

Estudo da degradação dos imobilizadores utilizados em pacientes submetidos à radioterapia de cabeça e pescoço

Loch, C. P.; Lima, M.F.S.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Ambiente e Materiais - Universidade Luterana do Brasil
Av. Farroupilha, 8001 – Prédio 29, S. 03 - 92450-900, Canoas – RS, Brasil
E-mail: cploch@terra.com.br , mfsl@ulbra.br

RESUMO

Nos tratamentos radioterápicos de cabeça e pescoço utilizam-se imobilizadores como garantia de imobilização do paciente e reprodutibilidade diária do tratamento. Estes imobilizadores, constituídos de material polimérico, são utilizados no Serviço de Radioterapia do Hospital São José (HSJ), localizado em Criciúma (SC), e são reutilizados atualmente para até seis pacientes. O processo de reutilização vem causando deformações nos imobilizadores, levando a busca de soluções para garantir a qualidade no tratamento radioterápico. Este estudo buscou caracterizar o material polimérico constituinte do imobilizador e estudar as possíveis degradações deste, devidas ao envelhecimento térmico, à quantidade de irradiação e ao efeito conjugado destes dois fatores. As amostras foram preparadas de modo a sofrerem degradações equivalentes à reutilização do imobilizador para até seis pacientes, de acordo com o protocolo seguido pelo serviço de radioterapia do hospital. As técnicas empregadas para a caracterização do polímero foram Análise Termogravimétrica (TGA), Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) e Difração de Raios-X em ângulo largo (WAXS). As técnicas de DSC e WAXS permitiram a identificação do polímero constituinte dos imobilizadores como sendo a poli (ϵ -caprolactona) (PCL). Os resultados obtidos com as técnicas de TGA e DSC não indicaram efeitos de degradação significativos nas amostras. Foi observada pequena variação de cristalinidade da amostra padrão em relação às amostras modificadas por envelhecimento térmico e por efeito conjugado deste com a irradiação. A caracterização da temperatura de fusão do material de 63°C, obtida pela técnica de DSC, demonstrou que esta é inferior à temperatura do banho térmico de 70°C, empregada no protocolo utilizado pelo serviço de radioterapia do HSJ. Este resultado sugere que a temperatura do banho possa ser reduzida, visando minimizar os problemas de deformação do imobilizador que vem sendo observados no processo de reutilização e talvez possível aumento de sua vida útil.

Palavras chaves: radioterapia, imobilizador, degradação

Study of the degradation of the immobilization devices used in patients submitted to neck and head radiotherapy

ABSTRACT

In head and neck cancer radiotherapy, immobilization devices are used in order to ensure the patient immobilization and also to provide precise daily positioning during the treatment. Accuracy and reproducibility of the patient's position is fundamental to the successful delivery of radiation therapy. Such immobilization devices are used in the Radiotherapy Service of Hospital São José (HSJ) in Criciúma, SC, Brazil. These are usually employed in procedures for up to six patients, and the devices have shown deformations during the reuse process, leading the search for solutions to quality assurance in radiotherapy. This work aimed to characterize the polymeric constituent of the immobilizer and study its possible degradation due to thermal aging, the amount of irradiation, and the combined effect of both factors. The samples were prepared in order to undergo changes similar to the immobilization device when reused for up to six patients, according to the protocol used by the Radiotherapy Service of the HSJ. Thermogravimetric Analysis (TGA), Differential Scanning Calorimetry (DSC), and Wide-Angle X-Ray Scattering (WAXS) techniques were employed for polymer characterization. The DSC and WAXS results allowed the identification of constituent polymer of the immobilization device as poly (ϵ -caprolactone) (PCL). The TGA

and DSC results indicated no significant effects of degradation in the samples. It was observed a small variation in the crystallinity values between the standard sample and those modified by thermal aging and also by the combined effect of thermal aging and irradiation. The melting point in the DSC curves of the material ($T_m=63^\circ\text{C}$) showed a lower value than the thermal bath temperature ($T=70^\circ\text{C}$), employed during the conformation process of the immobilization devices. This result suggests that the temperature of the thermal bath could be reduced to minimize the problems of deformation that has been observed in the immobilization device during reuse and might be possible to increase its useful life.

Keywords: radiotherapy, immobilization device, degradation

1 INTRODUÇÃO

A radioterapia é a especialidade da medicina que realiza tratamentos para pessoas portadoras de tumores malignos através da interação de radiações ionizantes sobre os tecidos e órgãos biológicos afetados. O desenvolvimento técnico, não só relacionado aos novos conhecimentos adquiridos ao longo dos anos nas áreas de anatomia, fisiologia, patologia, mas também nas áreas de imagem, informática e eletroeletrônica levou a grandes avanços nesta especialidade. A radioterapia tem como objetivo atual aplicar as doses mais elevadas possíveis de radiação, porém minimizando as injúrias aos tecidos normais adjacentes [1,2].

No universo que compreende o grupo de pacientes com indicação para terapia através de radiações ionizantes encontra-se um número significativo com diagnóstico de neoplasia na região de cabeça e pescoço. Conforme estatísticas realizadas nos Estados Unidos, no ano de 1997 [2], o número estimado de pacientes com neoplasias da cavidade oral foi de 21.900 sendo que tiveram óbito 6.400. A terapia destes pacientes ocorre por cirurgia, quimioterapia, radioterapia ou pela conjugação de mais de uma destas especialidades [2-4]. Nos casos de tumores iniciais a radioterapia é a escolha preferencial por serem estes com alta chance de cura e nos casos de tumores inoperáveis por melhorar a qualidade de vida do paciente. A irradiação de neoplasias do cérebro, assoalho bucal, palato duro, glândulas salivares, entre outras estruturas impõe a necessidade de imobilização do paciente para a reprodutibilidade diária de seu tratamento [4,5].

Na rotina de um serviço de radioterapia são utilizados imobilizadores individuais para pacientes com tratamentos localizados na região de cabeça e pescoço. Estes imobilizadores são constituídos de materiais poliméricos e são ajustados à anatomia do paciente após o aquecimento em banho térmico até determinada temperatura, realizando-se o ajuste por moldagem manual [6]. A imobilização do paciente faz parte da primeira etapa do planejamento do tratamento. Existem diferentes técnicas que podem ser aplicadas nos tratamentos, mas a preferencial para a região que engloba a fossa supraclavicular (F.S.C.) e região cervical é a monoisocêntrica. Nesta técnica são fundamentais a imobilização do paciente e a reprodutibilidade diária de sua posição para o sucesso do tratamento, logo é necessário que o imobilizador desempenhe sua função plena. Os tratamentos têm uma duração média de 1 mês e meio com doses em torno de 70 Gy. No decorrer do tratamento estes imobilizadores apresentaram deformações levando a cometer erros na localização e reprodutibilidade diária. O material polimérico é reutilizado ao final do tratamento de um paciente para o tratamento de outro paciente que irá iniciar a sua radioterapia.

No Serviço de Radioterapia do Hospital São José (HSJ) de Criciúma / Santa Catarina (SC) a técnica utilizada de rotina para os tratamentos que englobam a região F.S.C. e regiões cervicais é a técnica monoisocêntrica. Esta técnica irradia campos laterais paralelos/opostos na região cervical e um campo anterior na região F.S.C., utilizando-se de colimadores assimétricos para que não ocorram problemas de junção de campos, sendo que a cada 10 (dez) aplicações o *gap* é alterado para que evite regiões de hiper ou hipodosagem que levam a problemas de fibrose e recidivas locais. Devido a dificuldades encontradas por este serviço é que se justificou a realização deste estudo, buscando assim melhoria na qualidade do atendimento ao paciente com problemas financeiros. Atualmente o valor no mercado do imobilizador é de R\$ 99,80 (noventa e nove reais e oitenta centavos) sem considerar custos operacionais, e o valor ressarcido por paciente pelo Sistema Único de Saúde (SUS) é de R\$ 33,00 (trinta e três reais), comprovando-se assim a necessidade de reaproveitamento deste material para vários pacientes. Atualmente, no serviço de radioterapia do HSJ, a reutilização máxima do material do imobilizador é para seis pacientes, uma vez que vem se observando, na prática, que tentativas de uma maior reutilização não mantêm as condições de imobilidade do paciente e reprodutibilidade diária no tratamento.

Devido à importância desempenhada pelos imobilizadores no tratamento radioterápico, e por estes estarem apresentando deformações indesejáveis durante a sua utilização, este estudo objetivou caracterizar o material polimérico constituinte dos imobilizadores e estudar a degradação destes quando submetidos à influência de gradientes de temperatura, exposição à radiação ionizante e ao efeito conjugado destes dois

fatores, com o propósito de impingir qualidade e fidedignidade no tratamento fornecido aos pacientes radioterápicos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Neste estudo foi utilizado o imobilizador apresentado na Figura 1. Este imobilizador é fabricado com um material polimérico e é fornecido no Brasil pela empresa Medintec. É utilizado para pacientes com neoplasia maligna de cabeça e pescoço submetidos a tratamento radioterápico no Serviço de Radioterapia do Hospital São José de Criciúma / SC.



Figura 1 : Imobilizador de material polimérico utilizado no Serviço de Radioterapia do HSJ antes de ser moldado anatomicamente no paciente

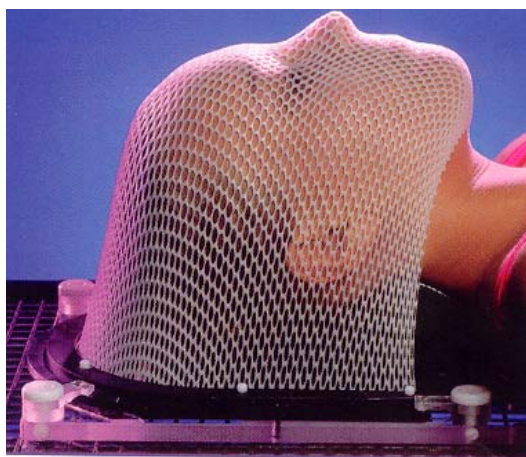


Figura 2: Imobilizador individual de material polimérico moldado no paciente para imobilização e reprodutibilidade diária no tratamento.

FONTE: Catálogo da empresa Medintec fornecedora do imobilizador

3 MÉTODOS

3.1 Preparação das amostras

As amostras de imobilizadores para análise foram preparadas baseando-se nos protocolos utilizados no Serviço de Radioterapia do Hospital São José de Criciúma / SC, sendo estabelecida uma metodologia de preparação das amostras utilizadas neste trabalho. Assim, estas foram submetidas a três tipos de modificações: envelhecimento térmico, radiação ionizante e efeito conjugado de ambos. Não foram estudadas as alterações devidas ao processo de moldagem do imobilizador na face do paciente, devido a dificuldades em quantificar a pressão exercida na moldagem. Esta é variável em diferentes pontos do imobilizador e depende da anatomia do paciente, da pessoa que confecciona o imobilizador, do suporte de cabeça e pescoço e do sentido de moldagem, levando a impossibilidade de padronização.

Todas as amostras utilizadas no estudo foram de procedência do mesmo lote recebido e foram submetidas a cada tipo de modificação por 6 (seis) ciclos, por este ser o número máximo de vezes em que o material é reutilizado na prática. A amostra padrão ou referência, denominada AP, não sofreu nenhum tipo de modificação. No total, foram preparadas dezoito amostras de imobilizadores utilizados para pacientes submetidos à radioterapia de cabeça e pescoço. O conjunto de amostras foi composto de uma amostra padrão (AP), seis amostras submetidas a envelhecimento térmico equivalente a utilização do imobilizador para seis pacientes (AT01, AT02, AT03, AT04, AT05, e AT06), seis amostras irradiadas com feixe de fótons de energia 6MV equivalente a utilização do imobilizador para seis pacientes (AI01, AI02, AI03, AI04, AI05, e AI06), seis amostras submetidas ao efeito conjugado, envelhecimento térmico e irradiação, equivalente a utilização do imobilizador para seis pacientes (ATI01, ATI02, ATI03, ATI04, ATI05, e ATI06).

O detalhamento dos procedimentos relativos à preparação das amostras encontra-se descrito a seguir.

Amostras submetidas a envelhecimento térmico

As amostras submetidas a envelhecimento térmico foram obtidas colocando-se o imobilizador na água do banho à temperatura de 70 °C, esta medida com um termômetro digital, durante 60 segundos (Figura 3). Após este procedimento o imobilizador foi retirado e deixado estabilizar à temperatura ambiente sobre uma toalha em superfície plana, onde foi então obtida a amostra que sofreu modificação térmica equivalente a um paciente (AT01). Nos dias posteriores repetiu-se o processo obtendo-se as amostras relativas a dois (AT02), três (AT03), quatro (AT04), cinco (AT05) e seis (AT06) pacientes.

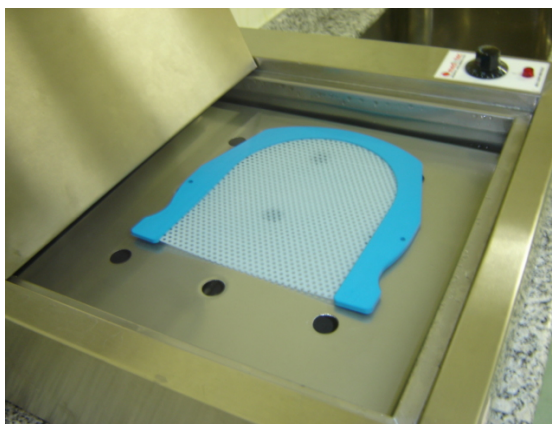


Figura 3: Imobilizador de cabeça e pescoço em banho de água na temperatura média de 70 °C para adquirir condições de moldagem no paciente

Amostras submetidas à degradação por irradiação

Os tratamentos e a irradiação das amostras foram realizados por um Acelerador Linear (Figura 4), modelo Primus, energia de fótons de 6 MV, marca Siemens, do Serviço de Radioterapia do Hospital São José de Criciúma / SC. As amostras foram irradiadas sobre *phantom* (Figura 5). Este procedimento foi realizado para simular o espalhamento que ocorre durante o tratamento no paciente, irradiando-se um campo de 15 cm x 15 cm e calculada a Dose Monitora (DM) para a profundidade de 5 cm. A dose monitora foi de 199, equivalente a fração de dose diária de 2 Gy. Este processo foi repetido por mais 34 (trinta e quatro vezes), completando a dose relativa a um paciente no total de seu tratamento, 70 Gy, onde obteve-se a amostra AI01.

Este procedimento repetiu-se para a obtenção das amostras submetidas ao efeito de radiação, relativas a dois (AI02), três (AI03), quatro (AI04), cinco (AI05) e seis (AI06) pacientes.



Figura 4: Acelerador Linear modelo Primus marca Siemens com energia de fótons 6 MV do Serviço de Radioterapia do Hospital São José de Criciúma / SC.



Figura 5: *Phantom* de acrílico com água no interior simulando corpo humano para irradiação das amostras submetidas ao efeito da radiação ionizante

Amostras submetidas a envelhecimento térmico e por irradiação – efeito conjugado

Estas amostras foram preparadas nos mesmos critérios descritos anteriormente, intercalando-se o preparo por envelhecimento térmico, exposição a radiação até dose de 70 Gy, obtendo-se a amostra equivalente ao tratamento de um paciente. Repetiu-se o procedimento por mais cinco vezes adquirindo-se as amostras relativas a dois (ATI02), três (ATI03), quatro (ATI04), cinco (ATI05) e seis (ATI06) pacientes.

3.2 Difração de Raios-X em Ângulo Largo (WAXS)

As análises foram realizadas com um equipamento de modelo RINT 2000/PC (WAXS) da marca Rigaku, do Centro Petroquímico de Pesquisa e Desenvolvimento (CEPPED) / ULBRA. Foi realizada a varredura na região de 10 ° a 60 ° com passo de 0,05 ° e com tempo de 3 s/grau, utilizando um tubo de raios-X a 40 kV e 40 mA. A radiação característica foi a linha CuK_{α} , de comprimento de onda de 1,54 Å.

3.3 Análise Termogravimétrica (TGA)

A técnica de TGA foi utilizada com o objetivo de caracterizar variações no perfil de degradação das amostras quando submetidas a aquecimento e determinar as temperaturas de início do processo de degradação. Foram utilizadas massas na faixa de 16,50 mg a 19,00 mg e as análises realizadas em atmosfera inerte de nitrogênio a uma vazão de 100 mL/min. As amostras foram aquecidas de 30 °C a 600 °C a uma velocidade de aquecimento de 20 °C/min utilizando-se o equipamento TA Instruments, modelo TGA 2050, existente no Laboratório de Polímeros da Universidade Luterana do Brasil (ULBRA).

3.4 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

A técnica de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) neste estudo foi utilizada com o objetivo de identificar o material polimérico através do seu ponto de fusão e caracterizar possíveis variações na cristalinidade entre a amostra padrão e as amostras submetidas a aquecimento, à irradiação e ao efeito conjugado de ambos. A caracterização do ponto de fusão do material neste estudo também é importante para que o protocolo de confecção dos imobilizadores individuais do Serviço de Radioterapia do HSJ seja reavaliado, uma vez que vem sendo observados problemas no manuseio do imobilizador durante a imersão no banho térmico. Amostras com massas na faixa de 7,0 a 9,0 mg foram acondicionadas em cápsulas de alumínio herméticas e analisadas a uma velocidade de aquecimento de 10° C/min em atmosfera inerte. O modelo do equipamento foi o DSC-2010 da TA Instruments, do Laboratório de Polímeros da ULBRA. A cristalinidade das amostras, através da técnica de DSC, foi calculada a partir da razão entre a entalpia de fusão da amostra em questão e a amostra que corresponderia a uma cristalinidade teórica de 100% [7].

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados os resultados experimentais e discussões, subdivididos de acordo com as diferentes técnicas e métodos utilizados.

4.1 Difração de Raios-X em Ângulo Largo (WAXS)

A Figura 6 apresenta o difratograma realizado para a amostra padrão.

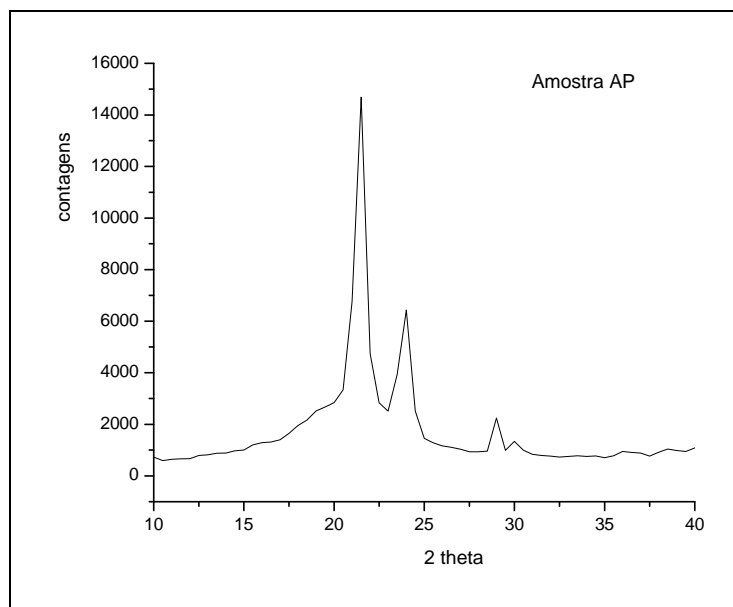


Figura 6: Difratograma da amostra padrão (amostra AP).

A análise preliminar do difratograma obtido sugere que o material polimérico utilizado nos imobilizadores de pacientes em tratamento radioterápico de câncer de cabeça e pescoço pode tratar-se do polímero poli(ϵ -caprolactona) [8]

4.2 Análise Termogravimétrica (TGA)

As Figuras 7, 8 e 9 apresentam as curvas de TGA comparativas entre o comportamento térmico da amostra padrão (AP) e o comportamento térmico das amostras submetidas previamente a envelhecimento térmico (AT06), à irradiação (AI06) e ao efeito conjugado de ambos (ATI06), respectivamente. As curvas de TGA das amostras modificadas corresponderam à reutilização do material para seis pacientes.

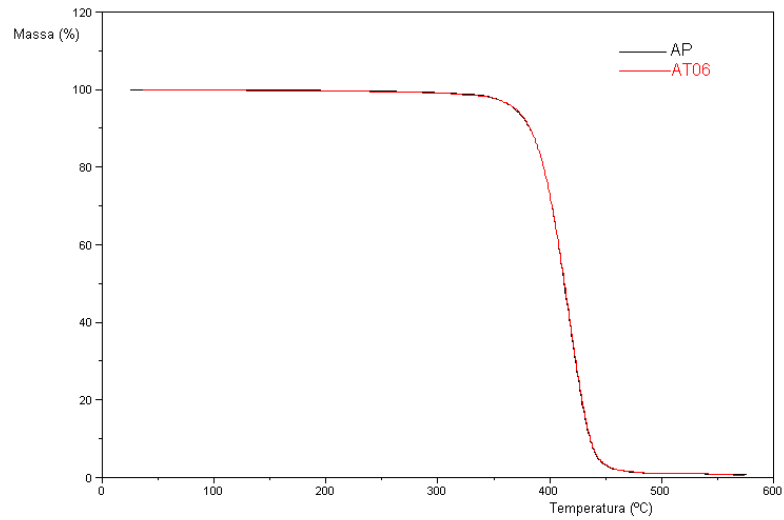


Figura 7: Curvas de TGA para a amostra padrão e para a amostra AT06 submetida à degradação térmica equivalente a 06(seis) pacientes.

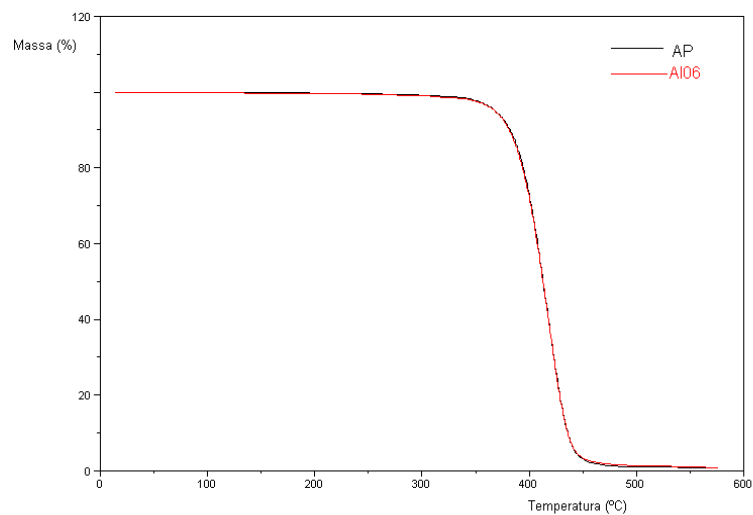


Figura 8: Curvas de TGA para a amostra padrão e para a amostra AI06 submetida à degradação por irradiação equivalente a 06(seis) pacientes.

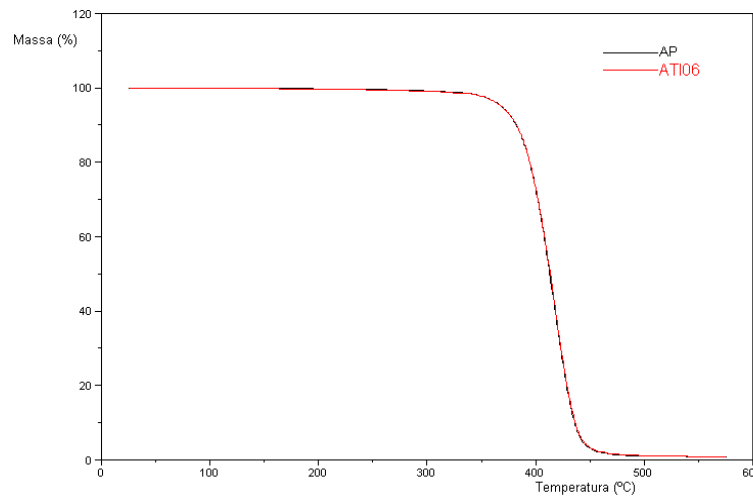


Figura 9: Curvas de TGA para a amostra padrão e para a amostra ATI06 sob o efeito conjugado da temperatura e irradiação equivalente a 06(seis) pacientes.

Os resultados de TGA demonstraram idêntico comportamento de degradação térmica entre a amostra padrão e as amostras modificadas segundo as diferentes condições empregadas. Os resultados de TGA também mostraram que o material constituinte dos imobilizadores possui estabilidade térmica até uma temperatura de aproximadamente 300 oC e que a decomposição térmica deste ocorre em uma só etapa. As amostras apresentaram variações muito pequenas nas temperaturas de degradação, obtendo-se um valor em torno de 390 oC. Estas pequenas variações entre as temperaturas de degradação da amostra padrão e amostras modificadas previamente, segundo as diferentes condições empregadas, são apresentadas na Figura 10. Na referida Figura, no eixo das abscissas, o valor “0” corresponde à amostra padrão (AP), o valor “1” ao efeito equivalente a um paciente (AT01, AI01, e ATI01), o valor “2” equivalente a dois pacientes (AT02, AI02, e ATI02), e assim sucessivamente para o equivalente a três, quatro, cinco, e seis pacientes submetidos somente ao envelhecimento térmico, ao efeito da irradiação e ao efeito conjugado de ambos.

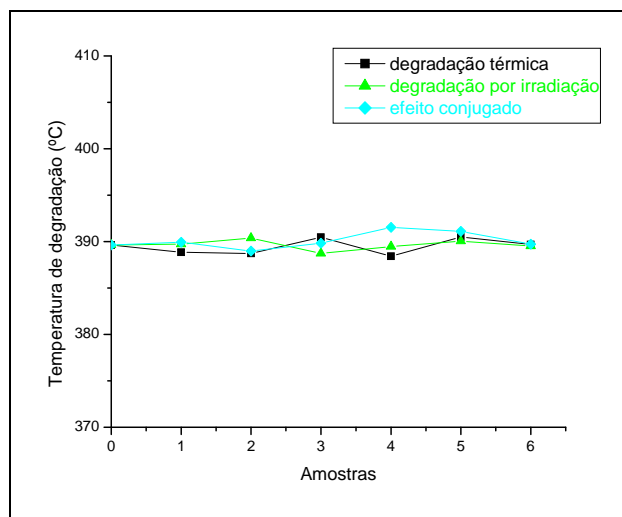


Figura 10: Variação das temperaturas de degradação das amostras submetidas a envelhecimento térmico, por irradiação e efeito conjugado de ambos em relação à amostra padrão (0 = AP).

A margem de erro das temperaturas de degradação é 0,004%

Os resultados de TGA demonstraram idêntico comportamento de degradação térmica entre a amostra padrão e as amostras modificadas segundo as diferentes condições empregadas. Os resultados de

TGA também mostraram que o material constituinte dos imobilizadores possui estabilidade térmica até uma temperatura de aproximadamente 300 °C e que a decomposição térmica deste ocorreu em uma só etapa. As amostras apresentaram variações muito pequenas das temperaturas de degradação, obtendo-se um valor em torno de 390 °C, conforme pôde ser observado na Figura 10.

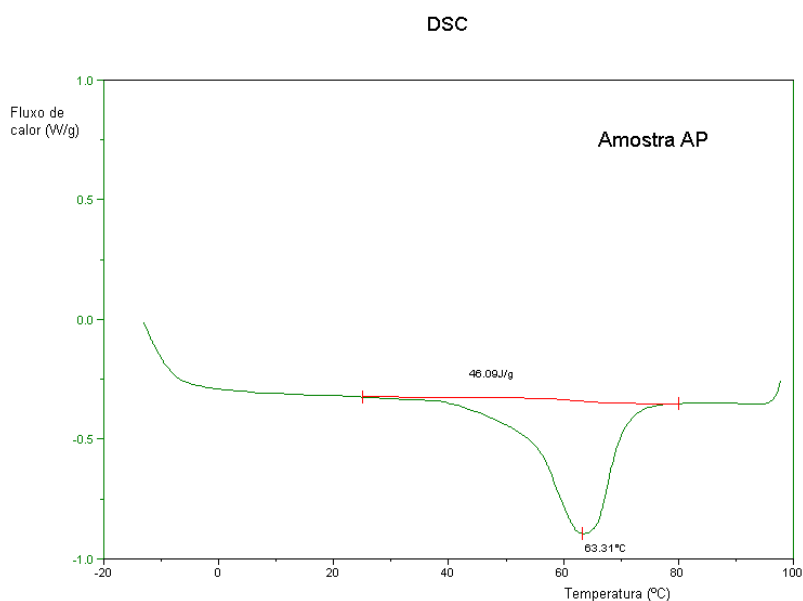
4.3 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

As análises por DSC foram realizadas para a amostra padrão e para as amostras submetidas a envelhecimento térmico, degradação por irradiação e efeito conjugado, correspondentes à reutilização dos imobilizadores para três e seis pacientes.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos das temperaturas de fusão (T_m), entalpias de fusão (ΔH_f) e valores de cristalinidade (%) para a amostra padrão e amostras submetidas a envelhecimento térmico, por irradiação e pelo efeito conjugado de ambos. O cálculo da cristalinidade do PCL teve como referência o valor de 81,6 J/g, correspondente à entalpia de fusão para o polímero considerado 100 % cristalino [7]. Na Figura 11 são apresentados os resultados obtidos pela técnica de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) definindo a temperatura de fusão (T_m) e a entalpia do material polimérico para a amostra padrão AP (a), e para a amostra submetida a efeito conjugado equivalente a seis pacientes ATI06 (b).

Tabela 1: Valores de temperatura de fusão, entalpia e cristalinidade (%), obtidos das curvas de DSC para a amostra padrão (AP) e amostras submetidas a envelhecimento térmico (AT03, AT06), irradiação (AI03, AI06) e efeito conjugado de ambos (ATI03, ATI06), correspondentes à reutilização dos imobilizadores para três e seis pacientes.

AMOSTRA	T_m (°C)	ΔH_f (J/g)	Cristalinidade (%)
AP	63,31	46,09	56,48
AT03	63,16	44,43	54,45
AT06	63,40	43,63	53,47
AI03	63,59	46,14	56,54
AI06	63,53	46,11	56,51
ATI03	63,10	44,20	54,17
ATI06	63,26	42,98	52,67



(a)

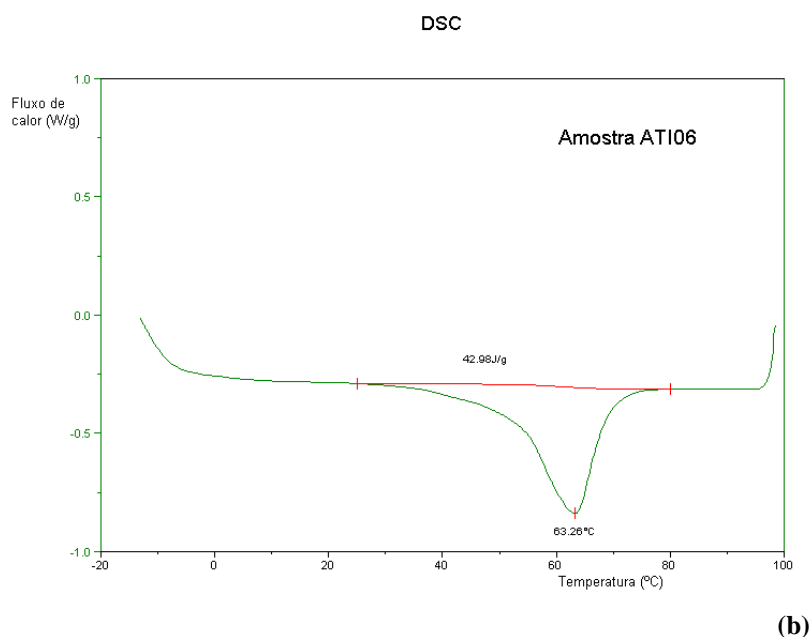


Figura 11: Resultados de DSC para as amostras (a) amostra padrão AP, e (b) amostra submetida ao efeito conjugado equivalente a seis pacientes (ATI06);

A temperatura de fusão encontrada para o material polimérico do imobilizador situou-se em torno de 63 °C que é compatível com a poli(ϵ -caprolactona) (PCL) [8,9] e ratifica a inferência feita com base no resultado obtido por difração de raios X.

Outro aspecto a considerar é a temperatura do banho térmico que vem sendo utilizada no protocolo de confecção de imobilizadores de cabeça e pescoço do Serviço de Radioterapia do HSJ, de 70 °C. Uma vez que a análise de DSC mostra que a esta temperatura o material teria quase completado a fusão, uma sugestão para minimizar os problemas de moldagem e de deformação devido à reutilização que vem sendo observados na prática seria a de alterar a temperatura do banho térmico para valores inferiores, por exemplo, 65 °C.

Em relação à cristalinidade, foi observado que esta se manteve praticamente inalterada no caso das amostras submetidas somente à irradiação. Os resultados apresentados na tabela 1 demonstram que o efeito que mais contribuiu para a diminuição de cristalinidade foi o envelhecimento térmico causado pela imersão do imobilizador em banho térmico durante cada reutilização, isoladamente ou conjugado com a irradiação. Esta diminuição não foi significativa, mas pode ser um indicativo de que o material diminui suas propriedades de resistência mecânica, uma vez que a cristalinidade é um parâmetro que pode ser correlacionado com a história térmica e mecânica do material, influenciando sua processabilidade e suas propriedades físicas e mecânicas [10-13].

5 CONCLUSÃO

O material polimérico utilizado nos imobilizadores de cabeça e pescoço do serviço de radioterapia do HSJ foi estudado através de seu difratograma de raios X e pela determinação do seu ponto de fusão pela técnica de DSC. Estes resultados permitem fazer inferência preliminar de que pode tratar-se de poli(ϵ -caprolactona)(PCL). Não foram observados efeitos de degradação significativos nos imobilizadores devido a modificações causadas pela reutilização dos imobilizadores até seis pacientes, impostas nas amostras por envelhecimento térmico, irradiação ou efeito conjugado destes, pelas técnicas de TGA, DSC e WAXS. A técnica de TGA demonstrou que o material polimérico possui estabilidade térmica até a temperatura de 300°C. Pela técnica de DSC observou-se pequena diminuição de cristalinidade para as amostras submetidas a envelhecimento térmico, e ao efeito conjugado com a irradiação, não sendo esta variação significativa, porém, pode ser um indicativo de que o material diminui suas propriedades de resistência mecânica. A temperatura de fusão obtida para o material polimérico estudado foi de aproximadamente 63°C, enquanto que a temperatura do banho térmico onde é colocado o imobilizador para que este seja posteriormente moldado à

anatomia do paciente é de 70°C, segundo protocolo do serviço de radioterapia do HSJ, o que se mostra inadequado.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Demian Fogaça pelo apoio na realização das análises de difração de raios-X no CEPED/ULBRA e a Gabriel Hoyer Lopes, pelas análises térmicas no Laboratório de Polímeros da ULBRA.

7 BIBLIOGRAFIA

- [1] BUSHONG, S. C., “*Radiologic Science for Technologists: Physics*”, Biology, and Protection, 6. ed., USA: Mosby, 1997.
- [2] SALVAJOLI, J. V., SOUHAMI, L., FARIA, S. L., *Radioterapia em Oncologia*, Rio de Janeiro: Medsi, 1999.
- [3] BENTEL, G. C., *Radiation Therapy Planning*, 2. Ed., Nova York: McGraw-Hill, 1996.
- [4] KHAN, F. M., POTISH, R. A., *Treatment Planning in Radiation Oncology*, Michigan: Williams & Wilkins, 1998.
- [5] STEEL, G. G., *Basic Clinical Radiobiology*, 2. Ed., Londres: Arnold, 1997.
- [6] CLOUGH, R. L., "High-energy radiation and polymers: A review of commercial processes and emerging applications", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, v. 185, n. 1, pp. 28-41, Dez. 2001.
- [7] CHIELLINE, E., SOLARO, R., "Biodegradable Polymeric Materials", Advanced Materials, vol 8, n. 4, pp. 305-313, 1996.
- [8] PIVELIC, S. P., CASSU, S. N., GONÇALVES, M. C.; TORRIANI, I. L., "Experiências Simultâneas de Espalhamento de Raios X e Calorimetria Diferencial de Varredura (SAXS/WAXD/DSC) com Resolução Temporal Utilizando Radiação Síncroton", Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 15, n. 3, pp. 199-206, 2005.
- [9] ROSA, D. A., PENTEADO, D. F., CALIL, M. R., "Propriedades Térmicas e Biodegradabilidade de PCL e PHB em um Pool de Fungos", Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 15, pp. 75-80, Jun. 2000.
- [10] BODOR, G. "Structural Investigation of Polymers" Ellis Horwood Series in Polymer Science and Technology, 1991.
- [11] LIMA, M. F. S., VASCONCELLOS, M. A. Z., SAMIOS, D., "Crystallinity Changes in Plastically Deformed Isotactic Polypropylene Evaluated by X-Ray Diffraction and Differential Scanning Calorimetry Methods", Journal of Polymer Science Part B - Polymer Physics, v. 40, n. 9, p. 896-903, 2002.
- [12] SANCHEZ, E. M. S.; CABRAL, L. C.; FELISBERTI, M. I., "Envelhecimento térmico do poli (tereftalato de butileno): alterações no grau de cristalinidade". In: Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, pp. 14, Águas de São Pedro, SP, 2000.
- [13] SCHNABEL, W., "Polymer Degradation: Principles and Practical Applications", New York: Hanser Publishers, 1992.