



INSTITUTO POLITÉCNICO DE LISBOA
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA DA SAÚDE DE LISBOA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO - TOMOTERAPIA-

AUTORA: RITA MARGARIDA GAMEIRO MARTINS

ORIENTADORA: PROFESSORA DOUTORA MARGARIDA EIRAS

MESTRADO EM RADIAÇÕES APLICADAS ÀS TECNOLOGIAS DA SAÚDE
-TERAPIA COM RADIAÇÕES-

LISBOA, OUTUBRO 2013

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LISBOA
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA DA SAÚDE DE LISBOA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO
- TOMOTERAPIA-

AUTORA: RITA MARGARIDA GAMEIRO MARTINS

ORIENTADORA: PROFESSORA DOUTORA MARGARIDA EIRAS

PRESIDENTE: DOUTOR NUNO TEIXEIRA

ARGUENTE: DOUTORA CECÍLIA BORGES

MESTRADO EM RADIAÇÕES APLICADAS ÀS TECNOLOGIAS DA SAÚDE
-TERAPIA COM RADIAÇÕES-

LISBOA, OUTUBRO 2013

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, às minhas irmãs e ao João
Por, absolutamente, tudo...

AGRADECIMENTOS

A elaboração do presente relatório de estágio, representa uma caminhada recheada de exigentes desafios, que só conseguimos superar se verdadeiramente o desejarmos e se tivermos o apoio de todos aqueles que, por meras palavras e acções, acreditam em nós. Por todo o apoio prestado:

Agradeço à senhora Professora Doutora Margarida Eiras, pela disponibilidade, pelos conselhos e pelos conhecimentos transmitidos ao longo desta etapa;

Agradeço à Chefe do Serviço de Radioterapia do Centro Hospitalar Universitário de Vaud, Leomie Heym, pelo acolhimento, integração e experiência profissional transmitida;

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais, às minhas irmãs e ao João, por todo o apoio e compreensão ao longo destes quase dois anos;

Agradeço aos meus colegas de turma e amigos de curso por todos os momentos de partilha que vivenciámos e que, com saudade, recordarei;

Agradeço à Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa por todos os esforços desenvolvidos na minha formação, enquanto pessoa e técnica de saúde; e

Agradeço a todos aqueles que com quem privei e que, através da partilha de experiências, pessoais e profissionais, contribuíram para a realização deste relatório.

A todos Vós o meu muito obrigado.

RESUMO

O presente relatório de estágio, subordinado ao tema: «Tomoterapia», integra-se no âmbito da estrutura curricular do curso de Mestrado em Radiações Aplicadas às Tecnologias da Saúde, na especialidade de Terapia com Radiações, leccionado na Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa, entre Janeiro de 2011 e Outubro de 2012.

O estágio em Tomoterapia realizou-se no CHUV em Lausanne, na Suíça, durante o período de 1 de Julho a 30 de Setembro de 2012. O horário de estágio foi definido da seguinte forma: 7h30-17h15 às segundas, quartas e quintas-feiras e das 7h30-16h45 às terças e sextas-feiras, com 1h30 e 1h00 de almoço respectivamente.

Pretendi com este estágio tornar-me apta a trabalhar com a Tomoterapia, ou seja, pretendi dotar-me de competências teóricas e práticas de forma a poder fazer parte integral da equipa de trabalho.

Palavras-chave: Tomoterapia, estágio.

ABSTRACT

This report describes the internship entitled "Tomotherapy" is integrated in the Master course 'Applied Radiation to the Health Technologies', specializing in Radiation Therapy, taught at the School of Health Technology of Lisbon, between January 2011 and October 2013

The internship about Tomotherapy was held at Centre Hospitalier Universitaire de Vaud (CHUV) in Lausanne, Switzerland, from the 1st July to the 30th September of 2012. The schedule of the internship was the following: 7h30-17h15 on Monday, Wednesday and Thursday, and 7h30-16h45 on Tuesday and Friday, with 1h30 e 1h00 to lunch respectively.

I intended with this stage to become able to work with Tomotherapy, i.e., to develop theoretical and practical skills to be an integral part of the team.

Key-words: Tomotherapy, internship.

ÍNDICE GERAL

DEDICATÓRIA	III
AGRADECIMENTOS.....	IV
RESUMO	V
ABSTRACT	VI
ÍNDICE GERAL	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS.....	XIII
INTRODUÇÃO.....	1
0.1 Enquadramento e contextualização do estágio	1
0.2 Importância da investigação e justificação da sua escolha.....	1
0.3 Definição dos objetivos.....	2
0.4 Metodologia.....	2
0.5 Enunciado da estrutura do trabalho.....	3
CAPÍTULO 1 A TOMOTERAPIA.....	4
1.1 Enquadramento.....	4
1.2 Breve história da Tomoterapia.....	4
1.3 Tomoterapia	5
1.3.1 Definição.....	5
1.3.2 Constituição/Equipamento	8
1.3.3 Funcionamento	16
1.3.3.1 Planeamento	16
1.3.3.2 Controlo de Qualidade do Plano.....	17
1.3.3.3 Tratamento.....	18
1.4 Indicações clínicas da Tomoterapia.....	18
1.5 Vantagens e limitações da Tomoterapia.....	19
CAPÍTULO 2 ACTIVIDADES DESENVOLVIDAS	20

2.1 Enquadramento.....	20
2.2 Actividades desenvolvidas	20
2.2.1 <i>Workflow's</i> de tratamento.....	21
2.2.2 Fusão de imagens	36
2.2.3 Gestão dos doentes.....	39
CAPÍTULO 3 APRECIÇÃO GLOBAL DO ESTÁGIO.....	41
CAPÍTULO 4 SUGESTÕES.....	44
CONCLUSÃO.....	45
BIBLIOGRAFIA.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1: Tomoterapia do serviço de radioterapia do CHUV	5
Fig. 2: Consola de tratamento da Tomoterapia	9
Fig. 3: Power Control Panel	9
Fig. 4: Painel de Controlo do Posicionamento	11
Fig. 5: (A e B): Representação gráfica do <i>couch control keypad</i> , em que o 'x', 'y' e o 'z' representam o sentido do movimento segundo um referencial ortonormado	11
Fig. 6: Representação gráfica dos três eixos que definem o isocentro	11
Fig. 7: Tomoterapia, vista superior em relação à posição do laser verde	11
Fig. 8: Tomoterapia, vista superior e lateral em relação à posição do laser vermelho. 11	
Fig. 9: Representação gráfica dos principais componentes do RDS	11
Fig. 10: A fileira de detectores encontra-se representada pela letra D e o <i>beam stop</i> encontra-se representado pelas letras BS e tem as seguintes dimensões: 13x89x23 (cm ³). Estas dimensões têm em conta a superfície máxima de irradiação. As letras L e B correspondem respectivamente a Acelerador Linear e <i>Beam</i> (feixe de radiação) . 113	
Fig. 11: MLC da Tomoterapia.	11
Fig. 12: Tomoterapia sem cobertura e legenda dos respectivos componentes	11
Fig. 13: Fantoma <i>Octavius</i> [®] II da PTW	11
Fig. 14: Eu, Rita Martins, à entrada da unidade de Tomoterapia no serviço de radioterapia do CHUV	20
Fig. 15: Representação gráfica das diferentes etapas que constituem o processo de tratamento na Tomoterapia	22
Fig. 16: À esquerda suporte de tórax e à direita suporte de mama. A principal diferença entre eles é a possibilidade de introduzir uma inclinação no apoio das costas.	24
Fig. 17: À esquerda suporte de cabeça e pescoço e à direita um colchão de vácuo definido com apoio para os braços	24
Fig. 18: Representação gráfica do acesso ao <i>software</i> da Tomoterapia, no qual se introduz a identidade do utilizador e a <i>palavra-pass</i>	24
Fig. 19: Representação gráfica do <i>software</i> da Tomoterapia, a partir do qual se seleccionam os vários doentes.	25
Fig. 20: Representação gráfica do <i>software</i> da Tomoterapia em que se encontra seleccionada a área sobre a qual se pretende fazer a TC (a creme). Dentro dessa área é possível visualizar os gânglios (PTV2) a verde e o PTV (1) a preto.	26

Fig. 21: Painéis de controlo do posicionamento: A- dados sobre o tratamento do doente; B- dados relativos à posição da mesa de tratamento.	27
Fig. 22: Painéis de controlo do posicionamento: C e D- dados relativos à posição da mesa de tratamento.	27
Fig. 23: Representação gráfica do <i>software</i> da Tomoterapia durante a execução de uma TC.....	28
Fig. 24: Representação gráfica do <i>software</i> da Tomoterapia em que se pode visualizar as diferentes técnicas de fusão de imagem: <i>Bone Technique</i> , <i>Bone and Tissue Technique</i> e <i>a Full Image Technique</i>	29
Fig.25: Representação gráfica do <i>software</i> da Tomoterapia em que se pode visualizar as diferentes resoluções de imagem: <i>Standard Resolution</i> , <i>Fine Resolution</i> , <i>Super Fine Resolution</i>	33
Fig. 26: Representação gráfica do <i>software</i> da Tomoterapia em que se pode visualizar as possíveis translações de imagem	30
Fig. 27: Simulação gráfica do movimento simulado pelo <i>roll</i>	34
Fig. 28: Simulação gráfica do movimento simulado pelo <i>pitch</i>	34
Fig. 29: Simulação gráfica do movimento simulado pelo <i>yaw</i>	34
Fig. 30: Representação gráfica de duas fusões de imagem no plano transversal, para o mesmo doente. A cinzento encontra-se a imagem da TC de planeamento e a amarelo a imagem da TC da Tomoterapia. É possível verificar a sobreposição das diferentes estruturas e o alinhamento destas (mandíbula, a rosa; parótidas, a laranja e roxo; medula, a azul marinho; PTV1, a preto e o PTV2, a verde.	34
Fig. 31: Representação gráfica do <i>software</i> da Tomoterapia a partir da qual é possível executar deslocamentos translacionais ao nível vertical, longitudinal e lateral e deslocamentos rotacionais ao nível do Roll. Também é possível passar a imagem para o corte seguinte ou para o corte anterior.....	34
Fig. 32: Representação gráfica do <i>software</i> da Tomoterapia em que se pode visualizar as isodoses, sendo que a legenda das isodoses se encontra marcada a vermelho. Na imagem o PTV1 está definido a preto e os gânglios (PTV2) a verde. A prescrição ao PTV1 era de 33x2,12Gy=69,96Gy e ao PTV2 era de 29x1,6Gy=52,8Gy	34
Fig. 33: Representação gráfica do <i>software</i> da Tomoterapia durante a execução de um tratamento, na qual se podem visualizar diferentes parâmetros como: tempo de tratamento, deslocamento da mesa de tratamento em relação ao eixo dos YY e o débito de dose do respectivo tratamento	344
Fig. 34: Representação gráfica de uma folha de fim de tratamento	345

Fig. 35: Representação gráfica de uma fusão de imagens nos três planos: transversal, coronal e sagital respectivamente. A cinzento encontra-se a imagem da TC de planeamento e a amarelo a imagem da TC da Tomoterapia. A azul encontra-se o PTV; a amarelo e laranja encontram-se as glândulas parótidas; a rosa encontra-se a medula; a roxo estão as órbitas e num azul mais claro encontra-se o tronco cerebral 34

Fig. 36: Representação gráfica de uma fusão de imagens no plano sagital do mesmo doente da figura 35..... 37

Fig. 37: Representação gráfica de uma fusão de imagens nos três planos: transversal, coronal e sagital respectivamente. A cinzento encontra-se a imagem da TC de planeamento e a amarelo a imagem da TC da Tomoterapia. A azul-escuro e a vermelho encontram-se os PTVs; a laranja as parótidas, a verde encontra-se a medula, a roxo encontra-se o tronco cerebral..... 38

Fig. 38: Representação gráfica de uma fusão de imagens no plano sagital do mesmo doente da figura 37 38

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AL	Acelerador Linear
CHUV	Centre Hospitalier Universitaire de Vaud
cGy	Centigray
cm	Centimetro
DAS	<i>Data Acquisition System</i>
DRS	<i>Data Receiver Server</i>
FDA	<i>Food and Drugs Administration</i>
Gy	Gray
IGRT	<i>Image Guide Radiation Therapy</i>
IMAT	<i>Intensity Modulated Arc Therapy</i>
IMRT	<i>Intensity Modulated Radiation Therapy</i>
kV	KiloVtagem
MLC	<i>Multileaf Collimator</i>
MV	MegaVtagem
MVCT	<i>MegaVoltage Computerized Tomography</i>
OAR	<i>Organs at Risk</i>
OBC	<i>On Board Computer</i>
PTV	<i>Planning target Volume</i>
RDS	Subsistema de administração da radiação
SNC	Sistema Nervoso central
STC	<i>Stationary Computer</i>
TC	Tomografia Computorizada
TPS	<i>Treatment Planning System</i>
UM	Unidade Monitor
UPS	<i>Uninterruptable Power System</i>
3 D	Três dimensões

INTRODUÇÃO

0.1 Enquadramento e contextualização do estágio

O presente relatório de estágio, subordinado ao tema: «Tomoterapia», integra-se no âmbito da estrutura curricular do curso de Mestrado em *Radiações Aplicadas às Tecnologias da Saúde*, na especialidade de *Terapia com Radiações*, leccionado na Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa, entre Janeiro de 2011 e Outubro de 2012.

Nas últimas décadas, a área da medicina sofreu uma importante evolução ao nível tecnológico e informático que possibilitou o desenvolvimento de novas técnicas de tratamento. No campo da radioterapia, um dos feitos mais importantes foi o advento da *Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT)* e de aceleradores lineares capazes de a pôr em prática. E de facto já existe uma variedade de aparelhos de ponta que permitem levar a radioterapia ao nível mais preciso de sempre e neste ponto, importa compreender a aplicabilidade e rentabilidade de cada nova técnica/aparelho.

Pretendo por isso, com o presente tema, dar a conhecer a Tomoterapia não só ao nível teórico e descritivo mas também ao nível prático, nomeadamente, os diferentes parâmetros relativos ao tratamento e manipulação deste aparelho. Esta é pois uma forma de aplicar conhecimentos adquiridos durante o mestrado, tornando-me mais capaz e conhecedora relativamente a esta recente inovação, mesmo sabendo que a Tomoterapia não existe em Portugal. No entanto, eu vejo este estágio também como uma forma de incentivar e facilitar a introdução de aparelhos de ponta no país, uma vez que existem técnicos de saúde incentivados para tal.

0.2 Importância da investigação e justificação da sua escolha

A escolha do tema 'Tomoterapia' baseia-se no facto de a radioterapia ter sofrido uma importante evolução ao nível do conhecimento radiobiológico e da tecnologia, nas últimas décadas. Esta evolução possibilitou o desenvolvimento de novas técnicas de tratamento mais precisas e menos tóxicas para o doente.

É por isso importante perceber as potencialidades de cada técnica/aparelho para melhor usufruir delas e, do meu ponto de vista, a Tomoterapia é um exemplo muito bom desta evolução. Tem características únicas pois combina a IMRT dinâmica

guiada com aquisição de imagens de Tomografia Computorizada e ainda realiza o tratamento todo de uma só vez, pois não é necessário posicionar a gantry para as diferentes angulações dos campos de tratamento.

Dado que a IMRT é uma técnica muito precisa e à qual estão associados elevados gradientes de dose, tanto o posicionamento como a imobilização do doente são preponderantes para o sucesso do tratamento e relativamente a este ponto a Tomoterapia desempenha um papel de relevo pois permite não só a visualização do(s) *Planning Target Volume* (PTV) (s) e dos *organs at risk* (OAR) como ainda a realização de ajustes no posicionamento do doente.

A Tomoterapia é capaz de adaptar o tratamento ao movimento do tumor, às limitações dos OAR e de emitir um feixe de radiação com uma máxima precisão para o PTV e uma mínima irradiação para os tecidos saudáveis.

0.3 Definição dos objetivos

Aprofundar os conhecimentos teóricos e adquirir conhecimentos práticos sobre a Tomoterapia são os meus objectivos gerais para este estágio. Para os concretizar dividi-os em objectivos mais específicos que passam por:

- Conhecer/Compreender o mecanismo de funcionamento da Tomoterapia;
- Dominar as características da Tomoterapia e a sua aplicabilidade para as diferentes patologias;
- Conhecer/Compreender as limitações e vantagens da Tomoterapia;
- Desenvolver a capacidade de realizar fusões de imagem em 3D;
- Compreender e aplicar os *workflows* dos tratamentos com Tomoterapia;
- Desenvolver a capacidade de comunicação para com o doente e assim explicar as etapas necessárias à realização do tratamento;
- Aplicar medidas de radioprotecção.

0.4 Metodologia

O presente relatório de estágio foi desenvolvido em duas fases.

A primeira fase, de natureza exploratória, permitiu através de consulta de *sites*, de pesquisa bibliográfica, recolha de informação e de conversas informais, aprofundar

o tema ao nível teórico. Esta fase consistiu numa espécie de auto motivação, em que cada dia eu queria ler e saber mais sobre a Tomoterapia e as suas potencialidades. A segunda fase, decorreu durante um estágio de 13 semanas, com início no dia 1 de Julho de 2012 e término no dia 30 de Setembro de 2012, no *Centre Hospitalier Universitaire de Vaud* (CHUV) em Lausanne, na Suíça, e teve como objectivo a redacção do presente relatório de estágio. A recolha de informação durante o estágio permitiu obter conhecimentos mais aprofundados e com interesse sobre a temática em estudo. A análise, a interpretação e a comparação da informação recolhida contribuiu para alcançar os resultados expressos nas conclusões.

0.5 Enunciado da estrutura do trabalho

Com o intuito de enquadrar o tema do presente relatório de estágio, após uma breve introdução e posteriores conclusões, dividiu-se a estrutura do trabalho por dois capítulos principais.

O primeiro capítulo, intitulado de «A Tomoterapia», aborda as temáticas da história, constituição e funcionamento desta e ainda contempla outras informações relativas à sua aplicação clínica. Este capítulo tem por finalidade descrever a Tomoterapia como resultado do avanço tecnológico registado na área da radioterapia.

O segundo capítulo, intitulado de «Actividades desenvolvidas», aborda as tarefas desempenhadas ao longo do estágio e ainda uma apreciação deste, onde também estão englobadas algumas sugestões.

Por fim foram tecidas as conclusões, das quais se esperam que contribuam para a melhoria do conhecimento individual sobre a Tomoterapia e para a introdução desta máquina em Portugal.

CAPÍTULO 1

A TOMOTERAPIA

1.1 Enquadramento

Neste capítulo pretende-se, primeiramente, compreender a constituição e o mecanismo de funcionamento da Tomoterapia, para *a posteriori* analisar quais as potencialidades deste aparelho. Pretende-se também abordar a história da evolução da Tomoterapia e as suas aplicações clínicas.

1.2 Breve história da Tomoterapia

O conceito de Tomoterapia surgiu no final da década de 80 do século passado nos Estados Unidos da América por um grupo liderado por Thomas R. Mackie¹. A sua construção deveu-se à necessidade de criar um sistema de tratamento que estivesse acoplado a um sistema de obtenção de imagens. Desta forma maximizar-se-ia a precisão da direcção da radiação à posição exacta do tumor em cada fraccionamento, emitir-se-ia um feixe de radiação com uma máxima efectividade e com uma mínima irradiação dos tecidos saudáveis e adaptar-se-ia o tratamento ao longo das sessões às necessidades do tumor e às limitações impostas pelos OAR^{1,2}.

Contudo este conceito de Tomoterapia não foi muito bem aceite na altura por apresentar certas limitações. Só em 1997, depois de muitos desenvolvimentos tecnológicos e melhorias técnicas da Tomoterapia, é que foi fundada a *TomoTherapy Inc.* Inicialmente o objectivo desta empresa passou por conservar a equipa original de trabalho para que eles mesmos pudessem continuar com o desenvolvimento de um protótipo da Tomoterapia com vista a uma posterior comercialização. Deste modo impediram a venda deste conceito para outra empresa da área, nomeadamente a *Varian*¹.

O primeiro protótipo da Tomoterapia foi instalado na *University of Wisconsin* no início de 2001 e a 29 de Janeiro de 2002 a equipa de Mackie recebeu autorização da Food and Drug Administration (FDA) para comercializar o sistema de Tomoterapia helicoidal: Hi-ArtTM. A 21 de Agosto de 2002 foi tratado o primeiro doente com a Tomoterapia¹. A partir de então foram sendo instalados pelos 4 continentes: América, Ásia, Europa e Oceânia^{1,3}.

Ainda hoje a Tomoterapia está em constante desenvolvimento, sempre na procura de melhorar as suas potencialidades e o seu *software*. Talvez seja por isso que, Andy Beavis no seu artigo de revisão de 2004 pergunte: é a Tomoterapia o futuro da IMRT⁴?

1.3 Tomoterapia

1.3.1 Definição

Uma unidade de Tomoterapia (Fig. 1) define-se como sendo um sistema que entrega a dose de radiação de forma helicoidal (*fan beam*), através de um acelerador linear que gira em torno do doente, enquanto a mesa de tratamento se desloca longitudinalmente. Por este motivo também pode ser denominada de terapia em arco de intensidade modulada (IMAT).^{5,6,7}

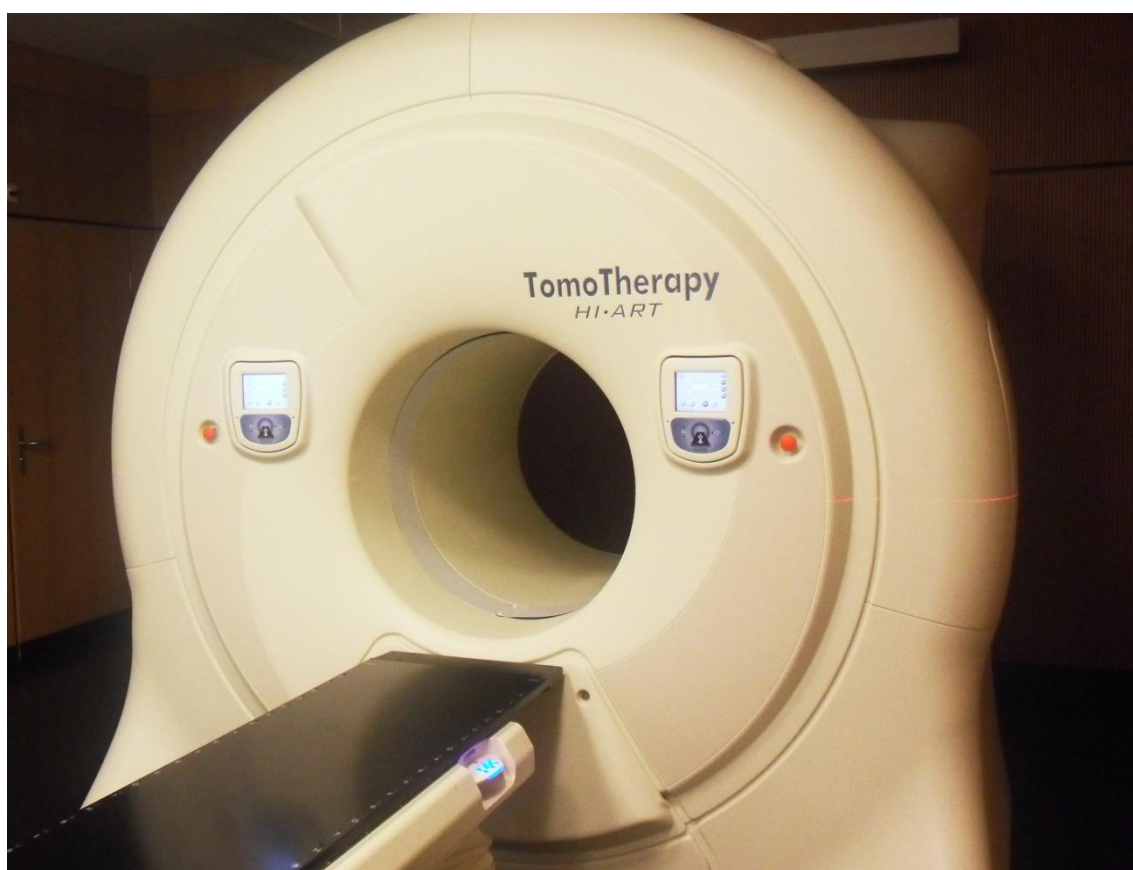


Fig. 1: Tomoterapia do serviço de radioterapia do CHUV.

É pois uma técnica da radioterapia em que se administra radiação de intensidade modulada através de um feixe que descreve um movimento de rotação em torno do doente, gerado por um acelerador linear (AL). Como este movimento se assemelha ao movimento de uma tomografia computadorizada (TC), também pode ser dominada de terapia em 'tomos'.¹

A Tomoterapia caracteriza-se por adaptar o tratamento de radioterapia ao movimento do tumor, às limitações impostas pelos OAR e por emitir um feixe de radiação com uma máxima precisão ao PTV e com uma mínima irradiação dos tecidos saudáveis. Isso é possível porque este aparelho combina a IMRT com a aquisição de imagens de Tomografia Computorizada. É assim um aparelho concebido para o tratamento de radioterapia com aquisição de imagens em que a fonte de radiação/TC giram simultaneamente em torno do doente. As imagens obtidas pela TC permitem verificar em tempo real o posicionamento do doente, localizar com exactidão o volume alvo e os OAR e ainda adaptar o tratamento às possíveis alterações morfológicas do tumor.^{8,9} Geralmente as imagens de TC são obtidas com baixas energias, KiloVolts, no entanto as imagens obtidas pela Tomoterapia são efetuadas com uma energia superior, MegaVolts, mais especificamente a uma energia fixa de 3.5MV.^{10,11,12,13} Ainda assim a Tomoterapia apresenta uma elevada qualidade de imagem devido não só à estrutura e disposição dos detectores mas também aos processos físicos utilizados para a reconstrução das mesmas.^{14,15, 16}

A Tomoterapia define-se assim como sendo o resultado final da junção da radioterapia dinâmica de intensidade modulada com a IGRT na forma de TC, pois são as imagens que se adquirem diariamente do doente que nos permitem fazer uma intervenção terapêutica adequada às alterações morfológicas do tumor e o doente.

Na verdade a Tomoterapia apresenta vários argumentos em seu favor, nomeadamente a possibilidade de adaptar o plano de tratamento após (ou durante) cada sessão, verificar o posicionamento do doente em três dimensões (3D) em tempo real, realizar dosimetria *in vivo* tridimensional, modular a intensidade da radiação através do movimento do AL e do colimador multifolhas (MLC) em torno do doente e por último caracteriza-se pela simplicidade do tratamento.

Possibilidade de adaptar o plano de tratamento depois de cada sessão de tratamento: Como se obtêm diariamente imagens de TC do doente existe um maior controlo da doença e da morfologia do próprio doente, ou seja, é possível detectar alterações no volume do PTV e é ainda possível verificar se as alterações na

morfologia do doente põem em causa os OAR. Também a possibilidade de realizar dosimetria *in vivo* tridimensional permite determinar a dose de radiação entregue ao doente em cada sessão de tratamento, pois o software de aquisição de imagens da Tomoterapia permite reconstruir as doses de radiação recebidas pelo doente através da informação recebida nos detectores depois do feixe de radiação atravessar o referido doente. Assim, no caso de haver alterações na fisionomia do doente ou, se por alguma razão os OAR foram irradiados mais do que o previsto, a dose que estes receberam pode ser calculada. Este processo torna-se também interessante quando se pretende determinar se uma recidiva local se deveu a uma sobre/subdosagem durante o tratamento.¹⁷

Possibilidade de verificar em tempo real o posicionamento tridimensional do doente: Devido à presença de 738 câmaras de ionização na fileira dos detectores, no sentido oposto ao do acelerador linear, é possível reconstruir imagens tridimensionais do doente e verificar se este se encontra na posição correcta. Este procedimento faz com que haja uma maior precisão no tratamento, poupando assim os órgãos críticos. Quanto à dose de radiação entregue devido à realização das TC's diárias esta encontra-se na ordem dos centigrays (entre os 0.5cGy e os 3cGy), que corresponde à dose necessária para a realização de imagens portais convencionais^{4,15,16}.

Modular a intensidade da radiação através do movimento do AL e do MLC em torno do doente: A questão reside no método de irradiação do doente. Na verdade, a rotação do AL em sincronização com o movimento da mesa de tratamento permite uma irradiação contínua em torno do doente. Assim, esta configuração aumenta a possibilidade de modular a intensidade da radiação em relação aos campos fixos utilizados na IMRT convencional¹⁸. Além disso, um *pitch* inferior a 1 faz com que haja um maior número de rotações da *gantry* e uma maior variedade de configurações do MLC, para a mesma posição da mesa de tratamento. Assim é possível obter uma boa modulação da radiação tendo em conta a forma/volume do PTV¹⁹.

Simplicidade do tratamento: Se a fase de planificação e de verificação dos planos é mais complexa do que para um tratamento convencional, a fase de tratamento é mais simples. De facto, a partir do momento em que o doente está posicionado e alinhado pelos lasers, o processo de tratamento desenrola-se de forma contínua: execução da TC, fusão das imagens obtidas com as imagens da TAC de planeamento,

determinação da posição exacta do doente e respectivo(s) PTV(s) e por fim tratamento, sendo que não é necessário posicionar cada campo/*gantry* antes do tratamento.

1.3.2 Constituição/Equipamento

Uma unidade de Tomoterapia é constituída por quatro componentes gerais: a estação de planeamento, o servidor de optimização, o servidor de dados e o subsistema de entrega de radiação (RDS).²⁰

Estação de planeamento

A estação de planeamento é utilizada para prescrever o tratamento e calcular um plano optimizado para esse mesmo tratamento, baseado em imagens de TC que contêm as diferentes estruturas delimitadas.^{21,22,23}

A estação de planeamento também inclui o *Delivery Quality Assurance and Planned Adaptive*. O primeiro consiste numa aplicação que permite verificar se a dose prevista por fracção corresponde na verdade à dose medida nessa mesma fracção e o segundo consiste numa aplicação que permite fazer alterações no plano de tratamento em tempo real.²⁴

Servidor de optimização

O servidor de optimização tem por função, e tal como o nome sugere, optimizar os planos de tratamento e calcular as dose dos respectivos planos. Este servidor consiste num *hardware* próprio que acelera os processos de optimização e cálculo de dose.^{22,25}

Servidor de dados

O servidor de dados encontra-se ligado aos outros quatro componentes gerais da Tomoterapia e tem por função armazenar toda a informação relativa aos planos de tratamento dos vários doentes.^{26,27}

Subsistema de entrega de radiação (RDS)

O RDS compreende todo o *hardware* (Fig. 9) e *software* necessários ao tratamento e aquisição de imagens do doente²⁰:

- **Estação Operacional:** Sala contígua à sala de tratamento onde se realiza a aquisição de imagens de TC (*Tomolmage*), a fusão destas com as da TC de planeamento, os procedimentos do tratamento depois de se posicionar o doente e ainda onde se realizam os testes de controlo de qualidade dos planos de tratamento e da própria Tomoterapia.
- **Consola de Tratamento:** é utilizada para iniciar e terminar qualquer um dos procedimentos acima descritos (Fig. 2);



Fig. 2: Consola de tratamento da Tomoterapia²³

- **Power Control Panel:** está colocado na parte lateral da Tomoterapia e é utilizado para a ligar e desligar (Fig.3).

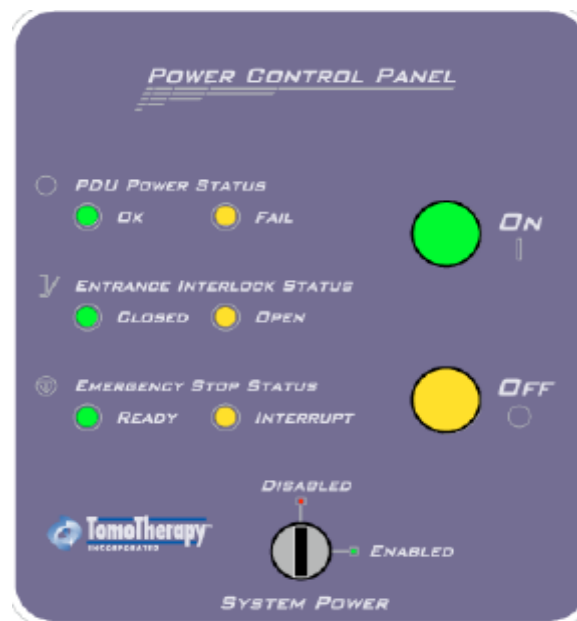


Fig. 3: Power Control Panel, através do qual se liga e desliga a Tomoterapia.²³

- **Painel de controlo do posicionamento:** são dois e estão colocados na parte frontal da Tomoterapia, um de cada lado da *gantry* e são usados

para mover a mesa de tratamento manual ou automaticamente, de acordo com a posição definida no plano do doente (Fig. 4).



Fig. 4: Painel de controlo de posicionamento.²³

- **Couch Control Keypad:** são dois e estão colocados de ambos os lados da mesa de tratamento. Permitem deslocá-la longitudinal, lateral e verticalmente (Fig. 5).

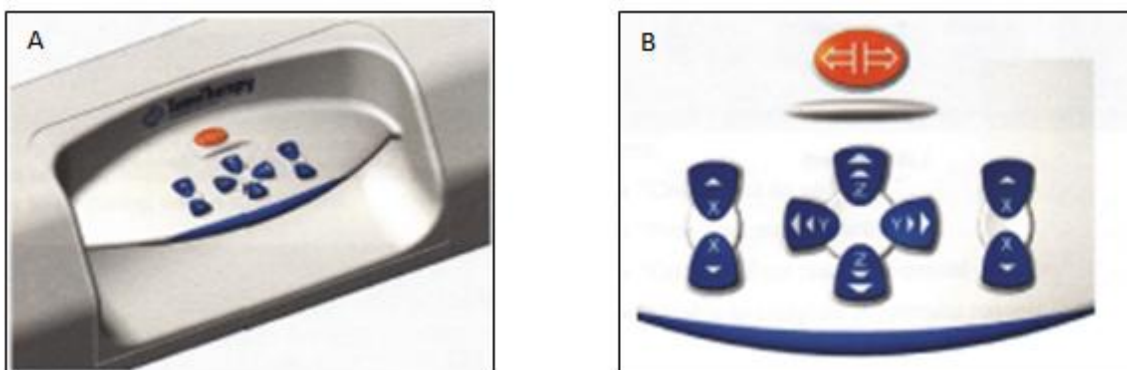


Fig. 5 (A e B): Representação gráfica do *couch control keypad*, em que o 'x'. 'y' e o 'z' representam o sentido do movimento segundo um referencial ortonormado.²³

- **Power Distribution Unit:** fornece energia eléctrica ao RDS.

- **Sistema de lasers:** O sistema de coordenadas da Tomoterapia é fixo no espaço e definido por três eixos de coordenadas a partir do isocentro: eixo lateral (X); eixo longitudinal (Y) e eixo vertical (Z), que definem os planos: sagital, transversal e coronal.

A Tomoterapia tem dois isocentros, o isocentro da Tomoterapia e o isocentro virtual. O isocentro da Tomoterapia é fixo no espaço e encontra-se a um ponto específico (coordenadas 0,0,0) no caminho do feixe de radiação, sendo que não se consegue visualizar a partir do exterior da máquina (Fig. 6).

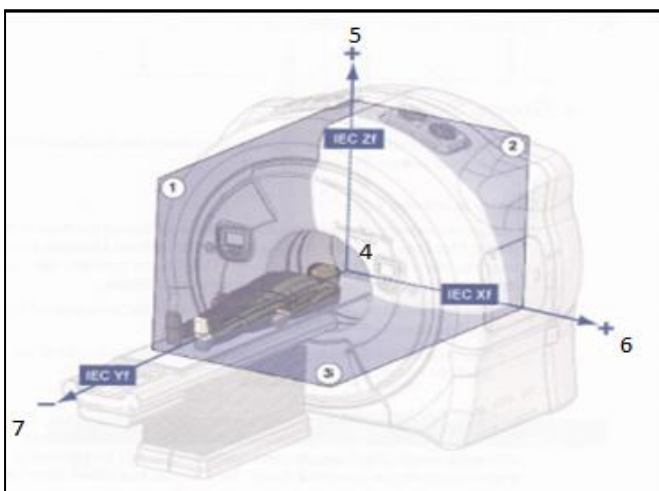


Fig. 6: Representação gráfica dos três eixos que definem o isocentro²⁰:

- 1- Plano sagital (eixos Y e Z);
- 2- Plano transversal (eixos X e Z);
- 3- Plano coronal (eixos Y e X)
- 4- Isocentro;
- 5- Eixo IEC Zf, vertical;
- 6- Eixo IEC Xf, lateral;
- 7- Eixo IEC Yf, longitudinal.

É por isso necessário definir um outro isocentro – isocentro virtual- que se encontra deslocado 700 mm no eixo dos YY. Este isocentro é definido por lasers verdes e é frequentemente utilizado pelos físicos para procedimentos de controlo de qualidade e investigação (Fig. 7).

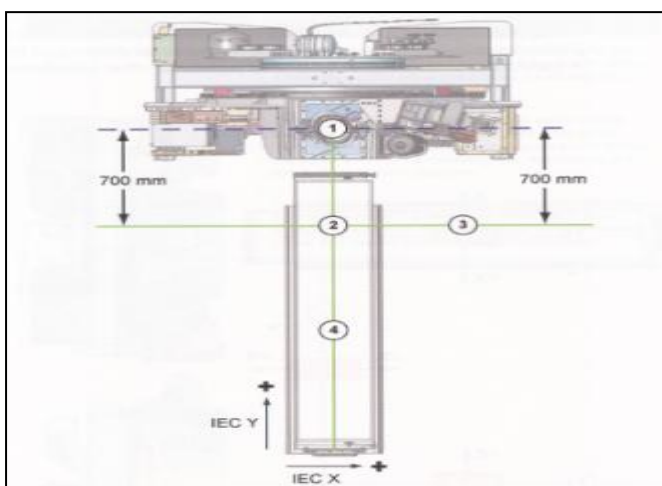


Fig. 7: Tomoterapia vista superior em relação à posição do laser verde:

- 1-Isocentro da Tomoterapia²⁰;
- 2-Isocentro Virtual;
- 3-Plano transversal que se situa a 700mm IECY do isocentro da máquina;
- 4-Plano sagital, centrado lateralmente em relação ao isocentro da máquina.

No que concerne ao posicionamento dos doentes é utilizado o laser vermelho. Este laser é móvel e a sua posição é determinada por parâmetros definidos no plano de tratamento, sendo que estes podem ser alterados após a realização das TC diárias (Fig. 8).

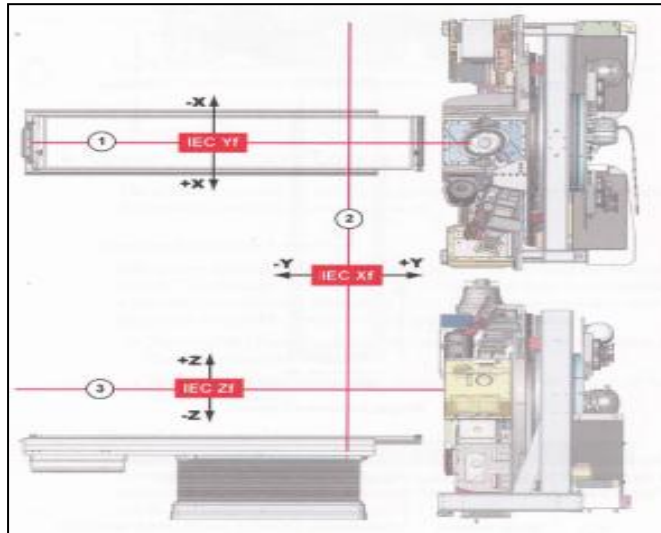


Fig. 8: Tomoterapia vista superior e lateral em relação à posição do laser vermelho²⁰.

- 1- Laser sagital: desloca-se no sentido lateral;
- 2- Laser transversal: desloca-se no sentido longitudinal;
- 3- Laser coronal: desloca-se no sentido vertical.

RDS Hardware

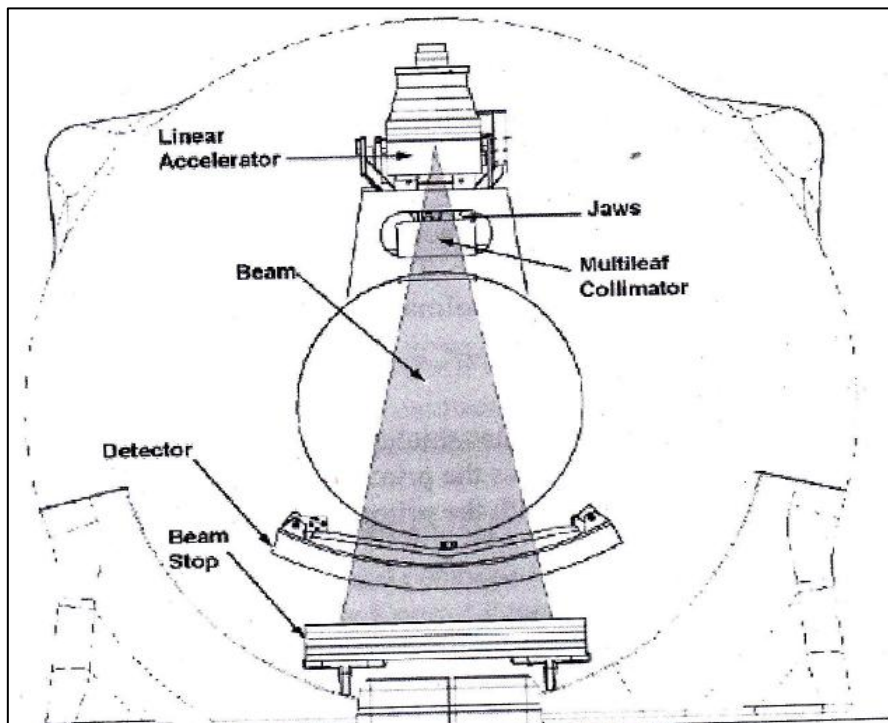


Fig. 9: Representação gráfica dos principais componentes do RDS.²⁰

Acelerador Linear: direcciona o feixe de electrões de alta energia para o alvo de tungsténio, contra o qual o feixe colide, originando fotões de alta energia: 6MV para o tratamento e 3.5MV para a aquisição de imagens (Fig.11).

Jaws: existe apenas um par de *jaws* que se abrem e fecham em relação ao eixo dos yy para deixar a radiação passar do AL para o MLC. Estas conferem uma forma inicial ao feixe de radiação antes de este ser modificado pelo MLC. Existem três aberturas possíveis para as *jaws*: 1cm, 2,5cm e 5cm (por 40cm) ao isocentro (Fig. 10). No entanto longitudinalmente consegue tratar volumes até um máximo de 135cm, dependendo da posição inicial da mesa de tratamento.^{15,16}

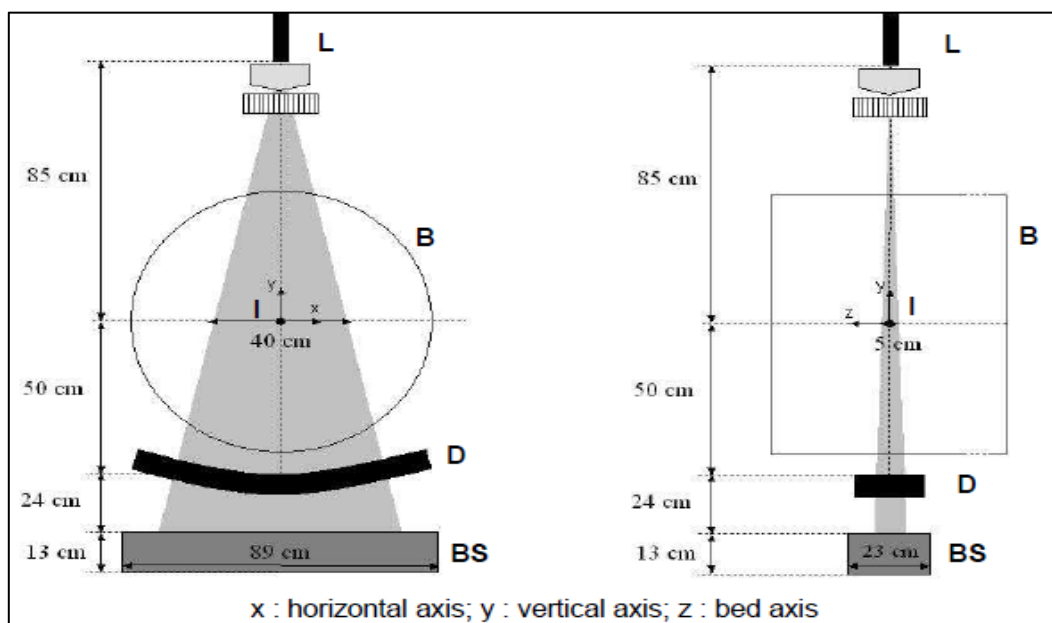


Fig. 10: A fileira de detectores encontra-se representada pela letra D e o *beam stop* encontra-se representado pelas letras BS e tem as seguintes dimensões: 13x89x23 (cm³). Estas dimensões têm em conta a superfície máxima de irradiação. As letras L e B correspondem respectivamente a Acelerador Linear e *Beam* (feixe de radiação).²⁹;

Multileaf Collimator: é composto por 64 lâminas, sendo que cada lâmina tem uma largura de 6,25mm projectada ao isocentro e uma espessura de 10cm na direcção do feixe de radiação. O posicionamento das lâminas é baseado num sistema binário, ou seja, as lâminas ou estão abertas ou estão fechadas. A abertura máxima das lâminas do MLC é de 40cm ao isocentro no eixo dos xx, isto é, se todas as lâminas estiverem abertas, o tamanho do campo nesse eixo é de 40cm, no entanto, se apenas uma lâmina está aberta, o tamanho do campo nesse mesmo eixo é de apenas

6.25mm (Fig. 11). As lâminas possuem uma espécie de encaixe entre elas (*tongue and groove*) de forma a minimizar a radiação transmitida entre as mesmas. A duração do movimento das referidas lâminas é inferior a 20ms e é conseguido por meio de pistões hidráulicos.^{15,16}



Fig. 11: MLC da Tomoterapia³⁰

Gantry: serve de suporte aos componentes do *software* e *hardware* da Tomoterapia e engloba todos os mecanismos de rotação do AL em torno dos doentes. Uma rotação completa divide-se em 51 projecções, sendo que cada projecção cobre um segmento de aproximadamente 7° (Fig. 12). A distância da fonte (AL) ao eixo de rotação da *gantry* é de 85 cm.⁵

Detectores: Medem quantidade de radiação que passa através do doente e da mesa de tratamento, para criar as Tomolmage, que são imagens tridimensionais do doente, obtidas antes do tratamento. São detectores do tipo TC '*arc shaped*', compostos por 738 câmaras de ionização preenchidas com xénon, que se encontram no sentido oposto do AL (Fig. 10).^{15,16}

Beam stop- Consiste num 'bloco' de chumbo colocado no sentido oposto do acelerador linear que tem por função blindar o feixe de radiação primário. Situa-se imediatamente abaixo da fileira de detectores²⁰.



Fig. 12: Tomoterapia sem cobertura e legenda dos respectivos componentes:

1- High Voltage Power Supply	2- Control Computer	3- Gun Board
4- Acelerador Linear	5- MLC	6- Mesa de tratamento
7- Couch control Keypad	8- Pulse Forming network and modulator	9- Beam Stop
10- DAS	11- Fileira de detectores	12- Gantry

- **Gun Board-** Gera electrões que, ao serem acelerados, colidem com um alvo de tungsténio, dando origem a fotões;
- **Magnetron-** Produz microondas que vão acelerar os electrões;
- **Acelerador Linear-** Emite feixes de fotões na ordem dos 6 MV.
- **Circulator-** Localizado entre o AL e o *magnetron*. Tem como função evitar que as microondas emitidas pelo *magnetron* retornem para ele.
- **Pulse forming network and modulator-** O primeiro tem por função armazenar energia de alta voltagem para garantir o funcionamento do *magnetron* e o segundo caracteriza-se por controlar a distribuição dessa mesma energia por todos os componentes da Tomoterapia;

- **High Voltage Power Supply**- Dispositivo electrónico que transforma a energia eléctrica na forma de corrente alternada em corrente eléctrica contínua. Este dispositivo é pois responsável por fornecer energia a toda a Tomoterapia.

RDS software

Communications System: este sistema liga todos os outros componentes do *software* do RDS.

Data Acquisition System (DAS): sistema responsável pela aquisição de dados para a reconstrução das Tomolimages.

Data Receiver Server (DRS): Converte os dados obtidos a partir dos detectores e envia-os para a estação operacional e para o servidor de dados. Trabalha em conjunto com os dois próximos *software's*.

On Board Computer (OBC): controla e monitoriza o DAS, a posição das lâminas do MLC, os *output's* do AL, a posição das *jaws*, a rotação da *gantry* e *timing system*.

Stationary Computer (STC): monitoriza e posiciona a *gantry*, a mesa de tratamento e os lasers. Trabalha em conjunto com a consola de tratamento, com o painel de controlo do posicionamento, monitoriza a temperatura da Tomoterapia e interage com o *interlock system*.²⁰

1.3.3 Funcionamento

1.3.3.1 Planeamento

O planeamento dos tratamentos é realizado na estação de planeamento. Esta proporciona a realização de planos sofisticados de IMRT, para casos simples ou complexos, através do planeamento inverso, com recurso ao *software* TomoTherapy Planning Station®, próprio da Hi-Art II™ (versão 2.2.1.55). Aqui, prescreve-se a dose do tratamento e o fraccionamento associado e ainda se optimiza o respectivo plano de tratamento com base na TC de diagnóstico. Obtém-se nesta estação distribuições de dose em 3D e histogramas de dose-volume (HDV), que permitem verificar os principais objectivos do plano, nomeadamente a cobertura do PTV e o envolvimento dos OAR. É nesta fase que se define as dimensões do campo de tratamento (abertura das *jaws*), o *pitch*^{*}, o factor de modulação e o sinograma^{**}. Estes factores vão condicionar o tempo de cálculo para a optimização do plano, ou seja quanto mais

pequeno for o pitch e maior for o factor de modulação, mais tempo será necessário para calcular o plano de tratamento. A otimização do plano é feita pelo servidor de otimização, que tem a capacidade de calcular dezenas de milhares de *beamlets* para o mesmo plano, através do algoritmo de cálculo convolution/superposition. A otimização pode ser dividida em duas fases: *precalculation* e *optimization stage*.⁴

1.3.3.2 Controlo de Qualidade do Plano

Com o desenvolvimento de novas técnicas de IMRT que permitem elaborar planos de tratamento mais complexos, poupando contudo os OAR, surgiu também a necessidade de desenvolver métodos capazes de verificar a reprodutibilidade destes, garantindo que tudo o que foi planeado é reproduzível sem erros, nomeadamente ao nível da dose.

Quando se trata de realizar testes de controlo de qualidade dos planos em Tomoterapia importa salientar o facto de esta ser uma técnica de IMAT que emite radiação contínua de forma helicoidal. Por isso é utilizado o Fantoma *Octavius*[®]II que mede a dose de forma independente do ângulo de irradiação. É um fantoma sólido de forma octogonal. É constituído por uma matriz de 27x27cm² que contem 729 câmaras de ionização cúbicas organizadas uniformemente. São a forma cúbica das câmaras de ionização e a existência de uma cavidade de ar semicircular no Fantoma *Octavius* (Fig.13), que fazem com que a resposta do detector seja independente do ângulo de incidência da radiação.³¹

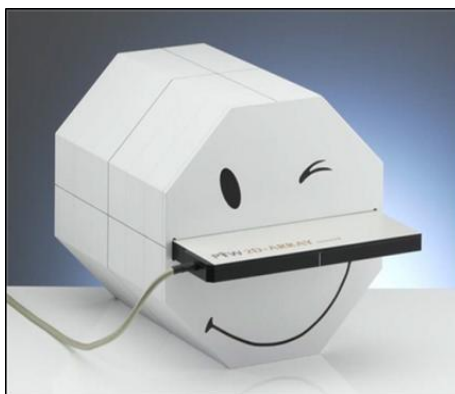


Fig. 13: Fantoma *Octavius*[®] II da PTW.³²

¹**Pitch:** é um factor de relação entre a distância total percorrida pela mesa de tratamento em relação ao tamanho do campo de tratamento/ espessura do corte para a aquisição de imagens durante uma rotação completa da *gantry*. *Pitch* =1 indica que a mesa se desloca uma distância igual à espessura de um corte por rotação da *gantry*. *Pitch*=0,5 indica que a mesa se move metade da que a espessura de um corte, por rotação da *gantry*. Um *pitch* inferior a 1 faz com que haja um maior número de rotações da *gantry* e uma maior variedade de configurações do MLC, para a mesma posição da mesa de tratamento.

²**Sinograma:** consiste na representação gráfica da intensidade dos campos esperada no detector, para cada ângulo da *gantry* e posição da mesa de tratamento. O próprio *software* de planeamento cria o sinograma de cada plano e depois cabe aos físicos comparar esse sinograma com os dados obtidos no controlo de qualidade do plano (reconstrução da dose).

1.3.3.3 Tratamento

A fase de tratamento é constituída por várias etapas, sendo que apenas deve ser realizada após a aprovação do teste de controlo de qualidade do plano de tratamento.

Tendo em conta que o doente é tratado na Tomoterapia, não faz qualquer sentido iniciar o tratamento sem antes adquirir imagens do posicionamento do doente, se bem que o *software* da Tomoterapia permite fazer este procedimento. Por isso, e logo depois de posicionar o doente correctamente, adquirem-se imagens deste – *Tomolmage*. É com base nestas imagens que se atinge a máxima precisão na localização do tumor e das estruturas saudáveis adjacentes. É da responsabilidade do técnico de radioterapia realizar a fusão destas com as imagens da TC de planeamento e assim assegurar que o volume a irradiar está de acordo com o planeado, sendo que por vezes é necessário fazer alguns deslocamentos na mesa de tratamento para que o doente atinja de facto a posição correcta. É assim através da associação das técnicas de IMRT e IGRT que se atinge uma elevada precisão no tratamento, poupando os OAR e tratando exactamente o volume alvo. Deste modo consegue-se também fazer uma intervenção terapêutica adequada.

Analizadas as imagens adquiridas e feita a fusão destas com os respectivos ajustes do posicionamento, procede-se ao tratamento do doente. O processo de tratamento é muito simples, sendo que é a própria máquina que o realiza de forma autónoma, ou seja, não é necessário posicionar a *gantry* para os vários campos do tratamento nem rodar a mesa para fazer campos não co-planares. Neste tipo de tratamento não há risco de colisão entre a *gantry* e a mesa de tratamento.

1.4 Indicações clínicas da Tomoterapia

Nos últimos anos, a eficácia dos tratamentos aumentou devido à introdução de novas técnicas de radioterapia, nomeadamente a IMRT. Esta técnica permite dar elevadas doses de radiação ao volume alvo (côncavo ou convexo) através de distribuições de doses tridimensionais conformadas a esse mesmo volume. Estes gradientes de dose atribuídos à IMRT em muito contribuem para poupar os OAR.^{33,34,35}

É por isso importante perceber as potencialidades de cada técnica/aparelho para melhor usufruir delas.

As principais indicações clínicas da Tomoterapia, evidenciadas nos vários estudos clínicos que li apontam para a sua aplicação em tumores sólidos (cabeça e pescoço, pulmão, próstata, sistema nervoso central (SNC) e mama) de difícil abordagem devido à sua localização anatómica e forma irregular e em recidivas tumorais que atingiram a dose máxima de radiação em áreas previamente irradiadas.

Por exemplo, em tratamentos de tumores de cabeça e pescoço com a Tomoterapia, verifica-se que esta melhora os índices de homogeneidade da dose, de cobertura do PTV e melhora também significativamente a poupança dos OAR quando comparada com a IMRT step-and-shoot.^{36,37,38,39,40}

1.5 Vantagens e Limitações da Tomoterapia

A Tomoterapia é uma máquina com características particulares que permite a aquisição de imagens de TC de elevada qualidade e sem artefactos, devido ao seu processo de reconstrução. Estas imagens são usadas no posicionamento do doente mas também podem ser usadas para efectuar uma reconstrução da dose que ele recebeu por sessão de tratamento. Sobre as referidas imagens é ainda possível visualizar as isodoses do plano de tratamento, o que faz com que este tratamento seja bastante preciso, pois desta forma é possível verificar a cobertura do PTV e o comprometimento dos OAR.

No entanto em Tomoterapia não se fazem tratamentos com electrões, pois esta possui uma energia única de tratamento de 6MV.

Na minha opinião, outra desvantagem do uso da Tomoterapia é o tempo total de tratamento, que é superior ao tempo de tratamento num acelerador linear.

CAPÍTULO 2

ACTIVIDADES DESENVOLVIDAS

2.1 Enquadramento

Neste capítulo pretende-se, primeiramente, descrever as actividades desenvolvidas durante o período de estágio, para *a posteriori* analisar de forma crítica e reflexiva estes três meses de contínua aprendizagem (Fig. 14).

2.2 Actividades desenvolvidas



Fig. 14: Eu, Rita Martins, à entrada da unidade de Tomoterapia no serviço de radioterapia do CHUV.

Durante o estágio de mestrado na Tomoterapia tive a oportunidade de executar diferentes tarefas que me permitiram cimentar conhecimentos teóricos sobre esta máquina e adquirir competências práticas para executar os diferentes tratamentos. Esta experiência constituiu-se de um processo gradual no qual fui ganhando prática e autonomia de dia para dia.

Local de realização do estágio: Serviço de Radioterapia do CHUV em Lausanne na Suíça.

Objectivo geral do estágio: Aprofundar os conhecimentos teóricos e adquirir conhecimentos práticos sobre a Tomoterapia.

Descrição do Estágio: O estágio em Tomoterapia realizou-se no CHUV em Lausanne, na Suíça, durante o período de 1 de Julho a 30 de Setembro de 2012. O horário de estágio foi definido da seguinte forma: 7h30-17h15 às segundas, quartas e quintas-feiras e das 7h30-16h45 às terças e sextas-feiras, com 1h30 e 1h00 de almoço respectivamente. Pretendi com este estágio tornar-me apta a trabalhar com a Tomoterapia, ou seja, pretendi dotar-me de competências teóricas e práticas de forma a poder fazer parte integral da equipa de trabalho.

Não tive acesso à parte da planificação dos tratamentos com Tomoterapia dado que o serviço não me pôde dispensar o *software* desta, devido ao enorme volume de trabalho.

As actividades realizadas durante o estágio foram divididas em duas fases: a primeira consistiu numa adaptação ao mecanismo de funcionamento do serviço e a segunda consistiu na execução autónoma e independente das várias tarefas em Tomoterapia.

2.2.1 Workflow's de tratamento

Na área da medicina, todas as medidas adoptadas para o tratamento do doente são importantes mas em radioterapia, estas assumem uma importância ainda mais elevada, uma vez que, feito o tratamento e entregue a dose de radiação respectiva, já não é possível eliminar essa mesma dose nem as acções que ela pode desencadear nas diferentes células e tecidos do corpo humano.

Assim, todo o *workflow* de um tratamento, que mais não é do que um processo constituído por diferentes etapas, deve ser executado com o máximo rigor, afim de se atingir o sucesso do tratamento e minimizar eventuais erros. Ou seja, é vital confirmar todas as etapas do procedimento pois isso ajuda a tornarmo-nos excelentes profissionais de saúde, capazes de justificar as suas acções e executar as suas funções com a máxima exactidão e precisão.

Descreverei de seguida o *workflow* de tratamento envolvido num tratamento de Tomoterapia.

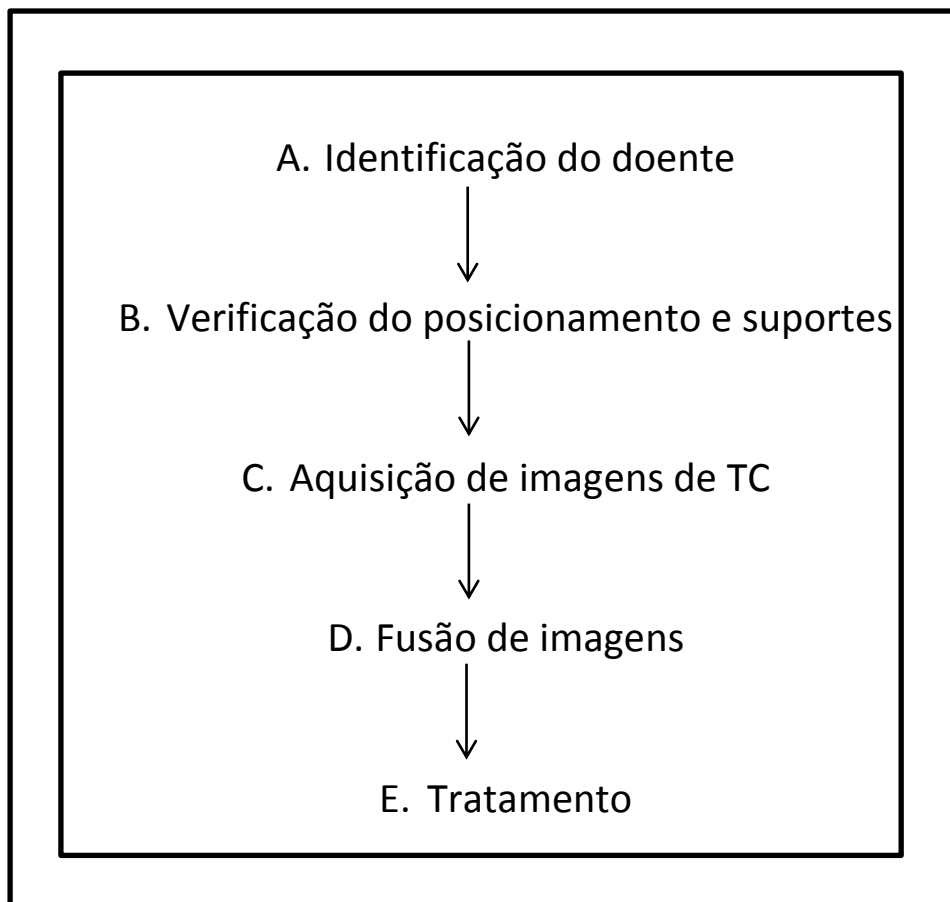


Fig. 15: Representação gráfica das diferentes etapas que constituem o processo de tratamento na Tomoterapia

A. IDENTIFICAÇÃO DO DOENTE

Afim de garantir que o tratamento é realizado ao doente correcto, é indispensável confirmar a identidade do mesmo.

Enquanto estagiei na Tomoterapia, este procedimento consistia principalmente em confirmar o nome e a data de nascimento do doente.

A equipa de trabalho também tem acesso a uma fotografia tirada aquando da realização da TC de planeamento. No entanto, esta fotografia nem sempre é fiável porque alguns doentes são sujeitos a outros tratamentos como quimioterapia e por isso mudam de aspecto. Passo a explicar, muitos doentes perdem o cabelo e perdem ou ganham demasiado peso e estes factores alteram consideravelmente a sua apresentação, não se encontrando por isso parecidos com o retrato fotográfico.

B. VERIFICAÇÃO DO POSICIONAMENTO E SUPORTES

Com o intuito de garantir a reprodutibilidade dos vários tratamentos, é necessário posicionar o doente sempre da mesma maneira, apoiado em suportes específicos. Hoje em dia existe uma variedade de suportes, uns personalizáveis, outros ajustáveis ao corpo/forma do doente, dependendo da patologia a tratar. A escolha destes suportes tem de ser feita aquando da realização da TC de planeamento pois é sobre as imagens desta que se planifica e define o respectivo tratamento.

No serviço onde estagiei, o posicionamento era registado na forma de fotografia e em suporte de papel, nomeadamente na ficha de posicionamento do doente. Deste modo era possível confirmar o posicionamento do doente e os respectivos suportes, eliminando assim possíveis dúvidas. Isto porque naquele departamento de radioterapia podem utilizar-se colchões de vácuo (figura 20) para posicionar doentes de pulmão, facto que pode gerar erros na medida em que maioritariamente é utilizado o suporte de tórax para esta patologia. Também na Tomoterapia é possível tratar cancro da mama com o suporte de tórax em vez do suporte de mama (Fig. 19), e embora um erro na escolha destes últimos seja facilmente detectado no momento da fusão de imagens, no primeiro caso isso não se verifica, originando por isso problemas ao nível da dose absorvida. Isto porque cada suporte tem um coeficiente de atenuação que é tido em conta no momento do planeamento e, se por algum motivo estes suportes são trocados no momento do tratamento, os valores de dose absorvida são alterados. Este facto é muito importante pois os colchões de vácuo são maioritariamente utilizados em hipofraccionamentos, em que a dose prescrita por fracção pode atingir os 12 Gy.



Fig. 16: À esquerda suporte de tórax e à direita suporte de mama. A principal diferença entre eles é a possibilidade de introduzir uma inclinação no apoio das costas.



Fig. 17: À esquerda suporte de cabeça e pescoço e à direita um colchão de vácuo definido com apoio para os braços.

Estas duas primeiras *etapas* do *workflow* assumem uma maior importância no primeiro dia de tratamento, pois ainda não se conhece o doente. No entanto, de cada vez que a equipa de trabalho sofre alguma alteração, o novo elemento deve sempre voltar a confirmar tanto a identidade do doente como os suportes para o seu posicionamento.

Terminada a execução destes dois procedimentos, segue-se a manipulação do *software* da Tomoterapia. Todos os profissionais que trabalham com este aparelho, desde técnicos a físicos e engenheiros, têm uma palavra-pass de acesso ao seu *software* (Fig. 18)



Fig. 18: Representação gráfica do acesso ao *software* da Tomoterapia, no qual se introduz a identidade do utilizador e a palavra-pass.

C. Aquisição de imagens de TC

A partir da opção *Select Patient* (marcada a vermelho na figura 19) selecciona-se o doente a tratar. Nesta opção é possível aceder ao plano de tratamento do doente; a todas as TC já efectuadas na Tomoterapia, ao teste de controlo de qualidade do plano de tratamento, a todas as imagens da TC de planeamento e ainda a todas as estruturas definidas ou como alvo ou como órgãos de risco delimitados para o planeamento.

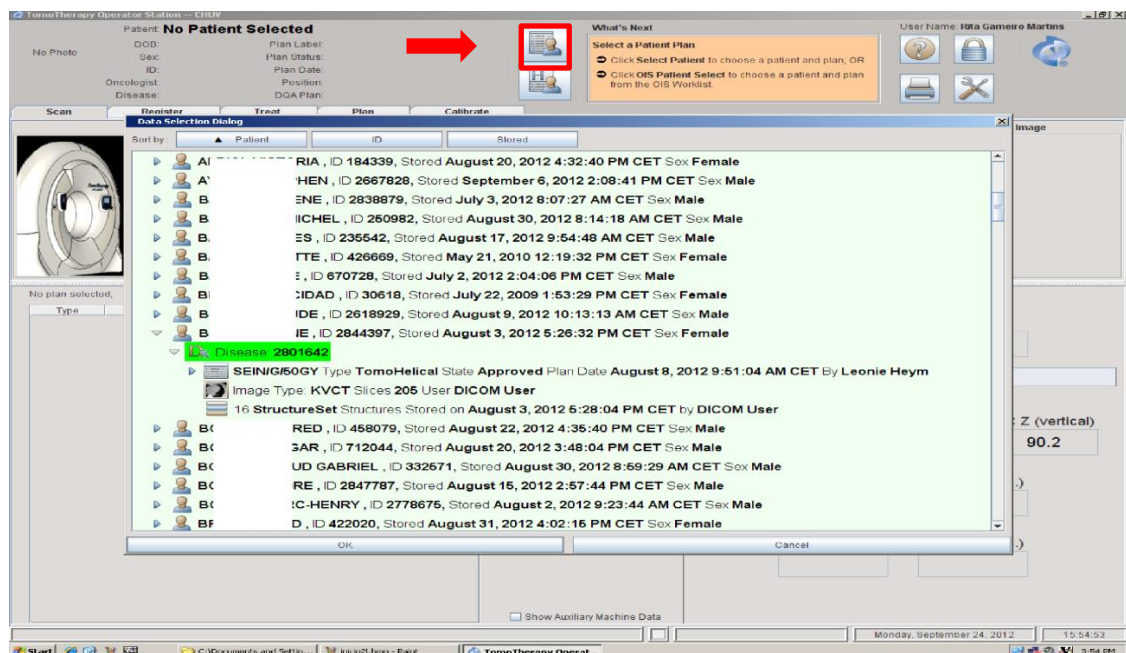


Fig. 19: Representação gráfica do *software* da Tomoterapia, a partir do qual se seleccionam os vários doentes.

Após seleccionar o plano de tratamento do respectivo doente (Fig. 19: seinG50Gy), segue-se a selecção do volume sobre o qual se pretende fazer a TC. Isto é, tendo o topograma da TC de planeamento, é necessário verificar a localização do (s) alvo (s) e posteriormente definir a área sobre a qual se pretende obter a TC de forma a englobar todo o PTV (Fig. 20). No entanto se este for muito pequeno, torna-se necessário seleccionar uma região maior para se obter mais pontos de referência para a fusão.



Fig. 20: Representação gráfica do *software* da Tomoterapia em que se encontra seleccionada a área sobre a qual se pretende fazer a TC (a creme). Dentro dessa área é possível visualizar a região ganglionar (PTV2) a verde e o PTV (1) a preto.

Nesta etapa importa ter em conta o tempo da TC, pois não interessa que esta seja mais longa do que o necessário. Por isso a espessura dos cortes da TC é definida em modo *coarse* (preferencialmente), pois este já apresenta uma elevada qualidade de imagem. Existem três possibilidades de aquisição de imagens, definidas por diferentes *itches*: *fine*, *normal* e *coarse* que correspondem respectivamente a um deslocamento de mesa de 4, 8 e 12 milímetros, resultando numa reconstrução de imagens com distâncias de 2,4 e 6 entre os cortes de TC⁴⁴.

Definida a espessura do corte e a área sobre a qual se vai fazer a TC, enviam-se os dados do computador para a máquina de tratamento (Fig. 21A), sendo que depois apenas é preciso fazer um *setup* da informação no painel de controlo do posicionamento (Fig. 21B).

De seguida prepara-se a mesa de tratamento com os suportes de imobilização respectivos e coloca-se o doente na posição de tratamento. O alinhamento do doente é feito em relação ao laser vermelho como referi anteriormente.

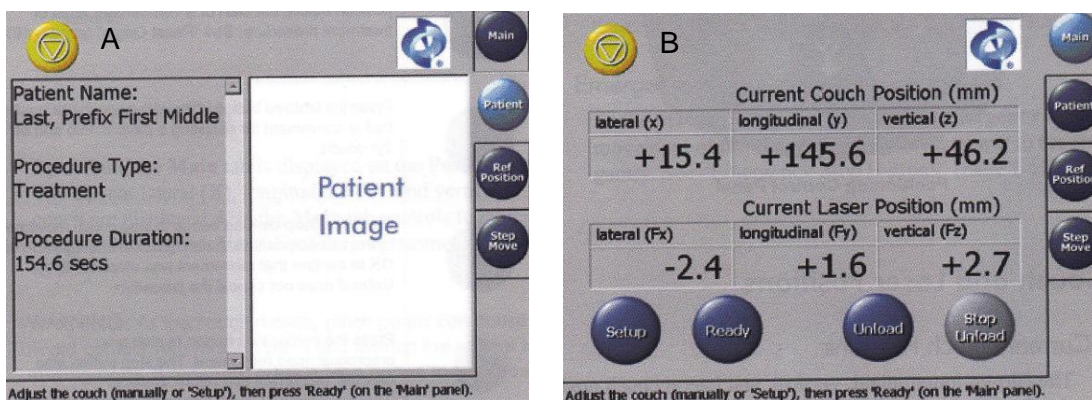


Fig. 21: Painéis de controlo do posicionamento: A- dados sobre o tratamento do doente; B- dados relativos à posição da mesa de tratamento.

Findo o processo de posicionamento, é necessário definir essa posição como sendo a posição 'zero' do tratamento (Fig. 22 C e D). Por outras palavras isto quer dizer que todos os deslocamentos a executar no momento da fusão das imagens são em relação a esse ponto zero.

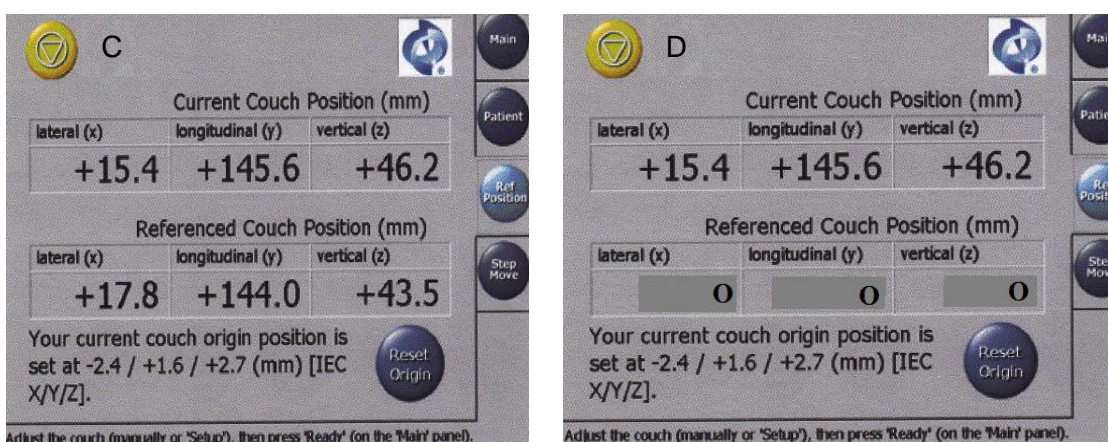


Fig. 22: Painéis de controlo do posicionamento: C e D- dados relativos à posição da mesa de tratamento.

Definidos estes diferentes *parâmetros* começa-se então a aquisição de imagens. A duração da TC depende do volume sobre o qual se pretende obter as várias imagens. Eu executei diversas TC's e os seus tempos de execução variavam entre sessenta e trezentos segundos (todas no modo *coarse*).

Durante a realização da TC consegue-se acompanhar o deslocamento da mesa de tratamento em relação ao eixo dos YY, o tempo de realização da TC, a taxa de dose (Fig. 23) e as imagens de TC que estão a ser reconstruídas em tempo real. Este último aspecto é muito prático pois permite constatar, em tempo real, se o doente está

ou não bem posicionado ou se tem por exemplo gás no recto ou intestinos, facto que impossibilita a realização imediata do tratamento.

Para a realização das imagens de TC é utilizada uma energia de 3,5MV, mais baixa do que a energia de tratamento. Isto deve-se ao facto de que quanto mais baixa for a energia utilizada para realizar as imagens de TC, melhor será a qualidade de imagem.

A dose necessária para a aquisição de imagens varia entre os 0,5 e os 3 cGy.^{1,4,9,45} O valor total da dose entregue pela realização das imagens, segundo os físicos do serviço, é negligenciável tendo em conta a dose total de tratamento. Tínhamos liberdade para realizar até três TC diárias por doente. A partir deste valor a equipa dos físicos tinha de ser informada. Estas imagens possuem características muito particulares pois não apresentam artefactos, devido ao processo de aquisição e reconstrução de imagens.⁴⁴

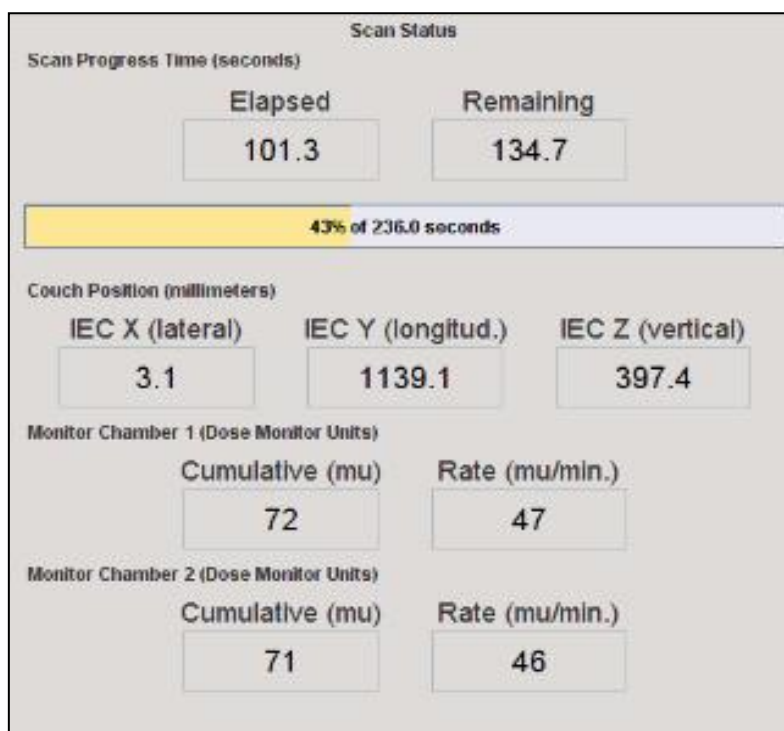


Fig. 23: Representação gráfica do *software* da Tomoterapia durante a execução de uma TC

D. FUSÃO DE IMAGENS

Terminada a aquisição das respectivas imagens, procede-se à realização da fusão destas com as imagens obtidas na TC de planeamento.

A técnica de fusão de imagens realizada no CHUV tem por base as estruturas ósseas, no entanto existem outras técnicas para a realização da fusão de imagens (Fig. 24) mas requerem mais tempo de processamento. A escolha desta técnica tem por base o facto de os ossos serem estruturas fixas e densas, quando comparadas com as partes moles, e por apresentarem um maior contraste nas imagens, sendo por isso mais rápido fazer a fusão destas através dos ossos (cerca de 5 segundos).

As outras duas técnicas que podem ser utilizadas são a *Bone and Tissue Technique* e a *Full Image Technique*. A primeira utiliza as altas (osso) e as baixas (tecido) densidades para fazer a fusão enquanto a segunda utiliza as densidades relativas aos ossos, tecidos e ar para fazer a fusão, necessitando por isso de mais tempo para o processamento das imagens.

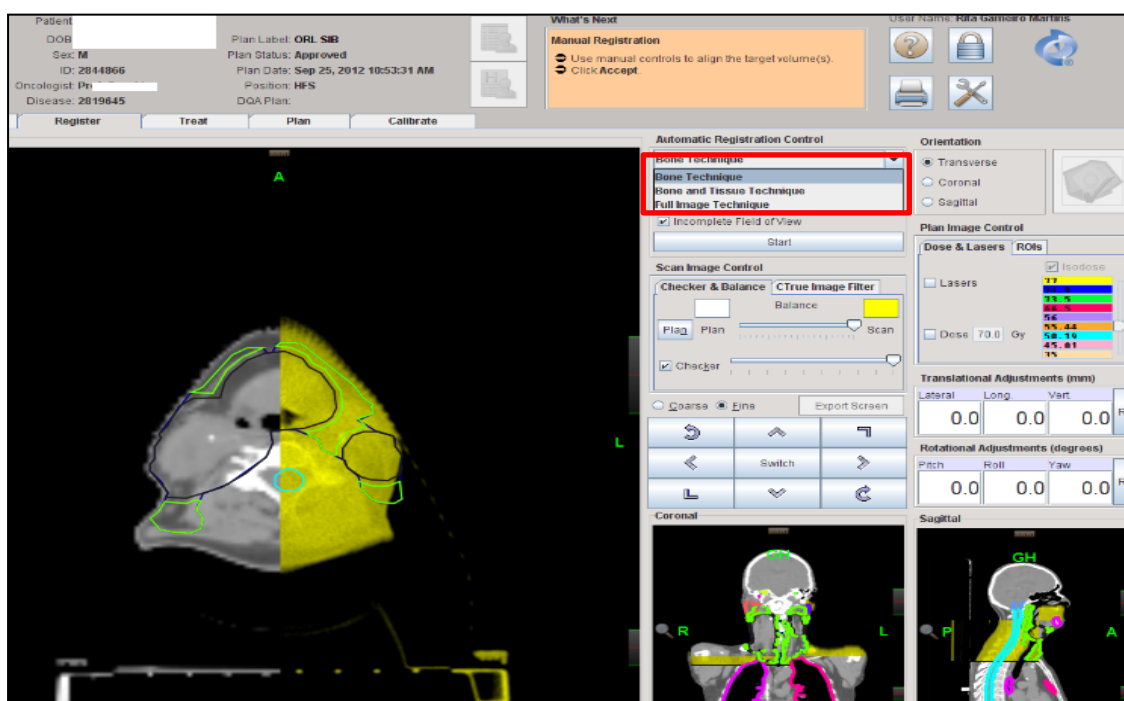


Fig. 24: Representação gráfica do software da Tomoterapia em que se pode visualizar as diferentes técnicas de fusão de imagem: *Bone Technique*, *Bone and Tissue Technique* e a *Full Image Technique*.

Existem critérios padronizados no CHUV que definem o modo de fazer a fusão. A fusão é feita tendo em conta o esqueleto ósseo como já referi, e tendo em conta uma resolução *fine* (Fig. 25) que em termos de qualidade de imagem/tempo fornece uma boa resolução e tendo em conta os movimentos de translação e rotação das imagens – *Translations+Roll* (Fig. 26). Neste caso os parâmetros *pitch* e *yaw* não podem ser alterados, apenas o *roll*. Os movimentos possíveis do *pitch*, do *yaw* e do *roll* são representados nas figuras 27, 28 e 29.

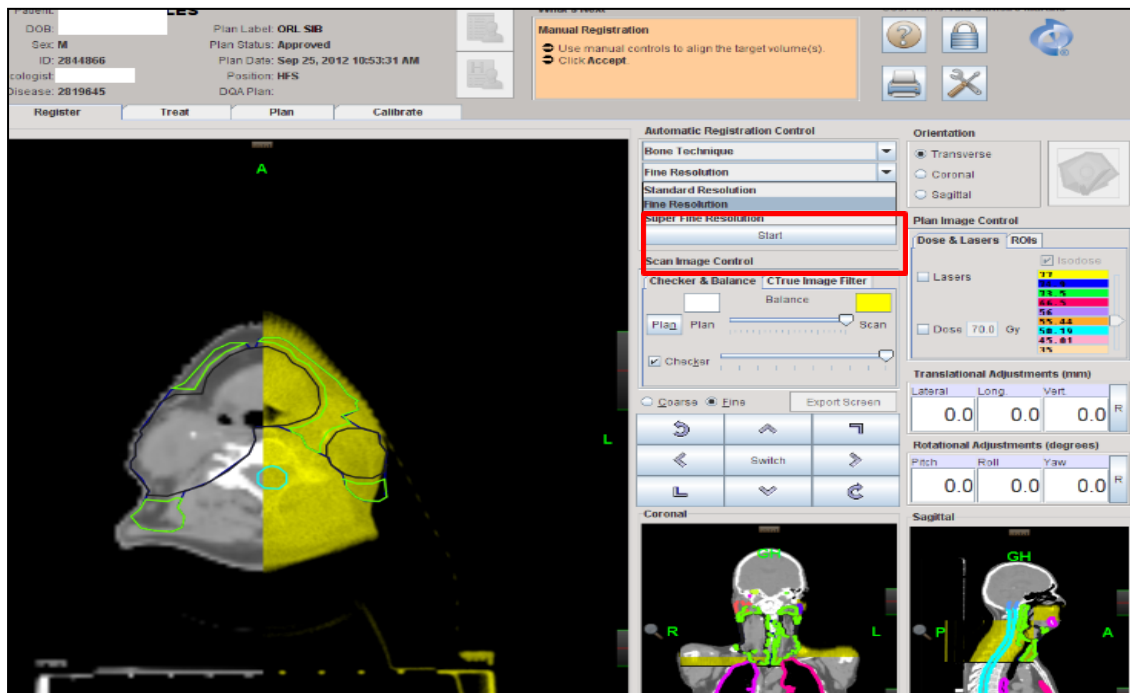


Fig.25: Representação gráfica do software da Tomoterapia em que se pode visualizar as diferentes resoluções de imagem: *Standard Resolution*, *Fine Resolution*, *Super Fine Resolution*.

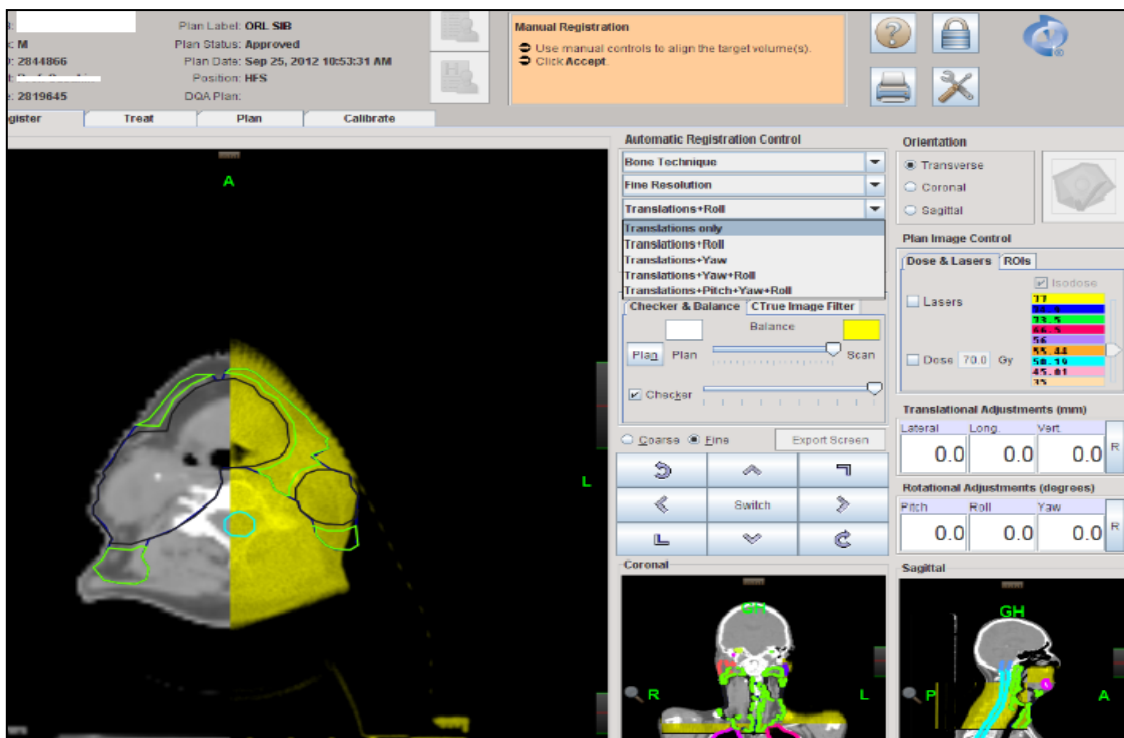


Fig. 26: Representação gráfica do software da Tomoterapia em que se pode visualizar as possíveis translações de imagem.

O *Roll* consiste numa angulação que se pode introduzir na *gantry* para compensar a limitação dos graus de liberdade da mesa de tratamento, em relação ao eixo sagital, ou seja, desta forma é possível simular uma rotação do doente.

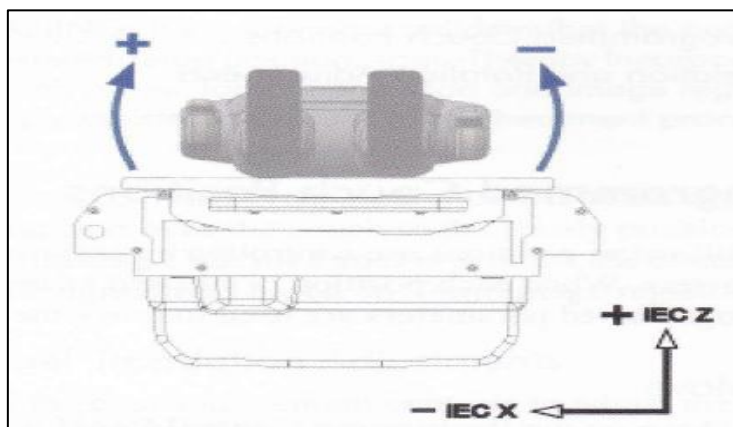


Fig. 27: Representação gráfica do movimento simulado pelo *roll*.²³

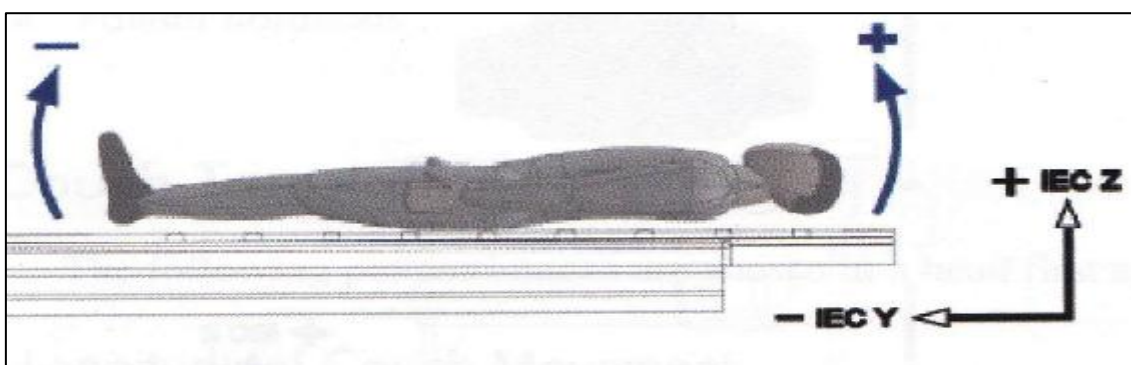


Fig. 28: Representação gráfica do movimento simulado pelo *pitch*.²³

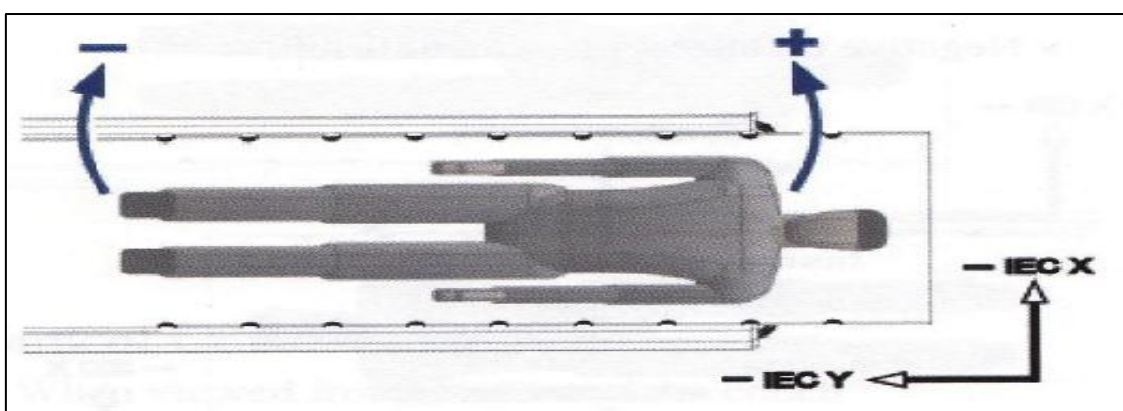


Fig. 29: Representação gráfica do movimento simulado pelo *yaw*.²³

Definidos os critérios *standard* é o próprio software da Tomoterapia que faz a fusão. Estes critérios são definidos de cada vez que se liga o *software* da Tomoterapia.

Para visualizar as imagens da TC efectuada deve seleccionar-se uma cor que contraste com a cor cinzenta da TC de planeamento. A escolha da cor é subjectiva, no entanto, a grande maioria dos técnicos escolhe a cor amarelo, como se pode constatar na figura 30. O *software* da Tomoterapia tem quatro janelas de visualização das imagens: tecidos moles, baixa densidade, osso e 'geral' e é necessário ter as imagens das diferentes TC na mesma janela para poderem ser comparadas. A escolha da janela depende da localização dos volumes que se pretendem visualizar. Por exemplo se se pretende ver uma lesão no pulmão escolhe-se a janela de baixa densidade, mas se por outro lado se se pretende visualizar uma lesão na região pélvica deve escolher a janela de tecidos moles para melhor visualizar a bexiga, recto, gânglios, entre outros.

Apesar de ser o *software* da Tomoterapia que faz a fusão das imagens, é importante que o técnico as verifique em todos os cortes. Isto porque como referi anteriormente, a fusão das imagens tem em conta as estruturas ósseas e não o volume alvo-PTV.

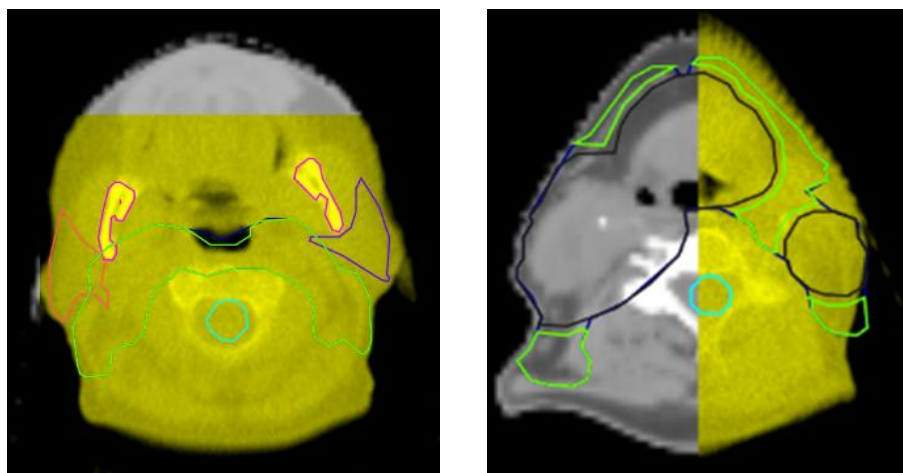


Fig.30: Representação gráfica de duas fusões de imagem no plano transverso, para o mesmo doente. A cinzento encontra-se a imagem da TC de planeamento e a amarelo a imagem da TC da Tomoterapia. É possível verificar a sobreposição das diferentes estruturas e o alinhamento destas (mandíbula, a rosa; parótidas, a laranja e roxo; medula, a azul marinho; PTV1, a preto e o PTV2, a verde).

Deste modo importa confirmar se o PTV se encontra na posição correcta e se está englobado pela isodose dos 95%. Este *software* da Tomoterapia também foi

concebido para fornecer as curvas de isodose. Assim é possível verificar a cobertura do PTV e o envolvimento dos OAR (Fig. 32).

É sempre possível fazer ligeiros desvios nas imagens (Fig. 31) para melhor englobar o PTV na curva dos 95% e para assim poupar as estruturas saudáveis adjacentes, como a medula óssea (figura 32).

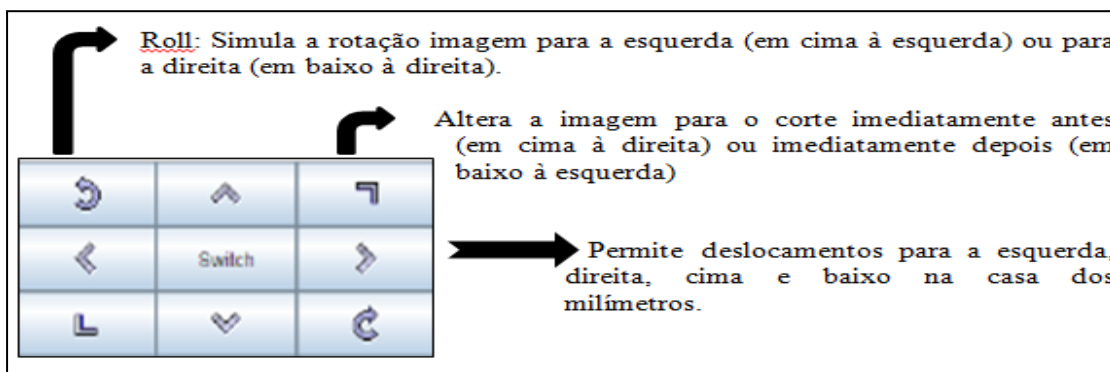


Fig. 31: Representação gráfica do software da Tomoterapia a partir da qual é possível executar deslocamentos translacionais ao nível vertical, longitudinal e lateral e deslocamentos rotacionais ao nível do Roll. Também é possível passar a imagem para o corte seguinte ou para o corte anterior.

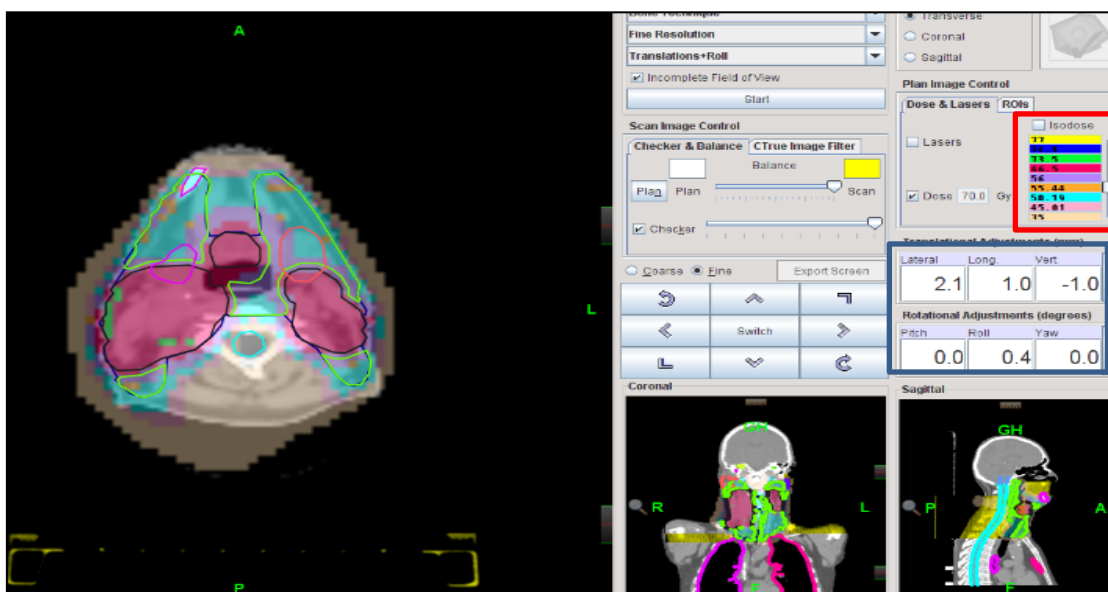


Fig.32: Representação gráfica do software da Tomoterapia em que se pode visualizar as isodoses, sendo que a legenda das isodoses se encontra marcada a vermelho. Na imagem o PTV1 está definido a preto e os gânglios (PTV2) a verde. A prescrição ao PTV1 era de $33 \times 2,12 \text{Gy} = 69,96 \text{Gy}$ e ao PTV2 era de $29 \times 1,6 \text{Gy} = 52,8 \text{Gy}$.

Feita a fusão das imagens é necessário verificar os deslocamentos efectuados em relação ao zero anteriormente definido. O valor máximo de deslocamento no eixo dos XX é de 40 mm, ou seja, a mesa pode ser deslocada 20 mm para a esquerda ou

para a direita se o doente estiver posicionado na coordenada absoluta $x=0$. Isto é importante na medida em que, ao se definir um ponto como zero (coordenada relativa) se este ponto estiver na coordenada absoluta de, por exemplo, -14 milímetros, os deslocamentos a efectuar ficam condicionados uma vez que já só se pode deslocar o doente até 6 mm para a direita ou até 34 mm para a esquerda.

Em relação à figura 32, verifica-se que após a fusão de imagens é necessário efectuar um deslocamento positivo de 2,1mm no eixo dos XX; 1mm no eixo dos YY; um deslocamento negativo de 1mm no eixo dos ZZ e ainda uma rotação de $0,4^\circ$ (destacado a azul na imagem 32).

E. TRATAMENTO

A nova posição será obtida quando se lança o tratamento. Nesta fase importa registar de novo estes valores como posição zero e pode então começar-se o tratamento. Esta nova posição zero tem de ficar registada para o caso de a máquina parar durante o tratamento. Isto porque se ela parar, o que é relativamente frequente, é necessário voltar a colocar o doente nessa posição (zero) e assim continuar o tratamento.

Durante o tratamento do doente, o *software* da Tomoterapia possibilita a visualização de vários parâmetros (Fig. 33) como o tempo de tratamento, deslocamento da mesa em ordem ao eixo dos YY e o débito de dose, tal como durante o processo de aquisição das imagens de TC. O débito de dose na Tomoterapia é muito elevado, variando entre as 850 e as 900 UM por minuto.

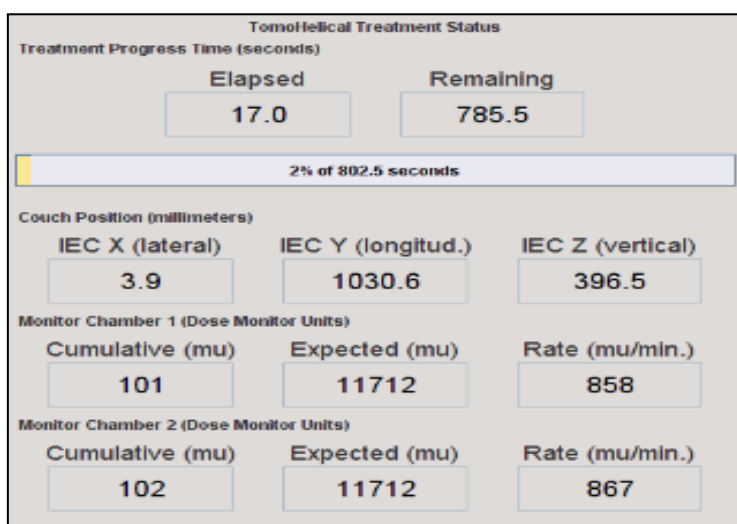


Fig. 33: Representação gráfica do *software* da Tomoterapia durante a execução de um tratamento, na qual se podem visualizar diferentes parâmetros como: tempo de tratamento, deslocamento da mesa de tratamento em relação ao eixo dos YY e o débito de dose do respectivo tratamento.

Se o doente se mexer durante o processo de tratamento, este tem de ser interrompido. Para recomeçar é necessário realizar uma nova TC e completar o resto do tratamento em falta.

Quando um doente termina todos os seus tratamentos é necessário imprimir um documento onde constam todos os dias de tratamento, dose de radiação recebida e o tempo da fracção de tratamento. Estes valores têm de coincidir sempre com a prescrição médica e com os dados do plano de tratamento. A figura seguinte ilustra uma folha de fim de tratamento (figura 34).

Treatment Report Print Preview

Treatment Summary For Lastname, Firstname

Tomotherapy

Patient ID: ID:12345-6789 Disease Name: 8238

Fraction Status:

Plan: Plan_03
Plan contains no performed or interrupted procedures.

Approved By: _____

Plan: Plan_02
Plan contains no performed or interrupted procedures.

Approved By: Dr. Oncologist

Plan: Plan_01

Fraction Number	Fraction Delivery Date	Dose(Gy)	Duration(sec)
1	Jun 12, 2004	1.80	327.04
2	Jun 18, 2004	1.80	327.04
3	Jun 19, 2004	1.80	327.04
4	Jun 24, 2004	1.80	327.04
4	Jun 30, 2004	1.80	327.04
5	Jun 13, 2004	1.80	327.04
6	Jun 14, 2004	1.80	327.04
7	Jun 21, 2004	1.80	327.04
8	Jun 26, 2004	1.80	327.04
9	Jun 27, 2004	1.80	327.04
10	Jul 1, 2004	*	327.04
10.1 - Completion	Jul 1, 2004	1.80	323.73
11	Jul 2, 2004	*	327.04
11.1 - Completion	Jul 2, 2004	1.80	323.98
12	Jul 3, 2004	1.80	327.04
13	Jul 4, 2004	*	327.04
13.1 - Completion	Jul 4, 2004	1.80	19.63
14	Jul 8, 2004	1.80	327.04
15	Jul 9, 2004	1.80	327.04
16	Jul 10, 2004	1.80	327.04
17	Jul 14, 2004	1.80	327.04
18	Jul 15, 2004	1.80	327.04
19	Jul 16, 2004	*	327.04

Tomotherapy PlanningStation2.3.0.303 | Report Generated: December 22, 2005 at 2:57:22 PM | Page 1 of 2

Print << >> Done

Fig. 34: Representação gráfica de uma folha de fim de tratamento

Os tempos de tratamento dos diferentes doentes são variáveis e dependem de vários factores definidos no planeamento dos respectivos planos de tratamento. Esses factores podem ser o volume do PTV e a sua localização, a dose prescrita por fracção e a tolerância dos OAR, o intuito do tratamento e ainda a idade do doente.

2.2.2 Fusão de imagens

A fusão de imagens na prática da radioterapia tem vindo a adquirir um papel cada vez mais relevante. Isto porque os actuais tratamentos de radioterapia permitem administrar uma maior dose de radiação ao volume alvo, poupando contudo os tecidos saudáveis circundantes. É neste ponto que importa salientar a função da imagem-IGRT do inglês *image guide radiation therapy*.

Nos tratamentos de carcinomas com a Tomoterapia, realiza-se diariamente pelo menos uma TC (imagens tridimensional) com os objectivos de verificar o posicionamento dos doentes em tempo real, adaptar o tratamento à localização do tumor sem negligenciar as limitações impostas pelos OAR e ainda adaptar o tratamento às possíveis alterações do volume alvo, garantindo assim que a radiação é emitida na direcção certa.

No serviço de radioterapia do CHUV são os técnicos que realizam diariamente as fusões de imagem e que após as avaliarem, realizam os tratamentos planeados. No entanto, no primeiro dia de tratamento é o médico assistente quem deve aprovar a fusão das imagens e autorizar o tratamento. Naturalmente que para realizar esta tarefa, é imprescindível ao técnico dominar alguns conhecimentos de anatomia radiológica, pois só assim este é capaz de realizar fusões com elevado grau de exactidão e precisão, que são fundamentais para o sucesso do tratamento. A figura 30 é considerada uma fusão de elevada qualidade pois verifica-se que as estruturas ósseas estão sobrepostas, a medula está bem posicionada e o doente está bem alinhado. As estruturas delimitadas são as estruturas da TC de planeamento, às quais se sobrepõem as estruturas da TC da Tomoterapia.

Contudo nem todas as fusões efectuadas dão origem a fusões 'perfeitas'. Ora porque o doente emagreceu, ora porque não estava tão relaxado no momento do posicionamento, ora porque a posição de tratamento não é suportável nesse dia por causa das dores, podendo existir uma variedade de justificações para o incorrecto posicionamento do doente, mesmo quando este se encontra alinhado pelos lasers. Nesta situação é fundamental verificar se o PTV se encontra englobado pela isodose

dos 95%. Se assim for, importa assumir um compromisso para com os OAR de forma a não os atingir mais do que o planeado e prosseguir com o tratamento (Fig. 35 e 36)

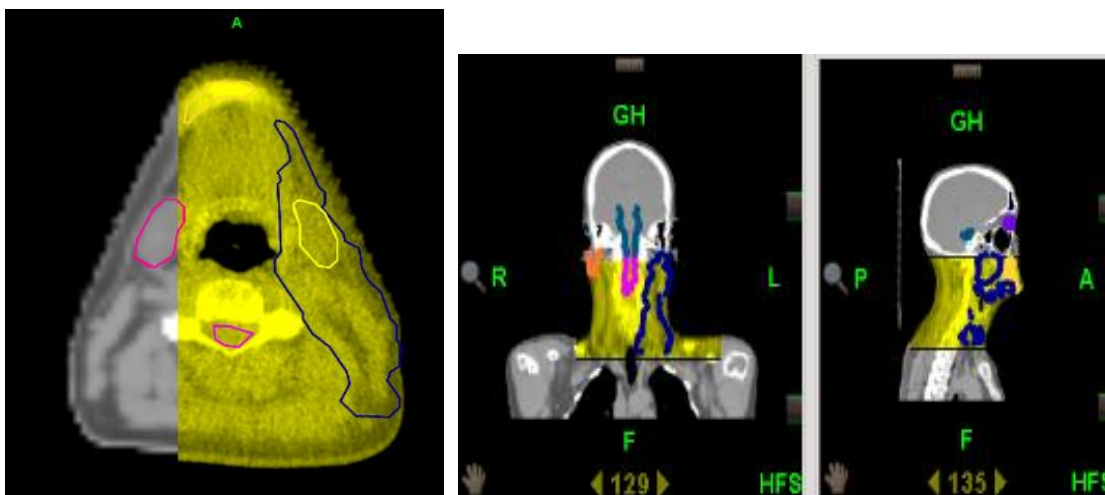


Fig. 35: Representação gráfica de uma fusão de imagens nos três planos: transversal, coronal e sagital respectivamente. A cinzento encontra-se a imagem da TC de planeamento e a amarelo a imagem da TC da Tomoterapia. A azul encontra-se o PTV; a amarelo e laranja encontram-se as glândulas parótidas; a rosa encontra-se a medula; a roxo estão as órbitas e num azul mais claro encontra-se o tronco cerebral.

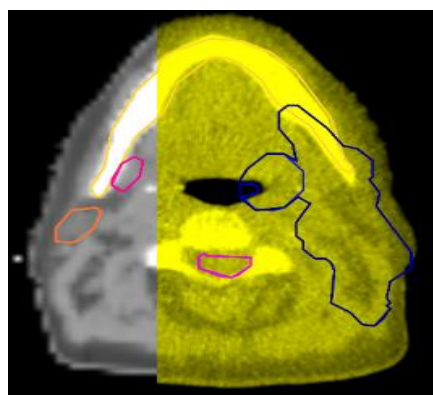


Fig. 36: Representação gráfica de uma fusão de imagens no plano sagital do mesmo doente da figura anterior.

Como se pode observar na figura 36, a medula não está na posição de planeamento e o ombro direito do doente está descaído, contudo o PTV está na posição correcta. Isto quer dizer que mesmo que as estruturas não estejam perfeitamente sobrepostas, desde que o PTV esteja a ser irradiado com a dose pretendida sem afectar mais do que o previsto os OAR, pode prosseguir-se com o tratamento. Em caso de dúvida é fundamental obter uma opinião médica para prosseguir ou não com o respectivo tratamento. No caso de o doente estar mal

posicionado, deve repetir-se o processo de posicionamento e refazer-se a TC de modo a obter a posição de planeamento. Já no caso de se verificarem alterações na fisionomia do doente como o aumento ou perda de peso, desaparecimento do líquido pulmonar e recuperação do respectivo pulmão é imprescindível obter uma opinião médica em relação ao passo a seguir, isto é, tem de ser o médico a autorizar o tratamento. No caso de o médico não estar de acordo em prosseguir com o tratamento (por haver demasiada toxicidade para os OAR, por o PTV não estar bem coberto ou até por o doente não tolerar o tempo de tratamento), pode ser feito um novo plano de tratamento directamente nas imagens 3D obtidas pela tomoterapia (em tempo real ou *à posteriori*).

Passo a exemplificar através de imagens de TC obtidas de uma doente ORL que tratei que perdeu muito peso (figuras 37 e 38):

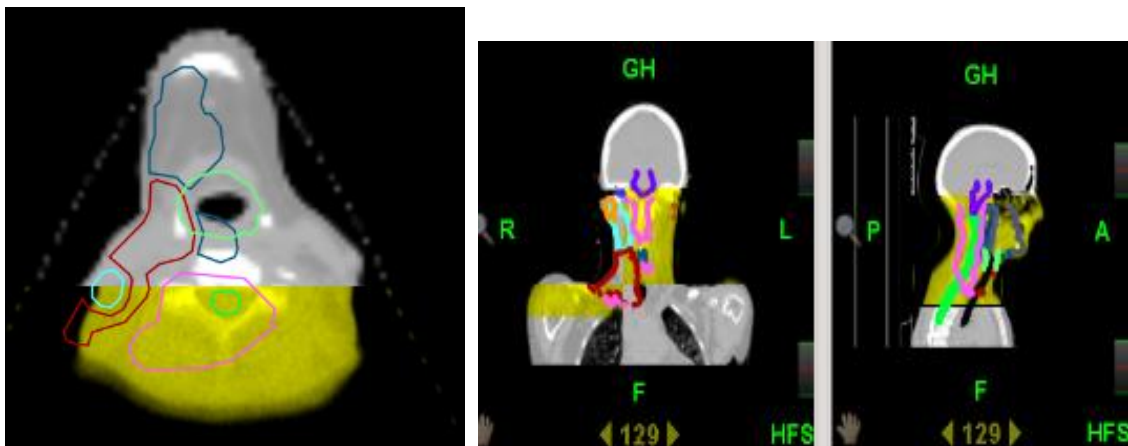


Fig. 37: Representação gráfica de uma fusão de imagens nos três planos: transversal, coronal e sagital respectivamente. A cinzento encontra-se a imagem da TC de planeamento e a amarelo a imagem da TC da Tomoterapia. A azul-escuro e a vermelho encontram-se os PTVs; a laranja as parótidas, a verde encontra-se a medula, a roxo encontra-se o tronco cerebral.

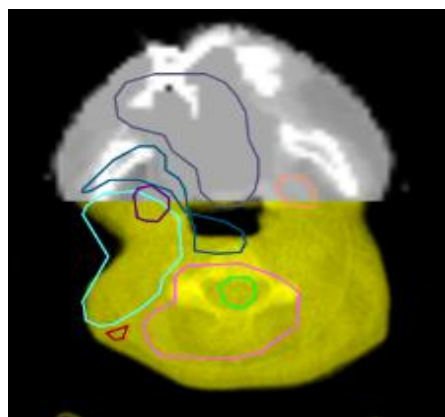


Fig. 38: Representação gráfica de uma fusão de imagens no plano sagital do mesmo doente da figura 37.

Esta doente não prosseguiu tratamento neste dia porque as estruturas definidas na TC de planeamento já não correspondiam às estruturas visíveis nas imagens da Tomoterapia. Facto que poderia alterar consideravelmente a absorção da dose nos tecidos adjacentes, ou seja, a dose que chegaria à medula e a outros órgãos críticos como as parótidas, poderia ser superior à definida no plano de tratamento.

Foi por isso necessário replanificar o plano de tratamento desta doente, isto é, realizou-se uma nova TC de planeamento, delimitaram-se as estruturas de risco e os volumes alvo, os físicos fizeram um teste de controlo de qualidade do plano e a doente prosseguiu o tratamento dois dias depois. A doente realizou uma nova TC de planeamento pois tratava-se de uma doente ORL que necessitava de uma nova máscara de tratamento.

Se não fosse a necessidade de fazer uma nova máscara, o plano de tratamento podia ter sido efectuado directamente sobre as imagens da Tomoterapia.

É possível fazer alterações no plano de tratamento em tempo real, contudo estas não são feitas por não constituírem um processo rentável para o serviço em termos de tempo uma vez que requerem a disponibilidade imediata de um médico e de um físico, para além da presença dos técnicos. Além disso estas alterações levam o seu tempo, e como não são planeadas na agenda diária da Tomoterapia, por serem imprevisíveis, dão origem a atrasos consideráveis no tratamento dos doentes seguintes. Também é importante pensar que quanto mais tempo um doente fica deitado na mesa de tratamento maior é a probabilidade de este se mexer e prejudicar todo o tratamento. Por isso é que ainda não são feitas alterações no plano de tratamento em tempo real.

2.2.3 Gestão dos doentes

É bastante atarefado um dia de trabalho na Tomoterapia, por isso é importante organizar a agenda diária dos doentes. Em média tratam-se 25 doentes por dia, das 7h30 às 17h00, com uma pausa de uma hora para almoço.

Nem todos os doentes têm o mesmo tempo total de tratamento nem demoram o mesmo tempo a se instalar na posição correcta, por isso verifica-se facilmente uma inconstância no tempo de tratamento atribuído a cada doente. O tratamento de duração mais curta que realizei foi de 120 segundos e o de duração mais longa foi de 802 segundos. Também é preciso ter em conta que certos doentes com tumores em

partes móveis (por exemplo doentes com carcinoma da mama) ou na proximidade destas, apresentam uma maior probabilidade de repetir a TC de posicionamento da Tomoterapia, por não se encontrarem na posição correcta.

Também em doentes com carcinomas do recto é frequente ter de se repetir a TC de posicionamento por estes apresentarem a bexiga vazia ou o recto dilatado. Esta situação pode condicionar a posição do PTV sendo que torna-se necessário regularizá-la para prosseguir com o tratamento.

É de realçar que por vezes o facto de os doentes estarem a realizar concomitantemente outras terapias pode fazer com que eles não consigam respeitar o horário agendado.

Estes factores podem assim condicionar a jornada de trabalho. É por isso importante estabelecer horários para os vários doentes tendo em conta todos estes aspectos.

Com o intuito de organizar o dia de trabalho recorre-se ao *software mosaiq* da marca *ELEKTA®* (versão 2.2). O *mosaiq* consiste num sistema de gestão da informação oncológica dos diferentes doentes ao qual se podem associar imagens e informações como a prescrição médica, o posicionamento e os suportes definidos e ainda informação pessoal relativa aos doentes.

CAPÍTULO 3

APRECIÇÃO GLOBAL DO ESTÁGIO

Relembrar que na primeira semana de estágio na Tomoterapia pensei em desistir e voltar para meu país, para a minha língua materna, para a minha casa e para a minha família, faz-me pensar que, sem estas dificuldades iniciais, esta grande experiência profissional não tinha tido o mesmo valor. Foi enriquecedora a vários níveis e veio confirmar o meu desejo de trabalhar nesta área. Adorei o contacto com os doentes, adorei a sensação de poder fazer alguma coisa por eles naquele momento e isto fez-me crescer como pessoa e tornar-me numa melhor profissional de saúde.

Ao longo destes três meses de estágio apercebi-me de que o mundo de um recente técnico de radioterapia, sem as diferentes disciplinas do curso, não faz qualquer sentido e passo a explicar porquê. Durante esta experiência de estágio na Suíça, tive o privilégio de trabalhar com excelentes profissionais de saúde de diferentes países, que tiveram formações escolares diferentes da minha e fiquei muito contente com o meu desempenho, pois fez-me aperceber de que o ano de aulas do mestrado, apesar de cansativo, valeu muito a pena.

É esta transição do mundo escolar para o mundo profissional que nos põe à prova e que nos define enquanto técnicos de radioterapia. Eu estaguei num serviço recheado de tecnologia de ponta e posso afirmar que não é essa tecnologia que faz o técnico ser melhor profissional que outro que trabalha num serviço menos bem equipado. É preciso, antes de mais, perceber que não é só a máquina que ‘trata’ o doente, e o que eu quero dizer com isto é que, se não existirem bons profissionais de saúde, conhecedores dos potenciais da máquina e das exigências inerentes a ela, o sucesso dos tratamentos fica fortemente condicionado. Durante estes três meses, pude constatar que, em determinadas alturas, pequenas falhas não detectadas a tempo davam origem a erros perfeitamente evitáveis. Importa por isso perceber todo o *workflow* dos tratamentos para minimizar esses possíveis erros. Por vezes, estes erros passavam por coisas simples como confirmar a identidade do doente e os suportes relativos ao seu posicionamento ou compreender as limitações do próprio doente relativamente à posição do tratamento que levava a que o doente se mexesse durante todo o processo. E isso conduzia a uma inevitável repetição do mesmo e consequente atraso na jornada de trabalho.

Durante o meu período de estágio chegou mesmo a acontecer uma troca de suportes durante o tratamento de um doente de pulmão (radioterapia estereotáxica:

8x7,5Gy=60Gy). Ele foi posicionado num suporte de tórax em vez de num colchão de vácuo. Felizmente este acto não teve consequências ao nível clínico para o doente uma vez que as fusões de imagens efectuadas estavam bem conseguidas.

Com este erro aprendi que é importante confiar no trabalho e nos nossos colegas de equipa mas é mais importante ainda não fazer os procedimentos de cor e confirmar todos os requisitos do tratamento, desde a prescrição ao posicionamento e ao teste de controlo de qualidade dos planos. Aprendi também que é fulcral compreender o mecanismo de funcionamento da Tomoterapia para poder explicar aos doentes as súbitas paragens da máquina, sem contudo comprometer a credibilidade desta e a confiança dos doentes no tratamento. Até porque os tratamentos na Tomoterapia são relativamente longos e é imprescindível que o doente esteja confortável e que confie no nosso trabalho enquanto técnicos de radioterapia. Por vezes o tempo de paragem entre o final da TC e o início do tratamento variava consideravelmente por haver dúvidas na fusão e nesses casos era necessário esperar pelo médico para obter a sua opinião. Era muito importante nessa altura explicar ao doente o que se estava a passar por duas razões: primeiro para que ele não ficasse nervoso por estar a pensar que estivesse a ser descoberta mais alguma informação sobre o tumor e segundo para que ele não se mexesse de forma a poder prosseguir-se com o tratamento.

Outra coisa muito positiva que verifiquei durante este meu estágio foi a intensidade dos efeitos secundários. Sem dúvida a Tomoterapia minimiza estes efeitos. Da minha anterior experiência de estágio aquando da realização da Licenciatura, vi frequentemente radiodermites 'intensas', doentes com náuseas, vómitos e diarreias, xerostomia e perdas de voz muito precoces em relação ao tempo total de tratamento, entre outros, e enquanto estagiei na Tomoterapia estes efeitos secundários pareceram-me mínimos e mais tardios. As duas principais queixas do doente passavam pelo tempo de tratamento e pelo cansaço.

Um outro aspecto que eu gostaria de realçar relativamente ao tempo dos tratamentos, é a escolha dos doentes que são tratados na Tomoterapia. Na minha opinião nem todos os doentes que tratei reuniam as condições necessárias para serem tratados na Tomoterapia por esta dar origem a tratamentos muito longos. Nestes casos, quando o técnico não está de acordo com o tratamento a efectuar é o médico do doente que tem de se responsabilizar pelos tratamentos (se optar por não mudar o doente de aparelho). E eu digo isto porque tratei alguns casos de doentes paliativos que não conseguiam ficar completamente imobilizados durante o tratamento

ou que, por causa das dores não conseguiam manter aquela posição durante todo o tempo. E isto levava a constantes paragens nos tratamentos e repetições de TC's para se obterem novas imagens para só depois se prosseguir com os tratamentos. Eram tratamentos extremamente cansativos para os profissionais e para o doente. Na minha opinião o doente também podia ser tratado com sucesso noutro aparelho em que o tempo de tratamento fosse mais curto e o doente pudesse assim colaborar. O número máximo de TC's que se pode realizar por dia e por doente foi definido pelos físicos como três. A partir daí, os físicos tinham de contabilizar a dose extra de radiação recebida. Até às três TC's, os físicos assumiram que a dose total absorvida devido às imagens não altera significativamente a dose total de tratamento.

As grandes dificuldades que senti durante a realização do estágio foram a língua e a ausência de respostas aos meus porquês. No entanto, com o passar do tempo fui percebendo como é que as coisas se desenrolavam e o trabalho começou a fluir de forma natural. Adorei esta experiência e recomendo-a a todos os que desejarem conhecer mais profundamente a Tomoterapia.

CAPÍTULO 4

SUGESTÕES

Como no serviço de radioterapia do CHUV os técnicos estão constantemente a trocar de posto de trabalho parece-me pertinente que se façam pequenas alterações no posto da Tomoterapia para que o trabalho decorra mais fluentemente e passo a sugerir algumas:

Padronização das cores das estruturas delimitadas; pois tornaria mais fácil e rápida a procura do(s) PTV(s);

Criação de um espaço de tempo, em que os técnicos pudessem tranquilamente organizar os horários dos doentes,

Maior troca de informações com o departamento da quimioterapia, de forma a se poder agendar os dias em que os doentes fazem esses tratamentos;

Criação de uma pequena reunião semanal onde fossem apresentados os novos casos da semana seguinte e discutidas as condições dos doentes;

Criação de uma consulta de enfermagem na qual se explicassem os procedimentos do tratamento e os cuidados a ter durante o mesmo.

CONCLUSÃO

Fazendo uma retrospectiva deste estágio, é importante salientar a aquisição de experiência, conhecimento e reforço das capacidades relacionais que têm grande peso na aprendizagem. Este percurso pela Tomoterapia consistiu num processo de evolução quer ao nível profissional quer ao nível pessoal. Numa primeira fase não me sentia muito confortável nem confiante em relação ao meu desempenho por causa da língua mas com o desenrolar do tempo fui trabalhando sobre esse meu problema de tal modo que agora me sinto perfeitamente capaz de realizar as diferentes sessões de tratamento. Adorei trabalhar com a Tomoterapia, compreender o seu funcionamento e perceber as suas potencialidades e limitações. É uma máquina com características particulares que permite a aquisição de imagens de TC sem artefactos devido ao processo de reconstrução dessas imagens e isso é muito importante no planeamento dos tratamentos pois permite reduzir os erros de distribuição de dose quando os planos são calculados sobre imagens de TC convencionais com artefactos.

Importa realçar que por se visualizarem as isodoses nas imagens de posicionamento, o tratamento torna-se ainda mais preciso pois não só é possível verificar a cobertura do PTV como também o comprometimento dos OAR.

Na Tomoterapia é ainda possível fazer uma reconstrução da dose recebida pelo doente através das imagens de TC de posicionamento efectuadas e compreender se determinado OAR foi mais irradiado do que o previsto (acentuado os efeitos secundário da radioterapia) ou se uma recidiva local se deveu a uma zona de subdosagem.

Não tive a oportunidade assistir a nenhuma alteração do plano de tratamento em tempo real mas eu considero esta característica da Tomoterapia muito pertinente porque permite pôr em prática o conceito de terapia adaptativa e o conceito de radioprotecção, pois estas alterações são sempre feitas com o intuito de melhor tratar o doente, não o irradiando mais do que o necessário.

Em jeito de conclusão, devo dizer que a realização deste estágio e das tarefas nele desenvolvidas, em muito contribuiu para a cimentação de conhecimentos anteriormente adquiridos, para a obtenção de novas competências e para o meu crescimento enquanto técnica de radioterapia e ser humano.

BIBLIOGRAFIA

- 1- T Mackie, History of tomotherapy, ; International Journal Radiation Oncology Biology Physics 2006, 51, R427-R455;
- 2- J Aldridge, Tomographic patient registration and conformal avoidance tomotherapy; The University of Wisconsin - Madison, 1999, 170;
- 3- Accuray Tomotherapy treatment Centers, obtido a 10 de Outubro de 2012, de <http://www.tomotherapy.com/centers/index/>
- 4- A Beavis, Is Tomotherapy the future of IMRT? The British Journal of Radiology, 2004, 77, 285-295;
- 5- C David, Westerly, E Soisson, Q Chen, K Woch, L Schubert, G Olivera, T Mackie, Treatment planning to improve delivery accuracy and patient throughput in Helical Tomotherapy; International Journal Radiation Oncology Biology Physics, 2009 July 15; 74(4):1290-1297;
- 6- M Teoh, C Clark, K Wood, S Whitaker, A Nisbet, Volumetric modulated arc therapy: a review of current literature and clinical use in practice. The British Journal of Radiology (serial online); 2011, 84; 967-96;
- 7- C Yu, L Ma, D Chen, S Nagvi, D Shepard, M Sarfaraz et al, Clinical implementation of intensity-modulated arc therapy ; International Journal Radiation Oncology Biology Physic, 2002, 53, 453-63 ;
- 8- R Jeraj, T Mackie, J Balog, G Olivera, D Pearson, J Kapatoes, K Ruchala, P Reckwerdt; Radiation characteristics of helical tomotherapy, Med Phys, 2004 February; 31(2):396-404;
- 9- L Ballini, F Cipriani, G Guidi, T Giovannini, S Minozzi, A Negro, P Pertile, G Pirini, E Stivanello, R Trisolini, Innovative Radiation treatment in cancer: IGRT/IMRT; health Technology assessment Orientament 2; Observatorio Regionale per l'innovazione; ISSN 1591-223X; Dossier 199-2010;
- 10- N Duma, S Kampfer, T Schuster, N Aswathanarayana, L Fromm, M Molls, N Andratschke, H Geinitz, Do we need daily image-guided radiotherapy by megavoltage computed tomography in head and neck helical tomotherapy? The actual delivered dose to the spinal cord, ; International Journal Radiation Oncology Biology Physics; 2012 September 1; 84(1):283-8.
- 11- T Hong, J Welsh, M Ritter, P Harari, HbJaradat, T Mackie, M Mehta, Megavoltage computed tomography: an emerging tool for image-guided radiotherapy; 2007 December;30(6):617-23.

12- K Sheng, R Jeraj, R Shaw, T Mackie, B Paliwal; Imaging dose management using multi-resolution in CT-guides radiation therapy; International Journal Radiation Oncology Biology Physics; 2005 Mars 21;50(6):1205-19.

13- L Forrest, T Mackie, K Ruchala, M Turek, J Kapatoes, H Jaradat, S Hui, J Balog, D Vai, M Mehta, The utility of megavoltage computed tomography images from a helical tomotherapy system for setup verification purposes; ; International Journal Radiation Oncology Biology Physics; 2004 December 1;60(5):1639-44.

14- J Welsh, K Bradley, K Ruchala, T Mackie, R Manon, R Patel, P Wiederholt, M Lock, S Hui, M Mehta, Megavoltage computed tomography imaging: a potencial tool to guide and improve the delivery of thoracic radiation therapy, Clinical Lung Cancer, 2004 Mars5(5):303-6.

15- T Piotrowski, M Skorska, A Jodda, A Ryczkowski, J Kazmierska, K Adamska, A Karczewska-Dzionk, M Zmijewska-Tomczak, H Wloddarczyk, Tomotherapy- A different way of dose delivery in radiotherapy, Wspotczesna Onkologia; 2012; 16(1): 16-25.

16- Tomo Treatment System, obitdo a 20 de Outubro de 2012, de http://www.accuray.com/sites/default/files/500846.b_tt_tomohdspecbro.pdf

17- M Duma, H Geinitz, S Kampfer, M Kesting, A novel approach for helical tomotherapy in head and neck cancer: a case report, Oncology Letters, 2013 6:1470-1474.

18- S Lissner, K Schubert, S Kluter, D Oetzel, J Debus, A method for testing the performance and the accuracy of the binary MLC used in helical tomotherapy, Zeitschrift für Medizinische Physik, 2012 May 23(2): 153-61.

19- J Welsh, R Patel, M Ritter, P Harari, T Mackie, M Mehta, Helical tomotherapy: an innovative technology and approach to radiation therapy, Technology in cancer research and treatment, 2002 August 1(4):311-6.

20- Technical Descriptions; version 3.X; Hi Art System; Tomotherapy Incorporated;

21- DICOM Conformance Statement, version 3.X; Hi Art System; Tomotherapy Incorporated;

22- Guide d'utilisation de StatRT, version 3.X; Hi Art System; Tomotherapy Incorporated;

23- Treatment Delivery Guide; version 3.X; Hi Art System; Tomotherapy Incorporated;

24- Planned Adaptive; version 3.X; Hi Art System; Tomotherapy Incorporated;

25- Guide D'Utilisation de l'assurance qualité de la distribution; version 3.X; Hi Art System; Tomotherapy Incorporated ;

26- Guide de Démarrage, version 3.X; Hi Art System; Tomotherapy Incorporated;

27- Getting Started Guide; version 3.X; Hi Art System; Tomotherapy Incorporated;

28- M Kissick, R Flynn, D Westerly, T Mackie, On the making of sharp longitudinal dose profiles with helical tomotherapy, International Journal Radiation Oncology Biology Physics, 2007 November 7; 52(21): 6497-6510.

29- S. Baechler, F. Bochud, M. Gardon, M. Sans-Merce, R. Moeckli; Shielding Considerations in Helical Tomotherapy; University Institute for Radiation Physics, Lausanne, Switzerland.

30- IRA / HECVSanté TRM / Institut Universitaire de radiophysique appliquéé,, Cours de radiophysique medical – Radiothérapie, 2008 VII, décembre 2008, Suisse.

31- Sistemas OCTAVIUS, obtido a 15 Outubro de 2013, de <http://www.ptw.de/octavius.html>.

32- Sistemas OCTAVIUS, obtido a 15 de Outubro de 2013, de http://www.ptw.de/typo3conf/ext/naw_securedl/secure.php?u=0&file=ZmlsZWZkZWVud2ludGVybmFscy9yYWRfdGhlcmFweS9PQ1RBVklVU19TaXN0ZW1hc19Ccm9fcHRfODMzMjYzMDJfMDMucGRm&t=1382634420&hash=20232aac67583b2e110a4fc778628f35.

33- G Whitelaw, I Blasiak-Wal, K Cooke, C Usher, N Macdougall, P Plowman; A dosimetric comparison between two intensity-modulated radiotherapy techniques: Tomotherapy vs dynamic linear accelerator; The British Journal of Radiology, 2008, 81, 333-340;

34- T Wiezorek, T Brachwitz, D Georg, E Blank, I Fotina, G Habl, M Kretschmer, G Lutters, H Salz, K Schubert, D Wagen, T Wendt, Rotational IMRT techniques compared to fixed gantry IMRT and Tomotherapy: multi-institutional planning study for head-and-neck cases; Radiation Oncology, 2011, 6:20;

35- S Lu, J Cheng, S Kuo, J Lee, L Chen, J Wu, Y Chen, W Chen, S Wen, F Chong, C Wu, C Wang, Volumetric modulated arc therapy for nasopharyngeal carcinoma: a dosimetric comparison with Tomotherapy and Step-and-Shoot IMRT; Radiotherapy and Oncology, 2012 September 104(3):324-30.

36- F Stieler, D Wolff, H Schmid, G Welzel, F Wenz, F Lohr, A comparison of several modulated radiotherapy techniques for head and neck cancer and dosimetric validation of VMAT; Radiotherapy and Oncology, 2011 December 101 (3); 388-393;

37- M Vulpen, C Field, P Raaijmakers, M Parliament, C Terhaard, M Mackenzie, R Scrimger, J Lagendijk, G Fallone, Comparing Step-and-Shoot IMRT with Dynamic Helical Tomotherapy IMRT plans for head and neck cancer; *Journal Radiotherapy and Oncology*, 2005 62, 1535-1539;

38- H Sheng, J Molloy, P Read, Intensity-Modulated Radiation therapy (IMRT) dosimetry of the head and neck: A comparison of treatment plans using linear accelerator-based IMRT and Helical Tomotherapy; , *International Journal Radiation Oncology Biology Physics*, 2006 July 1, 65(3) 917-923;

39- T Lee, F Fang, P Chao, T Su, L Wang, S Leung, Dosimetric comparisons of Helical Tomotherapy and Step-and-shoot intensity-modulated radiotherapy in nasopharyngeal carcinoma; *Journal Radiotherapy and Oncology* 2008, 89, 89-96;

40- D Wolff, F Stieler, G Welzen, F Lorenz, Y Madyan, S Mai, C Herskind, M Polednik, V Steil, F Wenz, F Lohr, Volumetric modulated arc therapy (VMAT) vs. serial tomotherapy, step-and-shoot IMRT and 3D-Conformal RT for treatment of prostate cancer; *Journal Radiotherapy and Oncology* 2009, 93, 226-233;

41- J Penagaricano, Step-and-shoot IMRT vs Helical Tomotherapy: in regard to Van Vulpen et al; *Journal Radiation Oncology Biology Physics*, 2006 January 1, 64, 328-330;

42- P Plowman, K Cooke, N Walsh, Indications for tomotherapy/intensity-modulated radiation therapy in paediatric radiotherapy: extracranial disease; *The British Journal of Radiology* 2008, 81, 872-880;

43- D Wolff, F Stieler, G Welzen, F Lorenz, Y Madyan, S Mai, C Herskind, M Polednik, V Steil, F Wenz, F Lohr, Volumetric modulated arc therapy (VMAT) vs. serial tomotherapy, step-and-shoot IMRT and 3D-Conformal RT for treatment of prostate cancer; *Radiotherapy and Oncology* 2009, 93, 226-233

44- J Jung, C Kay, S Son, H Shin, M Kim, B Choi, Y Kang, J Seo, G Lee, H Park, Tomotherapy planning and image registration for planning CT image slice thickness for stereotactic radiosurgery, 2012 January, 60 (1): 137-141.

45- S Yartsev, T Kron, J Van Dyk, Tomotherapy as a tool in image-guided radiation therapy (IGRT): theoretical and technological aspects, *Biomedical Imaging and Intervention Journal*, 2007 January, 3 (1) 1-16.