ao fato dela apresentar uma sugestão prática para efetivamente fazer a identificação das condições perigosas e avaliar os riscos no foco de prover o efetivo gerenciamento.

Essa metodologia é uma metodologia qualitativa, baseada no preenchimento dos requisitos normativos da OHSAS, principal sistema de gerenciamento de segurança e saúde ocupacional adotado no mundo na atualidade e constitui-se de quatro fases principais:

- 1) Mapeamento dos perigos
 - Construção da matriz gerencial
 - Identificação dos perigos
 - Classificação dos perigos
- 2) Estimativa dos riscos
 - Definição dos critérios de avaliação
 - Construção da matriz de avaliação
 - Classificação dos riscos
- 3) Definição da tolerabilidade dos riscos
- 4) Definição do indicador de desempenho

Ademais, a identificação e a classificação das condições perigosas e a estimativa de riscos foi realizada por setor da empresa, uma vez as atividades envolvente radiação ionizante são realizadas em três espaços físicos diferentes e com medidas de proteção radiológica diferentes. Assim, a análise de riscos foi

conduzida por setor: Laboratório de Eletrônica, Laboratório de Inserção e Técnico de Campo (nas Baías).

3.2.1 Mapeamento dos perigos

3.2.1.1 Construção da matriz gerencial

A matriz gerencial foi elaborada, em 2 reuniões, juntamente com o diretor de planejamento e o gerente de recursos humanos. Realizou-se o levantamento de toda a estrutura gerencial da empresa, representando-a até o nível de atividade, incluindo os cargos que a executam, conforme proposto por Lapa (2006).

Não foi possível levantar de forma exaustiva todas as atividades realizadas pela empresa, devido à especificidades dos equipamentos, que dependem da marca, ano de fabricação, tecnologia envolvida, etc. Assim, as atividades foram levantadas de modo que representassem as atividades-chave e que são comuns a todos os equipamentos. Por exemplo: alinhamento do tubo, troca de placa de controle de kV e mA, troca de placa de controle do giro do anodo, etc.

3.2.1.2 Identificação do perigo

Perigo é a exposição à condição perigosa. Condição perigosa é a fonte, a situação ou o ato que pode levar a um incidente ou acidente, ou seja, é a condição com potencial de gerar um dano. Se a condição perigosa estiver presente, mas não houver exposição a ela, então não há perigo (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2016b).

A identificação do perigo foi realizada, observando os trabalhadores no exercício efetivo de trabalho, em dois momentos: no primeiro momento, durante a fase de coleta de informações básicas, foram realizadas observações globais e abertas da atividade dos trabalhadores (nível macro), quando nas primeiras visitas ao posto de trabalho; no segundo momento, após a construção da matriz gerencial, foram realizadas observações sistemáticas participativas (observando o sujeito realizando as tarefas e fazendo perguntas), com o objetivo de compreender os procedimentos realizados, as causas de perigo e as práticas de SST efetivamente

utilizadas. Além disso, esta etapa de trabalho foi validada, em reunião, com os trabalhadores, o gerente de recursos humanos e o diretor de planejamento.

3.2.1.3 Classificação dos perigo

A classificação do perigo consiste em caracterizá-lo, ou seja, identificar os atributos definidos para o perigo. Os atributos utilizados foram os propostos por Lapa (2006), quais sejam:

- (a) Danos, lesão ou doença: descreve a consequência caso a condição perigosa se materialize;
- (b) Medidas de controle: indica as ações de proteção e prevenção que são efetivamente adotadas naquela atividade com o objetivo eliminar ou reduzir os efeitos decorrentes da materialização da condição perigosa;
- (c) Classe de perigo: classifica o perigo de acordo com a legislação vigente (NR- 9) (neste caso a classe de perigo é físico (F), por tratar-se de radiação ionizante raios X;
- (d) Incidência do gerenciamento (I): indica o nível de ação que a empresa tem sobre as causas do perigo/evento/dano, podendo ser uma ação Direta (D) ou Indireta (I). Na realidade esse atributo está relacionado ao nível de responsabilidade que a empresa tem caso ocorra um incidente;
- (e) Condição de operação (O): identifica a natureza da atividade, podendo ser rotineira (R), não rotineira (nR), situação atípica (A), situação de emergência (E);
- (f) Temporalidade (T): indica a situação da atividade no tempo, avaliando se a atividade é corrente (C) ou planejada para ser implementada (P);
- (g) Origem da condição perigosa (OP): identifica se a condição perigosa está associada à execução da atividade perigosa (A) ou está presente no ambiente de trabalho no qual as pessoas exercem seu trabalho, independente da atividade que executam (T).

3.2.2 Estimativa dos riscos

Para a estimativa dos riscos, primeiramente, discutiu-se qual critérios de avaliação adotar. Se se adotaria os previstos no PPRA da empresa ou se utilizaria outro critério (BS 8800:1996, UNE 81905 EX, etc.). Assim, fez-se uma análise dos critérios de avaliação de probabilidade e severidade adotados pelo PPRA da empresa, bem como da matriz de risco e os resultados obtidos na análise de risco.

A empresa optou pelo modelo proposto por Lapa (2006), pois a análise de riscos do PPRA não levou em consideração a existência ou não de medidas de controle e a eficácia das mesmas e também porque os critérios do PPRA não estavam suficientemente detalhados de modo a atender a metodologia proposta por Lapa (2006). Entretanto, em relação à avaliação de probabilidade, o critério de avaliação de frequência do perigo, proposto por Lapa (2006), foi modificado, com o objetivo de diminuir a sua subjetividade. Utilizou-se o critério adotado pela Portaria nº 3.311, de 29 de novembro de 1989, do MTE (BRASIL, 1989), embora já revogada. Assim, a frequência do perigo foi classificada em eventual, intermitente e contínua, utilizando-se a seguinte definição:

[...] a análise do tempo de exposição traduz na quantidade de exposições em tempo (horas, minutos, segundos) a determinado risco operacional sem proteção, multiplicado pelo número de vezes que esta exposição ocorre ao longo da jornada de trabalho".

Para o cálculo do tempo de exposição realizou-se o levantamento do tempo de exposição para todas as atividades por tipo de equipamento.

Desse modo, os critérios adotados para a classificação da probabilidade ficaram estabelecidos conforme a Figura 1, apresentada a seguir.

Figura 1 – Classificação da probabilidade.

Avaliação da Frequência de exposição ao perigo (EP)		
Eventual	Intermitente	Contínua
Tempo de exposição de 25 a 30 min/dia de trabalho	Tempo de exposição de 300 a 400 min/ dia de trabalho	Quase todo ou todo o dia de trabalho
Avaliação da Eficácia do meio de controle à exposição ou ao dano, doença ou lesão (EC)		
Eficaz	Precário	Inexistente
Se existir alguma forma de controle/dispositivo garantindo que mesmo numa distração não ocorra lesão, doença ou dano	Se existir alguma forma de controle ou dispositivo que possa evitar e/ou atenuar a lesão, doença ou dano, ou cuja ação depende de atitude ou atenção de quem executa	Se não existir nenhuma forma de controle ou dispositivo que possibilite evitar ou atenuar a lesão, doença ou dano
Avaliação do reconhecimento das pessoas relativo ao perigo ou da situação perigosa (CP)		
Fácil	Moderada	Difícil
Se qualquer pessoa com baixo nível de experiência, conhecimento da atividade ou instrumento de medição é capaz de identificar o perigo existente na atividade, ou quando existe sinalização visível no local onde a atividade é executada, alertando quanto aquele perigo ("Tá na cara")	Se o perigo pode ser identificado por meio de análise realizada por pessoas com experiência e/ou conhecimento da atividade ou com uso de instrumentos de medição apropriados.	Se o perigo é identificado apenas de maneira reativa (ex.: acidentes e incidentes) ou pelo uso de metodologias e/ou monitoramento específicos.
Avaliação da exposição ao perigo considerando o número de pessoas (EP)		
Pequeno	Médio	Grande
Quando o número de pessoas expostas ao perigo for correspondente a menos que 20% do efetivo	Quando o número de pessoas expostas ao perigo for superior a 20% do efetivo e inferior a 50% do efetivo	Quando as pessoas expostas ao perigo excede a 50% do efetivo
1	2	3
Valores atribuídos		

Fonte: Adaptado de Lapa (2006).

Os critérios para a classificação da severidade e a matriz de classificação dos perigos nas classes de riscos ficaram tal como proposto por Lapa (2006), apresentadas nas tabelas a seguir (Figuras 2 e 3).

A Figura 4 apresenta as classes de risco, baseada na matriz de classificação dos perigos nas classes de riscos.

Figura 2 – Classificação da severidade.

Avaliação da gravidade da lesão, dano ou doença potencial (GV)			
Baixa	Média	Alta	Extrema
Se a lesão, doença ou dano for inexistente, desprezível ou, no máximo lesões superficiais, cortes e arranhões recuperáveis, irritação irreversível nos olhos, beliscões elétricos, doenças com desconforto temporário, afecções passageiras, irritações e incômodos, todos os eventos típicos de primeiros socorros.	Se a lesão resultar em lacerções, queimaduras superficiais, fraturas menores, contusões e torções, perdas de pequenas partes do corpo, tais como polpa de dedo, unha, dermatites, doenças com desabilidades não permanentes e sem incapacitação para o trabalho.	Se houver potencial para decorrer amputações, fraturas múltiplas, queimaduras generalizadas, de segundo e terceiro grau, envenenamento e lesões incapacitantes, a exemplo de surdez, cegueira, DORT, doenças agudas provocadas por exposição curta ou temporária a agente externo.	Se resultar em câncer ocupacional, doenças degenerativas ou que podem encurtar a vida seriamente ou mesmo fatalidade
1	3	5	9
Valores atribuídos			
Avaliação da escala de abrangência do dano, lesão ou doença potencial (EA)			
Isolada	Limitada	Ampla	
Se a lesão ou doença decorrente é limitada a apenas uma pessoa no exercício das suas atividades. Ou, em caso de perda de material ela seja restrita à atividade relacionada.	Se a lesão ou doença abranger mais de uma pessoa e limitada apenas a área de avaliação. Ou, em caso de perda material ela pode afetar a área onde ocorreu, sem prejuízo de terceiros ou outras unidades	Se a lesão ou doença pode abranger, além das pessoas na sua área de trabalho, outras áreas adjacentes ou pessoas que circulam na área extrapola os limites da área ou mesmo da empresa. Em caso de perdas materiais, quando elas podem afetar atividades da empresa e/ou prejudicar terceiros.	
1	3	5	
Valores atribuídos			

Fonte: Lapa (2006).

Figura 3 – Matriz de classificação dos perigos nas classes de riscos

SEVERIDADE	PROBABILIDADE								
	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	8	10	12	14	16	18	20	22	24
4	16	20	24	28	32	36	40	44	48
6	24	30	36	42	48	54	60	66	72
8	32	40	48	56	64	72	80	88	96
10	40	50	60	70	80	90	100	110	120
12	48	60	72	84	96	108	120	132	144
14	56	70	84	98	112	126	140	154	168

Até 18 = TRIVIAL	Classificação da Significância do Risco ou identificação das classes de risco
Até 36 = TOLERÁVEL	
Até 56 = MODERADO	
Até 98 = SUBSTANCIAL	
>98 = INTOLERÁVEL	

Fonte: Lapa (2006).

Figura 4 – Classificação dos perigos nas classes de riscos.

Classes de Risco				
Trivial (Classe A)	Tolerável (Classe B)	Moderado (Classe C)	Substancial (Classe D)	Intolerável (Classe E)
Até 18	19 a 37	38 a 56	57 a 99	>99
Faixas de classificação				

Fonte: Lapa (2006).

A identificação do perigo, a classificação dos perigos e a estimativa dos riscos foram realizadas, por meio de 2 reuniões, com a participação do diretor de planejamento, do gerente de recursos humanos, do funcionário técnico responsável pelo Laboratório de Inserção e do Supervisor do Laboratório de Eletrônica. A validação da análise de riscos foi realizada pelo Diretor de Planejamento. Não foi possível a participação de funcionários técnicos de campo.

3.2.3 Definição da tolerabilidade do risco

Para a definição da tolerabilidade de risco, ou seja, a determinação da classe de risco a partir da qual a organização vai priorizar esforços e recursos para adotar medidas de prevenção e proteção afim de minimizar os efeitos da exposição à condição perigosa, também adotou-se o modelo proposto por Lapa (2006), ou seja, utilizou-se como referência para nível de ação gerencial a classe de risco moderado, conforme a Figura 5, apresentada abaixo.

Figura 5 – Definição do nível de ação gerencial em função da tolerabilidade estabelecida da classe de risco (moderado).

Classe de risco				
Trivial (Classe A)	Tolerável (Classe B)	Moderado (Classe C)	Substancial (Classe D)	Intolerável (Classe E)
Adotar meios de manutenção das ações de controle existentes		Reavaliar cuidadosamente e, a permanecer a classificação, avaliar a viabilidade da ação com vistas à melhoria dos controles de tal maneira a diminuir as chances de ocorrência ou atenuar sua consequência, caso ocorra.	Elaborar um Plano de Ação para adoção de meios de controle que contribuam para trazer o risco, pelo menos, para a classe Moderado, numa primeira abordagem.	Exige adoção imediata de controle do risco. A tarefa deve ser imediatamente revista com foco no risco associado.
As atividades ou tarefas críticas devem ser objeto de ação seja de natureza física, de procedimento ou instrução de serviço com vistas a criar barreiras que contribuam com a manutenção ou diminuição da probabilidade de resultarem em acidente ou que atenuem a sua abrangência.				
Nível de ação gerencial				

Fonte: Lapa (2006).

A tolerabilidade de risco moderado significa que perigos classificados em risco trivial e tolerável são considerados como riscos gerenciados e perigos classificados em risco moderado, substancial e intolerável são considerados como riscos não gerenciados e que necessitam de uma avaliação objetivando implementar

meios de prevenção e proteção que permitam atingir uma situação aceitável, isto é, de gerenciamento do risco.

3.2.4 Definição dos indicadores de desempenho

Os indicadores de desempenho foram definidos e calculados de acordo com a metodologia desenvolvida por Lapa (2006). São dois os indicadores: escore de risco (ER) e fator de risco (FR).

O escore de risco é um indicador qualitativo convertido para uma escala numérica. É obtido pelo somatório dos ponderadores de riscos de cada classe de risco multiplicados pelo número de perigos registrados na classe de risco. Os ponderadores de risco da cada classe são definidos numa escala logarítmica (LAPA, 2006).

O fator de risco está relacionado ao nível de tolerabilidade aceito para o perigo comparado com a situação atual do perigo. É calculado dividindo-se o escore de risco da situação real dos perigos identificados com o escore da situação ideal de risco considerando o nível de tolerabilidade definido para o perigo (LAPA, 2006).

3.3 RECOMENDAÇÕES DE OPÇÕES DE CONTROLE

Para os perigos considerados como riscos não gerenciados (moderados, substanciais e intoleráveis), juntamente com o gestor da empresa, desenvolveu-se recomendações de opções de controle.

3.4 A EMPRESA E O NEGÓCIO DA EMPRESA

Trata-se de uma empresa, de pequeno porte, de assessoria em vendas, locação e manutenção de equipamentos para diagnóstico médico de imagem, situada no Paraná, que realiza atendimento em todo o Brasil.

Segundo informações fornecidas pela empresa, a mesma encontra-se classificada na Relação da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) em comércio atacadista de máquinas, aparelhos e equipamentos para uso odonto-médico-hospitalar; partes e peças, apresentando Grau de Risco 3 (GR) para

fins de dimensionamento do SESMT – Serviços Especializados em Segurança e Medicina do Trabalho.

Os equipamentos de radiodiagnóstico com os quais a empresa trabalha são: raios X, mamografia, densitometria óssea, tomografia, arco cirúrgico e hemodinâmica.

3.5 ESTRUTURA ADMINISTRATIVA

A empresa está administrativamente estruturada em três diretorias: Diretoria Técnica, Diretoria Administrativo-Financeira e Diretoria de Planejamento. A Diretoria Técnica, por sua vez, está dividida em quatro departamentos (Central de Planejamento e Controle de Serviços, Manutenção Técnica de Campo e Interna, Almoxarifado e Logística de Transporte de Equipamentos e Peças e Almoxarifado), sendo que a Manutenção Técnica de Campo e Interna é o departamento responsável pela manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos radiodiagnóstico.

O departamento de Manutenção Técnica de Campo e Interna encontra-se dividido em quatro setores: Laboratório de Geradores, Laboratório de Eletrônica, Laboratório de Inserção e Técnico de Campo.

3.6 PROCESSO PRODUTIVO

O processo de manutenção corretiva dos equipamentos inicia-se com a entrada do problema por meio da Central de Planejamento e Controle de Serviços, que identifica a demanda (problema descrito pelo cliente) e encaminha para o Departamento de Manutenção Técnica de Campo e Interna. O Departamento de Manutenção Técnica de Campo e Interna analisa o problema e a sua resolução poderá ser feita remotamente, no cliente ou dentro da empresa, dependendo da complexidade e dos recursos materiais necessários para a sua resolução. A resolução remota é realizada quando o problema encontrado é muito simples, sendo possível o próprio cliente resolvê-lo apenas com o auxílio e a orientação dos técnicos da empresa via telefone. A resolução no cliente ocorre quando não foi possível resolver o problema remotamente, por apresentar maior complexidade e

exigência de recursos materiais (por exemplo, troca de peças), sendo necessário a visita do técnico ao local onde se encontra os equipamentos (laboratórios, clínicas e hospitais). A resolução dentro da empresa ocorre quando o problema apresenta complexidade e necessidade de recursos materiais que inviabilizam a resolução do mesmo no cliente. Neste caso, o equipamento é retirado do cliente e levado para a empresa.

3.7 DIVISÃO DO TRABALHO

A manutenção externa, ou seja, no cliente, é realizada pelos técnicos de campo do Setor Técnico de Campo e não abrange o escopo desse trabalho. Entretanto, os funcionários desse setor trabalham realizando atividades de manutenção interna quando não há atividades externas ou quando o equipamento necessita de manutenção com recursos disponíveis apenas dentro da empresa.

A manutenção interna (dentro da empresa) pode ser dividida em manutenção eletrônica, manutenção mecânica e manutenção da geração de raios X. Nas atividades de manutenção eletrônica e mecânica não há emissão de raios X, assim não ocorre exposição dos trabalhadores à radiação ionizante. As manutenções da geração de raios X podem envolver ou não emissão de raios X dependendo da atividade.

As atividades que envolvem a manutenção interna são realizadas pelos setores Laboratório de Geradores, Laboratório de Eletrônica, Laboratório de Inserção e pelos funcionários do Setor Técnico de Campo quando realizam atividades internamente.

No Laboratório de Geradores são realizadas atividades de manutenção dos geradores de alta tensão e que não envolvem emissão de raios X.

No Laboratório de Eletrônica, além da manutenção eletrônica de todos os tipos de equipamentos, são realizados a manutenção mecânica e de geração de raios X do arco cirúrgico, com emissão de raios X.

No Laboratório de Inserção são realizadas atividades de manutenção eletrônica, mecânica e de geração de raios X dos equipamentos de raios X e mamografia, com emissão de raios X.

Os funcionários do Setor Técnico de Campo quando trabalham internamente realizam suas atividades nas baias (salas de testes blindadas) (ver item 4.1.3 Instalações físicas). As atividades envolvem manutenção eletrônica, mecânica e de geração de raios X dos equipamentos de tomografia, hemodinâmica e densitometria óssea, com emissão de raios X.

Assim, como o escopo do trabalho abrange a análise de riscos da exposição à raios X, a avaliação foi realizada apenas nas atividades que envolvem emissão de raios X, ou seja, nas atividades realizadas pelo setores de Laboratório de Eletrônica, Laboratório de Inserção e as atividades dos funcionários do Setor Técnico de Campo quando trabalham internamente, nas Baias.

3.8 INSTALAÇÕES FÍSICAS

A empresa está estruturada fisicamente nos seguintes setores: (1) Escritório; (2) Recepção; (3) Depósitos; (4) Baias; (5) Laboratório de Geradores; (6) Laboratório de Inserção; (7) Laboratório de Geradores; (8) Estoque (almoxarifado); (9) Suporte ao cliente; (9) Tecnologia da informação; e (10) Laboratório de Eletrônica. O Anexo A apresenta a planta baixa do prédio de dois andares, com 1500 m² de área construída, que abriga a empresa.

No Escritório e na Recepção estão alocados os funcionários subordinados à Diretoria Administrativo-Financeira e à Diretoria de Planejamento. E nos demais setores estão alocados os funcionários subordinados à Diretoria Técnica.

O Laboratório de Eletrônica é construído em alvenaria, piso em cimento liso, teto em forração plástica, iluminação natural, complementada por lâmpadas fluorescentes, com ambiente climatizado (Figura 6).

O Laboratório de Inserção é construído em alvenaria, piso em cimento liso, teto em estrutura metálica, iluminação natural, complementada artificialmente por lâmpadas fluorescentes, com ambiente climatizado (Figura 7).

As Baias são constituídas por quatro salas de testes blindadas. O Anexo B apresenta a planta baixa de uma baia. Todas as baias apresentam as mesmas dimensões. As Figura 8 e 9 apresentam as vistas externa e interna das baias.

Figura 6 - Vista do Laboratório de Eletrônica.



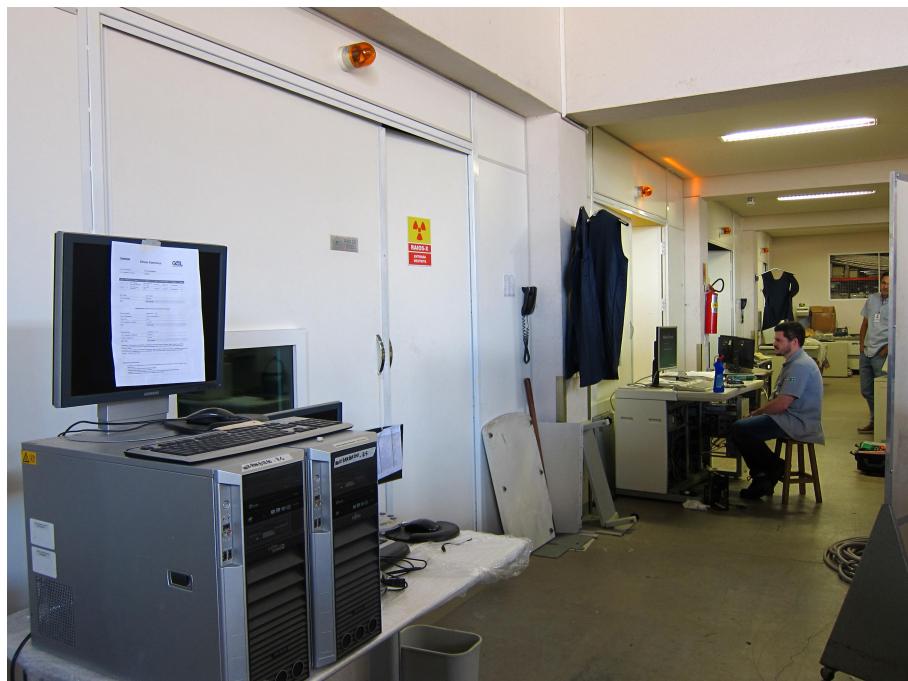
Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 7 - Vista do Laboratório de Inserção.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 8 - Vista externa das Baías.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 9 - Vista interna das Baías.



Fonte: Arquivo pessoal.

A empresa está localizada numa zona comercial, as áreas vizinhas são compostas de empreendimentos comerciais e com presença de residências.

3.9 RECURSOS HUMANOS

A empresa apresenta um total de 32 funcionários efetivos e 1 funcionário terceirizado que realiza serviços gerais de manutenção predial em tempo integral dentro da empresa. Do total de funcionários efetivos, 6 são do sexo feminino e 26 do sexo masculino. O funcionário terceirizado é do sexo masculino.

O departamento de Manutenção Técnica de Campo e Interna, responsável pela manutenção dos equipamentos de radiodiagnóstico, compõe a equipe da Diretoria Técnica, podendo, porém, receber orientação por parte da Diretoria de Planejamento. É constituído por 16 funcionários, do sexo masculino, sendo 1 funcionário no Laboratório de Geradores, 1 funcionário do Laboratório de Inserção, 3 funcionários do Laboratório de Eletrônica e 11 funcionários do setor de Técnico de Campo.

O turno dos funcionários internos é de 8 horas, com entrada às 8:00 horas e saída às 18:00 horas, com pausa para almoço de 1 hora e refeição fornecida no refeitório da empresa.

A Tabela 5 apresenta o número de funcionários por setor e os seus respectivos cargos.

Tabela 5 – Funcionários por setor e respectivos cargos.

Setor	Número de funcionários	Cargo
Laboratório de Geradores	01	Técnico de Campo
Laboratório de Inserção	01	Técnico de Manutenção de Sistemas e Instrumentos Júnior
Laboratório de Eletrônica	01	Supervisor de Manutenção de Máquinas e Equipamentos
	02	Técnico de Manutenção de Sistemas Instrumentos Pleno
Técnico de Campo	03	Técnico de Manutenção de Sistemas e Instrumentos Júnior
	05	Técnico de Manutenção de Sistemas e Instrumentos Pleno
	02	Técnico de Manutenção de Sistemas e Instrumentos Sênior
	01	Técnico de Manutenção de Sistemas e Instrumentos Master
	01	Assistente Técnico Mecânico

Fonte: Arquivo pessoal.

A descrição de cargos da empresa está no documento Plano de Cargos e Salários. Resumidamente, segundo informações da empresa, na prática, os cargos descritos envolvem as tarefas relacionadas à manutenção de equipamentos radiodiagnósticos, conforme a Tabela 6.

Tabela 6 – Cargos da empresa, tarefas realizadas e equipamentos atendidos em relação aos cargos.

Cargo	Tarefas	Equipamentos
Assistente técnico mecânico	Manutenção mecânica	Raios X convencional Mamografia Densitometria óssea Tomografia Densitometria óssea Hemodinâmica
Técnico de Manutenção de Sistemas Instrumentos Júnior	Manutenção mecânica Manutenção eletrônica Manutenção da geração de raios-X	Raios X convencional Mamografia
Técnico de Manutenção de Sistemas e Instrumentos Pleno	Manutenção mecânica Manutenção eletrônica Manutenção da geração de raios-X	Raios X convencional Mamografia Densitometria óssea Tomografia
Técnico Manutenção de Sistemas e Instrumentos Sênior	Manutenção mecânica Manutenção eletrônica Manutenção da geração de raios-X	Raios X convencional Mamografia Densitometria óssea Tomografia Densitometria óssea Hemodinâmica
Técnico Manutenção de Sistemas e Instrumentos Master	Manutenção mecânica Manutenção eletrônica Manutenção da geração de raios-X Suporte técnico aos demais técnicos	Raios X convencional Mamografia Densitometria óssea Tomografia Densitometria óssea Hemodinâmica
Supervisor de Manutenção de Máquinas e Equipamentos	Manutenção mecânica Manutenção eletrônica Manutenção da geração de raios-X Suporte técnico aos demais técnicos Planejamento das atividades da equipe técnica ou parte dela	Raios X convencional Mamografia Densitometria óssea Tomografia Densitometria óssea Hemodinâmica

Fonte: Arquivo pessoal.

Basicamente, as responsabilidades que diferenciam os cargos são os tipos de equipamentos (baseado na complexidade do equipamento) nos quais realizam as manutenções e as tarefas de suporte e planejamento exercidas pelos cargos hierarquicamente superiores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 INFORMAÇÕES BÁSICAS

4.1.1 Procedimentos de trabalho

A distribuição do trabalho com a entrada da demanda no Departamento de Manutenção Técnica de Campo e Interna é realizada por meio de ordens de serviços, elaboradas e autorizadas pelo Diretor Técnico. Nesse processo, não há participação dos responsáveis em SST da empresa.

A empresa não possui procedimentos operacionais próprios para a realização das atividades de manutenção, utilizando-se dos manuais dos equipamentos fornecidos pelos fabricantes.

4.1.2 Segurança e saúde do trabalho e proteção radiológica

A Segurança e Saúde do Trabalho (SST) está sob de responsabilidade do Departamento de Gestão Estratégica de Pessoas. Esse departamento é composto por 2 funcionários, um gerente de recursos humanos e um assistente administrativo júnior, sendo que apenas o gerente está envolvido nas atividades relacionadas à SST. Além do gerenciamento da SST, esse departamento é responsável pelo Recursos Humanos e pelo Departamento Pessoal.

A empresa iniciou ações para o cumprimento das normas de SST no final do ano de 2016, com a implantação de um Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA) e de uma Programa de Controle Médico Saúde Ocupacional (PCMSO). Até então, não possuia objetivos, gestão e política em SST.

Quanto ao perigo relacionado à radiação ionizante, iniciou a monitoração individual dos funcionários do Departamento de Manutenção Técnica de Campo e Interna, por meio de um laboratório aprovado e certificado pela CNEN. A dosimetria é realizada com frequência mensal, pela técnica de termoluminescência (TL). O dosímetro encontra-se na entrada da empresa, ao lado do relógio de ponto. Ao entrar na empresa, o funcionário deve colocá-lo no tórax, retirando-o ao final do turno de trabalho, na saída (Figura 10).

Os funcionários desse departamento realizaram um treinamento em radioproteção intitulado “Radioproteção em Radiodiagnóstico Médico e Industrial”, ministrado por um físico em medicina, com carga horária de 180 min, abrangendo o seguinte conteúdo: estrutura da matéria e introdução à radiação; interação da radiação com a matéria; grandezas e unidades usadas em radioproteção; medidas da radiação; efeitos biológicos da radiação; normas básicas de proteção radiológica; procedimentos básicos em radioproteção.

Figura 10 – Monitor individual (termoluminescência) disposto no tórax.



Fonte: Arquivo pessoal.

Quanto a registros de incidentes e avaliações de saúde dos trabalhadores não foram encontrados registros escritos até 2016. A partir da implantação do PCMSO e da monitoração individual, o relatório de doses indicou uma dose anual de 1,0 mSv de um funcionário (considerando o período de janeiro a dezembro de 2017). Os demais trabalhadores apresentaram dose anual menor que 0,2 mSv.

Em agosto de 2017 a empresa realizou a adequação da blindagem das baias, necessidade verificada por inspeção de profissional habilitado e pela elaboração do memorial de cálculo da blindagem das baias. A comprovação da adequação das blindagens e da proteção oferecida para os IOE foi realizada por um levantamento radiométrico. Nas demais áreas que realizam atividades com radiação ionizante não há blindagem das salas, conforme descrito no item Instalações físicas.

Equipamentos de proteção individual são fornecidos aos funcionários. São eles: biombo de proteção radiológica revestido de chumbo, vestimenta de proteção radiológica tipo avental e proteção radiológica para a tireóide. Os equipamentos de proteção individual utilizados estão apresentados na Figura 11.

Figura 11 – Biombo de proteção radiológica, vestimenta de proteção radiológica tipo avental e proteção radiológica de tireóide.



Fonte: Arquivo pessoal.

Não há controle de áreas na empresa, existindo apenas sinalização das áreas em que ocorrem as atividades com radiação ionizante, conforme as Figuras 12, 13 e 14, apresentadas abaixo.

Figura 12 – Sinalização do Laboratório de Eletrônica.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 13 – Sinalização do Laboratório de Inserção.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 14 – Sinalização das Baias.



Fonte: Arquivo pessoal.

A empresa não possui SESMT pois devido ao número de empregados no estabelecimento (32 funcionários), não é obrigada constituir o SESMT, conforme Norma Regulamentadora 4, do MTE.

Cabe ressaltar que no início desse trabalho, em março de 2017, a empresa estava iniciando o planejamento e a implantação de ações com vistas à segurança e proteção radiológica.

4.2 ANÁLISE DE RISCO

4.2.1 Matriz gerencial

O Apêndice A apresenta a listagem de todas as atividades de manutenção de geração de raios X, por setor, indicando se há exposição aos raios X ou não, o tempo de exposição aos raios X e as características dos equipamentos. No Laboratório de Inserção foram identificadas 9 atividades de manutenção preventiva que envolvem exposição à raios X; no Laboratório de Eletrônica, 12 atividades; e no Técnico de Campo (Baias), 14 atividades.

O Apêndice B apresenta a matriz gerencial da empresa, sendo que somente estão apresentadas as atividades de manutenção da geração de raios X, uma vez que escopo desse trabalho envolveu apenas as atividades envolvem a exposição do trabalhador à radiação ionizante

Para a melhor visualização das atividades por setor e respectivos cargos apresentados na matriz gerencial, a Tabela 7 apresenta as atividades e cargos separados por setor.

Tabela 7 – Atividades e cargos por setor.

Setor	Número de funcionários	Cargo	Atividades
Laboratório de Inserção	01	Técnico Manut Sist Inst Jr	1,3,6,9,10,13,14,17,21
Laboratório de Eletrônica	01	Supervisor Manut Maq Equip	2,6,9,10,11,12,13,14,16,17,20,21
	02	Técnico Manut Sist Inst Pleno	2,6,9,10,11,12,13,14,16,17,20,21
Técnico de Campo	03	Técnico Manut Sist Jr	1,2,3,6,9,10,11,12,13,14,16,17,20,21
	05	Técnico Manut Sist Inst Pleno	1,2,3,6,9,10,11,12,13,14,16,17,20,21
	02	Técnico Manut Sist Inst Senior	1,2,3,6,9,10,11,12,13,14,16,17,20,21
	01	Técnico Manut Sist Inst Master	1,2,3,6,9,10,11,12,13,14,16,17,20,21
	01	Técnico Mecânico	1,2,3,6,9,10,11,12,13,14,16,17,20,21

Legenda das atividades:	11. Troca detector ou intensificador
1. Alinhamento do tubo	12. Troca fontes de alta tensão
2. Calibração	13. Troca gerador de raios-X
3. Coincidência do campo luminoso e raios-X	14. Troca tubo de raios-X
4. Desinstalação	15. Troca fontes de baixa tensão
5. Instalação	16. Troca de placa CPU
6. Manutenção console	17. Troca de placa de controle kV e mA
7. Manutenção estatica	18. Troca de placa de freios
8. Manutenção mesa	19. Troca de placa de movimentos motorizados
9. Troca cabo de alta tensão	20. Troca de placa de controle de giro anodo
10. Troca colimador	21. Troca de placa de controle de potência

Fonte: Arquivo pessoal.

Por meio da matriz gerencial é possível visualizar todas as atividades que envolvem exposição à raios X e os cargos que a executam. Também é possível identificar a estrutura gerencial e operacional a que estes atividades e cargos estão associados, sendo uma importante ferramenta para a gestão de SST, pois a partir dela é possível verificar quais as áreas críticas da empresa, tendo como foco o empregado.

Analizando-se a matriz gerencial da empresa e comparando-a com a descrição de cargos da empresa documentada no Plano de Cargos e Salários, verificou-se que este último não descreve os cargos de forma que represente a realidade das atividades executadas. Por exemplo, no Laboratório de Eletrônica e no setor Técnico de Campo funcionários com mesmo cargo, na prática, executam atividades diferentes, envolvendo manutenção de equipamentos diferentes. Essa incongruência entre a documentação e a prática acaba por dificultar a gestão da SST e subutilizar a ferramenta de gerenciamento proposta por Lapa (2006); pois, por exemplo, o planejamento da contratação e do treinamento dos funcionários poderia ser realizado de acordo com os cargos da empresa, uma vez que a matriz gerencial relaciona o cargo à atividade e, consequentemente, o risco a ela associado.

4.2.2 Identificação do perigo, classificação do perigo e estimativa dos riscos

A identificação do perigo, a classificação do perigo e a estimativa de risco estão apresentados nos Apêndices C, D e E e o levantamento do tempo de exposição por atividade e por tipo de equipamento, para fins da avaliação de probabilidade na estimativa de risco está apresentado no Apêndice A.

No Laboratório de Inserção, todos os perigos identificados foram classificados como de incidência de gerenciamento (I) direto, pois trata-se de um funcionário próprio da empresa, tendo assim ação direta sobre as causas da exposição à condição perigosa. Todos esses perigos são associados às atividades realizadas (OP), são correntes (T) e tratam-se de atividades rotineiras da empresa (CO), exceto a atividade de alinhamento do tubo, que é não rotineira.

Quanto à classificação da probabilidade, todas as atividades foram classificadas como ocasionais, baseando-se no tempo de exposição ao perigo (Apêndice A). Os meios de controle foram considerados precários, uma vez que

nesse setor o controle é realizado apenas por biombo de proteção radiológica revestido de chumbo, equipamentos de proteção individual (vestimenta de proteção radiológica tipo avental e proteção radiológica para tireóide), placas de sinalização (símbolo internacional de radiação ionizante) e controle da distância da fonte (sendo que o operador fica a no máximo 1,0 m da fonte de radiação), que dependem exclusivamente da atitude ou atenção de quem executa. A avaliação do reconhecimento das pessoas relativo ao perigo ou da situação perigosa foi classificada como fácil, pois existe sinalização visível no local com o símbolo internacional da radiação ionizante, alertando sobre o perigo. E, quanto ao número de pessoas expostas ao perigo é pequeno, pois apenas um funcionário trabalha na área, correspondente a menos de 20% do efetivo.

Quanto à avaliação da severidade, o perigo é extremo uma vez os raios X apresentam probabilidade de efeitos estocásticos, como o câncer. Embora os resultados do monitoramento individual dos IOE da empresa apresentem-se dentro dos limites estabelecidos pela Norma CNEN NN 3.01 (BRASIL, 2014), na avaliação da gravidade da lesão, dano ou doença potencial (GV) o perigo deve ser enquadrado em extremo, uma vez que para fins de proteção radiológica, os efeitos estocásticos não apresentam limiar de dose e o limiar de dose estabelecido pela legislação apenas minimiza a probabilidade de ocorrência dos efeitos estocásticos. A abrangência do dano, lesão ou doença potencial é ampla, pois a sala não é blindada e radiação primária e secundária podem atingir salas adjacentes (Laboratório de Geradores, área das Baias), piso superior (Tecnologia de Informação e Suporte ao Cliente) e as vizinhanças do prédio.

O grau de risco (GR) de todos os perigos obteve um valor de 70 e foram classificados na classe de risco substancial.

Os resultados do Laboratório de Eletrônica foram semelhantes aos obtidos no Laboratório de Inserção, uma vez que os perigos identificados apresentam as mesmas características e, portanto, as mesmas classificações dos critérios de probabilidade e severidade.

Todos os perigos identificados foram classificados como de incidência de gerenciamento (I) direto, pois trata-se de três funcionários próprios da empresa, tendo assim ação direta sobre as causas da exposição à condição perigosa. Todos

esses perigos são associados às atividades realizadas (OP), são correntes (T) e tratam-se de atividades rotineiras da empresa (CO).

Quanto a classificação da probabilidade, todas as atividades foram classificadas como ocasionais, baseando-se no tempo de exposição ao perigo levantados (Apêndice A). Os meios de controle foram considerados precários, uma vez que nesse setor o controle é realizado apenas por biombo de proteção radiológica revestido de chumbo, equipamentos de proteção individual (vestimenta de proteção radiológica tipo avental e vestimenta de proteção radiológica para tireóide), controle da distância da fonte (sendo que os operadores ficam no máximo a 1,0 metro de distância da fonte de radiação ionizante), que dependem exclusivamente da atitude ou atenção de quem executa. A avaliação do reconhecimento das pessoas relativo ao perigo ou da situação perigosa foi classificada como moderada, pois o reconhecimento do perigo somente pode ser feito por pessoas com experiência ou conhecimento da atividade; não há placas de sinalização sobre o perigo de radiação ionizante. E, quanto ao número de pessoas expostas ao perigo, é pequeno, pois apenas três funcionários trabalham na área.

Quanto a avaliação da severidade, o perigo é extremo uma vez os raios X apresentam probabilidade de efeitos estocásticos, como o câncer; e a abrangência do dano, lesão ou doença potencial é ampla, pois a sala não é blindada e a radiação primária e secundária podem atingir as salas adjacentes (Tecnologia de Informação, Suporte ao Cliente, Estoque - Almoxarifado) e as vizinhanças do prédio e, assim, a lesão ou doença potencial pode abranger, além das pessoas na área de trabalho, outras áreas adjacentes ou pessoas que circulam na área, inclusive extrapolando os limites da área da empresa.

O grau de risco (GR) de todos os perigos obteve um valor de 84 e foram classificados na classe de risco substancial.

Nas Baias, as 14 atividades identificadas que apresentam perigo à raios X foram classificados como de incidência de gerenciamento (I) direto, pois trata-se de funcionários próprios da empresa. Todos esses perigos são associados às atividades realizadas (OP), são correntes (T) e tratam-se de atividades rotineiras da empresa (CO). Apenas um perigo, associado à atividade de alinhamento do tubo trata-se de uma atividade planejada para ser implementada e não rotineira.

Quanto à classificação da probabilidade, todas as atividades foram classificadas como ocasionais, baseando-se no tempo de exposição ao perigo (Apêndice A). Os meios de controle foram considerados precários, pois embora as atividades sejam realizadas dentro das baias e estas apresentem sinalização quando o equipamento está ligado, não há dispositivos que impeçam a entrada do operador dentro da baia quando na emissão dos raios X; além disso, apesar da existência de equipamentos de proteção individual (vestimenta de proteção radiológica tipo amental, vestimenta de proteção radiológica para tireóide) e orientações do controle da distância da fonte do tempo de exposição, estes controles dependem da atitude ou atenção de quem executa. A avaliação do reconhecimento das pessoas relativo ao perigo ou da situação perigosa foi classificada como fácil, pois há placas de advertência sobre presença de radiação ionizante nas baias e indicativo luminoso quando os equipamentos estão em funcionamento. E, quanto ao número de pessoas expostas ao perigo é médio, pois 11 funcionários trabalham na área, ou seja, 34% do efetivo da empresa trabalham na área.

Quanto a avaliação da severidade, o perigo é extremo uma vez que os raios X apresentam probabilidade de efeitos estocásticos, como o câncer; e a abrangência do dano, lesão ou doença potencial é limitada, pois a lesão ou doença potencial pode abranger mais de uma pessoa e limitada à área da avaliação.

O grau de risco (GR) de todos os perigos obteve um valor de 72 e foram classificados na classe de risco substancial.

Considerando que a tolerabilidade do risco estabelecido pela empresa, perigos com risco moderado, substancial e intoleráveis exigem a elaboração de um Plano de Ação com medidas de prevenção e proteção para a redução dos mesmos, de modo a serem classificados em tolerável ou aceitável. Segundo Lapa (2006), numa primeira abordagem, deve-se atingir pelo menos a classe Moderado.

O resultado do mapeamento dos perigos e a estimativa dos riscos utilizando os indicadores de desempenho propostos por Lapa (2006), considerando a tolerabilidade do risco como classe moderado, estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultado do mapeamento dos perigos e estimativa de risco do Setor Técnico de Campo e Interno (tolerabilidade do risco: classe moderado).

Departamento de Manutenção Técnica de Campo e Interno	Perigos identificados					Total	Escore Padrão	Escore Atual	Fator de Risco
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	Classe E				
Laboratório de Inserção	0	0	0	9	0	9	90	9000	100
Laboratório de Eletrônica	0	0	0	12	0	12	120	12000	100
Técnico de Campo (Baias)	0	0	0	14	0	14	140	14000	100
Total	0	0	0	35	0	35	350	35000	100

Fonte: Arquivo pessoal.

Observa-se pela Tabela 8, que o escore atual, que representa a situação atual em termos de risco, é de 9000, 12000 e 14000 para o Laboratório de Inserção, o Laboratório de Eletrônica e o Técnico de Campo (Baias), respectivamente. Os valores maiores do Laboratório de Eletrônica, seguidos do Técnico de Campo em relação ao Laboratório de Inserção devem-se ao maior número de atividades envolvendo exposição à raios X e não devido a classe de perigo das atividades obtidas na estimativa dos riscos, pois todos os perigos identificados nas atividades dos três setores foram classificadas em risco substancial (classe D). O escore padrão, ou seja, o escore desejado para o setor Laboratório de Eletrônica é de 120, para o Laboratório de Inserção, 90 e para o Técnico de Campo, 140. O escore padrão significa uma situação em que todos os perigos estão classificados dentro do nível de tolerabilidade definido pela empresa, ou seja, classificados, no mínimo, na classe B (tolerável).

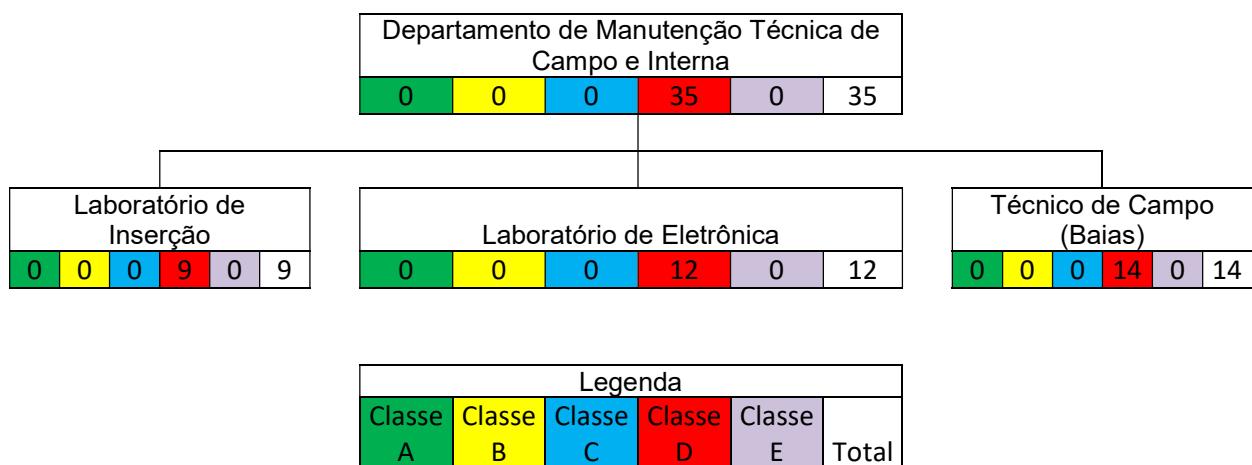
Os valores do fator de risco de todos os setores foram de 100. O fator de risco é representado pela relação entre o escore atual e o escore padrão, calculado pela divisão do escore atual pelo escore padrão. Desse modo, o fator de risco significa que a situação real de risco está muito acima do nível tolerado pela empresa. Ao se atingir a meta desejável, o fator de risco será igual a 1,0.

A Tabela 8 também apresenta os resultados do Departamento de Manutenção Técnica de Campo e Interna e constitui-se da somatória dos resultados

de cada setor que fazem parte desse departamento. Portanto, foram identificados 35 perigos de classe D (risco substancial), apresentando fator de risco no valor de 100.

A Figura 15 apresenta a representação da distribuição de perigos por classe do Departamento de Manutenção Técnica de Campo e Interna.

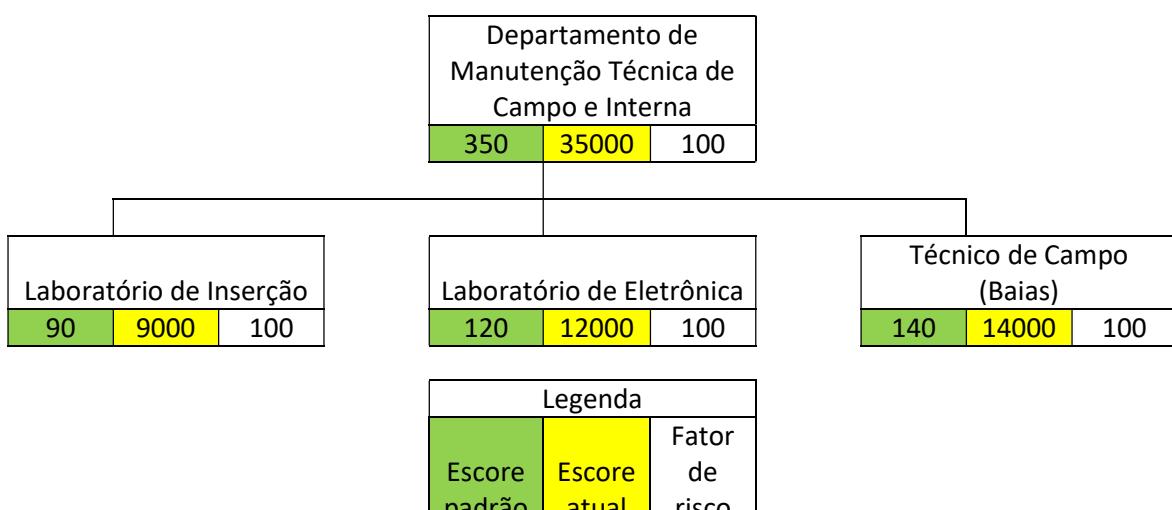
Figura 15 – Representação da distribuição de perigos por classe do Departamento de Manutenção Técnica de Campo e Interna.



Fonte: Arquivo pessoal.

A Figura 16 apresenta a matriz gerencial de riscos, representando o escore e o fator de risco do Departamento de Manutenção Técnica de Campo e Interna.

Figura 16 – Matriz gerencial de riscos.



Fonte: Arquivo pessoal.

As Figuras 15 e 16 apresentam os resultados de uma forma fácil de visualizar, uma das vantagens de se utilizar a ferramenta desenvolvida por Lapa (2006) para gerenciamento dos riscos.

4.3 RECOMENDAÇÕES DE OPÇÕES DE CONTROLE

Observa-se pela Figura 15 que no Laboratório de Eletrônica e no Laboratório de Inserção, todos os perigos identificados foram classificados na classe de risco substancial. Essa classificação ocorreu devido à avaliação da eficácia do meio de controle (EC) em precário (valor atribuído 2), à avaliação da escala de abrangência do dano, lesão ou doença (EA) em ampla (valor atribuído 5) e à avaliação da gravidade da lesão, dano ou doença potencial (GV) em extrema (valor atribuído 9), conforme a estimativa dos riscos apresentada nos Apêndices C e D.

A classificação do critério GV não pode ser alterada, pois a exposição à radiação ionizante pode resultar em efeitos estocásticos (como o câncer) e para fins regulatórios e de proteção radiológica aplica-se o princípio da precaução e a manutenção do modelo sem limiar de exposição, com correlação linear entre dose e efeito, mesmo para baixos valores de dose. Isto significa que doses pequenas, mesmo abaixo dos limites estabelecidos por normas e recomendações de proteção radiológica, podem induzir efeitos estocásticos (TAHUATA et al., 2013).

Para se obter EC eficaz (valor atribuído 1) e EA isolada (valor atribuído 1), recomenda-se implementar medidas de prevenção e proteção apresentadas a seguir para a redução do risco. De acordo com a hierarquia de controles (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2016b) deve-se reduzir os riscos priorizando a eliminação, seguidos da substituição, Engenharia, controles administrativos e, por último, equipamentos de proteção individual. Como não é possível eliminar a condição perigosa, pois a emissão de raios X é inerente as atividades da empresa, as ações propostas tratam-se de medidas que reduzem, controlam (engenharia) e administram (controles administrativos) as condições perigosas. O fornecimento de equipamentos de proteção individual já é realizado pela empresa.

A seguir estão apresentadas propostas de medidas de prevenção e proteção:

- 1) Realizar as atividades que envolvam exposição à radiação ionizante nas salas de testes blindadas (baias);
- 2) Implementar dispositivos para que o acionamento da emissão de raios X não necessite a permanência do operador dentro das salas de testes blindadas;
- 3) Implementar dispositivos que impeçam a entrada do operador nas salas de testes blindadas quando na emissão de raios X;
- 4) Instalar alarmes sonoro e visual nas salas de testes blindadas que indiquem que está ocorrendo emissão de raios X;
- 5) Implementar o controle de áreas: classificação das áreas, controle de acesso, sinalização e monitoramento;
- 6) Elaborar instruções de trabalho para práticas seguras de trabalho, de modo a reduzir o tempo de permanência e de exposição dos trabalhadores à radiação ionizante e minimizar a contribuição de erros humanos que levem à ocorrência de exposições acidentais;
- 7) Manter o controle dos IOE, por meio da monitoração individual e do controle de saúde ocupacional;
- 8) Realizar monitoração de área, periodicamente;
- 9) Sinalizar as áreas com presença de radiação ionizante;
- 10) Qualificar e treinar o pessoal, implementando um programa de treinamento anual, incluindo nos tópicos do treinamento: procedimentos de operação de equipamentos, procedimentos em caso de acidentes, uso de EPIs, procedimentos para minimizar exposições e uso de dosímetros individuais.

Em termos de estrutura organizacional, esta deve ser estruturada de modo a facilitar o desenvolvimento de uma cultura de segurança. A SST não deve estar subordinada à Diretoria Administrativa, mas sim formando um outro “braço” na estrutura gerencial e tendo a mesma hierarquia da Diretoria Técnica, da Diretoria Administrativo-Financeira e da Diretoria de Planejamento, estando diretamente subordinada à Diretoria Colegiada. Ademais, deve-se elaborar um PPR e implementar programas de garantia de qualidade.

Em relação ao setor Técnico de Campo (Baias) todos os perigos foram classificados em substancial, conforme apresentado na Figura 15. Essa classificação foi devido à eficácia de controle (EC) precária (valor atribuído 2), ao

número de pessoas expostas (PE) médio (valor atribuído 2), a escala de abrangência (EA) limitada (valor atribuído 3) e à gravidade da lesão, dano ou doença potencial (GV) severa (valor atribuído 9) (Anexo E). Conforme explicado anteriormente, o GV não pode ser alterado e o número de pessoas expostas também não pode ser diminuído devido à demanda de manutenções de equipamentos. Assim, para que a EC seja eficaz (valor atribuído 1) e a EA seja isolada (valor atribuído 1), devem-se implementar as mesmas medidas prevenção e proteção propostas para o Laboratório de Eletrônica e para o Laboratório de Inserção, exceto a realização das atividades em salas blindadas, uma vez que as atividades já são realizadas dentro das baias. Ademais, observou-se que há necessidade de uma melhor gestão na utilização das baias, podendo necessitar até na adequação da estrutura, em termos de números de baias, uma vez que ocorre de haver mais equipamentos em manutenção do que baias disponíveis ou baias sendo ocupadas por equipamentos que estão aguardando peças e atividades com exposição de raios X sendo realizadas fora das baias.

Se ocorrer a implantação das medidas de prevenção e proteção recomendadas e assim, obter a classificação da EC em eficaz (valor atribuído 1) e a EA em isolada (valor atribuído 1), tem-se grau de risco (GR) de valor 40 para os perigos identificados no Laboratório de Eletrônica e de Inserção e, valor 50 para o setor Técnico de Campo (Baias). Assim, os perigos serão classificados em riscos de classe moderado (classe C). Analisando-se o indicadores de desempenho nesta situação, considerando a tolerabilidade de risco como classe moderado, tem-se os resultados apresentados na Tabela 9.

Observa-se pela Tabela 9, que o fator de risco reduz para o valor de 10, estando ainda acima do tolerável, mesmo com a implantação de todas as medidas de prevenção e proteção recomendadas. Isso ocorre devido ao critério da avaliação da gravidade da lesão, dano ou doença potencial (GV), que apresenta-se como extrema (potencial de ocorrência de câncer) e não pode ser alterada, uma vez que para fins de proteção radiológica, os efeitos estocásticos não apresentam limiar de dose e o limiar de dose estabelecido pela Norma CNEN NN 3.01 apenas minimiza a probabilidade de ocorrência dos efeitos estocásticos. Porém, como ainda não se atingiu a meta desejada, seria necessário continuar a avaliação das condições de trabalho com vistas às melhorias dos controles de prevenção e de proteção de modo

a se atingir a situação desejável. Portanto, nesse caso, como o fator de risco apresenta valor 10, os riscos são considerados não gerenciados.

Tabela 9 - Resultado do mapeamento dos perigos e estimativa de risco do Setor Técnico de Campo e Interno, se implantadas as medidas de prevenção e proteção recomendadas (tolerabilidade do risco: classe moderado).

Departamento de Manutenção Técnica de Campo e Interno	Perigos identificados					Total	Escore Padrão	Escore Atual	Fator de Risco
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	Classe E				
Laboratório de Inserção	0	0	9	0	0	9	90	900	10
Laboratório de Eletrônica	0	0	12	0	0	12	120	1200	10
Técnico de Campo (Baías)	0	0	14	0	0	14	140	1400	10
Total	0	0	35	0	0	35	350	3500	10

Fonte: Arquivo pessoal.

Os resultados dos índices de desempenho, caso se alterasse a tolerabilidade do risco para classe substancial, sem considerar implantadas as medidas de prevenção e controle, ou se se considerar como primeira abordagem a redução dos riscos para classe moderado, estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Resultado do mapeamento dos perigos e estimativa de risco do Setor Técnico de Campo e Interno (tolerabilidade do risco: classe substancial).

Departamento de Manutenção Técnica de Campo e Interno	Perigos identificados					Total	Escore Padrão	Escore Atual	Fator de Risco
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	Classe E				
Laboratório de Inserção	0	0	0	9	0	9	900	9000	10
Laboratório de Eletrônica	0	0	0	12	0	12	1200	12000	10
Técnico de Campo (Baías)	0	0	0	14	0	14	1400	14000	10
Total	0	0	0	35	0	35	3500	35000	10

Fonte: Arquivo pessoal.

Observando os resultados, pode-se concluir que ocorre uma redução do escore padrão para 900, 1200 e 1400, do Laboratório de Inserção, do Laboratório de Eletrônica e do Técnico de Campo (respectivamente), com fator de risco no valor de 10, ou seja, a situação atual apresentaria-se acima do nível tolerado, valores menores quando comparados com os resultados dos índices de desempenho considerado a classe moderado para tolerabilidade do risco (Tabela 8).

Considerando a implementação das medidas de prevenção e proteção, mantendo a tolerabilidade de risco em substancial, o fator de risco apresentaria valor igual a 1,0, ou seja, atingiria-se a meta desejável, sendo necessário apenas adotar meios de manutenção das ações de controle existentes. Portanto, neste caso o risco seria considerado aceitável e assumido. O risco seria considerado gerenciado. A Tabela 11 apresenta os resultados dos índices de desempenho para essa situação.

Tabela 11 - Resultado do mapeamento dos perigos e estimativa de risco do Setor Técnico de Campo e Interno, se implantadas as medidas de prevenção e proteção recomendadas (tolerabilidade do risco: classe substancial).

Departamento de Manutenção Técnica de Campo e Interno	Perigos identificados					Total	Escore Padrão	Escore Atual	Fator de Risco
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	Classe E				
Laboratório de Inserção	0	0	9	0	0	9	900	900	1
Laboratório de Eletrônica	0	0	12	0	0	12	1200	1200	1
Técnico de Campo (Baias)	0	0	14	0	0	14	1400	1400	1
Total	0	0	35	0	0	35	3500	3500	1

Fonte: Arquivo pessoal.

Entretanto, em ambos os casos, seja definindo a tolerabilidade do risco em moderado ou seja definindo em substancial, observa-se que devido aos efeitos estocásticos da radiação ionizante, existe um risco intrínseco que não pode ser eliminado por meios das medidas de prevenção e proteção previstos na legislação de segurança e proteção radiológica, uma vez que a probabilidade de ocorrência dos efeitos estocásticos é apenas reduzida. O estabelecimento da tolerabilidade do

risco em moderado ou substancial apenas influenciará no nível de gerenciamento do risco adotado pela empresa.

Como explicado em Materiais e Métodos a empresa adotou a tolerabilidade do risco moderado. Assim, quando da implementação das medidas de prevenção e proteção, os perigos serão classificados em risco moderado e serão considerados não gerenciados, exigindo uma avaliação cuidadosa com o intuito de melhorias dos controles. A tolerabilidade do risco moderado parece ser uma escolha adequada com vistas à SST.

4.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Portanto, a análise de riscos da exposição ocupacional à radiação ionizante (raios X) na manutenção de equipamentos radiodiagnósticos da empresa identificou um total de 35 atividades internas de manutenção corretiva que envolvem exposição à raios X, sendo 9 atividades do Laboratório de Inserção, 12 atividades do Laboratório de Eletrônica e 14 atividades do setor Técnico de Campo (Baias). No Laboratório de Inserção, todos os perigos foram classificados em grau de risco substancial, devido à gravidade e à abrangência dos efeitos adversos potenciais (efeitos estocásticos) da exposição à radiação ionizante e à precariedade dos meios de controle existentes. No Laboratório de Eletrônica, todos os perigos foram classificados em grau de risco substancial, devido à gravidade e à abrangência dos efeitos adversos potenciais da exposição à radiação ionizante, da precariedade dos meios de controle existentes e o reconhecimento das pessoas moderado em relação ao perigo. No setor Técnico de Campo (Baias), todos os perigos também foram classificados em grau de risco substancial, devido à gravidade e à abrangência dos efeitos adversos potenciais (efeitos estocásticos) da exposição à radiação ionizante, à precariedade dos meios de controle existentes e o número de pessoas expostas em relação ao efetivo da empresa. Considerando a tolerabilidade do risco adotado (classe moderado), o valor do fator de risco é de 100, ou seja, a situação atual, nas atividades avaliadas, está muito acima do aceitável, necessitando a elaboração de planos de ação para a implantação de medidas de correção e medidas de prevenção e proteção, para o gerenciamento do risco.

A recomendações de segurança e proteção radiológica envolvem o controle da exposição (tempo, distância e blindagem), controle de áreas (classificação de áreas, controle de acesso, sinalização e monitoramento), controle dos indivíduos ocupacionalmente expostos (monitoração individual e monitoração de área), projetos de engenharia para criar barreiras entre o trabalhador e a condição perigosa, elaboração de instruções de trabalho e treinamento. Além disso, é necessário implantar um sistema de gestão e garantia de qualidade e, principalmente, criar uma cultura de Segurança e Saúde do Trabalho.

A implantação de medidas de controle, mantendo a tolerabilidade do risco em classe moderado, alterará a classificação do perigos para grau de risco moderado, reduzindo o fator de risco para um valor 10. Isso se deve ao fato de não ser possível alterar a gravidade dos efeitos estocásticos da radiação ionizante quando na estimativa da severidade do risco. E, portanto, o risco ainda não estaria gerenciado. Se se adotar a tolerabilidade do risco em classe substancial, o fator de risco reduzirá a 1, ou seja, o risco será considerado aceitável.

Entretanto, independentemente da tolerabilidade do risco adotada para fins de gerenciamento de riscos, atividades envolvendo exposição à radiação ionizante apresenta um risco intrínseco que deverá ser aceito e assumido. Mesmo com o atendimento da limitação de dose do indivíduo ocupacionalmente exposto exigido pela legislação (dose anual de 20 mSv), o indivíduo ocupacionalmente exposto apresentaria um risco de morte por câncer de 0,01% (XAVIER; HEILBRON, 2014), pois embora os limites de referência evitem a ocorrência de efeitos determinísticos, apenas limitam a probabilidade de ocorrência dos efeitos estocásticos. Assim, quando se trata de segurança e proteção radiológica, é imperativo não somente a aplicação do requisito da limitação da dose individual, mas também dos requisitos da justificação e da otimização (ALARA).

5 CONCLUSÕES

O objetivo proposto pelo trabalho, de realizar a análise de riscos da exposição ocupacional à radiação ionizante (raios X) em atividades de manutenção corretiva de equipamentos de radiodiagnóstico médico de imagem, foi atingido.

As dificuldades encontradas para a realização do trabalho ocorreram principalmente na fase de levantamento das informações básicas da empresa, uma vez que a mesma não apresentava qualquer tipo de documentação sobre processo produtivo, procedimentos de trabalho, divisão do trabalho, práticas de segurança e saúde do trabalho e proteção radiológica, etc.

Pelo fato da empresa ter iniciado ações para o cumprimento da legislação brasileira relacionada à segurança do trabalho e proteção radiológica no final do ano de 2016, o presente trabalho, que iniciou-se em março de 2017 e finalizou-se em janeiro de 2018, foi conduzido paralelamente à sua implementação. Por isso, o desenvolvimento desse trabalho foi um esforço conjunto de todos que dele participaram e contribuíram; possibilitando, ainda, uma ampla discussão sobre a segurança e saúde do trabalho no contexto do estudo.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. **Influência do ruído quântico em imagens radiológicas**. 1990. 116p. Tese - Universidade de São Paulo, São Carlos, 27 ago. 1990. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/54/54132/tde-14042015-160248/pt-br.php>>. Acesso em: 08 fev. 2018.
- BRASIL. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Fatores de ponderação para as grandezas de proteção radiológica. Posição Regulatória 3.01/022. Resolução nº 102, de 22 de dezembro de 2010a. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301_02.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2018.
- _____. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Restrição de dose, níveis de referência ocupacionais e classificação de áreas. Posição Regulatória 3.01/004. Resolução nº 102, de 22 de dezembro de 2010b. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301_02.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2018.
- _____. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Critérios para cálculo de dose efetiva, a partir da monitoração individual. Posição Regulatória 3.01/005. Resolução nº 102, de 22 de dezembro de 2010c. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301_05.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2018.
- _____. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Níveis de intervenção e de ação para exposição crônica. Posição Regulatória 3.01/007. Resolução nº 102, de 22 de dezembro de 2010d. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301_07.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2018.
- _____. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. Resolução nº 164, de 11 de março de 2014. Disponível em: <<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm301.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2017.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 453, de 1 de junho de 1998. Dispõe sobre o uso dos raios-x diagnósticos em todo território nacional e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasil, 02/06/1998.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria nº 3.311, de 29 de novembro de 1998. Estabelece os princípios norteadores do programa do programa de desenvolvimento do Sistema Federal de Inspeção do Trabalho e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.ctpconsultoria.com.br/pdf/Portaria-3311-de-29-11-1989.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2017.
- COSTA, P.R. et al. Correlação entre dose efetiva e riscos radiológicos: conceitos gerais. **Radiologia Brasileira**. São Paulo, v. 49, n. 3, p. 176-181, 2016.
- COUTO, et al. Modelo de gerenciamento da manutenção de equipamentos de radiologia convencional. **Radiologia Brasileira**. São Paulo, v. 36, n. 6, p. 353-361, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-39842003000600006&script=sci_abstract&tlang=pt>. Acesso em: 12 abr. 2017.

DA SILVA, A.A.R.; PAES, W.S. Proteção radiológica. Curitiba. Disponível em: <http://rle.dainf.ct.utfpr.edu.br/hipermidia/images/documentos/Protecao_radiologica.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2018.

FURQUIM, T.A.C.; COSTA, P.R. Garantia de qualidade em radiologia diagnóstica. **Revista Brasileira de Física Médica**. São Paulo, v. 3, n. 1, p. 91-99, 2009. Disponível em: <<http://www.rbfm.org.br/rbfm/article/view/38/v3n1p91>>. Acesso em: 12 abr. 2017.

GONDIM, P.C.A. **Desenvolvimento de bloco de vedação com barita na composição de partida para blindagem de radiação X**. 2009. 144p. Tese – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 21 ago. 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/12744>>. Acesso em: 05 fev. 2018.

LAPA, R.P. **Metodologia de identificação de perigos e avaliação de riscos ocupacionais**. 2006, 90p. Dissertação – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-05092006-155044/pt-br.php>>. Acesso em: 22 mai. 2017.

NAVARRO, M.V.T. **Risco, radiodiagnóstico e vigilância sanitária**. Salvador: EDUFBA, 2009, 166p. Disponível em: <<https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ufba/203/1/Risco%20radiodiagnostico%20e%20vigilancia%20sanitaria.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2017.

MARTINS, R.A. A descoberta dos raios X: o primeiro comunicado de Rontgen. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. São Paulo, v. 20, n. 4, p. 373-390, 1998. Disponível em: <http://www.cepa.if.usp.br/e-fisica/apoio/historia/v20_372.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2018.

NERSISSION, D.Y. Princípios físicos em radiologia. Curitiba. Disponível em: <http://rle.dainf.ct.utfpr.edu.br/hipermidia/images/documentos/Principios_fisicos_em_radiologia.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2018.

ROS, R.A. **Metodologia de controle de qualidade de equipamentos de raio X (nível diagnóstico) utilizados em calibração de instrumentos**. 2000. 98p. Dissertação – IPEN, São Paulo, 2000. Disponível em: <http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Renato%20Assenci%20Ros_M.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2018.

SCAFF, L.A.M. **Física da radioterapia**. São Paulo: Sáver, 1997, 351p. Disponível em: <<https://cristianopalharini.files.wordpress.com/2013/08/fisica-da-radioterapia.pdf>>. Acesso em: 08 fev. 2018.

TAHUATA, L. et al. **Radioproteção e dosimetria: fundamentos**. Rio de Janeiro: IRD/CNEN, 2013, 345p. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/component/content/article?id=171>>. Acesso em: 29 set. 2017.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, Programa de Educação Continuada. Apostila: Higiene do Trabalho – Parte B. São Paulo: EPUSP-EAD/PECE, 2016a. Apostila do curso de Especialização de Segurança do Trabalho, 412p.

_____, Programa de Educação Continuada. Apostila: Introdução à Engenharia de Segurança do Trabalho. São Paulo: EPUSP-EAD/PECE, 2016b. Apostila do curso de Especialização de Segurança do Trabalho, 173p.

_____, Programa de Educação Continuada. Apostila: O ambiente e as doenças do trabalho. São Paulo: EPUSP-EAD/PECE, 2017. Apostila do curso de Especialização de Segurança do Trabalho, 332p.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. Curitiba. Apresenta conteúdo didático para formação, aperfeiçoamento e especialização do técnico em radiologia. Disponível em: <<http://rle.dainf.ct.utfpr.edu.br/hipermidia/>>. Acesso em: 18 fev. 2018.

YOSHIMURA, E.M. Física das radiações: interação da radiação com a matéria.

Revista Brasileira de Física Médica. Porto Alegre, v.3, n. 1, p. 57-67, 2009.

Disponível em: <<http://www.rbfm.org.br/rbfm/article/view/35>>. Acesso em: 09 fev. 2018.

XAVIER, A.M.; HEILBRON, P.F. Segurança e proteção radiológica. In: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL; COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Efeitos biológicos da radiação ionizante.** 4 ed. 2014a. Capítulo 2, p. 27-38. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/component/content/article?id=170>>. Acesso em: 13 fev. 2018.

XAVIER, A.M.; HEILBRON, P.F. Segurança e proteção radiológica. In: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL; COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Princípios básicos de segurança e proteção radiológica.** 4 ed. 2014b. Capítulo 3, p. 39-76. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/component/content/article?id=170>>. Acesso em: 13 fev. 2018.

APÊNDICE A – Lista de atividades

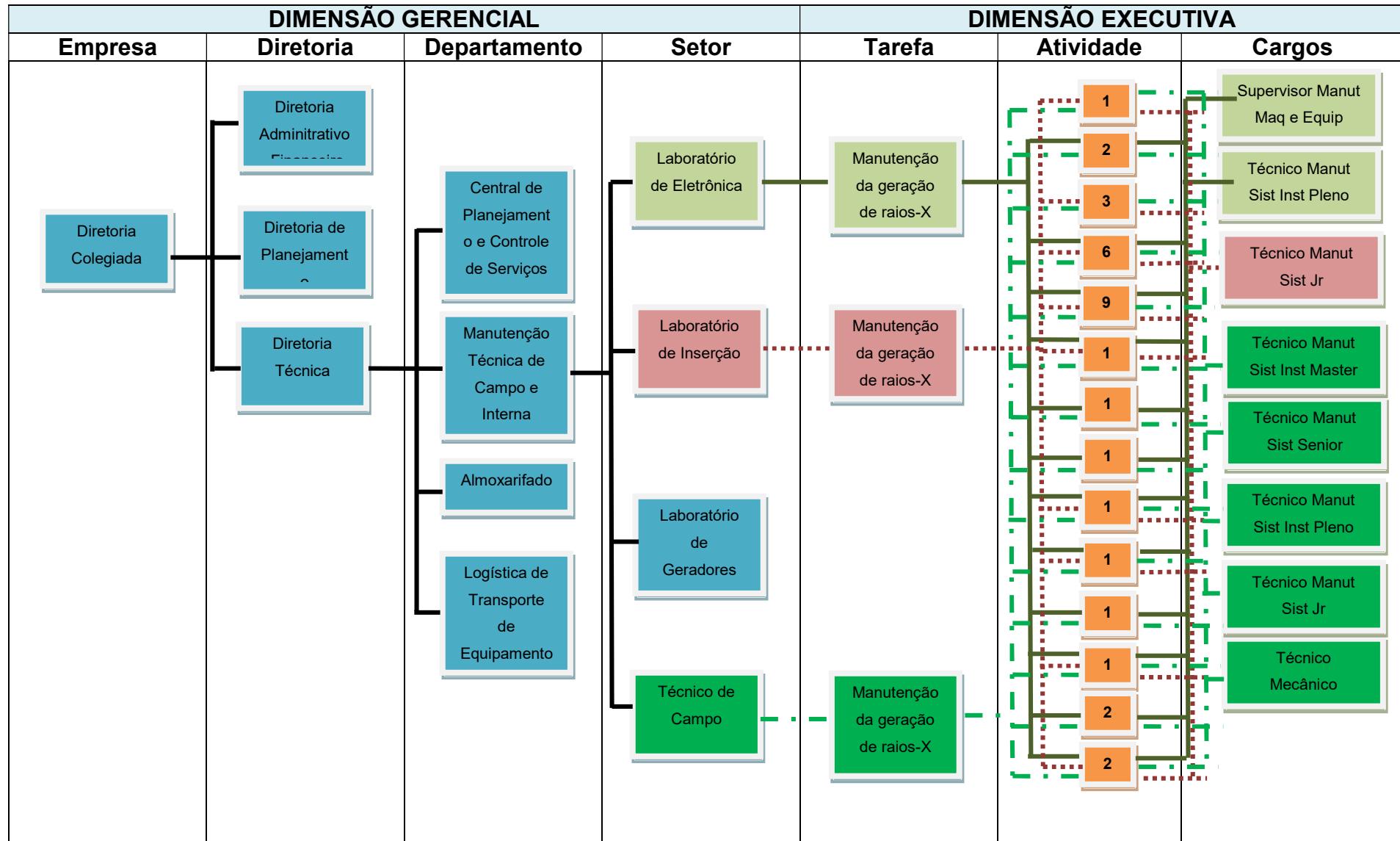
Equipamentos	Raios X	Mamografia	Densitometria	Tomografia	Arco Cirúrgico	Hemodinâmica
kV mínimo	30 kV	20 kV	76 kV	80 kV	40 kV	30 kV
kV máximo	150 kV	49 kV	76 kV	140 kV	110 kV	150 kV
mA mínimo	10 mA	20 mA	0,750 mA	10 mA	0,1 mA	20 mA
mA máximo	800 mA	130 mA	3 mA	500 mA	30 mA	1000 mA
Maior relação encontrada kV e mA	150 kV 320 mA	39 kV 70 mA	76 kV 1,5 mA	135 kV e 500 mA	105 kV 30 mA	100 kV 1000 mA
Potencia máxima	50 kW	5 kW	0,25 kW	68 kW		100 kW

Legenda:

1	Tempo de raios X ligado menor que 5 s
2	Tempo de raios X ligado maior que 5 s menor que 10 s
3	Tempo de raios X ligado maior que 10 s e menor que 30 s
4	Tempo de raios X ligado maior que 30 s e menor que 60 s
5	Tempo de raios X ligado maior que 60 s

I	Laboratório de Inserção
E	Laboratório de Eletrônica
C	Técnico de Campo
N/A	Não se aplica
S/RX	Sem emissão de raios X

APÊNDICE B – Matriz gerencial



ATIVIDADE:

- 22. Alinhamento do tubo
- 23. Calibração
- 24. Coincidência do campo luminoso e raios-X
- 25. Desinstalação
- 26. Instalação
- 27. Manutenção console
- 28. Manutenção estativa
- 29. Manutenção mesa
- 30. Troca cabo de alta tensão
- 31. Troca colimador
- 32. Troca detector ou intensificador
- 33. Troca fontes de alta tensão
- 34. Troca gerador de raios-X
- 35. Troca tubo de raios-X
- 36. Troca fontes de baixa tensão
- 37. Troca de placa CPU
- 38. Troca de placa de controle kV e mA

39. Troca de placa de freios

40. Troca de placa de movimentos motorizados

41. Troca de placa de controle de giro anodo

42. Troca de placa de controle de potência

CARGOS:

Cargos do Laboratório de Eletrônica



Cargos do Laboratório de Ampolas



Cargos do Setor Técnico de Campo

APÊNDICE C – Análise de riscos do Laboratório de Ampolas

Diretoria: Diretoria Técnica

Departamento: Manutenção Técnica de Campo e Interna

Setor: Laboratório de Inserção

Tarefa: Manutenção da geração de raios X

Código da Atividade	Descrição da Atividade	Perigo	Caracterização do Perigo							Estimativa do Risco							Significância			
			Causa do perigo	Lesão/Doença/Dano	Controle	Classe de Perigo	I	O	T	OP	Probabilidade				Severidade			GR		
							EP	EC	CP	PE	Soma	GV	EA	Soma	GR	Classe de Risco				
1	Alinhamento do tubo (mamografia, densitometria, tomografia, arco cirúrgico, hemodinâmica)	Radiação ionizante	Na realização de testes de funcionamento; pela entrada sem autorização no ambiente no momento do disparo do raios X; por falha elétrica do sistema; pelo desrespeito do indicador luminoso e sonoro do console no momento do disparo do raio X; pelo desrespeito ao procedimento na verificação da qualidade da imagem.	Doenças crônicas (câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução de expectativa de vida) devido ao efeito estocástico, resultado da exposição à radiação ionizante. Doenças agudas das radiações ionizantes (síndrome aguda das radiações, síndrome cutânea das radiações) devido doses agudas elevadas. Doenças crônicas (catarata) devido efeitos determinísticos, decorrentes de uma única irradiação elevada.	Biombo de proteção radiológica revestido de chumbo; dosímetro de monitoração biológica; vestimenta de proteção radiológica tipo austral; vestimenta de proteção radiológica para de tireóide; controle de distância da fonte de radiação; placas de sinalização (símbolo de radiação ionizante).	Físico	D	NR	P	A	1	2	1	1	5	9	5	14	70	Substancial

3	Coincidência do campo luminoso - Equipamentos que possuem lâmpada no colimador (raios X, mamografia)	Radiação ionizante	<p>Na realização de testes de funcionamento; pela entrada sem autorização no ambiente no momento do disparo do raios X; por falha elétrica do sistema; pelo desrespeito do indicador luminoso e sonoro do console no momento do disparo do raio X.</p>	<p>Doenças crônicas (câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução de expectativa de vida) devido ao efeito estocástico, resultado da exposição à radiação ionizante. Doenças agudas das radiações ionizantes (síndrome aguda das radiações, síndrome cutânea das radiações) devido doses agudas elevadas. Doenças crônicas (catarata) devido efeitos determinísticos, decorrentes de uma única irradiação elevada.</p>	<p>Biombo de proteção radiológica revestido de chumbo; dosímetro de monitoração biológica; vestimenta de proteção radiológica tipo austral; vestimenta de proteção radiológica para de tireóide; controle de distância da fonte de radiação; placas de sinalização (símbolo de radiação ionizante).</p>	<p>Físico</p>		D	R	C	A	1	2	1	1	5	9	5	14	70	Substancial
6	Manutenção do console - Equipamentos automáticos (mamografia, densitometria, tomografia, arco cirúrgico hemodinâmica)	Radiação ionizante	<p>Na realização de testes de funcionamento; pela entrada sem autorização no ambiente no momento do disparo do raios X; por falha elétrica do sistema; pelo desrespeito do indicador luminoso e sonoro do console no momento do</p>	<p>Doenças crônicas (câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução de expectativa de vida) devido ao efeito estocástico, resultado da exposição à radiação ionizante. Doenças agudas das radiações ionizantes (síndrome aguda das radiações, síndrome cutânea das radiações) devido</p>	<p>Biombo de proteção radiológica revestido de chumbo; dosímetro de monitoração biológica; vestimenta de proteção radiológica tipo austral; vestimenta de proteção radiológica para de</p>	<p>Físico</p>		D	R	C	A	1	2	1	1	5	9	5	14	70	Substancial

			disparo do raio X; pelo desrespeito ao procedimento na verificação da qualidade da imagem.	doses agudas elevadas. Doenças crônicas (catarata) devido efeitos determinísticos, decorrentes de uma única irradiação elevada.	tireóide; controle de distância da fonte de radiação; placas de sinalização (símbolo de radiação ionizante).																	
9	Troca de cabo de alta tensão - Equipamentos que possuem gerador separado do tubo de raios X (raios X, mamografia, densitometria, tomografia, arco cirúrgico, hemodinâmica)	Radiação ionizante	Na realização de testes de funcionamento; pela entrada sem autorização no ambiente no momento do disparo do raios X; por falha elétrica do sistema; por desrespeito do indicador luminoso e sonoro do console no momento do disparo do raio X.	Doenças crônicas (câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução de expectativa de vida) devido ao efeito estocástico, resultado da exposição à radiação ionizante. Doenças agudas das radiações ionizantes (síndrome aguda das radiações, síndrome cutânea das radiações) devido doses agudas elevadas. Doenças crônicas (catarata) devido efeitos determinísticos, decorrentes de uma única irradiação elevada.	Bombo de proteção radiológica revestido de chumbo; dosímetro de monitoração biológica; vestimenta de proteção radiológica tipo avental; vestimenta de proteção radiológica para de tireóide; controle de distância da fonte de radiação; placas de sinalização (símbolo de radiação ionizante).	Físico	D	R	C	A	1	2	1	1	5	9	5	14	70	Substancial		

10	Troca do colimador - Equipamentos que possuem colimação variável manualmente ou eletricamente (raios-x, densiometria, tomografia, arco cirúrgico, hemodinâmica)	Radiação ionizante	<p>Na realização de testes de funcionamento; pela entrada sem autorização no ambiente no momento do disparo do raios X; por falha elétrica do sistema; pelo desrespeito do indicador luminoso e sonoro do console no momento do disparo do raio X; pelo desrespeito ao procedimento na verificação da qualidade da imagem.</p>	<p>Doenças crônicas (câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução de expectativa de vida) devido ao efeito estocástico, resultado da exposição à radiação ionizante. Doenças agudas das radiações ionizantes (síndrome aguda das radiações, síndrome cutânea das radiações) devido doses agudas elevadas. Doenças crônicas (catarata) devido efeitos determinísticos, decorrentes de uma única irradiação elevada.</p>	<p>Biombo de proteção radiológica revestido de chumbo; dosímetro de monitoração biológica; vestimenta de proteção radiológica tipo austral; vestimenta de proteção radiológica para de tireóide; controle de distância da fonte de radiação; placas de sinalização (símbolo de radiação ionizante).</p>	Físico		D	R	C	A	1	2	1	1	5	9	5	14	70	Substancial
13	Troca do gerador de raios X - Equipamentos que possuem gerador a óleo (raios x, mamografia, tomografia, arco cirúrgico, hemodinâmica)	Radiação ionizante	<p>Na realização de testes de funcionamento; pela entrada sem autorização no ambiente no momento do disparo do raios X; por falha elétrica do sistema; pelo desrespeito do indicador luminoso e sonoro do console no momento do</p>	<p>Doenças crônicas (câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução de expectativa de vida) devido ao efeito estocástico, resultado da exposição à radiação ionizante. Doenças agudas das radiações ionizantes (síndrome aguda das radiações, síndrome cutânea das radiações) devido</p>	<p>Biombo de proteção radiológica revestido de chumbo; dosímetro de monitoração biológica; vestimenta de proteção radiológica tipo austral; vestimenta de proteção radiológica para de</p>	Físico		D	R	C	A	1	2	1	1	5	9	5	14	70	Substancial

			disparo do raio X.	doses agudas elevadas. Doenças crônicas (catarata) devido efeitos determinísticos, decorrentes de uma única irradiação elevada.	tireóide; controle de distância da fonte de radiação; placas de sinalização (símbolo de radiação ionizante).																	
14	Troca do tubo de raios X	Radiação ionizante	Na realização de testes de funcionamento; pela entrada sem autorização no ambiente no momento do disparo do raios X; por falha elétrica do sistema; pelo desrespeito do indicador luminoso e sonoro do console no momento do disparo do raio X.	Doenças crônicas (câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução de expectativa de vida) devido ao efeito estocástico, resultado da exposição à radiação ionizante. Doenças agudas das radiações ionizantes (síndrome aguda das radiações, síndrome cutânea das radiações) devido doses agudas elevadas. Doenças crônicas (catarata) devido efeitos determinísticos, decorrentes de uma única irradiação elevada.	Biombo de proteção radiológica revestido de chumbo; dosímetro de monitoração biológica; vestimenta de proteção radiológica tipo austral; vestimenta de proteção radiológica para de tireóide; controle de distância da fonte de radiação; placas de sinalização (símbolo de radiação ionizante).	Físico	D	R	C	A	1	2	1	1	5	9	5	14	70	Substancial		

17	Troca de placa de controle de kV e mA	Radiação ionizante	<p>Na realização de testes de funcionamento; pela entrada sem autorização no ambiente no momento do disparo do raios X; por falha elétrica do sistema; pelo desrespeito do indicador luminoso e sonoro do console no momento do disparo do raio X.</p>	<p>Doenças crônicas (câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução de expectativa de vida) devido ao efeito estocástico, resultado da exposição à radiação ionizante. Doenças agudas das radiações ionizantes (síndrome aguda das radiações, síndrome cutânea das radiações) devido doses agudas elevadas. Doenças crônicas (catarata) devido efeitos determinísticos, decorrentes de uma única irradiação elevada.</p>	<p>Biombo de proteção radiológica revestido de chumbo; dosímetro de monitoração biológica; vestimenta de proteção radiológica tipo austral; vestimenta de proteção radiológica para de tireóide; controle de distância da fonte de radiação; placas de sinalização (símbolo de radiação ionizante).</p>	Físico		D	R	C	A	1	2	1	1	5	9	5	14	70	Substancial
21	Troca de placa de controle de potência	Radiação ionizante	<p>Na realização de testes de funcionamento; pela entrada sem autorização no ambiente no momento do disparo do raios X; por falha elétrica do sistema; pelo desrespeito do indicador luminoso e sonoro do console no momento do</p>	<p>Doenças crônicas (câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução de expectativa de vida) devido ao efeito estocástico, resultado da exposição à radiação ionizante. Doenças agudas das radiações ionizantes (síndrome aguda das radiações, síndrome cutânea das radiações) devido</p>	<p>Biombo de proteção radiológica revestido de chumbo; dosímetro de monitoração biológica; vestimenta de proteção radiológica tipo austral; vestimenta de proteção radiológica para de</p>	Físico		D	R	C	A	1	2	1	1	5	9	5	14	70	Substancial

APÊNDICE D – Análise de riscos do Laboratório de Eletrônica

Diretoria: Diretoria Técnica

Departamento: Manutenção Técnica de Campo e Interna

Setor: Laboratório de Eletrônica

Tarefa: Manutenção da geração de raios X

Código de Atividade	Descrição da Atividade	Perigo	Caracterização do Perigo							Estimativa do Risco							Significância			
			Causa do perigo	Lesão/Doença/Dano	Controle	Classe de Perigo	I	O	T	OP	Probabilidade			Severidade						
							EP	EC	CP	PE	Soma	GV	EA	Soma	GR	Classe de Risco				
2	Calibração	Radiação ionizante	Na realização de testes de funcionamento; pela entrada sem autorização no ambiente no momento do disparo do raios X; por falha elétrica do sistema; pelo desrespeito do indicador luminoso e sonoro do console no momento do disparo do raio X.	Doenças crônicas (câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução de expectativa de vida) devido ao efeito estocástico, resultado da exposição à radiação ionizante. Doenças agudas das radiações ionizantes (síndrome aguda das radiações, síndrome cutânea das radiações) devido doses agudas elevadas. Doenças crônicas (catarata) devido efeitos determinísticos, decorrentes de uma única irradiação elevada.	Biombo de proteção radiológica revestido de chumbo; dosímetro de monitoração biológica; vestimenta de proteção radiológica tipo austral; vestimenta de proteção radiológica para de tireóide; controle de distância da fonte de radiação.	Físico	D	R	C	A	1	2	2	1	5	9	5	14	84	Substancial

				crônicas (catarata) devido efeitos determinísticos, decorrentes de uma única irradiação elevada.	distância da fonte de radiação.																
10	Troca do colimador - Equipamentos que possuem colimação variável manualmente ou eletricamente (raios X, densiometria, tomografia, arco cirúrgico, hemodinâmica)	Radiação ionizante	Na realização de testes de funcionamento; pela entrada sem autorização no ambiente no momento do disparo do raios X; por falha elétrica do sistema; pelo desrespeito do indicador luminoso e sonoro do console no momento do disparo do raio X; pelo desrespeito ao procedimento na verificação da qualidade da imagem.	Doenças crônicas (câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução de expectativa de vida) devido ao efeito estocástico, resultado da exposição à radiação ionizante. Doenças agudas das radiações ionizantes (síndrome aguda das radiações, síndrome cutânea das radiações) devido doses agudas elevadas. Doenças crônicas (catarata) devido efeitos determinísticos, decorrentes de uma única irradiação elevada.	Biombo de proteção radiológica revestido de chumbo; dosímetro de monitoração biológica; vestimenta de proteção radiológica tipo austral; vestimenta de proteção radiológica para de tireóide; controle de distância da fonte de radiação.	Físico	D	R	C	A	1	2	2	1	5	9	5	14	84	Substancial	
11	Troca do detector ou intensificador - Equipamentos com sistema digital de imagem (densitometria, tomografia, arco cirúrgico, hemodinâmica)	Radiação ionizante	Na realização de testes de funcionamento; pela entrada sem autorização no ambiente no momento do disparo do raios X; por falha elétrica do sistema; pelo desrespeito do indicador	Doenças crônicas (câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução de expectativa de vida) devido ao efeito estocástico, resultado da exposição à radiação ionizante. Doenças agudas das radiações ionizantes	Biombo de proteção radiológica revestido de chumbo; dosímetro de monitoração biológica; vestimenta de proteção radiológica tipo austral;	Físico	D	NR	C	A	1	2	2	1	5	9	5	14	84	Substancial	

			luminoso e sonoro do console no momento do disparo do raio X; pelo desrespeito ao procedimento na verificação da qualidade da imagem.	(síndrome aguda das radiações, síndrome cutânea das radiações) devido doses agudas elevadas. Doenças crônicas (catarata) devido efeitos determinísticos, decorrentes de uma única irradiação elevada.	vestimenta de proteção radiológica para de tireóide; controle de distância da fonte de radiação.																
12	Troca de fontes de alta tensão - Equipamentos com geração de raios X por meio de fontes de alta tensão a seco (densitometria, tomografia)	Radiação ionizante	Na realização de testes de funcionamento; pela entrada sem autorização no ambiente no momento do disparo do raios X; por falha elétrica do sistema; pelo desrespeito do indicador luminoso e sonoro do console no momento do disparo do raio X.	Doenças crônicas (câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução de expectativa de vida) devido ao efeito estocástico, resultado da exposição à radiação ionizante. Doenças agudas das radiações ionizantes (síndrome aguda das radiações, síndrome cutânea das radiações) devido doses agudas elevadas. Doenças crônicas (catarata) devido efeitos determinísticos, decorrentes de uma única irradiação elevada.	Biombo de proteção radiológica revestido de chumbo; dosímetro de monitoração biológica; vestimenta de proteção radiológica tipo austral; vestimenta de proteção radiológica para de tireóide; controle de distância da fonte de radiação.	Físico	D	R	C	A	1	2	2	1	5	9	5	14	84	Substancial	
13	Troca do gerador de raios X - Equipamentos que possuem gerador a óleo (raios x, mamografia,	Radiação ionizante	Na realização de testes de funcionamento; pela entrada sem autorização no ambiente no momento do	Doenças crônicas (câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução de expectativa de vida) devido ao efeito	Biombo de proteção radiológica revestido de chumbo; dosímetro de	Físico	D	R	C	A	1	2	2	1	5	9	5	14	84	Substancial	

	tomografia, arco cirúrgico, hemodinâmica)		disparo do raios X; por falha elétrica do sistema; pelo desrespeito do indicador luminoso e sonoro do console no momento do disparo do raio X.	estocástico, resultado da exposição à radiação ionizante. Doenças agudas das radiações ionizantes (síndrome aguda das radiações, síndrome cutânea das radiações) devido doses agudas elevadas. Doenças crônicas (catarata) devido efeitos determinísticos, decorrentes de uma única irradiação elevada.	monitoração biológica; vestimenta de proteção radiológica tipo avental; vestimenta de proteção radiológica para de tireóide; controle de distância da fonte de radiação.																
14	Troca do tubo de raios-X	Radiação ionizante	Na realização de testes de funcionamento; pela entrada sem autorização no ambiente no momento do disparo do raios X; por falha elétrica do sistema; pelo desrespeito do indicador luminoso e sonoro do console no momento do disparo do raio X.	Doenças crônicas (câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução de expectativa de vida) devido ao efeito estocástico, resultado da exposição à radiação ionizante. Doenças agudas das radiações ionizantes (síndrome aguda das radiações, síndrome cutânea das radiações) devido doses agudas elevadas. Doenças crônicas (catarata) devido efeitos determinísticos, decorrentes de uma única irradiação elevada.	Biombo de proteção radiológica revestido de chumbo; dosímetro de monitoração biológica; vestimenta de proteção radiológica tipo avental; vestimenta de proteção radiológica para de tireóide; controle de distância da fonte de radiação.	Físico	D	R	C	A	1	2	2	1	5	9	5	14	84	Substancial	

				crônicas (catarata) devido efeitos determinísticos, decorrentes de uma única irradiação elevada.	distância da fonte de radiação.																
20	Troca de placa de controle de giro do anodo - Equipamentos que possuem tubo com anodo giratório (raios X, mamografia, tomografia, hemodinâmica)	Radiação ionizante	Na realização de testes de funcionamento; pela entrada sem autorização no ambiente no momento do disparo do raios X; por falha elétrica do sistema; pelo desrespeito do indicador luminoso e sonoro do console no momento do disparo do raio X.	Doenças crônicas (câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução de expectativa de vida) devido ao efeito estocástico, resultado da exposição à radiação ionizante. Doenças agudas das radiações ionizantes (síndrome aguda das radiações, síndrome cutânea das radiações) devido doses agudas elevadas. Doenças crônicas (catarata) devido efeitos determinísticos, decorrentes de uma única irradiação elevada.	Biombo de proteção radiológica revestido de chumbo; dosímetro de monitoração biológica; vestimenta de proteção radiológica tipo austral; vestimenta de proteção radiológica para de tireóide; controle de distância da fonte de radiação.	Físico	D	R	C	A	1	2	2	1	5	9	5	14	84	Substancial	
21	Troca de placa de controle de potência	Radiação ionizante	Na realização de testes de funcionamento; pela entrada sem autorização no ambiente no momento do disparo do raios X; por falha elétrica do sistema; pelo desrespeito do indicador	Doenças crônicas (câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução de expectativa de vida) devido ao efeito estocástico, resultado da exposição à radiação ionizante. Doenças agudas das radiações ionizantes	Biombo de proteção radiológica revestido de chumbo; dosímetro de monitoração biológica; vestimenta de proteção radiológica tipo austral;	Físico	D	R	C	A	1	2	2	1	5	9	5	14	84	Substancial	

APÊNDICE E – Análise de riscos do setor Técnico de Campo (Baias)

Diretoria: Diretoria Técnica

Departamento: Manutenção Técnica de Campo e Interna

Setor: Técnico de Campo (Baias)

Tarefa: Manutenção da geração de raios X

Código da Atividade	Descrição da Atividade	Perigo	Caracterização do Perigo							Estimativa de Risco							Significância			
			Causa do perigo	Lesão/Doença/Dano	Controle	Classe de Perigo	I	O	T	OP	Probabilidade			Severidade						
							EP	EC	CP	PE	Soma	GV	EA	Soma	GR					
1	Alinhamento do tubo (mamografia, densitometria, tomografia, arco cirúrgico, hemodinâmica)	Radiação ionizante	Na realização de testes de funcionamento; pela entrada sem autorização no ambiente no momento do disparo do raios X; por falha elétrica do sistema; pelo desrespeito do indicador luminoso e sonoro do console no momento do disparo do raios X; pelo desrespeito ao procedimento na verificação da qualidade da imagem.	Doenças crônicas (câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução de expectativa de vida) devido ao efeito estocástico, resultado da exposição à radiação ionizante. Doenças agudas das radiações ionizantes (síndrome aguda das radiações, síndrome cutânea das radiações) devido doses agudas elevadas. Doenças crônicas (catarata) devido efeitos determinísticos, decorrentes de uma única irradiação elevada.	Sala de testes blindadas, dosímetro de monitoração biológica, vestimenta de proteção radiológica tipo austral; vestimenta de proteção radiológica para de tireóide; placas de sinalização (símbolo de radiação ionizante).	Físico	D	NR	P	A	1	2	1	2	6	9	3	12	72	Substancial

2	Calibração	Radiação ionizante	Na realização de testes de funcionamento; pela entrada sem autorização no ambiente no momento do disparo do raios X; por falha elétrica do sistema; pelo desrespeito do indicador luminoso e sonoro do console no momento do disparo do raio X.	Doenças crônicas (câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução de expectativa de vida) devido ao efeito estocástico, resultado da exposição à radiação ionizante. Doenças agudas das radiações ionizantes (síndrome aguda das radiações, síndrome cutânea das radiações) devido doses agudas elevadas. Doenças crônicas (catarata) devido efeitos determinísticos, decorrentes de uma única irradiação elevada.	Sala de testes blindadas, dosímetro de monitoração biológica, vestimenta de proteção radiológica tipo austral; vestimenta de proteção radiológica para de tireóide; placas de sinalização (símbolo de radiação ionizante).	Físico	D	R	C	A	1	2	1	2	6	9	3	12	72	Substancial					
3	Coincidência do campo luminoso - Equipamentos que possuem lâmpada no colimador (raios X, mamografia)	Radiação ionizante	Na realização de testes de funcionamento; pela entrada sem autorização no ambiente no momento do disparo do raios X; por falha elétrica do sistema; pelo desrespeito do indicador luminoso e sonoro do console no momento do disparo do raio X.	Doenças crônicas (câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução de expectativa de vida) devido ao efeito estocástico, resultado da exposição à radiação ionizante. Doenças agudas das radiações ionizantes (síndrome aguda das radiações, síndrome cutânea das radiações) devido doses agudas elevadas. Doenças crônicas (catarata) devido efeitos determinísticos,	Sala de testes blindadas, dosímetro de monitoração biológica, vestimenta de proteção radiológica tipo austral; vestimenta de proteção radiológica para de tireóide; placas de sinalização (símbolo de radiação ionizante).	Físico	D	R	C	A	1	2	1	2	6	9	3	12	72	Substancial					

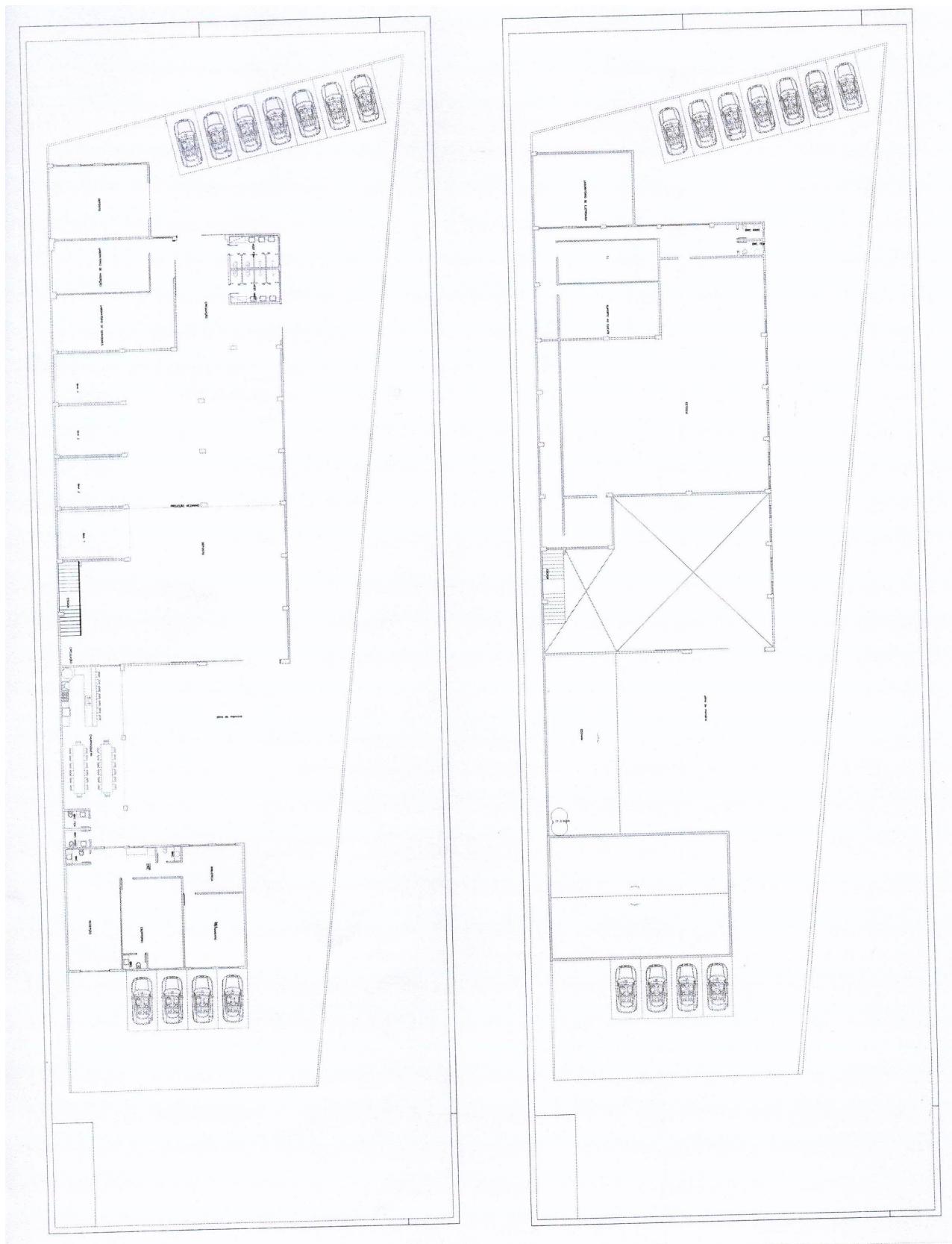
				decorrentes de uma única irradiação elevada.																		
6	Manutenção do console - Equipamentos automáticos (mamografia, densitometria, tomografia, arco cirúrgico, hemodinâmica)	Radiação ionizante	Na realização de testes de funcionamento; pela entrada sem autorização no ambiente no momento do disparo do raios X; por falha elétrica do sistema; pelo desrespeito do indicador luminoso e sonoro do console no momento do disparo do raio X; pelo desrespeito ao procedimento na verificação da qualidade da imagem.	Doenças crônicas (câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução de expectativa de vida) devido ao efeito estocástico, resultado da exposição à radiação ionizante. Doenças agudas das radiações ionizantes (síndrome aguda das radiações, síndrome cutânea das radiações) devido doses agudas elevadas. Doenças crônicas (catarata) devido efeitos determinísticos, decorrentes de uma única irradiação elevada.	Sala de testes blindadas, dosímetro de monitoração biológica, vestimenta de proteção radiológica tipo austral; vestimenta de proteção radiológica para de tireóide; placas de sinalização (símbolo de radiação ionizante).	Físico	D	R	C	A	1	2	1	2	6	9	3	12	72	Substancial		
9	Troca de cabo de alta tensão - Equipamentos que possuem gerador separado do tubo de raios X (raios X, mamografia, densitometria, tomografia, arco cirúrgico, hemodinâmica)	Radiação ionizante	Na realização de testes de funcionamento; pela entrada sem autorização no ambiente no momento do disparo do raios X; por falha elétrica do sistema; por desrespeito do indicador luminoso e sonoro do console no momento do disparo do raio	Doenças crônicas (câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução de expectativa de vida) devido ao efeito estocástico, resultado da exposição à radiação ionizante. Doenças agudas das radiações ionizantes (síndrome aguda das radiações, síndrome cutânea das radiações) devido doses agudas elevadas. Doenças crônicas (catarata) devido efeitos	Sala de testes blindadas, dosímetro de monitoração biológica, vestimenta de proteção radiológica tipo austral; vestimenta de proteção radiológica para de tireóide; placas de sinalização (símbolo de radiação	Físico	D	R	C	A	1	2	1	2	6	9	3	12	72	Substancial		

			X.	determinísticos, decorrentes de uma única irradiação elevada.	ionizante).																	
10	Troca do colimador - Equipamentos que possuem colimação variável manualmente ou eletricamente (raios-x, densiometria, tomografia, arco cirúrgico, hemodinâmica)	Radiação ionizante	Na realização de testes de funcionamento; pela entrada sem autorização no ambiente no momento do disparo do raios X; por falha elétrica do sistema; pelo desrespeito do indicador luminoso e sonoro do console no momento do disparo do raio X; pelo desrespeito ao procedimento na verificação da qualidade da imagem.	Doenças crônicas (câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução de expectativa de vida) devido ao efeito estocástico, resultado da exposição à radiação ionizante. Doenças agudas das radiações ionizantes (síndrome aguda das radiações, síndrome cutânea das radiações) devido doses agudas elevadas. Doenças crônicas (catarata) devido efeitos determinísticos, decorrentes de uma única irradiação elevada.	Sala de testes blindadas, dosímetro de monitoração biológica, vestimenta de proteção radiológica tipo austral; vestimenta de proteção radiológica para de tireóide; placas de sinalização (símbolo de radiação ionizante).	Físico	D	R	C	A	1	2	1	2	6	9	3	12	72	Substancial		
11	Radiação ionizante	Exposição à radiação ionizante	Na realização de testes de funcionamento; pela entrada sem autorização no ambiente no momento do disparo do raios X; por falha elétrica do sistema; pelo desrespeito do	Doenças crônicas (câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução de expectativa de vida) devido ao efeito estocástico, resultado da exposição à radiação ionizante. Doenças agudas das radiações ionizantes (síndrome aguda das	Sala de testes blindadas, dosímetro de monitoração biológica, vestimenta de proteção radiológica tipo austral; vestimenta de proteção radiológica	Físico	D	NR	C	A	1	2	1	2	6	9	3	12	72	Substancial		

			indicador luminoso e sonoro do console no momento do disparo do raio X; pelo desrespeito ao procedimento na verificação da qualidade da imagem.	radiações, síndrome cutânea das radiações) devido doses agudas elevadas. Doenças crônicas (catarata) devido efeitos determinísticos, decorrentes de uma única irradiação elevada.	para de tireóide; placas de sinalização (símbolo de radiação ionizante).															
12	Radiação ionizante	Exposição à radiação ionizante	Na realização de testes de funcionamento; pela entrada sem autorização no ambiente no momento do disparo dos raios X; por falha elétrica do sistema; pelo desrespeito do indicador luminoso e sonoro do console no momento do disparo do raio X.	Doenças crônicas (câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução de expectativa de vida) devido ao efeito estocástico, resultado da exposição à radiação ionizante. Doenças agudas das radiações ionizantes (síndrome aguda das radiações, síndrome cutânea das radiações) devido doses agudas elevadas. Doenças crônicas (catarata) devido efeitos determinísticos, decorrentes de uma única irradiação elevada.	Sala de testes blindadas, dosímetro de monitoração biológica, vestimenta de proteção radiológica tipo austral; vestimenta de proteção radiológica para de tireóide; placas de sinalização (símbolo de radiação ionizante).	Físico	D	R	C	A	1	2	1	2	6	9	3	12	72	Substancial

			disparo do raio X.	crônicas (catarata) devido efeitos determinísticos, decorrentes de uma única irradiação elevada.	radiação ionizante).															
16	Radiação ionizante	Exposição à radiação ionizante	Na realização de testes de funcionamento; pela entrada sem autorização no ambiente no momento do disparo do raios X; por falha elétrica do sistema; por desrespeito do indicador luminoso e sonoro do console no momento do disparo do raio X.	Doenças crônicas (câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução de expectativa de vida) devido ao efeito estocástico, resultado da exposição à radiação ionizante. Doenças agudas das radiações ionizantes (síndrome aguda das radiações, síndrome cutânea das radiações) devido doses agudas elevadas. Doenças crônicas (catarata) devido efeitos determinísticos, decorrentes de uma única irradiação elevada.	Sala de testes blindadas, dosímetro de monitoração biológica, vestimenta de proteção radiológica tipo austral; vestimenta de proteção radiológica para de tireóide; placas de sinalização (símbolo de radiação ionizante).	Físico	D	R	C	A	1	2	1	2	6	9	3	12	72	Substancial
17	Radiação ionizante	Exposição à radiação ionizante	Na realização de testes de funcionamento; pela entrada sem autorização no ambiente no momento do disparo do raios X; por falha elétrica do sistema; por desrespeito do	Doenças crônicas (câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução de expectativa de vida) devido ao efeito estocástico, resultado da exposição à radiação ionizante. Doenças agudas das radiações ionizantes	Sala de testes blindadas, dosímetro de monitoração biológica, vestimenta de proteção radiológica tipo austral; vestimenta de proteção	Físico	D	R	C	A	1	2	1	2	6	9	3	12	72	Substancial

			indicador luminoso e sonoro do console no momento do disparo do raio X.	(síndrome aguda das radiações, síndrome cutânea das radiações) devido doses agudas elevadas. Doenças crônicas (catarata) devido efeitos determinísticos, decorrentes de uma única irradiação elevada.	radiológica para de tireóide; placas de sinalização (símbolo de radiação ionizante).															
20	Radiação ionizante	Exposição à radiação ionizante	Na realização de testes de funcionamento; pela entrada sem autorização no ambiente no momento do disparo do raios X; por falha elétrica do sistema; pelo desrespeito do indicador luminoso e sonoro do console no momento do disparo do raio X.	Doenças crônicas (câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução de expectativa de vida) devido ao efeito estocástico, resultado da exposição à radiação ionizante. Doenças agudas das radiações ionizantes (síndrome aguda das radiações, síndrome cutânea das radiações) devido doses agudas elevadas. Doenças crônicas (catarata) devido efeitos determinísticos, decorrentes de uma única irradiação elevada.	Sala de testes blindadas, dosímetro de monitoração biológica, vestimenta de proteção radiológica tipo avental; vestimenta de proteção radiológica para de tireóide; placas de sinalização (símbolo de radiação ionizante).	Físico	D	R	C	A	1	2	1	2	6	9	3	12	72	Substancial
21	Radiação ionizante	Exposição à radiação ionizante	Na realização de testes de funcionamento; pela entrada sem autorização no ambiente no momento do	Doenças crônicas (câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução de expectativa de vida) devido ao efeito estocástico, resultado da exposição à	Sala de testes blindadas, dosímetro de monitoração biológica,	Físico	D	R	C	A	1	2	1	2	6	9	3	12	72	Substancial

ANEXO A – Planta baixa do prédio da empresa

ANEXO B – Planta baixa da baia

