Universidade de São Paulo
Faculdade de Ciências Farmacêuticas

**FUNDAMENTOS E PERSPECTIVAS DA IRRADIAÇÃO DE
ALIMENTOS VISANDO AO AUMENTO DE SUA
SEGURANÇA E QUALIDADE MICROBIOLÓGICA**

Mariza Landgraf
Tese de Livre-Docência

São Paulo

2002

Agradecimentos

Ao prof. Dirceu Martins Vizeu, o Mestre e amigo, cujo incentivo me levou ao envolvimento com a Irradiação de Alimentos;

Aos meus alunos Andréia F. dos Santos, Rodolfo R. O. Chirinos, Mariana Del Bem Mayer, Maria Luz Garcia Moreno, Myoko Jakabi, Dory Worcman-Barninka, pois sem eles este trabalho não teria sido escrito;

Às minhas amigas profas. Bernadette D.G.M. Franco e Maria Teresa Destro, pela força e carinho, sempre dispostas a colaborar;

À profa. Deise Pasetto Falcão grande amiga e incentivadora de primeira hora;

Às minhas alunas Paula Marques, Ângela Froehlich, Vanessa Vieira, Juliana Sato e Cecília Geraldís Martins, pelo apoio;

Ao prof. Franco M. Lajolo, responsável pela minha vinda para a USP, sempre disposto a me ouvir;

Aos profs. Beatriz Cordenunsi, Marina B. Martinez e João Roberto do Nascimento, pela amizade;

A Lúcia e Kátia, pelo apoio, colaboração e ajuda constante no laboratório;

A Isabel pela ajuda com a informática e outras mais;

A Ângela e Mônica, pela colaboração;

Ao pessoal da EMBRARAD, SADIA, IPEN e Instituto Adolfo Lutz, sempre dispostos a colaborar;

Aos colegas do Departamento de Alimentos e Nutrição Experimental da Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo;

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste trabalho

A FAPESP, CAPES e CNPq, pelas bolsas e financiamentos.

“A luta contra o erro tipográfico tem algo de homérico. Durante a revisão os erros se escondem, fazem-se positivamente invisíveis. Mas assim que o livro sai, tornam-se visibilíssimos, verdadeiros sacis a nos botar a língua em todas as páginas. Trata-se de um mistério que a ciência ainda não conseguiu decifrar...”

Monteiro Lobato

ÍNDICE

PREFÁCIO	01
INTRODUÇÃO	
Histórico	12
Referências Bibliográficas	18
IRRADIAÇÃO E OS ALIMENTOS	
Fundamentos da Irradiação	20
Alterações químicas e nutricionais causadas pela irradiação	24
Referências Bibliográficas	30
IRRADIAÇÃO E OS MICRORGANISMOS	
Introdução	32
Fatores que influenciam a inativação dos microrganismos pela radiação gama	33
1 – Influência do tipo de microrganismo	35
2 – Influência da natureza e extensão do dano direto na estrutura do DNA do microrganismo	42
3 – Influência da fase de multiplicação	43
4 – Influência do conteúdo de água do meio	44
5 – Influência da composição do meio	45
6 – pH	48
7 – Influência da composição atmosférica	49
8 – Influência da temperatura	50
Referências Bibliográficas	53
EFEITOS DA IRRADIAÇÃO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS SENSORIAIS DO ALIMENTO E DA VIDA ÚTIL DO PRODUTO	
Referências Bibliográficas	61 69
COMBINAÇÃO DE MÉTODOS, INCLUINDO A IRRADIAÇÃO, PARA AUMENTAR A SEGURANÇA E A QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DOS ALIMENTOS	
Referências Bibliográficas	72 79
IRRADIAÇÃO E O CONSUMIDOR	
Referências Bibliográficas	82 84
PERSPECTIVAS PARA O EMPREGO DA IRRADIAÇÃO NA CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS	
	85
ANEXO 1	

PREFÁCIO

As doenças transmitidas por alimentos (DTAs) talvez sejam o problema de saúde mais evidente no mundo contemporâneo, devido à emergência de novos microrganismos patogênicos, à re-emergência de outros e ao desenvolvimento de novos produtos alimentícios. São, também, uma importante causa de redução na produtividade econômica. A incidência das DTAs vem aumentando em decorrência de diversos fatores, entre eles, mudanças no estilo de vida da população ocidental, a qual tem dedicado um menor tempo no preparo de suas refeições, preferindo consumir alimentos prontos para o consumo; o modismo representado pela preferência por alimentos crus ou minimamente processados que apresentam características próximas às dos “in natura”; o aumento na população considerada de risco formada por idosos, grávidas, indivíduos imunocomprometidos; e, também, o aparecimento de novos microrganismos patogênicos nos últimos 25 anos.

Segundo dados disponíveis no Instituto Panamericano de Protección y Zoonosis, ocorreram, no Brasil, 518 surtos de doenças transmitidas por alimentos, com 17.265 casos e 5 mortes, entre 1995 e 2001 (FRANCO *et al*, 2002). Nos Estados Unidos, as estimativas são de que ocorram 76 milhões de casos, 323 mil hospitalizações e 5.200 mortes por ano (MEAD *et al.*, 1999). Tanto os dados do Brasil como os dos Estados Unidos estão bem aquém dos reais, devido à falta de notificação de todos os casos e/ou falhas nas investigações de surtos (HUSS, 1997). Apesar de, no Brasil, não haver dados sobre as perdas econômicas decorrentes dessas DTAs, sabe-se que são de

grande monta, pois devem ser computados, além dos gastos médicos e hospitalares, a perda de produtividade por falta ao trabalho e os gastos com o item lazer, que deixa de ser desfrutado, entre outros. Nos Estados Unidos, as estimativas de gastos com o custo médico e a perda de produtividade somente por DTAs com agente bacteriano atingem cifras de US\$ 6 bilhões/ano (ALTENKRUSE *et al.*, 1997). Outro aspecto a ser considerado são os gastos advindos dos chamados “recalls”. Esses “recalls”, principalmente nos Estados Unidos, são consequência da presença ou suspeita de presença de bactérias consideradas “adulterantes” pelo Food and Drug Administration (FDA) e United States Department of Agriculture (USDA), no produto alimentício em pontos de comercialização (LOAHARANU, 2001). Quando isso ocorre, os produtores são multados e obrigados a recolher todo o lote adulterado. Com isso, milhões de dólares são gastos pela indústria, provocando, muitas vezes, a sua falência. As bactérias consideradas “adulterantes” pelo FDA e USDA são *Escherichia coli* O157:H7 em carne bovina, inclusive hambúrgueres, e *Listeria monocytogenes* em embutidos e outros pratos prontos para o consumo .

A deterioração dos alimentos é outro fator importante atualmente. Segundo a Food Agriculture Organization (FAO), as perdas com alimentos atingem, no mundo, 10% dos grãos e legumes, 50% dos vegetais, frutas e outros produtos e 35% dos pescados desidratados (KARFENSTEIN, 2000).

Embora o risco de contaminação dos alimentos seja alto em toda a cadeia produtiva, os perigos presentes naqueles que são consumidos crus, nos prontos para consumo (“ready-to-eat”) ou mesmo nos mal-cozidos são uma

grande preocupação para as autoridades responsáveis pela saúde pública, porque, na maioria das vezes, não existe nenhuma etapa de descontaminação entre a contaminação e o consumo desses alimentos.

Na ânsia de diminuir o perigo representado por microrganismo que possa ser veiculado pelos alimentos e, paralelamente, prolongar a vida de prateleira dos seus produtos, visando a maior ganho econômico durante a comercialização, as indústrias de alimentos muitas vezes adotam processos tecnológicos recém desenvolvidos e que não foram suficientemente avaliados pela comunidade científica. Esta insuficiência de dados científicos não ocorre com o processo de irradiação de alimentos.

Talvez nenhum outro processo tecnológico tenha sido tão estudado e avaliado quanto a irradiação. Apesar de as bases científicas e seus mecanismos de ação já estarem totalmente compreendidos pela comunidade científica e as agências internacionais reguladoras considerarem-na um processo tradicional, a grande maioria das indústrias de alimentos ainda teme a sua implementação na linha de processamento.

No Brasil, os trabalhos de pesquisa estão sendo realizados em diversos centros de pesquisa. Entretanto, ainda são poucos aqueles que estudam os aspectos microbiológicos do alimento irradiado e as consequências advindas do emprego dessa tecnologia nos atributos sensoriais dos alimentos.

Reconhecendo essa lacuna e tentando preenchê-la, várias pesquisas foram e continuam sendo desenvolvidas em nosso laboratório, abordando a irradiação, com o objetivo de aumentar a segurança e a qualidade

microbiológica dos alimentos, sem provocar alterações significativas nos seus atributos sensoriais. Por isso, contribuindo para esse conhecimento, compilamos nossos trabalhos sobre o tema, focando, principalmente, *Salmonella*, *Vibrio parahaemolyticus* e *Escherichia coli* O157:H7 e microrganismos deteriorantes que interferem na vida de prateleira de alimentos.

Salmonella sp. ocupa lugar de destaque entre os agentes causadores de DTA em todos os países. Além disso, é, até hoje, o maior problema para a indústria de carne de aves. O Brasil, importante país exportador desse produto, tem o maior interesse na utilização de tecnologias que eliminem ou reduzam a população desse patógeno. Outro alimento, importante veículo transmissor desse microrganismo, é a ostra, principalmente devido à falta de saneamento básico na maioria das nossas cidades litorâneas.

Salmonella sp. está amplamente distribuída na natureza e o trato intestinal do homem e dos animais é o seu principal reservatório natural. Entre os animais, as aves são o reservatório mais importante. Como portadores, excretam continuamente a bactéria pelas fezes e podem causar contaminações cruzadas consideráveis nos abatedouros de aves.

As doenças causadas por *Salmonella* podem ser subdivididas em dois grupos: febres entéricas causadas por *Salmonella* Typhi e *S. Paratyphi* (A, B e C) e as enterocolites, causadas pelos demais sorotipos (D'AOUST *et al.*, 2001).

Normalmente, as febres entéricas acometem só o homem. Suas vias de transmissão são água e alimento contaminados. Os sintomas, que aparecem entre 7 e 28 dias após a infecção, são mal estar, anorexia, dor de cabeça, tosse

seca e dores abdominais acompanhados por febre alta. A constipação intestinal é mais freqüente do que a diarreia, podendo ocorrer erupção na pele; é uma doença grave. O indivíduo pode tornar-se portador, excretando o microrganismo durante meses ou anos (D'AOUST *et al.*, 2001).

Os sintomas da salmonelose ou gastroenterite aparecem após 12 – 36 horas do consumo do alimento e se manifestam por dor abdominal, diarreia, vômito e febre. O período de incubação varia em função da quantidade de células viáveis ingeridas e do sorotipo envolvido. Podem ocorrer infecções extra-intestinais que incluem septicemia, eritema nodoso, meningite, osteomielite, pneumonia, pielonefrite, cistite, endocardite e outras (D'AOUST *et al.*, 2001).

Os vibrios são microrganismos presentes em estuários e águas marinhas, especialmente em áreas quentes, e podem ser encontrados em peixes e moluscos. Concentram-se no trato intestinal de moluscos filtradores, como mariscos e ostras, aos quais aderem e onde se multiplicam, tornando-se resistentes à depuração e ficando protegidos da ação de desinfetantes (TAMPLIN e CARPERS, 1992).

Os sintomas causados por esse microrganismo são diarreia (predominante), câimbras abdominais, náusea e vômito. O período de incubação é de 9 a 24 horas, embora sintomas possam aparecer de 2 a 96 horas após o consumo de alimento contaminado (OLIVER e KAPER, 2001).

Escherichia coli O157:H7 pertence ao grupo das *Escherichia coli* enterohemorrágicas (EHEC). Esses microrganismos foram incriminados em

surto de doença transmitida por alimentos, pela primeira vez, em 1983 (RILEY et al., 1983).

As manifestações clínicas desencadeadas por essa bactéria incluem diarreia, colite hemorrágica, síndrome hemolítica urêmica e púrpura trombótica trombocitopênica (MENG et al., 2001).

Os sintomas de colite hemorrágica são câimbras abdominais seguidas, após 1 a 2 dias, por diarreia não sanguinolenta que progride para sanguinolenta. A síndrome hemolítica urêmica afeta principalmente crianças e é a principal causa de falência renal aguda infantil (MENG et al., 2001). A púrpura trombótica trombocitopênica afeta principalmente adultos. É acompanhada por anormalidades neurológicas resultantes de coágulo sangüíneo no cérebro (MENG et al., 2001).

No Brasil, não há relato de casos de colite hemorrágica, ou uma de suas complicações, causados por *Escherichia coli* O157:H7, embora tenha sido isolada de fezes de gado leiteiro. Mesmo assim, consideramos oportuna sua inclusão em nossos estudos, pois nos países vizinhos como Chile e Argentina, ela é isolada de carnes e responsável por casos de síndrome urêmica hemolítica.

Neste texto, foram compilados e avaliados os trabalhos realizados nos últimos 7 anos que abrangeram o estudo sobre a radiosensibilidade de *Salmonella* sp., *Escherichia coli* O157:H7 e de *Vibrio parahaemolyticus* em diferentes substratos, estudos sobre a vida de prateleira de camarão irradiado e sobre a influência da combinação de irradiação com outros processos

tecnológicos (embalagem em atmosfera modificada, refrigeração, congelamento) na qualidade da carne bovina. Esses estudos foram acompanhados de avaliações da interferência da irradiação nas características sensoriais dos alimentos.

As pesquisas tiveram lugar no laboratório de Análises Microbiológicas de Alimentos do Departamento de Alimentos e Nutrição Experimental da Faculdade de Ciências Farmacêuticas da USP, em colaboração com a EMBRARAD (Empresa Brasileira de Radiação), o Laboratório de Análise Sensorial da Sadia S/A, o Instituto de Pesquisa de Energia Nuclear (IPEN/CNEN) e as Seções de Microbiologia Alimentar e Análise Sensorial de Alimentos do Instituto Adolfo Lutz da Secretaria da Saúde do Estado de São Paulo.

A execução desta compilação foi baseada em dados da literatura e naqueles obtidos nos seguintes trabalhos:

Chirinos, R. R. O.; Vizeu, D. M.; **Landgraf, M.** Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 in hamburgers with gamma irradiation. *In*: Tuijelaars, A.C.; Samson, R.A.; Rombouts, F.M.; Notermans, S. (ed.) ***Food Microbiology and Food Safety into the next millennium***. Proceedings of the 17th International Symposium of the International Committee on Food Microbiology and Hygiene (ICFMH) , Veldhoven, The Netherlands, 13-17 September, cap. 11: Cleaning and Decontamination, pág. 787-789, 1999.

Chirinos, R. R. O.; Vizeu, D. M.; Destro, M. T.; Franco, B. D. G. M.; **Landgraf, M.** Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 in hamburgers with gamma irradiation. ***Braz. J. Microbiol.***, 33, 2002 (no prelo).

Santos, A. F.; Vizeu, D. M.; Destro, M. T.; Franco, B. D. G.; **Landgraf, M.** Determinação da dose de radiação gama para reduzir a população de *Salmonella* spp. em carne de frango. **Ciênc. Tecnol. Alimentos**, Campinas, (aceito para publicação).

Jakabi, M.; Gelli, D. S.; Torre, J. C. M. D.; Rodas, M. A. B.; Franco, B. D. G. M.; Destro, M. T.; **Landgraf, M.** Influence of ionizing radiation on *Salmonella* Enteritidis, *Salmonella* Infantis and *V. parahaemolyticus* internalized in oysters. Enviado para **J. Food Prot.**

MORENO, M. L. G. Avaliação do efeito combinado do processo de irradiação e da embalagem em diferentes atmosferas na qualidade microbiológica e sensorial de carne bovina (*Longissimus dorsi*) fresca refrigerada e congelada. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências Farmacêuticas. 2001. 133p.

MAYER, M. D. B. Alterações microbiológicas, físico-químicas e sensoriais durante a vida útil do camarão-rosa (*Penaeus brasiliensis* e *Penaeus paulensis*) submetido à radiação gama. 2001, 89p. (Tese de Mestrado - Faculdade de Ciências Farmacêuticas).

Referências Bibliográficas

- ALTENKRUSE, S.F., COHEN, M.L., SWERDLOW, D.L. Perspective emergency foodborne diseases. **Emerging Infect. Dis.**, Atlanta, v.3, n.4, p.1-13, 1997.
- D'AOUST, J.Y., BAILEY, J.S., MAURER, J. *Salmonella* species. In: DOYLE, M.P., BEUCHAT, L.R., MONTVILLE, T.J., eds. **Food microbiology: fundamentals and frontiers**. Washington: ASM, 2001. p.141-178.
- FRANCO, B.D.G.M.; LANDGRAF, M.; DESTRO, M.T.; GELLI, D.S. Foodborne diseases in Southern South America. In: Miliotis, M. **International Handbook of Foodborne Pathogens**, New York: Marcel Dekker Inc., 2002, no prelo.
- HUSS, H.H. Control of indigenous pathogenic bacteria in seafood. **Food Control**, Amsterdam, v.8, n.2, p.91-98, 1997.
- KAFERSTEIN, F. Food irradiation: an underutilized public health technology. Food Irradiation 2000. Arlington: Virginia, USA. april. 3-5, 2000.
- LOAHARANU, P. Rising calls for food safety: radiation technology becomes a timely answer. IAEA Bulletin, Viena, v.43, p.37-42, 2001.
- MEAD, P.S., SLUTSKER, L. DIETZ, V., McCAIG, L.F., BRESEE, C., SHAPIRO, C., GRIFFIN, P.M., TAUXE, R.V. Food-related illness and death in the United States. **Emerging Infect. Dis.**, Atlanta, v.5, n.5, p.607-625, 1999.
- MENG, J., DOYLE, M.P., ZHAO, T., ZHAO, S. Enterohaemorrhagic *Escherichia coli*. In: DOYLE, M.P., BEUCHAT, L.R., MONTVILLE, T.J., eds. **Food microbiology: fundamentals and frontiers**. Washington: ASM, 2001. p.193-213.
- OLIVER, J.D., KAPER, J.B. *Vibrio* species. In: DOYLE, M.P., BEUCHAT, L.R., MONTVILLE, T.J., eds. **Food microbiology: fundamentals and frontiers**. Washington: ASM, 2001. p.263-300.
- RILEY, L.W., REMIS, R.S., HELGERSON, S.D., McGEE, H.B., WELLS, J.G., DAVIS, B.R., HEBERT, R.J., OLCOTT, E.S., JOHNSON, L.M., HARGRETT, N.T, BLAKE, P.A., COHEN, M.L. Hemorrhagic colitis associated with a rare *Escherichia coli* serotype. **New Engl. J. Med.**, Waltham, v. 308, n.12, .681-685, 1983.
- TAMPLIN, M.L., CAPERS, G.M. Persistence of *Vibrio vulnificus* in tissues of Gulf Coast oysters, *Crassostrea virginica*, exposed to seawater disinfected with UV light. **Appl. Environm. Microbiol.**, Washington, v.58, n.5,p.1506-1510, 1992.

INTRODUÇÃO

Histórico

O emprego da irradiação ionizante na área alimentícia foi proposta considerando aspectos da conservação dos alimentos. O primeiro documento na área sobre essa tecnologia data de 1905, quando, no Reino Unido, J. Apfleby e A. J. Banks patentearam-na sob nº 1609. Foi proposto o tratamento dos alimentos, principalmente cereais e seus produtos, com raios alfa (α), beta (β) e gama (γ) provenientes de rádio ou outras substâncias radioativas. O fato de seu emprego tornar desnecessário o uso de substâncias químicas na conservação de alimentos foi considerado marcante na nova tecnologia. Porém, as preparações com rádio, sugeridas como fonte de radiação, não existiam em quantidade suficiente para a irradiação comercial de alimentos (DIEHL, 1990).

Quinze anos após essa primeira investida, em 1920, Schwartz, do United State Department of Agriculture (USDA) Bureau of Animal Industry, sugeriu o uso de raio-X para inativar o parasita *Trichinella trichinae* em carne de porco. Entretanto, persistia o problema de insuficiência de material para ser usado como fonte na irradiação comercial de alimento (DIEHL, 1990).

Em 1930, na França, Würst patenteou sua invenção, assim descrita por ele: "Todos os alimentos acondicionados em embalagens metálicas são submetidos à ação de raios X (alta voltagem) para destruir bactérias". Contudo, a patente nunca foi colocada em prática, provavelmente devido à indisponibilidade de grandes fontes de radiação que viabilizassem comercialmente o processo (DIEHL, 1990).

Somente nos anos 40, após a Segunda Guerra Mundial, essas fontes tornaram-se viáveis, tornando possível reduzir os custos do processo. Em 1947, o interesse pelo assunto voltou à tona graças à publicação sobre o assunto de BRASCH e HUBER (1947), co-inventores de um acelerador de elétrons pulsante, o Capacitron. Para eles, as carnes e outros produtos alimentícios poderiam ser esterilizados por pulsos de elétrons de alta energia, enquanto em outros produtos, como leite e seus derivados, o desenvolvimento de sabores e aromas estranhos impedia o seu uso. Já nessa época foi sugerida a retirada do oxigênio da embalagem para minimizar o problema. Esses pesquisadores foram mais além ao considerarem o parâmetro custo - benefício: “a irradiação não elevará o preço final do produto”. Outros estudos foram desenvolvidos no Massachusetts Institute of Technology (MIT), Estados Unidos, na mesma época. Esses estudos serviram como base para a revisão sobre o tema realizada por PROCTOR e GOLDBLITH (1951), que concluíram que a irradiação com nêutrons produz radioatividade no alimento. O uso de raios ultravioleta (UV) e partículas α foi descartado devido ao baixo poder de penetração e os raios X, em consequência da baixa eficiência das máquinas geradoras. Portanto, sobraram apenas os aceleradores de elétrons, então denominados raios catódicos. Os raios gama de isótopos radioativos não chegaram a ser mencionados, provavelmente porque não havia isótopos adequados, como ^{60}Co e ^{137}Cs , em quantidade comercial.

Foi nessa época que, nos Estados Unidos, o Programa “Atoms for Peace” sob coordenação da United States Atomic Energy Commission (USAEC), atual

Atomic Energy Department, financiou diversas pesquisas com raios gama nas universidades americanas. Primeiramente, esses raios eram fornecidos por combustível exaurido de reatores nucleares. Mas, por problemas relacionados com a dosimetria, as instituições acadêmicas passaram a ser supridas com fontes de ^{60}Co . Entre elas, na década de 50, podem ser citados o MIT, University of California, Davis, University of Washington, Seattle, e, já nos anos 60, a University of Florida, Gainesville (DIEHL, 1990).

Ainda na década de 60, outros laboratórios para a pesquisa em irradiação de alimentos foram construídos em Gloucester e em Natick, Massachusetts, e em Savannah, Georgia. Na época, o uso dessa tecnologia foi aprovado pelo governo americano para o controle de insetos em trigo e farinha de trigo e para aumentar a vida de prateleira de batatas (DIEHL, 1990).

A partir do sucesso dos experimentos nos Estados Unidos, outros países também começaram a estudar o tema. Já no início da década de 50, no Reino Unido, pesquisas estavam sendo realizadas no Low Temperature Research Station em Cambridge e no Wantage Research Laboratory do Atomic Energy Research Establishment. Na mesma época, programas de âmbito nacional sobre a irradiação de alimentos estavam em andamento na Bélgica, Canadá, França e Holanda.

O primeiro relato do uso comercial da irradiação de alimentos data de 1957. Na antiga República Federal da Alemanha, o processo foi utilizado durante dois anos para melhorar a qualidade higiênica de especiarias, com o

emprego de um gerador de elétrons Van der Graaf. No entanto, uma nova legislação proibiu o tratamento de alimentos por essa tecnologia.

No Canadá, em 1960, foi permitida a irradiação de batatas para impedir a germinação. Utilizava-se uma fonte de ^{60}Co , desenhada para processar aproximadamente 15.000 toneladas/mês. A fábrica funcionou durante uma safra, fechando em seguida por motivos econômicos (MASEFELD e DIETZ, 1983).

Em 1966, realizou-se em Karlsruhe, Alemanha, o Primeiro Simpósio Internacional sobre Irradiação de Alimentos, organizado pela International Atomic Energy Agency (IAEA), no qual representantes de 28 países revisaram as pesquisas realizadas (GOLDBLITH, 1966). Porém, mesmo nos países com pesquisas mais avançadas, as autoridades responsáveis pela saúde pública ainda hesitavam na liberação da comercialização dos alimentos irradiados. Nessa época, apesar de Canadá, Estados Unidos e a antiga União Soviética terem liberado cinco produtos alimentícios tratados com radiação, nenhum deles era comercializado.

A década de 70 foi dedicada às pesquisas toxicológicas para comprovar a inocuidade dos alimentos irradiados, uma vez que esse era o aspecto mais questionado. Os projetos foram desenvolvidos em 24 países sob a coordenação de um Comitê formado pela International Atomic Energy Agency (IAEA/Viena), Food Agriculture Organization (FAO/Roma) e Organization for Economic Cooperation (OEC/Paris) e teve como órgão consultivo a Organização Mundial da Saúde (OMS). Após intensivos estudos, que envolveram, além de testes químicos, experimentos com animais alimentados com farinha de trigo, batata,

arroz, pescados marinhos, mangas, especiarias, grãos de cacau, legumes e tâmaras secas, todos previamente irradiados, o Comitê concluiu, em novembro de 1980, “que a exposição de qualquer produto alimentício a doses de até 10 kGy não apresenta perigo toxicológico; portanto, testes toxicológicos com alimentos assim tratados não são mais necessários” (WHO, 1981).

Todavia, como nos Estados Unidos esse processo é considerado um aditivo alimentício, o seu uso em qualquer produto só é aprovado pela Food and Drug Administration (FDA) após exaustivos estudos quanto à segurança radiológica, toxicológica e microbiológica, além dos aspectos nutricional e legal (Pauli e Tarantino, 1995). Atualmente, o FDA já considera aprovada a irradiação de condimentos e especiarias secas, de carne de porco para controle de *Trichinella trichinae*, de frutas e vegetais para controle de insetos e amadurecimento de frutas e, em aves, para eliminar bactérias, principalmente *Salmonella* (PAULI e TARANTINO, 1995, DERR, 1996).

Desde a aprovação, em 1980, pelo Comitê formado pela FAO/IAEA/OMS, o número de países com regulamentação sobre o emprego desse processo tem aumentado e, dos mais de 40 que já o aprovaram, 30 o utilizam para fins comerciais (IAEA, 2001).

Novo impulso foi dado ao emprego da irradiação de alimentos na década de 90, nos Estados Unidos, devido a surtos de DTAs, causados por *Escherichia coli* O157:H7, considerados desastrosos para as indústrias de carne. Com a aprovação da irradiação de carnes vermelhas pelo FDA em 1997 e pelo USDA em 1999, o interesse por essa tecnologia aumentou ainda mais (FDA, 1997;

USDA, 1999). Já em 1996, foi solicitado junto ao FDA, a regulamentação do uso em ovos e frutos do mar, principalmente ostras (DERR, 1996), mas ainda não aprovada.

No Brasil, a primeira legislação sobre o emprego da radiação ionizante como processo de conservação foi estabelecida através do Decreto-Lei nº 72.718, de 29 de agosto de 1973. As portarias nº 09 de 8 de março de 1985 e nº 30 de 25 de setembro de 1989, aprovadas posteriormente pela Divisão de Vigilância Sanitária de Alimentos, foram revogadas pelo Resolução RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Essa legislação é considerada a mais avançada na área, internacionalmente. Tendo como base as conclusões a que chegou o grupo de estudo formado pela FAO/IAEA/WHO (WHO, 2001), a legislação brasileira aprova o uso da radiação em qualquer alimento com qualquer dose, desde que sejam observadas as seguintes condições: a) a dose mínima absorvida deve ser suficiente para alcançar a finalidade pretendida; b) a dose máxima absorvida deve ser inferior àquela que comprometa as propriedades funcionais e/ou atributos sensoriais dos alimentos; c) a embalagem deve ter condições higiênicas aceitáveis para o processo de irradiação e d) o rótulo do produto deve conter os dizeres "ALIMENTO TRATADO POR IRRADIAÇÃO".

Referências Bibliográficas

BRASCH, A.; HUBER, W. Ultrashort application time of penetrating electrons: a tool for sterilization and preservation of food in the raw state. **Science**, Washington, v.105, p.112-117, 1947.

DERR, D. D. Progress of food irradiation in the United States. **Radiat. Phys. Chem.**, Oxford, v. 48, p.362-363, 1996.

DIEHL, J.F. How it all began. In: DIEHL, J.F. **Safety of irradiated food**. New York: Marcel Dekker, 1990, p.1-7.

GOLDBLITH, S. A. Historical development of food irradiation. In: **Food Irradiation**, Proceedings of a Symposium, Karlsruhe, junho 1966, International Atomic Energy Agency, Viena, 1966, p.3.

MASEFIELD, J., DIETZ, G. R. Food irradiation: the evaluation of commercialization opportunities. **CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutrit.**, Boca Raton, v.19, p.259, 1983.

PAULI, G.; TARANTINO, L. FDA regulatory aspects of food irradiation. **J. Food Prot.**, Des Moines, v.58, p.209-212, 1995.

PROCTOR, B. E.; GOLDBLITH, S. A. Food processing with ionizing radiation. **Food Technol.**, Chicago, 5:376-380, 1951.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, FOOD SAFETY AND INSPECTION SERVICE. "9 CFR Parts 317,318, and 381 [Docket No. 97-076P], Irradiation of Meat and Meat Products: Proposed Rule", **Federal Register**, Washington, v.64, n. 36, February 24, 1999, p.9089-105.

UNITED STATES DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. "21 CFR PART 179 [DOCKET NO. 94F-0289]. Irradiation in the production, processing and handling of food. **Federal Register**, Washington, v. 62, n. 232, 1997, p.64107-64121.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. High-dose irradiation: wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy. Disponível em: <http://www.who.int/das/justpub/irrad.htm>. Acesso em: 09 julho 2001.

IRRADIAÇÃO E OS ALIMENTOS

Fundamentos da Irradiação

Atualmente, não resta dúvida que os principais objetivos do uso da radiação ionizante em alimentos são torná-los seguros, através da redução da população de microrganismos patogênicos para níveis não detectáveis, e aumentar a vida útil do produto, através da redução da população de microrganismos deteriorantes. O processo pode ser utilizado também com outras finalidades, entre elas, impedir o brotamento de batatas e cebolas e controlar a infestação de insetos.

A forma de energia empregada na irradiação de alimentos é a radiação ionizante, assim denominada por transformar átomos e moléculas em íons, através da remoção de elétrons. Existem diferentes tipos de radiação ionizante que podem ser partículas carregadas eletricamente, como os elétrons, ou fótons de alta energia, como os raios X e raios gama. Algumas delas, como as partículas alfa, não são adequadas para uso no processo de conservação de alimentos devido ao seu baixo poder de penetração, enquanto outros não o são porque tornam o material radioativo (elétrons e raios X de energia muito alta).

Segundo o Codex General Standard for Irradiated Foods do Codex Alimentarius (1984), para a irradiação só são permitidos os raios gama de radionuclídeos ^{60}Co , com 1,33 MeV e vida média de 5,263 anos, e ^{137}Cs , com 0,662 MeV e vida média de 30 anos; raios X, com energia máxima de 5 MeV, e

feixes de elétrons, gerados por máquinas operadas com energia máxima de 10 MeV (DIEHL, 1990).

Esses tipos de radiação foram permitidos porque, além de produzirem os efeitos desejados nos alimentos, não induzem radioatividade nos alimentos ou materiais de embalagem e estão disponíveis em quantidades e custo que permitem o uso comercial do processo (FARKAS, 2001). Os raios gama, os raios X e os feixes de elétrons penetram diferentemente no alimento e a profundidade que atingem também é diferente. Enquanto os feixes de elétrons atingem poucos centímetros de profundidade, a capacidade de penetração dos raios gama é exponencial (URBAIN, 1986).

A interação da radiação ionizante com a matéria ocorre através do efeito fotoelétrico, produção de pares e efeito Compton, o qual predomina nos alimentos (Figura 1). Neste efeito, parte da energia do fóton é transferida para o átomo com o qual interagiu, provocando o deslocamento de um elétron orbital. Após esta interação, o fóton incidente, com energia menor do que a inicial, muda sua trajetória no interior da matéria. O elétron deslocado, denominado de elétron Compton, tem energia suficiente para causar excitações e ionizações nos átomos com os quais interagirá. As ionizações e excitações provocadas por ele são semelhantes às causadas pelo feixe de elétrons. Por isso, as alterações químicas induzidas pela radiação na matéria serão as mesmas, independente do tipo de radiação empregado (URBAIN, 1986; DIEHL, 1990).

Figura 1. Efeito Compton
Fonte: Embrarad, 2001.

Entre os três tipos de radiação permitidos em alimentos, raios gama, raios X e feixe de elétrons, os raios gama provenientes de ^{60}Co são os mais utilizados. O Canadá é o maior fornecedor desse material (mais de 80%). O cobalto ativado é fornecido em cápsula de aço inoxidável no formato de lápis, com 450 mm de comprimento e 12,5 mm de diâmetro. Encontra-se na forma insolúvel em água, apresentando, portanto, baixo risco de contaminação do meio ambiente (Figura 2) (URBAIN, 1986; DIEHL, 1990).

Figura 2: Lápis de aço inoxidável com cápsula de Cobalto

Fonte: Gamma Processing: Products and Services. MDS Nordion. Science Advancing Health.

Para melhor entender a irradiação de alimentos, é preciso que sejam definidos alguns termos que serão empregados neste trabalho:

- dose absorvida: é a energia absorvida por unidade de massa no meio em que penetra. Muitas vezes esse termo é simplificado na literatura, sendo denominado apenas de “dose”. Nos processos industriais que utilizam a irradiação, é fundamental que se conheça a dose absorvida pelo material, porque os efeitos químicos, físicos e biológicos dependem desta grandeza (DIEHL, 1990).
- gray (Gy): é a unidade mais recente adotada pelo Sistema Internacional de Unidade (1986). A dose de radiação de 1 Gy envolve a absorção de 1 J de energia por cada quilograma de matéria irradiada.
- taxa de dose: é a energia absorvida por unidade de tempo.

No processo industrial de radiação, é importante a definição de dose máxima e dose de tolerância. A dose máxima é a necessária para se obter o efeito desejado e a dose de tolerância é a máxima que o alimento pode receber sem sofrer efeitos que prejudiquem o seu consumo pelo ser humano (GIDDINGS, 1991).

A Figura 3 apresenta um desenho de uma planta de irradiação.

Figura 3: Planta de irradiação

Fonte: Gamma Processing: Products and Services. MDS Nordion. Science Advancing Health.

Alterações químicas e nutricionais causadas pela irradiação

A maioria das pesquisas sobre os efeitos da radiação ionizante nos nutrientes presentes em um alimento foi realizada nas décadas de 50 e 60, como parte dos programas que investigavam os processos de esterilização de alimentos com doses superiores a 10kGy. Essas doses, no entanto, podem ser consideradas irreais, uma vez que doses bem menores são suficientes para

tornar um alimento seguro do ponto de vista microbiológico, tido como principal objetivo da irradiação de alimentos na atualidade. Até hoje, os aspectos negativos desses estudos, com doses muito maiores que 10 kGy, são utilizados pelos ativistas contrários a esta tecnologia.

Os efeitos da radiação sobre a água, normalmente o principal componente dos alimentos, são de particular interesse. Os produtos resultantes da radiólise da água são os radicais hidroxila ($\text{OH}\bullet$), e^-_{aq} (elétron aquoso ou hidratado) e hidrogênio ($\text{H}\bullet$), o hidrogênio (H_2), o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e o próton hidratado (H_3O^+). Enquanto os radicais $\text{OH}\bullet$, e^-_{aq} e $\text{H}\bullet$ são espécies transitórias muito reativas, H_2 e H_2O_2 são produtos finais estáveis dessa reação (URBAIN, 1986; DIEHL, 1990).

Apesar de H_2O_2 ser um agente oxidante, sua importância nos alimentos irradiados é menor quando comparada à dos radicais $\text{OH}\bullet$, poderoso agente oxidante, e e^-_{aq} , poderoso agente redutor. Quando móveis, esses radicais são importantes para as reações subseqüentes que ocorrerão no alimento irradiado, uma vez que eles reagirão com os demais componentes do alimento.

Conseqüentemente, a temperatura em que o processo de irradiação é realizado, a presença ou ausência do oxigênio e o estado físico do alimento afetam o resultado do processo. Quando o alimento está congelado, os produtos da radiólise da água são impedidos de reagir com o substrato, pois a água no estado sólido impede a difusão dos radicais livres. No momento em que esse alimento é descongelado, esses radicais adquirem mobilidade e reagem com o substrato. Embalagens com atmosfera modificada influenciam a natureza dos

produtos radiolíticos formados, porque a presença de oxigênio gera produção de radicais superóxidos. Os alimentos desidratados, por sua vez, apresentam baixa atividade de água e, portanto, a mobilidade dos radicais livres, formados pela radiólise da água, fica prejudicada.

Em relação aos demais componentes dos alimentos, os lípidos são os mais sensíveis à ação dos raios ionizantes. Por catalizarem reações com o oxigênio molecular (autooxidação) e/ou a radiólise das moléculas de lípidos, as radiações ionizantes podem produzir alterações químicas nos alimentos. Quando o oxigênio está presente, os dois fenômenos ocorrem.

O efeito direto da radiação sobre os lípidos produz cátions e moléculas no estado excitado. Reações posteriores levam à produção de diversos produtos que, no caso de triglicerídeos, incluem ésteres, cetonas, hidrocarbonetos e diglicerídeos (DIEHL, 1990; NAWAR *et al.*, 1983). Além desse efeito direto do raio ionizante, também ocorrem interações entre os lípidos e os radicais livres da radiólise da água que são os efeitos secundários. Estes, no entanto, segundo DIEHL (1990), apresentam um pequeno papel na maioria das situações.

O mecanismo geral da radiólise de gorduras parece envolver ionização primária, seguida da migração das cargas positivas para os grupamentos carboxilas e duplas ligações e a quebra das ligações, de preferência, em posições próximas dos grupamentos carbonilas. Os radicais livres resultantes reagem formando produtos radiolíticos estáveis.

Quando submetidos à radiação, os ácidos graxos originam certos compostos radiolíticos, devido à quebra na ligação éster-carbonila. Em

consequência, dois hidrocarbonetos são produzidos: um que apresenta um átomo de carbono a menos, resultante da quebra na ligação α do grupamento carbonila, e o outro que apresenta dois átomos de carbono a menos e uma dupla ligação extra, resultante da quebra na posição β do grupo carbonila. Esses hidrocarbonetos foram detectados em óleo de peixe irradiado (NAWAR, 1986).

Estudo realizado por HAMPSON *et al.* (1996) com carnes de suíno, de bovino, de ovino e peru irradiadas com doses de 0; 0,9; 2,8; 5,6 e 9,4 kGy, em temperatura de refrigeração, constatou que, nessas doses, os valores de peróxido e iodo não demonstraram alteração significativa nos lípides dessas carnes.

Essas reações químicas que ocorrem com os lípides geralmente provocam alterações no sabor e odor dos alimentos irradiados. Porém, segundo LESCOANO *et al.* (1991), KANATT *et al.* (1997) e HASHIM *et al.* (1995), nem sempre são notadas.

Na radiólise de proteínas, as reações envolvem os aminoácidos constituintes e as ligações peptídicas. Os aminoácidos sofrem descarboxilação ou desaminação, sendo esta mais importante do que aquela, oxidação de grupamentos sulfidrilas, redução de ligações dissulfeto, modificações nos resíduos de aminoácidos e quebra e/ou agregação de cadeias peptídicas (NAWAR, 1986; DIEHL, 1990).

As reações são iniciadas principalmente pelo radical e^-_{aq} . Ao contrário do que ocorre com os lípides, a presença de oxigênio durante a irradiação não altera os produtos formados (DIEHL, 1990).

A presença do radical superóxido favorece a desaminação oxidativa. Os aminoácidos cisteína, cistina e metionina atuam como seqüestradores de radicais livres, reagindo mais rapidamente com esses radicais do que os aminoácidos alifáticos. Os aminoácidos aromáticos também reagem prontamente com os radicais livres da radiólise da água, sendo a principal reação a hidroxilação do anel aromático. Os compostos formados que apresentam enxofre em suas moléculas são importantes, porque produzem odores e sabores desagradáveis (NAWAR, 1986; DIEHL, 1990).

Na radiólise da molécula protéica, têm-se a cisão das ligações C-N na estrutura da cadeia polipeptídica e outras reações, como a quebra das pontes disulfeto, levando a moléculas protéicas menores que, dependendo da sua estrutura, causam uma diminuição ou aumento da viscosidade (DIEHL, 1990).

As alterações que ocorrem na molécula protéica, quando irradiada, são muito menores do que aquelas, devido ao aquecimento. Por isso, os alimentos que são esterilizados por raios ionizantes e posteriormente armazenados por um longo período de tempo devem ser previamente aquecidos (branqueamento), para destruição das enzimas que apresentam alta radiorresistência (DIEHL, 1990).

Na reação de radiólise de carboidratos, ao contrário do que ocorre com as proteínas, o radical mais importante é o $\text{OH}\bullet$, que retira hidrogênio das ligações C-H, formando água. Em reações subseqüentes, pode formar um ácido, uma cetona ou um aldeído.

Os polissacarídeos também são afetados pela radiação. Esse processo pode ser responsável pelo amolecimento de frutas e vegetais, devido à quebra de compostos da parede celular como a pectina. O efeito depende do tipo, variedade e estágio de maturidade da fruta. O amolecimento apresenta vantagens e desvantagens. Entre as vantagens, por exemplo, há o aumento na produção de suco.

As vitaminas apresentam sensibilidade variada à radiação. Segundo KILCAST (1994), as vitaminas podem ser classificadas em sensíveis, como as vitaminas C, B₁ (tiamina), E (α -tocoferol), vitamina A (retinol); de média sensibilidade como β -caroteno e vitamina K (em carne), e de baixa sensibilidade, como a vitamina D, vitamina K (vegetais), B₂ (riboflavina), B₆ (piridoxina), B₁₂ (cobalamina), B₅ (niacina), ácido fólico, ácido pantotênico, B₁₀ (biotina) e colina.

Referências Bibliográficas

- CODEX ALIMENTARIUS. Codex General Standard for Irradiated Foods. **Codex Alimentarius**, vol. XV, 1984.
- DIEHL, J.F. Chemical effects of ionizing radiation. In: DIEHL, J.F. **Safety of irradiated foods**. New York: Marcel Dekker, 1990. p.41-94.
- FARKAS, J. Physical methods of food preservation. In: DOYLE, M.P., BEUCHAT, L.R., MONTVILLE, T.J., eds. **Food microbiology: fundamentals and frontiers**. Washington: ASM, 2001. p.567-591.
- GIDDINGS, G.G. Poultry irradiation: for hygiene / safety and market-life enhancement. **Food. Rev. Int.**, New York, v.7, n.3, p.259-282, 1991.
- HAMPSON, J.W., FOX, J.B., LAKRITZ, L., THAYER, D.W. Effect of low dose gamma radiation on lipids in five different meats. **Meat Sci.**, Oxford, v.42, n.3, p.271-276, 1996.
- HASHIM, I.B., RESSURRECCION, A.V.A., MCWATTERS, K.H. Descriptive sensory analysis of irradiated frozen or refrigerated chicken. **J. Food Sci.**, Chicago, v.60, p.664-666, 1995.
- KANATT, S.R., PAUL, P., D'SOUZA, S.F., THOMAS, P. Effect of gamma irradiation on the lipid peroxidation in chicken, lamb and buffalo meat during chilled storage. **J. Food Safety**, Trumbull, v.17, p. 283-294, 1997.
- KILCAST, D. Effect of irradiation on vitamins. **Food Chem.**, Oxford, v.49, p.157-164, 1994.
- LESCANO, G., NARVAIZ, P., KAIRIYAMA, E. KAUPERT, N. Effect of chicken breast irradiation on microbiological, chemical and organoleptic quality. **Lebensm. – Wiss. U.- Technol**, v.24, p.130-134, 1991.
- NAWAR, W.W. Radiolysis of nonaqueous components in foods. In: Josephson, E.S.; Peterson, M.S. (ed.) **Preservation of food by ionizing radiation**. v.II, Boca Raton: CRC, 1983. p.75-124.
- NAWAR, W.W. Volatiles from food irradiation. **Food Rev. Int.**, New York, v.2, n.1, p.45-78, 1986
- URBAIN, W.M. Radiation chemistry of food components and of foods. In: URBAIN, W.M. **Food Irradiation**. Orlando: Academic, 1986. cap.3., p.37-82.

IRRADIAÇÃO E OS MICRORGANISMOS

Introdução

Quando a radiação ionizante é absorvida por material biológico, neste caso microrganismos, o alvo crítico é a molécula de DNA. No entanto, a radiação também causa alterações na membrana celular, afetando o transporte de substâncias essenciais para a atividade celular, e tem efeito sobre as enzimas e sobre os processos de síntese, particularmente de DNA e RNA (URBAIN, 1986). As conseqüências das alterações causadas são variáveis, sendo a sensibilidade à radiação inversamente proporcional ao tamanho e complexidade do organismo (URBAIN, 1986). Enquanto a dose necessária para matar animais superiores varia de 0,005 a 0,1 kGy, para os vírus, a dose para reduzir a níveis não detectáveis está na faixa de 10 a 200 kGy. Para as células vegetativas bacterianas é de 0,5 a 10 kGy e, para os esporos, está entre 10 e 50 kGy. Essas doses são explicadas pelo tamanho do genoma: o genoma dos mamíferos deve fornecer um número maior de informações genéticas do que o da bactéria ou de vírus sendo, portanto, maior e atingido mais facilmente (URBAIN, 1986).

A radiação ionizante destrói o microrganismo por efeito direto e indireto. No efeito direto, ela age sobre as moléculas do ácido nucléico, ionizando-a ou excitando-a, o que, dependendo do comprometimento molecular, causa a morte celular.

No efeito indireto, a radiação interage com outros átomos ou moléculas presentes na célula, principalmente com as moléculas de água, produzindo

radicais livres que nela se difundirão, atingindo e causando danos ao DNA. Os radicais livres formados são $H\bullet$, $OH\bullet$ e e_{aq}^- . O radical $OH\bullet$ é considerado o mais importante no dano ao DNA, sendo responsável por 70% das alterações (COSTA, 1987). Esses radicais, em conjunto, formados na camada de hidratação ao redor da molécula de DNA, são responsáveis por 90% das lesões. As principais lesões causadas pela radiação no DNA são alterações nas bases purínicas e pirimidínicas, na molécula do açúcar desoxirribose e roturas da cadeia polinucleotídica, que podem ocorrer em sítios diametralmente opostos nas duas fitas (rotura dupla dsb) ou somente em uma delas (rotura simples - ssb) (COSTA, 1987; MOSELEY, 1989). A produção de roturas duplas é de 5 a 10% do número de roturas simples (FARKAS, 2001).

O efeito indireto é importante, principalmente nas células vegetativas, cujo citoplasma contém 80% de água (FARKAS, 2001).

Fatores que influenciam a inativação dos microrganismos pela radiação gama

Para se determinar a radiosensibilidade de um microrganismo, emprega-se normalmente a dose D_{10} que corresponde à dose necessária para inativar 90% da população microbiana.

A inativação de microrganismos pela radiação gama pode ser quantitativamente descrita por uma equação de cinética de primeira ordem, com a quantidade de microrganismos sobreviventes (N), sendo dependente da dose

absorvida (D) pelo produto. Se N_0 é o número inicial de microrganismos presentes e D_{10} é a dose de redução decimal, a equação $\log N/N_0 = -D/D_{10}$ descreve uma inativação de primeira ordem (URBAIN, 1986; DIEHL, 1990). Porém, algumas vezes, a curva de inativação apresenta um ombro na região de doses mais baixas, antes do início da inclinação da reta, e, na região de doses mais elevadas, uma cauda no final da inclinação. (Figura 4). A ocorrência do ombro pode ser explicado pela teoria do alvo que diz que alguns microrganismos têm que ser atingidos mais de uma vez para morrer. A dedução analítica nos daria a expressão: $N=nN_0e^{-D/D_{10}}$, onde n seria o número de alvos. Essa expressão dá uma reta em papel semilog, se n igual a 1. Nesses casos, o cálculo do valor de D_{10} é realizado, construindo-se uma reta de regressão linear dos quadrados mínimos, de maneira que as partes não lineares são excluídas (MA e MAXCY, 1981; GRANT E PATTERSON, 1991; GRANT E PATTERSON, 1992; THAYER E BOYD, 1993; CLAVERO *et al.*, 1994).

De acordo com GRECZ *et al.* (1983), FARKAS (1989) e MURANO (1995), a radiosensibilidade dos organismos é afetada por fatores intrínsecos do microrganismo e fatores extracelulares, a saber: tipo de microrganismo, natureza e extensão do dano direto na estrutura do DNA do microrganismo, fase de multiplicação dos microrganismos, conteúdo de água do meio, composição do meio, pH, composição atmosférica e temperatura.

1 – Influência do tipo de microrganismo

Há diferenças entre os gêneros e espécies microbianos e, algumas vezes, até mesmo entre linhagens de uma mesma espécie. Essas diferenças podem ser relacionadas com diferenças qualitativas e quantitativas na composição química e estrutura do DNA (KAPLAN e ZAVARINE, 1962) e, também com a sua capacidade de reparo das roturas nas fitas de DNA (GRECZ, 1983; MOSELEY, 1989). Os processos de regeneração podem também ser visualizados na curva de sobrevivência do microrganismo (FARKAS, 1994). Como exemplo, a extensão do ombro e a inclinação da curva de sobreviventes podem refletir a capacidade de reparo das células.

Figura 4. Curvas de população sobrevivente à radiação. N = população de sobreviventes; N₀ = população inicial. 1, curva exponencial da população sobrevivente; 2, curva apresentando ombro no início; 3, curva com cauda de resistência

Fonte: Farkas, 2001

Na microbiota do alimento são encontradas desde células vegetativas de bactérias extremamente radiosensíveis, como *Pseudomonas* spp e *Vibrio* spp, até extremamente resistentes, como os esporos bacterianos.

Entre os microrganismos não formadores de esporos, as quatro espécies do gênero *Deinococcus*, *radiodurans*, *radiophilus*, *proteolyticus* e *radiopugnans*, *Deinobacter grandis*, *Acinetobacter radioresistens* e *Rubrobacter radiotolerans* são as mais radorresistentes. Enquanto os valores D_{10} de outros não formadores de esporos variam de 1,0 - 2,2 kGy, muitas linhagens pertencentes ao gênero *Deinococcus* sobrevivem a 15 kGy.

De acordo com MOSELEY (1983) e MINTON (1994), essa alta resistência é devida a um mecanismo de reparo de DNA extremamente eficiente. BURRELL *et al.* (1971) verificaram que *D. radiodurans* é capaz de reparar, por cromossoma, mais de 100 quebras nas fitas duplas, sem causar mutação ou letalidade, após ter sido exposto à irradiação, enquanto outros microrganismos são incapazes de reparar mais do que 2 ou 3 quebras (HUTCHINSON, 1978). Trabalhos realizados por DALY *et al* (1994) e DALY e MINTON (1995) mostraram que a recombinação inter plasmidial e inter cromossômica é intensa após a irradiação, o que favorece a alta resistência desse microrganismo.

Outro fator que contribui para a elevada resistência é a presença de altos níveis de atividade de catalase e superóxido dismutase, que agem contra o estresse oxidativo decorrente da ação da radiação ionizante, porque bloqueiam a ação de produtos radiolíticos tóxicos (CHOU e TAN, 1990). WANG e

SCHELLHORN (1995) observaram que *D. radiodurans* produz maior quantidade maior de catalase do que *Escherichia coli* K12 e que a produção dessa enzima é induzida durante a fase estacionária do microrganismo. Para MATTIMORE e BATTISTA (1996), a resistência à radiação é uma consequência da adaptação do microrganismo a um estresse fisiológico comum, a desidratação, pois verificaram que cepas expostas à essa condição apresentavam um aumento no número de quebras nas duas fitas da hélice do DNA. Enquanto cepas mutantes sensíveis à radiação estavam inviáveis após serem reidratadas, tal fato não ocorreu com a cepa selvagem, o que indica uma capacidade de reparo do dano introduzido durante a desidratação.

Enterococcus faecium, micrococos e lactobacilos homofermentadores são também bactérias radorresistentes presentes em alimentos. Os enterococos são indicadores de higiene para alguns tipos de alimentos, enquanto os lactobacilos são deteriorantes e utilizados também para produção de alimentos fermentados e probióticos (ANNELIS, 1973; RADOMYZKI *et al.*, 1994, MONTVILLE *et al.*, 2001).

Em pesquisa realizada em nosso laboratório, MORENO (2001), trabalhando com amostras de cortes de contra-filé (*Longissimus dorsi*), embaladas em atmosfera normal, a vácuo e em nitrogênio, verificou que as bactérias lácticas foram mais resistente do que as psicrotróficas, em todas as doses de radiação gama empregadas – 1,0; 1,5 e 2,0 kGy, para amostras refrigeradas. Enquanto a dose de 2 kGy reduziu a população de bactérias lácticas em apenas 3 ciclos logarítmicos, nas amostras embaladas sob atmosfera

normal, e em 2 ciclos nas amostras embaladas a vácuo e com nitrogênio, a de bactérias psicotróficas foi reduzida em 5 ciclos logarítmicos, nas amostras embaladas sob atmosfera normal, em 3 ciclos, nas embaladas com N₂, e, em 2 ciclos, nas embaladas a vácuo. Resultados semelhantes foram obtidos para as amostras congeladas. Essa maior resistência das bactérias lácticas foi também detectada por NIEMAND (1983); FARKAS e ANDRASSY (1993) e MIYAGUSKU (2001).

Entre as bactérias Gram negativas, os gêneros mais radiosensíveis são *Pseudomonas* e *Flavobacterium*, deteriorantes de diversos alimentos devido à produção de enzimas proteolíticas e lipolíticas, mesmo em baixas temperaturas. Por outro lado, o grupo *Moraxella-Acinetobacter* apresenta um amplo espectro de resistência, com cepas que sobrevivem e formam uma parte importante da microbiota de alimentos perecíveis expostos a doses moderadas de radiação (ANNELIS *et al.*, 1973; URBAIN, 1986; DIEHL, 1990; RADOMYSKI *et al.*, 1994)

Entre as bactérias patogênicas não formadoras de esporos veiculadas por alimentos, a Gram positiva *Listeria monocytogenes* é considerada a mais resistente e, entre as Gram negativas, alguns sorotipos de *Salmonella*.

A relativa resistência à irradiação das bactérias Gram positivas, quando comparadas às Gram negativas, deve-se à maior quantidade de peptidoglicano na parede celular e à produção de catalase e superóxido dismutase, os quais bloqueiam a ação de produtos radiolíticos tóxicos (SILVERMAN, 1983; URBAIN, 1986).

MULDER (1984) constatou diferentes valores de D_{10} para diferentes sorotipos de *Salmonella* inoculados em um mesmo alimento a uma mesma temperatura. Foi verificado que *S. Senftenberg*, *S. Thompson* e *S. Typhimurium* apresentaram D_{10} de 0,51 kGy, 0,73 kGy e 0,60 kGy, respectivamente, quando inoculados em ovo. DION *et al.* (1994) observaram diferenças na radiorresistência de cepas de *Listeria. monocytogenes* e de *Staphylococcus aureus*. Esses resultados estão de acordo com os de FARAG *et al.* (1990), que determinaram valor D_{10} para *L. monocytogenes* cepa CFDC de 0,21 kGy, enquanto, para a Scott A, esse valor foi de 0,25 kGy e, para a cepa 81-861, foi de 0,46 kGy. PALUMBO *et al.* (1986), todavia, trabalhando com cinco cepas de *Aeromonas hydrophila*, não observaram diferença entre os valores D_{10} determinados. NIEMIRA *et al.* (2001) constataram maior radiorresistência de *Salmonella* Anatum ($D_{10} = 0,71$ kGy), em relação aos sorotipos Newport, Infantis e Stanley que apresentaram valores $D_{10} = 0,48$ kGy, 0,35 kGy e 0,38 kGy, respectivamente, em suco de laranja.

Os esporos, por se encontrarem em estado dormente, apresentam, geralmente, capacidade metabólica de reparo de DNA considerada insignificante. Contudo, enzimas de reparo podem estar presentes em esporos em estado inativo, mas serem ativadas durante o processo de germinação (TERANO *et al.* 1969). O mecanismo da DNA-ligase permanece viável nos esporos. DURBAN *et al.* (1974), ao compararem os ombros presentes nas curvas de sobrevivência dos esporos das linhagens 33A e 51B de *Clostridium botulinum* irradiados com doses entre 2 e 6 kGy, concluíram que, após a

exposição à dose de 3 kGy (raios gama), o DNA da linhagem resistente (33A) apresentou um número muito menor de quebras nas fitas simples do que a linhagem mais sensível (51B). A linhagem 33A apresentou capacidade de recuperar as quebras nas fitas simples, quando a irradiação foi realizada em anaerobiose, ou o microrganismo foi incubado em anaerobiose, imediatamente, após a irradiação.

DONELLAN e SETLOW (1965) e TANOOKA e SAKAKIBARA (1968) aventaram a hipótese de que diferenças na estrutura do DNA no esporo e nas células vegetativas sejam a causa da maior resistência dos esporos à irradiação.

ROWLEY e NEWCOMB (1964) não observaram a influência dos altos níveis de ácido dipicolínico (DPA) na resistência de esporos submetidos à radiação γ , constatada por BERG e GRECZ (1970) e por KAMAT e PRADHAM (1987), em relação à resistência dessas formas aos raios UV.

De acordo com GOULD (1989), a resistência do esporo é conferida por um conjunto de fatores, como composição e estrutura específicas do seu DNA e o estado “desidratado” do seu centro.

De um modo geral, os bolores apresentam radiosensibilidade semelhante à das células vegetativas bacterianas, enquanto as leveduras apresentam resistência semelhante à das bactérias mais resistentes (URBAIN, 1986; DIEHL, 1990).

MIYAGUSKU (2001) observou uma maior resistência das bactérias lácticas e bolores e leveduras, em relação às populações de bactérias mesófilas

aeróbias, *E. coli*, enterobacteriáceas totais e *Pseudomonas*, em filés de peito de frango irradiadoS com dose de 7 kGy.

Os vírus são os microrganismos com maior resistência aos raios ionizantes. Em um dos raros trabalhos sobre irradiação de alimentos inoculados com vírus, BIDAVID *et al.* (2000) verificaram que os valores D_{10} para o vírus da hepatite A, em alface e morangos, foram de $2,72 \pm 0,05$ kGy e $2,97 \pm 0,18$ kGy, respectivamente.

A irradiação não tem ação sobre os príons, pois estes não apresentam DNA ou RNA em sua molécula (TAUXE, 2001).

As toxinas microbianas não são inativadas pela radiação. No entanto, estudos realizados com *C. botulinum* demonstraram que o alimento irradiado apresenta sinais de deterioração antes de a bactéria produzir a toxina, como constatado por FIRSTENBERG-EDEN *et al.* (1982) com alimento inoculado com esporos de *Clostridium botulinum*, embalado a vácuo e armazenado a 30°C.

Por outro lado, ROSE *et al.* (1988) constataram que, mesmo com o emprego da dose de 8,0 kGy, entre 27% a 34% da enterotoxina estafilocócia formada em pasta de carne moída permaneceu ativa. MODI *et al.* (1990) estudaram a resistência das enterotoxinas estafilocócicas a doses de 8 e 23,7 kGy, observando que as células de *S. aureus* são bem mais sensíveis à irradiação do que suas toxinas.

A enzima termonuclease (TNase) de *S. aureus* é importante na detecção e/ou identificação desse microrganismo. KUMAR *et al.* (2000) constataram a presença dessa enzima em meio de cultura e laticínios e produtos cárneos

expostos à dose de 10 kGy. Portanto, sua presença pode ser utilizada como um indicador da contaminação por *S. aureus* em alimento submetidos à irradiação.

2- Influência da natureza e extensão do dano direto na estrutura do DNA do microrganismo

A radiação ionizante causa danos no DNA através de roturas nas duas fitas ou em uma única fita, e/ou alterações nas bases pirimidínicas e purínicas.

A quebra na fita do DNA ocorre, principalmente, devido à ação indireta na molécula da desoxirribose da estrutura fosfato-açúcar. Segundo MOSELEY (1989), aproximadamente 20% das reações do radical $\text{OH}\bullet$ com o DNA causam a retirada de átomos de H de qualquer um dos 5 átomos de C da molécula de desoxirribose e a subsequente β -eliminação leva à rotura na cadeia polinucleotídica proveniente, geralmente, do corte na ligação éster fosfato 3'C. Como consequência, a maioria das fitas com esse corte apresenta na extremidade grupamentos 5'- PO_4 e 3'- PO_4 , na proporção de 3:1. O tipo de radical presente nas extremidades da quebra de uma fita tem importância para o mecanismo de reparo do DNA. Caso haja a produção de extremidades com radicais 5'- PO_4 - 3'-OH, a DNA ligase atuará reconstruindo a fita. No entanto, se a extremidade 5'- PO_4 sofrer ação de fosfatases, durante um período muito curto após a irradiação, as duas extremidades apresentarão o radical 3'-OH, impedindo a ação da DNA ligase. Por causa disso, a recuperação da célula fica dificultada, sendo necessária a ação de mecanismos de reparo que envolve

excisão ou recombinação. Nesse ínterim, porém, muitos eventos podem ocorrer, causando a morte celular (GRECZ, 1983).

Em uma porcentagem muito menor (20%), a quebra pode ocorrer nas duas fitas em sítios diametralmente opostos ou suficientemente próximos, de maneira que a ligação H entre os dois sítios é incapaz de manter a estrutura da molécula (rotura dupla – dsb). Quando o microrganismo é exposto a baixas doses de radiação, o número de roturas duplas aumenta proporcionalmente com a dose, o que significa que as duas roturas são causadas por um único evento de absorção de dose. Conforme a dose aumenta, a chance de que as roturas criadas independentemente nas fitas simples formem, por coincidência, uma rotura na dupla hélice, aumenta com o quadrado da dose (MOSELEY, 1989).

O radical $\text{OH}\bullet$ reage também com as bases na proporção de, aproximadamente, 80% (20% das reações ocorrem com os açúcares). A timina é a mais sensível das bases, seguida pela citosina, adenina e guanina (COSTA, 1987). Diversos produtos são formados nessa reação, mas o principal é formado pelo ataque do radical $\text{OH}\bullet$ à dupla ligação 5,6, formando lesões do tipo 5,6-di-hidroxi-5,6-di-hidrotimina. Apesar de outros produtos resultantes já terem sido detectados, sua importância para a morte celular ainda não foi esclarecida (MOSELEY, 1989).

3- Influência da fase de multiplicação

De um modo geral, os microrganismos nas fases lag e estacionária são mais resistentes à radiação do que na fase logarítmica, pois nesta fase a divisão

celular é mais intensa e a grande quantidade de DNA em fita simples resulta em um aumento na sensibilidade. THAYER e BOYD (1992, 1993) observaram que células de *Staphylococcus aureus* e *E. coli* O157:H7 em multiplicação ativa (fase logarítmica) foram mais sensíveis à radiação gama do que células em fase estacionária. Os resultados obtidos por DION *et al.* (1994), com cepas de *L. monocytogenes* ATCC 19111 e de *S. aureus* GD13, concordam com os de THAYER e BOYD (1992, 1993).

Por outro lado, DION *et al.* (1994) constataram que algumas das cepas estudadas - *L. monocytogenes* 1A1, *S. aureus* ATCC 13565, *E. coli* ATCC 35150, *S. Typhimurium*, *Yersinia enterocolitica* e *Vibrio parahaemolyticus* - não apresentaram radiorresistência significativamente diferente, na fase estacionária, em relação à logarítmica, concordando com os resultados de PALUMBO *et al.* (1986) para *Aeromonas hydrophila*.

Para DIEHL (1990), a distinção exata dessas duas fases, sob condições laboratoriais, é difícil, o que dificulta a avaliação correta da influência da fase de crescimento na resistência dos microrganismos à radiação.

4- Influência do conteúdo de água do meio

A difusão dos radicais livres, principalmente do $\text{OH}\bullet$, é favorecida em um alimento com alta atividade de água, porque a radiólise é um importante fenômeno decorrente da radiação ionizante em um sistema biológico. Nos alimentos congelados e desidratados, que apresentam baixa atividade de água,

essa difusão ou não ocorre ou é dificultada, o que torna os microrganismos mais resistentes à radiação.

5- Influência da composição do meio

Diversos trabalhos já demonstraram que a composição do meio influi na determinação do valor D_{10} , uma vez que os compostos presentes interagem com os radicais ativos, produzidos pela radiólise, interferindo nesse valor (LAMBERT e MAXCY, 1984; TARKOWSKY *et al.* 1984; HASHISAKA *et al.*, 1989; SHAMSUZZAMAN *et al.*, 1989; THAYER *et al.*, 1990). Assim, valores D_{10} calculados em meios simples, como solução de fosfatos tamponada, solução de NaCl 0,85%, caldo nutriente, caldo tripticase soja ou outro meio de cultura mínimo não devem ser utilizados como parâmetros de um determinado processo de irradiação.

SANTOS *et al.* (2002), em nosso laboratório, compararam o valor D_{10} de *S. Typhimurium* ATCC 14028 em caldo de soja tripticase com o obtido em sobrecoxas de frango. O microrganismo, nas sobrecoxas de frango, foi mais resistente (D_{10} entre 0,241 kGy e 0,480 kGy), do que no meio de cultura (D_{10} entre 0,165 e 0,206 kGy) (Anexo 1). Resultados semelhantes foram obtidos por CHIRINOS *et al.* (1999, 2002), em nosso laboratório, para a cepa EDL 933 de *E. coli* O157:H7. Neste caso, verificou-se que em caldo nutriente, D_{10} estava entre 0,08 e 0,10 kGy e em hambúrgueres D_{10} estava entre 0,11 e 0,21 kGy (Anexos 2 e 3).

Valores D_{10} para microrganismos em meios de cultura contendo glicerol e gordura animal são inferiores aos determinados em meios em que essas substâncias estão ausentes, uma vez que o seu efeito protetor é resultante de uma redução na atividade de água. HARNULV e SNYGG (1973) e SHAMSUZZAMAN e LUCHT (1993) demonstraram que o glicerol age como um seqüestrador dos produtos tóxicos formados pela radiólise da água, o que impede ou diminui a ação dos radicais livres sobre a molécula do DNA. Em alimentos com alto conteúdo protéico também constata-se o mesmo fenômeno. DIEHL (1993) mencionou o efeito seqüestrante desses compostos para explicar a maior resistência dos microrganismos em laticínios. Portanto, na elaboração de um processo de irradiação de um determinado alimento, é necessário que o valor D_{10} do microrganismo-alvo seja determinado nesse mesmo alimento (URBAIN, 1986).

Segundo THAYER *et al.* (1990) e THAYER e BOYD (1992), a radiorresistência das espécies de *Salmonella* em carne de frango mecanicamente separada (CMS) foi duas vezes mais alta do que em solução de fosfato tamponada ou infusão de cérebro e coração. *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* Typhimurium, *Yersinia enterocolitica*, *Vibrio parahaemolyticus* e *Campylobacter jejuni* foram mais radiosensíveis, quando irradiados em solução salina (0,85% NaCl), do que na suspensão de carne de peito de frango (DION *et al.*, 1994). SANTOS *et al.* (2002) também constataram que *S. Typhimurium* foi mais sensível em caldo tripticase soja do que em coxa de frango. Os resultados obtidos por CHIRINOS

et al. (1999) com *E. coli* O157:H7 em caldo nutriente concordam com os de DION *et al.* (1994), pois os valores D_{10} em hambúrguer de carne bovina também foram maiores do que os obtidos em caldo nutriente (Anexos 1 e 2).

THAYER *et al.* (1997) não constataram diferenças na radiorresistência de *Salmonella* e *S. aureus* inoculados em diferentes tipos de carnes (bisão, avestruz, jacaré entre outras). Os autores concluíram que as populações de *Salmonella* e *S. aureus* podem ser bastante reduzidas com a aplicação de doses de radiação gama entre 1,5 e 3 kGy, correspondentes às aprovadas pela Food and Drug Administration e United States Department of Agriculture para a irradiação de carne de aves.

Embora DIEHL (1990) tenha mencionado que os valores D_{10} para os microrganismos dependem da concentração de gordura presente nos alimentos, THAYER e BOYD (1993) observaram que diferenças relativamente grandes no conteúdo de gordura (21,3% e 2,6%) e proteína (14% e 19,8%) em CMS de frango e carne bovina, respectivamente, não interferiram no efeito da radiação gama sobre *E. coli*. Também MONK *et al.* (1995) observaram que o conteúdo de gordura (baixo: de 11,1 a 13,9% e elevado: de 27,1 a 27,9%) não influenciou significativamente os valores D_{10} de *Listeria monocytogenes* e *Staphylococcus aureus* em amostras de carne bovina refrigeradas e congeladas.

KAMAT *et al.* (1997) observaram maior radiorresistência de *Y. enterocolitica*, quando em homogeneizado de 10% de carne de porco (D_{10} = 0,25 KGy), do que em solução tampão fosfato a 0°C (0,15 kGy) ou -40 °C (0,2 kGy). A resistência, neste caso, não foi influenciada pela temperatura.

Em nosso laboratório, a influência da gordura na radiorresistência dos microrganismos também foi avaliada por WORCMAN-BARNINKA *et al.* (Anexo 5). Amostras de hambúrgueres com 4 composições diferentes: A) com baixo teor de gordura (10%) e baixa porcentagem de condimento (2% de NaCl e 0,2% pimenta); B) com baixo teor de gordura (10%) e 4% de mix de condimento para hambúrguer; C) com alto teor de gordura (20%) e baixa porcentagem de condimento (2% de NaCl e 0,2% pimenta); D) com alto teor de gordura (20%) e 4% de mix de condimento para hambúrguer, foram inoculadas com diversas cepas de *E. coli* O157:H7, embaladas sob atmosfera normal e a vácuo, congeladas, e irradiadas com doses de 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 kGy. Foi constatado que a dose de 4,0 kGy reduziu a população de *E. coli* O157:H7 em 7 ciclos logarítmicos e que, de maneira geral, não houve influência das diferentes composições na radiosensibilidade das cepas inoculadas.

Visando a facilitar o cálculo da eficiência do processo de irradiação, van GERWEN *et al.* (1999) analisaram os vários valores D_{10} publicados na literatura e as condições em que foram determinados e classificaram os microrganismos de acordo com a sua resistência. Esse procedimento discorda dos de URBAIN (1986) e DIEHL (1990) que consideram imprescindível que valor D_{10} seja calculado para cada processo, individualmente.

6- pH

De acordo com URBAIN (1986), o pH do meio pode afetar a formação de radicais livres e, conseqüentemente, o efeito indireto. De um modo geral, os

microrganismos são mais sensíveis à radiação quando o pH está próximo do ótimo para o seu desenvolvimento. UPADHYAY e GRECZ (1969) expuseram esporos de *C. botulinum* 33A, em solução de borato tamponada a -50°C , à dose de 19 kGy, e constataram que a sensibilidade dos esporos, quando o pH da solução era 7,0, era maior do que em pH 6, 8 ou 10.

Segundo BUCHANAN *et al.* (1998), a capacidade de adaptação da população bacteriana ao baixo pH também influencia a radiorresistência dos microrganismos. A radiorresistência da população de *E. coli* O157:H7 ácido adaptada (valor D_{10} de 0,22 a 0,31 kGy) foi maior do que a da não adaptada (0,12 a 0,21 kGy).

7- Influência da composição atmosférica

As células vegetativas de algumas bactérias são mais sensíveis quando irradiadas na presença de oxigênio, do que em condições anaeróbias. Porém, a irradiação dos alimentos na presença de O_2 pode resultar na produção de odores e sabores desagradáveis no produto devido à oxidação lipídica.

HASTINGS *et al.* (1986) verificaram que os valores D_{10} de lactobacilos, quando irradiados em atmosfera de 100% de CO_2 , eram menores que os valores obtidos em aerobiose, vácuo ou em atmosfera de N_2 .

Embora muitos experimentos indiquem maior sensibilidade da população microbiana, quando o alimento é irradiado na presença de oxigênio (THAYER *et al.*, 1990; MONK *et al.*, 1995), essa influência não foi evidenciada para *Salmonella* Typhimurium (THAYER e BOYD, 1991) e *Staphylococcus aureus*

(THAYER e BOYD, 1992) em carne de frango. Similarmente, não foram encontradas evidências do efeito da embalagem a vácuo sobre a radiorresistência de *E. coli* O157:H7 inoculada em amostras de carne de frango e carne bovina (THAYER e BOYD, 1993) e sobre *Shewanella putrefaciens* (0,11 Kgy na presença de ar e 0,12 kGy a vácuo) (THAYER e BOYD, 1996). FU *et al.* (1995) e LOPEZ-GONZALEZ *et al.* (1999) também não encontraram diferença significativa no valor D_{10} de *E. coli* O157:H7 em amostras de carne bovina moída, embaladas a vácuo e em atmosfera normal, submetidas à radiação gama.

SHENOY *et al.* (1998) verificaram que a cepa de *Y. enterocolitica* O:8 submetida ao choque térmico apresentou a mesma radiosensibilidade que aquela que não foi submetida ao estresse térmico. O valor D_{10} em carne de porco moída foi de 0,15 kGy para os dois casos, tanto no alimento embalado sob atmosfera normal como naquele embalado a vácuo. Valores similares foram obtidos por TARKOWSKY *et al.* (1984) e EL-ZAWARY e ROWLEY (1979) em carne bovina moída. SHENOY *et al.* (1998) constataram também que a irradiação não interferiu nos testes bioquímicos de fermentação da salicina, hidrólise da esculina e atividade da pirazinamidase, utilizados para determinar patogenicidade mediada por cromossomo.

8 – Influência da temperatura

A resistência do microrganismo pode ou não ser afetada pela temperatura na qual é irradiado. BRUNS e MAXCY (1979) verificaram que a resistência de *Micrococcus radiodurans* (atual *Deinococcus*) e *Moraxella* à radiação gama foi

muito maior em carne bovina moída à temperatura de -30°C , do que a $20-37^{\circ}\text{C}$, com a irradiação à temperatura de congelamento, tendo provocado um aumento da região do ombro da curva de inativação.

Segundo THAYER *et al.* (1990), a temperatura na qual CMS foi irradiada influenciou significativamente a sobrevivência de *S. typhimurium* e *S. enteritidis*. Os mesmos pesquisadores, posteriormente (THAYER e BOYD, 1991^a), demonstraram que a irradiação foi mais deletéria para as células de *S. typhimurium* 14028, em temperaturas acima do ponto de congelamento. A população viável por grama de CMS ou por centímetro quadrado de superfície de coxa de frango foi reduzido em 2,8 a 5,1 unidades log, quando irradiado a 0°C , com doses de irradiação entre 1,5 e 3,0 kGy.

THAYER e BOYD (1993), utilizando amostras de CMS e carne bovina moída inoculadas com células de *E. coli* O157:H7, relataram os valores D_{10} de 0,44 kGy a -5°C e 0,28 kGy a 5°C . *Listeria monocytogenes*, inoculada em carne bovina (*Longissimus dorsi*), apresentou maior resistência à irradiação com valores D_{10} de 0,45 kGy a 0°C , 0,77 kGy a -5°C , e 1,21 kGy a -20°C .

CLAVERO *et al.* (1994) observaram que *E. coli* O157:H7 teve um valor D_{10} significativamente ($P < 0,05$) maior, quando irradiado entre -17 e -15°C , do que a $3-5^{\circ}\text{C}$, em amostras de carne bovina moída. O aumento da resistência à irradiação a temperaturas abaixo da de congelamento tem sido atribuído a uma diminuição na atividade de água (MONK *et al.*, 1995).

Resultados similares foram encontrados por MONK *et al.* (1994) que, ao pesquisar o efeito de duas concentrações de gordura (11,1% - 13,9% e 27,1%

- 27,9%) e duas temperaturas (-17°C e 3°C), na destruição de *L. monocytogenes* e *S. aureus*, em carne bovina moída, constataram que não houve interferência da gordura ou da temperatura no grau de inativação dos dois patógenos pelo processo de irradiação.

MORENO (2001), em nosso laboratório, observou que as temperaturas de refrigeração e congelamento, durante a exposição de fatias de contra-filé (*Longissimus dorsi*), embaladas sob diferentes atmosferas, às doses de 1,0; 1,5 e 2,0 kGy, para as amostras refrigeradas, e de 1,0; 2,0; e 3,0 kGy para as congeladas, não tiveram influência sobre a radiorresistência de populações de bactérias láticas, psicrotróficas, *Brochotrix thermosphacta*, bactérias anaeróbias e anaeróbias formadoras de esporos. Esses resultados concordam com os de MONK *et al.* (1995) para outros grupos de microrganismos.

Referências Bibliográficas

- ANELIS, A., BERKOWITZ, D., KEMPER, D. Comparative resistance of nonsporogenic bacteria to low-temperature gamma irradiation. **Appl. Microbiol.**, Washington, v.25, no.4, p.517-523, 1973.
- BERG, P.E., GRECZ, N. Relationship of dipicolinic acid content in spores of *Bacillus cereus* T to ultraviolet gamma radiation resistance. **J. Bacteriol.**, Washington, v.103, p.517-519, 1970.
- BIDAWID, S., FARBER, J.M., SATTAR, S.A. Inactivation of hepatitis A virus (HAV) in fruits and vegetables by gamma radiation. **Int. J. Food Microbiol.**, Amsterdam, v.57, p.91-97, 2001.
- BRUNS, M.A., MAXCY, R.B. Effect of irradiation temperature and drying on survival of highly radiation-resistant bacteria in complex menstrua. **J. Food Sci., Chicago**, , Chicago, v.44, p. 1743-1746, 1979.
- BUCHANAN, R.L., EDELSON, S.G., SNIPES, K., BOYD, G. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 in apple juice by irradiation. **Appl. Environ. Microbiol.**, Washington, v. 64, no. 11, p.4533-4535, 1998.
- BURRELL, A.D., FELDSCHEIBER, P., DEAN, C.J. DNA membrane association of double breaks in X-irradiated *Micrococcus radiodurans*. **Biochim. Biophys. Acta**, Amsterdam, v.247, p.38-53, 1971.
- CHIRINOS, R. R. O.; VIZEU, D. M.; DESTRO, M. T.; FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 in hamburgers with gamma irradiation. **Braz. J. Microbiol.**, São Paulo, 33, 2002 (no prelo).
- CHIRINOS, R. R. O.; VIZEU, D. M.; LANDGRAF, M. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 in hamburgers with gamma irradiation. In: TUIJTELAARS, A.C.; SAMSON, R.A.; ROMBOUTS, F.M.; NOTERMANS, S. (ed.) **Food Microbiology and Food Safety into the next millennium**. Proceedings of the 17th International Symposium of the International Committee on Food Microbiology and Hygiene (ICFMH) , Veldhoven, The Netherlands, 13-17 September, cap. 11: Cleaning and Decontamination, pág. 787-789, 1999.
- CHOU, F.I., TAN, S.T. Manganese (II) induces cell division and increases in superoxide dismutase and catalase activities in an aging deinococcal culture. **J. Bacteriol.**, Washington, v. 172, p.2029-2035, 1990.
- CLAVERO, M.R.S., MONK, J.D., BEUCHAT, L.R., DOYLE, M.P., BRACKETT, R.E. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonellae*, and

Campylobacter jejuni in raw ground beef by gamma irradiation. **Appl. Environm. Microbiol.**, Washington, v. 60, no. 6, p.2069-2075, 1994.

COSTA, S.O.P. **Genética molecular e de microrganismos**. São Paulo: Manole, 1987, 559p.

DALY, M.J., MINTON, K.W. Interchromosomal recombination in the extremely radioresistant bacterium *Deinococcus radiodurans*. **J. Bacteriol.**, Washington, v.177, no.19, p.5495-5505, 1995.

DALY, M.J., OUYANG, L., MINTON, K.W. Interplasmidic recombination following irradiation of the extremely radioresistant bacterium *Deinococcus radiodurans*. **J. Bacteriol.**, Washington, v.176, no.24, p.7506-7515, 1994.

DIEHL, J.F. Biological effects of ionizing irradiation. In: DIEHL, J.F. **Safety of irradiated food**. New York: Marcel Dekker, 1990, p.95-144.

DION, P., CHARBONNEAU, R., THIBAUT, C. Effect of ionizing dose rate on the radioresistance of some food pathogenic bacteria. **Can. J. Microbiol.**, Ottawa, v.40, p.369-374, 1994.

DONELLAN, F.J., SETLOW, R.B. Thymine photoproducts but not thymine dimers found in ultraviolet-irradiated bacterial spores. **Science**, London, v.149, p.303-310.

DURBAN, E., GRECZ, N., FARKAS, J. Direct enzymatic repair of DNA single strand breaks in dormant spores. **J. Appl. Bacteriol.**, Oxford, v.19, p.62-70, 1974.

EL-ZAWAHRY, Y.A., ROWLEY, D.B. Radiation resistance and injury of *Yersinia enterocolitica*. **Appl. Environm. Microbiol.**, Washington, v.37, no.1, p.50-54, 1979.

FARAG, M.D.E.H., SHAMSUZZAMAN, K., BORSA, J. Radiation sensitivity of *Listeria monocytogenes* in phosphate buffer, trypticase soy broth, and poultry feed. **J. Food Prot.**, Des Moines, v.53, n.8 p.648-651, 1990.

FARKAS, J., ANDRÁSSY, É. Interaction of ionizing radiation and acidulants on the growth of the microflora of a vacuum-packaged chilled meat product. **Int. J. Food Microbiol.**, Amsterdam, v.19, p.145-152, 1993.

FARKAS, J. Microbiological safety of irradiated foods. **Int. J. Food Microbiol.**, Amsterdam, v.9, p.1-15, 1989.

- FARKAS, J. Tolerance of spores to ionizing radiation: mechanisms of inactivation, injury and repair. **J. Appl. Bacteriol.** (Symp. Suppl.), Oxford, v.76, p.81S-90S, 1994.
- FARKAS, J. Physical methods of food preservation. In: DOYLE, M.P., BEUCHAT, L.R., MONTVILLE, T.J. **Food microbiology: fundamentals and frontiers**. 2nd ed. Washington: ASM, 2001. p.567-591.
- FIRSTENBERG-EDEN, R., ROWLEY, D.B., SHATTUCK, G.D. Factors affecting growth and toxin production by *Clostridium botulinum* type AE on irradiated (0,3 Mrad) chicken skins. **J. Food Sci.**, Chicago, v.47, p.867870, 1982.
- FU, A-H., SEBRANEK, J.G., MURANO, E.A. Survival of *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica* and *Escherichia coli* O157:H7 and quality changes after irradiation of beef steaks and ground beef. **J. Food Sci.**, Chicago, v.60, no.5, p.972-977, 1995.
- GOULD, G.W. Heat-induced injury and inactivation. In: GOULD, G.W. (ed.) **Mechanisms of action of food preservatives**. Belfast: University, 1989. p.11-70.
- GRANT, I.R., PATTERSON, M.F. Effect of irradiation and modified atmosphere packaging on the microbiological and sensory quality of pork stored at refrigeration temperatures. **Int. J. Food Sci. Technol.**, Oxford, v.26, p.507-519, 1991.
- GRANT, I.R., PATTERSON, M.F. Combined effect of gamma radiation and heating on the destruction of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella typhimurium* in cook-chill roast beef and gravy. **Int. J. Food Microbiol.**, Amsterdam, v.27, p.117-128, 1995.
- GRECZ, N., ROWLEY, D.B., MATSUYAMA, A. The action of radiation on bacteria and viruses. In: JOSEPHSON, E.S., PETERSON, M.S. **Preservation of food by ionizing radiation**. v.II. Boca Raton: CRC, 1983. p.167-218.
- HARNULV, B.G., SNYGG, B.G. Radiation resistance of spores of *Bacillus subtilis* and *Bacillus stearothermophilus* at various water activities. **J. Appl. Bacteriol.**, Oxford, v.36, n.4, p.677-682, 1973.
- HASHISAKA, A.E., MATCHES, J.R., BATTERS, Y., HUNGATE, F.P., DONG, F.M. Effects of gamma irradiation at -78°C on microbial populations in dairy products. **J. Food Sci., Chicago**, Chicago, v. 55, no.5, p. 1284-1289, 1990.

- HASTINGS, J.W., HOLZAPFEL, W.H., NIEMAND, J.G. Radiation resistance of Lactobacilli isolated from radurized meat relative to growth and environment. **Appl. Environm. Microbiol.**, Washington, v.53, no.4, p.898-901, 1986.
- HUTCHINSON, F. Workshop summary: DNA strand break repair in eukaryotes. ICN-UCLA Symp. Mol. Cell. Biol., Washington, v.9, p.457-463, 1978. Apud: DALY, M.J., OUYANG, L., FUCHS, P., MINTON, K.W. In vivo damage and *recA*-dependent repair of plasmid and chromosomal DNA in the radiation-resistant bacterium *Deinococcus radiodurans*. **J. Bacteriol.**, Washington, v.176, no.12, p. 3508-3517, 1994.
- KAMAT, A.S., PRADHAN, D.S. Involvement of calcium and dipicolinic acid in the resistance of *Bacillus cereus* BIS-59 spores to u.v. and gamma radiation. **Int. J. Rad. Biol.**, London, v.31, no.1, p.7-18, 1987.
- KAPLAN, H.S., ZAVARINE, R. Correlation of bacterial radio-sensitivity and DNA base composition. **Biochem. Biophys. Res. Comm.**, San Diego, v.8, n.6, p.432, 1962.
- KUMAR, J.K., SHARMA, A.K., KULKARNI, P.R. Effect of gamma irradiation on staphylococcal thermonuclease (Tnase). **Int. J. Food Sci. Nut.**, Basingstoke, v.51, p.55-58, 2000.
- LAMBERT, J.D., MAXCY, R.B. Effect of gamma radiation on *Campylobacter jejuni*. **J. Food Sci.**, Chicago, v.49, p.665-667, 1984.
- LÓPEZ-GONZALES, V., MURANO, P.S., BRENNAN, R., MURANO, E.A. Influence of various commercial packaging conditions on survival of *Escherichia coli* O157:H7 to irradiation by electron beam versus gamma rays. **J. Food Prot.**, Des Moines, v.62, n.1, p.10-15, 1999.
- MA, K., MAXCY, R.B. Factors influencing radiation resistance of vegetative bacteria and spores associated with radappertization of meat. **J. Food Sci.**, Chicago, v.46, n.2, p.612-616, 1981.
- MATTIMORE, V., BATTISTA, J.R. Radioresistance of *Deinococcus radiodurans*: functions necessary to survive ionizing radiation are also necessary to survive prolonged dessication. **J. Bacteriol.**, Washington, v.178, n.3, p.633-637, 1996.
- MINTON, K.W. Repair of ionizing-radiation damage in the radiation resistance bacterium *Deinococcus radiodurans*. **Mutation Res.**, Amsterdam, v.363, p.1-7, 1994.

- MIYAGUSKU, L. Efeito da irradiação na qualidade e no aumento da vida útil da cortes de peito de frango (*Pectoralis major*) refrigerados. 2001, 95p. (Tese Mestrado UNICAMP, Campinas)
- MODI, N.K., ROSE, S.A., TRANTER, H.S. The effects of irradiation and temperature on the immunological activity of staphylococcal enterotoxin A. **Int. J. Food Microbiol.**, Amsterdam, v.11, p.85-92, 1990.
- MONK, J.D., BEUCHAT, L.R., DOYLE, M.P. Irradiation inactivation of food-borne microorganism. **J. Food Prot.**, Des Moines, v.58, n.2, p.197-208, 1995.
- MONK, J.D., CLAVERO, M.R.S., BEUCHAT, L.R., DOYLE, M.P. Irradiation inactivation of *Listeria monocytogenes* and *Staphylococcus aureus* in low- and high-fat, frozen and refrigerated ground beef. **J. Food Prot.**, Des Moines, v.57, n.9, p.969-974, 1994.
- MONTVILLE, T.J., WINKOWSKI, K., CHIKINDAS, M.L. Biologically based preservation systems. In: In: DOYLE, M.P., BEUCHAT, L.R., MONTVILLE, T.J. (ed.). **Food microbiology: fundamentals and frontiers**. Washington: ASM, 2001. p.629-647.
- MORENO, M.L. G. Avaliação do efeito combinado do processo de irradiação, diferentes temperaturas e atmosferas de embalagem na qualidade microbiológica e sensorial da carne (*Longissimus dorsi*). São Paulo, 2001, 104p. (Tese de Doutorado – Faculdade de Ciências Farmacêuticas – USP).
- MOSELEY, B.E.B. Ionizing radiation: action and repair. In: GOULD, G.W. (ed.) **Mechanisms of action of food preservation procedures**. Belfast: University, 1989. p.43-70.
- MOSELEY, B.E.B. Photobiology and radiobiology of *Micrococcus* (*Deinococcus*) *radiodurans*. **Photochem. Photobiol.**, London, v.7, p.223-274, 1983.
- MULDER, R.W.A.W. Ionizing energy treatment of poultry. **Food Technol. Aust.**, v.36, p.418-420, 1984. Apud RADOMYSKI, T., MURANO, E.A., OLSON, D.G., MURANO, P.S. Elimination of pathogens of significance in food by low-dose irradiation: a review. **J. Food Prot.**, Des Moines, v.57, n.1, p.73-86, 1994.
- MURANO, E.A. Irradiation of fresh meats. **Food Technol.**, Chicago, p.52-54, 1995
- NIEMAND, J.G., VAN DER LINDE, H.J., HOLZAPFEL, W.H. Shelf-life extension of minced beef through combined treatments involving radurization. **J. Food Prot.**, Des Moines, v.46, p.791-796, 1983.

- PALUMBO, S.A., JENKINS, R.K., BUCHANAN, R.L., THAYER, D.T. Determination of irradiation D-values for *Aeromonas hydrophila*. **J. Food Prot.**, Des Moines, v.49, p.189-191, 1986.
- RADOMYSKI, T., MURANO, E.A., OLSON, D.G., MURANO, P.S. Elimination of pathogens of significance in food by low-dose irradiation: a review. **J. Food Prot.**, Des Moines, v.57, n.1, p.73-86, 1994.
- ROSE, S.A., MODI, N.K., TRANTER, H.S., BAILEY, N.E., STRINGER, M.F., HAMBLETON, P. Studies on the irradiation of toxins of *Clostridium botulinum* and *Staphylococcus aureus*. **J. Appl. Bacteriol.**, Oxford, v.65, p.223, 1988.
- ROWLEY, D.B., NEWCOMB, H.R. Radiosensitivity of several dehydrogenases and transaminases during sporogenesis of *Bacillus subtilis*. **J. Bacteriol.**, Washington, v.87, p.701-709, 1964.
- SANTOS, A. F.; VIZEU, D. M.; DESTRO, M. T.; FRANCO, B. D. G.; LANDGRAF, M. Determinação da dose de radiação gama para reduzir a população de *Salmonella* spp. em carne de frango. **Ciênc. Tecnol. Alimentos**, Campinas, (aceito para publicação).
- SHAMSUZZAMAN, K., GOODWIN, M., GEORGE, I., SINGH, H. Radiation survival of two nalidixic acid resistant strains of *Salmonella typhimurium* in various media. **Radiat. Phys. Chem.**, Oxford, v.34, n.6, p.985-989, 1989.
- SHAMSUZZAMAN, K., LUCHT, L. Resistance of *Clostridium sporogenes* spores to radiation and heat in various nonaqueous suspension media. **J. Food Prot.**, Des Moines v.56, p.10-12, 1993.
- SHENOY, K., MURANO, E.A., OLSON, D.G. Survival of heat-shocked *Yersinia enterocolitica* after irradiation in ground pork. **Int. J. Food Microbiol.**, Amsterdam, v.39, p.133-137, 1998.
- SILVERMAN, G.J. Sterilization by ionizing irradiation. In: BLOCK, S.S., (ed.) **Desinfection, sterilization and preservation**. 3rd ed. Philadelphia: Lea & Febiger, 1983. p.89-105.
- TANOOKA, H., SAKAKIBARA, Y. Radioresistant nature of the transforming activity of DNA in bacterial spores. **Biochim. Biophys. Acta**, Amsterdam, v.155, p.130-142, 1968.
- TARKOWSKY, J.A., STOFFE, S.C.C., BEUMER, R.R., KAMPELMACHER, E.H. Low dose gamma irradiation of meat. I Bacteriological and sensory quality effects in artificially contaminated samples. **Int. J. Food Microbiol.**, Amsterdam, v.1, p.13-23, 1984.

- TAUXE, R.V. Food safety and irradiation: protecting the public from foodborne infections. Emerging Inf. Dis. Available: http://www.cdc.gov/ncidod/cid/vol.7no3_supp/tauxe.htm. [July 20, 2001].
- TERANO, H., TANOOKA, H., KADOTA, H. Germination induced repair of single strand breaks of DNA in irradiated *Bacillus subtilis* spores. **Biochem. Biophys. Res. Commun.**, San Diego, v.37, p.66-71, 1969.
- THAYER, D.W., BOYD, G. Gamma ray processing to destroy *Staphylococcus aureus* in mechanically deboned chicken meat. **J. Food Sci.**, Chicago, v. 57, n.4, p.848-851, 1992.
- THAYER, D.W., BOYD, G. Elimination of *Escherichia coli* O157:H7 in meats by gamma irradiation. **Appl. Environm. Microbiol.**, Washington, v.59, p.1030-1034, 1993.
- THAYER, D.W., BOYD, G. Radiation sensitivity of *Listeria monocytogenes* on beef as affected by temperature. **J. Food Sci.**, Chicago, v.60, n.2, p.237-240, 1995.
- THAYER, D.W., BOYD, G. Inactivation of *Shewanella putrefaciens* by gamma irradiation of red meat and poultry. **J. Food Safety**, Turnmbull, v.16, n.2, p.151-160, 1996.
- THAYER, D.W., BOYD, G., FOX Jr, J.B., LAKRITZ, L. Elimination by gamma irradiation of *Salmonella* spp. and strains of *Staphylococcus aureus* inoculated in bison, ostrich, alligator, and caiman meat. **J. Food Prot.**, Des Moines, v.60, n.7, p. 756-760, 1997
- THAYER, D.W., BOYD, G., FOX Jr, J.B., LAKRITZ, L., HAMPSON, J.W. Variations in radiation sensitivity of foodborne pathogens associated with the suspending meat. **J. Food Prot.**, Des Moines, v.60, n.1, p.63-67, 1995.
- THAYER, D.W., BOYD, G. JERKINS, R.K. Low-dose gamma irradiation and refrigerated storage *in vacuo* affect microbial flora of fresh pork. **J. Food Sci.**, Chicago, v.58, n.4, p. 717-719, 733, 1993.
- THAYER, D.W., BOYD, G., MULLER, W.S., LIPSON, C.A., HAYNE, W.C., BAER, S.H. Radiation resistance of *Salmonella*. **J. Ind. Microbiol.**, Amsterdam, v.5, p.383-390, 1990.
- THAYER, D.W., BOYD, G., MULLER, W.S., LIPSON, C.A., HAYNE, W.C., BAER, S.H. Survival of *Salmonella typhimurium* ATCC 14028 on the surface of chicken legs or in mechanically deboned chicken meat irradiated in air or vacuum at temperatures of -20 to + 20°C. **Poultry Sci.**, Champaign, v.70, n.4, p.1026-1033, 1991.

UPADHYAY, J., GRECZ, N. Radiation survival of bacterial spores in neutral and alkaline ice. **Can. J. Microbiol.**, Ottawa, v.15, p.1419, 1969.

URBAIN, W.M. **Food Irradiation**. Orlando: Academic Press, 1986. 315p.

van GERWEN, S.J.C., ROMBOUTS, F.M., van't RIET, K., ZWIETERING, M.H. A data analysis of the irradiation parameter D_{10} for bacteria and spores under various conditions. **J. Food Prot.**, Des Moines, v.62, no9, p.1024-1032, 1999.

WANG, P., SCHELLHORN, H.E. Induction of resistance to hydrogen peroxide and radiation in *Deinococcus radiodurans*. **Can. J. Microbiol.**, Ottawa, v.41, p.170-176, 1995.

***EFEITOS DA IRRADIAÇÃO SOBRE AS
CARACTERÍSTICAS SENSORIAIS DO ALIMENTO E DA
VIDA ÚTIL DO PRODUTO***

As reações químicas provocadas pela radiação ionizante no alimento podem induzir alterações nas características sensoriais dos alimentos. Assim como aquelas, estas também são influenciadas pela atividade de água do alimento, pela atmosfera ao redor do alimento e pela temperatura em que o processo é realizado.

A presença de H_2O_2 e H , decorrente da radiólise da água, pode causar, por ação indireta, o desenvolvimento de odores e sabores desagradáveis em carnes, entre eles, o odor de “cachorro molhado” e o sabor metálico, limitando a dose máxima de irradiação a ser aplicada a esses alimentos (THAKUR e SINGH, 1994; GAMAGE *et al.*, 1997). Outros sabores e odores considerados típicos são o de ranço (DIEHL, 1990), de queimado, de amargo, de queijo, de grão molhado (HUBER e BRASCH, 1953).

Baseados em uma escala de 1 a 5, começando por “sem sabor e aroma de irradiação” (1) até “sabor e aroma muito forte de irradiação” (5), SUDARMADJI e URBAIN (1972) verificaram que a carne de animais domésticos, como de suíno, de bovino, de peru, ou de frango, é mais sensível à irradiação do que a carne de animais marinhos e de outros animais. As doses máximas para as proteínas de origem animal mais comuns na alimentação do ser humano foram de 1,5 kGy para peru, 1,75 kGy para carne suína, 2,5 kGy para carne bovina, 2,5 kGy para frango, 3,5 kGy para coelho e 6,25 kGy para carne de ovelha, todas embaladas a vácuo. As explicações para os achados foram o estilo de vida, as condições ambientais, as atividades físicas, a

variedade de alimentação, ou talvez, a condição psicológica (estresse) que podem ter contribuído para o desenvolvimento do sabor metálico. É possível, também, que a falta de familiaridade dos membros do painel com certas carnes pode ter afetado o julgamento do sabor irradiado.

Os problemas relacionados à produção de odores e sabores estranhos nos alimentos podem ser minimizados, quando ele é irradiado no estado congelado. Em baixas temperaturas, a difusão de radicais livres formados é limitada, o que impede o movimento e a reatividade destes com os componentes do alimento.

Durante a irradiação, o oxigênio que se encontra ao redor do alimento e o nele dissolvido estão sujeitos à ativação pela radiação ionizante. Durante o processo, forma-se o ozônio, um produto altamente oxidante, capaz de oxidar a mioglobina da carne, produzindo a alteração de cor do produto em embalagens contendo oxigênio (OLSON, 1998). Além disso, também pode haver a produção de sabores e odores desagradáveis devido à oxidação lipídica (MONK *et al.*, 1995). Conseqüentemente, a irradiação seria mais eficiente em produtos embalados a vácuo (LEE *et al.*, 1996).

Em nosso laboratório, CHIRINOS *et al.*, (2002) irradiaram hambúrgueres com dose de 1,0 kGy, verificando alterações nas suas características sensoriais, as quais foram detectadas por membros do painel treinado. Essas alterações ocorreram no sabor – residual de gordura rança - , textura – pouco macia –, e aparência do produto frito – gordurosa. As irradiadas com 0,8 kGy não apresentaram essas alterações. Porém, considerando que o consumo de

hambúrgueres é comumente acompanhado por diversos tipos de molho como mostarda, maionese e “ketchup”, é bem provável que as perdas daquelas características não sejam perceptíveis ao consumidor. (Anexo 3).

Em outro trabalho (LYNCH *et al.*, 1991), o painel treinado, utilizado para testar os efeitos da irradiação de 2,5 kGy sobre a qualidade sensorial de filé de peito de peru, constatou a formação de cor rosa intensa nas amostras cruas e cozidas. O mesmo aconteceu em amostras de peito de frango irradiado, mas o desenvolvimento de cor rosa foi considerada aceitável e desejável pelo painel avaliador, diferentemente da cor branca das amostras não irradiadas (ABU-TARBOUSH *et al.*, 1997). Com relação à carne vermelha, há poucos estudos disponíveis, mas todos concordam com que a aplicação adequada de doses médias de irradiação (1 – 10 kGy) não afetam esse parâmetro (cor).

HASHIN *et al.* (1995) verificaram que a irradiação não teve influência nas características sensoriais de carne de frango branca cozida, refrigerada ou congelada. Porém, na carne escura, congelada, irradiada e cozida foi detectado um aumento no sabor característico de frango e a refrigerada apresentou textura mais macia do que os controles. Para a carne crua, tanto branca como escura, a irradiação não afetou a aparência.

BOUGLE e STAHL (1994) não detectaram alterações nas características sensoriais de amostras de queijo Camembert expostas à dose de 2,6 kGy, a qual reduziu para níveis não detectáveis a população 10^4 UFC de *L. monocytogenes*/g.

KAMAT *et al.* (1998) verificaram que salame e presunto cozido irradiados com dose de 3 kGy não apresentaram alterações sensoriais durante 2 semanas de armazenamento a 2- 4°C. Entretanto, carne moída de porco apresentou alterações indicativas de deterioração uma semana após ter sido submetida ao mesmo processamento. Este trabalho mostrou também a influência dos conservantes, como sais de cura, que atuaram como mais um obstáculo, diminuindo a dose necessária para redução de *Y. enterocolitica* de 6 kGy, na carne de porco, para 3 e 4 kGy, em salame e presunto cozido, respectivamente.

MORENO (2001), em nosso laboratório, avaliou a cor das amostras de contra-filé (*Longissimus dorsi*) embaladas sob atmosfera normal, sob vácuo e nitrogênio, refrigeradas e congeladas, irradiadas e não irradiadas, logo após o processo de irradiação e duas horas após o processo, por painel não treinado. Foi constatado que, logo após a irradiação, as amostras refrigeradas, embaladas sob atmosfera normal, apresentavam cor vermelha mais escura que aumentava com a dose. Decorridas duas horas do processo, apesar de as amostras irradiadas não apresentarem diferença entre si, elas ainda se apresentavam com cor vermelha mais escura do que a amostra-controle não irradiada. Esse fato, já constatado por outros autores (SCHULTZ *et al.*, 1956; LEFEBVRE *et al.*, 1994), é um dos temas de interesse atual na área de irradiação de alimentos, uma vez que se desconhece a resposta química para o fato. Na pesquisa realizada por LEFEBVRE *et al.* (1994), a cor da carne bovina irradiada com doses de 1,0; 2,5 e 5,0 kGy foi considerada mais agradável do que a das amostras-controle.

No trabalho de MORENO (2001), a cor das amostras, também foi avaliada por espectrofotometria (U-3410 Spectrophotometer, Hitachi). As amostras, neste caso, eram mantidas fechadas em suas embalagens originais. As amostras irradiadas, embaladas sob atmosfera normal e resfriadas, ficaram menos vermelhas e mais escuras e as congeladas menos vermelhas e mais claras. As embaladas a vácuo e resfriadas, irradiadas com 1,0 e 1,5 kGy, apresentaram-se mais claras e aquelas irradiadas com 2 kGy ficaram menos vermelhas. As congeladas apresentaram-se mais vermelhas e claras. As amostras embaladas sob nitrogênio apresentaram alterações semelhantes às das amostras embaladas a vácuo. Neste mesmo trabalho, não foram observadas alterações no odor, com todas as amostras apresentando odor típico de carne fresca. Esses dados concordam com os de RHODES e SHEPERD (1966) para carne bovina irradiada com doses inferiores a 4 kGy e com os de RODRIGUEZ *et al.* (1993) e FU *et al.* (1995), com doses de 2 kGy.

MAYER (2001), em nosso laboratório, não observou diferenças significativas entre as amostras de camarão-rosa (*Penaeus brasiliensis* e *P. paulensis*) irradiadas com doses de 1,0; 2,0; 3,0 e 3,5 kGy e a amostra-controle, para os atributos “sabor de camarão” e “gosto amargo”. Portanto, os tratamentos não afetaram a aceitação e a qualidade do produto, o que foi observado também por LACROIX *et al.* (1995). Os atributos de “odor de amônia” e de “peixe fresco”, no entanto, foram considerados critérios prioritários para a definição da qualidade do produto e, conseqüentemente, de sua vida de prateleira (MAYER, 2001). Ainda nesse mesmo trabalho, foi constatado que a “cor cinza” do

camarão esteve inversamente relacionada com a contagem total de psicrotróficos, isto é, concomitante ao aumento da população desses microrganismos, houve uma diminuição na cor externa do produto. Foi verificado, também, alteração na “cor salmão” do produto durante o período de estocagem, com o aumento da população de microrganismos mesófilos, psicrotróficos e *Pseudomonas* spp. A alteração da cor interna da carne e o aparecimento de “odor de amônea” estão diretamente relacionados com o aumento da população de psicrotróficos, elevação dos valores de bases voláteis nitrogenadas e pH, indicativos da deterioração do produto.

MIYAGUSKU (2001), trabalhando com filés de peito de frango, não constatou alterações nas propriedades sensoriais do produto irradiado com doses de 3 kGy. A vida útil do produto aumentou de 5 para 22 dias.

JAKABI *et al.* (2002), sob nossa orientação, irradiaram ostras com doses de 3,0 kGy e, mesmo sendo considerado um produto com sabor extremamente delicado, os membros do painel treinado não detectaram alterações entre as amostras irradiadas com 3 kGy e as amostras-controle, para os atributos de aparência e odor para os produtos cru e assado e para o atributo sabor do produto cozido. (Anexo 4). É importante frisar que os animais não morreram com a dose aplicada.

Também não foram constatadas alterações na textura, na cor e demais atributos sensoriais de uma refeição completa constituída por filé Salisbury, molho de carne e purê de batatas, exposta a 2,9 kGy (FOELY *et al.*, 2001),

resultado concordante com o de HORWARD et al (1995) para salada mexicana "pico de galo", composta por tomate, cebola e pimenta.

Referências Bibliográficas

- ABU-TARBUOUSH, H.M., AL-KAHTANI, H.A., ATIA, M., ABOU-ARAB, A.A., BAJANER, A., EL-MOJADDIDI, M.A. Sensory and microbial quality of chicken as affected by irradiation and postirradiation storage at 4°C. **J. Food Prot.**, Des Moines, v.60, n.7, p.761-770, 1997
- BOUGLE, D.L., STAHL, V. Survival of *Listeria monocytogenes* after irradiation treatment of Camembert cheeses made from raw milk. **J. Food Prot.**, Des Moines, v.57, n.9, p.811-813, 1994.
- CHIRINOS, R. R. O.; VIZEU, D. M.; DESTRO, M. T.; FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 in hamburgers with gamma irradiation. **Braz. J. Microbiol.**, São Paulo, 33, 2002 (no prelo).
- DIEHL, J.F. **Safety of irradiated foods**. New York: Marcel Dekker, 1990. 345p.
- FOLEY, D.M., REHER, E., CAPORASO, F., TRIMBOLI, S. MUSHERRAF, Z., PRAKASH, A. Elimination of *Listeria monocytogenes* and changes in physical and sensory qualities of a prepared meal following gamma irradiation. **Food Microbiol.**, London, v.18, p.193-204, 2001.
- FU, A-H., SEBRANEK, J.G., MURANO, E.A. Survival of *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica* and *Escherichia coli* O157:H7 and quality changes after irradiation of beef steaks and ground beef. **J. Food Sci.**, Chicago, v.60, no.5, p.972-977, 1995.
- GAMAGE, S.D., FAITH, N.G., LUCHANSKY, J.B., BRIEGE, D.R., INGHAN, S.C. Inhibition of microbial growth in chub-packed ground beef by refrigeration (2°C) and medium – dose (2.2 to 2.4 kGy) irradiation. **Int. J. Food Microbiol.**, Amsterdam, v.37, p.175-182, 1997.
- HASHIN, I.B., RESSURECCION, A.V.A., MCWATTERS, K.V. Descriptive sensory analysis of irradiated frozen or refrigerated chicken. **J. Food Sci.**, Chicago, v.60, p.64-66, 1995.
- HOWARD, L.R., MILLER, JR., G.H., WAGNER, A.B. Microbiological, chemical, and sensory changes in irradiated *pico de gallo*. **J. Food Sci.**, Chicago, v.60, n.3, p.461-464, 1995.
- HUBER, W., BRASCH, A. Effect of processing conditions on organoleptic changes in foodstuffs sterilized with high intensity eletrons. **Food Technol.**, Chicago, v.3, p.109, 1953.

- JAKABI, M.; GELLI, D. S.; TORRE, J. C. M. D.; RODAS, M. A. B.; FRANCO, B. D. G. M.; DESTRO, M. T.; LANDGRAF, M. Influence of ionizing radiation on *Salmonella* Enteritidis, *Salmonella* Infantis and *V. parahaemolyticus* internalized in oysters. Enviado para **J. Food Prot.**
- KAMAT, A.S., KHARE, S., DOCTOR, T., NAIR, P.M. Control of *Yersinia enterocolitica* in raw pork and pork products by γ -irradiation. **Int. J. Food Microbiol.**, Amsterdam, v.36, p.69-76, 1997.
- LACROIX, M.L., CHARBONNEAU, R., JOBIN, M. THIBAUT, C., NOUCHPRAMOOL, H., CHAROEN, S., GAGNON, M. A feasibility study of gamma irradiation on Thailand frozen shrimps (*Penaeus monodon*). **Rad. Phys. Chem.**, Oxford, v.46, n.4/6, p.739-744, 1995.
- LEE, M., SEBRANEK, J.G., OLSON, D.G., DICKSON, J.S. Irradiation and packaging of fresh meat and poultry. **J. Food Prot.**, Des Moines, v.59, n.1, p.62-72, 1996.
- LEFEBVRE, N., THIBAUT, C., CHARBONNEAU, R., PIETTE, J.P.G. Improvement of shelf-life and wholesomeness of ground beef by irradiation - 2. Chemical analysis and sensory evaluation. **Meat Sci.**, Oxford, v.36, p.371-380, 1994.
- LYNCH, J.A., MACFIE, J.H., MEAD, G.C. Effect of irradiation and packaging type on sensory quality of chill-stored turkey breast fillets. **Int. J. Food Sci. Technol.**, Oxford, v.26, p.653-668, 1991.
- MAYER, M. D. B. Alterações microbiológicas, físico-químicas e sensoriais durante a vida útil do camarão-rosa (*Penaeus brasiliensis* e *Penaeus paulensis*) submetido à radiação gama. São Paulo, 2001, 89p. (Dissertação - Mestrado - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, USP).
- MIYAGUSKU, L. Efeito da irradiação na qualidade e no aumento da vida útil da cortes de peito de frango (*Pectoralis major*) refrigerados. Campinas, 2001, 95p. (Dissertação - Mestrado, Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP)
- MONK, J.D., BEUCHAT, L.R., DOYLE, M.P. Irradiation inactivation of food-borne microorganism. **J. Food Prot.**, Des Moines, v.58, n.2, p.197-208, 1995.
- MORENO, M.L. G. Avaliação do efeito combinado do processo de irradiação, diferentes temperaturas e atmosferas de embalagem na qualidade microbiológica e sensorial da carne (*Longissimus dorsi*). São Paulo, 2001, 104p. (Tese de Doutorado – Faculdade de Ciências Farmacêuticas – USP).

- OLSON, D.G. Irradiation of food. **Food Technol.**, Chicago, v.52, n.1, p.56-62, 1998.
- RHODES, D.N., SHEPERD, H.J. The treatment of meats with ionizing radiation. XIII.- pasteurization of beef and lamb. **J. Sci. Food Agric.**, London, v.17, p.287-297, 1966.
- RODRIGUEZ, R.H., LASTA, G.J.A., MALLO, R.A., MARCHEVSKY, N. Low-dose gamma irradiation and refrigeration to extend shelf-life of aerobically packed fresh beef. **J. Food Prot.**, Des Moines, v.56, n.6, p.505-509, 1993.
- SCHULTZ, H.W., COIN, R.F., NORDAN, C., MORGAN, B.H. Concomitant use of radiation with other processing methods for meat. **Food Technol.**, Chicago, p.233-238, 1956.
- SUDARMADJI, S. URBAIN, W.M. Flavour sensitivity of selected animal protein foods to gamma radiation. **Lett. Appl. Microbiol.**, Oxford, v.29, p.338-340, 1972.
- THAKUR, B.R., SINGH, R.K. Food irradiation – chemistry and application. **Food Rev. Int.**, New York, v.10, n.4, p.437-473, 1994.

***COMBINAÇÃO DE MÉTODOS, INCLUINDO A IRRADIAÇÃO,
PARA AUMENTAR A SEGURANÇA E A QUALIDADE
MICROBIOLÓGICA DOS ALIMENTOS***

O dano subletal causado por raios ionizantes à célula microbiana pode aumentar sua sensibilidade a fatores ambientais estressantes e outros agentes de injúria (CAMPBELL-PLATT e GRANDISON, 1990; FARKAS, 1990). Por isso, o efeito sinérgico da irradiação com outros processos vem sendo estudado ao longo dos anos. Com a combinação de métodos, doses de radiação menores podem ser aplicadas, não só minimizando os problemas relacionados com as alterações nas características sensoriais, como também reduzindo o custo do processo de radiação.

Estudo realizado por SZCZAWINSKA et al, (1985) demonstraram que células de *Salmonella* spp., presentes em carne, sobreviventes à dose de 1 kGy, ficaram mais sensíveis à ação de sais de cura.

Como a irradiação é um processo não térmico, que não afeta o frescor dos alimentos, seu emprego em combinação com outros métodos tem sido proposto para aumentar a qualidade de alimentos minimamente processados.

A combinação de tratamentos foi proposto por VAS (1981) e THAYER et al. (1991) como meio de aumentar os efeitos conservantes da irradiação. Entre eles, o emprego de baixas doses de radiação, para reduzir as populações de microrganismos patogênicos e deteriorantes, em conjunto com embalagem em atmosfera modificada (MAP), para suprimir ou retardar a multiplicação dos sobreviventes durante o armazenamento, tem recebido especial atenção.

LEBEPE et al. (1990) relataram que houve redução nas populações de microrganismos mesófilos anaeróbios e anaeróbios facultativos e de

psicrotróficos em amostras de lombo de porco embaladas a vácuo e irradiadas com 3 kGy. O gênero *Lactobacillus* foi o menos afetado neste processo. A combinação do processo de irradiação com a embalagem a vácuo permitiu o armazenamento por até 91 dias a 2 °C, enquanto a deterioração foi observada nas amostras não irradiadas em 41 dias.

A exposição à dose de 1,75 kGy reduziu para níveis não detectáveis as populações de *S. typhimurium*, *L. monocytogenes*, *E. coli*, *Yersinia enterocolitica* e *C. perfringens* inoculados em amostras de carne suína moída embalada em atmosfera com 25% CO₂ e 75% de N₂ e submetidas ao armazenamento em temperaturas de abuso (GRANT e PATTERSON, 1991).

O uso de embalagem a vácuo e irradiação de carne moída fresca com doses de 1,5 e 2,5 kGy estendeu a vida útil desse produto por mais de 15 e 21 dias, respectivamente (LAMBERT *et al.*, 1991a).

Por outro lado, VARABIOFF *et al.* (1992) relataram que a combinação da atmosfera modificada com o processo de irradiação (2,5 kGy) e a estocagem em temperatura de refrigeração não foi suficiente para assegurar a não proliferação de *Listeria monocytogenes* em frango cru.

LAMBERT *et al.* (1992) avaliaram os efeitos das doses de irradiação (0, 0,5 e 1,0 kGy), da concentração de O₂ (0, 10 e 20%) e da temperatura de estocagem (5, 15 e 25°C) sobre as mudanças sensoriais e físico-químicas e vida útil de carne suína. A irradiação na ausência de O₂ prolongou a vida de prateleira de carne suína, armazenada a 5°C, de 9 para 26 dias. Porém, a presença de O₂, no espaço livre, combinado com o processo de irradiação, teve

um efeito adverso sobre as propriedades físicas, químicas e sensorias, resultando na rejeição do produto final.

FARKAS e ANDRASSY (1993) estudaram os efeitos da dose de radiação gama de 2 kGy sobre produtos de carne moída, com pH normal e com pH reduzido para pH 5,3 -5,2, embalados a vácuo (preparados de carne suína e carne bovina com recheio de especiarias e cereais). A irradiação causou a redução de 2 ciclos logarítmicos na população de células viáveis aeróbias e de 4 ciclos logarítmicos na contagem de bactérias pertencentes à família *Enterobacteriaceae*. A combinação de redução de pH e irradiação preveniu o crescimento de *Enterobacteriaceae* a 10°C.

A redução na população de *E. coli* exposta às doses de 0 a 2,4 kGy com feixe de elétrons foi maior nos meios de cultura com pH 4,13 e 4,0 do que no pH entre 4,3 e 7,0. Segundo os autores, o baixo pH no citoplasma celular causa a desnaturação de enzimas de reparo do DNA, incapacitando-as para a recuperação da injúria causada pela irradiação. O efeito sinérgico da redução do pH com a irradiação foi observado para todas as doses testadas (FIELDING *et al.* (1994).

A combinação da irradiação com 2 kGy e armazenamento a 1°C conservou as características sensoriais de amostras de coxão duro, embaladas com filme de polietileno, prolongando a vida de prateleira do produto em 17 dias (RODRIGUES *et al.*, 1993).

O efeito sinérgico entre irradiação e a adição de condimentos foi constatado por MAHROUR *et al.* (1998) que verificaram a extensão da vida útil

de coxas de frango por um fator de 7-8, previamente marinadas e irradiadas com dose de 5 kGy e armazenadas a 4°C.

LACROIX *et al.* (1998) verificaram um aumento de 4 dias na vida de prateleira de cogumelos (*Agaricus bisporus*) irradiado com 2 kGy e armazenados a 15 °C em ambiente com umidade relativa de 90%.

THAYER *et al.* (1998) não conseguiram identificar qual ou quais o(s) fator(es) intrínseco(s) da carne de peito de peru crua e “nuggets” de peito de peru cozido influenciou ou influenciaram o crescimento de *Listeria monocytogenes* nesses produtos, após terem sido irradiados com 3,0 kGy. Foi constatado que o valor D₁₀ do microrganismo foi diferente para os dois tipos de amostras (0,56 kGy para carne de peito de frango moídas e de 0,69 kGy para os “nuggets” cozidos).

SPOTO *et al.* (2000) verificaram que a combinação da dose de 6,0 kGy com refrigeração conservou carne de peito de frango moída por 28 dias. Nessa pesquisa, no entanto, não foi realizada análise sensorial do produto irradiado com 6 kGy, não sendo possível, portanto, avaliar o impacto da dose sobre a cor, odor e sabor.

MORENO (2001), em nosso trabalho, constatou o aumento da vida útil de cortes de contra-filé embalados a vácuo e refrigerados, irradiados com dose de 2,0 kGy, de 6 para 14 dias. Essa combinação propiciou maior aumento da vida útil do produto, quando comparado com as amostras embaladas sob nitrogênio e atmosfera normal. O mesmo efeito foi verificado por ROBERTS E WEESE (1998) para carne bovina nas mesmas condições.

Apesar de a atmosfera modificada aumentar o prazo de validade dos produtos, há muita preocupação com a segurança microbiológica desses produtos, particularmente no que se refere ao *Clostridium botulinum*. Esporos bacterianos de *C. botulinum*, por estimulação do CO₂ e em temperaturas de abuso, podem germinar e produzir toxina em condições anaeróbias, podendo o risco ser maior devido à eliminação de microrganismos deteriorantes competidores em alimentos irradiados.

LAMBERT *et al.* (1991b) testaram o efeito combinado da embalagem em atmosfera com 5 níveis iniciais de CO₂ (15, 30, 45, 60 e 75%), e irradiação com 0,5 e 1,0 kGy na produção de toxina por *C. botulinum* em carne de porco “in natura”. Foi constatado que a combinação da baixa dose de radiação com qualquer nível de CO₂ retardou a produção de toxina com a deterioração aparecendo antes.

A irradiação com as doses de 0,5 e 1,0 kGy foi estudada em conjunto com o armazenamento em temperaturas de 5, 15 e 25°C das amostras de carne de porco “in natura”, inoculadas com esporos de *C. botulinum* tipos A e B, embaladas em atmosfera modificada. Foi observado que a 15°C, as amostras irradiadas e as controle, embaladas com 10 ou 20% de oxigênio no espaço livre, apresentaram toxina após 14 dias. A toxina foi detectada nos produtos embalados com 0% de oxigênio e um absorvente de oxigênio, após 21 dias, nas amostras-controle, e após 43 dias, nas amostras irradiadas com 1 kGy. A 5°C não foi detectada toxina em nenhum produto (LAMBERT *et al.*, 1991b).

Em outro trabalho, os mesmos autores (LAMBERT *et al.*, 1991c) verificaram que a produção de toxina em amostras de carne suína embalada em concentrações de CO₂ superiores a 30% foi retardada. Para todas as concentrações de CO₂ estudadas, a deterioração precedeu a formação da toxina, resultando na rejeição do produto. O armazenamento de carne embalada em atmosfera modificada ou normal e estocada a 15°C provocou a deterioração do produto antes da produção da toxina. O produto foi rejeitado principalmente devido a problemas de alteração na sua cor (LAMBERT *et al.*, 1991d).

O controle do desenvolvimento de microrganismos deteriorantes como *C. sporogenes* foi observado por FARKAS *et al.* (1992) ao expor carne enlatada à dose de 3-4 kGy combinado com tratamento térmico de F₀=0,8 e pH de 5,5 – 5,7.

Referências Bibliográficas

- CAMPBELL-PLATT, G., GRANDISON, A.S. Food irradiation and combined processes. **Rad. Phys. Chem.**, Oxford, v.35, p.253-257, 1990.
- FARKAS, J. Combination irradiation with mild heat treatment. **Food Control**, v.1, p.223-229, 1990.
- FARKAS, J., ANDRÁSSY, É. Interaction of ionizing radiation and acidulants on the growth of the microflora of a vacuum-packaged chilled meat product. **Int. J. Food Microbiol.**, Amsterdam, v.19, p.145-152, 1993.
- FARKAS, J., ANDRÁSSY, É., HORTI, K. Combined effects of physical treatments and sporostatic factors on *Clostridium botulinum* spores. **Acta Aliment.**, Budapest, v.21, n.1, p.49-66, 1992.
- FIELDING, L.M. The effect of electron beam irradiation and modified pH on the survival and recovery of *Escherichia coli*. **J. Appl. Bacteriol.**, Oxford, v.76, p.412-416, 1994.
- GRANT, I.R., PATTERSON, M.F. Effect of irradiation and modified atmosphere packaging on the microbiological and sensory quality of pork stored at refrigeration temperatures. **Int. J. Food Sci. Technol.**, v.26, p.507-519, 1991.
- LACROIX, M., MAHROUR, A., BEAULIEU, M., JOBIN, M., NEKTSA-TABIRI, J., GAGNON, M. Effect of the rate and dose rate of irradiation on the quality of mushrooms, shrimps and marinated poultry. **Combination Process for food irradiation**. Proceedings of the Final Research co-ordination meeting of the coordinated research programme on irradiation in combination with other processes for improving food quality. Viena, p.41-51, 1998.
- LAMBERT, A.D., SMITH, J.P., DODDS, K.L. Shelf-life extension and microbiological safety OF FRESH MEAT – A REVIEW. **Food Microbiol.**, v.48, p.267-279, 1991a.
- LAMBERT, A.D., SMITH, J.P., DODDS, K.L. Combined effect of modified atmosphere packaging and low-dose irradiation on toxin production by *Clostridium botulinum* in fresh pork. **J. Food Prot.**, Des Moines, v.54, n.2, p.94-101, 1991b.
- LAMBERT, A.D., SMITH, J.P., DODDS, K.L. Effect of headspace CO₂ concentration on toxin production by *Clostridium botulinum* in MAP, irradiated fresh pork. **J. Food Prot.**, Des Moines, v.54, p.588-592, 1991c.

- LAMBERT, A.D., SMITH, J.P., DODDS, K.L. Effect of initial O₂ and CO₂ and low-dose irradiation on toxin production by *Clostridium botulinum* in MAP fresh pork. **J. Food Prot.**, Des Moines, v.54, p.939-944, 1991d.
- LAMBERT, A.D., SMITH, J.P., DODDS, K.L. Physical, chemical and sensory changes in irradiated fresh pork packaged in modified atmosphere. **J. Food Sci.**, Chicago, v.57, n.6, p.1294-1299, 1992.
- LEBEPE, S., MOLINS, R.A., CHAROEN, S.P., FARRAR IV, H., SKOWRONSKI, R.P. Changes in microflora and other characteristics of vacuum-packaged pork loins irradiated at 3.0 kGy. **J. Food Sci.**, Chicago, v.55, n.4, p.918-924, 1990.1990
- MAHROUR, A., LACROIX, M., NKETSA-TABIRI, J., CALDERON, N., GAGNON, M. Antioxidant properties of natural substances in irradiated fresh poultry. **Rad. Phys. Chem.**, Oxford, v.52, n.1-6, p.77-80, 1998.
- MORENO, M.L. G. Avaliação do efeito combinado do processo de irradiação, diferentes temperaturas e atmosferas de embalagem na qualidade microbiológica e sensorial da carne (*Longissimus dorsi*). 2001. (Tese de Doutorado, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, USP, São Paulo).
- ROBERTS, W.T., WEESE, J.O. Shelf life of ground beef patties treated by gamma radiation. **J. Food Prot.**, Des Moines, v.61, n.10, p.1387-1389, 1998.
- RODRIGUEZ, R.H., LASTA, G.J.A., MALLO, R.A., MARCHEVSKY, N. Low-dose gamma irradiation and refrigeration to extend shelf-life of aerobically packed fresh beef. **J. Food Prot.**, Des Moines, v.56, n.6, p.505-509, 1993.
- SPOTO, M.H.F., GALLO, C.R., ALCARDE, A.R., GURGEL, M.S.A., BLUMER, L., WALDER, J.M.M., DOMARCO, R.E. Gamma irradiation in the control of pathogenic bacteria in refrigerated ground chicken meat. **Scient. Agr.**, v.57, n.3, p.389-394, 2000.
- SZCZAWINSKA, J., SZCZAWINSKA, M., SZULE, M. Combined effects of ionizing radiation and curing salts (NaNO₂ and NaCl) on behaviour of salmonellae in meat. **Arch. Lebensmittelhyg.**, v.36, p.55-58, 1985.
- THAYER, D.W., BOYD, G., KIM, A., FOX JR, J.B., FARRELL JR, H.M. Fate of gamma irradiated *Listeria monocytogenes* during refrigerated storage on raw and cooked turkey breast meat. **J. Food Prot.**, Des Moines, v.61, n.8, p.979-987, 1998.
- THAYER, D.W., SONGPRASERTCHAI, S., BOYD, G. Effects of heat and ionizing radiation on *Salmonella typhimurium* in mechanically deboned chicken meat. **J. Food Prot.**, Des Moines, v.54, n.9, p.718-724, 1991.

VARABIOFF, Y., MITCHELL, G.E., NOTTINGHAM, S.M. Fate of irradiation on bacterial load and *Listeria monocytogenes* raw chicken meat. **J. Food Prot.**, Des Moines, v.55, n.5, p.389-391, 1992.

VAS, K. Technological feasibility of combination treatment. In: Combination processes in food irradiation. IAEA, Vienna, p.125-130, 1981

IRRADIAÇÃO E O CONSUMIDOR

Apesar de já estar sendo estudado há mais de 40 anos, o emprego de radiação gama não se consolidou totalmente por problemas de aceitação por parte dos consumidores. Esses problemas, no entanto, parecem estar diminuindo sensivelmente, uma vez que o índice de aceitação do alimento submetido ao processo tem aumentado bastante, como demonstram os trabalhos de SCHUTZ *et al.* (1989), BRUHN (1995a, 1995b) e RESSURRECCION *et al.* (1995). Estes últimos verificaram que 45% dos entrevistados comprariam alimentos irradiados, caso apresentassem rótulos apropriados; 36% mostraram-se indecisos e somente 19% não comprariam esses alimentos. O conhecimento do público sobre métodos de processamento de alimentos e, em particular, sobre a irradiação, é muito limitado. Porém, quando munidos de informações específicas dos benefícios do processo, constata-se um aumento no número de consumidores dispostos a adquirir o alimento irradiado (OLSON, 1998).

As razões mais importantes pelas quais 31,8% do total de adultos pesquisados não comprariam carne bovina ou de ave irradiada encontram-se publicadas no Food Safety Economics (FRENZEN *al.*, et, 2000). Trinta e cinco por cento desses responderam que seria devido à insuficiência de informações sobre os riscos e/ou benefícios e 22,7% apresentaram dúvidas sobre a qualidade toxicológica do alimento irradiado.

Referências bibliográficas

BRUHN, C.M. Consumer attitudes and market response to irradiated food. **J. Food Prot.** Des Moines, v.58, p.175-181, 1995a.

BRUHN, C.M. Strategies for communicating the facts on food irradiation to consumers. **J. Food Prot.** Des Moines, v.58, p.213-216, 1995b.

FRENZEN, PD., MAJCHROWICZ, BUZBY, J.C., IMHOFF, B. Consumer acceptance of irradiated meat and poultry products. United States Department of Agriculture, Econ. Res. Ser., Food Safety Economics, Agriculture Information Bul. n.757, p.1-8, 2000.

OLSON, D.G. Irradiation of food. **Food Technol.**, Chicago, v.52, n.1, p.56-62, 1998.

RESSURRECCION, A.V.A., GALVEZ, F.C.F., FLETCHER, S.M., MISRA, S.K. Consumer attitudes toward irradiated food: results of a new study. **J. Food Prot.**, Des Moines, v.58, p.193-136, 1995.

SCHUTZ, H.G., BRHUN, C.M., DIAZ-KANUF, K.V. Consumer attitudes toward irradiated foos: effects of labeling and benefits information. **Food Technol.**, Chicago, v.55, n.5, p.1201-1205, 1989.

***PERSPECTIVAS PARA O EMPREGO DA IRRADIAÇÃO NA
CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS***

As perspectivas para o uso da irradiação são várias, uma vez que até o momento este pode ser considerado o melhor método para aumentar a segurança microbiológica do alimento. Para alguns produtos, como especiarias, é considerado único, pois o uso do óxido de etileno está proibido em muitos países. Além disso, por ser um processo a frio, ele mantém as características do alimento próximas às do alimento no seu estado natural, qualidade esta extremamente desejada pelos consumidores. Essa vantagem é inerente ao processo, visto que a dose pode ser dimensionada de acordo com a finalidade desejada.

A radiação pode ser empregada para induzir a polimerização de proteínas, possibilitando a formação de filmes biodegradáveis ou comestíveis. Esses filmes apresentam grande potencial de uso como material de embalagem de alimentos, como recobrir frutas, vegetais e queijos, e para serem utilizados em microcápsulas para aromas.

Em termos de Brasil, é necessário que sejam feitas campanhas por órgãos do governo envolvidos com a vigilância sanitária dos alimentos e das indústrias para esclarecimento das vantagens desse método de conservação.

É importante ressaltar, porém, que a irradiação não substitui as boas práticas de produção e o emprego de matérias-primas de boa qualidade. Como outros métodos de conservação de alimentos, os objetivos desejados não serão alcançados, caso a matéria-prima seja de má qualidade.

Caso o FDA aprove o uso da irradiação em produtos cárneos prontos para consumo (salsichas e outros produtos) para controle de *Listeria monocytogenes*, as perspectivas para o emprego dessa técnica serão maiores ainda.

A possibilidade de a irradiação poder ser realizada com o produto em sua embalagem final é uma grande vantagem, pois é um processo que garante a segurança do alimento. Portanto, essa etapa pode ser um ponto crítico de controle (PCC), no final do processamento dos produtos alimentícios, em planos de Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP).