

**PROJETO DE BLINDAGEM ESTRUTURAL
PARA MODIFICAÇÃO/ADEQUAÇÃO DE 1 (UMA) SALA
PARA INSTALAÇÃO DE 1 (UM) ACELERADOR
LINEAR DE ELÉTRONS DE 6 MV_{máx}**

**INSTITUIÇÃO:
HOSPITAL MUNICIPAL SÃO JOSÉ - HMSJ
Joinville - SC
Mat. CNEN: 11.489**

**Referência :
HMSJ-HAL 6MV - SALA 02 - V1.0
Código de Requisição : 2021SCRA0678**

Elaborado por:

Pedro Paulo Pereira Júnior – Físico projetista

CNEN – FT 0003 Val: JUN/2023

Reg. Físico Médico CNEN – RA 0105 Val: AGO/2024

Abril – 2021

ppereirajr@gmail.com

ppereira@dosimetrika.com.br

21-99222-2792 – Mobile/WhatsApp

ÍNDICE DO RPAS

I - OBJETIVOS	PG. 3
II – RESPONSABILIDADES	PG. 3
III - LOCALIZAÇÃO FÍSICA DOS EQUIPAMENTOS	PG. 3
IV - CONSIDERAÇÕES GERAIS	PG. 4
V - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO EQUIPAMENTO	PG. 4 a 6
VI – ATENUAÇÃO, CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS UTILIZADO COMO BLINDAGEM PARA A FAIXA DE ENERGIA CONSIDERADA E SISTEMAS DE SEGURANÇA	PG. 6
VII – PLANO PRELIMINAR DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA	PG. 6 a 7
VIII – MEMÓRIA DE CÁLCULO DAS BARREIRAS E OTIMIZAÇÃO	PG. 7 a 30
REFERÊNCIAS, GLOSSÁRIO E ANEXOS	PG. 31 a 36

ANEXOS A a E:

Glossário, Especificações de fuga do cabeçote, atenuação do “Beam-stopper” e declaração da densidade do concreto.

RELATÓRIO PRELIMINAR DE ANÁLISE DE SEGURANÇA (RPAS) **Em conformidade com a Norma CNEN NN 6.10 DE 24/12/2014**

I - OBJETIVOS

- **CÁLCULOS DE BLINDAGENS PARA INSTALAÇÃO DE 1 ACELERADOR LINEAR DE ELÉTRONS**
MARCA: VARIAN, MODELO: HALCYON
- **FÓTONS 6MV-FFF Máx**
- **Projeto & Plantas Ref: HMSJ-HAL 6MV – V1.0**

Como Plano Preliminar de Proteção Radiológica estamos apresentando os cálculos de blindagens necessários para a construção de nova sala para a instalação do equipamento abaixo relacionado:

Acelerador Linear de Elétrons
Marca: VARIAN ONCOLOGY SYSTEMS
Modelo: **HALCYON - 6MV-FFF**

II - RESPONSABILIDADES

O presente projeto é de responsabilidade dos seguintes profissionais:

- Cálculos de blindagens: Pedro Paulo Pereira Junior – Físico Consultor
CNEN FT 003 – Val. Jun/2018
Reg. Físico Médico CNEN – RA 0105 Val: Ago/2024
CPF: 280.669.017-04
- Fiscalização da Obra: Eng.º: Jackson Rodrigues
CREA: 158430-0
- Responsabilidade Geral pela execução e cumprimento das especificações técnicas:

Sr. Jean Rodrigues da Silva
Titular Responsável
CPF – 970.035.499-72

III - LOCALIZAÇÃO FÍSICA DOS EQUIPAMENTOS (Controle Físico)

O Acelerador Linear VARIAN-HALCYON de 6MV será instalado em sala já existente a ser modificada, na área física das instalações do **HOSPITAL MUNICIPAL SÃO JOSÉ**, na Av. Getúlio Vargas n° 238, na Cidade de Joinville, SC, nos locais indicados nas plantas em anexo.

A sala existente, será reformada para a instalação do novo equipamento objeto desse projeto.

Essa sala abrigava um equipamento de Telecobaltoterapia marca: Theratronics, modelo Th-780C, #121, já tendo sido desativado. O cabeçote com a fonte aguarda ser enviado para o IPEN/CNEN-São Paulo-SP ou CDTN/CNEN-Belo Horizonte-MG. A sala encontra-se atualmente vazia.

As áreas adjacentes a cada uma das paredes das salas serão descritas junto com o desenvolvimento dos cálculos de blindagem.

Dados da instituição:

HOSPITAL MUNICIPAL SÃO JOSÉ – HMS - Joinville - SC

Mat. CNEN: 11.489

Avenida Getúlio Vargas, 238 – Bairro Anita Garibaldi

Joinville – SC CEP 89.202-10

CNPJ: 84.703.248/0001-09

Requerimento: 2021SCRA0678

IV - CONSIDERAÇÕES GERAIS

No desenvolvimento dos cálculos será feita uma análise das barreiras, sob o ponto de vista de otimização, levando-se em conta os Limites Primários Anuais de Dose Equivalente em conformidade com o que preconiza a Norma CNEN-NN 3.01 (pag.14 e 18) e a [Norma CNEN 6.10 DE 24/12/2014](#).

Serão adotados os seguintes Limites de Dose:

DOSE	ÁREA
1,0 mSv/ano (0,02 mSv/sem)	LIVRE – Público em geral
20,0 mSv/ano (0,40 mSv/sem)	SUPERVISIONADA – IOE*
20,0 mSv/ano (0,40 mSv/sem)	CONTROLADA –IOE*

* Indivíduo Ocupacionalmente Exposto

O projeto apresenta uma memória descritiva de cálculos individuais para cada barreira, bem como a correspondente análise da opção de otimização, utilizando-se um período de **20 anos (1040 semanas com 52 semanas/ano)** como vida útil da instalação. Os resultados encontrados foram comparados com o valor sugerido de $\alpha = \text{US\$ } 10.000,00/\text{Pessoa.Sievert poupado (NN 3.01 - pg. 15)}$.

As espessuras de concreto, bem como todos os dados relevantes, foram extraídos do **NCRP Reports n° 151 (Dez/2005)**, n° 51 e n° 102, ICRP n° 33 e Ref. bibliográficas 1 a 8.

V - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO EQUIPAMENTO

A seguir apresentamos os parâmetros utilizados na elaboração do projeto dessa instalação.

CARGA DE TRABALHO DOS EQUIPAMENTOS:

Feixe Primário:

W_P = 1.200 Sv/semana , @ 100 cm para feixe primário, equivalentes a uma média de 90 a 110 pacientes/dia. Este valor conservativo utilizado reflete de modo realístico a utilização média prevista para o equipamento, conforme sugerido pelo NCRP # 49 (pg. 64) e NCRP # 151 (pg.53) com margem adicional.

Feixe Secundário:

W_L = 3.000 Sv/semana , @ 100 cm para feixe secundário, equivalentes a uma média de 90 a 110 pacientes/dia, sendo **100% com tratamentos de IMRT/IMAT/IGRT**.

Para os tratamentos de IMRT/IMAT/IGRT foi considerado um fator **C = 2,5 (dois e meio)**, para a radiação de fuga do cabeçote, em relação à carga de trabalho para tratamentos convencionais.

W_L = (2,5 x 1.200 Sv/semana x 100%) = 3.000 Sv/semana

EQUIPAMENTO NA SALA 02

MARCA/MODELO: AC. LINEAR VARIAN – **HALCYON-6MV_{MÁX} – FFF**
(“Free Flattening Filter”) - FÓTONS,
com “*Beam Stopper*” e sem filtro achatador.

FABRICANTE: VARIAN ONCOLOGY SYSTEMS

596 Alder Drive - Milpitas, California - 95035 - USA

TIPO: Acelerador Linear de Elétrons, isocêntrico, com SAD = 100 cm

TAMANHO DE CAMPO MÁXIMO TÍPICO: (28 X 28) cm² no Isocentro

ALTURA NOMINAL DO ISOCENTRO: 110,0 cm

TAXAS DE DOSE NOMINAIS NO ISOCENTRO: 100 a 800 cGy/minuto (Campo 10 x 10 @ 100 cm SSD).

ENERGIA NOMINAL PARA FÓTONS: 6MV - FFF (“Free Flattening Filter”)

RADIAÇÃO DE FUGA DO CABEÇOTE COM FEIXE ATIVADO: ≤ 0,05% da taxa de dose no isocentro (vide especificações do fabricante no **anexo C**).

TRANSMISSIVIDADE DO “BEAM-STOPPER” (“Beam-Block”): ≤ 0,1% da taxa de dose no isocentro (vide especificações do fabricante no **anexo C**).

RADIAÇÃO ESPALHADA A 90°: a = 4,26 x 10⁻⁴ @ 100 cm; F = 400 cm² com a utilização de fantoma de dimensões humanas como meio espalhador (NCRP n° 151, Tabela B4, pg.163 - interpolado).

RADIAÇÃO ESPALHADA A 20°: $a = 6,73 \times 10^{-3}$ @ 100 cm; $F = 400 \text{ cm}^2$ com a utilização de fantoma de dimensões humanas como meio espalhador (NCRP n° 151, Tabela B4, pg.163 - interpolado).

TABELA RESUMIDA DAS CARACTERÍSTICAS DE PRODUÇÃO DE FÓTONS DO FEIXE DE 6MV-FFF DO ACELERADOR HALCYON

Energia de Fótons	6 MV - FFF	≤ 6 MV - FFF
Emissão de Fótons	Feixe Primário	Feixe de Fuga do Cabeçote ("Leakage")
Dose Equivalente de Fótons (Sv/Gy)	1,00E+00 (100%)	0,50E-03 (0,05%)
Radiação espalhada a 90° (a) - 400 cm ²	$a = 4,26E-04$ @ 100 cm	-----
Radiação espalhada a 20° (a) - 400 cm ²	$a = 6,73E-03$ @ 100 cm	-----

Serão adotados os fatores de uso (U) abaixo listados para feixe primário com base nas características de tratamento desse tipo de equipamento em serviços de Radioterapia.

ÂNGULO	FEIXE DE RADIAÇÃO	FATOR DE USO
0°	VERTICAL P/BAIXO (+/- 45°)	1/4
90°/270°	HORIZONTAL, DIREITO/ESQUERDO (+/- 45°)	1/4 e 1/4
180°	VERTICAL P/CIMA (+/- 45°)	1/4

LARGURA DE BARREIRAS PRIMÁRIAS: As larguras das **barreiras primárias** serão equivalentes a projeção da diagonal do maior tamanho de campo, no lado externo da parede ou na fronteira com a proteção secundária, com uma margem adicional de 0,30 m para cada lado.

VI – ATENUAÇÃO, CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS UTILIZADO COMO BLINDAGEM PARA A FAIXA DE ENERGIA CONSIDERADA E SISTEMAS DE SEGURANÇA

CUSTO E CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO : Para efeito de cálculos de otimização foi pesquisado o custo/metro cúbico do Concreto Usinado Convencional **tipo 18MPA**, com $\rho = 2,35 \text{ T/m}^3$, apropriado para a construção de salas para equipamentos de megavoltagem. No custo estão incluídos mão de obra, forma, armação, concreto (jateado), aplicação e desforma. O custo médio pesquisado em 3 firmas com experiência na construção de salas de radioterapia foi de **US\$ 420,00 /metro cúbico**.

CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO – (NCRP n° 151 – Dez/2005, pg. 160 a 171)

TABELA 1- CONCRETO CONVENCIONAL - **FÓTONS 6MV ($\rho = 2,35 \text{ T/m}^3$)**

	FEIXE PRIMÁRIO pg.161 (6MV)	FUGA DO CABEÇOTE pg. 167 (6MV)	FEIXE ESPALHADO a 90° pg.164 ($\cong 0,2$ a $0,3 \text{ MeV}$)	FEIXE ESPALHADO a 20° pg.164 ($\cong 1,2$ a $1,3 \text{ MeV}$)
TVL _{eq}	33,0 cm	29,0 cm	17,0 cm	31,0 cm
TVL ₁	37,0 cm	34,0 cm	17,0 cm	31,0 cm

VII – PLANO PRELIMINAR DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO: Recomendamos a utilização de condicionador de ar do tipo "Split System" ou unidade central do tipo "Fan & Coil", uma vez que esses equipamentos não necessitam de aberturas extensas na parede para instalação e funcionamento.

MONITORAÇÃO VISUAL E SONORA DOS PACIENTES : Será utilizado, circuito interno de TV, com intercomunicação sonora de "viva-voz" e instalação de iluminação de emergência no interior da sala do equipamento.

SISTEMAS DE EMERGÊNCIA: Os dispositivos de emergência básicos constantes deste projeto são:

- **Microrruptor de intertravamento da porta** - só permite o funcionamento do feixe com a porta fechada e interrompe o mesmo caso a porta seja aberta durante o tratamento.
- **Botões de emergência (tipo "soco")** - desativam por completo a alimentação elétrica do equipamento. Estão distribuídos pela sala de tratamento e comando.
- **Câmara de transmissão dual** - o sistema de dosimetria do equipamento é controlado por duas câmaras de transmissão com funcionamento independente, de modo a garantir que o feixe seja interrompido caso seja constatada uma falha (diferença > 0,4 Gy) e um dos sistemas de medida da dose prescrita.
- **Sinalização de feixe ativado** – conjunto de sinalizadores luminosos que indicam se o feixe está ativado (luz vermelha) ou desativado (luz verde). O conjunto será instalado acima da porta de acesso à sala de tratamento (vide planta em anexo).
- **Puxador interno na porta** - permite que a porta possa ser aberta pelo interior da sala de tratamento caso necessário.
- **Iluminação de emergência** - necessária para a remoção segura do paciente da sala, em caso de falta de energia elétrica.

VIII – MEMÓRIA DE CÁLCULO DAS BARREIRAS E OTIMIZAÇÃO – SALA 02

A seguir descrevemos os cálculos individuais para cada barreira. O pé direito da instalação é de 2,7 m.

Especificações de fuga do cabeçote e transmissividade do bloqueador de feixe primário para fótons – ANEXO C
Declaração de densidade do concreto – ANEXO D

PAREDE A: Barreira primária

Cálculo da largura mínima da parede A: Maior diagonal adicionada de 0,30 m, em cada lado do cinturão primário, na face externa da parede A – $d_{i-A \text{ ext}} = 6,5 \text{ m}$.

$$\text{Larg}_{A \rightarrow Ext} = (6,5 \times \sqrt{2} \times 0,28\text{m}) + (0,30 \times 2) = 3,2 \text{ m}$$

Descrição: Área interna – Sala de tratamento adjacente do Ac. VitalBeam, de 10MV, com ocupação sistemática de pacientes e técnicos de radoterapia..

Tipo de Barreira :	Primária
Tipo de Área :	Área Controlada
Limite Primário :	2,0 x 10 ⁻⁵ Sv/semana (opção conservativa – uso do limite primário de área livre)
W _P @ 100 cm :	1.200 Sv/semana
Transmissão do “Beam Stopper”:	0,1 % (1,0 x 10 ⁻³)
Distância :	(d _{prim}) = 6,5 m
U _P = 1/4	T = 1
Campo máximo no isocentro:	28 cm x 28 cm

CÁLCULOS DE LIMITAÇÃO DE DOSE PARA A BARREIRA A

Radiação Primária - Fótons: Eq. (A.1)

$$B_{\text{prim}} = \frac{(2,0 \times 10^{-5}) \times (6,5)^2}{1200 \times 0,001 \times \frac{1}{4} \times 1} = 2,82 \times 10^{-3}$$

$$|\text{Log}_{10}(2,82 \times 10^{-3})| = 2,55 \text{ TVLs} \Rightarrow (1,00 \times 37,0 \text{ cm} + 1,55 \times 33,0 \text{ cm}) = 88 \text{ cm}$$

CÁLCULOS DE OTIMIZAÇÃO PARA A BARREIRA A

- **Cálculo do Índice de Dose Equivalente evitado em 20 anos**

Permanência: **n = 4,0** – Permanência integral de 3 técnicos + 1 paciente, na projeção da parede A, na sala do VitalBeam. (valor conservativo)

A_w = 3,2 m x 2,7 m = 8,64 m ²	P_{m3} = 420 US\$/m ³	TVL_{prim-eq} = 0,33 m
α = 10.000 US\$/H.Sv em 20 anos		n = 4,0
T_v = 1040 semanas		

$$H_{\text{tot}} = 1200 \text{ Sv/sem} \times (0,001) \times \left(\frac{1}{6,5}\right)^2 \times \left(\frac{1}{4}\right) = 7,10 \times 10^{-3} \text{ Sv/sem}$$

Equação de Otimização: Eq. (A.6)

$$B_{\text{otm}} = \frac{8,64 \times 420 \times 0,33}{(\text{Ln}10) \times 10000 \times 4,0 \times 1040 \times (7,10 \times 10^{-3})} = 1,76 \times 10^{-3}$$

$$|\text{Log}_{10}(1,76 \times 10^{-3})| = 2,75 \text{ TVLs} \Rightarrow (1,00 \times 37,0 \text{ cm} + 1,75 \times 33,0 \text{ cm}) = 95 \text{ cm}$$

Conclusão: Usaremos a maior das duas espessuras referente ao cálculo pela equação de otimização para a componente primária dessa barreira.

PAREDES A, B e C adjacentes: Barreira secundária em toda a extensão

Descrição: Área interna – Sala de tratamento adjacente do Ac. VitalBeam, de 10MV, com ocupação sistemática de pacientes e técnicos de radoterapia..

Tipo de Barreira : Secundária
Tipo de Área : Área Controlada
Limite Primário : $2,0 \times 10^{-5}$ Sv/semana (opção conservativa – uso do limite primário de área livre)
% Leakage: 0,05%
W_L @ 100 cm : **3.000 Sv/semana**
Distância : (d_{sec}) = (d_{leak}) = 5,5 m
U_s = 1 T = 1 F = 28 x 28 cm² = 784 cm²

CÁLCULOS DE LIMITAÇÃO DE DOSE PARA AS BARREIRAS A, B e C

Radiação Secundária de Fuga do Cabeçote: “Leakage-fótons” ≤ 0,05% -: Eq. (A.3)

$$B_{leak} = \frac{(2,0 \times 10^{-5}) \times (5,5)^2}{0,0005 \times 3000 \times 1 \times 1} = 4,03 \times 10^{-4}$$

$$|\text{Log}_{10}(4,03 \times 10^{-4})| = 3,39 \text{ TVLs} \Rightarrow (1,00 \times 34,0 \text{ cm} + 2,39 \times 29,0 \text{ cm}) = 103 \text{ cm}$$

Radiação Secundária Espalhada @ 90° : Eq. (A.2)

$$B_{scatter} = \frac{(2,0 \times 10^{-5}) \times (1,0)^2 \times (5,5)^2}{(4,26 \times 10^{-4}) \times 3000 \times 1 \times 1} \times \frac{400}{784} = 2,42 \times 10^{-4}$$

$$|\text{Log}_{10}(2,42 \times 10^{-4})| = 3,62 \text{ TVLs} \Rightarrow 3,62 \times 17,0 \text{ cm} = 61 \text{ cm}$$

Diferença das barreiras :

$$\text{Leakage} - \text{Espalhada} = 103 \text{ cm} - 61 \text{ cm} = 42 \text{ cm} > 1 \text{ TVL}_{\text{Leakage-eq}}$$

Como a diferença das barreiras é maior que 1 TVL_{Leak-Eq} (29,0cm) usaremos a maior das duas, referente ao cálculo de radiação de fuga do cabeçote.

CÁLCULOS DE OTIMIZAÇÃO PARA AS BARREIRAS A, B e C

- **Cálculo do Índice de Dose Equivalente evitado em 20 anos**

Permanência: **n = 4,0** – Permanência integral de 3 técnicos + 1 paciente, na sala adjacente do VitalBeam. (valor conservativo)

$A_w = 5,3 \text{ m} \times 2,7 \text{ m} = 14,31 \text{ m}^2$ $P_{m3} = 420 \text{ US\$/m}^3$ $TVL_{\text{Leakage-eq}} = 0,29 \text{ m}$
 $\alpha = 10.000 \text{ US\$/H.Sv em 20 anos}$ $n = 4,0$
 $T_v = 1040 \text{ semanas}$

$$H_{tot} = 3000 \text{ Sv/sem} \times \left(\frac{1}{5,5}\right)^2 \times (0,0005) = 4,96 \times 10^{-2} \text{ Sv/sem}$$

Equação de Otimização Leakage: Eq. (A.6) - $TVL_{\text{Leakage-eq}} = 0,29 \text{ m}$

$$B_{otm-leak} = \frac{14,31 \times 420 \times 0,29}{(\text{Ln } 10) \times 10000 \times 4,0 \times 1040 \times (4,96 \times 10^{-2})} = 3,67 \times 10^{-4}$$

$$|\text{Log}_{10}(3,67 \times 10^{-4})| = 3,44 \text{ TVLs} \Rightarrow (1,00 \times 34,0 \text{ cm} + 2,44 \times 29,0 \text{ cm}) = 105 \text{ cm}$$

Equação de Otimização Scatter: Eq. (A.6) - $TVL_{\text{Scatter @ } 90^\circ} = 0,17 \text{ m}$

$$B_{otm-scatt} = \frac{14,31 \times 420 \times 0,17}{(\text{Ln } 10) \times 10000 \times 4,0 \times 1040 \times (4,96 \times 10^{-2})} = 2,15 \times 10^{-4}$$

$$|\text{Log}_{10}(2,15 \times 10^{-4})| = 3,67 \text{ TVLs} \Rightarrow 3,67 \times 17,0 \text{ cm} = 62 \text{ cm}$$

Diferença das barreiras :

$$\text{Leakage - Espalhada} = 105 \text{ cm} - 62 \text{ cm} = 43 \text{ cm} > 1 \text{ TVL}_{\text{Leakage-eq}}$$

Como a diferença das barreiras é maior do que 1 $TVL_{\text{Leak-Eq}}$ (29,0cm) usaremos a maior das duas na espessura final, referente ao cálculo de radiação de fuga do cabeçote

Conclusão Final – Paredes adjacentes A, B e C: Usaremos a maior de todas as espessuras calculadas tanto para a barreira primária quanto para as barreiras secundárias.

Paredes A, B e C:

- Espessura máxima calculada em concreto convencional: **105 cm**
- Espessura mínima já existente em concreto convencional: **120 cm > 105 cm - Parede B**

Taxa de dose instantânea máxima e dose média anual estimada para as paredes A, B e C.
 (campo 28 x 28 com 4,0 Sv/min @ 100 cm SSD)

$$< 0,3 \mu\text{Sv/h} \text{ ou } < 0,20 \text{ mSv/ano}$$

PAREDE J: Barreira secundária

Descrição: Área externa – Calçada de circulação externa do hospital, com ocupação bastante eventual de público em geral.

Tipo de Barreira : Secundária
 Tipo de Área : Área Livre

Limite Primário : $2,0 \times 10^{-5}$ Sv/semana
 % Leakage: 0,05%
 W_L @ 100 cm : **3.000 Sv/semana**
 Distância : (d_{sec}) = (d_{leak}) = 2,8 m
 U_s = 1 T = 1/8 F = 28 x 28 cm² = 784 cm²

CÁLCULOS DE LIMITAÇÃO DE DOSE PARA A BARREIRA J

Radiação Secundária de Fuga do Cabeçote: "Leakage-fótons" ≤ 0,05% -: Eq. (A.3)

$$B_{leak} = \frac{(2,0 \times 10^{-5}) \times (2,8)^2}{0,0005 \times 3000 \times 1 \times 1/8} = 8,36 \times 10^{-4}$$

$$|\text{Log}_{10}(8,36 \times 10^{-4})| = 3,08 \text{ TVLs} \Rightarrow (1,00 \times 34,0 \text{ cm} + 2,08 \times 29,0 \text{ cm}) = 94 \text{ cm}$$

Radiação Secundária Espalhada @ 90°: Eq. (A.2)

$$B_{scatter} = \frac{(2,0 \times 10^{-5}) \times (1,0)^2 \times (2,8)^2}{(4,26 \times 10^{-4}) \times 3000 \times 1 \times 1/8} \times \frac{400}{784} = 5,01 \times 10^{-4}$$

$$|\text{Log}_{10}(5,01 \times 10^{-4})| = 3,33 \text{ TVLs} \Rightarrow 3,33 \times 17,0 \text{ cm} = 56 \text{ cm}$$

Diferença das barreiras :

$$\text{Leakage - Espalhada} = 94 \text{ cm} - 56 \text{ cm} = 38 \text{ cm} > 1 \text{ TVL}_{\text{Leakage-eq}}$$

Como a diferença das barreiras é maior que 1 TVL_{Leak-Eq} (29,0cm) usaremos a maior das duas, referente ao cálculo de radiação de fuga do cabeçote.

CÁLCULOS DE OTIMIZAÇÃO PARA A BARREIRA J

- Cálculo do Índice de Dose Equivalente evitado em 20 anos**

Permanência: **n = 1,0** – Fluxo de 60 pessoas por hora, com tempo de permanência de 1 minuto, na calçada de circulação externa, na projeção da parede J.

$$(n = [60 \times 1/60] = 1,0)$$

$$A_w = 7,6 \text{ m} \times 2,7 \text{ m} = 20,52 \text{ m}^2$$

$$P_{m3} = 420 \text{ US\$/m}^3$$

$$\text{TVL}_{\text{Leakage-eq}} = 0,29 \text{ m}$$

$$\alpha = 10.000 \text{ US\$/H.Sv em 20 anos}$$

$$n = 1,0$$

$$T_v = 1040 \text{ semanas}$$

$$H_{tot} = 3000 \text{ Sv/sem} \times \left(\frac{1}{2,8}\right)^2 \times (0,0005) = 1,91 \times 10^{-1} \text{ Sv/sem}$$

Equação de Otimização Leakage: Eq. (A.6) - $TVL_{Leakage-eq} = 0,29$ m

$$B_{otm-leak} = \frac{20,52 \times 420 \times 0,29}{(\ln 10) \times 10000 \times 1,0 \times 1040 \times (1,91 \times 10^{-1})} = 5,46 \times 10^{-4}$$

$|\log_{10}(5,46 \times 10^{-4})| = 3,26$ TVLs $\Rightarrow (1,00 \times 34,0 \text{ cm} + 2,26 \times 29,0 \text{ cm}) = 100 \text{ cm}$

Equação de Otimização Scatter @ 90°: Eq. (A.6) - $TVL_{Scatter @ 90^\circ} = 0,17$ m

$$B_{otm-scatt} = \frac{20,52 \times 420 \times 0,17}{(\ln 10) \times 10000 \times 1,0 \times 1040 \times (1,91 \times 10^{-1})} = 3,20 \times 10^{-4}$$

$|\log_{10}(3,20 \times 10^{-4})| = 3,50$ TVLs $\Rightarrow 3,50 \times 17,0 \text{ cm} = 59 \text{ cm}$

Diferença das barreiras :

Leakage - Espalhada = 100 cm - 59 cm = 40 cm > 1 $TVL_{Leakage-eq}$

Como a diferença das barreiras é maior do que 1 $TVL_{Leak-Eq}$ (29,0cm) usaremos a maior das duas na espessura final, referente ao cálculo de radiação de fuga do cabeçote

Conclusão Final: Usaremos a maior das duas espessuras calculadas, referente ao cálculo pela equação de otimização leakage.

Parede J:

- Espessura calculada em concreto convencional: **100 cm**

Taxa de dose instantânea máxima e dose média anual estimada para a parede J.

(campo 28 x 28 com 4,0 Sv/min @ 100 cm SSD)

8,4 μ Sv/h ou 0,65 mSv/ano

PAREDES adjacentes K e L: Barreira primária

Cálculo da largura mínima das paredes K e L: Maior diagonal adicionada de 0,30 m, em cada lado do cinturão primário, na face externa – $d_{i-K-L \text{ ext}} = 5,5$ m.

$$\text{Larg}_{K \text{ e } L \rightarrow \text{Ext}} = (5,5 \times \sqrt{2} \times 0,28\text{m}) + (0,30 \times 2) = 2,8 \text{ m}$$

Descrição: Área externa – Calçada de circulação externa do hospital, com ocupação bastante eventual de público em geral.

Tipo de Barreira :	Primária
Tipo de Área :	Área Livre
Limite Primário :	$2,0 \times 10^{-5}$ Sv/semana
W_P @ 100 cm :	1.200 Sv/semana
Transmissão do "Beam Stopper":	0,1 % ($1,0 \times 10^{-3}$)
Distância :	(d_{prim}) = 5,5 m
$U_P = 1/4$	$T = 1/8$
Campo máximo no isocentro:	28 cm x 28 cm

CÁLCULOS DE LIMITAÇÃO DE DOSE PARA AS BARREIRAS K e L

Radiação Primária - Fótons: Eq. (A.1)

$$B_{prim} = \frac{(2,0 \times 10^{-5}) \times (5,5)^2}{1200 \times 0,001 \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{8}} = 1,61 \times 10^{-2}$$

$$|\text{Log}_{10}(1,61 \times 10^{-2})| = 1,79 \text{ TVLs} \Rightarrow (1,00 \times 37,0 \text{ cm} + 0,79 \times 33,0 \text{ cm}) = 63 \text{ cm}$$

CÁLCULOS DE OTIMIZAÇÃO PARA AS BARREIRAS K e L

• **Cálculo do Índice de Dose Equivalente evitado em 20 anos**

Permanência: $n = 1,0$ – Fluxo de 60 pessoas por hora, com tempo de permanência de 1 minuto, na calçada de circulação externa, na projeção das paredes K e L.

$$(n = [60 \times 1/60] = 1,0)$$

$$A_w = 2,8 \text{ m} \times 2,7 \text{ m} = 7,56 \text{ m}^2 \quad P_{m3} = 420 \text{ US\$/m}^3$$

$$\alpha = 10.000 \text{ US\$/H.Sv em 20 anos}$$

$$T_v = 1040 \text{ semanas}$$

$$TVL_{prim-eq} = 0,33 \text{ m}$$

$$n = 1,0$$

$$H_{tot} = 1200 \text{ Sv/sem} \times (0,001) \times \left(\frac{1}{5,5}\right)^2 \times \left(\frac{1}{4}\right) = 9,92 \times 10^{-3} \text{ Sv/sem}$$

Equação de Otimização: Eq. (A.6)

$$B_{otm} = \frac{7,56 \times 420 \times 0,33}{(Ln10) \times 10000 \times 1,0 \times 1040 \times (9,92 \times 10^{-3})} = 4,41 \times 10^{-3}$$

$$|\text{Log}_{10}(4,41 \times 10^{-3})| = 2,36 \text{ TVLs} \Rightarrow (1,00 \times 37,0 \text{ cm} + 1,36 \times 33,0 \text{ cm}) = 82 \text{ cm}$$

Conclusão: Usaremos a maior das duas espessuras referente ao cálculo pela equação de otimização para a componente primária dessas barreiras.

PAREDES adjacentes **K e L**: Barreira secundária

Descrição: Área externa – Calçada de circulação externa do hospital, com ocupação bastante eventual de público em geral.

Tipo de Barreira : Secundária
 Tipo de Área : Área Livre
 Limite Primário : $2,0 \times 10^{-5}$ Sv/semana
 % Leakage: 0,05%
 W_L @ 100 cm : **3.000 Sv/semana**
 Distância : (d_{sec}) = (d_{leak}) = 4,5 m
 U_s = 1 T = 1/8 F = 28 x 28 cm² = 784 cm²

CÁLCULOS DE LIMITAÇÃO DE DOSE PARA AS BARREIRAS **K e L**

Radiação Secundária de Fuga do Cabeçote: "Leakage-fótons" ≤ 0,05% -: Eq. (A.3)

$$B_{leak} = \frac{(2,0 \times 10^{-5}) \times (4,5)^2}{0,0005 \times 3000 \times 1 \times 1/8} = 2,16 \times 10^{-3}$$

$$|\text{Log}_{10}(2,16 \times 10^{-3})| = 2,67 \text{ TVLs} \Rightarrow (1,00 \times 34,0 \text{ cm} + 1,67 \times 29,0 \text{ cm}) = 82 \text{ cm}$$

Radiação Secundária Espalhada @ 90° : Eq. (A.2)

$$B_{scatter} = \frac{(2,0 \times 10^{-5}) \times (1,0)^2 \times (4,5)^2}{(4,26 \times 10^{-4}) \times 3000 \times 1 \times 1/8} \times \frac{400}{784} = 1,29 \times 10^{-3}$$

$$|\text{Log}_{10}(1,29 \times 10^{-3})| = 2,89 \text{ TVLs} \Rightarrow 2,89 \times 17,0 \text{ cm} = 49 \text{ cm}$$

Diferença das barreiras :

$$\text{Leakage - Espalhada} = 82 \text{ cm} - 49 \text{ cm} = 33 \text{ cm} > 1 \text{ TVL}_{\text{Leakage-eq}}$$

Como a diferença das barreiras é maior que 1 TVL_{Leak-Eq} (29,0cm) usaremos a maior das duas, referente ao cálculo de radiação de fuga do cabeçote.

CÁLCULOS DE OTIMIZAÇÃO DE DOSE PARA AS BARREIRAS **K e L**

- Cálculo do Índice de Dose Equivalente evitado em 20 anos**

Permanência: **n = 1,0** – Fluxo de 60 pessoas por hora, com tempo de permanência de 1 minuto, na calçada de circulação externa, na projeção das paredes K e L.

$$(n = [60 \times 1/60] = 1,0).$$

$$A_w = 3,9 \text{ m} \times 2,7 \text{ m} = 10,53 \text{ m}^2$$

$$P_{m3} = 420 \text{ US\$/m}^3$$

$$\text{TVL}_{\text{Leakage-eq}} = 0,29 \text{ m}$$

$$\alpha = 10.000 \text{ US\$/H.Sv em 20 anos}$$

$$n = 1,0$$

$$T_v = 1040 \text{ semanas}$$

$$H_{tot} = 3000 \text{ Sv/sem} \times \left(\frac{1}{4,5}\right)^2 \times (0,0005) = 7,41 \times 10^{-2} \text{ Sv/sem}$$

Equação de Otimização Leakage: Eq. (A.6) - $TVL_{\text{Leakage-eq}} = 0,29 \text{ m}$

$$B_{otm-leak} = \frac{10,53 \times 420 \times 0,29}{(\text{Ln } 10) \times 10000 \times 1,0 \times 1040 \times (7,41 \times 10^{-2})} = 7,23 \times 10^{-4}$$

$|\text{Log}_{10}(7,23 \times 10^{-4})| = 3,14 \text{ TVLs} \Rightarrow (1,00 \times 34,0 \text{ cm} + 2,14 \times 29,0 \text{ cm}) = 96 \text{ cm}$

Equação de Otimização Scatter @ 90°: Eq. (A.6) - $TVL_{\text{Scatter @ 90°}} = 0,17 \text{ m}$

$$B_{otm-scatt} = \frac{10,53 \times 420 \times 0,17}{(\text{Ln } 10) \times 10000 \times 3,0 \times 1040 \times (7,41 \times 10^{-2})} = 4,24 \times 10^{-4}$$

$|\text{Log}_{10}(4,24 \times 10^{-4})| = 3,37 \text{ TVLs} \Rightarrow 3,37 \times 17,0 \text{ cm} = 57 \text{ cm}$

Diferença das barreiras :

Leakage - Espalhada = 96 cm - 57 cm = 39 cm > 1 $TVL_{\text{Leakage-eq}}$

Como a diferença das barreiras é maior do que 1 $TVL_{\text{Leak-Eq}}$ (29,0cm) usaremos a maior das duas na espessura final, referente ao cálculo de radiação de fuga do cabeçote

Conclusão: Usaremos a maior das duas espessuras referente ao cálculo pela equação de otimização.

Conclusão Final para as Paredes K e L:

- Espessura final calculada em concreto convencional: **96 cm**
Parede K: **96 cm em concreto convencional**
Parede L: **150 cm já existente em concreto convencional**

Taxa de dose instantânea máxima e dose média anual estimada para as paredes K e L.
(campo 28 x 28 com 4,0 Sv/min @ 100 cm SSD)

Feixe secundário: < 4,3 µSv/h ou < 0,33 mSv/ano

PAREDE M:

Descrição: Área interna – Posto de enfermagem da radioterapia, com ocupação sistemática de enfermeiras e funcionários.

Tipo de Barreira : Secundária
 Tipo de Área : Área Livre
 Limite Primário : $2,0 \times 10^{-5}$ Sv/semana
 % Leakage: 0,05%
 W_L @ 100 cm : **3.000 Sv/semana**
 Distância : (d_{sec}) = (d_{leak}) = 5,6 m
 U_s = 1 T = 1 (valor conservativo) F = 28 x 28 cm² = 784 cm²

CÁLCULOS DE LIMITAÇÃO DE DOSE PARA A BARREIRA M

Radiação Secundária de Fuga do Cabeçote: "Leakage-fótons" ≤ 0,05% -: Eq. (A.3)

$$B_{leak} = \frac{(2,0 \times 10^{-5}) \times (5,6)^2}{0,0005 \times 3000 \times 1 \times 1} = 4,18 \times 10^{-4}$$

$$|\text{Log}_{10}(4,18 \times 10^{-4})| = 3,38 \text{ TVLs} \Rightarrow (1,00 \times 34,0 \text{ cm} + 2,38 \times 29,0 \text{ cm}) = 103 \text{ cm}$$

Radiação Secundária Espalhada @ 90°: Eq. (A.2)

$$B_{scatter} = \frac{(2,0 \times 10^{-5}) \times (1,0)^2 \times (5,6)^2}{(4,26 \times 10^{-4}) \times 3000 \times 1 \times 1} \times \frac{400}{784} = 2,50 \times 10^{-4}$$

$$|\text{Log}_{10}(2,50 \times 10^{-4})| = 3,60 \text{ TVLs} \Rightarrow 3,60 \times 17,0 \text{ cm} = 61 \text{ cm}$$

Diferença das barreiras :

$$\text{Leakage} - \text{Espalhada} = 103 \text{ cm} - 61 \text{ cm} = 42 \text{ cm} > 1 \text{ TVL}_{\text{Leakage-eq}}$$

Como a diferença das barreiras é maior que 1 TVL_{Leak-Eq} (29,0cm) usaremos a maior das duas, referente ao cálculo de radiação de fuga do cabeçote.

CÁLCULOS DE OTIMIZAÇÃO PARA A BARREIRA M

- Cálculo do Índice de Dose Equivalente evitado em 20 anos**

Permanência: **n = 2,0** – Permanência integral de 2 (duas) enfermeiras no posto de enfermagem.
 (valor conservativo)

$$A_w = 4,4 \text{ m} \times 2,7 \text{ m} = 11,88 \text{ m}^2$$

$$P_{m3} = 420 \text{ US\$/m}^3$$

$$\text{TVL}_{\text{Leakage-eq}} = 0,29 \text{ m}$$

$$\alpha = 10.000 \text{ US\$/H.Sv em 20 anos}$$

$$n = 2,0$$

$$T_v = 1040 \text{ semanas}$$

$$H_{tot} = 3000 \text{ Sv/sem} \times \left(\frac{1}{5,6}\right)^2 \times (0,0005) = 4,78 \times 10^{-2} \text{ Sv/sem}$$

Equação de Otimização Leakage: Eq. (A.6) - $TVL_{Leakage-eq} = 0,29$ m

$$B_{otm-leak} = \frac{11,88 \times 420 \times 0,29}{(\ln 10) \times 10000 \times 2,0 \times 1040 \times (4,78 \times 10^{-2})} = 6,32 \times 10^{-4}$$

$|\log_{10}(6,32 \times 10^{-4})| = 3,20$ TVLs $\Rightarrow (1,00 \times 34,0 \text{ cm} + 2,20 \times 29,0 \text{ cm}) = 98 \text{ cm}$

Equação de Otimização Scatter @ 90°: Eq. (A.6) - $TVL_{Scatter @ 90^\circ} = 0,17$ m

$$B_{otm-scatt} = \frac{11,88 \times 420 \times 0,17}{(\ln 10) \times 10000 \times 2,0 \times 1040 \times (4,78 \times 10^{-2})} = 3,70 \times 10^{-4}$$

$|\log_{10}(3,70 \times 10^{-4})| = 3,43$ TVLs $\Rightarrow 3,43 \times 17,0 \text{ cm} = 58 \text{ cm}$

Diferença das barreiras :

Leakage - Espalhada = 98 cm - 58 cm = 40 cm > 1 $TVL_{Leakage-eq}$

Como a diferença das barreiras é maior do que 1 $TVL_{Leak-Eq}$ (29,0cm) usaremos a maior das duas na espessura final, referente ao cálculo de radiação de fuga do cabeçote

Conclusão Final: Usaremos a maior das duas espessuras calculadas, referente ao cálculo pela equação de limitação de doses..

Parede M:

- Espessura calculada em concreto convencional: **103 cm**

Taxa de dose instantânea máxima e dose média anual estimada para a parede M.
(campo 28 x 28 com 4,0 Sv/min @ 100 cm SSD)

1,6 μ Sv/h ou 1,00 mSv/ano

LABIRINTO N: Barreira secundária

Descrição: Área Interna – Labirinto – Porta de acesso ao acelerador linear Halcyon com ocupação eventual de técnicos e pacientes e posto de comando do acelerador Halcyon com ocupação sistemática de técnicos em radioterapia.

Tipo de Barreira : Secundária
Tipo de Área : Área Controlada
Limite Primário : **1,00 x 10⁻⁵ Sv/semana** (2 tipos de contribuições - primária através do labirinto + espalhamentos no interior da sala do ac. linear até a porta.
(opção conservativa – uso do limite de área livre)

% Leakage: 0,05% ($0,5 \times 10^{-3}$)
 W_L @ 100 cm : **3.000 Sv/semana**
 Distância : (d_{sec}) = (d_{leak}) = 5,7 m
 U_s = 1 T = 1 (pior caso) F = 28 x 28 cm² = 784 cm²

CÁLCULOS DE LIMITAÇÃO DE DOSE PARA O LABIRINTO N

Radiação Secundária de Fuga do Cabeçote: "Leakage-fótons" ≤ 0,05% -: Eq. (A.3)

$$B_{leak} = \frac{(1,0 \times 10^{-5}) \times (5,7)^2}{0,0005 \times 3000 \times 1 \times 1} = 2,17 \times 10^{-4}$$

$$|\text{Log}_{10}(2,17 \times 10^{-4})| = 3,66 \text{ TVLs} \Rightarrow (1,00 \times 34,0 \text{ cm} + 2,66 \times 29,0 \text{ cm}) = 111 \text{ cm}$$

Radiação Secundária Espalhada @ 90°: Eq. (A.2)

$$B_{scatter} = \frac{(1,0 \times 10^{-5}) \times (1,0)^2 \times (5,7)^2}{(4,26 \times 10^{-4}) \times 3000 \times 1 \times 1} \times \frac{400}{784} = 1,30 \times 10^{-4}$$

$$|\text{Log}_{10}(1,30 \times 10^{-4})| = 3,89 \text{ TVLs} \Rightarrow 3,89 \times 17,0 \text{ cm} = 66 \text{ cm}$$

Diferença das barreiras :

$$\text{Leakage - Espalhada} = 111 \text{ cm} - 66 \text{ cm} = 45 \text{ cm} > 1 \text{ TVL}_{\text{Leakage-eq}}$$

Como a diferença das barreiras é maior que 1 TVL_{Leak-Eq} (29,0cm) usaremos a maior das duas, referente ao cálculo de radiação de fuga do cabeçote.

CÁLCULOS DE OTIMIZAÇÃO PARA O LABIRINTO N

- Cálculo do Índice de Dose Equivalente evitado em 20 anos**

Permanência: **n = 3,0** – Permanência integral de 3 técnicos de radioterapia, no comando do Halcyon, durante o funcionamento do feixe. (opção conservativa)

$$A_w = 4,0 \text{ m} \times 2,7 \text{ m} = 10,80 \text{ m}^2$$

$$P_{m3} = 420 \text{ US\$/m}^3$$

$$\text{TVL}_{\text{Leakage-eq}} = 0,29 \text{ m}$$

$$\alpha = 10.000 \text{ US\$/H.Sv em 20 anos}$$

$$n = 3,0$$

$$T_v = 1040 \text{ semanas}$$

$$H_{tot} = 3000 \text{ Sv/sem} \times \left(\frac{1}{5,7}\right)^2 \times (0,0005) = 4,62 \times 10^{-2} \text{ Sv/sem}$$

Equação de Otimização Leakage: Eq. (A.6) - TVL_{Leakage-eq} = 0,29 m

$$B_{otm-leak} = \frac{10,80 \times 420 \times 0,29}{(\text{Ln } 10) \times 10000 \times 3,0 \times 1040 \times (4,62 \times 10^{-2})} = 3,97 \times 10^{-4}$$

$$|\text{Log}_{10}(3,97 \times 10^{-4})| = 3,40 \text{ TVLs} \Rightarrow (1,00 \times 34,0 \text{ cm} + 2,40 \times 29,0 \text{ cm}) = 104 \text{ cm}$$

Equação de Otimização Scatter: Eq. (A.6) - $TVL_{Scatter @ 90^\circ} = 0,17 \text{ m}$

$$B_{otm-scatt} = \frac{10,08 \times 420 \times 0,17}{(\ln 10) \times 10000 \times 3,0 \times 1040 \times (4,62 \times 10^{-2})} = 2,32 \times 10^{-4}$$

$$|\log_{10}(2,32 \times 10^{-4})| = 3,63 \text{ TVLs} \Rightarrow 3,63 \times 17,0 \text{ cm} = 62 \text{ cm}$$

Diferença das barreiras :

$$\text{Leakage - Espalhada} = 104 \text{ cm} - 62 \text{ cm} = 42 \text{ cm} \leq 1 \text{ TVL}_{\text{Leakage-eq}}$$

Como a diferença das barreiras é maior do que 1 $TVL_{\text{Leak-Eq}}$ (29,0cm) usaremos a maior das duas na espessura final, referente ao cálculo de radiação de fuga do cabeçote

Conclusão: Usaremos a maior das duas espessuras referente ao cálculo pela equação de limitação de doses.

Labirinto N:

- **Espessura calculada em concreto convencional: 111 cm**
- **Espessura existente em concreto convencional: 65 cm**
- **Espessura a adicionar em concreto de alta densidade com $d = 3,5 \text{ T/m}^3$**
 $(111 \text{ cm} - 65 \text{ cm}) = 46 \text{ cm} \times (2,4 \text{ T/m}^3) / (3,5 \text{ T/m}^3) = 32 \text{ cm}$ em concreto de alta densidade

Taxa de dose instantânea e dose média anual estimada para o labirinto N:

(somente proveniente da fuga do cabeçote – “leakage”)

(campo 28 x 28 com 4,0 Sv/min @ 100 cm SSD)

0,8 $\mu\text{Sv/h}$ ou 0,50 mSv/ano

=====

PAREDES O – O': Barreira secundária

Descrição: Área interna – Corredor de circulação interna da radioterapia, com ocupação eventual de funcionários e público em geral.

Tipo de Barreira : Secundária
Tipo de Área : Área Livre
Limite Primário : $2,0 \times 10^{-5} \text{ Sv/semana}$
% Leakage: 0,05%
 $W_L @ 100 \text{ cm} :$ **3.000 Sv/semana**
Distância : $(d_{\text{sec}}) = (d_{\text{leak}}) = 7,5 \text{ m}$
 $U_s = 1$ $T = 1/4$ $F = 28 \times 28 \text{ cm}^2 = 784 \text{ cm}^2$

CÁLCULOS DE LIMITAÇÃO DE DOSE PARA AS BARREIRAS O e O'

Radiação Secundária de Fuga do Cabeçote: "Leakage-fótons" ≤ 0,05% -: Eq. (A.3)

$$B_{leak} = \frac{(2,0 \times 10^{-5}) \times (7,5)^2}{0,0005 \times 3000 \times 1 \times 1/4} = 3,00 \times 10^{-3}$$

$$|\text{Log}_{10}(3,00 \times 10^{-3})| = 2,52 \text{ TVLs} \Rightarrow (1,00 \times 34,0 \text{ cm} + 1,52 \times 29,0 \text{ cm}) = 78 \text{ cm}$$

Radiação

Secundária Espalhada @ 90° : Eq. (A.2)

$$B_{scatter} = \frac{(2,0 \times 10^{-5}) \times (1,0)^2 \times (7,5)^2}{(4,26 \times 10^{-4}) \times 3000 \times 1 \times 1/4} \times \frac{400}{784} = 1,80 \times 10^{-3}$$

$$|\text{Log}_{10}(1,80 \times 10^{-3})| = 2,75 \text{ TVLs} \Rightarrow 2,75 \times 17,0 \text{ cm} = 47 \text{ cm}$$

Diferença das barreiras :

$$\text{Leakage} - \text{Espalhada} = 78 \text{ cm} - 47 \text{ cm} = 31 \text{ cm} > 1 \text{ TVL}_{\text{Leakage-eq}}$$

Como a diferença das barreiras é maior que 1 TVL_{Leak-Eq} (29,0cm) usaremos a maior das duas, referente ao cálculo de radiação de fuga do cabeçote.

CÁLCULOS DE OTIMIZAÇÃO PARA AS BARREIRAS O e O'

- Cálculo do Índice de Dose Equivalente evitado em 20 anos**

Permanência: **n = 1,0** – Fluxo de 60 pessoas por hora, com tempo de permanência de 1 minuto, no corredor de circulação interna da radioterapia. ($n = [60 \times 1/60] = 1,0$).

$$A_w = 3,3 \text{ m} \times 2,7 \text{ m} = 8,91 \text{ m}^2$$

$$P_{m3} = 420 \text{ US\$/m}^3$$

$$\text{TVL}_{\text{Leakage-eq}} = 0,29 \text{ m}$$

$$\alpha = 10.000 \text{ US\$/H.Sv em 20 anos}$$

$$n = 1,0$$

$$T_v = 1040 \text{ semanas}$$

$$H_{tot} = 3000 \text{ Sv/sem} \times \left(\frac{1}{7,5}\right)^2 \times (0,0005) = 2,67 \times 10^{-2} \text{ Sv/sem}$$

Equação de Otimização Leakage: Eq. (A.6) - $\text{TVL}_{\text{Leakage-eq}} = 0,29 \text{ m}$

$$B_{otm-leak} = \frac{8,91 \times 420 \times 0,29}{(\text{Ln } 10) \times 10000 \times 1,0 \times 1040 \times (2,67 \times 10^{-2})} = 1,70 \times 10^{-3}$$

$$|\text{Log}_{10}(1,70 \times 10^{-3})| = 2,77 \text{ TVLs} \Rightarrow (1,00 \times 34,0 \text{ cm} + 1,77 \times 29,0 \text{ cm}) = 85 \text{ cm}$$

Equação de Otimização Scatter @ 90°: Eq. (A.6) - TVL_{Scatter @ 90°} = 0,17 m

$$B_{otm-scatt} = \frac{8,91 \times 420 \times 0,17}{(\ln 10) \times 10000 \times 1,0 \times 1040 \times (2,67 \times 10^{-2})} = 9,96 \times 10^{-4}$$

$$|\log_{10}(9,96 \times 10^{-4})| = 3,00 \text{ TVLs} \Rightarrow 3,00 \times 17,0 \text{ cm} = 51 \text{ cm}$$

Diferença das barreiras :

$$\text{Leakage - Espalhada} = 85 \text{ cm} - 51 \text{ cm} = 34 \text{ cm} > 1 \text{ TVL}_{\text{Leakage-eq}}$$

Como a diferença das barreiras é maior do que 1 TVL_{Leak-Eq} (29,0cm) usaremos a maior das duas na espessura final, referente ao cálculo de radiação de fuga do cabeçote

Conclusão Final: Usaremos a maior das duas espessuras calculadas, referente ao cálculo pela equação de otimização leakage.

Paredes O e O':

- Parede O - Espessura calculada em concreto convencional: 85 cm
- Parede O' – 50 cm (existente) + 65 cm (labirinto N) = 115 cm >> 85 cm calculados

Taxa de dose instantânea máxima e dose média anual estimada para as parede O e O'.
(campo 28 x 28 com 4,0 Sv/min @ 100 cm SSD)

$$< 3,6 \mu\text{Sv/h} \text{ ou } < 0,57 \text{ mSv/ano}$$

PORTA P2

Descrição: Área Interna – Acesso ao acelerador linear Halcyon com ocupação eventual de técnicos e pacientes.

Tipo de Barreira : Secundária – Múltiplo espalhamento
Tipo de Área : Área Livre
Limite Primário : **2,00 x 10⁻⁵ Sv/semana**: 2 tipos de contribuições - primária através do labirinto (1,00 x 10⁻⁵ Sv/semana) + espalhamentos no interior da sala até a porta P2 (1,00 x 10⁻⁵ Sv/semana).

Uso e ocupação: U_s= 1 U_p= 1/4 T = 1/4 n = 0,5
% Leakage: 0,05% F = 28 cm x 28 cm = 784 cm²
W_L @ 100 cm : **3.000 Sv/semana**
W_P @ 100 cm : **1.200 Sv/semana**
Pé direito da sala: 2,70 m

CÁLCULOS DE LIMITAÇÃO DE DOSE PARA A PORTA P2

- **Cálculo dos componentes de dose na entrada da sala (McGinley-1998 & NCRP # 151).**

A radiação que chega na porta de entrada da sala possui os seguintes componentes para um feixe de 6 MV equipado com “beam-stopper”:

- 1 - Espalhamento do feixe primário pelo paciente - **S_p**
- 2 - Espalhamento pelas paredes da radiação de fuga do cabeçote: **L**
- 3 - Radiação de fuga transmitida através do labirinto: **W_M**

Nas equações abaixo:

W_{P→L} refere-se a carga de trabalho primária direcionada para a **parede L contígua ao labirinto**.

W_{L→B} refere-se a carga de trabalho secundária direcionada para a **parede M oposta ao labirinto**.

Para o cálculo da contribuição total (**D_t**), na porta de entrada, utilizaremos o valor conservativo de **U_p=1/4**, juntamente com a equação **D_t = 2,64 D_c** onde **D_c = S_p + f.(S_s) + L + W_L**

CÁLCULO DAS CONTRIBUIÇÕES INDIVIDUAIS 1 A 3

1 - Espalhamento do paciente - S_p com W_P = 1.200 Sv/sem – **1 Reflexão**

$$S_p = \frac{a \times W_{P \rightarrow L} \times \left(\frac{F}{400} \right) \times \alpha_1 \times A_1}{(d_{sca} \times d_{sec} \times d_{lab})^2}$$

Com:

$W_{P \Rightarrow L}$ – Fração da carga de trabalho primária total (W_P) incidente no paciente.

$$300 \text{ Sv/sem} = (1200 \text{ Sv/sem} \times 1/4)$$

a - Coeficiente de espalhamento do paciente para $\langle \theta_{\text{esp}} \rangle \cong 60^\circ$ e 6MV:

$$a = 8,24 \times 10^{-4} \text{ (NCRP \#151, Table B.4 – pg. 163, col 2)}$$

F - Tamanho de campo máximo no paciente – 28 cm x 28 cm = **784 cm²**

α_1 - Coeficiente de reflexão da parede oposta ao labirinto, para 0,5 MeV (valor médio)

$$\alpha_1 = 22,5 \times 10^{-3} \text{ para } \langle \theta_i \rangle \cong 50^\circ \text{ a } 60^\circ \text{ e } \langle \theta_r \rangle \cong 0^\circ \text{ a } 50^\circ$$

(NCRP #151, Table B.8b – pg. 169 – col. 3 (valor máximo conservativo).

A_1 - Área da parede oposta ao labirinto que contribui efetivamente para a dose na porta.

$$5,5 \text{ m} \times 2,7 \text{ m} = 14,85 \text{ m}^2$$

d_{sca} - Distância foco-paciente - **1,0 m**

d_{sec} - Distância paciente-linha média da área A_1 – **6,1 m**

d_{lab} - Distância ao longo do labirinto até o centro da porta – **3,3 m**

Espalhamento do paciente - S_p

$S_p = \frac{(8,24 \times 10^{-4}) \times 300 \times (784/400) \times (22,5 \times 10^{-3}) \times 14,85}{(1,0 \times 6,1 \times 3,3)^2}$ $= 39,95 \times 10^{-5} \text{ Sv/sem} \quad (39,95 \times 10^{-2} \text{ mSv/sem})$
--

2 - Espalhamento pelas paredes da sala da radiação de fuga do cabeçote: L

com $W_L = 3.000 \text{ Sv/sem}$ – 1 Reflexão

$L = \frac{L_0 \times W_{L \rightarrow B} \times \alpha_3 \times A_1}{(d_{\text{leak}} \times d_{\text{lab}})^2}$

Com:

$W_{L \Rightarrow B}$ – Fração da carga de trabalho secundária total (W_L) incidente na parede oposta ao labirinto

$$750 \text{ Sv/sem} = (3.000 \text{ Sv/sem} \times 1/4)$$

L_0 - Fuga do cabeçote em relação a dose no isocentro - **0,0005 Sv/Sv (0.05%)**

α_3 - Coeficiente de reflexão da parede para 6MV

$$\alpha_3 = 7,43 \times 10^{-3} \text{ para } \langle\theta_i\rangle \cong 50^\circ \text{ a } 60^\circ \text{ e } \langle\theta_r\rangle \cong 0^\circ \text{ a } 50^\circ$$

(NCRP #151, Table B.8b – pg. 169, valor máximo interpolado – 6MV)

A_1 - Área da parede oposta ao labirinto que contribui efetivamente com a dose na porta. do labirinto: 5,5 m x 2,7 m = **14,85 m²**

d_{leak} - Distância do foco a linha média do labirinto – **6,7 m**

d_{lab} - Distância ao longo do labirinto até o centro da porta – **3,3 m**

Espalhamento pelas paredes da radiação de fuga do cabeçote: **L**

$$L = \frac{0,0005 \times 750 \times (7,43 \times 10^{-3}) \times 14,85}{(6,7 \times 3,3)^2}$$
$$= 8,46 \times 10^{-5} \text{ Sv/sem } (8,46 \times 10^{-2} \text{ mSv/sem})$$

3 - Radiação de fuga transmitida através do labirinto: W_M
com $W_L = 3.000 \text{ Sv/sem}$

$$W_M = \frac{L_0 \times W_{L \rightarrow G} \times B}{(d'')^2}$$

Com:

$W_{L \rightarrow N}$ - Carga de Trabalho secundária (W_L) incidente na parede N – labirinto.
750 Sv/sem (3.000 Sv/sem x 1/4)

L_0 - Fuga do cabeçote em relação a Dose no isocentro - **0,0005 Sv/Sv (0,05%)**

B - Transmissão total do labirinto N – **111 cm** de concreto convencional.
($B_{\text{leak}} = 2,17 \times 10^{-4}$) = 3,66 TVLs - (Veja planta Baixa – parede N na pg. 18)

d'' - Distância do foco até a porta - **5,7 m**

Radiação de fuga transmitida através do labirinto:

$$W_L = \frac{0,0005 \times 750 \times (2,17 \times 10^{-4})}{(5,7)^2}$$
$$= 0,25 \times 10^{-5} \text{ Sv/sem } (0,25 \times 10^{-2} \text{ mSv/sem})$$

Comentários adicionais:

- Os cálculos de atenuação da porta serão baseados em dados para feixe extenso de 0,2 MeV cujo TVL é, no máximo, de 6mm de Pb (NCRP #151, Appendix A pg.158 e ítem 7.1.13 pg. 136).
- Para o feixe transmitido pela parede do labirinto usaremos o TVL do feixe de radiação de fuga do cabeçote, que é de 57mm de Pb para 6MV. (NCRP #151, Table B.2 – pg. 161). Valor conservativo.
- Todos os dados foram extraídos de: NCRP#49; NCRP#51; NCRP#151; Shielding Techniques for Rad. Oncol. Facilites - McGinley; Blindagem em Radioterapia -Técnicas e Normas Del Vigna & Falcão.

Tabela 2 - RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Caso	Tipo de Feixe	Dose na saída do labirinto	Energia aprox.	Dose Total (mSv/sem)
1- S _p	Fótons	39,95 x 10 ⁻² mSv	0,2 - 0,5 MeV	(39,95 x 10 ⁻²) x 2,64 = 105,47 x 10 ⁻²
2 - L	Fótons	8,47 x 10 ⁻² mSv	0,2 - 0,5 MeV	(8,47 x 10 ⁻²) x 2,64 = 22,36 x 10 ⁻²
3 - W _L	Fótons	0,25 x 10 ⁻² mSv	≤ 6MV	(0,25 x 10 ⁻²) x 2,64 = 0,66 x 10 ⁻²

Sub-Total (1+2) para TVL = 6 mmPb	127,83 x 10 ⁻² mSv/sem
Sub-Total (3) para TVL = 57 mmPb	0,66 x 10 ⁻² mSv/sem
H_o (Total)	128,49 x 10⁻² mSv/sem

Assim a dose média semanal na parte externa da porta (sem blindagem) será de:

Sub-Total (1+2) – 127,83 x 10⁻² mSv x T(fator de ocupação) =
= 127,83 x 10⁻² mSv X 1/4 = 31,96 x 10⁻² mSv/sem.

Sub-Total (3) – 0,66 x 10⁻² mSv x T (fator de ocupação) =
= 0,66 x 10⁻² mSv X 1/4 = 0,17 x 10⁻² mSv/sem.

No próximo passo calcularemos a espessura da porta necessária para a redução da dose média total a **2,00 x 10⁻² mSv/semana**. (Limite primário semanal – Limitação de doses).

Para reduzirmos a dose até os **2,00 x 10⁻² mSv/sem** (já contando todas as contribuições), **utilizaremos na porta - 8,0 mm de Pb -** obtendo os resultados abaixo:

Casos (1+2): $(31,96 \times 10^{-2}) \times 10^{-(8\text{mm}/6\text{mm})} = 1,48 \times 10^{-2} \text{ mSv/sem}$

Caso (3): $(0,17 \times 10^{-2}) \times 10^{-(8\text{mm}/57 \text{ mm})} = 0,12 \times 10^{-2} \text{ mSv/sem}$

Total = 1,60 x 10⁻² mSv/semana < 2,00 x 10⁻² mSv/semana

CÁLCULOS DE OTIMIZAÇÃO PARA A PORTA P2

- Cálculo do Índice de Dose Equivalente evitado em 20 anos
Permanência: **n = 0,5 (valor conservativo)** – Fluxo eventual de pessoas do setor tais como serventes, atendentes e funcionários em geral com pequeno tempo de permanência na posição junto à porta.

TVL médio para o Chumbo (Feixe de fótons):

$$\langle TVL \rangle_{Pb} = \frac{\{(105,47 + 22,36) \times 6mm + (0,66 \times 57mm)\}}{(105,47 + 22,36 + 0,66)}$$
$$= 6,3 \text{ mmPb}$$

TVL médio de Pb = 6,3 mm (média ponderada pela contribuição de dose total de fótons na saída do labirinto (tabela 2, coluna 5, pg. 25) para os casos 1, 2 e 3.

*Largura da porta = Largura do vão + 2 margens laterais de 10cm = [(1,2m + (2 x 0,10m))] = 1,4 m
Altura d porta = Altura do vão + 1 margem superior de 10cm = (2,1 m + 0,1 m) = 2,2 m

Volume 1 <TVL> de Pb* = (0,0063 m x 2,2 m x 1,4 m) = 0,0194 m³

Peso 1 TVL de Pb = 0,0194 m³ x 11,36 T/ m³ = 0,200 T = 200 Kg

Custo referência do quilo do Pb aplicado : 5,00 US\$/Kg

Custo de 1 TVL Pb = 200 Kg x 5,00 US\$/Kg = 1.000,00 US\$

α = 10.000 US\$/H.Sv em 20 anos n = 0,5

T_v = 1040 semanas

H_{tot fótons} = 128,49 x 10⁻² m Sv/sem ou 128,49 x 10⁻⁵ Sv/sem (soma das contribuições de fótons - casos 1, 2 e 3 – Tabela 2 , coluna 5, pg. 25)

Equação de Otimização: Eq. (A.6)

$$B_{otm} = \frac{1.000,00}{Ln(10) \times 10000 \times 0,5 \times 1040 \times (128,49 \times 10^{-5})} = 7,15 \times 10^{-2}$$

|Log₁₀ (7,15 x 10⁻²)| = 1,15 TVLs ⇒ 1,15 x <TVL_{Pb}> ⇒ 1,15 x 6,3 mm Pb = 7,2 mm Pb

Resultado Final: Usaremos então os resultados dos cálculos por limitação de dose.

Conclusão: Espessura final da Porta P2 - 9,0 mm de Pb

Taxa de dose instantânea e dose média anual estimada para a Porta P2:
(campo 28 x 28 com 4,0 Sv/min @ 100cm SSD)

5,1 μSv/h ou 0,80 mSv/ano

LAJE Tp2: Barreira primária

Cálculo da largura mínima da Laje Tp2: Maior diagonal adicionada de 0,30m, em cada lado, projetada na face externa da barreira **Tp2** – $d_{i-Tp2\ ext} = 3,4\ m$.

$$\text{Larg}_{Tp2 \rightarrow Ext} = (3,4 \times \sqrt{2} \times 0,28m) + (0,30 \times 2) = 1,9\ m$$

Descrição: Área externa – Área técnica - Telhado coberto com central de água gelada para refrigeração do acelerador linear, com ocupação bastante eventual de funcionários da manutenção.

Tipo de Barreira :	Primária
Tipo de Área :	Área Livre
Limite Primário :	$2,0 \times 10^{-5}\ Sv/semana$
W_P @ 100 cm :	1.200 Sv/semana
Transmissão do "Beam Stopper":	0,1 % ($1,0 \times 10^{-3}$)
Distância :	(d_{prim}) = 3,4 m – veja corte CC'
$U_P = 1/4$	$T = 1/40$
Campo máximo no isocentro:	28 cm x 28 cm

CÁLCULOS DE LIMITAÇÃO DE DOSE PARA A LAJE Tp2

Radiação Primária - Fótons: Eq. (A.1)

$$B_{prim} = \frac{(2,0 \times 10^{-5}) \times (3,4)^2}{1200 \times 0,001 \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{40}} = 3,08 \times 10^{-2}$$

$$|\text{Log}_{10}(3,08 \times 10^{-2})| = 1,51\ TVLs \Rightarrow (1,00 \times 37,0\ cm + 0,51 \times 33,0\ cm) = 54\ cm$$

CÁLCULOS DE OTIMIZAÇÃO PARA A LAJE Tp2

- Cálculo do Índice de Dose Equivalente evitado em 20 anos**

Permanência: $n = 0,125$ – Ocupação de 1 pessoa por dia, com tempo de permanência de 1 hora, na área técnica da central de água gelada, na projeção da laje Tp2. ($n = [1 \times 1/8] = 0,125$).

$$A_w = 1,9\ m \times 8,3\ m = 15,77\ m^2 \quad P_{m3} = 420\ US\$/m^3$$

$$\alpha = 10.000\ US\$/H.Sv\ em\ 20\ anos$$

$$T_v = 1040\ semanas$$

$$TVL_{prim-eq} = 0,33\ m$$

$$n = 0,125$$

$$H_{tot} = 1200\ Sv/sem \times (0,001) \times \left(\frac{1}{3,4}\right)^2 \times \left(\frac{1}{4}\right) = 2,60 \times 10^{-2}\ Sv/sem$$

Equação de Otimização: Eq. (A.6)

$$B_{otm} = \frac{15,77 \times 420 \times 0,33}{(Ln10) \times 10000 \times 0,125 \times 1040 \times (2,60 \times 10^{-2})} = 2,81 \times 10^{-2}$$

$$|\text{Log}_{10}(2,81 \times 10^{-2})| = 1,55 \text{ TVLs} \Rightarrow (1,00 \times 37,0 \text{ cm} + 0,55 \times 33,0 \text{ cm}) = 55 \text{ cm}$$

Conclusão: Usaremos a maior das duas espessuras referente ao cálculo pela equação de otimização para a componente primária.

LAJE Ts2: Barreira secundária

Descrição: Área externa – Área técnica - Telhado coberto com central de água gelada para refrigeração do acelerador linear, com ocupação bastante eventual de funcionários da manutenção.

Tipo de Barreira : Secundária
 Tipo de Área : Área Livre
 Limite Primário : $2,0 \times 10^{-5}$ Sv/semana
 % Leakage: $0,05\%$ ($0,5 \times 10^{-3}$)
 W_L @ 100 cm : **3.000 Sv/semana**
 Distância : (d_{sec}) = (d_{leak}) = 2,3 m
 U_s = 1 T = 1/40 F = 28 x 28 cm² = 784 cm²

CÁLCULOS DE LIMITAÇÃO DE DOSE PARA A LAJE Ts2

Radiação Secundária de Fuga do Cabeçote: "Leakage-fótons" ≤ 0,05% -: Eq. (A.3)

$$B_{leak} = \frac{(2,0 \times 10^{-5}) \times (2,3)^2}{0,0005 \times 3000 \times 1 \times 1/40} = 2,82 \times 10^{-3}$$

$$|\text{Log}_{10}(2,82 \times 10^{-3})| = 2,55 \text{ TVLs} \Rightarrow (1,00 \times 34,0 \text{ cm} + 1,55 \times 29,0 \text{ cm}) = 79 \text{ cm}$$

Radiação Secundária Espalhada @ 90° : Eq. (A.2)

$$B_{scatter} = \frac{(2,0 \times 10^{-5}) \times (1,0)^2 \times (2,3)^2}{(4,26 \times 10^{-4}) \times 3000 \times 1 \times 1/40} \times \frac{400}{784} = 1,69 \times 10^{-3}$$

$$|\text{Log}_{10}(1,69 \times 10^{-3})| = 2,77 \text{ TVLs} \Rightarrow 2,77 \times 17,0 \text{ cm} = 47 \text{ cm}$$

Diferença das barreiras :

$$\text{Leakage - Espalhada} = 79 \text{ cm} - 47 \text{ cm} = 32 \text{ cm} > 1 \text{ TVL}_{\text{Leakage-eq}}$$

Como a diferença das barreiras é maior que 1 TVL_{Leak-Eq} (29,0cm) usaremos a maior das duas, referente ao cálculo de radiação de fuga do cabeçote.

CÁLCULOS DE OTIMIZAÇÃO PARA A LAJE Ts2

- **Cálculo do Índice de Dose Equivalente evitado em 20 anos**

Permanência: **n = 0,125** – Ocupação de 1 pessoa por dia, com tempo de permanência de 1 hora, na área técnica da central de água gelada, na projeção da laje Ts2. ($n = [1 \times 1/8] = 0,125$).

$$A_w = (5,4 - 1,9) \text{ m} \times 8,3 \text{ m} = 29,05 \text{ m}^2 \quad P_{m3} = 420 \text{ US\$/m}^3 \quad \text{TVL}_{\text{Leakage-eq}} = 0,29 \text{ m}$$
$$\alpha = 10.000 \text{ US\$/H.Sv em 20 anos} \quad n = 0,125$$
$$T_v = 1040 \text{ semanas}$$

$$H_{tot} = 3000 \text{ Sv/sem} \times \left(\frac{1}{2,3}\right)^2 \times (0,0005) = 2,84 \times 10^{-1} \text{ Sv/sem}$$

Equação de Otimização Leakage: Eq. (A.6) - $\text{TVL}_{\text{Leakage-eq}} = 0,29 \text{ m}$

$$B_{otm-leak} = \frac{29,05 \times 420 \times 0,29}{(\text{Ln } 10) \times 10000 \times 0,125 \times 1040 \times (2,84 \times 10^{-1})} = 4,17 \times 10^{-3}$$
$$|\text{Log}_{10}(4,17 \times 10^{-3})| = 2,38 \text{ TVLs} \Rightarrow (1,00 \times 34,0 \text{ cm} + 1,38 \times 29,0 \text{ cm}) = 74 \text{ cm}$$

Equação de Otimização Scatter: Eq. (A.6) - $\text{TVL}_{\text{Scatter @ } 90^\circ} = 0,17 \text{ m}$

$$B_{otm-scatt} = \frac{29,05 \times 420 \times 0,17}{(\text{Ln } 10) \times 10000 \times 0,125 \times 1040 \times (2,84 \times 10^{-1})} = 2,44 \times 10^{-3}$$
$$|\text{Log}_{10}(2,44 \times 10^{-3})| = 2,61 \text{ TVLs} \Rightarrow 2,61 \times 17,0 \text{ cm} = 44 \text{ cm}$$

Diferença das barreiras :

$$\text{Leakage - Espalhada} = 74 \text{ cm} - 44 \text{ cm} = 30 \text{ cm} > 1 \text{ TVL}_{\text{Leakage-eq}}$$

Como a diferença das barreiras é maior que 1 $\text{TVL}_{\text{Leak-Eq}}$ (29,0cm) usaremos a maior das duas, referente ao cálculo de radiação de fuga do cabeçote.

Resumo das espessuras calculadas para a Laje Ts2:

Primária – Limitação de doses: **54 cm – pg. 27**

Primária – Otimização: **55 cm – pg. 28**

Secundária – Limitação de doses: **79 cm – pg. 28**

Secundária – Otimização: **74 cm – pg. 29**

CONCLUSÃO FINAL - Usaremos a maior das quatro espessuras, referente ao cálculo pela equação de limitação de doses, barreira secundária, para a Laje Ts2.

- **Espessura calculada em concreto convencional: 79 cm**

Taxa de dose instantânea máxima e dose média anual estimada para a Laje Ts2
(campo 28 x 28 com 4,0 Sv/min @ 100 cm SSD)

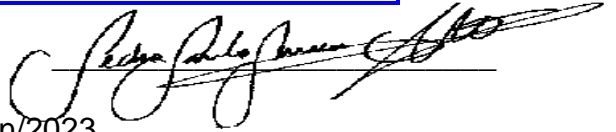
Feixe primário – 109,6 μ Sv/h ou 0,17 mSv/ano
Feixe secundário – 64,0 μ Sv/h ou 1,00 mSv/ano

=====

PISO P2

Piso - O equipamento será assentado sobre o solo, sem possibilidade de ocupação inferior, não havendo, portanto, necessidade de blindagem nem de cálculos de otimização

Físico Responsável: Pedro Paulo Pereira Júnior



Consultor “ad hoc”
Reg. Físico Médico

CNEN FT 003 – Val. Jun/2023
CNEN – RA 0105 Val: Ago/2024

ppereira@dosimetrika.com.br

21-2493-6886 Escritório

21-99222-2792 Celular

Rio de Janeiro, 13 de abril de 2021

Projetos de blindagem e planta referência: HMSJ-HAL 6MV – SALA 02 – V1.0

Referências adicionais:

- 1- McCall et all (1980); Personnel Hazards from Medical Electron Accelerator Photoneutrons, Proceeding of the 5th International Congress of the International Radiation Protection Association, Vol. I, 193.
- 2- LA RIVIERE, P. D. and TOCHILIN, E. (1984); Photon Transmission in Lead at the Entrance to a Medical Accelerator Room, Rad. Protect. Dosimetry, 14, 205.
- 3- NCRP -79 (1984); Neutron Contamination from Medical Electron Accelerators, National Council on Radiation Protection and Measurement Report no. 79.
- 4- SWANSON, W. P. (1979); Radiological Safety Aspects of the Operation of Electron Linear Accelerators, Tech. Rep. Ser. No. 2188, IAEA, Vienna.
- 5- SHIELDING TECHNIQUES for Radiation Oncology Facilities - Patton H. McGinley
Medical Physics Publishing - 1998
- 6- The Design of Radiotherapy Treatment Room Facilities - B Stedeford, H M Morgan, W P M Mayles. - The Institute of Physics and Engineering in Medicine - 1997
- 7- Primary and Leakage Radiation Calculation at 6, 10 and 25 MeV - La Riviere, P.D; Nelson, W.R.
- Health Phys. 47:811-818; 1984
- 8- Blindagem em Radioterapia - Técnica e Normas - Eugênio Del Vigna F. ; Rossana C. Falcão
- 9- Neutron source strength measurements for Varian, Siemens, Elekta, and General Electric linear accelerators. J Appl Clin Med Phys. 2003 Summer;4(3):189-94.
- 10- Resolução CNEN Nº 130 DE 31/05/2012 – NN 6.10

Apêndice A - Glossário de Símbolos

B_{prim} - Atenuação do feixe primário.

B_{scatt} - Atenuação para radiação secundária espalhada.

B_{leak} - Atenuação para radiação secundária de fuga do cabeçote.

B_{sky} - Atenuação para radiação de espalhamento do ar ("skyshine").

P - Limite de Dose semanal (Sv/semana)

P' - Limite de Dose semanal (mSv/semana)

d_{pri} - Distância fonte-ponto de cálculo para radiação primária (metros).

d_{sec} - Distância fonte-ponto de cálculo para radiação espalhada (metros).

d_{sca} - Distância fonte-fantoma espalhador (metros).

d_{leak} - Distância fonte-ponto de cálculo para radiação de fuga do cabeçote. (metros).

d_{sky} - Distância fonte a um ponto 2 metros acima do telhado - NCRP #51 - Fig. 8 - pg. 70

$d_{\text{s sky}}$ - Distância do ponto de observação a um ponto genérico situado 2 metros acima do telhado.

Ω - Ângulo sólido do campo médio utilizado. - NCRP #51 - Fig. 8 - pg. 70

α_1 - Coeficiente de reflexão para fótons incidentes no primeiro material refletor.

α_2 - Coeficiente de reflexão para fótons de 0.5 Mev, incidentes em subseqüentes materiais refletores.

A_1 - Área da parede que pode ser vista da porta.

A_2 - Área da seção transversal do labirinto.

A_w - Área da parede a ser otimizada.

W_{SAD} - Carga de Trabalho no SAD do equipamento (Sv/sem no SAD).

U - Fator de Uso para o feixe.

T - Fator de Ocupação para o local.

F - Área do campo no SAD (cm²).

a - Razão radiação espalhada/radiação incidente no SAD.

% L - Percentual de radiação de fuga do cabeçote.

B_{otm} - Atenuação otimizada.

α - Custo do detrimento (US\$/Homem.Sv poupado no período médio de vida útil da instalação).

$P_{\text{m}3}$ - Custo do metro cúbico de concreto (US\$/m³).

TVL - Camada décimo-redutora em metros.

- n - Ocupação estimada da área em números de pessoas integrais no período de 1 semana.
 T_v - Tempo médio de vida útil da instalação em semanas.
 H_{tot} - Dose equivalente efetiva/semana, no ponto de análise, na ausência da barreira, em Sievert/semana.

Apêndice B - EQUAÇÕES

Equação A1 - Barreira Primária

$$B_{prim} = \frac{P \cdot \left(\frac{d_{prim}}{SAD} \right)^2}{W_{SAD} \cdot U \cdot T}$$

NCRP #49 - pg. 49-54

Equação A2 - Barreira Secundária de Radiação Espalhada

$$B_{scatt} = \frac{P}{a \cdot W_{SAD} \cdot T} \left(\frac{d_{sca}}{SAD} \right)^2 \cdot (d_{sec})^2 \cdot \frac{400}{F}$$

NCRP #49 - pg. 57-6

Equação A3 - Barreira de Radiação de Fuga do Cabeçote ("leakage").

$$B_{Leak} = \frac{P}{(\%L/100) \cdot W_{SAD} \cdot T} \cdot (d_{sec})^2$$

NCRP #49 - pg. 54-57

Equação A4 - Barreira para portas em labirintos com múltiplo espalhamento.

$$B_{lab} = \frac{P \cdot (d_I \cdot d_{r1} \cdot d_{r2} \dots d_{rj})^2}{W_{SAD} \cdot T \cdot \alpha_1 \cdot A_1 \cdot (\alpha_2 \cdot A_2)^{j-1}}$$

NCRP #51 - pg.61- 63.

Equação A 5 - Barreira para Radiação Espalhada pelo Ar ("Skyshine").

$$B_{sky} = (0,67 \times 60) \times \left(\frac{P}{W_{SAD} \cdot U \cdot T} \right) \times \frac{d_J^2 \cdot d_S^2}{\Omega^{1,3}}$$

Equação A 6 - Barreira otimizada

$$B_{otm} = \frac{A_w \times P_{m^3} \times TVL}{Ln(10) \times \alpha \times n \times T_v \times H_{tot}}$$

Apêndice C – Especificações de radiação de fuga do cabeçote (“Leakage Radiation”) e transmissividade do bloqueador de feixe primário (“Beam Stopper”)

Radiation Leakage Specifications

Table 11: Radiation Leakage Specifications

Specifications	
Head (%) ¹	< 0.05
Patient Plane (%) ²	< 0.05
Beam Stop Transmission (%) ³	< 0.1

¹ Measurement point at 1.0 meter from the electron beam line, per IEC 60601-2-1 201.10.1.2.104.1 (the electron beam line is approximately 30cm long).

² Per IEC 60601-2-1 and 201.10.1.2.103.3.

³ Measurement plane at 1.0 meter from isocenter perpendicular to the beam axis.

Beam Specifications

Table 1: Beam Specifications

Specifications	
Beam energy (MV) ¹	6 FFF
Maximum dose rate (cGy/min) ^{2,3,4}	Up to 800
Maximum treatment field (cm)	28 x 28
Dmax (cm) ⁵	1.3 ± 0.2
Depth dose at 10 cm (%) ^{5,6}	63 ± 1.0
Off axis intensity (%) ^{7,8,9}	79.0 ± 2.0
Symmetry (%) ^{7,10}	≤ 2.0

¹ Flattening Filter Free (FFF).

² Maximum dose rate is specified in tissue-equivalent material with a reference field of 10 cm x 10 cm at Dmax and 100 cm source to surface distance.

³ Maximum dose rate depends on purchased configuration and depth of calibration.

⁴ Monitor Unit (MU) is defined as 1 cGy delivered to a tissue-equivalent material at Dmax and 100 cm SSD, with a 10 x 10 cm² field size.

⁵ Measurement point at 100 cm Source to Surface Distance, based on 1.8 mm effective point shift of 0.13 cc cylindrical ion chamber.

⁶ Dose at 10 cm depth reported as percentage of dose at Dmax.

⁷ Off Axis Intensity and symmetry are measured using a 28 cm x 28 cm field (defined at isocenter) at 0.0 collimator angle. Measurement performed at a depth of 10 cm in water. 100 cm SSD. Reported as a percentage of central axis dose.

⁸ Off Axis Intensity is defined as the dose delivered at 10 cm from beam axis of a square field normalized to dose at the beam centerline.

⁹ Off Axis Intensity replaces the flatness measurements due to the absence of the flattening filter.

¹⁰ Symmetry is defined as the maximum difference between the X-ray dose delivered to any two points which are equidistant and symmetrical about the central axis and within the central 80% of the field size.

Apêndice E – Declaração de densidades do concreto utilizado



Prefeitura de Joinville

OFÍCIO SEI Nº 8923467/2021 - HMSJ.NAD

Joinville, 15 de abril de 2021.

À Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN
Divisão de Aplicações Médicas e de Pesquisa - DIAMP/CGMI/CNEN
Rio de Janeiro - RJ

Declaração

Prezados,

Declaramos que a densidade dos materiais a serem utilizados na adequação das Casamatas existentes para os equipamentos descritos abaixo é: **CONCRETO CONVENCIONAL - Densidade mínima = 2,4Ton/m³ (2,4g/cm³)**

- Acelerador Linear VARIAN - *VitalBeam* de 10 MV_{máx}.
- Acelerador Linear VARIAN - *Halcyon* de 6 MV_{máx}

Dados:

- **Instituição:** HOSPITAL MUNICIPAL SÃO JOSÉ – HMSJ
- **Matrícula CNEN:** 11.489
- **Endereço:** Avenida Getúlio Vargas, 238 – **Bairro** Anita Garibaldi
- **CEP:** 89.202-050 Joinville – SC
- **CNPJ:** 84.703.248/0001-09

Sendo o que tínhamos para o momento, nos colocamos à disposição para eventuais esclarecimentos que se fizerem necessários.

Engenheiro Civil Responsável: Jackson Rodrigues
CREA 158430-0
Responsável pela fiscalização da obra



Documento assinado eletronicamente por **Jackson Rodrigues, Coordenador (a)**, em 15/04/2021, às 09:43, conforme a Medida Provisória nº 2.200-2, de 24/08/2001, Decreto Federal nº 8.539, de 08/10/2015 e o Decreto Municipal nº 21.863, de 30/01/2014.

A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://portalsei.joinville.sc.gov.br/>



informando o código verificador **8923467** e o código CRC **648AE412**.

Informações administrativas:

CNPJ: 84.703.248/0001-09

Razão Social: HOSPITAL MUNICIPAL SAO JOSE

Matrícula CNEN: 11489

Ato Administrativo: Autorização para Modificação (SCRA)

Preenchedor: PEDRO PAULO PEREIRA JUNIORE (ppereirajr@gmail.com)

Código de Requerimento: 2021SCRA0678

Senha de Acesso: fb80b99b

=====

HMSJ-Joinville-SC

Halcyon 6MV-FFF

Volume das paredes: $32 \text{ m}^2 \times 2,7 \text{ m} = 86 \text{ m}^3$

Volume da laje: $8,3 \text{ m}^2 \times 0,8 \text{ m} = 7 \text{ m}^3$

Volume total da casamata = 93 m^3

Massa total estimada da casamata = 223 Ton

=====

EOF