

Ministério da Ciência e Tecnologia
Comissão Nacional de Energia Nuclear
Instituto de Radioproteção e Dosimetria

**ADAPTAÇÃO DO MODELO DINÂMICO PARA
AVALIAÇÃO RADIOLÓGICA DE ACIDENTE
NUCLEAR EM ÁREA RURAL NAS CONDIÇÕES
DE CLIMA TROPICAL**

Aluna

DENISE MARTINS VINHAS

Orientadora

Dra. ELAINE RUA RODRIGUEZ ROCHEDO.

Co-orientadora.

Dra. MARIA ANGÉLICA WASSERMAN.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL.

DEZEMBRO DE 2004

Denise Martins Vinhas

**ADAPTAÇÃO DO MODELO DINÂMICO PARA AVALIAÇÃO
RADIOLÓGICA DE ACIDENTE NUCLEAR EM ÁREA RURAL
NAS CONDIÇÕES DE CLIMA TROPICAL**

Dissertação aprovada para obtenção do grau de Mestre pelo programa de Pós-Graduação em Radioproteção e Dosimetria do Instituto de Radioproteção e Dosimetria, da Comissão Nacional de Energia Nuclear, na área de Radioecologia.

Orientadora:

Dra. Elaine Rua Rodriguez Rochedo
IRD/CNEN.

Co-orientadora:

Dra. Maria Angélica Wasserman
IRD/CNEN.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL.

Instituto de Radioproteção e Dosimetria – Comissão Nacional de Energia Nuclear
Coordenação de Pós-Graduação

2004

Denise Martins Vinhas

**ADAPTAÇÃO DO MODELO DINÂMICO PARA AVALIAÇÃO
RADIOLÓGICA DE ACIDENTE NUCLEAR EM ÁREA RURAL
NAS CONDIÇÕES DE CLIMA TROPICAL**

Rio de Janeiro, 22 de dezembro de 2004.

Dra. Elaine Rua Rodriguez Rochedo (IRDCNEN)

Dr. Luiz Fernando de Carvalho Conti (IRD/CNEN)

Phd. José Marcus de Oliveira Godoy (IRD/CNEN)

Dr. Antonio Carlos de Freitas (LARAMG/UERJ)

Vinhas, Denise Martins.

Adaptação do modelo dinâmico para avaliação radiológica de acidente nuclear em área rural às condições de clima tropical. Rio de Janeiro: IRD, 2004.

xix, 118p. ,29.7cm, il.

Dissertação (Mestrado) Instituto de Radioproteção e Dosimetria, - Rio de Janeiro, 2004.

1. Acidente; 2. Modelo ambiental; 3. Contaminação de área rural; 4. Avaliação radiológica 5. Teses.

I. Instituto de Radioproteção e Dosimetria. II. Título (série)

Aos meus pais, Joaquim e Jacira, pela minha existência e pelo amor e carinho.

*A meus irmãos e sobrinho, Kátia, Antonio, Ana Cristina e Carlos Eduardo, pelo
apoio e incentivo.*

A querida amiga Elaine R. R. Rochedo.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD/CNEN), em especial a Dra. Eliana Correa da Silva Amaral e ao Dr. Luiz Fernando de Carvalho Conti, superintendentes do instituto quando da realização deste trabalho, pela oportunidade em aprimorar meus conhecimentos em prol da instituição.

Ao Programa de Pós-Graduação do IRD, pelos conhecimentos técnico-científicos ministrados, em particular ao Dr. Andrés Reinaldo Rodriguez Papa, por ter incentivado minha participação no Mestrado e ao Dr. Carlos Eduardo Bonacossa de Almeida.

A orientadora Dra. Elaine Rua Rodriguez Rochedo pelo profissionalismo com que conduziu os trabalhos, por ter iniciado e incentivado os caminhos desta Tese. Pelas críticas construtivas, pelos sábios pensamentos e pela dedicação incansável na pesquisa e em todos os trabalhos realizados, mas também pelo suporte moral, técnico que me apoiou durante toda minha trajetória. Trajetória esta que foi difícil pelos desafios que a vida me proporcionou durante este período, não deixando que os infortúnios prejudicassem o andamento e a sua conclusão.

Aos amigos e colegas de trabalho, Elias Fusco, César Salgado, José Luiz Dias F. da Silva e Ricardo S. Cardoso pelo inestimável suporte dado a este trabalho, pelo estímulo e carinho.

À Luisa M. H. Vasconcellos, por ter corrido supermercados pesando frutas.

À co-orientadora, Dra. Maria Angélica Wasserman pelo seu trabalho contínuo de pesquisa do sistema solo-planta.

A funcionária Ângela Marta Casemiro da secretaria, pela paciência, tranquilidade e companheirismo com que resolveu os assuntos pendentes.

A Eletronuclear – Eletrobrás Termonuclear, por ter disponibilizado os relatórios consolidados de ocupação do solo e de análise do ambiente socioeconômico – hábitos alimentares da área de influência da CNAAA.

À EMATER-RIO; em especial a José Geraldo Moreira Basílico e José Cantarino Villela, pelas informações fornecidas das técnicas e levantamentos realizados nas áreas de produção animal, floricultura, olericulturas e fruticulturas.

À revisora Dra. Lígia Julião, pela ajuda na apresentação final deste trabalho.

Aos membros da banca: Phd. José Marcus de Oliveira Godoy (IRD/CNEN), Dr. Luiz Fernando de Carvalho Conti (IRD/CNEN), Dr. Antonio Carlos de Freitas (LARAMG/UERJ), por honrar a Tese com sua participação.

Aos Professores do Mestrado por terem transmitido o conhecimento e idéias necessários para elaboração desta pesquisa.

Aos mestrandos do curso que sempre incentivaram a crescente e progressiva melhora dos trabalhos.

Ao Diretor e Coordenador do curso de Edificações da Escola Técnica Henrique Lage, Prof. Edésio da Costa Justino e o Prof. Roberto Luiz da Silva Ferreira, respectivamente, pela compreensão de minha ausência nas atividade extra-classe durante o desenvolvimento deste trabalho.

A todos que direta ou indiretamente, contribuíram para o êxito deste trabalho.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- CNAAA – Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto.
- CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear.
- COLAB – Coordenação do Laboratório de Poços de Caldas.
- CORAL – Concentração de Radionuclídeos em Alimentos.
- CX – Cambissolo Háplico.
- DEPRA – Departamento de Proteção Radiológica Ambiental.
- EAR – Equipe de Avaliação Radiológica.
- EMATER – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
- FT – Fator de Transferência.
- IAEA – Agência Internacional de Energia Atômica
- IAF (LAI) – Índice de Área Foliar
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- ICRP – International Commission on Radiological Protection.
- IRD – Instituto de Radioproteção e Dosimetria.
- IUR – União Internacional de Radioecologia.
- Kd – Coeficiente de distribuição.
- LVA – Latossolo Vermelho Amarelo.
- NCRP – Conselho Nacional sobre Proteção e Medidas de Radiação.
- PARATI – Program for the Assessment of Radiological Consequences in a Town and Intervention after a Radioactive Contamination.
- PEE – Plano de Emergência Externo.
- PESAGRO – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro.
- PVA – Argilossolo Vermelho Amarelo.
- SAER – Serviço de Atendimento á Emergência Radiológica.
- SCIENCE – Sociedade Científica da Escola Nacional de Ciências Estatísticas.
- SIEM – Sistema Integrado de Emergência.
- ZPE – Zonas do Plano de Emergência.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 CNAAA (Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto).....	01
Figura 1.2 Imagem de satélite da área em torno da CNAAA – ZPE15.....	02
Figura 2.1 Cenário para uma contaminação de áreas agrícolas (adaptado de MULLER & PRHOL, 1993).....	06
Figura 2.2 Principais processos de contaminação do vegetal.....	08
Figura 4.1 Zona de influência indireta da central nuclear de Angra dos Reis (SCIENCE, 2002).....	26
Figura 4.2 Detalhamento dos municípios incluídos no estudo (IBGE, 2004).....	26
Figura 5.1 Índice de área foliar levantado no Brasil para batata, mandioca e milho e aumento da produtividade da alface (WASSERMAN <i>et alli.</i> , 2004).....	51
Figura 5.2 Principais tipos de solo presentes na área do estudo (IBGE, 2004).....	52
Figura 5.3 Regressão linear dos Fatores de transferência para o ¹³⁷ Cs levantado para solos tropicais (WASSERMAN, 2004) e valores de referência da IUR para as culturas de referência (repolho e milho) e para rabanete.....	54
Figura 7.1 Concentração de ¹³⁷ Cs em pasto após um evento de deposição de 1 kBq m ⁻² em área gramada, no mês de janeiro.....	68
Figura 7.2 Concentração de ¹³¹ I em pasto após um evento de deposição de 1 kBq m ⁻² em área gramada, no mês de janeiro.....	69
Figura 7.3 Concentração de ¹³⁷ Cs em milho após um evento de deposição de 1 kBq m ⁻² em área gramada, no mês de janeiro.....	70
Figura 7.4 Concentração de ¹³⁷ Cs em milho após um evento de deposição de 1 kBq m ⁻² em área gramada, no mês de julho.....	71
Figura 7.5 Concentração de ¹³⁷ Cs em batata após um evento de deposição de 1 kBq m ⁻² em área gramada, no mês de janeiro.....	71
Figura 7.6 Concentração de ¹³⁷ Cs em pasto na Alemanha, após um evento de deposição de 1 kBq m ⁻² em área gramada, no mês de janeiro.....	72
Figura 7.7 Concentração de ¹³⁷ Cs em alguns alimentos cultivados na região de interesse, para acidentes ocorridos em janeiro (verão) e julho (inverno), para o cenário de referência.....	73

Figura 7.8 Concentração de ^{90}Sr em alimentos cultivados na região de interesse, correspondendo a acidentes ocorridos em janeiro e julho - cenário Regional – LVA....	74
Figura 7.9 Concentração de ^{131}I em alimentos cultivados na região de interesse, para acidentes ocorridos em janeiro (verão) e julho (inverno) - cenário de referência.....	75
Figura 7.10 Atividade de ^{137}Cs em vegetais folhosos, após um evento de contaminação ocorrendo no mês de abril.....	76
Figura 7.11 Concentração de ^{137}Cs em pasto, relativa a uma deposição de referência ocorrida no mês de abril.....	76
Figura 7.12 Concentração de ^{137}Cs em leite, relativa a uma deposição de referência ocorrida no mês de abril.....	77
Figura 7.13 Previsão da concentração de ^{137}Cs em batatas para a Alemanha e para o Brasil, relativa a uma deposição de referência ocorrida em abril.....	77
Figura 7.14 Resultados comparativos para o cenário de referência e o cenário para a Alemanha, utilizado pelo ECOSYS, relativos a contaminações acidentais por ^{137}Cs , no inverno e no verão, para batata, milho, pasto e hortaliças folhosas.....	78
Figura 7.15 Resultados comparativos para o cenário de referência e o cenário para a Alemanha, utilizado pelo ECOSYS, relativos a contaminações acidentais por ^{137}Cs , no inverno e no verão, para produtos de origem animal.....	79
Figura 7.16 Resultados comparativos para o cenário de referência e o cenário para a Alemanha, utilizado pelo ECOSYS, relativos a contaminações acidentais por ^{131}I , no inverno e no verão, para produtos de origem vegetal e animal.....	80
Figura 7.17 Resultados comparativos para o cenário de referência e o cenário para a Alemanha, utilizado pelo ECOSYS, relativos a contaminações acidentais por ^{90}Sr , no inverno e no verão, para produtos de origem vegetal e animal.....	81
Figura 7.18 Resultados de concentração de ^{137}Cs e ^{90}Sr em alimentos cultivados segundo as mesmas práticas agropecuárias em regiões com diferentes tipos de solo.....	82
Figura 7.19 Taxas de incorporação de atividade para os diversos radionuclídeos relativas a acidentes em diferentes épocas do ano, para o cenário de referência.....	83
Figura 7.20 Taxas de dose associadas ao cenário de referência.....	84
Figura 7.21 Variabilidade das taxas de dose em função da estação do ano em que ocorre a contaminação, para o cenário de referência.....	85

Figura 7.22 Taxas de dose relativas aos cenários de referência (Brasil, Grupo Regional, solo LVA) e Alemanha.....	86
Figura 7.23 Dose integrada para o cenário de referência, em função do Nuclídeo e da estação em que ocorreu a deposição, em três momentos após a contaminação.....	88
Figura 7.24 Doses integradas para os 3 cenários, após deposição de 1 kBq m ⁻² de ¹³⁷ Cs.....	89
Figura 7.25 Doses integradas para os 3 cenários, Regional-LVA (cenário de referência), Regional-PVA e Alemanha, para os diferentes estações do ano – Resultados para uma deposição de referência de ¹³¹ I.....	90
Figura 7.26 Doses integradas para os 3 cenários, Regional-LVA (cenário de referência), Regional-PVA e Alemanha, para os diferentes estações do ano – Resultados para uma deposição de referência de ⁹⁰ Sr.....	91
Figura 7.27 Doses integradas em 1 dia, 1 ano e 50 anos após um evento de contaminação de 1 kBq m ⁻² de ¹³⁷ Cs, para os três cenários estudados.....	93
Figura 7.28 Doses integradas em 1 dia, 1 ano e 50 anos após um evento de contaminação de 1 kBq m ⁻² de ¹³¹ I, para os três cenários estudados.....	94
Figura 7.29 Doses integradas em 1 dia, 1 ano e 50 anos após um evento de contaminação de 1 kBq m ⁻² de ⁹⁰ Sr, para os três cenários estudados.....	95
Figura 7.30 Doses integrada, em função da faixa etária, para o grupo Local-LVA, relativa a uma deposição de 1 kBq m ⁻² de ¹³⁷ Cs, no outono.....	96
Figura 7.31 Doses integrada, em função da faixa etária, para o grupo Local-LVA, relativa a uma deposição de 1 kBq m ⁻² de ¹³¹ I, no outono.....	96
Figura 7.32 Doses integrada, em função da faixa etária, para o grupo Local-LVA, relativa a uma deposição de 1 kBq m ⁻² de ⁹⁰ Sr, no outono.....	97
Figura 7.33 Efeito da ingestão de leite na dose de crianças de 0 a 1 ano.....	98
Figura 7.34 Contribuição dos radionuclídeos para a taxa de dose após um acidente de perda de refrigerante, para uma deposição de 1 kBq m ⁻² de ¹³⁷ Cs.....	103
Figura 7.35 dose integrada devido a um acidente de perda de refrigerante para uma deposição de 1 kBq m ⁻² de ¹³⁷ Cs.....	103
Figura 7.36 Fração da dose total (¹³⁷ Cs + ¹³¹ I) integrada de ingestão correspondente ao ¹³⁷ Cs, ao longo do tempo.....	106

Figura 7.37 Fração da dose total ($^{137}\text{Cs} + ^{90}\text{Sr}$) integrada de ingestão correspondente ao ^{137}Cs , ao longo do tempo.....106

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Necessidade de adaptação de parâmetros do modelo (Pröhl, 2004).....	17
Tabela 4.1 Municípios incluídos na área de interesse.....	25
Tabela 5.1 Culturas Vegetais na área de interesse – Lavoura temporária (IBGE, 2004a).....	32
Tabela 5.2 Culturas Vegetais na área de interesse – Lavoura permanente (IBGE, 2004a).....	34
Tabela 5.3 Produção anual (kg) de hortaliças nos municípios de interesse (EMATER, 2004).....	37
Tabela 5.4 Dados de consumo alimentar médio per capita (IBGE, 1978; 1998).....	39
Tabela 5.5 Consumo anual (kg) médio e máximo levantado junto à população residente na ZPE 5 da CNAAA (SCIENCE, 2002a).....	39
Tabela 5.6 Vegetais de referência para os alimentos selecionados para compor a dieta do grupo Local.....	41
Tabela 5.7 Taxas de Consumo de produtos vegetais, em kg por ano, para os Grupos Regional-LVA e Regional-PVA.....	41
Tabela 5.8 Taxas de consumo de alimentos, em kg por ano, para o grupo Local, em função da faixa etária.....	42
Tabela 5.9 Produtividade e tempo de crescimento (PESAGRO/RJ, 1984).....	44
Tabela 5.10 Épocas de plantio de hortaliças (ABRIL, 1992).....	44
Tabela 5.11 Épocas de Plantio e Colheita de Hortaliças (PESAGRO/RJ, 1984; 1985; EMATER/RJ, 2004).....	45
Tabela 5.12 Dados de produtividade de hortaliças no Estado do Rio de Janeiro (kg/m ²) (EMATER/RJ, 2004).....	46
Tabela 5.13 Informações sobre cultura de frutas (ABRIL, 1992a).....	47
Tabela 5.14 Tempo de crescimento, selecionados para a simulação dos vegetais componentes das dietas dos grupos populacionais estudados (dias).....	49
Tabela 5.15 Valores selecionados de produtividade agrícola para as culturas vegetais incluídas nas dietas dos grupos populacionais estudados (kg/m ²).....	49
Tabela 5.16 Período de colheita das culturas selecionadas.....	50

Tabela 5.17 Índice de área foliar para as diferentes cultura, em função do dia do ano...	51
Tabela 5.18 Valores de Fator de Transferência de referência da IUR (1987; 1989) para países de clima temperado e valores do projeto de Radioecologia para países de clima tropical (WASSERMAN, 1997; 1998; 1998 ^a ; WASSERMAN <i>et alli.</i> 1996; 1999; 2001; 2002; 2002 ^a ; 2004; FRISSEL, 2002), para solos tipo LVA e PVA, em (peso seco de solo / peso seco vegetal).....	54
Tabela 5.19 Valores de Fatores de Transferência adotados no Modelo.....	55
Tabela 5.20 Fatores de translocação máximos para o ¹³⁷ Cs, para diferentes tipos de cultura agrícola, determinados na Alemanha (MULLER & PROEL, 1993) e no Brasil (COLAB/CNEN – MACACINI <i>et alli.</i> , 2002).....	56
Tabela 5.21 Conteúdo de massa seca de alimentos (VASCONCELLOS <i>et alli.</i> , 1999; IAEA, 1994).....	57
Tabela 5.22 Resultado do levantamento de peso de frutas em supermercados.....	57.
Tabela 6.1 Rebanhos na área de interesse no Estado do Rio de Janeiro (IBGE, 2004a).....	59
Tabela 6.2 Produção de leite na área de interesse no Estado do Rio de Janeiro (IBGE, 2004a).....	59
Tabela 6.3 Aves e ovos na área de interesse no Estado do Rio de Janeiro (IBGE, 2004a).....	60
Tabela 6.4 Contribuição da área de interesse para a produção do Estado do Rio de Janeiro (IBGE, 2004a).....	60
Tabela 6.5 Rebanhos na área de interesse no Estado de São Paulo (IBGE, 2004a).....	61
Tabela 6.6 Produção de leite na área de interesse no Estado de São Paulo (IBGE, 2004a).....	61
Tabela 6.7 Aves e ovos na área de interesse no Estado de São Paulo (IBGE, 2004a)....	61
Tabela 6.8 Contribuição da área de interesse para a produção do Estado de São Paulo.....	62
Tabela 6.9 Taxas de Consumo para os Grupos Regional-LVA e Regional-PVA.....	62
Tabela 6.10 Taxas de consumo de alimentos (g por dia) para o grupo Local, em função da faixa etária.....	63
Tabela 6.11 Taxa de ingestão de alimentos pelos animais (kg por d).....	64
Tabela 6.12 Fator de transferência (d/L ou d/kg) (MULLER & PROHL, 1993).....	65

Tabela 6.13 Meia-vida biológica, T_{bj} (d) e fração de contribuição a_j correspondente (MULLER & PROHL, 1993).....	65
Tabela 6.14 Fatores de concentração (F_i) para a parte comestível do ovo, para a carne da galinha (peito e coxa) e para órgãos (coração, moela, rins e fígado) (d/kg), para ^{137}Cs (AMARAL <i>et alli.</i> , 1995).....	65
Tabela 6.15 Valores adotados para a simulação da dinâmica da concentração de produtos de origem animal.....	66
Tabela 7.1 Doses relativas ao ^{137}Cs para uma deposição de 1 kBq m^{-2} de cada radionuclídeo em relação ao cenário de referência.....	99
Tabela 7.2 Doses relativas a uma deposição de 1 kBq m^{-2} de cada radionuclídeo em relação a um acidente ocorrido no outono, no cenário de referência.....	100
Tabela 7.3 Fração da dose total correspondente à dose por ingestão de leite por crianças de 0 a 1 ano de idade no momento de ocorrência de um evento de contaminação por 1 kBq m^{-2} de cada radionuclídeo em relação a um acidente ocorrido no outono, no cenário Local.....	101
Tabela 7.4 Doses relativas ao ^{137}Cs para uma deposição de 1 kBq m^{-2} de cada radionuclídeo em relação a um acidente ocorrido no outono, no cenário de referência (Regional-LVA).....	102
Tabela 7.5 – Concentração estimada para o refrigerante primário de um reator PWR (IAEA, 1997) e razão de concentração relativa ao ^{137}Cs	103
Tabela 7.6 Densidades de deposição medidas em diversas regiões da Europa (UNSCEAR, 1988).....	105

RESUMO

Após uma liberação acidental de radionuclídeos para a atmosfera, levando à contaminação de grandes áreas, é necessário dispor de um método rápido e detalhado capaz de efetuar uma prognose da exposição da população, de modo a ser possível avaliar as conseqüências radiológicas da situação e sugerir e otimizar decisões relativas a medidas de proteção. O modelo alemão ECOSYS, desenvolvido pelo GSF, na Alemanha, foi selecionado para integrar o SIEM, Sistema Integrado de Emergência, desenvolvido pelo IRD/CNEN, com o objetivo de avaliar as conseqüências de uma possível contaminação acidental de áreas rurais, em curto, médio e longo prazo. O objetivo deste trabalho é a adaptação do modelo ECOSYS para seu uso no Brasil e, através de estimativas de dose na população, avaliar a necessidade de implementação de medidas de proteção, bem como direcionar estudos e pesquisas em radioecologia, de forma a obter resultados mais adequados às condições brasileiras. A área de interesse selecionada para este trabalho consiste dos municípios abrangidos por um raio de 50 km em torno da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto, localizada no município de Angra dos Reis, RJ. A metodologia de trabalho envolveu a seleção de critérios que permitissem priorizar as culturas e criações animais a serem simuladas, levando em conta a produção na área de estudo e a relevância para a dieta da população da região. Para este estudo foram selecionados os radionuclídeos ^{137}Cs , ^{90}Sr e ^{131}I . Foi efetuado um grande levantamento de dados, tanto relativos a práticas agro-pecuárias quanto em relação ao comportamento dos radionuclídeos nos agro-sistemas selecionados. Os resultados das simulações evidenciaram a relevância do conhecimento das características locais nas doses de ingestão de alimentos. Fatores importantes incluem aspectos relacionados ao tipo de cultura, à sazonalidade das culturas, a práticas agro-pecuárias, ao tipo de solo, e aos hábitos de consumo de alimentos da população.

ABSTRACT

Following an accidental release of radionuclides to the atmosphere that leads to the contamination of large areas, a detailed and fast methodology to assess the prognosis of public exposure is needed, in order to estimate radiological consequences and propose and optimize decisions related to the protection of the public. The model ECOSYS has been chosen to integrate the SIEM, the Integrated Emergency System developed by IRD/CNEN, to assess the doses at the short, medium and long term to the public after an accidental contamination of rural areas. The objective of this work is to perform the adaptation of the model ECOSYS to be used in Brazil to assess public exposure and support decision processes regarding the implementation of protective measures but also to guide the need for studies and research aiming to improve the adequacy of estimates to the actual Brazilian situation. The area select for reference to this work consists on the 50 km radius area surrounding the Brazilian nuclear power plants, located at Angra dos Reis County, in the state of Rio de Janeiro. The methodology included the definition of criteria to select agricultural cultures and animals to be simulated, taking into account both the availability of the production at the selected area and the relevance of the food to the population regional diet. Radionuclides included in this study were ^{137}Cs , ^{90}Sr and ^{131}I . A large survey has been performed to gather data related to both agricultural practices and the behavior of radionuclides in the selected agro-systems. The results of the simulations indicated the relevance of the knowledge of local aspects on the estimated doses. Important factors included the kind of products produced, seasonality, agricultural practices, animals feed practices, kind of soil, and ingestion habits of the population.

Índice

Capítulo 1	INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	1
1.1	Considerações iniciais	1
1.2	Objetivo	2
Capítulo 2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	4
2.1	Descrição dos processos	4
2.1.1	Contaminação do meio terrestre.	4
2.1.2	Processos envolvidos na contaminação dos vegetais	6
2.1.3	Contaminação de produtos de origem animal	14
2.2	Adaptação do modelo	15
Capítulo 3	DESCRIÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO	18
3.1	Aspectos gerais do modelo	18
3.2	Descrição do modelo:	19
Capítulo 4	METODOLOGIA	24
4.1	Definição da área de estudo	24
4.2	Grupos da população e dieta alimentar de interesse	26
Capítulo 5	LEVANTAMENTO DE DADOS-PRODUTOS AGRÍCOLAS	31
5.1	Seleção das dietas	31
5.1.1	Cultivos	31
5.1.2	Consumo	38
5.1.3	Dietas selecionadas para compor os cenários	40
5.2	Dados relativos às práticas agrícolas	42
5.2.1	Informações sobre tempo de crescimento, produtividade e períodos de plantio e colheita	42
5.2.2	Caracterização das culturas vegetais para a simulação	48
5.3	Parâmetros relacionados á contaminação do alimento	50
5.3.1	Índice de área foliar (IAF)	50
5.3.2	Fator de transferência solo - planta	52
5.3.3	Fatores de translocação	55
5.4	Outras informações relevantes	56
Capítulo 6	LEVANTAMENTO DE DADOS-PRODUTOS DE ORIGEM ANIMAL	58
6.1	Seleção das dietas	58
6.1.1	Produção - Estado do Rio de Janeiro	58
6.1.2	Produção - Estado de São Paulo	60
6.2	Parâmetros do modelo	63
6.2.1	Dieta animal	63
6.2.2	Parâmetros dependentes do radionuclídeo	64

Capítulo 7	RESULTADOS	67
7.1	Resultados de concentração em alimentos	68
7.1.1	Resultados para o cenário de referência	72
7.1.2	Comparação de resultados obtidos para o Brasil e para a Alemanha	75
7.1.3	Comparação dos cenários LVA e PVA – efeito do tipo de solo	81
7.2	Resultados de Doses de ingestão	83
7.2.1	Incorporação e taxa de dose	83
7.2.2	Doses Integradas	87
7.2.3	Discussão sobre os resultados de dose integrada	98
Capítulo 8	CONCLUSÕES	107
	Referências bibliográficas	110

Capítulo 1

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1 Considerações iniciais

Após uma liberação acidental de radionuclídeos para a atmosfera, levando a contaminação de grandes áreas, é necessário dispor de um método rápido e detalhado capaz de efetuar uma prognose da exposição da população, de modo a ser possível avaliar as conseqüências radiológicas da situação e apoiar e otimizar decisões relativas a medidas de proteção.

Desde o início da década de 90, na atividade de Modelagem Ambiental, do IRD/CNEN, vem sendo desenvolvidos dois projetos visando a elaboração de modelos matemáticos capazes de avaliar o impacto radiológico ambiental de liberações acidentais. Um dos projetos, chamado de Projeto PARATI, visa avaliar a conseqüência de contaminação de áreas urbanas; o segundo projeto, denominado Projeto CORAL (COncentração de Radionuclídeos em ALimentos), visa à avaliação da contaminação de áreas rurais.

O Projeto CORAL consiste na adaptação do modelo alemão ECOSYS às condições de clima tropical, para sua utilização no Brasil. Este modelo efetua, de forma dinâmica, a simulação matemática do transporte de radionuclídeos através da cadeia alimentar, visando estimar as conseqüências de um evento de contaminação para a dieta humana, através do cálculo de doses na população devido à ingestão de produtos contaminados.

Na primeira fase do Projeto CORAL, foi elaborado um código computacional, denominado CORAL, para microcomputador tipo PC 386 ou superior, baseado no modelo ECOSYS. Posteriormente, o código CORAL foi inserido no Sistema Integrado de Emergência, SIEM (CONTI, 2002; CONTI *et alli.*, 2002), desenvolvido para ser usado dentro do escopo de atuação da Equipe de Avaliação Radiológica, EAR, do Serviço de

Atendimento a Emergências Nucleares ou Radiológicas do Instituto de Radioproteção e Dosimetria, SAER/IRD. O código CORAL está, no momento, pronto para ser usado, mas as informações básicas e valores de parâmetros disponíveis se restringem àqueles adequados a locais de clima temperado, e às práticas agropecuárias comuns da Alemanha, país de origem do Modelo ECOSYS.

A partir da aplicação do modelo, de maneira preliminar, a dados nacionais levantados junto ao projeto de Radioecologia Tropical, também desenvolvido no IRD (WASSERMAN, 1998; 1998^a; WASSERMAN *et alli.* 1996; 1997; 1999; 2001; 2002; 2002^a; 2004), verificou-se a necessidade de se efetuar a adaptação do modelo às condições de clima tropical, de forma a torná-lo adequado a ser aplicado no Brasil (ROCHEDO *et alli.*, 2000; 2001).

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é a adaptação do modelo ECOSYS, originariamente desenvolvido para as condições da Alemanha, já incorporado ao SIEM, Sistema Integrado de Emergência, para seu uso no Brasil.

Especificamente, este trabalho visa a elaboração de uma base de dados adequada à avaliação do impacto radiológico ambiental das conseqüências de uma contaminação acidental de uma área rural, a partir de uma contaminação do solo e de alimentos, em particular para a região em torno da central nuclear Almirante Álvaro Alberto - CNAAA, em Angra dos Reis (Figuras 1.1 e 1.2).

O trabalho pretende ainda analisar os resultados obtidos por simulações efetuadas com o código CORAL para situações padronizadas de contaminação ambiental, de forma a orientar a priorização de trabalhos em radioecologia, para se ter, no futuro, uma base de dados nacionais consistente, que permita a elaboração de previsões mais realistas e confiáveis.

Estas informações são importantes para serem utilizadas como base em processos de tomada de decisão e estratégias, relativos à implementação de medidas de proteção para a população em caso de acidentes nucleares ou radiológicos que envolvam a contaminação de áreas agrícolas em território nacional.



Figura 1.1 Vista Aérea da CNAEA .

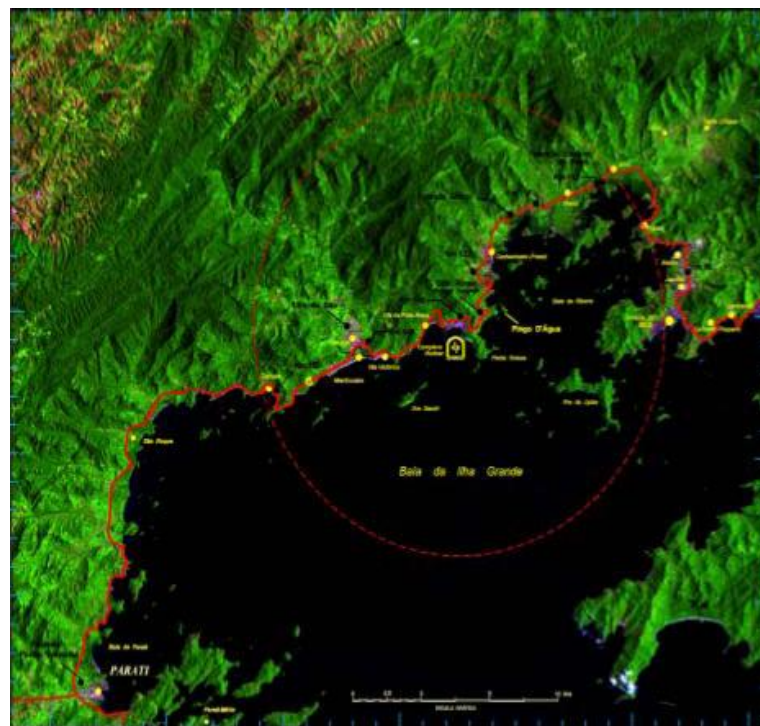


Figura 1.2 Imagem de satélite da área em torno da CNAEA (Eletronuclear).

Capítulo 2

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Descrição dos processos

2.1.1 Contaminação do meio terrestre.

Muitos cenários de acidentes com reatores nucleares estão relacionados à liberação de produtos de fissão da instalação nuclear para a troposfera. Partículas maiores tendem a se depositar próximas ao local da liberação enquanto que partículas menores e produtos voláteis podem ser transportados, levando a contaminação a longas distâncias (CAMBRAY *et alli.* 1987).

A poluição dispersa pode ser removida do ar por dois processos principais, que envolvem a remoção na ausência ou presença de precipitação pluviométrica, chamados deposição seca e úmida, respectivamente. A deposição inicial a partir da nuvem radioativa é dependente principalmente do tamanho de partículas, condições climáticas no momento da passagem da nuvem e do tipo de ambiente que recebe a deposição.

A quantidade total de atividade depositada no solo aumenta durante períodos de deposição úmida (GARLAND *et alli.* 1988; ROSNER *et alli.* 1990; MUECK *et alli.* 1991). No caso do “fallout” de Chernobyl, a ocorrência de chuva levou a altos níveis de deposição a longas distâncias, até mesmo a mais de 2000 km do local do acidente (ROED 1990, UNSCEAR 1988).

A deposição de material radioativo em superfícies de áreas rurais é importante sob o ponto de vista da dose para o público, por seu impacto na contaminação de alimentos de origem vegetal cultivados nas áreas contaminadas, ou em produtos derivados de animais criados ou nutridos com alimentos cultivados nessas áreas.

A metodologia de avaliação de impacto radiológico ambiental envolve a utilização de um número muito grande de parâmetros para a simulação de transferência ambiental e de exposição da população. Uma vez que não há disponibilidade de valores específicos para diversos desses parâmetros para os locais em estudo, em particular para o clima tropical, são utilizados valores levantados na literatura. Estes valores, porém, podem não ser adequados para simular ambientes diferentes daqueles em que foram gerados, em particular em relação a clima, tipo de solo e hábitos, tanto de dieta da população quanto de práticas agro-pecuárias utilizadas (ROCHEDO *et alli*, 2000; 2001).

A falta de conhecimento de valores desses parâmetros adequados a cada região é um fator limitante da confiabilidade que se tem na previsão dos modelos. O IRD vem avaliando a confiabilidade dos parâmetros adotados nos modelos de avaliação de impacto radiológico ambiental, de forma a otimizar estudos radiológicos, que permitam reduzir a incerteza associada à previsão fornecida pelos modelos. Desde 1993 o IRD vem desenvolvendo estudos radioecológicos visando a determinação de fatores de transferência, em particular para o sistema solo-planta, com ênfase em solos característicos de áreas agrícolas do Brasil e para alimentos relevantes em relação ao consumo da população (WASSERMAM 1997; 1998; 1998a; WASSERMAN *et alli*. 1996 ; 1999; 2001; 2002; 2002a; 2004).

Os resultados obtidos até o momento evidenciaram a possibilidade de ocorrência, em função do tipo de solo, de valores de coeficiente de transferência superiores em até duas ordens de grandeza aos valores de referência encontrados em literatura para clima temperado (IAEA, 1982; 1994; 2001; IUR, 1987; 1989).

Uma vez que a maior parte dos dados de avaliação de contaminação em áreas agrícolas foram levantados em países do hemisfério norte, de clima temperado, estes resultados vêm a confirmar a importância deste trabalho pelos seguintes aspectos:

- O comportamento ambiental de poluentes é extremamente dependente das condições locais, climáticas e sazonais;
- O uso da terra bem como os hábitos e dietas da população são diferentes;
- As culturas agrícolas e as práticas agropecuárias são também diferentes em países de clima diferentes (ROCHEDO *et alli.*, 1993).

No Brasil, foi adotado o modelo alemão ECOSYS (PRÖHL *et alli*. 1986; PRÖHL 1990; MULLER & PRÖHL, 1993), para a avaliação das conseqüências de um acidente nuclear ou radiológico com contaminação de áreas rurais. Este modelo foi incorporado ao

SIEM – Sistema Integrado de Emergência (CONTI, 2002; CONTI *et alli*, 2002) e está descrito no Capítulo 3.

Um esquema do cenário a ser modelado em caso de contaminação de uma área agropecuária é apresentado na Figura 2.1.

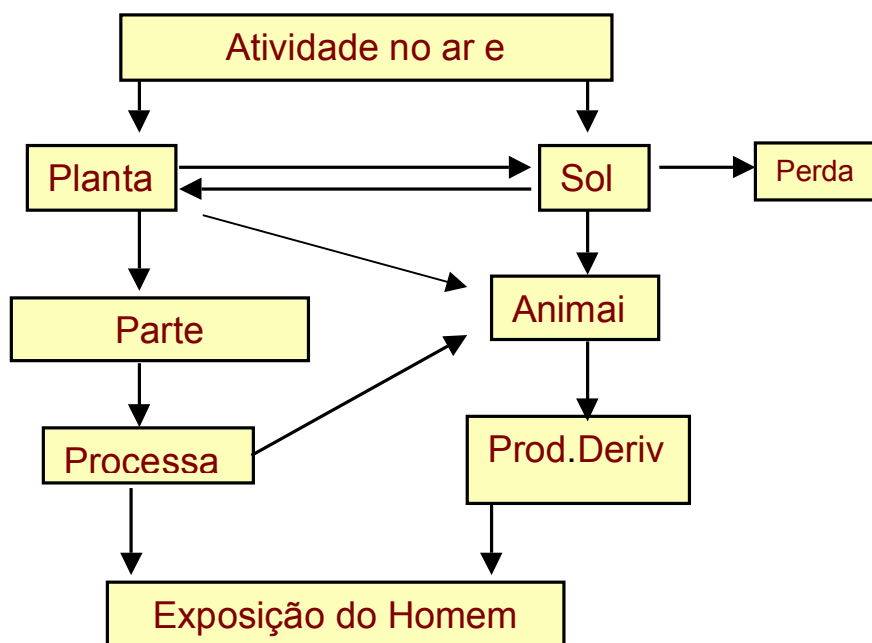


Figura 2.1 Cenário para uma contaminação de áreas agrícolas (adaptado de MULLER & PRHOL, 1993).

2.1.2 *Processos envolvidos na contaminação dos vegetais*

Os principais processos naturais que afetam a exposição de uma população em relação à contaminação de uma área rural são aqueles relacionados à deposição inicial sobre as superfícies terrestres, em particular nos vegetais e no solo, e sua subsequente fixação ou arraste, seguido, a longo prazo, por efeitos de transporte e intemperismo. Estes processos são dependentes tanto do radionuclídeo quanto do tipo de superfície, e, em particular, a contaminação direta da cobertura vegetal de uma área depende da área foliar e, conseqüentemente, do estágio de desenvolvimento da planta.

Após a primeira chuva ou da fixação do material por umidade, o comportamento do material retido nas superfícies aparentemente torna-se independente do processo de deposição. Assim, após a fixação inicial, o material presente por deposição seca ou por

deposição úmida segue o mesmo comportamento em relação ao intemperismo (WILKINS 1987).

Após a primeira colheita, no entanto, o efeito da deposição nos vegetais tende a se tornar desprezível. A longo prazo, a contaminação residual nos alimentos se deve a interações no sistema solo-planta, principalmente processos de incorporação pela raiz do material depositado no solo.

A contaminação das plantas vai ser função da área disponível para a deposição, isto é da área de cobertura vegetal, que depende do estágio de desenvolvimento da planta. A sazonalidade é então um aspecto importante na modelagem de sistemas agrícolas.

A contaminação da vegetação pode ocorrer através da deposição e adsorção na superfície das partes aéreas das plantas, de material radioativo presente no ar ou por processos de absorção fisiológica. Fatores climáticos, como a precipitação e os ventos, podem afetar a contaminação das plantas, seja promovendo a ressuspensão de solos ou a lavagem do material depositado, seja afetando as taxas de evapotranspiração dos solos e plantas (TILL & MEYER, 1983).

Fatores físicos e químicos dos solos também podem afetar a contaminação das plantas, seja favorecendo a migração de radionuclídeos para fora da zona radicular, seja favorecendo a sorção do material radioativo nos componentes dos solos. Processos outros, além do decaimento radioativo, podem permitir uma redução da concentração de radionuclídeos na vegetação. Estes processos incluem: diluição pelo crescimento, lavagem da deposição externa e remoção do sistema pela colheita ou pastagem.

A contaminação interna das plantas resulta da absorção de radionuclídeos da solução do solo através de raízes, assim como da assimilação da deposição externa em folhas, caules, flores e frutos, com a posterior redistribuição interna para as várias partes das plantas (ROCHEDO *et alli.*, 2003).

Os principais processos envolvidos na contaminação dos vegetais a partir de uma deposição atmosférica são apresentados na figura 2.2.

A produção econômica de uma cultura é o somatório de todas as interações planta - ambiente; mas para compreender um pouco a natureza dos controles internos intrínsecos do cultivo, é necessário conhecer medidas mais detalhadas que apenas a produção final. Tal conhecimento é fundamental, também, para o desenvolvimento e teste de modelos de simulação do crescimento e produção de uma cultura.

As variações da quantidade de biomassa e da área foliar com o tempo, são utilizadas na estimativa de vários índices fisiológicos, tais como taxa de crescimento relativo, taxa de assimilação líquida, taxa de crescimento da cultura, índice de área foliar.

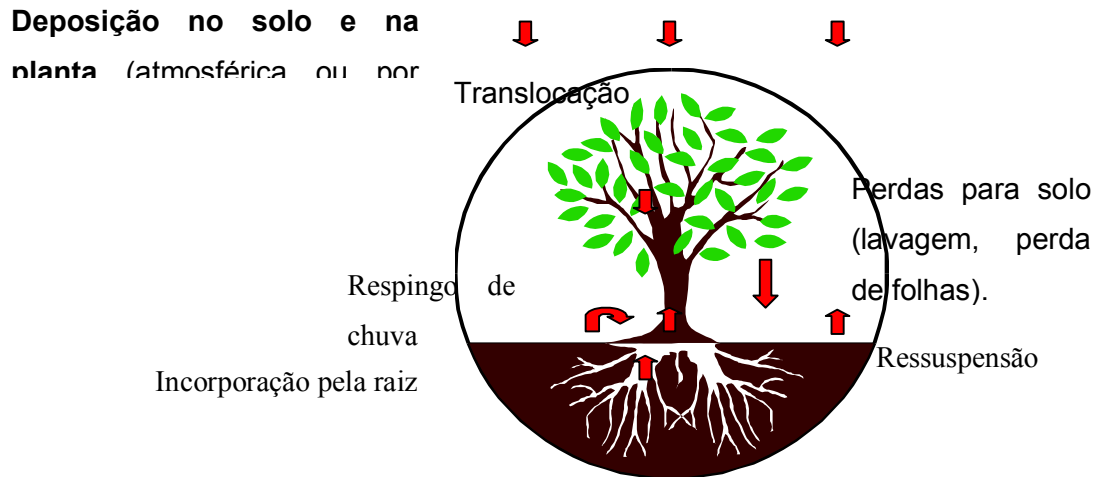


Figura 2.2 Principais processos de contaminação do vegetal

Tais índices podem, então, ser comparados, na tentativa de explicar as diferenças na produção econômica de diferentes culturas ou de uma mesma cultura submetida a diferentes tratamentos.

Deposição

A variação na densidade de plantio acarreta alterações morfológicas e fisiológicas nas plantas, sem, no entanto, alterar a distribuição relativa de matéria seca entre os diversos órgãos componentes da planta. Por outro lado, o aumento da densidade de plantio pode acarretar decréscimo tanto no peso seco por planta, como na área foliar por planta.

Sabe-se que o habitat natural de uma planta determina características normais relativas ao seu desenvolvimento e produção final e, quando ela é levada para outro ambiente, essas características podem ser modificadas.

Um vegetal de interesse econômico, como uma planta de cultivo anual em crescimento, apresenta diferentes fases. No início, como depende de reservas contidas nas sementes, o crescimento é lento; posteriormente, após o desenvolvimento do sistema radicular e a emergência das folhas, a planta tem um rápido crescimento através da retirada de água e de nutrientes do substrato onde está e através de sua atividade fotossintética.

Após atingir o tamanho definitivo, entra para a fase de senescência, que resulta em um decréscimo no acúmulo de matéria seca. Portanto, durante o seu desenvolvimento, o vegetal ocupa, nas diferentes fases, diferentes períodos de crescimento e, conseqüentemente, seria de fundamental importância o conhecimento dos principais fatores externos, e os da própria planta, que poderiam afetar cada uma das fases até o final do ciclo da mesma.

O índice de área foliar (IAF), determinado pela relação entre a área foliar da planta e a área do solo disponível à planta, avalia a capacidade ou a velocidade com que a parte aérea do vegetal (área foliar) ocupa a área de solo disponível àquele vegetal.

É citado, sobre fatores ambientais que atuam sobre o crescimento e o desenvolvimento do vegetal, que estes podem ser divididos naqueles que atuam indiretamente (latitude, altitude, chuva, topografia, textura e estrutura do solo) e nos que atuam diretamente (radiação solar, fotoperíodo, temperatura, água, aeração e os minerais do solo), e os principais processos fisiológicos do vegetal que são afetados são a atividade fotossintética, o crescimento, o florescimento, o balanço hídrico, a respiração e a absorção de materiais (MACHADO, 1982).

Verifica-se assim, que parâmetros como o índice de área foliar, o tempo de crescimento e a produtividade de um determinado alimento devem ser conhecidos para a região para a qual se pretende efetuar uma simulação que envolva o desenvolvimento de produtos agrícolas. Os períodos de plantio e de colheita são também dados relevantes para a simulação.

A interceptação do material depositado pela planta é função direta da área foliar (CARINI, 1996). Os alimentos nascem de diferentes espécies de plantas, como plantas herbáceas, arbusto e árvores que podem crescer em condições climáticas diferentes. A partir da deposição foliar, a transferência de radionuclídeos para frutas e legumes é complexa e envolve muitas interações entre componentes bióticos e abióticos.

Incorporação da deposição foliar

Uma vez depositado na folha, mecanismos de translocação para o interior da planta e migração para o fruto e outras partes da planta vão ser os principais responsáveis pela contaminação dos produtos não folhosos. O significado relativo da contaminação, no entanto, depende da estação do ano que mais prevalece sobre o estágio de desenvolvimento da planta e de como esse desenvolvimento é afetado pelo clima, e fatores de manuseio.

A absorção foliar é específica para cada elemento químico. Costuma ser maior para folhas jovens do que para velhas e é dependente do tempo. Para Sr e Cs há evidências que indicam que a absorção ocorre rapidamente após a contaminação, por exemplo, dentro de 24 hs, mas o Sr é menos absorvido do que o Cs. A taxa de absorção também depende tanto da umidade e temperatura, como das espécies de plantas e do cultivo.

O Fator de Translocação é definido como a fração do radionuclídeo depositado na folha, que é absorvido e transferido para as partes comestíveis, desde o momento em que ocorreu a deposição, até a colheita. O grau de translocação depende da natureza da planta, das propriedades e formas químicas dos radionuclídeos, do estágio de desenvolvimento da planta quando os radionuclídeos são depositados e do metabolismo do elemento no tecido vegetal (BIOMASS, 2002). Para efeito de cálculos radioecológicos, a translocação só é relevante para espécies onde somente parte da planta é usada para o consumo humano ou para a nutrição animal.

Incorporação a partir do solo

A transferência de radionuclídeos do solo para os vegetais reflete a possibilidade da transferência do material radioativo para o homem a longo prazo. Em agrossistemas, o parâmetro que descreve a transferência de radionuclídeos entre os compartimentos solo e planta, é quantificado pelo Fator de Transferência (FT). De um modo geral, o Fator de Transferência tem sido calculado segundo recomendações da IUR (1989), levando-se em conta o conteúdo total do radionuclídeo presente na planta e no solo.

O Fator de Transferência solo/planta é o parâmetro que descreve a interação entre os compartimentos solo e planta, para um determinado radionuclídeo. No entanto, a existência de diversos tipos de solos associados à diversidade de espécies agrícolas e práticas culturais regionais, resulta em uma grande variabilidade de valores de transferência para um mesmo radionuclídeo.

As variações observadas nos valores de fatores de transferência para um determinado radionuclídeo têm sido associadas às diferenças existentes entre as espécies vegetais e entre os tipos de solos. De um modo geral, os valores de transferência obtidos em clima tropicais são superiores em pelo menos uma ordem de grandeza aos valores obtidos em clima temperado, de acordo com os dados da IUR. Os valores também variam segundo o tipo de cultura e o radionuclídeo considerado (TILL & MEYER, 1983).

Estudos radioecológicos têm demonstrado que alguns ecossistemas apresentam

condições favoráveis para maior ou menor absorção vegetal de radionuclídeos (FRISSEL *et alli.*, 2002; WASSERMAN *et alli.*, 2002; SKARLOU *et alli.* 2001). Tem sido observado experimentalmente que, se um tipo de solo apresenta características que favorecem a transferência de um radionuclídeo para uma determinada espécie, qualquer outra espécie cultivada neste solo apresentará elevada concentração deste radionuclídeo. (FRISSEL *et alli.*, 2002; SKARLOU *et alli.* 2001).

Segundo PETERSON, Jr. (1983) os fatores mais relevantes que afetam absorção vegetal de radionuclídeos de solos e que justificam a variabilidade dos "FTs" observados são a forma físico-química do elemento; a espécie vegetal; a translocação do radionuclídeo no interior da planta; as características do solo; a distribuição dos radionuclídeos nos solos; a concentração de elementos estáveis no solo; e, os agroquímicos.

A forma físico-química do radionuclídeo pode modificar sua retenção pelo solo, e conseqüentemente sua absorção pelas plantas (PETERSON, 1983). O coeficiente de distribuição (Kd), definido como a razão entre a concentração do radionuclídeo presente no solo e a concentração do radionuclídeo presente na solução do solo em condições de equilíbrio, reflete o grau de sorção do radionuclídeo no solo. Formas mais fortemente ligadas aos solos, de elevados Kd, são aquelas que as plantas absorvem menos.

Os diferentes estados de oxidação do mesmo elemento também favorecem diferenças na absorção, por exemplo, $\text{PuO}_2^+ > \text{Pu}^{+4}$, devido à maior afinidade do Pu^{+4} por ligantes orgânicos e inorgânicos, o que dificulta sua absorção (DAHLMAN *et alli.* 1976).

As características fisiológicas, estruturais e morfológicas que diferem em espécies vegetais isolados, têm um grande efeito na acumulação de radionuclídeos nas plantas (RUSSEL, 1965). Uma vez que os radionuclídeos entram no sistema vascular, sua distribuição na planta não é uniforme.

Propriedades físicas e/ou químicas do solo, como textura, pH, capacidade de troca catiônica, tamanho de partículas, teor de matéria orgânica, composição mineralógica e fertilidade, determinam o grau de absorção de radionuclídeos por plantas (CAWSE & TURNER, 1982).

Quanto à textura e à matéria orgânica, os solos arenosos, compostos de partículas grosseiras com pequena área superficial, não têm a capacidade de retenção das argilas e colóides, que são compostos de partículas pequenas, mas com grande área superficial. Solos com texturas mais grosseiras facilitam a absorção vegetal em oposição a solos com texturas mais finas (PETERSON, Jr., 1983).

A acidez do solo (pH) pode afetar a disponibilidade dos elementos presentes nos solos. Em alto pH, precipitados insolúveis podem ser formados com fosfatos, carbonatos e sulfatos, que irão reduzir significativamente a disponibilidade para as plantas. Em solos ácidos, íons H^+ podem deslocar cátions, deixando-os mais disponíveis para as plantas (PETERSON, Jr., 1983).

A acumulação de radionuclídeos no solo é de grande importância na estimativa da contaminação em longo prazo de alimentos e de rações para animais. Os radionuclídeos entrarão no solo a partir da deposição superficial e podem sair da zona radicular pela infiltração em camadas mais profundas e por decaimento radioativo (PETERSON, Jr., 1983). No que se refere à transferência solo-planta, a concentração de radionuclídeos na camada do solo equivalente à profundidade das raízes é o que mais importa, embora a concentração na camada superficial do solo possa ser de particular relevância para contaminação por ressuspensão de vegetais folhosos. A profundidade das raízes depende da espécie vegetal e do nível do lençol freático. De um modo geral, a absorção diminui com a profundidade, sendo a absorção determinada pela densidade e a profundidade das raízes típicas de cada espécie. (PETERSON, Jr., 1983).

A transferência de qualquer elemento químico do solo para as plantas depende da presença e da disponibilidade do elemento na solução do solo e das necessidades das plantas em relação ao elemento ou a um outro elemento de comportamento químico similar, que a planta não consegue diferenciar (SUTCLIFFE & BAKER, 1989).

Dos principais produtos de fissão, o ^{90}Sr e o ^{137}Cs , são os elementos mais relevantes no que se refere à contaminação de plantas, pois são nuclídeos de meia-vida longa, relativamente solúveis, apresentam grande mobilidade ecológica e são análogos químicos de nutrientes essenciais (Ca e K respectivamente), propiciando semelhanças na ciclagem biológica entre os radionuclídeos e seus nutrientes análogos (WHICKER & SCHULTZ, 1982). Alguns dos produtos de ativação são importantes por serem isótopos de micronutrientes essenciais às plantas ou aos microrganismos, como o Co, Fe, Mn, Zn, etc.

Outros fatores

Fertilizantes e agroquímicos afetam a absorção radicular por influírem diretamente na concentração dos elementos estáveis trocáveis, bem como no pH dos solos, modificando a biodisponibilidade dos elementos.

A ressuspensão, respingos de chuva e a migração do material depositado para

camadas mais profundas de superfícies permeáveis também podem afetar a exposição a longo prazo.

A ressuspensão tem o potencial de gerar uma concentração de atividade persistente no ar, mesmo após uma contaminação acidental relativamente rápida, podendo levar a uma redistribuição do material depositado no solo e podendo também levar à contaminação de alimentos.

Sabe-se que diversos fatores afetam a ressuspensão, como, por exemplo, o tempo após a deposição, velocidades de vento, natureza da superfície, presença e quantidade de umidade, intensidade e frequência de chuvas, distribuição granulométrica do contaminante na matriz, distúrbios mecânicos, e, para regiões frias, cobertura por neve ou congelamento das superfícies. Uma dificuldade adicional na previsão da concentração de atividade no ar se deve ao fato que, aparentemente, a ressuspensão ocorre em eventos intermitentes discretos e não de uma forma contínua (PARETZKE *et alli*, 1992). A absorção foliar de ressuspensão do ^{137}Cs não é necessariamente considerada como caminho crítico na rotina de modelos de transporte de radionuclídeos, uma vez que contribui relativamente pouco para a contaminação das plantas (Hinton, 1995).

Respingos de chuva podem não ser importantes para plantas mais altas, tais como grão e frutas (Dreicer 1984), porém podem ter um efeito significativo para hortaliças, comparável ao efeito de incorporação pela raiz (AMARAL *et alli*, 1992; 1994). Os mecanismos envolvidos neste transporte são muito complexos, dependem de efeitos de liberação de solo, respingo de solo, intensidade de chuva, espaçamento entre as plantas, distribuição espacial e granulométrica do sedimento respingado, área superficial da planta, efeitos de lavagem pela chuva e fixação dos sedimentos na planta (FOSTER *et al.* 1985). Este processo também não é, normalmente, incluído de forma específica em modelos de áreas rurais. Considera-se que, de um modo geral, este processo está incluído na determinação de fatores de transferência determinados a partir de experimentos de campo.

2.1.3 Contaminação de produtos de origem animal

Diversos produtos de origem animal são consumidos pelo homem. Os mais relevantes costumam ser carne de boi, do porco ou de galinha, leite de vaca, e ovos. Em algumas áreas, pode ser também relevante o consumo de outros produtos, por exemplo, animais silvestres, leite de cabra, ou outros tipos de aves e ovos. Pode também ser incluída na avaliação de dose a ingestão de produtos secundários, assim como queijo e manteiga,

cujas concentrações de atividade podem ser substancialmente diferentes daquelas do leite de origem.

A contaminação dos animais que fornecem produtos que são consumidos pelo homem pode ser devido a diversos processos, tais como inalação ou ingestão de água ou alimentos contaminados. Para alguns animais, em particular ruminantes e aves soltas, que ciscam, a ingestão de solo pode ter uma contribuição significativa para a contaminação do produto (AMARAL et al., 1995).

Esta contaminação é dependente do metabolismo, isto é, depende do tipo de animal, do produto considerado, do radionuclídeo e seu comportamento metabólico no animal, principalmente acúmulo nos produtos de interesse, e do processo de incorporação. A concentração de atividade nos produtos vai então depender do tipo de produto (carne, leite, ovo), do radionuclídeo, do metabolismo do animal (vaca, cabra, porco, ovelha, galinha) e do processo de incorporação (única ou contínua).

Outros fatores que também alteram a atividade nos produtos são a densidade de vegetação; as técnicas agropecuárias locais, tais como, por exemplo, a complementação da alimentação com rações e o regime de confinamento dos animais; de procedimentos do sistema de distribuição local de alimentos; e de processamentos como a fabricação de queijos e iogurtes.

O fator de transferência pode ser visto como a fração da incorporação diária do animal que aparece em 1 kg de produto, ou 1 L, no caso de leite. Este fator depende do tipo de produto, do animal e do radionuclídeo. Em relação à alimentação dos animais, devem ser levadas em conta as práticas locais, de forma a caracterizar de modo adequado as possíveis contaminações dos produtos derivados. Desta forma, é preciso considerar a fração da alimentação média diária que provém da área de interesse, bem como a prática de estocagem de alimentos.

O iodo é o elemento mais relevante em uma situação de acidente nuclear, devido à sua rápida concentração no animal, a partir do material depositado no pasto, e sua eliminação através do leite.

Animais silvestres costumam ter concentrações de atividade maiores do que as de animais domésticos, mas a ingestão destes animais não é considerada no modelo (MUECK 1991). O processamento, tanto caseiro quanto industrial, pode alterar consideravelmente a atividade disponível nos alimentos. Estes processos porém ainda não foram incluídos no SIEM.

2.2 Adaptação do modelo

O modelo ECOSYS já foi adaptado para utilização por diversos países. Originalmente desenvolvido para a Alemanha, dentro da comunidade europeia já foi adaptado para a Áustria, Suíça, Eslováquia, e Dinamarca. Além destes, também já foi adaptado para Hong Kong e Coreia, estando em processo a adaptação à Jordânia e planejada a adaptação aos Estados Bálticos (PRHOL, 2004). Alguns destes trabalhos foram reportados na literatura.

Na aplicação do ECOSYS para Hong-Kong, foi verificado que o espectro de produtos alimentares importantes em Hong-Kong diferia significativamente daquele da Europa Central. Além disto, as características de crescimento das plantas tiveram que ser modificadas para a situação de Hong-Kong. Por exemplo, o ECOSYS estima dose de ingestão considerando que todos os alimentos simulados foram produzidos localmente. Essa consideração foi bastante aceitável na Europa Central, mas foi imprópria para Hong-Kong, que importa uma grande quantidade de alimentos de fontes distintas, inclusive países da América (POON *et alli.*, 1997).

Na adaptação do modelo para aplicação na Áustria, uma parte do trabalho envolveu a avaliação de fatores de transferência solo-planta a ser usado no modelo. Estudos após o acidente de Chernobyl indicaram concentrações nos alimentos inferiores àquelas simuladas pelo modelo. Desta forma, os fatores de transferência usados na versão austríaca do modelo ECOSYS são inferiores àqueles utilizados na versão original (GERZABEK, 1999).

No caso da Eslováquia, a seleção de plantas usadas na alimentação dos animais, a sazonalidade de crescimento das plantas e de colheita, as práticas na alimentação dos animais e as taxas de consumo humano foram objetos da adaptação. Foram geradas tabelas com as características de fertilidade do solo e condições climáticas das regiões, que levaram a divisões de diferentes áreas no país. O modelo de adaptação considerou apenas duas dessas regiões por serem de produção agrícolas e próximas a usinas nucleares. Os fatores de transferência solo-planta do modelo ECOSYS foram mantidos, mas a dieta alimentar dos animais considerados são bem distintas no verão e no inverno e foram adaptadas. Foram utilizados os dados de hábitos de consumo do ECOSYS-87, desde que fossem representativos dos hábitos de consumo do país (SLAVIK *et alli.*, 2001)

A partir da análise de sensibilidade paramétrica do modelo, junto à experiência

adquirida em processos de adaptação a países com características diferentes, PROHL (2004) elaborou uma lista de prioridades, apresentada na Tabela 2.1. Embora esta tabela só tenha sido disponibilizada no final do desenvolvimento deste trabalho, ela é relevante para a discussão dos resultados obtidos na adaptação do modelo ao Brasil.

Tabela 2.1 Necessidade de adaptação de parâmetros do modelo (Pröhl, 2004)

<i>Processos e Parâmetros</i>	<i>necessidade de adaptação</i>
Parâmetros dependentes do elemento	
Contaminação foliar	
Fator de translocação	+
Velocidade de deposição	+
Fator de intercepção	o
Incorporação pelo solo	
Fator de transferência solo-planta	++
Taxa de migração no solo	+
Transferência para animal	
Fator de transferência do alimento para o produto	o
Meia-vida biológica	o
Diversos	
Fatores de processamento de alimentos e rações	+
Dependencia temporal do material no solo	+
Coefficientes de dose	
Ingestão	o
Inalação	o
Parâmetros independentes do elemento	
Plantas	
índice de área foliar	+++
período de crescimento	+++
produtividade	+++
meia-vida de intemperismo	o
período de estocagem de alimentos para animais	+++
massa de solo	+
contaminação devido a ressuspensão	+
Animais	
dieta do animal	+++
idade de abate	o
taxa de inalação	o
Hábitos	
taxa de ingestão por faixa etária	+++
Sazonalidade no consumo	+++
diversos	
tempos de estocagem de alimentos e rações animais	++
ressuspensão a longo prazo	+

+++ muito relevante

++ média relevância

+ pouco relevante

o não tem relevância

Capítulo 3

DESCRIÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

3.1 Aspectos gerais do modelo

O código CORAL foi baseado no modelo dinâmico alemão ECOSYS (MULLER *et al.*, 1993), desenvolvido para avaliar as consequências radiológicas de deposições de curto prazo de radionuclídeos em áreas agrícolas. O modelo considera a dependência temporal dos processos de transferência, e os efeitos da sazonalidade no ciclo de crescimento dos alimentos, nas práticas de alimentação do gado e nos hábitos alimentares da população, uma vez que as condições de equilíbrio só são atingidas após médio-longo prazo, após uma deposição acidental. O código foi desenvolvido de forma flexível, de forma a ser possível sua adaptação às condições específicas de uma determinada região.

O modelo ECOSYS faz parte da base do planejamento de emergência na Alemanha, Áustria e Suíça, além de ser também a base do sistema de avaliação da Comunidade Européia, EURALERT. O código CORAL foi incluído no Sistema Integrado para Emergências (SIEM), desenvolvido no IRD para efetuar simulações em apoio ao processo de tomada de decisão no evento de um acidente ou emergência nuclear ou radioativa, a ser utilizado pela equipe de Avaliação Radiológica (EAR) do Serviço de Atendimento a Emergências Radiológicas (SAER) do IRD/CNEN.

A principal resposta do modelo é a transferência dos radionuclídeos através da cadeia alimentar e a subsequente dose interna em seres humanos, devido à ingestão de alimentos contaminados.

Os dados de entrada são a concentração integrada no ar e a descrição da quantidade de chuva durante a deposição, ou a quantidade depositada, tanto por deposição seca quanto por deposição úmida. Estes dados podem ser originados através de medidas ambientais ou por simulação de modelos de dispersão-deposição atmosférica. É importante definir o momento do ano em que ocorre a deposição, uma vez que tanto a deposição nas plantas

quanto os processos de transferência na cadeia alimentar são dependentes da sazonalidade.

O modelo começa por calcular a atividade depositada em vários tipos de superfícies (plantas e solo) e simula então processos de transferência tais como intercessão, translocação, incorporação pela raiz e práticas de alimentação de animais. Os resultados são as exposições em função do tempo e integrada no tempo, para as várias faixas etárias, e as concentrações de atividade em diversos tipos de vegetais e produtos de origem animal.

As faixas etárias incluídas no modelo correspondem àquelas recomendadas pela Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA, 1996). Os dados relativos ao decaimento radioativo e os fatores de conversão de dose para os radionuclídeos também seguem a recomendação internacional e estão descritos em Conti (2002).

3.2 Descrição do modelo:

Os processos de deposição e intercessão pela vegetação e solo são o ponto de partida da transferência de radionuclídeos pela cadeia alimentar. As deposições seca e úmida são tratadas separadamente, sendo a deposição total dada por:

$$A_i = A_{di} + f_{w,i} A_w$$

Onde:

A_i = deposição total na planta tipo i (Bq m^{-2})

A_{di} = deposição seca na planta tipo i (Bq m^{-2})

$f_{w,i}$ = fração de intercessão para a planta tipo i

A_w = deposição úmida total (Bq m^{-2})

A deposição seca, para as diferentes espécies de plantas, é calculada a partir da concentração no ar, integrada no tempo, utilizando uma velocidade de deposição que depende do tipo de planta:

$$A_{di} = v_{gi} C_a$$

Onde:

v_{gi} = velocidade de deposição seca para a planta tipo i (cm s^{-1})

Ca = concentração de atividade no ar, integrada no tempo (Bq s m⁻³)

A velocidade de deposição na vegetação depende do estágio de crescimento da planta, o que causa um pronunciado efeito de sazonalidade neste parâmetro, caracterizado pelo índice de área foliar (LAI (m² m⁻²)), que é definido como a área de folhas por unidade de área do solo:

$$V_{gi} = v_{gi, \max} \frac{LAI_i}{LAI_{i, \max}}$$

Onde:

v_{gi,Max} = velocidade de deposição máxima (m s⁻¹) para o tipo de planta, isto é, para vegetação completamente desenvolvida

LAI_i = índice de área foliar para a planta do tipo i, no momento da deposição

LAI_{i,Max} = índice de área foliar para a planta do tipo i no momento de desenvolvimento foliar completo.

Para grama e pasto, o LAI é expresso pela produtividade, por ser um parâmetro de mais fácil determinação, a partir da seguinte equação:

$$LAI_g = LAI_{g, \max} [1 - \exp(-kY_g)]$$

Onde:

LAI_g = índice de área foliar para grama ou pasto no momento da deposição

LAI_{g,Max} = índice de área foliar máximo para grama (7 m² m⁻²)

K = fator de normalização (1 m² kg⁻¹)

Y_g = produtividade da grama (kg m⁻²) no momento da deposição

Para o cálculo da deposição úmida, a fração de intercessão para a planta tipo i é estimada por:

$$f_{wi} = \frac{LAI_i S_i}{R} \left[1 - \exp\left(\frac{-Ln2}{3S_i} R\right) \right]$$

Onde:

S_i = coeficiente de retenção de água de chuva pelas folhas da planta tipo i (mm)

R = quantidade de chuva em um evento de chuva (mm)

Se o resultado do cálculo levar a um valor superior a 1, é considerado f_{wi} = 1.

A concentração de atividade nas plantas, em função do tempo, resulta da contaminação direta das folhas e da atividade transferida a partir do solo, por incorporação pela raiz e por ressuspensão:

$$C_i(t) = C_{i,l}(t) + C_{i,r}(t)$$

Onde:

$C_{i,l}$ = contaminação do vegetal i devido à deposição foliar.

$C_{i,r}$ = contaminação do vegetal i devido a incorporação pela raiz e ressuspensão

A contaminação no alimento, no momento da colheita, devido à deposição foliar é dada por:

$$C_{i,l}(t) = \frac{A_i}{Y_i} T_i(\Delta t) \exp[-(\lambda_w + \lambda_r)\Delta t]$$

Onde:

A_i = deposição total na planta, relacionada ao índice de área foliar no momento da deposição ($Bq.m^{-2}$)

Y_i = produtividade agrícola da parte comestível da planta i no momento da colheita ($kg.m^{-2}$)

T_i = fator de translocação para o produto i

λ_w = taxa de perda devido a intemperismo (d^{-1})

λ_r = taxa de decaimento radioativo (d^{-1})

Para vegetais folhosos, o fator de translocação é tomado igual a 1.

A contaminação devido à incorporação pela raiz é calculada por:

$$C_{i,r} = TF.C_{i,s}(t)$$

Onde:

TF = fator de transferência

$C_{i,s}$ = concentração de atividade no zona, na zona da raiz, definida por:

$$Cs(t) = \frac{As}{L\delta} \exp(-\lambda_s + \lambda_r)t$$

Onde:

As = deposição total no solo (Bq.m⁻²)

L = profundidade da zona da raiz (cm)

δ = densidade do solo (kg.m⁻³)

λ_s = taxa de redução de atividade no solo devido à migração para fora da zona da raiz (d⁻¹)

A contaminação devido ao processo de ressuspensão é considerada como um fator de transferência de 1E-3.

A taxa de migração no solo é calculada por:

$$\lambda_s = \frac{va}{L(1 + Kd\delta / \Theta)}$$

Onde:

va = velocidade de percolação da água no solo (m.a⁻¹)

Kd = coeficiente de distribuição (cm³.g⁻¹)

Θ = conteúdo de água do solo (g.g⁻¹)

A incorporação de atividade por animais é efetuada levando-se em conta as concentrações de atividade nos diferentes alimentos ingeridos pelos animais e sua respectiva taxa de ingestão:

$$Aa,m(t) = \sum_{k=1}^{km} Ck(t).Ik,m(t)$$

Onde:

Aa,m = incorporação de atividade pelo animal m (Bq. d⁻¹)

Km = número de diferentes tipos de alimento ingerido pelo animal m

Ck(t) = concentração de atividade no alimento k (Bq. kg⁻¹)

Ik,m(t) = taxa de alimentação do animal m com o alimento m (kg.d⁻¹)

A concentração de atividade nos produtos de origem animal é descrita por:

$$C_m(T) = T F_m \sum_{j=1}^J \{ a_{m,j} \int_0^T A_{a,m}(t) \cdot \lambda_{b,mj} \cdot \exp[-(\lambda_{b,mj} + \lambda_r)(T-t)] dt \}$$

Onde:

$C_m(T)$ = concentração de atividade no produto animal m no tempo T ($Bq \cdot kg^{-1}$)

$T F_m$ = fator de transferência para o produto m ($d \cdot kg^{-1}$)

J = número de taxas de transferência biológica

$a_{m,j}$ = fração da taxa de transferência biológica j

$\lambda_{b,mj}$ = taxa da transferência biológica j para o produto animal m (d^{-1})

A incorporação de atividade por seres humanos é calculada a partir das concentrações de atividade nos diferentes alimentos que compõem a dieta alimentar e suas respectivas taxas de ingestão:

$$A_h(t) = \sum C_k(t) \cdot V_k(t)$$

Onde:

$A_h(t)$ = taxa de incorporação diária ($Bq \cdot d^{-1}$)

$C_k(t)$ = concentração de atividade do alimento k ($Bq \cdot kg^{-1}$)

$V_k(t)$ = taxa de consumo do alimento k ($kg \cdot d^{-1}$)

A dose devido à ingestão de alimentos contaminados, em função do tempo t após a contaminação é calculada por:

$$D_{ing}(t) = \int_0^t A_h(t) \cdot g_{ing}(t) \cdot dt$$

Onde:

$D_{ing}(t)$ = dose de ingestão (Sv)

$g_{ing}(t)$ = fator de dose de ingestão em função da idade ($Sv \cdot Bq^{-1}$)

Neste trabalho não foram considerados fatores de redução de concentração de atividade em alimentos devido ao processamento caseiro dos alimentos nem os efeitos de implementação de medidas de proteção no sistema agropecuário.

Capítulo 4

METODOLOGIA

4.1 Definição da área de estudo

Considerando a complexidade do país em relação à diversidade de culturas e práticas culturais, bem como a quantidade de informação necessária para a adaptação do modelo às nossas condições, selecionou-se uma área piloto, denominada área de interesse para iniciar este processo de adaptação.

A área de interesse selecionada para este trabalho consiste dos municípios abrangidos por um raio de 50 km em torno da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto, localizada no município de Angra dos Reis, RJ. Esta área é definida como área de influência indireta da central (Figura 4.1).

Neste estudo, a área selecionada inclui a área total de todos os municípios compreendidos neste raio. Esta opção deve-se ao fato de que a área selecionada representa apenas uma referência para nortear o levantamento de dados e não uma área efetiva de impacto, e levando em conta a facilidade de obtenção de informações, normalmente reportadas em base municipal.

Deve-se notar, porém que os municípios incluídos na Tabela 4.1 e mostrados na Figura 4.2, não correspondem exatamente àqueles incluídos na área definida como de influência indireta definida pela CNAAA, porém acredita-se que os municípios selecionados são adequados para o tipo de levantamento efetuado.

Tabela 4.1 Municípios incluídos na área de interesse

<i>Estado</i>	<i>Mesoregião</i>	<i>Microregião</i>	<i>nº</i> <i>IBGE</i>	<i>Município</i>
RJ	Vale do Paraíba Fluminense	Vale do Paraíba Fluminense	217	Barra Mansa
RJ	Vale do Paraíba Fluminense	Vale do Paraíba Fluminense	217	Resende
RJ	Vale do Paraíba Fluminense	Vale do Paraíba Fluminense	217	Volta Redonda
RJ	Periferia do Grande Rio	Piraí e Vassouras	219	Rio Claro
RJ	Periferia do Grande Rio	Piraí e Vassouras	219	Piraí
RJ	Periferia do Grande Rio	Fluminense do Grande Rio	221	Mangaratiba
RJ	Periferia do Grande Rio	Fluminense do Grande Rio	221	Itaguaí
RJ	Periferia do Grande Rio	Baia da Ilha Grande	223	Angra dos Reis
RJ	Periferia do Grande Rio	Baia da Ilha Grande	223	Parati
SP	Serra/Litoral Norte	Alto paraíba	263	Areias
SP	Serra/Litoral Norte	Alto paraíba	263	Bananal
SP	Serra/Litoral Norte	Alto paraíba	263	Cunha
SP	Serra/Litoral Norte	Alto paraíba	263	São José do Barreiro
SP	Serra/Litoral Norte	Alto paraíba	263	Silveiras
SP	Serra/Litoral Norte	Alto paraíba	263	Arapeí
SP	Serra/Litoral Norte	Costa Norte Paulista	267	Ubatuba

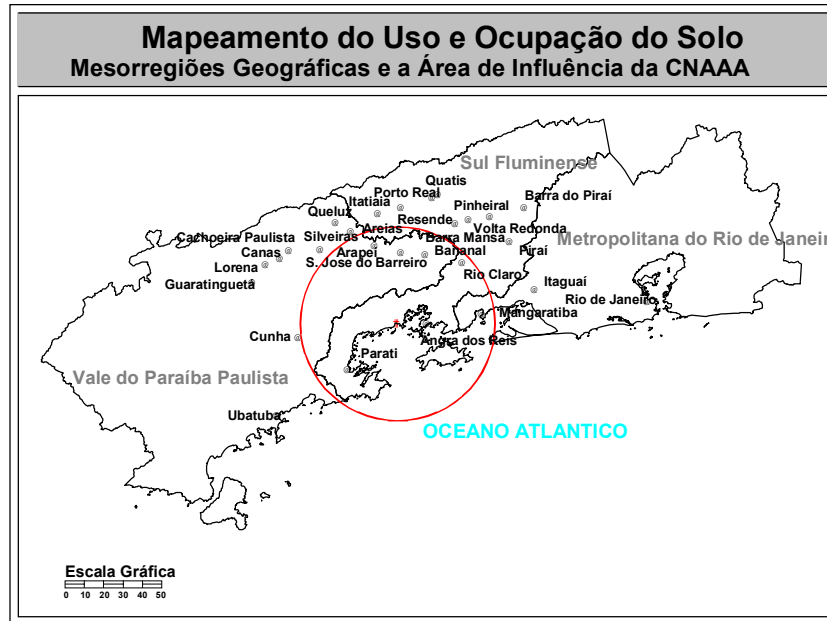


Figura 4.1 Zona de influência indireta da central nuclear de Angra dos Reis (SCIENCE, 2002)

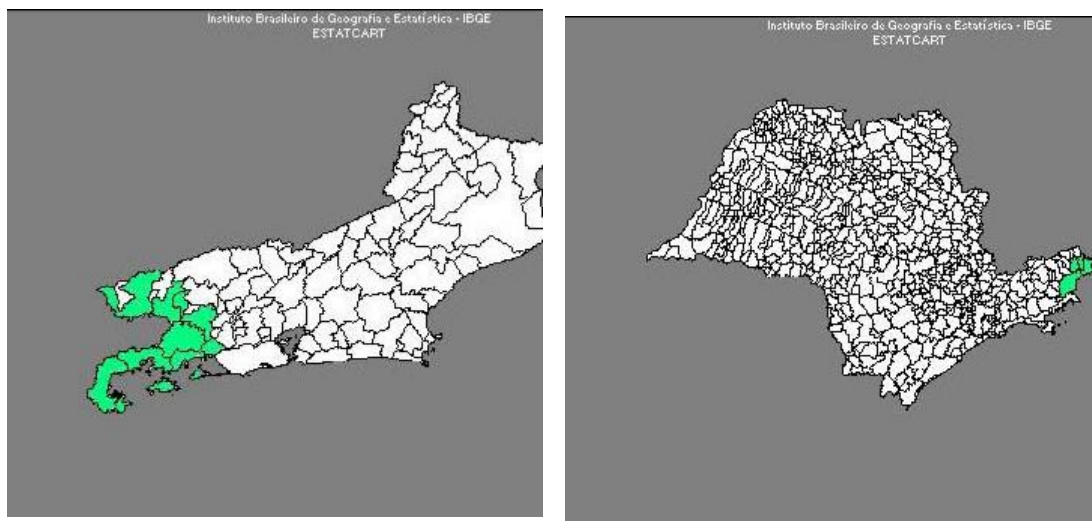


Figura 4.2 Detalhamento dos municípios incluídos no estudo (IBGE, 2004)

4.2 Grupos da população e dieta alimentar de interesse

A partir do levantamento efetuado sobre as características da área do estudo, foram então considerados dois grupos populacionais para a montagem da base de dados necessária para a avaliação da exposição.

O primeiro grupo (Grupo Regional) levou em conta, principalmente, a produção agrícola da área do estudo e sua possível contribuição para a dose da população em geral, através de sua relevância para o consumo total de alimentos.

O indivíduo típico deste grupo representa uma média da população sendo, por isto, representado por um adulto, com taxas de ingestão médias baseado em dados regionais. As principais bases de dados consideradas foram os anuários estatísticos agropecuários do IBGE (2004a) e informações de consumo alimentar médio populacional, também disponibilizado pelo IBGE, tendo sido considerados os dados fornecidos para os estados do Rio de Janeiro e São Paulo, para regiões rurais (IBGE, 1978) e áreas urbanas (IBGE 1991; 1996). Foram também consultados dados de produção para a área de estudo fornecidos pela EMATER/RJ, em particular aqueles referentes a vegetais folhosos e legumes, cujas produções não são cobertas pelo estudo do IBGE (2004a).

Desta forma, os resultados de dose devido à ingestão de produtos cultivados na área, embora conservativo sob o ponto de vista de supor indivíduos cuja única origem dos alimentos selecionados seja a área do estudo, é adequada a estudos de otimização, tanto no caso do cálculo das doses coletivas serem relacionadas à produção efetiva da área de estudo, quanto no caso do cálculo para as comunidades agrícolas locais, que costumam ter um índice de auto-sustento mais elevado do que nas áreas urbanas.

Estudos efetuados anteriormente pelo IRD, na região rural de Poços de Caldas, indicam ser significativa a percentagem de pequenos grupos com ingestão de alimentos locais próxima a 100 % (VASCONCELLOS *et alli.*, 1990). O Estudo de consumo alimentar para a área rural do estado de São Paulo (IBGE, 1978) apresenta valores de produção própria ou de origem local da ordem de 80% para cereais e leguminosas, 75% para leite e ovos, e de cerca de 65% para demais produtos de origem vegetal e carnes, considerando a dieta total dos indivíduos. No caso deste estudo, o consumo de produtos locais, apesar de considerado como 100 %, inclui apenas aqueles itens que são referenciados também como relevantes tanto em relação à produção quanto em relação ao consumo.

Os critérios para a seleção dos produtos de interesse para o Grupo Regional foram estabelecidos de forma a considerar o impacto tanto na produção regional, associado principalmente a aspectos financeiros na área de estudo, quanto ao impacto na dieta normal da população, considerando a relevância dos produtos para a dieta média populacional nas principais áreas de consumo da produção, em particular as grandes áreas metropolitanas

receptoras da produção agropecuária dos estados do Rio de Janeiro e de São Paulo.

Para a seleção dos produtos de origem vegetal, foram adotados os seguintes critérios:

(i) produção na área de interesse superior à 10% da produção de um dos estados envolvidos e taxa de consumo superior a 5% do consumo médio citado em referências do IBGE.

(ii) Vegetais de horta e pasto, não incluídos no levantamento de produção do IBGE

Os valores de 10 e 5 % são arbitrários, escolhidos de forma a montar um conjunto que representasse a realidade da dieta populacional, mas que também fosse razoável de ser modelado. Por exemplo, um valor de 10% relativo a um único item da alimentação eliminaria praticamente todos os alimentos da dieta. Assim, os alimentos foram considerados tanto isoladamente quanto reunidos em categorias, seguindo a classificação utilizada pelo IBGE dentro do documento de consumo familiar (IBGE, 1978). Por outro lado, a adoção de um valor em torno de 1% já viria a incluir um número excessivo de produtos que teriam especificidades que tornariam a modelagem inviável, dada a dificuldade de obtenção de dados específicos para os diversos tipos de produtos alimentares. A escolha do critério, portanto, levou também em conta a viabilidade de modelar o sistema, tendo como limite um conjunto com cerca de 10 a 12 tipos diferentes de alimentos, conforme a metodologia utilizada pelo próprio grupo que desenvolveu o modelo (MULLER & PROHL, 1993).

Para a seleção de produtos de origem animal a serem incluídos na dieta do Grupo Regional, foram adotados o seguinte critérios:

(i) produção na área de interesse superior a 10% da produção de um dos estados envolvidos e taxa de consumo superior a 5% do consumo médio anual citado em referências do IBGE.

Os mesmos comentários sobre os valores de 10 e 5 % são válidos nos critérios para produtos de origem animal, isto é, consideram a viabilidade de efetuar a modelagem, devido à disponibilidade de parâmetros e o número de produtos a serem incluídos no modelo.

O segundo grupo considerado para fins de avaliação de dose, denominado Grupo Local, se refere aos residentes das proximidades da central nuclear, e a seleção de alimentos foi efetuada considerando os hábitos locais de produção e consumo de alimentos. A principal base de dados considerada para este estudo foi o levantamento

sócio-econômico efetuado por solicitação da Eletronuclear (SCIENCE, 2002) e abrange a ZPE5, isto é, a região dentro de um raio de 5 km em torno da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto, excluindo a área de propriedade da ETN.

Os critérios adotados foram baseados nos hábitos locais de produção e consumo de alimentos, levando em conta os possíveis impactos que poderiam ser causados por restrições à alimentação de produtos caseiros, considerando tanto a relevância do alimento para a dieta da população local quanto o número de pessoas que seria afetado por estas medidas.

Para a seleção dos alimentos relevantes para o Grupo Local, foram então adotados os seguintes critérios:

(i) Produtos de origem vegetal

Alimento produzido na região de interesse (ZPE5), tanto como produção agro-pecuária quanto como por cultivo ou produção informal, e consumido por mais de 5% da população a uma taxa superior a 5% do consumo total anual de alimentos.

(ii) Produtos de origem animal:

Critérios: produzido na região de interesse, tanto como produção agro-pecuária quanto como por cultivo ou produção informal, e consumido por mais de 5% da população a uma taxa superior a 5% do consumo total anual de alimentos.

Uma vez selecionados os municípios, os grupos populacionais, e as dietas alimentares a serem considerados no trabalho, foi efetuado extenso levantamento bibliográfico visando o levantamento de informações agro-pecuárias e de valores de parâmetros adequados à modelagem dos produtos componentes das dietas.

A etapa seguinte do trabalho constou da seleção de valores de parâmetros para montar a base de dados necessária à simulação dos cenários estabelecidos dentro da metodologia de cálculo estabelecida pelo modelo ECOSYS. Nesta etapa, verificou-se a necessidade de estabelecer mais um cenário de estudo, uma vez que foi identificado que havia, na área selecionada, dois tipos principais de solo, para os quais os parâmetros de transferência solo-planta precisariam ser modelados de forma específica (EMBRAPA, 1996). Desta forma, foi estabelecido o cenário Regional-PVA, com as mesmas características do cenário Regional original, que passou a ser chamado de Regional-LVA, diferindo deste apenas em relação ao valor adotado para o coeficiente de transferência solo-planta.

Uma vez montadas as planilhas relativas a todos os alimentos incluídos nas dietas

de todos os grupos, foi efetuada a simulação, considerando um cenário de referência, correspondente a uma deposição seca de 1 kBq m^{-2} de solo (ROCHEDO *et alli.*, 1996). As simulações foram efetuadas para os radionuclídeos ^{137}Cs , ^{90}Sr , selecionados para este estudo devido à disponibilidade de dados relativos ao comportamento ambiental em áreas agrícolas levantados no Brasil, e para o ^{131}I , pela sua reconhecida relevância em caso de acidentes em reatores, embora não tenha sido encontrada nenhuma informação específica do comportamento ambiental deste radionuclídeo em solos típicos brasileiros.

Foram efetuadas simulações para acidentes ocorrendo nas quatro estações do ano (primavera, verão, outono e inverno) para todos os cenários.

A análise de resultados focaliza aspectos relativos à avaliação da relevância de fatores como clima, solo, hábitos populacionais e práticas agro-pecuárias, como uma tentativa de priorizar estudos e levantamentos a serem efetuados, visando, em uma situação real de acidente, obter uma resposta mais confiável do modelo para o cenário específico envolvido na situação.

Como critério de análise dos resultados obtidos, foram considerados relevantes todos os fatores que levaram a variabilidade superior a 100 % nas doses estimadas. Para a priorização de estudos e levantamentos, foi considerada a razão entre as doses obtidas para uma determinada situação e uma dose relativa a uma situação de referência. Para a avaliação dos parâmetros associados à diferença de clima, solo, práticas agro-pecuárias e hábitos médios de dieta, a situação de referência foi a dose obtida para o cenário de referência, sendo que, para a avaliação do efeito de sazonalidade, foi selecionado, de forma arbitrária, a simulação para um acidente ocorrendo no outono. Para a avaliação da relevância de levar em conta a faixa etária na avaliação de doses, a situação de referência foi a dose de adultos, para o cenário Local.

O estudo limitou-se a considerar as doses devido à ingestão de produtos originados nas áreas contaminadas, não tendo sido incluída na análise outras vias de exposição, tais como dose externa devido a morar ou trabalhar na área contaminada. Estas doses, no entanto, também são possíveis de serem calculadas pelo SIEM, porém estão fora do escopo deste trabalho.

Capítulo 5

LEVANTAMENTO DE DADOS

PRODUTOS AGRÍCOLAS

5.1 Seleção das dietas

5.1.1 cultivos

O primeiro estudo efetuado foi o levantamento de produtos cultivados nos municípios na área de interesse. As principais bases de dados utilizada nesta etapa foram os anuários estatísticos do IBGE (2004a). Foram coletadas informações sobre a produção de todos os municípios selecionados para este trabalho. Um resumo das informações levantadas junto ao IBGE é apresentado nas Tabela 5.1 e 5.2, relativas às culturas temporárias e permanentes, respectivamente, citadas para os municípios incluídos na área de interesse.

Além destes produtos, o levantamento efetuado pelo IBGE inclui as lavouras permanentes de abacaxi, algodão herbáceo, alho, amendoim, aveia, cebola, melancia, melão, soja, sorgo granífero, e as lavouras temporárias de trigo, algodão arbóreo, cacau, castanha do caju, maçã, mamão, marmelo, noz e uva, mas, para estes todos estes produtos, a produção em todos os municípios da área de interesse é nula.

Como o levantamento efetuado pelo IBGE não contempla a maior parte das hortaliças, procurou-se levantar informações sobre estas culturas junto a EMATER. Utilizou-se neste trabalho, para as hortaliças, a classificação utilizada pela EMATER, que sub-divide as hortaliças em folhosas, frutosas (legumes), e raízes e tubérculos.

Tabela 5.1 Culturas Vegetais na área de interesse–Lavoura temporária (IBGE, 2004a)

<i>Brasil, Unidade da Federação e Município</i>	<i>Lavoura temporária</i>	<i>produção</i>	<i>area (ha)</i>	<i>rendimento</i>	<i>unidade</i>
Brasil		10.184.185	3.142.826	3.240	
Rio de Janeiro		10.095	3.342	3.020	
São Paulo		111.420	43.130	2.583	
Parati - RJ	Arroz (em	2	2	1.000	
Resende - RJ	casca)	8	3	2.666	kg/ha
Areias - SP	(Tonelada)	12	10	1.200	
Bananal - SP		5	5	1.000	
Cunha - SP		27	15	1.800	
São José do Barreiro - SP		1	2	500	
Brasil		484.719	42.708	11.349	
Rio de Janeiro	Batata - doce	15.856	1.017	15.590	kg/ha
São Paulo	(Tonelada)	57.158	3.784	15.105	
Itaguaí - RJ		240	12	20.000	
Brasil		344.292.922	4.957.897	69.443	
Rio de Janeiro		5.091.227	162.021	31.423	
São Paulo		198.932.127	2.567.178	77.490	
Angra dos Reis - RJ		337	15	22.466	
Barra Mansa - RJ		20.000	500	40.000	
Itaguaí - RJ		1.755	65	27.000	
Mangaratiba - RJ	Cana-de-	560	28	20.000	kg/ha
Parati - RJ	açúcar	2.912	104	28.000	
Piraí - RJ	(Tonelada)	9.000	180	50.000	
Resende - RJ		1.200	30	40.000	
Rio Claro - RJ		1.200	30	40.000	
Volta Redonda - RJ		4.000	100	40.000	
Bananal - SP		7.200	100	72.000	
São José do Barreiro - SP		2.500	50	50.000	
Brasil		2.453.681	3.450.347	711	
Rio de Janeiro		5.554	7.231	768	
São Paulo		320.887	219.618	1.461	
Angra dos Reis - RJ		9	9	1.000	
Barra Mansa - RJ		80	80	1.000	
Itaguaí - RJ		7	7	1.000	
Mangaratiba - RJ		5	6	833	
Parati - RJ		3	3	1.000	
Piraí - RJ	Feijão (em	56	60	933	kg/ha
Resende - RJ	grão)	28	60	466	
Rio Claro - RJ	(Tonelada)	315	330	954	
Volta Redonda - RJ		4	4	1.000	
Arapeí - SP		15	20	750	
Areias - SP		18	23	782	
Bananal - SP		54	70	771	
Cunha - SP		840	700	1.200	
São José do Barreiro - SP		20	23	869	
Silveiras - SP		92	79	1.164	

Tabela 5.1 Culturas Vegetais na área de interesse – Lavoura temporária (cont)(IBGE, 2004a)

<i>Brasil, Unidade da Federação e Município</i>	<i>Lavoura temporária</i>	<i>produção</i>	<i>area (ha)</i>	<i>rendimento</i>	<i>unidade</i>	
Brasil		2.848.664	153.984	18.499		
Rio de Janeiro	Batata - inglesa	1.270	96	13.229	kg/ha	
São Paulo	(Tonelada)	741.070	32.173	23.033		
Cunha - SP		150	20	7.500		
Brasil		22.580.282	1.667.453	13.541		
Rio de Janeiro		179.577	12.767	14.065		
São Paulo		1.043.700	42.010	24.844		
Angra dos Reis - RJ		580	40	14.500		
Barra Mansa - RJ		180	18	10.000		
Itaguaí - RJ		3.780	270	14.000		
Mangaratiba - RJ		500	50	10.000		
Parati - RJ	Mandioca	1.080	72	15.000	kg/ha	
Piraí - RJ	(Tonelada)	150	10	15.000		
Resende - RJ		504	36	14.000		
Rio Claro - RJ		50	5	10.000		
Arapeí - SP		125	10	12.500		
Areias - SP		50	5	10.000		
Bananal - SP		300	20	15.000		
São José do Barreiro - SP		450	30	15.000		
Silveiras - SP		90	6	15.000		
Brasil		41.962.475	12.335.175	3.401		
Rio de Janeiro		26.836	14.328	1.872		
São Paulo		4.200.120	1.122.535	3.741		
Barra Mansa - RJ		380	200	1.900		
Piraí - RJ		110	90	1.222		
Resende - RJ		1.296	480	2.700		
Rio Claro - RJ	Milho (em grão)	320	200	1.600	kg/ha	
Volta Redonda - RJ	(Tonelada)	60	30	2.000		
Arapeí - SP		480	200	2.400		
Areias - SP		792	320	2.475		
Bananal - SP		540	300	1.800		
Cunha - SP		17.000	3.200	5.312		
São José do Barreiro - SP		363	152	2.388		
Silveiras - SP		348	145	2.400		
Brasil		3.103.363	57.491	53.979		
Rio de Janeiro		197.398	3.342	59.065		
São Paulo		625.630	10.290	60.799		
Barra Mansa - RJ	Tomate	90	3	30.000	kg/ha	
Piraí - RJ	(Tonelada)	80	2	40.000		
Resende - RJ		121	3	40.333		
Cunha - SP		300	5	60.000		
Silveiras - SP		120	3	40.000		

Tabela 5.2 Culturas Vegetais na área de interesse – Lavoura permanente
(IBGE, 2004a)

<i>Brasil, Unidade da Federação e Município.</i>	<i>Lavoura permanente</i>	<i>Produção (ton)</i>	<i>Área colhida (hectare)</i>	<i>rendimento</i>	<i>unidade</i>
Brasil		154.224	11.835	13.031	
Rio de Janeiro		754	42	17.952	
São Paulo	Abacate (Mil frutos)	86.619	5.225	16.577	Frutos/ha
Areias - SP		16	1	16.000	
Bananal - SP		14	1	14.000	
São José do Barreiro - SP		13	1	13.000	
Brasil		6.177.293	510.313	12.104	
Rio de Janeiro		159.764	26.676	5.989	
São Paulo		1.105.827	53.997	20.479	
Angra dos Reis - RJ		2.880	1.440	2.000	
Barra Mansa - RJ		30	5	6.000	
Itaguaí - RJ		25.540	3.030	8.429	
Mangaratiba - RJ		10.200	5.050	2.019	
Parati - RJ		3.600	2.080	1.730	
Piraí - RJ	Banana (Mil cachos)	2.340	250	9.360	Cachos/ha
Resende - RJ		260	40	6.500	
Rio Claro - RJ		6.300	600	10.500	
Volta Redonda - RJ		110	10	11.000	
Arapeí - SP		75	5	15.000	
Areias - SP		160	8	20.000	
Bananal - SP		75	5	15.000	
São José do Barreiro - SP		348	40	8.700	
Silveiras - SP		90	15	6.000	
Brasil		3.639.138	2.336.031	1.557	
Rio de Janeiro		14.339	10.824	1.324	
São Paulo		356.000	213.400	1.668	
Barra Mansa - RJ	Café (em côco)	15	10	1.500	kg/ha
Piraí - RJ		6	5	1.200	
Arapeí - SP	(Tonelada)	45	30	1.500	
Areias - SP		5	2	2.500	
Bananal - SP		45	30	1.500	
São José do Barreiro - SP		38	8	4.750	
Brasil		131.106	6.900	19.000	
Rio de Janeiro		10.107	611	16.541	
São Paulo		82.854	3.119	26.564	
Itaguaí - RJ	Caqui (Mil frutos)	48	4	12.000	Frutos/ha
Mangaratiba - RJ		240	20	12.000	
Bananal - SP		30	1	30.000	
Cunha - SP		25	1	25.000	
São José do Barreiro - SP		28	1	28.000	

Tabela 5.2 Culturas Vegetais na área de interesse – Lavoura permanente (cont)(IBGE, 2004a)

<i>Brasil, Unidade da Federação e Município</i>	<i>Lavoura permanente</i>	<i>produção</i>	<i>Área colhida (hectare)</i>	<i>rendimento</i>	<i>unidade</i>		
Brasil		1.420.547	273.338	5.197			
Rio de Janeiro		41.038	2.876	14.269			
São Paulo		21.408	1.980	10.812			
Angra dos Reis - RJ	Côco-da-baía (Mil frutos)	100	8	12.500	Frutos/ha		
Itaguaí - RJ		6.300	300	21.000			
Mangaratiba - RJ		238	17	14.000			
Parati - RJ		48	4	12.000			
Brasil			25.981	2.904		8.946	
Rio de Janeiro	Figo (Mil frutos)	7	2	3.500	Frutos/ha		
São Paulo		9.132	383	23.843			
Silveiras - SP		6	1	6.000			
Brasil		281.102	14.206	19.787			
Rio de Janeiro		8.608	522	16.490			
São Paulo		114.427	5.201	22.000			
Itaguaí - RJ	Goiaba (Mil frutos)	1.029	49	21.000	Frutos/ha		
Areias - SP		13	5	2.600			
Bananal - SP		6	2	3.000			
São José do Barreiro - SP		10	4	2.500			
Brasil			16.983.436	824.693		20.593	
Rio de Janeiro		115.753	7.955	14.550			
São Paulo		13.529.892	581.487	23.267			
Angra dos Reis - RJ		24	5	4.800			
Barra Mansa - RJ		150	10	15.000			
Itaguaí - RJ		192	8	24.000			
Mangaratiba - RJ	Laranja (Mil frutos)	24	2	12.000	Frutos/ha		
Resende - RJ		18	2	9.000			
Volta Redonda - RJ		75	5	15.000			
Arapeí - SP		81	3	27.000			
Areias - SP		245	9	27.222			
Bananal - SP		81	3	27.000			
São José do Barreiro - SP		510	15	34.000			
Silveiras - SP		612	22	27.818			
Brasil			964.821	49.372		19.541	
Rio de Janeiro			28.225	1.873		15.069	
São Paulo		798.806	35.016	22.812			
Itaguaí - RJ		30	2	15.000			
Mangaratiba - RJ	Limão (Mil frutos)	126	9	14.000	Frutos/ha		
Arapeí - SP		18	1	18.000			
Areias - SP		45	2	22.500			
Bananal - SP		18	1	18.000			
Cunha - SP		25	1	25.000			
São José do Barreiro - SP		23	1	23.000			
Silveiras - SP		22	1	22.000			

Tabela 5.2 Culturas Vegetais na área de interesse – Lavoura permanente (cont) (IBGE, 2004a)

<i>Brasil, Unidade da Federação e Município</i>	<i>Lavoura permanente</i>	<i>produção</i>	<i>Área colhida (hectare)</i>	<i>Rendimento</i>	<i>unidade</i>
Brasil		782.348	67.234	11.636	
Rio de Janeiro		2.909	183	15.896	
São Paulo	Manga (Mil frutos)	215.395	20.723	10.394	Frutos/ha
Itaguaí - RJ		320	16	20.000	
Bananal - SP		5	3	1.666	
São José do Barreiro - SP		3	2	1.500	
Brasil		467.464	33.039	14.148	
Rio de Janeiro		16.297	947	17.209	
São Paulo	Maracujá (Mil frutos)	70.835	3.701	19.139	Frutos/ha
Itaguaí - RJ		400	20	20.000	
Rio Claro - RJ		100	10	10.000	
Arapeí - SP		10	1	10.000	
Silveiras - SP		18	2	9.000	
Brasil		26.118	4.158	6.281	
Rio de Janeiro		222	107	2.074	
São Paulo	Palmito (Tonelada)	2.199	495	4.442	kg/há
Angra dos Reis - RJ		125	50	2.500	
Mangaratiba - RJ		25	10	2.500	
Parati - RJ		54	36	1.500	
Brasil		21.522	1.952	11.025	
Rio de Janeiro		250	17	14.705	
São Paulo	Pêra (Mil frutos)	4.676	308	15.181	Frutos/ha
Areias - SP		9	1	9.000	
Cunha - SP		200	10	20.000	
São José do Barreiro - SP		9	1	9.000	
Brasil		222.636	23.134	9.623	
Rio de Janeiro		39	3	13.000	
São Paulo	Pêssego (Mil frutos)	48.399	2.189	22.110	Frutos/ha
Areias - SP		15	1	15.000	
São José do Barreiro - SP		16	1	16.000	
Silveiras - SP		14	1	14.000	
Brasil		1.125.052	63.338	17.762	
Rio de Janeiro		42.045	2.261	18.595	
São Paulo		594.366	24.288	24.471	
Arapeí - SP	Tangerina (Mil frutos)	22	1	22.000	Frutos/ha
Bananal - SP		25	1	25.000	
Cunha - SP		82	4	20.500	
São José do Barreiro - SP		22	1	22.000	
Silveiras - SP		24	1	24.000	

Um resumo das principais informações relativas à produção nos municípios de interesse, levantadas junto a EMATER/RJ, é apresentado na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 Produção anual (kg) de hortaliças nos municípios de interesse (EMATER, 2004)

Tipo	Itaguaí	Mangaratiba	A. dos Reis	B. Mansa	Paraty	Pirai	Resende	Rio Claro	V. Redonda
ABOBORA						111500	130000		
ABOBRINHA	46800			724700	12000		65000		
ACEROLA						1500			
AGRIÃO	16100								45600
AIPIM	4083900	500000	216000		72000	21000	594000		
ALFACE	33600	35490000		1030000		51100	84600		620000
ARROZ							6000		
BANANA	26215000		476000		4640000	144000	54000	2360000	
BATATA DOC	251000								
BERINJELA	56100				294000				
BETERRABA									10000
BROCOLOS							22200		21600
CANA	1792000	558000			3514000	3075000			
CAQUI		240000							
CEBOLINHA	34500						41000		112000
CENOURA									10000
CHICÓRIA				1175000			38300		86400
COCO VERD	6744000	180000	35000						
COUVE	43900						68600		60000
FEIJÃO			10500	26000	1500	9000	41000	275000	4000
GOIABA	1007600								
INHAME					130400				
JILÓ	63900		40000		62300	34600	74000		90000
LIMÃO		133000				8000			
MACADÂMIA						349000			
MANDIOCA			196000		1060500				
MANGA	429000								
MARACUJÁ	280000	24000			51000				
MAXIXE	207900								
MILHO			41000	150000	27500	43400	430000		60000
MILHO VERD	135600	200000							
OL. FOLHAS	33200								
OL. FRUTOS					289000				
PALMITO			139000		30000				
PEPINO							124000		
PIMENTÃO	77800				513000	38000			
QUIABO	4646400		22000	144000	82800	12800	36000		108000
SALSA	30700						44200		
TOMATE						111100	115000		
TOTAL	46229000	37325000	1175500	3249700	10780000	4010000	1974900	2635000	1227600

Segundo o anuário agrícola de 1990, a região sudeste respondeu, em 1987, por cerca de 40% do algodão herbáceo colhido no país, 85% do amendoim, 60% da cana de açúcar, 70% do café em coco, 88% da laranja e 51% da batata. A mesma região consome em torno de 40% dos insumos agrícolas do país (fertilizantes, fungicidas, inseticidas e herbicidas) (ABRIL, 1990). Nenhum destes vegetais, no entanto, foi incluído, dentro dos critérios estabelecidos. Apenas a batata foi incluída, não só pela sua relevância na dieta local, mas também por ser um produto simulado de forma específica na dieta alemã e poder, assim, ser utilizada para uma comparação de resultados.

5.1.2 consumo

Além de produção na significativa área de interesse, a seleção dos componentes da dieta também levou em conta a relevância dos produtos para a dieta das populações locais e regionais.

Os únicos resultados de pesquisa de orçamentos familiares efetuada pelo IBGE para as populações rurais são muito antigos, porém, não foram encontrados resultados mais recentes. Um resumo das informações utilizadas relativas a este levantamento é apresentado na Tabela 5.4. Nesta mesma tabela são também apresentados os dados do IBGE relativos a consumo em áreas urbanas, também do estudo de despesa familiar de 1977, e aqueles relativos às cidades do Rio de Janeiro e São Paulo, conforme levantamento efetuado em 1996.

Posteriormente, foram disponibilizados pela Eletronuclear, estudos relativos à análise do ambiente socioeconômico da área de influência da central nuclear almirante Álvaro Alberto realizados pela Sociedade Científica da Escola Nacional de Ciências Estatísticas (SCIENCE, 2002). Este estudo serviu de base para caracterizar a dieta do grupo representativo da ZPE5. As informações relevantes utilizadas neste trabalho são apresentadas na Tabela 5.5

Tabela 5.4 Dados de consumo alimentar médio per capita (IBGE, 1978; 1998)

Alimentos	consumo por comensal ano(kg)					
	ref. ENDEF - 1977 (rural)		ref. IBGE - 1996		ref. ENDEF - 1977 (urbano)	
	RJ	SP	RJ	SP	RJ	SP
arroz	44,4	77,9	34,1	24,7	42,2	45,6
milho	19,1	7,3	3,6	2,84	3,6	2,2
trigo	21,9	24,8	33,66	36,34	39,4	37,4
batata	11,2	13,6	13,2	7,1	21,8	17,2
mandioca	21,7	6,1	3,4	2,0	6,1	2,5
feijão	24,8	27,4	13,8	7,3	19,4	18,5
folhas	4,6	6,4	2,2	3,2	7,7	11,9
tomate	3,4	5,7	6,1	6,5	9,6	9,6
cebola	2,3	4,2	4,1	3,4	4,8	5,6
frutosos	15,4	15,6	8,2	5,4	13,1	12,7
raízes	1,1	1,1	5,1	2,8	3,6	2,5
banana	4,6	3,6	7,0	7,8	10,2	9,2
laranja	8,3	7,1	10,5	14,2	19,2	21,0
limão	0,3	1,2	0,9	0,8	0,8	1,5
outros	7,4	6,9	11,9	22,5	22,9	13,2
carne boi	7,7	8,2	17,6	22,7	22,6	19,5
carne porco	4,6	4,2	3,5	5,0	4,8	3,2
frango	5,5	7,1	14,9	18,2	10,6	11,0
Ovo	3,5	4,9	3,5	4,2	7,3	7,7
Leite	31,2	52,3	44,7	72,8	51,7	56,5
Laticínios	1,2	1,2	3,8	4,6	7,2	3,4
Café	4,4	5,8	2,7	2,2	5,0	5,6
açúcares	48,7	36,0	25,1	14,4	28,5	25,2

Tabela 5.5 Consumo anual (kg) médio e máximo levantado junto à população residente na ZPE 5 da CNAAA (SCIENCE, 2002a)

PRODUTO		Primeira infância		Crianças		Adolescentes		Adultos	
		medio	maximo	medio	maximo	medio	maximo	medio	maximo
Arroz	kg/a	34,9	146	51,3	219	66,3	182,5	69	365
Leite	L/a	195,54	700,8	137,9	438	127,5	438	11,6	788,4
Água	L/a	247,8	700,8	335,6	876	361	1051,2	392,7	1401,6
Leguminosas	kg/a	25,7	102,9	33,2	124,1	38,6	124,5	41,9	306,6
Tubérculos e raízes	kg/a	23,4	186,5	28,4	123,7	33,5	154,4	40	281,4
Verduras	kg/a	7	33,6	8,6	33,6	10,8	76,7	15,2	129,9
Legumes	kg/a	11,9	80,7	15,2	54,8	22,1	206,2	31,7	192,4
Frutas	kg/a	89,6	381,1	112,6	551,5	127,2	664,7	139,6	698,5
Peixe	kg/a	12,5	80,7	11,1	54,8	16,9	91,3	25,5	239,8
Outros frutos do mar	kg/a	0,9	4	1	5,8	1,3	8	2,2	36,9
Carnes vermelhas	kg/a	16,3	94,9	20,8	238,3	29	153,7	28,2	226,3
Aves	kg/a	17,8	108,4	23,6	105,5	26,6	105,1	29,5	289,1

5.1.3 Dietas selecionadas para compor os cenários

De acordo com os critérios estabelecidos, os vegetais de relevância para o cálculo de dose visando a população em geral, e, desta forma utilizados para compor a dieta dos indivíduos dos Grupos Regional-LVA e Regional-PVA foram:

- Milho
- Batata
- Feijão
- Banana
- Frutas
- Hortaliças folhosas
- Legumes (hortaliças frutosas)

O pasto foi também selecionado para compor as culturas vegetais a serem simuladas, devido a sua importância para a avaliação da contaminação de produtos de origem animal. Para as frutas, os valores dos parâmetros consideram, prioritariamente, aqueles que melhor representam as culturas de mangas e pêras, por serem as produções frutíferas mais relevantes na área de estudo.

Para o Grupo Local, os alimentos de origem vegetal, selecionados para representar a sua dieta foram:

- Tubérculos e raízes
- Verduras
- Legumes
- Frutas

Apesar de não atender especificamente os critérios estabelecidos, as verduras frescas foram incluídas por terem o potencial de serem responsáveis por uma fração significativa da dose, uma vez que a deposição direta em vegetais folhosos torna estes alimentos críticos, principalmente no primeiro mês após a deposição.

Desta forma, os alimentos selecionados para compor a base de dados relativos à população local incluem categorias gerais de vegetais, tais como tubérculos, verduras legumes e frutas, e, para a seleção de parâmetros para a simulação, foram selecionados alguns vegetais de referência. Estes vegetais foram escolhidos por apresentarem uma taxa de consumo elevada e produção significativa na área relacionada a este grupo (SCIENCE, 2002), de forma a nortear a seleção dos parâmetros radioecológicos necessários à

modelagem (Tabela 5.6).

A modelagem de pasto também foi incluída na simulação do grupo Local, de forma a ser possível verificar a relevância da via de exposição por ingestão de leite, em particular para o grupo populacional com até 1 ano de idade no momento da contaminação.

Tabela 5.6 Vegetais de referência para os alimentos selecionados para compor a dieta do grupo Local.

<i>Origem</i>	<i>Alimento</i>	<i>Vegetal de Referência</i>
Vegetal	Tubérculos e raízes	Aipim e cenoura
	Verduras	Couve e alface
	Legumes	Chuchu e abobrinha
	Frutas	Mamão e banana

As taxas de consumo de alimentos para o Grupo regional foram estabelecidas a partir das informações de consumo alimentar médio populacional disponibilizados pelo IBGE, considerando os grupos populacionais das cidades do Rio de Janeiro e de São Paulo, incluindo regiões rurais (IBGE, 1978) e áreas urbanas (IBGE 1998). Para o Grupo Local, foram considerados diferentes sub-grupos da população, com o consumo médio levantado para cada sub-grupo, em função da faixa etária (SCIENCE 2002a).

Os valores de taxa de consumo dos alimentos, selecionados para o grupo Regional são apresentados na Tabela 5.7. Esta dieta foi utilizada tanto para o grupo Regional - LVA, quanto para o grupo Regional-PVA. Os dados de origem são relativos a médias populacionais e, portanto, adequados para representar um grupo da população incluindo indivíduos de todas as faixas etárias e, portanto, os resultados obtidos podem ser associados a doses coletivas e, desta forma, podem ser usados em estudos de otimização.

Tabela 5.7 Taxas de Consumo de produtos vegetais, em kg por ano, para os Grupos Regional-LVA e Regional-PVA

<i>Alimento</i>	<i>taxas de consumo</i>
Milho	19,1
Batata	21,8
Feijão	27,4
Banana	10,2
Frutas	22,9
Folhosos	11,9
Legumes	36,0

Para o grupo Local foram definidas taxas de ingestão em função da faixa etária, conforme apresentado na Tabela 5.8. Os valores relativos ao grupo com mais de quinze anos podem ser, aproximadamente, associados a um valor médio populacional, dada a representatividade do número de indivíduos com mais de 15 anos em uma população normal.

O consumo de vegetais folhosos foi estimado a partir da relação de consumo por faixa etária fornecido pelo NCRP (1984), a partir do consumo indicado para crianças no levantamento efetuado pela ELETRONUCLEAR (SCIENCE, 2002a).

Tabela 5.8 Taxas de consumo de alimentos, em kg por ano, para o grupo Local, em função da faixa etária.

<i>Alimento</i>	<i>1 a 5 anos</i>	<i>5 a 10 a</i>	<i>10 a 15 a</i>	<i>>15a</i>
Tubérculos	23,4	28,4	33,5	40
Verduras	7,0	8,6	10,8	15,2
Leguminosas	25,7	33,2	38,6	41,9
Frutas	89,6	112,6	127,2	139,6

5.2 Dados relativos às práticas agrícolas

5.2.1 informações sobre tempo de crescimento, produtividade e períodos de plantio e colheita.

Uma vez selecionados os vegetais a serem simulados pelo modelo, foram efetuados levantamentos complementares de forma a tentar obter o maior número possível de informações relacionadas a culturas nacionais, preferencialmente relativas ao cultivo na área de interesse. Quando o valor específico de um parâmetro para a cultura não foi encontrado na literatura nacional, foi utilizado o valor genérico utilizado pelo ECOSYS para a categoria vegetal a que pertence o alimento.

Os parâmetros relativos às culturas agrícolas foram estimados a partir de informações disponíveis em documentos fornecidos pelo IBGE, EMATER e PESAGRO. Foram também levantados dados em publicações especializadas (ABRIL, 1990, 1991, 1992; 1992a; 1993). Os valores foram selecionados preferencialmente a partir de informações obtidas através da EMATER e da PESAGRO, que são específicas para os municípios incluídos na área do estudo.

Foi encontrada uma grande variabilidade e até inconsistências relacionadas a períodos de plantio e colheita citados na literatura. Acredita-se que devam existir diversos motivos que justifiquem as discrepâncias observadas, tais como diferenças relacionadas ao manejo agrícola, específico para cada local, espécie cultivada, que pode ser diferente para diferentes épocas do ano, além de outros aspectos relativos a micro-clima e tipo de solo, adubação, irrigação, entre outros.

Só como exemplo, o feijão pode ser plantado em 1, 2 ou 3 safras anuais, dependendo das espécies, que têm, inclusive, produtividades diferenciadas, conforme a espécie e conforme a época de plantio. Além disso, há informações que são genéricas, médias para um determinado estado ou município, enquanto que outras são específicas para uma área mais definida.

Para o feijão, o esquema tradicional de plantio prevê duas safras anuais. O plantio do feijão das águas é feito nos meses de agosto a outubro, e o do feijão de seca, de janeiro a março. Alguns agricultores utilizam também uma terceira safra, plantada nos meses de maio e junho, cujo sucesso depende de irrigação. No estado de São Paulo, o feijão de inverno apresenta uma produtividade de 960 kg ha⁻¹. Em relação à cultura tradicional, os rendimentos, para o Estado de São Paulo, são de 826 kg ha⁻¹ para o feijão das águas e 142 kg ha⁻¹ para o feijão de seca (ABRIL, 1990). Considerando 2 safras por ano, a produtividade seria 0,04 kg m⁻² (ABRIL, 1991).

A produtividade citada para o milho é de 4 a 5 toneladas por hectare. A cultura do milho tem a colheita dependendo do objetivo da plantação. O milho verde tem sua colheita 80 dias após a plantação. Já o milho seco, utilizado na indústria e no trato animal, tem sua colheita de 160 a 180 dias após o plantio. Para pipoca, também é utilizado o milho seco (ABRIL, 1991).

A mandioca deve ser plantada no início do período de chuvas e a colheita começa cerca de um ano depois, com coleta a longo prazo. Já a abóbora, pode ser plantada durante o ano inteiro; a colheita se dá 3 meses após o plantio, podendo ter uma produtividade de até 12 toneladas por hectare (ABRIL, 1991).

Dados relativos a produtividade e tempo de crescimento de hortaliças, obtidos de publicações da PESAGRO-RJ (1984), são apresentados na Tabela 5.9. Informações complementares, obtidas nos Guias Rurais, publicados pela editora Abril S.A. (ABRIL, 1990; 1991; 1992) estão apresentadas na Tabela 5.10.

Um quadro resumo com as informações relativas a épocas de plantio e colheita de alimentos, obtidos junto à PESAGRO – RIO (1984; 1995) e junto à EMATER (2004), é apresentado na Tabela 5.11. A produtividade estimada pelo IBGE foi apresentada nas Tabelas 5.1 e 5.2. A Tabela 5.12 apresenta a produtividade agrícola estimada pela EMATER, específica para cada um dos municípios da área de interesse.

Tabela 5.9 Produtividade e tempo de crescimento (PESAGRO, 1984)

<i>cultura</i>	<i>produtividade (t/ha)</i>	<i>tempo de crescimento(d)</i>
ABÓBORA	12 a 16	90 a 120
ABOBRINHA	6 a 8	60 a 90
AGRIÃO	8 a 10	
ALFACE	15 a 30	40 a 60
BATATA	10 a 30	90 a 110
BETERRABA	25	60 a 70
BRÓCOLOS	40	90 a 100
CEBOLINHA	20	120 a 150
CENOURA	20 a 30	80 a 120
COUVE	40 a 60	90 a 120
JILÓ	20 a 30	90 a 100
MILHO VERDE	*1	90 a 100
PEPINO	15 a 20	60 a 100
PIMENTÃO	10 a 20	90 a 100
QUIABO	15 a 18	60 a 70
REPOLHO	40	90 a 130
TOMATE	40 as 43	120 a 180
VAGEM	4 a 10	60 a 80

(*1) 100000 espigas por hectare

Tabela 5.10 Épocas de plantio de hortaliças (ABRIL, 1992)

<i>Espécie</i>	<i>Parte utilizada</i>			<i>Plantio em clima</i>		<i>Colheita d após plantio</i>
	<i>Folha</i>	<i>flor</i>	<i>tubérculo</i>	<i>temperado</i>	<i>quente</i>	
Agrião	X			Ano todo	abr/jun	60/70
Alface	X			Ano todo	Ano todo	60/80
Almeirão	X			Ano todo	mar/jul	50/60
Beterraba			X	Ano todo	Abr/jul	79/90
Brócolis		X		Ano todo	Ano todo	70/80
Cenoura			X	Ano todo	Ano todo	70/120
Chicória	X			Ano todo	mar/jul	68/80
Couve	X			Ano todo	Ano todo	70
Couve-flor		X		Ano todo	Ano todo	70/100
Espinafre	X			Ano todo	mar/jul	50/60
Nabo			X	Ano todo	mar/jun	60
Rabanete			X	Ano todo	Abr/jun	25/30
Repolho	X			Ano todo	Ano todo	80/10044
Rúcula	X			Ano todo	mar/ago	30/40

Tabela 5.11 Épocas de Plantio e Colheita de Hortaliças (PESAGRO, 1984; 1985; EMATER, 2004)

<i>cultura</i>	<i>meses</i>	<i>jan</i>	<i>fev</i>	<i>mar</i>	<i>abr</i>	<i>mai</i>	<i>jun</i>	<i>jul</i>	<i>ago</i>	<i>set</i>	<i>out</i>	<i>nov</i>	<i>dez</i>
ABÓBORA*	época de plantio								X	X	X	X	
	época de colheita	X	X	X								X	X
ABOBRINHA*	época de plantio					X	X	X	X	X			
	época de colheita						X	X	X	X	X	X	X
AGRIÃO*	época de plantio	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	época de colheita	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
AIPIM	época de plantio	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	época de colheita	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ALFACE*	época de plantio	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	época de colheita	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
BANANA	época de plantio	X	X	X					X	X	X	X	X
	época de colheita	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
BATATA*	época de plantio		X	X	X	x	x			X	X	X	
	época de colheita			X	X		x	x				X	X
BETERRABA*	época de plantio			X	X	X	X						
	época de colheita					X	X	X	X	X			
BRÓCOLOS*	época de plantio		X	X	X	X	X						
	época de colheita					X	X	X	X	X			
CAQUI	época de plantio	X	X	X					X	X	X	X	X
	época de colheita		X	X	X	X							
CANA	época de plantio	X	X	X					X	X	X	X	X
	época de colheita	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CEBOLINHA	época de plantio	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	época de colheita	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CENOURA*	época de plantio			X	X	X	X						
	época de colheita						X	X	X	X	X	X	
CHICÓRIA	época de plantio	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	época de colheita	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
COCO	época de plantio	X	X	X					X	X	X	X	X
	época de colheita	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
COUVE	época de plantio	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	época de colheita	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
FEIJÃO	época de plantio			X	X	X	X						
	época de colheita						X	X	X	X			
JILÓ*	época de plantio	X	X						X	X	X	X	X
	época de colheita	X	X	X	X	X						X	X
MILHO VERDE*	época de plantio	X	X	X					X	X	X	X	X
	época de colheita	X	X	X	X	X	X						X
PEPINO*	época de plantio	X	X	X	X				X	X	X	X	X
	época de colheita	X	X	X	X	X	X	X				X	X
PIMENTÃO*	época de plantio	X	X						X	X	X	X	X
	época de colheita	X	X	X	X	X						X	X
QUIABO*	época de plantio								X	X	X	X	X
	época de colheita	X	X	X								X	X
REPOLHO*	época de plantio		X	X	X	X	X	X	X				
	época de colheita					X	X	X	X	X	X	X	X
TOMATE*	época de plantio			X	X	X	X	X					
	época de colheita						X	X	X	X	X	X	X
VAGEM*	época de plantio	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	época de colheita	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

* PESAGRO, 1984

Tabela 5.12 Dados de produtividade de hortaliças no Estado do Rio de Janeiro (kg/m²) (EMATER, 2004)

<i>Tipo</i>	<i>Itaguaí</i>	<i>Mangaratiba</i>	<i>A dos Reis</i>	<i>B.Mansa</i>	<i>Paraty</i>	<i>Pirai</i>	<i>Resende</i>	<i>Rio Claro</i>	<i>V. Redonda</i>	<i>Media</i>	<i>desvio</i>
ABOBORA						2,14	1,30			1,72	0,60
ABOBRINHA	1,38			1,08	1,50		1,30			1,31	0,18
ACEROLA						0,21				0,21	
AGRIÃO	1,07								3,80	2,44	1,93
AIPIM	1,48	1,00	1,11		1,50	1,24	1,41			1,29	0,21
ALFACE	2,80	0,70		1,23		1,19	3,13		2,00	1,84	0,97
ARROZ							0,12			0,12	
BANANA	0,84		0,34		0,62	0,25	0,90	0,39		0,56	0,27
BATATA											
DOCE	2,20									2,20	0,00
BERINJELA	2,16				2,37					2,26	0,15
BETERRABA									2,00	2,00	
BROCOLOS							1,85		1,80	1,83	0,04
CANA	2,70	1,99			2,53	10,75				4,49	4,18
CAQUI		1,20								1,20	0,00
CEBOLINHA	2,88						3,15		3,11	3,05	0,15
CENOURA									2,00	2,00	0,00
CHICÓRIA				1,34			2,95		2,40	2,23	0,82
COCO VERDE	2,10	1,80	1,00							1,63	0,57
COUVE	3,66						4,90		5,00	4,52	0,75
FEIJÃO			0,12	0,07	0,05	0,12	0,08	0,09	0,10	0,09	0,03
GOIABA	2,20									2,20	
INHAME					1,17					1,17	
JILÓ	2,20		1,00		1,83	1,12	1,9		1,20	1,53	0,49
LIMÃO		1,40				1,14				1,27	0,18
MACADÂMIA						0,29				0,29	
MANDIOCA			1,45		1,46					1,45	0,00
MANGA	2,60									2,60	
MARACUJÁ	1,40	1,20			1,00					1,20	0,20
MAXIXE	0,64									0,64	
MILHO			0,14	0,25	0,15	0,14	0,3		0,20	0,19	0,05
MILHO											
VERDE	0,47	0,50								0,49	0,02
OL. FOLHAS	2,37									2,37	
OL. FRUTOS					2,35					2,35	
PALMITO			0,25		0,08					0,16	0,12
PEPINO							3,1			3,10	
PIMENTÃO	2,78				2,62	1,27				2,22	0,83
QUIABO	1,65		1,10	1,20	1,20	0,75	1,2		1,20	1,19	0,26
SALSA	2,56						3,4			2,98	0,60
TOMATE						4,83	4,6			4,72	0,16

Outros valores citados foram de 1,2 kg m⁻² para as culturas de milho, batata e aipim, e de 0,05 kg m⁻² para o feijão (WASSERMAN, M.A., informação pessoal).

As principais frutas consideradas neste estudo são a banana, o mamão, a manga e a pêra. Informações obtidas para estas frutas estão na Tabela 5.13.

Tabela 5.13 Informações sobre cultura de frutas (ABRIL, 1992a)

<i>Fruta</i>	<i>plantio</i>	<i>Espera</i>	<i>Safras/ano</i>	<i>Duração da safra</i>	<i>espaçamento</i>	<i>produção kg/planta</i>
Banana	Início das chuvas	12 a 18 meses	Ano todo	Ano todo	3 x 2,5m	10 a 20
Mamão	Ano todo	10 a 15 meses	Ano todo	Ano todo	2,0 x 3,0 m	15 a 30
Manga	Est. chuvosa	4 anos	1	2 meses	10 x 10 m	80 a 300
Pêra	inverno	5 anos	1	2 meses	6,0 x 6,0 m	50 a 90

O mamão é uma planta de clima quente porém tem necessidade de cerca de 150 mm de água por mês. Após o plantio, floresce em 4 a 6 meses. Os frutos amadurecem cerca de 5 a 6 meses após a floração. O primeiro fruto está pronto cerca de 12 meses após o plantio e a produção ocorre durante todo o ano, sendo maior nos meses de outubro a dezembro, e de março a junho. O espaçamento ideal para o mamoeiro é de 2 x 3 m. Cada pé de mamoeiro fornece frutos bons por cerca de 3 anos e pode dar 15 a 20 kg de fruta por ano. A produtividade pode variar com a espécie, sendo citados os valores de 30 a 75 t ha⁻¹ para o mamão tipo Formosa e de 26 a 32 t ha⁻¹ para o mamão papaia. São obtidos, em média, cerca de 45900 frutos por ha (IAC, 2004; ABRIL, 1990; 1992a)

A manga também é uma fruta de clima quente, necessitando cerca de 500 a 2500 mm de chuva por ano, devendo ser, de preferência, plantada na época de chuvas. A primeira colheita se dá cerca de 2 anos após o plantio, com produção econômica após 4 anos de plantio, e a árvore produz por muitos anos, sendo citado até o caso de mangueiras ainda produzindo com cerca de 100 anos de idade. Um fruto grande de manga pode pesar de 400 a 700 g, e uma árvore grande pode dar até 150 kg de frutos por ano. A produtividade média é de 36400 frutos por hectare, ou de 10 a 20 t ha⁻¹. O período de colheita depende da espécie, mas, em geral ocorre de novembro a março. O espaçamento ideal entre árvores é de 10 x 10 m (IAC, 2004; ABRIL, 1992a).

Para pêras, a produção começa a partir de 3 a 4 anos do plantio, atingindo a auge cerca de 6 a 15 anos. A árvore produz por 20 a 30 anos e o terreno tem que esperar 3 anos

para novo plantio. A principal safra de pêras ocorre no período de novembro a fevereiro, mas também depende da espécie. Por exemplo, a colheita para a pêra tipo Triumph vai de março a abril; para a pêra tipo Bartlett, a colheita é principalmente no período de dezembro a fevereiro; já para as pêras tipo Seleta e Tenra, a safra é no período de janeiro a fevereiro. Com 5 anos, a produção média é em torno de 10 kg por ano. Uma árvore madura bem tratada pode produzir de 40 a 50 kg de frutas por safra. O espaçamento ideal entre árvores é de 6 x 6 m. A produtividade média é de 10 a 30 t ha⁻¹ (IAC, 2004; ABRIL, 1992a).

As condições ideais para o cultivo de banana incluem muita insolação e solo arenoso-argiloso, com chuvas de cerca de 100 mm por mês. O plantio deve ser efetuado, de preferência no final do período seco e início das chuvas, com espaçamento entre árvores de 3 x 2,5 m. . A bananeira começa a produzir cerca de 12 a 18 meses após o plantio e a produção ocorre durante o ano inteiro, com produção mais significativa no período de setembro a fevereiro. A produtividade média é em torno de 1100 cachos com 5 a 80 kg de fruta, por hectare, por ano, dependendo da espécie (IAC, 2004; ABRIL, 1992a).

5.2.2. Caracterização das culturas vegetais para a simulação

O tempo de crescimento utilizado para cada uma das culturas vegetais incluídas nos cenários estudados estão apresentados na Tabela 5.14, junto a valores utilizados em duas versões do ECOSYS. As informações disponíveis relativas a épocas de plantio e colheita foram também consideradas na seleção dos valores selecionados para as simulações. Para o milho, foi selecionado um valor intermediário entre os valores sugeridos para milho verde e para milho seco. O valor para banana não foi encontrado e foi utilizado valor sugerido por VASCONCELLOS (informação pessoal). Para vegetais folhosos e legumes, foram selecionados valores médios citados para aqueles itens que mais contribuem para a dieta.

Cabe ressaltar que o tempo de crescimento para culturas permanentes se refere ao crescimento do produto comestível, enquanto que para aqueles das culturas temporárias, o tempo se refere ao crescimento da planta como um todo, do plantio à colheita.

Os valores de produtividade agrícolas selecionados para a simulação estão apresentados na Tabela 5.15. Foram também incluídos nesta Tabela os valores utilizados pelo ECOSYS, apenas para fins de comparação.

Os períodos de plantio e colheita utilizados nas simulações estão apresentados na Tabela 5.16. Estas informações são utilizadas no estabelecimento dos valores dos

parâmetros relacionados ao índice de área foliar e aos fatores de translocação, que são uma função do estágio de crescimento da planta no momento da ocorrência do evento de contaminação.

Tabela 5.14 Tempo de crescimento selecionados para a simulação dos vegetais componentes das dietas dos grupos populacionais estudados (dias).

<i>Cenários</i>	<i>Ecosys 87</i>	<i>Ecosys 93</i>	<i>Modelo</i>
<i>Grupo Regional</i>			
Milho	153	75	150
Batata	73	70	90
Feijão	(92)	(75)	120
Banana		(75)	90
Frutas (manga, pêra)		(75)	75
Folhosos	50		60
Legumes (em geral)	92	(75)	90
Pasto	47	(60)	50
<i>Grupo Local</i>			
Tubérculos:aipim	92	(75)	365
Verduras:	50		60
Legumes:chuchu	92	(75)	90
Frutas: banana		(75)	75
Mamão		(75)	

Os valores entre parêntesis são genéricos no ECOSYS para um grupo de vegetais e não específicos para os itens especificados

Tabela 5.15 Valores selecionados de produtividade agrícola para as culturas vegetais incluídas nas dietas dos grupos populacionais estudados (kg/m²)

	<i>Ecosys 87</i>	<i>Modelo</i>
<i>Grupo regional</i>		
Milho	1,5	0,5
Batata	3,0	1,0
Feijão	1,3	0,1
Banana	2,0	1
Frutas (manga, pêra)	2,0	2
Folhosos	2,0	3
Legumes (em geral)	1,5	1,5
<i>Grupo Local</i>		
Tubérculos:aipim	2,0	1,5
Verduras:couve	2,0	3,0
Legumes:chuchu	(1,5)	1,5
Frutas: banana/mamão	2,0	2,0

Tabela 5.16 Período de colheita das culturas selecionadas

Grupo	Cultura	jan	fev	mar	abr	mai	jun	Jul	ago	set	out	nov	dez
Regional	Milho	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX						XXX
	Batata	XXX			XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX			XXX
	Feijão	XXX			XXX	XXX	XXX					XXX	XXX
	Banana	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
	Frutas	XXX	XXX								XXX	XXX	XXX
	Folhosos	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
	Legumes	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX						XXX	XXX
	Pasto	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Local	Raiz e tub.	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
	Folhosos	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
	Legumes	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX						XXX	XXX
	Frutas			XXX	XXX	XXX	XXX				XXX	XXX	XXX

5.3 Parâmetros relacionados à contaminação do alimento

5.3.1 Índice de área foliar (IAF)

O índice de área foliar foi estimado a partir dos períodos estabelecidos para plantio e colheita dos alimentos, utilizando a aproximação linear utilizada pelo ECOSYS, com o valor máximo a partir de dados observados nas culturas nacionais. Para as frutas, foram utilizados valores máximos baseados na relação de velocidades de deposição em árvores e em pasto fornecidos pelo ECOSYS, e sendo considerada uma massa foliar constante ao longo do ano para as árvores frutíferas, que, considerando as plantas de referência utilizadas, no nosso clima, mantém uma copa permanentemente folhosa.

Foram encontrados valores de IAF levantados no Brasil apenas para as culturas de milho, batata e mandioca (WASSERMAN, comunicação pessoal). Para a alface, o crescimento da área foliar foi reportado pelo crescimento de biomassa, isto é, da produtividade. Estes valores são apresentados na Figura 5.1. O conjunto de valores incluído na modelagem dos alimentos é apresentado na Tabela 5.17. Não foram encontrados valores de IAF para a cultura de banana. O valor 15 utilizado é arbitrário, considerando apenas que as bananeiras e mamoeiros não têm uma massa foliar tão densa quanto, por exemplo, as mangueiras. Valores menores poderiam ser mais apropriados e este é um dos parâmetros que valeria a pena levantar para a área em questão, dada a relevância dos produtos tanto para a economia regional quanto para a dieta local.

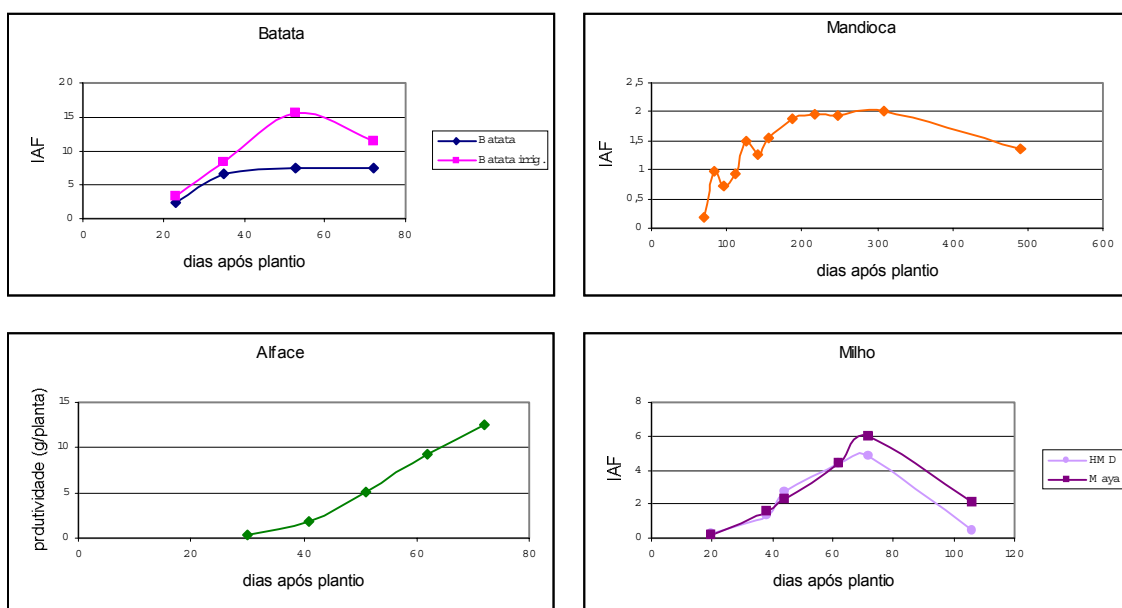


Figura 5.1 Índice de área foliar levantado no Brasil para batata, mandioca e milho e aumento da produtividade da alface (WASSERMAN *et alli.*, 2004)

Tabela 5.17 Índice de área foliar para as diferentes culturas, em função do dia do ano.

Culturas Regionais										
milho	Dia	1	151	181	182	211	241	301	365	
	IAF	5	5	4	0	0	1	5	5	
batata	dia	1	61	62	90	91	210	211	331	365
	IAF	6	6	4	4	6	6	0	6	6
feijão	dia	1	150	151	181	271	365			
	IAF	4	4	0	0	4	4			
banana	dia	1	365							
	IAF	15	15							
frutas	dia	1	365							
	IAF	17	17							
Folhosos	dia	1	365							
	IAF	5	5							
Legumes	dia	1	60	61	151	211	365			
	IAF	5	5	0	0	5	5			
Pasto	dia	1	365							
	IAF	5	5							
Culturas Locais										
raízes	dia	1	90	91	211	365				
	IAF	4	4	0	4	4				
folhosos	dia	1	365							
	IAF	5	5							
legumes	dia	1	60	61	121	211	365			
	IAF	5	5	0	0	5	5			
Frutas	dia	1	365							
	IAF	15	15							

5.3.2 Fator de transferência solo - planta

Existe um número muito grande de levantamentos de fatores de transferência solo-planta na literatura. Estes trabalhos são, periodicamente revisados e publicados de forma consolidada pela IAEA (1994) ou pela IUR (1987; 1989). Além destes trabalhos, foram também utilizados dados levantados para as culturas vegetais, específicos para o Brasil, onde se destacam os trabalhos de radioecologia desenvolvidos pelo IRD, dentro de projeto de pesquisa coordenada pela IAEA (FRISSEL 2002; WASSERMAN 1997; 1998; 1998^a; WASSERMAN *et alli.* 1996; 1999; 2001; 2002; 2002^a; 2004).

Para a seleção de valores de fatores de transferência, foram utilizados diversos critérios. O primeiro critério diz respeito ao tipo de solo, uma vez que já havia sido identificada a relevância deste parâmetro para o processo de transferência solo-planta (IAEA, 1994; WASSERMAN, 1999). Os principais tipos de solo presentes na área de estudo são apresentados na Figura 5.2 (IBGE, 2004).

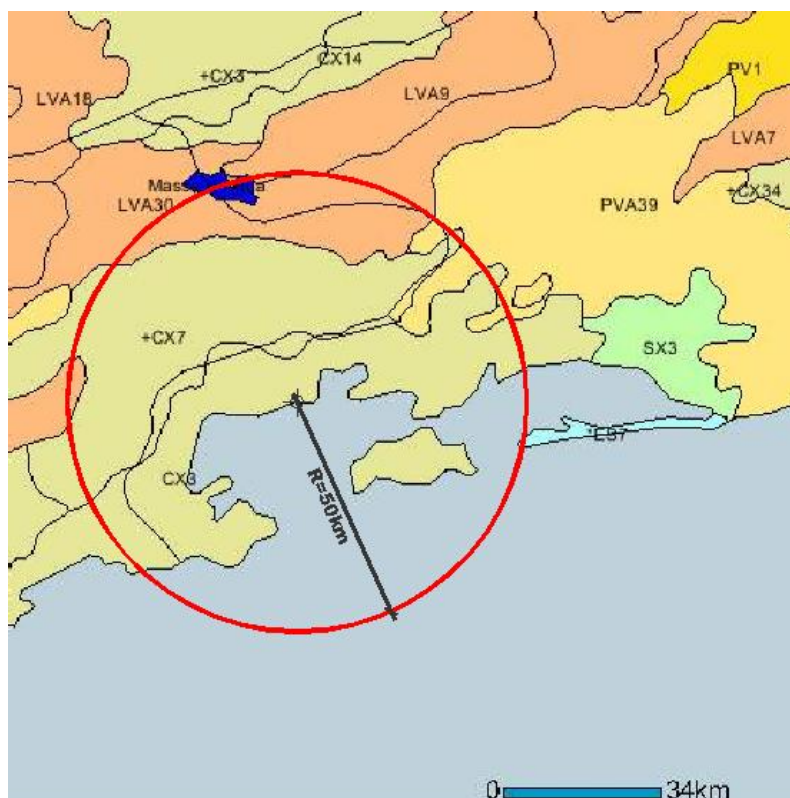


Figura 5.2 Principais tipos de solo presentes na área do estudo (IBGE, 2004)

Considerando as informações apresentadas na Figura 5.2, foram selecionados dados relativos aos 2 principais tipos de solo existentes na região. A maior parte do solo da região é classificado como CX, cambissolo háplico, sendo este um solo tipicamente não agrícola. Desta forma, para servir a culturas agrícolas, o solo tem que ser tratado e modificado.

Para o grupo Local,, relativo à área que possui principalmente este tipo de solo, foram selecionados valores baseados em experimentos efetuados em latossolo vermelho-amarelo (LVA), bastante típico de culturas brasileira. Estes valores seriam também adequados à simulação da área de interesse dentro do estado de São Paulo.

Parte do estado do Rio de Janeiro, no entanto, e, em particular, as regiões mais representativas para culturas agrícolas, tem solo do tipo PVA – argilossolo vermelho amarelo. Assim, um segundo conjunto de dados foi selecionado de forma a representar este tipo de solo, baseado em experimentos efetuados em argilossolos.

Os produtos para os quais existem dados significativos para a determinação de fatores de transferência para solos nacionais são o milho e o repolho, para os radionuclídeos ^{137}Cs e ^{90}Sr . Além disso, existem também dados para o ^{137}Cs em rabanetes (WASSERMAN *et alli*, 1996; 1999; 2001; 2002; 2002^a; 2004).

Segundo metodologia desenvolvida por grupo de estudos em pesquisa coordenada pela IAEA para avaliação de fatores de transferência em países tropicais, (FRISSEL *et alli.*, 2002), os valores para os outros tipos de alimentos foram estabelecidos por interpolação, de acordo com valores disponíveis para estes alimentos para solos de clima tropical, a partir da regressão linear dos pontos relativos aos dados daquele projeto e aqueles obtidos para os solos PVA (argilossolo) em LVA (latossolo vermelho amarelo), obtidos no IRD.

Os valores citados estão apresentados na Tabela 5.18 e a curva utilizada para o ajuste dos valores para os demais vegetais é apresentada, para o ^{137}Cs , na Figura 5.3.

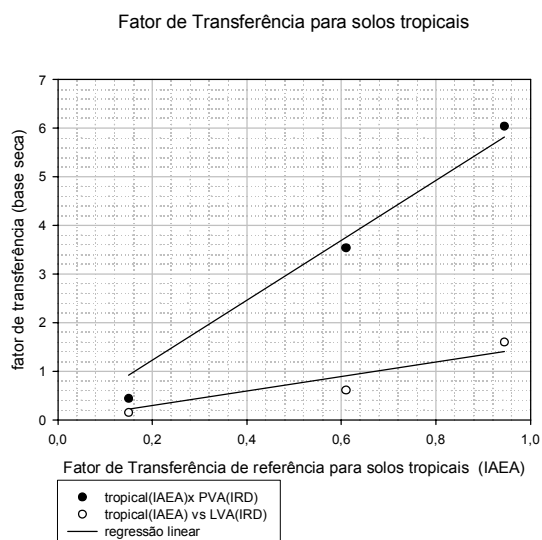


Figura 5.3 Regressão linear dos Fatores de transferência para o ^{137}Cs levantados para solos tropicais (WASSERMAN, 2004) e valores de referência da IUR para as culturas de referência (repolho e milho) e para rabanete.

Tabela 5.18 Valores de Fator de Transferência de referência da IUR (1987; 1989) para clima temperado e valores do projeto de Radioecologia Tropical (WASSERMAN, 1997; 1998; 1998^a; WASSERMAN *et alli.* 1996; 1999; 2001; 2002; 2002^a; 2004; FRISSEL, 2002), para solos tipo LVA e PVA, em (peso seco de solo / peso seco vegetal).

Cultura	^{137}Cs			^{90}Sr		
	IUR	LVA	PVA	IUR	LVA	PVA
Milho	0,06	0,15	0,44	0,74	0,02	0,08
Repolho		0,61	3,54		0,47	2,33
Hort.folhosas	0,06			1,17		
Rabanete		1,60	6,04			
Hortaliças raízes	0,08			0,52		
Hortaliças frutosas	0,08			0,52		
Mandioca	0,01					
Feijão	0,01	0,24		2,35		

Para estrôncio, foi aplicada a mesma metodologia porém comparando os valores obtidos no IRD/CNEN com os dados médios referenciados pela IUR- União Internacional de Radioecologia, para países de clima temperado. Para iodo, foram mantidos os dados utilizados pelo ECOSYS, uma vez que não há disponibilidade de dados para este elemento levantados no Brasil que permitam efetuar uma interpolação confiável. Para frutas, foi utilizado o valor adotado pelo ECOSYS, devido à semelhança observada entre os valores adotados naquele modelo e os dados relativos ao solo LVA. Para o solo PVA, foi aplicado

um fator 10 em relação aos valores do solo LVA, conforme observado para os demais produtos vegetais utilizados na regressão.

Como não há disponibilidade de valores de fator de transferência levantados no Brasil relativo ao ^{131}I , foi utilizado o valor de 0,1, em base úmida para a planta e seca para solo, conforme utilizado para a Alemanha no ECOSYS (MULLER & PROHL, 1993).

Para Cs e Sr, os valores estimados, também em base úmida para planta e seca para solo, conforme adequado ao modelo, de fatores de transferência utilizados nas simulações estão apresentados na Tabela 5.19. Os valores utilizados pelo Ecosys estão também apresentados na Tabela, para fins de comparação.

Tabela 5.19 Valores de Fatores de Transferência adotados no Modelo

Grupo	Cultura	^{137}Cs			^{90}Sr		
		ECOSYS	LVA	PVA	ECOSYS	LVA	PVA
Regional	milho	0,01	0,12	0,36	0,20	0,18	1,74
	batata	0,01	0,25	1,03	0,05	0,01	0,12
	feijão	----	0,33	1,58	----	0,58	5,67
	banana	----	0,32	0,81	----	0,03	0,27
	frutas	0,02	0,20	0,40	0,10	0,02	0,20
	folhas	0,02	0,06	0,35	0,40	0,04	0,34
	legumes	0,01	0,73	3,13	0,20	0,10	1,00
	pasto	0,05	0,05	0,05	0,50	0,50	5,00
Local	tubérculo	0,01	0,03	----	0,30	0,00	----
	verdura	0,02	0,09	----	0,40	0,04	----
	legumes	0,01	0,73	----	0,20	0,10	----
	frutas	0,02	2,00	----	0,10	0,02	----

5.3.3 Fatores de translocação

A determinação de fatores de translocação exige um extenso e complexo trabalho experimental, projetado especificamente com a finalidade de sua determinação. Desta forma, poucas informações podem ser encontradas na literatura nacional e internacional. No Brasil, um trabalho voltado para a determinação de fatores de translocação foi montado pela COLAB/CNEN. Neste trabalho, foram levantadas informações para as culturas de milho, batata e feijão, para o céσιο, estrôncio e cobalto (MACACINI *et alli*, 2002).

O milho, a batata e o feijão utilizados naquele estudo foram selecionados por representarem itens importantes da dieta brasileira, sendo que o milho e a batata têm a vantagem de também servirem como itens para possível comparação entre os dados brasileiros e os dados alemães, uma vez que estas duas culturas também são modeladas de

forma específica no modelo ECOSYS.

Para o milho, o valor máximo de translocação foi bastante semelhante ao valor utilizado pelo ECOSYS. Já para a batata, foram observados valores máximos bastante superiores àqueles usados pelo ECOSYS. Os valores máximos de fatores de translocação utilizados no Ecosys e aqueles obtidos no Brasil são apresentados na Tabela 5.20.

Como não existem outros resultados comuns aos dois trabalhos, foi utilizado, para o feijão, o valor obtido pela COLAB/CNEN, e para os demais vegetais, os dados utilizados pelo ECOSYS.

Tabela 5.20 Fatores de translocação máximos para o ^{137}Cs , para diferentes tipos de cultura agrícola, determinados na Alemanha (MULLER & PROEL, 1993) e no Brasil (COLAB/CNEN – MACACINI *et alli.*, 2002).

<i>Produto</i>	<i>FT máximo - Ecosys</i>	<i>FT máximo – COLAB</i>
Batata	0,15	0,43
Milho	0,1	0,1 (média)

5.4 Outras informações relevantes

Diversos parâmetros precisaram também ser levantados para ser possível adequar as informações disponíveis na literatura com os parâmetros do modelo. Por exemplo, enquanto que a metodologia de determinação de fatores de transferência solo-planta definido pela IUR (1987; 1989) recomenda que os resultados sejam reportados em peso seco, os dados de dieta da população estão em peso úmido. Os valores utilizados para a relação peso seco/peso úmido de interesse para este estudo foram provenientes de estudos realizados no IRD (VASCONCELLOS *et alli.*, 1999) e de tabelas de dados consolidados fornecidas pela IAEA (1994) e estão apresentados na Tabela 5.21.

Tabela 5.21 Conteúdo de massa seca de alimentos
(VASCONCELLOS *et alli*, 1999; IAEA, 1994)

produto	% peso seco	
	Brasil	IAEA
batata	16	21
mandioca	38	
milho	86	55
feijão	85	
banana	29	
alface	5	8
couve	12	
repolho		12
pasto		10

Os valores de produtividade muitas vezes estavam reportados em unidades de “frutos por m²” ou, no caso de bananas, em “cachos por m²”, enquanto que o valor a ser incluído no modelo deve estar em kg (peso úmido) por m². Poucos valores de peso por fruto ou por cacho foram encontrados na literatura e foi necessário completar esta informação através de medidas, efetuadas em mercados. Foram efetuadas pelo menos 5 medidas de cada espécie e, preferencialmente, de várias espécies diferentes dos mesmo vegetais. Os valores obtidos estão apresentados na Tabela 5.22.

Tabela 5.22 Resultado do levantamento de peso de frutas em supermercados

Fruta	valor	unidade	Tipo
Banana	141 +/- 10	g/fruta	Prata
	59 +/- 13	fr/cacho	
	8,3	kg/cacho	
Tangerina	198 +/- 38	g/fruta	
Manga	433 +/- 26	g/fruta	Tommy
Caqui	200 +/- 40	g/fruta	
Abacate	633 +/- 103	g/fruta	
Maracujá	169 +/- 77	g/fruta	
Pêra	160 +/- 18	g/fruta	Danjou
Pêra	200	g/fruta	Park triumph
Laranja	230 +/- 74	g/fruta	pêra
Limão	132 +/- 21	g/fruta	

Capítulo 6

LEVANTAMENTO DE DADOS

PRODUTOS DE ORIGEM ANIMAL

6.1 Seleção das dietas

A metodologia relativa ao levantamento de dados dos produtos de origem animal foi bastante semelhante àquela utilizada para produtos de origem vegetal, isto é, a primeira seleção foi baseada no levantamento sobre a população pecuária criada nos municípios na área de interesse, junto com informações sobre hábitos alimentares na área de interesse. As principais bases de dados utilizada nesta etapa foram os anuários estatísticos e estudos de despesa familiar do IBGE (1978, 1991, 1998, 2004a). Para o grupo Local, foram utilizadas as informações cedidas pela ELETRONUCLEAR (SCIENCE, 2002a).

As informações relativas à dieta foram apresentadas nas Tabelas 5.6 e 5.7.

6.1.1 Produção - Estado do Rio de Janeiro:

Os dados obtidos relativos aos rebanhos, produção de leite, aves e ovos, para o Estado do Rio de Janeiro, estão apresentados nas Tabelas 6.1 a 6.3.

A Tabela 6.4 mostra a contribuição da região de interesse para a produção estadual dos produtos de origem pecuária avaliados pelo IBGE. A produção da região de interesse é bastante significativa em relação à produção do estado para todos os produtos pecuários de interesse, com cerca de 13% da produção estadual de leite e significativa produção de aves, com menor relevância na produção de ovos.

Importante ressaltar que a produção caseira de aves e ovos para consumo próprio pode ser bastante relevante, visto a abrangência da produção em todos os municípios envolvidos na análise.

Tabela 6.1 Rebanhos na área de interesse no Estado do Rio de Janeiro (IBGE, 2004a)

<i>Município</i>	<i>bovino cabeças</i>	<i>Caprino cabeças</i>	<i>Suíno cabeças</i>	<i>Ovino cabeças</i>	<i>Porcas cabeças</i>
Angra dos Reis	3 800	92	210	0	53
Barra Mansa	25 800	450	2 000	300	800
Itaguaí	10 500	96	1 400	140	340
Mangaratiba	2 800	70	180	100	35
Parati	4 000	80	500	70	50
Piraí	18 480	434	4 620	166	468
Resende	28 200	450	1 850	0	400
Rio Claro	15 200	350	3 900	480	380
Volta Redonda	5 500	460	325	70	40
Área de interesse	114 280	2 482	14 985	1 326	2 566
ESTADO	1 866 061	25 617	164 314	17 882	29 637

Tabela 6.2 Produção de leite na área de interesse no Estado do Rio de Janeiro (IBGE,2004a)

<i>Município</i>	<i>leite 1000 litros</i>	<i>leite vacas</i>
Angra dos Reis	580	317
Barra Mansa	20 969	9 800
Itaguaí	2 870	2 050
Mangaratiba	371	350
Parati	546	440
Piraí	5 185	4 755
Resende	17 600	7 240
Rio Claro	9 500	6 500
Volta Redonda	670	1 100
Área de interesse	58 291	32 552
ESTADO	457 736	375 218

Tabela 6.3 Aves e ovos na área de interesse no Estado do Rio de Janeiro (IBGE, 2004a).

<i>Município</i>	<i>codorna</i>		<i>Frangos</i>	<i>Ovo</i>	
	<i>cabeça</i>	<i>galinha</i> <i>cabeça</i>		<i>ovo</i>	<i>galinha</i> <i>1000 dz</i>
Angra dos Reis	0	450	2 280	0	4
Barra Mansa	100 000	6 100	70 000	2 180	41
Itaguaí	28 000	11 000	39 000	406	113
Mangaratiba	0	1 800	3 500	0	18
Parati	0	3 500	8 700	0	33
Piraí	0	5 680	42 630	0	22
Resende	0	3 200	18 500	0	47
Rio Claro	500	8 000	2 100 000	6	84
Volta Redonda	20 000	8 500	3 000	500	128
Área de interesse	148 500	48 230	2 287 610	3 092	490
ESTADO	393962	1 483 013	12 417 359	7 814	19 926

Tabela 6.4 Contribuição da área de interesse para a produção do Estado do Rio de Janeiro (IBGE, 2004a).

<i>Produto</i>	<i>% na região de interesse</i>
Gado Bovino	6,12
Caprino	9,69
Ovino	7,42
Porcos	7,74
Aves Galinhas	3,25
Galos e frangos	18,42
Codornas	37,69
Produtos derivados: Leite	12,73
Ovo de Galinha	2,46
Ovo de codorna	8,66

6.1.2 Produção - Estado de São Paulo:

Os dados obtidos relativos aos rebanhos, produção de leite, aves e ovos, para o Estado de São Paulo, estão apresentados nas Tabelas 6.5 a 6.7.

A Tabela 6.8 mostra a contribuição da região de interesse para a produção estadual dos produtos de origem pecuária avaliados pelo IBGE. Por ser uma região relativamente pequena do estado, poucas criações são significativas para a produção estadual, embora,

por pertencerem a um estado de alta produtividade agropecuária, a produção seja, em alguns casos, superior às da área de interesse no estado do Rio de Janeiro.

Tabela 6.5 Rebanhos na área de interesse no Estado de São Paulo (IBGE, 2004a).

<i>Município</i>	<i>bovino cabeças</i>	<i>caprino cabeças</i>	<i>porcos cabeças</i>	<i>ovinos cabeças</i>	<i>porcas cabeças</i>
Arapeí	6 300	50	410	70	90
Areias	12 950	200	350	600	70
Bananal	12 500	250	1 100	350	250
Cunha	30 000	60	5 000	0	1 500
São José do Barreiro	10 800	280	950	250	280
Silveiras	12 200	150	1 000	210	230
Ubatuba	120	20	300	10	30
Área de Interesse	84 870	1 010	9 110	1 490	2 450
ESTADO	13068672	72920	1568725	232745	344647

Tabela 6.6 Produção de leite na área de interesse no Estado de São Paulo (IBGE,2004a)

<i>Município</i>	<i>leite 1000 L</i>	<i>Leite Cabeça</i>
Arapeí	3 030	2 500
Areias	4 850	3 050
Bananal	4 700	3 200
Cunha	14 000	13 000
São José do Barreiro	3 450	2 700
Silveiras	4 450	3 180
Ubatuba	81	50
Área de Interesse	34 561	27 680
ESTADO	1913516	1833150

Tabela 6.7 Aves e ovos na área de interesse no Estado de São Paulo (IBGE, 2004a)

<i>Município</i>	<i>codorna cabeças</i>	<i>galinha cabeças</i>	<i>galos cabeças</i>	<i>ovo</i>	
				<i>ovo codorna 1000 dz</i>	<i>galinha 1000 dz</i>
Arapeí	0	1 400	2 100	0	15
Areias	0	1 500	2 700	0	15
Bananal	250	5 100	9 800	2	38
Cunha	0	1 000	3 000	0	15
São José do Barreiro	0	3 200	5 600	0	28
Silveiras	0	2 300	5 500	0	20
Ubatuba	16 000	0	0	420	0
Área de Interesse	16 250	14 500	28 700	422	131
ESTADO	1318161	40706436	112096739	23201	794896

Tabela 6.8 Contribuição da área de interesse para a produção do Estado de São Paulo

<i>Produto</i>	<i>% na região de interesse</i>
Gado Bovino	0,65
Caprino	1,39
Ovino	7,42
Porcos	0,60
Aves Galinhas	0,04
Galos e frangos	0,03
Codornas	1,23
Produtos derivados: Leite	1,81
Ovo de Galinha	0,02
Ovo de codorna	1,82

Seguindo os critérios estabelecidos no Capítulo 3, os produtos de origem animal selecionados como de relevância, tanto por sua produção na área de interesse, quanto para a dieta regional, para compor a base de dados relativos à dieta do Grupo Regional foram:

- Leite
- Frango

Os produtos de origem animal considerados mais relevantes para o grupo Local foram:

- Aves
- Ovos

O levantamento de hábitos populacionais indica também ser relevante para a dieta da população do Grupo Regional a ingestão de peixes e outros alimentos de origem marinha, sendo que a sardinha poderia ser utilizada como o produto de referência, devido à sua relevância tanto em relação à taxa de consumo como em relação ao percentual da população que consome este alimento. Este tipo de alimento não foi, porém, incluído neste trabalho, uma vez que este se refere a um modelo terrestre, mas deve ser levado em conta no caso de uma avaliação geral das consequências de liberações acidentais pela via hídrica.

Os valores de taxa de consumo selecionados para os grupos regionais estão apresentados na Tabela 6.9.

Tabela 6.9 Taxas de Consumo para os Grupos Regional-LVA e Regional-PVA

<i>Alimento</i>	<i>taxas de consumo</i>	<i>unidade</i>
Leite	72,8	L/a
Frango	18,2	kg/a

Para o grupo Local foram definidas taxas de ingestão em função da faixa etária, conforme apresentado na Tabela 6.10. Os valores relativos ao grupo com mais de quinze anos podem ser, aproximadamente, associados a um valor médio populacional, dada a representatividade do número de indivíduos com mais de 15 anos em uma população normal.

Foi considerado o consumo de leite, em particular para a faixa etária de 0 a 1 ano, uma vez que é conhecida a relevância desta via de exposição para crianças. Apesar de não ser um item relevante para área em questão, dentro dos critérios estabelecidos, a existência de produção local justifica a investigação da relevância das doses em relação a outras vias de exposição e entre radionuclídeos, em particular para o caso de uma contaminação com ¹³¹I. A taxa de ingestão considerada foi de 290 g de leite fresco por dia.

Para os consumo de ovos, a taxa de ingestão de acordo com a faixa etária foi estimada a partir do consumo levantado para a média populacional (IBGE, 1988), ponderando pela razão entre as taxas de consumo de ovos verificada nos Estados Unidos (EPA, 2004), para cada faixa etária.

Tabela 6.10 Taxas de consumo de alimentos (g por dia) para o grupo Local, em função da faixa etária

<i>Alimento</i>	<i><1 ano</i>	<i>1 a 5 anos</i>	<i>5 a 10 a</i>	<i>10 a 15 a</i>	<i>>15a</i>
Aves	1	21	65	73	81
Ovos	6	16	18	13	11

6.2 Parâmetros do modelo

Uma vez selecionados os produtos de origem animal a serem simulados pelo modelo, foram efetuados levantamentos complementares de forma a tentar obter o maior número possível de informações relacionadas à produção nacional.

6.2.1 *Dieta animal*

A contaminação de produtos de origem animal depende tanto do tipo de animal, quanto do tipo de produto, além de hábitos locais associados à dieta do animal. O programa ECOSYS oferece a possibilidade de variar a dieta ao longo do ano, ou ter várias

dietas disponíveis para o mesmo tipo de animal. Isto é particularmente relevante nos países em que existe diferença significativa na alimentação do animal durante o período de inverno, em que não há pasto fresco e os animais são recolhidos a estábulos e alimentados com feno e rações produzidas a partir das produções regionais específicas.

Para o Brasil, foi considerado que o gado ingere pasto fresco durante todo o ano. Para a galinha, o consumo de interesse é proveniente das culturas locais de milho. Não é considerada contaminação da alimentação quando não há produto disponível. Tanto para vacas quanto para galinhas, foi também considerada a contaminação via ingestão de solo (BERESFORD & HOWARD, 1991; THORNTON & ABRAHAMS, 1983; AMARAL *et al.* 1995).

Não foram encontradas referências nacionais sobre as taxas de ingestão de pasto por animais. Valores de taxas de ingestão por animais encontradas na literatura são apresentados na Tabelas 6.11.

A taxa de ingestão de solo por vacas em pasto é citada como sendo cerca de 4 % da alimentação diária, em peso seco (IAEA. 1982). Para galinhas, foi encontrado o valor de 0,02 kg por dia (AMARAL *et alli.* , 1995)

Tabela 6.11 Taxa de ingestão de alimentos pelos animais (kg por d):

<i>Referência</i>	<i>Animal</i>	<i>alimento</i>	<i>Taxa de ingestão</i>
ECOSYS (MULLER & PROHL, 1993)	Vaca leiteira	Pasto fresco	70
	galinha	Trigo	0,09
IAEA, 1994	Vaca leiteira*	Pasto seco	16
AECB, 1985	Vaca leiteira	Pasto seco	10
	galinha	Trigo	0,1

*animal de grande porte

6.2.2 *Parâmetros dependentes do radionuclídeo*

Os principais parâmetros para a estimativa da concentração de atividade dos radionuclídeos em produtos de origem vegetal são as taxas de transferência biológica do radionuclídeo e os fatores de concentração para o produto animal de interesse. Apenas para galinhas e ovos foram encontrados valores adequados a produtos nacionais.

Os valores de fatores de concentração utilizados pelo ECOSYS estão apresentados na Tabela 6.12. Os valores de meia vida biológica e frações associadas estão apresentados na tabela 6.13. A tabela 6.14 apresenta os valores de fatores de concentração para galinhas e ovos, determinados no Brasil.

Tabela 6.12 Fator de transferência (d/L ou d/kg) (MULLER & PROHL, 1993)

<i>Produto</i>	<i>Césio</i>	<i>Iodo</i>	<i>Estrôncio</i>
Leite	0,003	0,003	0,002
Carne de frango	4,5	0,1	0,04
Ovo	0,3	2,8	0,2

Tabela 6.13 Meia-vida biológica, $T_{b,j}$ (d) e fração de contribuição a_j correspondente (MULLER & PROHL, 1993)

<i>Elemento</i>	<i>Produto</i>	a_1	$T_{b,1}$	a_2	$T_{b,2}$
Cesio	Leite	0,8	1,5	0,2	15
	Galinha	1	20	-	-
	Ovo	1	3	-	-
estrôncio	Leite	0,9	3	0,1	100
	Galinha	0,5	3	0,5	100
	Ovo	0,5	2	0,5	100
iodo	Leite	1	0,7	-	-
	Galinha	1	100	-	-
	Ovo	1	0,7	-	-

Tabela 6.14 Fatores de concentração (F_i) para a parte comestível do ovo, para a carne da galinha (peito e coxa) e para órgãos (coração, moela, rins e fígado) (d/kg), para ^{137}Cs (AMARAL *et alli.*, 1995)

<i>Tipo de animal</i>	<i>Ovo</i>	<i>Carne</i>	<i>Órgãos</i>
Black Indian	0,3	2,8	1,6
Leghorn	0,28	1,7	
Isa Brown	0,53	1,0	0,55

Em relação à dinâmica do radionuclídeo no animal, foram encontradas informações sobre a meia-vida efetiva para a descontaminação, tendo sido determinados os valores de T_{b1} para a carne do peito de 39 dias, e de 19 dias para carne da coxa (AMARAL *et alli.* 1995).

Para o leite, os parâmetros relativos à dinâmica da concentração foram os mesmos dados utilizados pelo ECOSYS (MULLER & PROHL 1993), pela ausência de dados específicos relacionados a animais de criações nacionais. Também para o iodo e estrôncio, todos os valores de parâmetros utilizados não foram levantados no Brasil. O conjunto de dados utilizado na simulação é apresentada na Tabela 6.15.

Tabela 6.15 Valores adotados para a simulação da dinâmica da concentração de produtos de origem animal.

<i>Animal</i>	<i>Produto</i>	<i>alimento</i>	<i>Ingestão diária</i>	<i>Fator de transferência</i>		
				<i>Cs</i>	<i>I</i>	<i>Sr</i>
vaca	Leite	Pasto fresco	10 kg _{seco} /d	0,003	0,003	0,002
vaca	Leite	solo	4 kg _{seco} /d	-	-	-
galinha	Carne	Milho	0,1 kg _{umido} /d	3,0	0,1	0,04
galinha	Ovo	Milho	0,1 kg _{umido} /d	0,3	2,8	0,2

Capítulo 7

RESULTADOS

O modelo fornece, como resultados, as concentrações, para cada radionuclídeo, nos diferentes alimentos considerados para a dieta dos grupos simulados, em função do tempo, bem com as doses, para cada radionuclídeo, devido à ingestão de cada alimento, para cada grupo, em função da faixa etária e em função do tempo.

Os resultados aqui apresentados visam, principalmente, verificar a relevância dos diversos aspectos relativos a cenários e parâmetros, de forma a permitir um direcionamento de estudos e levantamentos a serem feitos, que visam permitir, em uma situação de acidente, efetuar avaliações de dose mais realistas para um cenário específico, levando em conta as dificuldades relacionadas ao conhecimento específico do grande número de parâmetros associados a uma avaliação de contaminação de áreas rurais.

Desta forma, são apresentados resultados comparativos, relativos à concentração em alimentos cultivados em solos tipo LVA, relacionados a uma deposição de referência de 1 kBq m^{-2} , com aqueles cenários adotados na Alemanha (MULLER & PROHL, 1993). O efeito do tipo de solo é avaliado por comparação dos cenários Regional - LVA e Regional - PVA.

O cenário Local, que corresponde a uma área de cerca de 5 km em torno da central nuclear Almirante Álvaro Alberto, corresponde ao mesmo tipo de solo e diferencia do cenário de referência apenas pela dieta. Este cenário é apresentado principalmente para caracterizar as diferenças de dose para indivíduos de faixas etárias diferentes.

Os radionuclídeos considerados no estudo são ^{137}Cs , ^{131}I ou ^{90}Sr , e as simulações foram efetuadas considerando acidentes ocorrendo em diferentes datas, de forma a avaliar os efeitos da sazonalidade nas concentrações e nas doses.

Os resultados apresentados pretendem então avaliar a relevância de efetuar simulações específicas para o local, considerando os efeitos de uma deposição acidental em área agrícola a curto, médio e longo prazo, em relação a aspectos relacionados à sazonalidade, práticas agrícolas, tipo de solo, dietas, e faixas etárias dos grupos expostos.

7.1 Resultados de concentração em alimentos

Uma descrição sucinta do comportamento esperado para as curvas de concentração em vegetais, em função do tempo após a contaminação, é apresentada, de forma a facilitar a comparação dos diferentes cenários simulados.

Conforme o tipo de cultura, isto é, se é perene ou sazonal, ou se tem apenas um ou se tem 2 ou mais ciclos de colheita por ano, e conforme o estágio de desenvolvimento da cultura no momento em que ocorre o acidente, a curva de resposta de concentração pode ter diferentes aspectos para diferentes tipos de alimentos e para acidentes ocorrendo em diferentes épocas do ano. A aparência típica da resposta de concentração de uma cultura cujo cultivo e colheita ocorra ao longo de todo o ano, como é o caso de pasto ou vegetais folhosos, tem um comportamento que pode ser observado na Figura 7.1.

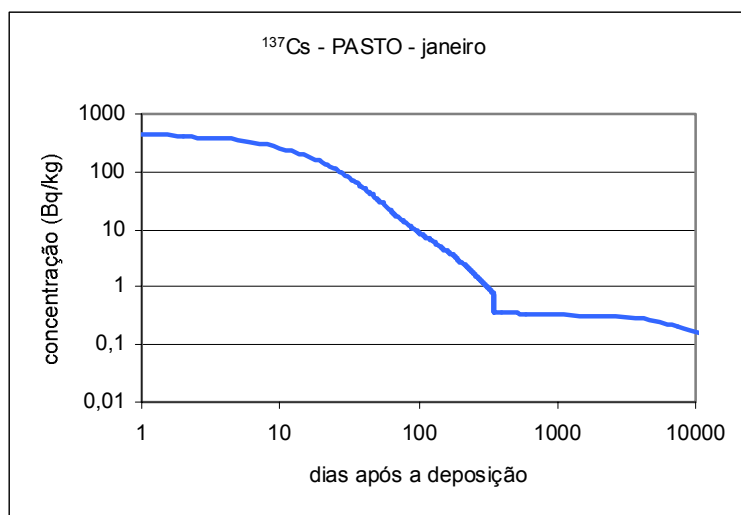


Figura 7.1 Concentração de ^{137}Cs em pasto após um evento de deposição de 1 kBq m^{-2} em área gramada, no mês de janeiro.

Observa-se que nos primeiros dias, a contaminação é bastante elevada em relação à contaminação de referência (1 kBq m⁻² de solo gramado). Esta contaminação se deve principalmente à deposição foliar, e é elevada devido ao alto índice de área foliar observado para pasto em relação a uma área gramada. A partir da deposição inicial, a concentração nas folhas decai com uma meia vida biológica em torno de 14 dias, o que pode ser observada, para o caso do ¹³⁷Cs, no período de cerca de 100 a 150 dias após o acidente. Na Figura 7.2, pode-se observar o efeito da meia-vida radioativa do iodo, que é em torno de 8 dias. Após um período de 100 a 150 dias, a concentração nas folhas decaiu por um fator de cerca de 8 ordens de grandeza.

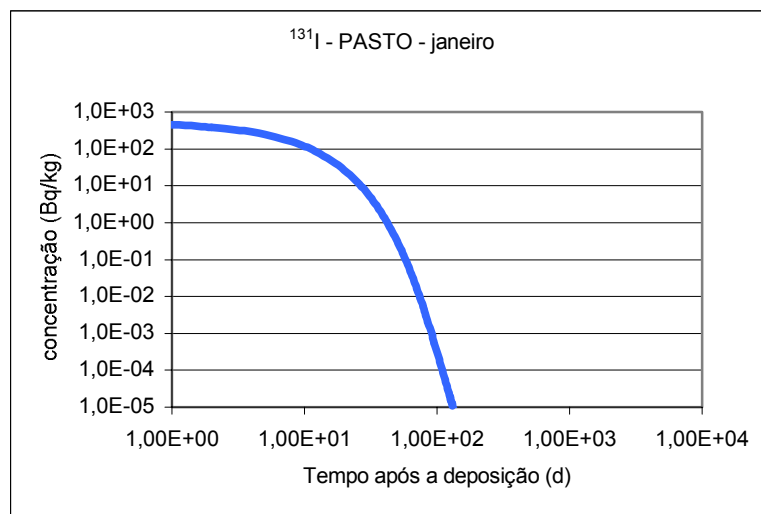


Figura 7.2 Concentração de ¹³¹I em pasto após um evento de deposição de 1 kBq m⁻² em área gramada, no mês de janeiro.

Após cerca de 100 dias, a planta entra em equilíbrio com o solo e no período de 100 a 150 dias após a contaminação, os processos de interação solo-planta passam a ser dominantes na contaminação da planta. A longo prazo, a contaminação da planta acompanha então a contaminação do solo, que decai com uma meia-vida que resulta da soma de dois tipos de perda, a perda por processos de migração para fora da zona da raiz, e o decaimento radioativo, característico de cada radioisótopo.

Verifica-se que, para o iodo (Figura 7.2), devido à sua meia-vida curta, a contaminação do solo, leva a atividades residuais extremamente baixas, não tendo relevância radiológica para a ingestão após 3 ou 4 meses do evento de contaminação.

Em relação aos vegetais para os quais os alimentos correspondem a partes não folhosas, o comportamento da contaminação é muito dependente da época do ano em que ocorre a contaminação, devido não só ao estágio de crescimento da planta e, portanto, da área foliar disponível para a deposição, mas também ao tempo necessário para ocorrer a translocação, a partir do material depositado nas folhas, até a parte comestível da planta.

Na Figura 7.3 vemos um exemplo, relacionado a uma contaminação por ^{137}Cs , em uma área plantada com milho.

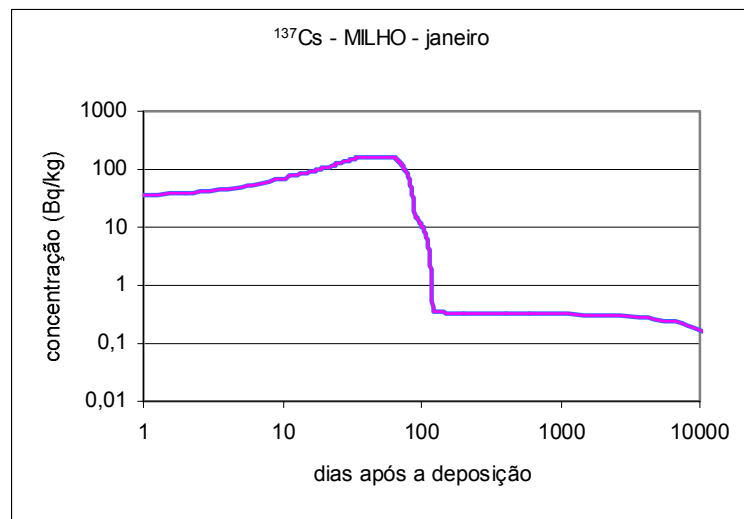


Figura 7.3 Concentração de ^{137}Cs em milho após um evento de deposição de 1 kBq m^{-2} em área gramada, no mês de janeiro.

Observa-se que, após a contaminação inicial, ocorre um aumento da concentração no milho, devido ao processo de translocação do material depositado nas folhas, até a planta atingir o equilíbrio em relação ao material depositado, quando passa a ter um comportamento dominado pela perda devido ao intemperismo.

No caso da contaminação ocorrer antes do período de colheita, apenas na época da colheita vai aparecer contaminação no produto e, dependendo da época, apenas será observada a contaminação do alimento devido à interação com o solo contaminado, conforme apresentado na Figura 7.4, relativa a uma deposição em plantação de milho durante o mês de julho.

Outro aspecto de comportamento a ser observado nas curvas de resposta de concentração diz respeito a culturas que possuem mais de um ciclo de plantio durante o ano, quando a contaminação ocorre em período em que a deposição foliar afeta dois ciclos

de cultivo, conforme apresentado na Figura 7.5, para o caso da batata, em relação a um evento de deposição em janeiro.

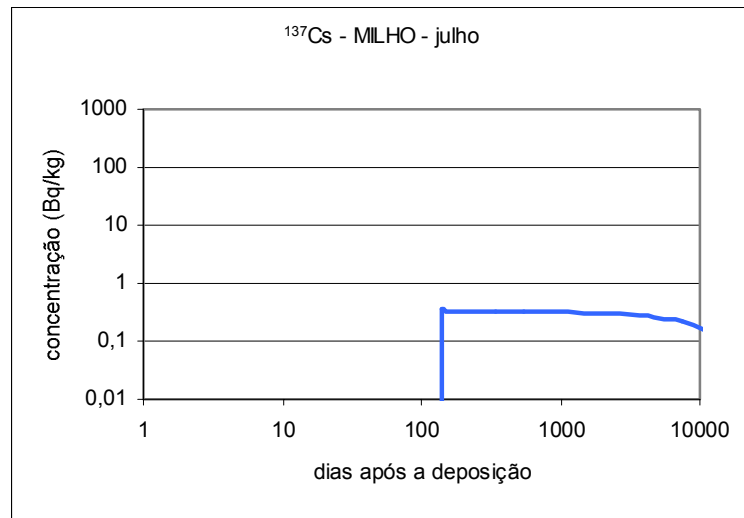


Figura 7.4 Concentração de ^{137}Cs em milho após um evento de deposição de 1 kBq m^{-2} em área gramada, no mês de julho.

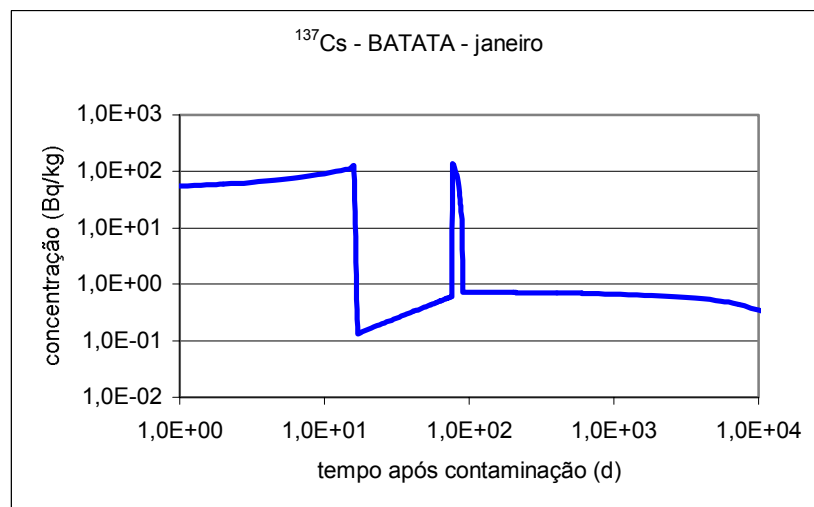


Figura 7.5 Concentração de ^{137}Cs em batata após um evento de deposição de 1 kBq m^{-2} em área gramada, no mês de janeiro.

Um tipo diferente de curva ocorre ainda quando existe estocagem de alimento para consumo em época em que não há colheita. Esta é uma situação típica, por exemplo, de rações para animais em países de clima frio, em que o material para alimentar o gado no

inverno deve ser colhido ao longo da primavera e do verão. Um exemplo da curva de resposta de concentração neste tipo de alimento é mostrado na Figura 7.6.

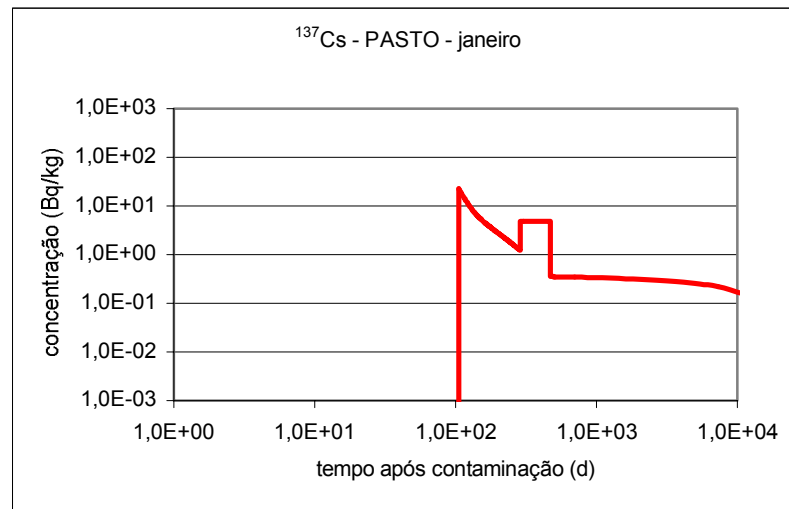


Figura 7.6 Concentração de ^{137}Cs em pasto na Alemanha, após um evento de deposição de 1 kBq m^{-2} em área gramada, no mês de janeiro.

Neste exemplo, a colheita é iniciada 100 dias após a contaminação e segue até o final do verão. No inverno seguinte, o gado é alimentado por um produto que foi colhido durante o período de colheita anterior. Após o final do inverno, o gado volta ao pasto, que, neste momento encontra-se contaminado apenas devido à contaminação do solo.

7.1.1 Resultados para o cenário de referência

Alguns resultados para o cenário de referência, para deposição acidental nos meses de janeiro e junho, utilizados para caracterizar verão e inverno no Brasil, são apresentados na Figura 7.7. Observa-se que as curvas, conforme apresentado anteriormente, de um modo geral, apresentam 2 comportamentos distintos.

O primeiro comportamento corresponde ao período inicial, isto é, cerca de 2 a 3 meses após a deposição acidental, onde o principal mecanismo de contaminação dos alimentos decorre da deposição foliar; o segundo comportamento corresponde ao período subsequente, acompanhado até 50 anos após a deposição inicial, onde os mecanismos de transferência solo-planta são os principais responsáveis pela contaminação, a longo prazo, dos alimentos.

Para pasto e hortaliças folhosas, pode ser observado que existe pouca diferença na concentração de atividade, tanto a curto quanto a longo prazo, em função do momento em que ocorre a contaminação, uma vez que as duas culturas são consideradas perenes nesta região do país. As diferenças observadas entre o pasto e as hortaliças folhosas estão relacionadas a diferenças no índice de área foliar, para a fase inicial, e diferenças entre os respectivos fatores de transferência, para a contaminação residual de longo prazo.

Já para o milho e para legumes, as diferenças sazonais são marcantes. Para uma deposição no inverno, não há contaminação até o momento em que os produtos estão prontos para a colheita, enquanto que, para uma deposição no verão, a deposição foliar tem uma contribuição significativa na contaminação do alimento já em fase de crescimento e colheita.

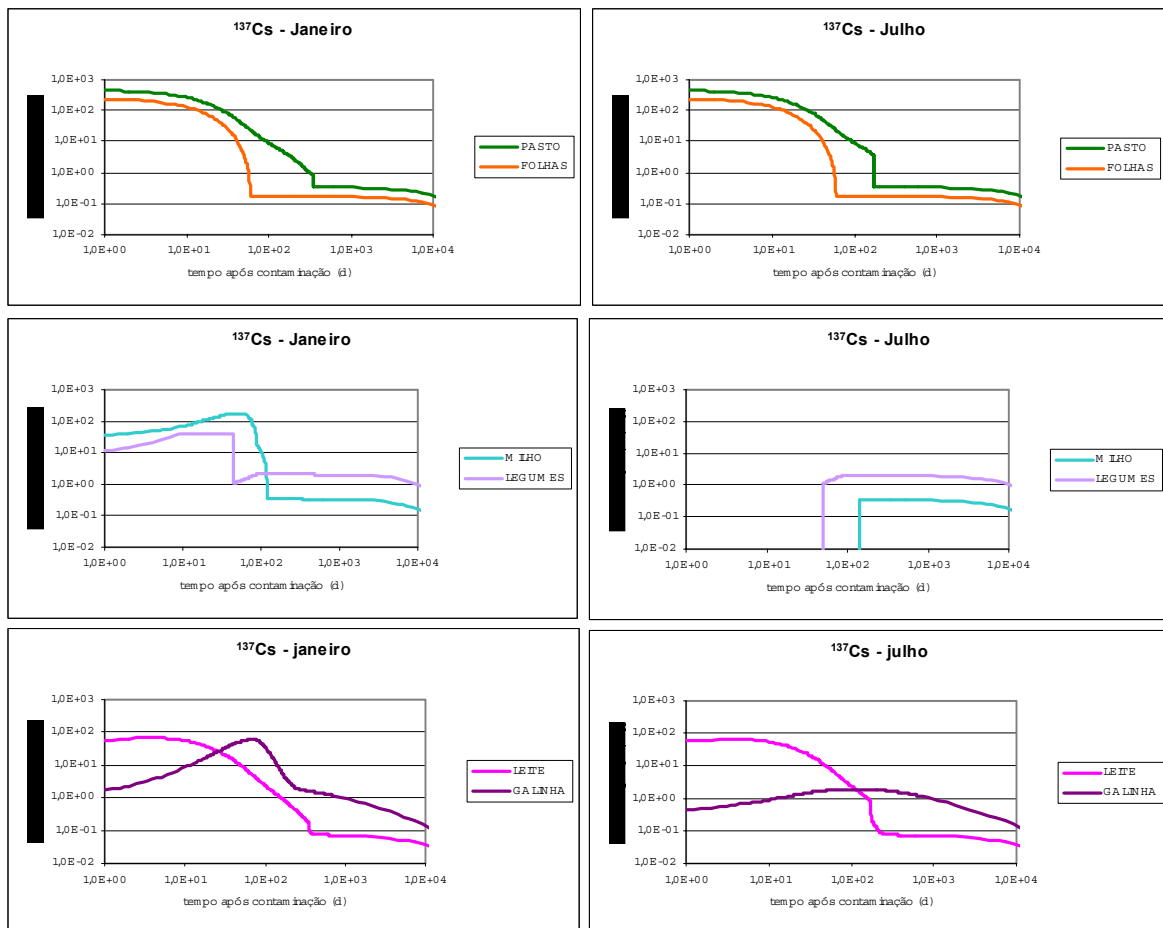


Figura 7.7 Concentração de ^{137}Cs em alguns alimentos cultivados na região de interesse, para acidentes ocorridos em janeiro (verão) e julho (inverno), para o cenário de referência.

A contaminação dos produtos de origem animal acompanha a contaminação do alimento do animal. Desta forma, a concentração no leite segue a contaminação do pasto e a concentração na carne de galinha acompanha a variação da concentração no milho. Para a fase inicial de uma contaminação em julho, a concentração na carne de galinha acompanha apenas a concentração do solo, também considerado como sendo ingerido pelo animal.

Resultados obtidos para o ^{90}Sr estão apresentados na Figura 7.8, onde pode ser observado o mesmo tipo de comportamento observado para o ^{137}Cs , para o pasto e para o milho, bem como a relação destes com a contaminação subsequente do leite e da galinha.

Para o ^{131}I , apresentado na Figura 7.9, apenas o termo relativo à deposição foliar vai apresentar uma contaminação significativa para vegetais, devido à curta meia-vida deste radionuclídeo, de cerca de 8 dias. A incorporação pelo solo, portanto, não é um processo relevante para este radionuclídeo.

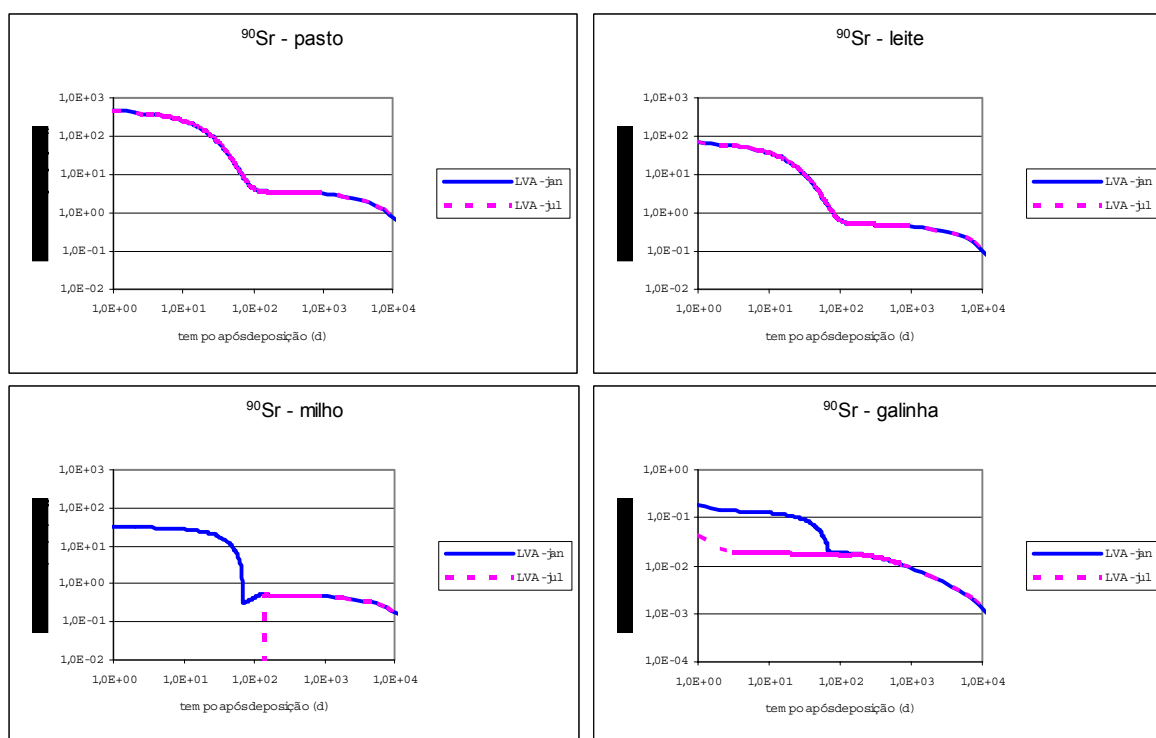


Figura 7.8 Concentração de ^{90}Sr em alimentos cultivados na região de interesse, correspondendo a acidentes ocorridos em janeiro e julho - cenário Regional – LVA.

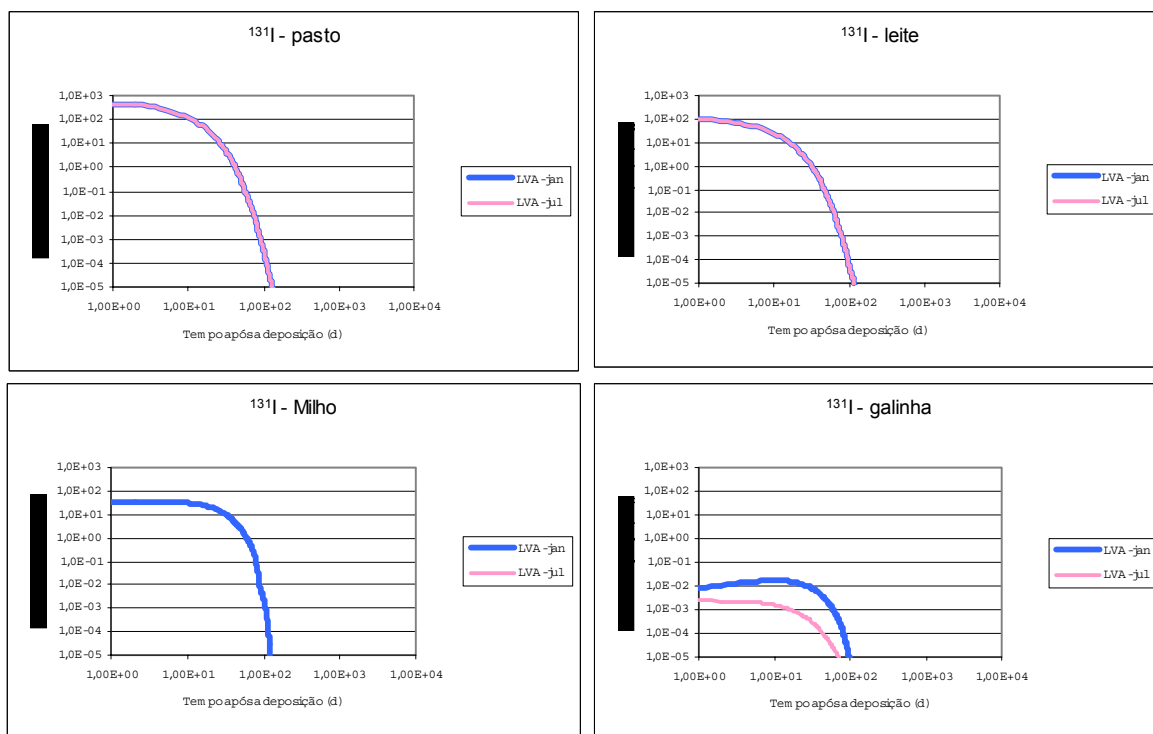


Figura 7.9 Concentração de ^{131}I em alimentos cultivados na região de interesse, para acidentes ocorridos em janeiro (verão) e julho (inverno) - cenário de referência.

7.1.2 Comparação de resultados obtidos para o Brasil e para a Alemanha

A Figura 7.10 apresenta os resultados de concentração de ^{137}Cs em vegetais folhosos, devido a um acidente ocorrido no mês de abril. Podem ser observados os efeitos das diferenças entre os índices de área foliar, nos primeiros meses após o acidente, e diferenças entre os fatores de concentração adotados na Alemanha e aqueles estimados para o Brasil, na concentração do alimento.

Na fase inicial, a concentração prevista para a Alemanha é maior do que aquela prevista para o Brasil devido ao maior índice de área foliar observado nas culturas alemãs, enquanto que, a longo prazo, os efeitos do maior fator de transferência solo-planta observado para solos brasileiros leva a uma maior contaminação residual do vegetal.

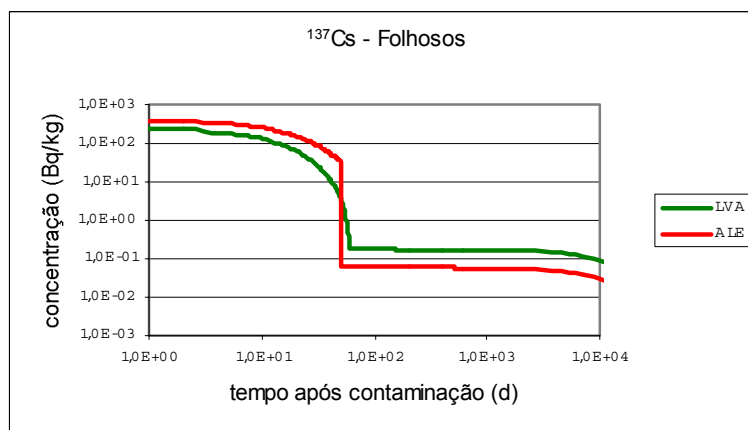


Figura 7.10 Atividade de ^{137}Cs em vegetais folhosos, após um evento de contaminação ocorrendo no mês de abril.

As diferenças nos resultados de concentração em alimentos podem também refletir diferentes práticas agropecuárias, como, por exemplo, no caso da concentração no leite, onde a única diferença entre as modelagens utilizadas para os dois locais se refere à prática de estocagem de pasto para a alimentação do gado durante o inverno, considerado para a Alemanha, mas não considerada no Brasil (Figura 7.11). O resultado determinado para a concentração do leite (Figura 7.12) segue a diferença da concentração no alimento do animal. Alguns dos resultados refletem as diferenças de práticas locais como, por exemplo, os períodos de plantio e colheita, conforme apresentado na Figura 7.13, para batatas.

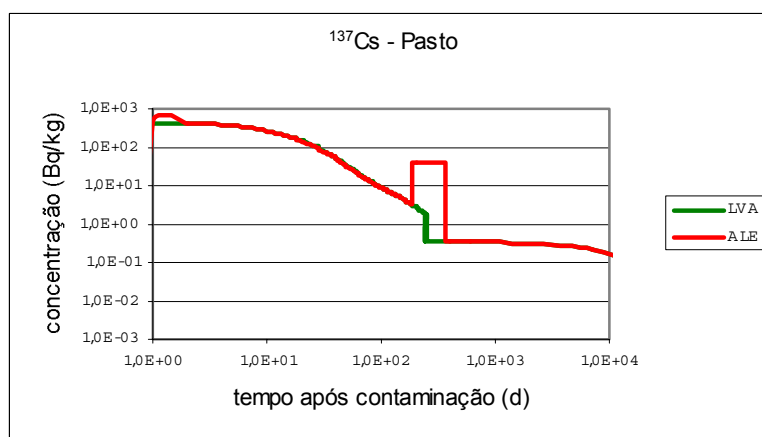


Figura 7.11 Concentração de ^{137}Cs em pasto, relativa a uma deposição de referência ocorrida no mês de abril.

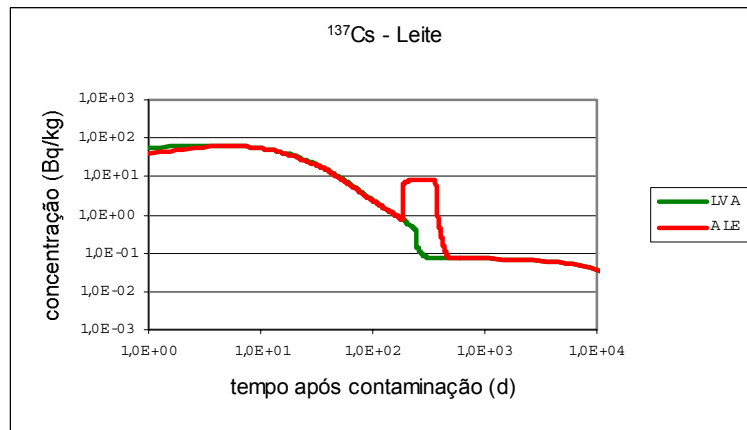


Figura 7.12 Concentração de ^{137}Cs em leite, relativa a uma deposição de referência ocorrida no mês de abril.

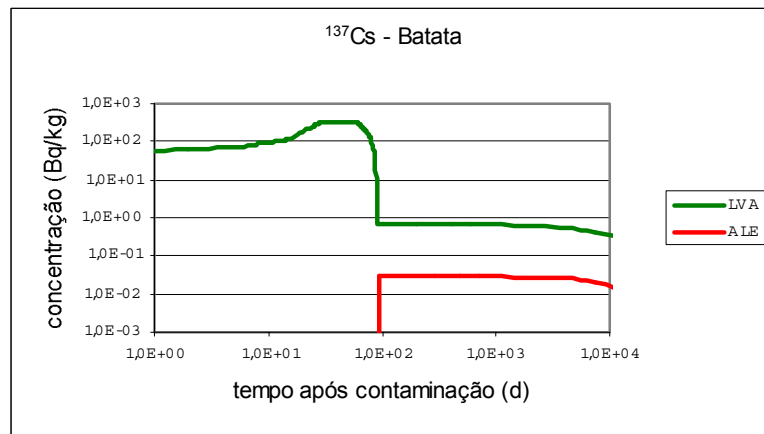


Figura 7.13 Previsão da concentração de ^{137}Cs em batatas para a Alemanha e para o Brasil, relativa a uma deposição de referência ocorrida em abril.

Desta forma, verifica-se que uma comparação sistemática entre resultados obtidos no Brasil e na Alemanha, deveria ser efetuada em base sazonal, isto é, a comparação deveria ser efetuada em relação às estações, e não aos meses, que se referem a condições climáticas opostas, uma vez que o objetivo da comparação é apenas o de avaliar se existe a necessidade de utilizar parâmetros específicos para um determinado local.

Uma comparação de resultados de concentração em vegetais no Brasil e na Alemanha, para alimentos comuns aos dois cenários, são apresentados, para os três radionuclídeos considerados neste estudo, nas Figuras 7.14 a 7.17.

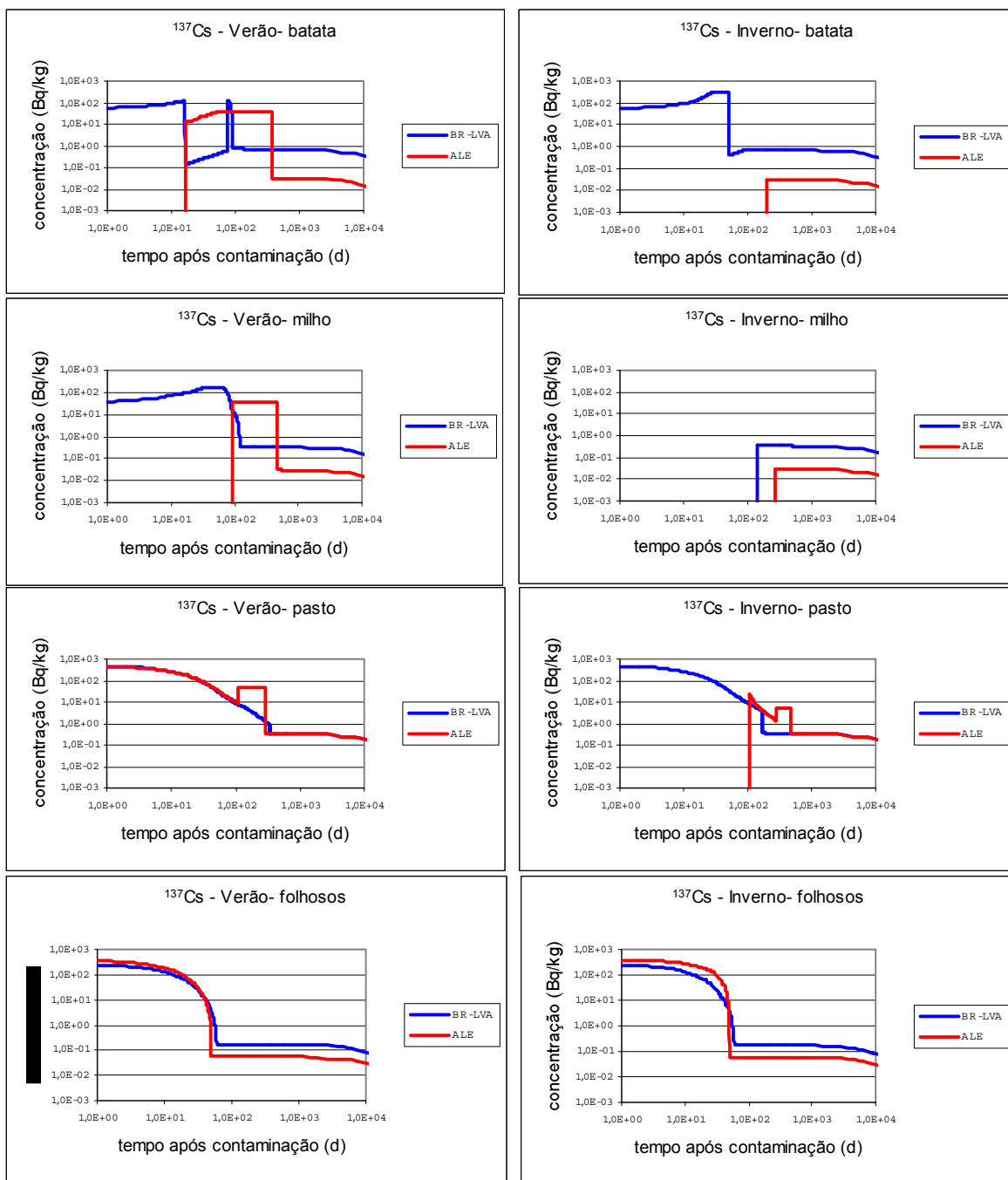


Figura 7.14 Resultados comparativos para o cenário de referência e o cenário para a Alemanha utilizado pelo ECOSYS, relativos a contaminações acidentais por ^{137}Cs , no inverno e no verão, para batata, milho, pasto e hortaliças folhosas.

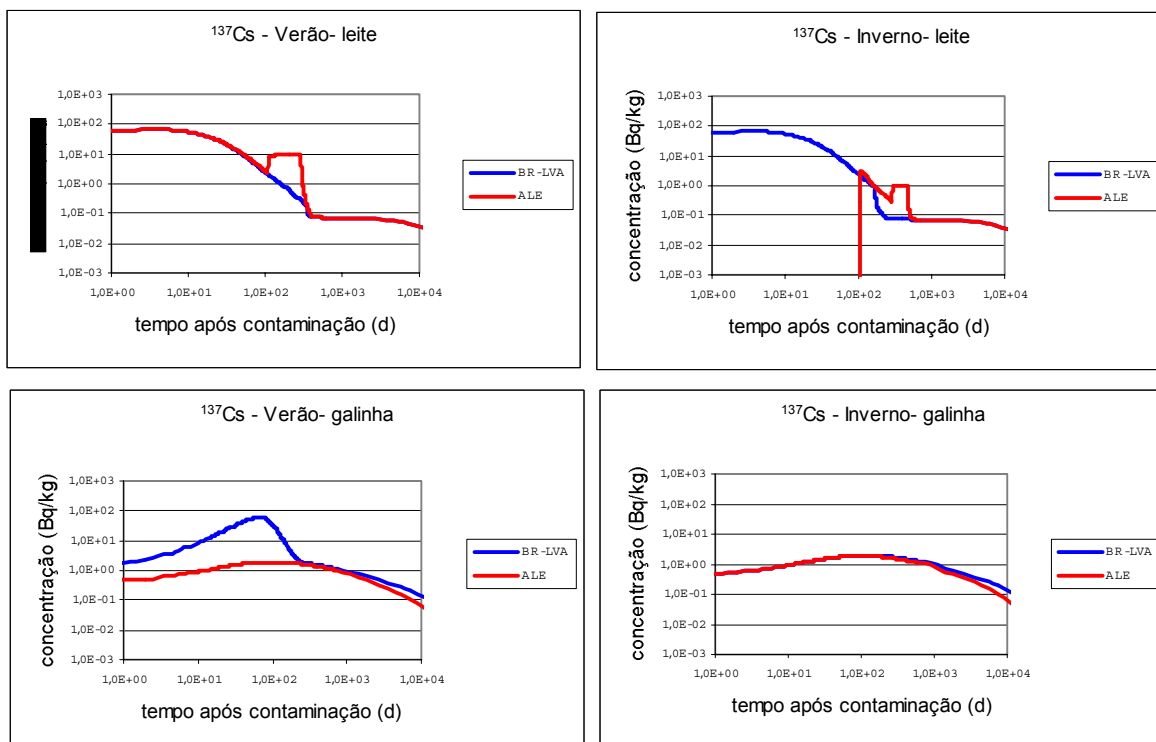


Figura 7.15 Resultados comparativos para o cenário de referência e o cenário para a Alemanha utilizado pelo ECOSYS, relativos a contaminações acidentais por ^{137}Cs , no inverno e no verão, para produtos de origem animal.

Destas figuras observa-se a grande diferença existente entre as respostas previstas para a concentração de alimentos, em função tanto das diferentes práticas agro-pecuárias entre os dois países, como do radionuclídeo envolvido no acidente. Para uma mesma cultura, em um mesmo momento, podem existir diferenças significativas de concentrações nos alimentos para radionuclídeos diferentes e, portanto, a incorporação pelas pessoas dependerá da composição observada na área afetada e pode ser bastante variável, dada a variabilidade associada a qualquer processo de deposição a partir de material na atmosfera.

Desta forma, pode-se concluir que, na ocorrência de um evento de contaminação acidental de uma área agrícola, as conseqüências a curto, médio e longo prazo, vão depender do tipo de cultura presente na área afetada, do estágio de crescimento dos vegetais e, portanto, da época do ano em que ocorre a contaminação, de características específicas de manejo agro-pecuário, principalmente em relação aos produtos de origem animal, mas também do termo fonte envolvido no acidente. A composição específica da deposição na área afetada deverá ser um fator relevante na estimativa das doses para os grupos populacionais envolvidos.

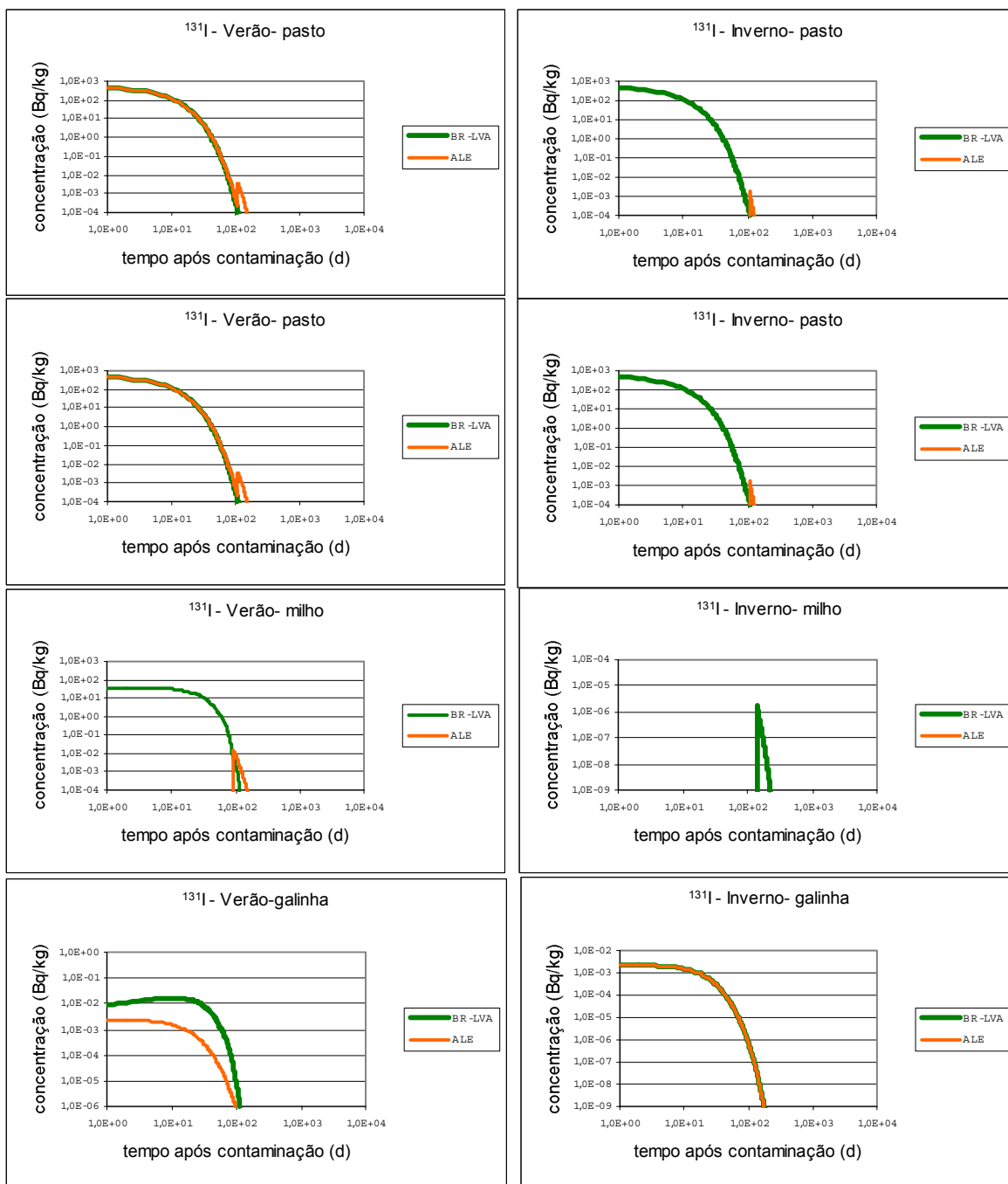


Figura 7.16 Resultados comparativos para o cenário de referência e o cenário para a Alemanha, utilizado pelo ECOSYS, relativos a contaminações acidentais por ^{131}I , no inverno e no verão, para produtos de origem vegetal e animal.

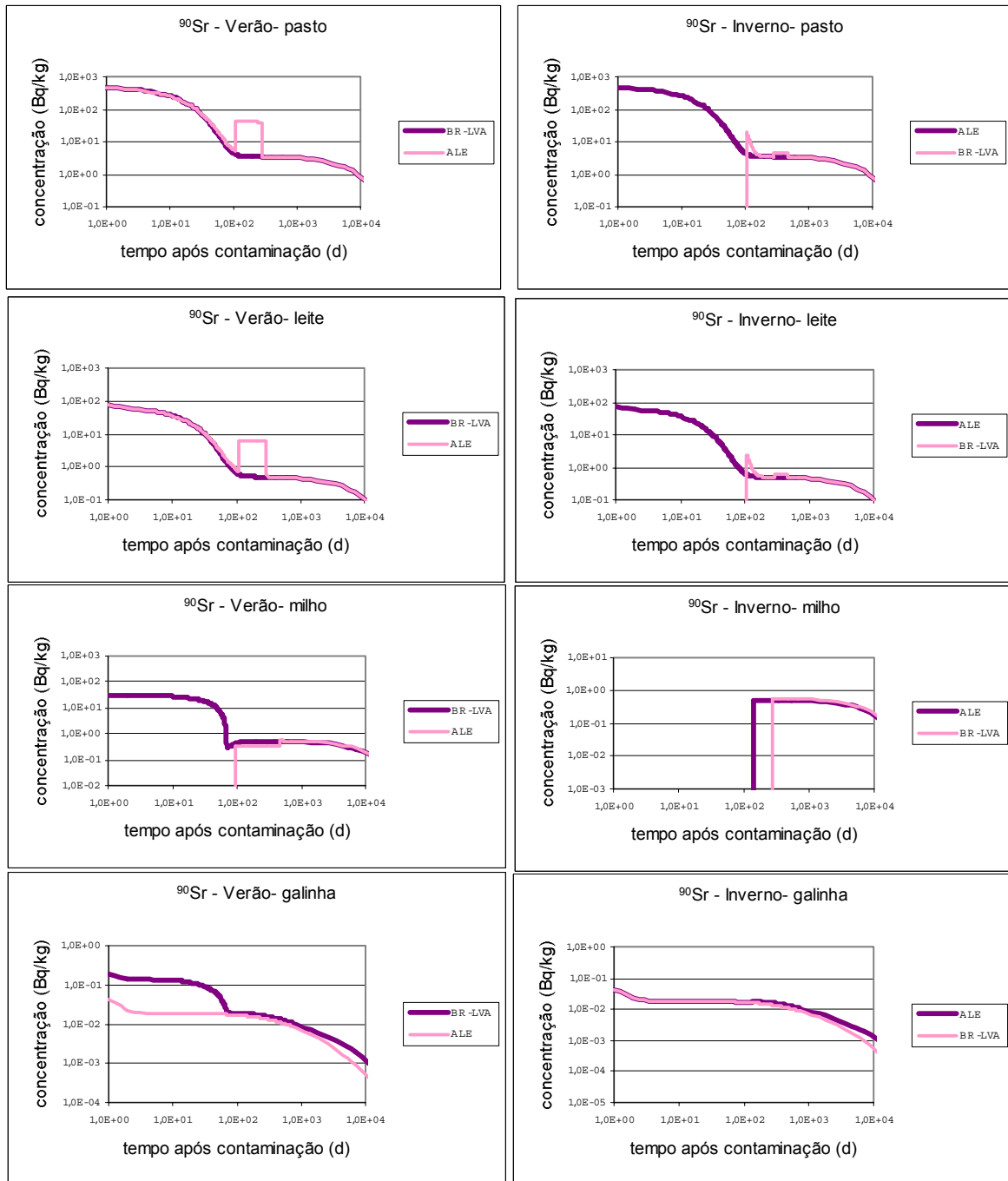


Figura 7.17 Resultados comparativos para o cenário de referência e o cenário para a Alemanha, utilizado pelo ECOSYS, relativos a contaminações acidentais por ^{90}Sr , no inverno e no verão, para produtos de origem vegetal e animal.

7.1.3 Comparação dos cenários LVA e PVA – efeito do tipo de solo

O tipo de solo pode afetar de forma significativa o valor do coeficiente de transferência. Conforme discutido anteriormente, a área de estudo compreende 2 diferentes

tipos de solo, LVA (latossolo vermelho-amarelo) e PVA (argilossolo). Resultados para as mesmas culturas nos dois tipos de solo são comparados, para alguns alimentos, na Figura 7.18, para Cs e Sr. Observa-se o efeito do valor do coeficiente de transferência solo-planta, relativos aos diferentes tipos de solo, na concentração destes nuclídeos na atividade residual, responsável pela dose a longo prazo. Não é observada diferença no comportamento relativo aos dois cenários para a fase inicial, uma vez que a contaminação, nesta fase, se deve principalmente aos processos de deposição foliar.

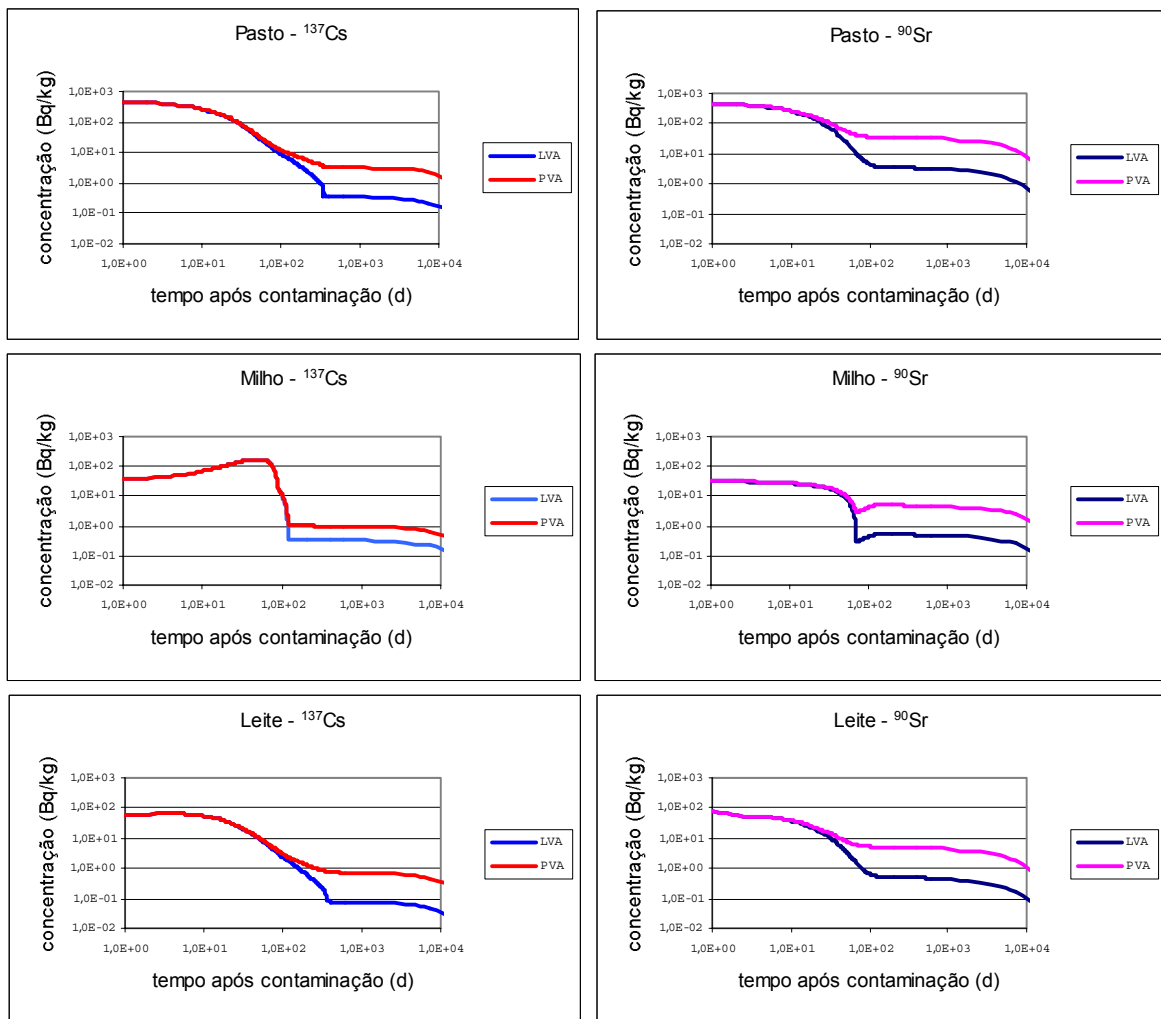


Figura 7.18 Resultados de concentração de ¹³⁷Cs e ⁹⁰Sr em alimentos cultivados segundo as mesmas práticas agropecuárias em regiões com diferentes tipos de solo.

O tipo de solo e, conseqüentemente, o fator de transferência solo-planta, não é tão relevante para o ¹³¹I, devido à meia vida curta deste radionuclídeo. Para o iodo, os principais fatores relacionados à concentração de radionuclídeos e, conseqüentemente, à

dose, são aqueles relativos à deposição inicial, tais como índice de área foliar e sazonalidade, responsáveis pelo comportamento da contaminação a curto prazo. Para ^{137}Cs e ^{90}Sr , além destes fatores, verifica-se ainda forte influência de parâmetros associados ao condicionamento da exposição do público a longo prazo.

7.2 Resultados de Doses de ingestão

7.2.1 Incorporação e taxa de dose

A incorporação de alimentos varia com a dieta da população. Para um determinado cenário, ela vai variar com a época do ano em que ocorreu o acidente, e com o radionuclídeo, como apresentado na Figura 7.19, relativa ao cenário de referência.

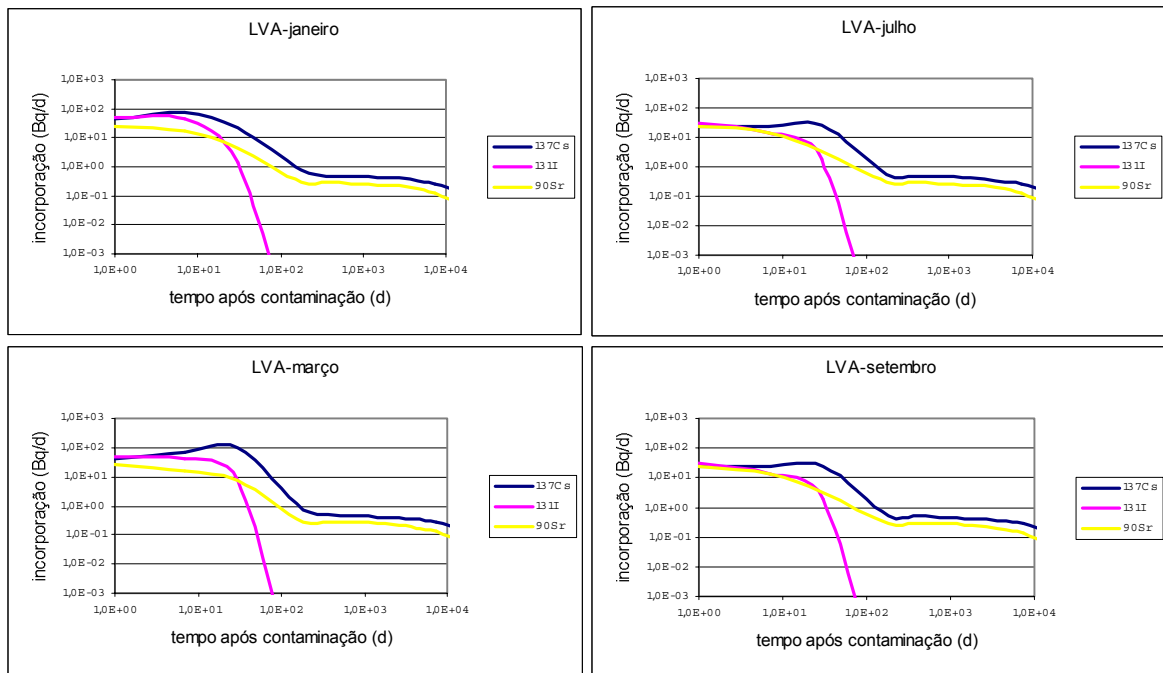


Figura 7.19 Taxas de incorporação de atividade para os diversos radionuclídeos relativas a acidentes em diferentes épocas do ano, para o cenário de referência

A incorporação vai afetar diretamente as taxas de dose, apresentadas na Figura 7.20, também para o cenário de referência. Observa-se que a fase que apresenta uma maior dinâmica na incorporação e, como consequência, nas taxas de dose, corresponde ao período inicial do acidente, principalmente associado à contaminação dos alimentos por deposição foliar.

A longo prazo, o comportamento da incorporação e da taxa de dose praticamente independe da época do ano em que ocorreu a contaminação e segue uma dinâmica semelhante à contaminação do solo, ponderada pelo fator de transferência solo-planta.

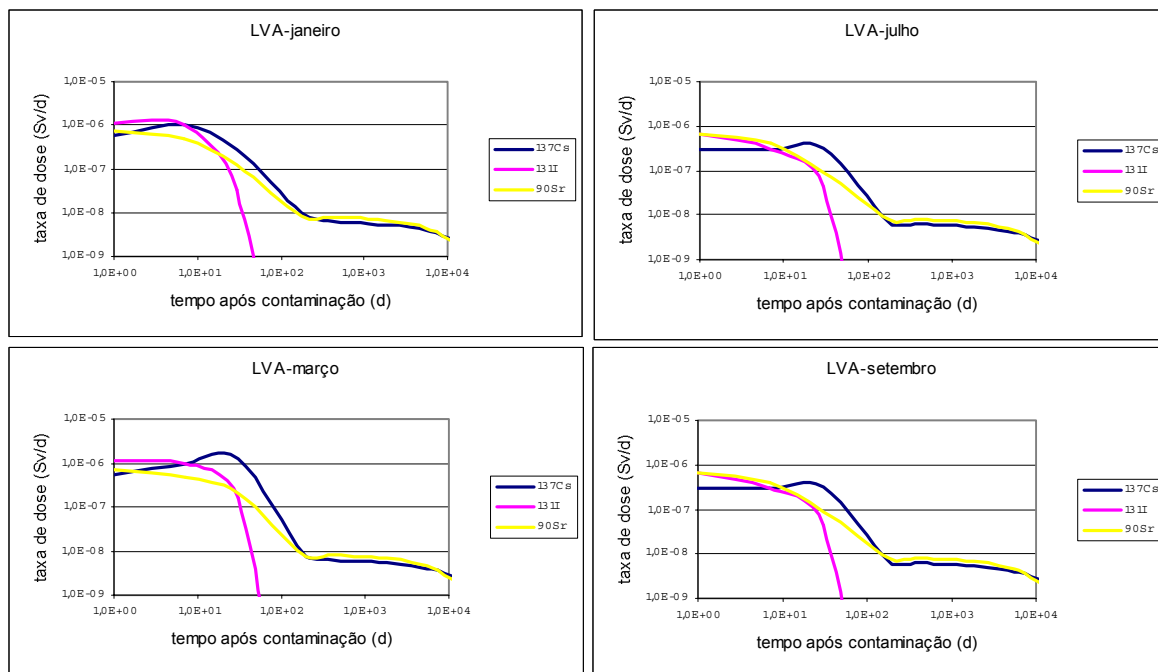


Figura 7.20 Taxas de dose associadas ao cenário de referência

Em relação aos diferentes radionuclídeos considerados, pode-se observar, mais uma vez, a relevância da exposição ao ^{131}I na fase inicial do acidente, e sua contribuição praticamente inexistente a longo prazo, devido à curta meia-vida deste radionuclídeo.

Para o ^{137}Cs e ^{90}Sr , observa-se, da Figura 7.19, o efeito de uma maior translocação relativa ao ^{137}Cs , em relação àquela associada ao ^{90}Sr , menos móvel a partir da deposição foliar, nas incorporações na fase inicial, e do maior coeficiente de transferência solo-planta associado ao ^{137}Cs , para a maior parte dos alimentos da dieta da população. O comportamento da contaminação a longo prazo, é porém bastante similar para os dois radionuclídeos.

Comparando as Figuras 7.19 e 7.20, observa-se o efeito dos fatores de conversão de dose nas taxas de dose, uma vez que, no período de longo prazo do acidente, para deposições semelhantes dos dois radionuclídeos, leva a uma maior incorporação de ^{137}Cs porém obtemos taxas de dose superiores para o ^{90}Sr .

Sazonalidade

O efeito da sazonalidade nas taxas de dose são mostrados na Figura 7.21, para os três radionuclídeos incluídos neste estudo.

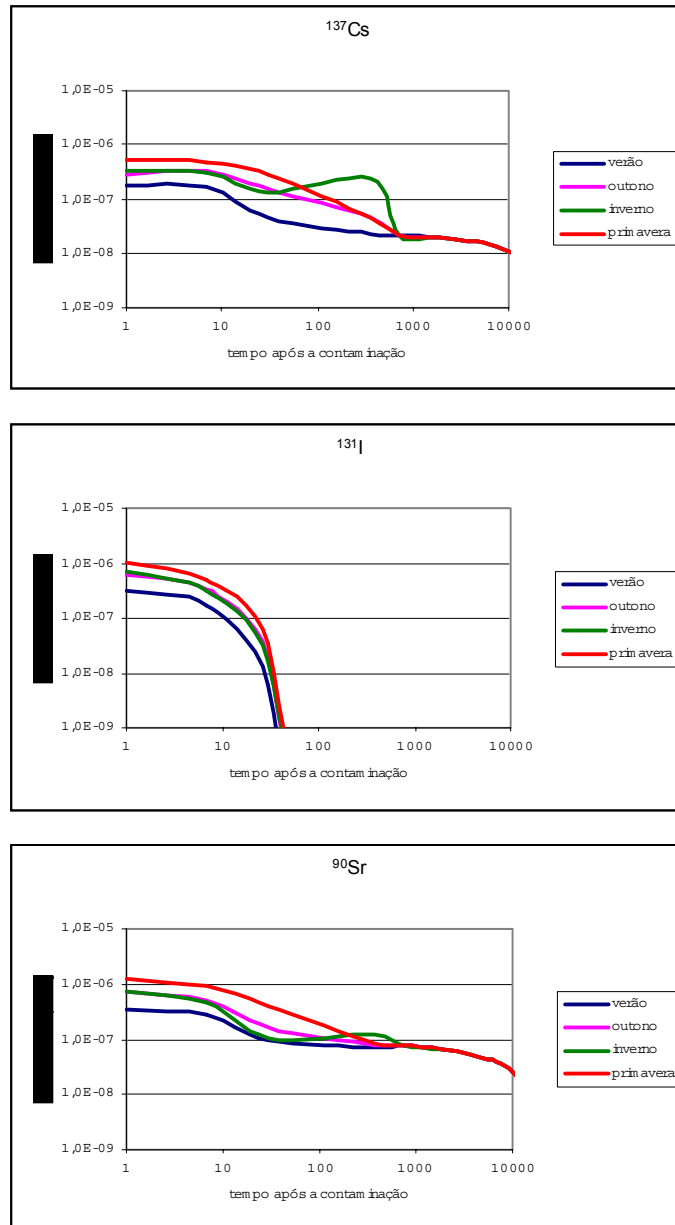


Figura 7.21 Variabilidade das taxas de dose em função da estação do ano em que ocorre a contaminação, para o cenário de referência.

Desta análise, verifica-se que as maiores taxas de dose estão relacionadas a acidentes ocorrendo na primavera, quando ocorre a maior parte dos vegetais está sendo plantada ou está em fase de crescimento. As maiores diferenças são observadas para o

^{137}Cs , devido a seu fator de translocação, isto é, a sua maior mobilidade na planta. Para o iodo, as taxas de dose são altas logo após o acidente, mas decaem rapidamente, em função do decaimento radioativo deste nuclídeo.

Cenários de exposição

O efeito dos diferentes cenários simulados, nas taxas de dose, é exemplificado na Figura 7.22, para deposições ocorrendo nos meses de janeiro e julho, nos cenários de referência e da Alemanha.

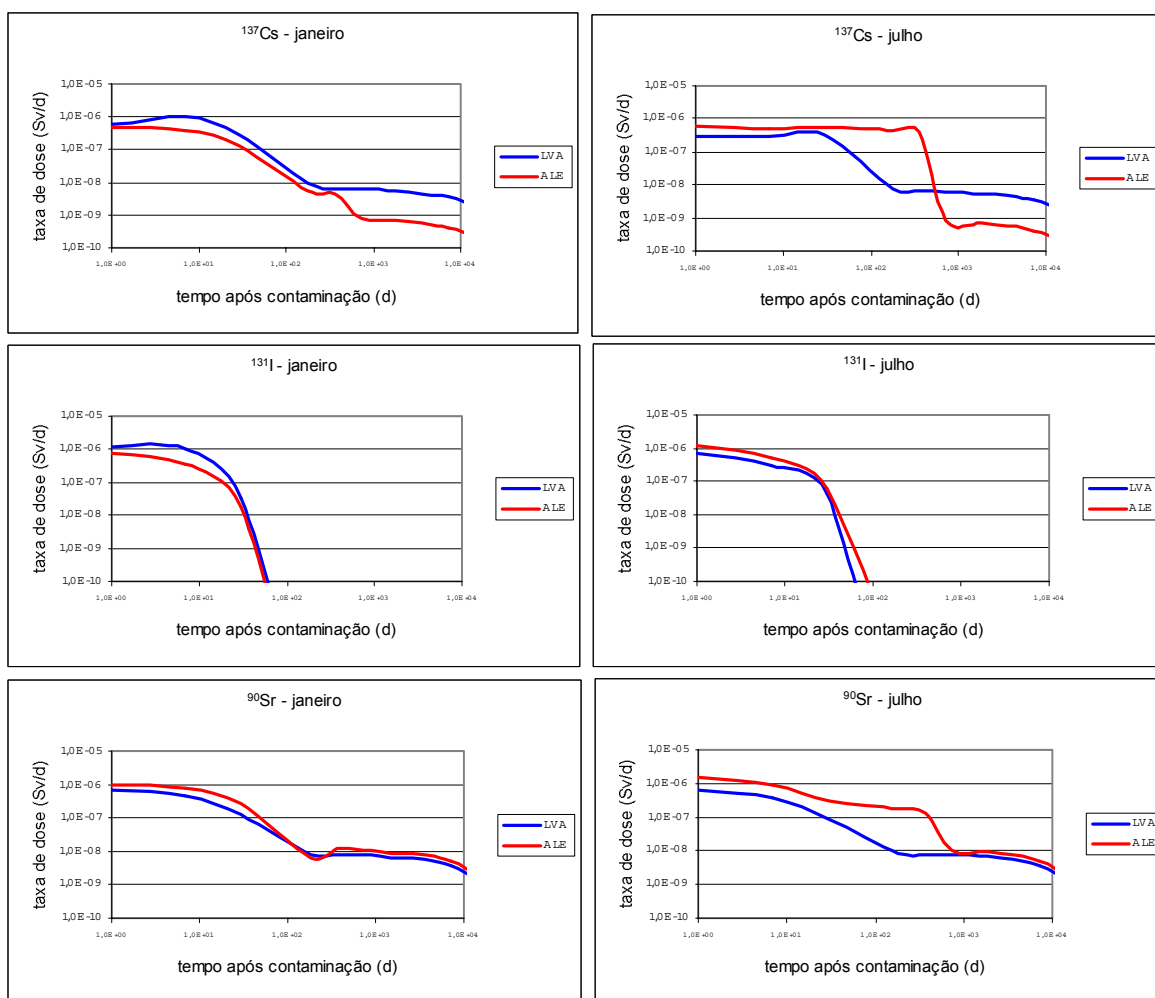


Figura 7.22 Taxas de dose relativas aos cenários de referência (Brasil, Grupo Regional, solo LVA) e Alemanha.

Observa-se que as taxas de dose têm uma flutuação menor do que aquela observada para cada alimento, individualmente. Porém, enquanto que para o ^{90}Sr as taxas de dose para o cenário alemão são superiores às aquelas estimadas para o Brasil, durante todo o

período considerado após o acidente, para o iodo, o cenário mais crítico vai depender da época do ano em que ocorre o acidente e, para o céσιο, vai depender não só da época do ano em que ocorre a contaminação, mas também do momento após esta contaminação.

Desta forma, medidas de proteção da população deverão ser diferenciadas para as duas fases consideradas, visto a diferença de comportamento observada nas taxas de dose. As medidas de proteção, porém, devem ser efetuadas em relação à incorporação total e, portanto, estão mais relacionadas às doses integradas.

7.2.2 Doses Integradas

Radionuclídeos

A Figura 7.23 mostra os resultados de dose integrada, para os três radionuclídeos considerados neste estudo, para as 4 estações do ano, em três momentos após a contaminação, relativos ao cenário de referência.

Considerando os três radionuclídeos, pode-se observar que a contribuição relativa do ^{131}I diminui ao longo do tempo, apresentando, a curto prazo, os maiores valores de dose por unidade de deposição dos três radionuclídeos considerados, mas com uma contribuição relativamente pequena para as doses de longo prazo.

O ^{137}Cs é o que leva a uma menor dose a curto prazo; a médio prazo, porém, este é o radionuclídeo que levaria à maior dose. A longo prazo, a maior contribuição para a dose, por unidade de deposição, seria aquela relativa ao ^{90}Sr , seguida da dose relativa ao ^{137}Cs .

Desta análise conclui-se que medidas de proteção relativas a uma deposição contendo ^{131}I devem ser aplicadas imediatamente após a contaminação e devem ser tomadas em função da taxa de dose a curto prazo, enquanto que medidas relacionadas a ^{137}Cs e ^{90}Sr não devem ser baseadas apenas em relação à ingestão a curto prazo mas também merecem atenção os efeitos de médio e longo prazos.

Sazonalidade

A estação do ano em que ocorreu a contaminação é bastante relevante na fase inicial do acidente, mantém ainda alguma relevância na dose integrada a médio prazo, porém não afeta significativamente as doses a longo prazo. Iodo e céσιο apresentam maior variabilidade sazonal do que o estrôncio.

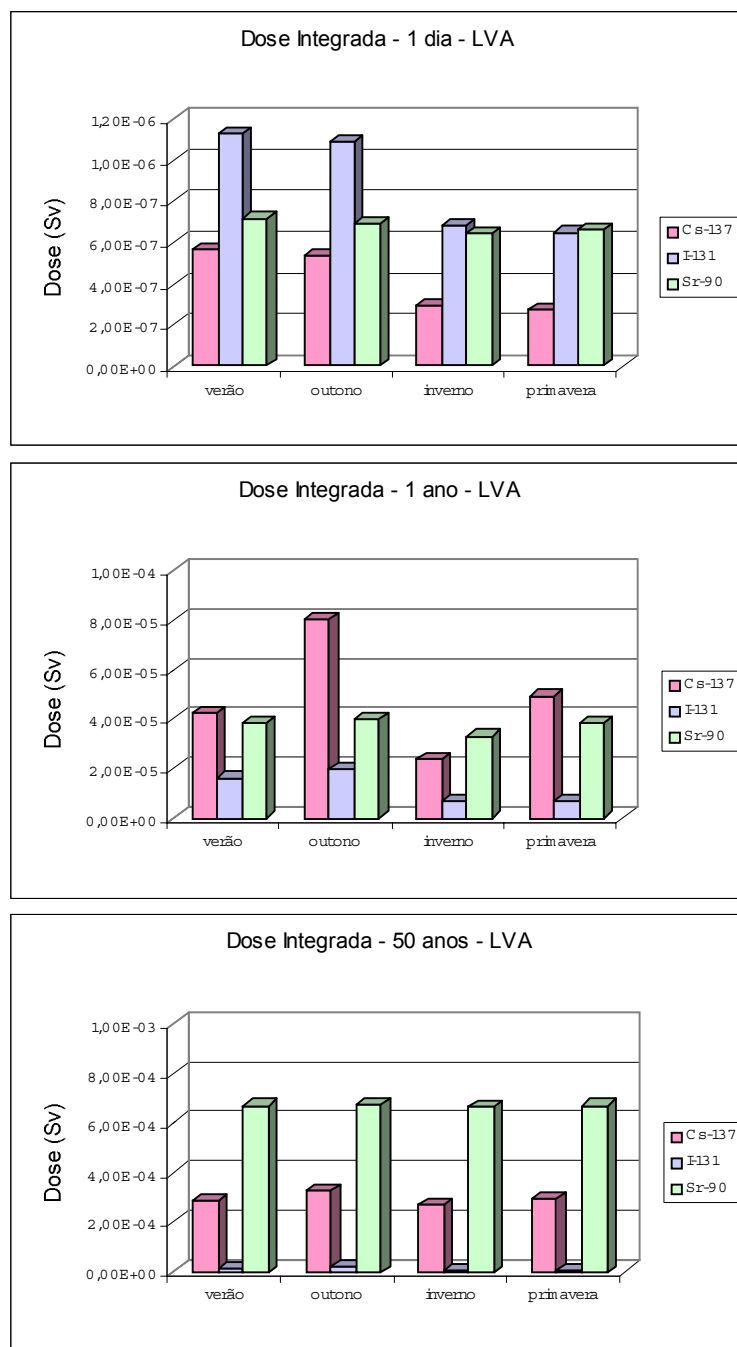


Figura 7.23 Dose integrada para o cenário de referência, em função do nuclídeo e da estação em que ocorreu a deposição, em três momentos após a contaminação.

Cenários de exposição e tipos de solo

As doses integradas, em função do tempo, relativas aos três cenários estudados, Regional-LVA, Regional-PVA e o cenário alemão são mostrados na Figura 7.24 a 7.26.

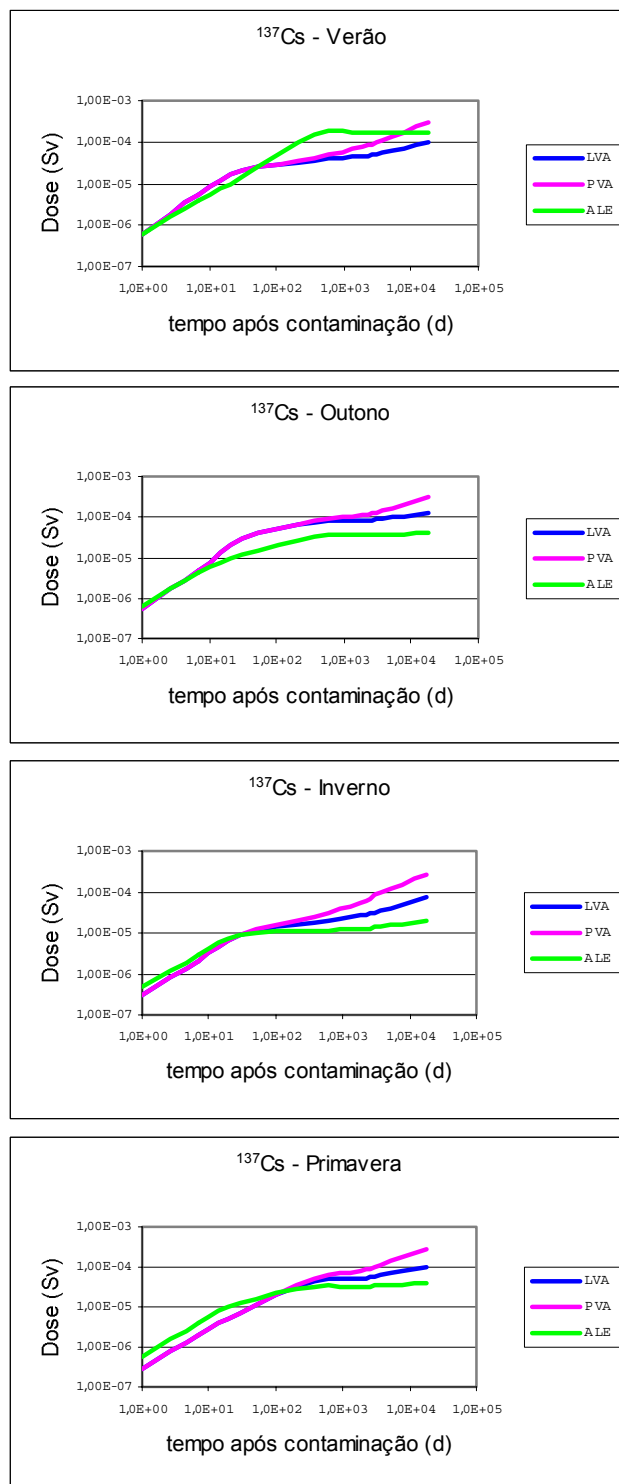


Figura 7.24 Doses integradas para os 3 cenários, após deposição de 1 kBq m^{-2} de ^{137}Cs .

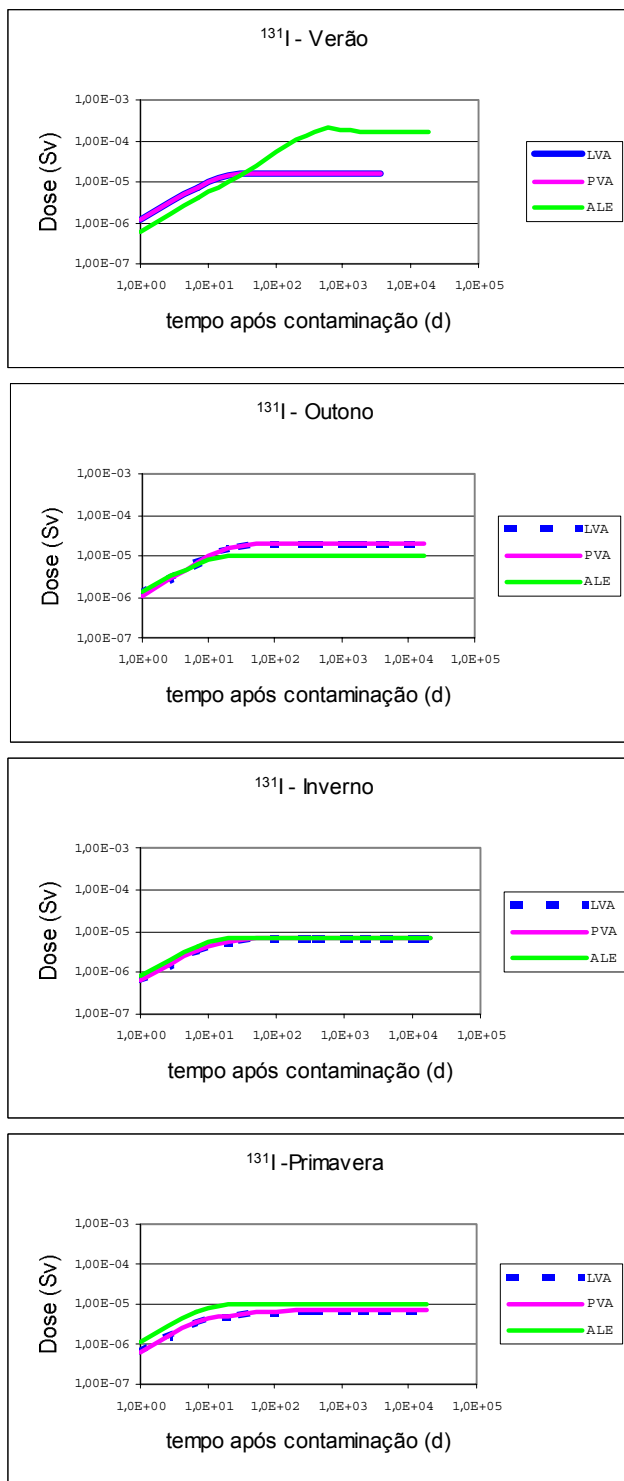


Figura 7.25 Doses integradas para os 3 cenários, Regional-LVA (cenário de referência), Regional-PVA e Alemanha, para os diferentes estações do ano – Resultados para uma deposição de referência de ^{131}I .

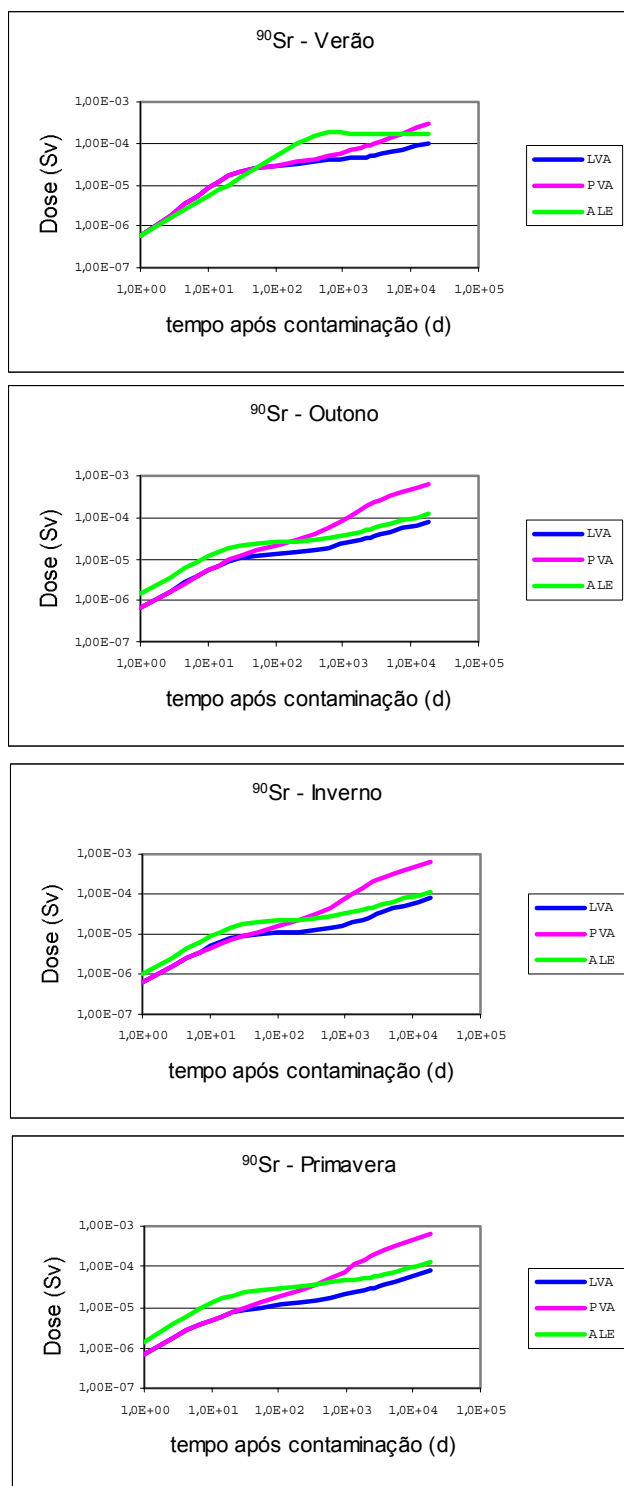


Figura 7.26 Doses integradas para os 3 cenários, Regional-LVA (cenário de referência), Regional-PVA e Alemanha, para os diferentes estações do ano – Resultados para uma deposição de referência de ⁹⁰Sr.

Exceto para o iodo, o cenário Regional - PVA é o responsável pelas maiores doses integradas a longo prazo. Para o ^{90}Sr , o cenário alemão também leva sempre a valores de dose integrada mais elevados do que o cenário de referência, embora inferiores ao cenário PVA. Para o ^{137}Cs , o cenário de referência leva a doses superiores do que o cenário alemão, exceto no caso de uma liberação durante o verão.

De forma a avaliar, de modo mais específico, as relações entre as doses, foram escolhidos três momentos, um dia, um ano e 50 anos, de forma a caracterizar os efeitos de curto, médio e longo prazos, para estimar o efeito das diversas fontes de variabilidade na dose total. As figuras 7.27 a 7.29 representam as doses integradas nos períodos selecionados, para os radionuclídeos ^{137}Cs , ^{131}I e ^{90}Sr , respectivamente.

Embora não cubram todo o espaço de tempo estudado, estas são, talvez, as figuras que melhor representam, em conjunto, as variabilidades consideradas neste estudo, isto é, as variações nas doses de ingestão relativas ao radionuclídeo, à sazonalidade, ao período do ano em que ocorre a contaminação, ao tipo de solo e ao cenário de exposição.

Embora o efeito da sazonalidade em um mesmo local seja significativo, podendo levar a diferenças de até 50% nos valores estimados de dose para um mesmo grupo população, observa-se nesta figura a relevância do conhecimento do tipo de solo local e, conseqüentemente, do valor adequado de fatores de transferência solo-planta, para estimativas de doses a longo prazo, que podem levar a diferenças de até uma ordem de grandeza nas doses integradas estimadas.

Embora as taxas de doses na fase inicial, responsáveis pela necessidade de implementação de medidas de proteção mais urgentes, sejam muito superiores às taxas de doses residuais de longo prazo, as estimativas de dose a longo prazo serão responsáveis por medidas de proteção relativas a descontaminação de áreas, mudanças de uso e até mesmo reassentamento de uma população, ressaltando, assim, a relevância do conhecimento de características fundamentais da área afetada, tais como o tipo de solo e, conseqüentemente do valor de fator de transferência mais adequado, para a estimativa de doses a longo prazo.

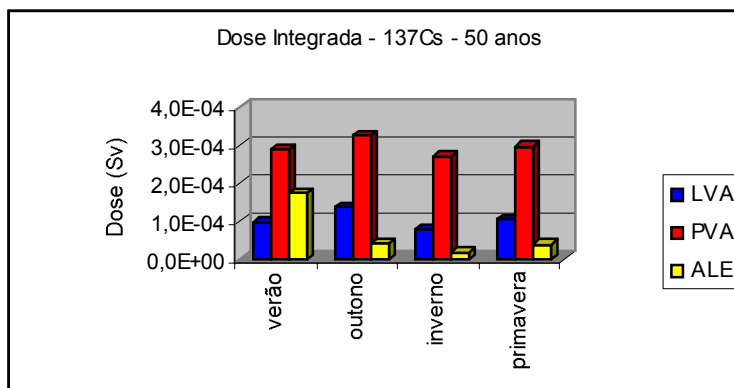
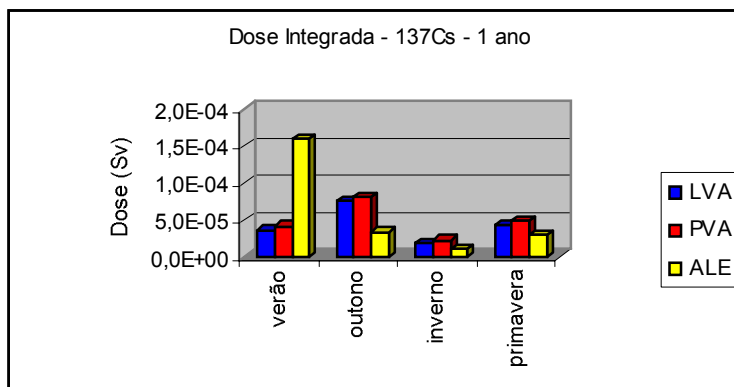
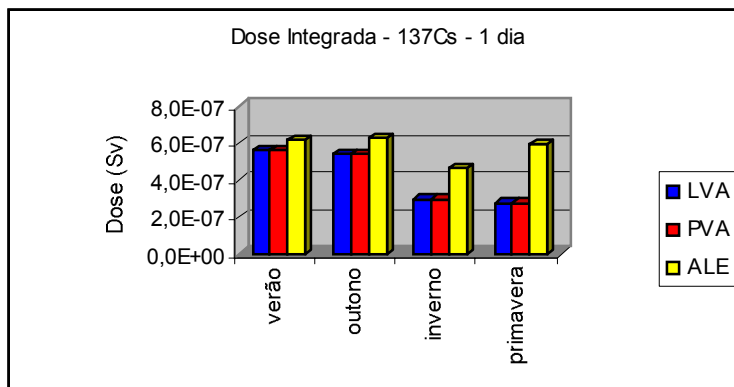


Figura 7.27 Doses integradas em 1 dia, 1 ano e 50 anos após um evento de contaminação de 1 kBq m^{-2} de ^{137}Cs , para os três cenários estudados.

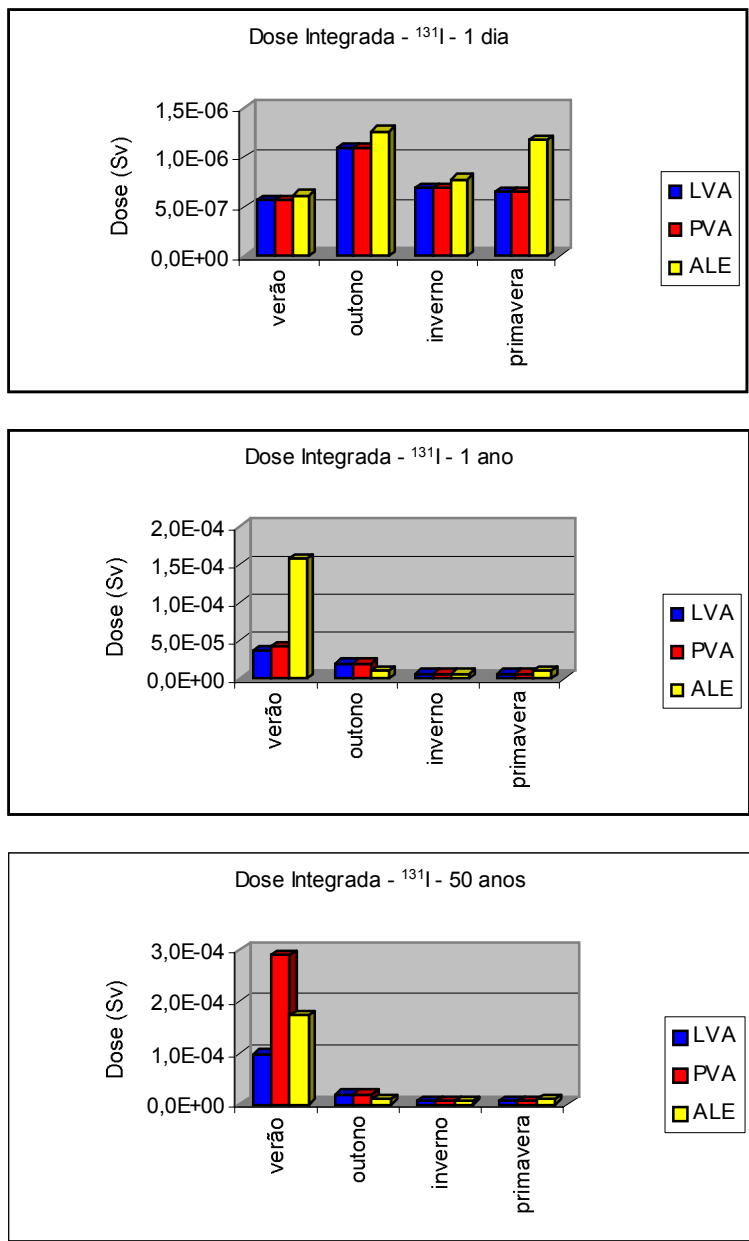


Figura 7.28 Doses integradas em 1 dia, 1 ano e 50 anos após um evento de contaminação de 1 kBq m^{-2} de ^{131}I , para os três cenários estudados.

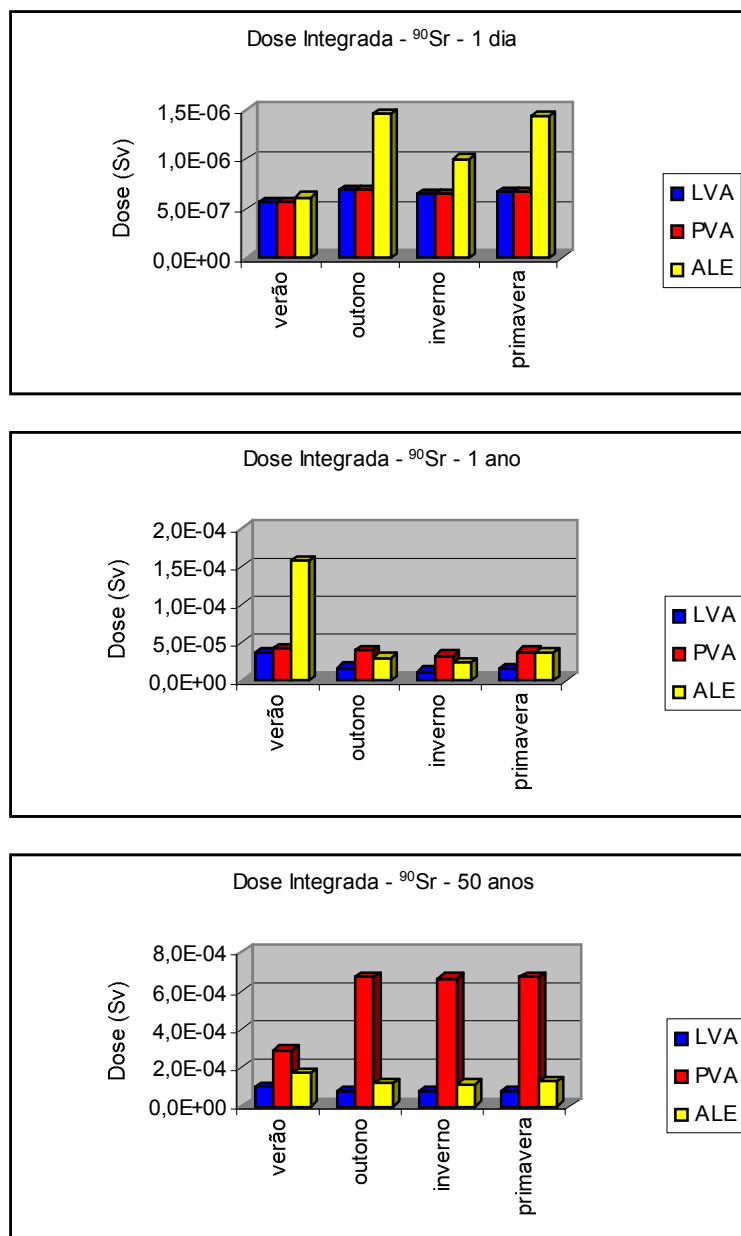


Figura 7.29 Doses integradas em 1 dia, 1 ano e 50 anos após um evento de contaminação de 1 kBq m^{-2} de ^{90}Sr , para os três cenários estudados.

Faixa etária

As doses podem ser diferentes, devido tanto a diferenças relacionadas à contaminação dos alimentos, quanto em relação aos hábitos alimentares dos diferentes grupos de pessoas. A dose em função da faixa etária foi estimada apenas para o grupo Local, para o qual se dispunha de dados específicos de consumo em função da idade.

Os resultados de dose integrada, para os três radionuclídeos considerados, relativos a uma deposição de 1 kBq m^{-2} no cenário Local, para cada um dos radionuclídeos considerados neste estudo estão apresentados nas figuras 7.30 a 7.32, em função da faixa etária.

Observa-se que a variabilidade, em função da faixa etária, é função do radionuclídeo, inclusive em relação aos grupos que apresentam a maior e a menor dose. A razão entre a maior e a menor dose integrada está em torno de 3,3 para o ^{131}I , 2 para o ^{90}Sr , e 1,5 para o ^{137}Cs .

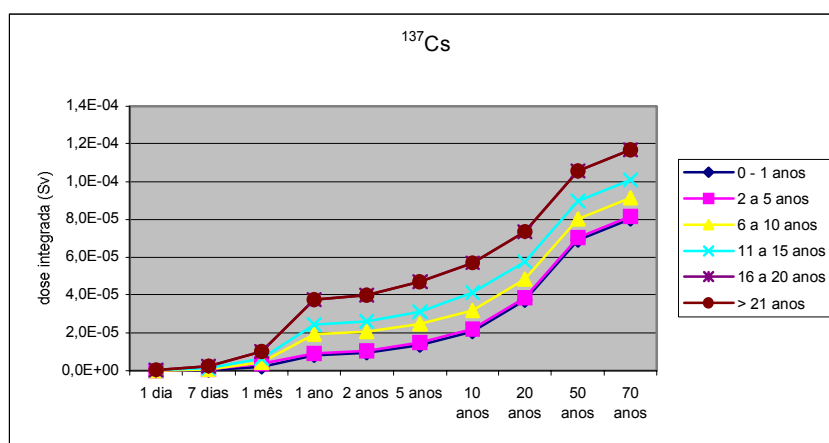


Figura 7.30 Doses integrada , em função da faixa etária, para o grupo Local-LVA, relativa a uma deposição de 1 kBq m^{-2} de ^{137}Cs , no outono

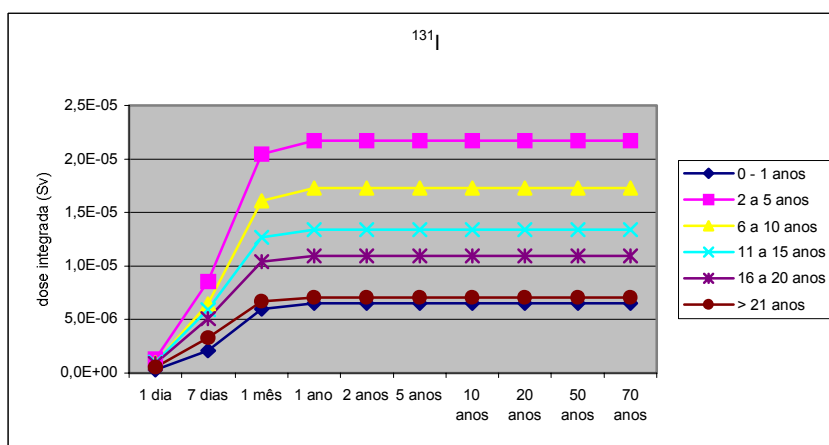


Figura 7.31 Doses integrada , em função da faixa etária, para o grupo Local-LVA, relativa a uma deposição de 1 kBq m^{-2} de ^{131}I , no outono

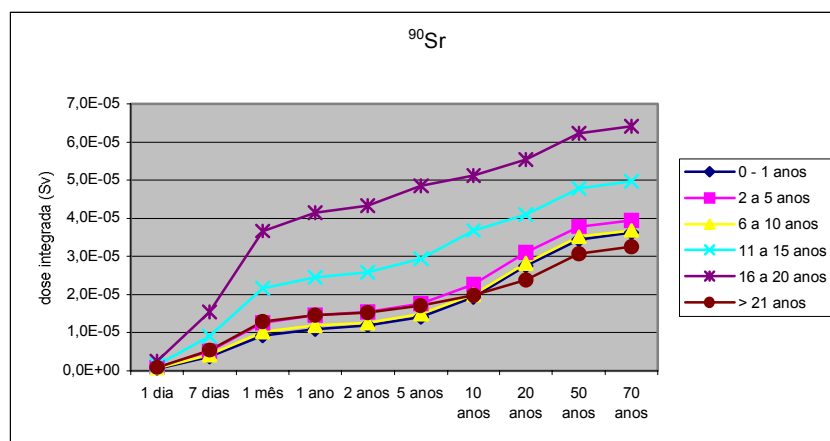


Figura 7.32 Doses integrada, em função da faixa etária, para o grupo Local-LVA, relativa a uma deposição de 1 kBq m^{-2} de ^{90}Sr , no outono

Desta forma, em um acidente real, o grupo que estará exposto à maior dose vai depender da composição relativa dos radionuclídeos no material depositado na área agrícola.

Ingestão de leite por crianças

A Figura 7.33 apresenta os resultados relativos a dose efetiva devido a ingestão de leite, para a faixa etária de 0 a 1 ano de idade no momento do acidente. Mesmo não havendo produção significativa de leite relacionada ao grupo local, estas doses foram calculadas por ser, potencialmente, uma via importante de exposição em acidentes de reatores, e por haver disponibilidade de dados relativos a consumo.

A dose total corresponde à dose da dieta considerada para a faixa etária de 0 a 1 ano de idade do grupo Local, adicionada da dose devido a ingestão de leite. Verifica-se que a ingestão de leite é uma via bastante significativa para esta faixa etária, em particular na fase inicial do acidente, para todos os radionuclídeos considerados, e corresponde à principal contribuição para a dose total para o radionuclídeo ^{131}I .

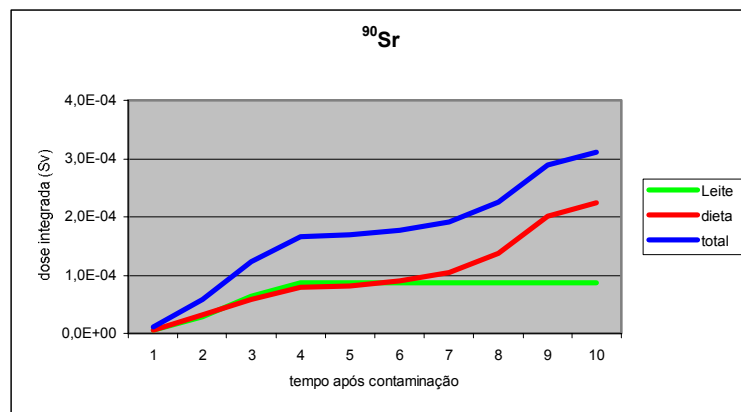
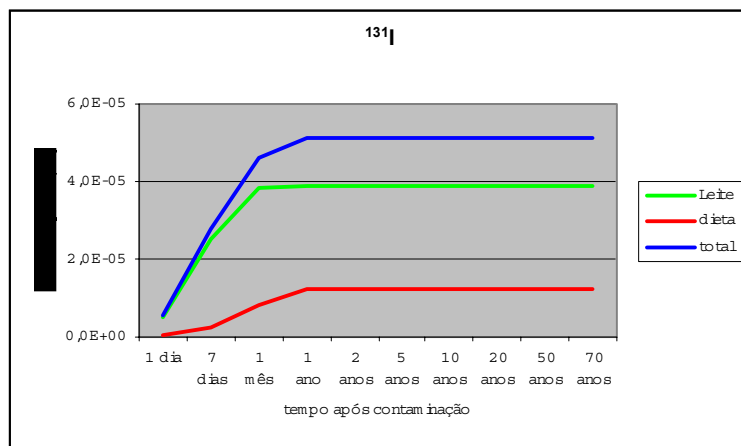
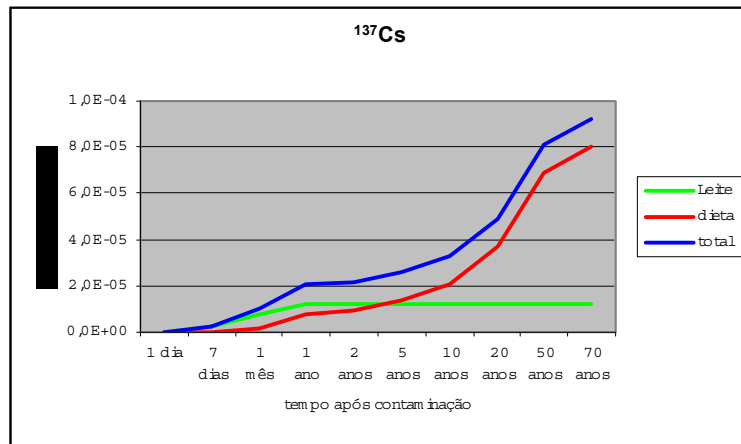


Figura 7.33 Efeito da ingestão de leite na dose de crianças de 0 a 1 ano

7.2.3 Discussão sobre os resultados de dose integrada

Considerando que uma variável ambiental natural costuma seguir uma distribuição log-normal, com um desvio geométrico em torno de 2 (HOFFMAN & BAES, 1979), qualquer fator que tenha o potencial de introduzir uma variabilidade significativamente

maior do que este valor no conjunto de valores obtidos, pode ser considerado como responsável por desviar o conjunto de uma distribuição “ideal” e, portanto, caracterizar uma situação ambiental diferente do cenário analisado. .

Embora esta regra seja aplicada a conjuntos e não a valores individuais ou médios, a relação entre os resultados estimados para uma situação de referência e outras situações previstas pode fornecer uma indicação da relevância do fator considerado na resposta obtida. Um resumo dos principais resultados obtidos neste estudo é apresentado nas Tabelas 7.1 a 7.4, onde podem ser vistas as relações observadas entre as diferentes doses, em função dos principais fontes de variabilidade estudadas.

Radionuclídeos

A Tabela 7.1 apresenta a faixa de variação dos valores de dose integrada de ingestão devido a uma deposição de 1 kBq m⁻² de ¹³¹I e de ⁹⁰Sr, em relação à doses devido a uma deposição de 1 kBq m⁻² de ¹³⁷Cs, para o cenário de referência (Regional – LVA).

Tabela 7.1 Doses relativas ao ¹³⁷Cs para uma deposição de 1 kBq m⁻² de cada radionuclídeo em relação ao cenário de referência.

	<i>Dose relativa ao ¹³⁷Cs</i>		
	<i>1 dia</i>	<i>1 ano</i>	<i>50 anos</i>
¹³¹ I	2,0 a 2,4	0,1 a 0,4	0,02 a 0,06
⁹⁰ Sr	1,3 a 2,4	0,5 a 1,4	2,1 a 2,5

A curto prazo (1 dia), as doses devido a ¹³¹I e ⁹⁰Sr são superiores à dose devido ao ¹³⁷Cs por fatores de até 2,4. A dose integrada devido ao ¹³⁷Cs se torna mais próxima à dose devido ao ⁹⁰Sr após 1 ano. As doses integradas devido ao ¹³¹I vão perdendo a relevância com o passar do tempo.

A longo prazo, a dose integrada de ingestão devido ao ⁹⁰Sr volta a dominar sobre a dose de ingestão devido ao ¹³⁷Cs. Para a mesma quantidade depositada, a dose devido a diferentes radionuclídeos pode variar de um fator de 0,02 a 2,5, e a relevância relativa de cada um também varia ao longo do tempo.

Estes resultados demonstram a necessidade de haver uma correta caracterização do termo fonte de deposição nas estimativas de dose e esta deve ser efetuada o mais cedo possível após a ocorrência de um acidente.

Sazonalidade

A Tabela 7.2 apresenta a faixa de variação da relação dos valores de dose integrada de ingestão devido a eventos de contaminação nas diferentes épocas do ano, para os três radionuclídeos estudados, e a dose devido a uma deposição no outono (15 de abril).

Tabela 7.2 Doses relativas a uma deposição de 1 kBq m⁻² de cada radionuclídeo em relação a um acidente ocorrido no outono, no cenário de referência.

	<i>Dose relativa ao outono</i>		
	<i>1 dia</i>	<i>1 ano</i>	<i>50 anos</i>
¹³⁷ Cs	0,5 a 1,0	0,3 a 0,6	0,8 a 0,9
¹³¹ I	0,6 a 1,0	0,3 a 0,8	0,3 a 0,8
⁹⁰ Sr	0,96 a 1,0	0,8 a 1,0	0,99 a 1,0

A sazonalidade associada ao evento de deposição levou a variações de até 70 % nas doses estimadas para um mesmo radionuclídeo em um mesmo cenário. O efeito da sazonalidade é muito significativo na estimativa da concentração em alimentos específicos, porém a relevância para a dose integrada não é tão evidente, devido à composição dos diferentes componentes da dieta para a dose total de ingestão.

Faixa etária

A variabilidade máxima das doses, para o cenário Local, entre os diferentes grupos de faixa etária, conforme já citado anteriormente, foi estimada como sendo um fator de 1,5 para o ¹³⁷Cs, 3,3 para o ¹³¹I, e 2,0 para o ⁹⁰Sr.

Maiores variabilidades foram observadas para uma dieta incluindo leite, particularmente por crianças pequenas, conforme apresentado na Tabela 7.3, onde, por exemplo, para o primeiro dia após a contaminação, a dose devido ao iodo no leite representaria 84 % da dose total.

A partir das relações apresentadas, pode-se concluir que o conhecimento da via de exposição de ingestão de leite, em particular para crianças, é de fundamental relevância em uma avaliação de conseqüências de contaminações acidentais de áreas agrícolas. Esta via pode ser responsável por mais de 90 % da dose recebida por crianças a curto prazo, sendo potencialmente crítica para o ¹³¹I, podendo representar cerca de 76 % da dose total recebida por crianças.

Tabela 7.3 Fração da dose total correspondente à dose por ingestão de leite por crianças de 0 a 1 ano de idade no momento de ocorrência de um evento de contaminação por 1 kBq m^{-2} de cada radionuclídeo em relação a um acidente ocorrido no outono, no cenário Local.

	<i>fração da dose total</i>		
	<i>1 dia</i>	<i>1 ano</i>	<i>50 anos</i>
^{137}Cs	0,92	0,61	0,15
^{131}I	0,94	0,76	0,76
^{90}Sr	0,46	0,52	0,30

Cenários

Os resultados para os diferentes cenários são apresentados na Tabela 7.4. Da Tabela 7.4 conclui-se que a correta caracterização do cenário é um fator extremamente relevante na estimativa de doses para a população.

A curto prazo, diferenças relativas a práticas agro-pecuárias e dieta da população levou a fatores que variaram de 1, para o cenário PVA, até 2,5, para o cenário alemão, em relação às doses estimadas para o cenário de referência. A médio prazo, a relação entre as doses para os cenários LVA e Alemanha chega a 4,33.

A longo prazo, o principal fator responsável pela variabilidade das doses estimadas está associado ao correto conhecimento do tipo de solo e, conseqüentemente, aos fatores de transferência, que, para os casos estudados, chegam a diferir por um fator de 8,4 em relação ao cenário de referência.

Estes resultados confirmam as estimativas apresentadas na Tabela 2.1, exceto em relação ao fator de transferência, ao qual sugerimos associar uma alta prioridade.

Composição do termo-fonte de deposição

Todos os resultados apresentados estão relacionados a deposições padronizadas de 1 kBq m^{-2} de cada radionuclídeo. De forma a avaliar a variabilidade da resposta do modelo devido à composição da deposição e a relevância de cada radionuclídeo, foi efetuado um estudo baseado em dois tipos de situações.

Tabela 7.4 Doses relativas ao ^{137}Cs para uma deposição de 1 kBq m^{-2} de cada radionuclídeo em relação a um acidente ocorrido no outono, no cenário de referência (Regional-LVA).

		<i>dose relativa a cenário Regional-LVA</i>		
		<i>1 dia</i>	<i>1 ano</i>	<i>50 anos</i>
		<i>verao</i>		
137Cs	PVA	1,00	1,16	2,97
	ALE	1,09	4,33	1,78
131I	PVA	1,00	1,16	2,97
	ALE	1,09	4,33	1,78
90Sr	PVA	1,00	1,16	2,97
	ALE	2,55	2,05	1,72
		<i>outono</i>		
137Cs	PVA	1,00	1,07	2,40
	ALE	1,16	0,45	0,31
131I	PVA	1,00	1,00	1,00
	ALE	1,16	0,53	0,53
90Sr	PVA	1,00	2,33	8,23
	ALE	2,10	1,76	1,47
		<i>inverno</i>		
137Cs	PVA	1,00	1,13	2,84
	ALE	2,16	0,69	0,38
131I	PVA	1,00	1,01	1,01
	ALE	1,80	1,52	1,52
90Sr	PVA	1,00	2,52	8,41
	ALE	2,15	2,47	1,61
		<i>primavera</i>		
137Cs	PVA	1,00	1,07	2,40
	ALE	1,16	0,45	0,31
131I	PVA	1,00	1,00	1,00
	ALE	1,16	0,53	0,53
90Sr	PVA	1,00	2,33	8,23
	ALE	2,10	1,76	1,47

No primeiro caso, foi simulado um acidente de perda de refrigerante, com falha da contenção, com uma composição de radionuclídeos na liberação e na deposição proporcionais à previsão de concentrações no refrigerante primário. No segundo caso, foram utilizados como ponto de partida as razões de deposição observadas após o acidente de Chernobyl, em diversas localidades da Europa (UNSCEAR, 1998).

(a) Simulação de LOCA, com falha da contenção:

As razões entre as concentrações do ^{131}I e do ^{90}Sr e a concentração do ^{137}Cs no refrigerante primário estão apresentadas na Tabela 7.5 (IAEA, 1997). Os resultados da simulação para uma deposição de $1 \text{ kBq de } ^{137}\text{Cs por m}^2$ estão apresentados na Figura 7.34, para taxas de dose e na Figura 7.35 para doses integradas.

Tabela 7.5 – Concentração estimada para o refrigerante primário de um reator PWR (IAEA, 1997) e razão de concentração relativa ao ^{137}Cs .

Nuclídeo	Concentração no refrigerante primário (kBq/g)	Razão em relação ao ^{137}Cs
^{90}Sr	4,44E-04	0,001
^{131}I	1,67E+00	4,8
^{137}Cs	3,48E-01	1

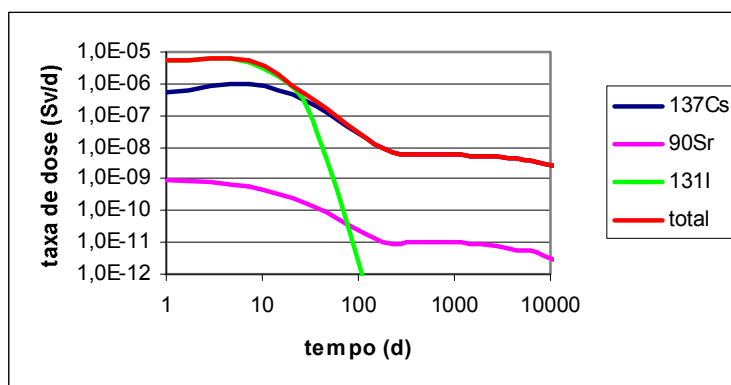


Figura 7.34 Contribuição dos radionuclídeos para a taxa de dose após um acidente de perda de refrigerante, para uma deposição de 1 kBq m^{-2} de ^{137}Cs .

O que pode ser observado é que, a curto prazo, a taxa de dose total acompanha a dose do ^{131}I enquanto que, a longo prazo, a taxa de dose total acompanha a taxa de dose devido ao ^{137}Cs . Devido à menor concentração de ^{90}Sr no refrigerante, sua contribuição para a dose total é inferior à do ^{137}Cs durante todo o período após o acidente.

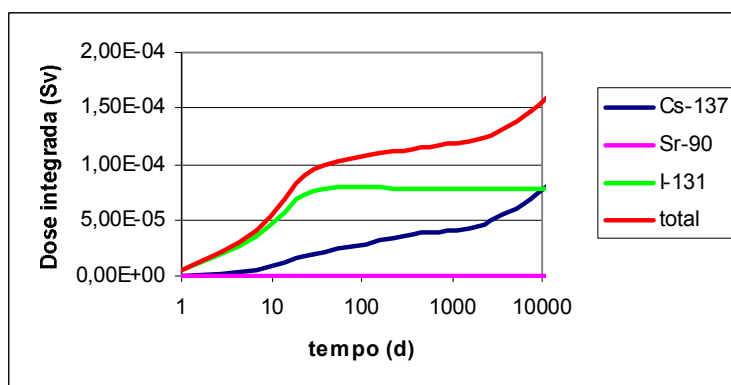


Figura 7.35 dose integrada devido a um acidente de perda de refrigerante para uma deposição de 1 kBq m^{-2} de ^{137}Cs .

Devido à maior concentração do iodo no fluido do refrigerante primário, este corresponde à maior contribuição para a dose integrada, mesmo considerando a exposição a longo prazo. A contribuição do ^{137}Cs supera a do ^{131}I apenas após cerca de 20 anos após o acidente. A dose devido ao ^{131}I é totalmente recebida nos primeiros meses após o acidente, ressaltando a relevância da necessidade de implementação de medidas de proteção urgentes logo após a contaminação. Devido a menor concentração do ^{90}Sr no refrigerante primário, em relação às concentrações do ^{137}Cs e do ^{131}I , a dose integrada de ingestão devido a este radionuclídeo é praticamente desprezível, em qualquer fase do acidente.

(b) Deposição observada após Chernobyl:

O segundo exemplo considera um acidente semelhante ao acidente de Chernobyl, bastante mais severo do que o acidente da simulação anterior, e pouco provável para um reator tipo PWR devendo ser considerado apenas como exemplo.

Novamente foram utilizadas as razões observadas entre as concentração de ^{131}I e ^{90}Sr em relação às concentrações medidas para o ^{137}Cs mas neste caso, para ^{131}I , em relação à deposição efetivamente medida em diversas área da Europa, após a ocorrência do acidente de Chernobyl, apresentadas na Tabela 7.6 (UNSCEAR 1998). Foram efetuados cálculos a partir das relações mínima e máxima entre a densidade de deposição de ^{131}I e a de ^{137}Cs , para uma deposição de referência de 1 kBq m^{-2} de ^{137}Cs . A contribuição do ^{137}Cs para a dose total de ingestão, isto é, para a soma da dose devido ao ^{137}Cs com a dose devido ao ^{131}I , é apresentada na Figura 7.36, para as situações relativas a razão mínima de densidade de deposição entre os dois nuclídeos, observada para uma região da Bulgária, e a razão máxima, observada para uma região da Rússia.

Observa-se que a contribuição do ^{137}Cs na dose total varia de zero a menos de 20% da dose total, na localidade em que teve a maior deposição relativa $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$, mas pode variar de 30 a mais de 80%, ao longo do tempo, na localidade que apresentou a menor razão de densidade de deposição $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$, para o mesmo acidente.

Este resultado resalta a relevância de levantar os resultados reais de densidade de deposição logo após o acidente, de forma a ser possível avaliar a necessidade de medidas de proteção para a população, em particular relativa ao ^{131}I , que têm que ser implementadas a curto prazo.

Tabela 7.6 Densidades de deposição medidas em diversas regiões da Europa (UNSCEAR, 1988).

Área	densidade de deposição (kBq m ⁻²)		
	I-131	Cs-137	razão I/Cs
Finland	100	15	6,67
Sweden 1	160	31	5,16
Sweden 2	13	0,81	16,05
Sweden 3	41	2,3	17,83
Austria	120	23	5,22
Alemanha Ocidental	42	11	3,82
Alemanha Oriental 1	12	2	6,00
Alemanha Oriental 2	27	4	6,75
Alemanha Oriental 3	100	16	6,25
Hungria 1	30	4,8	6,25
Hungria 2	9,3	1,5	6,20
Polonia	38	5,2	7,31
Romenia 3	47	9	5,22
Suiça 2	25	3,5	7,14
Suiça 3	15	2	7,50
Suiça 4	9,4	1,3	7,23
Belgium	5,2	0,84	6,19
Irlanda	10	3,4	2,94
Luxemburgo	19	2,7	7,04
Holanda	11	1,8	6,11
Reino Unido 1	0,8	0,1	8,00
Reino Unido 2	2	1,7	1,18
Reino Unido 3	6	3	2,00
Bulgaria 1	4,2	3,9	1,08
Bulgaria 2	13	12	1,08
Grecia 1	36	8	4,50
Grecia 2	14	2,4	5,83
Italia 1	25	6	4,17
Italia 2	15	4	3,75
Portugal	0,07	0,02	3,50
Espanha 1	0,4	0,07	5,71
Yugoslávia 1	140	23	6,09
Yugoslávia 2	60	10	6,00
Yugoslávia 3	24	4	6,00
USSR 1	590	39	15,13
USSR 2	480	15	32,00
USSR 3	160	10	16,00
USSR 4	20	2,8	7,14

Para avaliar o efeito relativo da deposição devido ao ⁹⁰Sr, foi utilizado o valor citado pelo UNSCEAR (2000), para a faixa de variação razão de densidade de deposição do ⁹⁰Sr, em relação à densidade de deposição do ¹³⁷Cs, para a região de 100 km em torno da central nuclear de Chernobyl. A faixa de valores citada para esta relação é de 0,1 a 0,15. A contribuição da dose de ingestão devido ao ¹³⁷Cs, ao longo do tempo, para a dose total (¹³⁷Cs + ⁹⁰Sr) é apresentada na Figura 7.37.

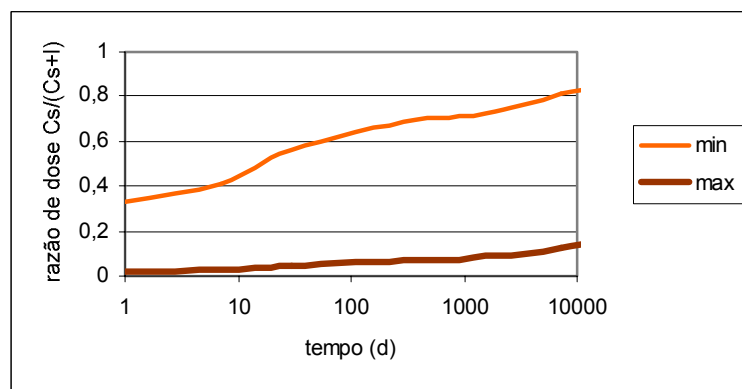


Figura 7.36 Fração da dose total ($^{137}\text{Cs} + ^{131}\text{I}$) integrada de ingestão correspondente ao ^{137}Cs , ao longo do tempo.

Observa-se que, para a situação de menor razão de densidade de deposição de ^{90}Sr em relação à do ^{137}Cs , a dose devido ao ^{137}Cs corresponde praticamente a 100% durante todo o período considerado neste estudo. Para a situação de maior densidade relativa de deposição $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$, porém, a contribuição do ^{137}Cs pode variar de 30% logo após o acidente até 60%, com tendência a diminuir cerca de 3 anos após a deposição.

Estes exemplos demonstram que, para um mesmo acidente, pode haver uma variabilidade muito grande na densidade de deposição de ecossistemas diferentes e evidencia a importância de medidas específicas para diferentes áreas principalmente a curto prazo, de forma a direcionar a implementação de medidas de proteção, que serão específicas, para cada área, conforme a composição de radionuclídeos efetivamente depositada.

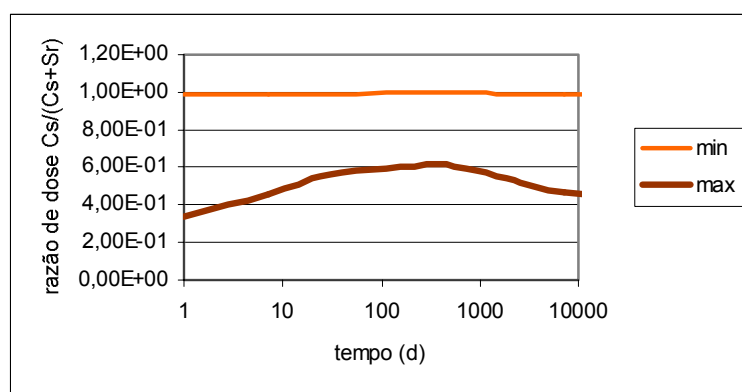


Figura 7.37 Fração da dose total ($^{137}\text{Cs} + ^{90}\text{Sr}$) integrada de ingestão correspondente ao ^{137}Cs , ao longo do tempo.

Capítulo 8

CONCLUSÕES

Conforme esperado, este trabalho evidenciou a necessidade de estabelecimento de cenários específicos para a avaliação, a curto, médio e longo prazo, das conseqüências de uma contaminação de áreas rurais devido a acidente nuclear ou radioativo.

O uso de modelos genéricos e parâmetros de referência podem levar a erros de avaliação muito elevados para servirem como base para processos de tomada de decisão sobre medidas de proteção, uma vez que o custo, social e financeiro, destas medidas recai sobre a população, muitas vezes a mesma que se deseja proteger. Em particular, dados levantados para áreas de condições climatológicas diferentes, não devem ser utilizados de forma indiscriminada em simulações de comportamento ambiental e, conseqüentemente, nas estimativas de doses em membros do público de uma área específica.

A relevância do cenário foi evidenciada tanto em relação a aspectos climatológicos, sazonais, práticas agropecuárias, valores de parâmetros, em particular aqueles associados ao tipo de solo, quanto em relação aos hábitos de cultivo e dieta da população afetada pelo acidente.

O trabalho evidencia também a diferença entre estimativas efetuadas visando à proteção da população em geral, cuja média de consumo reflete, principalmente, a faixa etária de adultos, e as estimativas relacionadas a grupos de outras faixas etárias, onde se ressalta a necessidade de reavaliar o conceito de utilizar apenas o princípio da otimização e, portanto, de doses coletivas, na recomendação de ações de proteção.

A existência de grupos de risco numa população, e sua “diluição” na população, deveria ser também considerada, pelo menos quando a razão entre o risco envolvido para um determinado grupo e o risco médio de uma população for, por exemplo, em torno de uma ordem de grandeza, ou variar por um fator maior do que 2 ou 3.

Para o comportamento de curto prazo, responsável pelas maiores taxas de dose e associados a medidas de proteção de maior urgência, tal como a restrição ao consumo, os principais fatores que afetam a dose de ingestão são a composição de alimento da dieta da população e a época do ano em que ocorre a contaminação, isto é, do estágio de crescimento da planta no momento do acidente.

Para obter previsões mais confiáveis, órgãos associados à área agropecuária, tais como o Ministério da Agricultura, a EMBRAPA e o IBGE, bem como organizações setoriais, tais como os escritórios regionais da EMATER e PESAGRO, deveriam ser contactados, visando manter uma base de dados de fácil consulta em situações de emergência. Informações obtidas do IBGE se mostraram relevantes, tanto em relação à produção agropecuária quanto, e principalmente, relacionadas à dieta alimentar da população brasileira.

Os documentos relacionados à dieta alimentar, no entanto, vêm priorizando, nos últimos 20 anos, apenas as grandes populações urbanas e seria interessante se informações de dieta alimentar sobre populações rurais, incluindo aspectos relacionados à origem dos produtos consumidos fosse atualizada, uma vez que a única publicação disponível sobre estes grupos populacionais, em base nacional, data de 1977.

Dados específicos nas regiões circunvizinhas a instalações nucleares deveriam ser mantidos em bases periódicas, conforme é efetuado pela ELETRONUCLEAR em relação à área de 5 km em torno das centrais nucleares. Apenas nestes estudos foram também encontradas informações específicas de consumo relacionadas às diferentes faixas etárias, para o Brasil.

Em relação a avaliações de longo prazo, o parâmetro mais relevante mostrou ser o fator de transferência solo-planta, cujo valor específico para um determinado local vai depender principalmente do tipo de solo, além, é claro, do tipo de cultura.

Uma vez que a EMBRAPA vem realizando extenso trabalho de classificação de solos em todo o território nacional, deveriam ser implementados estudos específicos sistemáticos de levantamento de valores de fatores de transferência, para os principais solos agrícolas do país, levando em conta sua adequação ao cultivo das diferentes espécies vegetais, visando itens que sejam relevantes efetivamente tanto para o consumo interno como para o mercado externo.

A cultura de subsistência também tem relevância, em particular para as áreas mais afetadas por uma deposição acidental, e as práticas e hábitos de cultivo associados a este tipo de cultura podem ser muito diversos, ao longo de todo o território nacional. A elaboração de um convênio com a EMATER poderia também tornar disponíveis informações realistas e atualizadas sobre a cultura de subsistência, por ocasião de um acidente nuclear ou radiológico, de forma mais abrangente, para todo o território nacional.

Um estudo específico, que não chegou a ser avaliado neste trabalho, seria a avaliação radiológica das conseqüências de um acidente na central nuclear sobre as populações indígenas que vivem próximas à central nuclear de Angra dos Reis. Apesar das colônias indígenas estarem a mais de 5 km da central, estas estão localizadas nas encostas das montanhas, na direção do vento sudoeste, que costuma ser o vento predominante de chuvas na região. Conhecendo a relevância da ocorrência de chuvas durante a passagem de uma pluma decorrente de uma liberação acidental atmosférica, e levando em conta os hábitos específicos de intenso uso do meio ambiente e alta dependência de culturas de subsistência destas populações, estes grupos podem representar problemas específicos importantes em situações de acidentes, considerando, inclusive, as dificuldades devido a aspectos culturais associados a possíveis dificuldades de implementação de medidas de proteção para estes grupos.

Em relação à contaminação de produtos de origem animal, praticamente não existem estudos nacionais sobre o assunto, à exceção dos estudos efetuados relativos a contaminação de galinhas por ^{137}Cs . Estes estudos são complexos e caros, e seria necessário um esforço considerável para efetuar levantamento de fatores de transferência, por exemplo, para o leite, considerando os tipos de gados mais relevantes no Brasil. Não é possível avaliar a relevância deste parâmetro na avaliação feita, por absoluta falta de dados. Para as galinhas, a diferença observada devido a diferenças nos fatores de transferência é relativamente pequena, bastante menos significativa para a exposição do público do que aquelas observadas relativas aos fatores de transferência solo-planta.

O modelo utilizado neste estudo é, basicamente um modelo terrestre. Desta forma, existe ainda a necessidade de estudos e do desenvolvimento de ferramentas que permitam a estimativa do comportamento de uma contaminação acidental na contaminação de águas, de abastecimento e de superfície, bem como da contaminação de peixes e outros organismos aquáticos, em particular à criação destes em fazendas, atividade que vem crescendo significativamente na região, e no Brasil, em geral.

Referências Bibliográficas

- ABRIL, 1990, *Guia Rural – Anuário Agrícola*, Editora Abril, São Paulo.
- ABRIL, 1991, *Guia Rural – Plantar*, Editora Abril, São Paulo.
- ABRIL, 1992, *Guia Rural – Meu Sítio*, Editora Abril, São Paulo.
- ABRIL, 1992, *Guia Rural – Pomar*, Editora Abril, São Paulo.
- ABRIL, 1993, *Guia Rural – Água: Manual de Irrigação*, Editora Abril, São Paulo.
- AECB, 1985, Derivation of release limits for a typical uranium mining and milling facility – A report prepared for the Atomic Energy Control Board, Ottawa, Canada. Research Report INFO-0165
- AMARAL, E.C.S.; PARETZKE, H.G.; PIRES DO RIO, M.A.; CAMPOS, M.J.; FRANKLIN, M. 1992. Contribution of the Surface Soil to the Contamination of Food Products. Proceedings of the Fourth International Conference on Low-Level Measurements of Actinides and Long-lived Radionuclides in Biological Environmental Samples, October 15-20, Rio de Janeiro, Brazil
- AMARAL, E. C. S., PARETZKE, H. G.; CAMPOS, M. J.; PIRES DO RIO, M. A.; FRANKLIN, M., 1994, The contribution of soil adhesion to radiocaesium uptake by leafy vegetables, *Radiation and Environmental Biophysics*, v.33, pp.373-379.
- AMARAL, E. C. S., PARETZKE, H. G.; CAMPOS, M. J.; PIRES DO RIO, M. A.; FRANKLIN, M., 1995, Transfer of ¹³⁷Cs from soil to chicken meat and eggs, *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol.29 No.3, pp. 237-255.
- BERESFORD, N.A., HOWARD, B., 1991, The importance of soil adhered to vegetation as a source of radionuclides ingested by grazing animals. *Science of the Total Environment* V.107, pp. 237-254.
- BIOMASS, 2002, *Report of the Fruit Working Group*, IAEA, Viena.

- CAMBRAY, R.S.; CAWSE, P.A.; GARLAND, J.A.; GIBSON, J.A.B.; JOHNSON, P.; LEWIS, G.N.J.; NEWTON, D.; SALMON, L.; WADE, B.O., 1987. Observations on Radioactivity from the Chernobyl Accident. *Nuclear Energy*, V.26 N.2: 77-101
- CARINI F., SCOTTI, A. L., MONTRUCCOLL, M., SILVA, S., 1996. Cs-137 foliar contamination of vine: translocation to grapes and transfer to wine. *Mitt. D. Oster Bodenkundl*, 163-169, Italy
- CAWSE, P. A., TURNER, G. F., 1982. *The uptake of Radionuclides by Plants: a Review of Recent Literature*. Report AERE-R-9887.
- CONTI, L. F. C., 2002, *Desenvolvimento de um sistema integrado para avaliação de impacto radiológico ambiental em situações de emergência*, tese de doutorado, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes.
- CONTI, L. F. C., ROCHEDO, E. R. R., AMARAL, E. C. S., 2002. Desenvolvimento de um Sistema Integrado para Avaliação de Impacto Radiológico Ambiental em Situações de Emergência. In; *VI Encontro Nacional de Aplicações Nucleares*, CD-ROM, Rio de Janeiro.
- DAHLMAN, R. C., BONDIETI, E. A., EYMAN, L. D., 1976. Biological Pathways and Chemical Behavior of Plutonium and other Actinides in the Environment. In: *Proc. Symposium on Actinides in the Environment*, American Chemical Society, Washington, DC.
- DREICER, M.; HAKONSON, T.E.; WHITE, G.C.; WHICKER, F.W.; 1984. Rainsplash as a Mechanism for Soil Contamination of Plant Surfaces. *Health Physics*, V. 46 No. 1 : pp.177-187
- EMATER – RIO - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado, 2004, *Plante Hortaliças e tenha Saúde*, Folheto de distribuição, Rio de Janeiro.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Agro-pecuária, 1993, *Mapa de delineamento macroagroecológico do Brasil*, Geograf Didática, Rio de Janeiro.
- EPA – Environmental Protection agency, 2004, *Exposure Factors Handbook*, www.epa.org

- FOSTER, G.R.; WHITE, G.C.; HAKONSON, T.E.; DREICER, M.; 1985. A Model for Splash and Retention of Sediment and Soil-Borne Contaminants on Plants. *Transactions of the ASAE*, V.28, No.5, pp.1151 - 1520.
- FRISSEL, M. J., DEB, D. L., FATHONY, M., LIN, Y. M., MOLLAH, A. S., NGO, N. T., OTHMAN, I., ROBISON, W. L., SKARLOU-ALEXIOU, V., TOPCUOGLU, S., TWINING, J. R., UCHIDA S., WASSERMAN, M. A., 2002, Generic Values for Soil-to-Plant Transfer Factors of Radiocesium, *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 58 (2-3), pp. 113-128.
- GARLAND, J.A.; CAMBRAY, R.S., 1988. Deposition, Resuspension and the Long - Term Variation of Airborne Radioactivity from Chernobyl. *Radioecology*, V.14 N.18, Cadarache, France
- GERZABEK, M. H., HORAK, O., MUECK, K., 1989. Cs-137 Soil to plant transfer studies and their implications on parameters used in the Austrian version of Ecosys, *Radiation and Environmental Biophysics*, p.611-619.
- HOFFMAN, F. O.; BAES, C. F. (eds), 1979. *Statistical analysis of Selected Parameters for Prediction Food Chain Transport and Internal Doses of Radionuclides*. USNRC Reports Nos. NUREG/CR 1004, ORNL/NUREG/TM-282. Tennessee, USA.
- HINTON, T. G., MCDONALD, M., IVANOV, Y., ARKHIPOV, N., ARKHIPOV, A., 1995. Foliar absorption of resuspended Cs-137 relative to other pathways of plant contamination. *J. Environmental Radioactivity*, v.30 (1): 15-30.
- IAC – Instituto Agronômico, 2004, www.iac.sp.gov.br
- IAEA – International Atomic Energy Agency, 1982, *Generic Models and Parameters for Assessing the Environmental Transfer of Radionuclides from Routine Releases - Exposure of Critical Groups*, Safety Series n° 57, IAEA, Viena.
- IAEA – International Atomic Energy Agency, 1994, *Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Temperate Environments*,. Technical Report Series No. 364, IAEA, Viena.

- IAEA – International Atomic Energy Agency, 1996, *International Basic Safety Standards for the Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Source*, Safety Series No. 115. IAEA, Viena.
- IAEA – International Atomic Energy Agency, 2001, *Generic Models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the Environment*, Safety Report Series No. 19, IAEA, Viena.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1978, *Estudo nacional da despesa familiar – ENDEF. Dados preliminares: Consumo familiar – Antropometria*, Rio de Janeiro.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1991, *Pesquisa de Orçamentos Familiares 1987/1988 - Consumo alimentar "Per Capta"*, IBGE, Rio de Janeiro.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1998, *Pesquisa de Orçamentos Familiares 1995-1996. Volume 2: Consumo alimentar domiciliar per capita*, IBGE, Rio de Janeiro.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2004, *Servidor de Mapas*, www.Ibge.gov.br
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2004a, *Anuário Estatístico – Agricultura e Pecuária* www.Ibge.gov.br
- IUR - International Union of Radioecologists, 1987, *Vth Report of the Working Group Soil-to-Plant Transfer Factors*, IUR Report prepared by RIVM, Bilthoven, Netherlands
- IUR - International Union of Radioecologists, 1989, *VIth Report of the Working Group Soil-to-Plant Transfer Factors*, IUR Report prepared by RIVM, Bilthoven, Netherlands.
- MACACINI, J. F., TADDEI, M. H. T., SILVA, N. C., FUKUMA, H. T., WASSERMAN, M. A., 2002, Fatores de Translocação de ⁶⁰Co, ⁹⁰Sr e ¹³⁷Cs em Batateira e Milheiro. In: *Proceedings do VI ENAN*, Rio de Janeiro, Agosto.
- MACHADO E. C., PEREIRA, A. R., FAHL, J.I., ARRUDA, H. V., SILVA, W.J., TEIXEIRA, J. P. F., 1982. Análise quantitativa de crescimento de quatro variedades de milho em três densidades de plantio, através de funções matemáticas ajustadas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, pp.825-833, Brasília.

- MUECK, K., 1991. Estimate of Dose Reduction Effects due to Countermeasures after the Chernobyl Accident. *Radiation Protection Dosimetry* V.35 No.2: 99-114
- MÜLLER, H. PRÖHL, G. 1993. ECOSYS-87: A Dynamic Model for Assessing Radioecological Consequences of Nuclear Accidents. *Health Physics*, Vol.64, N.3: 232-252
- PARETZKE, H.G.; GARLAND, J.A., 1992. *Assessment of the Radiological Significance of Surface Contamination by Entrained Radioactivity*. Report for the Commission of European Communities, Luxemburg; under contract No. 90-ET-015
- PESAGRO – Pesquisa Agro-Pecuária, 1984, *Calendário Agrícola do Rio de Janeiro: Culturas Olerícolas*. Rio de Janeiro.
- PESAGRO – Pesquisa Agro-pecuária, 1995, *Banco de Alimentos – Estado do Rio de Janeiro*.
- PETERSON Jr., H. T., 1983, “Terrestrial and Aquatic Food Chain Pathways”, In: *Radiological Assessment: a Textbook on Environmental Dose Analysis*. Till, J.E. & Meyer, H.R. (eds). U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C.
- POON C. B., AU S. M., PROHL G., 1997. Adaptation of Ecosys-87 to Hong Kong environmental conditions. *Health Physics*, V.72 N.6: 856-864
- PRÖHL, G. H., 1990, *Modellierung der Radionuklidausbreitung in Nahrungsketten nach Deposition von Strontium-90, Caesium-137 und Jod-131 auf landwirtschaftlich genutzte flächen*, PhD Dissertation, TU München, Weihenstephan, Germany.
- PRÖHL, G.; FRIEDLAND, W.; PARETZKE, H.G., 1986. *Intercomparison of the Terrestrial Food Chain Models FOOD-MARC and ECOSYS*. GSF-Bericht 18/86
- PRÖHL, G. H., 2004, International Tendencies of Researches in Radioecology, In: *Workshop on Perspectives of Environmental Radiation Protection in Brazil*, IRD, Rio de Janeiro, 16-19 November 2004.
- ROCHEDO E. R. R., CONTI L. F., PARETZKE H. G., 1996. PARATI - A Dynamic Model for Radiological Assessments in Urban Areas - Part I: Modelling of Urban Areas, Their Contamination and Radiation Fields, *Radiation and Environmental Biophysics*, v.35 pp.243-261.

- ROCHEDO E. R. R., WASSERMAN M. A., 2000, Avaliação de Impacto Ambiental: Uso de Dados Genéricos versus Uso de Valores específicos para o Local. In: *Proceedings do V ENAN*, Rio de Janeiro, outubro, – em CR-ROM.
- ROCHEDO, E. R. R., WASSERMAN, M. A., PIRES DO RIO, M. A., 2001, “The Relevance of Site Specific Data on Environmental Impact Assessment” In: *Proceedings of the V Regional Congress on Radiation Protection and Safety*, Recife, PE, Maio - em CD-ROM
- ROCHEDO, E. R. R., AMARAL, E. C. S., FERNANDES, H. M., WASSERMAN, M. A. V., 1993, *Notas de Aula do Curso de Avaliação de Impacto Radiológico Ambiental*, IRD/CNEN, 2003
- ROED, J., 1990. *Deposition and Removal of Radioactive Substances in an Urban Area*. Final Report of the NKA Project AKTU-245
- ROSNER, G.; HOTZL, H.; WINKLER, R., 1990. Effect of Dry Deposition, Washout and Resuspension on Radionuclide Ratios After The Chernobyl Accident. *The Science of the Total Environment* 90 : 1-12
- RUSSEL R.S., 1965, “Interception and Retention of Airborn Material on Plants”, *Health Physics*, v.11, pp.1305-1315.
- SCIENCE - Sociedade Científica da Escola Nacional de Ciências Estatísticas, 2002. *Análise do Ambiente Socioeconômico da Área de Influência da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto – CNAAA. Relatório Consolidado, Volume III: Análise do Uso e Ocupação do Solo*, Rio de Janeiro.
- SCIENCE - Sociedade Científica da Escola Nacional de Ciências Estatísticas, 2002a. *Análise do Ambiente Socioeconômico da Área de Influência da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto – CNAAA. Relatório Consolidado, Volume I: Hábitos Alimentares*, Rio de Janeiro.

- SKARLOU, V., FRISSEL, M. J., TWINING, J. R., WASSERMAN, M. A., DJINGOVA, R., SCHULLER, P., JIANGUO, L., SACHDEV, P., UCHIDA, S., SANZHAROVA, N., AL-OU DAT, M., TOPCUOGLU, S., WANG, J. J., PRISTER, B., ROBISON, W. L., QUANG, N. H., 2001, Generic TF-values for Cs and Sr. In: *ESNA, European Organization for New methods in Agriculture*. Greece.
- SKARLOU, V., PAPANICOLAOU, E. P., NOBELI, C., 1996, “Soil to Plant Transfer of Radioactive Cesium and its Relation to Soil and Plant Properties”, *Geoderma*, v.72, pp. 53-63.
- SLAVIK, O., FULAJTAR, E., MULLER, H., PROHL, G., 2001, Model for food chain transfer and dose assessment in areas of the slovak republic. *Radiation and Environmental Biophysics*, V.40: 59-67.
- SUTCLIFFE & BAKER, 1989, *As Plantas e os Sais Minerais*. Editora Pedagógica e Universitária Ltda, 80p.
- TILL, J. E.; MEYER, H.R. (eds) *Radiological Assessment: a Textbook on Environmental Dose Analysis*. U.S. Nuclear Regulatory Commission. Washington, D.C., 1983
- THORNTON, I., ABRAHAMS, P., 1983, “Soil ingestion – a major pathway of heavy metals into livestock grazing contaminated land”. *Science of the Total Environment* 28, 287-294
- UNSCEAR, 1988 - United Nations Scientific Committee on the Effects on Atomic Radiation. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. United Nations, *1988 Report*, New York
- UNSCEAR, 2000 - United Nations Scientific Committee on the Effects on Atomic Radiation. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. United Nations, *2000 Report*, New York
- VASCONCELLOS, L. M. H., 1990. *Levantamento de Hábitos da População Residente em Torno do Complexo Industrial de Poços de Caldas*. Relatório Interno, IRD/CNEN.
- VASCONCELLOS, L. M. H.; LAURIA, D. C.; SILVA, L. H. C., 1999, Relação entre as massas úmida, seca e de cinzas em materiais biológicos – uma ferramenta para amostragens em campo e análise de amostras. *Química Nova*, v.22 No.6, pp.889-893.

- WASSERMAN M. A., 1998. The behaviour of caesium-137 In oxisols and Goiânia Soil. In: *Goiânia, Ten Years Later, Proceedings of an International Conference*, Goiânia, October, pp.346-353.
- WASSERMAN M. A., 1998a. "Geochemical Partitioning Related to Soil-Plant Transfer of Caesium-137 in Oxisols of Tropical Areas". In: *Environmental Geochemistry in the Tropics*, Wasserman, J.C., Silva-Filho, E.V., Villas-Boas, R. (eds). Lecture Notes in *Earth Sciences*, no 72. Springer-Verlag, Germany. pp: 25-34.
- WASSERMAN, M. A., PÉREZ D. V., FERREIRA A. C. M., CONTI C. C., ROCHEDO E. R. R., BARTOLY F., VIANA A. G., MOURA G. P.; POQUET I., 2002^a. Valores de transferência solo-planta de ¹³⁷Cs em solos de sistemas agro-ecológicos tropicais. In: *Proceedings do VI ENAN*, Rio de Janeiro.
- WASSERMAN, M. A., 1997. Soil-To-Plant Transfer of ¹³⁷Cs in Tropical Areas. In: *IV Research Coordination Meeting on Transfer of Radionuclides from Air, Soil, and Freshwater to the Foodchain of Man in Tropical and Subtropical Environment*. Vienna, Austria.
- WASSERMAN, M. A., PEREZ, D. V., BARTOLY, F. & POQUET, I., 2001. Assessment of the mobility and Bioavailability of ⁶⁰Co and ¹³⁷Cs in contaminated soils In: *V Regional Congress on Radiation Protection and Safety*, Recife.
- WASSERMAN, M. A., ROCHEDO, E., FERREIRA, A. C., CONTI, C. C., POQUET, I. C., TADDEI, M. H., GOMES, H. A., FUKUMA, H. T., MACACINI, J. F., PEREZ, D. V., BOURG, A., 1999, Plant uptake processes related to geochemical behaviour of radionuclides in some Brazilian soil. In: *FAO/IAEA/IUR Research Co-ordination Meeting on the Co-ordination Research Programme on "Classification of Soil Systems on the basis of Transfer Factors of Radionuclides from Soil to Reference Plants"*, Izmir, Turquia.
- WASSERMAN, M. A., VIANA A. G., BARTOLY F., PÉREZ D. V., CONTI C. C., ROCHEDO E. R. R., VIVONE, R. J., 2004, The Assessment of Radio-vulnerability in Agro-systems. Enviado para publicação

- WASSERMAN, M. A.; PEREZ, D. V.; FERREIRA, A. C.; CONTI, C. C.; ROCHEDO E. R. R.; BARTOLY, F.; VIANA, A. G.; MOURA, G. P. & POQUET, I. C., 2002. Uso do fator de transferência solo-planta de referência em ecossistemas brasileiros radiosensíveis ao ^{137}Cs . In: *VI Encontro Nacional de Aplicações Nucleares*, em CD-ROM, Rio de Janeiro.
- WASSERMAN, M.A., BELÉM, L. J., 1996, Valores de Transferência do ^{137}Cs de Latossolos para Plantas comestíveis, In: *VI Congresso Geral de Energia Nuclear*, CD-ROM, Rio de Janeiro.
- WILKINS, B.T., 1988. *Weathering as a means of removing Radiocaesium Aerosols from Urban Surfaces*. National Radiological Protection Board, Report NRPB, Chilton, UK.