

A ESTERILIZAÇÃO A FRIO DE PRODUTOS ALIMENTARES POR MEIO DAS RADIAÇÕES IONIZANTES

ANTÓNIO VALENTE DA FONSECA ALVES DA COSTA

*Chefe dos Serviços Industriais do Instituto Português
de Conservas de Peixe*

Lisboa - Portugal

Escolhi para tema desta «conversa» com V. Ex.^{as}, um assunto que tem sido o sonho daqueles a quem está entregue o estudo dos problemas da conservação dos alimentos e que, a realizar-se com êxito, provocaria uma revolução radical na indústria da alimentação.

O método básico de esterilização dos alimentos tem sido sempre o mesmo, desde que há 150 anos Nicholas Appert pela primeira vez esterilizou alimentos, utilizando o calor.

Em face das alterações que o calor provoca em certos alimentos, especialmente nos de baixa acidez, tem havido uma contínua procura de um método, que, atingido o objectivo de esterilizar o produto, provocasse sòmente uma pequena elevação na sua temperatura.

De entre os diversos meios que têm sido descobertos e postos à nossa disposição, para atingir este fim, pelos modernos físicos, as radiações ionizantes, tanto electromagnéticas como corpusculares, são as que mais prometedoras se nos apresentam.

Adiante veremos quais e porque as escolhemos.

Para dar uma ideia da extensão da actividade e do interesse que a «esterilização a frio» está a despertar nos meios científicos americanos, bastará dizer que em 1948 sòmente 3 laboratórios trabalhavam neste tipo de investigação, enquanto que hoje, não há praticamente universidade técnica alguma, onde não estejam a ser conduzidos estudos directamente relacionados com o assunto, a maior parte deles subsidiados, quer pela Comissão de Energia Atómica, quer pela Manutenção Militar, (U. S. Army Quartermaster Corps) que seriam sem dúvida os maiores beneficiários se o processo se tornasse viável. Este

(*) Conferência realizada no Núcleo de Coimbra da Sociedade Portuguesa de Química e Física em 30 de Outubro de 1957.

último departamento só à sua parte está a gastar anualmente com tal programa de investigação cerca de 2 milhões de dólares.

Muito rapidamente vou-me referir a alguns fundamentos que considero úteis para uma melhor compreensão do que vou expor, começando por relembrar a estrutura da matéria com os seus electrões, protões, neutrões, os positões, deuterões, etc., a representação do átomo, pelo esquema de Bohr e pela simples abreviatura de ${}_Z^A\text{N}$, em que N representa o peso atómico (protões+neutrões) e Z o número atómico (electrões planetários).

Como V. Ex.^{as} sabem são de 2 tipos as radiações ionizantes.

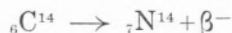
- 1 — De natureza electromagnética — tais como os raios X e raios γ ;
- 2 — de natureza corpuscular — tais como as partículas α , β , raios catódicos, neutrões, etc., constituídos por partículas pesadas, que se podem mover a qualquer velocidade dependente da sua energia cinética e que podem ter carga positiva, negativa ou nenhuma.

Consideremos agora a interacção destes 2 tipos de radiação com a matéria, começando primeiro pelos efeitos das radiações corpusculares.

Assim, na generalidade, a partícula:

- 1 — Pode perder a sua energia por colisão com um núcleo ou um electrão;
- 2 — Pode provocar a ionização dos átomos da substância irradiada;
- 3 — Pode provocar a rotura das ligações intermoleculares;
- 4 — Pode ser capturada pelo núcleo resultando um átomo radioactivo.

Por exemplo:



Vida média=5 580 anos.

Em face do exposto nem todas as formas de radiação corpusculares podem ser usadas para preservar alimentos.

Assim:

As partículas α não podem ser usadas porque perdem a sua energia rapidamente por ionização e choque não sendo portanto muito penetrantes — uma folha de papel é suficiente para as deter.

Os prótons, deutões e outras partículas de carga positiva pela mesma razão não podem ser usadas e porque podem provocar a formação de novos átomos radioactivos.

Os neutrões, em fluxo suficiente para preservar os alimentos, não poderão ser utilizados porque haverá grande probabilidade da produção de radioactividade induzida e a transmutação de elementos, tanto nos produtos alimentares como no recipiente. Assim teríamos a acrescentar ao inevitável problema da ruptura das ligações químicas, a possibilidade da formação de compostos indesejáveis.

Por exemplo o $^{15}\text{P}^{31}$, que existe naturalmente nos alimentos, captando um neutrão transforma-se no isotopo radioactivo $^{15}\text{P}^{32}$ de vida média de 14,3 dias que por seu turno se degrada no $^{16}\text{S}^{32}$ com a emissão de uma partícula β com a energia de 1.7 M e. v.

Restam-nos as partículas β naturalmente produzidas na degradação radioactiva e os raios catódicos, da mesma natureza, mas produzidos artificialmente em máquinas especiais — os aceleradores — que imprimem aos electrões uma energia adicional e os projectam em feixe numa dada direcção.

Têm a vantagem, sobre as radiações ionizantes já referidas, de que a formação de átomos radioactivos é muito pouco provável especialmente aos níveis de energia necessários à esterilização dos alimentos.

Passemos agora a considerar os efeitos das radiações electromagnéticas que para este problema tem interesse — os raios γ e os raios X, que, sendo radiações com as mesmas características físicas, diferem apenas em que as primeiras são produzidas durante a degradação radioactiva e as segundas são produzidas em máquinas muito custosas e de fraco rendimento.

Estas radiações perdem a sua energia por ionização ou excitação, provocam também a quebra das ligações químicas e dificilmente produzirão um átomo radioactivo.

Quando estas radiações atravessam a matéria, a sua energia é absorvida dos fotões por qualquer dos mecanismos fotoeléctrico, dispersão de Compton ou produção de pares de electrões, acelerados com iguais quantidades de energia. Estes electrões secundários excitam e ionizam outros átomos, o que talvez possa explicar o maior poder penetrante destas radiações.

De todas estas considerações resulta que os únicos tipos de radiações que tem as características essenciais de eficiência, segurança e praticabilidade, são as duas radiações ionizantes — os raios catódicos, produzidos artificialmente e os raios γ produzidos na degradação de matérias radioactivas.

É nesta premissa que se baseará todo o resto desta discussão, visto que os efeitos sobre a matéria são análogos.

Vejamos agora os efeitos destas radiações ionizantes nos vários componentes dos alimentos:

1.º — *Acção sobre as bactérias*

Que estas radiações destroem as bactérias é facto já conhecido desde 1905.

Assim o podermos considerá-las como meio esterilizador.

Explica-se esse efeito mortal de 2 maneiras:

- a) Por choque directo;
- b) Por efeito indirecto do meio, pela acção dos radicais livres neles formados.

No 1.º caso a radiação chocando directamente com a célula bacterial provoca nela a formação de radicais livres, oxidantes ou redutores, que matam a bactéria seja por uma alteração química da sua superfície seja por destruição do equilíbrio bioquímico do interior.

No 2.º caso, como muito bem foi demonstrado por Proctor e seus colegas do M. I. T. são as alterações provocadas no meio pelas radiações que provocam a morte das bactérias.

Outros estudos recentes provaram que a acção das radiações no maior ou menor grau de destruição das bactérias depende das espécies, do estado e constituição do meio em que se encontrem, dos elementos presentes, etc.

Não repugna aceitar porém que os 2 processos intervenham, umas vezes mais, outras menos, no processo final de destruição das bactérias.

Por exaustivos estudos sobre a acção das radiações sobre as bactérias nos mais diversos meios de cultura e alimentos, é que se chegou à conclusão de qual a dosagem necessária para conseguir a esterilização dos alimentos.

2.º — *Acção sobre os vários complexos químicos presentes nos alimentos*

O principal constituinte de grande número de alimentos é a água. Vejamos como se comporta em presença das radiações ionizantes.

Embora os detalhes das reacções que se passam, possam considerar-se meramente especulativas, não há dúvida que se liberta uma grande variedade de radicais livres, uns de natureza fortemente oxidante, outros fortemente redutora, cuja formação e acção sobre as substâncias orgânicas e inorgânicas presentes é acelerada pela presença do oxigénio atmosférico e dissolvido.

Assim dentre os radicais livres possivelmente formados destacam-se, pelo seu forte poder oxidante, os hidroxilos (OH), os hidroperoxilos (HO_2), o peróxido de hidrogénio, etc.

Estes e outros radicais, libertados pela acção das radiações, em contacto com os diversos constituintes de moléculas mais ou menos complexas, reagirão quimicamente com elas, provocando alterações mais ou menos profundas no arranjo e ligações dessas moléculas. Evidentemente que, se esses constituintes forem os responsáveis pela textura, sabor, cor, cheiro, valor nutritivo, etc., do produto, as características que adquirirá, torná-lo-ão inaceitável pelos habituais consumidores.

Esta acção indirecta das radiações através da formação de radicais livres, sendo de fundamental importância, não diminui o efeito alterador que essas radiações por ionização poderão provocar directamente nas complexas moléculas constituintes dos alimentos.

Estas acções indirectas poderão ser muito influenciadas pelos efeitos da difusão, da temperatura e da protecção que as moléculas mais sensíveis às radiações e seus efeitos exercem sobre as mais resistentes.

A importância da diluição fica bem documentada se atendermos à liberdade que dá aos radicais livres, aumentando-lhes as possibilidades de fácil reacção com as moléculas e outros radicais presentes.

Para obviar aos inconvenientes da difusão e fácil mobilidade dos radicais livres foi proposta e ensaiada com êxito a técnica de submeter à acção das radiações o produto congelado.

O efeito da protecção é especialmente flagrante nos produtos alimentares, por serem formados por moléculas e compostos de vária complexidade, diversa sensibilidade às radiações e diferente afinidade para com os radicais livres.

Para aumentar a protecção contra as indesejáveis reacções provocadas nos produtos alimentares, directa ou indirectamente pelas radiações, tem sido ensaiada a adição em maior ou menor quantidade, de compostos de reconhecida segurança, que sabemos possuírem maior facilidade da captura e de ligação com os radicais livres, do que os componentes naturais responsáveis pela qualidade do produto.

O uso destas técnicas tem a desvantagem de, se por um lado possibilitam a redução das transformações químicas indesejáveis, provocam por outro lado um aumento de resistência dos microorganismos presentes, ao efeito mortal das radiações. Não me parece pois que o

seu uso traga grandes vantagens, quando o nosso objectivo seja a esterilização do produto.

A grande dificuldade está em que as alterações químicas provocadas pelas radiações são impossíveis de revelar e caracterizar analiticamente, visto serem quantitativamente pequeníssimas, mas qualitativamente de grande importância, não só no que respeita aos factores que concorrem para a aceitação organoléptica do produto, mas também pela possibilidade do produto formado poder ter um carácter tóxico ou carcinogénico indetectável.

Recentemente, através de uma técnica conhecida por *Ressonância paramagnética do electrão* (E. P. R.) é já possível revelar os radicais «in situ», determinar a sua natureza em alimentos irradiados e estudar os factores do meio que afectam a sua produção e estabilidade, no respectivo espectrometro.

Sucintamente, o método baseia-se no facto de os radicais livres conterem pelo menos um «electrão impar» (unpaired) por radical e de esses electrões terem propriedades magnéticas únicas que permitem a sua revelação por meio de técnicas de ressonância paramagnética.

O método E. R. P. é baseado na absorpção da energia electromagnética, quando a substância, contendo os referidos electrões, é simultaneamente exposta a um campo de radiofrequência e a um forte campo magnético polarizante, orientados perpendicularmente.

A teoria do processo é detalhadamente exposta por Shoolery e Weaver no n.º 6 da *Annual Review of Physical Chemistry* de 1955.

Muito se espera da aplicação deste método para a completa compreensão das complexas reacções que os radicais livres provocam nos produtos alimentares sujeitos às radiações ionizantes em doses esterilizadoras e dos meios a usar para as evitar.

Vejamos agora:

3.º — Acção sobre as vitaminas

A vitaminas de moléculas mais ou menos complexas são muito sensíveis às radiações, especialmente quando em soluções puras. A vitamina B₁₂ e a vitamina C parecem ser as mais sensíveis, ao passo que a niacina parece ser a mais resistente.

Quando nos alimentos, por acção dos efeitos de protecção dos outros constituintes presentes, a destruição não é tão profunda.

Os efeitos destrutivos das radiações sobre as vitaminas presentes nos produtos alimentares parece ser devida principalmente à acção oxidante dos radicais livres.

Muitos dos trabalhos de investigação em curso, sobre os efeitos das radiações nas vitaminas, procuram identificar a natureza e a toxicidade desses produtos de oxidação.

4.º — *Acção sobre os amino-ácidos*

Quando naturalmente presentes nos alimentos, parece não sofrerem grandes alterações por efeito das radiações, especialmente nas dosagens especificadas para a esterilização.

5.º — *Acção sobre as enzimas*

Este é um dos graves problemas deste sistema e que não será muito fácil resolver com as radiações ionizantes.

A inactivação das enzimas é absolutamente fundamental para uma boa conservação dum produto alimentar.

Para aqueles que como eu têm como matéria-prima, os peixes, o problema tem ainda maior acuidade, dado que as acções enzimáticas são neles muito mais fortes e extensas do que nos outros animais. A razão está em que o peixe, para digerir os seus alimentos a baixa temperatura, está dotado naturalmente de poderosos sistemas enzimáticos.

Infelizmente estes catalisadores biológicos não são muito sensíveis às radiações.

Na esterilização pelo calor, a quantidade de calor necessária para a esterilização é suficiente para inactivar as enzimas.

Na esterilização por radiações uma dose 10 vezes maior que a necessária para a esterilização nem as destrói nem as inactiva completamente.

Para resolver tão grave problema admite-se a possibilidade da utilização do calor produzido por radiações de rádio-frequência, radar, etc.

Deste modo se poderá obter um aquecimento uniforme e instantâneo através de toda a massa do produto alimentar com a consequente inactivação dos sistemas enzimáticos presentes, sem sobreaquecimento da superfície exterior.

6.º — *Acção sobre as toxinas*

A destruição das toxinas porventura presentes num produto complexo, como os alimentos, é praticamente impossível, tão grande seria a dosagem requerida.

Dosagens necessárias para a esterilização dos alimentos

Tal como na esterilização pelo calor, também aqui se empregam, para a determinação da dosagem, as bactérias consideradas mais insensíveis às radiações.

Verificou-se que, à semelhança do que se observa na esterilização pelo calor, também aqui o mais resistente microorganismo é o «Clostridium Botulinus».

Verificou-se ainda que a dosagem requerida para a esterilização, variará com a flora microbiana e as particulares características de cada microorganismo e de cada produto alimentar onde se encontrem.

Para comparação das doses de radiação e os seus efeitos em diversos sistemas biológicos apresentamos o seguinte quadro:

Sistema biológico	Dose de radiação (R E P)
Limite de segurança para o homem	0,3 (por semana)
Mortal para o homem	800
Mortal para os insectos	25 000
Mortal para as bactérias vegetativas	50 000 — 500 000
Mortal para esporos de bactérias (Esterilização de Alimentos)	1 000 000 — 4 000 000
Virus, toxinas, ou inactivação de enzimas	Mais de 5 000 000

que claramente mostra as altas dosagens requeridas para a esterilização de alimentos e as condições de protecção que é preciso ter ao dispor para salvaguardar o pessoal dos perigos de exposição.

Parece haver uma grande correlação entre a complexidade biológica e a sensibilidade aos efeitos das radiações radioactivas.

No entanto os valores indicados no quadro para as bactérias podem considerar-se as doses máxima e mínima necessárias para conseguir o fim em vista, com um coeficiente de segurança suficiente para assegurar a sua destruição total, especialmente das productoras de esporos.

Unidades:

Definições das unidades mais comuns utilizadas neste campo de aplicação das radiações ionizantes:

Rep — «Roentgen equivalent physical». É a quantidade de radiação absorvida por um grama de substância irradiada ou, mais propriamente, a quantidade de irradiação que causará a deposição de 93 ergs por grama de material irradiado.

ev — É a energia que um electrão adquire ao mover-se através de uma diferença de potencial de 1 volt.

Geralmente usa-se o Mega-electrão volt = 10^6 ev. = M. e. v.

Roentgen — É a quantidade de energia radiante que, quando passa através de 1 c.c. de ar nas condições normais de pressão e temperatura, produz uma unidade electrotática de carga.

Aplicações práticas

No campo das aplicações práticas por quais das radiações nos deveremos decidir?

Pelos raios catódicos produzidos artificialmente ou pelos raios γ produzidos por degradação dos produtos radioactivos ou mesmo em reactores?

Comparemos algumas das suas características.

1.º — Penetração

No diagrama I vemos a diferença enorme do poder de penetração dos raios γ em relação aos catódicos, sendo o meio irradiado a água.

Diagrama Comparativo da Penetração
das
Radiações Gama (—) e Catódicas (---)

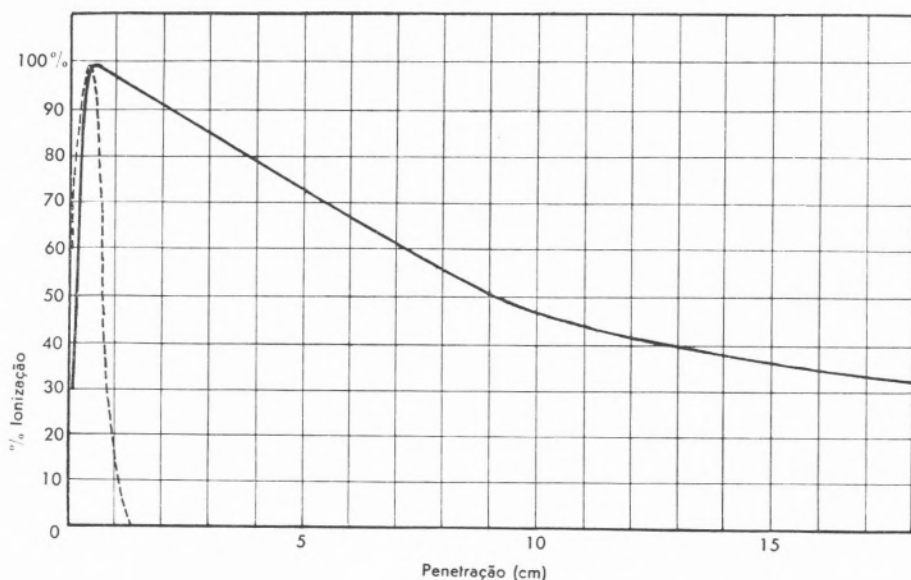


DIAGRAMA I

Tomando 3 Mev. como padrão, teremos uma penetração máxima de aproximadamente 1,5 cm para os raios catódicos ao passo que, usando raios γ , com o mesma energia de 3 M.e.v., depois de atravessarem uma camada de 20 cm de água ainda conservam a intensidade inicial do feixe.

Assim, vemos a diferença tremenda entre os poderes penetrantes das 2 espécies de radiações.

Verificou-se que várias substâncias corantes possuem a propriedade de mudarem de cor pela acção e conforme a intensidade das radiações ionizantes.

Isto constitui sem dúvida um meio rápido e eficaz de se avaliar visualmente a penetração, os níveis de intensidade, a área afectada por essas radiações, a influência dos materiais usados para embalagem, etc.

Um de tais corantes é o resazurim que na sua redução pelas

DIAGRAMAS

Visualizando a penetração dos raios catódicos de 2 e 3 M.e.v. por simples e dupla passagem, na gelose, corada com resazurim, contida em latas de alumínio com a espessura efectiva de 20 milímetros

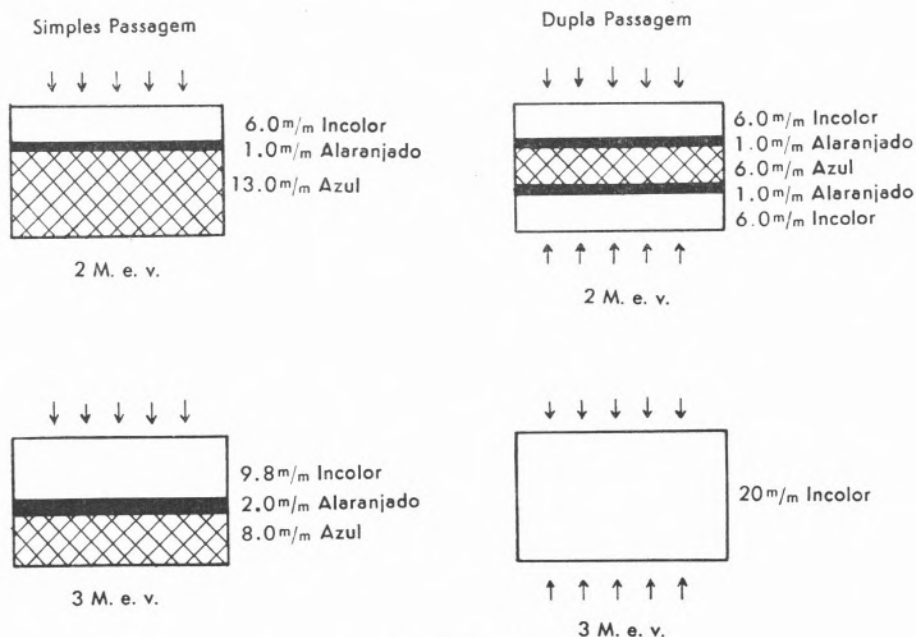


DIAGRAMA II

radiações ionizantes passa de azul a alaranjado e finalmente a incolor em correlação com a ionização por elas provocada.

O diagrama II ilustra os resultados que se podem obter quando são irradiadas por raios catódicos de 2 e 3 M. e. v., latas de sardinha em alumínio cheias com gelose tendo nela dissolvido o referido corante.

As partes tracejadas representam a parte do produto que não foi afectada pelos raios catódicos. As zonas representadas a preto, indicativas de doses insuficientes para provocar a ionização aos níveis mínimos daqueles que se verificam na zona de aplicação dessas radiações, mostram que nelas apenas se observará uma esterilização parcial.

As zonas a branco, representativas de completa descoloração do corante, indicam que a ionização provocada pelas radiações foi suficientemente forte e atingiu um nível, pelo menos igual ao da zona de aplicação, capaz de assegurar a completa esterilização do produto.

Em face da fraca penetração dos raios catódicos, utiliza-se na prática a técnica da «dupla passagem», que permite obter um pouco mais de dupla penetração — cerca de 2,5 vezes — como é bem demonstrado pelo diagrama III, que representa as curvas de ionização que se obtêm quando latas usuais de sardinha, cheias com gelose corada pelo resazurim, são expostas dos 2 lados, fundo e topo, a raios catódicos de 3 M. e. v., daí resultando a completa descoloração do conteúdo.

O facto à primeira vista paradoxal, de se obter por dupla passagem, mais que dupla penetração provém da adição dos efeitos ionizantes das doses representadas pelas secções AB e CD das 2 curvas de ionização. Deste facto resulta ser a percentagem de ionização no centro da lata equivalente ao das superfícies do topo e fundo, pelo que se verifica assim a completa esterilização do conteúdo, se a energia da radiação empregada for a adequada.

O uso de corantes, do género do descrito, constituirá uma técnica, simples e barata, de muita utilidade no campo das aplicações práticas das radiações ionizantes.

2.º — *Eficiência da utilização*

Com os electrões é muito alta e mesmo com dupla passagem podemos obter uma eficiência muito perto dos 100 %. A eficiência de utilização dos raios γ é muito baixa talvez da ordem dos 5 %.

3.º — *Distribuição da energia*

É de primeira importância, porque se essa distribuição não for uniforme, poderemos ter certas áreas do produto que recebem o tratamento devido ao passo que outras ficam à quem da dose que deveriam receber.

DIAGRAMA DA IONIZAÇÃO

Provocada por dupla passagem de raios catódicos de 3 M. e. v. sobre gelose, corada com resazurim, contida em latas 1/4 usual 22 mm.

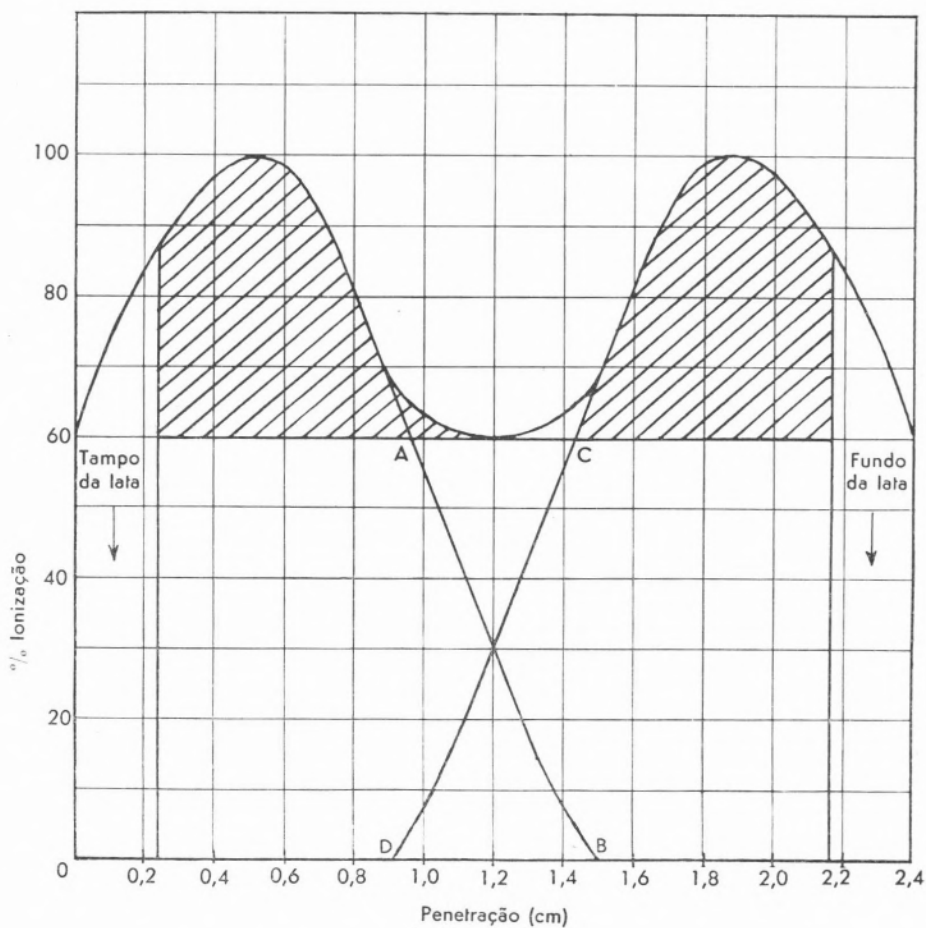


DIAGRAMA III

Os raios γ penetrando e dispersando-se em todas as direcções verão a sua energia absorvida mais uniformemente por todo o volume do produto.

Devido a vários sistemas mecânicos, também é possível conseguir uma distribuição uniforme da energia do feixe de raios catódicos.

4.º — *Tempo e grau de dosagem*

Nesta característica os electrões teriam a preferência.

As mais intensas fontes de raios γ usadas até hoje, são sub-produtos radioactivos provenientes do reactor da National Reactor Testing Station no Idaho nos Estados Unidos e com eles obtiveram-se graus de dosagem tão altos como 10 Mega rep/hora.

No entanto qualquer acelerador de electrões opera a 35 Mega rep/minuto.

Deste modo se vê que o tempo necessário para atingir a dosagem requerida para esterilização de qualquer produto é para os raios γ incomparavelmente maior.

5.º — *Facilidade de trabalho*

No que diz respeito à operação da esterilização dos alimentos, parece-nos que os raios catódicos levam a melhor.

No entanto as máquinas produtoras desses raios, por serem sistemas mecânicos, acarretam com a sua conservação e manutenção fortes dores de cabeça.

Por outro lado a emissão de raios catódicos pode ser iniciada ou cessada a nosso bel-prazer o que não acontece com as fontes produtoras de raios γ cuja actividade se degrada exponencialmente com o tempo, pelo que periodicamente têm de ser substituídas. O Co^{60} perde aproximadamente 50 % da sua eficiência num período de 5 anos.

Por isto os requisitos de segurança são incomparavelmente mais importantes e custosos no caso das fontes de raios γ do que os das máquinas produtoras de raios catódicos.

Em conclusão:

Cada tipo de radiação tem as suas vantagens e as suas limitações. A utilização de uma ou doutra dependerá do caso particular para que for destinada.

Custo

Teòricamente as fontes mais baratas de radiações deveriam ser as produtoras de raios γ por degradação radioactiva dos subprodutos dos reactores atômicos.

Mas nenhum cálculo comparativo pode ainda ser feito, enquanto não se souber mais sobre as possibilidades de abastecimento, preço do fornecimento, transporte, etc.

Capacidade de produção

É um factor muito importante no aspecto prático e económico.

Os raios catódicos permitem uma maior produção na unidade de tempo para o que basta ter em atenção o que dissémos atrás sobre grau de dosagem.

Uma referência breve aos aceleradores produtores de raios catódicos.

Presentemente existem 4 tipos diferentes:

1 — O acelerador electrostático de Van de Graaff;

2 — O capacitório;

3 — O transformador ressonante da G. E.;

Todos utilizam altas-voltagens como meio de aceleração.

Os problemas de isolamento e segurança são assim muito importantes.

Produzem electrões com energias que vão de 1 a 5 ou 6 M.e.v.

4 — Os aceleradores lineares.

Utilizam altas frequências da região do radar, como meio acelerador dos electrões até níveis de energia teòricamente ilimitados. Existe no Hospital do Cancro da Universidade de Chicago um destes aceleradores de 50 M.v.v. que está a ser ptilizado para comprovar se sim ou não será possível uma electrodesintegração do núcleo provocada por electrões a níveis de energia superiores a 10 M.e.v.

Resultados obtidos até hoje com os alimentos mais comus

O gosto, cheiro textura e aspecto dos diferentes alimentos variam, quando são irradiados com diferentes doses.

O leite já a 100 000 rep é intragável.

Com as doses pasteurizantes de 200 000 rep, as bananas, as santolas, laranjas, morangos, manteiga, queijo são grandemente afectadas, enquanto que o paio, salame, porco, presunto, cenouras, espinafres, ervilhã e a cavala permanecem aceitáveis.

Com as doses de esterilização alguns alimentos permanecem de certo modo aceitáveis, enquanto que outros, como a carne de vaca, carneiro, os peixes como a cavala e a pescada, as ostras e as salchichas, sofrem tais transformações, que se podem considerar impróprias para consumo.

Entre os alimentos que, embora sofrendo grande número de alteração, ainda se podem considerar de certo modo aceitáveis contam-se os espargos, o presunto, a carne de vitela, fígado, brócolos, galinha, ameijoas, bacalhau, solha, camarão, pargo, lombo de porco, chouriço, frutas, etc.

Para quem tenha um paladar mesmo não muito apurado as alterações são de molde a considerar a maior parte dos referidos alimentos inaceitáveis do ponto de vista organoléptico.

Por exemplo — os ovos — a gema apresenta-se encarquilhada com uma cor acastanhada e a clara perde grande parte da sua viscosidade espalhando-se no prato pela forma mais irregular. No entanto o sabor não é muito alterado, especialmente depois de cozidos ou estrelados.

É interessante notar que por vezes, depois de um certo período de armazenamento, algumas das características organolépticas peculiares desses alimentos voltam à forma primitiva.

Ensaaios de toxicidade

Dos ensaios realizados é possível concluir:

- 1 — Não se produz nos alimentos qualquer radioactividade induzida com as doses necessárias para esterilização;
- 2 — Até à data não há qualquer evidência da toxicidade dos alimentos irradiados, não só pelos ensaios com animais, mas principalmente com o grupo de 12 soldados que no Laboratório de Nutrição do Exército Americano se sujeitaram à experiência de se alimentarem com refeições constituídas por várias percentagens de alimentos irradiados.

Em face do exposto, e enquanto não quizermos preparar as nossas refeições com produtos preparados em autênticos laboratórios e não quizermos abdicar dos saborosos manjares a que estamos habituados, poderemos concluir, como o Dr. Ball, que «o calor continuará indefinidamente a ser o mais prático e económico agente a ser usado na esterilização dos alimentos a despeito dos progressos que a esterilização a frio possa fazer».

