



AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE  
DE SÃO PAULO

**EFEITO DA RADIAÇÃO GAMA SOBRE A VITAMINA A  
E O  $\beta$ -CAROTENO DE FÍGADO BOVINO E SUÍNO**

**MAGDA SINIGALLIA TAIPINA**

Dissertação apresentada como parte  
dos requisitos para obtenção do Grau  
de Mestre em Ciências na Área de  
Tecnologia Nuclear - Aplicações

Orientadora:  
Dra. Nélida Lúcia del Mastro

**São Paulo  
2001**

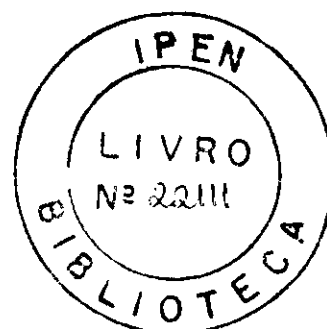
1.8.039|5  
34e

**INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES**

**Autarquia associada à Universidade de São Paulo**

**EFEITO DA RADIAÇÃO GAMA SOBRE A VITAMINA A E O  $\beta$ -CAROTENO DE  
FÍGADO BOVINO E SUÍNO.**

**MAGDA SINIGALLIA TAIPINA**



**Dissertação apresentada como parte dos  
requisitos para obtenção do Grau de  
Mestre em Ciências na Área de  
Tecnologia Nuclear – Aplicação**

**Orientadora:**

**Dra. Nélida Lúcia del Mastro**

**SÃO PAULO**

**2001**

Aos meus pais *Manuel e Alba* dedico este trabalho

## AGRADECIMENTOS

Agradeço

Especialmente à Dr<sup>a</sup> Nélide Lúcia Del Mastro, pela oportunidade, pelo apoio, pela orientação e incentivo e pela amizade.

Aos colegas Renato Panka e Ana Regina pelas amostras de patê de fígado suíno.

Ao Aluizio, pela compreensão, amor e carinho nos momentos aos quais foram privados da alegria do convívio.

A Dr<sup>a</sup> Myrna Sabino pela possibilidade de realizar as análises de vitamina A no Instituto Adolfo Lutz

A Leda C.A Lamardo pela ajuda na realização das análises de vitamina A no Instituto Adolfo Lutz.

Aos engenheiros Elizabeth Somessari e Carlos Gaia pelas irradiações.

À colega Suzy F. Sábato pelo auxílio no trabalho.

À administração do IPEN por permitir a participação no curso de pós-graduação.

Aos amigos do TE e administração pelo convívio e amizade

A minha família e amigos que me acompanham

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

## **EFEITO DA RADIAÇÃO GAMA SOBRE A VITAMINA A E O $\beta$ -CAROTENO DE FÍGADO BOVINO E SUÍNO.**

**Magda Sinigallia Taipina**

### **RESUMO**

Neste estudo, o conteúdo e o percentual de retenção de atividade de vitamina A e  $\beta$ -caroteno foram analisados em amostras de fígado bovino e patê de fígado suíno irradiadas com doses de 3 kGy e 30kGy de radiação gama de  $^{60}\text{Co}$ . Seis diferentes lotes de amostras foram obtidas em estabelecimento de comércio varejista, duas amostras por lote, pesando 100 g cada. A irradiação do fígado bovino iniciou-se com a amostra à  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Do mesmo modo, foram irradiadas seis diferentes lotes de amostras de patê de fígado suíno obtidas no comércio varejista, duas amostras por lote com peso variando de 105 a 125 g, a  $7^{\circ}\text{C}$ . O procedimento seguido tanto no pré tratamento quanto nos métodos de análise foi aquele descrito nas normas do Instituto Adolfo Lutz para análise de alimentos. Foram utilizadas amostras de fígado bovino de 2 a 5 g e de 5 g para patê de fígado suíno em duplicado para cada ensaio. Os resultados mostram que não houve perda de vitamina A nem da pró-vitamina A nas amostras de fígado bovino e patê de fígado suíno irradiadas com doses de 3kGy. Por outro lado, nas amostras de patê de fígado 40% da atividade de vitamina A foi retida após a irradiação com uma dose de 30 kGy .

## **RADIATION EFFECTS ON VITAMIN A AND $\beta$ -CAROTENE CONTENTS IN BOVINE LIVER AND SWINE PÂTÉ DE FOIE**

**Magda Sinigallia Taipina**

### **Abstract**

In this study, vitamin A and  $\beta$ -carotene contents and the percent of activity retention were analyzed in 3 kGy and 30kGy  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -irradiated samples of bovine liver and swine liver pâté. Six different lots of liver samples weighing 100g obtained at the meat market were employed. Irradiation was performed with liver samples initially frozen ( $-15^{\circ}\text{C}$ ). Similarly, six different lots of swine liver pâté samples weighing about 100 – 125 g, at temperature of  $7^{\circ}\text{C}$  were irradiated. Pre-treatments and analysis methods were those described in Instituto Adolfo Lutz Norms for food analyses. Two and five-gram samples in duplicates for bovine liver and five gram-samples for swine liver pâté were used. The results showed that there were no losses of either vitamin A or provitamin A activities in the samples of bovine liver and swine liver pâté irradiated with a dose of 3 kGy (retention about 100%). On the other hand, for swine liver pâté samples of vitamin A were maintained after irradiation with 30 kGy.

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b>	<b>i</b>
<b>RESUMO</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>iii</b>
<b>CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO</b>	<b>01</b>
<b>1.1 Considerações Gerais</b>	<b>01</b>
<b>1.2 Objetivo</b>	<b>02</b>
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>03</b>
<b>2.1 Generalidades sobre Alimentos</b>	<b>03</b>
<b>2.2 Composição dos alimentos</b>	<b>03</b>
<b>2.2.1 Macronutrientes</b>	<b>03</b>
<b>Carboidratos</b>	<b>03</b>
<b>Lipídios</b>	<b>04</b>
<b>Proteínas</b>	<b>05</b>
<b>2.2.2 Micronutrientes</b>	<b>07</b>
<b>Minerais</b>	<b>07</b>
<b>Vitaminas</b>	<b>08</b>
<b>Vitamina A</b>	<b>09</b>
<b>2.3 Contaminação dos Alimentos</b>	<b>14</b>
<b>2.4 Métodos para Preservação dos Alimentos</b>	<b>16</b>
<b>2.5 Interação da Radiação com a Matéria</b>	<b>17</b>
<b>2.6 Irradiação de Alimentos</b>	<b>19</b>
<b>2.6.1 Considerações Gerais sobre Irradiações de Alimentos</b>	<b>19</b>
<b>2.6.2 Salubridade dos alimentos irradiados</b>	<b>23</b>
<b>2.6.3 Legislação</b>	<b>24</b>
<b>2.6.4 Efeito da Radiação nas Vitaminas</b>	<b>26</b>
<b>2.6.5 Aspectos sensoriais</b>	<b>30</b>

<b>CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>32</b>
<b>3.1 Materiais: Amostras de fígado bovino e patê de fígado suíno</b>	<b>32</b>
<b>3.2 Métodos</b>	<b>33</b>
<b>3.2.1 Irradiação</b>	<b>33</b>
<b>3.2.2 Análise de Vitamina A</b>	<b>34</b>
<b>3.2.3 Análise de <math>\beta</math>-Caroteno</b>	<b>35</b>
<b>CAPITULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>36</b>
<b>CAPITULO 5 - CONCLUSÕES</b>	<b>43</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>50</b>



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 -</b>	<b>Vitaminas hidrossolúveis e lipossolúveis</b>	<b>08</b>
<b>Tabela 2 -</b>	<b>Alguns agentes etiológicos importantes transmitidos por alimentos</b>	<b>15</b>
<b>Tabela 3 -</b>	<b>Aplicação da radiação ionizante no processamento de alimentos</b>	<b>20</b>
<b>Tabela 4 -</b>	<b>Grau de sensibilidade das vitaminas</b>	<b>26</b>
<b>Tabela 5 -</b>	<b>Conteúdo de vitaminas da carne de frango</b>	<b>28</b>
<b>Tabela 6 -</b>	<b>Dose limiar para o desenvolvimento de odor desagradável para alguns alimentos de origem animal irradiados em temperaturas entre 5°C e 10°C</b>	<b>31</b>
<b>Tabela 7 -</b>	<b>Teor e porcentagem de retenção de atividade de vitamina A em amostras de fígado bovino na dose 3 kGy</b>	<b>37</b>
<b>Tabela 8 -</b>	<b>Teor e porcentagem de retenção de atividade de <math>\beta</math>-caroteno em amostras de fígado bovino na dose 3 kGy</b>	<b>38</b>
<b>Tabela 9 -</b>	<b>Teor e porcentagem de retenção de atividade de vitamina A em amostras de fígado bovino na dose 3 kGy</b>	<b>39</b>
<b>Tabela 10 -</b>	<b>Teor e porcentagem de retenção de vitamina A em amostras de patê de fígado suíno na dose 30 kGy</b>	<b>39</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	<b>Fórmula esquemática da vitamina A e do <math>\beta</math>-caroteno</b>	<b>11</b>
<b>Figura 2</b>	<b>Amostra de fígado bovino na fonte panorâmica de <math>^{60}\text{Co}</math></b>	<b>44</b>
<b>Figura 3-</b>	<b>Amostra de patê de fígado suíno na fonte panorâmica de <math>^{60}\text{Co}</math></b>	<b>45</b>
<b>Figura 4</b>	<b>Amostra de patê fígado suíno na fonte <math>^{60}\text{Co}</math> Gammacell 220 (AECL)</b>	<b>46</b>
<b>Figura 5</b>	<b>Fonte de <math>^{60}\text{Co}</math> Gammacell 220 (AECL)</b>	<b>47</b>
<b>Figura 6</b>	<b>Extração da vitamina A com éter de petróleo</b>	<b>48</b>
<b>Figura 7</b>	<b>Amostra de vitamina A em solução de tricloreto de antimônio preparada para avaliação fotométrica</b>	<b>49</b>

## **CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO**

### **1.1 Considerações gerais**

A ingestão adequada de nutrientes é essencial para o crescimento e sobrevivência dos seres vivos. A maneira pela qual os nutrientes tornam-se partes integrantes do organismo e contribuem para o seu funcionamento depende dos processos bioquímicos e fisiológicos que determinam suas ações [1].

Pesquisas tem sido conduzidas para estudar a adequação nutricional de alimentos irradiados sob várias condições, e mesmo existindo hoje um grande volume de dados, persistem ainda controvérsias e muitos produtos não foram ainda testados considerado os efeitos das altas doses de irradiação [2].

A perda de nutrientes em alimentos irradiados de maneira geral, depende da dose de irradiação, mas o grau de perda pode diferir substancialmente em função da presença de outros componentes. Alguns nutrientes são muito estáveis à irradiação e não mostram ter perdas importantes, enquanto outros são mais afetados. Os fatores que modificam os efeitos da radiação, tais como oxigênio, água ou temperatura, afetam por sua vez os alimentos. Assim, os estudos sobre estabilidade de nutrientes frente à ação da radiação tem validade nas condições específicas em que são realizadas [3].

## 1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é a avaliação da estabilidade frente à radiação ionizante de  $^{60}\text{Co}$  da vitamina A e do  $\beta$ -caroteno contidos em produtos de origem animal, comercializados em nosso meio. Os produtos escolhidos para este estudo foram fígado bovino e patê de fígado suíno.

## **CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Generalidades sobre alimentos**

Os macronutrientes dos alimentos que são as proteínas, gorduras e carboidratos, contribuem, em quantidades variadas, para o fornecimento de energia total. A utilização e a conservação desta energia para a construção e a manutenção do organismo exigem o envolvimento dos micronutrientes, vitaminas e minerais, que funcionam como coenzimas, catalisadores e tampões do metabolismo [1].

### **2.2 Composição dos alimentos**

#### **2.2.1 Macronutrientes**

##### **Carboidratos**

Os carboidratos são compostos orgânicos que consistem de carbono, hidrogênio e oxigênio. Sua fórmula geral é  $C_n H_{2n} O_n$ . Variam de açúcares simples contendo de três a sete átomos de carbono até polímeros muito complexos. Apenas as hexosas (açúcares com seis carbonos) e pentosas (açúcares com cinco carbonos) e seus

polímeros desempenham papéis importantes na nutrição.

A classificação dos carboidratos reflete o fato de que todas as formas, desde a glicose até aquelas de complexidade aumentada, estão relacionadas aos mais simples açúcares, os “sacarídeos”. Os *monossacarídeos* são incapazes de serem hidrolizados em uma forma mais simples. Os dissacarídeos podem ser hidrolizados para dar duas moléculas de monossacarídeos. Os oligossacarídeos produzem de 3 a 10 unidades de monossacarídeos e os polissacarídeos produzem de 10 a 10.000 ou mais unidades

Os principais monossacarídeos que são encontrados na forma livre nos alimentos são a *glicose* e a frutose. A galactose e a manose têm a mesma estrutura da glicose, exceto pela orientação dos grupos hidroxila ao redor dos seis átomos de carbono .

A glicose (dextrose) é abundante em frutas, milho, doce, xarope de milho, mel e certas raízes. É o principal produto formado pela hidrólise de carboidratos mais complexos na digestão e a forma de açúcar normalmente encontrada na corrente sanguínea. É oxidada nas células como uma fonte de energia e armazenada no fígado e músculos na forma de glicogênio.

Os carboidratos no organismo funcionam primariamente na forma de glicose, apesar de alguns desempenharem papéis estruturais. O carboidrato é a maior fonte de energia; cada grama produz aproximadamente 4 kcal, independente da fonte. A glicose é indispensável para manter a integridade funcional do tecido nervoso e, sob circunstâncias normais, é a única fonte de energia para o cérebro [1].

## **Lipídeos**

Os lipídeos são um grupo heterogêneo de compostos que incluem os óleos e gorduras normais, ceras e componentes correlatos encontrados em alimentos e corpo humano. Eles têm em comum as propriedades de serem: 1. insolúveis em água; 2. solúveis em solventes orgânicos, assim como o éter e o clorofórmio e 3. capacidade de ser usado

por organismos vivos [1].

A maioria das gorduras naturais consiste de aproximadamente 95% de *triglicerídeos* ou triacilgliceróis. O remanescente de 5% inclui traços de monoglicerídeos e diglicerídeos, ácidos graxos livres, fosfolípídeos e esteróis. Os lipídeos importantes para a nutrição incluem os lipídeos simples, os compostos e as vitaminas lipossolúveis .

Devido à sua alta densidade energética e baixa solubilidade, os triglicerídeos do tecido adiposo são a maior forma de armazenamento de energia no organismo. Geralmente os seres humanos possuem algumas semanas de reservas adiposas, mas apenas o valor ao redor de um dia de glicogênio. A maioria dos músculos retiram sua energia a partir de ácidos graxos. Uma outra função muito importante para as gorduras é a de poupar proteínas para a síntese de tecidos ao invés de serem utilizadas como fonte de energia [1].

## **Proteínas**

As proteínas foram as primeiras substâncias a serem reconhecidas como uma parte vital dos tecidos vivos. O nome se originou há mais de um século da palavra grega que significa “ de primeira importância “. Contêm carbono, hidrogênio e oxigênio. São únicas porque também contêm ao redor de 16% de nitrogênio, juntamente com enxofre e algumas vezes outros elementos, tais como fósforo, ferro e cobalto [1].

Os vegetais sintetizam a proteína a partir do nitrogênio, que obtêm a partir de nitratos e amônia do solo. Os animais, por sua vez, obtêm o nitrogênio que necessitam de alimentos protéicos seja de origem vegetal ou animal.

A base da estrutura da proteína é o aminoácido, dos quais 20 foram reconhecidos como constituintes da maioria das proteínas. Exceto pela prolina, todos são ácidos carboxílicos alfa-amínicos, nos quais um grupo amino básico e um grupo ácido carboxila são ligados ao mesmo átomo de carbono .

Os aminoácidos se combinam para formar proteínas através de uma *ligação peptídica* que une os carbonos carboxílicos de um aminoácido ao nitrogênio de outro. O composto resultante tem um grupo carboxila livre em uma das pontas e um grupo amino livre na outra, possibilitando a cadeia continuar se ligando.

As *proteínas simples* produzem apenas aminoácidos a partir da hidrólise. Incluem albuminas, globulinas, gluteínas, prolaminas e albuminóides. As proteínas que são solúveis em água e diluem em solução salina, tais como as albuminas e globulinas estão presentes nos líquidos animais, enquanto aquelas menos solúveis, tais como miosina e proteína muscular, estão presentes nos tecidos.

As *proteínas conjugadas* são combinações nas quais uma substância não proteica está ligada a uma molécula de proteína simples como um grupo prostético. Estas incluem as *nucleoproteínas* encontradas no ácido ribonucleico (RNA) e ácido desoxirribonucleico (DNA), que combinam proteínas simples e ácido nucleico; as *lipoproteínas*, como as encontradas no plasma sanguíneo, que combinam proteínas e lipídeos

As *proteínas derivadas*: proteoses, peptonas e peptídeos, se formam nos vários estágios do metabolismo proteico .

As proteínas da dieta estão envolvidas na síntese das proteínas teciduais e outras funções metabólicas especiais. Fornecem os aminoácidos necessários para a construção e manutenção dos tecidos orgânicos. Como uma fonte de energia, as proteínas são equivalentes aos carboidratos no fornecimento de 4 kcal/g. Entretanto, são consideravelmente mais caras, tanto em custo quanto na quantidade de energia necessária para o metabolismo.

Alguns aminoácidos são classificados como *aminoácidos essenciais* porque a síntese do organismo não é suficiente para suprir as necessidades metabólicas e sendo assim, precisam ser fornecidos como uma parte da dieta. Estes aminoácidos são a treonina, triptofano, histidina, lisina, leucina, isoleucina, metionina, valina, fenilalanina e possivelmente arginina. A ausência ou a ingestão inadequada de qualquer um destes



aminoácidos leva a um balanço de nitrogênio negativo, perda de peso, crescimento prejudicado em bebês e crianças .

Alimentos de origem animal tal como carne bovina e suína , aves, peixe, ovos, leite e derivados do leite são importantes fontes de proteínas para o homem. Os produtos vegetais mais ricos em proteínas são as leguminosas: feijão de soja, ervilhas, feijões e lentilhas. Os cereais contêm quantidades menores de proteínas de qualidade variada e as frutas e vegetais fornecem proteínas de qualidade razoável.

O processamento dos alimentos altera o valor nutritivo da proteína. O superaquecimento, particularmente na ausência de água (por exemplo, fritura ou cozimento a vapor de cereais secos), pode destruir os aminoácidos termolábeis, tais como a lisina [1].

### **2.2.2 Micronutrientes**

#### **Minerais**

Os minerais são encontrados no organismo e nos alimentos principalmente na forma iônica. Os metais, tais como sódio, potássio e cálcio, formam íons positivos (cátions); os não metais formam íons negativos (ânions). Os últimos incluem cloro, enxofre (como sulfato) e fósforo (como fosfato). Os sais, tais como o cloreto de sódio e fosfato de cálcio, dissociam-se em solução encontrados nos líquidos corpóreos. Os minerais também são encontrados como componentes orgânicos, tais como as fosfoproteínas, hemoglobina e outros [1].

Os elementos minerais têm muitos papéis essenciais tanto como íons dissolvidos em líquidos orgânicos como constituintes de compostos essenciais. O balanço

de íons minerais nos líquidos corpóreos regula a atividade de muitas enzimas, mantém o equilíbrio ácido-base e a pressão osmótica, facilita a transferência pela membrana de compostos essenciais e mantém a irritabilidade nervosa e muscular [1].

### Vitaminas

As vitaminas são compostos orgânicos essenciais para reações metabólicas específicas que não podem ser sintetizadas pelas células dos tecidos humanos a partir de simples metabólitos. Muitas agem como coenzimas ou como partes de enzimas responsáveis por promover reações químicas essenciais. As vitaminas são classificadas em dois grupos, hidrossolúveis e lipossolúveis; com base em sua solubilidade, o que determina sua estabilidade, ocorrência em alimentos, distribuição nos fluidos corpóreos e sua capacidade de armazenamento [1].

A Tabela 1 apresenta as vitaminas lipossolúveis e hidrossolúveis:

**Tabela 1 - Vitaminas hidrossolúveis e lipossolúveis**

Vitaminas hidrossolúveis	Vitaminas lipossolúveis
Tiamina	Vitamina A (retinol )
Riboflavina	Vitamina D ( calciferol)
Niacina (ácido nicotínico e nicotinamida)	Vitamina E ( tocoferóis e tocotrienóis)
Vitamina B <sub>6</sub> (piridoxina e pirodoxamina)	Vitamina K(filoquinona e menaquinona)
Folato	
Vitamina B <sub>12</sub> (cianocobalamina, coblamina)	
Ácido pantotênico	
Biotina	
Vitamina C (ácido ascórbico)	

Fonte: Krause., 1998

A maioria das vitaminas hidrossolúveis são componentes de sistemas de enzimas essenciais. Várias estão envolvidas em reações de manutenção de metabolismo

energético. Os membros do complexo B têm um papel essencial nos processos metabólicos das células vivas, tanto de plantas como de animais e funcionam como coenzimas. As vitaminas lipossolúveis A, D, E e K, tem um papel fisiológico separado e distinto. Na maior parte são absorvidas com outros lipídeos. São transportadas para o fígado através da linfa como uma parte de lipoproteínas e são estocadas em vários tecidos corpóreos [1].

### **Vitamina A**

A vitamina A foi a primeira vitamina lipossolúvel reconhecida. Dois grupos de pesquisadores, Mc Collum e Davis da Universidade de Wisconsin, e Osborne e Mendel da Universidade de Yale, fizeram a descoberta quase simultaneamente em 1913 [1].

Vitamina A é o termo genérico usado para descrever todos os retinóides que têm atividade biológica. Ela se apresenta geralmente como um álcool amarelo claro cristalino que foi chamado retinol em referência a sua função específica na retina do olho [1].

A vitamina A e o  $\beta$ -caroteno ou pró-vitamina A são micronutrientes complexos e essenciais que existem em mais de uma forma química [4]. Existem três formas de vitamina A no organismo, todas ativas: retinol (álcool), retinaldeído (aldeído) e ácido retinóico (ácido). O retinol se oxida reversivelmente a retinaldeído no organismo e este a ácido retinóico (oxidação irreversível) [5].

Mesmo tendo sido identificados mais de 600 carotenóides na natureza, apenas alguns possuem atividade de vitamina A, pois cerca de 10% somente podem ser considerados precursores de vitamina A sendo o mais importante o all trans-  $\beta$ -caroteno [5].

O teor de vitamina A dos alimentos era determinado, antigamente, por meio de ensaios biológicos, e os resultados eram expressos em unidades internacionais (U.I). O padrão de referência atual é o retinol cristalino, que permite análise química e resultados

em  $\mu\text{g}$ . Apesar disso e de alguns autores acharem obsoleta a U.I, ela ainda é usada na comparação de atividades biológicas de diferentes fontes de vitamina A, bem como em suplementos vitamínicos e medicamentos. As recomendações dietéticas diárias, bem como as novas tabelas de composição de alimentos relacionam os teores de vitamina A em  $\mu\text{g}$  e em unidades internacionais, 1  $\mu\text{g}$  retinol é igual a 3,33 U.I retinol [5].

A ingestão recomendada tanto como o teor de vitamina nos alimentos são expressos em microgramas de equivalentes de retinol por dia ( $\mu\text{g ER/dia}$ ) [5].

Um ER é igual a  $6\mu\text{g}$  de  $\beta$ - caroteno [5].

Uma unidade internacional de vitamina A tem  $0,3 \mu\text{g}$  de álcool de vitamina A ou  $0,344 \mu\text{g}$  de acetato de vitamina A ou igual  $0,55 \mu\text{g}$  de palmitato de vitamina A ou igual  $0,6 \mu\text{g}$  de  $\beta$ -caroteno [6].

Na Figura 1 está representada a fórmula esquemática de vitamina A e do  $\beta$ -caroteno.

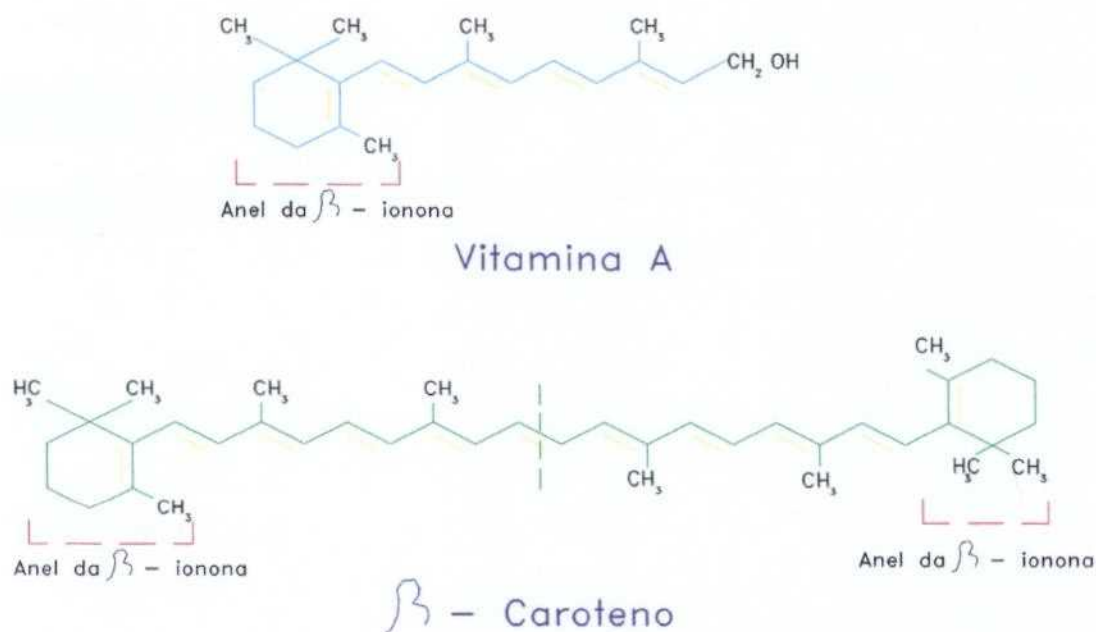


Figura 1. Fôrmula esquemática da vitamina A e do  $\beta$ -caroteno

A absorção da vitamina A se dá na porção superior do intestino delgado, no jejuno e no duodeno, especialmente neste último. A presença da bile, ou dos sais biliares, é necessária à absorção do caroteno. Estados patológicos que perturbam a absorção das gorduras, dificultam também a daquela vitamina [7].

O beta caroteno ou pró vitamina A, é fracionado no citoplasma das células da mucosa intestinal em duas moléculas de retinaldeido, as quais são reduzidas e esterificadas para formar ésteres de retinila [1].

A biodisponibilidade dos carotenóides é incerta devido a variabilidade de absorção e conversão em retinol. A conversão de  $\beta$ -caroteno em vitamina A é regulada para que quantidades excessivas de vitamina A não sejam absorvidas de fontes de caroteno [1].

Os ésteres de retinila são transportados através da linfa para o sangue e, então, para o fígado, como parte dos quilomicrons e lipoproteínas [1].

Aproximadamente 90% da vitamina A é armazenada nos depósitos de

gordura, pulmões e rins. O fígado gradualmente acumula uma reserva que atinge seu pico na vida adulta. Esta capacidade de armazenamento permite uma redireção temporária na ingestão diária de vitamina A[1].

A vitamina A desempenha papel essencial na visão, crescimento ósseo, no desenvolvimento e manutenção do tecido epitelial, no processo imunitário e reprodutivo. É um componente dos pigmentos visuais e, como tal, é essencial na integridade da fotorecepção nos cones e bastonetes na retina. O isômero 11-cis do aldeído da vitamina A (retinal) combina com a proteína *opsina* para produzir *rodopsina* nos cones. A luz muda a configuração dos 11-cis para todas as formas trans do retinaldeído, causando excitação visual [1].

A vitamina A é necessária para o crescimento e desenvolvimento do esqueleto e partes moles através de seus efeitos sobre a síntese protéica e diferenciação das células ósseas. É necessária para o desenvolvimento do osso normal e das células epiteliais formadoras do esmalte no desenvolvimento dos dentes [1].

A vitamina A tem também um papel na manutenção das estruturas epiteliais normais. É necessária na diferenciação das células basais em células mucosas epiteliais [1].

A grande ingestão de carotenóides de alimentos e bebidas supoe-se faz diminuir o risco de câncer de: pulmão, esôfago, estômago, cólon, reto, mamas e útero [8].

A vitamina A consumida pelo homem se origina de dois grupos de compostos: os carotenóides pró-vitamina A, provenientes dos alimentos de origem vegetal, e o retinol ou vitamina A pré-formada, existente nos alimentos de origem animal, geralmente como ésteres retinílicos. Nos dois casos, os carotenóides constituem a fonte original de vitamina A [5].

A vitamina A formada pela oxidação dos carotenos é encontrada apenas nos alimentos de origem animal, seja nas áreas de depósito, como o fígado, ou associada com a gordura do leite e gema de ovo [1]. Ocorre em níveis terapêuticos nos óleos de fígado de certas espécies de peixes, como o bacalhau, porém não são usados como alimentos [5]. Na

margarina, fabricada como substituto da manteiga, outra fonte de vitamina A, a legislação bromatológica torna obrigatória sua fortificação com essa vitamina durante o fabrico (15.000 a 50.000 UI/Kg). No reino vegetal as mais ricas fontes são dois óleos extraídos de palmáceas (ambas abundantes no Brasil): o de dendê (amarelo dourado) e o de buriti (vermelho) [5].

O caroteno é encontrado nos vegetais folhosos verde escuro, nos vegetais amarelo alaranjados e frutas; cores mais escuras são associadas a níveis mais elevados de pró-vitamina A [1].

A vitamina A é relativamente estável ao calor e luz, porém ela é destruída por oxidação. Sua biodisponibilidade é acentuada pela presença de vitamina E e outros antioxidantes. O cozimento aumenta a biodisponibilidade dos carotenóides, porém, o hipercozimento a diminui [1].

Aproximadamente de 1 a 5 milhões de pessoas principalmente lactentes e crianças em idade pré-escolar, desenvolvem deficiência em vitamina A. É a maior causa de mortalidade infantil nos países em desenvolvimento, principalmente na região nordeste do Brasil, as altas taxas de mortalidade e morbidade resultam de aumentadas taxas de doenças respiratórias e diarreicas. Isto foi efetivamente demonstrado pelo decréscimo na mortalidade e morbidade do sarampo, devido à suplementação vitamínica em crianças que apresentavam deficiência. As infecções causam depleção acelerada nas reservas hepáticas de vitamina A [1].

Segundo o Grupo de Especialistas da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO) e a Organização Mundial da Saúde (OMS) reunidos em 1991, o nível de segurança de ingestão diária de vitamina A para infantes até 1 ano de idade é de 350 µg ER. De 1 a 10 anos de idade, de 400 µg ER; de 10 a 12 anos, de 500 µg ER; de 12 a 15 anos, de 600 µg ER, para ambos os sexos. De 15 anos em diante é de 500 µg ER para o sexo feminino e de 600 µg ER para o masculino, assim como para gestantes. E para as lactantes, a ingestão deve ser de 850 µg ER/dia [5].

Deficiência prolongada de vitamina A, pode causar alterações na pele,

cegueira noturna e úlceras de córnea [1]. Deficiência primária de vitamina A resulta da inadequação na dieta. Deficiências secundárias são consequência de doenças hepáticas, desnutrição protéico calórica, má absorção devido a insuficiência de ácidos biliares [1].

### **2.3 Contaminação dos alimentos**

A finalidade da alimentação é de bem alimentar o homem, fornecendo nutrientes essenciais ao organismo como também oferecer um alimento seguro do ponto de vista higiênico, livre de contaminação e que não provoque danos à saúde. A contaminação dos alimentos com microrganismos patogênicos freqüentemente não produz odores ou decomposição detectáveis pelo consumidor [9]. Por esse motivo cabe às autoridades sanitárias estabelecerem normas e procedimentos sobre segurança alimentar.

Na cadeia epidemiológica, o alimento é um carreador de contaminação, que por sua vez pode receber uma contaminação diretamente das vias de eliminação do homem e dos animais; pode receber também os microorganismos patogênicos do homem indiretamente através dos artrópodes ou vetores, que possam levar a contaminação do lixo ou do ambiente; ou ainda, os alimentos podem receber uma contaminação presente no solo, água e ar, sem a presença do ser humano [9].

Na Tabela 2 são apresentados alguns agentes etiológicos importantes transmitidos por alimentos.



Tabela 2 - Agentes etiológicos importantes transmitidos por alimentos

Agentes / Bactérias	Reservatório	Alimentos envolvidos
<i>Bacillus cereus</i>	Solo	Arroz e carnes cozidas, verdura, pudins.
<i>Brucella sp</i>	Vacas, cabras, ovelhas	Leite cru, produtos lácteos.
<i>Campylobacter jejuni</i>	Galinhas, vacas, suínos, pássaros, cães e gatos.	Leite cru, aves
<i>Clostridium botulinum</i>	Solo, mamíferos, aves e peixes	Pescado, carnes, verduras, conservas caseiras.
<i>Clostridium perfringens</i>	Solo, animais e homem	Carnes e aves cozidas, molho de carne, legumes.
<i>Escherichia coli</i>		
<i>Enteropatôgenica</i>	Homem	Leite
<i>Enterotoxigênica</i>	Homem	Saladas, verduras cruas,
<i>Enteroinvasora</i>	Homem	Queijo
<i>Mycobacterium bovis</i>	Vacas	Leite cru
<i>Salmonella tiphy</i>	Homem	Produtos lácteos e carnes, mariscos, saladas, verduras.
<i>Salmonella sp.</i>	Homem e animais	Carne, aves, ovos, produtos lácteos e chocolate.
<i>Shigella sp</i>	Homem	Salada de batata e ovo.
<i>Staphylococcus aureus</i>	Homem	Presunto, saladas com aves e ovos, produtos com creme, queijo e gelados.
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Águas, animais selvagens, suínos, cães e aves.	Leite, cabras e aves.
Parasitas		
<i>E.histolytica</i>	Homem	Verduras cruas e frutas
<i>T. saginata e solium</i>	Bovinos e suínos	Carne porco cozida.
<i>Trichuris trichiura</i>	Homem	Alimentos contaminados com solo.
<i>Trichinella spiralis</i>	Suínos e animais carnívoros	Carne pouco cozida.

Fonte: Silva Júnior., 1996

Atualmente, doenças transmitidas por alimentos em países industrializados,

levam a perdas econômicas de bilhões de dólares, causando ainda milhões de doenças e milhares de mortes. Mais exatamente a perda é estimada entre 7,7 e 23 bilhões de dólares anualmente; o número de doenças diarreicas está entre 24 e 81 milhões de casos nos E.U.A[10].

Na Europa, também as doenças transmitidas por alimentos são um problema de saúde pública. Na República Federal da Alemanha, por exemplo, o número de casos de infecções entéricas tem aumentado de 10.000 casos relatados em 1970, para aproximadamente 50.000 em 1980, e acima de 100.000 em 1990 [10]. Os últimos números para os anos 1991 a 1995, nesse país demonstraram um grande impacto de doenças transmitidas por alimentos. Os casos relatados são considerados apenas a ponta do "iceberg": periódico trimestral de Estatísticas de Saúde no mundo indica que doenças transmitidas por alimentos podem ser 300 a 350 vezes mais frequentes do que o número de casos relatados [10].

## **2.4 Métodos para a preservação dos alimentos**

A maioria dos métodos para a conservação dos alimentos são utilizados pelo homem desde a antigüidade. Estes foram sendo aperfeiçoados e melhorados na sua elaboração, estabelecidos com bases científicas, controlados e atualmente de aplicação em larga escala [11]. Os métodos são:

- a) Secagem (desidratação);
- b) Conservação química (Uso do sal e ácidos);
- c) Fermentação;
- d) Tratamento térmico (alimentos cozidos, defumados);
- e) Refrigeração e congelamento;
- g) Enlatado;
- h) Conservação em atmosfera controlada e ou embalados em atmosfera modificada;

- i) Liofilização;
- j) Irradiação;

Atualmente as pesquisas para melhorar os métodos de conservação dos alimentos envolvem uma importante atividade da ciência e da tecnologia de alimentos [11].

### **2.5 Interação da radiação com a matéria**

A radiação ionizante é uma forma de energia eletromagnética que é capaz de arrancar um dos elétrons orbitais de átomos neutros, transformando-os em um par de íons [12]. A ionização é portanto a remoção direta ou indireta de um elétron de um átomo, que se transforma em um íon positivo. As partículas carregadas produzem ionização diretamente, enquanto que, as neutras e as ondas eletromagnéticas, na sua interação com os átomos do meio, produzem ionização apenas indiretamente, criando partículas carregadas, que por sua vez podem ionizar e gerar radicais livres, isto é, radicais carregados ou não, mas com um elétron desemparelhado altamente reativos. O termo radiação ionizante, ou simplesmente radiação, é usado para designar tanto um feixe de partículas com ou sem carga elétrica, quanto as ondas eletromagnéticas.

A unidade de dose de radiação no Sistema de Unidades Internacional é o Gray (Gy), que é igual à energia absorvida de um joule por quilograma de alimentos. Uma unidade de medida mais antiga encontrada na literatura é o rad, que é igual a 100 ergs de energia absorvida por grama de material. Um Gray é igual a 100 rad. [13].

O tipo de mudanças químicas que ocorrem em um material que absorve radiação está relacionado com a energia contida em fótons e elétrons [11]. A quantidade de energia absorvida é uma função da quantidade de energia por unidade de tempo (potência) da fonte de radiação e depende do tempo total durante o qual o material absorvente recebe

radiação, da distancia entre a fonte e o material bem como, das características de absorção do material .

Somente a radiação absorvida é efetiva. A radiação deve ser capaz de penetrar nos materiais, por exemplo um alimento [11]. As radiações utilizadas comercialmente na irradiação de alimentos são os raios gama de cobalto 60 e os feixes de elétrons. Estes dois tipos de radiações apresentam diferenças entre si na capacidade de penetração da matéria: irradiação com feixe de elétrons é caracterizada por aplicar altas energias com pouca penetração, enquanto que a radiação gama apresenta alta penetração e valores de energias menores.

A qualidade nutricional dos alimentos irradiados pode ser assegurada considerando o seguinte [11]:

Conteúdo vitamínico, estabilidade e disponibilidade fisiológica;

Conteúdo qualitativo de gorduras, em especial a composição dos ácidos graxos essenciais;

Qualidade protéica;

Digestibilidade dos componentes dos alimentos, como gorduras, hidratos de carbono e proteínas, mantendo a disponibilidade da energia biológica potencial derivada destes;

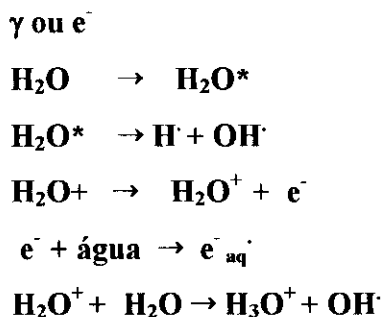
A ausência de anti-metabólitos;

A qualidade subjetiva do alimento, que o torna aceitável.

Alguns desses fatores podem ser avaliados através de análises químicas [11].

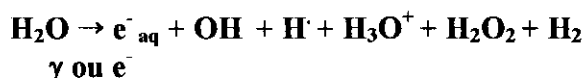
As reações químicas dos alimentos que possuem alto conteúdo de água, tais como: as frutas frescas, peixe e aves, são resultantes da interação com os íons e radicais livres originados pela radiólise da água [11]. Isto ocorre pois a água constitui o maior componente e absorve proporcionalmente uma grande quantidade da energia ionizante incidente. Os produtos da radiólise da água reagem com outros componentes do alimento (açúcares, proteínas, vitaminas, e etc). Estes são chamados os efeitos indiretos ou secundários da irradiação.

A radiólise da água é fundamental para a compreensão dos mecanismos de ataque às células [14]:



Formam-se espécies redutoras  $H^\cdot$ , elétrons aquosos, e espécies oxidantes,  $OH^\cdot$ , além dos produtos moleculares da oxidação,  $H_2O_2$  [14].

Em resumo a reação final da decomposição da água por ação da radiação ionizante é :



De forma geral, a proporção das interações primárias e secundárias (direta ou indireta) ocorridas nos componentes dos alimentos é proporcional a quantidade de água livre em contato com eles durante a irradiação [11]. Assim, o conteúdo de água livre é um dos fatores acrescidos a temperatura, pH, atmosfera etc., que influenciam a maneira pela qual a radiação interage com o produto alimentício [11].

## 2.6 Irradiação de alimentos

### 2.6.1 Considerações gerais sobre irradiação de alimentos

A irradiação de alimentos é um processo pelo qual se utiliza a radiação ionizante na preservação de gêneros alimentícios, sendo um método rápido, econômico e

eficaz [2]. A popularização de sua aplicação vai depender, entretanto, da receptividade do mercado consumidor para cada tipo de produto [15][16].

A aplicação de radiação pode ser dividida em 3 categorias: dose alta (maior que 10kGy), dose média (1-10kGy) e dose baixa (menor que 1 kGy). Em doses altas os alimentos são esterilizados, como no processo comercial de alimentos em conserva. Em doses médias, há um efeito de pasteurização, onde a vida de prateleira é prolongada e a maioria dos microrganismos patogênicos são destruídos ou reduzidos. Nas doses baixas, o produto é desinfestado de insetos e outras pragas e a maturação de frutas e vegetais é retardada [13].

A tabela 3 apresenta a aplicação da radiação nos alimentos segundo as faixas de dose [17].

**Tabela 3 - Aplicação da radiação ionizante no processamento de alimentos [IAEA][17].**

APLICACÃO	INTERVALO DE DOSE (kGy)
Inibição da germinação (batata, cebola, alho, etc.)	0,01 – 0,15
Retardo no amadurecimento (frutas e vegetais)	0,01 -1,0
Desinfestação (grão, cereais, frutas frescas e secas, peixes secos)	0,2 – 1,0
Controle de parasitas (fígado, carnes e peixes)	0,1 – 1,0
Controle de microrganismos patogênicos (aves, mariscos e carnes)	2,0 – 8,0
Redução de microrganismos causadores de decomposição (carnes, peixes, vegetais, frutas, especiarias)	0,4 -10,0
Esterilização comercial para armazenagem segura	10,0 - 50,0
Melhorar propriedades tecnológicas (aumentar a produção de frutas reduzir o tempo de cozimento para vegetais desidratados)	1,0 -10,0

Fonte:IAEA-TECDOC-587,1991

Estudo em alimentos de origem animal tem mostrado que alimentos tratados com doses de 56 kGy não são afetados em relação a energia metabolizável dos macronutrientes [3]. Por outro lado, estudos em seres humanos voluntários consumindo uma variedade de alimentos irradiados com a dose de 28 kGy, revelaram nenhum efeito da irradiação em energia metabolizável [3].

A irradiação, através da ionização, causa mudanças nos 4 materiais básicos dos alimentos: água, carboidratos (amido e açúcar), lipídios ( gorduras e óleos) e proteínas. Os íons reativos ou radicais livres formados durante a irradiação de alimentos combinam-se com outros íons originando produtos mais estáveis. De maneira geral esses produtos podem ser produzidos por outros processos aplicados a alimentos tais como o processamento térmico [3][11]. Dentre as macromoléculas que constituem os alimentos, os lipídeos são as mais radiosensíveis, sendo muitas vezes responsáveis pela ocorrência de atributos sensoriais desagradáveis inclusive em alimentos irradiados com doses menores de 1 kGy [11].

Muitos alimentos, especialmente frutas e vegetais, suportam apenas a aplicação de baixas e médias doses de radiação sem perda da qualidade, entretanto, as carnes, aves e peixes resistem a doses mais altas de radiação [18]. A radiação é utilizada para eliminar microorganismos indesejáveis pois sabe-se que os ácidos nucleicos e particularmente o DNA dos cromossomos representa o mais crítico alvo da radiação ionizante . Em certas doses, as alterações cromossômicas dos microorganismos são tão numerosas que não serão possíveis sua regeneração, o que levará a morte celular ou sua incapacidade de reproduzir-se. Do mesmo modo que a radiação pode interagir com outras moléculas particularmente a água, para produzir radicais livres atingindo o DNA, os efeitos das radiações nos organismos vivos podem ser diretos e ou indiretos [18].

O efeito da radiação nos microorganismos depende: da dose de radiação, presença de oxigênio, atividade de água e temperatura durante a irradiação [19].

Do ponto de vista de Saúde Pública, as bactérias: *Salmonella*, *Shigella*, *Yersinia*, *Campylobacter* e *Listeria spp.*, são sensíveis a radiação e podem ser eliminadas com doses inferiores a 10 kGy. Os mais resistentes microorganismos, como os

esporos de *Clostridium botulinum* ou *Bacillus cereus* poderão ser reduzidos em número [19].

A salmonela contamina frequentemente carne de frango e derivados. Com base em numerosos estudos, cientistas e profissionais da saúde concluíram que a irradiação de carne de frango é o método mais efetivo de reduzir problemas de saúde pública de salmonelose [20].

A sensibilidade de um microrganismo as radiações se expressa como a dose necessária para obter a morte de certa fração da população microbiana inicial ( $N_0$ ) [18]. Pode-se obter este dado em forma experimental, sendo que a dose requerida depende da quantidade de microrganismos. Para tanto, o procedimento usual é aquele que define a dose que permita a redução de 90% da quantidade de microrganismos. O resultado se expressa como o valor  $D_{10}$ . No caso dos tratamentos com radiações ionizantes, a dose  $D$  a ser aplicada para reduzir a população desde  $N_0$  a  $N$  é:

$$D = D_{10} \log(N_0/N)$$

Os principais microrganismos encontrados na carne vermelha e aves são os do gênero *Pseudomona sp.* Este grupo de microrganismos é relativamente sensível as radiações, têm  $D_{10}$  entre 0,02 a 0,2kGy [11].

Santos em 1997 [21], encontrou um valor  $D_{10}$  de aproximadamente 0,20 kGy para *Salmonella sp* em frango. Rakitskaya et al, 1991 [22], encontraram valores de  $D_{10}$  de 0,29, 0,23, 0,20 e 0,16 para *Streptococcus faecium*, *B.subtillis* 228, *S.aureus* 73 e *E.coli*: 1257, respectivamente. Gelli et al (1999) [23] acharam  $D_{10}$  dessa ordem para *Vibrio cholerae*. Assim, aplicando de 10 a 12 vezes o valor de  $D_{10}$ , necessário para eliminar o risco de contaminação microbiana, a dose requerida não seria maior de 3kGy.

Depois de mais de 40 anos em pesquisa e desenvolvimento, o tratamento por radiação ionizante está sendo considerado como uma tecnologia importante para certas aplicações em alimentos [2][24]. A irradiação pode e muitas vezes deve ser utilizada em combinação com tratamentos convencionais (congelamento-refrigeração, aquecimento, atmosfera inerte ou pressão reduzida) [11].



### 2.6.2 Salubridade de Alimentos Irrradiados

Para estudar a salubridade de alimentos irradiados foram empregados estudos crônicos e sub-crônicos na alimentação animal. O ensaio sub-crônico é considerado um meio necessário para detectar uma resposta biológica anormal. O estudo crônico requer períodos longos de observação. Os protocolos dos ensaios sub-crônicos requerem o aporte de alimentos controles e irradiados aos animais, durante ao menos uns 10% do total de sua vida. Estudos sub-crônicos e crônicos fornecem informações sobre crescimento, eficiência alimentar, sobrevivência, hematologia, toxicidade, aumento de peso. Os dados de alimentação animal são utilizados para assegurar a salubridade dos alimentos irradiados consumidos pelo homem, considerando que, resultados de outras espécies podem ser extrapoladas ao homem. A ausência de efeitos tóxicos, em um estudo de toxicidade animal adequadamente desenvolvido, fornece uma base razoável de confiança sobre o possível consumo humano desses alimentos [11]. A partir de estudos de alimentação animal apropriadamente conduzidos, chegou-se a conclusão que não existe risco para a saúde com o consumo de alimentos irradiados [3].

Por outro lado, com base em estudos de química das radiações em alimentos foi concluído que a radiação não induz a formação de substâncias de implicância toxicológica [2].

O processamento adequado de irradiação dos alimentos em escala comercial exige:

- a) Estabelecer a dose requerida pelo produto alimentar,
- b) Determinar o modelo de distribuição de dose na unidade do produto;
- c) Controlar o processo de irradiação.

A geometria das fontes está relacionada com o método de emitir a radiação: multidirecional ou unidirecional .

Em toda irradiação são necessárias técnicas de medição de doses apropriadas e exatas. O uso de técnicas inadequadas promove a sub ou sobre dose para o tratamento do produto, resultando no aparecimento de falhas na administração de um tratamento efetivo [11]. Para o processador, isso pode resultar em prejuízos legais ou econômicos, enquanto que produtor/distribuidor sofrerá uma perda econômica pois tem que descartar o produto danificado.

No Brasil, embora venham sendo realizadas pesquisas na área de irradiação de alimentos nas ultimas décadas, a aplicação comercial é apenas incipiente [25].

### 2.6.3 Legislação

Segundo a legislação brasileira [26], com base no Codex Alimentarius [27], poderão ser utilizadas nos alimentos as radiações ionizantes em geral, cuja energia seja inferior ao limiar das reações nucleares que poderiam induzir radioatividade no material irradiado. Essas radiações são:

- Raios gama de cobalto 60 ( $T_{1/2}$ : 5,263 anos;  $\beta^-$ : 0,314 MeV;  $\gamma$ : 1,173 e 1,332 MeV) e
- Raios gama de césio 137 ( $T_{1/2}$ : 30 anos;  $\beta^-$ : 0,514 e 1,176 MeV, que decai a  $^{137m}\text{Ba}$ ,  $T_{1/2}$ : 2,554 min.;  $\gamma$ : 0,662 MeV);
- Feixe de elétrons de até 10 MeV;
- Raios X de até 5 MeV.

Na atual legislação brasileira, [28] que deixou sem efeito as portarias anteriores, não há mais restrições em relação às doses a serem aplicadas não mais vigorando a lista restrita de alimentos autorizados para serem irradiados que constavam das Portarias: 9 de 8-3-1985 e 30 de 25-9-1989 do Ministério da Saúde.

Atualmente, 40 países possuem legislação autorizando o uso da radiação em alimento [29]. São eles: Alemanha, Argentina, Bangladesh, Bélgica, Brasil, Canadá, Chile, China, Costa Rica, Croácia, Cuba, República Checa, Dinamarca, Finlândia, França, Hungria, Índia, Indonésia, Irã, Israel, Itália, Japão, Coréia, México, Holanda, Noruega, Paquistão, Filipinas, Polônia, Federação Russa, África do Sul, Espanha, Síria, Tailândia, Ucrânia, Reino Unido, Uruguai, EUA, Vietnã e Iugoslávia.

Nas faixas de doses utilizadas para reduzir a carga microbiana, frequentemente até 10 kGy, o efeito sobre as proteínas é normalmente pequeno e não causa perdas medíveis do valor nutricional. Por outro lado, o efeito da radiação vai depender da estrutura protéica, composição, origem, se a amostra está seca ou em solução, se está em estado líquido ou congelado, e da presença ou ausência de outras substâncias [11].

As doses superiores a 10 kGy são utilizadas para se obter a esterilidade comercial, em embalagens apropriadas, mantendo esta condição sem refrigeração. As altas doses são requeridas para matar: as bactérias vegetativas e esporuladas; bolores e leveduras; e eventualmente vírus. Entretanto as enzimas presentes em um alimento geralmente não são inativadas pela irradiação. Os requerimentos para se obter esterilização dos produtos alimentícios são:

- a) Emprego de doses suficientes para destruir os microorganismos mais radioresistentes relacionados com o produto.
- b) A embalagem adequada para prevenir a recontaminação depois da irradiação e a deterioração química do alimento pela presença de oxigênio e perda da umidade.
- c) Inativação pelo calor das enzimas próprias do alimento que são em geral radiorresistentes.

O critério de esterilidade aplicado é baseado no valor  $D_{10}$  do *Clostridium Botulinum*. Supõe-se que todos os outros microrganismos serão destruídos ao fixar o processo para matar esta bactéria [11].

### 2.6.4 Efeitos das radiações nas vitaminas

Todos os métodos de preservação de alimentos induzem a perdas nutricionais [30][31][32]. Há disparidade de dados em relação às perdas de vitaminas em alimentos irradiados. Tais perdas seriam, contudo, pequenas ou comparáveis àquelas associadas com outros métodos de processamento de alimentos. Por outro lado, é fato conhecido que perdas consideráveis de vitaminas ocorrem no cozimento e armazenamento de alimentos [11].

Em relação ao que ocorre com as vitaminas quando os alimentos são irradiados, a questão é centrada na manutenção de suas funções biológicas como elementos essenciais [33]. Por esta razão, a maior parte da informação disponível sobre o efeito da radiação sobre as vitaminas relatam somente o grau de preservação após a irradiação. Parte do problema é como determinar o efeito da radiação na vitamina já que estas são encontradas em pequenas quantidades dificultando a análise [33].

Algumas vitaminas são sensíveis a radiação ionizante, enquanto que outras não [34] [35].

A Tabela 4 apresenta em ordem decrescente a sensibilidade das vitaminas à radiação:

**Tabela 4 - Sensibilidade das vitaminas à radiação.**

Mais sensível	Menos sensível
Vitaminas lipossolúveis	
Vit.E → Caroteno → Vita.A → Vit.D → Vit.K	
Vitaminas hidrossolúveis	
Vit. B1 (tiamina) → Vit.C → Vit.B6 → Vit. B2 → Folato → niacina → Vit. B12	

Fonte: Diehl, 1992

Segundo a literatura, a destruição da vitamina que resulta da irradiação com

dose de até 60kGy não é diferente da destruição resultante do cozimento. Os alimentos submetidos ao cozimento após o processo de irradiação, sofrerão uma perda adicional de vitaminas. Contudo, cuidados podem ser tomados para suplementar as vitaminas na dieta quando a ingestão total é feita através de alimentos irradiados [36].

Diehl e Josephson (1994) compararam o efeito de diversos processos sobre o conteúdo de vitaminas em carne de frango (Tabela 5). Nesse estudo houve perda significativa de tiamina. Para a vitamina A, a perda foi de aproximadamente 10%, tanto pelo processo de irradiação gama quanto pelo processamento térmico. Esses autores observaram um aumento significativo de ácido fólico, no processo de irradiação por feixe de elétrons, e da vitamina B<sub>12</sub> por radiação gama. Não está claro, porém, se o fenômeno está relacionado com a indução da conversão de um precursor da vitamina para a forma ativa do ácido fólico (ácido pteroi glutâmico) e da vitamina B<sub>12</sub> (cianocobalamina e hidroxicobalamina) pelo processo de irradiação ou se simplesmente este processo melhora a biodisponibilidade destas vitaminas para análises [19].

**TABELA 5 - Conteúdo de vitaminas da carne de frango [19].**

Vitaminas	Processos			
	Controle (congelado)	Esterilização térmica	Irradiação por radiação gama 58kGy a -25°C	Irradiação por feixe de elétrons 58kGy a -25°C
Tiamina-HCl, ppm	2,31	1,53 <sup>a</sup>	1,57 <sup>a</sup>	1,98
Riboflavina, ppm	4,32	4,60	4,46	4,90 <sup>b</sup>
Piridoxina, ppm	7,26	7,62	5,32	6,70
Niacina, ppm	212,9	213,9	197,9	208,2
Ácido pantotênico, ppm	24,0	21,8	23,5	24,9
Biotina, ppm	0,093	0,097	0,098	0,103
Ácido fólico, ppm	0,83	1,22	1,26	1,47 <sup>b</sup>
Vitamina A, UI/kg	2716	2340	2270	2270
Vitamina D, UI/kg	375,1	342,8	354,0	466,1
Vitamina K, ppm	1,29	1,01	0,81	0,85
Vitamina B <sub>12</sub> , ppm	0,008	0,016 <sup>b</sup>	0,014 <sup>b</sup>	0,009

Concentração de vitamina no substrato desidratado. <sup>a</sup>significativamente menor que o controle congelado. <sup>b</sup>significativamente maior que o controle congelado.

Segundo HASSAN A.- KAHTANI et.al [37], doses iguais ou maiores a 4,5 kGy não afetam a riboflavina contida em carne de tilapia. A perda de vitamina C é fortemente afetada pelo conteúdo de água da amostra. Nenhuma perda de vitamina ocorreu em páprica moída irradiada com dose de esterilização ou cebola em pó quando altas doses de até 270 kGy foram aplicadas. Entretanto, quando o ácido ascórbico puro é irradiado em solução aquosa há uma perda de atividade na dose média de até 1 kGy [38]. Em suco de goiaba houve diminuição acentuada do teor de vitamina C, principalmente para grandes doses de radiação [39]. Pesquisas recentes sobre carne bovina e suína irradiados mostraram não haver perda de folato mesmo em amostras submetidas a altas doses de irradiação (60 kGy) [40].

Da mesma maneira, nenhuma perda de folato foi observada em dietas para astronautas (Apollo) irradiadas com dose de 54 kGy na temperatura de -64°C. As vitaminas B<sub>12</sub>, riboflavina, piridoxina, niacina, ácido pantotênico, biotina, ácido fólico, ou as vitaminas A, D, e K não tiveram perdas nutricionais por irradiação nas doses de 59 kGy [3]. Por esse motivo é recomendado o uso de radiação para dietas hospitalares que requerem altas doses [29].

Muitos fatores influenciam a resistência à radiação das vitaminas, tais como: o empacotamento, a atmosfera e a temperatura durante a irradiação. Por exemplo, em carne bovina irradiada a 30 kGy sob nitrogênio, nenhuma perda de vitamina E foi encontrada. Entretanto, quando foi irradiada na presença de ar, uma perda de 37% foi observada [41].

A irradiação de alimentos com altas doses (maiores que 10 kGy) requer condições que minimizem essas perdas: exclusão de oxigênio, empacotamento a vácuo, ou irradiação efetuada em temperaturas criogênicas [19].

Baseando-se em análise espectrofotométrica, o  $\beta$ -caroteno sofre pela ação da irradiação isomerização cis-trans, saturação progressiva da cadeia de poliene, e formação de alfa isômeros. Em carotenóides complexos, as proteínas podem exercer uma ação protetora reduzindo a degradação. Do mesmo modo que as proteínas, uma ação protetora de certos carboidratos tem sido também observado [33].

A radiação induz perdas de vitamina A e carotenóides, em variados graus. Em gorduras e leites as perdas são altas. Entretanto, a destruição de caroteno pode ser reduzida por adição de ácido ascórbico ou alfa-tocoferol. Em vegetais ocorrem também perdas de vitamina A e carotenóides. Em ambos os casos as perdas de vitamina A geralmente aumentam quando os alimentos são irradiados em ar, ou seja, na presença de oxigênio [33]. Outros autores relatam, porém, que nenhuma das vitaminas A, D, E, K sofreram uma diminuição na sua atividade por irradiação gama em doses de 59 kGy quando irradiadas congeladas [3]. No Brasil, Santos (1998) [42] mostrou não haver perdas de  $\beta$ -carotenos nem de vitamina C em amostras de polpa de acerola irradiadas congeladas com doses de 3 e 5kGy.

### 2.6.5 Aspectos sensoriais

A avaliação sensorial é fundamental para a aceitação de alimentos irradiados pelo consumidor.

O tratamento com radiação ionizante permite retardar o aparecimento de odores indesejáveis, devido a sua ação de reduzir a carga microbiana [43]. A ionização do bife de fígado de vitela ou de boi acondicionado sob vácuo irradiado com uma dose de 2 ou 4 kGy conduziu, por exemplo, a uma inibição da microbiota de enterobactérias e pseudomonas e uma forte diminuição dos microrganismo lácticos e de *Brochothrix thermosphacta*, mais radioresistentes que os anteriores. De fato, a presença de um odor ácido muito incomodo no oitavo dia de estocagem a 4 °C no fígado não irradiado foi diferente daquele do fígado irradiado, 5 dias após irradiação com 2 kGy e de 13 dias após a irradiação com 4 kGy [43].

As temperaturas baixas reduzem a movimentação dos radicais livres, diminuindo a interação com os componentes que dão sabor as carnes. Assim, com frequência, há melhor preservação das propriedades sensoriais quando o produto alimentício é irradiado congelado (-30°C a -80° C) [11].

Existe uma dose mínima necessária e uma dose máxima recomendável para cada alimento, conforme a natureza do produto e o objetivo da irradiação. Além de atender os requerimentos sanitários e fitossanitários, é necessario evitar o aparecimento de modificações sensoriais prejudiciais à comercialização posterior (aparição de odor nos produtos cárneos e leites, perda da textura de frutas e legumes).



Na Tabela 6, são apresentadas as doses limiares estimadas de alguns alimentos de origem animal [44].

**Tabela 6 - Dose limiar para o desenvolvimento de odor desagradável, para alguns alimentos de origem animal irradiados em temperaturas entre 5 °C e 10 °C.**

ALIMENTOS	DOSE LIMIAR (kGy)
Peru	1,50
Carne suína	1,75
Carne bovina	2,50
Frango	2,50
Camarão	2,50
Carne de Rã	4,00
Carne de Cordeiro	6,25
Carne de Cavalo	6,50

Fonte: Farkas, J. 1987

## **CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1 Materiais: Amostras de fígado bovino e patê de fígado suíno**

Foram utilizados diferentes lotes de fígado bovino refrigerado obtidos em estabelecimento do comércio varejista, acondicionados em sacos plásticos próprios para alimentos, duas amostras por lote pesando 100 g cada e mantidas congeladas.

Em outra fase do trabalho, foram utilizadas diferentes lotes de amostras comerciais de patê de fígado suíno obtidas em estabelecimento do comércio varejista acondicionados em embalagem própria de plástico do fabricante com peso variando de 105 a 125 g. O patê foi mantido sob refrigeração (7 °C).

As amostras de patê de fígado suíno utilizadas seguem especificações técnicas segundo padrão físico químico declarado pelo fabricante: 9,3 % de proteína; 20% de gordura; 63% de umidade; 2,0 % de sal e 3% de amido. Aproximadamente 32% de fígado suíno é utilizado na fabricação do patê de fígado suíno, segundo informações do fabricante. Na composição consta a presença de conservadores PVII (Nitrito e Nitrato), estabilizante ET. IV (Polifosfatos), Antioxidante AXIV (Eritorbato de sódio), Flavorizante F.I (Aromas naturais) e sal.

## 3.2 Métodos

### 3.2.1 Irradiação

As irradiações foram realizadas no Departamento de Aplicações de Técnicas nucleares do IPEN-CNEN/ SP.

A irradiação em fígado bovino iniciou-se com a amostra à  $-15^{\circ}\text{C}$  e no término do processo a temperatura foi de  $4^{\circ}\text{C}$ .

As amostras de fígado bovino pesando 100 g cada foram submetidas a radiação gama em fonte de  $^{60}\text{Co}$  do tipo panorâmica, fabricada por Yoshigawa Kiko Ltd, com taxa de dose que variou entre 0,8 a 0,6 kGy /h a uma distância de 10 cm da fonte, na dose 0 e 3 kGy (Figura 2).

O procedimento aplicado em patê de fígado suíno, com a temperatura inicial de  $7^{\circ}\text{C}$  e a final de  $20^{\circ}\text{C}$ , foi de irradiações com doses 0kGy e 3 kGy (Figura 3) utilizando uma fonte de  $^{60}\text{Co}$  do tipo panorâmica, fabricada por Yoshigawa Kiko LTD.

Em uma segunda parte deste trabalho foram utilizadas amostras de patê de fígado suíno de seis lotes no comércio varejista com peso que variava de 105 a 125g. As amostras de patê de fígado suíno foram submetidas à radiação gama de  $^{60}\text{Co}$  numa Gammacell 220, Atomic Energy of Canada LTD, com taxa de dose que variou entre 8,1 a 7,7 kGy/h, na dose de 0 kGy, 3kGy e 30 kGy, fator de uniformidade de dose de 1,13 (Figura 4 e 5).

Para ambas as fontes de  $^{60}\text{Co}$  utilizadas, a dosimetria fora realizada previamente utilizando método de Fricke. Para cada irradiação, foi apenas considerado o decaimento radiativo para o estabelecimento da dose.

### 3.2.2 Análise de vitamina A

Os métodos a serem utilizados dependem da especificidade da amostra, não existindo um método único que possa ser aplicado a todos os tipos de amostras.

A avaliação fotométrica de vitamina A por método de tricloreto de antimônio é o mais conhecido e mais utilizado [45]. Este método baseia-se em medir a coloração azul obtida com tricloreto de antimônio em clorofórmio a 620 nm. O método espectrofotométrico é o melhor método de análises para determinação da vitamina A pura, concentrados oleaginosos ou capsulas em preparações farmacêuticas [45].

As análises do conteúdo de vitamina A foram efetuadas no Instituto Adolfo Lutz um dia após a irradiação seguindo os métodos de análise do Instituto Adolfo Lutz padronizados por essa Instituição [46].

Para determinação do teor de vitamina A e  $\beta$ -caroteno, foram utilizadas alíquotas de 2 a 5 g de fígado bovino e para análise de vitamina A 5 g de patê de fígado. Foi aplicado o método fotométrico descrito por Carr-Price [6] que consiste na saponificação (etanol absoluto, hidróxido de potássio) seguida por uma extração com éter de petróleo. Os extratos foram lavados com água destilada até ficar completamente livre de alcali e filtrados com sulfato de sódio anidro. Alíquotas dos extratos de éter de petróleo foram transferidas, para as cubetas do colorímetro, e evaporadas numa corrente de nitrogênio. As amostras de vitamina A foram reconstituídas em clorofórmio e anidrido acético e finalmente foi efetuada a leitura em solução de tricloreto de antimônio. A coloração azul desenvolvida foi medida imediatamente em 620 nm em colorímetro Coleman Júnior Modelo 6/35. A concentração de vitamina A foi determinada usando a curva de calibração previamente preparada com acetato de vitamina A em concentração de 10 a 50 U.I. ( $1 \text{ g} = 2,8 - 2,9 \times 10^6 \text{ U.I.}$ ) [6] (Figura 6 e 7).

### 3.2.3 Análise de $\beta$ -caroteno

A determinação físico-química de  $\beta$ -caroteno depende da medida da coloração amarela de suas soluções em solventes orgânicos. A absorção máxima de  $\beta$ -caroteno é caracterizada por dois picos máximos de absorção e sua exata localização depende do solvente [6].

Para determinação de  $\beta$ -caroteno, as amostras de fígado bovino extraídas e diluídas com éter de petróleo foram medidas diretamente em sua absorção máxima, entre 447nm e 451 nm, no espectrofotômetro Hewelet Parckard Power do Instituto Adolfo Lutz. O cálculo do conteúdo de  $\beta$ -caroteno foi efetuado seguindo os métodos de análise padronizados por essa instituição. Os resultados foram expressos em U.I. de vitamina A, sendo 1 grama de  $\beta$ -caroteno =  $1,6 \times 10^6$  U.I. de vitamina A [46].

Não foi efetuada a leitura de  $\beta$ -caroteno em patê de fígado, pois a solução em éter de petróleo permaneceu incolor.

## CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados experimentais das determinações de vitamina A e  $\beta$ -caroteno obtidos neste estudo, são apresentados nas Tabelas 7 e 8 para fígado bovino. Evidencia-se na Tabela 7 que quando irradiadas com doses de 3 kGy, houve retenção total na atividade de vitamina A de fígado bovino. Do mesmo modo, na Tabela 8, a média de porcentagem de retenção da atividade de  $\beta$ -caroteno foi de  $98 \pm 21$  (24 repetições). Estes resultados mostram que não houve perda de vitamina A nem da pró-vitamina A em consequência da irradiação com uma dose de 3 kGy.

Nas Tabelas 9 e 10, são apresentados os dados referentes a análise de patê de fígado suíno. Evidencia-se na tabela 9 que quando irradiadas com doses de 3 kGy, houve retenção total na atividade de vitamina A em patê de fígado suíno. Porém, a média de porcentagem de retenção na dose de 30 kGy (Tabela 10) foi de:  $40 \pm 12\%$  (6 repetições). Estes resultados mostram que houve uma perda significativa de vitamina A quando o produto foi irradiado nessa dose e a temperatura inicial de 7 °C, chegando aproximadamente aos 20°C após as várias horas de aplicação do processo de irradiação.

**TABELA 7 - Teor e % de retenção de vitamina A em amostras de fígado bovino irradiadas na dose de 3kGy (12 repetições)**

Amostra	Vitamina A (U.I./100g)		Retenção(%)
	Irradiado	Não Irradiado	
1	23000,00	22666,50	101,47
2	120000,00	115000,00	104,35
3	45450,00	44458,33	102,23
4	84833,33	82500,00	102,83
5	188020,80	184375,00	101,98
6	87500,00	87500,00	100,00
7	27000,00	27000,00	100,00
8	107500,00	106250,00	101,18
9	49735,00	40000,00	124,34
10	76500,00	72250,00	105,88
11	202083,32	190104,15	106,30
12	112666,70	92500,00	121,80
Média	93691	88717	106
Desvio Padrão	57213	54985	8

**TABELA 8 - Teor e % de retenção de atividade de  $\beta$ -caroteno em amostras de fígado bovino irradiadas na dose de 3 kGy (24 repetições)**

Amostra	$\beta$ caroteno (U.I./100g)		Retenção(%)
	Irradiado	Não Irradiado	
1	990,88	816,42	121,37
2	988,89	1326,55	74,55
3	12745,60	11669,72	109,22
4	12496,82	14559,06	85,84
5	30023,42	39559,12	75,90
6	57127,06	55181,29	103,53
7	10008,01	12305,93	81,33
8	10398,70	11707,40	88,82
9	1219,43	2147,62	56,78
10	2202,44	2012,68	109,43
11	4381,17	4037,55	108,51
12	4549,03	4241,83	107,24
13	1024,64	1046,10	97,95
14	880,01	1320,88	66,62
15	9926,53	9297,53	106,77
16	9115,07	11446,88	79,63
17	24439,28	30023,42	81,40
18	66847,25	52505,35	127,32
19	10330,10	10694,70	96,59
20	12784,80	12775,70	100,07
21	1666,16	1855,37	89,80
22	2260,68	2036,81	110,99
23	6013,38	3930,17	153,01
24	4948,14	4136,85	119,61
Média	12390	12526	98
Desvio. Padrão	16638	15441	21



**TABELA 9. Teor e % de retenção de atividade de vitamina A em amostras de patê de fígado suíno irradiadas na dose de 3 kGy (6 repetições)**

Vitamina A (U.I./100g)			
Amostra	Irradiado	Não Irradiado	Retenção(%)
1	14100,00	14100,00	100,00
2	14100,00	14100,00	100,00
3	13866,66	11433,33	121,28
4	14433,33	12750,00	113,20
5	10900,00	10900,00	100,00
6	10600,00	9966,66	106,35
Média	13000	12208	107
Desvio. Padrão	1755	1720	9

**TABELA 10. Teor e % de retenção de atividade de vitamina A em amostras de patê de fígado suíno irradiadas na dose de 30 kGy (6 repetições)**

Vitamina A(U.I./100g)			
Amostra	Irradiado	Não Irradiado	Retenção(%)
1	3537,50	11500,00	30,76
2	3800,00	11500,00	33,04
3	5637,50	9750,00	57,82
4	5400,00	10325,00	52,30
5	3737,50	11862,50	31,50
6	4100,00	11587,50	35,38
Média	4369	11088	40
Desvio. Padrão	912	844	12

Embora a interação da radiação com os constituintes dos produtos de origem animal utilizados neste estudo tenha induzido a formação de produtos radiolíticos e radicais livres altamente reativos, não foi suficiente para induzir mudanças químicas detectáveis quando a dose de radiação foi 3 kGy.

Na literatura foram encontrados poucos trabalhos realizados sobre a estabilidade de vitamina A em fígado suíno ou bovino. JOSEPHON & PETERSON [47] relataram que existe menos informação disponível sobre os efeitos da irradiação nas vitaminas lipossolúveis do que em relação as vitaminas hidrossolúveis. Em 1992 KILCAST [48] verificou que quando o fígado suíno foi irradiado com uma dose de 5 kGy a perda de vitamina A na temperatura de 0 °C foi de 4%, decorrida uma semana. Verificou-se também uma perda de 13% depois de 4 semanas. Fígado suíno irradiado com dose de 5 kGy a 0°C e estocado na mesma temperatura mostrou perdas da vitamina A de 4% decorrido uma semana e 13% depois de 4 semanas [49]. Patê de fígado mostrou perdas de 10% e 18% respectivamente nas mesmas condições [49].

Conforme resultados encontrados em esta pesquisa com o patê de fígado refrigerado houve perda da atividade de vitamina A só quando aplicada dose extremamente alta, 30 kGy, sem manutenção de baixa temperatura. Nesse caso a média da porcentagem de retenção de atividade de vitamina A foi de 40,13%, efetuando-se a análise quantitativa de vitamina A um dia após a irradiação.

Trabalhos similares a este, porém utilizando diferentes alimentos mostraram também perdas de vitamina A em doses altas. Ovo em pó irradiado com 10 kGy perdeu 22% de vitamina A em 4 semanas quando empacotado em ar e 6% em vácuo [49]. Porém, a vitamina A não foi alterada em filés de peixe irradiados a 0 °C com 3 kGy; 45 % foi perdida depois do tratamento com 30 kGy [49].

Nenhum efeito foi visto na concentração de  $\beta$ -caroteno em tangerina e abacaxi irradiados com dose de 2,45 kGy [49], nem em polpa de acerola irradiada com 3 e 5 kGy [42]. Em 1991, THAYER et al. [50] descreveram que o beta caroteno e a vitamina A contidas na manteiga de leite foram completamente destruídas por exposição na fonte de radio de 150 mCi por 48 horas na temperatura de 45°C. Estudos realizados por Groot e

colaboradores demonstraram que não houve alteração de vitamina A em frango irradiado com até 3 ou 6 kGy, estocado por 4 -7 dias a 5 °C cozido e estocado a -20 °C. Ratos alimentados com rações irradiadas (25 ou 45 kGy) não tinham níveis séricos de vitamina A diferentes, mas os depósitos de vitamina A nos fígados foram reduzidos (27% com 25 kGy, 37% com 45 kGy) [50].

O caroteno em solução foi considerado ser radiosensível para raios catódicos [47]. A destruição de caroteno durante a irradiação pode, entretanto, ser minimizado por adição do ácido ascórbico [47]. Para os alimentos que contém ácido ascórbico em grandes quantias, a maioria dos carotenos são mantidos mesmo com aplicações de doses de 48 kGy [47]. Segundo esses autores a irradiação de fluidos como leite integral com 4 kGy resulta em destruição de 40 % dos carotenóides, 70% de vitamina A, 60% dos tocoferóis e 61% de vitamina E [47].

HARWANT SINGH [51] cita uma maior destruição de acetato de retinil solubilizado (derivado da vitamina A) em isopropanol por radiação gama do que por irradiação com feixe de elétrons.

Estudos com leite e produtos lácteos irradiados mostram perdas de aproximadamente 50 % de vitamina A e E, apesar da adição de ácido ascórbico poder minimizar essas perdas [52]. Os carotenos, foram examinados em mangas irradiadas nas doses de 0,075, 0,3 e 0,6 kGy . Nenhuma diferença significativa entre o controle não irradiado e as amostras irradiadas foram observadas [52].

Determinações do conteúdo de vitamina A feitas após 4 semanas da irradiação de queijo cremoso na dose de 50 kGy indicou perda de 5% da vitamina A quando a irradiação foi realizada sob vácuo a temperatura ambiente; 5% com a irradiação em ar na temperatura de -80 °C e 60 % com irradiação em ar temperatura ambiente [53].

Foi relatado que a vitamina A em filés de peixe irradiado a 0°C com 3 kGy não foi alterada, após tratamento com 30 kGy, ocorreu 45% de perda [54].

O grande volume de dados da literatura permite concluir que com exceção

da tiamina e da vitamina C, a irradiação não produz diminuição significativa das vitaminas ainda que a dose aplicada seja de 58 kGy [54].

Os resultados do presente trabalho, que em termos gerais corroboram com dados da literatura, tem importância particular pois na aplicação comercial de irradiação de alimentos são imprescindíveis dados em condições de temperatura ambiente que representam menores custos operacionais.

Por outro lado, levando em consideração dados da literatura mencionados anteriormente [22], a  $D_{10}$  para importantes patógenos, tais como *Salmonella* sp e *S. aureus*, está ao redor de 0,2 kGy. Assim, uma dose de 3kGy seria suficiente para eliminar esses agentes indesejáveis. Nessas condições, os presentes resultados indicam não haver perdas de atividade de vitamina A e  $\beta$ -caroteno.

## CAPITULO 5 - CONCLUSÕES

- a) Os resultados deste trabalho mostram a grande estabilidade da vitamina A e do  $\beta$ -caroteno frente a ação da radiação, na dose 3 kGy em amostras de fígado bovino e patê de fígado suíno confirmando dados da literatura.
- b) No caso de irradiação com dose alta, como é o caso de 30 kGy, houve ainda assim uma retenção de 40 % da atividade de vitamina A em amostras de patê de fígado suíno.
- c) Este trabalho contribui para uma melhor compreensão dos efeitos da radiação em alimentos, evidenciando que, nas doses indicadas para a eliminação de patógenos, não há perda da atividade de vitamina A em fígado bovino ou suíno, fontes importantes dessa vitamina.



**Figura 2 – Amostra de fígado bovino na fonte panorâmica de  $^{60}\text{Co}$**



**Figura 3 – Amostra de patê de fígado suíno na fonte panorâmica de  $^{60}\text{Co}$**

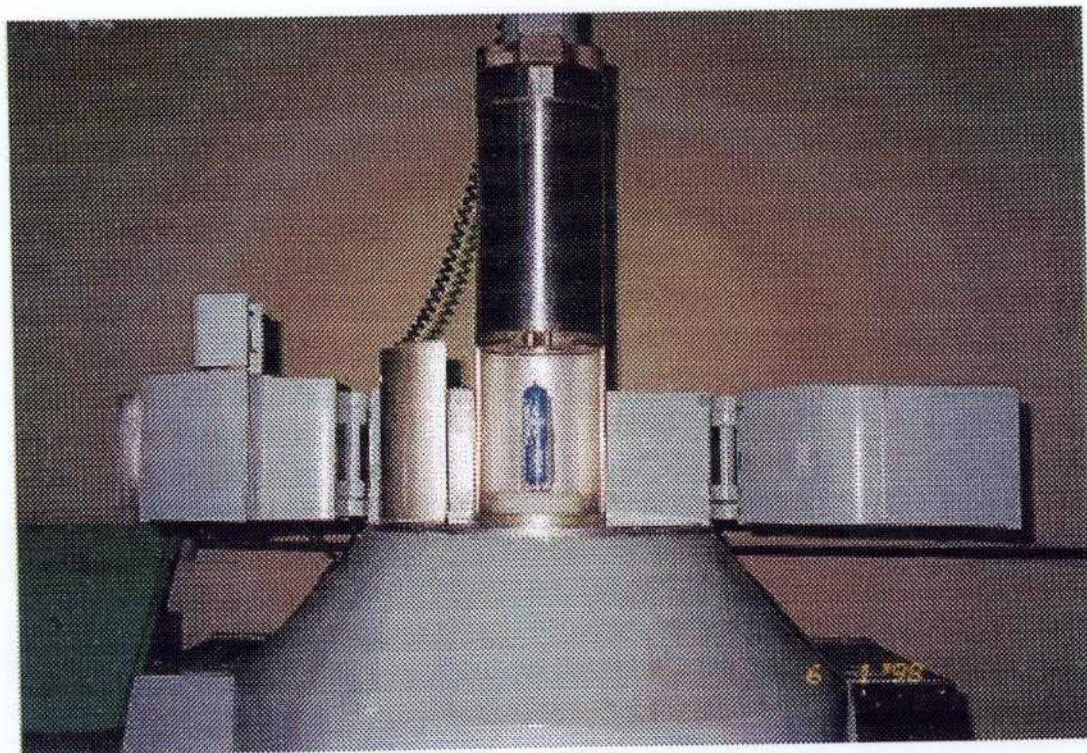


Figura 4 - Amostra de patê de fígado suíno na fonte de  $^{60}\text{Co}$  na Gammacell 220(AECL)



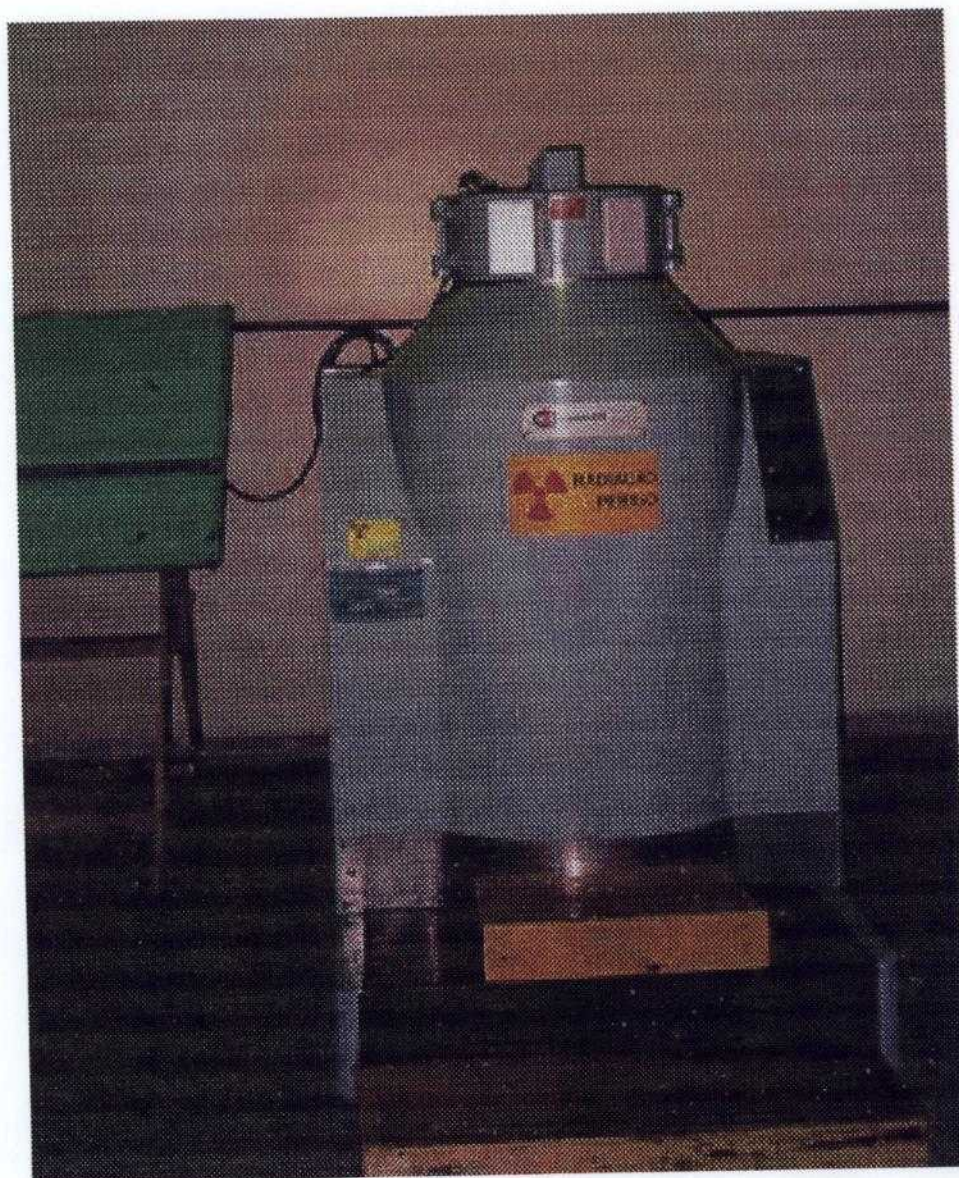
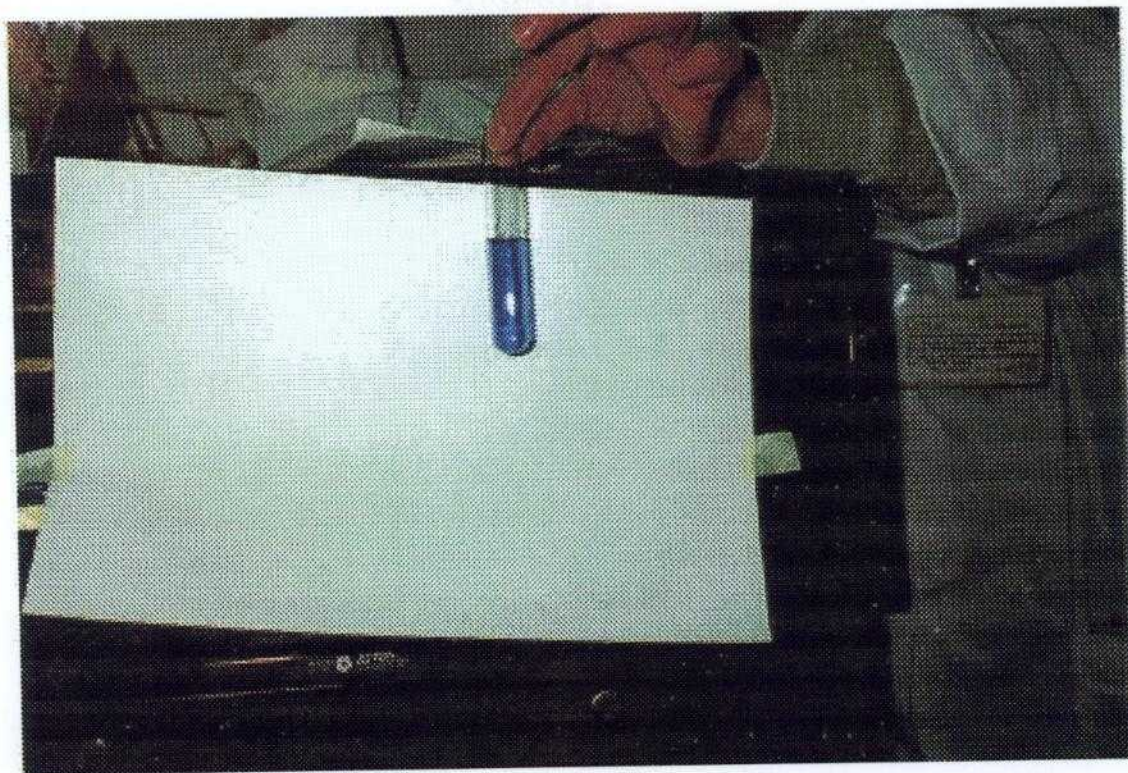


Figura 5 – Fonte de  $^{60}\text{Co}$  Gammacell 220 (AECL)



**Figura 6 - Extração da vitamina A com éter de petróleo**



**Figura 7 – Amostra de vitamina A em solução de tricloreto de antimônio preparada para avaliação fotométrica**

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] MAHAN, K.L.; ARLIN, T.M. *Krause: Alimentos, nutrição e dietoterapia*. São Paulo, S.P.: Roca, 1998.
- [2] KAFERSTEIN, K.F.; MOY G.G. Public health aspects of food irradiation. *J. of Public Health Policy*, v.2, n.14, p. 149-163, 1993.
- [3] WORLD HEALTH ORGANIZATION. *High-dose irradiation: Wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy*. Geneva: WHO, 1999. p. 23 – 41.
- [4] YUDKIN, J. *The Penguin Encyclopaedia of nutrition*. New York, N.Y.: Penguin Books, 1986. p. 362.
- [5] OLIVEIRA, J.E. D.; MARCHINI, J.S: *Ciências nutricionais*. São Paulo, S.P.: Sarvier, 1998.
- [6] STROHECKER, R; HENNING, H. M. *Vitamin assay: tested methods*. 2. ed. Berlin Verlag Chemie-Gmbh-Weinheim Bergstr, 1966. p.33-64.
- [7] COUTINHO, R. *Noções de fisiologia da nutrição*. Rio de Janeiro, R. J.: Cultura Médica, 1981. p. 323.
- [8] WORLD CANCER RESEARCH; AMERICAN INSTITUTE FOR CANCER RESEARCH. *Food nutrition and the prevention of cancer: a global perspective*. Washington, D.C.: American Institute for Cancer Research, 1997. p. 404 - 405.

- [9] SILVA JUNIOR, E. A da. *Manual de controle higiênico- sanitário em alimentos*. São Paulo, S.P.: Varela, 1996. p. 37-43.
- [10] DELINCEÉ, H. Is it safe to eat irradiated food? Toxicological aspects. *Ann. Fals. Exp. Chim.*, v..90, n. 941, p. 331 – 346 , 1997.
- [11] INTERNACIONAL CONSULTATIVE GROUP ON FOOD IRRADIATION. *Training manual on operation of food irradiation facilites.*, 1992. p. 1-116 (Document ICGFI, 14)
- [12] OKUNO, E. *Radiação: Efeitos, riscos e benefícios*. São Paulo, S.P.: Harbra, 1988.
- [13] OISON, D.G. Irradiation processing In: HAYES, D.G.; MURANO, P.S.; SAPP, S.G.; OLSON, D.G. *Food irradiation: A sourcebook.*: Ames: Ia: Iowa State University Press [s.d] p. 3-25.
- [14] PIKAEV, A.K. Current status of radiation technology and dosimetry problems. *Khimiya Vysokikh Energii*, v. 27, n. 2, p. 44-53, 1993 In: BORRELY, S.I. *Tratamento de esgoto sanitário com o uso de acelerador de elétrons*. São Paulo: 1995. Dissertação (Mestrado). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.
- [15] GRUPO CONSULTIVO INTERNACIONAL SOBRE IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS. Divisão Mista da FAO/OIEA de Técnicas Nucleares en la Agricultura y la Alimentação. *A irradiação de alimentos: ficção e realidades*. Viena: Wagramerstrasse, 1990. p. 9 - 35.
- [16] LOAHARANU, P. Cost/benefit aspects of food irradiation. *Food Technol.*, p.104 - 108, 1994.

- [17 ] INTERNACIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Analytical detection methods for irradiated foods*. A review of the current literature. 1991 (IAEA-TECDOC-587).
- [18] DIEHL, J. F. *Safety of irradiated foods*. New York, N.Y: Marcel Dekker,. 1990. p. 95-239.
- [19] DIEHL, J. F.; JOSEPHSON, E.S. Assessment of wholesomeness of irradiated foods. *Acta Aliment.*, v. 23, n.2, p .195 – 214, 1994.
- [20] REILLY, W.J.; G.I.FORBES.; J.C.M.SHARP, S.I.OBOEGBULEN.; P.W.COLLIER.; G.M. PATERSON.1988. Poultry-borne salmonellosis in Scotland, epidemiology and infection, 101:115 apud, SATIN, M. *Food irradiation: A Guidebook*. Lancaster: Tecnic, 1993.
- [21] SANTOS, A. F. *Determinação da dose de radiação gama para a destruição de Salmonella spp em carne de frango*. São Paulo: 1997. Dissertação (Mestrado). Fac.Cs. Farmacêuticas, USP.
- [22] RAKITSKAYA, G.A.; SAMOILENKO, I.I.; PAVLOV, Y.P.; RAMKOVA, N.V; ZYKOVA, S.V.; SARIBEKIAN, V.V. *Radioresistance of microorganisms: theoretical and practical aspects* In: STERILIZATION OF MEDICAL PRODUCTS. INTERNATIONAL KLIMER MEMORIAL CONFERENCE ON THE STERILIZATION OF MEDICAL PRODUCTS, 5, 1989, Moscow. Proceedings. Canada: Polyscience, 1991.
- [23] GELLI, D.S., JAKOBI, M. DE MORAES, I.R., DEL MASTRO, N.L In vivo uptake study of Vibrio cholerae 01 no toxigenic by Oysters (Crassostrea brasiliiana). *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, Vol. 58, n.2, p.33-37, 1999.
- [24] SATIN, M. *Food irradiation: A guidebook*. Lancaster: Tecnic, 1993.

- [25] DEL MASTRO, N.L., Development of food irradiation in Brazil. *Prog. Nucl. Energy*, v. 35, n. 3/4, p.229-248, 1999.
- [26] FIRESTONE, R. B. *Table of isotopes*. New York, N.Y.: Willey, 1996. p. 275 -1249.
- [27] *CODEX General Standart for Irradiated Foods and Recommended International Code of Pratices for the Operation of Radiation Facilities used for the Treatment of Foods*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United of the United Nations, 1984 v.15.
- [28] BRASIL. Ministério da Saúde, Agencia Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 21, 26 de janeiro de 2001. Dispõe sobre regulamento técnico para irradiação de alimentos. *Diário oficial*, Brasília 29 de janeiro de 2001. Seção I, Parte Eletrônica. P.35.
- [29] DEL MASTRO, N.L. Alimentos esterilizados para uso em hospitais e rações militares. *Rev. Bras. Pesq. Desenvol.* v.2, n.1, p.1-3, 1999.
- [30] WILKINSON,S.A.; EARLE,M.D.; CLELAND, A.C. Kinetics of vitamin A degradation in beef liver puree on heat processing. *J .Food Sci.* v .46, n.1, p.32, 1981.
- [31] ROGAN, A .;GLAROS, G. Food irradiation: the process and applications for dietitians. *J.Am. Dietetic Association* .v.88, n.7, p. 837, 1988.
- [32] BINDRA, A.S. Irradiation for safe durable foods. *Indian Food Paccker*, Jul-Aug., p.54-57, 1997.
- [33] URBAIN, M.W. Radiation chemistry of food components and of foods. *Food Irradiation*. Orlando: Academic Press, 1986. p. 37-82.

- [34] DIEHL, J.F. Food irradiation : Is it an alternative to chemical preservatives? *Food Addit. Contan.*, v. 9, p. 409 – 416, 1992.
- [35] STACHOWICZ, W. *Radiation chemistry of food components* In: IAEA/ ICGFI WORKSSHOP IN USE OF ELECTRON ACCELERATORS FOR FOOD IRRADIATION jun. 9 – 22, 1991, Serock [separata].
- [36] NINJOOR, V. *Use of ionizing radiation for food processing application* [s.l.]: Indian Society *For*, 1989. (ISRP(K) -Br-1)
- [37] AL-KAHTANI, H.A.; ABU-TARBOUSH, H.A. ; BAJABER, A.S.; ATIA, M.; ABOU-ARAB, A.A.; EL-MOJADDIDI.;M.A. Chemical changes after irradiation and post-irradiation storage in Tilapia and Spanish Mackerel. *J.Food Sci* . v.61, n.4, p.729-733.
- [38] SABATO, S.F.; MASTRO, N.L.D. Spectrophotometry determination of irradiated ascorbic acid. In: MEETING ON NUCLEAR APPLICATIONS, 4 Aug 18-22, 1997, Poços de Caldas. *Proceedings* [S. l], Aben, 1997. p.922-925.
- [39] AMARO, J.D.V.; NETTO, E. .M. Efeitos físico-químicos da radiação gama nos teores de vitamina C em goiabas brancas e vermelhas. In: ' BRAZILIAN MEETING ON NUCLEAR APPLICATIONS, 3 Aug 7-11, 1995, Águas de Lindóia. *Proceedings ...* [S. l.], Aben, 1995. p.954 -957.
- [40] MULLER, H.; DIEHL, J.F. Effect of ionizing radiation on folates. *Food.Lebensm-Wiss. u.- Technol.* v.29, n. 1/2, p. 187-190,1996.



- [41] DAGHIR, N.J.; SELL, J.L.; MATEOS, G.G. Effect of gamma irradiation on nutritional value of lentils (*Lens culinaris*) for chicks. Nutrition report, 1983, 27: 1087 - 1093 apud WORLD HEALTH ORGANIZATION. ***High-dose irradiation: Wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy.*** Geneva: 1999. p. 38-41.
- [42] SANTOS, C.A.R.D. ***Utilização das radiações ionizantes na preservação e no controle da qualidade de polpa de acerola.*** Rio de Janeiro: 1998. Dissertação (Mestrado)- Instituto Militar de Engenharia.
- [43] DESMONTS, M.H. Les modifications organoleptiques des aliments traités par ionization. ***Ann. Fals. Exp. Chim.***, v.90, n.941, p331-346, 1997.
- [44] FARKAS, J. Decontamination, including parasite control, of dried, chilled and frozen foods by irradiation. ***Acta Aliment.***, v. 16, n.4, p. 351-357, 1987.
- [45] DEUTSCH, M.J. Vitamins and other nutrients In: Cunniff, P., ed. Official Methods of Analysis of AOAC.16.ed. Arlinton, Virginia; AOAC Interracional, 1996 apud, HERNANDES.C.C.; TAIPINA M.S.; BORGES, R M. ***Revisão Bibliográfica das Metodologias Utilizadas na Determinação de Vitamina A.*** São Paulo: 1.999 (Trabalho desenvolvido na Disciplina Análise de Vitaminas em Alimentos. Aspectos Atuais, sob a orientação da Profª. Dra.Lígia B de A. Muradian.)
- [46] INSTITUTO ADOLFO LUTZ. NORMAS ANALÍTICAS DO INSTITUTO ADOLFO LUTZ: ***Métodos químicos e físicos para análise de alimentos.*** 3 ed. São Paulo, S.P., 1985. v.1, p. 379-383.
- [47] JOSEPHON, E.S.; PETERSON, M.S. ***Preservation of food by ionizing radiation.*** Flórida: CRC [ s.d.].v.3.

- [48] LEATHERHEAD FOOD RESEARCH ASSOCIATION; D. Kilcast. *Effect of Irradiation on Vitamins*. UK.Pat.KT227RY. Nov. 24, 1992.
- [49] WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Safety and nutritional adequacy of irradiated food*. Geneva: WHO, 1994. p.140-141.
- [50] DE GROOT, A.P.; VAN DER MIJLL DEKKER, L.P.; SLUMP, P.; VOS, H. J.; WILLEMS, J.J.L. Composition and nutritive value of radiation pasteurized chicken. Central Institute for Nutrition and Food Research, Netherlands, 1972 apud, THAYER, D.W.FOX J.B., LAKRITZ, L. Effect of Ionizing Radiation on vitamins. In: THORNE, S. *Food irradiation*. London: Elsevier Applied Science, 1991. p 286-309.
- [51] SINGH, H. *Dose rate effect In food irradiation: A review L'Effect de débit de dose en irradiation des aliments: Un examen*. Pinawa, Manitoba: Whitestshell Laboratories. Aug.1991.(AECL -10343)
- [52] MURANO, P.S. Quality of irradiated foods In: HAYES, D.G.; MURANO, P.S; SAPP, S.G.; OLSON, P.G. *Food irradiation: A sourcebook*. Ames, Ia: State University Press, [s.d.] p.63 -78.
- [53] DIEHL, J.F. Vitamin in besrahlten Lebensmittel. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und- Forschung, 1979, 168:29-31 apud, WORLD HEALTH ORGANIZATION. *High-dose irradiation: Wholesomeness of food irradiated with doses above 10 KGy*. Geneva: 1999, p. 38 – 41.
- [54] INTERNACIONAL CONSULTATIVE GROUP ON FOOD IRRADIATION. *Review of data on high dose(10 - 70 kGy) irradiation of food*. Geneva: World Health Organization, 1995. p.13 -15 (WHO/FNU/FOS/ 95. 10)



M22111



***instituto de pesquisas energéticas e nucleares***  
Travessa "R", nº 400 - Cidade Universitária - Butantã  
São Paulo - CEP.: 05508-900  
Tel.: (011) 3816-9000 - Fax.: (011) 3812-3546  
<http://www.ipen.br>

O ipen é uma autarquia vinculada à Secretaria de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico do Estado de São Paulo, gerida técnica, administrativa e financeiramente pela Comissão Nacional de Energia Nuclear e associada à Universidade de São Paulo para fins de ensino de Pós-Graduação.