

EFEITOS DA RADIAÇÃO GAMA EM PROPRIEDADES DE PAPEL GRAU CIRÚRGICO PARA EMBALAGEM

Karina Meschini B. G. Porto¹, Sueli Ivone Borrelly², Maria Luiza Otero D´Almeida¹

¹ Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Brasil

² Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Brasil

RESUMO

Embalagens contendo produtos para saúde normalmente passam por processos de esterilização, sendo um deles o que emprega radiação gama. Neste estudo duas amostras de papel grau cirúrgico, procedentes de embalagens comerciais, uma tendo apenas fibras de coníferas e outra uma mistura de fibras de coníferas e folhosas, foram irradiadas com raios gama nas doses de 25kGy com taxa de dose de 1,57kGy/h e 50kGy com taxa de dose de 1,48 kGy/h. As propriedades mais afetadas foram alvura, pH e as de resistência mecânica, sendo o efeito causado nas propriedades mecânicas menos acentuado no caso da amostra de papel com fibras de coníferas. A dose de 50 kGy exerce um efeito sobre as propriedades do papel da ordem de 10% a 15% maior do que a dose de 25kGy, que é a usualmente empregada para esterilização.

Palavras-chave: embalagem; papel; esterilização com raios gama;

ABSTRACT

Packaging containing health products usually undergo sterilization processes, one of which employs gamma radiation. In this study two samples of surgical grade paper, coming from commercial packaging, one having only softwood fibers and the other having a mixture of softwood and hardwood fibers, were irradiated with gamma rays in the following doses 25kGy with dose rate of 1,57kGy/h and 50kGy with dose rate of 1,48kGy/h. The most affected properties were brightness, pH and the ones related to mechanical strength, with a less accentuated effect on mechanical properties of the softwood fiber paper sample. The dose 50kGy has a 10% to 15% higher effect on paper properties than the dose 25kGy, which is the one usually used for sterilization.

Key words: packaging; paper; sterilization with gamma rays

1. INTRODUÇÃO

Embalagens empregadas na área da saúde e na comercialização de alimentos exigem compatibilidade com os produtos que devem conservar. Na área de saúde, são comuns embalagens contendo produtos que passarão por processos de esterilização. Estas embalagens normalmente tem formato de envelope ou tubular, com um dos lados de papel e outro de filme termoplástico laminado, coextrusado ou não, formado pela combinação de polímeros, cuja transparência permite visualizar o produto contido na embalagem (**Figura 1**). O papel usado na confecção dessas embalagens recebe a denominação de “papel grau cirúrgico” e usualmente é manufaturado com pasta celulósica de madeira procedente de processo químico sulfato e branqueada.



Figura 1: Embalagens de papel grau cirúrgico com filme laminado (Craftsman Packaging, 2012).

As embalagens para saúde que são submetidas a processos de esterilização a fim de tratar o produto devem preencher alguns requisitos específicos, como, ser flexíveis, resistentes à violação, impermeáveis às partículas microscópicas (microrganismos e nutrientes), inertes aos produtos que elas contêm e permitir abertura asséptica, facilitando ao usuário o acesso ao seu conteúdo (Pinter, 2000; ABNT NBR 14990-8, 2004). Todas essas características devem ser mantidas após as embalagens e seus conteúdos passarem por processo de esterilização. Ainda, as embalagens devem proteger os produtos nelas contido durante o transporte, a armazenagem e o manuseio, além de permitir a identificação perfeita e garantir a esterilidade de seu conteúdo até o momento do uso, ou seja, funcionar como barreira antimicrobiana (Pinter, 2000; ABNT NBR 14990-8, 2004).

As embalagens de produtos para saúde são esterilizadas utilizando calor, produtos químicos ou radiação gama (também denominada radiação ionizante). A esterilização de produtos por radiação gama está se tornando um processo usual, principalmente no caso de produtos relacionados à saúde, sendo suas vantagens: o produto é esterilizado em ambiente completamente selado e em embalagens impermeáveis que excluem qualquer possibilidade de recontaminação; a capacidade de penetração da radiação nos lugares mais inacessíveis; processo simples e confiável; e a produção de calor é desprezível (Demertzis et al., 1999).

A radiação ionizante pode causar modificações na estrutura física e química do material com o qual interage. Essas modificações dependem da composição do material, assim como das condições em que esta irradiação está sendo feita, como, por exemplo, o tipo de atmosfera de irradiação, a dose absorvida e a taxa de dose. O efeito da radiação ionizante sobre polímeros vem sendo estudado há algum tempo (Clegg e Collyer, 1991; Goulas et al., 2003; Chapiro, 1969; O'Donnell e Sangster, 1970; Demertzis et al., 1999); porém, foram encontrados poucos trabalhos na literatura pesquisada referentes ao seu efeito sobre as propriedades do papel.

Tomazello (1994), no final da década de 1960, conduziu experiências visando estudar o efeito das radiações de alta frequência, raios ultravioleta e radiação gama em materiais bibliográficos afetados por fungos e insetos. Concluiu que o uso da radiação gama pode trazer excelentes resultados biocidas, sem apresentar resíduos de ordem química e/ou radioatividade, podendo atingir completa penetração do objeto, mas que dependendo das doses utilizadas podem ocorrer danos ao papel. Mais recentemente, D'Almeida et al. (2009) estudou o efeito da radiação gama em folhas de papel confeccionadas em laboratório usando somente pasta celulósica branqueada de eucalipto e seis doses de radiação na faixa de 3kGy a 15kGy a uma velocidade de 0,817Gy/s e observou que não ocorreram mudanças significativas nas propriedades estruturais, ópticas e de resistência do papel.

Segundo Haji-Saeid (2007), é fundamental para a engenharia de embalagens compreender os efeitos da radiação sobre os materiais para garantir a devida proteção aos produtos embalados esterilizados junto com a embalagem por radiação ionizante.

Este estudo enfoca os efeitos da radiação gama nas principais propriedades físicas e químicas do papel grau cirúrgico, empregado na confecção de embalagens de produtos para a saúde, que passarão por processos de esterilização.

2. MÉTODOS

Foram utilizados para este estudo duas embalagens comerciais distintas, uma delas composta por papel grau cirúrgico e filme plástico laminado formado pelos polímeros poliéster e polietileno, denominada de *Amostra 1*, e outra composta por papel grau cirúrgico e filme plástico laminado formado pelos polímeros poliéster e polipropileno, denominada de *Amostra 2*.

Como ensaios preliminares, efetuou-se a gramatura dos papéis das amostras, sua composição fibrosa e a verificação da presença de revestimento ou verniz em sua superfície. Para determinação da gramatura, empregou-se a norma ABNT NBR NM-ISO 536 (2000). Para determinação da composição fibrosa, empregou-se a norma ABNT NBR 14129-1 (1998), sendo o equipamento usado um microscópio Leica - DM 4000 B acoplado com câmera digital DFC 310 FX e software LAS versão 3.8.0. Para a verificação da presença de revestimento ou verniz, foram feitos espectrogramas no infravermelho por meio de um espectrofotômetro marca Agilent, com transformada de Fourier, tendo microscópio acoplado.

Corpos de prova foram retirados dos papéis que compunham as embalagens e analisados antes e depois de serem submetidos à irradiação. Para tanto, pares de corpos de prova foram extraídos de uma mesma região, sendo um deles submetido à irradiação e o outro não. A **Figura 2** exemplifica a técnica empregada, que permite resultados, do antes e do depois da irradiação livres de interferência relacionada à formação do papel.

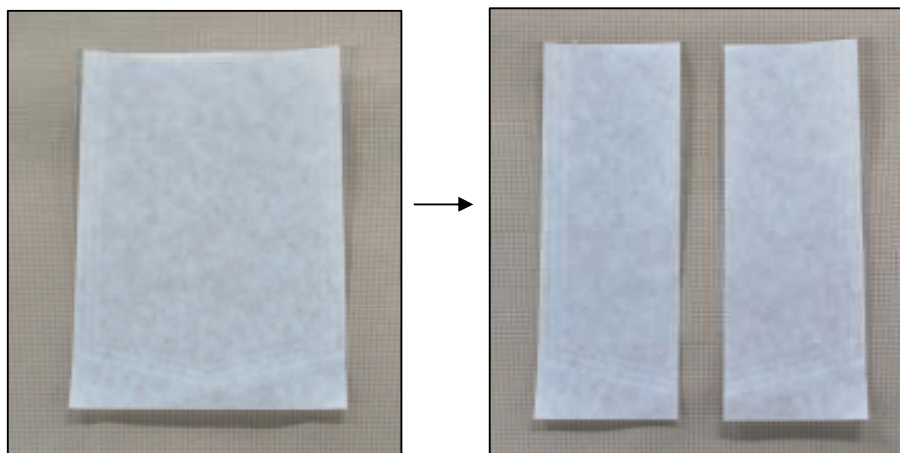


Figura 2: Preparação dos corpos de prova.

Nos corpos de prova, foram efetuadas irradiações de dose e taxa de dose indicadas na **Tabela 1**. A dose de 25kGy, nas condições empregadas, é a dose de esterilização recomendada pelos padrões internacionais e europeus (ISO 11137 e BS EN ISO 11137) para o tipo de material aqui empregado (Kowalski, 2002). A dose de 50kGy foi empregada para verificar a influência de uma dosagem maior.

Tabela 1. Dados sobre a irradiação efetuada.

Material irradiado	Dose de radiação (kGy)	Taxa de dose (kGy/h)
Embalagem	25	1,57
Embalagem	50	1,48

As irradiações foram realizadas no Centro de Tecnologia das Radiações do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), empregando um irradiador com fonte de cobalto do tipo Gamacell 220 série nº 142 (**Figura 3**).



Figura 3: Irradiador Gamacell 220 série nº 142 (12 kCi; 8,5 kGy/h).

Foram determinados nos corpos de prova, antes e depois da irradiação, os parâmetros listados na Tabela 2. Estes parâmetros são os indicados na norma ABNT NBR 14990-3 (2010), que trata da especificação de papel grau cirúrgico destinado à esterilização por radiação. Essa norma indica para cada parâmetro o requisito esperado e também o procedimento que deve ser seguido para determiná-lo, sendo que a Tabela 2 traz estas informações.

Tabela 2: Requisitos da norma ABNT NBR 14990 - Parte 3:2010.

ENSAIO	MÉTODO	REQUISITOS
Residual de corantes	ABNT NBR NM-ISO 6588 – 2:2007- item 7.2	ausente
pH do extrato aquoso obtido a quente	ABNT NBR NM-ISO 6588-2	mínimo 5 / máximo 8
Fluorescência	ABNT NBR 14990-3:2010 Anexo A	- aumento em alvura < 1% - máximo de 5 pontos fluorescentes eixo > 1 mm/ 0,01m ²
Permeância ao ar Bendtsen, em $\mu\text{m}/\text{Pa.s}$	ABNT NBR NM-ISO 14255	mínimo 0,2
Diâmetro dos poros, em μm	ABNT NBR 14990-3:2010 Anexo C	máximo para média 20 μm máximo individual 30 μm
Resistência ao rasgo, em mN - direção de fabricação - direção transversal	ABNT NBR NM-ISO 1974	mínimo 300 mínimo 300
Resistência ao arrebentamento a seco, em kPa	ABNT NBR NM-ISO 2758	mínimo 200
Resistência à tração a seco, em kN/m - direção de fabricação - direção transversal	ABNT NBR NM-ISO 1924-2	mínimo 4,0 mínimo 2,0

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

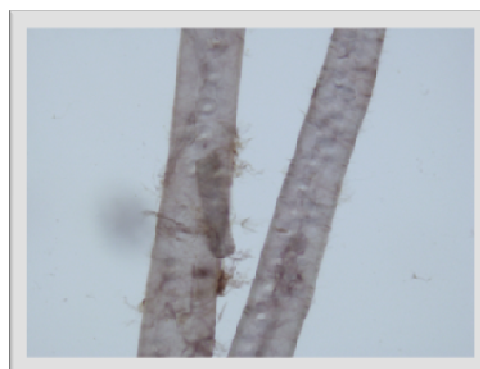
O papel grau cirúrgico da Amostra 1 possui gramatura de $(62,9 \pm 0,3)\text{g}/\text{m}^2$, e o da Amostra 2 de $(69,9 \pm 1,0)\text{g}/\text{m}^2$. Ambos foram manufaturados com pasta celulósica química branqueada, procedente do processo sulfato.

As fibras da Amostra 1 são procedentes de coníferas (pinus), enquanto as da Amostra 2 são procedentes da mistura de folhosas (eucalipto) e de coníferas (pinus). A Figura 1 traz fotomicrografias das fibras das amostras, onde se pode observar, no caso da Amostra 2, a presença de elementos de vasos característicos de uma madeira de folhosas, e, no caso da Amostra 1, a presença de pontuação areolada típicas dos traqueídeos das fibras de coníferas. As fibras de coníferas são longas (em média 3 mm) e as de folhosas curtas (em média 0,9 mm). Papéis manufaturados com fibras longas apresentam propriedades de resistência melhores do que as dos papéis fabricados com fibras curtas.

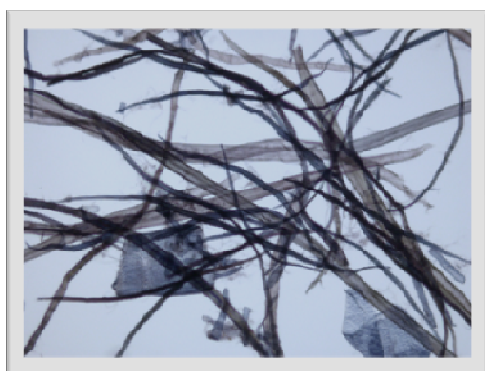
Os papéis das embalagens não têm revestimento e tampouco verniz aplicado em sua superfície, uma vez que em seus espectros no infravermelho há basicamente picos referentes apenas à celulose (**Figura 5**).



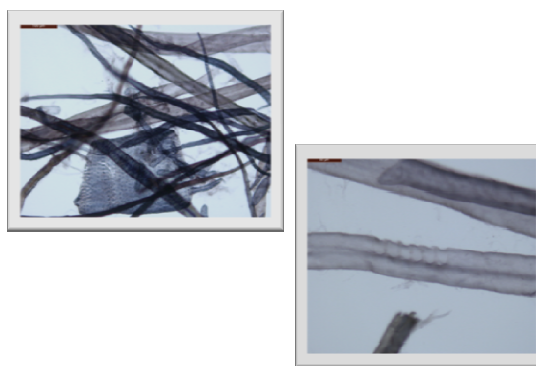
Amostra 1 - Fibras de coníferas (Pinus) - 100X
(IPT, 2012)



Detalhe da presença de pontuação areolada nas
fibras de coníferas - 200X (IPT, 2012)

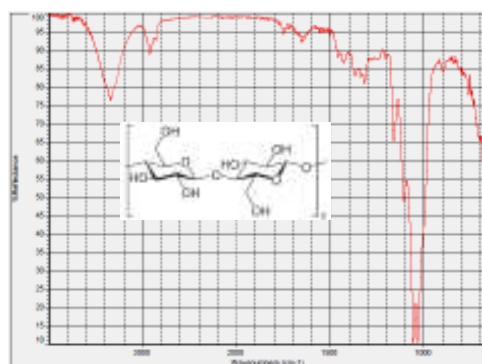


Amostra 2 - Mistura de fibras de folhosas
(Eucalypto) e de conífera - 100 X (IPT, 2012)

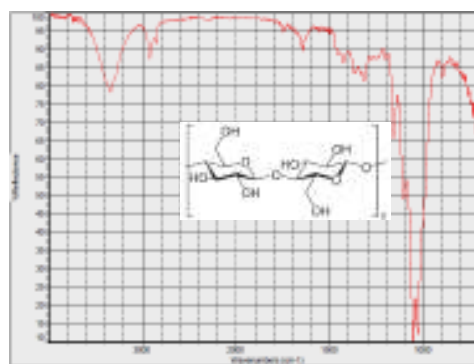


Detalhe da presença de elemento de vaso e
pontuação areolada - 200X (IPT, 2012)

Figura 4: Fotomicrografias do papel das Amostras 1 e 2.



(a)



(b)

Figura 5: Espectrogramas no IV do papel da Amostra 1 (a) e da Amostra 2 (b).

Nas **Tabela 3** e **Tabela 4** estão os resultados obtidos antes e depois da irradiação de 25 kGy e de 50 kGy, respectivamente, para os papéis das amostras estudadas.

Os resultados obtidos antes e após 25 kGy (**Tabela 3**) mostram, para ambas as amostras, que a permeância ao ar e o diâmetro dos poros são muito pouco afetados pela radiação, enquanto que os parâmetros pH, alvura, resistência ao arrebentamento, resistência ao rasgo e resistência à tração apresentaram em uma diminuição após o tratamento com dose de 25 kGy.

A resistência ao rasgo é uma propriedade que depende essencialmente da integridade da fibra, enquanto que a resistência à tração depende mais do arranjo fibroso do papel. Visto que a variação da resistência ao rasgo para ambas as amostras foi maior do que a da resistência à tração, é possível deduzir que o processo de esterilização por radiação gama afeta especialmente a fibra celulósica. A resistência ao arrebentamento é uma característica da integridade da fibra e do arranjo fibroso do papel. Para ambas as amostras, a pouca diferença obtida para os valores de permeância ao ar e diâmetro dos poros, propriedades estruturais do papel, antes e após a irradiação, reforça a consideração de que o arranjo fibroso do papel não foi afetado.

O fator de refletância difusa no azul (alvura) foi influenciado pelo tratamento por radiação, causando um amarelecimento no papel. Isto ocorreu devido à formação de grupos cromóforos específicos ou centros de cor no polímero (D'Almeida et al., 2009). No caso, foi possível observar o amarelecimento a olho nu.

Tabela 3: Influência da irradiação: 25 kGy.

Ensaio	Amostra 1		Amostra 2	
	Antes da irradiação	Após a irradiação	Antes da irradiação	Após a irradiação
Resistência ao arrebentamento a seco, kPa				
- Lado A	358,1 (37,8)	319,0 (26,3)	448,8 (35,7)	367,1 (43,6)
- Lado B	384,4 (17,4)	330,0 (16,1)	389,4 (67,0)	318,8 (27,6)
Resistência à tração a seco, kN/m				
- direção de fabricação	7,28 (0,44)	6,66 (0,30)	7,77 (0,24)	6,88 (0,43)
- direção transversal	3,79 (0,12)	3,38 (0,14)	4,02 (0,20)	3,55 (0,13)
Resistência ao rasgo, mN				
- direção de fabricação	601,7 (20,3)	484,0 (40,5)	673,6 (29,5)	549,4 (0,00)
- direção transversal	686,7 (32,8)	555,9 (29,5)	797,9 (32,0)	627,8 (0,00)
Permeância ao ar - Método <i>Bendtsen</i> , $\mu\text{m}/\text{Pa}\cdot\text{s}$	10,41 (0,34)	10,72 (0,14)	9,53 (0,44)	9,53 (0,63)
Diâmetro dos poros, μm	28,2 (3,0)	27,6 (3,1)	22,8 (3,3)	22,6 (4,1)
Residual de corantes	ausente	ausente	ausente	ausente
pH do extrato aquoso, a quente	6,25 (0,04)	5,68 (0,02)	6,08 (0,01)	5,40 (0,03)
Fator de refletância				
UV calibrado	86,04 (0,11)	79,77 (0,09)	85,36 (0,04)	80,11 (0,05)
difusa no azul (alvura), %				
UV excluído	85,68 (0,11)	79,42 (0,09)	85,09 (0,04)	79,82 (0,05)
diferença entre UV calibrado e UV excluído, em %	0,36	0,35	0,27	0,29
Fluorescência				
pontos fluorescentes	ausentes	ausentes	ausentes	ausentes

(a) Considerou-se como lado A, o lado interno da embalagem o qual entra em contato direto com o produto e, como lado B, o lado externo da embalagem.

(b) O líquido usado no ensaio de diâmetro dos poros foi o álcool etílico 99,5 %.

(c) Os números entre parênteses referem-se ao desvio padrão das determinações paralelas.

(d) Para o ensaio do fator de reflectância difusa no azul (alvura), UV calibrado significa a medida de alvura realizada com a presença do filtro UV e, UV excluído a medida sem a presença do filtro.

(e) Os resultados apresentados são média de dez determinações para os ensaios de alvura, fluorescência e diâmetro de poros; nove determinações para o ensaio de resistência à tração; seis determinações para os ensaios de resistência ao rasgo e de permeância ao ar; cinco determinações para o ensaio de resistência ao arrebentamento e três determinações para os ensaios de pH e residual de corantes.

Tabela 4: Influência da irradiação: 50 kGy.

Ensaio	PAPEL			
	Amostra 1		Amostra 2	
	Antes da irradiação	Após a irradiação	Antes da irradiação	Após a irradiação
Resistência ao arrebentamento a seco, kPa				
- Lado A	356,29 (38,73)	270,20 (14,44)	306,57 (33,70)	214,13 (17,42)
- Lado B	374,69 (32,80)	278,09 (22,56)	305,91 (21,47)	199,67 (26,12)
Resistência à tração a seco, kN/m				
- direção de fabricação	8,03 (0,40)	6,57 (0,25)	7,00 (0,32)	5,53 (0,26)
- direção transversal	3,52 (0,20)	2,96 (0,12)	3,01 (0,15)	2,61 (0,08)
Resistência ao rasgo, mN				
- direção de fabricação	543,5 (22,05)	373,37 (16,18)	628,63 (23,68)	446,85 (17,30)
- direção transversal	678,9 (22,05)	419,78 (16,18)	725,31 (19,34)	446,85 (10,59)
Permeância ao ar - Método <i>Bendtsen</i> , $\mu\text{m/Pa.s}$	11,08 (0,67)	10,77 (0,55)	8,65 (0,44)	8,65 (0,61)
Diâmetro dos poros, μm	37,4 (3,8)	41,5 (5,7)	23,2 (2,1)	25,1 (2,2)
Residual de corantes	ausente	ausente	ausente	ausente
pH do extrato aquoso, a quente	6,34 (0,09)	4,76 (0,10)	6,21 (0,04)	5,05 (0,11)
Fator de refletância UV calibrado	83,96 (0,05)	76,02 (0,08)	83,37 (0,16)	79,32 (0,11)
difusa no azul (alvura), %				
UV excluído	83,59 (0,05)	75,70 (0,09)	83,18 (0,16)	79,22 (0,12)
diferença entre UV calibrado e UV excluído, em %	0,37	0,32	0,19	0,10
Fluorescência pontos fluorescentes	ausentes	ausentes	ausentes	ausentes

- (a) Considerou-se como lado A, o lado interno da embalagem o qual entra em contato direto com o produto e, como lado B, o lado externo da embalagem.
- (b) O líquido usado no ensaio de diâmetro dos poros foi o álcool etílico 99,5 %.
- (c) Os números entre parênteses referem-se ao desvio padrão das determinações paralelas.
- (d) Para o ensaio do fator de reflectância difusa no azul (alvura), UV calibrado significa a medida de alvura realizada com a presença do filtro UV e, UV excluído a medida sem a presença do filtro.
- (e) Os resultados apresentados são média de dez determinações para os ensaios de alvura, fluorescência, resistência à tração, permeância ao ar e diâmetro de poros; cinco determinações para resistência ao rasgo e resistência ao arrebentamento; e três determinações para os ensaios de pH e residual de corantes.

Os resultados obtidos antes e após o tratamento com 50kGy (**Tabela 4**) seguem o que foi observado no caso da dose de 25kGy, ou seja, para ambas as amostras, a permeância ao ar e o diâmetro dos poros são muito pouco afetados pela radiação, enquanto que os parâmetros pH, resistência ao arrebentamento, resistência ao rasgo, resistência à tração e alvura resultaram em uma diminuição.

Os parâmetros mais afetados foram colocados na forma de gráficos (**Figura 6**), permitindo uma visualização melhor da influência da irradiação. Considerando as doses de radiação efetuadas, observa-se que a de 50kGy produz um efeito negativo da ordem de 10% a 15% maior em relação a dose de 25 kGy. As maiores quedas de resistência acontecem para a *Amostra 2*. Talvez isto possa ser explicado pelo fato do papel da Amostra 1 ser formado por fibras celulósicas de coníferas, que são longas e levam o papel a uma maior resistência mecânica e, possivelmente, a sentir menos os efeitos da radiação gama em relação ao papel formado por fibras curtas, considerando uma mesma dose de radiação.

Com relação à queda do valor de pH depois da irradiação, podem ser levantadas algumas hipóteses, a serem confirmadas. Uma delas é que a acidificação ocorre devido à ação da irradiação em aditivos presentes no papel, como agentes de colagem e outra é que ocorre uma degradação da molécula de celulose com formação de grupos ácidos.

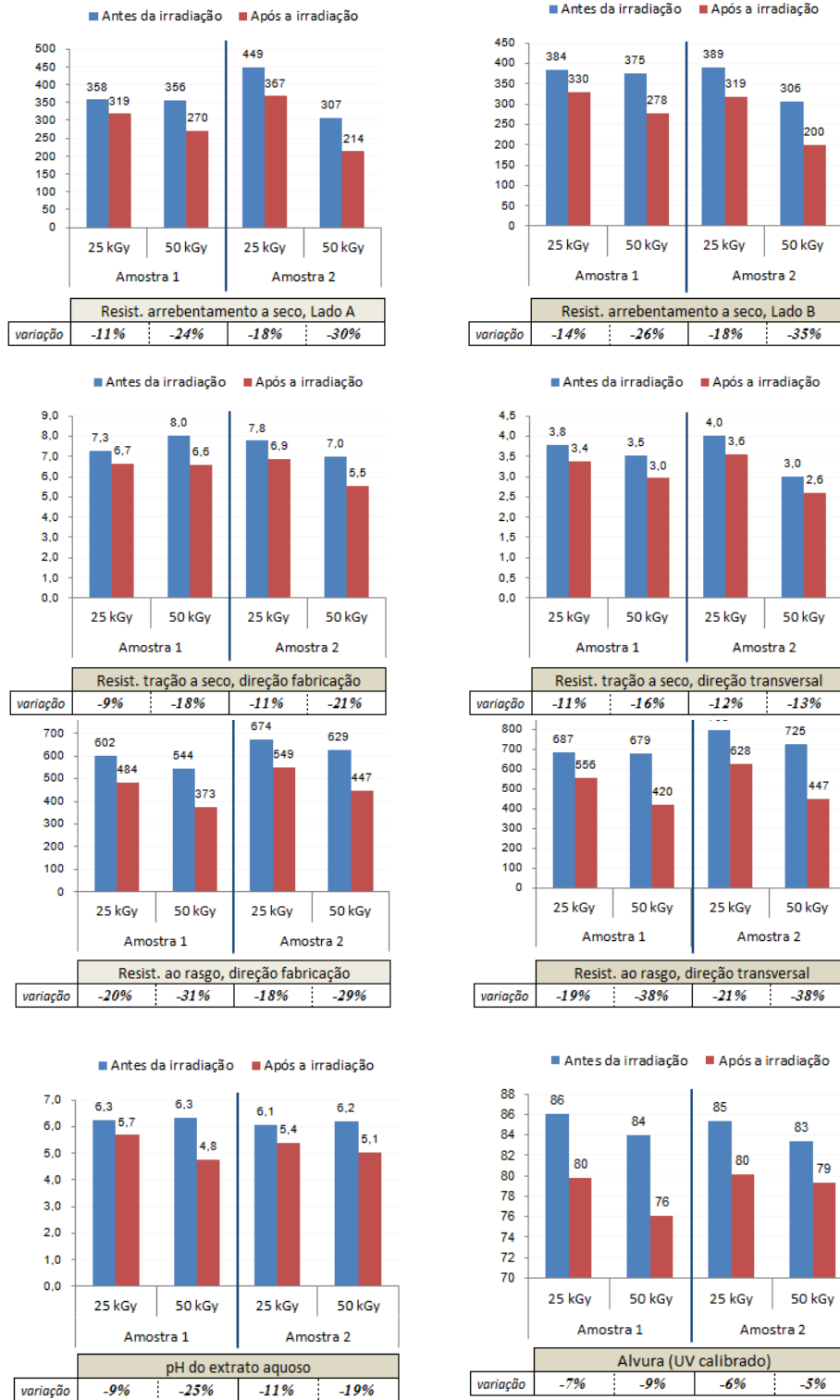


Figura 6: Gráficos dos resultados obtidos para os papéis das duas amostras de embalagem nas doses de 25 e 50 kGy.

4. CONCLUSÃO

As propriedades mais afetadas nos papéis estudados com as doses de radiações de 25kGy e 50kGy foram alvura, pH e as propriedades mecânicas de resistência ao arrebentamento, de resistência ao rasgo e de resistência à tração.

A radiação exerceu um efeito maior nas propriedades mecânicas do papel de mistura de fibras de coníferas e de folhosas (Amostra 2) em relação ao efeito causado no papel confeccionado apenas com fibras de coníferas (Amostra 1).

Apesar da maioria dos parâmetros analisados serem afetados pelas doses de radiação aplicadas, eles ainda estão em conformidade com os requisitos e especificações solicitados nas normas para as embalagens de produtos para saúde consideradas neste estudo, exceto os parâmetros diâmetro de poros, que já não estavam em conformidade com o requisito da norma antes da irradiação, resistência ao arrebentamento (somente Amostra 2) e pH (somente Amostra 1) após irradiação a 50 kGy.

A radiação de 50kGy produz um efeito negativo da ordem de 10% a 15% maior em relação à dose de 25kGy, nos parâmetros de resistência mecânica, pH e alvura.

REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 14129*. Papel, cartão e pasta celulósica - Análise de composição fibrosa - Método Geral. 1998
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 14255*. Papel e cartão - Determinação da permeância ao ar - Método Bendtsen. 1998
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 14990*. Sistemas e materiais de embalagem para esterilização de produtos para saúde - Parte 3: Papel grau cirúrgico para fabricação de embalagens para esterilização por processos de baixa temperatura. 2010
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 14990*. Sistemas e materiais de embalagem para esterilização de produtos para saúde - Parte 8: Envelope e tubular para esterilização por radiação. 2004
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR NM-ISO 536*. Papel e cartão - Determinação da gramatura. 1998
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR NM-ISO 1924-2*. Papel e cartão - Determinação das propriedades de tração - Parte 2: Método da velocidade constante de alongamento. 1998
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR NM-ISO 1974*. Papel - Determinação da resistência ao rasgo - Método Elmendorf. 1998
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR NM-ISO 2469*. Papel, cartão e pasta celulósica - Medição do fator de reflectância difusa. 2004
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR NM-ISO 2758*. Papel - Determinação da resistência ao arrebentamento. 1998
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR NM-ISO 6588-2*. Papel, cartão e pasta celulósica - Determinação do pH de extratos aquosos - Parte 2: Extração a quente. 2007
11. CHAPIRO, A. *Radiation-induced reactions*. In: Encyclopedia of Polymer Science and Technology, John Wiley. New York, v.11, p.702-760, 1969
12. CRAFTSMAN PACKAGING. *Medical Packaging*. Disponível em <http://www.primaindustriesinc.com/medical_packaging>. Acesso em 02/04/2013
13. CLEGG, D.W.; COLLYER, A.A. *Irradiation Effects on Polymers*. New York, N.Y.: Elsevier Science, 1991
14. D'ALMEIDA, M.L.O. et al. Radiation effects on the integrity of paper. *Radiation Physics and Chemistry*, v.78, n.7-8, p.489-492, Jul.-Aug. 2009
15. DEMERTZIS, P.G., FRANZ, R., WELLE, F. The Effects of γ -Irradiation on Compositional Changes in Plastic Packaging Films. *Packaging Technology and Science*, v.12, p.119-130, 1999

16. BRITISH STANDARD EUROPEAN STANDARD INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - *BS EN ISO. 11137-1*. Sterilization of health care products - Radiation - Part 1: Requirements for development, validation and routine control of a sterilization process for medical devices. 2006
17. BRITISH STANDARD EUROPEAN STANDARD INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - *BS EN ISO. 11137-2*. Sterilization of health care products - Radiation - Part 2: Establishing the sterilization dose. 2007
18. GOULAS, A.E., RIGANAKOS, K.A., KONTOMINAS, M.G. Effect of Ionizing Radiation on Physicochemical and Mechanical Properties of Commercial Multilayer Coextruded Flexible Plastics Packaging Materials. *Radiation Physics and Chemistry*, v.68, p.865-872, 2003
19. HAJI-SAEID, M., SAMPA, M.H.O., CHMIELEWSKI, A.G. Radiation treatment for sterilization of packaging materials. *Radiation Physics and Chemistry*, v.76, n.8-9, p.1535-1541, Aug.-Sept. 2007
20. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - *ISO. 11137-1*. Sterilization of health care products - Radiation - Part 1: Requirements for development, validation and routine control of a sterilization process for medical devices. 2006
21. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - *ISO. 11137-2*. Sterilization of health care products - Radiation - Part 2: Establishing the sterilization dose. 2012
22. KOWALSKI, J.B., HERRING, C., BARYSCKPOLEC, L., REGER, J., PATEL, J., FEENEY, M., TALLENTIRE, A. Field evaluations of the VD_{max} approach for substantiation of a 25 kGy sterilization dose and its application to other preselected doses. *Radiation Physics and Chemistry*, v.64, p.411-416, Aug.-Nov. 2002
23. O'DONNELL, J.H., SANGSTER, D.F. *Principles of Radiation Chemistry*. New York, N.Y.: Arnold E., 1970
24. PINTER, M.G., GABRIELLONI, M. Validação de embalagens de algodão duplo e papel grau cirúrgico - Relato de experiência. *Acta Paul Enf*, São Paulo, v.13, n. especial, Parte II, p.94-95, 2000
25. RIGANAKOS, K.A., KOLLER W.D., EHLERMANN, D.A.E., BAUER, B., KONTOMINAS, M.G., Effects of ionizing radiation on properties of monolayer and multilayer flexible food packaging materials. *Radiation Physics and Chemistry*, v.54, p.527-540, 1999
26. TOMAZELLO, M.G.C. *A aplicabilidade da radiação gama no controle de fungos que afetam papéis*. 1994. 190p. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo. 1994