

**Aplicação dos modelos de transmissão da cadeia alimentar à
dieta típica portuguesa utilizando o sistema de suporte à
decisão JRodos**

Catarina Andreia Mamede Inácio

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Proteção e Segurança Radiológica

Orientadores: Professor Doutor Mário Reis e Doutor Paulo Nunes

Júri

Presidente: Professor Doutor Pedro Vaz

Vogais: Professor Doutor Mário Reis e João Martins

novembro, 2019

Declaração

Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa.

Declaration

I declare that this document is an original work of my own authorship and that it fulfills all the requirements of the Code of Conduct and Good Practices of the Universidade de Lisboa

Agradecimentos

Ao meu orientador da Agência Portuguesa do Ambiente, Doutor Paulo Nunes, agradeço do fundo do meu coração pela (muita) paciência, pelo tempo despendido e por estar sempre presente em todas as etapas da execução desta tese. Ao meu orientador do Instituto Superior Técnico, Professor Doutor Mário Reis, agradeço por todo o conhecimento ao longo destes dois anos, disponibilidade e positivismo. O vosso apoio e constante preocupação, juntamente com motivação e dedicação foram essenciais para a conclusão desta etapa da minha vida. Obrigada.

Agradeço também ao Coordenador do Mestrado em Proteção e Segurança Radiológica, Professor Doutor Pedro Vaz, por tornar este mestrado possível, por toda a exigência e por tudo o que me ensinou, pessoal e profissionalmente, ao longo destes dois anos.

Ao João Martins e a toda a sua equipa (Márcia Farto, Francisco Cardoso, Luís Portugal), por tornarem possível a articulação desta dissertação de mestrado com a Agência Portuguesa do Ambiente e por me terem acolhido tão bem.

Ao meu chefe Pedro Gomes e aos meus colegas de trabalho do ISQ Louis, José e Mariana obrigado por me facilitarem a conjugação do trabalho e da tese e por me ajudarem ao longo destes meses.

Como não poderia deixar de ser, ao David, à Filipa e à Raquel, um obrigado do tamanho do mundo. Sempre ouvi dizer que a faculdade não se faz sozinha e que em números é que está a força, e sem dúvida, vocês foram a minha maior força para concluir esta tese.

Ao Diogo, por todo o amor e carinho, pelo apoio e pela força, e sobretudo, por acreditar em mim e em todas as minhas capacidades.

E *at last but not least*, gostaria de agradecer à minha família e amigos, sobretudo aos meus pais, Leonarda e Vítor, por tudo aquilo que me proporcionaram ao longo da vida, por todos os sacrifícios e por todo o amor e apoio incondicional que me fez ter a força para chegar onde cheguei.

Resumo

Num acidente nuclear/radiológico, uma resposta rápida e eficiente é importante para proteção da população e do meio ambiente. Com o acidente de Chernobyl foram desenvolvidos vários projetos na área da proteção radiológica para ajudar na resposta, nomeadamente o sistema de suporte à decisão JRodos.

O JRodos contém diferentes modelos para diferentes fases do acidente, nomeadamente o modelo FDMT que simula a transferência de material radioativo e a exposição à radiação nas cadeias alimentares e avalia a dose. Os parâmetros deste sistema e nomeadamente deste modelo são, por defeito, da Europa Central, o que faz com que não seja específico para o nosso país utilizá-los.

Foi analisada a dieta típica portuguesa (dieta mediterrânica) e as estatísticas de produção nacional para utilizar esses produtos no modelo e verificar quais as piores condições para ocorrer maior deposição no solo, assim como verificar os alimentos que ultrapassavam os níveis de intervenção.

Sendo os acidentes com fontes de radiação industriais um problema e suscetíveis de acontecer nacionalmente, foi simulado um acidente na Siderurgia do Seixal tendo por base o acidente de Algeciras.

Resultados demonstraram que as piores condições eram vento de pouca intensidade e sempre em condições de precipitação. Relativamente aos níveis de intervenção, vários foram ultrapassados tais como em vegetais de folha, entre outros, dependendo da simulação.

Futuramente seria necessário considerar mais zonas agrícolas e adicionar alimentos importantes como vinho e azeite, bem como adaptar o sistema com parâmetros nacionais para que o JRodos tivesse o FDMT adaptado às condições nacionais e conseqüentemente otimizar a resposta e preparação no caso de uma emergência.

Palavras-chave: emergência radiológica, emergência nuclear, sistema de suporte à decisão, JRodos, FDMT, níveis de intervenção, cadeia alimentar

Abstract

In a nuclear or radiological accident, a quick and efficient response is essential to the radiological protection of the population and the environment. The Chernobyl accident was a starting point for many projects in the area of Radiation Protection to help the preparedness and response of emergencies, one of them being the decision support system JRodos.

Within the JRodos, FDMT is the module for simulating the transfer of radioactive material in food chains and for the assessment of dose. The default data provided with the system is for use only within Central Europe, but it's possible to customize the system to regional and national conditions.

Data from the typical Portuguese diet (Mediterranean diet) and from national statistics yield was collected in order to use those products in the FDMT model. It was verified the worst conditions to occur greater soil deposition and the foodstuff above the intervention levels.

As accidents with industrial radiation sources are a problem and likely to happen nationally, an accident was simulated in Siderurgia do Seixal based on the Algeciras accident.

Results have shown that the worst conditions were light wind and precipitation. Regarding intervention levels, several were exceeded such as leafy vegetables, among others, depending on the simulation.

In the future, it would be necessary to consider more agricultural areas and add important foodstuffs such as wine and olive oil, as well as customize the system with national parameters so that JRodos can have the FDMT model adapted to national conditions and consequently be able to optimize the response and preparedness in case of an emergency.

Key words: radiological emergency, nuclear emergency, decision support system, JRodos, FDMT, food chain, intervention levels

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Lista de figuras	vi
Lista de tabelas	ix
Lista de siglas e acrónimos	xi
Lista de símbolos	x
1. Introdução	1
1.1. Motivação e objetivos	1
1.2. Radiação ionizante	2
1.2.1. Grandezas físicas	3
1.2.1.1.Fluência	3
1.2.1.2.Kerma	3
1.2.1.3.Dose absorvida.....	3
1.2.2. Grandezas de proteção radiológica.....	4
1.2.2.1.Dose equivalente	4
1.2.2.2.Dose efetiva.....	4
1.2.3. Grandezas operacionais.....	6
1.3. Efeitos biológicos da radiação ionizante	6
1.4. Proteção Radiológica	8
1.5. Níveis de intervenção	10
1.6. Emergências radiológicas e acidentes nucleares	11
1.6.1. Portugal.....	14
1.6.2. Acidente de Chernobyl e Fukushima-Daiichi	15
1.6.3. Acidente de Algeciras	17
2. Transferência de radionuclídeos na cadeia alimentar	20
2.1. Absorção e distribuição nas plantas.....	22
2.2. Transferência para os animais e para produtos animais	23
2.3. Césio-137	23
3. JRodos	25

3.1.	Início e desenvolvimento	25
3.2.	Objetivo e estrutura	26
3.3.	Modelo Terrestre da Cadeia Alimentar e Modelação de Dose (FDMT)	28
3.3.1.	Deposição	29
3.3.2.	Contaminação das plantas	30
3.3.3.	Contaminação de produtos animais	31
3.3.4.	Cálculo da dose	32
4.	Metodologia.....	33
4.1.	Dieta Mediterrânica e Estatísticas Agrícolas	34
4.1.1.	Produção vegetal.....	35
4.1.2.	Produção animal.....	38
4.2.	Cenários radiológicos	39
4.2.1.	Modelo LSMC	39
4.2.1.1.	Localização.....	40
4.2.1.2.	Termo fonte.....	41
4.2.1.3.	Dados meteorológicos.....	42
4.2.2.	FDMT	47
5.	Resultados e análise de resultados.....	49
5.1.	Simulações com direção de vento a 315°	50
5.2.	Simulações com direção de vento de 225°	52
5.3.	Simulações com direção de vento a 270°	54
6.	Conclusões e discussão.....	56
6.1.	Considerações futuras.....	58
7.	Referências.....	60
	Apêndice I – Parâmetros utilizados nas simulações.....	65
	Apêndice II – Parâmetros por defeito do JRodos	72

Lista de figuras

Figura 1: Efeitos determinísticos (lado esquerdo) vs efeitos estocásticos (lado direito) em termos de dose-efeito. [17].....	7
Figura 2: Variação da concentração do Cs-137 no leite das vacas em França durante 1986 e 1987 observada (quadrados) e simulada (linha contínua) retirado de [30].	16
Figura 3: Variação da atividade do Cs-137 em aerossóis entre 1959 e 2000 em Orsay, França retirado de [38].....	18
Figura 4: Vias de exposição na transferência de radionuclídeos através da cadeia alimentar no seguimento da libertação de radionuclídeos para a atmosfera.[20]	20
Figura 5: Processo de transferência de radionuclídeos. Os radionuclídeos são depositados diretamente nas folhas (1), de seguida uma fração destes radionuclídeos migram para o solo (2) e por fim são transferidos para as raízes da planta (3). Retirado de [37]......	22
Figura 6: Esquema de decaimento do Cs ¹³⁷ , retirado de [65]......	24
Figura 7: Interface do Jrodos.....	27
Figura 8: Cadeias de modelos no JRodos e respetivas fases correspondentes retirado de [3]......	28
Figura 9: Etapas dos cálculos do modelo FDMT, retirado de [47].	29
Figura 10: Produção total de cereais em Portugal continental, retirado de [52].	36
Figura 11: Produção total de tomate para indústria em Portugal continental, retirado de [52].	36
Figura 12: Produção de total de alguns produtos hortícolas em Portugal continental, retirado de [52].	36
Figura 13: Produção total de batata em Portugal continental, retirado de [52]......	36
Figura 14: Produção total de maçã em Portugal continental, retirado de [52].	37
Figura 15: Produção total de laranja em Portugal continental, retirado de [52].	37
Figura 16: Produção total de pera em Portugal continental, retirado de [52].	37
Figura 17: Produção total de vinho em Portugal continental, retirado de [52].	37
Figura 18: Produção total de azeite em Portugal continental, retirado de [52].	37
Figura 19: Produção total de carnes bovina e suína em Portugal continental, retirado de [52].	38
Figura 20: Produção total de carnes de animais de capoeira em Portugal continental, retirado de [52].	38
Figura 21: Produção total de ovos em Portugal continental, retirado de [52].	38
Figura 22: Produção total de leite em Portugal continental, retirado de [52].	38
Figura 23: Criação de um novo projeto no JRodos e escolha da cadeia de modelos a utilizar.	39

Figura 24: Interface de escolha do tipo de cenário e de localização do JRodos	40
Figura 25: Interface do JRodos da escolha da fonte, da atividade e das características do fogo do incêndio.	41
Figura 26: Interface do JRodos das condições e dados meteorológicos, juntamente com o tempo de prognóstico.	43
Figura 27: Atlas do Ambiente - Vento, nomeadamente direção do vento da zona de Setúbal retirado de [58].	44
Figura 28: Gráfico representativo da intensidade média do vento à superfície (10 m) em Portugal Continental no período de 1971-2000, retirado de [59].	44
Figura 29: Interface do JRodos da colocação dos dados meteorológicos nomeadamente a duração do intervalo, direção e velocidade do vento, intensidade da chuva e estabilidade atmosférica.	46
Figura 30: Interface do JRodos da cadeia de modelos FDMT para escolha dos parâmetros a serem representados e simulados.	47
Figura 31: Mapa do JRodos de uma parte da Área Metropolitana de Lisboa. A cor-de-rosa encontram-se representadas as zonas de regadio.	49
Figura 32: Contaminação no solo (por deposição húmida e seca) na célula 1077 tendo em conta as simulações para a direção de vento a 315°.	50
Figura 33: Exemplo de representação geográfica da contaminação (por deposição húmida e seca) de uma simulação com direção de vento a 315° (Projeto Cs-15), da localização da célula escolhida e da zona (a verde) onde os níveis de intervenção foram ultrapassados.	51
Figura 34: Contaminação no solo (por deposição húmida e seca) na célula 1326 tendo em conta as simulações para a direção de vento a 225°.	52
Figura 35: Exemplo de representação geográfica da contaminação (por deposição húmida e seca) de uma simulação com direção de vento a 225° (Projeto Cs-35), da localização da célula escolhida e da zona (a verde) onde os níveis de intervenção foram ultrapassados.	53
Figura 36: Contaminação no solo (por deposição húmida e seca) na célula 1137 tendo em conta as simulações para a direção de vento a 270°.	54
Figura 37: Exemplo de representação geográfica da contaminação (por deposição húmida e seca) de uma simulação com direção de vento a 270° (Projeto Cs-72), da localização da célula escolhida e da zona (a verde) onde os níveis de intervenção foram ultrapassados.	55
Figura 38: Parâmetros por defeito da região da Europa Central relativamente aos produtos alimentares.	72
Figura 39: Parâmetros por defeito da região da Europa Central relativamente aos produtos alimentares animais.	72

Figura 40: Parâmetros por defeito da região da Europa Central relativamente às plantas e à superfície do solo. 73

Lista de tabelas

Tabela 1: Fatores de ponderação da radiação para cada tipo de radiação adaptado de [7,13].....	4
Tabela 2: Fatores de ponderação tecidual (w_T), adaptado de [7,13].....	5
Tabela 3: Limite de dose para trabalhadores expostos, profissionais expostos e aprendizes e estudantes.[12].....	9
Tabela 4: Níveis máximos admissíveis de contaminação radioativa dos géneros alimentícios adaptado de [21].....	11
Tabela 5: Níveis máximos admissíveis de contaminação radioativa dos alimentos para animais prontos para consumo adaptado de [21].....	11
Tabela 6: Estimativas mundiais de acidentes graves com radiação dependendo da tipologia do acidente adaptado de [1].....	13
Tabela 7: Eficiência de deteção de ^{137}Cs num camião com resíduos metálicos adaptado de [23].	13
Tabela 8: Produtos alimentares que constituem a Dieta Mediterrânea.[51]	34
Tabela 9: Distribuição realista esperada do ^{137}Cs após uma fusão acidental na fabricação de aço, adaptado de [25].....	42
Tabela 10: Critérios de Emissão dos Avisos Meteorológicos relativos ao vento, adaptado de [60].	45
Tabela 11: Método de escolha da estabilidade atmosférica baseado na velocidade do vento à superfície e nas condições do dia, adaptado de [61].....	45
Tabela 12: Critérios de Emissão dos Avisos Meteorológicos relativos à precipitação, adaptado de [60].	46
Tabela 13: Lista de forragens presentes no modelo FDMT.....	48
Tabela 14: Lista de alimentos presentes no modelo FDMT.	48
Tabela 15: Níveis de contaminação dos emissores gama e beta, adaptado de [63]......	49
Tabela 16: Contaminação no solo para a respetiva simulação com direção de vento a 315° e na célula 1077.....	50
Tabela 17: Resultados dos níveis de intervenção dos produtos alimentares da simulação número 15.	51
Tabela 18: Contaminação no solo para a respetiva simulação com direção de vento a 225° e na célula 1326.....	52
Tabela 19: Resultados dos níveis de intervenção dos produtos alimentares da simulação número 35.	53
Tabela 20: Contaminação no solo para a respetiva simulação com direção de vento a 270° e na célula 1137.....	54

Tabela 21: Resultados dos níveis de intervenção dos produtos alimentares da simulação número 72.	55
Tabela 22: Resumo dos resultados e parâmetros dos níveis mais altos de contaminação nas células escolhidas.....	57

Lista de siglas e acrónimos

ALARA	<i>As Low as Reasonably Achievable</i>	ICRP	<i>International Commission on Radiological Protection</i> (Comissão Internacional de Proteção Radiológica)
ANPC	Autoridade Nacional da Proteção Civil	ICRU	<i>International Commission on Radiological Units and Measurements</i> (Comissão Internacional de Unidades e Medidas Radiológicas)
APA	Agência Portuguesa do Ambiente	INE	Instituto Nacional de Estatística
ArcGIS	<i>Architecture Geographic Information System</i>	IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
CE	Comissão Europeia	KIT	<i>Karlsruhe Institute of Technology</i>
CFIL	<i>Council Food Intervention Levels</i>	LSMC	<i>Local Scale Model Chain</i>
CSN	<i>Consejo de Seguridad Nuclear</i>	NCRP	National Council on Radiation Protection & Measurements
DepoM	<i>Deposition Model</i>	OIL	Operation Intervention Level (Nível de intervenção operacional)
EMERSIM	<i>Early Phase Emergency Model</i>	OMS	Organização Mundial de Saúde
ERMIN	<i>Inhabited Area Model</i>	RADNET	Rede de Alerta de Radioatividade no Ambiente
EUA	Estados Unidos da América	RODOS	<i>Real-time On-line DecisiOn Support</i>
EURANOS	<i>European Approach to Nuclear and Radiological Emergency Management and Rehabilitation Strategies</i>	RPI	Reator Português de Investigação
EURDEP	<i>European Radiological Data Exchange Platform</i>	SI	Sistema Internacional de Unidades
FDMT	<i>Terrestrial Food Chain Model and Dose Module</i> (Modelo Terrestre da Cadeia Alimentar e Modulação de Dose)	SI	Sistema Internacional
GPP	Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral	UE	União Europeia
GSR	<i>General Safety Requirements</i>	UTC	Coordinated Universal Time
IAEA	<i>International Atomic Energy Agency</i> (Agência Internacional de Energia Atómica)		

Lista de símbolos

¹³¹ I	Iodo-131	Bq	Becquerel
¹³⁴ Cs	Césio-134	Ci	Curie
¹³⁷ Ba	Bário-137	h	hora
¹³⁷ Cs	Césio-137	J	Joule
²²⁶ Ra	Rádio-226	K	Potássio
²⁴¹ Am	Amerício-241	Kg	Kilograma
⁶⁰ Co	Cobalto-60	L	Litro
⁸⁹ Sr	Estrôncio-89	M	Metro
⁹⁰ Sr	Estrôncio-90	MeV	Mega eletrão-volt

1. Introdução

1.1. Motivação e objetivos

Atualmente, devido às lições aprendidas com os acidentes radiológicos e nucleares do passado, aos estudos epidemiológicos dos sobreviventes das bombas atômicas e à comunidade científica estar em constante análise e atualização de conhecimento, sabe-se que acima de determinados níveis de exposição à radiação ionizante, os efeitos podem causar prejuízo à saúde humana e ao meio ambiente. Para tal, o papel da proteção e segurança radiológica é fundamental para minimizar e evitar a ocorrência de acidentes e de exposições desnecessárias.[1]

Quando um acidente radiológico ou nuclear se encontra em desenvolvimento, é necessário a promoção de medidas de proteção radiológica para que se minimizem os efeitos na saúde e no ambiente devido à exposição à radiação. Neste contexto, sistemas de suporte à decisão podem ser úteis para fornecer conhecimento sobre quais as medidas que devem ser tomadas dependendo da situação e até podem ir mais longe e fornecer a identificação e elaboração de ações de proteção e cenários de treino para a preparação de eventos futuros.[2]

Estando num período de exponencial crescimento e desenvolvimento tecnológico, é importante a constante atualização destes sistemas para que nos forneçam uma informação cada vez mais atual, relevante e precisa. O sistema de suporte à decisão em tempo real para gestão de emergência *off-site* JRodos é uma ferramenta que permite a simulação de emergências radioativas em toda a Europa. No entanto, os parâmetros por defeito foram selecionados tendo em mente a realidade da Europa Central, não havendo ainda parâmetros definidos para os outros países e regiões. Para o modelo da cadeia alimentar (FDMT) em especial, que efetua prognósticos da contaminação e transferência de radionuclídeos de produtos alimentares terrestres e da dose resultante para os indivíduos expostos, é importante que os parâmetros sejam adaptados e customizados para cada região ou país por existirem diferentes variáveis como por exemplo condições meteorológicas e agrícolas, taxas de consumo e tipo de produtos alimentares produzidos. Este ajuste nos parâmetros faz com que as ações de proteção e respostas ao acidente sejam personalizadas e específicas de cada região ou país, tornando-se numa melhor proteção para os indivíduos e para o meio ambiente.[3]

Os objetivos desta dissertação de mestrado consistem na análise de dados referentes à dieta que estão implementados no modelo FDMT, na recolha de dados relativos à dieta típica portuguesa (dieta mediterrânica) e na implementação desses mesmos dados relativos à dieta típica no modelo do sistema de suporte à decisão. É também considerado objetivo, a verificação de quais as piores condições meteorológicas para ocorrer maior deposição no solo de radionuclídeos e de quais os alimentos cujos níveis de intervenção foram ultrapassados.

1.2. Radiação ionizante

A radiação pode ser classificada em duas categorias principais, ionizante ou não ionizante, consoante possua ou não energia suficiente para ionizar o meio em que se encontra. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), radiação ionizante é aquela com energia suficiente para, durante uma interação com um átomo, remover eletrões do mesmo, fazendo com que este se torne carregado ou ionizado.[4] Esta pode ser emitida sob a forma de radiação alfa (α), beta (β), gama (γ), raios X e neutrões (n) que possuem diferentes poderes de penetração. As partículas alfa têm um alcance curto, sendo que podem ser blindadas com uma folha de papel ou na pele humana. As partículas beta são mais penetrantes que as partículas alfa, mas podem ser blindadas com um objeto de maior espessura, como por exemplo, uma folha de alumínio. Os raios X e gama são radiação eletromagnética e não possuem carga, podendo atravessar facilmente papel, alumínio e o corpo humano, no entanto podem ser blindados através de materiais como o betão e o chumbo.[5]

Existem vários tipos de fontes emissoras de radiação utilizadas pelo homem, sendo que as mais comumente utilizadas na indústria e na medicina são as fontes seladas e os geradores de raios X cuja radiação é emitida através de uma ampola quando se encontra ligada à corrente. As fontes seladas são definidas pela Agência Internacional de Energia Atómica (IAEA), como material radioativo que se encontra permanente selado em cápsulas ou extremamente compactado e numa forma sólida. Estas são amplamente usadas na indústria, o que inclui ensaios não-destrutivos, esterilização de produtos, entre outros e na medicina para o tratamento de cancro na radioterapia e braquiterapia.[6]

Devido às consequências nefastas que a radiação ionizante poderá ter para a saúde humana e para o meio ambiente, é importante quantificar e estimar a exposição e a quantidade de radiação a que um dado material ou tecido biológico foi exposto.[7] Para tal, existem várias grandezas dosimétricas nomeadamente as grandezas físicas, de proteção radiológica e operacionais.

Os cálculos para determinar a exposição interna ou externa devido à radiação proveniente de radionuclídeos requerem mais informações tais como, o tempo de semivida, a energia, o tipo de radionuclídeo, a atividade, entre outras. O tempo de semivida ou semidesintegração de um radioisótopo corresponde ao tempo necessário para que metade dos átomos decaiam, ou seja, para que a atividade um radioisótopo decresça para metade, sendo que é característica de cada radioisótopo e pode ir de algumas frações de segundo até milhões de anos.[8-10]

A atividade corresponde a uma determinada quantidade de um radionuclídeo num determinado nível de energia e num dado tempo e é dada por:

$$A = -\frac{dN}{dt} \quad (\text{Equação 1.2.1})$$

em que dN é o número expectável de transformações nucleares espontâneas, a partir desse nível de energia e no intervalo de tempo dt . A sua unidade de medida do sistema internacional (SI) é o becquerel (Bq), correspondendo ao número de desintegrações por segundo, uma vez que os efeitos biológicos das radiações são causados por desintegrações nucleares. Este número de desintegrações por

segundo para um determinado radionuclídeo é diretamente proporcional à quantidade do radionuclídeo presente. Para alimentos e água, as concentrações da atividade de um radionuclídeo são expressas em becquerel por quilograma ou por litro (Bq/kg ou Bq/L).[2,11-12,18]

1.2.1. Grandezas físicas

1.2.1.1. Fluência

É o quociente de dN por dA , em que dN é o número de partículas incidentes numa esfera por unidade de área perpendicular ao feixe dA :

$$\Phi = \frac{dN}{dA} \quad (\text{Equação 1.2.2})$$

A unidade do sistema internacional (SI) de fluência é m^{-2} . [7,13]

1.2.1.2. Kerma

O kerma (*kinetic energy released per unit mass*) é aplicável à radiação indiretamente ionizante (partículas ionizantes sem carga como os fótons ou neutrões) e é definida como o quociente de dE_{tr} por dm , em que dE_{tr} é a soma média das energias cinéticas iniciais de todas as partículas carregadas libertadas num material de massa dm pelas partículas sem carga incidentes em dm :

$$K = \frac{d\bar{E}_{tr}}{dm} \quad (\text{Equação 1.2.3})$$

A unidade SI de kerma é $J\ kg^{-1}$ ou gray (Gy). [7-13]

1.2.1.3. Dose absorvida

É o quociente entre $d\bar{\epsilon}$ e dm , em que $d\bar{\epsilon}$ é a energia média depositada pela radiação ionizante num material de massa dm :

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm} \quad (\text{Equação 1.2.4})$$

A unidade SI de dose absorvida é $J\ kg^{-1}$ ou gray (Gy).

Apesar de terem unidades iguais, o valor de kerma depende somente das interações no material de massa dm , enquanto que a dose absorvida, depende também das partículas carregadas secundárias que são libertadas à volta da massa dm e que interagem com a mesma. [7-13]

1.2.2. Grandezas de proteção radiológica

1.2.2.1. Dose equivalente

É a dose absorvida média no órgão ou tecido T, ponderada em função do tipo e qualidade da radiação R, incidente no corpo ou emitida por radionuclídeos existentes no corpo. É definida pela expressão:

$$H_{T,R} = \sum_R w_R D_{T,R} \quad (\text{Equação 1.2.5})$$

em que $D_{T,R}$ é a média da dose absorvida no órgão ou tecido T, correspondente à exposição da radiação R e w_R corresponde ao fator de ponderação do tipo de radiação (tabela 1).

A unidade SI de dose equivalente é $J\ kg^{-1}$ ou sievert (Sv).[7,13]

Tabela 1: Fatores de ponderação da radiação para cada tipo de radiação adaptado de [7,13].

Tipo de radiação*		Fator de ponderação da radiação (w_R)
Fotões		1
Eletrões e muões		1
Protões		2
Partículas alfa, fragmentos de fissão e iões pesados		20
Neutrões	$E_n < 1\ MeV$	$2,5 + 18,2e^{-[\ln(E_n)]^2/6}$
	$1\ MeV \leq E_n \leq 50\ MeV$	$5,0 + 17,0e^{-[\ln(2E_n)]^2/6}$
	$E_n > 50\ MeV$	$2,5 + 3,25e^{-[\ln(0,04E_n)]^2/6}$

*todos os valores dizem respeito à radiação incidente no corpo ou, no caso de fontes internas de radiação, emitida pelo(s) radionuclídeo(s) incorporado(s).

1.2.2.2. Dose efetiva

Encontra-se associada à probabilidade dos efeitos estocásticos e é definida como a soma das doses equivalentes ponderadas em todos os tecidos e órgãos do corpo resultantes de exposição interna e externa:

$$E = \sum_T \omega_T H_T = \sum_T \omega_T \sum_R w_R D_{T,R} \quad (\text{Equação 1.2.6})$$

em que $D_{T,R}$ é a média de dose absorvida no órgão ou tecido T, correspondente à exposição da radiação R e w_T é o fator de ponderação tecidular para o tecido ou órgão T. Como diferentes órgãos e tecidos biológicos apresentam radiosensibilidades diferentes, o fator w_T varia conforme a tabela 2.[7,13]

Tabela 2: Fatores de ponderação tecidual (w_T), adaptado de [7,13].

Tecido ou órgão	w_T	Σw_T
Medula óssea vermelha, cólon, pulmão, estômago, mama, tecidos diversos*	0,12	0,72
Gónadas	0,08	0,08
Bexiga, esófago, fígado, tiroide	0,04	0,16
Superfície óssea, cérebro, glândulas salivares, pele	0,01	0,04
Total		1

*Tecidos diversos: tecido suprarrenal, região extratorácica, vesícula biliar, coração, rins, gânglios linfáticos, músculo, mucosa bucal, pâncreas, próstata, intestino delgado, baço, timo, útero/colo do útero.

Esta grandeza é definida e estimada para uma pessoa de referência, não tendo em conta características individuais, apenas as condições específicas da exposição de um indivíduo. A unidade de medida, tal como na dose equivalente, é o Sv. [7,13]

Quando se tem em conta a integração dos anos seguintes à ingestão de radionuclídeos é chamada dose efetiva comprometida. Para a exposição interna, as doses efetivas comprometidas são determinadas a partir da avaliação das incorporações de radionuclídeos, quer por ensaios biológicos, quer por outros métodos (por exemplo, atividade retida no corpo ou nas excreções diárias), sendo que a dose de radiação é calculada utilizando coeficientes de dose, que relacionam a atividade incorporada com a dose. A dose efetiva comprometida num período de 50 anos¹ após a incorporação de radionuclídeos é determinada pela expressão:

$$E(50) = \sum_j e_{j,inh}(50) \times I_{j,inh} + \sum_j e_{j,ing}(50) \times I_{j,ing} \quad (\text{Equação 1.2.7})$$

em que $e_{j,inh}(50)$ é o coeficiente de dose efetiva comprometida pela incorporação por inalação de determinada atividade do radionuclídeo j , $I_{j,inh}$ é a atividade incorporada por inalação do radionuclídeo j , $e_{j,ing}(50)$ é o coeficiente de dose efetiva comprometida pela incorporação por ingestão de determinada atividade do radionuclídeo j e $I_{j,ing}$ é a atividade incorporada por ingestão do radionuclídeo j . O período de comprometimento de 50 anos, representa o período possível de acumulação de doses durante o tempo de trabalho, sendo que para alguns radionuclídeos específicos é necessário ter em conta as características do material incorporado.[7,13]

¹ O período após a incorporação é de 50 anos para adultos e até 70 para crianças.[7]

1.2.3. Grandezas operacionais

As duas grandezas de proteção dose efetiva e dose equivalente não são mensuráveis na prática, por isso não podem ser utilizadas diretamente para fins de monitorização radiológica. Para determinar a dose efetiva e equivalente nos tecidos ou órgãos são utilizados coeficientes de conversão e grandezas operacionais utilizadas para monitorização da radiação. [7,13] O objetivo das grandezas operacionais é fornecer uma estimativa razoável do valor das grandezas da proteção radiológica relacionadas com uma exposição ou exposições.

- **Equivalente de dose ambiente $H^*(d)$:** num ponto do campo de radiação, é o equivalente de dose que seria produzido pelo campo expandido e alinhado (o valor de equivalente de dose em qualquer ponto é independente da distribuição direcional da radiação) correspondente na “esfera ICRU” (esfera de material equivalente a tecido com 30 cm de diâmetro que representa o corpo humano) a uma profundidade d .
- **Equivalente de dose direcional $H'(d, \Omega)$:** é utilizada para a monitorização de área para estimar a dose na pele e extremidades e no cristalino. É o equivalente que seria produzido pelo campo expandido correspondente na “esfera ICRU” a uma profundidade d , numa direção específica Ω . Para estimar a dose na pele e nas extremidades utiliza-se uma profundidade igual a 0,07 mm e no cristalino igual a 3 mm.
- **Equivalente de dose pessoal $H_p(d)$:** é utilizada para a monitorização individual e é o equivalente de dose no tecido mole ICRU (mesma constituição que a esfera ICRU) a uma profundidade d . Para estimar a dose efetiva utiliza-se uma profundidade de 10 mm.

A unidade para estas grandezas operacionais é $J\ kg^{-1}$ ou Sv.[7,13]

1.3. Efeitos biológicos da radiação ionizante

Existem diferentes vias através das quais indivíduos podem ser expostos a radiação no âmbito de um acidente, nomeadamente: pela via de exposição externa através do contacto ou da proximidade de uma fonte de radiação; pela via de ingestão através de alimentos contaminados; pela via de inalação de uma pluma ou de partículas ressuspensas; e através da contaminação da pele ou das roupas.[14] Nos acidentes em que ocorre libertação de radionuclídeos para a atmosfera, a exposição dever-se-á, sobretudo, à radiação gama externa derivada da pluma radioativa e do material depositado no solo, à inalação de material radioativo que se encontra na pluma, à ingestão de alimentos contaminados e à deposição de material radioativo na pele.[14-15] No caso da ingestão, a absorção dos radionuclídeos para a corrente sanguínea após serem ingeridos, normalmente ocorre no intestino delgado.[16]

Após a exposição à radiação, dependendo da mesma, podem verificar-se de imediato ou tardiamente efeitos na saúde humana que podem ser agrupados em duas categorias: efeitos determinísticos e efeitos estocásticos.

Um dos objetivos primários na resposta a uma emergência é a prevenção da ocorrência de efeitos determinísticos, sendo estes caracterizados por um limiar de dose abaixo do qual não existe efeito e a partir do qual resulta um mau funcionamento severo das células ou até morte celular de um determinado tecido (exemplo: perda de cabelo, cataratas, lesões na pele, entre outros). O limite de dose difere consoante os diferentes órgãos e é considerado como severo quando é mortal, ameaça a vida ou quando resulta em danos permanentes que provoquem uma diminuição da qualidade de vida. Quando um número de indivíduos é exposto à mesma dose de radiação e certos sintomas aparecem em 1% deles, essa dose é considerada como sendo o limiar. Acima deste limiar, os efeitos e a severidade da lesão, incluindo a incapacidade de recuperação, aumenta com a dose.[7,14]

Os efeitos estocásticos, por sua vez, são aleatórios, ou seja, têm uma certa probabilidade de acontecer e não têm um limiar de dose. A probabilidade destes efeitos ocorrerem aumenta com o aumento da dose e uma vez manifestados, a severidade do efeito é independente da dose a que o indivíduo foi exposto, isto é, os efeitos serão igualmente graves quer se tenham recebido doses altas ou baixas. [14,17] Alguns exemplos destes efeitos são cancro, leucemia, efeitos hereditários, entre outros, cujo aparecimento não se pode correlacionar diretamente com a exposição à radiação, uma vez que podem resultar de outros fatores como por exemplo o consumo de tabaco ou de bebidas alcoólicas. Tendo em conta estes fatores, até as doses muito baixas podem ser mecanismos iniciadores de doenças como as referidas anteriormente. No entanto é muito difícil, epidemiologicamente, detetar estes efeitos estocásticos em doses inferiores a 100 mSv.[17] A prevenção do aparecimento de efeitos estocásticos na saúde é também um objetivo importante na resposta à emergência, uma vez que é assumido que qualquer dose, mesmo baixa, pode aumentar o risco destes efeitos.[14]

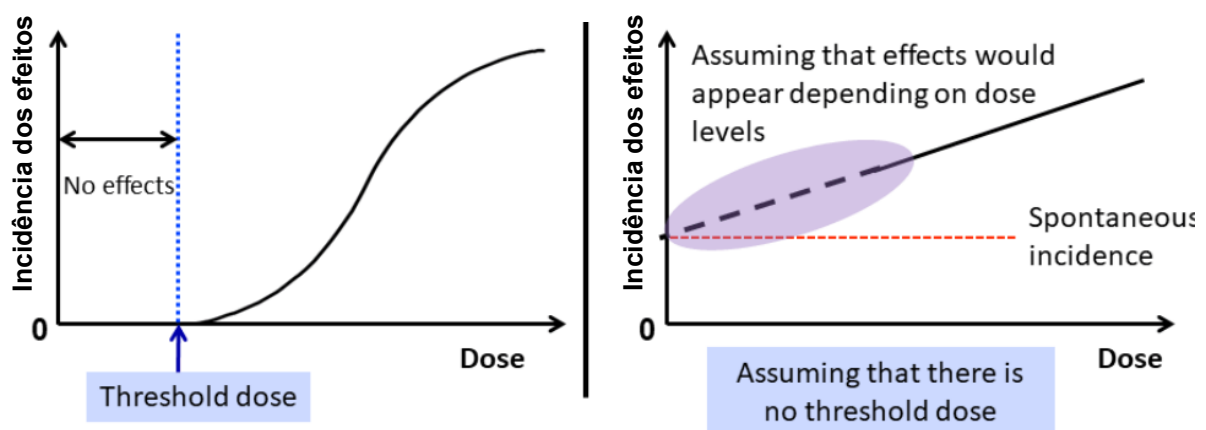


Figura 1: Efeitos determinísticos (lado esquerdo) vs efeitos estocásticos (lado direito) em termos de dose-efeito. [17]

1.4. Proteção Radiológica

A proteção radiológica consiste em evitar a exposição desnecessária a radiações ionizantes na população e no meio ambiente, tendo como objetivo a prevenção da incidência dos efeitos determinísticos e a limitação da probabilidade dos efeitos estocásticos a níveis considerados aceitáveis por comparação com os riscos que implicam outras atividades humanas. Para tal, o ICRP estabeleceu três princípios fundamentais da proteção radiológica, sendo eles o princípio da justificação, da otimização e da limitação de dose individual.[7]

O princípio da justificação refere que todas as práticas radiológicas envolvem um risco referente à exposição a radiação ionizante e por isso, nenhuma destas práticas devem ser adotadas e autorizadas se delas não resultar um claro benefício para os indivíduos e para a sociedade maior do que o prejuízo causado pelas mesmas. A necessidade de se quantificar tanto os benefícios como os prejuízos deu origem ao conceito de detrimento: estimativa da probabilidade dos danos produzidos como consequência da exposição às radiações ionizantes, tendo em conta não apenas a probabilidade de manifestação dos efeitos, mas também, uma vez manifestados, a sua gravidade. [13]

Já o princípio da otimização também conhecido como princípio ALARA (do inglês “*As Low As Reasonably Achievable*”) que, como o nome indica, a sua finalidade é manter todas as exposições e a dose resultante de uma prática radiológica o mais baixas possíveis, tendo em conta as condições socioeconómicas aplicáveis. Este princípio é aplicável em *designs* de instalações, equipamentos, proteções e principalmente nas normas de atuação de boas práticas dos profissionais expostos. [13]

Por último, a limitação de dose individual tem como finalidade limitar a dose individual para cada indivíduo exposto e refere que a soma das doses recebidas não pode exceder os limites de dose estabelecidos para a exposição ocupacional ou para a exposição do público, de modo a haver controlo sobre os riscos que advêm da exposição. Estes limites não se aplicam às exposições médicas, só se aplicam a membros do público e a trabalhadores profissionalmente expostos, aprendizes e estudantes que recebem formação relacionada direta ou indiretamente com atividades que possam implicar sua a exposição a radiações ionizantes. [13]

Os valores dos limites de dose visam prevenir a ocorrência de efeitos determinísticos nos trabalhadores expostos, assim como minimizar a probabilidade de ocorrência dos efeitos estocásticos, considerando-se, desta forma, que o risco profissional é aceitável. Os limites para membros do público e para trabalhadores profissionalmente expostos são impostos pela CE (Comissão Europeia), e posteriormente transpostos para a lei nacional, sendo de cumprimento obrigatório para todos os Estados-Membros (tabela 3).[12]

Tabela 3: Limite de dose para trabalhadores expostos, profissionais expostos e aprendizes e estudantes.[12]

	Público	Profissionais expostos	Aprendizes e estudantes (entre 16 e 18 anos)
Total (dose efetiva)	1 mSv/ano	20 mSv/ano*	6 mSv/ano
Cristalino (dose equivalente)	15 mSv/ano	20 mSv/ano ou 100 mSv a cada 10 anos	15 mSv/ano
Pele – superfície de 1 cm² (dose equivalente)	50 mSv/ano	500 mSv/ano	150 mSv/ano
Extremidades (dose equivalente)	---	500 mSv/ano	150 mSv/ano

*Pode atingir os 50 mSv no mesmo ano, desde que a dose média anual ao longo dos cinco anos consecutivos, incluindo os anos em que o limite foi excedido, não seja superior a 20 mSv.

Apesar de um dos princípios da proteção radiológica ser a limitação de dose, este não se aplica durante uma emergência uma vez que só é aplicável quando os indivíduos estão sujeitos a exposições resultantes de exposições planejadas.[7]

Nas situações de emergência e no que diz respeito à exposição dos membros do público, em vez de “limites de dose” utiliza-se o termo “níveis de referência”, definidos como “níveis de dose, risco, ou concentração de atividade acima dos quais não é apropriado permitir exposições e abaixo dos quais a otimização da proteção e segurança deve continuar a ser implementada”. [11] Estes níveis de referência são fixados abaixo de 100 mSv de dose efetiva aguda ou anual e referem-se à dose efetiva que os indivíduos recebem durante o primeiro ano, após um acidente, devido às vias de exposição relevantes e tendo em conta e assumindo condições realistas sob as quais os radionuclídeos foram libertados para a atmosfera.[12,18]

Para exposições inferiores ou iguais a 1 mSv por ano, o público deve ter informações gerais sobre o nível de exposição, sem consideração específica das exposições individuais. No entanto, se a gama de valores for entre 1 e 20 mSv por ano, o público já deve ter informações específicas destinadas a permitir que estes possam fazer a gestão da sua própria exposição, se possível. Se a gama de valores for entre 20 e 100 mSv por ano, o público deve ser sujeito a uma avaliação de dose individual e são dadas informações específicas sobre os riscos da radiação e sobre as medidas disponíveis para reduzir a exposição e mitigar as consequências. Os níveis de referência a serem aplicados aos bens de consumo que incorporam radionuclídeos provenientes de contaminação por material radioativo residual é de 1 mSv por ano.[12,18]

1.5. Níveis de intervenção

Os níveis de intervenção diferem dos níveis de referência na medida em que se referem a uma previsão de dose que pode ser alcançada ou excedida entre a população, tendo em conta certos comportamentos, se uma certa medida ou ação de proteção não for tomada. Uma vez que é assumido que até os níveis baixos de exposição à radiação natural ou artificial aumentam o risco de desenvolvimento de cancro e de outros danos, não é possível especificar um limite de contaminação de alimentos abaixo do qual os torna seguros. Por esta razão, a intervenção só deve ser realizada se for justificada e otimizada ao maximizar o benefício retirado desta ação, ou seja, deve existir um equilíbrio entre os eventuais danos que resultem do consumo de um determinado alimento contaminado e os danos causados pela proibição do seu consumo. A intervenção deve ter em conta fatores sociais e económicos, tais como o potencial constrangimento de outros programas sociais para compensar a substituição de alimentos e as restrições associadas ao estilo de vida imposto aos agricultores.[15,18-19]

Para tal, considerando a ocorrência de uma emergência radiológica, foram criados regulamentos pelo Conselho da União Europeia (*Council of the European Union*) com o objetivo de assegurar a uniformidade dos dados na UE e proteger a população, que especificam os níveis de intervenção para alimentos comercializados e forragens chamados *Council Food Intervention Levels* (CFILs). Estes níveis baseiam-se num nível de referência de 1 mSv por ano para o incremento de dose efetiva individual por ingestão e no pressuposto de que 10% dos alimentos consumidos anualmente estão contaminados. Ao exceder estes níveis, depois de serem avaliados os benefícios e danos, pode existir a necessidade de implementação de medidas de mitigação que envolvam restrições governamentais na venda de produtos alimentares contaminados, ações de descontaminação e mudanças nas práticas agrícolas.[3,20-21]

A nível de produtos alimentares ou forragens, a intervenção pode ser feita através de um aviso de precaução no consumo de alimentos recentemente colhidos e de leite fresco (para a população que se encontra perto do local da emissão dos radionuclídeos) e através da intervenção no fornecimento de alimentos e forragens com base nos níveis máximos de contaminação permitidos.[18]

Os CFILs encontram-se divididos em quatro grupos de radionuclídeos (isótopos de estrôncio, isótopos de iodo, emissores alfa e outros radionuclídeos de semivida superior a 10 dias) visto serem os mais importantes num acidente devido às suas afinidades com o corpo humano e respetiva metabolização, à sua alta taxa de transferências para as colheitas e produtos animais e ao seu tempo de semivida ser relativamente longo. Encontram-se também divididos em cinco categorias de produtos alimentares (alimentos para lactentes, géneros alimentícios diários, outros géneros alimentícios, géneros alimentícios de menor importância e alimentos líquidos).[19,20] Por ser de cumprimento obrigatório por parte de todos os Estados-Membros, foi transposto para a lei portuguesa o Regulamento (Euratom) 2016/52 do Conselho de 15 de janeiro de 2016 que fixa os níveis máximos admissíveis de contaminação radioativa dos géneros alimentícios e dos alimentos para animais na sequência de um acidente nuclear ou de qualquer outro caso de emergência radiológica (tabela 4 e 5). [21]

Existem diferentes publicações que sugerem níveis de intervenção, nomeadamente documentos do ICRP e o documento GSR Part 7 da IAEA que recomendam genericamente que se deve tomar uma ação ou intervenção para restringir o consumo de alimentos quando se pensa que a dose efetiva recebida pela população seja superior a 10 mSv durante um ano derivado do consumo desses bens.[20,22]

Tabela 4: Níveis máximos admissíveis de contaminação radioativa dos géneros alimentícios adaptado de [21].

Géneros alimentícios (Bq/kg)					
	Alimentos para lactentes	Produtos lácteos	Outros géneros alimentícios exceto os de menor importância	Alimentos líquidos	Géneros alimentícios de menor importância
Soma dos isótopos de estrôncio	75	125	750	125	7 500
Soma dos isótopos de iodo	150	500	2 000	500	20 000
Soma dos isótopos de plutónio e emissores alfa	1	20	80	20	800
Soma de outros radionuclídeos de semivida superior a 10 dias	400	1 000	1 250	1 000	12 500

Tabela 5: Níveis máximos admissíveis de contaminação radioativa dos alimentos para animais prontos para consumo adaptado de [21].

Alimentos para:	Bq/kg
Suínos	1 250
Aves de capoeira, cordeiros, vitelas	2 500
Outros	5 000

1.6. Emergências radiológicas e acidentes nucleares

Emergências radiológicas, são definidas como situações ou eventos não habituais envolvendo uma fonte de radiação ou fonte radioativa que requerem uma ação rápida a fim de atenuar as consequências adversas para a segurança e a saúde humanas, para a qualidade de vida, os bens ou o ambiente, ou um perigo suscetível de provocar tais consequências adversas.[11,12] Podem ser originárias da utilização incorreta e negligente de fontes nas áreas da saúde, indústria e investigação, atos de terrorismo, entre outros, e também de acidentes em centrais nucleares tal como aconteceu em

Chernobyl e Fukushima, normalmente envolvendo efeitos determinísticos graves para a saúde da população e das equipas de emergência.[14,22]

Durante uma emergência radiológica, podem ser libertados radionuclídeos para a atmosfera em forma de gases ou aerossóis e quando há libertação de grandes quantidades de substâncias radioativas, os efeitos podem abranger uma vasta área. Estas substâncias podem ser transportadas como plumas ou nuvens e depositar-se ao longo do trajeto no solo. Existem vários parâmetros que podem influenciar a quantidade de radioatividade que se deposita no solo, como a distância (à medida que a nuvem se expande), o tempo (devido ao declínio dos produtos radioativos), as condições meteorológicas como a velocidade e direção do vento e a precipitação.[14]

Para existir uma melhor preparação e capacidade na resposta a uma emergência, a IAEA diferencia entre emergências em instalações nucleares, que podem ser categorizados em nível I e II (dependendo das ameaças) e podem ocorrer em reatores nucleares (de investigação, em navios/submarinos e de produção de energia) e emergências radiológicas (de categoria III ou IV) que incluem acidentes em instalações industriais, fontes perigosas não controladas (abandonadas, perdidas ou roubadas), exposições do público e contaminações de origem desconhecida, entre outros.

Na preparação e resposta a emergências, existe a necessidade de cumprir certos objetivos como controlar a situação e mitigar as suas consequências, salvar vidas, prestar primeiros socorros, evitar ou minimizar os efeitos determinísticos severos, reduzir o risco de efeitos estocásticos, manter o público informado e a sua confiança, proteger, na medida do possível a propriedade e o ambiente e preparar, na medida do possível, a reposição da situação económica e social.[12,14,22]

Os acidentes com fontes de radiação industriais ocorrem com mais frequência do que os nucleares, mas como não afetam o público e o meio ambiente em grande escala, são menos conhecidos entre a população. Entre 1945 e 2007 foram registados cerca de 80 acidentes em instalações industriais, 9 mortes e 120 trabalhadores feridos. Segundo estimativas mundiais de acidentes graves, os acidentes com fontes órfãs, entre 1966 e 2007 foram aproximadamente 31, resultando na morte de 42 membros do público e incluindo crianças (tabela 6). Como o número exato de fontes órfãs existentes no mundo não é conhecido, estima-se que possam ter existido muitos mais acidentes não reportados.[1]

Tabela 6: Estimativas mundiais de acidentes graves com radiação dependendo da tipologia do acidente adaptado de [1].

Estimativas mundiais de acidentes graves com radiação*

Tipo de acidente	1945-1965	1966-1986	1987-2007
Acidentes em instalações nucleares	19	12	4
Acidentes em indústrias	2	50	28
Acidentes com fontes órfãs	3	15	16
Acidentes em universidades/pesquisa	2	16	4
Acidentes em medicina	-	18	14

*Baseados em acidentes que tenham sido oficialmente notificados ou publicados.

Dentro dos acidentes industriais considera-se acidentes em siderurgias, em que existe a fusão acidental de fontes órfãs não detetadas juntamente com outros resíduos metálicos. É suscetível de acontecer e considera-se um problema uma vez que não é possível prever todos estes incidentes porque algumas fontes de radiação não são detetadas pelos pórticos (se existirem) caso estejam por baixo de mais de aproximadamente 56 cm de resíduos metálicos (tabela 7).[23-24]

Foram confirmados 71 acidentes deste tipo pelo NCRP desde inícios dos anos 80 até 2000 em 23 países diferentes, sendo que 33 destes ocorreram nos EUA e um dos acidentes mais conhecidos aconteceu na Europa, mais propriamente em Espanha no ano de 1998 (acidente de Algeciras). Nos EUA, desde 1983 até 2006, o número de acidentes reportados deste tipo foi de 91. Os radionuclídeos mais frequentemente detetados a seguir de uma fusão acidental foram o ^{137}Cs (41%), ^{60}Co (18,5%), ^{226}Ra (7%) e ^{241}Am (6,5%).[23,25-26]

Tabela 7: Eficiência de deteção de ^{137}Cs num camião com resíduos metálicos adaptado de [23].

Profundidade da fonte em resíduos metálicos (cm)	Eficiência da deteção (%)
18 a 33	100
36 a 41	84
43 a 48	69
51 a 56	6
> 56	0

Para além do facto de não ser possível prever este acidente, outra das razões para estes acidentes serem preocupantes é o facto de este não se limitar à instalação, mas também haver a possibilidade

de se disseminar para o exterior através das emissões gasosas, dependendo do radionuclídeo, mesmo que a atividade da fonte seja relativamente baixa.[23]

1.6.1. Portugal

A autoridade reguladora em Portugal no âmbito da proteção radiológica, segurança nuclear, da gestão dos resíduos radioativos e do combustível irradiado e das emergências radiológicas é atualmente a Agência Portuguesa do Ambiente (APA, I.P.). Entre as atribuições, no âmbito das emergências encontram-se:

- Colaborar com as entidades territorialmente competentes de proteção civil na elaboração e testes dos planos de emergência externos, para os casos de emergência radiológica, e no processo de informação à população suscetível de ser afetada em caso de emergência radiológica;
- Participar nas ações de intervenção em casos de emergência radiológica;
- Enviar e receber notificações de situações de emergência radiológica ocorridas dentro ou fora do território nacional, incluindo situações de pré-emergência, quer a nível europeu, quer a nível internacional;
- Acompanhar os aspetos de segurança nuclear e radiológica associados aos riscos de acidentes em instalações em que sejam utilizadas ou produzidas matérias cindíveis ou férteis;
- Manter operacional uma rede de medida em contínuo (RADNET) de modo a que possam ser detetadas situações de aumento anormal de radioatividade no ambiente e atualizar o registo das medidas efetuadas por esta rede;
- Propor medidas corretivas para garantia da proteção do ambiente e das populações em situações de emergência e assegurar a coordenação dos aspetos radiológicos da remediação ambiental;
- Manter operacional um centro para emergências radiológicas com capacidade de resposta a qualquer solicitação, incluindo as decorrentes obrigações internacionais e nacionais, 24 horas por dia;
- Identificar as práticas e as instalações associadas que podem dar origem a situações de emergência radiológica para fins de preparação e resposta a emergências.[12]

No caso de Portugal e no que se refere a emergências nucleares, apenas se deve considerar o Reator Português de Investigação (RPI) que se encontra neste momento em desmantelamento. No entanto, é necessário ter em conta o risco de emergências radiológicas e emergências nucleares e radiológicas em centrais nucleares, em instalações de reprocessamento de combustíveis estrangeiras e em unidades navais com propulsão nuclear em território nacional.[27]

Entre 1989 e 1992, foi instalada em Portugal, uma Rede de Vigilância em Contínuo da Radioatividade do Ar Ambiente no âmbito da Convenção Internacional sobre Notificação Rápida em caso de Acidente Nuclear ou Emergência Radiológica e da decisão do Conselho das Comunidades Europeias n.º

87/600/Euratom, da responsabilidade do Gabinete de Emergência e Riscos Ambientais. A rede é chamada RADNET e ao medir em contínuo a radiação gama no ar, permite detetar emergências radiológicas e nucleares estrangeiras e nacionais. Encontra-se acessível a partir do site <https://radnet.apambiente.pt/> e diariamente, pelas 11 horas UTC, são disponibilizados valores diários com o valor médio da taxa de dose nas estações da rede fixa, sendo que em caso de acidente radiológico com contaminação do território nacional, a divulgação dos valores é feita com maior frequência. [28]

A rede é constituída por estações que medem taxas de dose gama ($H^*(10)$) e por outras que para além de medirem taxas de dose gama, possuem capacidade espectroscópica e maior sensibilidade.

Quando os níveis de radiação medidos são superiores a um limiar pré-fixado a partir da estação central (triplo do valor médio medido em situações normais), é desencadeado um alarme na unidade central que aciona os sistemas sonoros e visuais instalados na APA e na Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC) que procedem com as ações necessárias.[28]

1.6.2.Acidente de Chernobyl e Fukushima-Daiichi

Na noite de 26 de abril de 1986 ocorreu o acidente mais grave em toda a história da indústria nuclear no reator número 4 da central nuclear de Chernobyl, a cerca de 130 km de Kiev (capital da Ucrânia). Neste ocorreram duas explosões causadas por falhas nos procedimentos de operação pelos profissionais e por insuficiências técnicas nos sistemas de segurança. Como resultado, durante o incêndio, foram ejetadas várias substâncias radioativas e, conseqüentemente, espalhadas através do vento pela Bielorrússia, Ucrânia, Rússia e outros países europeus. Cerca de 6 milhões de pessoas vivem em áreas que se encontram contaminadas com radionuclídeos (acima de 37 kBq m^{-2} de ^{137}Cs), sendo que destas pessoas, 115 000 foram evacuadas na primavera e no verão de 1986 e 222 000 foram recolocados nos anos seguintes. Inclusive, na Europa, mais de 200 000 km^2 receberam níveis de ^{137}Cs superiores a 37 kBq m^{-2} . [29]

Na fase inicial do acidente, o radionuclídeo de maior importância era o ^{131}I , uma vez que foi libertado em grandes quantidades e depositado em plantas superficiais, que posteriormente eram o alimento de bovinos. Isto fez com que o leite contaminado com iodo fosse o maior contribuinte de dose interna para os humanos, chegando a exceder os níveis de intervenção impostos pela União Soviética e pela Europa. Devido ao facto de, no norte da Europa, os animais ainda não estarem na época de pastagem, a contaminação do leite foi baixa ao contrário das regiões a sul da União Soviética e da Europa como a Alemanha e a França. Devido à sua semivida curta (8 dias), a concentração da atividade do ^{131}I só foi relevante nas primeiras semanas. No entanto, com a falta de ações de proteção, este radionuclídeo acabou por ser responsável por doses elevadas na tiroide, principalmente em crianças.[1,30]

Nos meses seguintes ao acidente, os níveis de radionuclídeos na agricultura e nos animais herbívoros eram maiores na superfície devido à sua deposição. Nomeadamente, na fase inicial da deposição, a absorção dos radionuclídeos no solo pelas raízes das plantas é muito importante, sendo que mostrou

uma forte dependência do tempo, principalmente para os radioisótopos do céσιο (^{137}Cs e ^{134}Cs) e estrôncio que, nos gêneros alimentícios são influenciados não só pela deposição, mas também pelo tipo de ecossistema e solo.[29-30]

Medições realizadas em França, observaram que a partir de junho de 1986, a concentração de ^{137}Cs era a mais dominante, no entanto esta diminuiu durante os primeiros meses após o acidente devido a processos naturais como desagregação e crescimento de biomassa. Voltou a aumentar durante o inverno devido a feno contaminado ingerido pelos animais bovinos, como demonstra a figura 2.[30]

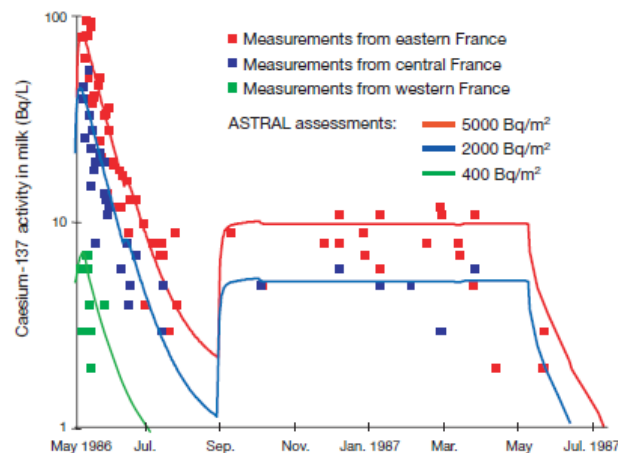


Figura 2: Variação da concentração do Cs-137 no leite das vacas em França durante 1986 e 1987 observada (quadrados) e simulada (linha contínua) retirado de [30].

Ao longo do tempo, desde o *fall-out* radioativo dos testes das armas nucleares, também foram realizados vários estudos radioecológicos para avaliar o impacto dos radionuclídeos. Chegou-se à conclusão que a emissão total proveniente de Chernobyl era menor do que as concentrações já acumuladas devido aos referidos testes nucleares na Europa.[31]

Atualmente, a concentração da atividade do ^{137}Cs nos produtos agrícolas alimentares está, geralmente, abaixo dos níveis de intervenção nacionais e internacionais. No entanto, existem algumas áreas limitadas com uma deposição alta de radionuclídeos (em zonas da Bielorrússia e da Rússia) ou solos pouco orgânicos (em zonas da Ucrânia), sendo que o leite ainda pode ser produzido com níveis de concentração que excedem os níveis de intervenção da Ucrânia de 100 Bq kg^{-1} . [29]

Na sequência deste acidente, foram reveladas várias deficiências ao nível da gestão de um acidente de tamanha magnitude. Desde respostas inconsistentes ao nível regional, nacional e internacional provenientes dos decisores, à implementação de ações de proteção ineficazes, foram muitos os problemas práticos e de natureza política que influenciaram a mitigação desde acidente.[3,32] Tudo isto demonstrou a extrema importância de uma melhoria administrativa, organizacional e técnica na gestão de emergências na Europa. Administrativamente, era necessário promover a coerência nas respostas ao público, uma vez que a falta desta contribui para a perda de confiança do público relativamente a como as consequências de um acidente são geridas nos diferentes países europeus. Relativamente às áreas técnicas mais importantes, onde foi notado uma necessidade mais acentuada

de melhoria foi nas áreas de monitorização (aviso antecipado, redes de alerta), redes de comunicação para uma rápida e fiável troca de informação e nos sistemas de suporte à decisão para a gestão de emergências *off-site*. [3]

Consequentemente, foram despoletadas inúmeras ações dentro da Europa, nomeadamente a criação de programas de pesquisa e atividades de monitorização e regulação para assegurar que a preparação para emergências futuras no âmbito da proteção radiológica se tornasse mais concisa e rápida, bem como completa e consistente em todas as suas vertentes política, social e económica. Um dos programas integrados nestas ações levou ao desenvolvimento de um sistema de suporte à decisão em tempo real para gestão de emergências nucleares *off-site*, chamado JRodos (*Real-time On-line DecisiOn Support*). [33]

Relativamente ao acidente na central nuclear de Fukushima-Daiichi a 11 março de 2011, com todas as lições aprendidas e sistemas de suporte à decisão criados após o acidente de Chernobyl, foi possível estimar as suas consequências e implementar rapidamente algumas ações de proteção. Apenas uns dias após o acidente de Fukushima-Daiichi, o sistema de suporte à decisão falado anteriormente JRodos pôde ser utilizado por diferentes utilizadores com intuito de realizarem as próprias investigações sobre a emergência. Numa primeira abordagem, foram recolhidos do norte do Japão dados topográficos, tipos de solo, distribuição da população, dados meteorológicos e os termos fonte (um para a libertação de elementos do combustível destruído e outro para um cenário de fusão do núcleo). Foram tidos em conta apenas 300 km à volta da central nuclear e as primeiras avaliações foram, maioritariamente, para verificar se Tokyo estava incluído nas plumas e até que distância eram necessárias ações de emergência. Após uma semana, foi possível estimar a libertação de radiação a partir dos reatores e da piscina do combustível gasto e foi possível verificar que o termo fonte era essencialmente iodo e cézio. [2]

Posto isto e através do JRodos, foi estimada a contaminação do solo por ^{137}Cs e verificou-se que foi sobrestimada a extensão de áreas contaminadas devido à impossibilidade de determinar precisamente o tempo e a quantidade da emissão. Foi também estimada a contaminação em produtos alimentares, particularmente em vegetais de folha e leite (predominantes no Japão), o que demonstrou que os níveis para o Japão (50 Bq/L no leite para ^{137}Cs) e para a Europa eram ultrapassados. [2]

1.6.3. Acidente de Algeciras

Na siderurgia de Algeciras (Espanha) a 30 de maio de 1998, ocorreu um acidente com uma fonte radioativa, no qual foram baseadas as simulações realizadas no âmbito desta dissertação de mestrado.

Uma fonte radioativa órfã de ^{137}Cs com 3700 GBq foi acidentalmente incorporada como parte de produtos metálicos/sucata e foi derretida inadvertidamente num dos fornos da siderurgia. A fonte era proveniente dos EUA e tinha chegado através de transporte marítimo para que fosse reciclada, no entanto não foi detetada uma vez que o pórtico responsável pela deteção de radiação na entrada da siderurgia, não estava a funcionar. [34]

Como consequência, a fonte contaminou a siderurgia em si, uma indústria de tratamento de resíduos orgânicos, um centro de recuperação de materiais inertes, uma instalação de lavagem de caminhões, uma instalação metalúrgica experimental e gerou 5198 toneladas de material contaminado. Para além disso, ocorreu libertação de ^{137}Cs para atmosfera tendo sido disperso no ambiente e também foram contaminados 6 trabalhadores internos da instalação.[34-36]

No dia 2 de junho, houve a primeira indicação do que teria acontecido uma vez que um camião de limpeza ativou o alarme no detetor de radiação (pórtico) na entrada da instalação. A 9 de junho, o Conselho de Seguridad Nuclear (CSN) foi informado do ocorrido e iniciou uma série de operações com objetivo de perceber claramente o acidente e para pôr em prática ações de proteção o quanto antes. Foi também colocada vigilância e controlo dosimétrico nas instalações afetadas, monitorização dosimétrica nos profissionais potencialmente afetados, monitorização radiológica ambiental para avaliar as possíveis consequências do incidente e foram informadas as autoridades locais, regionais e internacionais, juntamente com o público sobre a situação e as medidas que iriam ser tomadas.[34]

A 11 de junho o CSN recebeu através do sistema da CE ECURIE, notificação de que foram detetados níveis de ^{137}Cs no ar superiores ao normal em várias zonas no sul de França e no norte de Itália. Tendo em conta as condições meteorológicas dos dias imediatamente antes da deteção, a presença de cézio poderia ser devida a uma emissão ocorrida no sul de Espanha ou no norte de África. Com esta informação e com o que aconteceu na siderurgia, o CSN pensou que as duas estariam ligadas e no mês de junho realizou inspeções e controlos em diferentes instalações afetadas e estabeleceu um programa de monitorização ambiental mais intenso.[34]

No gráfico da figura 3 pode verificar-se o pico de ^{137}Cs resultante das consequências do acidente de Algeciras, juntamente com o pico do acidente nuclear de Chernobyl em 1986. A variação inicial no ano 1959 até cerca de 1970 deve-se a quando ocorriam testes de armas nucleares, resultando num aumento da atividade de ^{137}Cs , sendo que se nota um decréscimo após 1970, quando foi colocado em vigor o Tratado de Proibição Total dos Ensaio Nucleares.[37-38]

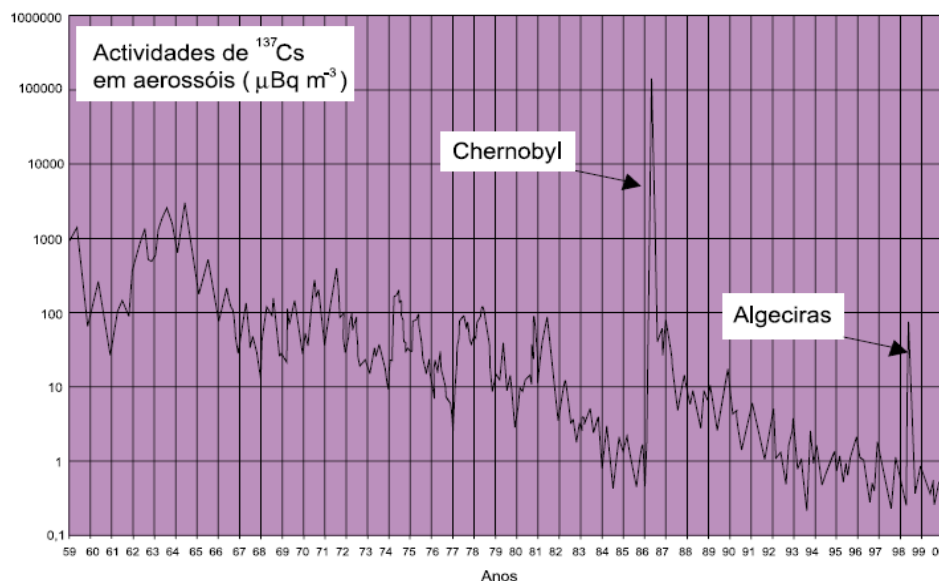


Figura 3: Variação da atividade do Cs-137 em aerossóis entre 1959 e 2000 em Orsay, França retirado de [38].

Foram realizadas ações de descontaminação e ações de proteção, sendo que os resultados da monitorização ambiental indicaram que o risco radiológico fora das instalações afetadas era nulo e sem impacto significativo na saúde, no entanto provocou sérios prejuízos económicos devido à descontaminação de grandes áreas.[34] Não foram realizadas quaisquer ações relativamente ao consumo de alimentos produzidos na área uma vez que os mesmos não ultrapassavam os níveis de intervenção estipulados. As contramedidas foram finalizadas em 2000, e aproximadamente 2500 m³ de resíduos radioativos foram removidos e transferidos para El Cabril² onde se encontram armazenados.[34,39]

² Local de armazenamento de resíduos radioativos

2. Transferência de radionuclídeos na cadeia alimentar

A atmosfera constitui uma das mais rápidas vias de disseminação de poluentes, incluindo os radioativos. Para a gestão de emergências no caso de um acidente radiológico ou nuclear, a libertação de radionuclídeos para a atmosfera é o ponto principal, uma vez que pode pôr rapidamente em risco a população através da exposição externa e da inalação. No entanto, a exposição externa não é a única preocupação, podendo existir exposição interna através da contaminação dos solos, de zonas agrícolas, de animais e produtos animais que constituem a alimentação da população.[2] Os níveis de contaminação podem variar amplamente de uma área para outra e são acumulados na cadeia alimentar por diferentes processos e vias (figura 4).[20,40]

A radioatividade é removida da atmosfera através de três processos diferentes: pelo decaimento radioativo, pela deposição seca e pela deposição húmida. A deposição seca depende das condições micrometeorológicas da camada superficial da atmosfera, da rugosidade da superfície de deposição e das propriedades das partículas a que os radionuclídeos se encontram associados. Esta é preponderante na camada da atmosfera adjacente ao solo (zona de interface) e ocorre em três fases distintas: transporte aerodinâmico, transporte na subcamada junto à superfície e interação com a superfície de deposição.[41]

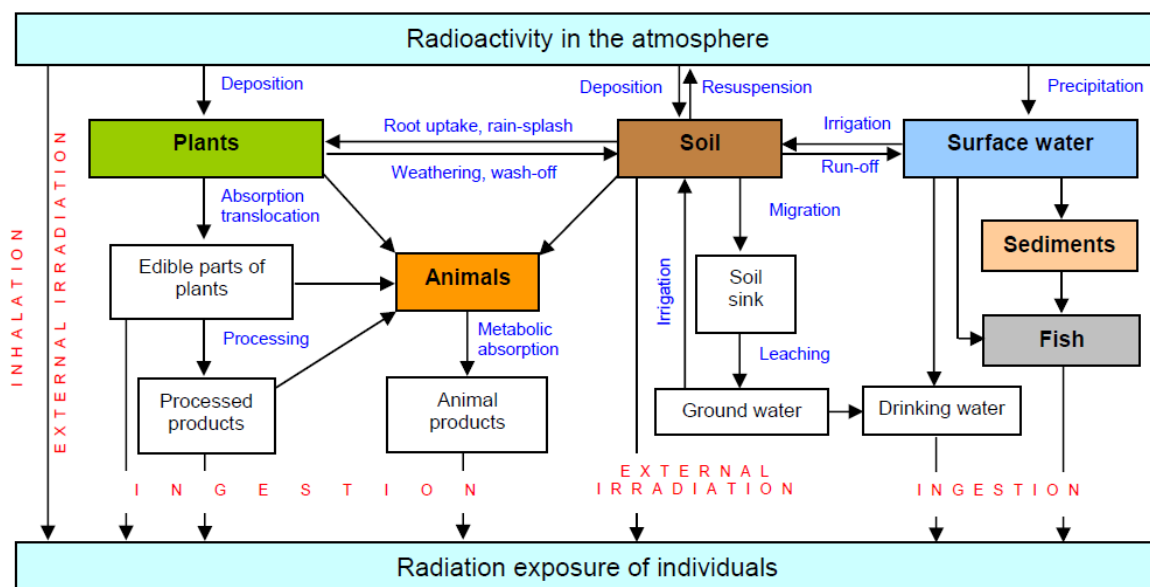


Figura 4: Vias de exposição na transferência de radionuclídeos através da cadeia alimentar no seguimento da libertação de radionuclídeos para a atmosfera.[20]

A deposição húmida pode aumentar consideravelmente a contaminação das superfícies e consequentemente leva a uma maior exposição externa proveniente do solo e da contaminação dos produtos alimentares e forragens.[2] Esta assume maior importância em camadas mais elevadas da atmosfera e envolve vários processos como a incorporação dos radionuclídeos nas gotas da chuva, transformações químicas na fase aquosa, evaporação e precipitação. Os principais mecanismos são o arrastamento das partículas por ação das gotas de precipitação ou a incorporação das partículas radioativas no interior das nuvens e posterior precipitação, sendo que após a deposição, as partículas

radioativas podem ainda sofrer fenômenos de ressuspensão devido à ação do vento e a processos mecânicos e físicos devido a atividades antropogênicas. O transporte das partículas depende de vários fatores como do tamanho das mesmas, (partículas maiores com 1 a 2 mm depositam mais rapidamente e estão mais sujeitas à remoção das superfícies das plantas do que partículas mais pequenas) da velocidade do vento e da precipitação. A ressuspensão, pode levar à deposição dos radionuclídeos novamente e conseqüentemente à contaminação de uma maior extensão de solo e vegetação.[41,42]

Os radionuclídeos, após deposição, podem entrar na cadeia alimentar humana através da deposição direta nas folhas ou em partes de plantas que se encontrem expostas e que são consideradas alimento para os humanos e para outros animais, através da absorção pelas raízes das plantas e, por fim, pela água e conseqüentemente fontes de alimentos que estejam em contacto com água. No caso de ocorrer deposição foliar em plantas para consumo, alguma proporção da contaminação pode ser removida ao serem lavadas e/ou a remover-se a camada mais externa de folhas, no entanto vai existir sempre uma fração incorporada na planta.[31]

Para alguns alimentos, pode ser necessário o seu armazenamento antes do consumo ou ser processados e dar origem a novos produtos (por exemplo o leite e o queijo). O decaimento radioativo e o seu processamento podem influenciar os níveis de contaminação e por isso, a contaminação dos produtos prontos para consumo e venda, geralmente, é diferente da inicial.[2]

Os acidentes que têm mais impacto na contaminação da cadeia alimentar são aqueles em que são libertados radionuclídeos em grandes quantidades, com semividas longas e que são caracterizados por terem uma alta taxa de transferência para as colheitas e para os produtos animais. Os isótopos do céσιο (^{137}Cs e ^{134}Cs), do iodo (^{131}I) e do estrôncio (^{89}Sr e ^{90}Sr) são muito importantes nos géneros alimentícios após um acidente, uma vez que obedecem às características descritas anteriormente, com a exceção do iodo que tem uma semivida de aproximadamente 8 dias e, também, devido à sua forma de metabolização no corpo humano.[20,29,31] Inclusive, os isótopos de céσιο podem permanecer no topo do solo e ser absorvidos em plantas em crescimento e permanecer durante estações do ano sucessivas, o que causa uma contaminação prolongada na dieta dos humanos e animais. No entanto, a contaminação devido a estes isótopos depende da química do solo e da forma da planta, sendo que a retenção de céσιο na superfície do solo é maior quando existe alto teor de argila. [31]

Dependendo da época do ano em que o acidente ocorra, irá existir maior variação da contaminação, por exemplo, se o acidente ocorrer antes da colheita ou no verão quando os animais se encontram a pastar ao ar livre, é mais provável existir uma maior contaminação dos géneros alimentícios do que no inverno.[20]

2.1. Absorção e distribuição nas plantas

Como referido anteriormente, os radionuclídeos depositam nos solos e na vegetação por processos de deposição húmidos e secos, causando a contaminação externa das plantas. No entanto, uma fração da atividade depositada é transferida para o seu interior e transportada para outras partes da planta, incluindo as plantas que se encontram debaixo de terra (figura 5). A atividade restante, que se encontra na superfície, é removida através de fenómenos meteorológicos, sendo por fim depositados na camada mais superficial dos solos.[2]

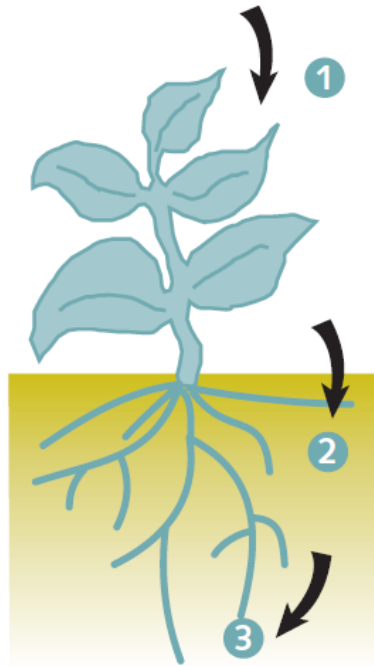


Figura 5: Processo de transferência de radionuclídeos. Os radionuclídeos são depositados diretamente nas folhas (1), de seguida uma fração destes radionuclídeos migram para o solo (2) e por fim são transferidos para as raízes da planta (3). Retirado de [37].

Os processos pelos quais os radionuclídeos se tornam incorporados nas plantas podem envolver deposição superficial seguida de retenção, absorção foliar e translocação nas partes internas da planta ou absorção pelo solo através das raízes e distribuição pelas várias partes das plantas.[20]

A deposição superficial ocorre diretamente por deposição seca ou húmida, sendo que pode ser causada uma segunda contaminação da planta através da ressuspensão. A fração de radionuclídeos que ficam incorporados nas plantas dependem da altura do ano e das respetivas condições meteorológicas, bem como da físico-química do radionuclídeo e das características da planta como o seu tipo, estado de desenvolvimento (estação do ano) e capacidade de armazenagem de água.[2,20,40] Eventualmente, a quantidade de material radioativo na superfície diminui (decaimento radioativo, vento, precipitação, queda de folhas, entre outros) e a fração que fica na planta é absorvida e sofre translocação (importante para as plantas em que a parte comestível não está diretamente exposta à radiação).[20] A translocação na planta após a absorção foliar depende de fatores físicos como as características da deposição e dos contaminantes e da planta (tipo de folhagem, dimensão da folha e estrutura cuticular), de fatores

químicos como a especiação do radionuclídeo, a composição da água e a composição cuticular e de fatores biológicos como o ciclo vegetativo da planta no momento da deposição foliar.[41]

Na ausência de uma deposição direta, a absorção pelo solo é a principal via de contaminação, sendo influenciada por variados fatores como as características dos solos, interações dos radionuclídeos com o solo, diferentes espécies de plantas e pela gestão dos solos.[20] Esta absorção é normalmente descrita pelo fator de transferência (TF) e pela taxa de concentração do(s) radionuclídeo(s) na vegetação e no solo.[42] Este último processo, juntamente com a ressuspensão dos radionuclídeos, leva a uma contaminação a longo prazo das plantas comparativamente com os processos de deposição direta. No entanto, é considerado que a contaminação por deposição direta irá exceder a contaminação por absorção através da raiz por uma ou mais ordens de grandeza, assumindo que existam partes da planta acima do solo na altura do acidente.[2]

2.2. Transferência para os animais e para produtos animais

A principal fonte de contaminação dos animais e dos produtos animais é a ingestão de forragens contaminadas, sendo que durante a pastagem, também poderá ser ingerido solo que pode aumentar a contribuição da ingestão de radioatividade. A inalação é também considerada uma via de exposição importante por um período curto de tempo, particularmente no verão, se os animais estiverem ao ar livre no momento da passagem da pluma.[2,20]

A concentração da atividade nos produtos animais está relacionada com a ingestão e com o metabolismo dos próprios radionuclídeos por processos de absorção no trato gastrointestinal e subsequente entrada no sistema circulatório, de distribuição nos diferentes órgãos e tecidos do corpo ou de secreção no leite e excreção na urina, fezes e suor. As taxas de absorção variam com diversos fatores, nomeadamente com a forma química do radionuclídeo, com a alimentação do animal, com a produção de leite e com as características físicas e da espécie do próprio animal.[20,31,40,43]

2.3. Césio-137

O radionuclídeo ^{137}Cs , de origem antropogénica, encontra-se ainda presente na nossa atmosfera, normalmente associado a partículas de aerossóis e disperso em todo o mundo, devido ao *fallout* resultante dos testes nucleares. É um dos radionuclídeos mais importantes no âmbito de acidentes nucleares devido aos seus potenciais efeitos na saúde, uma vez que tem uma semivida relativamente longa de cerca de 30 anos. Este é normalmente produzido espontaneamente através da fissão nuclear do urânio e do plutónio em reatores nucleares ou bombas atómicas e é utilizado para esterilização de produtos alimentares como é o caso das batatas e da farinha e de equipamento médico e sangue. Também é utilizado para calibração de instrumentos de deteção da radiação e numa grande variedade de instrumentos industriais como medidor de nível, espessura e densidade e na medicina para o tratamento do cancro.[6,55]

O ^{137}Cs decai emitindo partículas beta para ^{137}Ba , tendo este uma semivida de cerca de 2,6 minutos, emite raios gama e decai para uma forma estável de Bário. Em 5,3% das vezes emite um eletrão com a energia máxima de 1,176 MeV e em 94,7% emite um eletrão com uma energia máxima de 0,514 MeV, sendo que nesta última possibilidade, o radionuclídeo resultante é Bário-137 metastável ($^{137\text{m}}\text{Ba}$) que, após 2,55 minutos, emite radiação gama com 0,662 MeV (figura 26).[56]

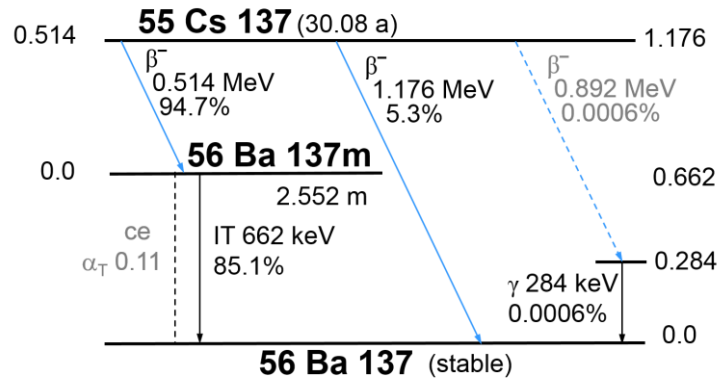


Figura 6: Esquema de decaimento do Cs^{137} , retirado de [65].

A exposição ao ^{137}Cs pode ser feita externamente através da radiação gama proveniente dos seus produtos de decaimento referidos anteriormente e internamente se for ingerido ou inalado. Quando é ingerido, é distribuído uniformemente pelos tecidos moles do corpo, nomeadamente nos músculos, devido ao seu comportamento metabólico parecido com o do potássio (K) sendo que nos ossos e na gordura são encontradas concentrações mais baixas. É retido com semivida biológica de 2 (10%) ou 110 dias (90%), sendo que no sexo feminino a semivida biológica é significativamente mais baixa (média de 70 dias) comparativamente com o sexo oposto.[31,40,55] Posteriormente é eliminado pelo corpo, sendo mais rapidamente eliminado por bebés e crianças do que por adultos. Baseado em estudos epidemiológicos, a exposição a este radionuclídeo pode resultar no aparecimento de tumores malignos e diminuição da esperança média de vida.[55] A absorção e retenção de ^{137}Cs é, geralmente, mais alta em ecossistemas seminaturais do que em ecossistemas agrícolas sendo que os níveis mais altos de atividade em produtos alimentares de ecossistemas seminaturais são encontrados em cogumelos e bagas.[29]

3. JRodos

3.1. Início e desenvolvimento

O projeto RODOS foi desenvolvido na sequência do acidente de Chernobyl. Teve o seu início durante o ano de 1989 e, ao longo dos anos, foi um projeto em crescimento exponencial após a contribuição de diversos países. Na primeira década, o seu desenvolvimento foi apenas concentrado nos modelos para as fases iniciais da emergência, como é o caso dos modelos de dispersão atmosférica e modelação de contramedidas iniciais e só em 1997 ficou disponível a primeira versão operacional. Em 2000, foi reconhecida a importância crescente das fases tardias e de reabilitação da emergência radiológica, e foram então feitos os primeiros desenvolvimentos de modelos que envolvessem as fases consequentes à fase inicial. Em 2004, foi desenvolvido o projeto EURANOS (*European Approach to Nuclear and Radiological Emergency Management and Rehabilitation Strategies*), que contribuiu para a resposta e desenvolvimento dos modelos correspondentes às fases tardias, bem como as respetivas ações de proteção.[2,32-33]

Com o desenvolvimento tecnológico, pedidos de utilizadores e como lição inerente a outras atividades e projetos ligados à proteção radiológica, foi notada uma necessidade de envolver os utilizadores não-específicos e não diretamente ligados ao desenvolvimento do *software* em todos os processos do sistema, para fins de pesquisa e otimização do mesmo. Para isto, foi realizada uma reestruturação do software para o tornar numa aplicação Java, que posteriormente veio alterar, o nome de RODOS para JRodos. Atualmente, pode ser utilizado a partir de Microsoft Windows, Linux e Mac OS. Deste modo, foi possível assegurar a sua sustentabilidade no âmbito da plataforma computacional, e ao mesmo tempo, possuir uma interface *user-friendly* para todos os utilizadores.[2,33]

Durante o seu desenvolvimento, foi decidido que este deveria possuir uma interface gráfica intuitiva, com necessidade de poucos requisitos em termos de treino, possuir uma representação gráfica dos resultados e ser um sistema de fácil gestão em termos administrativos com baixo custo de manutenção.

O sistema, em geral, foi desenhado com o intuito de ser uma ferramenta compreensível, incorporando modelos e base de dados para que seja possível a estimativa, análise e prognóstico das consequências inerentes do acidente radiológico ou nuclear e, conseqüentemente, saber que ações de proteção devem ser implementadas de acordo com as várias fases do acidente, diferentes distâncias e outros *inputs*. [44]

É de sublinhar a importância destas otimizações e atualizações, uma vez que, com o passar dos anos e com o desenvolvimento tecnológico, cada vez são mais as ferramentas e os documentos publicados que atualizam a informação anteriormente descrita. As publicações do ICRP, nomeadamente a 103 de 2007, a 109 sobre emergências e a 111 sobre a recuperação de acidentes, são um exemplo de documentos cujas recomendações devem ser seguidas e tidas em conta neste tipo de *software*. [7,45]

3.2. Objetivo e estrutura

O principal objetivo, para os utilizadores, era que o JRodos fosse um sistema que fornecesse suporte à decisão em caso de acidente radiológico ou nuclear em qualquer sítio da Europa desde as fases iniciais do acidente, até anos ou décadas depois da libertação dos radionuclídeos. Deste modo, pode fornecer suporte à decisão em quatro níveis distintos:

- Nível 0: aquisição e verificação dos dados radiológicos, diretamente ou utilizando uma análise mínima, juntamente com informação geográfica e demográfica e consequente apresentação aos decisores;
- Nível 1: análise e previsão da presente e futura situação radiológica (distribuição no tempo e espaço na ausência de ações de proteção) baseada apenas nos dados de monitorização, modelos e dados meteorológicos da região ou das regiões;
- Nível 2: simulação de potenciais ações de proteção (p.e.: abrigo, evacuação, pastilhas de iodo, descontaminação, etc...) para determinar a sua viabilidade e contrabalançar os respetivos benefícios e desvantagens;
- Nível 3: avaliação e classificação de ações de proteção alternativas às anteriores (p.e.: custos, dose evitada, redução de *stress*, aceitabilidade política e social), tendo em conta fatores sociais e económicos e as preferências dos decisores.[32]

O JRodos foi desenvolvido como um sistema composto por um sistema de gestão com capacidade para aceder à base de dados e que providencia troca de dados e informação entre os componentes do sistema e recolhe informação de outras partes do sistema. É composto também por um "*Client*" para obter as informações dos inputs, visualizar resultados e obter as ações de proteção que devem ser implementadas e por um sistema computacional que realiza os cálculos.[46]

Existem duas formas de utilizar o JRodos: modo automático e modo manual ou interativo. No modo automático, o sistema apenas apresenta a informação que seja considerada como relevante para a tomada de decisão e de acordo com o estado de conhecimento atual, sendo que toda a informação que tenha sido introduzida anteriormente é assumida como atual. Este modo encontra-se limitado em termos de *inputs* necessários para caracterizar a emergência que se pretende.

Já no modo interativo, é possível o utilizador e o sistema comunicarem a partir de menus de interfaces, o que possibilita a alteração de módulos específicos, de *inputs*, de parâmetros e da representação dos resultados e dos *outputs* e permite a variação das sequências em que os módulos são executados. Dependendo do tipo de utilizador, existem diversos direitos de acesso que permitem a utilização de mais ou menos modelos, base de dados e parâmetros do sistema. Este último modo é particularmente importante nas fases finais de uma emergência em que é necessário considerar ações de proteção a longo termo, quando não é necessário tomar uma decisão rápida, no planeamento de emergência e em exercícios e formação. É de referir que este foi o modo utilizado durante a realização desta tese de mestrado.[32,44]

Relativamente à sua interface (figura 7), tem uma janela estática com diferentes componentes tais como a árvore de projeto, painel de mensagens, painel de propriedades, legenda e painel central onde se visualiza a representação dos resultados de vários tipos (mapas, gráficos, tabelas, texto e histogramas). Tem diversos ícones com diferentes funcionalidades e possui ainda, para resultados dependentes do tempo, uma barra deslizante para que seja mais fácil a visualização no mapa e a possibilidade de criação de gráficos de tempo para localizações específicas.[46]

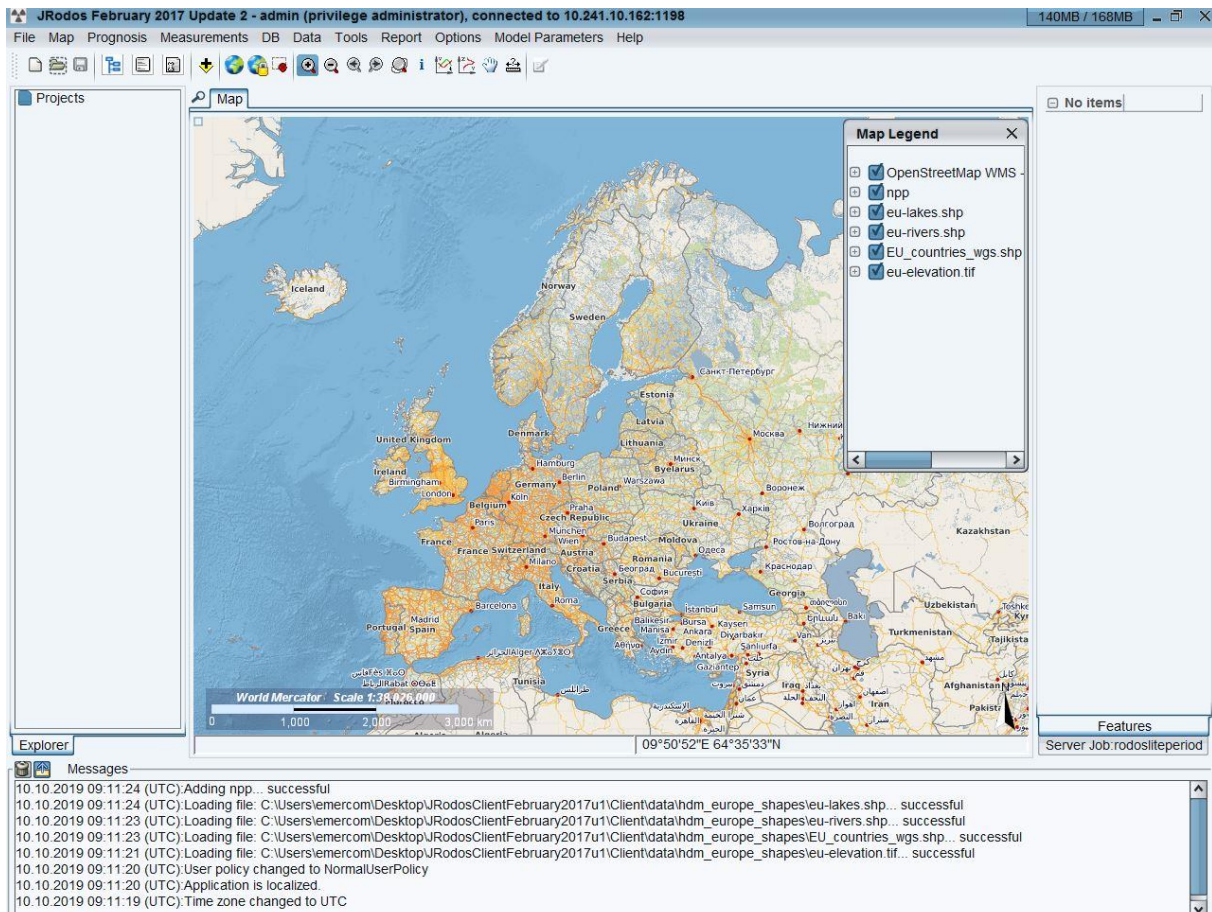


Figura 7: Interface do Jrodos

O JRodos tem vários modelos incorporados que funcionam em cadeia (figura 8), sendo estes a base para os chamados projetos que são escolhidos pelo utilizador e que incluem todos os *inputs*, mensagens e resultados calculados. Os principais modelos integrados no JRodos são:

- Modelos de dispersão atmosférica para o modelo de escala local LSMC (ATSTEP, RIMPUFF, o DIPCOT para terrenos complexos);
- Modelo da fase inicial da emergência EmerSim;
- Modelo da cadeia alimentar e modulação de dose FDMT;
- Modelo de deposição DepoM;
- Modelo das áreas inabitadas ERMIN;
- Modelo hidrológico;
- Modelo das ações de proteção para a agricultura, entre outros.[3,46]

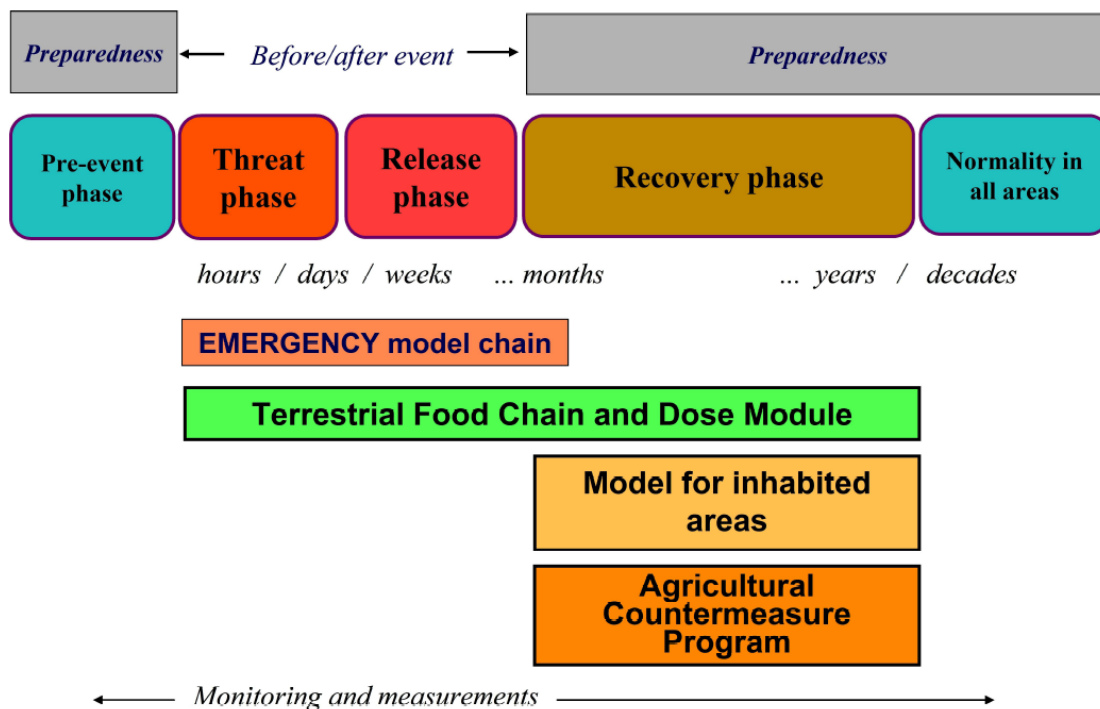


Figura 8: Cadeias de modelos no JRodos e respectivas fases correspondentes retirado de [3].

Para exibição dos dados geográficos, o JRodos utiliza o Open Street Map ou ainda o GoogleMaps, se estiver instalado, sendo ainda possível o carregamento e sobreposição de *shapes* no próprio mapa. Durante os cálculos dos modelos, os dados geográficos são interpolados para uma grelha computacional específica do modelo que pode ser modificada de acordo com as preferências do utilizador ao selecionar o seu alcance e o tamanho da mesma.[46]

Após as simulações estarem concluídas, podem ser exportados os resultados gerados através de ficheiros pdf, xls, html, rtf e em formato de texto, sendo que os *inputs* também podem ser exportados de modo a que repetição de simulações, apenas variando um ou dois parâmetros, seja facilitada. Futuramente pretende-se continuar o desenvolvimento do sistema atendendo às necessidades do utilizador e ao crescimento tecnológico.[46]

3.3. Modelo Terrestre da Cadeia Alimentar e Modelação de Dose (FDMT)

O FDMT é um modelo incorporado no JRodos que simula a transferência de material radioativo e a exposição à radiação nas cadeias alimentares e, conseqüentemente, avalia a dose pelas vias relevantes (exposição interna via inalação e ingestão, exposição externa através da pluma e da deposição do material radioativo) da população ou individualmente.[32,47] Este realiza os cálculos a partir das concentrações dos radionuclídeos no ar e perto do solo e a partir dos resultados provenientes dos modelos de dispersão atmosférica e dos modelos de deposição, sendo que os *inputs* utilizados que têm mais relevância para o cálculo são: a concentração da atividade integrada no tempo perto da

superfície do solo; a atividade depositada pela precipitação por unidade de área do solo; a quantidade de precipitação se ocorreu deposição húmida e a data da deposição (dia, mês). Um dos modelos que auxilia nestes cálculos, é o modelo DepoM que se encontra entre os modelos de dispersão atmosférica e de deposição e que determina a contaminação do solo e da superfície das plantas pelos processos de deposição húmida e seca em função da altura do ano.[2-3,47]

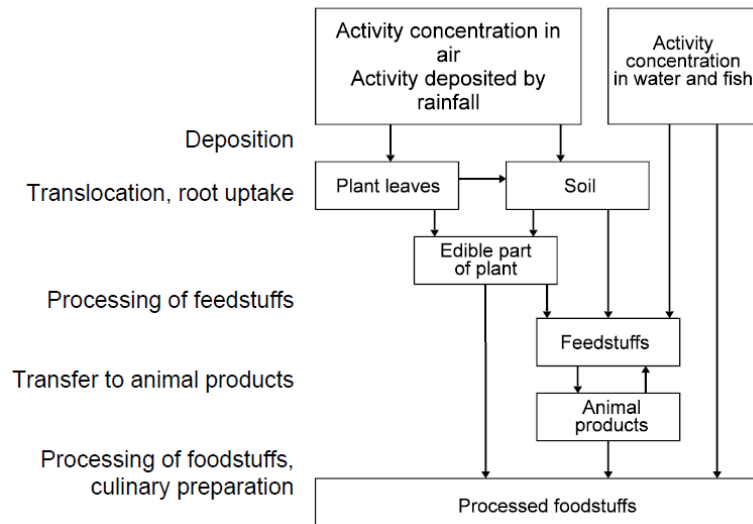


Figura 9: Etapas dos cálculos do modelo FDMT, retirado de [47].

O FDMT tem a capacidade de calcular as concentrações da atividade em produtos alimentares prontos para consumo e indica as áreas onde é esperado que as concentrações excedam os níveis pré-definidos desde o início do acidente até décadas depois. Também é utilizado para avaliar o tempo de desenvolvimento das concentrações nos alimentos nas fases tardias de um acidente, juntamente com medições meteorológicas e radiológicas (atividade no ar, atividade na precipitação, quantidade de precipitação) em que são utilizados dados da rede de troca de dados da monitorização radiológica em tempo real (EURDEP) que são recolhidos de sistemas automáticos de vigilância de 39 países da UE.[3,48]

Os resultados são apresentados em forma de mapas e de tabelas e os produtos considerados no FDMT podem ser adaptados para situações específicas em diferentes partes da Europa, sendo que a lista padrão é direcionada para a Europa Central e contém 21 alimentos para animais (17 baseados em plantas e 4 em produtos animais), 34 produtores alimentares para o homem (19 produtos de plantas e 15 de animais).[47]

3.3.1. Deposição

O processo de deposição dos radionuclídeos no solo e nas plantas é o começo da sua transferência para a cadeia alimentar. Neste modelo, a deposição húmida e seca são consideradas separadamente para ser o mais realístico possível, sendo que a deposição total em plantas é dada pela equação:

$$A_i = A_{di} + f_{w,i}A_w \quad (\text{Equação 3.1})$$

em que A_i corresponde à deposição total na planta do tipo i (Bq m^{-2}), A_{di} à deposição seca na planta do tipo i (Bq m^{-2}), $f_{w,i}$ à fração de intercepção para a planta do tipo i e A_w corresponde à deposição húmida total (Bq m^{-2}).

É assumido, neste modelo, que todos os radionuclídeos estão ligados a partículas de aerossóis, exceto os isótopos de iodo. Os aerossóis apresentam uma alargada gama de dimensões que pode variar entre partículas da ordem do nanómetro e da centena de micrómetro, sendo que o seu diâmetro influencia o transporte na atmosfera e os seus processos de deposição e ressuspensão.

O cálculo da absorção na raiz das plantas e da exposição externa a partir dos radionuclídeos depositados é baseado na deposição total (seca e húmida) no solo e na vegetação, sendo que o pasto é considerado como sendo representativo da absorção na raiz e a relva da exposição externa. Portanto, a deposição total na pastagem é dada por:

$$A_s = A_{ds} + A_{dg} + A_w \quad (\text{Equação 3.2})$$

em que A_{ds} representa a deposição seca no solo (Bq m^{-2}), A_{dg} a deposição seca na relva (Bq m^{-2}) e A_w a deposição húmida total (Bq m^{-2}).[47]

Cada um dos elementos das equação acima descritas e outros coeficientes necessários para os cálculos tais como a velocidade de deposição, a resistência atmosférica, entre outros podem ser encontrados no “Model Description of the Terrestrial Food Chain and Dose Module FDMT in RODOS PV6.0”, no capítulo 2 “*Deposition and Interception*”. [47]

3.3.2. Contaminação das plantas

A contaminação de uma planta resulta de uma direta contaminação das folhas e da transferência de atividade do solo para a raiz através da absorção ou da ressuspensão dos radionuclídeos em função do tempo. A contaminação total de uma planta pode ser descrita como:

$$C_i(t) = C_{i,l}(t) + C_{i,r}(t) \quad (\text{Equação 3.3})$$

em que $C_{i,l}(t)$ representa a contaminação da planta do tipo i devido a absorção foliar e $C_{i,r}(t)$ representa a contaminação da planta do tipo i devido à absorção pela raiz e à ressuspensão.

O cálculo da contaminação das plantas deve distinguir entre as plantas que são usadas totalmente para a alimentação (vegetais de folha, por exemplo) e plantas em que se só utiliza uma parte (batatas, por exemplo). No primeiro caso, a concentração da atividade $C_{i,l}(t)$ no tempo t após a deposição, é determinada pela contaminação inicial da planta e pela perda de atividade devido a fenómenos de precipitação, chuva, decaimento radioativo e crescimento.

Relativamente às plantas que são parcialmente utilizadas para consumo, deve ser considerada a translocação das folhas para a parte comestível. Este é um processo dependente das características físicas dos elementos, nomeadamente para elementos móveis como o cézio ou o iodo, não sendo tão importante para elementos menos móveis como o estrôncio.

Os cálculos pormenorizados podem ser encontrados no “Model Description of the Terrestrial Food Chain and Dose Module FDMT in RODOS PV6.0” capítulo 3.1.1. “*Foliar uptake of radionuclides*”, sendo que os últimos referentes às plantas parcialmente utilizadas para consumo também pode ser utilizado para bagas e frutos.[47]

A concentração de atividade devida a absorção na raiz é calculada a partir da concentração de atividade no solo e utilizando um fator de transferência TF_i que representa a proporção entre a concentração da atividade das plantas e no solo.

$$C_{i,r}(t) = TF_i \times C_s(t) \quad (\text{Equação 3.4})$$

em que $C_{i,r}(t)$ representa a concentração da atividade ($Bq\ kg^{-1}$) na planta do tipo i devido à absorção na raiz no tempo t depois da deposição, TF_i representa o fator de transferência do solo para a planta para uma planta do tipo i e $C_s(t)$ representa a concentração da atividade ($Bq\ kg^{-1}$) na zona radicular do solo no tempo t . Como o fator de transferência depende do tipo de solo, podem ser definidos quatro tipos de solo e, baseado na localização, o JRodos utiliza o fator que melhor se adequa para a realização dos cálculos.[47]

Devido a restrições técnicas como a memória do sistema, são feitas algumas aproximações para os cálculos tais como assumir que a ocorrência de deposição é feita no início do dia, não considerar a radioatividade existente previamente no ambiente, assumir que muitas das plantas ficam armazenadas para consumo entre períodos de colheita, entre outras aproximações.[47]

3.3.3. Contaminação de produtos animais

A contaminação de produtos animais como ovos, carne e leite, resulta da ingestão de radionuclídeos pelos animais e das propriedades dos próprios radionuclídeos. A quantidade de atividade ingerida é calculada através da concentração da atividade nas diversas forragens contaminadas pelos processos descritos no capítulo anterior e através das taxas de alimentação do animal, sendo que a ingestão de solo também é considerada:

$$A_{a,m}(t) = \sum_{k=1}^{K_m} C_k(t) \times I_{k,m}(t) \quad (\text{Equação 3.5})$$

em que $A_{a,m}(t)$ é a taxa de ingestão do animal m ($Bq\ d^{-1}$), K_m o número de forragens diferentes consumidas pelo animal m , $C_k(t)$ a concentração da atividade ($Bq\ kg^{-1}$) da forragem k e $I_{k,m}(t)$ a taxa de consumo ($kg\ d^{-1}$) para a forragem k e para o animal m . Também é tida em conta a inalação de radionuclídeos, uma vez que esta via pode ser relevante nas contaminações iniciais dos produtos animais.

A transferência dos radionuclídeos das forragens para os produtos animais é calculada usando fatores de transferência e taxas de transferência biológicas que podem ser encontrados com mais pormenor no capítulo 3.2 e no apêndice B do “Model Description of the Terrestrial Food Chain and Dose Module FDMT in RODOS PV6.0”. [47]

3.3.4. Cálculo da dose

O cálculo da taxa média de dose efetiva inclui diversos fatores como os de localização (fatores de ocupação, fatores de blindagem, entre outros), uma vez que a dose pode variar dependendo da mesma (espaços abertos ou edifícios) e da via de exposição.[47]

No modelo FDMT, a ingestão de atividade pelo homem é calculada através das concentrações de atividade (dependentes do tempo) dos alimentos e através das taxas de consumo humanas:

$$A_h(t) = \sum_{k=1}^K C_k(t) \times V_k(t) \quad (\text{Equação 3.6})$$

em que $A_h(t)$ representa a taxa de ingestão (Bq d^{-1}) de atividade, K o número de alimentos considerados, $C_k(t)$ a concentração da atividade (Bq kg^{-1}) do alimento k e $V_k(t)$ a taxa de consumo (kg d^{-1}) do alimento k .

Assume-se que estes alimentos são produzidos localmente, pelo que os cálculos de dose referentes à ingestão representam doses potenciais para indivíduos que produzam e se alimentem de produtos locais. Também são consideradas as taxas de consumo por grupos etários (1 ano, 5 anos, 10 anos, 15 anos e adultos) e em grupos especiais, como por exemplo, vegetarianos. Para o cálculo da dose devido à ingestão de alimentos contaminados são necessários fatores para a ingestão que são dependentes da idade (Sv Bq^{-1}) e que provêm das publicações ICRP 68, ICRP 72, ICRP 103 e das normas básicas de segurança da IAEA, que nos dão a dose efetiva comprometida de um indivíduo.[47]

Existem outros cálculos de dose individuais considerados no modelo, nomeadamente o cálculo de dose devido à inalação de radionuclídeos, assim como devido à ressuspensão, à dose externa proveniente dos radionuclídeos nas plumas, à dose externa depositada no solo e à dose externa depositada na pele e nas roupas. Cálculos sobre doses coletivas também são considerados, apesar de serem apenas aproximações da dose coletiva real, devido à limitação de informação e de outras aproximações e suposições feitas ao longo do modelo.[47]

4. Metodologia

Para a realização desta dissertação de mestrado foi necessário, em primeiro lugar, uma pesquisa e análise sobre o tipo de acidente que iria ser abordado. Como critério de inclusão, assumiu-se que o referido acidente teria que ter uma probabilidade de acontecer em Portugal, mesmo que baixa, e teria que afetar a população e o meio ambiente de alguma forma para se verificar as implicações da sua magnitude. Por isto, foi escolhido um acidente como o que ocorreu em Algeciras, em que existe a fusão acidental de uma fonte órfã juntamente com outros resíduos metálicos. Este tipo de acidente, é suscetível de acontecer e existem vários exemplos disso ao longo do tempo, uma vez que algumas fontes radioativas não conseguem ser detetadas pelos pórticos ou por outro sistema de deteção de radiação que se encontre à entrada duma instalação que faça este tipo de trabalhos.[24]

Posteriormente, para realizar uma primeira abordagem ao JRodos e perceber, sob a ótica do utilizador, como funcionava, foram realizadas várias simulações iniciais segundo um protocolo de aprendizagem fornecido pelo KIT (*Karlsruhe Institute of Technology*) e adicionalmente foi também lido o manual de utilizador do JRodos e feitas outras simulações de forma autónoma e exploratória.[49]

Depois de terem sido estabelecidos os parâmetros que iriam ser necessários para os cenários radiológicos, descritos nos tópicos seguintes, foi necessária uma abordagem que incluía verificar os fatores intrínsecos ao modelo com intuito de os adaptar à realidade portuguesa. Recorreu-se ao Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral (GPP) para possivelmente nos fornecerem alguns deles, sendo que os requisitados foram, nomeadamente para as forragens/alimentos vegetais:

- Período da colheita (início, fim e fim da 1ª colheita);
- Produção/rendimento (kg/m²);
- Tempo de armazenamento.

Relativamente aos animais e produtos animais:

- Dieta típica (tipo de forragem e taxa de ingestão (kg/dia)),
- Taxa de inalação (m³/dia);
- Janela de tempo para a alimentação;
- Tempo de engorda;
- Produção/rendimento (kg/m²).

E de modo geral para todos os alimentos quer vegetais quer animais, foram requisitados dados sobre:

- Taxa de consumo (g/dia) em grupos com:
 - 1 ano;
 - 5 anos;
 - 10 anos;
 - 15 anos;
 - Adultos.

No entanto, não foi possível obter informação suficiente dos parâmetros acima descritos para que fosse relevante alterá-los no JRodos, pelo que foram utilizados nas simulações os parâmetros por defeito incorporados no sistema que se encontram representados no Apêndice II.

4.1. Dieta Mediterrânica e Estatísticas Agrícolas

Para facilitar uma intervenção e ações rápidas numa emergência é importante que a composição da dieta utilizada em diferentes países seja conhecida e documentada, tendo em conta as variações das estações do ano, as regiões em que os produtos alimentares são produzidos e os intervalos típicos entre a colheita e o consumo. É necessário também saber que tipo de alimentos são mais prováveis de causar a ingestão de maiores doses nas fases iniciais para que sejam tomadas medidas para minimizar a exposição. Para este fim, foi recolhido primeiramente, uma lista geral de produtos alimentares que figuravam na dieta típica portuguesa, a dieta mediterrânica.

A dieta mediterrânica é referida como leve e ligeira, sendo que é baseada numa enorme diversidade proveniente da variedade dos alimentos produzidos e das práticas culinárias que protegem os nutrientes como as sopas, cozidos, ensopados e caldeiradas. [50]

Em relação ao tipo de alimentos (tabela 8), a dieta mediterrânica é caracterizada por:

- Elevado consumo de vegetais em detrimento do consumo de produtos alimentares de origem animal, nomeadamente produtos hortícolas, fruta, pão, cereais, frutos secos e oleaginosos;
- Consumo de produtos vegetais produzidos localmente, sendo frescos e da época;
- Consumo de azeite como principal fonte de gordura;
- Consumo frequente de alguns alimentos animais, em especial peixe e carnes brancas em vez de carnes vermelhas;
- Consumo médio de lacticínios;
- Consumo moderado de vinho às refeições e água como principal bebida ao longo do dia
- Utilização de ervas aromáticas para tempero em vez do sal.[50-51]

Tabela 8: Produtos alimentares que constituem a Dieta Mediterrânea.[51]

Cereais (constituem a base da abundância e da variedade de pães, massas, papas, tostas...)	<ul style="list-style-type: none"> • Arroz • Milho 	<ul style="list-style-type: none"> • Trigo • Centeio
Leguminosas	<ul style="list-style-type: none"> • Grão • Lentilhas 	<ul style="list-style-type: none"> • Ervilhas • Tremoços
Produtos hortícolas	<ul style="list-style-type: none"> • Alface • Chicória • Espinafres • Acelgas • Couves • Espargos • Beringelas 	<ul style="list-style-type: none"> • Cebolas • Alhos • Ervas aromáticas • Tomate • Pimento • Abóbora • Batatas

Frutas frescas (tanto de inverno como de verão), frutos secos, temperados e produtos de apanha	<ul style="list-style-type: none"> • Maçã • Pera • Rocha • Laranja • Amêndoas 	<ul style="list-style-type: none"> • Azeitonas • Cogumelos • Nozes • Castanhas
Lacticínios (de cabra, de ovelha e de vaca)	<ul style="list-style-type: none"> • Queijo • Iogurte • Leite 	
Gorduras vegetais e animais	<ul style="list-style-type: none"> • Azeite • Banha de porco e cordeiro 	<ul style="list-style-type: none"> • Manteiga
Bebidas	<ul style="list-style-type: none"> • Vinho • Água 	<ul style="list-style-type: none"> • Licores produzidos por destilação
Produtos animais	<ul style="list-style-type: none"> • Cordeiro • Cabrito • Porco • Aves 	<ul style="list-style-type: none"> • Vitela, vaca e carne de bovino (em menor quantidade)

O armazenamento de produtos básicos de forma a torná-los duradouros através da utilização de diversas técnicas de conservação sobretudo de farinha, leguminosas, azeite, vinho, enchidos, presunto salgado e seco, toucinho, peixe (sobretudo bacalhau), queijos curados, compotas e outros produtos em azeite, é também típico da Dieta Mediterrânica. Os cereais encontram-se presentes em todas as refeições em forma de pão, massas ou arroz e há um maior destaque para os alimentos crus como saladas.[51]

Posto isto, foram utilizadas as últimas estatísticas agrícolas nacionais a que se teve acesso (edição de 2018) para verificar quais os géneros alimentícios que foram mais produzidos (produção superior a 100 mil toneladas), quer para consumo, quer para exportação e para poder comparar com os dados da dieta mediterrânica a fim de retirar os géneros alimentícios que se iria estudar no sistema JRodos.[52]

4.1.1. Produção vegetal

Nos cereais de outono/inverno e de primavera/verão verificou-se um decréscimo na produção comparativamente com os outros anos, alcançando 193,6 mil toneladas (figura 10). No entanto houve uma diminuição na área semeada devido aos baixos preços nos mercados mundiais e à reduzida disponibilidade hídrica relativamente ao ano de 2016. O arroz encontra-se incluído nesta categoria, sendo que a sua produção foi de cerca de 179,8 mil toneladas.[52]

Relativamente ao tomate para a indústria, a colheita terminou na primeira semana de outubro, sendo que a sua produtividade foi de, aproximadamente 84 toneladas por hectare o que corresponde a 1650,4 mil toneladas no total como se pode observar na figura 11.[52]

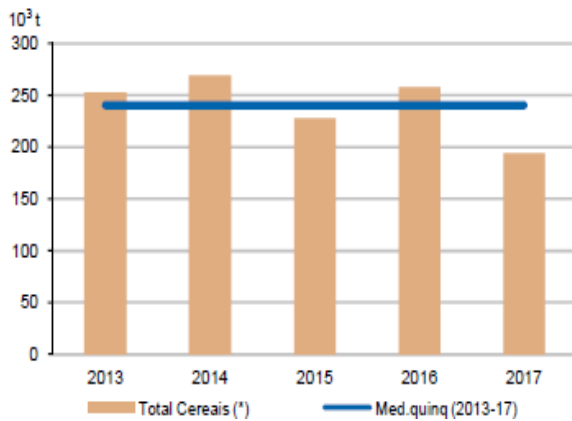


Figura 10: Produção total de cereais em Portugal continental, retirado de [52].

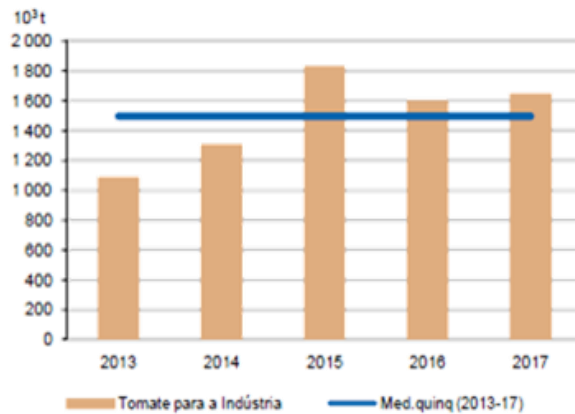


Figura 11: Produção total de tomate para indústria em Portugal continental, retirado de [52].

A batata, devido ao tempo quente e seco, houve um aumento a sua produtividade relativamente a 2016, tendo alcançado 23,6 toneladas por hectare o que corresponde a 515,0 mil toneladas no total (figura 13).[52]

Nos alimentos hortícolas a produção manteve o mesmo nível relativamente ao ano anterior de 936,1 mil toneladas, sendo que o tomate fresco foi a cultura que registou maior produção, ultrapassando as 97 mil toneladas, seguido pela cenoura com 92 mil toneladas e pela couve-repolho e pela abóbora com aproximadamente 75 mil toneladas (figura 12).[52]

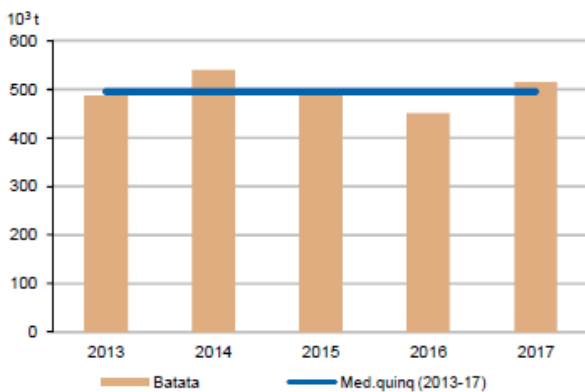


Figura 13: Produção total de batata em Portugal continental, retirado de [52].

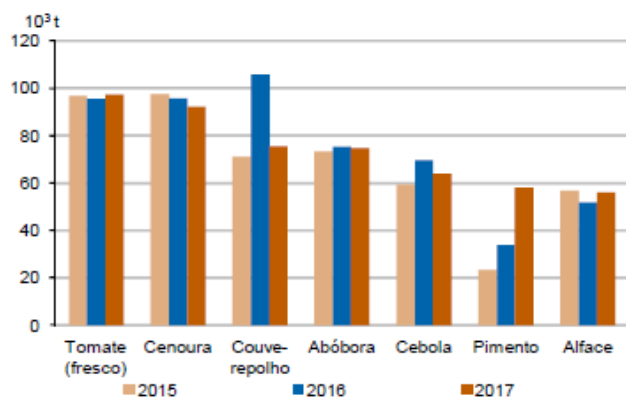


Figura 12: Produção de total de alguns produtos hortícolas em Portugal continental, retirado de [52].

Relativamente aos frutos, a maçã foi produzida maioritariamente em regime de regadio, sendo que a apanha decorreu entre agosto e setembro e a produção rondou as 329,4 mil toneladas (figura 14). A colheita da pera rocha iniciou-se na segunda semana de agosto e foi concluída em setembro, tendo sido registado um aumento na produção face à de 2016 (figura 15). A produção de laranjas registou também um aumento para 319,7 mil toneladas (figura 16).[52]

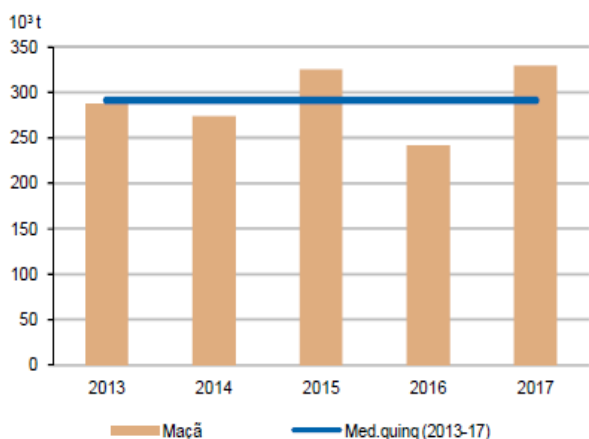


Figura 16: Produção total de maçã em Portugal continental, retirado de [52].

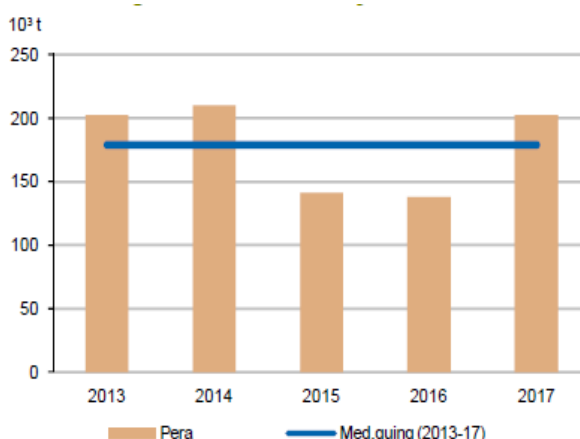


Figura 16: Produção total de pera em Portugal continental, retirado de [52].

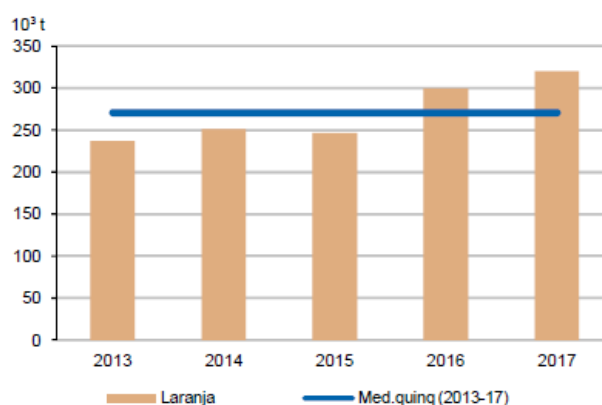


Figura 16: Produção total de laranja em Portugal continental, retirado de [52].

O vinho sendo um dos produtos de referência de Portugal, espera-se que possua um impacto grande relativamente à sua produção. No ano de 2017, apesar das condições climáticas extremas, as uvas encontravam-se em boas condições e a produção de vinho alcançou os 6,6 milhões de hectolitros (figura 17). Relativamente às uvas de mesa, foram apenas produzidas 21 mil toneladas no total.[52]

Relativamente ao azeite, devido às condições meteorológicas favoráveis, a produção de azeite ultrapassou os 1,47 milhões de hectolitros, tendo sido alcançado o maior valor desde 1915 (figura 18). A produção de azeitona para mesa foi de 17 mil toneladas e de azeitona para azeite foi de 858 mil toneladas.[52]

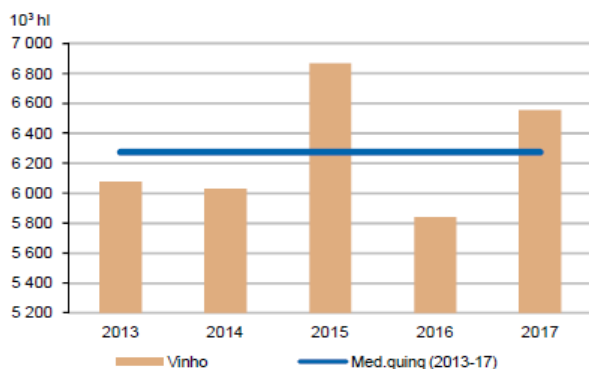


Figura 18: Produção total de vinho em Portugal continental, retirado de [52].

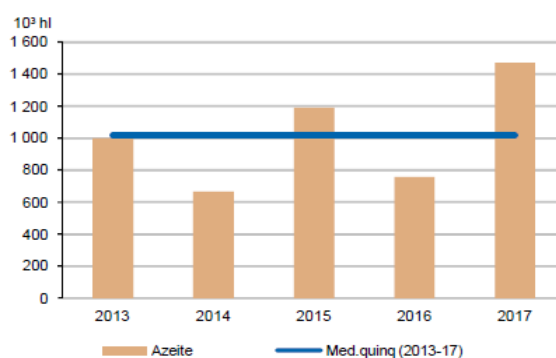


Figura 18: Produção total de azeite em Portugal continental, retirado de [52].

4.1.2. Produção animal

No ano de 2017, a produção total de carne foi de 889 mil toneladas em todo o território português. Os maiores contribuintes para este valor de produção total foram a carne bovina com aproximadamente em 95 mil toneladas de produção, a carne suína com 378 mil toneladas e a carne dos ovinos e caprinos com 16,9 mil toneladas (figura 20). A produção de carne de animais de capoeira é a que regista maior número, tendo atingido as 389 mil toneladas (figura 19), sendo que o frango (318 mil toneladas) foi o que contribui mais para este número, seguido do peru (43 mil toneladas) e do pato (10 mil toneladas). [52]

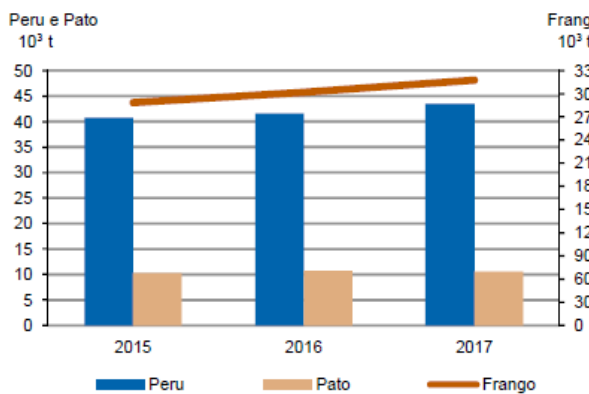


Figura 20: Produção total de carnes de animais de capoeira em Portugal continental, retirado de [52].

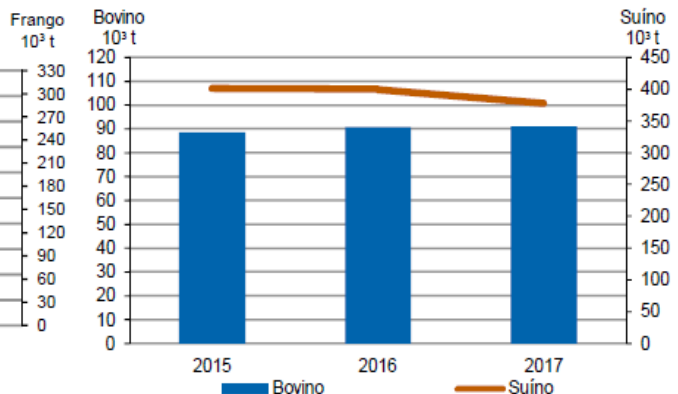


Figura 20: Produção total de carnes bovina e suína em Portugal continental, retirado de [52].

Relativamente à produção bruta de ovos de galinha (figura 22), foi atingido um valor de 141 mil toneladas, sendo que 118 mil foram considerados para consumo (os restantes sendo ovos de incubação). A produção de leite e de produtos lácteos apresentou 96 milhões de litros para leite de ovelha e de cabra, sendo que o de vaca foi o mais predominante com 1 867 milhões de litros de produção (figura 21). A produção de queijo também alcançou cerca de 83 mil toneladas, os produtos lácteos frescos como leites acidificados (incluindo iogurtes) 106 mil toneladas e o leite para consumo 714 mil toneladas. [52]

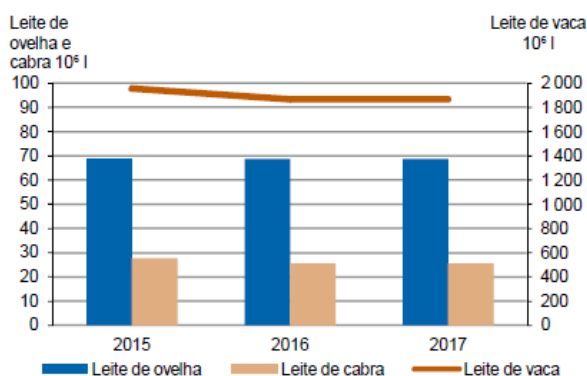


Figura 22: Produção total de leite em Portugal continental, retirado de [52].

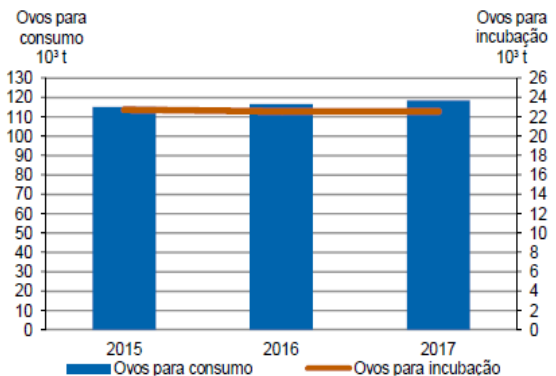


Figura 22: Produção total de ovos em Portugal continental, retirado de [52].

Relacionando os alimentos da dieta mediterrânica com as estatísticas agrícolas nacionais, foi possível verificar que os cereais, nomeadamente o trigo, milho, arroz e centeio fazem parte da dieta mediterrânica e têm uma taxa de produção superior a 100 mil toneladas, juntamente com o tomate, batata, couves, abóbora, maçã, pera rocha, laranja, vinho e azeite. Relativamente aos produtos animais, a carne bovina e suína, de aves, leite e queijo também figuram na categoria de mais produzidos (aproximadamente mais que 100 mil toneladas) e na dieta mediterrânica.

4.2. Cenários radiológicos

O próximo passo foi criar um cenário radiológico no sistema JRodos. Foi escolhido um acidente com incêndio, em que uma fonte selada órfã de ^{137}Cs , não detetada nos pórticos é queimada numa siderurgia juntamente com outros metais. Foram utilizados vários cenários meteorológicos considerados normais em Portugal, sendo que a localização do acidente, o termo fonte e os variados parâmetros do FDMT foram mantidos, de modo a encontrar os cenários meteorológico com piores prognósticos para o território nacional.

Para iniciar uma simulação é necessário criar um projeto novo e escolher qual a cadeia de modelos que se quer utilizar. Para as simulações descritas foi escolhido a cadeia de modelos LSMC+EMERSIM+DEPOM+FDMT.

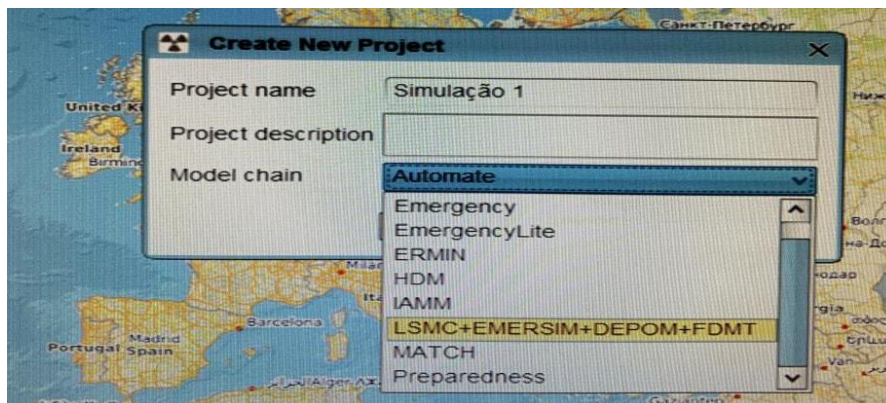


Figura 23: Criação de um novo projeto no JRodos e escolha da cadeia de modelos a utilizar.

Todos os parâmetros utilizados nas simulações encontram-se descritos e justificados nos tópicos seguintes da metodologia, sendo que o respetivo resumo dos parâmetros se encontra na tabela do apêndice I.

4.2.1. Modelo LSMC

No modelo LSMC é necessário escolher o tipo de cenário, sendo as opções um acidente numa central nuclear, uma explosão com um equipamento de dispersão de radiação, um acidente radiológico com incêndio, um incêndio ou um tornado. No acidente numa central nuclear ainda é possível escolher a localização num determinado país, junto à fronteira de um país ou através de coordenadas, enquanto se for uma das outras opções é só possível colocar a localização através de coordenadas (figura 23).

O tipo de emergência escolhida foi a de acidente radiológico com incêndio, uma vez que se adequava o tipo de dispersão no ar com a fusão da fonte e consequente libertação de partículas para o ar.

4.2.1.1. Localização

A escolha da localização do acidente teve por base o tipo de acidente. Tendo em conta que o objetivo era um acidente em que uma fonte radioativa era fundida, teria que ser em instalações que realizassem fundição de metais. Em Portugal Continental, existem duas instalações que realizam este tipo de trabalhos em grande magnitude, a Siderurgia Nacional do Seixal, situada na área metropolitana de Lisboa e a Siderurgia Nacional da Maia, situada no Norte.

Para poder ser feita uma escolha entre as duas e para ser possível a visualização das áreas onde as zonas agrícolas se concentravam, recorreu-se ao ArcGIS (*Architecture Geographic Information System*). Sendo este uma plataforma que permite a criação, gestão e análise de informação geográfica através da visualização de estatísticas geográficas em camadas ou *shapes*. [53]

Através desta plataforma foi possível analisar a Carta de Ocupação de Solos de Portugal para verificar onde estariam as zonas com maiores regiões agrícolas e com esta informação foi escolhida a Siderurgia Nacional do Seixal. Esta região é composta maioritariamente por zonas de regadio em que prevalece a cultura e produção de hortofrutícolas (frutas, vegetais, leguminosas, entre outros), o que vai de encontro aos produtos alimentares mais consumidos e produzidos segundo a dieta mediterrânica e as estatísticas nacionais.

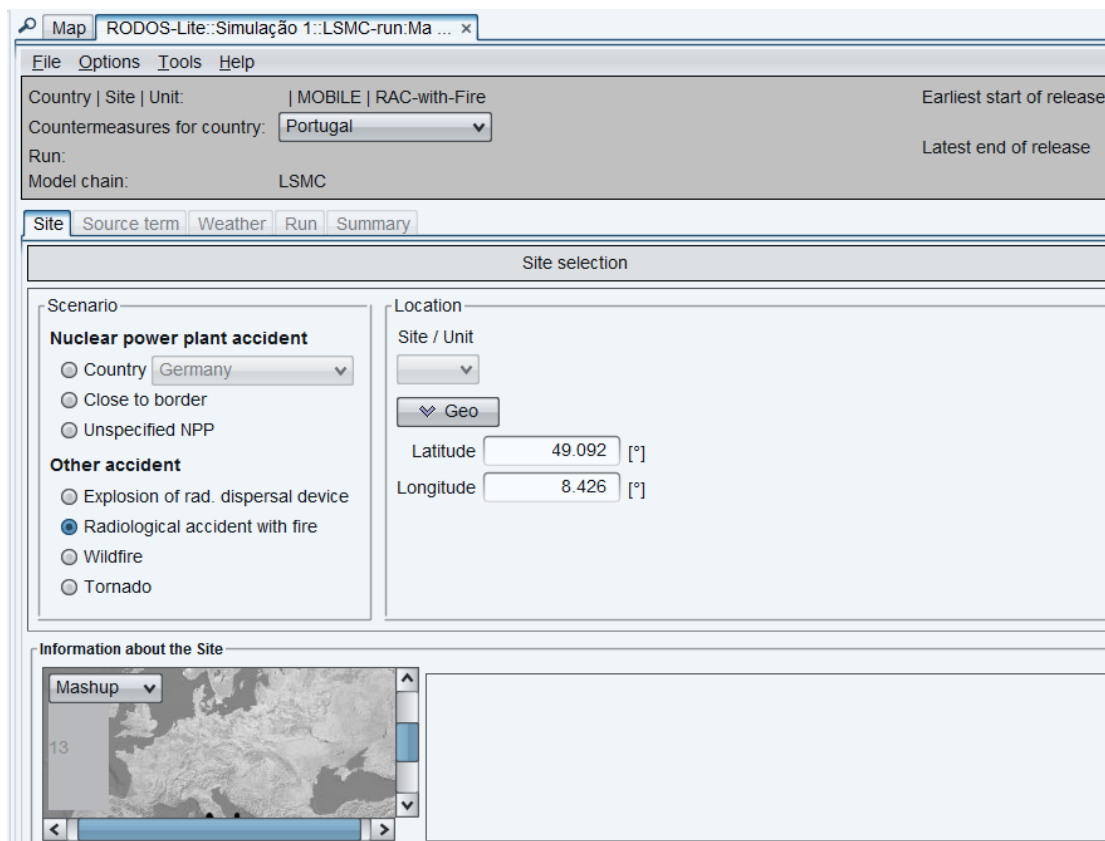


Figura 24: Interface de escolha do tipo de cenário e de localização do JRodos.

Para fins de *input* no sistema, que funciona com coordenadas, foram colocadas as seguintes coordenadas, correspondentes à localização da Siderurgia Nacional do Seixal (figura 24):

- Latitude: 38.6283127
- Longitude: -9.0816658

4.2.1.2. Termo fonte

O próximo passo é escolher o termo fonte utilizado. O termo fonte é um conjunto de parâmetros como o tipo de radionuclídeo e atividade, que posteriormente são utilizados para o cálculo das doses, da contaminação e da atividade, através dos modelos de dispersão atmosférica e tendo em conta o tempo. Este pode ser colocado manualmente ou selecioná-lo de acordo com a base de dados e é necessário colocar o início da libertação de radioatividade. A libertação de atividade varia de acordo com o tipo de radionuclídeo ou agregados de radionuclídeos, tendo em conta o tipo de acidente.[2]

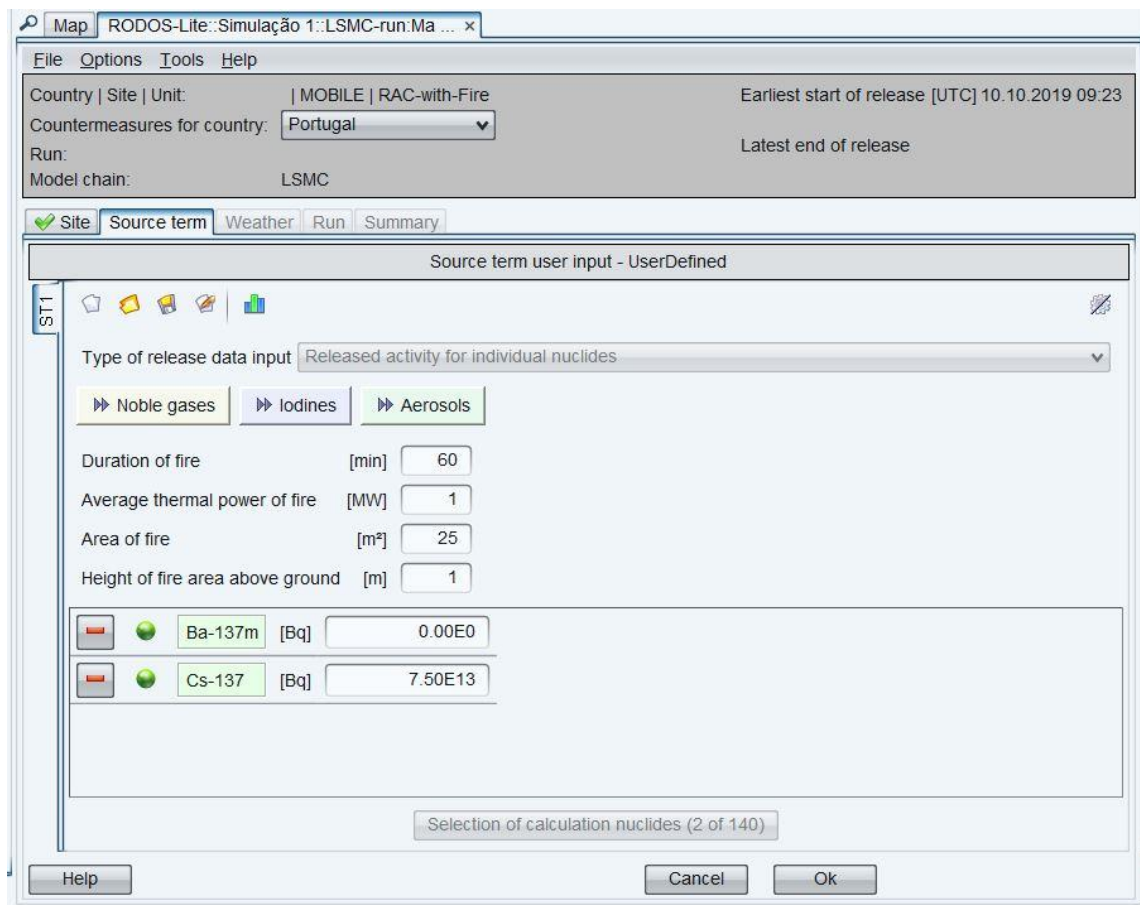


Figura 25: Interface do JRodos da escolha da fonte, da atividade e das características do fogo do incêndio.

O termo fonte utilizado para as simulações foi colocado manualmente. Foi escolhida uma fonte de ^{137}Cs com 75 TBq, sendo esta a atividade típica de uma fonte de ^{137}Cs usada na indústria (figura 26).[6] Com esta atividade, a fonte é classificada como de atividade elevada, uma vez que o limite é de 0,1 TBq.[12,54]

No caso deste cenário, a distribuição deste radioisótopo é sempre para os gases e para as poeiras, (> 99%) pelo que a radioatividade é confinada aos sistemas de limpeza de gás das instalações e muito pouco é retido nos materiais derretidos ou na escória (< 1%) e, por isso não é facilmente detetado (tabela 9).[24]

Tabela 9: Distribuição realista esperada do ^{137}Cs após uma fusão acidental na fabricação de aço, adaptado de [25].

Radionuclídeo	Radiação	Distribuição realista, %		
		Material derretido	Escória	Poeira
^{137}Cs	$\gamma (+ \beta)$	–	< 1	> 99

Isto resulta em altos níveis de radioatividade no sistema de limpeza das instalações, sendo que alguma da radioatividade pode alcançar o exterior. As instalações de uma siderurgia típica, conseguem remover 99% da poeira do fluxo de gás e assim estima-se que a quantidade emitida para a atmosfera seja na ordem de 1% daquilo que foi fundido no forno. Como o JRodos não possui um cenário específico para acidentes em siderurgias, foi utilizado um cenário de incêndio que não tem em conta o que fica retido em sistemas de limpeza das instalações. Poderia ter sido colocada apenas 1% da atividade da fonte para representar uma siderurgia típica e considerar que esta teria um sistema de limpeza, no entanto, optou-se por considerar o pior caso possível em que a siderurgia em questão não tivesse filtragem das poeiras e gases que saem para o exterior. Também não foi feita correção na partição e foi assumido que 100% do ^{137}Cs fica retido na poeira e é libertado para a atmosfera em vez dos 99%.[24][25]

4.2.1.3. Dados meteorológicos

Por último, neste modelo, é necessário colocar os dados meteorológicos na altura do acidente (figura 26). Para isto, os parâmetros foram colocados manualmente, juntamente com a duração e fim do prognóstico.

Modelo de dispersão

O modelo de dispersão atmosférica utilizado foi o RIMPUFF (*Risø Mesoscale PUFF Model* ou modelo em plumas). Este é utilizado para calcular a concentração e as doses resultantes da dispersão de materiais transportados pelo ar, sendo que pode ser aplicado em terrenos homogêneos ou não, e a alterações das condições meteorológicas ao longo do tempo.[57]

A essência deste modelo consiste num algoritmo que modela uma libertação contínua através de uma série de plumas libertadas consecutivamente. Em cada etapa, integrado no tempo, o modelo difunde e deposita as plumas individuais de acordo com os parâmetros meteorológicos locais (intensidade da turbulência, estabilidade atmosférica, direção do vento e velocidade do vento) e calcula os componentes da dose proveniente da radiação gama e dos radionuclídeos depositados. Os parâmetros meteorológicos e os dados da libertação de radionuclídeos são colocados previamente pelo utilizador ou fornecidos através de uma base de dados em tempo real.[57]

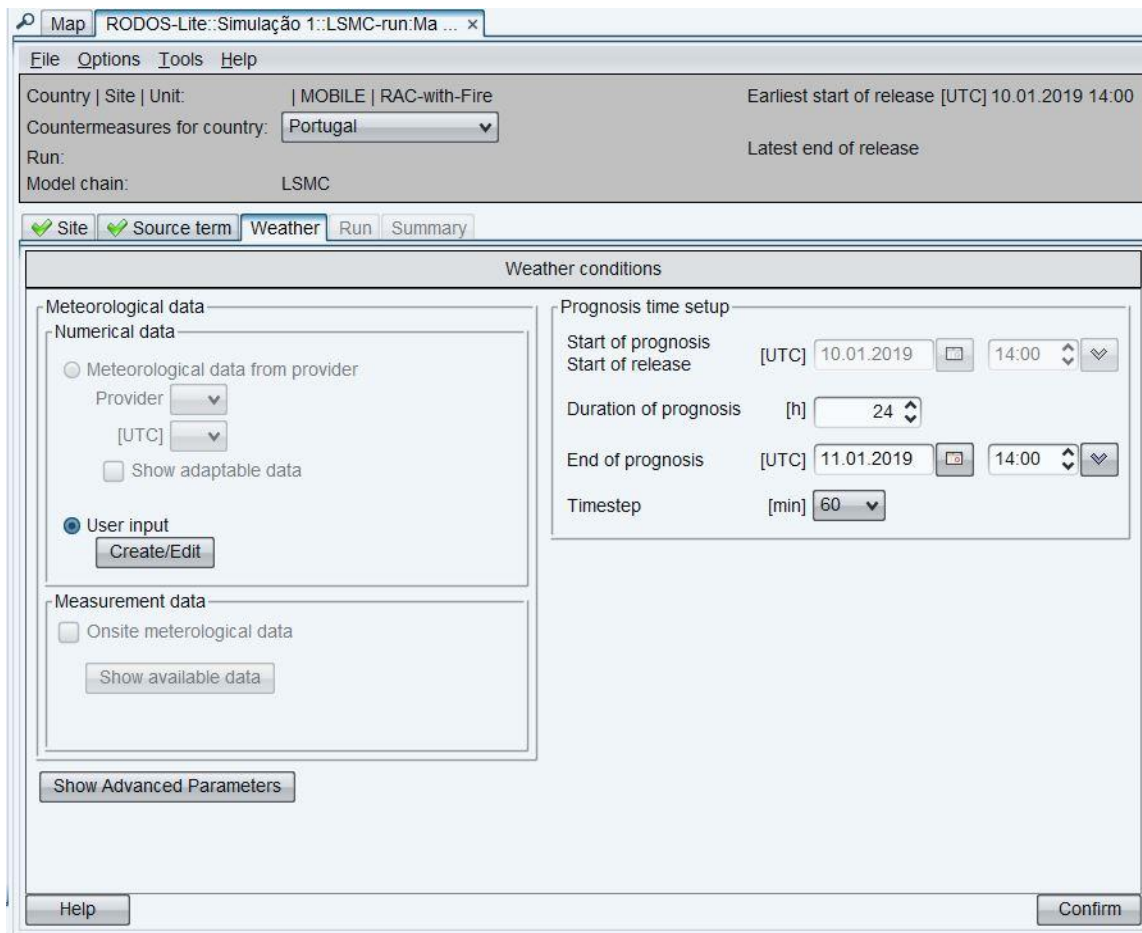


Figura 26: Interface do JRodas das condições e dados meteorológicos, juntamente com o tempo de prognóstico.

Vento

Quando os radionuclídeos são libertados para a atmosfera e até depositarem, são sujeitos a dispersão atmosférica em que o vento é um dos parâmetros mais importantes uma vez que dita a direção que a pluma radioativa tomará e quais as zonas a ser afetadas.

Duas das direções de vento, foram escolhidas de acordo com a sua predominância em Portugal, nomeadamente em Lisboa e Setúbal (vento de noroeste a 315° e de oeste a 270°), sendo que a terceira (vento de sudoeste a 225°) foi escolhida por representar o pior cenário, na medida em que seriam afetadas mais zonas agrícolas do que para as anteriormente descritas (figura 27).[58]

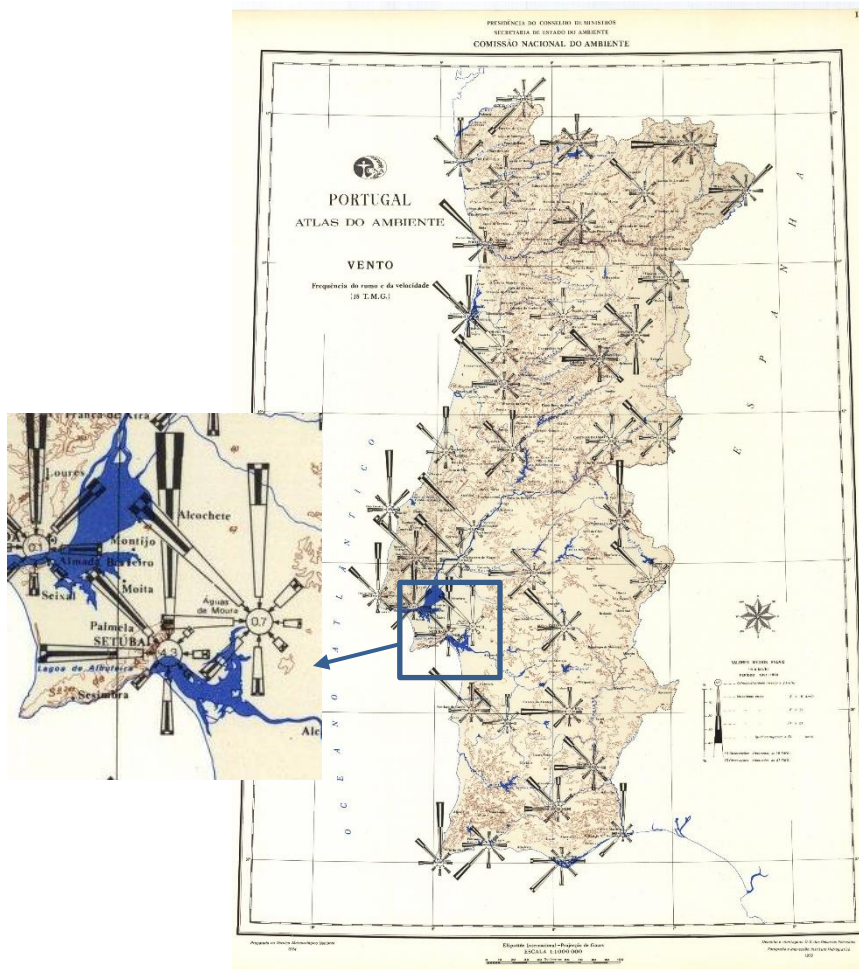


Figura 27: Atlas do Ambiente - Vento, nomeadamente direção do vento da zona de Setúbal retirado de [58].

Relativamente à velocidade do vento (intensidade), foi consultado o Portal do Clima para retirar o valor de intensidade do vento predominante em Portugal nos últimos anos (figura 28) e que se verificou ser 4 m/s^3 . [59]

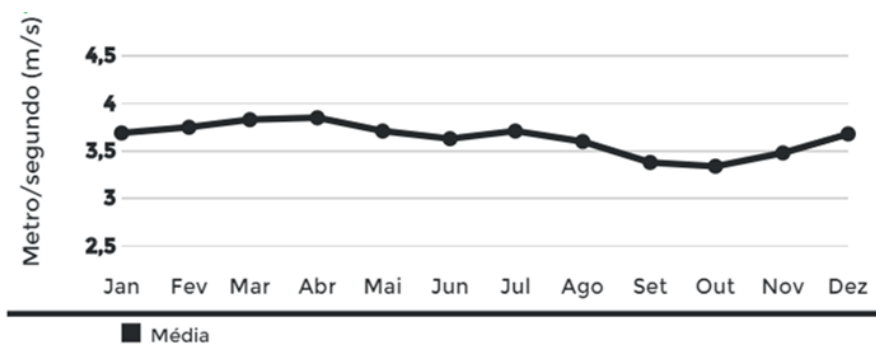


Figura 28: Gráfico representativo da intensidade média do vento à superfície (10 m) em Portugal Continental no período de 1971-2000, retirado de [59].

³ Considerado 3 na escala de Beaufort e uma brise suave.

Foram escolhidas mais duas intensidades, nomeadamente 2 m/s⁴ por ser um valor abaixo do valor médio e 20 m/s⁵ por ser um valor acima do valor médio, sendo considerada como condição extrema e categorizada como aviso amarelo nos Critérios de Emissão dos Avisos Meteorológicos do Instituto Português da Atmosfera (IPMA), que é mais provável de acontecer em Portugal Continental do que o aviso laranja ou vermelho (tabela 10). Todas as escolhas tiveram também em conta o esquema de estabilidade de Pasquill representado na tabela 11.[59-62]

Tabela 10: Critérios de Emissão dos Avisos Meteorológicos relativos ao vento, adaptado de [60].

Para Portugal Continental				
Aviso	Parâmetro	Amarelo (km/h)	Laranja (km/h)	Vermelho (km/h)
Vento	Rajada máxima de vento	70 a 90	91 a 130	> 130

Estabilidade atmosférica

Quando os radionuclídeos são libertados para a atmosfera até depositarem, são sujeitos também à turbulência atmosférica. Esta é dependente da complexidade do terreno, do perfil vertical do vento e do gradiente vertical de temperatura (componente térmica). Para descrever a estabilidade da atmosfera, no JRodos é necessário colocar letras de A a F que correspondem à classificação de Pasquill (tabela 11).[61]

Tabela 11: Método de escolha da estabilidade atmosférica baseado na velocidade do vento à superfície e nas condições do dia, adaptado de [61].

Velocidade do vento à superfície (m/s)	Dia			Noite	
	Forte	Moderado	Fraco	Pouca nebulosidade	Nebulosidade
< 2	A	A – B	B	E	F
2 – 3	A – B	B	C	E	F
3 – 5	B	B – C	C	D	E
5 – 6	C	C – D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

A – Condições extremamente instáveis; B – Condições moderadamente instáveis; C – Condições ligeiramente instáveis; D – Condições neutras; E – Condições ligeiramente estáveis; F – Condições moderadamente estáveis; G – Condições extremamente estáveis

⁴ Considerado 2 na escala de Beaufort e um vento praticamente nulo.

⁵ Considerado 8 na escala de Beaufort e um vento forte.

Precipitação

Relativamente à precipitação também foram escolhidos três valores, sendo eles 0 mm/h, 10 mm/h correspondendo a aguaceiros de chuva moderados e a aviso amarelo e 30 mm/h correspondendo a aguaceiros de chuva forte e a aviso laranja segundo o IPMA e que são mais prováveis de acontecer do que o aviso vermelho (tabela 12). [60] Não foram utilizados dados do portal do clima relativamente à precipitação, uma vez que estes eram referentes uma média mensal de mm de precipitação.

Tabela 12: Critérios de Emissão dos Avisos Meteorológicos relativos à precipitação, adaptado de [60].

Para Portugal Continental

Aviso	Parâmetro	Amarelo (mm/h)	Laranja (mm/h)	Vermelho (mm/h)
Precipitação	Chuva/Aguaceiros	10 a 20	21 a 40	< 40

Para terminar a colocação de parâmetros no modelo LSMC, é necessário colocar o tamanho da grelha (500 m) e conseqüentemente o raio (200 km). O modelo seguinte é o EMERSIM, mas sendo o modelo das contramedidas não foi utilizado, uma vez que para este estudo, o efeito das contramedidas não é necessário.

Figura 29: Interface do JRodos da colocação dos dados meteorológicos nomeadamente a duração do intervalo, direção e velocidade do vento, intensidade da chuva e estabilidade atmosférica.

4.2.2. FDMT

No modelo FDMT é necessário escolher quais os parâmetros que se deseja ver representados e simulados (figura 30). Pode ser escolhido observar as atividades das forragens, dos alimentos para consumo humano e dos alimentos processados e sem serem processados, juntamente com os radionuclídeos que se querem estudar.

Relativamente às doses, é possível selecionar o cálculo de dose por ingestão de alimentos (deve-se selecionar os alimentos a considerar), dose por outras vias de exposição, nomeadamente dose por exposição ao material depositado no solo, dose na pele, dose devido à inalação, dose devido à ressuspensão e a dose total devido a todas as vias exceto ingestão e a dose total por todas as vias.

Devem também ser selecionados os radionuclídeos em estudo juntamente com os grupos etários dos indivíduos e o período de tempo a ser estudado que varia de 7 dias à duração da vida completa. Ainda é possível também calcular a dose em diversos órgãos.

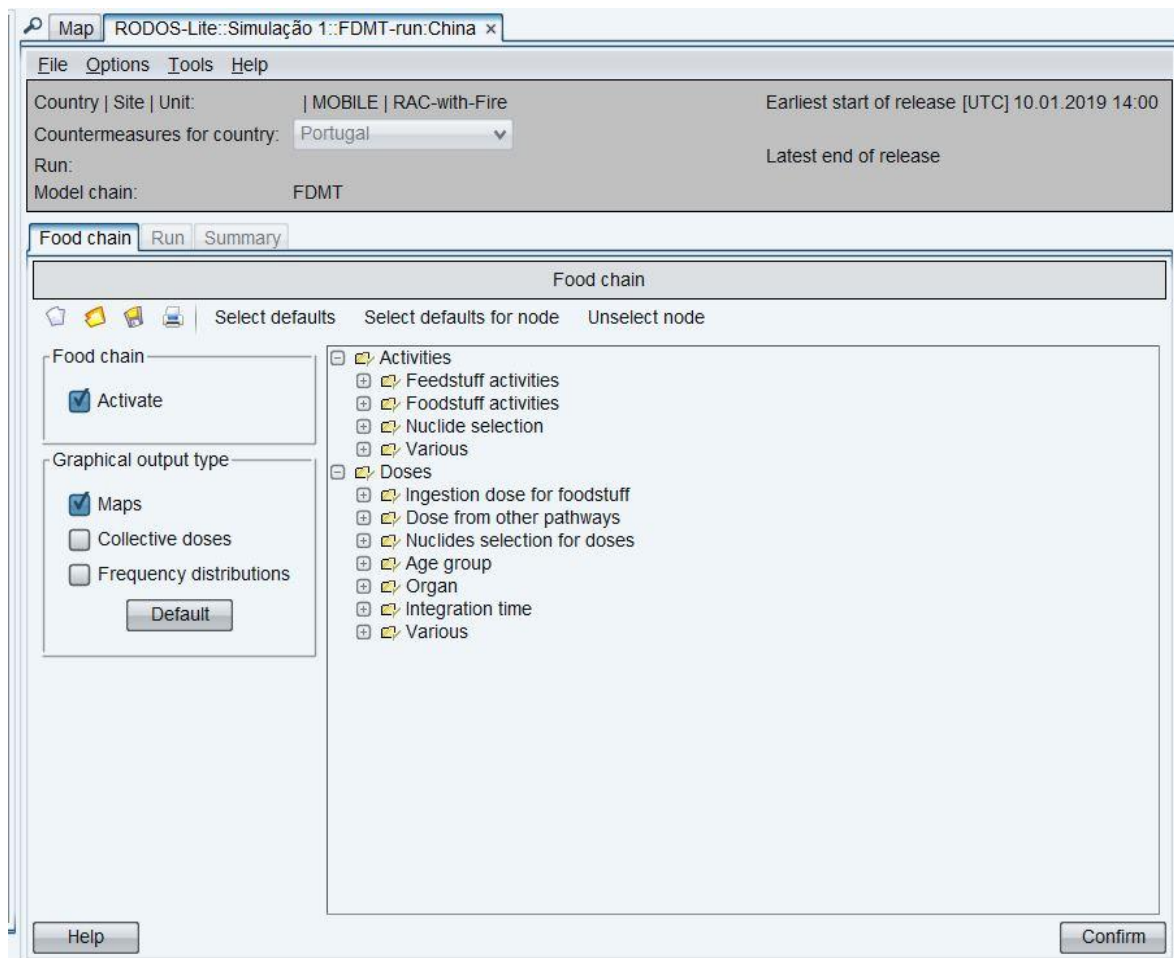


Figura 30: Interface do JRodos da cadeia de modelos FDMT para escolha dos parâmetros a serem representados e simulados.

Relativamente aos alimentos e forragens, existe um conjunto grande a considerar (tabela 13 e tabela 14), mas o sistema apenas permite a escolha de 20 alimentos e forragens em cada uma das simulações.

Tabela 13: Lista de forragens presentes no modelo FDMT.

Erva	Trigo de inverno	Batata	Resíduos de fermentação
Feno	Trigo de primavera	Beterraba	Leite desnatado
Milho	Centeio	Folhas de beterraba	Substitutos de leite (baseados em leite vaca)
Bolbos de milho	Aveia	Cevada do inverno	Soro do leite (coalho)
	Resíduos de destilação	Cevada de primavera	Soro do leite (ácido)

Tabela 14: Lista de alimentos presentes no modelo FDMT.

Trigo inteiro de inverno	Aveia	Queijo (ácido)	Ovos
Farinha de trigo de inverno	Batatas	Leite de ovelha	Fruta
Farelo de trigo de inverno	Vegetais de folha	Leite de cabra	Bagas
Trigo inteiro de primavera	Vegetais de raiz	Carne de vaca	Leite de vaca
Farinha de trigo de primavera	Vegetais de fruta	Carne de boi	Cerveja
Farelo de trigo de primavera	Leite condensado	Veado	Arroz
Centeio inteiro	Natas	Porco	
Farinha de centeio	Manteiga	Carneiro	
Farelo de centeio	Queijo (coalho)	Frango/Galinha	

Correlacionando os produtos alimentares consumidos em Portugal na Dieta Mediterrânica com os produtos alimentares mais produzidos segundo o INE, os alimentos mais importantes que se devem considerar no modelo são:

- Cereais como o arroz, milho, trigo e centeio;
- Hortícolas como o tomate, batata, couves e abóbora;
- Frutas como a maçã, pera e laranja;
- Vinho e azeite;
- Carne de porco, de vaca e de aves, nomeadamente galinha/frango e peru;
- Leite de vaca.

Todos estes alimentos constam na lista com exceção da carne de peru, do vinho e do azeite, por serem alimentos constantes da dieta mediterrânica e não da Europa Central.

Tendo por base os dados anteriores, os alimentos escolhidos para as simulações foram o arroz, trigo de verão e de inverno, centeio de verão e de inverno, milho, vegetais de folha, de raiz e de fruta, fruta, carne de vaca, de boi, de porco e de frango/galinha. Tendo em conta que são 14 alimentos, adicionalmente foram escolhidas 6 forragens (erva, feno, milho, trigo de verão e de inverno e centeio) para fazer os 20 parâmetros.

5. Resultados e análise de resultados

Recorrendo ao ArcGis, foram criadas camadas das zonas agrícolas (regadio) na área metropolitana de Lisboa e de seguida foram sobrepostas nas informações geográficas do JRodos (no mapa) para uma melhor visualização das zonas agrícolas e para ser possível a escolha de uma célula que representasse as simulações (figura 31). Esta célula foi escolhida depois da simulação estar concluída, tendo por base a sua constituição que era maioritariamente regadio, por estar próxima da siderurgia e dentro da pluma resultante do acidente. As áreas constituídas por estufas não foram consideradas, uma vez que se considerou que seriam cobertas.

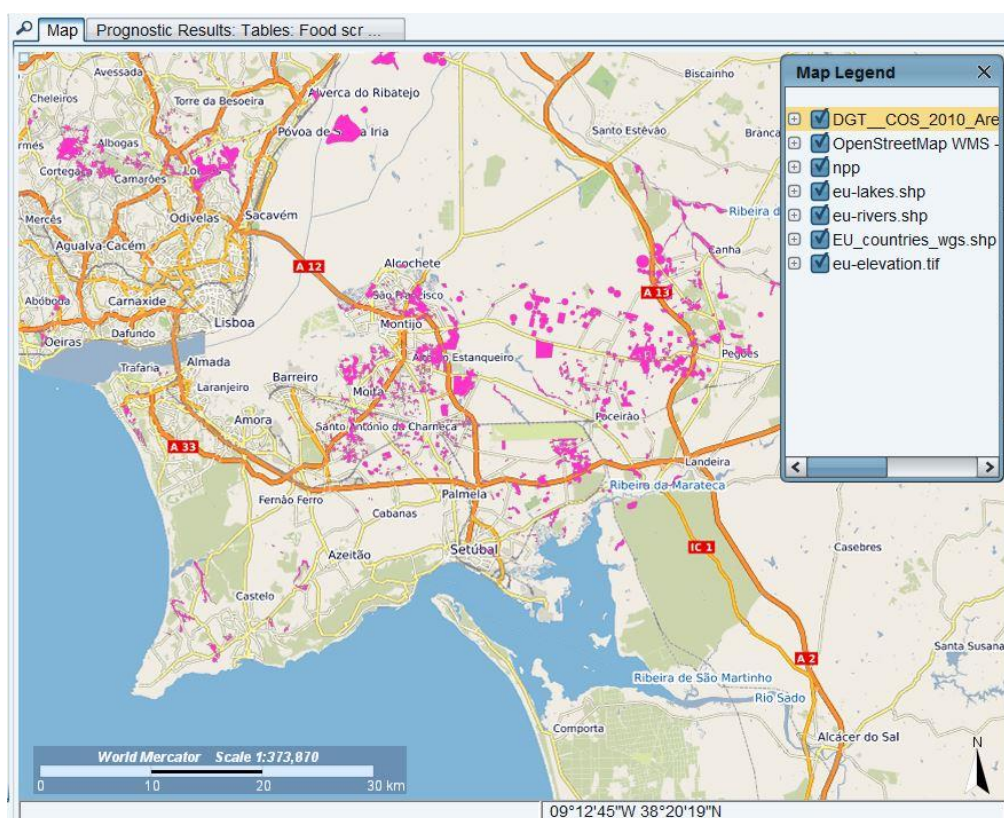


Figura 31: Mapa do JRodos de uma parte da Área Metropolitana de Lisboa. A cor-de-rosa encontram-se representadas as zonas de regadio.

Todos os resultados das plumas resultantes do acidente simulado possuem um esquema de cores de acordo com a tabela 15.

Tabela 15: Níveis de contaminação dos emissores gama e beta, adaptado de [63].

Níveis de contaminação	Emissores gama e beta
Extremamente contaminado (extremely contaminated)	> 10 000 kBq/m ²
Altamente contaminado (heavily contaminated)	1 000 – 10 000 kBq/m ²
Contaminado	100 – 1 000 kBq/m ²
Pouco contaminado	1 – 100 kBq/m ²
Muito pouco contaminado	1 – 10 kBq/m ²

5.1. Simulações com direção de vento a 315°

Foram realizadas as simulações para a direção de vento 315° e depois, foi retirada a informação da contaminação no solo (Bq/m^2) por ambas deposições, húmida e seca das simulações relevantes na respetiva célula escolhida 1077, através dos cálculos do modelo LSMC (tabela 16).

Tabela 16: Contaminação no solo para a respetiva simulação com direção de vento a 315° e na célula 1077.

Nº da Simulação	Contaminação no solo (Bq/m^2)	Nº da Simulação	Contaminação no solo (Bq/m^2)
1	377	14	4789
4	106	17	0
7	5	20	0
10	0	15	52583
5	47015	18	0
8	1219	21	0
11	0	25	6
6	23833	22	6
9	563	26	1153
12	0	23	1153
13	72	27	2159
16	0	24	2159
19	0		

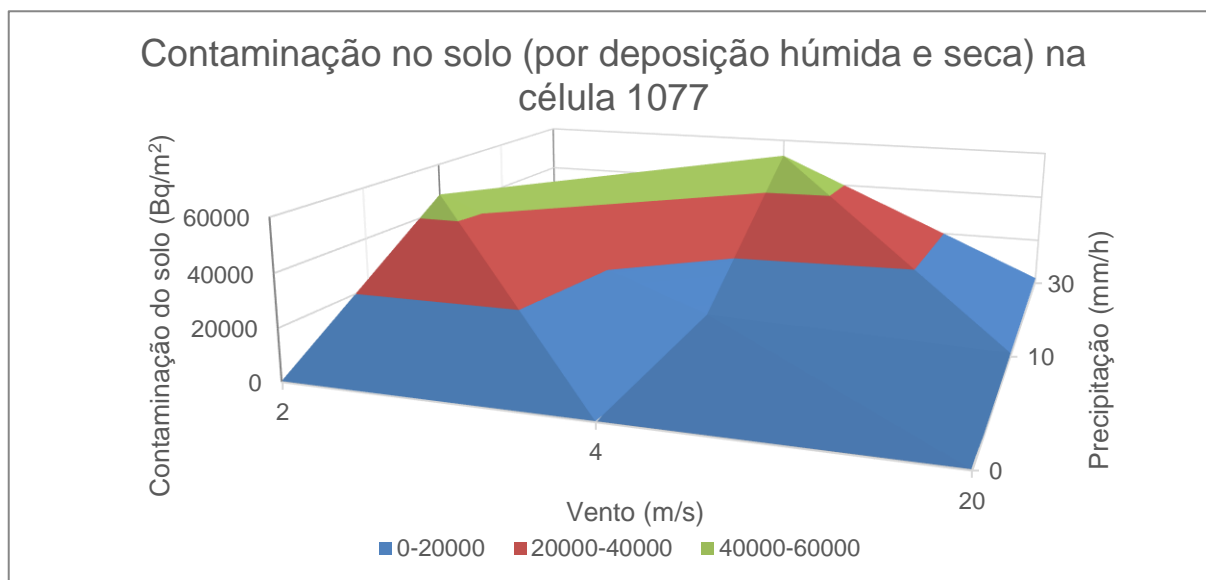


Figura 32: Contaminação no solo (por deposição húmida e seca) na célula 1077 tendo em conta as simulações para a direção de vento a 315°.

Verificou-se que as duas simulações que apresentavam maior contaminação no solo eram a simulação número 5 e 15 (figura 32) que correspondem a uma velocidade de vento de 2 e 4 m/s e a uma precipitação de 10 e 30 mm/h, respetivamente segundo a tabela 1 do Apêndice I.

Considerando apenas a simulação com maior valor máximo de contaminação no solo (simulação número 15), relativamente aos níveis de intervenção dos produtos alimentares, alguns foram ultrapassados, nomeadamente o trigo de inverno, o centeio, os vegetais de folha, as frutas e do leite de vaca (tabela 17). No entanto, como podemos ver na figura 33, os níveis ultrapassados não atingem grande parte das culturas de regadio, incluindo a célula escolhida.

Tabela 17: Resultados dos níveis de intervenção dos produtos alimentares da simulação número 15.

Produto alimentar	Valor máximo (Bq/kg)	Nível de intervenção (Bq/kg)
Trigo de inverno	1 690	1 250
Centeio	1 690	1 250
Vegetais de folha	344 000	1 250
Frutas	1 710	1 250
Leite de vaca	3 510	1 000

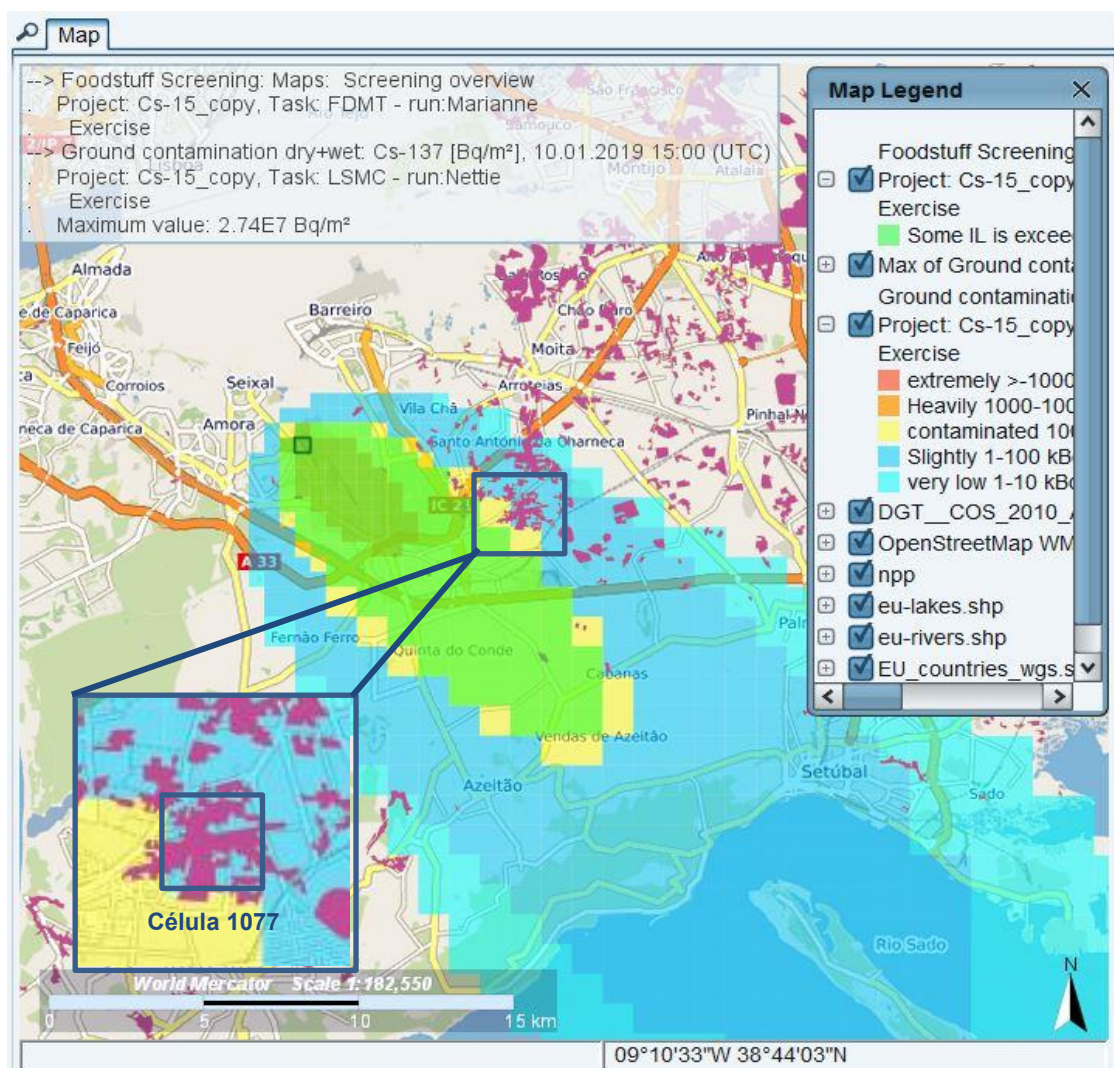


Figura 33: Exemplo de representação geográfica da contaminação (por deposição húmida e seca) de uma simulação com direção de vento a 315° (Projeto Cs-15), da localização da célula escolhida e da zona (a verde) onde os níveis de intervenção foram ultrapassados.

5.2. Simulações com direção de vento de 225°

Depois de repetidas as simulações com os mesmos parâmetros, mas, desta vez com direção de vento a 225°, obtiveram-se para a célula em questão (1326) os resultados expostos na tabela 16, através dos cálculos do modelo LSMC.

Tabela 18: Contaminação no solo para a respectiva simulação com direção de vento a 225° e na célula 1326.

Nº da Simulação	Contaminação no solo (Bq/m ²)	Nº da Simulação	Contaminação no solo (Bq/m ²)
28	2067	41	744222
31	3169	44	842555
34	4642	47	633067
37	1825	42	639696
32	881924	45	696282
35	936813	48	461609
38	39488	49	3186
33	357807	52	3186
36	399323	50	372684
39	13758	53	372684
40	1967	51	667150
43	9215	54	667150
46	17708		

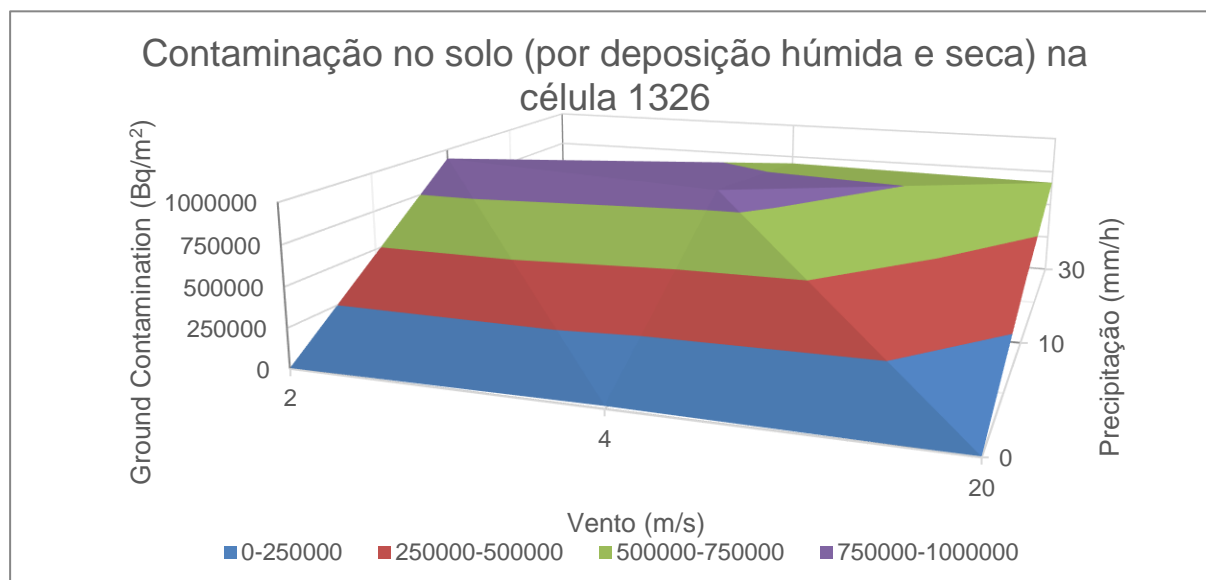


Figura 34: Contaminação no solo (por deposição húmida e seca) na célula 1326 tendo em conta as simulações para a direção de vento a 225°.

As simulações que apresentavam maior contaminação no solo correspondiam a simulações utilizando velocidade de vento 2 m/s para a simulação número 32 e 35, vento de 4 m/s para a simulação número 44 e precipitação de 10 mm/h (figura 34). É de notar que a simulação 44 acontece de noite. Todos os parâmetros restantes podem ser consultados na tabela 2 do Apêndice I.

Tendo em conta, mais uma vez, a simulação com maior valor de contaminação no solo (simulação número 35) numa determinada célula, os níveis de intervenção nesta simulação também foram ultrapassados em alguns dos produtos alimentares, nomeadamente no trigo de inverno, centeio, batatas, vegetais de folha, vegetais de raiz e vegetais de fruta (tabela 19). Esta simulação difere da primeira, na medida em que os níveis de intervenção ultrapassados encontram-se na célula escolhida e conseqüentemente numa zona constituída maioritariamente por regadio (figura 35).

Tabela 19: Resultados dos níveis de intervenção dos produtos alimentares da simulação número 35.

Produto alimentar	Valor máximo (Bq/kg)	Nível de intervenção (Bq/kg)
Trigo de inverno	3 080	1 250
Centeio	3 070	1 250
Batatas	1 720	1 250
Vegetais de folha	964 000	1 250
Vegetais de raiz	1 740	1 250
Vegetais de fruta	1 740	1 250

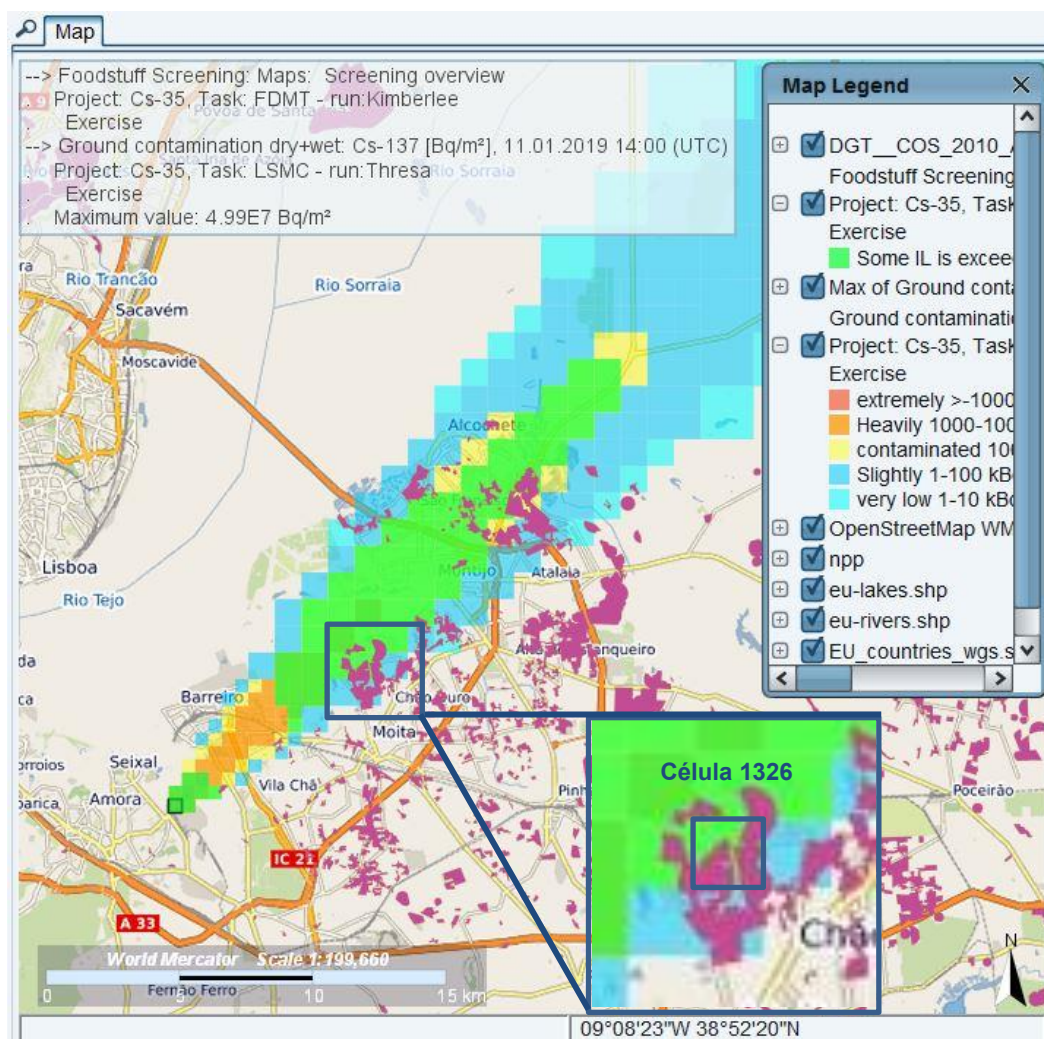


Figura 35: Exemplo de representação geográfica da contaminação (por deposição húmida e seca) de uma simulação com direção de vento a 225° (Projeto Cs-35), da localização da célula escolhida e da zona (a verde) onde os níveis de intervenção foram ultrapassados.

5.3. Simulações com direção de vento a 270°

Por último, após repetidas as simulações, mas com direção de vento a 270°, foi possível observar os resultados que se encontram na tabela 20 para a contaminação no solo na célula 1137.

Tabela 20: Contaminação no solo para a respetiva simulação com direção de vento a 270° e na célula 1137.

Nº da Simulação	Contaminação no solo (Bq/m ²)	Nº da Simulação	Contaminação no solo (Bq/m ²)
55	1342	66	704889
56	2359	69	1231691
59	5740	72	1376309
62	38930	67	705038
57	870846	70	1176667
60	1262724	73	1199699
63	1052054	74	2411
58	424225	77	2411
61	601615	75	384670
64	468212	78	384670
65	1241	76	713443
68	9518	79	713443
71	25143		

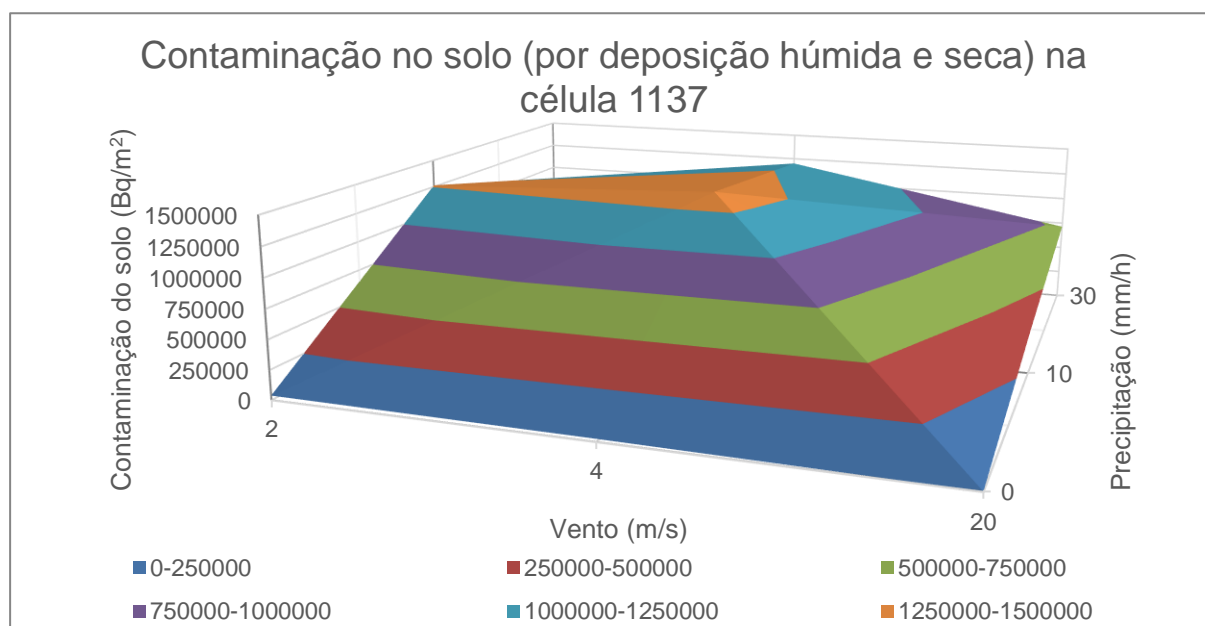


Figura 36: Contaminação no solo (por deposição húmida e seca) na célula 1137 tendo em conta as simulações para a direção de vento a 270°.

As simulações que apresentavam um valor máximo superior de contaminação na célula 1137 foram a simulação número 60, 69 e 72. As três apresentavam como parâmetro de precipitação 10 mm/h e duas delas (69 e 72) intensidade de vento 4 m/s e aconteciam durante a noite. A simulação número 60 correspondia à utilização de uma intensidade de vento de 2 m/s e ocorria durante o dia (figura 36).

Relativamente aos níveis de intervenção, na simulação com maior valor de contaminação do solo (simulação número 72), apenas os vegetais de folha ultrapassaram os níveis de intervenção. No entanto, alguns dos produtos alimentares como o trigo, o centeio, as batatas, os vegetais de raiz e de fruta e as frutas apresentam valores de contaminação, mas que não chegam a ultrapassar os níveis de intervenção. Nesta simulação, a célula escolhida encontra-se dentro do resultado dos níveis de intervenção representados no mapa da figura 37.

Tabela 21: Resultados dos níveis de intervenção dos produtos alimentares da simulação número 72.

Produto alimentar	Valor máximo (Bq/kg)	Nível de intervenção (Bq/kg)
Vegetais de folha	302 000	1 250
Trigo	321	1 250
Centeio	322	1 250
Batatas	180	1250
Fruta	324	1 250
Vegetais de raiz	181	1 250
Vegetais de fruta	181	1 250

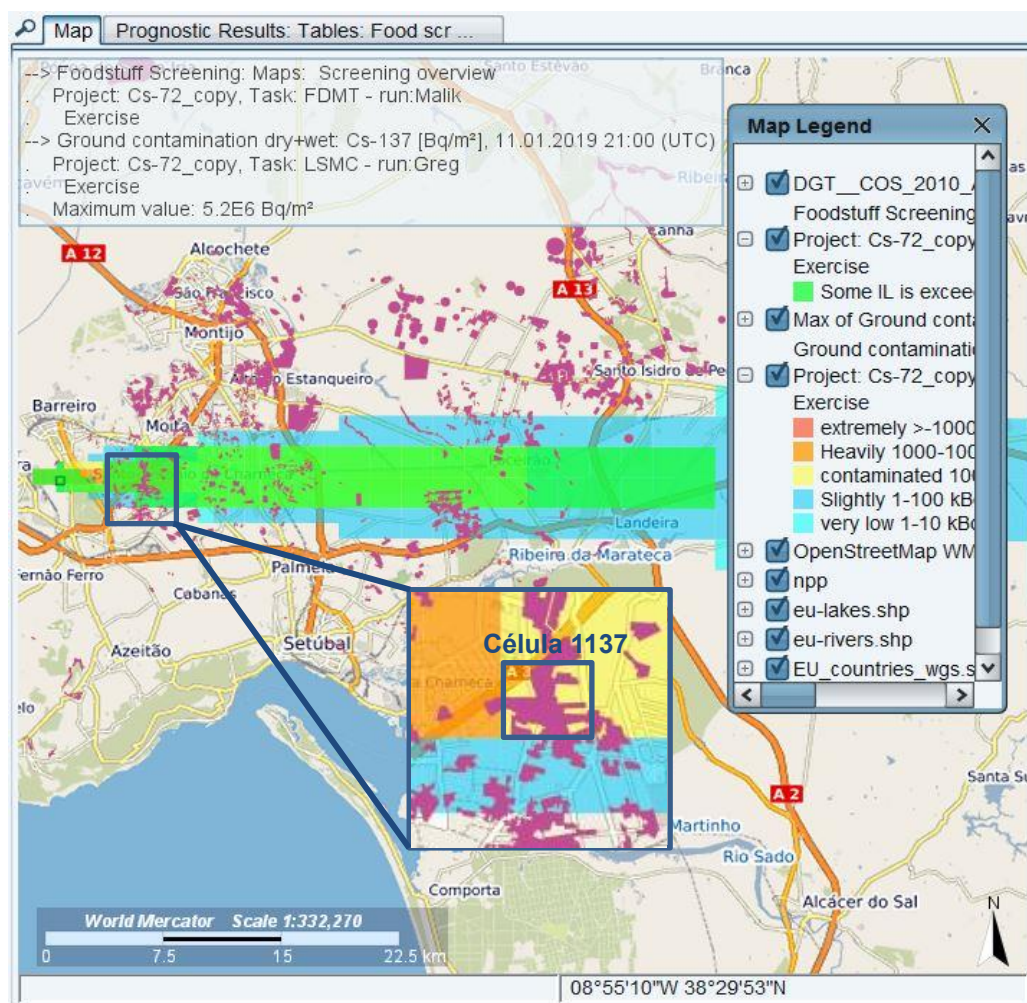


Figura 37: Exemplo de representação geográfica da contaminação (por deposição húmida e seca) de uma simulação com direção de vento a 270° (Projeto Cs-72), da localização da célula escolhida e da zona (a verde) onde os níveis de intervenção foram ultrapassados.

6. Conclusões e discussão

É de notar que cada vez mais, a nossa sociedade tem vindo a ficar alerta e atenta para a proteção radiológica devido a lições aprendidas de acidentes graves que aconteceram previamente e isso pode ser notado na diminuição de acidentes reportados quer na indústria, quer na medicina.[1] O acidente aqui estudado é um cenário hipotético mas suscetível de acontecer. Se acontecer realmente, segundo o artigo 57º do Decreto-Lei n.º 108/2018, as entidades responsáveis pelas instalações devem informar de imediato a autoridade competente (APA) sempre que suspeitarem ou tiverem conhecimento de qualquer fusão de uma fonte órfã ou materiais radioativos, ou de outra operação metalúrgica numa fonte órfã. A APA deverá adotar medidas para implementar sistemas de deteção de contaminação radioativa e os materiais contaminados que resultem da fusão de uma fonte órfã, não podem ser utilizados e colocados no mercado, devem ser eliminados segundo um parecer por parte da APA.[12]

Nas fases iniciais do acidente, devem ser rapidamente feitas opções de gestão para os produtos alimentares mais sensíveis como por exemplo os vegetais de folha, que se forem contaminados no momento da colheita, existe o risco de que as partes comestíveis mais superficiais estejam contaminadas. Juntamente com os vegetais de folha, nestas simulações foram encontrados mais alimentos cujos níveis de intervenção foram ultrapassados, nomeadamente o trigo, centeio, vegetais de raiz e de fruta, fruta, leite e batatas. Existem ações de proteção que podem ser tomadas na sequência de um acidente relativamente aos mesmos, tais como a aplicação de produtos nos solos para diminuir a absorção dos radionuclídeos (por exemplo fertilizantes ricos em potássio para reduzir a absorção do ^{137}Cs), o processamento dos alimentos (diminuir as concentrações de atividade finais), a remoção dos cultivos imediatamente a seguir à deposição, remoção das camadas superiores do solo, a restrição da venda, entre outras. No entanto, as últimas três ações de proteção têm como consequência o facto de gerarem uma grande quantidade de resíduos radioativos o que causa problemas a nível ambiental, assim como problemas económicos e sociais.[20] Por estas razões, as medidas de mitigação devem ser tomadas em função dos níveis de intervenção e conscientemente, tendo em conta fatores socioeconómicos. Ao definir e justificar estes níveis deve ser tomado em consideração a relação dose-risco para os efeitos estocásticos e a dose-resposta para os efeitos determinísticos, a gravidade de interferir com a vida normal dos indivíduos (rutura da rotina) como consequência das medidas tomadas e o nível e intervalo da exposição natural à radiação.[18]

Como referido ao longo da dissertação de mestrado, o JRodos quando é instalado tem apenas os parâmetros por defeito da Europa Central, uma vez que foi na Europa Central que foi criado. Por esta razão, para obter resultados específicos para uma região ou país é necessário a sua adaptação para as condições nacionais, o que requer que sejam necessários vários parâmetros que não se encontram disponíveis no sistema.

Não tendo sido possível conseguir adquirir todos os parâmetros necessários a modificar, foram utilizados por defeito os da Europa Central. No entanto, como também não foi realizada uma análise de sensibilidade derivada à falta de dados, não é possível afirmar que os parâmetros por defeito

utilizados nestas simulações não são adequados para Portugal, uma vez que os resultados calculados pelo modelo poderiam não ter alterações significativas relativamente aos parâmetros por defeito.

Relativamente à customização das simulações no JRodos, os parâmetros utilizados, nomeadamente nos dados meteorológicos, são condições dominantes em Portugal e apenas serviram para verificar os resultados que fossem mais suscetíveis de acontecer. No evento de uma ocorrência real, é possível utilizar os serviços meteorológicos nacionais que contenham previsões para os dias seguintes.[64] Tendo isto em conta, pode-se chegar à conclusão que os parâmetros que resultaram em maiores níveis de contaminação nas células escolhidas foram intensidades de vento baixas de 2 e de 4 m/s, sempre em condições de precipitação que variavam sempre entre 10 mm/ e 30 mm/h e em condições de estabilidade atmosférica variando entre moderadamente instável e ligeiramente estável (tabela 22).

Tabela 22: Resumo dos resultados e parâmetros dos níveis mais altos de contaminação nas células escolhidas.

Direção de vento	Condições atmosféricas que causam maior contaminação			Alimentos que excedem os níveis de intervenção
	Intensidade do vento (m/s)	Precipitação (mm/h)	Estabilidade atmosférica	
315°	2 e 4	10 e 30	B	Trigo de inverno, centeio, vegetais de folha, frutas, leite de vaca
225°	2 e 4	10	B, C e D	Trigo de inverno, centeio, batatas, vegetais de folha, vegetais de raiz e vegetais de fruta
270°	2 e 4	10	C, D e E	Vegetais de folha

As células escolhidas para representar as simulações eram constituídas maioritariamente por regadio, sendo que neste tipo de zona agrícola são apenas produzidos produtos como frutas, vegetais de folha, de raiz e de fruta e por vezes o milho. Tendo em conta os alimentos cujos níveis de intervenção foram ultrapassados, apenas o trigo e o centeio se podem descartar uma vez que não são, normalmente produzidos em zonas de regadio. É importante também referir que nas simulações efetuadas, os resultados apresentados são sobrestimados uma vez que, as siderurgias normalmente possuem filtragem e sistemas de limpeza que, na eventualidade de um acidente com ^{137}Cs , 99% fica preso nos mesmos.[24]

Ao explorar o sistema JRodos a vários níveis, foi possível notar algumas limitações nos resultados do modelo FDMT, nomeadamente a nível dos alimentos que ultrapassavam os níveis de intervenção. Ao realizar as primeiras simulações, foram colocados alimentos e forragens de forma aleatória uma vez que era só para experiência. Em todas as estas simulações era possível verificar que existiam alguns alimentos cujos níveis de intervenção eram ultrapassados. Mais tarde, quando os alimentos e forragens ficaram definidos como definitivos para as simulações que iam dar origem aos resultados que estão

aqui representados, em algumas das simulações, não existiam quaisquer alimentos cujos níveis de intervenção eram ultrapassados. Tais resultados não eram coerentes uma vez que em todas as simulações o cenário radiológico era o mesmo, incluindo dados meteorológicos, localização e termo fonte. Foram repetidas algumas simulações da mesma forma e todas apresentavam variações, inclusive numa delas apareciam alimentos na lista dos níveis de intervenção ultrapassados que não foram considerados para as simulações. É possível notar esta limitação nos resultados das últimas simulações (direção de vento 270°) que possuem valores mais altos de contaminação no solo, mas apenas existe um produto alimentar (vegetais de folha) que excede os níveis de intervenção ao contrário das outras simulações que possuem mais produtos cujos níveis de intervenção são ultrapassados. Seria, portanto, necessário investigar mais sobre estas limitações, nomeadamente criador do *software* para ser possível perceber a razão.

Existem outros problemas reportados na determinação de doses com este modelo, nomeadamente a sobrestimação de dose devido à ingestão de alimentos contaminados. Um destes problemas reside no facto de que, para um determinado indivíduo em sociedades industrializadas, existe uma constante mudança do padrão de distribuição entre a origem da produção e o consumidor. Isto é, muitos alimentos que constituem uma determinada dieta atualmente, são importados de outras regiões nacionais ou internacionais, e o que o modelo faz é realizar os cálculos com alimentos produzidos localmente, o que faz com que faça mais sentido que as doses sejam calculadas para uma população em geral e não para pessoas individualmente.[2]

Tendo sido utilizada a cadeia de modelos LSMC, EMERSIM, DEPOM e FDMT de fase inicial (*early phase*) de uma emergência, esta só contém um modelo de ações de proteção (EMERSIM) com parâmetros como o abrigo, a evacuação e o consumo de pastilhas de iodo, que apenas tem em conta a exposição externa à radiação. O único modelo de ações de proteção relativamente à agricultura é o Programa De Ações de Proteção Agrícolas (*Agricultural Countermeasure Program*), utilizada na fase de recuperação e que avalia os efeitos de ações de proteção relativamente a alimentos contaminados, os recursos necessários, resíduos gerados e custos associados. Seria, portanto, uma mais valia existir um modelo de ações de proteção de fase inicial que se articulasse dentro da cadeia de modelos LSMC, nomeadamente com o modelo FDMT, para que quando se verificasse um nível de intervenção ultrapassado se pudesse saber quais as ações a tomar mais rápida e eficazmente.[57][3]

Com esta dissertação de mestrado, ficou evidente que, no caso de ocorrer um acidente radiológico ou nuclear em território nacional ou que afete Portugal, o sistema de suporte à decisão JRodos é um instrumento fundamental para a gestão e resposta à emergência. Nomeadamente, deve ser utilizado para averiguar prognósticos em relação aos produtos alimentares e às doses resultantes de ingerir os mesmos, uma vez que, o conhecimento dos níveis de contaminação dos produtos alimentares e forragens em função do tempo é necessário para preparar a gestão do acidente, nomeadamente as respostas, intervenções e medidas necessárias para a mitigação das consequências.[2] O JRodos, tendo sido criado como consequência do acidente de Chernobyl para ajudar na resposta e preparação da emergência, já demonstrou a sua utilidade nesta área, nomeadamente no acidente de Fukushima-Daiichi. Com a sua utilização, foi estimada a contaminação nos solos e nos produtos alimentares

predominantes no Japão e, conseqüentemente, foram tomadas medidas de mitigação para proteger a população, uma vez que alguns dos níveis de intervenção foram ultrapassados.[2]

Concluindo, esta dissertação de mestrado conseguiu com sucesso identificar os parâmetros do JRodos, nomeadamente no modelo FDMT, que necessitam de otimização para a realidade portuguesa e os alimentos que seria necessário adicionar ao modelo; averiguar as condições meteorológicas com maiores impactos na região do acidente; verificar os alimentos mais suscetíveis de ultrapassar os níveis de intervenção no caso de um acidente e, por fim, demonstrar a utilidade do sistema JRodos em caso de emergência radiológica e/ou nuclear.

6.1. Considerações futuras

Apesar da maioria dos produtos alimentares, à exceção da carne de peru, do azeite, do vinho, constarem na lista de alimentos do JRodos, seria necessário fazer uma otimização a um nível mais profundo do sistema como criar regiões radioecológicas e otimizar os parâmetros dos períodos de colheita e taxas de produção das plantas, das dietas típicas, taxas de inalação e taxas de produção dos animais e das taxas de consumo da população para averiguar qual seria a taxa de dieta contaminada, uma vez que os hábitos alimentares, as condições meteorológicas e os animais são relativamente diferentes comparativamente com outros países.[32] Em relação aos fatores de translocação seria necessário verificar se existem para todos os alimentos que se considerou e se são diferentes dos incorporados atualmente no modelo.

Futuramente, seria também necessário não só considerar as zonas de regadio como zonas agrícolas, adicionar produtos alimentares importantes para a indústria e consumo português como o vinho e o azeite e adquirir os parâmetros necessários para a customização do sistema. No entanto, seria importante primeiro perceber até que ponto se pode considerar a uva e a azeitona como fruta e adicionar apenas o fator de processamento. Posteriormente é necessário realizar as simulações com os estes novos parâmetros e alimentos e verificar se está correto e, se possível, realizar análises de sensibilidade para verificar se é necessário a alteração do modelo e comparar com outro modelo da cadeia alimentar para que, se acontecesse uma emergência que afetasse o território nacional, Portugal teria um sistema de apoio à decisão com o modelo da cadeia alimentar mais adaptado às suas condições nacionais.

7. Referências

1. UNSCEAR. Radiation: Effects and Sources [Internet]. 2016. 68 p. Available from: <https://www.unscear.org/unscear/en/publications/booklet.html>
2. Kesser G, Veser A, Schlüter F-H, Raskob W, Landman C, Päsler-Sauer J. The Risks of Nuclear Energy Technology.
3. Karlsruhe Institute of Technology (KIT). JRodos: An off-site emergency management system for nuclear accidents. 2017;(Março):1–23.
4. World Health Organization. What is Ionizing Radiation? [Internet]. [cited 2019 Jul 20]. Available from: https://www.who.int/ionizing_radiation/about/what_is_ir/en/
5. Mizokami S, Kumagai Y. Reflections on Fukushima Daiichi Nuclear Accident. Reflections on the Fukushima Daiichi Nuclear Accident: Toward Social-Scientific Literacy and Engineering Resilience. 2015. 21-50 p.
6. International Atomic Energy Agency (IAEA). The Use and Management of Sealed Radioactive Sources. 2007;1–13.
7. ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection - ICRP Publication 103. 2007.
8. Podgoršak EB. Graduate Texts in Physics: Radiation Physics for Medical Physicists [Internet]. 2016. 955 p. Available from: <http://www.springer.com/series/8431>
9. Direção Geral da Saúde. Nota Informativa sobre o Acidente Nuclear de Fukushima Daiichi, Japão. Questões de Saúde Pública. 2011;1–10.
10. Martin JE. Atoms , Radiation , and Radiation Protection Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry.
11. FAO, IAEA, WHO. Criteria for Radionuclide Activity Concentrations for Food and Drinking Water. laea-Tecdoc. 2016;1788:63.
12. Diário da República. Decreto Lei n.º108/2018. 2018.
13. Diário da República. Portaria n.º 137/2009 de 10 de maio. 2019;8–10.
14. IAEA. IAEA Safety Standards GS-G-2.1, Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency. 2007;105(Version 10).
15. International Atomic Energy Agency (IAEA). Generic intervention levels for protecting the public in the event of a nuclear accident or radiological emergency. 1985; Available from: http://gnssn.iaea.org/Superseded Safety Standards/Safety_Series_072_1985.pdf
16. International Atomic Energy Agency (IAEA). Safety Reports Series N. 37 Methods for Assessing Occupational Radiation Doses Due to Intakes of Radionuclides. 2004;

17. Ministry of the Environment - Government of Japan. Deterministic Effects and Stochastic Effects [Internet]. [cited 2019 Jul 26]. Available from: <https://www.env.go.jp/en/chemi/rhm/basic-info/1st/03-01-04.html>
18. German Commission on Radiological Protection. Basic Radiological Principles for Decisions on Measures for the Protection of the Population against Incidents involving Releases of Radionuclides. 2014;(February). Available from: http://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2014/RadiologischeGrundlagen_e.pdf?__blob=publicationFile
19. National Radiological Protection Board. Guidance on Restrictions on Food and Water Following a Radiological Accident. 1994.
20. Nisbet AF, Jones A. Generic handbook for assisting in the management of contaminated food production systems in Europe following a radiological emergency. Food Handb. 2009;(09).
21. Conselho da União Europeia. Regulamento (Euratom) 2016/52 do Conselho de 15 de janeiro de 2016. 2016;2–11.
22. IAEA. Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency - General Safety Requirements No. GSR Part 7. 2015;
23. Turner R. Scrap metals industry perspective on radioactive materials. Health Phys. 2006;91(5):489–93.
24. Baldry K, Harvey DS, Bishop A. Accidental Melting of Radioactive Sources. :1–10.
25. Neuschütz D, Spirin D, Quade U, Meier-Kortwig J, Holappa L, Hämäläinen M, et al. Inadvertent melting of radioactive sources in BOF or EAF: Distribution of nuclides, monitoring, prevention. ISIJ Int. 2005;45(2):288–95.
26. International Atomic Energy Agency (IAEA). Safety of Radiation Sources and Security of Radioactive Materials - Conferência 1998 [Internet]. 1999. 14-18 p. Available from: http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/30/046/30046388.pdf
27. Agência Portuguesa do Ambiente. Tipos de Emergências Radiológicas [Internet]. [cited 2019 Jul 19]. Available from: <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=17&subref=305&sub2ref=346>
28. Agência Portuguesa do Ambiente. Rede de Monitorização de Emergência [Internet]. [cited 2019 Jul 20]. Available from: <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=17&subref=305&sub2ref=344>
29. Balonov M, Crick M, Louvat D. Update of impacts of the Chernobyl accident: Assessments of the Chernobyl Forum (2003-2005) and UNSCEAR (2005-2008). In.
30. International Atomic Energy Agency (IAEA). Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experience. Report of the Chernobyl Forum Expert Group “Environment.” 2006.

31. Carter MW, Harley JH, Schmidt GD, Silini G. Radionuclides in the Food Chain. Springer; 1988.
32. Ehrhardt J, Raskob W. The RODOS system: Decision support for off-site emergency management in Europe. Radiat Prot Dosimetry. 2000;73(1-4):35-40.
33. Raskob W, Trybushnyi D, Ievdin I, Zheleznyak M. JRODOS: Platform for improved long term countermeasures modelling and management. Radioprotection. 2011;46(6):731-6.
34. Estevan MT. Consequences of the Algeciras accident, and the spanish system for the radiological surveillance and control of scrap and the products of its processing. Consejo de Seguridad Nuclear - Madrid; 2003.
35. Consejo de Seguridad Nuclear. Informe sobre el accidente de acerinox de 1998. 1998;(m).
36. Gil E. The Spanish System for the Radiological Surveillance Resulting from its processing. :362-70.
37. Institut De Protection Et De Sûreté Nucléaire. Radioecology. 2001;1-21.
38. Reis M. A Física e a Vida. Gaz Física. 2007;30:42-7.
39. International Atomic Energy Agency (IAEA). Integrated Regulatory Review Service (IRRS) to Spain. Madrid; 2008.
40. IAEA. Safety Reports Series No. 14 - Assessment of doses to the public from ingested radionuclides. 1999.
41. Reis M. Vias de Transferência Atmosféricas. Aulas Radioat Ambient do Mestr em Proteção e Segurança Radiológica. 2018;
42. Golmakani S, Moghaddam VM, Hosseini T. Factors affecting the transfer of radionuclides from the environment to plants. Radiat Prot Dosimetry. 2008;130(3):368-75.
43. International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP - Environmental Protection: Transfer parameters for Reference Animals and Plants. :1-78.
44. Ehrhardt J, Shershakov V, Zheleznyak M, Mikhalevich A. RODOS: Decision Support System for Off-site Nuclear Emergency Management in Europe: Final Project Report. 2000;1:1087-96.
45. ICRP. ICRP Publication 111 - Application of the Commission's Recommendations to the Protection of People Living in Long-term Contaminated Areas after a Nuclear Accident or a Radiation Emergency. Clin Oncol. 2007;19(7):539-41.
46. Ievdin I, Trybushnyi D, Zheleznyak M, Raskob W. RODOS re-engineering: Aims and implementation details. Radioprotection. 2010;45(5):181-9.
47. Müller H, Gering F, Pröhl G. Model description of the Terrestrial Food Chain and Dose Module FDMT in RODOS PV6.0. RODOS(RA3)-TN(03)06. 2004;(03):57.
48. European Commission. Joint Research Center - Radioactivity Environmental Monitoring [Internet].

- [cited 2019 Jan 26]. Available from: <https://remon.jrc.ec.europa.eu/About>
49. Ievdin I, Projects W, Trybushnyi D, Landman C. JRodos User Guide. 2018;60(December).
 50. Martins AS, Durão Ca, Pasadas S. Dieta Mediterrânica. Rev Nutricias. 2002;2:40–3.
 51. Ferreira ME, Oliveira C. Dimensões da Dieta Mediterrânica, Património Cultural Imaterial da Humanidade. Faro: Universidade do Algarve, 2015;
 52. Instituto Nacional de Estatísticas. Estatísticas Agrícolas - 2017 [Internet]. Available from: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=320461359&PUBLICACOESmodo=2
 53. Environmental Systems Research Institute. What is ArcGIS? [Internet]. 2019 [cited 2019 Oct 5]. Available from: <https://developers.arcgis.com/labs/what-is-arcgis/>
 54. International Atomic Energy Agency (IAEA). Dangerous quantities of radioactive material [Internet]. Portable Digital Assistant for First Responders to a Radiological Emergency. [cited 2019 Aug 13]. Available from: https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/EPR-First_Res-PDA/html/ti1-dvalues.htm
 55. United States Environmental Protection Agency. EPA Facts About Cesium-137. 2002;(July).
 56. National Nuclear Data Center. NuDat 2.7 - Decay Scheme [Internet]. [cited 2019 Aug 11]. Available from: <https://www.nndc.bnl.gov/nudat2/getdecayscheme.jsp?nucleus=137BA&dsid=137cs&decay&unc=nds>
 57. Thykier-Nielsen S, Deme S, Mikkelsen T. Description of the atmospheric dispersion module RIMPUFF. 1999;(April):1–58.
 58. Comissão Nacional do Ambiente. Atlas do Ambiente - Vento - Frequência do rumo e da velocidade. In 1975.
 59. Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Portal do Clima - Alterações Climáticas em Portugal (Intensidade média do vento à superfície) [Internet]. 2019 [cited 2019 Oct 5]. Available from: <http://portaldoclima.pt/pt/>
 60. Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Critérios de Emissão dos Avisos Meteorológicos [Internet]. 2019 [cited 2019 Oct 3]. Available from: <https://www.ipma.pt/pt/enciclopedia/otempo/sam/index.html?page=criterios.xml>
 61. Chapman HL. Performance Test of the Pasquill Stability Classification Scheme. 2017;(May).
 62. NOAA (National Weather Service). Beaufort Wind Scale [Internet]. 2019 [cited 2019 Sep 28]. Available from: <https://www.spc.noaa.gov/faq/tornado/beaufort.html>
 63. Icelandic Radiation Safety Authority, National Institute of Radioation Protection, Norwegian

Radiation Protection Authority, Authority SRS. Protective Measures in Early and Intermediate Phases of a Nuclear or Radiological Emergency.

64. Karlsruhe Institute of Technology (KIT). Annual Report 2016 of the Institute for Nuclear and Energy Technologies. 2016;
65. Nucleonica. Reduced Decay Scheme 55 Cs 137 [Internet]. [cited 2019 Oct 4]. Available from: https://www.nucleonica.com/Application/ReducedDecaySchemes/Cs137_TXT.htm

Apêndice I – Parâmetros utilizados nas simulações

Tabela 1: Parâmetros utilizados nas simulações no sistema de suporte à decisão JRodos para a direção de vento 315°.

Nome do projeto	Coordenadas:	Modelo	Tipo de Emergência	Fonte	Direção do vento	Intensidade do vento (m/s)	Dia/Noite	Estado da cobertura	Estabilidade atmosférica	Precipitação (mm/h)	Data
Cs-1	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	315	2	Dia	Sol	A	0	10/01/2019 às 14:00
Cs-2	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	315	2	Dia	Sol	A	10	10/01/2019 às 14:00
Cs-3	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	315	2	Dia	Sol	A	30	10/01/2019 às 14:00
Cs-4	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	315	2	Dia	Moderado	B	0	10/01/2019 às 14:00
Cs-5	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	315	2	Dia	Moderado	B	10	10/01/2019 às 14h
Cs-6	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	315	2	Dia	Moderado	B	30	10/01/2019 às 14:00
Cs-7	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	315	2	Dia	Coberto	C	0	10/01/2019 às 14:00
Cs-8	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	315	2	Dia	Coberto	C	10	10/01/2019 às 14h
Cs-9	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	315	2	Dia	Coberto	C	30	10/01/2019 às 14:00
Cs-10	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	315	2	Noite	Moderado/ Coberto	F	0	10/01/2019 às 21:00
Cs-11	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	315	2	Noite	Moderado/ Coberto	F	10	10/01/2019 às 21:00

Nome do projeto	Coordenadas:	Modelo	Tipo de Emergência	Fonte	Direção do vento	Intensidade do vento (m/s)	Dia/Noite	Estado da cobertura	Estabilidade atmosférica	Precipitação (mm/h)	Data
Cs-12	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	315	2	Noite	Moderado/Coberto	F	30	10/01/2019 às 21h
Cs-13	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	315	4	Dia	Sol/Moderado/ Coberto	B	0	10/01/2019 às 14h
Cs-14	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	315	4	Dia	Sol/Moderado/ Coberto	B	10	10/01/2019 às 14h
Cs-15	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	315	4	Dia	Sol/Moderado/ Coberto	B	30	10/01/2019 às 14h
Cs-16	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	315	4	Noite	Moderado	D	0	10/01/2019 às 21h
Cs-17	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	315	4	Noite	Moderado	D	10	10/01/2019 às 21h
Cs-18	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	315	4	Noite	Moderado	D	30	10/01/2019 às 21h
Cs-19	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	315	4	Noite	Coberto	E	0	10/01/2019 às 21h
Cs-20	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	315	4	Noite	Coberto	E	10	10/01/2019 às 21h
Cs-21	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	315	4	Noite	Coberto	E	30	10/01/2019 às 21h
Cs-22	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	315	20	Dia	Sol/Moderado	C (Cloudless)	0	10/01/2019 às 14h
Cs-23	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	315	20	Dia	Sol/Moderado	C (Cloudless)	10	10/01/2019 às 14h

Nome do projeto	Coordenadas:	Modelo	Tipo de Emergência	Fonte	Direção do vento	Intensidade do vento (m/s)	Dia/Noite	Estado da cobertura	Estabilidade atmosférica	Precipitação (mm/h)	Data
Cs-24	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	315	20	Dia	Sol/Moderado	C (Cloudless)	30	10/01/2019 às 14h
Cs-25	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	315	20	Dia/Noite	Coberto	D	0	10/01/2019 às 14h
Cs-26	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	315	20	Dia/Noite	Coberto	D	10	10/01/2019 às 14h
Cs-27	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	315	20	Dia/Noite	Coberto	D	30	10/01/2019 às 14h

Tabela 2: Parâmetros utilizados nas simulações no sistema de suporte à decisão JRodos para a direção de vento 225°.

Nome do projeto	Coordenadas:	Modelo	Tipo de Emergência	Fonte	Direção do vento	Intensidade do vento (m/s)	Dia/Noite	Estado da cobertura	Estabilidade atmosférica	Precipitação (mm/h)	Data
Cs-28	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	225	2	Dia	Sol	A	0	10/01/2019 às 14h
Cs-29	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	225	2	Dia	Sol	A	10	10/01/2019 às 14h
Cs-30	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	225	2	Dia	Sol	A	30	10/01/2019 às 14h
Cs-31	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	225	2	Dia	Moderado	B	0	10/01/2019 às 14h
Cs-32	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	225	2	Dia	Moderado	B	10	10/01/2019 às 14h
Cs-33	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	225	2	Dia	Moderado	B	30	10/01/2019 às 14h

Nome do projeto	Coordenadas:	Modelo	Tipo de Emergência	Fonte	Direção do vento	Intensidade do vento (m/s)	Dia/Noite	Estado da cobertura	Estabilidade atmosférica	Precipitação (mm/h)	Data
Cs-34	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	225	2	Dia	Coberto	C	0	10/01/2019 às 14h
Cs-35	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	225	2	Dia	Coberto	C	10	10/01/2019 às 14h
Cs-36	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	225	2	Dia	Coberto	C	30	10/01/2019 às 14h
Cs-37	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	225	2	Noite	Moderado/Coberto	F	0	10/01/2019 às 21h
Cs-38	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	225	2	Noite	Moderado/Coberto	F	10	10/01/2019 às 21h
Cs-39	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	225	2	Noite	Moderado/Coberto	F	30	10/01/2019 às 21h
Cs-40	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	225	4	Dia	Sol/Moderado/ Coberto	B	0	10/01/2019 às 14h
Cs-41	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	225	4	Dia	Sol/Moderado/ Coberto	B	10	10/01/2019 às 14h
Cs-42	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	225	4	Dia	Sol/Moderado/ Coberto	B	30	10/01/2019 às 14h
Cs-43	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	225	4	Noite	Moderado	D	0	10/01/2019 às 21h
Cs-44	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	225	4	Noite	Moderado	D	10	10/01/2019 às 21h
Cs-45	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	225	4	Noite	Moderado	D	30	10/01/2019 às 21h

Nome do projeto	Coordenadas:	Modelo	Tipo de Emergência	Fonte	Direção do vento	Intensidade do vento (m/s)	Dia/Noite	Estado da cobertura	Estabilidade atmosférica	Precipitação (mm/h)	Data
Cs-46	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	225	4	Noite	Coberto	E	0	10/01/2019 às 21h
Cs-47	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	225	4	Noite	Coberto	E	10	10/01/2019 às 21h
Cs-48	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	225	4	Noite	Coberto	E	30	10/01/2019 às 21h
Cs-49	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	225	20	Dia	Sol/Moderado	C (Cloudless)	0	10/01/2019 às 14h
Cs-50	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	225	20	Dia	Sol/Moderado	C (Cloudless)	10	10/01/2019 às 14h
Cs-51	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	225	20	Dia	Sol/Moderado	C (Cloudless)	30	10/01/2019 às 14h
Cs-52	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	225	20	Dia/Noite	Coberto	D	0	10/01/2019 às 14h
Cs-53	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	225	20	Dia/Noite	Coberto	D	10	10/01/2019 às 14h
Cs-54	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	225	20	Dia/Noite	Coberto	D	30	10/01/2019 às 14h

Tabela 3: Parâmetros utilizados nas simulações no sistema de suporte à decisão JRodos para a direção de vento 270°.

Nome do projeto	Coordenadas:	Modelo	Tipo de Emergência	Fonte	Direção do vento	Intensidade do vento (m/s)	Dia/Noite	Estado da cobertura	Estabilidade atmosférica	Precipitação (mm/h)	Data
Cs-55	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	270	2	Dia	Sol	A	0	10/01/2019 às 14h

Nome do projeto	Coordenadas:	Modelo	Tipo de Emergência	Fonte	Direção do vento	Intensidade do vento (m/s)	Dia/Noite	Estado da cobertura	Estabilidade atmosférica	Precipitação (mm/h)	Data
Cs-56	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	270	2	Dia	Moderado	B	0	10/01/2019 às 14h
Cs-57	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	270	2	Dia	Moderado	B	10	10/01/2019 às 14h
Cs-58	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	270	2	Dia	Moderado	B	30	10/01/2019 às 14h
Cs-59	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	270	2	Dia	Coberto	C	0	10/01/2019 às 14h
Cs-60	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	270	2	Dia	Coberto	C	10	10/01/2019 às 14h
Cs-61	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	270	2	Dia	Coberto	C	30	10/01/2019 às 14h
Cs-62	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	270	2	Noite	Moderado/Coberto	F	0	10/01/2019 às 21h
Cs-63	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	270	2	Noite	Moderado/Coberto	F	10	10/01/2019 às 21h
Cs-64	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	270	2	Noite	Moderado/Coberto	F	30	10/01/2019 às 21h
Cs-65	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	270	4	Dia	Sol/Moderado/ Coberto	B	0	10/01/2019 às 14h
Cs-66	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	270	4	Dia	Sol/Moderado/ Coberto	B	10	10/01/2019 às 14h
Cs-67	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	270	4	Dia	Sol/Moderado/ Coberto	B	30	10/01/2019 às 14h

Nome do projeto	Coordenadas:	Modelo	Tipo de Emergência	Fonte	Direção do vento	Intensidade do vento (m/s)	Dia/Noite	Estado da cobertura	Estabilidade atmosférica	Precipitação (mm/h)	Data
Cs-68	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	270	4	Noite	Moderado	D	0	10/01/2019 às 21h
Cs-69	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	270	4	Noite	Moderado	D	10	10/01/2019 às 21h
Cs-70	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	270	4	Noite	Moderado	D	30	10/01/2019 às 21h
Cs-71	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	270	4	Noite	Coberto	E	0	10/01/2019 às 21h
Cs-72	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	270	4	Noite	Coberto	E	10	10/01/2019 às 21h
Cs-73	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	270	4	Noite	Coberto	E	30	10/01/2019 às 21h
Cs-74	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	270	20	Dia	Sol/Moderado	C (Cloudless)	0	10/01/2019 às 14h
Cs-75	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	270	20	Dia	Sol/Moderado	C (Cloudless)	10	10/01/2019 às 14h
Cs-76	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	270	20	Dia	Sol/Moderado	C (Cloudless)	30	10/01/2019 às 14h
Cs-77	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	270	20	Dia/Noite	Coberto	D	0	10/01/2019 às 14h
Cs-78	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	270	20	Dia/Noite	Coberto	D	10	10/01/2019 às 14h
Cs-79	Lat: 38.6283127, Long: -9.0816658	RIMPUFF	Incêndio	Cs-137	270	20	Dia/Noite	Coberto	D	30	10/01/2019 às 14h

Apêndice II – Parâmetros por defeito do JRodos

Parameters for Region Central Europe

Feedstuff | Foodstuff | Nuclide Data | Nuclide Plant Data

Region | Animal Product | Plant/Surface | Yield/LAI/Growth Dilution Rate

Foodstuff ...	Foodstuff ...	Category
Rye whole	fryw	
Rye flour	fryf	
Rye bran	fryb	
Oats	foat	
Potatoes	fpot	
Leafy vegs.	fvel	
Root vegs.	fver	
Fruit vegs.	fvef	
Fruits	ffru	
Berries	fber	
Milk	fmil	
Cond.Milk	fcom	
Cream	fcre	
Butter	fbut	
Cheese(r...	fchr	
Cheese(a...	fcha	
Sheep milk	fmis	

Season dependent intake modifi...

Begin [Julia...]	End [Julia...]	Factor
1	120	0.1
121	304	1.5
305	365	0.1

Data for foodstuff Leafy vegs.

Plant Name or Animal Product: Leafy vegs.

Food group: vegetables

Minimum time for storage and processing of foodstuff [Days]: 1

Kg of processed food obtained per kg of raw food: 1.0

Part of each raw food going into each process [%]: 100.0

Food consumption rates of average humans [g/d]

Group	Value
1 year	58
5 years	74
10 years	79
15 years	86

Food consumption rates of special groups [g/d]

Group	Value
Vegetarians	154
Hunters	94
Wild product collectors	94
Fishermen	94

OK Cancel Help

Figura 38: Parâmetros por defeito da região da Europa Central relativamente aos produtos alimentares.

Parameters for Region Central Europe

Feedstuff | Foodstuff | Nuclide Data | Nuclide Plant Data

Region | Animal Product | Plant/Surface | Yield/LAI/Growth Dilution Rate

Animal Product	Animal Atom
Cow's milk	fmil
Sheep milk	fmis
Goat's milk	fmig
Beef (cow)	fbec
Beef (bull)	fbec
Veal	fvea
Pork	fpor
Lamb	flam
Chicken	fchi
Eggs	fegg
(Animal 11)	f...
(Animal 12)	f...

Data for animal product: Cow's milk

Fattening periods of animals [days]: 1600

Inhalation rate of animals [m³/h]: 5.0

Feedstuff for animal products

Grass I	
Hay I	
Feed. water	

Time grid for feeding rates [Julian days]

111					
131					
294					
314					
365					

Feeding rates for animals [kg/day]

Feedstuff	111	131	294	314	365
Grass I	0	70	70	0	0
Hay I	14	0	0	14	14
Feed. water	75	75	75	75	75

OK Cancel Help

Figura 39: Parâmetros por defeito da região da Europa Central relativamente aos produtos alimentares animais.

Parameters for Region Central Europe

Feedstuff | Foodstuff | Nuclide Data | Nuclide Plant Data

Region | Animal Product | **Plant/Surface** | Yield/LAI/Growth Dilution Rate

Plant Name	Plant Atom
Maize bulbs	fmab
Potatoes	fpot
Beet	fbet
Beet leaves	fbel
Wi-barley	fwba
Sp-barley	fsba
Wi-wheat	fwwh
Sp-wheat	fswh
Rye	frye
Oats	foat
Leafy vegs.	fvel
Root vegs.	fver
Fruit vegs.	fvef
Fruits	ffru
Berries	fber
(Plant 21)	f...
(Plant 22)	f...

Data for plant Leafy vegs.

Model

Soil category

Begin growth of plants [Julian days]

Begin of harvest [Julian days]

End of harvest [Julian days]

End of first harvesting period [Julian days]

Weighting factor for first harvesting period

Resuspension transfer factor [kg soil/kg fresh plant]

Soil eating factor [kg soil/kg fresh plant]

Maximum leaf area index

Yield of plants [kg/m²]

Data for surface

Maximum leaf area index

Vegetated surface

Surface Name

- bare soil
- grassland
- agricultural areas
- forest canopy
- water
- urban areas
- lawn

OK Cancel Help

Figura 40: Parâmetros por defeito da região da Europa Central relativamente às plantas e à superfície do solo.