

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITECNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Suporte de cabeça para mesa de exames neurológicos

Trabalho de conclusão do curso de graduação do
Departamento de Engenharia Mecânica da Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo.

Tiago Bortoletto Veloso de Almeida

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Massarani

São Paulo

2006

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITECNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Suporte de cabeça para mesa de exames neurológicos

Trabalho de conclusão do curso de graduação do
Departamento de Engenharia Mecânica da Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo.

Tiago Bortoletto Veloso de Almeida

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Massarani

São Paulo

2006

FICHA CATALOGRÁFICA

Almeida, Tiago Bortoletto Veloso de
Suporte de cabeça para mesa de exames neurológicos / T.B.
V. de Almeida.-- São Paulo, 2006.
50 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1.Cintilografia SPECT 2.Exame neurológico 3.Radiofarmacos
4.Resinas epóxi I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia Mecânica II.t.

RESUMO

O hospital do Câncer de Barretos da fundação PIO XII possui um centro de medicina nuclear onde são realizados exames diagnósticos. Neste centro existe uma câmara gama da empresa GE, denominada Millennium VG. Esta câmara tem o objetivo de gerar imagens computadorizadas do interior do paciente a partir da detecção de radiação emitida pelo paciente devido a contrastes injetados no mesmo. Existem dois tipos de exames realizados na cabeça do paciente: o de cintilografia de perfusão cerebral SPECT e o raio-X do crânio. Para a realização destes exames é necessário posicionar o crânio do paciente de forma correta possibilitando uma boa circulação sanguínea e com isso melhor definição do contraste radioativo injetado no paciente. Atualmente esse posicionamento é feito de forma improvisada e não satisfatória. A proposta deste projeto é a de desenvolver um suporte para a cabeça dos pacientes de forma a melhorar o posicionamento, fixação e conseqüentemente o resultado do diagnóstico do exame. Este suporte deve ser construído com material que não bloqueie a radiação do paciente, deve ser de um material leve e resistente, de fácil higienização, confortável e permita o correto posicionamento do crânio do paciente.

ABSTRACT

The PIO XII Foundation Barretos Cancer Hospital has a nuclear medicine centre where diagnostic exams are made. This Centre has a GE Millennium gamma camera. This camera generates computer images from patients injected with a radioactive contrast. There are two types of exams made in this camera into the patients head: SPECT cerebral perfusion and the Skull X-ray. For both exams it is necessary to keep the patients head in a position which there will be a good blood flow and consequently a better definition by the radioactive contrast. Currently the positioning of the patients is made in an improvised and not satisfactory way. The proposal of this project is to develop and build a support for the patients in such way that will increase the positioning, fixation and consequently the exams diagnostics. This support must be built with a material that will not block the radiation from the patient, must be light and resistant, of easy hygienization, comfortable and aloud the correct positioning of the patients head.

SUMARIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
3. METODOLOGIA.....	3
4. ESTUDOS DAS NECESSIDADES DE PROJETO.....	5
5. INFORMAÇÕES SOBRE OS RADIOFÁRMACOS.....	6
6. CAMARA GAMA MILEENNIUM VG.....	11
7. NECESSIDADES E PARAMETROS PRINCIPAIS.....	14
8. ANATOMIA DO CORPO HUMANO.....	16
8.1. A Coluna Vertebral.....	16
8.2. Peso Suportado Pelo Suporte.....	17
9. MODELO ESTÁTICO DO SUPORTE.....	18
10. DESENVOLVIMENTO DO SUPORTE.....	19
10.1. Materiais e modelos.....	19
11. PROJETO DO SUPORTE.....	20
12. MODELO DO SUPORTE EM MADEIRA	21
12.1. Materiais Utilizados.....	21
12.2. Construção Do Modelo.....	22
12.3. Teste do modelo em madeira.....	26

13. CONSTRUÇÃO DO SUPORTE.....	29
13.1. Etapas de fabricação.....	29
13.2. Dimensões finais.....	30
13.3. Cálculo dos esforços.....	31
13.4. Componentes do suporte.....	34
13.5. Radiação emitida sobre o suporte.....	37
13.6. Custos de fabricação.....	38
13.7. Consideração sobre produção em escala.....	38
14. INSTALAÇÃO E UTILIZAÇÃO.....	40
14.1. Segurança e falha.....	42
14.2. Avaliação do suporte.....	42
14.3. Continuação do projeto do suporte.....	43
15. RESULTADOS E CONCLUSÃO.....	44
16. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	45
17. ANEXO	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1. imagem computadorizada da cabeça de um paciente durante o exame de cintilografia SPECT.....	5
Figura 6.1. Imagem millennium VG (hospital do Câncer de Barretos).....	11
Figura 6.2. Imagem millennium VG (hospital do Câncer de Barretos).....	12
Figura 6.3. Imagem dos detectores e da mesa (millenium VG).....	12
Figura 6.4. Movimentação dos detectores durante a execução do exame.....	12
Fig. 8.1.1. imagem da coluna Vertebral.....	16
Figura 8.2.1. representação do corpo humano.....	17
Figura 9.1. Modelo estático do suporte.	18
Figura 12.2.1: lâminas em madeira do modelo do suporte.....	22
Figura 12.2.2: lamina em raio do modelo do suporte.....	23
Figura 12.2.3: modelo em madeira vista superior.....	23
Figura 12.2.4: modelo em madeira vista lateral.....	24
Figura 12.2.5: modelo em madeira vista diagonal.....	24
Figura 12.2.6: modelo em madeira em materiais utilizados.....	25
Figura 12.3.1: modelo em madeira sobre a mesa da millennium.	26
Figura 12.3.2: mesa da millennium com a tiras de velcro para a fixação.	27
Figura 12.3.3: mesa da millennium com a tiras de velcro para a fixação.	27
Figura 12.3.4: movimento da mesa para pessoas brevelineas.	28
Figura 13.2.1: Vista superior do suporte.	30
Figura 13.2.2: vista do Raio do suporte.	30
Figura 13.2.3: Vista lateral do suporte.	31
Figura 13.3.1: Vista lateral do suporte com paciente.	31
Figura 13.3.2: Representação das hipóteses consideradas.	32
Figura 13.3.3: Seção transversal da viga.	32
Figura 13.4.1: Almofada posicionada sobre o suporte.	35
Figura 13.4.2: Tira de velcro na parte inferior da almofada.	35
Figura 13.4.3: Tira de velcro na parte superior do suporte.	35
Figura 13.4.4: Sistema de fixação para a cabeça do paciente.	36
Figura 13.4.5: Sistema de fixação para a cabeça do paciente.....	36
Figura 13.4.6: Tiras de velcro coladas ao suporte.	37
Figura 14.1: Tiras de velcro para fixação na mesa.	40
Figura 14.2: Tiras de velcro fixadas à mesa.	40

Figura 14.3: Vista superior do suporte	41
Figura 14.4: ilustração da tira de fixação da cabeça	41
Figura 14.5: vista frontal do suporte.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1: Principais radiotraçadores e suas principais características.....	7
Tabela 5.2: Aquisição tomográfica utilizando tálio-201.....	9
Tabela 8.1: Cálculo do peso do corpo sobre o suporte.....	17
Tabela 10.1.1: seleção dos materiais.....	19
Tabela 10.1.2: seleção do modelo.....	20
Tabela 12.1.1: materiais utilizados na construção do modelo em madeira.....	21
Tabela 13.3.1: dimensões no calculo dos esforços.....	32
Tabela 13.3.2: Tensões máximas do material.....	34
Tabela 13.6.1: Custos de fabricação do suporte.....	38
Tabela 14.2.1: avaliação do suporte.....	42

1. INTRODUÇÃO

A escola Politécnica da Universidade de São Paulo possui um projeto chamado Poli Cidadã. Este projeto foi criado como o objetivo de aproximar a universidade às necessidades da sociedade em que vivemos. Uma das propostas do projeto é a de desenvolver temas para trabalhos de graduação ligados projetos e responsabilidade social. Dentro desta proposta o Hospital do Câncer de Barretos da Fundação Pio XII, uma instituição pública, tem apresentado diversos temas para o desenvolvimento de projetos que supram as necessidades do hospital. O centro de medicina Nuclear possui uma Câmara Gama que realiza exames gerando imagens computadorizadas dos pacientes a partir da injeção de contrastes radioativos nos mesmos. Um destes exames denominado cintilografia de perfusão cerebral é realizado sobre a cabeça dos pacientes. Atualmente o posicionamento do paciente para este exame é feito de forma improvisada e insatisfatória. A proposta deste projeto é desenvolver e construir um suporte para melhor acomodação dos pacientes e aumento da eficiência na realização dos exames.

2. OBJETIVOS

A partir da visita realizada ao hospital do câncer e com a reunião das informações sobre a câmara e os exames foi possível identificar três objetivos específicos a serem cumpridos pelo projeto:

- Projetar e construir um apoio para a cabeça dos pacientes para exames de cintilografia de perfusão cerebral spect e raio-x do crânio na câmara gama GE millenium VG;
- Aumentar o conforto posicionamento e fixação da cabeça dos pacientes;
- Aumentar a definição das imagens geradas e o diagnóstico dos exames.

3. METODOLOGIA

O projeto foi dividido em cinco macrofases cada uma com um lista de etapas a serem cumpridas para a correta construção do projeto em questão:

Estudo de Viabilidade:

- 1 Visitar o Hospital de Câncer de Barretos: estudar a máquina de exame neurológico conhecendo os procedimentos de realização dos exames e discutindo as necessidades e serem supridas com a construção do suporte

Projeto Básico (anteprojeto):

- 2 Estudar a anatomia do corpo humano: definir o correto posicionamento dos membros superiores de forma a poder definir a melhor geometria para o suporte.
- 3 Elaboração do modelo estático do suporte: definir as variáveis de projeto e levantar os pontos cruciais para o projeto do suporte
- 4 Estudo de Materiais: estudar matérias que melhor atendam as especificações e necessidades levantadas
- 5 Estudo de Normas ABNT: levantar possíveis restrições e normas definidas pela ABNT
- 6 Definição das geometrias (do protótipo)
- 7 Elaboração de alternativas de protótipos
- 8 Construção das matrizes de decisão: matrizes de materiais e matrizes de modelos
- 9 Seleção da Melhor alternativa de protótipo

Projeto Executivo:

- 10 Elaboração dos desenhos de fabricação
- 11 Elaboração da lista de peças
- 12 Definição das máquinas: definir os equipamentos e maquinas necessárias para a construção do protótipo
- 13 Elaboração dos processos de fabricação
- 14 Conclusão do projeto executivo

Produção:

- 15 Aquisição de materiais
- 16 Aquisição de peças
- 17 Aquisição de ferramentas
- 18 Aquisição de máquinas: reserva do horário de uso da maquinas na oficina da poli.
- 19 Construção do protótipo
- 20 Elaboração do instrumento de avaliação do protótipo: elaborar um documento que possa avaliar os resultados apresentados pelo suporte e atendimento às necessidades de projeto.
- 21 Teste do Protótipo: testar o protótipo conforme definido na avaliação

Utilização do Produto:

- 22 Instalação do Protótipo
- 23 Avaliação do protótipo
- 24 Possíveis correções e adaptações
- 25 Conclusão do relatório final

4. ESTUDOS DAS NECESSIDADES DE PROJETO

No dia 13 de abril de 2006 foi realizada uma visita ao hospital do câncer de Barretos. O objetivo desta visita foi o de conhecer o estabelecimento, o procedimento dos exames realizados, os equipamentos utilizados e reunir informações para a determinação das necessidades de projeto. Com a visita foi possível observar o funcionamento do equipamento e conhecer os procedimentos dos exames. A partir desta visita pôde-se estabelecer os objetivos e necessidades do projeto que serão discutidos a seguir..

Os exames realizados:

O centro de medicina nuclear realiza diversos exames diagnósticos. Estes exames baseiam-se na geração de imagens computadorizadas do interior do corpo dos pacientes. Os pacientes recebem uma injeção de radiofármaco (um líquido radioativo) que penetra na rede sangüínea do paciente e espalha-se por todo seu corpo. Os equipamentos presentes no centro detectam esta radiação e são capazes de gerar imagens do corpo humano em computador. Um destes exames chama-se cintilografia de perfusão cerebral SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography) no qual são geradas imagens da cabeça do paciente que possibilita principalmente a representação de informações funcionais e metabólicas. Essas imagens possuem regiões com cores diferentes devido a concentração de contraste nestas regiões como podemos observar na figura (1). Além disso, existe um exame de raio-x do crânio no qual é gerada uma imagem de raio-x computadorizada da cabeça do paciente. O projeto em desenvolvimento tem o objetivo de atender às necessidades apresentadas na execução destes exames.

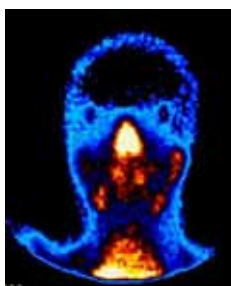


Figura 4.1. imagem computadorizada da cabeça de um paciente durante o exame de cintilografia SPECT

5. INFORMAÇÕES SOBRE OS RADIOFÁRMACOS

Este subtítulo tem como objetivo fornecer maiores informações sobre os radiofármacos que são os líquidos radioativos ou radiotraçadores que injetados no paciente possibilitam a detecção de anormalidades através das câmaras gama. Portanto apesar de fornecer informações úteis sobre os radiofármacos esta parte não é crucial para o entendimento do projeto como um todo.

Estas informações foram retiradas do site da revista SOCESP, o endereço está indicado na referencia numero 6 no final deste documento.

As anormalidades da perfusão miocárdica são detectadas ao se provocar estresse físico ou estresse farmacológico, que determinam diferentes fluxos regionais entre artérias com e sem obstruções. Essas diferenças são dependentes da capacidade dos traçadores em refletir as mudanças de fluxo arterial causadas pelos agentes estressores(8). Um agente ideal deve ter máxima extração celular, que essa extração aumente proporcionalmente ao fluxo sanguíneo, que a energia seja adequada para o cristal da câmara, e que a meia-vida não seja longa. Aliado a essas qualidades, é preciso entender a biocinética de cada produto(8). A captação ou o acúmulo do radiofármaco têm influxo celular, ativo ou passivo, que depende da integridade da membrana e pode ou não ter clareamento do interior da célula que é dependente do fluxo sanguíneo regional. Ao se realizar um exame, é preciso, além dos dados clínicos e antropométricos, levar em conta a biodistribuição do radiofármaco, as condições de se obter o exame, em que tempo será realizado, que dados serão avaliados e quais são os objetivos(9, 10). Em nosso mercado atual, encontram-se o ^{201}Tl , o $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -sestamibi e o $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -tetrofosmin, embora existam outros disponíveis ou em estudo. Nenhum desses produtos atende a todos os quesitos aqui comentados. Na Tabela 1, apresentada a seguir, encontram-se os principais radiotraçadores e suas principais características.

Tabela 5.1: Principais radiotraçadores e suas principais características

	Tálio-201	Sestamibi	Teboroxime	Tetrofosmin	Furifosmin
Classificação	Elemento	Isonitrila	Ácido borônico	Difosfina	Misto
Carga	Cátion	Cátion	Neutro	Cátion	Cátion
Captação	Ativa	Passiva	Passiva	Passiva	Passiva
Extração	85%	40%	90%	54%	85%
Redistribuição	Sim	Negligível	Sim	Negligível	Negligível
Tempo para imagem	1 min	15-60 min	1 min	5-15 min	5-15 min
Coração/fígado					
30 min	2,6	0,3 a 0,6	-	1,4	1,0 a 1,6
T1/2 sanguíneo	5 min	2,2 min	< 2 min	< 5 min	1,8 min
T1/2 físico	73 h	6 h	6 h	6 h	6 h
Energia	69-83 keV	140 keV	140 keV	140 keV	140 keV
Clareamento	Renal	Hepático	Hepático	Hepático	Hepático/rena
Dose equivalente	16 mSv/ 74 MBq	11 mSv/ 1100 MBq	18 mSv/ 1100 MBq	8 mSv/ 1100 MBq	9 mSv/ 1100 MBq

Ao se observar a tabela dos radiofármacos mais utilizados, percebe-se que o ^{99m}Tc -teboroxime tem a maior extração pelo miocárdio, seguido do cloreto de tálio-201. Os outros traçadores têm extração bem menor e entram em platô conforme o fluxo sanguíneo aumenta, independentemente do tipo de estresse ser físico ou medicamentoso(8).

O marcador teboroxime, agente lipofílico neutro, com mecanismo de captação desconhecido, tem excelentes qualidades relativas à taxa de extração, que se mantém paralela ao aumento de fluxo sanguíneo, porém um T1/2 miocárdico tão rápido que dificulta sua prática clínica. Dois terços do material captado deixam o miocárdio em até quatro minutos e as imagens devem ser obtidas em até seis minutos após a dose. O clareamento muito rápido de um traçador implica métodos mais complicados e/ou aparelhos especiais, que permitam a rápida aquisição de imagens de qualidade(8, 11).

O tálio-201 demonstra taxa de extração semelhante ao aumento do fluxo sanguíneo até três vezes em relação ao fluxo basal, a partir do qual exibe discreto aumento e comportamento com padrão tipo platô; portanto, uma taxa de aumento inferior ao fluxo estabelecido por um exercício máximo ou aos testes farmacológicos. A biodistribuição inicial é semelhante ao potássio; porém, ao entrar na célula, mostra comportamento distinto. A biodistribuição entra nas células de forma ativa e dependente da bomba de Na^+/K^+ ATPase, e redistribui-se ao longo do tempo na dependência do fluxo sanguíneo regional(8). O T1/2 sanguíneo de cinco minutos mostra que, inicialmente, o influxo é maior que a saída do radiofármaco dos miócitos. Aos dez minutos, inicia sua redistribuição conforme o fluxo regional.

Dessa forma, considerando que o exame demora cerca de cinco minutos para iniciar, que a aquisição é de quinze a trinta minutos, as imagens obtidas refletem a distribuição e o início da redistribuição do material. Sua meia-vida física de 73 horas e sua distribuição biológica não permitem doses maiores que 111 MBq para um paciente adulto. Sua baixa energia de 69 keV a 83 keV, abaixo da ideal para os cristais utilizados, permite artefatos provocados por atenuação de mamas densas ou pelo diafragma(8).

Do ponto de vista do uso clínico e com especialistas na área, esses problemas não interferem de forma importante. Novos programas de computador diminuíram os problemas de atenuação e os resultados clínicos são muito bons do ponto de vista diagnóstico e prognóstico. São 25 anos de experiência com esse radiofármaco e inúmeros seguimentos com todos os tipos de população foram realizados, demonstrando alta sensibilidade e alta especificidade no estudo da perfusão miocárdica relativa a valor preditivo negativo, diagnóstico, avaliação de risco, seleção para cirurgia, prognóstico e viabilidade miocárdica(1, 2, 8).

Aquisição tomográfica usando tálio-201

O sestamibi é uma isonitrila, traçador marcado com tecnécio-99m mais utilizado na atualidade. As características físicas do radioisótopo, a meia-vida de seis horas e a energia de 140 keV são extremamente apropriadas para a administração de doses que permitem boa estatística de contagens, baixa exposição à radiação, boa sensibilidade dos cristais e suficiente para a fabricação de bons colimadores. Independentemente dos canais de Na⁺ e K⁺, esse agente lipofílico entra na célula por mecanismo passivo através do sarcolema, liga-se às mitocôndrias e praticamente não existe redistribuição dentro da meia-vida física do radioisótopo(12-14). O frasco de sestamibi fica à disposição 24 horas por dia e os estudos podem ser realizados a qualquer momento, mesmo com doses administradas à distância, porque não há redistribuição significativa. Do ponto de vista químico e de biodistribuição, tem vantagens e desvantagens. Sua extração miocárdica não é alta e também não acompanha o aumento de fluxo sanguíneo coronário provocado por estresse físico ou medicamentoso. Acompanha o aumento de fluxo até duas vezes a situação basal, entrando em platô, apesar de o exercício e de os vasodilatadores provocarem aumento de três a cinco vezes quando realizados nas condições ideais(8, 12).

Tabela 5.2: Aquisição tomográfica utilizando tálio-201

	Estresse	Redistribuição/repouso
Dose	111 MBq de tálio-201	Considerar reinjeção
Posição	Supina	Supina
Posição opcional	Prona	Prona
Intervalos após estresse	10 m a 15 m	4 h
Janela de energia	30% simétrica 70 keV 20% simétrica 167 keV	30% simétrica 20% simétrica 167 keV
Colimador	Baixa energia/PG	Baixa energia/PG
Órbita de 180 graus	45 OAD-45 OPE	45 OAD-45 OPE
Tipo de órbita	Circular	Circular
Tipo de órbita opcional	Não-circular	Não-circular
Tipo de aquisição	Contínua	Contínua
Tipo de aquisição opcional	Passo a passo	Passo a passo
Projeções	32	32
Matriz	64 x 64	64 x 64
Tempo/projeção	40 s	40 s

Considerando que a análise das imagens é baseada na comparação da concentração regional e relativa do material, teoricamente, a limitação do platô em duas vezes o fluxo basal dificultaria a detecção de lesões arteriais de médio grau. Dessa forma, poderíamos estar não diagnosticando alterações de fluxo insuficientes para causar fisiologicamente o fenômeno da isquemia.

As referências bibliográficas utilizadas no texto são:

1. Iskandrian AS, Verani MS. Nuclear Cardiac Imaging: Principles and Applications. 2ed. Philadelphia: F.A. Davis Company; 1996. p. 242-78.
2. Toyota E, Koshida R, Hattan N, Chilian WM. Regulation of the coronary vasomotor tone: what we know and where we need to go. J Nucl Cardiol 2001;8(5):599-605.
8. Heller GV. Tracer selection with different stress modalities based on tracer kinetics. J Nucl Cardiol 1996;3(6):S15-S21.
9. Hachamovitch R, Berman D, Kiat H, et al. Exercise myocardial perfusion SPECT in patient without known coronary artery disease: incremental prognostic value and use in risk stratification. Circulation 1996;93:905-14.

10. Glover DK, Ruiz M, Edwards NC, et al. Comparison between ^{201}Tl and $^{99\text{m}}\text{Tc}$ sestamibi uptake during adenosine induced vasodilation as a function of coronary stenosis severity. *Circulation* 1995;91:813-20.
11. Dahlberg ST, Gilmore MP, Leppo JA. Interaction of technetium $^{99\text{m}}$ -labeled teboroxime with red blood cells reduces the compound's extraction and increases apparent cardiac washout. *J Nucl Cardiol* 1994;1: 270-9.
12. Jain D. Technetium- $^{99\text{m}}$ labeled myocardial perfusion imaging agents. *Sem Nucl Med* 1999;29(3):221-36.
14. Berman DS, Kiat H, Friedman JD, et al. Separate acquisition rest thallium- 201 /stress technetium- $^{99\text{m}}$ sestamibi dual-isotope myocardial perfusion single-photon emission computed tomography: a clinical validation study. *J Am Coll Cardiol* 1993;22:1455-64.

6. CAMARA GAMA MILLENNIUM VG

Para realizar a os exames descritos anteriormente o centro de medicina nuclear utiliza uma câmara gama da companhia GE denominada Millennium VG figuras (2) e (3). Esta câmara é capaz de detectar a radiação emitida pelo radiofármaco e gerar uma imagem computadorizada figura (1). Nesta maquina o paciente é posicionado horizontalmente com a cabeça virada para os detectores. Sua cabeça é apoiada por uma pequena almofada e fixada com outras duas almofadas laterais e uma faixa. Após a fixação a mesa onde o paciente está é posicionada mecanicamente entre os detectores de radiação. A figura (4) a seguir mostra uma imagem dos detectores e da mesa Estes detectores, então, são posicionados o mais próximo possível do paciente. Quando inicia-se o exame estes detectores começam um movimento de rotação e torno do paciente como observado na figura (5).



Figura 6.1. Imagem millennium VG (hospital do Câncer de Barretos).



Figura 6.2. Imagem millennium VG (hospital do Câncer de Barretos).

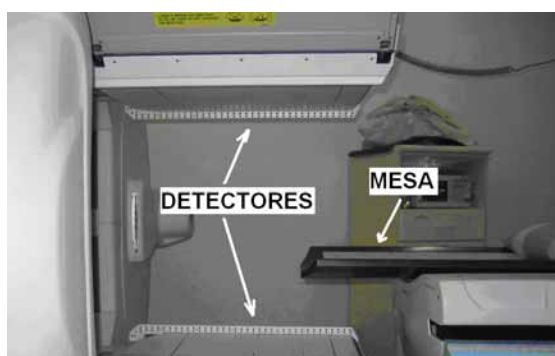


Figura 6.3. Imagem dos detectores e da mesa (millenium VG).

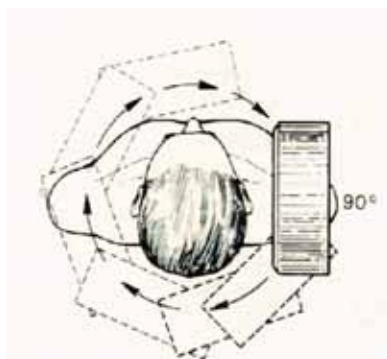


Figura 6.4. Movimentação dos detectores durante a execução do exame.

Existem três problemas apresentados: A fixação da cabeça do paciente não é eficiente. Pessoas que possuem doenças ou apenas movimentam a cabeça prejudicam o exame. Isto ocorre, pois com o movimento as imagens geradas ficam distorcidas. O posicionamento do paciente na mesa prejudica a circulação do radiofármaco em sua

cabeça prejudicando a intensidade da emissão de radiação. E por ultimo os detectores precisam estar o mais próximo possível da cabeça do paciente e como a mesa é mais larga que o necessário, os detectores não podem se aproximar muito, do contrario ocorreria a colisão do detector com a mesa.

O suporte a ser construído deverá se posicionar em cima da mesa da câmara. Esta mesa é feita de fibra de carbono de possui uma largura de aproximadamente 350 mm. Também possui uma curvatura de raio igual a 350 mm. As figuras (5) e (6) mostram a mesa da câmara.

7. NECESSIDADES E PARÂMETROS PRINCIPAIS

A partir das informações adquiridas na visita ao hospital foi possível estabelecer os objetivos do projeto assim como os parâmetros principais para o desenvolvimento do projeto, discutidos a seguir. Foi possível observar que seria necessária a escolha de materiais que não bloqueiem radiação e o posicionamento do paciente no suporte será crucial.

Parâmetros para o desenvolvimento e construção do suporte:

- **Baixa densidade:** O material do suporte deve ter densidade mínima possível. Dessa forma não haveria interferência no exame pelo bloqueio da radiação pelo suporte.
- **Ergonomia:** Será necessário que o suporte posicione o conjunto cabeça, pescoço e tórax do paciente de forma a maximizar o fluxo sanguíneo e do radiofármaco. Isso possibilitará melhor definição e diagnóstico do exame.
- **Dureza:** Será necessário que o suporte possua uma rigidez suficiente para suportar o peso do paciente e ao mesmo tempo não permita sua movimentação.
- **Conforto:** Durante a execução do exame o paciente deve estar numa posição confortável. Além de aumentar a satisfação do paciente impede que por causa do desconforto o mesmo comece a se movimentar prejudicando o exame.
- **Peso:** O suporte deve ser leve para poder ser movimentado sem maiores problemas. Vale lembrar que o suporte só é posicionado na mesa da máquina quando for feito os exames citados sendo removido para outros exames.
- **Fixação:** O suporte deve ser facilmente colocado e retirado da mesa. Existe um movimento intenso da pacientes que utilizam a máquina para

diferentes exames. Portanto é crucial não perder tempo com movimentação do suporte.

- Durabilidade: o suporte deve ser o mais durável possível. Acredita-se numa vida útil de pelo menos 10 anos.

8. ANATOMIA DO CORPO HUMANO

Para projetar o suporte foi necessário estudar elementos da anatomia do corpo humano: o sistema ósseo da coluna vertebral observando principalmente os ângulos entre cabeça, pescoço e coluna; Medidas geométricas de pescoço, costa e cabeça levando em conta diferentes indivíduos de tamanhos e idades diferentes. Estes parâmetros estão ainda sendo estudados. Além disso foi necessário calcular o peso da parte superior do corpo humano para poder determinar o peso a ser suportado pelo suporte e de construir o modelo estático para o mesmo.

8.1. A Coluna Vertebral

O suporte a ser construído deve ter uma geometria que obedeça os ângulos da coluna vertebral, principalmente na região entre a cabeça e o tórax. Estes ângulos estão sendo determinados. A seguir é mostrada uma figura da coluna vertebral no ângulo correto de posicionamento (fig. 8.1.1). Esta figura está servindo com base para o desenvolvimento do suporte.

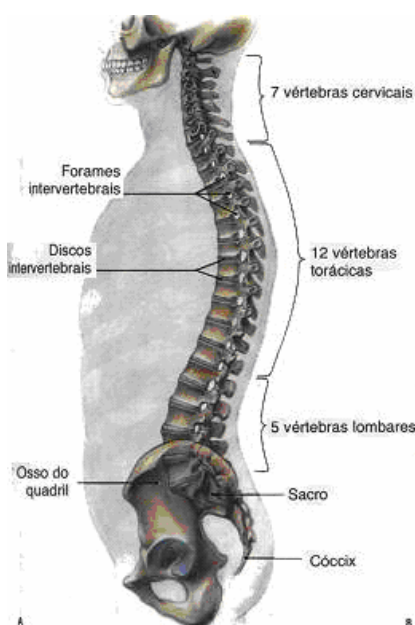


Fig. 8.1.1. imagem da coluna Vertebral

8.2. Peso Suportado Pelo Suporte

Para a determinação do peso a parte superior do corpo humano foi dividido em três partes: cabeça, pescoço e tórax (fig. 8.2.1). Estas partes forma representadas por uma esfera e dois cilindros respectivamente. Foram tiradas medidas de uma pessoa com 1,83 m e 77 kg e a estas medidas acrescentadas um coeficiente de segurança de 1,5. com estas medidas pode-se chegar a um volume de 30.000 cm³. A densidade do corpo humano é muito próxima da água, portanto a partir deste valor chegou-se a um peso de 30 kg a ser suportado pelo suporte.

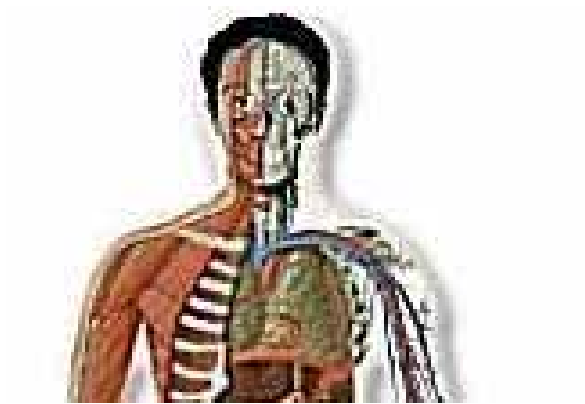


Figura 8.2.1. representação do corpo humano

Tabela 8.1: Cálculo do peso do corpo sobre o suporte

	Circunferencia	Altura	Volume
	mm	mm	mm ³
Cabeça	670		5,079E+06
Tórax	1200	200	2,292E+07
Pescoço	400	100	1,273E+06
Volume total	mm ³		2,927E+07
Densidade	kg/mm ³		1,000E-06
Força total	Newton		300,00

9. MODELO ESTÁTICO DO SUPORTE

A partir da obtenção do peso do corpo a ser suportado pelo suporte foi possível determinar o modelo estático do mesmo. Este modelo foi considerado com sendo o de uma viga engastada sobre a ação de uma carga distribuída (fig. 9.1). Com base neste modelo foi obtida na região do engaste uma força cortante de 300 N e momento fletor de 75 mil N.mm.

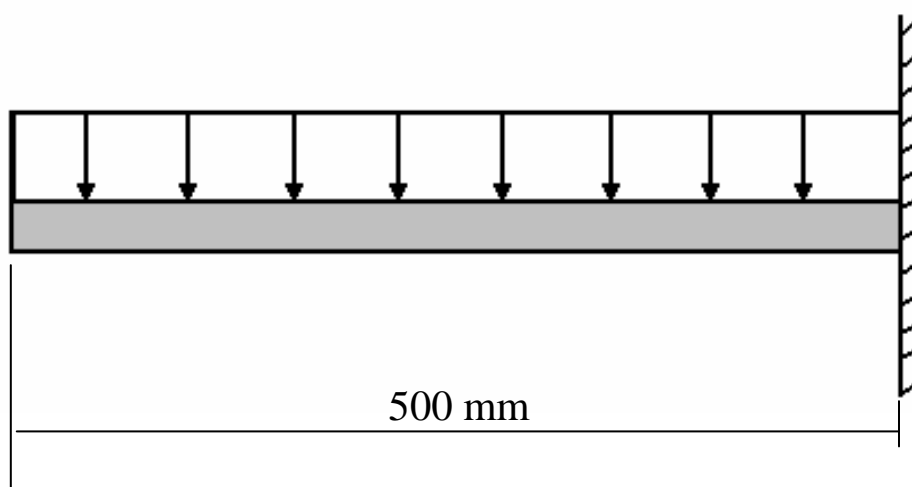


Figura 9.1. Modelo estático do suporte.

10. DESENVOLVIMENTO DO SUPORTE

Após o desenvolvimento do modelo estático do suporte foi possível o estudo de materiais e também formas alternativas de construção do suporte. Após a conclusão deste estudo foram elaboradas duas matrizes de decisão para selecionar uma alternativa final.

10.1. Materiais e Modelos

Foram estudadas as possibilidades de utilização dos seguintes materiais levando em conta principalmente sua densidade, preço e fabricação do suporte. Os seguintes materiais com suas densidades foram selecionados: Madeira (0,8 g/cm³), acrílico (1,15 g/cm³), poliuretano (0,08 g/cm³), polietileno (0,95g/cm³). Espuma (0,03 g/cm³).

Juntamente com o estudo dos materiais foram desenvolvidos dois tipos de modelos para a construção do suporte. O primeiro seria a preso na extremidade da mesa e teria todo o peso a ser suportado sobre estas travas. O segundo seria um suporte apoiado sobre a mesa e teria um comprimento até aproximadamente a cintura do paciente, ou seja, o próprio peso do paciente fixaria o suporte.

Com as informações levantadas foram criadas duas matrizes de decisão uma para a seleção dos materiais tabela (10.1) e outra para a seleção do modelo tabela (10.2).

Tabela 10.1.1: seleção dos materiais

atributos	peso	madeira		acrílico		espuma		poliuretano		polietileno	
densidade	5	2	10	1	5	5	25	4	20	3	15
ergonomia	5	1	5	5	25	5	25	5	25	5	25
dureza	3	5	15	5	15	2	6	5	15	5	15
conforto	4	2	8	4	16	5	20	4	16	4	16
peso	5	3	15	3	15	5	25	5	25	4	20
fabricação	5	3	15	1	5	1	5	4	20	2	10
preço	3	4	12	3	9	2	6	4	12	2	6
soma		80		90		112		133		107	

Tabela 10.1.2: seleção do modelo

atributos	peso	1		2	
fabricação	5	3	15	5	25
fixação	5	3	15	5	25
resistencia	5	3	15	5	25
peso	3	5	15	4	12
dimensão	3	5	15	3	9
soma		75		96	

As Matrizes de decisão Mostram que o resultado final será o desenvolvimento do projeto no modelo dois onde o mesmo estaria apenas apoiado sobre a mesa da câmara gama e o próprio peso do paciente manteria o suporte imóvel. Além disso pode-se observar que o material selecionado é o poliuretano.

11. PROJETO DO SUPORTE

A partir dos parâmetros principais estabelecidos e da elaboração do modelo estático do suporte foi possível o desenvolvimento do suporte. O modelo do suporte foi elaborado com o auxílio do software Inventor da companhia Auto Desk. O suporte possui dimensões máximas de 650 mm de comprimento, 350 mm de largura, 50 mm de espessura e um raio máximo de 350 mm.

As características geométricas do suporte foram determinadas para principalmente adaptar-se ao raio da mesa da millenium VG. A curvatura presente no suporte deve ser mínima para proporcionar melhor conforto ao paciente.

12. MODELO DO SUPORTE EM MADEIRA

Conforme foi estabelecido nos parâmetros principais o suporte precisa ser posicionado corretamente na mesa de exames, apresentar boa ergonomia de forma a posicionar o paciente e principalmente precisa ser construído com um raio que encaixe perfeitamente à mesa de exames.

Afim de verificar essas características e confirmar a satisfação dos responsáveis do hospital de Barretos com o projeto do suporte foi construído um modelo em escala real do suporte em madeira. A madeira e técnicas são as utilizadas para a construção de modelos de aeromodelismo. A seguir são descritos o processo de construção, os materiais utilizados e mostradas imagens do modelo.

12.1. Materiais Utilizados

Tabela 12.1.1: materiais utilizados na construção do modelo em madeira

Material	Quant.
Estilete OLFA CUTTER 300	1
Cola para Aeromodelismo	1
Régua de 30 centímetros	1
Compasso	1
Lapiseira	1
Lixadeira	1
Fio dental	1
Madeira Balsa equatoriana 1/8 x 4 pol x 1000 mm	2
Madeira Balsa equatoriana 3/32 x 3 x 36 polegadas	4

12.2. Construção Do Modelo

As madeiras foram marcadas e cortadas com estilete em quatro diferentes modelos. As geometrias denominadas A, B, C (fig. 12.2.1) foram utilizadas para o corpo do modelo e tem a forma do suporte.

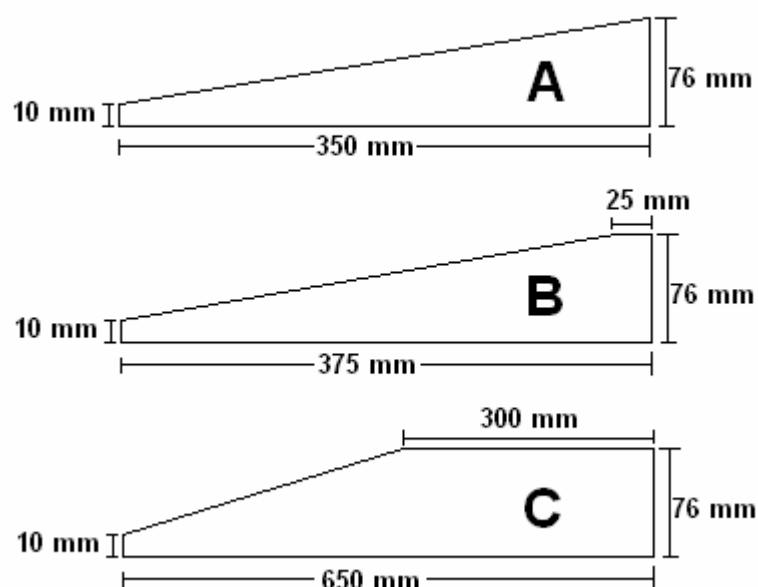


Figura 12.2.1: lâminas em madeira do modelo do suporte

Para a construção do modelo D (figura 12.2.2) foi utilizado fio dental, compasso e lapiseira. Foi marcado com a régua o comprimento do raio (703 mm) com o auxílio da régua sobre uma mesa utilizando folhas de sulfite coladas à mesa. Com o comprimento do raio estabelecido foi amarrado o fio dental na ponta do compasso e o mesmo fixado no centro do raio. Na extremidade do fio dental foi amarrada a lapiseira e com muito cuidado foi feita a marcação do raio sobre madeira balsa. Após feita a marcação do raio interno e externo (que no caso tem o mesmo valor) foi feito o corte com o estilete. A partir da primeira vareta foram feitas as outras utilizando como modelo a primeira.

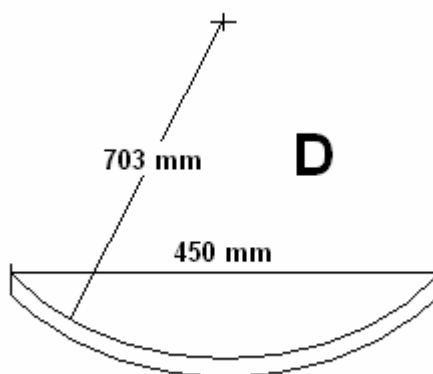


Figura 12.2.2: lâmina em raio do modelo do suporte

Ao todo foram cortadas duas varetas de cada modelo A, B, C e cinco varetas do modelo D. Duas varetas do modelo D foram reduzidas para um comprimento de 200 mm.

Após o corte de todas as varetas as mesmas foram encaixadas umas nas outras e amarradas com o fio dental. A cola foi utilizada em algumas varetas para reforçar alguns veios que estavam a ponto de romper. O modelo em madeira do suporte está mostrado na figuras a seguir.



Figura 12.2.3: modelo em madeira vista superior



Figura 12.2.4: modelo em madeira vista lateral



Figura 12.2.5: modelo em madeira vista diagonal



Figura 12.2.6: modelo em madeira em materiais utilizados

12.3. Teste do Modelo em madeira

Após a Construção do modelo em madeira foi realizada uma outra visita ao Hospital em Barretos com o objetivo de posicionar o modelo sobre a mesa de exames e com isso realizar medidas e análises finais sobre o projeto antes de construir o protótipo (fig. 12.3.1). Além disso a visita foi crucial para obter a aprovação dos responsáveis do hospital e corrigir eventuais questões para, então, iniciar a produção.



Figura 12.3.1: modelo em madeira sobre a mesa da millennium.

O modelo do suporte foi construído com um raio de 703 mm quando na realidade o raio medido neste teste final foi de 350 mm. A medida do raio até esta visita não estava preciso uma vez que o mesmo foi calculado com o auxílio do software inventor a partir das fotos obtidas na primeira visita ao hospital. Apesar disso o raio medido estava próximo de 350 mm. O modelo foi construído com raio igual ao dobro do real com o objetivo de avaliar qual seria a gravidade em um possível erro no raio do protótipo construído, já que a fixação do suporte à mesa depende das duas tiras de velcro coladas a ela como mostra a fig. 12.3.2



Figura 12.3.2: mesa da millennium com a tiras de velcro para a fixação.

Com o observação do modelo sobre a mesa foi possível concluir que seria crucial obter o raio do protótipo igual ao raio da mesa de forma os velcros da mesa entrassem em contato com os do protótipo.

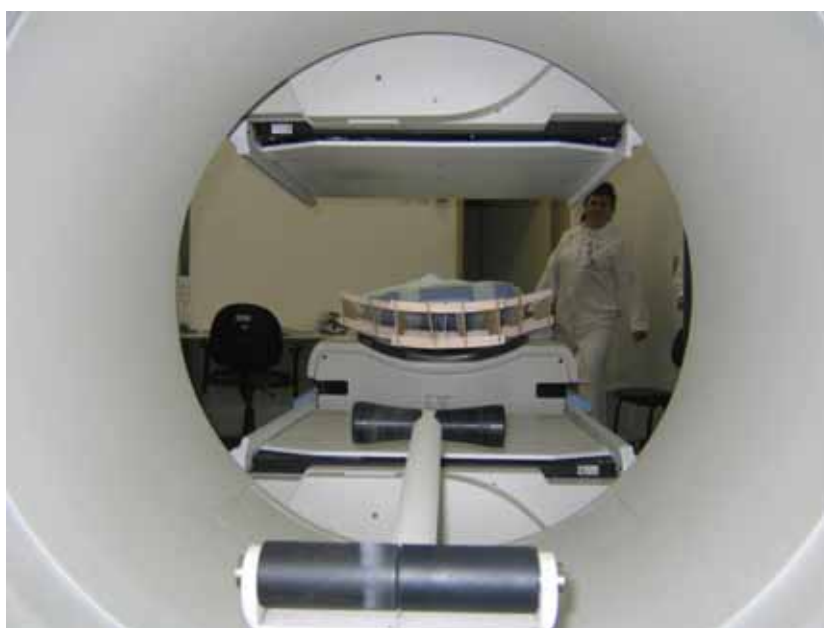


Figura 12.3.3: mesa da millennium com a tiras de velcro para a fixação.

Outro ponto importante no teste realizado foi com relação a largura do suporte. Inicialmente o suporte foi projetado com uma largura de 400 mm sendo que a mesa da millennium tem uma largura de 350 mm. A figura 12.3.3 mostra a diferença na

largura entre a mesa e o modelo. Pode-se observar que o modelo ultrapassa a largura da mesa.

A largura maior do suporte que a mesa foi pensada com o objetivo de prover maior conforto ao paciente uma vez que a mesa de 350 mm é estreita e faz com que os ombros do paciente fiquem projetados para fora da mesma.

Segundo explicações do Doutor Marcelo José Santos, responsável pelo departamento, a largura da mesa é mínima para que os detectores possam se aproximar ao máximo do paciente e com isso melhorar a imagem do exame. A principal questão levantada e que obrigou a redução da largura do suporte foi a seguinte: existem pacientes denominados brevelíneos. Esta é uma denominação a pacientes que possuem o pescoço curto e desta forma a cabeça do paciente fica muito junto ao corpo. Nestes casos não é possível que os detectores fiquem posicionados e rotacionem apenas sobre a parte mais estreita do suporte e seria necessário posicionar o pacientes mais para dentro da máquina. Observando a figura 12.3.4 seria o mesmo que deslocar o modelo para a esquerda ficando mais abaixo do detectores.



Figura 12.3.4: movimento da mesa para pessoas brevelíneas.

Com os resultados levantados foi possível obter o raio exato da mesa e a ser seguido no suporte igual a 350 mm e a largura do suporte teria que ser de 350 mm.

13. CONSTRUÇÃO DO SUPORTE

A construção do suporte exige grande conhecimento e experiência em lidar com materiais como mantas de fibra de vidro, resinas e moldagem de blocos em poliuretano e outros materiais. Devido a esta questão o suporte foi construído pela F-GLASS, uma oficina de pranchas de surf. O shaper Fernando Hayzek foi o responsável pela construção do suporte.

Durante a decisão sobre os procedimentos e materiais para a construção do suporte foram levantados dois pontos: O suporte seria construído em poliestireno ou bloco de isopor devido a possibilidade de adquirir o bloco com menor custo que o de poliuretano. Além disso devido as formas geométricas seria mais seguro trabalhar com o bloco de isopor. Outro fator estava na espessura do suporte. Possivelmente sua espessura seria maior que a especificada no projeto. Isso devido a questões de segurança reduzindo o risco de falha no suporte e também facilitar na modelagem do bloco reduzindo o risco de quebra do isopor.

13.1. Etapas de fabricação do suporte

A construção do suporte inicia-se a partir da espuma de isopor. Com o auxílio das ferramentas: Plaina elétrica, suforme (desbastador) e lixas, o bloco é cortado e desgastado para adquirir a forma final.

Daí então é aplicada uma massa selante, uma mistura de resina epóxi com uma substância chamada microesfera. Essa massa tem como objetivo evitar que se formem bolhas e acúmulo de ar prejudicando a aplicação da manta de fibra de vidro e resina epóxi. Depois de aplicada a massa em ambos os lados da peça e aguardar a secagem, começa o processo de revestimento com as fibras.

São aplicadas quatro folhas de fibra de vidro de seis onças na parte de baixo da peça e laminadas com a resina epóxi. Aguardando a secagem completa, o mesmo procedimento é repetido para a parte superior do suporte.

Depois de seca é aplicado um banho de resina em toda a peça para deixar a superfície lisa, os pontos irregulares são lixados e então uma camada de tinta é passada na superfície para o acabamento final.

Todo o processo levou em torno de vinte dias para ser completado. O ponto mais delicado é durante a aplicação da resina. É um procedimento lento que exige que a

camada aplicada anteriormente esteja seca para a aplicação da próxima camada. Além disso, exige-se cautela para não se formar pontos de acúmulos de ar ou falhas na resina.

13.2. Dimensões finais

A figura 13.2.1 mostra o suporte construído sobre a mesa da millennium. Pode-se observar que algumas dimensões diferem das especificadas no projeto. O comprimento total do suporte é de 650 mm sendo 350 mm da parte mais larga (que vai apoiada sobre a mesa da maquina) e 300 mm da parte mais fina do suporte (parte que permanece em balanço). A maior largura do suporte tem 350 mm, assim como a mesa e parte mais estreita tem 150 mm de largura. A espessura máxima do suporte tem 70 mm e o raio inferior do suporte é muito próximo do raio da mesa, ao ser posicionado no local existe uma diferença de aproximadamente 5 mm entre a mesa e o suporte. Essa diferença não prejudicou a fixação do mesmo.

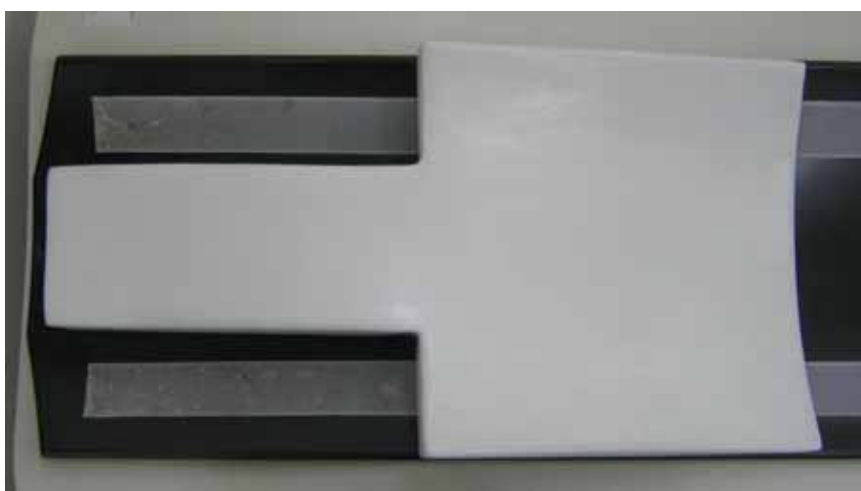


Figura 13.2.1: Vista superior do suporte.



Figura 13.2.2: vista do Raio do suporte.

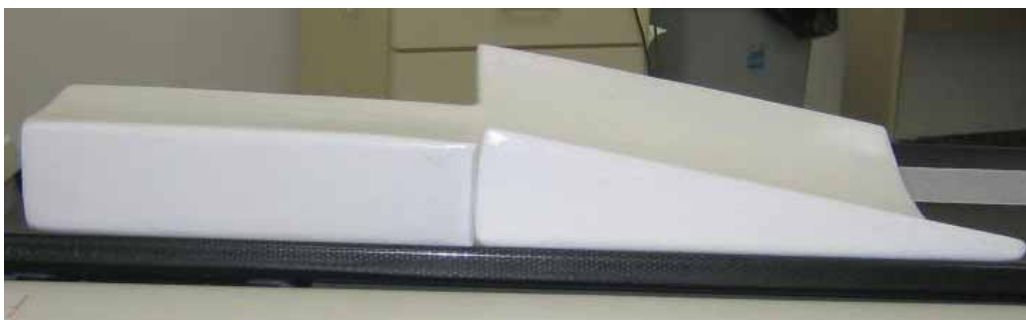


Figura 13.2.3: Vista lateral do suporte.

13.3. Cálculo dos esforços reais sobre o suporte

A figura 13.3.1 mostra a utilização do suporte com um paciente posicionado sobre o mesmo. A partir das novas dimensões e do posicionamento do suporte pode ser encontrados valores dos esforços sobre o suporte



Figura 13.3.1: Vista lateral do suporte com paciente.

Para o desenvolvimento dos esforços foram assumidas as seguintes hipóteses. O suporte é considerado como uma viga retangular engastada com uma força concentrada na extremidade da mesma. Essa força corresponde ao peso da cabeça de uma paciente no ponto mais extremo da viga. A figura 13.3.2 ilustra as hipóteses consideradas.

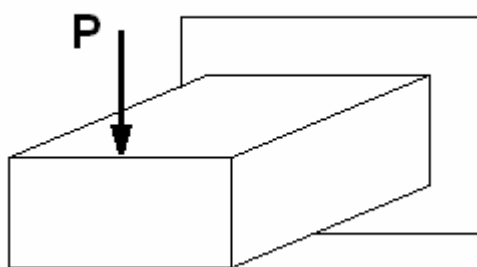


Figura 13.3.2: Representação das hipóteses consideradas.

A partir da viga ilustrada é considerada uma seção transversal da mesma (figura 13.3.3).

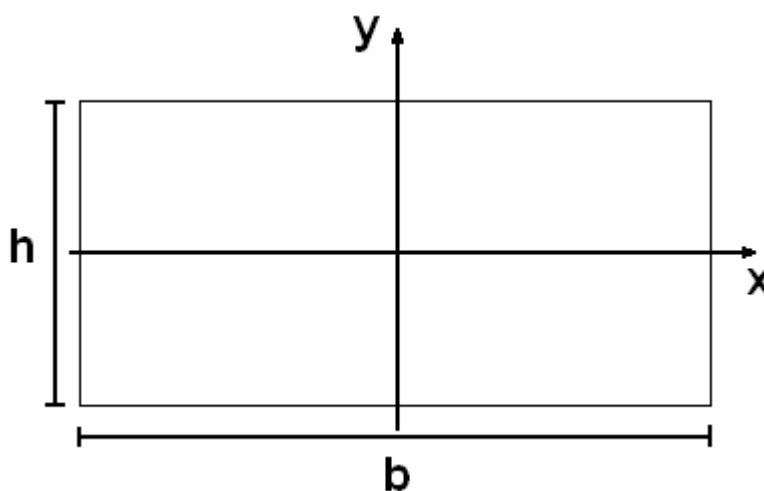


Figura 13.3.3: Seção transversal da viga.

Tabela 13.3.1: dimensões no calculo dos esforços

Dimensão	coef.	unid	Valor
Comprimento da viga	L	m	0,30
largura da viga	b	m	0,15
espessura da viga	h	m	0,07
Massa da cabeça	m	kg	5,00
acel gravidade	g	m/s ²	10,00

A força aplicada ao suporte pode ser calculada a partir da massa da cabeça de uma pessoa que é em média 5 kg, desta forma temos:

$$P = m.g = 5.10 = 50N \quad (1)$$

A força cortante V na face engastada da viga é igual a força aplicada P. O momento fletor sobre a face engastada foi calculado da seguinte forma:

$$M_x = P.L = 50.0,30 = 15N.m \quad (2)$$

As equações para as tensões normais e de cisalhamento podem ser escritas da seguinte forma:

$$\sigma_x = \frac{M_x \cdot y}{I} \quad (3) \qquad \tau = \frac{V \cdot Q}{I \cdot b} \quad (4)$$

Onde I é o momento de inércia dado pela equação:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (5)$$

Na equação de cisalhamento Q é dado pela formula:

$$Q = \frac{b}{2} \cdot \left(\frac{h^2}{4} - y_1^2 \right) \quad (6)$$

Para uma seção retangular a tensão de cisalhamento máxima pode ser obtida através da formula a seguir (combinação das formulas 4 e 6):

$$\tau_{\max} = \frac{3 \cdot V}{2 \cdot b \cdot h} \quad (7)$$

Substituindo os valores nas equações 3 e 7 encontramos as tensões sobre suporte.

$$\sigma_x = \frac{M_x \cdot y}{I} = \frac{15.0,035}{4,29 \times 10^{-6}} = 122.448 MN / m^2 = 0,122 MPa$$

$$\tau_{\max} = \frac{3.V}{2.b.h} = \frac{3.50}{2.0,15.0,07} = 7.142 \text{ MN} / \text{m}^2 = 7,42 \times 10^{-2} \text{ MPa}$$

Para simplificar o modelo e demonstrar a resistência do suporte foi considerado apenas o material de isopor. As tensões máximas para este material estão na tabela a seguir. Para a tensão de cisalhamento foi considerado o valor da tensão de tração dividido por dois, seguindo os princípios do círculo de Mohr para o teste de tração.

Tabela 13.3.2: Tensões máximas do material.

Poliestireno	unid	Valor
Tensão de tração max.	Mpa	35,00
Tensão de Compress max.	Mpa	77,00
Tensão de Cisalham max.	Mpa	17,50

Comparando com os valores obtidos nas fórmulas pode-se notar que os mesmos são da ordem de duas casas decimais maiores. Podemos afirmar com certeza que o suporte é muito seguro, pois os cálculos foram realizados apenas com o isopor e não considerando as fibras de vidro e a resina epóxi que justamente tem o objetivo de aumentar a resistência do suporte.

13.4. Componentes do suporte

A fim de atingir os objetivos estabelecidos do conforto e utilização do suporte foram incluídos acessórios ao suporte. Para melhorar o conforto no apoio da cabeça do paciente foi utilizada uma almofada de espuma revestida com tecido impermeável para possibilitar a limpeza da mesma. As dimensões desta almofada são: 250 x 150 x 30 mm. A figura 13.4.1 mostra a foto do suporte com a almofada azul sobre o mesmo. Para fixar almofada ao suporte foi utilizada uma tira de velcro colada à mesma e ao suporte figuras 13.4.2 e 13.4.3.



Figura 13.4.1: Almofada posicionada sobre o suporte.



Figura 13.4.2: Tira de velcro na parte inferior da almofada.



Figura 13.4.3: Tira de velcro na parte superior do suporte.

Para prender a cabeça do paciente e impedir movimentos excessivos que prejudiquem o exame foi construída uma tira de velcros com uma almofada que se fica sobre a testa do paciente figura 13.4.4. a tira de Velcro em torno da cabeça é composta por duas tiras colada umas à outras uma tira fêmea que possui um

comprimento de 1 m, largura de 50 mm e uma tira macho de comprimento de 400 mm colada do lado oposto a fêmea. Vale observar que a tira macho é a que possui cola para fixação. A tira com as almofadas é mostrada na figura 13.4.5. Na mesma figura está sendo mostrada a almofada utilizada para a fixação na testa do paciente. Sua dimensão é de 200 x 60 x 30 mm



Figura 13.4.4: Sistema de fixação para a cabeça do paciente.

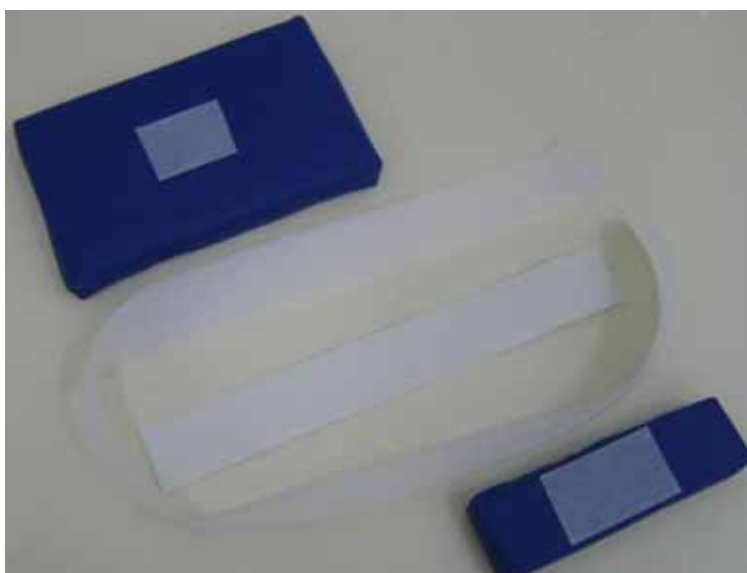


Figura 13.4.5: Sistema de fixação para a cabeça do paciente

A tira que pode-se observar em volta da cabeça do paciente é fixada ao suporte na parte inferior do mesmo através de duas tiras de velcro coladas ao suporte fig13.4.6.



Figura 13.4.6:Tiras de velcro coladas ao suporte.

13.5. Radiação emitida sobre o Suporte

Uma das questões levantadas na utilização do suporte e que deveria ser estudada era a possível deterioração do material do suporte, ocasionando na falha do mesmo, devido a emissão radioativa durante a execução do exame. Segundo discussão feita com a Professora Doutora Emico Okuno do departamento de física nuclear da USP, o contraste injetado sobre o paciente não provoca altas emissão de radiação. Ele age absorvendo radiação do corpo do paciente e com isso devido a diferentes níveis de absorção destas radiações são geradas as imagens computadorizadas.

Desta forma podemos concluir que não existe a possibilidade de danificar o suporte devido a presença da radiação. A única questão que resta ser estudada é a permeabilidade do suporte possibilitando uma melhor geração das imagens.

13.6. Custos de Fabricação

A seguir foi é apresentada uma tabela com os custos envolvidos na construção do suporte:

Tabela 13.6.1: Custos de fabricação do suporte

Suporte	Valor R\$
Bloco de Poliestireno	150,00
Massa selante	50,00
Manta de fibra de vidro	70,00
Resina epóxi	230,00
Pintura externa	40,00
Total	540,00
Almofadas	20,00
Velcros	21,00
Total Geral	581,00

13.7. Consideração sobre produção em escala

Durante o estudo da fabricação do suporte foram levantadas informações que possibilitassem uma possível produção em escala do suporte. O suporte foi fabricado através dos métodos descritos anteriormente devido a escala de produção, ou seja apenas uma peça.

Algumas idéias foram levantadas durante o projeto: Os blocos utilizados na moldagem de pranchas e do suporte são feitos a partir de um molde em alumínio onde despeja-se a mistura líquida de poliuretano ou poliestireno. Esse líquido vai se expandindo e acaba preenchendo totalmente o espaço dentro do molde. Após a secagem desta massa o bloco está pronto. Para uma produção em maior escala, uma solução seria construir um molde com a forma do suporte. O líquido a ser despejado no molde seria misturado a certos tipos de resinas catalisadoras que proporcionariam maior rigidez e resistência à massa. O suporte ficaria pronto a partir da retirada da massa do molde em alumínio.

O molde de alumínio custa em torno de R\$ 2.000,00 porém o suporte poderia passar a custar em torno de R\$ 100,00, que é o preço aproximado dos blocos vendidos no

mercado.

Outro ponto levantado foi com relação a curve de aprendizado da construção do suporte. Segundo o shaper Fernando da F-GLASS caso seja necessário a construção de outro suporte com um estudo de outros materiais e revisão das técnicas de construção eles poderiam reduzir o custo do suporte em torno de 30 %.

14. INSTALAÇÃO E UTILIZAÇÃO

Após a conclusão do suporte o mesmo foi levado até o Hospital para ser montado os acessórios e instalado sobre a mesa da millennium. Todos os componentes pertencentes ao suporte, como as tiras de velcro, almofadas e fixação da cabeça foram montados no local. Para fixar o suporte à mesa foram utilizadas duas tiras de velcro na parte inferior do suporte. Essas tiras se prendem à tiras coladas sobre a para fixar o suporte. A medida do raio obtido na construção do suporte foi muito satisfatório sendo possível o perfeito contato das tiras de velcro da mesa com o suporte. As figuras 14.1 e 14.2 mostram as tiras fixadas em ambos os componentes.



Figura 14.1: Tiras de velcro para fixação na mesa.



Figura 14.2: Tiras de velcro fixadas à mesa.

Depois de coladas as tiras ao suporte foi montado o sistema de fixação do paciente e então posicionado o suporte sobre a mesa para testar sua acomodação. As figuras seguir ilustram o suporte já pronto sobre a mesa da máquina.



Figura 14.3: Vista superior do suporte



Figura 14.4: ilustração da tira de fixação da cabeça



Figura 14.5: vista frontal do suporte

14.1. Segurança e Falha

Como já foi discutido anteriormente o suporte possui uma resistência muito superior àquela resultante dos esforços devido ao peso do paciente. Vale ressaltar que o material que compõem o suporte possui a característica de suportar esforço solicitantes, porém não é resistente a impactos provocados por quedas ou impactos. Caso ocorra um impacto considerado existe uma grande possibilidade de uma camada de resina com manta de fibra de vidro apresentar trincas e com isso comprometer a integridade estrutural do suporte. Além disso, não existe a possibilidade do rompimento repentino do mesmo. Seu material possui uma característica de apresentar trincas e as mesmas aumentarem gradativamente.

No caso de surgirem trincas no suporte a manutenção é relativamente simples. Basta aplicar uma camada de resina de poliéster ou epóxi sobre a falha.

14.2. Avaliação do suporte

Segundo os responsáveis do Hospital o suporte atendeu aos objetivos propostos. Com a utilização foi possível uma melhor aproximação dos detectores ao paciente o posicionamento da cabeça e conforto do paciente estão satisfatórios. Com isso foi possível a geração de imagens mais detalhadas melhorando o diagnóstico dos exames. O único ponto que não foi totalmente satisfatório é a imobilização da cabeça do paciente com a tira de velcro sobre sua testa. A fim de melhorar a imobilização algumas idéias estão sendo levantadas e testadas.

Tabela 14.2.1: avaliação do suporte

Critérios	Nota
Posicionamento do Suporte na mesa	5,00
Remoção do Suporte da mesa	5,00
Posicionamento e fixação do paciente	3,00
Conforto do Paciente	4,00
Geração das imagens	5,00
Aproximação dos detectores	5,00
Notal Final (10 = máximo)	9,00

14.3. Continuação do projeto do suporte

Com a conclusão do projeto, utilização do suporte e apresentação de todo o trabalho para a banca avaliadora foram levantados alguns pontos que poderiam dar continuidade ao projeto. Durante a avaliação e uso do suporte pela equipe do hospital foi levantado um possível ponto a ser estudado e melhorado que é a fixação do paciente no suporte e imobilização do mesmo. Durante o exame é necessário que a cabeça do paciente fique imóvel para possibilitar uma melhor resolução das imagens geradas pela máquina. O sistema de fixação criado para este protótipo pode ser melhorado. O protótipo construído possui uma geometria compatível para a millennium VG. Para o caso de alguma câmara diferente, ou mais precisamente, para uma mesa de apoio dos pacientes com diferentes geometrias possivelmente o suporte não encaixaria satisfatoriamente. Um possível projeto seria o levantamento dos tipos de mesas com diferentes geometrias que existem no mercado e produzir um suporte que se adapte em qualquer mesa. Por ultimo foi levantada a questão da produção em escala, já mencionada anteriormente, seria interessante o estudo e elaboração de um processo de produção em escala para um suporte que eventualmente pudesse ser usado para qualquer tipo de geometrias e mesas.

15. RESULTADOS E CONCLUSÃO

Uma das características muito importantes no desenvolvimento deste trabalho foi a forte presença da espiral de projeto. Inicialmente foi feita uma visita ao hospital para determinar os objetivos e necessidades no desenvolvimento do protótipo. A partir daí foram elaboradas hipóteses o modelo estático e a seleção dos materiais e modo de fabricação do suporte. Uma vez determinada esta primeira seleção e levantamento dos esforços sobre o suporte foi construído um modelo em madeira. Uma segunda visita ao hospital foi feita para testar as dimensões e sobre a mesa e obter aprovação dos responsáveis do hospital. Uma vez obtida a confirmação foi construído o protótipo porém com materiais e dimensões diferentes das originais, novamente devido a razões de custos e processos de fabricação. Para melhorar o conforto e acomodação e fixação do suporte e paciente foram providenciadas as almofadas e tiras de velcro. Com o protótipo pronto foi possível encontrar os esforços reais corrigindo a primeira aproximação feita pelo modelo estático. Com o suporte em mãos foi realizada a ultima visita ao hospital para a instalação e teste do suporte. Os resultados foram muito bons e atenderam as exigências do hospital. Outra questão importante é a possibilidade de mudar o processo de fabricação caso seja interessante uma produção em escala.

O desenvolvimento do protótipo foi muito satisfatório já que atendeu todas as necessidades de projeto com exceção de uma melhor imobilização da cabeça do paciente, característica que já está sendo trabalhada, algumas idéias estão sendo elaboradas e testadas no hospital. As imagens geradas com a utilização do suporte apresentaram melhor definição possibilitando melhoras nas análises e diagnósticos.

16. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Waterman, Norman A.; Ashby, M.F. “CRC-Elsevier Materials Selector”, CRC PRESS, INC. 2000 Corporate Blvd., N.W., Boca Raton, Florida, 33431, USA 1991. Vol 1,2,3.
2. Timoshenko/Gere, “Mecânica dos Sólidos v.1”, Livros técnicos e científicos editora S. A. Rio de Janeiro, Brasil
3. Hibbeler R.C., “Resistência dos Materiais”, Livros técnicos e científicos editora S. A. Rio de Janeiro, Brasil.
4. Kaminski, P. C., 2000, “Desenvolvendo Produtos com planejamento, Criatividade e Qualidade”, Livros técnicos e científicos editora S. A. Rio de Janeiro, Brasil
5. Ramos R., 2003, “anotações de aula: PME 2300 Mecanicas dos Sólidos I”, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil
6. Sites visitados:
7. www.inf.pucrs.br/~manssour/Projeto/vis.htm
8. www.corpohumano.hpg.ig.com.br/sist_osseo/coluna_vertebral/verteb.htm
9. www.revistasocesp.com.br/12/1/1196.asp
10. www.abptrade.com.br/madeiras.htm
11. www.safplast.com.br/tabela_de_propriedades2.htm
12. www.incomplast.com.br/polietil.htm
13. www.stampspumas.com.br/produtop.html
14. [www.hcnet.usp.br/inrad/departamento/ graduacao/aula/mnurgencias.ppt](http://www.hcnet.usp.br/inrad/departamento/graduacao/aula/mnurgencias.ppt)
15. pt.wikipedia.org/wiki/Medicina_nuclear
16. [www.gehealthcare.com/inen/ rad/nm_pet/products/millennium/vg.html](http://www.gehealthcare.com/inen/rad/nm_pet/products/millennium/vg.html)
17. <http://danny.oz.au/anthropology/notes/human-head-weight.html>

ANEXO

PROJETO DO SUPORTE

