

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**DIRETORIA DE PÓS GRADUAÇÃO**  
**ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO**

**NATÁLIA HIDALGO DOS REIS PACHECO**

**IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS: UM ESTUDO DE CASO**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**PONTA GROSSA**

**2013**

**NATÁLIA HIDALGO DOS REIS PACHECO**

**IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS: UM ESTUDO DE CASO**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho, da Diretoria de Pós Graduação, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Alberto de Pontes

**PONTA GROSSA**

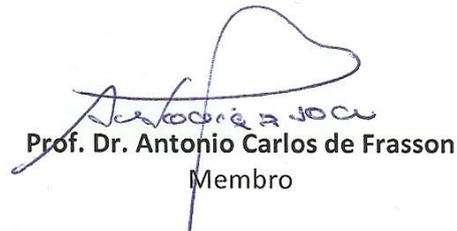
**2013**



**ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA**  
**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO**

Aos nove dias do mês de novembro do ano de dois mil e treze, às dez horas, na sala de treinamentos da DIREC, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Câmpus* Ponta Grossa, reuniu-se a Banca Examinadora composta por: Prof. Dr. Ariel Orlei Michaloski (UTFPR) presidente da banca, Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson (UTFPR); Prof. Me. Jeferson José Gomes (UTFPR); Prof. Dr. José Carlos Alberto de Pontes (UTFPR) para examinar a monografia, intitulada: "IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS: UM ESTUDO DE CASO" de **NATÁLIA HIDALGO DOS REIS PACHECO**. Após a apresentação, a proponente foi arguida pelos membros da referida Banca, tendo tido a oportunidade de responder a todas as perguntas. Em seguida, esta banca examinadora reuniu-se reservadamente para deliberar, considerando a monografia **APROVADA**, com média 8,0 (oito vírgula zero) para obtenção do título de **Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho**. A sessão foi encerrada às 10 horas e 45 minutos, sendo a presente assinada pelos participantes desta banca examinadora.

  
Prof. Dr. Ariel Orlei Michaloski  
Presidente

  
Prof. Dr. Antonio Carlos de Frasson  
Membro

  
Prof. Me. Jeferson José Gomes  
Membro

  
Prof. Dr. José Carlos Alberto de Pontes  
Membro

## RESUMO

PACHECO, Natália Hidalgo dos Reis. **Irradiação de Alimentos:** um estudo de caso. 2013. 58. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2013.

A irradiação de alimentos tem sido cada vez mais utilizada para conservação de alimentos, isso ocorre principalmente pelo aumento de vida de prateleira do produto, facilitando o transporte de produtos perecíveis. Além desse benefício há o fato do alimento não sofrer alteração em suas características organolépticas. Pela falta de Normas Regulamentadoras (NRs) específicas para altas doses de radiação, o objeto deste estudo vem a ser apresentar um estudo das normas propostas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), sendo este o órgão responsável por todas as questões relativas a radiação no Brasil. Para esse estudo será utilizada a metodologia de estudo de caso desenvolvido por análise documental. Dentre os grupos propostos pela Comissão, neste estudo serão considerados os grupos 3, 6, 7 e 8, pois estes grupos são os imprescindíveis para implantação de uma indústria de radiação de alimentos. O grupo 3 faz menção aos procedimentos de proteção radiológica. O grupo 6 diz respeito às instalações industriais em si e os passos que devem ser tomados para obtenção de licença para instalação e para processamento. O grupo 7 refere-se a certificação de pessoas responsáveis para supervisionar e colaborar com a planta industrial. Finalmente o grupo 8 traz informações sobre os rejeitos radioativos fornecendo informações com relação ao destino e aos procedimentos corretos. As doses de radiação emitidas e absorvidas são as bases para os cálculos das distâncias a que a fonte de radiação deve estar do público, sendo a distância de 2 metros colocada como mínima, há ainda a necessidade de se ter uma parede de concreto com interior de no mínimo 5 centímetros de chumbo. Com relação aos EPIs é obrigatório o uso de luvas adequadas, óculos de proteção, sapatos devidamente fechados, roupas de proteção com identificação do uso em ambientes radioativos. Ainda é necessário que se faça o monitoramento da radiação recebida pelos colaboradores e o monitoramento da radiação presente em cada área. Cada área industrial deve possuir sua classificação e esta deve ser indicada em cada local juntamente com os procedimentos a serem seguidos no caso de emergência. Foi possível observar a carência de estudos mais profundos nessa área, e isso se faz extremamente necessário pelo aumento desse mercado.

**Palavras-chave:** CNEN. Normas Regulamentadoras. Radiação Industrial. Raio gama.

## ABSTRACT

PACHECO, Natália Hidalgo dos Reis. **Food Irradiation: a case study.** 2013. 58. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Federal Technology University - Parana. Ponta Grossa, 2013.

Food irradiation has been increasingly used for food preservation, this is mainly due to increased product shelf life, facilitating the transport of perishable products. In addition to this benefit is the fact the food be preserved in its organoleptic characteristics. Lack of specific Regulatory Standards to high doses of radiation, the study object a study of standards proposed by the National Commission of Nuclear Energy (CNEN) has to be present, which is the body responsible for all matters relating to radiation in Brazil. For this study the methodology of case study developed by document analysis will be used. Among the groups proposed by the Commission, this study will consider the groups 3, 6, 7 and 8, because these groups are essential for the implementation of an industry of food irradiation. Group 3 mentions procedures for radiological protection. Group 6 with respect to industrial facility itself and the steps that must be taken to obtain a license for the installation and processing. Group 7 relates to certification of persons responsible for supervising and supporting the industrial plant. Finally the group 8 provides information on radioactive waste by providing information about the fate and the correct procedures. The doses of radiation are emitted and absorbed the basis for calculation of the distances to the radiation source that must be public, with the distance of 2 meters as a minimum placed, there is still the need to have a concrete wall with inner at least 5 cm of lead. Regarding PPE must wear appropriate gloves, goggles, duly closed shoes, protective clothing to use in identification in a places of irradiation. Is still necessary to make the monitoring of radiation received by reviewers and monitoring of radiation present in each area. Each area should have industrial classification and should be indicated at each location along with the procedures to be followed in case of emergency. It was possible to observe the lack of further study in this area, and this is highly necessary for the increase of this market.

**Keywords:** CNEN. Regulatory Standards. Industrial radiation. Gamma ray.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1 PROBLEMA .....	14
1.2 OBJETIVO .....	14
1.2.1 Objetivos Especificos .....	14
1.3 JUSTIFICATIVA .....	14
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
2.1 ALIMENTOS IRRADIADOS .....	16
2.2 IRRADIAÇÃO.....	22
<b>3 ESTUDO DE CASO: IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS.....</b>	<b>30</b>
<b>4 CONCLUSÃO.....</b>	<b>53</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>55</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A questão da segurança do trabalho na irradiação de alimentos é um tema pouco tratado por vários motivos, dentre eles: por se tratar de uma tecnologia relativamente nova (1970), por se ter poucas plantas instaladas no Brasil, pelo desconhecimento da população com relação aos possíveis benefícios que ocasionam medo de investimentos por parte dos empresários, dentre muitos outros.

Apesar disso, pela perda contínua de alimentos devido à deterioração e a contaminação, e pela exigência de controles mais severos na importação de alimentos por parte de diversos países, tem sido dada atenção ao processo de irradiação de alimentos (TAIPINA, SÁBATO E DEL MASTRO, 2000).

A radiação de alimentos tem-se mostrado como uma alternativa extremamente viável para a conservação dos alimentos, viável em termos tanto econômicos quanto energéticos. Além de ser eficiente no combate a contaminantes, ainda é capaz de inativar as enzimas responsáveis pela maturação de hortifrúteis, fazendo com que os produtos tenham sua vida de prateleira aumentada e possibilitando assim a exportação de produtos perecíveis, por exemplo.

No Brasil há poucas plantas industriais que realizam o processo de radiação, sendo este um segmento mais voltado para os produtos farmacêuticos e metalúrgicos, pouco utilizado em alimentos. Assim sendo, não há Norma Regulamentadora específica sobre esse novo segmento e seus procedimentos de segurança do trabalho que devem ser adotados. Portanto torna-se necessária a busca por referências, normas e leis referentes aos procedimentos a serem tomados para que se possa ter uma planta de radiação de alimentos segura no Brasil.

O órgão responsável pelo controle e manuseio dos elementos de radiação no Brasil é o CNEN (Conselho Nacional de Energia Nuclear). Esse Conselho é quem regula tudo que diz respeito a qualquer tipo de utilização de radiação no Brasil. Já no que diz respeito a higiene e qualidade de alimentos a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) é o órgão regulador no Brasil e as normas Codex, estabelecidas pelo Codex Alimentarius, são as mundialmente aceitas e utilizadas.

Assim, será feita uma análise sobre as normas colocadas pelo CNEN, pela ANVISA e pelo Codex para implantação de uma indústria de irradiação de alimentos, com ênfase às questões relacionadas a Engenharia de Segurança do Trabalho.

## 1.1 PROBLEMA

Como deve ser a Engenharia de Segurança do Trabalho para uma indústria de irradiação de raios gamas em alimentos, seguindo as normas determinadas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear?

## 1.2 OBJETIVO

Analisar as normas propostas pela CNEN para instalação de uma planta industrial de irradiação de raios gama em alimentos.

### 1.2.1 Objetivos Específicos

Verificar quais as normas que se aplicam a planta industrial em questão;

Analisar quais medidas devem ser tomadas para que haja segurança ao produto e principalmente ao pessoal envolvido no processo.

Especificar distâncias relativas ao irradiador necessárias a implantação da indústria.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

A irradiação de alimentos é uma tecnologia recente, começou a ser utilizada a partir da década de 70, quando foi permitida sua utilização pela FAO (Food and Agriculture Organization) e pela OIEA (Organização Internacional de Energia Atômica) (GOMEZ, LAJOLO e CORDENUNSI, 1999). Não existem no Brasil Normas Regulamentadoras (NRs) específicas para a segurança dos funcionários e dos processos nas indústrias de radiação de alimentos. O que existe atualmente é a NR-32 (Segurança e Saúde no Trabalho em Serviços de Saúde), porém esta pouco se aplica a radiação de alimentos, visto que as dosagens são bastante diferentes das utilizadas na área médica. Para procedimentos médicos utiliza-se dosagens da ordem de milligrays ( $\text{mGy} = 10^{-3}\text{Gy}$ ) e os utilizados para radiação de alimentos são da ordem de quilograys ( $\text{kGy} = 10^3\text{Gy}$ ). Assim é necessário que seja feita uma

pesquisa, na forma de estudo de caso, das normas existentes propostas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), órgão este que regulamenta as questões de radiação no Brasil, e suas aplicações na indústria alimentícia. Com essa análise acredita-se que assim será possível verificar quais as condições para fazer a correta manipulação dos materiais radioativos, a radiação em si, a eliminação dos resíduos, dentre outros aspectos relevantes.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Muito se tem falado em ter bons hábitos de vida, e um dos pontos principais desses hábitos consiste em se ter uma alimentação saudável. Para que isso ocorra é preciso que haja uma alimentação rica em frutas, vegetais, folhas, cereais e carnes com pouca gordura. As frutas, vegetais e folhas são consumidos *in natura* ou em versões minimamente processadas, o que faz com que suas vidas de prateleira sejam extremamente curtas. No caso dos cereais há o problema com relação a umidade e ao brotamentos destes. As carnes sem gordura tendem a se deteriorar mais facilmente. Portanto todos os produtos citados (frutas, vegetais, folhas, cereais e carnes) possuem dificuldades no que diz respeito ao seu armazenamento.

Os processos mais utilizados para conservação desses alimentos são o congelamento, o resfriamento e algumas vezes, quando cabível, a pasteurização. Porém todos esses processos podem causar alguma degradação aos alimentos, fazendo com que estes percam algumas de suas características organolépticas (por exemplo cor, textura, sabor e aroma), além daqueles alimentos que não podem sofrer esse tipo de tratamento como por exemplo as hortaliças. Como alternativa tem surgido no mercado uma nova tecnologia, a irradiação.

### 2.1 ALIMENTOS IRRADIADOS

Atualmente, o processamento térmico constitui-se no tratamento mais eficaz para controle de microrganismos presentes em alimentos, visto que este pode inclusive esterilizar. No entanto, não é aplicável a alguns produtos, pois pode causar degradação e até mesmo alterações físicas. Daí, o crescente interesse no uso de outros métodos físicos para descontaminação de alimentos.

Alguns processos não térmicos vêm sendo aplicados para a preservação de alimentos sem causar os efeitos adversos do uso do calor. Um desses processos é a irradiação de alimentos com luz ultravioleta de ondas curtas (UV-C), que tem sido bastante estudada por sua eficiência já comprovada na inativação microbiológica em água e superfícies de diversos materiais. Embora a radiação eleve a temperatura dos produtos irradiados essa variação chega a ser praticamente imperceptível, como

exemplo pode-se citar o fato de uma radiação de 60kGy (Gray) ocasionar um aumento de 0,014°C, o que é considerado insignificante (LÓPEZ-MALO e PALOU, 2005).

Com a falta de tempo para o preparo dos alimentos cada vez mais tem-se feito uso de produtos prontos ou semi-preparados, ou seja, cada vez mais a confiança na qualidade de produtos prontos tem sido praticada. A praticidade exigida no dia-a-dia faz com que sejam criados alguns hábitos cada vez mais dependentes da qualidade higiênica desses produtos, como o de abrir um pacote de carne já pronto para consumo, embutidos, frutas, legumes ou verduras e consumi-lo imediatamente. Desse modo, a ocorrência de surtos infecciosos originados por alimentos aparentemente saudáveis tem se tornado cada vez mais preocupante no mundo todo (OMI, 2005).

Grande parte dos surtos alimentares ocorridos no Brasil são ignorados e tratados de maneira generalizada, com a cura às vezes sendo realizada por remédios caseiros ou medicamentos de amplo espectro, sem a identificação da fonte ou do tipo de infecção, o que só seria possível através da realização de exames de laboratório. A utilização da radiação ionizante tem sido adotada como auxiliar no combate a surtos infecciosos em vários países. Nos Estados Unidos por exemplo, a irradiação tem sido adotada no controle de infecções ocasionadas pelo consumo de carnes cruas ou mal passadas. A irradiação de ervas finas e outros temperos secos tem sido utilizada em diferentes países como método de esterilização alternativo ao uso de produtos químicos cujos resíduos são perigosos para a saúde humana além de agredir ao meio ambiente (OMI, 2005).

Para o tratamento de frutas e verduras tem sido realizados muitos estudos sobre as quantidade mínima ideal de radiação a ser utilizada para que se tenha a garantia de um bom produto bem como maior economia e segurança aos envolvidos. Pode-se citar trabalhos como Neto, Spoto e Domarco (1997) que verificaram que a melhor dose de radiação gama a ser utilizada para tratamento de mandioca *in natura* sem casca é a de 8kGy, sendo verificado que nessas condições a mandioca não apresentou escurecimento nem alteração de suas características sensoriais. Para o tratamento de polpa de açaí a radiação gama juntamente com a conservação refrigerada foram testadas por Souto, Sabaa-Srur e Silva, 2001, sendo determinada a dose de 2,5kGy para melhor conservação da polpa refrigerada. Melão minimamente processado foi tratado com radiação gama e seus efeitos foram

testados por Trigo et al, 2007. As características sensoriais do abacaxi após exposição à radiação ionizante foram estudadas por Silva, Spoto e Silva, 2007, e chegaram à conclusão que a irradiação não influenciou nas características sensoriais dos frutos, e aumentando o período de armazenamento dos mesmos. As quantidades testadas foram de 0,1 e 0,15kGy. Com relação ao amadurecimento de mamão, Soprani et al, 2005 estudaram o efeito da radiação gama nesse fruto, mostrando que a dose de 0,6kGy é a mais adequada para tratamento desse fruto ocasionando a melhor conservação e a menor alteração sensorial. Podridão em manga foi estudada por Santos et al, 2010, as frutas foram irradiadas com baixas doses de radiação gama, a saber, 0,24kGy, 0,35kGy e 0,45kGy, sendo que a maior dose foi a mais eficiente no controle da podridão e na estabilidade do fruto.

Guedes, et al (2005) verificaram os efeitos da radiação gama em alimentos minimamente processados contaminados com *Escherichia Coli*, comprovando que com a dose de 0,63kGy na couve manteiga há inativação desse microrganismo. Huachaca, 2002 em sua dissertação estudou, através do controle de fragmentos de DNA, diferentes doses de radiação gama para carne e para frutas. Para carne bovina utilizou as doses de 2,5; 4,5; 7,0 e 8,5kGy submetidos a controle de temperatura por refrigeração e congelamento; para as frutas testadas: tomate, maçã, laranja e mamão, as doses utilizadas foram 0,5; 0,75; 1,0; 2,0 e 4,0kGy. Para a carne a melhor dose determinada foi de 2,5kGy, tanto para amostras congeladas quanto resfriadas, já para as frutas, a melhor dose encontrada foi de 0,5kGy.

A estabilidade de bebidas cítricas tratadas com radiação ultravioleta foi analisada por Danieli e Stülp (2011) sendo observado que as amostras submetidas a luz negra apresentaram menor degradação.

Como pode ser observado pelos trabalhos citados, as doses utilizadas em alimentos são bastante elevadas. Porém, a eficiência no controle bacteriológico faz da irradiação uma técnica muito bem aceita para descontaminação de alimentos, sem tratamento adequado, poderiam ser fontes de infecções. Vale ressaltar que é importante aliar a irradiação a boas práticas na produção, no transporte e no armazenamento, caso contrário a irradiação poderá apenas reduzir alguns riscos. Além disso é um tratamento muito funcional quando utilizado juntamente com outras técnicas como resfriamento, congelamento e vácuo. Assim, a irradiação de alimentos pode ser encarada como uma maneira de reduzir riscos de contaminação e não como solução para produtos com má qualidade.

O Quadro 1 mostra o desenvolvimento da radiação de alimentos no mundo, desde 1905, quando se tem notícia de sua primeira utilização. Como técnica para preservação de alimentos foi observado apenas quinze anos depois, na França. Apenas em 1958 foram definidas as fontes de irradiação para uso em alimentos. O primeiro alimento a ter autorização para processamento com radiação foi a batata, para que sua vida de prateleira fosse aumentada.

Uma data bastante importante para a irradiação de alimentos foi 1970, ano em que a NASA faz uso desse procedimento. Dez anos depois a tecnologia é passada para controle do Departamento de Agricultura, sendo a partir dessa década os maiores registros de pesquisas na área. A partir de então os alimentos foram obtendo autorização para serem irradiados.

Ano	Acontecimento
1905	Primeira patente para o uso de radiação ionizante em alimentos com pestes
1920	Uso da radiação por cientistas franceses para preservar os alimentos
1921	Patente para uso de Raios X para matar <i>Trichinella spiralis</i> em carne
1940	Testes para o uso da irradiação em alimentos comuns pelo Departamento Norte-americano do Exército
1958	Definição da fonte de irradiação para o uso em processamento de alimentos
1963	Uso da irradiação aprovada para o controle de insetos em trigo
1964	Aprovação do uso da irradiação para estender a vida de prateleira de batatas
1966	Departamento Norte-americano do Exército e o Departamento Norte-americano de Agricultura fizeram uma petição para aprovar a irradiação em presunto
1970	Irradiação é adotada pela NASA para esterilizar alimentos para o programa espacial
1980	Transferências do programa de irradiação de alimentos do Departamento Norte-americano do Exército para o Departamento Norte-americano de Agricultura
1983	Aprovado o uso de irradiação em especiarias e legumes secos para matar insetos e bactérias
1985	Irradiação, em baixas doses, foi aprovada para controlar a <i>Trichinella</i> na carne de porco
1986	Irradiação em frutas e legumes foi aprovada para controlar insetos e promover a maturação
1990, 1992	Irradiação para o uso avícola no controle da <i>Salmonella</i> e outras bactérias foram aprovadas pela FDA e USDA, respectivamente
1997	Irradiação foi aprovada para o uso em carne de boi e outras carnes
2000	Permissão do uso da irradiação em carne crua e seus subprodutos refrigerados e congelados e em ovos para controlar a <i>Salmonella</i>

**Quadro 1 - histórico da irradiação de alimentos.**

Fonte: Almeida, 2006.

A aplicação de radiação ionizante como coadjuvante no controle de infecções alimentares pode elevar a segurança alimentar de produtos aos níveis exigidos à vida moderna. Com ela, a contaminação pode atingir níveis indetectáveis e por longos períodos de tempo. No entanto, sem métodos de produção, de transporte e de armazenamento adequados, a irradiação de alimentos passa a ter características apenas de atenuação dos riscos. Assim, a irradiação de alimentos

deve ser encarada como auxiliar na redução do risco de contaminação e não como solução para produtos de má qualidade higiênica (OMI, 2005).

Além dos benefícios já citados sobre o combate a agentes patógenos, a irradiação faz com que os produtos tenham sua vida de prateleira aumentada. Assim, produtos bastante procurados, mas que são muito degradáveis tem sua exportação diminuída pela dificuldade em fazer com que os alimentos cheguem ao destinatário com qualidade. A utilização da radiação viabiliza a exportação desses produtos. A TABELA 1 mostra a comparação da vida de prateleira de alguns produtos sem e com irradiação.

TABELA 1 – comparação da vida de prateleira de produtos com e sem irradiação

Produto	Vida de prateleira sem irradiação	Vida de prateleira com irradiação
Alho	4 meses	10 meses
Arroz	1 ano	3 anos
Banana	15 dias	45 dias
Batata	1 mês	6 meses
Cebola	2 meses	6 meses
Farinha	6 meses	2 anos
Legumes e Verduras	5 dias	18 dias
Papaia	7 dias	21 dias
Manga	7 dias	21 dias
Milho	1 ano	3 anos
Frango refrigerado	7 dias	30 dias
Filé de peixe refrigerado	5 dias	30 dias
Morango	3 dias	21 dias
Trigo	1 ano	3 anos

Fonte: LIARE - CENA/USP

(<http://www.cena.usp.br/irradiacao/irradiacaoalimentos.htm>)

O processamento por radiação gama pode ser aplicado em alimentos e produtos agrícolas tais como frutas sazonais, com o objetivo de superar barreiras quarentenárias (visam retardar ou evitar a degradação das frutas); e produtos embalados de origem animal como aves, frutos-do mar, congelados ou não, para se prolongar shelf life (vida de prateleira). Pode ser também aplicado em produtos secos de alto valor de mercado como carnes e peixes desidratados, frutas secas, nozes e outras castanhas, cacau e grãos, para diminuir a carga patogênica e como alternativa ao uso de fumigantes para eliminar insetos. É também utilizado para inibir o brotamento de bulbos e de tubérculos como batatas, cebolas e alhos; facilitando assim o transporte e o armazenamento destes (TAIPINA, SÁBATO E DEL MASTRO, 2000).

Independentemente da capacidade em reduzir a carga de agentes de infecção alimentar, sejam eles fungos, bactérias ou outros organismos, a irradiação não cria condições para evitar uma nova contaminação do alimento e também não reduz as toxinas geradas antes da irradiação ou retira os organismos indesejados. Por esses motivos, a irradiação de alimentos deve ser encarada como um processo complementar às boas práticas de produção, transporte e armazenamento, elevando o grau de segurança e o prazo de validade desses alimentos (OMI, 2005).

Com relação aos macro nutrientes (carboidratos, proteínas e lipídeos), eles se apresentaram relativamente estáveis quando submetidos à irradiação. Os micronutrientes, especialmente as vitaminas, podem ser sensíveis a qualquer método de tratamento de alimentos, inclusive a irradiação. Para se ter uma ideia, a perda de vitamina resultante da irradiação até 60kGy não é muito diferente da destruição causada pelo processo de cozimento, que desnatura vitaminas. A vitamina E assim como a tiamina são as mais radio sensíveis, sendo elas classificadas como lipossolúvel e hidrossolúvel, respectivamente (TAIPINA, SÁBATO E DEL MASTRO, 2000).

Apesar de todos os benefícios da radiação, é necessária que seja feita uma ressalva. Em todo processo de radiação há a produção de rejeitos radioativos, que são elementos que necessitam de cuidados especiais para descarte. Porém esses cuidados não são muito além das exigências impostas para o descarte de processos químicos industriais, por exemplo. Embora haja a produção de rejeitos isso de maneira alguma inviabiliza a utilização desse processo.

Nesse ponto uma diferenciação se faz necessária, a diferença entre alimento irradiado e alimento contaminado. Alimento contaminado por radiação é aquele que possui a presença indesejável de um elemento que não deveria estar presente, ou seja, a contaminação gera irradiação. Já alimento irradiado é aquele que recebe a irradiação nas dosagens corretas apenas para sua descontaminação e aumento de vida de prateleira, não se tornando radioativo. Segundo a RDC (Resolução da Diretoria Colegiada) 21/2001, alimento irradiado é todo alimento que tenha sido submetido ao processo de irradiação com radiação ionizante.

## 2.2 IRRADIAÇÃO

As radiações são formas de energia que interagem com a matéria sob diferentes maneiras, podendo ser radiação ionizante e radiação não ionizante. A principal diferença entre elas está na capacidade de ionizar os átomos.

As radiações ionizantes são aquelas que possuem energia suficiente para que os átomos e moléculas sejam ionizados, temos como exemplo os raios X, os raios  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ . A diferença entre as radiações  $\alpha$  e  $\beta$  e a radiação  $\gamma$  consiste no fato das primeiras serem emitidas em forma de matéria e a segunda ser emitida em forma de onda eletromagnética. A Figura 1 a seguir esquematiza as diferenças entre as radiações descritas anteriormente.

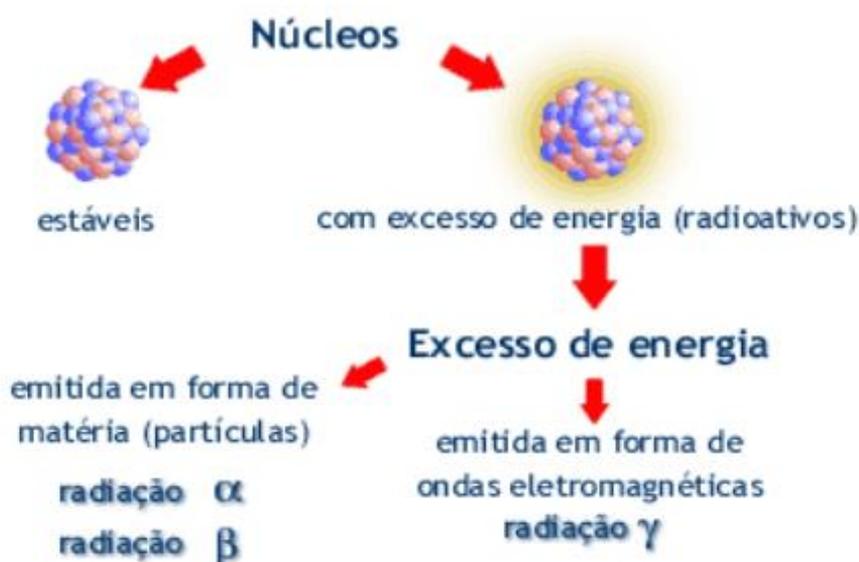


Figura 1 – diferença entre as radiações  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ .

Os raios  $\alpha$  possuem carga positiva e consistem em dois prótons e dois nêutrons. Esses raios são emitidos com alta energia porém perdem rapidamente sua energia quando passam através da matéria, folhas de papel já são capazes de deter esse tipo de raio. A Figura 2 mostra um esquema da radiação  $\alpha$ , no momento um apenas a partícula  $\alpha$  com dois prótons e dois nêutrons, se comporta como uma única partícula; no momento dois as partículas se juntam para grande partícula  $\alpha$ ; finalmente no momento três apenas uma partícula  $\alpha$  é emitida pelo núcleo.



Figura 2 – Esquema da radiação  $\alpha$ .

A radiação  $\beta$  se propaga com velocidade muito próxima a velocidade da luz, esses raios são capazes de penetrar a madeira em até 1cm. Quando é emitida uma partícula  $\beta$  é emitido também um neutrino, que não possui carga elétrica e quase não tem massa. Na radiação de partículas  $\beta$ , um nêutron no núcleo se transforma num próton, um elétron e um neutrino, assim o elétron e o neutrino são emitidos no mesmo instante em que se formam e o próton permanece no núcleo, ou seja, o núcleo passa a ter um próton a mais e um nêutron a menos. A Figura 3 mostra esquematicamente como ocorre a radiação  $\beta$ . No momento um é mostrado apenas a partícula  $\beta$  em alta velocidade que irá se encontrar com os elétrons e nêutrons, que é o momento dois; finalmente no momento três é mostrado a emissão da partícula no instante em que é formada, juntamente é emitido um neutrino.

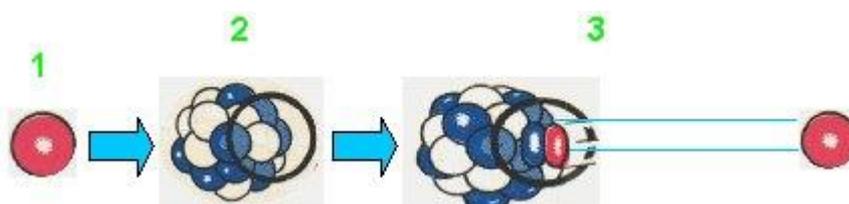


Figura 3 – Esquema da radiação  $\beta$

As radiações  $\gamma$  são aquelas que não possuem carga elétrica. Essas radiações e os raios-x são semelhantes sendo diferenciáveis apenas pelo comprimento de onda, que nos raios-x são mais longos. Nessa radiação são emitidos fótons que se propagam com a velocidade da luz. Possuem poder de penetração muito superior às partículas descritas anteriormente, sendo este um dos motivos que a faz ser utilizada no processamento de alimentos. Não é observada nenhuma mutação na emissão de raios  $\gamma$ . A Figura 4 a seguir mostra o esquema dessa radiação: no momento um é mostrado apenas os raios  $\gamma$  que são fótons de energia eletromagnética; no momento dois é mostrado o núcleo que será radiado; e finalmente no momento três é exibido os raios sendo liberados quando um núcleo fica em um estado de alta energia e é desintegrado.

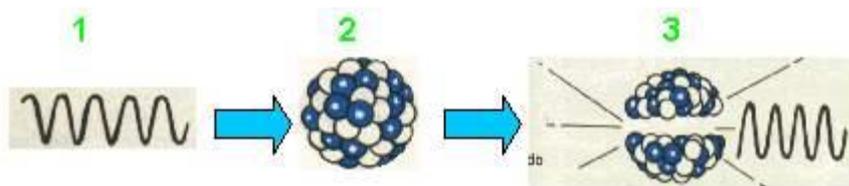


Figura 4 – Esquema da radiação  $\gamma$ .

A tabela 2 mostrada a seguir apresenta resumo as diferenças entre as radiações ionizantes no que diz respeito ao poder de ionização, os danos causados ao ser humano, a velocidade das partículas e finalmente o poder de penetração de cada uma.

TABELA 2 – diferenças entre as radiações  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ .

Radiação	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
Poder de ionização	Alto, ao capturar dois elétrons do meio se transforma no átomo de hélio.	Médio, possui carga elétrica menor e assim menor poder.	Pequeno, não possuem carga.
Danos causados	Pequenos, são barrados apenas pela camada de células mortas da pele, causam no máximo queimaduras.	Médios, podem penetrar até 2cm chegando a ionizar células gerando os radicais livres.	Alto, são capazes de atravessar o corpo humano causando danos irreparáveis e alterações na estrutura do DNA.
Velocidade	5% da velocidade da luz	95% da velocidade da luz	Igual a velocidade da luz
Poder de penetração	Pequeno, uma folha de papel já é capaz de deter.	Médio, de 50 a 100 vezes mais penetrante que a radiação $\alpha$ , detidos por uma chapa de chumbo de 2mm.	Alto, mais penetrantes que raios-x, são detidos por uma chapa de chumbo de 5cm.

Fonte: CNEN, adaptação da autora.

As radiações não ionizantes por sua vez são aquelas que não possuem energia suficiente para ionizar átomos e moléculas, luz visível, infravermelhos e ultravioletas são exemplos desse tipo de radiação.

Diversos tipos de radiações podem ser utilizadas para melhor conservação de alimentos, dentre elas: a radiação ultravioleta e a radiação gama. Sendo a mais utilizada a radiação gama obtida através do elemento radioativo Cobalto-60, visto que a partir de seu uso o prolongamento de conservação é maior. Um exemplo do uso da radiação ultravioleta é obtido quando são analisados os métodos de conservação usados pelos povos na Antiguidade, como secar carnes, frutas e grãos a luz do sol.

O processo de radiação de alimentos é bastante simples. A esterilização e a descontaminação ocorrem por energia ionizante, geralmente através de raios gama. O produto é exposto a ação de ondas eletromagnéticas curtas, geradas geralmente por fontes de Cobalto-60. Essas ondas ao encontrarem microrganismos vivos presentes no alimento provocam o rompimento de seu DNA, fazendo assim com que haja sua inativação ou apenas impossibilitando sua reprodução. A Figura 5 mostra os efeitos da radiação em moléculas de DNA, vale observar que os danos mostrados são causados em microrganismos patógenos porém podem também ser causados em humanos caso as medidas de segurança não sejam adequadas.

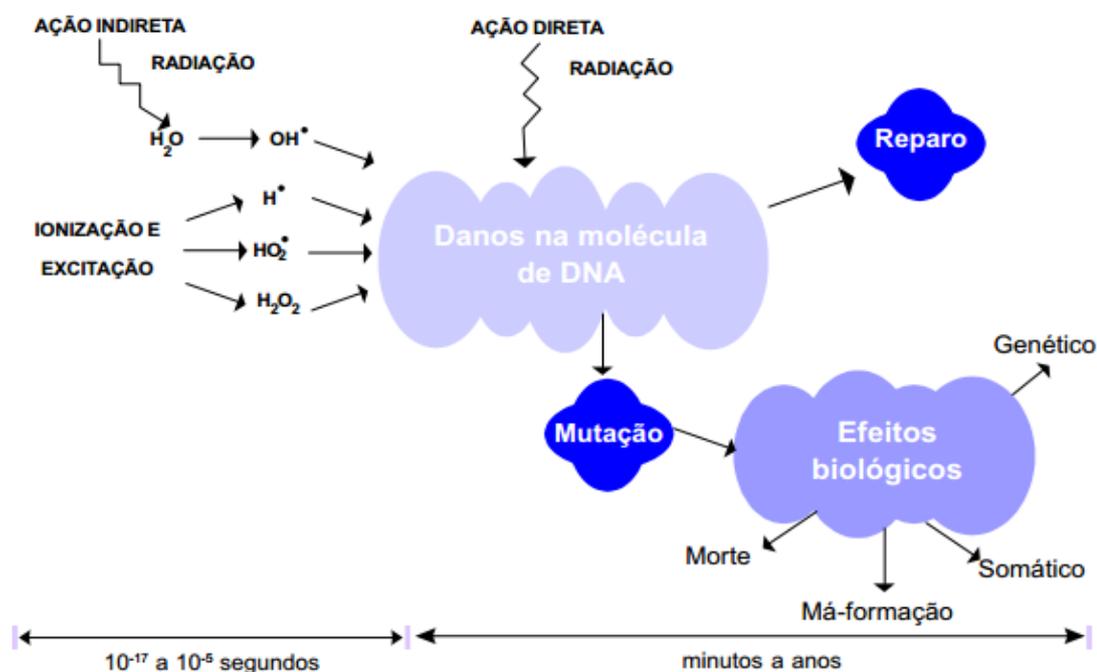


Figura 5 – Danos sofridos pelas moléculas de DNA  
 Fonte: apostilas do CNEN disponível em: [www.cnen.gov.br/ensino](http://www.cnen.gov.br/ensino)

Esse processo é realizado com o produto já embalado, o que possibilita a aplicação de irradiação a diversos tipos de produtos. Sendo as ondas eletromagnéticas provenientes da radiação  $\gamma$ , as de grande poder de penetração, os microrganismos que são encontrados em qualquer parte do alimento acabam sendo eliminados, sendo este, um dos fatores que contribui para a eficiência do processo.

A taxa à qual uma substância radioativa se desintegra liberando as partículas depende do elemento, porém há uma constância no comportamento chamado de lei do decaimento, que comanda esse processo. Em um dado período de tempo (geralmente um segundo) cada núcleo de uma dada espécie tem a mesma

probabilidade de decaimento. Cada núcleo possui sua taxa de decaimento que pode variar de instantes a centenas de anos. Esse comportamento é descrito através do conceito de meia-vida, que consiste no tempo necessário para que a metade dos núcleos decaia. A taxa de decaimento é medida pela unidade becquerel (Bq) sendo 1Bq igual a 1 decaimento por segundo.

A unidade que representa a dose equivalente é o Sievert (Sv). A dose equivalente nada mais é que o produto da dose de radiação pelo número que representa a importância biológica relativa a radiação. Já a unidade que representa a dose absorvida é o Gray (Gy). A dose absorvida é a quantidade de energia aplicada a cada grama de tecido biológico exposto a radiação.

A indústria de alimentos cada vez mais quer suprir as necessidades de seus clientes, com produtos de alta qualidade e seguros. Assim a irradiação é uma alternativa bem viável, pois além de tornar o alimento seguro mantém sua integridade. Importante ressaltar que a irradiação não deixa resíduos nos produtos tratados, ou seja, os alimentos são radiados e não contaminados.

Dentre as vantagens encontradas na utilização da radiação, Fellows (2006) cita:

- Na desinfestação, são eliminados os organismos vivos em todos os estágios de evolução;
- Promove a descontaminação de alimentos in natura, refrigerados e congelados sem causar efeitos indesejáveis;
- Não deixa resíduos químicos nos alimentos;
- Pode ser aplicado em produtos na embalagem final, com pouca ou nenhuma manipulação;
- Facilita a exportação, distribuição e venda de produtos agroindustriais, aumentando o tempo de vida útil sem mudar suas propriedades;
- Reduz as perdas na cadeia de distribuição.

A radiação pode ser categorizada em três classes: radurização, radicação e radapertização. A radurização compreende as radiações de baixas doses de até 1kGy, essa dose é capaz de inibir o brotamento de bulbos e tubérculos, desinfesta grãos e farináceos, retarda o amadurecimento de hortifrúteis e a senescência de verduras, e já causa aumento na qualidade e da vida útil de diversos produtos. A

radicidação é a classe das doses médias de 1 a 10kGy, com o uso dessa dose há o retardamento do amadurecimento de frutas, reduz e até elimina contaminação por fungos e bactérias, e melhora a qualidade sanitária de produtos de origem animal. Por fim a radapertização é a dose alta, acima de 10kGy, obtendo assim descontaminação ou esterilização de especiarias.

O Brasil tem grande potencial para a ampliação do uso das técnicas de irradiação de alimentos, o que deve ser considerado de modo estratégico. Naturalmente, não é razoável pensar em descontaminar toda a produção de alimentos, porém irradiar parte dessa produção abriria uma grande possibilidade de oferecer ao público consumidor uma opção de maior confiabilidade no que diz respeito à qualidade higiênica do alimento. E o selo com a radura, símbolo do alimento irradiado, indicaria esse “status” (OMI, 2005).



Figura 6 – Radura usada em produtos irradiados.

A radura é o símbolo internacional utilizado para mostrar que um alimento foi tratado com radiação ionizante. Normalmente aparece em formato circular e de coloração verde. A metade superior do círculo é tracejada. A Figura 6 mostra o modelo que deve ser utilizado para as indústrias de irradiação. Uma das interpretações do símbolo utilizado é a seguinte: as folhas e o ponto são pelos alimentos representarem um produto agrícola, o círculo ao redor pelo fato de se ter um produto fechado, e finalmente as fissuras na metade superior do círculo representa que os raios ionizantes penetram a embalagem.

## 2.3 NORMAS

As Normas Regulamentadoras existentes atualmente no Brasil não são específicas para a segurança de trabalhadores que utilizam a radiação em alimentos, ou qualquer outra utilização que não seja a área médica. O que existe atualmente, são tópicos listados em algumas normas:

- NR12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos – coloca o uso de radiação ionizante como risco adicional, porém sem mais informações.
- NR 15 – Atividades e Operações Insalubres – dedica o anexo nº 5 as radiações ionizantes, estabelece ainda a porcentagem a ser paga por ser uma atividade insalubre, é aconselhado que seja consultada a norma CNEN-NE-3.01.
- NR 16 – Atividades e Operações Perigosas – apresenta as atividades e operações perigosas com radiações ionizantes.
- NR 18 – Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção – solicita cuidado apenas com a escolha dos contêineres, colocando que estes devem apresentar laudo relativo a ausência de riscos químicos, biológicos e físicos (especificamente para radiações).
- NR 22 – Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração – no item beneficiamento exige que medidas especiais de segurança sejam providenciadas, quando se utilizar radiações ionizantes, deve-se realizar o monitoramento prévio através de medidores radioativos.
- NR 32 - Segurança e Saúde no Trabalho em Serviços de Saúde – apresenta itens relativos apenas a radiações usadas para procedimentos médicos.
- NR 34 – Condições e Meio Ambiente de Trabalho na indústria da Construção e Reparação Naval – descreve procedimentos porém os documentos devem ser elaborados e mantidos atualizados de acordo com o estabelecido pelo CNEN.

A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) foi criada em 10 de outubro de 1956, desde 1999 está vinculada ao Ministério da Ciência e Tecnologia. A CNEN

é o órgão responsável por regular as atividades nucleares no Brasil. É ela quem estabelece as normas e os regulamentos com relação a radioproteção e a segurança nuclear, ainda desenvolve pesquisas voltadas para a utilização de técnicas nucleares em benefício a comunidade. É de responsabilidade a essa Comissão também controlar as atividades nucleares desenvolvidas de forma que possa ser garantido o uso seguro de energia nuclear; para que isso possa ser feito, ela licencia e controla todas as instalações destinadas a esse fim, além de credenciar os profissionais atuantes nessa área.

Portanto para este trabalho serão utilizadas recomendações do CNEN, porém são fornecidos apenas indícios sobre a utilização da radiação e não sobre sua segurança, assim serão indicadas estas de acordo com o estudado. As normas em vigor atualmente, disponibilizadas pelo CNEN são bastante numerosas e estão subdividas em 8 grupos:

- Grupo 1 – Instalações Nucleares
- Grupo 2 – Controle de Materiais Nucleares, Proteção Física e Proteção contra Incêndio
- Grupo 3 – Proteção Radiológica
- Grupo 4 – Materiais, Minérios e Minerais Nucleares
- Grupo 5 – Transporte de Materiais Radioativos
- Grupo 6 – Instalações Radiativas
- Grupo 7 – Certificação e Registro de Pessoas
- Grupo 8 – Rejeitos Radioativos

Desses 8 grupos para as análises feitas nesse trabalho serão utilizados os grupos 3, 6, 7 e 8.

### 3 ESTUDO DE CASO: IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

Para a implantação de um indústria de radiação de alimentos no Brasil é necessário que sejam cumpridos alguns itens dispostos pela CNEN e pela ANVISA.

Inicialmente é preciso que seja feito o licenciamento perante a CNEN. Todos os formulários e documentos referentes ao licenciamento devem ser encaminhados eletronicamente. Para que sejam preenchidos os formulários corretamente é preciso que sejam levadas em consideração especialmente as normas CNEN-NE-6.02 e CNEN-NE-3.01. O requerimento para licenciamento é sujeito a cobrança de TLC (taxa de licenciamento e controle).

A norma CNEN-NE-3.01 se aplica ao manuseio, a produção, a posse e a utilização de fontes, ao transporte, ao armazenamento e a deposição dos materiais radioativos, bem como todas as atividades relacionadas que envolvam exposição à radiação.

É de obrigação dos titulares e dos colaboradores:

- Implantar, implementar e documentar um sistema de proteção radiológica, em consonância com a natureza e extensão dos riscos associados com as práticas e intervenções sob sua responsabilidade;
- Determinar as medidas e os recursos necessários para garantir o cumprimento das diretrizes de proteção radiológica, assegurar que os recursos sejam fornecidos e que essas medidas sejam implementadas corretamente;
- Rever, continuamente, tais medidas e recursos, identificar quaisquer falhas e deficiências na sua aplicação, corrigi-las e evitar suas repetições, bem como verificar regularmente se os objetivos de proteção radiológica estão sendo alcançados;
- Estabelecer mecanismos para facilitar a troca de informação e cooperação entre todas as partes interessadas com relação à proteção radiológica, incluindo a segurança das fontes;
- Manter os registros apropriados relativos ao cumprimento de suas responsabilidades;
- Tomar as ações necessárias para assegurar que os Indivíduos Ocupacionalmente Expostos (IOE) estejam cientes de que sua

segurança é parte integrante de um programa de proteção radiológica, no qual eles possuem obrigações e responsabilidades tanto pela sua própria proteção como pela de terceiros.

Ainda segundo a norma CNEN –NE-3.01, para a realização de uma prática devem ser consideradas todas as ações e etapas envolvidas, desde a escolha do local até o descomissionamento ou até o fim do controle institucional da instalação, levando-se em conta duas etapas: 1) considerar as normas pertinentes da CNEN, e demais; 2) incluir margens de segurança suficientes, de forma a garantir um desempenho seguro durante a existência da fonte, atendendo a prevenção de acidentes e à mitigação de suas consequências.

O titular deve submeter à aprovação da CNEN um Plano de Proteção Radiológica (PPR), documento este que deverá conter, no mínimo, as seguintes informações:

- a) Identificação da instalação e da sua estrutura organizacional, com uma definição clara das linhas de responsabilidade e respectivos responsáveis;
- b) Objetivo da instalação e descrição da prática;
- c) Função, classificação e descrição das áreas de instalação;
- d) Descrição da equipe, instalações e equipamentos que compõem a estrutura do serviço de proteção radiológica;
- e) Descrição das fontes de radiação e dos correspondentes sistemas de controle e segurança, com detalhamento das atividades envolvendo essas fontes;
- f) Demonstração da otimização da proteção radiológica, ou de sua dispensa;
- g) Função, qualificação e jornada de trabalho dos IOE;
- h) Estimativa das doses anuais para os IOE e indivíduos do público, em condições de exposição normal;
- i) Descrição dos programas e procedimentos relativos a monitoração individual, de área, de efluentes e do meio ambiente;
- j) Descrição do sistema de gerência de rejeitos radioativos;
- k) Descrição do sistema de liberação de efluentes radioativos;
- l) Descrição do controle médico de IOE, incluindo planejamento médico em caso de acidentes;
- m) Programas de treinamento específicos para IOE e demais funcionários;
- n) Níveis operacionais e demais restrições adotados;

- o) Descrição dos tipos de acidentes previsíveis, incluindo o sistema de detecção dos mesmos, destacando os mais prováveis e os de maior porte;
- p) Planejamento da resposta em situações de emergência, até o completo restabelecimento da situação normal;
- q) Regulamento interno e instruções gerais a serem fornecidas por escrito aos IOE e demais trabalhadores, visando a execução segura de suas atividades;
- e
- r) Programa de Garantia da Qualidade aplicável ao sistema de proteção radiológica.

Com relação as responsabilidades destinadas ao supervisor de proteção radiológica tem-se: assessorar e informar a direção da instalação sobre todos os assuntos relativos à proteção radiológica; zelar pelo cumprimento do plano de proteção radiológica aprovado pela CNEN; planejar, coordenar, implementar e supervisionar as atividades do serviço de proteção de modo a garantir o cumprimento dos requisitos básicos de proteção radiológica; e coordenar o treinamento , orientar e avaliar o desempenho dos IOE, sob o ponto de vista de proteção radiológica.

Por sua vez a norma CNEN-NE-6.02 discorre sobre o licenciamento de instalações radiativas que utilizam fontes seladas ou não-seladas, equipamentos, geradores de radiação ionizante e instalações radiativas para produção de radioisótopos. Ao longo dessa norma são definidos requisitos para o licenciamento de instalações radiativas relativos a localização, segurança, construção, operação, modificações, retirada das instalações, controle e aquisição das fontes de irradiação. É apresentada ainda a classificação das indústrias de acordo com a fonte e com os equipamentos utilizados. Para irradiação de alimentos, caso desse estudo, a instalação está enquadrada no GRUPO 1 – instalações de grande porte utilizando processos industriais induzidos por radiação, usando irradiadores de grande porte.

A aprovação do local só será feita mediante apresentação de um Relatório de Local (RL) que apresente todos os dados e informações pertinentes para análise do local, abrangendo os seguintes aspectos: utilização dos arredores incluindo a distribuição da população vizinha, vias de acesso e as distâncias dos centros populacionais; características gerais do projeto e da operação a ser realizada, capacidade, natureza dos materiais radioativos, medidas de segurança a serem

tomadas e sistema de contenção de material radioativo; análise do potencial de impacto radiológico da instalação ao meio ambiente, inclusive em caso de acidente; e programa de monitoração ambiental pré-operacional.

Para que se tenha uma planta adequada é preciso que se atente ao que diz a norma CNEN-NN-3.01 com relação as quantidades de radiações que podem ser recebidas por indivíduos. Essa norma estabelece limites de doses anuais permitidos de radiação para exposição normal para indivíduo ocupacionalmente exposto (IOE) e para indivíduo do público. Essas doses que devem ser levadas em conta no momento de se escolher o material mais adequado e de se calcular as espessuras das paredes ao redor do irradiador.

A norma propõe duas grandezas a serem consideradas: dose efetiva e dose equivalente. A dose efetiva é a soma das doses equivalentes ponderadas nos diversos órgãos e tecidos, ou seja, é considerada no corpo inteiro. Já a dose equivalente é a relação entre a dose absorvida média no órgão ou tecido e o fator de ponderação da radiação, é medida em locais específicos do corpo como o cristalino, a pele, mãos e pés. As relações a serem utilizadas para os cálculos das doses referidas são:

$$E = \sum_T w_T H_T$$
, para a dose efetiva, onde  $w_T$  é o fator de ponderação de órgão ou tecido e  $H_T$  é a dose equivalente no tecido ou órgão.

$H_T = D_T W_R$ , para a dose equivalente, onde  $D_T$  é a dose absorvida média no órgão ou tecido e  $W_R$  é o fator de ponderação de radiação.

Com relação a exposição de indivíduos a radiação, a norma coloca que deve ser restringida de maneira que nem a dose efetiva nem a dose equivalente nos órgãos ou tecidos excedam o limite de dose especificado. A TABELA 3 a seguir apresenta as doses consideradas para cada tipo de indivíduo já citado:

TABELA 3 – limites de doses anuais permitidos de radiação para exposição normal.

Limites de Doses Anuais			
Grandeza	Órgão	IOE	Indivíduo do público
Dose efetiva	Corpo inteiro	20 mSv	1 mSv
Dose equivalente	Cristalino	20 mSv	15 mSv
	Pele	500 mSv	50 mSv
	Mãos e pés	500 mSv	---

Fonte: CNEN – NN – 3.01: 2011 (p. 13)

Considerando as doses de exposição, para o caso em estudo, um isolamento de chumbo de 5cm seria suficiente para fazer com que a radiação fosse barrada. Portanto é necessário que seja feita a construção em concreto-chumbo-concreto. As medidas do concreto devem ser tal que sustentem a placa de chumbo.

Deve ser encaminhado um projeto de otimização da exposição a CNEN, utilizando-se para isso um sistema adequado que assegure as metas, atingindo se possível três condições: 1) dose efetiva anual média para qualquer IOE não exceda 1mSv; 2) dose efetiva anual média para indivíduos do grupo crítico não ultrapasse 10 $\mu$ Sv; 3) dose efetiva coletiva anual não supere o valor de 1pessoa.Sv. A partir do momento que essas condições forem alcançadas, não é mais necessário que seja encaminhado o projeto à CNEN.

Como gestor, é o titular quem deve fomentar e manter uma cultura de segurança para que assim possa estimular e fortalecer atitudes e comportamentos que ajudem a aprimorar a segurança de todos. Como requisito de gestão devem ser tomadas medidas para reduzir, o quanto for executável, a contribuição de erros humanos que levem a acidentes ou outros eventos que possam vir a originar exposições inadvertidas ou não intencionais em qualquer indivíduo.

A proteção radiológica e a segurança das fontes associadas às práticas devem ser verificadas através de análises que levem em conta: identificação das situações que possam gerar exposições normais e potenciais, levando-se em conta os efeitos ocasionados por fatores externos às fontes, que envolvam diretamente fontes e/ou equipamentos a elas associados; e determinação da magnitude prevista das exposições normais e quando possível estimar as probabilidades e os valores das exposições potenciais. Fica sob a responsabilidade do titular a monitoração radiológica e a medição dos parâmetros necessários para que se verifique o cumprimento dos requisitos, bem como a disposição dos procedimentos adequados e instrumentos suficientes. Devem ser mantidos registrados os resultados das monitorações, incluindo registros dos testes e calibrações especificados no Plano de Proteção Radiológica.

Com relação a exposição ocupacional, os titulares e os empregadores de IOE são os responsáveis pela proteção em atividades que envolvam exposições ocupacionais, ou seja, devem assegurar que os IOE sejam tratados como indivíduos públicos e recebam o mesmo nível de proteção. Como parte integrante das medidas para controle da exposição ocupacional, os IOE devem: a) seguir as regras e

procedimentos aplicáveis à segurança e proteção radiológica especificados, participando de treinamentos relativos à segurança e proteção radiológica que os capacite a conduzir seu trabalho; b) fornecer quaisquer informações sobre seu trabalho, passado e atual, incluindo o histórico de dose, que sejam pertinentes para assegurar a sua proteção radiológica e a de terceiros; c) fornecer a informação de ter sido ou estar sendo submetido a tratamento médico ou diagnóstico que utilize radiação ionizante; d) abster-se de quaisquer ações intencionais que possam colocar em risco a sua pessoa e a terceiros.

As áreas de exposição devem ser classificadas pelos titulares em áreas controladas, áreas supervisionadas ou áreas livres, conforme apropriado. A área deve ser classificada como área controlada quando esta possui necessidade de medidas específicas de proteção e segurança para garantir que as exposições ocupacionais normais estejam em conformidade com os requisitos de otimização e limitação de dose, bem como prevenir ou reduzir a magnitude das exposições potenciais. As áreas controladas devem ser sinalizadas com o símbolo internacional de radiação ionizante acompanhado de um texto descrevendo o material e o equipamento em que a radiação é utilizada. Já a área supervisionada é aquele espaço que embora não requeira a adoção de medidas específicas de proteção de segurança, devem ser feitas reavaliações regulares das condições de exposições ocupacionais, para se verificar se a classificação continua na faixa adequada, essas áreas devem ser indicadas como tal em seus acessos. Deve ser implementado, pelos titulares e empregadores, um programa para monitoração de áreas e dos indivíduos envolvidos no processo.

As áreas controladas são classificadas em quatro classes de acordo com o Plano de Área Restrita com Autorização Específica (P.A.R.A.E.) de 2007. Esse documento tem como objetivo estabelecer procedimentos adicionais que possam vir a minimizar as doses a que estarão expostos os trabalhadores e os visitantes, bem como estabelecer as distâncias que devem ser respeitadas de modo que não sejam prejudicados meio ambiente, pessoas e produto.

Assim sendo, a classe 1 compreende as regiões com dez ou menos edificações destinadas à ocupação humana; a locação dessa classe deve ser solicitada para áreas como florestas, deserto, montanhas, fazendas, terreno baldio e áreas residenciais. Já a classe 2 é aquela que representa as regiões com mais de dez e menos de cinquenta edificações unifamiliares destinadas à ocupação humana;

é requerida para áreas como periferia de cidade e vilas, área industrial rural, estâncias, granjas e zonas rurais.

A classe 3 representa as regiões com cinquenta edificações ou mais destinadas à ocupação humana, exceto quando a classe 4 prevalece; essa classificação é utilizada para áreas residenciais, suburbanas, em desenvolvimento, áreas industriais e áreas populares não classificadas como classe 4. A classe 3 é também solicitada para locais em que uma área externa bem definida que abrigue 20 pessoas ou mais seja utilizada como áreas de recreação, campos de futebol, praças públicas. Finalmente, a classe 4 compreende as regiões onde haja predominância de edificações com 3 andares ou mais destinados à ocupação humana, também são inclusas áreas de tráfego pesado ou intenso, áreas que possuam edificações ocupadas por vinte ou mais pessoas para uso normal, tais como igrejas, cinemas, escolas, dentre outros.

As distâncias máximas para necessidade de elaboração de planos de área restrita variam e podem ser de 15m, 60m ou 120m de acordo com o elemento a ser utilizado no processo de radiação e a classe ao qual a planta está inserida. Para elaboração do Plano deve ser considerada uma área de abrangência que varia de acordo com a classe sendo de 120km + 10% para a classe 1 e classe 2; 60km + 10% para a classe 3; e 15km + 20% para a classe 4. As porcentagens se referem a extensão máxima atingida.

Com a autorização do local segue-se para obtenção do requerimento da construção. Além do requerimento é necessário que seja encaminhado um Relatório Preliminar de Análise de Segurança (RPAS) apresentando os seguintes itens: qualificação técnica do responsável pelo projeto; descrição e análise da instalação atentando-se às características e operação; análise preliminar e avaliação do projeto e desempenho de estruturas, sistemas e componentes da instalação, identificando itens importantes a segurança; programa de garantia da qualidade do requerente e dos contratados; planos preliminares para situações de emergência; plano preliminar de gerenciamento de rejeitos radioativos; relação das normas técnicas adotadas; plano preliminar de proteção física descrevendo emergência de roubo; e plano preliminar de proteção radiológica. Para obter essa autorização também é cobrada a TLC equivalente.

Com a planta construída é feita uma vistoria pela CNEN e então é solicitada, por requerimento, a autorização para comissionamento e juntamente deve ser

apresentado um relatório contendo: controles físicos e administrativos para controle de acesso; comprovação de treinamento dos envolvidos; descrição das medidas de segurança; descrição dos testes a serem realizados; nome e experiência do responsável pelo planejamento; tempo de operação requerido durante o comissionamento; lista de testes a serem realizados no equipamento; metodologia utilizada para verificação da blindagem; descrição dos equipamentos a serem utilizados; laudo técnico emitido por profissional registrado no Conselho Regional de Engenharia de Agronomia (CREA).

Caso seja necessária alguma modificação na instalação, é preciso ressaltar que só será aceita se for imprescindível para a segurança, ou seja, serão aceitas modificações nos itens: estruturas, sistemas e componentes que possam resultar em exposição indevida ou que resultem em acidentes; e dispositivos e características para atenuar falhas ou mau funcionamento.

Para possuir autorização de operação é preciso que se leve em conta o grupo da instalação. Para o caso do estudo, temos o GRUPO 1 como classificação e sendo assim os procedimentos são o encaminhamento do requerimento juntamente com um relatório que contenha: projeto da instalação; plano de proteção radiológica com a organização do pessoal e suas responsabilidades, planos de treinamento e de condução das operações, programa de qualidade dos itens da segurança, controles administrativos a serem adotados, plano de emergência, especificações da instalação importantes a segurança, plano de proteção física, plano de gerenciamento de rejeitos, e plano de transporte do material radioativo.

Com relação a saúde ocupacional deve ser feito um programa de saúde ocupacional, devendo ser solicitadas avaliação inicial e periódica da aptidão dos IOE tendo-se como referência o Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO).

Cada IOE deve possuir registrado, pelos titulares e empregadores, informações sobre: a) natureza geral do trabalho; b) doses e incorporações; e c) dados e modelos que serviram de base para avaliação da dose. Informações estas que devem estar disponíveis para o IOE quando solicitada. Esses registros devem ser preservados até que o IOE atinja a idade de 75 anos, mesmo que já falecido.

Com relação aos visitantes devem ser tomadas medidas para que seja assegurada a proteção radiológica adequada de visitantes a áreas controladas, e que sejam acompanhados por uma pessoa com conhecimento sobre as medidas de

proteção radiológica; levando-se em conta que a entrada de menores de 16 anos é proibida em áreas controladas.

A exposição ao público merece atenção especial, devem ser estabelecidas, implementadas e mantidas medidas para: a) assegurar a aplicação da otimização da proteção radiológica; b) garantir a segurança dessas fontes, sendo tomadas medidas que visem prevenir falhas e erros; c) estimar a exposição do público, incluindo programa de monitoração radiológica ambiental; e d) garantir resposta adequada a situações de emergências radiológicas, incluindo planos ou procedimentos de emergência.

Fica sob responsabilidade dos titulares assegurar que os materiais radioativos provenientes das práticas não sejam liberados no meio ambiente sem autorização da CNEN.

Em relação as fontes, os titulares devem: a) manter as liberações de efluentes radioativos otimizadas, respeitando os níveis de restrição de dose autorizados; b) estabelecer níveis operacionais para que o efluente radioativo possa ser liberado; c) monitorar essas liberações; d) quando aplicável monitorar as vias de exposição de grupos críticos; e) registrar e manter os resultados dessas monitorações; e f) comunicar à CNEN qualquer liberação excedente.

No que diz respeito a intervenção estas devem ser realizadas através de ações protetoras ou remediadoras visando reduzir ou evitar a exposição. Nas intervenções para proteger os indivíduos do público deve ser observados os níveis de intervenção e níveis de ação. Em casos de emergência, os níveis de intervenção devem ser reconsiderados, em casos em que o nível de dose não seja excedido deve ser feita imediata intervenção.

Uma intervenção se justifica apenas nos casos em que se espera ser atingido um benefício maior que o dano obtido. Para que os níveis de dose sejam reconsiderados devem ser levados em conta fatores como: características da situação real, condições climáticas e fatores não radiológicos relevantes; e a probabilidade das ações protetoras trazerem benefício.

O controle de trabalhadores ocorre em três fases:

- a) Monitoração individual: deve ser permanente e de uso obrigatório enquanto presente na área controlada; dosímetros individuais e compatíveis com as condições de exposição; utilização de quantidade de dosímetros adequada para avaliação de doses em diferentes partes do corpo (exposição não

homogênea); adequabilidade dos dosímetros de acordo com a radiação a que se está exposto; atenção ao período e procedimento de avaliação; após exposições emergenciais ou de acidentes, encaminhar dosímetros para avaliação; verificação das condições de uso dos equipamentos de medição; estabelecimento de um programa para controle individual dos dosímetros; e as providências necessárias para calibração e avaliação dos mesmos. Contaminação externa: a contaminação deve ser evitada através do fornecimento de equipamentos e meios disponíveis; monitores de contaminação adequados para o tipo de radiação a que estão expostos; devem ser feitos testes diários e calibrações em locais autorizados; instalações de monitores em locais e pessoas adequados; exame com os monitores de mãos, pés, cabeças e roupas de trabalhadores sujeitos a contaminação externa; tomada de providências para descontaminação de trabalhadores caso seja o caso; controle do acesso a pessoas em áreas contaminadas; fornecimento de equipamentos de proteção individual para indivíduos contaminados. Contaminação interna: deve ser dada ênfase na segurança das instalações procurando minimizar a liberação de radiação e material radioativo; uso obrigatório de máscaras específicas para sujeitos expostos a riscos de contaminação; preparo para avaliação de contaminações internas; inclusão de exames apropriados para análise (sangue, excreta, contador de corpo inteiro); e providenciar tratamento para trabalhadores contaminados.

- b) Avaliação de doses: devem ser feitas as avaliações de todas as doses e grandezas limitadas, essas doses devem ser calculadas de acordo com os modelos compatíveis. O SR deve estar capacitado para estimar doses individuais em exposições de rotina e as coletivas, avaliar as doses ocorridas em exposições acidentais e minimizar as doses recebidas.
- c) Supervisão médica: deve ser fornecida essa supervisão, compatível com os princípios de Segurança e Medicina do Trabalho, a todos os trabalhadores da instalação; o médico responsável deve possuir experiência na área e os conhecimentos necessários; dentre os exames realizados devem constar pré-ocupacional, periódico (varia de acordo com a exposição), especiais (para doses superiores a recomendada) e pós-ocupacional.

Já o monitoramento de área é feito em cinco etapas:

- a) Avaliação e classificação de áreas: devem ser feitas avaliações periódicas de áreas verificando-se a segurança das estruturas e equipamentos, o nível de radiação externa, o acesso e a movimentação de trabalhadores e de fontes de radiação, e a localização das fontes e de rejeitos.
- b) Controle de acesso: deve ser restrito a pessoas autorizadas; áreas em situações de emergência devem ter seu acesso bloqueado até restabelecimento das condições normais de atuação.
- c) Sinalização: acessos a áreas restritas com o símbolo internacional de radiação, em cada área deve ser identificada com a classificação da mesma; identificação da fonte de radiação em embalagens, recipientes e blindagens; em pontos próximos às fontes de radiação deve ser indicado o valor de taxas de doses e suas respectivas medições no local; vias de circulação adequadas para uso em caso de emergência; equipamentos de segurança e instrumentos de medição bem identificados; indicação de local de alta contaminação com a data de medição; procedimentos a serem adotados em caso de emergências; e identificação de alarmes sonoros e visuais para situações de emergência.
- d) Monitoração de área: deve-se planejar e executar um programa contínuo para as áreas restritas; além da execução da seleção dos locais mais críticos, dos equipamentos, procedimentos e dos pontos de referência (devem ser facilmente acessíveis com instrumentos portáteis, representativos para a detecção prévia de irregularidades, representativo com relação aos postos de trabalho, e sujeito a poucas modificações) adequados.
- e) Descontaminação de áreas: deve ser feito o isolamento da área, evitando assim que a contaminação seja propagada.

Com relação ao meio ambiente e a população os cuidados para controle são: medição da radiação dos efluentes liberados, procurando minimizá-los; determinação das áreas sujeitas a contaminação; e comunicar qualquer evento que possa ocasionar contaminação do meio ambiente ou de pessoas.

As fontes de rejeitos e seus rejeitos devem ser controlados levando-se em conta os seguintes itens:

- a) Disposições gerais: as fontes usadas e seus rejeitos devem ser identificados, sinalizados e registrados.
- b) Segurança: todos os procedimentos (uso, manuseio, acondicionamento, transporte e armazenamento) que envolvam as fontes e seus rejeitos devem ser submetidos a aprovação do Supervisor de Radioproteção; fontes danificadas devem ser consideradas como rejeito.
- c) Supervisão: deve ser implantado um programa para a supervisão das fontes de radiação que abranja sua presença em local correto e devidamente sinalizado; seu estado físico e possíveis contaminações; e suas condições de uso, blindagem, acondicionamento, segurança, transporte e armazenamento.
- d) Transporte: realizado somente com autorização do Supervisor de Radioproteção.
- e) Rejeitos: atividades realizadas sob acompanhamento do Supervisor de Radioproteção, e o transporte de rejeitos segue as mesmas instruções que o de fontes radioativas.

Os equipamentos também devem ser controlados, para isso devem ser observados os seguintes itens:

- a) Disposições gerais: o controle de equipamentos abrange diversas modalidades como sua identificação, sinalização, registro, inspeção, calibração, aferição, ajuste, manutenção e descontaminação; os requisitos se aplicam a instrumentos de medição de radiação e para o recolhimento de amostras, além dos equipamentos destinados a proteção dos IOE.
- b) Identificação, sinalização e registro.
- c) Inspeção: devem ser verificadas as condições físicas e de instalação e segurança, os procedimentos de uso, as condições de funcionamento e contaminações.
- d) Calibração, aferição e ajuste: deve ser feita calibração prévia e sempre que houver algum defeito.
- e) Manutenção: providenciar manutenção preventiva periódica bem como as medidas corretivas.
- f) Descontaminação: assim que constatada devem ser retirados os equipamentos para realização do processo.

As recomendações para o treinamento de trabalhadores são: o treinamento deve ser específico para que as atividades sejam desenvolvidas com segurança, sendo repassados quais os riscos a que estão expostos; o SR é o responsável pelo desenvolvimento do programa de treinamento, de sua continuidade e atualização.

No quesito referente ao registro deve-se dar atenção aos seguintes controles:

- a) Disposições gerais: deve haver um sistema central de controle dos registros sob responsabilidade do SR, estes devem estar devidamente rubricados, classificados e arquivados em local seguro e reservado; o acesso a esses documentos é restrito e deve ocorrer por tempo mínimo para que sejam cumpridos os devidos prazos; os dados que dizem respeito aos trabalhadores devem ser entregues para os mesmos periodicamente.
- b) Trabalhadores: cada IOE deverá possuir um registro composto por dados mínimos como identificação, endereço e nível de instrução; datas de admissão e de desligamento da empresa; funções exercidas bem como os riscos radiológicos associados a elas; dosímetros utilizados; doses de radiação recebidas no período de permanência na instalação; treinamentos necessários e os realizados; estimativas de incorporações; relatórios, caso aplicável, de exposições emergenciais; históricos de exposição anterior; e responsável imediato atual.
- c) Áreas de instalação: devem ser registradas informações de áreas referentes a denominação, localização e delimitação; descrição e função; classificação e os riscos associados a ela; realização do controle de acesso tanto de pessoas quanto de materiais; programa de monitoração de área (procedimentos, equipamentos e frequência); relatórios de inspeção e monitoração; identificação dos responsáveis pela segurança e do SR responsável pelo local; relatórios sobre possíveis situações de emergência e os procedimentos adotados; e as plantas da instalação.
- d) Meio ambiente e população: devem ser observadas as informações relativas a descrição e delimitação das áreas e da população (identificação do grupo crítico) ao redor da instalação; programa de monitoração com apresentação de relatórios periódicos contando, caso ocorra, acidentes; procedimentos de emergência adotados.

- e) Fontes de radiação: devem ser registradas informações como identificação, descrição, finalidade, procedimentos a serem adotados, identificação do responsável pela segurança e de pessoas autorizadas para utilizar, relatórios de inspeções realizadas, e identificação dos instrumentos usadas para realizar medidas.
- f) Rejeitos: deve ser identificado e possuir descrição; origem, destino e condições do transporte; qual o tratamento, acondicionamento e armazenamento adequados; e a identificação dos responsáveis pelo gerenciamento destes.
- g) Equipamentos: devem ser registradas as informações relativas a identificação, localização e função detalhada com operação e manutenção; identificação dos responsáveis por ele; certificação e procedimentos de calibração; controle de manutenções realizadas e de irregularidades ocorridas.
- h) Treinamento de trabalhadores: devem ser registrados os programas de treinamento e os recursos utilizados, os responsáveis pela realização, relação dos trabalhadores treinados, bem como avaliações e seus resultados.

Com a planta em funcionamento é necessário que se tenha um profissional qualificado responsável pelas instalações. As qualificações, certificações e registros referentes a esse profissional encontram-se no grupo 7.

Mais especificamente a norma CNEN-NN-7.01 é a que estabelece os requisitos para a certificação de supervisores e proteção radiológica, os supervisores são responsáveis por toda a instalação e também pelo depósito inicial dos rejeitos. Para ser certificado devem ser apresentados os seguintes requisitos:

- a) Possuir diploma de nível superior reconhecido pelo Ministério da Educação, a formação deve ser compatível com a área pretendida.
- b) Ter experiência operacional na área pretendida, essa experiência deve ter sido adquirida nos últimos cinco anos.
- c) Ser aprovado no exame de certificação, realizando as provas e obtendo nota igual ou superior a sete. As provas são escritas e possuem conteúdos gerais e específicos de acordo com a certificação desejada.

O certificado é então emitido e é válido por cinco anos, sendo necessário para a renovação que o profissional tenha atuado por no mínimo trinta meses no último período. Além disso é preciso que seja enviado também um relatório descrevendo as instalações de atuação, as atividades de atualização e conhecimento e demais informações relevantes na atuação.

Como função do supervisor a norma coloca como obrigação:

- I) Manter sob controle: as fontes de radiação, os rejeitos e efluentes radioativos, as condições de proteção radiológica de todos os indivíduos, as áreas supervisionadas e controladas além dos equipamentos de proteção e monitoração da radiação.
- II) Comunicar imediatamente ao titular qualquer tipo de irregularidade.
- III) Treinar, orientar e avaliar o desempenho dos indivíduos ocupacionalmente expostos (IOE).
- IV) Atuar em situações de emergência radiológica.
- V) Comunicar a CNEN seu desligamento da instalação de atuação.
- VI) Estabelecer e manter atualizado a aplicação do plano de proteção radiológica da instalação.
- VII) Estabelecer, avaliar e manter os registros e indicadores referentes ao serviço de proteção radiológica.
- VIII) Manter-se atualizado sobre conceitos e tecnologias relacionadas à segurança.

No documento P.A.R.A.E., são fornecidos alguns parâmetros com relação as medidas de segurança que devem ser adotadas por todas as pessoas envolvidas com a planta de irradiação industrial.

São determinadas quatro ações de segurança que devem ser seguidas. Os serviços devem ser realizados, se possível, nos horários de menor circulação de veículos e de indivíduos do público. A equipe de radiografia ter a disposição um telefone móvel (celular ou rádio) para comunicação; ao início de cada turno devem ser verificadas as condições de funcionamento do aparelho, como bateria, sinal e crédito, dando-se início as atividades somente após aprovação das condições. Para garantir a segurança e facilitar a monitoração, devem ser providenciadas blindagens adicionais. Todos os serviços devem ser monitorados por medidores de radiação, sendo registrados nas áreas pré-determinadas.

O balizamento de áreas é necessário em áreas residenciais, comerciais e industriais; próximo a travessias ou passagens subterrâneas; postos de combustível; e travessias aéreas. O balizamento pode ser realizado com cavaletes/cones ou ainda cordas e fitas zebradas de advertência, e placas de sinalização, contendo o símbolo de presença de radiação ionizante. O controle das áreas balizadas é de responsabilidade do pessoal da equipe de radiografia.

Os serviços de radiação devem ser interrompidos caso haja acúmulo de pessoas próximo as áreas industriais. Para os casos específicos como trabalhos em locais fechados, em altura dentre outros descritos nas Normas Regulamentadoras, estas que devem ser seguidas, visto que as indicações da CNEN são as mesmas encontradas nas NRs.

Com relação aos equipamentos devem ser considerados: as operações de rotina e as situações de emergência. Para as operações de rotina são levados em conta os seguintes requisitos: fontes de radiação, irradiador, medidores de área e individuais, e sinalização de área.

Para os cálculos de radioproteção são considerados diversos fatores entre eles a atividade da fonte, o tempo de exposição, fator de ocupação representante da vizinhança da planta, a distância do isolamento, a dose de equivalência diária para indivíduo público e a espessura da parede considerada.

Para operação de irradiação de alimentos, é necessário que seja utilizada tubulação de 6 em 6 metros como mostra a Figura 7. Além disso, como pode ser observado pela figura, o isolamento de público (I.P. na Figura 7) deve ser de dois metros. Para os cálculos devem ser consideradas as doses efetivas para os órgãos sensíveis como já descrito. Deve ser considerado um erro de 10% para os cálculos, que inclui segundo o plano da CNEN possíveis reparos, repetições, etc. Além disso é necessário que seja considerada a atividade máxima permitida para cada área e o tipo de radioisótopo a ser utilizado.

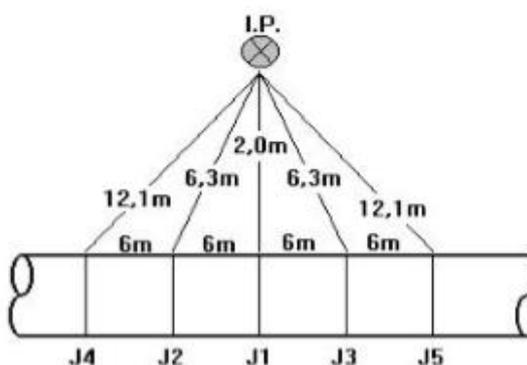


Figura 7 - distâncias que devem ser respeitadas entre as tubulações e o isolamento público (I.P.)

Assim sendo, com base na Figura 7 temos as juntas (J1, J2, J3, J4 e J5) e pra cada junta é considerado a dose calculada utilizando-se os fatores apropriados, chegando a fórmula geral:

$$H_T = \frac{1,035 \tau A t T (2 C 2^{2,886 \mu X} + 1 + C)}{2^{2,886 \mu X}} \quad (mSv)$$

Onde:  $\tau$  é a constante específica de exposição ( $mSv.m^2/TBq.h$ )

A é a atividade da fonte (Bq);

t é o tempo de exposição (h);

T é o fator de ocupação (1 para ocupação integral, 1/4 para ocupação parcial e 1/16 para ocupação eventual);

C é o fator de transmissão do colimador;

$\mu$  é o coeficiente de atenuação linear do material considerado ( $cm^{-1}$ ); e

X é a espessura da parede considerada (cm).

O cálculo para a distância das pessoas para espaço isolado é dado pela relação a seguir. A distância obtida se refere ao centro da tubulação, no esquema anterior, a junta 1 (J1).

$$d = \sqrt{\frac{\tau A C 4 t T}{LD}}$$

Onde: LD é a dose limite de exposição do indivíduo.

Para a elaboração de fluxogramas e outras necessidades de simbologia a CNEN coloca que sejam utilizados os símbolos demonstrados na Figura 8. Para os pontos de início e término de processamento devem ser envoltas por círculos; para o que for de responsabilidade de pessoal, deve estar escrito dentro de uma forma quadrada; a operação em si deve ser descrita inserida em retângulos; o que representar decisão a ser tomada deve ser envolto por um losango; finalmente o que for preparação para ação a ser tomada deve ser escrito no interior de um hexágono.

### Simbologia

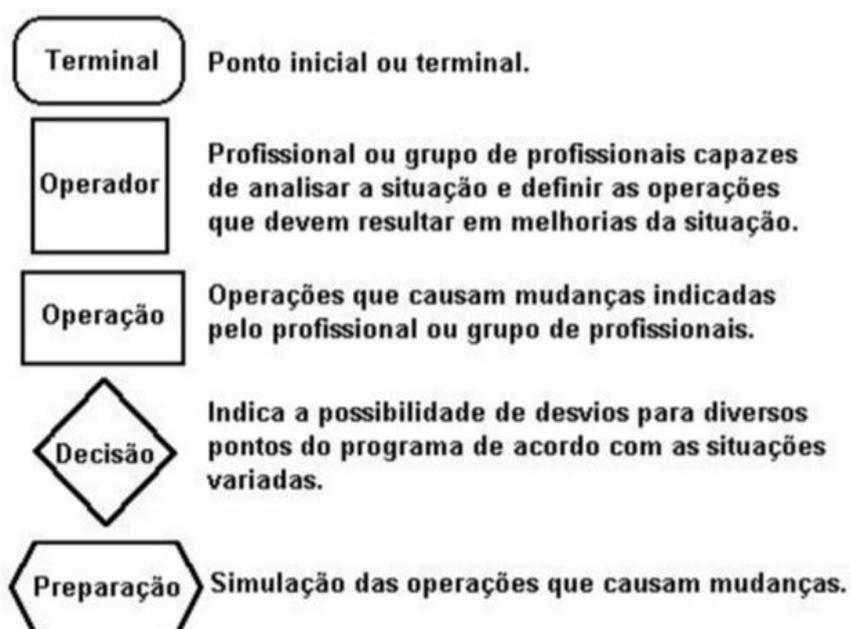


Figura 8 – Simbologia a ser utilizada pela planta industrial de radiação.

Em situações de emergência alguns requisitos básicos precisam ser considerados: a) nenhum membro da equipe deve ser exposto a dose superior ao limite anual da dose de exposição exceto quando se possui a chance de salvar vidas ou prevenir danos graves a saúde, executar doses que evitem a exposição coletiva elevada, e para prevenir situações catastróficas; b) a dose de exposição deve ser sempre inferior a 100 mSv, excetuando-se em casos de salvamento de vidas; c) fica sob responsabilidade dos titulares, empregadores e demais responsáveis pela organização, o fornecimento de proteção radiológica apropriada aos membros das equipes; d) as doses recebidas em situações de emergência não devem impedir exposições ocupacionais, a não ser que a dose seja superior a 100 mSv, sendo necessária avaliação médica.

Em casos de emergência os procedimentos a serem tomados são indicados através de um fluxograma pela Comissão. Nesse fluxograma podem ser feitas alterações por parte da indústria dependendo de sua especificidade, porém a estrutura deve ser mantida. O fluxograma sugerido encontra-se na Figura 9.

A numeração encontrada na figura se refere aos tópicos listados no P.A.R.A.E. Seguindo a numeração temos que a partir de uma situação de emergência detectada e de sua identificação pela equipe de radiografia, deve ser feito um levantamento de toda a situação: locais envolvidos, classes das áreas, pessoas presentes e outros fatores que considerarem relevante. A seguir, frente a tomada de decisão deve-se ou voltar à normalidade, especificando as ações a serem tomadas, ou caso não seja uma situação de fácil resolução deve-se comunicar ao supervisor de proteção radiológica (SPR), sendo tomadas as atitudes necessárias para que se tenha o controle da situação e então é necessário que sejam descritas as ações a serem tomadas para a volta à normalidade. Após a retomada da normalidade é preciso que seja feita uma análise do ocorrido por toda equipe e sejam estabelecidas medidas para que o evento não ocorra novamente.

## Fluxograma

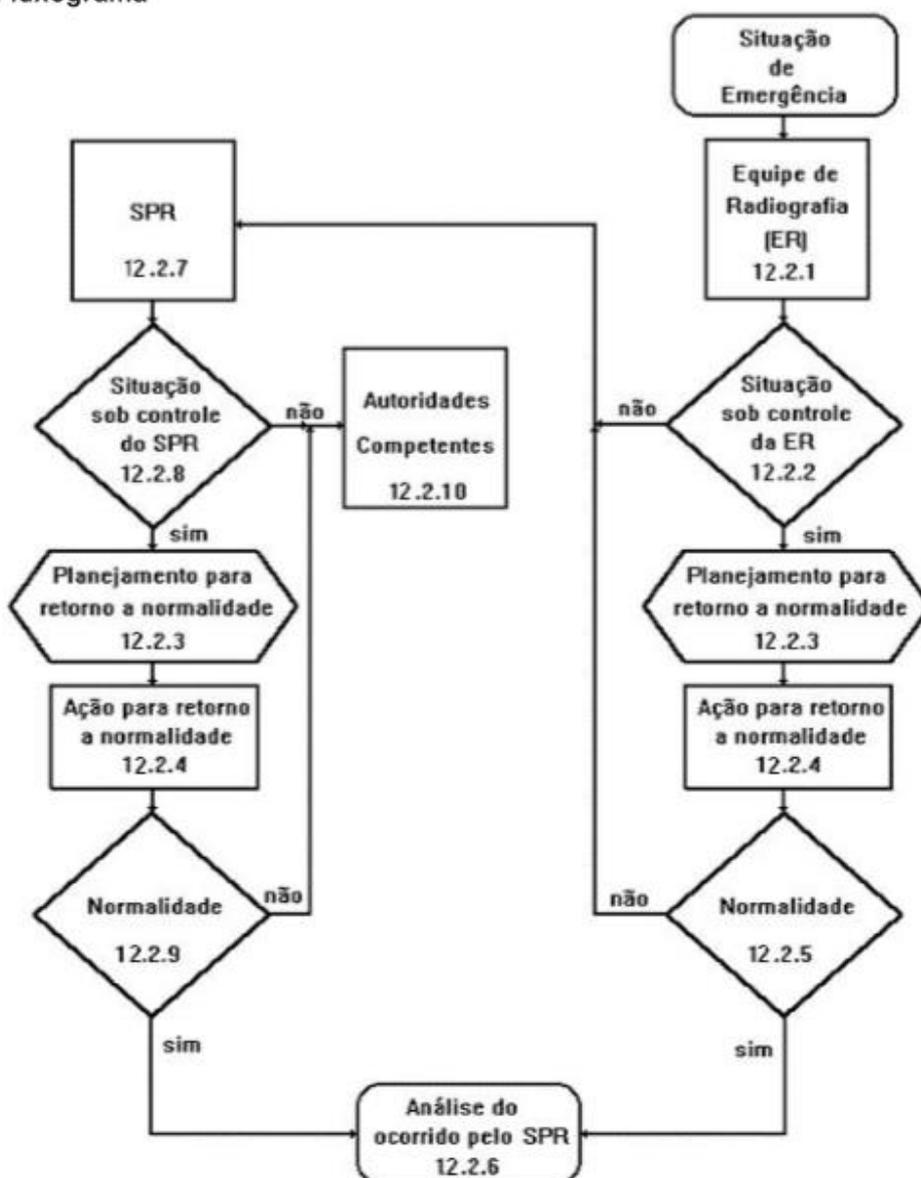


Figura 9 – fluxograma proposto pela CNEN para situações de emergência

Com relação ao uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) é necessário que sejam utilizados os medidores conforme já descrito anteriormente. Os modelos de medidores disponíveis para o mercado brasileiro ainda são bastante restritos, porém já é possível encontra-los em grandes centros. A Figura 10 mostra um dos modelos que podem ser utilizados para medir a radiação em locais e não em pessoas.



Figura 10 – medidor de radiação em áreas.

A Figura 11 apresenta um modelo de medidor de radiação em linha, muito utilizado para medições de radiação em processos de irradiação de grãos a granel em fluxo contínuo.



Figura 11 – medidor de radiação em linha.

A Figura 12 fornece uma imagem de um monitor de radiação do tipo portal que é capaz de identificar a presença de radiação em pessoas no corpo todo.



Figura 12 – monitor tipo portal.

A Figura 13 mostra um modelo de medidor do tipo individual, que deve ser utilizado por todo os envolvidos na linha de processo.



Figura 13 – medidor individual de radiação.

Além do medidor é necessário que sejam utilizadas: luvas resistentes, roupas de proteção, óculos de proteção e calçados fechados. Além disso, é preciso lembrar que sejam sempre lavadas as mãos e antebraços, não sendo permitidos o uso de anéis, brincos, pulseiras e demais adornos. Nas vestimentas de proteção deve ser fixado o símbolo da radiação. A Figura 14 mostra um exemplo das vestimentas a serem utilizadas.

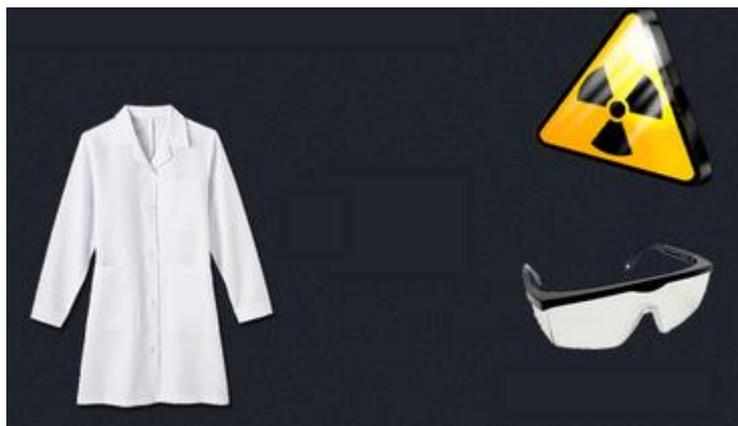


Figura 14 – exemplo das vestimentas a serem utilizadas.

## 4 CONCLUSÃO

Por não existirem Normas Regulamentadoras específicas para o caso de irradiação de alimentos, é necessário que se recorra às normas propostas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear para se verificar as questões pertinentes a Engenharia de Segurança do Trabalho.

Pode-se verificar que dos oito grupos de normas disponibilizados pela Comissão para instalação de uma planta industrial de radiação de alimentos é indispensável a consulta a quatro desses grupos: 3, 6, 7 e 8.

Do grupo 3 foram retiradas as informações destinadas aos itens de proteção radiológica como por exemplo a distância mínima da fonte de irradiação até o público, sendo que esta deve estar há 2m e ainda protegida por uma placa de chumbo de no mínimo 5cm cercada por concreto em ambos os lados, sendo essas medidas estabelecidas com base na dose efetiva de exposição dos IOC. Além disso são fornecidos os passos que devem ser seguidos para implantação de uma indústria de radiação de alimentos.

Os grupos 6 e 8 fornecem os dados referentes as instalações em si e aos rejeitos radioativos respectivamente. Procedimentos como o licenciamento das indústrias, tipos de fontes utilizadas e os destinos a serem dados aos rejeitos são disponibilizados nestas.

Já o grupo 7 é responsável pelas informações referentes a certificação de pessoas que serão responsáveis pelas instalações, sendo colocadas as exigências de graus de instrução de acordo com a função pretendida.

O monitoramento dos funcionários deve ser registrado, bem como o de áreas. O uso de EPIs é obrigatório por todos na planta industrial. Os EPIs são: óculos de proteção, vestimentas protegidas com a radura, sapatos fechados e luvas adequadas.

As medidas a serem tomadas para que haja segurança ao produto são descritas pela RDC 21/2001 e seguem as mesmas instruções dadas aos alimentos não irradiados, sendo necessário apenas que seja colocado o símbolo de radura nos alimentos irradiados.

Acredita-se que seja necessário o estudo mais aprofundado das normas propostas pela Comissão no que diz respeito a Segurança do Trabalho, visto que as

normas não são específicas nesse quesito. Pelo aumento de mercado desse segmento é necessário o desenvolvimento de uma Norma Regulamentadora específica para o seguimento de radiação não só de alimentos mas também de fármacos e produtos agrícolas, áreas cuja dose de radiação também é mais elevada quando comparada com o uso médico.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. P. G.; **Avaliação da influência do processo de irradiação em especiarias utilizando a técnica de difração de raios X**; Dissertação – Ciências em Engenharia Nuclear; Rio de Janeiro – RJ; 2006

CAMARGO, A. C.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G.; MANSI, D. N.; DOMINGUES, M. A. C.; ARTHUR, V.; **Efeitos da radiação gama na cor, capacidade antioxidante e perfil de ácidos graxos em amendoim (*Arachis hypogaea* L.)**; Ciência e Tecnologia de Alimentos vol. 31 n. 1; Campinas - SP, jan.-mar. 2011.

COMISSÃO DE ENERGIA NUCLEAR; **Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica (CNEN-NN-3.01)**; 2011.

COMISSÃO DE ENERGIA NUCLEAR; **Requisitos para o registro de pessoas físicas para o preparo, uso e manuseio de fontes radioativas (CNEN-NN-6.01)**; 1998.

COMISSÃO DE ENERGIA NUCLEAR; **Licenciamento de operadores de reatores nucleares (Res 109)**; 2011.

COMISSÃO DE ENERGIA NUCLEAR; **Gerência de rejeitos radioativos em instalações radiativas (CNEN-NN-6.05)**; 1985.

DANIELE, F.; STÜLP, S.; **Avaliação da estabilidade de bebida mista de frutas cítricas expostas à radiação ultravioleta**; B.CEPPA, Curitiba, v. 29, n. 1, p. 63-70, jan./jun. 2011.

FELLOWS, P. J.; **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**; 2ª ed.; Porto Alegre – RS; Artmed; 2006.

GOMEZ, M. L. P. A.; LAJOLO, F. M.; CORDENUNSI, B. R.; **Metabolismo de carboidratos durante o amadurecimento do mamão (*Carica papaya* L. cv. Solo): influência da radiação gama**; Ciência e Tecnologia de Alimentos vol. 19 n. 2; Campinas – SP; ISSN 1678-457X; 1999.

GUEDES, R. L.; CREDE, R. G.; SABUNDJIAN, I. T.; AQUINO, S.; RUIZ, M. O.; FANARO, G. B.; VILLAVICENCIO, A. L. C. H.; **Efeitos da radiação gama em**

**alimentos minimamente processados contaminados artificialmente com Escherichia Coli**; International Nuclear Atlantic Conference - Santos, SP, Brazil, ABEN ISBN: 85-99141-01-5, 2005.

GUTIERREZ, É. M. R.; DOMARCO, R. E.; SPOTO, M. H. F.; **Efeito da radiação gama nas características físico-químicas e microbiológicas do queijo prato durante a maturação**; Ciência e Tecnologia de Alimentos vol. 24 n. 4; Campinas – SP; 2004

HUACHACA, N. S. M.; **Teste do cometa e teste de germinação na detecção do tratamento de alimentos com a radiação ionizante**; Dissertação – Área de Tecnologia Nuclear; São Paulo – SP; 2002.

LIARE – **Laboratório de Irradiação de Alimentos e Radioentomologia**; Universidade de São Paulo – USP;  
<http://www.cena.usp.br/irradiacao/irradiacaoalimentos.htm>

LOPES, T. G. G.; **Efeito da radiação gama na reatividade alergênica e nas propriedades físico-químicas e sensoriais de camarão (Litopenaeus vannamei)**; Tese – Energia Nuclear da Universidade de São Paulo; 2012.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO; **NR-12 – Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos**; 2010.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO; **NR-15 – Atividades e operações insalubres**; 2011.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO; **NR-16 – Atividades e operações perigosas**; 2012.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO; **NR-18 – Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção**; 2013.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO; **NR-22 – Segurança e saúde ocupacional na mineração**; 2011.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO; **NR-32 – Segurança e saúde no trabalho em serviços de saúde**; 2011.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO; **NR-34 – Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção e reparação naval**; 2012.

NETO, P. R. C.; SPOTO, M. H. F.; DOMARCO, R. E.; **Uso da radiação gama na inibição do escurecimento de mandioca (*Manihot utilíssima* Pohl) in natura, sem casca**; B. CEPPA; Curitiba; v. 15, n. 1, p. 75-83, jan./jun. 1997.

OMI, N. M.; **A Irradiação de Alimentos e os Hábitos Alimentares Atuais**; International Nuclear Atlantic Conference; Santos – SP; 2005.

SANTOS, A. M. G.; OLIVEIRA, S. M. A.; SILVA, J. M.; TERAPO, D.; **Podridão por *Fusicoccum* em mangas submetidas a baixas doses de radiação gama**; Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v.45, n.10, p.1066-1072, out. 2010.

SANTOS, É. B.; MANTILLA, S. P. S.; SILVA, R. A.; CANTO, A. C. V. C. S.; NUNES, E. S. C. L.; FRANCO, R. M.; JESUS, E. F. O.; **Radiação gama na redução da microbiota de carne de siri (*Callinectes sapidus*) pré-cozida, congelada e inspecionada**; Boletim do Instituto de Pesca; São Paulo - SP, 36 (3): 175 – 183, 2010.

SILVA, J. M.; SPOTO, M. H. F.; SILVA, J. P.; **Efeitos da radiação ionizante nas características sensoriais do abacaxi**; Ciência e Tecnologia de Alimentos vol. 27 n. 4; Campinas – SP; 2007.

SOPRANI, J.; LOPES, B. F.; FERRAZ, K. K. F.; SANTOS, R. G.; SILVA, D. M.; FIGUEIREDO, S. G.; **Efeito da radiação gama no amadurecimento dos frutos de mamão**; Papaya Brasil - 2005

SOUTO, R.N.M.: SABAA-SRUR, A.U.O.; VITAL, H.C.; **Uso da radiação gama combinada à refrigeração, na conservação de polpa de açaí (*Euterpe oleracea*, Mart.)**; SLACA, 4, 2001, Campinas. p.300 (trabalho 1.033-584).

TAIPINA, M. S.; SÁBATO, S. F.; DEL MASTRO, N. L.; **Alimentos Fortificados. Nova Oportunidade para a Aplicação da Radiação**; Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN – CNEN/SP; 2000.

TRIGO, M. J.; SOUSA, M. B.; SAPATA, M.; FERREIRA, A. CURADO, T.; ANDRADA, L.; FERREIRA, E.; HORTA, M. P.; BOTELHO, M. L.; VELOSO, M. G.; **Efeito da radiação gama em melão fresco minimamente processado**; 8º

Encontro de Química dos Alimentos: alimentos tradicionais, alimentos saudáveis e rastreabilidade; Beja – Portugal; p. 359 – 363; 2007.