

7. IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS¹

Neste ítem são focalizados inicialmente os rejeitos gerados pelas Unidades de Pó e Pastilhas de UO₂ - i.e, emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos -, agentes efetivos dos danos potenciais ao meio ambiente. Os rejeitos líquidos, sólidos ou pastosos não descartados diretamente no meio ambiente, são tratados a seguir. Para as emissões atmosféricas e os efluentes líquidos, são definidos os caminhos de exposição e as doses efetivas para o grupo crítico do ponto de vista da Norma CNEN 3.01, para condições normais de operação.

No caso dos resíduos, como não há descarte efetivo e sim o seu acondicionamento e estocagem de acordo com as práticas internacionais e a Norma CNEN 6.05, no aguardo da solução integrada de disposição final de resíduos radioativos por essa Comissão (Lei Federal N^o 7.781/89), a única possibilidade de dano ao meio ambiente decorre de eventuais acidentes em processo de análise no âmbito do RFAS - Relatório Final de Análise de Segurança.

Após a identificação dos rejeitos, são apresentadas a identificação e a análise dos impactos ambientais - convencionais e radiológicos - nos meios físico, biótico e antrópico, seguindo-se as exigências da Resolução CONAMA 001/86. São consideradas apenas as condições normais de operação.

Uma visão geral dos rejeitos do empreendimento e dos processos de tratamento e controle é apresentada na Figura 3.26 no Capítulo 3.

Verifica-se que as correntes líquidas intermediárias de processo, contendo urânio e elementos como amônia e flúor, potencialmente perigosos para o meio ambiente, são tratadas para recuperação de urânio e amônia, gerando-se sub-produtos comercializáveis – “fluorita” ou fluoreto de cálcio e cloreto de amônio - após a certificação do seu caráter inativo do ponto de vista radiológico.

A esse respeito, deve-se notar que os fertilizantes fosfatados normalmente vendidos, que incorporam o elemento nitrogênio através de compostos como uréia ou cloreto de amônio, geralmente apresentam teores de urânio na faixa de 100 ppm, dada a presença comum desse radionuclídeo nas rochas ricas em fosfato. No entanto, devido à presença de ²³⁵U em proporções superiores (3,5% a 5%) àquela encontrada na natureza (0,7%), tais sub-produtos só serão manipulados para comercialização e vendidos após inspeção para garantia de conformidade com o nível máximo de atividade radiológica permíssível.

A emissão de gases e material particulado e o descarte de efluentes líquidos radioativos, pode provocar danos ao homem e à biota. Os danos ao ser humano concretizam-se através de exposição externa e interna, conforme apresentado na Figura 7.1 adiante (pg 7.3), que esquematiza as chamadas “vias de exposição” em cada caso.

¹ Este capítulo trata apenas de Cenários Operacionais, que não envolvem acidentes, cuja análise completa encontra-se no capítulo 5 anterior.

A exposição externa ocorre nas seguintes situações:

- imersão em nuvem de descarga, a chamada “pluma” de contaminação atmosférica;
- exposição a solos contendo elementos radioativos;
- recreação e atividades esportivas em corpos aquáticos que receberam radionuclídeos direta (efluentes líquidos) ou indiretamente (deposição seca e úmida de material radioativo lançado na atmosfera);

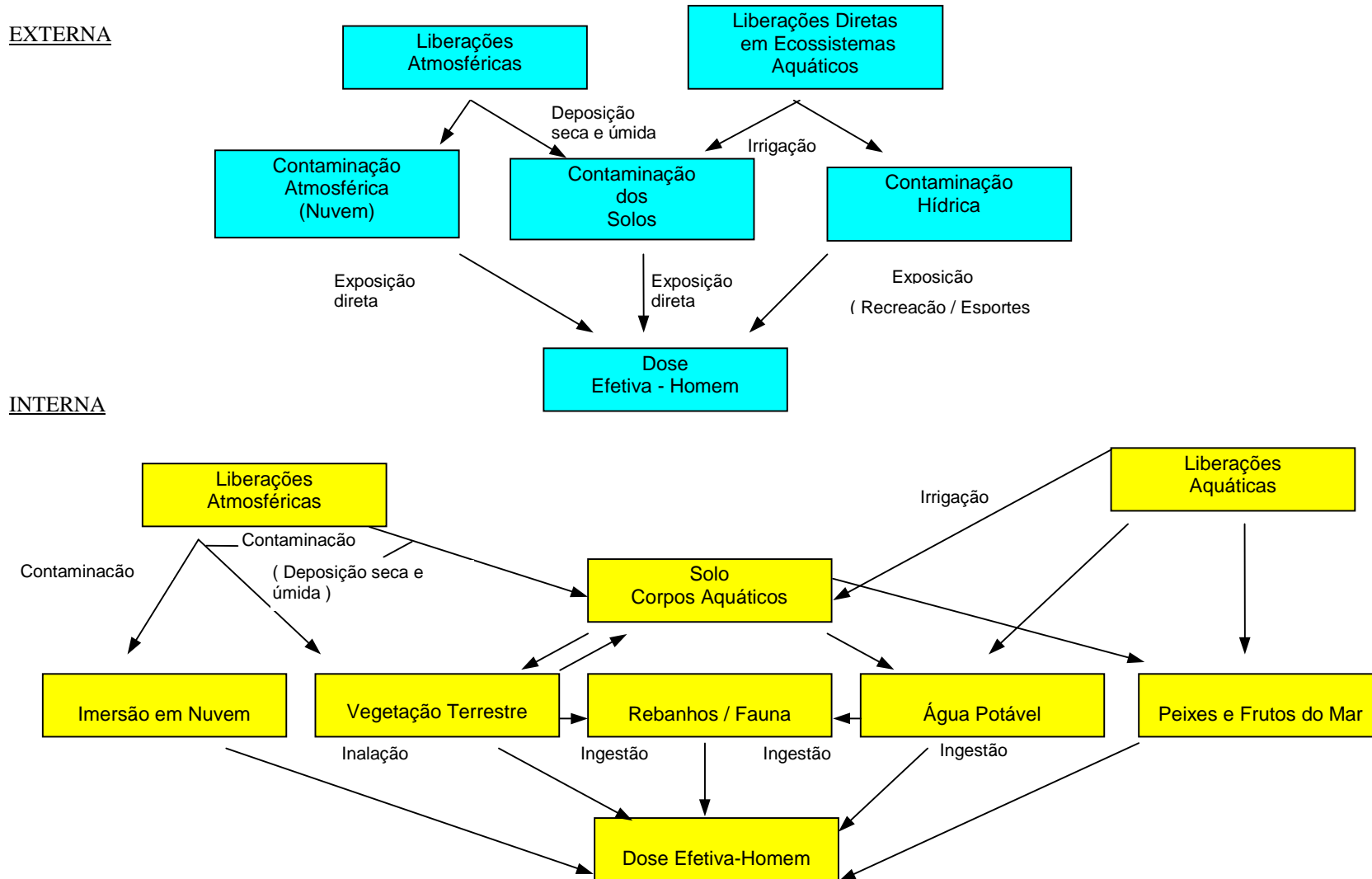
A exposição interna é proveniente de inalação e ingestão:

- inalação dos radionuclídeos presentes em uma nuvem assim como dos oriundos da re-suspensão dos depositados no solo;
- ingestão de plantas, verduras, animais e produtos de origem animal, inclusive de ecossistemas aquáticos como peixes, moluscos, crustáceos, etc., contaminados por radionuclídeos.

Uma importante via de exposição para o homem, através de alimentos, envolve a ingestão pelo gado (ou por outros tipos de animal como carneiros e outros) de elementos radioativos depositados nas áreas de pastagem, resultando na contaminação de leite e carne. Em áreas costeiras onde a alimentação tradicional compreende frutos do mar, a via de exposição por ingestão é semelhante, envolvendo tanto as consequências dos efluentes líquidos lançados diretamente nos corpos aquáticos como a deposição seca e úmida de material radioativo da atmosfera. Em ambos os casos haverá uma concentração dos radionuclídeos nos sedimentos, nas comunidades bentônicas e planctônicas (especialmente em determinados tipos de fitoplâncton móveis) e sequencialmente nos peixes que delas se alimentam, configurando transferências que acabam se refletindo nos alimentos de origem aquática ingeridos pelo homem.

Deve-se notar no entanto, que apesar da ênfase concedida aos aspectos radiológicos no texto deste capítulo, a contaminação por urânio possível a partir das atividades do CIR apresenta maior risco químico de efeitos tóxicos, já que o urânio é um metal pesado de limiar tóxico extremamente baixo – a Resolução CONAMA n^o 20, de 1986, estabelece um teor máximo para água doce das classes 1 e 2 de 0,02 ppm.

Figura 7.1 EXPOSIÇÃO EXTERNA E INTERNA - VIAS DE EXPOSIÇÃO



7.1 EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Cumpra inicialmente esclarecer as bases metodológicas das avaliações a seguir.

O cálculo de doses efetivas, após o exame de várias alternativas, foi feito com o código CAP88-PC, distribuído pelo DOE - Department of Energy e pela EPA – Environmental Protection Agency dos EUA. Trata-se de instrumento de uso obrigatório para o licenciamento ambiental de atividades nucleares nos EUA, por exigência da EPA

Como o pacote é fechado para manipulações de variáveis e parâmetros básicos, de modo a servir como instrumento padrão de avaliação¹, buscou-se avaliar o seu desempenho em relação ao modelo de dispersão gaussiano, DISPERSE, desenvolvido por Domingos Nicolli com base nas orientações e normas da CNEN e da IAEA (Agência Internacional de Energia Atômica), que se utiliza de classes de estabilidade adotadas na Alemanha, e que foi utilizado especificamente para o estudo da dispersão atmosférica de radionuclídeos e para seu transporte e deposição no presente trabalho.

Assim sendo, foram realizadas várias comparações entre o desempenho dos dois modelos no que se refere à simulação das concentrações médias ao nível do solo e para a deposição seca e úmida, de modo a verificar a sua compatibilidade e assim robustecer os resultados deste EIA.

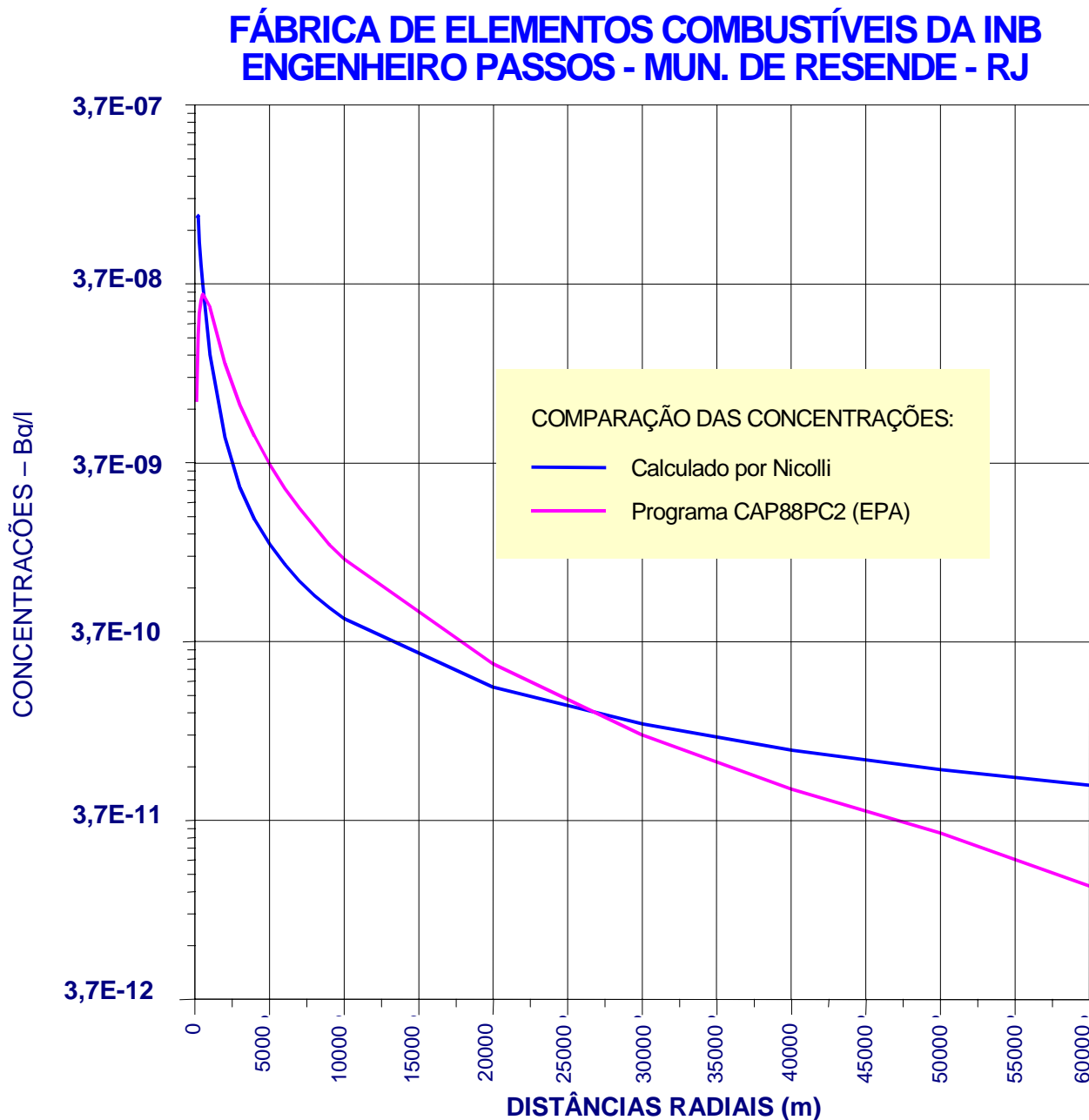
As Figuras 7.2 a 7.4 adiante resumem a comparação do desempenho dos dois modelos nas condições meteorológicas típicas da região, para um cenário de operação considerado normal (emissão atmosférica de 0,05 Bq/m³).

Verifica-se que os resultados são muito próximos, com diferenças irrelevantes do ponto de vista de simulações do gênero, o que aumenta a confiabilidade do CAP88-PC para utilização no contexto nacional como modelo de dispersão/transporte/deposição e, conseqüentemente, de cálculo de doses. Note-se que a dispersão atmosférica no CAP88-PC também utiliza uma pluma com distribuição gaussiana das concentrações.

Quanto à utilização do CAP88-PC para o cálculo de doses efetivas propriamente ditas, não bastasse a sua obrigatoriedade em estudos de impacto ambiental nos EUA, alinham-se argumentos adicionais a favor do seu uso, notadamente pela geração de doses efetivas conservadoras, tanto ao permitir a consideração de uma ingestão de alimentos até 100% produzidos na área irradiada como pela fixação mandatória de um homem de referência norte-americano, ou seja, que possui hábitos alimentares e condições físicas que implicam a ingestão de maiores quantidades de alimentos em relação à média brasileira, particularmente em relação ao indivíduo crítico deste estudo, identificado como pessoa de baixa renda, que passa a maior parte do seu tempo pescando na Represa do Funil, em um ponto a cerca de 500m SW da chaminé da FEC-II e se alimenta de leite, carne e verduras localmente produzidas.

¹ O CAP88- PC também não permite a elaboração de gráficos específicos para ilustração dos processos de transporte e deposição.

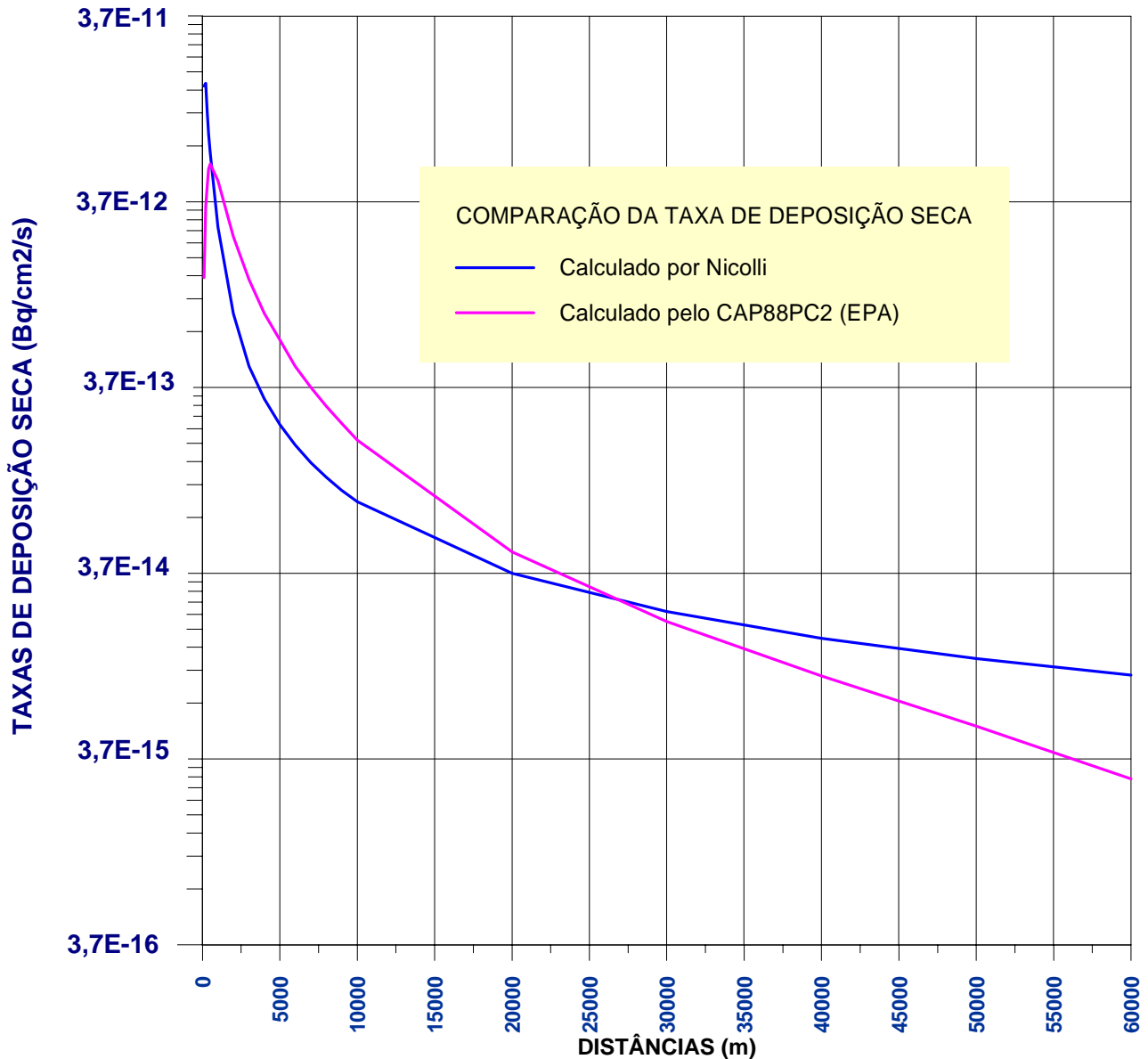
Figura 7.2 COMPARAÇÃO ENTRE O CAP88-PC E O MODELO DE DOMINGOS NICOLLI - CONCENTRAÇÕES AO NÍVEL DO SOLO



Concentrações no setor W devidas à liberação de 4,1 E08 Bq/a de urânio durante um ano de operação normal.

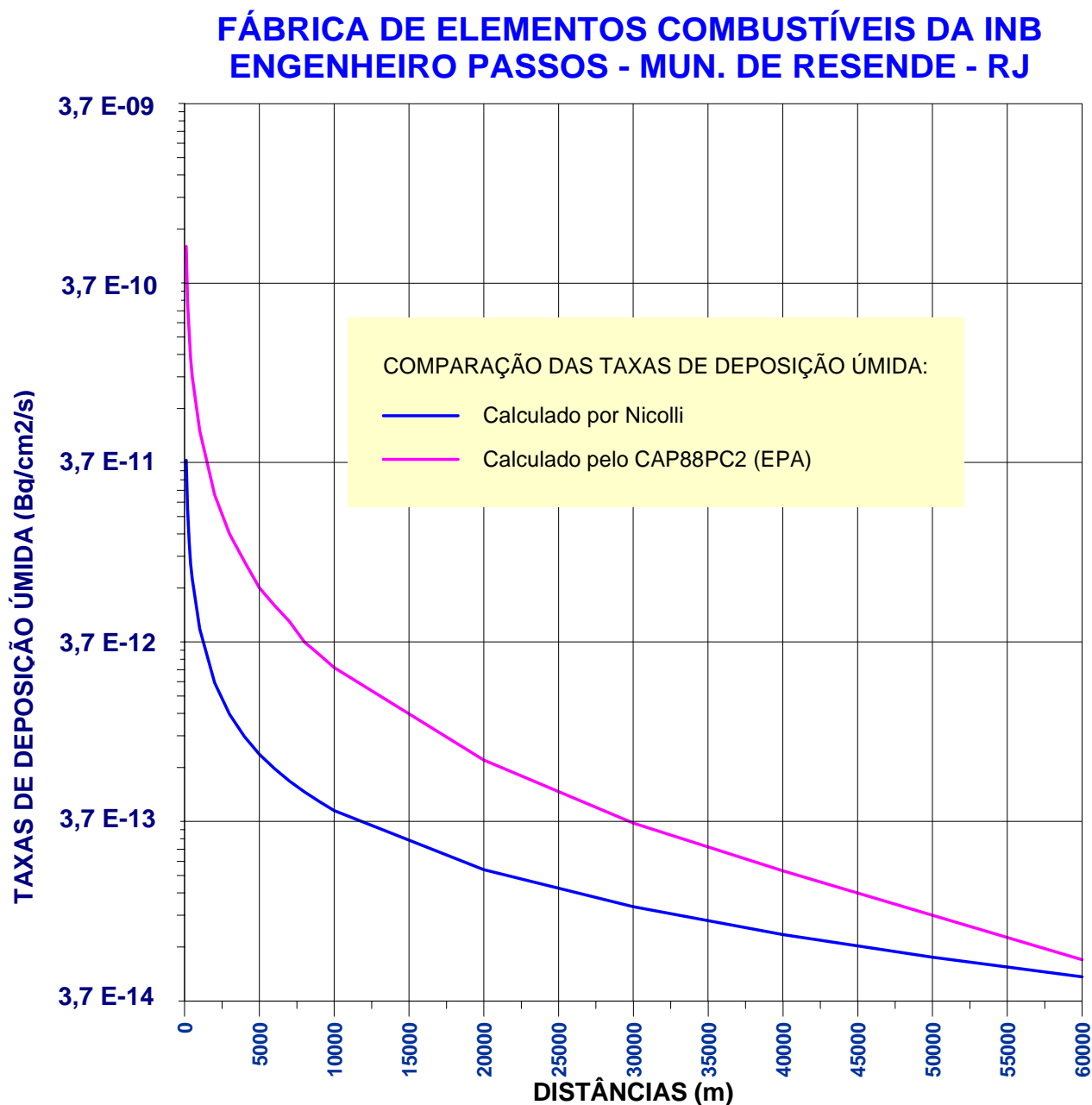
Figura 7.3 COMPARAÇÃO ENTRE O CAP88-PC E O MODELO DE DOMINGOS NICOLLI - DEPOSIÇÃO SECA

FÁBRICA DE ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS DA INB ENGENHEIRO PASSOS - MUN. DE RESENDE - RJ



Taxas de deposição seca na direção W devidas à liberação de 4,1 E08 Bq/a de urânio durante um ano de operação normal.

Figura 7.4 COMPARAÇÃO ENTRE O CAP88-PC E O MODELO DE DOMINGOS NICOLLI - DEPOSIÇÃO ÚMIDA



Taxas de deposição úmida no setor W devidas à liberação de 4,1 E08 Bq/a de urânio durante um ano de operação

7.1.1 Termo-Fonte

O termo-fonte de radiação neste caso se origina numa chaminé industrial da FEC-II com 35 metros de altura. Os cenários de simulação em operação normal ou atípica consideram que a fábrica instalada em um prédio totalmente fechado, funcionando com pressão sempre inferior à pressão atmosférica, contando ainda com diferenciais internos que garantem pressões ainda menores nas áreas restritas e controladas, ou seja, nas áreas de processo onde podem ocorrer liberações para o ar ambiente de material radioativo.

Um sistema exaustor força todo o ar a ser expelido - oriundo do enclausuramento de equipamentos de processo e ar ambiente - através de sistemas de filtros e lavadores de gases, conforme descrito no capítulo 3 (Caracterização Técnica do Empreendimento) deste relatório.

Foram simulados três cenários de operação: um considerado cenário operacional normal, que corresponde a atividade limite para acionamento do alarme em nível de alerta ($< 0,05 \text{ Bq/m}^3$); um cenário de alerta que corresponde a atividade limite que causa o alarme para controle manual do sistema ou até parada em $\frac{1}{2}$ hora no caso de não se conseguir reduzir este valor ($< 0,14 \text{ Bq/m}^3$) - este valor é também considerado o limite para eliminação de efluentes gasosos, de acordo com a Norma CNEN 6.05 - e um "pior cenário", que considera a atividade limite que aciona o alarme e interrompe automática e instantaneamente a saída geral de gases pela chaminé ($1,0 \text{ Bq/m}^3$), conforme as bases do projeto e de acordo, segundo a INB, com orientação da CNEN. Para efeito de cálculo, as atividades limites são utilizadas, de acordo com a Tabela 7.1 abaixo.

Tabela 7.1 CENÁRIOS DE AVALIAÇÃO

Cenário de Avaliação	Atividade Considerada para o Cálculo de Dose
Cenário Operacional Normal	$0,05 \text{ Bq/m}^3$
Cenário de Alerta	$0,14 \text{ Bq/m}^3$
Pior Cenário	$1,0 \text{ Bq/m}^3$

Considerando-se a experiência acumulada pela Consultora em indústrias que manuseiam material em pó de baixa granulometria, como é o caso do UO_2 , e o balanço geral de massa disponível para as Unidades em tela, o material particulado que atingirá efetivamente os sistemas de exaustão atinge um valor médio da ordem de 0,8% do urânio processado.

Assim sendo, esta chaminé no cenário operacional provável, que corresponde a uma atividade dos gases de saída de $0,05 \text{ Bq/m}^3$, emitirá os elementos e atividades apresentados na Tabela 7.2.

Tabela 7.2 TERMO-FONTE CIR - Cenário Operacional Normal (*)

Elemento	Atividade (Ci/a)	Atividade (Bq/a)
U 234	$9,0 \text{ E-}04$	$3,33 \text{ E+}07$
U 235	$4,1 \text{ E-}05$	$1,52 \text{ E+}06$
U 238	$1,2 \text{ E-}04$	$4,44 \text{ E+}06$

(*) $118.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ durante 6.000 horas/ano.

A quantidade total de urânio nas emissões atmosféricas anuais previstas no cenário operacional normal é portanto¹:

$$118.000 \text{ Nm}^3/\text{h} \times 6.000 \text{ h/ano} \times 5,45 \text{ E-}07 \text{ g/Nm}^3 = 385,5 \text{ g/ano}$$

O cenário de alerta, que considera o limite para eliminação de efluentes gasosos de 0,14 Bq/m³, implica no lançamento anual de 1,08 kg de urânio na atmosfera, com atividade total da ordem de 0,003 Ci/ano (1,11 E+08 Bq/ano). A Tabela 7.3 apresenta as atividades correspondentes a cada radionuclídeo.

$$118.000 \text{ Nm}^3/\text{h} \times 6.000 \text{ h/ano} \times 1,523 \text{ E-}06 \text{ g/Nm}^3 = 1.077 \text{ g/ano}$$

Tabela 7.3 TERMO-FONTE CIR - Cenário de Alerta (*)

Elemento	Atividade (Ci/a)	Atividade (Bq/a)
U 234	2,52 E-03	9,32 E+07
U 235	1,14 E-04	4,22 E+06
U 238	3,32 E-04	1,23 E+07

(*) 118.000 Nm³/h durante 6.000 horas/ano

O pior cenário considera uma atividade de 1,0 Bq/Nm³ nas emissões atmosféricas das Unidades em tela, o que implicaria o lançamento anual de cerca de 7,7 kg de urânio na atmosfera com atividade total da ordem de 7,4 E+08 Bq/ano, conforme a Tabela 7.4 abaixo.

$$118.000 \text{ Nm}^3/\text{h} \times 6.000 \text{ h/ano} \times 1,088 \text{ E-}05 \text{ g/Nm}^3 = 7.698 \text{ g/ano}$$

Tabela 7.4 TERMO-FONTE CIR - Pior Cenário (*)

Elemento	Atividade (Ci/a)	Atividade (Bq/a)
U 234	1,80 E-02	6,66 E+08
U 235	8,11 E-04	3,00 E+07
U 238	2,37 E-03	8,77 E+07

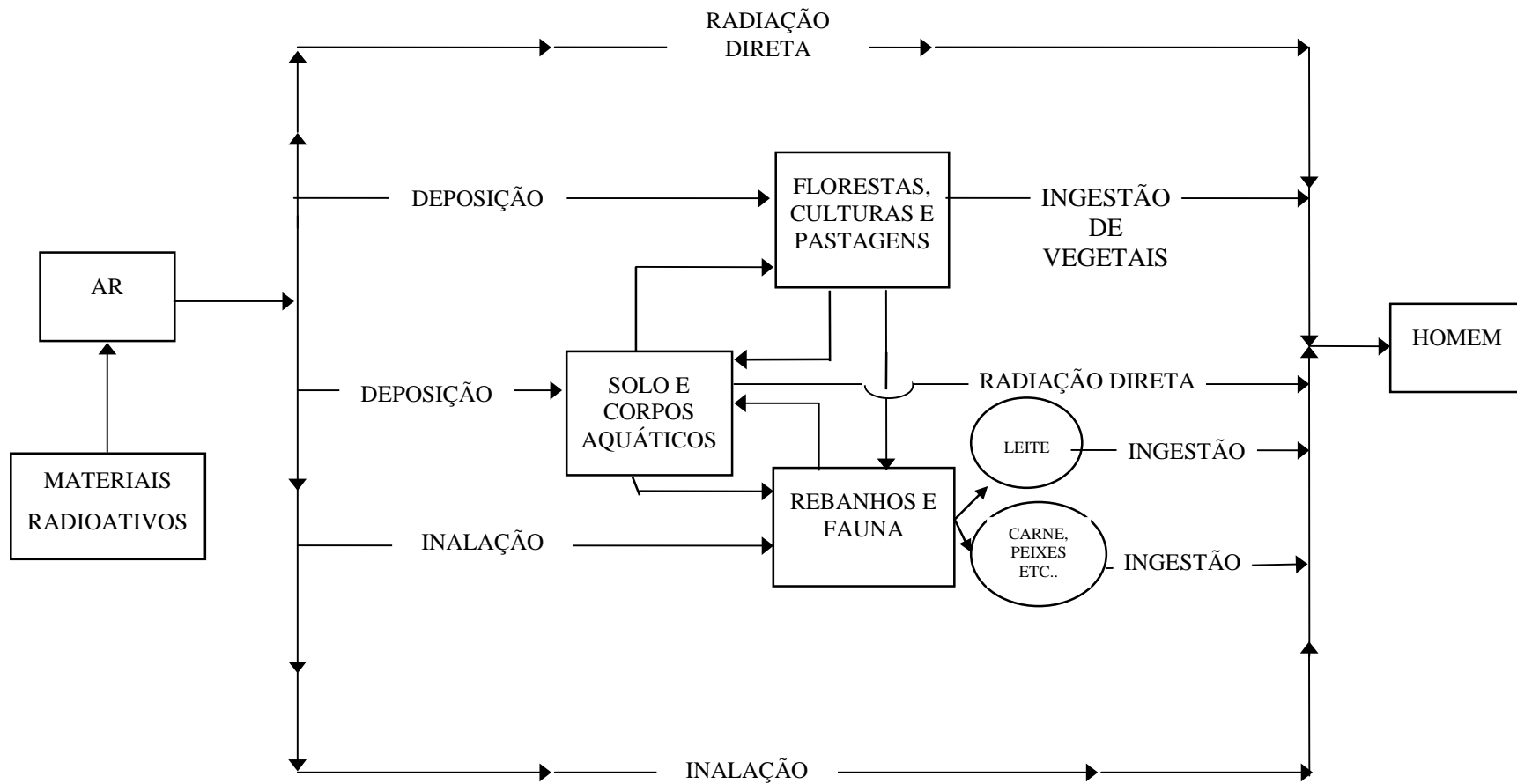
(*) 118.000 Nm³/h durante 6.000 horas/ano

Ainda quanto às emissões atmosféricas, não foi considerada a contribuição da FEC-I pela quantidade de 4,6 gU/ano quando comparada aos três cenários considerados (385,5 g, 1,08 kg e 7,7 kgU/ano) da FEC-II, conforme apresentado no item 4.4.6 (Avaliação Preliminar dos Efeitos Ambientais da FEC-I).

A Figura 7.5 adiante ilustra o conceito das “vias de exposição” no caso das emissões atmosféricas.

¹ Os valores de densidade específica (g/Nm³) para cada cenário foram obtidos através da multiplicação da atividade (em Bq/Nm³) limite de cada cenário por 1,02 E05 g/Bq (atividade específica do urânio enriquecido a 5%, situação mais conservadora do que a média de enriquecimento que será de 3,5%)

Figura 7.5 VIAS DE EXPOSIÇÃO PARA O HOMEM DEVIDO A MATERIAIS RADIOATIVOS LIBERADOS NA ATMOSFERA



7.1.2 Estudo de Dispersão, Transporte e Deposição

Este item fornece a base técnica para a avaliação dos impactos produzidos pelas emissões a várias distâncias da fonte durante um ano de operação. Estes impactos serão avaliados basicamente através do cálculo das doses efetivas de radiação, a partir da simulação gaussiana da dispersão atmosférica, da deposição do material radioativo e da determinação dos caminhos de dose pertinentes ao grupo crítico - grupo ou indivíduo maximamente exposto em área fora do controle do sistema de proteção radiológica do empreendimento - e a um indivíduo representativo do público exposto em geral.

As avaliações têm por base 2 anos de dados horários coletados no local do empreendimento, assim como dados das Normais Climatológicas da Estação Meteorológica da cidade de Resende e outros dados e estudos publicados, listados na bibliografia.

7.1.2.1 Cenários para a Avaliação

a) Pior Cenário - Termo-Fonte definido pela atividade limite que aciona o alarme e interrompe automática e instantaneamente a saída geral de gases pela chaminé (1 Bq/Nm³)

Altura H da chaminé: 35 m;

Taxas Q_i de emissão: U-234: 2,11 E+01 Bq/s (1,80 E-02 Ci/ano)

U-235: 9,52 E-01 Bq/s (8,11E-04 Ci/ano)

U-238: 2,78 E+00 Bq/s (2,37 E-03 Ci/ano)

Tempo (T) de operação usado na integração dos impactos: 3,1536E+07 s (um ano)

b) Cenário de Alerta - Termo-Fonte definido pela atividade limite que causa o alarme para controle manual do sistema ou até parada em ½ hora no caso de não se conseguir reduzir este valor (0,14 Bq/Nm³)

Altura H da chaminé: 35 m;

Taxas Q_i de emissão: U-234: 2,95 E+00 Bq/s (2,52 E-03 Ci/ano)

U-235: 1,33 E-01 Bq/s (1,135 E-04 Ci/ano)

U-238: 3,89 E-01 Bq/s (3,32 E-04 Ci/ano)

Tempo (T) de operação usado na integração dos impactos: 3,1536E+07 s (um ano)

c) Cenário Operacional Normal - Termo-Fonte definido pela atividade limite que aciona o alarme em nível de alerta (0,05 Bq/Nm³)

Altura H da chaminé: 35 m;

Taxas Q_i de emissão: U-234: 1,06 E+00 Bq/s (9,00 E-04 Ci/ano)

U-235: 4,76 E-02 Bq/s (4,06 E-05 Ci/ano)

U-238: 1,40 E-01 Bq/s (1,19 E-04 Ci/ano)

Tempo (T) de operação usado na integração dos impactos: 3,1536E+07 s (um ano)

Condições Meteorológicas

a) Fontes de Dados Meteorológicos e Climatológicos

A Empresa NUCLEBRAS operou uma estação de monitoramento meteorológico no sítio da Fábrica durante os anos de 1986 e 1987, com a qual colheu dados horários de vento e de outros parâmetros meteorológicos. Estes dados de vento são apresentados na Tabela 7.5. Uma outra fonte de dados usados são as Normais Climatológicas do Departamento Nacional de Meteorologia do Ministério da Agricultura.

b) Tratamento dos Dados para o Modelo de Cálculo

No Relatório da NUCLEBRAS (1990), os dados foram tratados estatisticamente e apresentados em 4 tabelas; duas delas mostram os dados diurnos e as outras duas os dados noturnos. A rosa dos ventos foi dividida em 16 setores e as classes de velocidade em número de nove. O percentual de calmarias foi igualmente indicado.

Neste estudo havia interesse em somar todas as 4 tabelas e transformá-las em uma única tabela de dados, sem distinção de períodos noturnos e diurnos, visto que o objetivo neste trabalho é avaliar o impacto causado por um ano de funcionamento e de emissões. Está-se preocupado com os impactos integrados. Não há nas tabelas neste relatório uma indicação da quantidade de dados obtidos para elaboração de cada uma das 4 tabelas independentes, desse modo, ao somar as 4 tabelas não foi possível atribuir peso específico a cada um dos valores de vento por direção e classe de velocidade. Diante dessa deficiência, optou-se por atribuir peso igual 1 (um) a todos os valores que entraram na soma. Assim resultou a Tabela 7.5 deste relatório. As Figuras 7.6, 7.7 e 7.8 mostram o desenho da rosa dos ventos, que ilustra os dados da Tabela 7.5, com os horários diurnos e noturnos separados (Figuras 7.6 e 7.7) e juntos na Figura 7.8.

c) Determinação da Distribuição das Classes de Estabilidade Atmosférica

No cálculo realista da dispersão no ar, é de fundamental importância o conhecimento da distribuição das frequências das ocorrências das 6 categorias de estabilidade atmosférica segundo o modelo classificatório de Pasquill (IAEA, 1980; PASQUILL, 1974; TURNER, 1974). Até o momento não há dados meteorológicos disponíveis que permitam uma análise estatística dessas condições de estabilidade, nem no local da Fábrica, nem mesmo na região.

Com base em conhecimentos climatológicos da região, em dados das normais climatológicas e com base em princípios de física atmosférica, foi feita uma distribuição percentual arbitrária das 6 categorias de estabilidade de Pasquill para a região de Resende. Diz-se arbitrária porque não tem respaldo em dados específicos, entretanto, foram considerados o número de dias chuvosos, a intensidade das chuvas, o número de horas de insolação e a posição latitudinal da região. Com essas informações, seguindo os métodos de Pasquill (PASQUILL, 1974), um experiente meteorologista pode arbitrar com razoável realismo a distribuição das frequências das 6 classes de estabilidade atmosférica de Pasquill para um local. A Tabela 7.6 apresenta a distribuição de frequência das classes de estabilidade de Pasquill para a FEC. Nos extremos mais instável — A, B — e mais estável — E, F — , não foi possível estabelecer um arbítrio

fundamentado na física e na climatologia para distinguir essas classes entre si, por isso, foram atribuídas frequências iguais às duas classes extremas.

Tabela 7.5 SOMA DOS 4 PERÍODOS DE DADOS PUBLICADOS NO RELATÓRIO DA NUCLEBRÁS - 1990

Dir.	0.6-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-3.0	3.0-4.5	4.5-6.0	6.0-8.0	8.0-10	>10.0	Soma
N	0.05	0.20	0.11	0.12	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.52
NNE	0.13	0.48	0.34	0.41	0.24	0.02	0.05	0.00	0.00	1.67
NE	0.14	0.75	0.53	0.69	0.66	0.26	0.27	0.10	0.04	3.44
ENE	0.29	1.47	1.49	2.83	4.82	2.73	2.70	1.13	0.31	17.76
E	0.21	1.33	1.40	3.46	5.10	3.29	2.03	0.46	0.16	17.45
ESE	0.11	1.15	1.26	3.34	4.09	1.15	0.29	0.11	0.00	11.51
SE	0.12	0.49	0.63	1.32	0.73	0.06	0.04	0.00	0.00	3.39
SSE	0.01	0.13	0.16	0.72	0.43	0.01	0.01	0.00	0.00	1.48
S	0.05	0.13	0.10	0.10	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	0.48
SSW	0.04	0.04	0.04	0.10	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.33
SW	0.05	0.22	0.09	0.24	0.24	0.07	0.01	0.00	0.00	0.91
WSW	0.13	0.95	0.63	0.87	1.12	0.47	0.18	0.07	0.01	4.43
W	0.30	1.66	1.39	2.29	2.01	0.82	0.40	0.19	0.03	9.10
WNW	0.62	3.18	2.25	2.45	1.22	0.23	0.15	0.04	0.03	10.18
NW	0.23	1.61	0.86	0.52	0.21	0.03	0.03	0.00	0.00	3.49
NNW	0.09	0.64	0.26	0.21	0.09	0.00	0.00	0.01	0.00	1.31
Calmos:	12,13%					Total dos ventos				87,46%

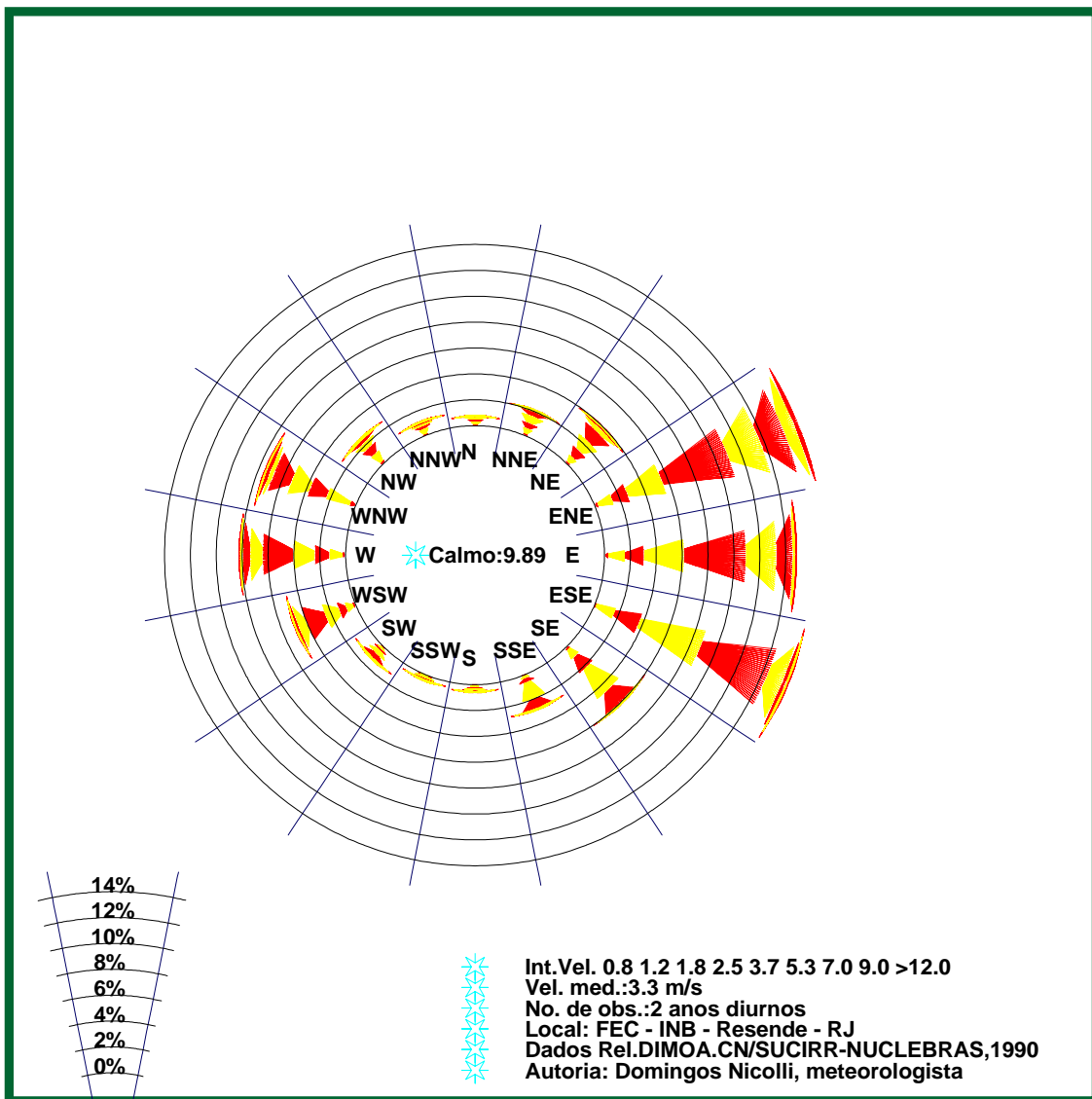
Tabela 7.6 DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE ESTABILIDADE DE PASQUILL EM RESENDE

Classes de Estabilidade de Pasquill	Frequências
A	4,17%
B	4,17%
C	13,10%
D	42,20%
E	18,18%
F	18,18%

Os dados da Tabela 7.6 não foram utilizados diretamente no modelo de dispersão, entretanto, foi feita uma redistribuição das frequências de vento da Tabela 7.5 por classe de estabilidade de Pasquill, em conformidade com a distribuição apresentada nessa Tabela 7.6. A Tabela 7.7 apresenta a distribuição de frequência dos ventos por categoria de estabilidade de Pasquill.

Figura 7.6 ROSA DOS VENTOS NO SÍTIO DA FÁBRICA DE ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS DA INB em Eng. Passos, Resende, RJ. Foram usados os dados horários dos anos de 1986 e 1987. Este gráfico ilustra os dados do período **diurno**.

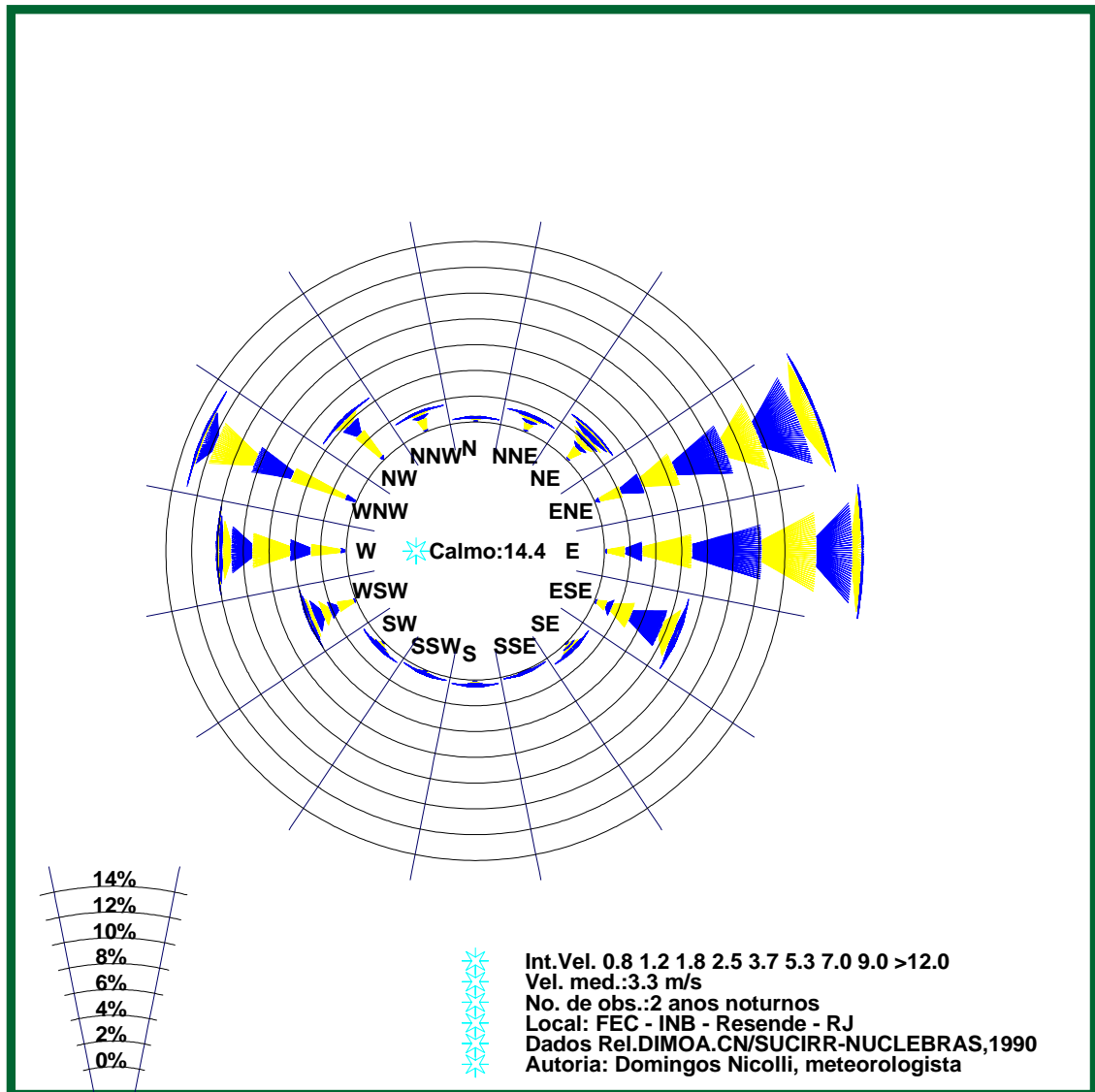
FÁBRICA DE ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS DA INB ENG. PASSOS - MUNC. DE RESENDE, RJ



ROSA DOS VENTOS DIURNOS NA FEC-INB. 2 ANOS DE DADOS HORÁRIOS. Rio de Janeiro, dez/96.

Figura 7.7 ROSA DOS VENTOS NO SÍTIO DA FÁBRICA DE ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS DA INB em Eng. Passos, Resende, RJ. Foram usados os dados horários dos anos de 1986 e 1987. Este gráfico ilustra os dados do período **noturno**.

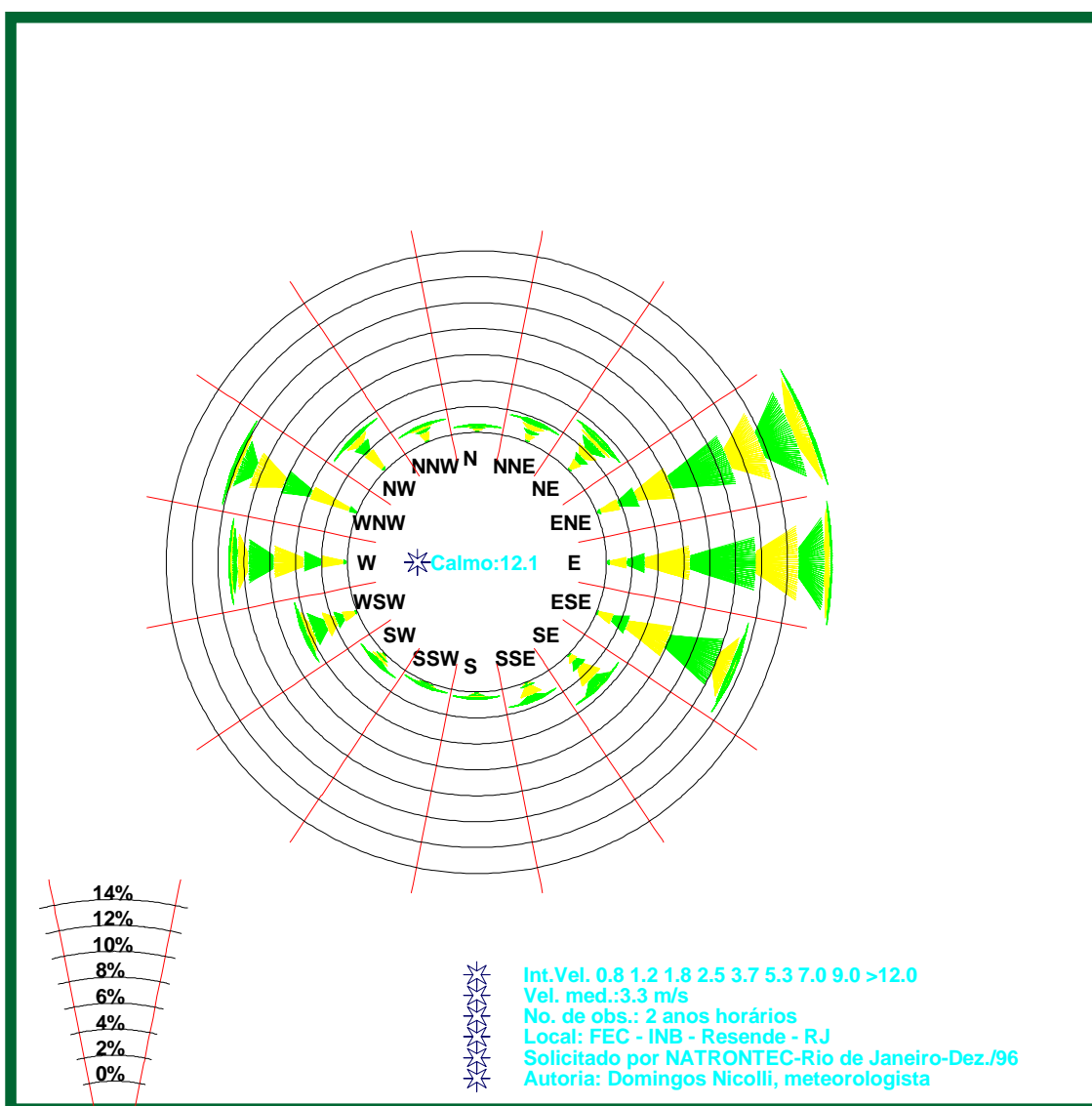
FÁBRICA DE ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS DA INB ENG. PASSOS - MUNC. DE RESENDE, RJ



ROSA DOS VENTOS NOTURNOS NA FEC-INB. 2 ANOS DE DADOS HORÁRIOS. Rio de Janeiro, dez/96..

Figura 7.8 ROSA DOS VENTOS NO SÍTIO DA FÁBRICA DE ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS DA INB em Eng. Passos, Resende, RJ. Foram usados os dados horários dos anos de 1986 e 1987. Este gráfico ilustra os dados da Tabela 7.3. A série de dados de 2 anos não produz uma distribuição estatística das freqüências de velocidades por classe de forma homogênea. Por isso as setas dos ventos podem parecer confusas, especialmente quando um intervalo de velocidade apresenta freqüência próximo de zero. As freqüências muito baixas não aparecem claramente no desenho.

FÁBRICA DE ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS DA INB ENG. PASSOS - RESENDE, RJ



ROSA DOS VENTOS DA ESTAÇÃO DA FEC-INB EM RESENDE. DADOS HORÁRIOS DOS ANOS 1986 E 1987. HORÁRIOS NOTURNOS E DIURNOS.. A VELOCIDADE MÉDIA FOI DE 3,3 m/s A FREQUÊNCIA DE CALMOS FOI DE 12,1%. AS SETAS DOS VENTOS EM CORES TENTAM REPRODUZIR A FREQUÊNCIA DOS VENTOS EM CADA CLASSE DE VELOCIDADE.

Tabela 7.7 DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DOS VENTOS POR CATEGORIA DE ESTABILIDADE DE PASQUILL NO SÍTIO DA FEC

Dir.	Veloc.	A	B	C	D	E	F
N	1,88	0,0003	0,0003	0,0008	0,0025	0,0011	0,0011
NNE	2,18	0,0008	0,0008	0,0025	0,0080	0,0034	0,0034
NE	3,14	0,0016	0,0016	0,0051	0,0165	0,0071	0,0071
ENE	4,32	0,0084	0,0084	0,0265	0,0854	0,0368	0,0368
E	3,99	0,0083	0,0083	0,0260	0,0839	0,0361	0,0361
ESE	3,16	0,0055	0,0055	0,0172	0,0553	0,0238	0,0238
SE	2,48	0,0016	0,0016	0,0050	0,0163	0,0070	0,0070
SSE	2,70	0,0007	0,0007	0,0022	0,0071	0,0031	0,0031
S	2,22	0,0002	0,0002	0,0007	0,0023	0,0010	0,0010
SSW	2,62	0,0002	0,0002	0,0005	0,0016	0,0007	0,0007
SW	2,65	0,0004	0,0004	0,0014	0,0044	0,0019	0,0019
WSW	2,97	0,0021	0,0021	0,0066	0,0213	0,0092	0,0092
W	2,99	0,0043	0,0043	0,0136	0,0437	0,0188	0,0188
WNW	2,17	0,0048	0,0048	0,0152	0,0489	0,0211	0,0211
NW	1,77	0,0017	0,0017	0,0052	0,0168	0,0072	0,0072
NNW	1,73	0,0006	0,0006	0,0019	0,0063	0,0027	0,0027

d) Determinação das Velocidades Médias por Direção e por Classe de Estabilidade

Na Tabela 7.7 existem 6 classes de estabilidade e apenas uma coluna de valores de velocidade de vento por direção, enquanto o correto seria haver para cada classe de estabilidade uma distribuição de velocidades por direção. Sabe-se que para cada classe de estabilidade existem velocidades características do vento. Assim tem-se que, para ventos de velocidades superiores a 4 m/s, a categoria de estabilidade geralmente é da classe D. Durante o dia, quando a insolação horária varia de média a elevada e a velocidade dos ventos é inferior a 2 m/s, as classes de estabilidade tendem a ser A ou B. Inclusive à noite, sob ventos acima de 3 m/s, a mistura mecânica do ar impede as estratificações das camadas e o estabelecimento das estabilidades E e F.

Na falta de um critério para atribuir diferentes velocidades para cada classe de estabilidade, optou-se pela hipótese de que, não sendo as velocidades dos ventos elevadas, não haveria grandes diferenças nas velocidades médias de cada categoria de estabilidade. O efeito desta hipótese não afetará os cálculos das concentrações e deposições de modo apreciável. Então, foi obtida uma distribuição de velocidades única para todas as classes de estabilidade, calculadas pela fórmula seguinte:

$$V_j = \frac{\sum_{i,j}^{9,16} v_i f_{i,j}}{\sum_{j,j}^{9,16} f_{i,j}}$$

Equação 7.1 Fórmula para cálculo da velocidade média ponderada para cada setor a partir das distribuições de freqüências por intervalo de classe de velocidade dadas na Tabela 7.5.

A velocidade média para cada setor é uma média ponderada em que v_i representa os intervalos de velocidades da distribuição de velocidades feita na Tabela 7.5 e f as freqüências por classe de velocidade e por setor. O termo no denominador é a soma de todas as ocorrências de vento na direção j .

Redistribuição da freqüência de calmaria

A Tabela 7.5 mostra a freqüência de calmaria e a freqüência total dos ventos. Foram encontrados 12,13 % de ventos calmos, isto é, com velocidade geralmente inferior a 0,7 m/s. Vento calmo não significa ausência de ventilação no meio ambiente. Apenas tem-se força muito pequena para fazer o anemômetro girar; com baixas velocidades a determinação da direção é incerta. Por isso é prática comum redistribuir a freqüência de calmaria entre todas as direções da rosa dos ventos, tendo, porém, o cuidado de fazer uma redistribuição proporcional à freqüência de vento do intervalo de classe mais baixa de cada direção. Os dados da Tabela 7.7 já incorporam todos os ventos e as calmarias. Se for notado na Tabela 7.5, verifica-se que a soma das calmarias com os ventos não resultam em 100%, há um erro de -0,41%. Isto é um erro de arredondamento que já existia nos dados do Relatório da NUCLEBRÁS.

e) Freqüências de vento a serem usadas no modelo de cálculo

Freqüências de vento apresentadas da Tabela 7.7.
Setores: 16, conforme indicado nas Tabelas 7.5 e 7.7.

f) Chuvas

Para calcular o lavamento das nuvens de partículas e a deposição no solo de material arrastado pelas precipitações, é necessário conhecer o regime pluviométrico. As Normais Climatológicas (Departamento Nacional de Meteorologia, 1992) publicam a média das chuvas mensais e o total anual para Resende, assim como o número de dias chuvosos. Uma análise rigorosa da deposição úmida, devida às precipitações, exigiria uma estatística das taxas horárias de distribuição das chuvas. Em Resende, há, em média, 150 dias chuvosos no ano.

Isto não significa que nesses dias acontecem chuvas durante 24 horas. As chuvas são mais freqüentes e intensas nos meses mais quentes de verão. Isto não implica em haver mais tempo chuvoso no verão do que no inverno. É preciso uma análise de intensidade e duração para obter-se uma resposta a esta questão de importância crucial ao estudo da deposição úmida. O total anual das chuvas em Resende é de 1.592,5 mm por ano, segundo dados das Normais. Baseado nesses dados das Normais e em estudos realizados (MEIS, 1982), deduziu-se que a uma taxa média de precipitação horária de 2 mm/h, haveria 6,9755E+06 segundos de chuva por ano sobre a área da FEC. Este número foi aplicado no modelo para integração da taxa de deposição úmida no solo durante o período de um ano.

g) Coeficiente de lavamento pela chuva

O descarregamento ou lavamento de uma nuvem de partículas pela chuva é um processo bastante complexo e depende de muitas variáveis difíceis de serem quantificadas. Mas depende sobretudo da distribuição de tamanho das gotículas de água da chuva. Chuvas pesadas, geralmente apresentam uma distribuição de tamanho de gotas maiores, entretanto, isto não serve como regra, porque o tamanho das gotas dependem da turbulência atmosférica, da velocidade dos ventos e da altura da nuvem. Por outro lado, a distribuição de tamanho e as propriedades higroscópicas das partículas de material suspenso no ar também exercem uma influência difícil para ser ponderada na avaliação da eficiência da chuva para descarregar uma nuvem de partículas.

CHAMBERLAIN (1959, 1966 e 1967) estudou esta questão e calculou o coeficiente Λ (lambda) de lavamento pelas chuvas, para diferentes taxas de precipitação, usado na Equação 7.2, que é empregada no modelo de cálculo da deposição úmida recomendado pela IAEA (1980).

$$Q(x_1) = Q(0) \text{Exp}\left(-\frac{\Lambda}{U} x_1\right)$$

Equação 7.2 Fórmula para cálculo da fonte reduzida pelo lavamento da nuvem de partículas pelas chuvas.

onde U é a velocidade média do vento, x_1 a distância da nuvem à fonte emissora, $Q(0)$ é a intensidade da fonte na boca da chaminé, e Λ o coeficiente de lavamento pela chuva.

h) Coeficiente de lavamento aplicado no modelo e taxa de deposição úmida

CHAMBERLAIN calculou com dados experimentais que para partículas de velocidade de queda no ar entre 0,05 cm/s e 5 cm/s, os valores para Λ variam de 1,00E-03 (1/s) a 1,00E-04 (1/s), com taxas de chuva de um a cinco mm/h. A unidade de lambda é 1/s. Os dados experimentais indicam valores que variam de 1,0E-02 a 1,0E-05 (1/s). Nestes cálculos será usado o valor padronizado no CAP88-PC e aceito pela Agência de Proteção Ambiental (EPA) dos EUA, para partículas de urânio de tamanho médio de um micron. O valor de Λ aplicado no modelo é de 1,593E-05 (1/s).

$$D_u = \Lambda h X_c$$

Equação 7.3 Fórmula para cálculo da deposição úmida no modelo.

Onde h é a altura da nuvem de partículas a uma dada distância x ; X_c é a concentração ao longo do eixo da nuvem.

i) Deposição Seca

A deposição seca ocorre por mecanismos complexos. A deposição seca ocorre na ausência de chuvas, sua taxa é proporcional à concentração do ar próximo à superfície e à velocidade de deposição. A velocidade de deposição é dependente do tipo de material; para particulados sua magnitude é função do tamanho da partícula, sendo que partículas maiores sofrem a

deposição gravitacional, ao passo que as menores dependem de seu contato com a superfície terrestre, resultando numa deposição de menor eficiência. Se o material radioativo é um gás, a deposição seca depende de interações físico-químicas com a superfície; as florestas por exemplo, favorecem uma maior deposição seca por apresentarem uma maior superfície de contato por unidade de área em planta, que a superfície lisa de um lago.

Quanto mais turbulenta a atmosfera mais impactação ocorre e mais deposição de material. Sobre terreno irregular coberto de vegetação gramada, a deposição é mais rápida que sobre terreno nu. Todavia, sobre uma floresta, a área de impactação das partículas é muito maior, e teoricamente as árvores funcionariam como filtros, provocando um rápido descarregamento da nuvem de partículas, não considerando o fenômeno da ressuspensão. Geralmente são recomendadas velocidades de deposição seca V_d entre 0,1 cm/s e 10 cm/s, sendo 1 cm/s o valor médio mais freqüente. A EPA americana recomenda para partículas de urânio a velocidade de deposição seguinte, usada neste relatório. Valor de V_d empregado no modelo: 1,80 E-03 m/s (conforme o CAP88-PC – Tabela 4.103).

Taxa de deposição seca

A taxa de deposição seca D_s é calculada por uma fórmula simples; faz-se o produto da concentração X_s no ar perto do solo pela velocidade de deposição V_d .

$$D_s = V_d X_s$$

Equação 7.4 Fórmula para a taxa de deposição seca usada no modelo.

j) Coeficientes de Dispersão

Nas equações de dispersão gaussiana entram os parâmetros de dispersão σ_y e σ_z que podem ser calculados por diversas fórmulas empíricas encontradas na literatura. No modelo aqui utilizado, foram aproveitadas as fórmulas recomendadas pela IAEA (1980);

$$\sigma_y = p_y x^{q_y}$$

$$\sigma_z = p_z x^{q_z}$$

Equação 7.5 Fórmula empírica adotada no cálculo dos parâmetros de dispersão.

Foram utilizados os coeficientes p , q recomendados pela Agência Internacional de Energia Atômica e publicados na Tabela IX (IAEA, 1980), para fontes emissoras de até 50 m de altura, em lugar de terreno irregular ou aerodinamicamente rugoso. A Tabela 7.8 mostra esses coeficientes.

Tabela 7.8 COEFICIENTES DE DISPERSÃO

Classe Pasquill	p _y	q _y	p _z	q _z
A	0,87	0,81	0,2200	0,9700
B	0,87	0,81	0,2200	0,9700
C	0,72	0,78	0,2100	0,9400
D	0,62	0,77	0,2000	0,9400
E	1,69	0,62	0,1600	0,8100
F	5,38	0,58	0,4000	0,6200

k) Deposição Úmida

A deposição úmida é a remoção do material radioativo da atmosfera por meio da ação das chuvas, geada, neve, etc. Para materiais particulados, a chuva 'lava' o ar carregando consigo o material em suspensão. No caso de gases, também se considera a solubilidade desse material. A deposição úmida possui maior eficiência na remoção de material radioativo presente no ar que a deposição seca.

Para o cálculo da deposição úmida, é necessário novamente resolver a Eq. 7.5, agora ao nível do eixo central da pluma, 16x20 vezes. Para errar a favor da segurança, faz-se a hipótese de que a concentração vertical dentro da pluma é homogênea e igual ao seu valor máximo no eixo central.

l) Equação da Difusão Gaussiana Aplicada no Modelo

Foi empregada a equação da difusão apresentada no documento da IAEA (1980), mostrada a seguir:

$$X_{i,j} = \frac{Q_0}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x\Theta\sigma_{z_i}} \left\{ \text{Exp} \left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_{z_i}^2} \right] + \text{Exp} \left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_{z_i}^2} \right] \right\} \times \left[\sum_k \frac{N_{ijk}}{U_k} \right]$$

Equação 7.6 Equação gaussiana da difusão aplicada a um setor qualquer, à altura z, com reflexão no solo.

Os símbolos têm os significados seguintes:

H = altura de elevação da pluma ou altura da chaminé; (o empuxo vertical é considerado nulo);

Q₀ = intensidade da fonte na boca da chaminé;

x = distância radial da fonte;

Θ = abertura angular dos setores;

z = altura acima do solo; igual a zero no chão;

U_k = velocidade do vento no intervalo de velocidade k;

N_{ijk} = freqüência dos ventos na classe de velocidade k, na categoria de estabilidade i, na direção j;

σ_{zi} = parâmetros de difusão.

No caso da Fábrica de Elementos Combustíveis, a temperatura dos gases liberados para o meio ambiente será de poucos graus acima da temperatura do ar. A quantidade de energia térmica adicional não será suficiente para produzir impulso vertical convectivo. Por isso

despreza-se esse incremento à altura efetiva da chaminé. Somente haverá uma classe de velocidade por direção; neste caso o índice k da Eq. 7.6 será igual a 1.

7.1.2.2 Resultados dos Modelo de Dispersão

a) Pontos Geográficos para Solução da Equação Gaussiana

Para o cálculo da dispersão e deposição seca, a Eq. 7.5 foi solucionada 16x20 vezes, isto é, em 20 diferentes distâncias radiais da fonte e por 16 setores. As distâncias radiais (m) selecionados são as seguintes:

Tabela 7.9 DISTÂNCIAS RADIAIS CONSIDERADAS NO CÁLCULO DA DIFUSÃO

100	200	300	400	500	600	800	1000	1500	2000
2500	3000	4000	5000	7000	10000	15000	20000	25000	30000

O modelo de difusão e os coeficientes aplicados, são recomendados para distâncias de até 10 km. Aqui foram incluídas as distâncias entre 10 km e 30 km, como tentativa para verificar a possibilidade de validade do modelo para distâncias maiores do que aquelas recomendadas. Entretanto, pelos resultados obtidos, será visto que os impactos mais significativos ficam restritos a menos de 1 km de distância da Fábrica.

b) Distâncias das Concentrações Máximas ao Nível do Solo

Os pontos de maior concentração ao nível do chão distam da fonte de acordo com a altura da chaminé e com a categoria de estabilidade considerada. Desse modo podem ser desenhadas as isolinhas de concentração de radionuclídeos em torno da planta. A distância e a forma dessas curvas e, conseqüentemente, a distribuição espacial da máxima deposição seca, depende da frequência dos ventos por direção em função das categorias de estabilidade. A distância da concentração máxima é função da altura H da chaminé e da estabilidade. No entanto, a magnitude do impacto é função também da velocidade dos ventos. A distância do ponto de maior impacto não muda com a maior velocidade do vento, mas o impacto, i.e. a concentração ao nível o solo, decresce à medida que o vento for mais forte (Tabela 7.10). Observa-se que, para as categorias A e B, as distâncias são iguais. Isto deve-se ao fato de os coeficientes dados na Tabela 7.8 também serem iguais nessas categorias.

Tabela 7.10 DISTÂNCIAS DE MAIOR IMPACTO NO AR E NO SOLO PARA CADA CATEGORIA DE ESTABILIDADE DE PASQUILL

Classe Pasquill	Dist. do ponto de maior conc. e deposição seca
A	111,1 m
B	111,1 m
C	135,6 m
D	142,8 m
E	417,2 m
F	608,7 m

c) Concentrações ao Nível do Solo

As concentrações ao nível do solo foram calculadas para todas as distâncias e direções propostas para todos os isótopos liberados. Entretanto, somente serão apresentadas as concentrações de atividade total para o pior cenário operacional, que podem ser lidas na Tabela 7.12, onde os valores estão em Bq/m^3 . As tabelas com os valores de concentrações ao nível do solo para os outros cenários avaliados, calculadas pelo programa Disperse, estão apresentados em anexo. As Figuras 7.9 a 7.11 apresentam um mapeamento das concentrações ao nível do solo para cada cenário avaliado sobre um raio de 5.000 m. Fora dessa área, os impactos são muito menores. A limitação da área mapeada deve-se à dificuldade de fazer com clareza o desenho das isolinhas de diferentes níveis de concentração sobre uma folha de papel A4. A região em torno da FEC apresenta, no pior cenário, uma concentração de $50 Bq/m^3$.

d) Deposição Seca e Úmida

A Tabela 7.13 apresenta, para o pior cenário, os valores de deposição seca (Bq/m^2). A Tabela 7.14 dá a soma da deposição seca e úmida (Bq/m^2) para o caso do pior cenário operacional. Os resultados do programa Disperse para os outros cenários encontram-se em anexo. As Figuras 7.12 a 7.17 ilustram esses resultados para cada cenário avaliado tanto num raio de 10.000 m como num raio de 5.000 m (para melhor visualização). Verifica-se que num raio de 5.000m, a soma das deposições seca e úmida é da ordem de $1 E-02$, e no pior cenário a deposição em torno da FEC é de $20 Bq/m^2$.

e) Fatores de Diluição

A Tabela 7.11 apresenta os valores dos fatores de diluição atmosférica da nuvem de partículas. Esses fatores são válidos para todos os isótopos. As Figuras 7.18 e 7.19 ilustram os fatores de diluição nos raios de 5.000 e 10.000 metros.

f) Mapas de Resultados

Nas páginas seguintes são apresentados os valores das concentrações no ar ao nível do solo e figuras que ilustram a deposição seca e úmida em torno da planta (Figura 7.9a e 7.19e e Tabelas 7.11 a 7.14). A legenda de cada uma das figuras ajuda a compreender o conteúdo. Somente as isolinhas de valores de concentração ou deposição menores foram numeradas com os correspondentes valores, para não sobrecarregar o desenho e tirar a clareza. Entretanto, usando-se a escala de cores ao lado, pode-se bem visualizar os valores na área entre duas isolinhas.

Figura 7.9 CONCENTRAÇÃO (Bq/m³) ANUAL MÉDIA de urânio no ar do sítio da FEC devido à emissão anual de 385,3 g de isótopos de urânio (Cenário Operacional Normal) por uma chaminé de 35 metros de altura, velocidade de emissão de 18 m/s e temperatura dos gases de 303K.

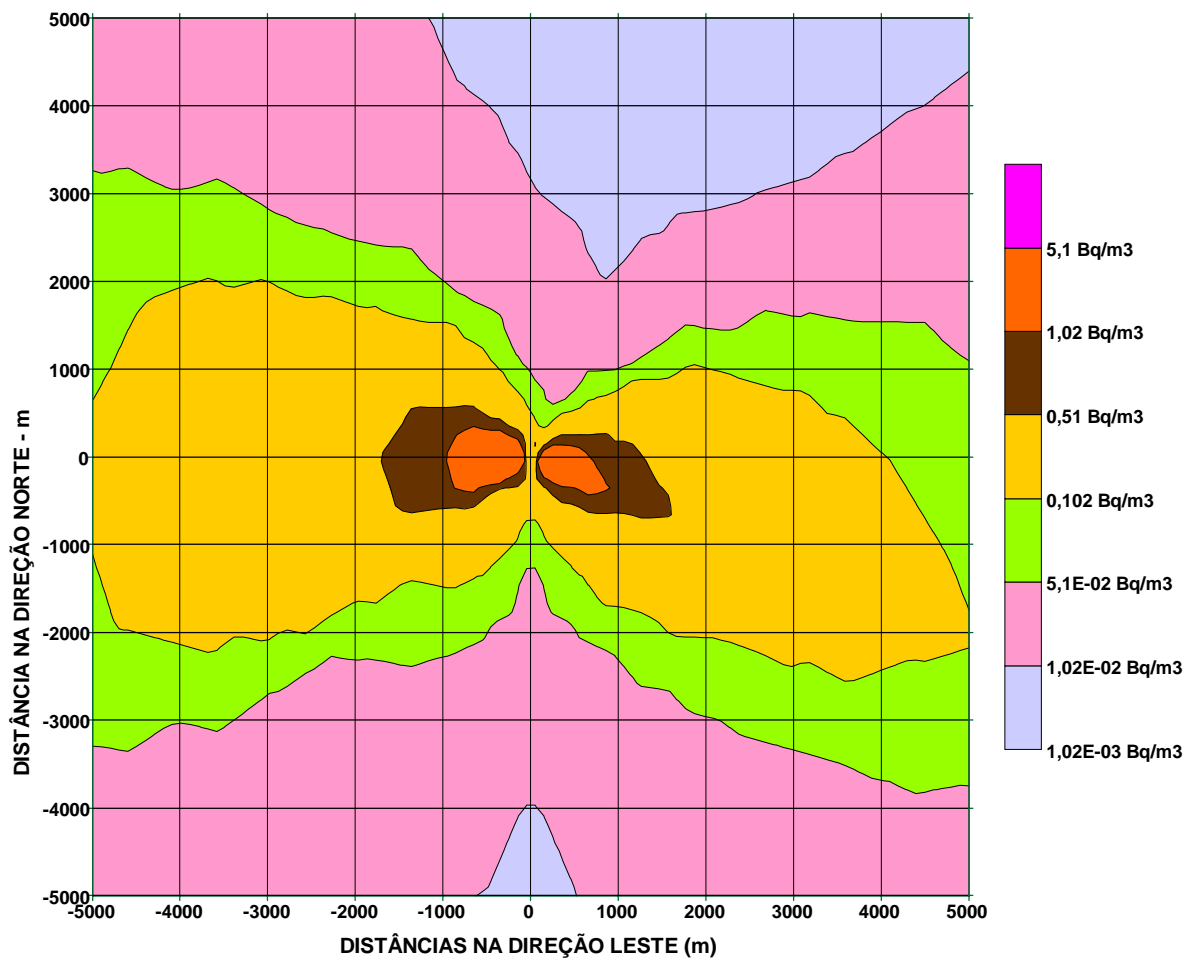
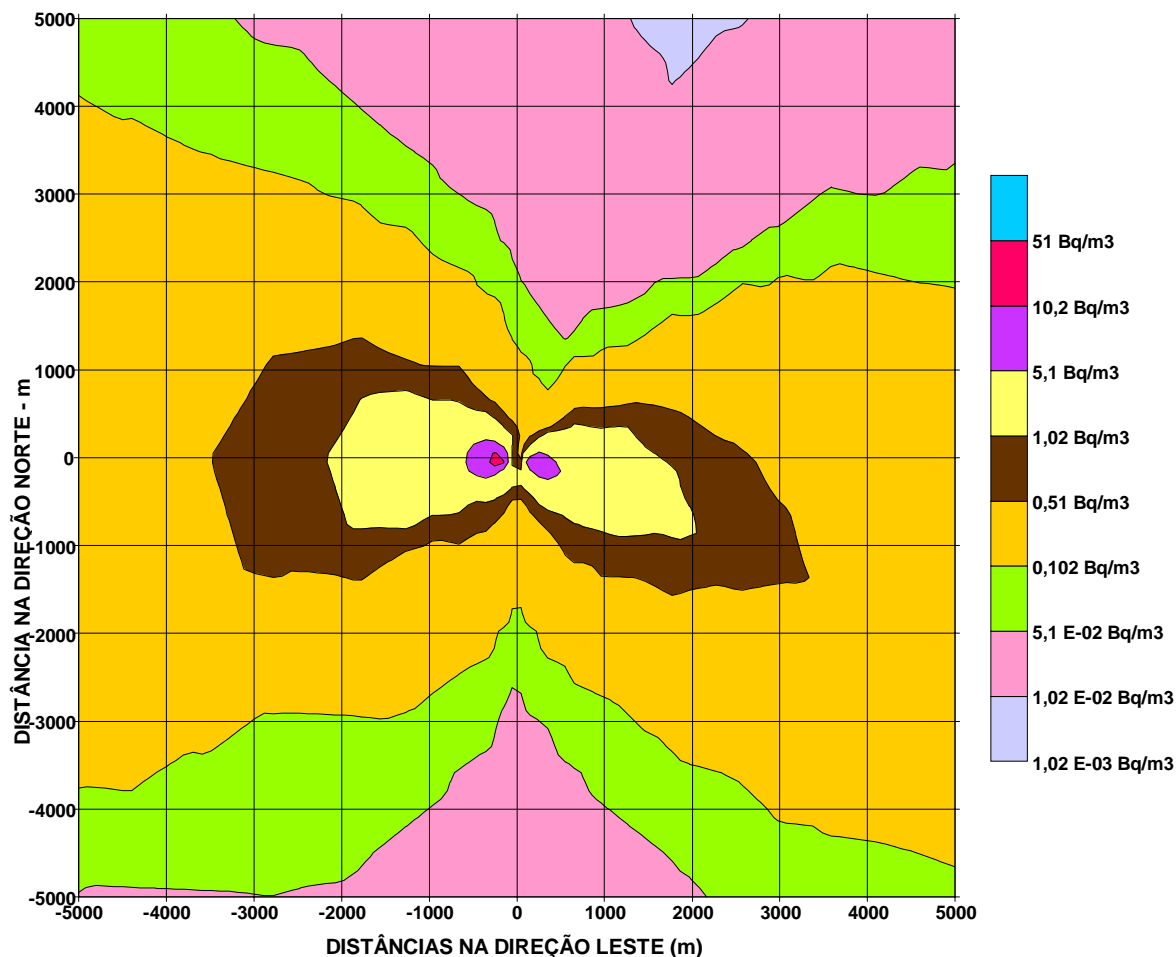
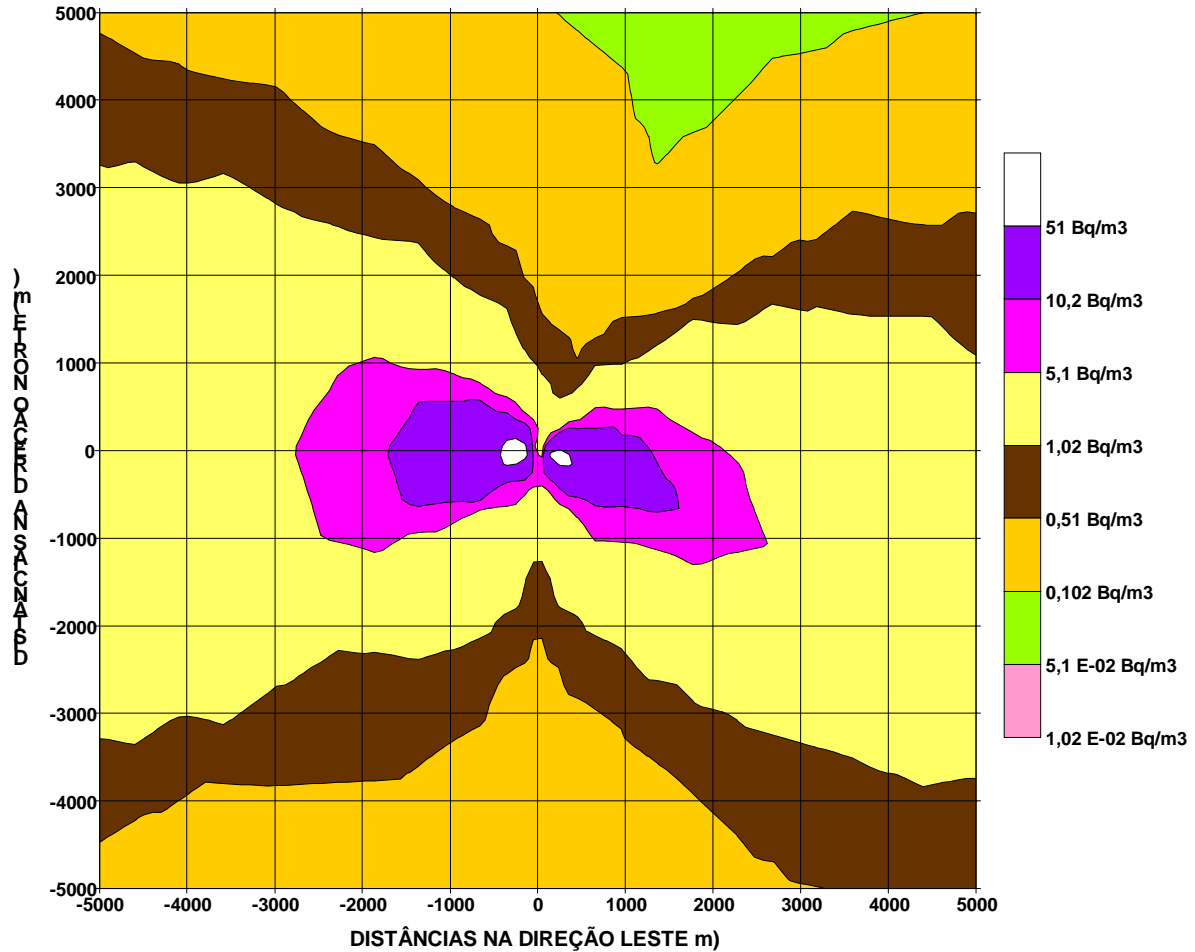


Figura 7.10 CONCENTRAÇÃO (Bq/m³) ANUAL MÉDIA de urânio no ar do sítio da FEC devido à emissão anual de 1077 g de isótopos de urânio (Cenário de Alerta) por uma chaminé de 35 metros de altura, velocidade de emissão de 18 m/s e temperatura dos gases de 303K.



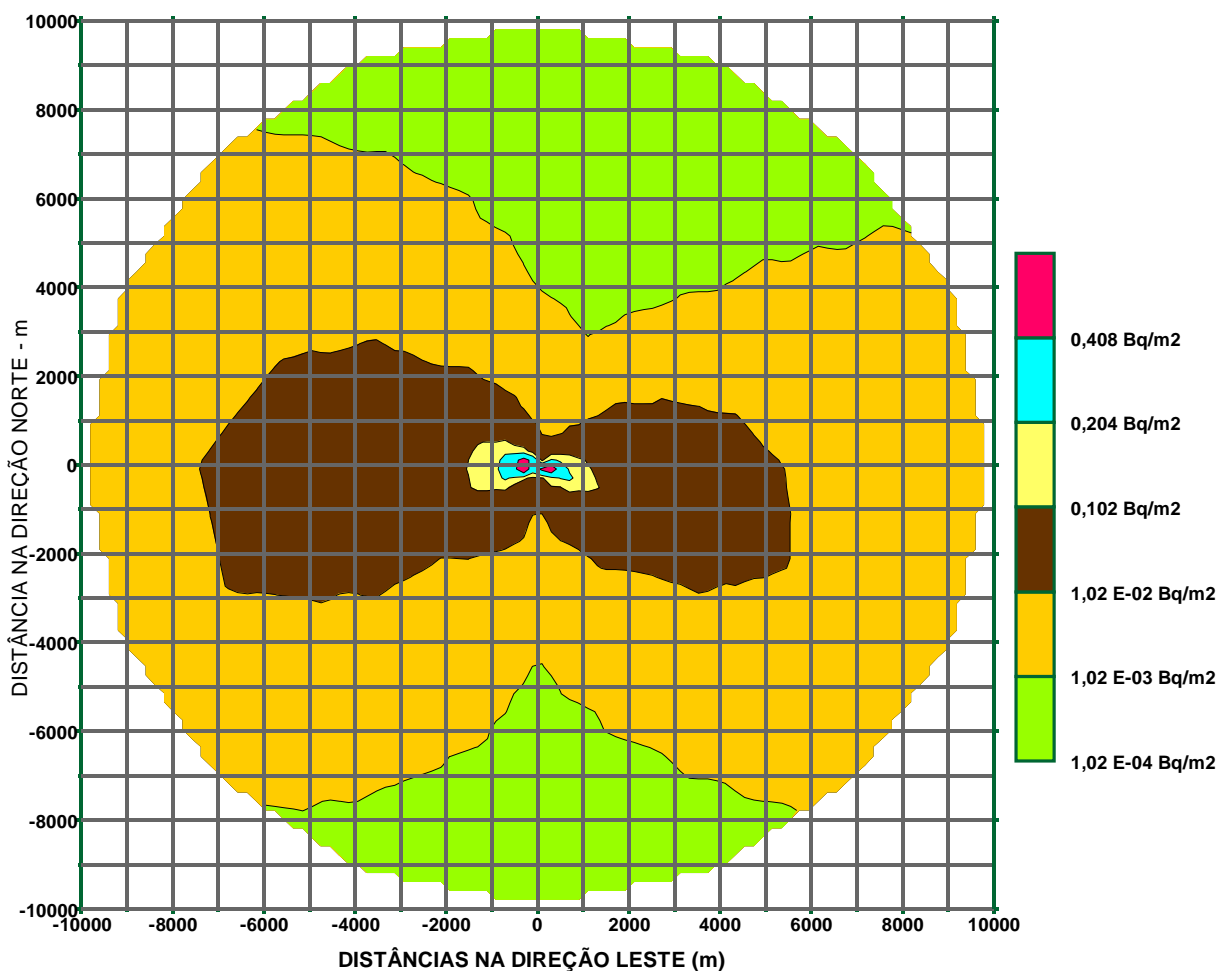
Resultados do Programa DISPERSE

Figura 7.11 CONCENTRAÇÃO (Bq/m³) ANUAL MÉDIA de urânio no ar do sítio da FEC devido à emissão anual de 7700 g de isótopos de urânio (Pior Cenário) por uma chaminé de 35 metros de altura, velocidade de emissão de 18 m/s e temperatura dos gases de 303K.



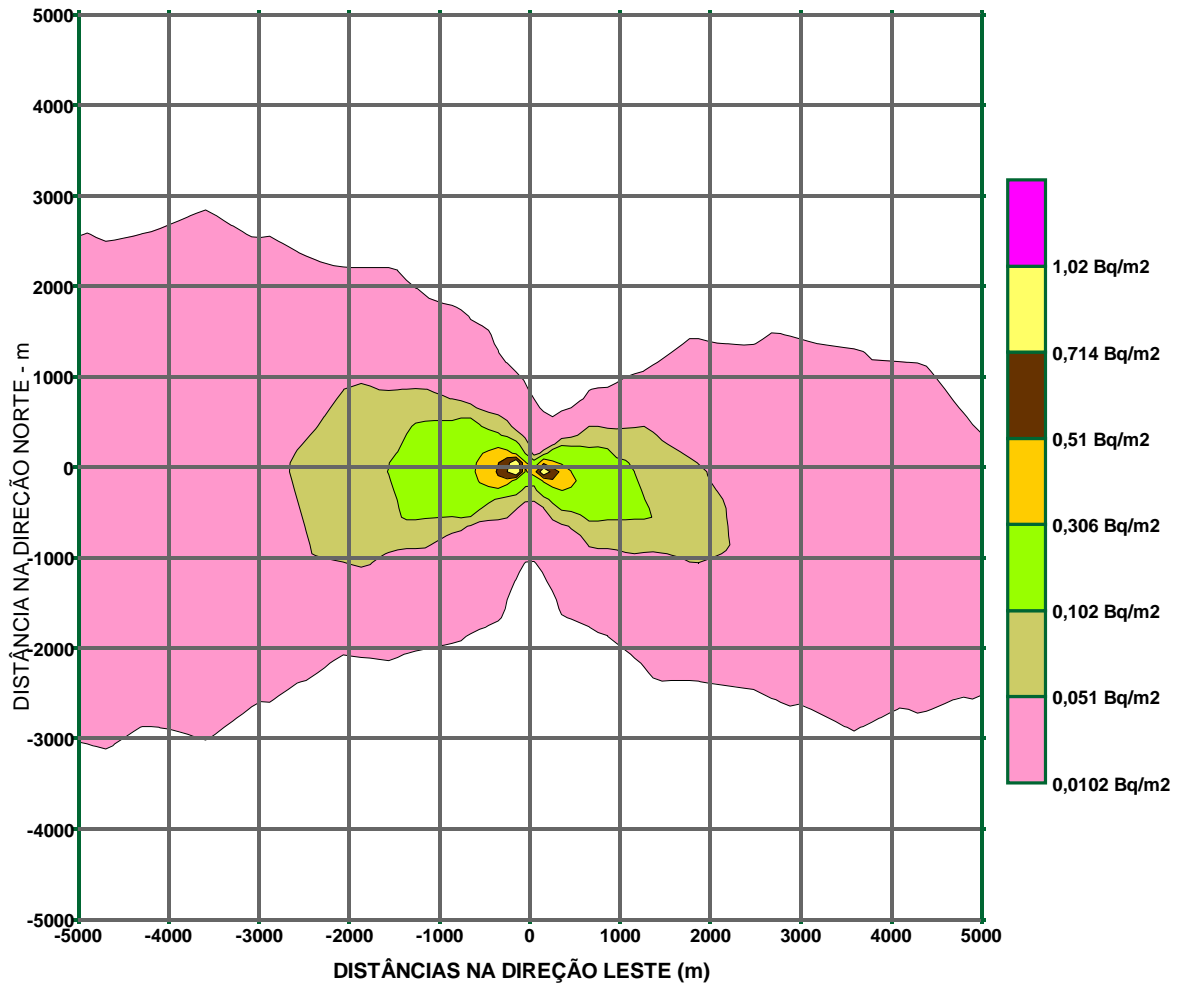
Resultados do Programa DISPERSE

Figura 7.12 DEPOSIÇÃO TOTAL (SECA E ÚMIDA) em Bq/m² no sítio da FEC no período de um ano, devido à emissão de 385,3 g de urânio enriquecido a 5% (Cenário Operacional Normal) por uma chaminé de 35 metros de altura, velocidade de emissão de 18 m/s e temperatura dos gases de 303K. No raio de 10 km em torno da planta, seriam depositados 24,12 g/ano (6,26%).



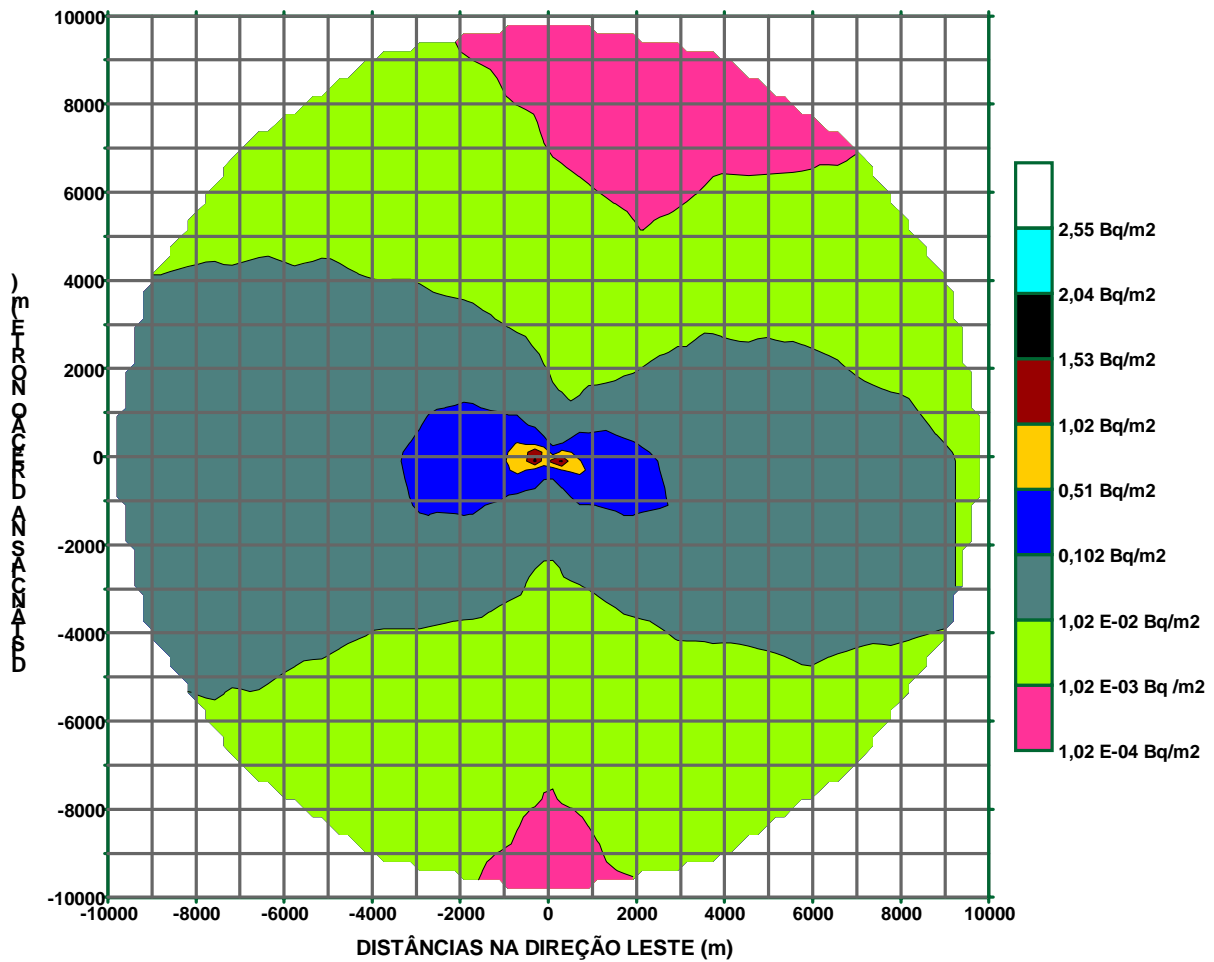
Resultados do Programa DISPERSE

Figura 7.13 DEPOSIÇÃO TOTAL (SECA E ÚMIDA) em Bq/m² no sítio da FEC no período de um ano, devido à emissão de 385,3 g de urânio enriquecido a 5% (Cenário Operacional Normal) por uma chaminé de 35 metros de altura, velocidade de emissão de 18 m/s e temperatura dos gases de 303K. No raio de 10 km em torno da planta, seriam depositados 24,12 g/ano (6,26%).



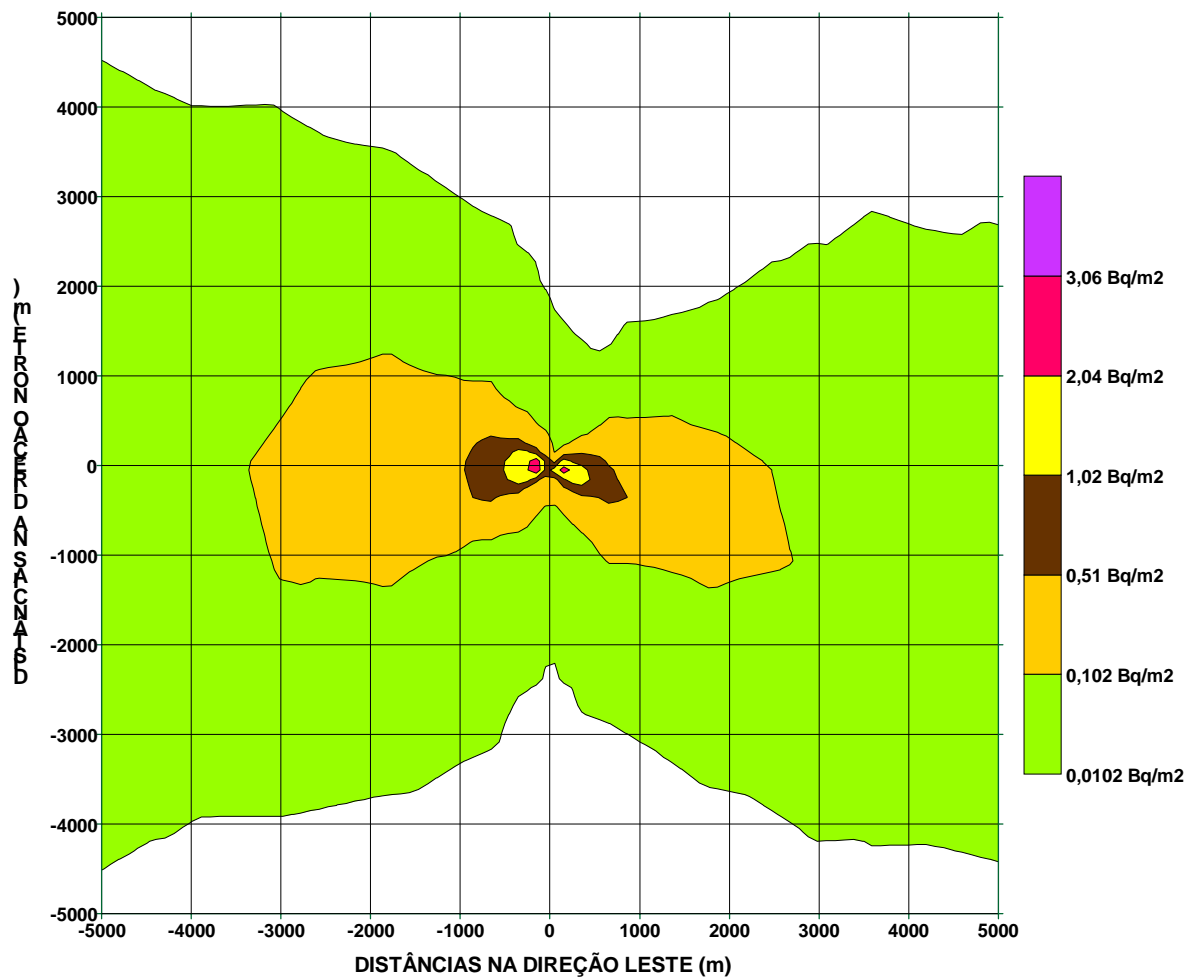
Resultados do Programa DISPERSE

Figura 7.14 DEPOSIÇÃO TOTAL (SECA E ÚMIDA) em Bq/m² no sítio da FEC no período de um ano, devido à emissão de 1077 g de urânio enriquecido a 5% (Cenário de Alerta) por uma chaminé de 35 metros de altura, velocidade de emissão de 18 m/s e temperatura dos gases de 303K. No raio de 10 km em torno da planta, seriam depositados 67,42 g/ano (6,26%).



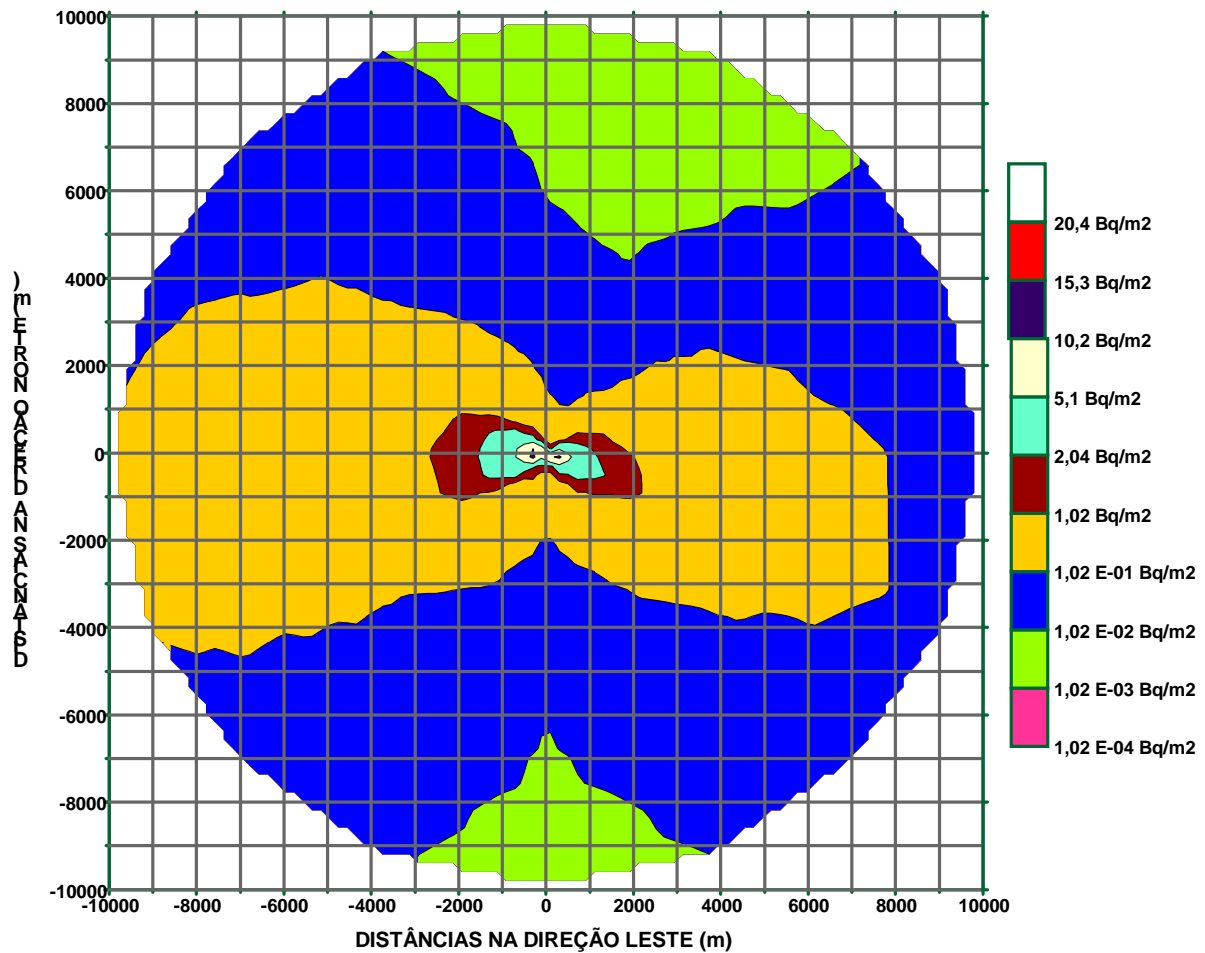
Resultados do programa DISPERSE

Figura 7.15 DEPOSIÇÃO TOTAL (SECA E ÚMIDA) em Bq/m² no sítio da FEC no período de um ano, devido à emissão de 1077 g de urânio enriquecido a 5% (Cenário de Alerta) por uma chaminé de 35 metros de altura, velocidade de emissão de 18 m/s e temperatura dos gases de 303K. No raio de 10 km em torno da planta, seriam depositados 67,42 g/ano (6,26%).



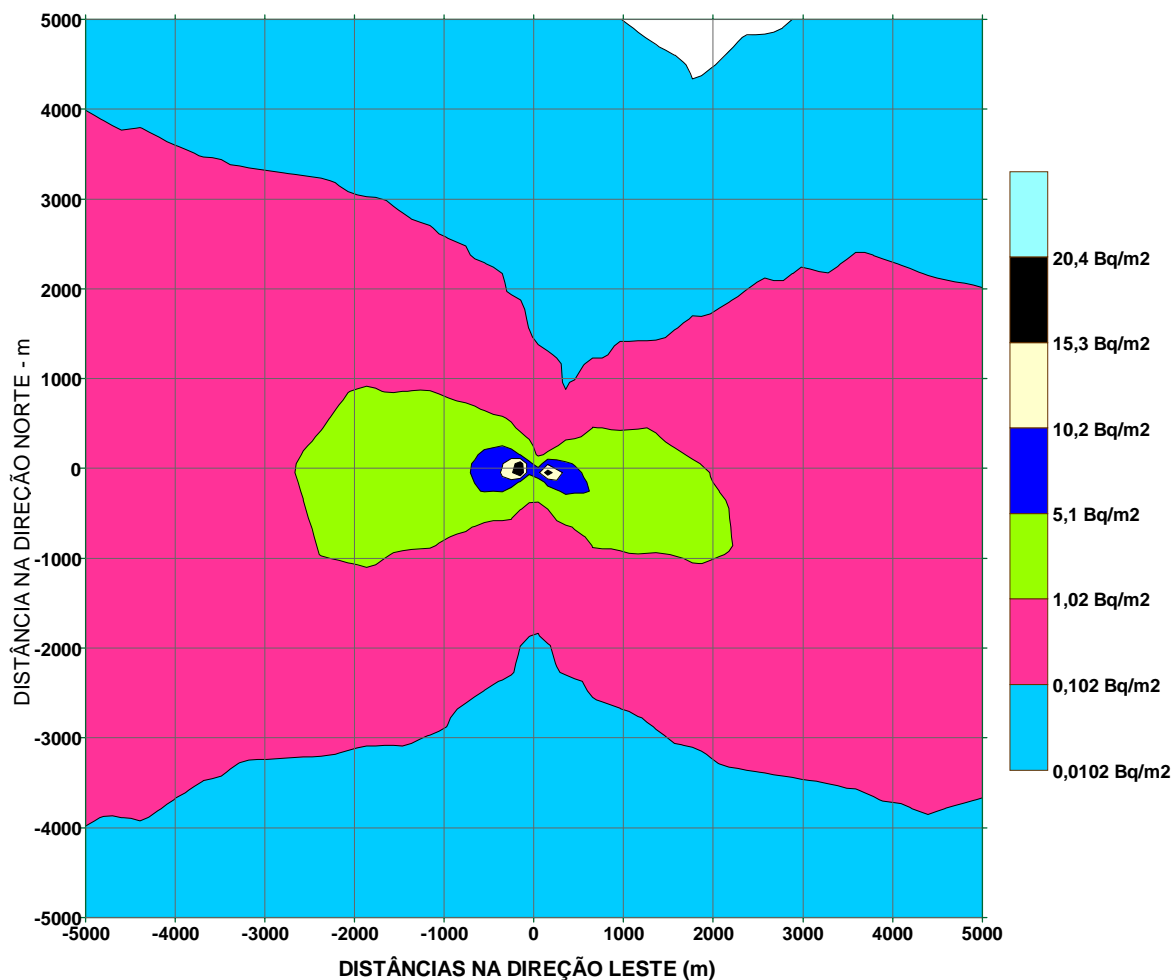
Resultados do programa DISPERSE

Figura 7.16 DEPOSIÇÃO TOTAL (SECA E ÚMIDA) em Bq/m² no sítio da FEC no período de um ano, devido à emissão de 7700 g de urânio enriquecido a 5% (Pior Cenário) por uma chaminé de 35 metros de altura, velocidade de emissão de 18 m/s e temperatura dos gases de 303K. No raio de 10 km em torno da planta, seriam depositados 482 g/ano (6,26%).



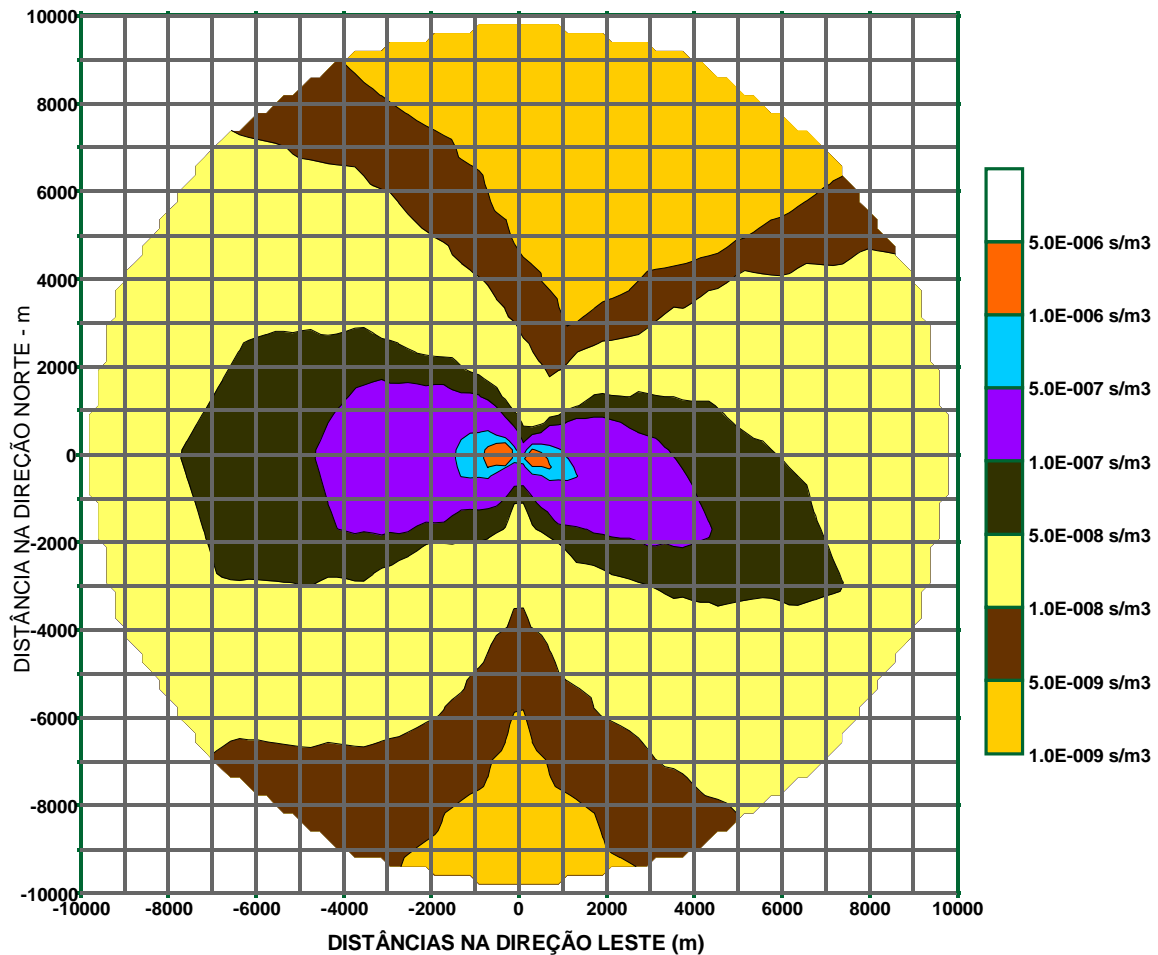
Resultados do programa DISPERSE

Figura 7.17 DEPOSIÇÃO TOTAL (SECA E ÚMIDA) em Bq/m² no sítio da FEC no período de um ano, devido à emissão de 7700 g de urânio enriquecido a 5% (Pior Cenário) por uma chaminé de 35 metros de altura, velocidade de emissão de 18 m/s e temperatura dos gases de 303K. No raio de 10 km em torno da planta, seriam depositados 482 g/ano (6,26%).



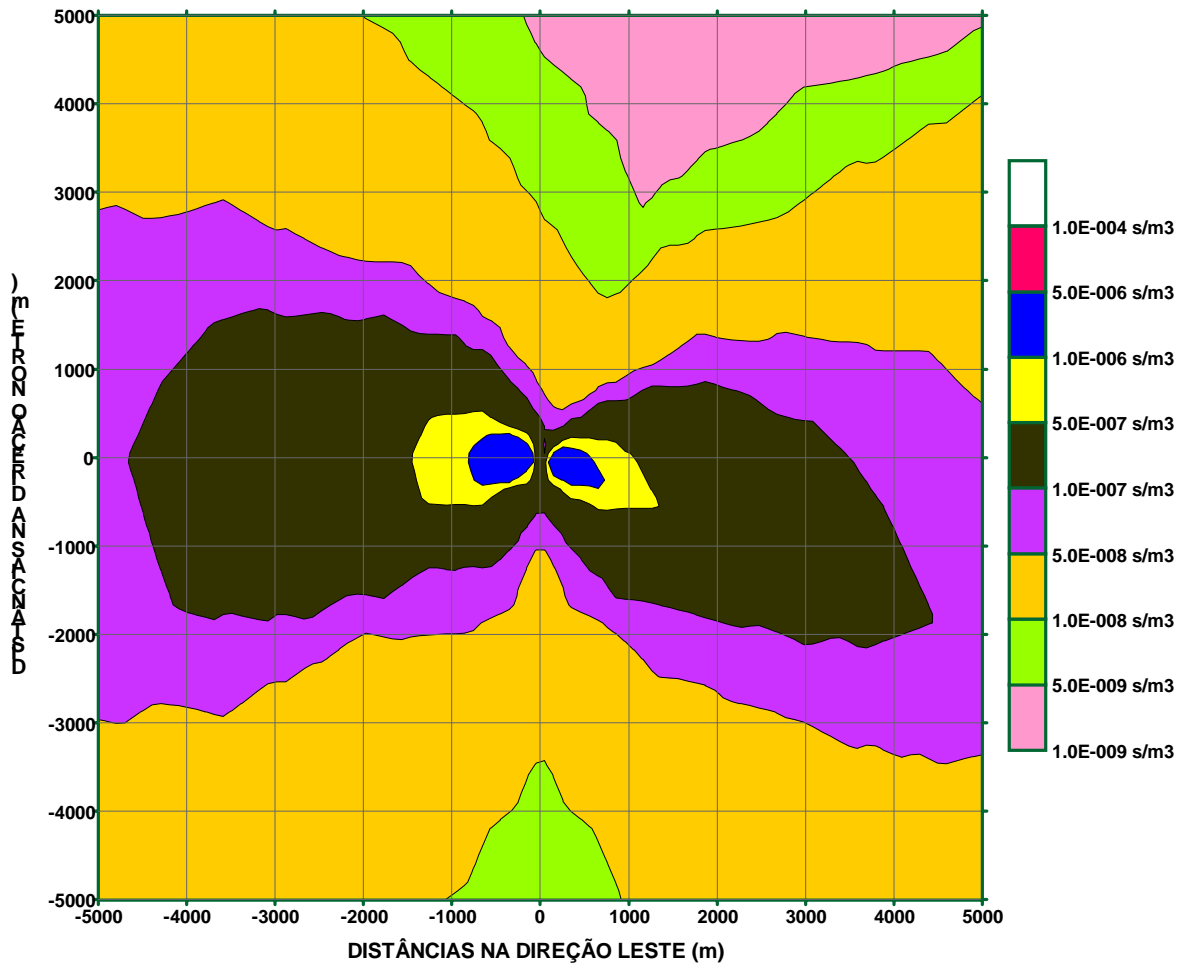
Resultados do programa DISPERSE

Figura 7.18 FATORES MÉDIOS DE DILUIÇÃO (s/m³) no sítio da FEC no período de um ano. Emissão de uma chaminé de 35 metros de altura, velocidade de emissão de 18 m/s e temperatura dos gases de 303K. Difusão nos 10 Km de raio em torno da planta.



Resultados do programa DISPERSE

Figura 7.19 FATORES MÉDIOS DE DILUIÇÃO (s/m³) no sítio da FEC no período de um ano. Emissão de uma chaminé de 35 metros de altura, velocidade de emissão de 18 m/s e temperatura dos gases de 303K. Difusão nos 5 km de raio em torno da planta.



Resultados do programa DISPERSE

Tabela 7.11 FATORES DE DILUIÇÃO NO AR (s/m³) AO NÍVEL DO SOLO PARA CADA DISTÂNCIA (m) RADIAL POR DIREÇÃO SETORIAL (válidos para todos os isótopos de urânio). O valor máximo (4,18 E-06) foi encontrado na distância de 200 m e direção W. (Válido para todos os cenários)

Setor	Direção	100	200	300	400	500
S	270,0	2,764 E-08	1,903 E-07	1,722 E-07	1,295 E-07	9,986 E-08
SSW	247,5	1,085 E-07	5,725 E-07	4,882 E-07	3,602 E-07	2,764 E-07
SW	225,0	2,755 E-07	9,706 E-07	7,591 E-07	5,465 E-07	4,172 E-07
WSW	202,5	1,450 E-06	4,016 E-06	2,989 E-06	2,128 E-06	1,625 E-06
W	180,0	1,434 E-06	4,184 E-06	3,147 E-06	2,245 E-06	1,714 E-06
WNW	157,5	9,237 E-07	3,234 E-06	2,526 E-06	1,818 E-06	1,388 E-06
NW	135,0	2,441 E-07	1,094 E-06	9,008 E-07	6,577 E-07	5,033 E-07
NNW	112,5	1,127 E-07	4,593 E-07	3,704 E-07	2,689 E-07	2,055 E-07
N	90,0	3,173 E-08	1,628 E-07	1,380 E-07	1,016 E-07	7,794 E-08
NNE	67,5	2,463 E-08	1,032 E-07	8,372 E-08	6,088 E-08	4,654 E-08
NE	45,0	6,830 E-08	2,849 E-07	2,309 E-07	1,678 E-07	1,283 E-07
ENE	22,5	3,488 E-07	1,294 E-06	1,023 E-06	7,383 E-07	5,638 E-07
E	0	7,181 E-07	2,645 E-06	2,088 E-06	1,507 E-06	1,151 E-06
ESE	337,5	6,606 E-07	3,505 E-06	2,993 E-06	2,209 E-06	1,695 E-06
SE	315,0	1,781 E-07	1,290 E-06	1,181 E-06	8,910 E-07	6,880 E-07
SSE	292,5	6,444 E-08	4,864 E-07	4,492 E-07	3,400 E-07	2,628 E-07

Setor	Direção	700	1000	1500	2000	2500
S	270,0	6,825 E-08	4,639 E-08	2,894 E-08	1,994 E-08	1,463 E-08
SSW	247,5	1,886 E-07	1,278 E-07	7,928 E-08	5,441 E-08	3,981 E-08
SW	225,0	2,846 E-07	1,919 E-07	1,177 E-07	8,014 E-08	5,833 E-08
WSW	202,5	1,110 E-06	7,453 E-07	4,530 E-07	3,066 E-07	2,222 E-07
W	180,0	1,170 E-06	7,864 E-07	4,790 E-07	3,247 E-07	2,356 E-07
WNW	157,5	9,465 E-07	6,380 E-07	3,912 E-07	2,663 E-07	1,938 E-07
NW	135,0	3,432 E-07	2,322 E-07	1,434 E-07	9,814 E-08	7,167 E-08
NNW	112,5	1,400 E-07	9,456 E-08	5,823 E-08	3,977 E-08	2,900 E-08
N	90,0	5,319 E-08	3,606 E-08	2,236 E-08	1,534 E-08	1,122 E-08
NNE	67,5	3,174 E-08	2,145 E-08	1,323 E-08	9,043 E-09	6,599 E-09
NE	45,0	8,748 E-08	5,910 E-08	3,643 E-08	2,489 E-08	1,816 E-08
ENE	22,5	3,846 E-07	2,595 E-07	1,594 E-07	1,087 E-07	7,916 E-08
E	0	7,848 E-07	5,293 E-07	3,251 E-07	2,216 E-07	1,614 E-07
ESE	337,5	1,157 E-06	7,841 E-07	4,864 E-07	3,339 E-07	2,443 E-07
SE	315,0	4,707 E-07	3,203 E-07	2,001 E-07	1,381 E-07	1,014 E-07
SSE	292,5	1,799 E-07	1,225 E-07	7,657 E-08	5,285 E-08	3,881 E-08

Continua na próxima página

Tabela 7.11 Cont.

Setor	Direção	3000	3500	4000	5000	5500
S	270,0	1,123 E-08	9,174 E-09	7,684 E-09	5,720 E-09	5,043 E-09
SSW	247,5	3,050 E-08	2,487 E-08	2,081 E-08	1,546 E-08	1,362 E-08
SW	225,0	4,452 E-08	3,620 E-08	3,021 E-08	2,238 E-08	1,969 E-08
WSW	202,5	1,691 E-07	1,372 E-07	1,143 E-07	8,447 E-08	7,428 E-08
W	180,0	1,794 E-07	1,456 E-07	1,214 E-07	8,974 E-08	7,893 E-08
WNW	157,5	1,479 E-07	1,203 E-07	1,004 E-07	7,434 E-08	6,543 E-08
NW	135,0	5,482 E-08	4,466 E-08	3,733 E-08	2,770 E-08	2,440 E-08
NNW	112,5	2,216 E-08	1,804 E-08	1,507 E-08	1,118 E-08	9,842 E-09
N	90,0	8,595 E-09	7,009 E-09	5,862 E-09	4,354 E-09	3,836 E-09
NNE	67,5	5,045 E-09	4,108 E-09	3,432 E-09	2,545 E-09	2,241 E-09
NE	45,0	1,388 E-08	1,130 E-08	9,443 E-09	7,005 E-09	6,168 E-09
ENE	22,5	6,044 E-08	4,917 E-08	4,105 E-08	3,042 E-08	2,678 E-08
E	0	1,232 E-07	1,002 E-07	8,368 E-08	6,200 E-08	5,458 E-08
ESE	337,5	1,871 E-07	1,526 E-07	1,277 E-07	9,488 E-08	8,360 E-08
SE	315,0	7,782 E-08	6,359 E-08	5,328 E-08	3,966 E-08	3,497 E-08
SSE	292,5	2,981 E-08	2,437 E-08	2,042 E-08	1,520 E-08	1,341 E-08

Setor	Direção	6000	7000	8000	9000	10000
S	270,0	4,495E-09	3,663E-09	3,064E-09	2,618E-09	2,274E-09
SSW	247,5	1,214E-08	9,880E-09	8,261E-09	7,054E-09	6,125E-09
SW	225,0	1,753E-08	1,425E-08	1,190E-08	1,016E-08	8,814E-09
WSW	202,5	6,607E-08	5,366E-08	4,479E-08	3,820E-08	3,313E-08
W	180,0	7,022E-08	5,704E-08	4,762E-08	4,062E-08	3,523E-08
WNW	157,5	5,824E-08	4,734E-08	3,955E-08	3,374E-08	2,928E-08
NW	135,0	2,173E-08	1,768E-08	1,478E-08	1,262E-08	1,095E-08
NNW	112,5	8,764E-09	7,129E-09	5,958E-09	5,085E-09	4,414E-09
N	90,0	3,418E-09	2,782E-09	2,326E-09	1,986E-09	1,724E-09
NNE	67,5	1,996E-09	1,624E-09	1,357E-09	1,158E-09	1,005E-09
NE	45,0	5,493E-09	4,468E-09	3,734E-09	3,187E-09	2,767E-09
ENE	22,5	2,384E-08	1,938E-08	1,619E-08	1,382E-08	1,199E-08
E	0	4,859E-08	3,951E-08	3,301E-08	2,816E-08	2,444E-08
ESE	337,5	7,449E-08	6,064E-08	5,071E-08	4,330E-08	3,759E-08
SE	315,0	3,118E-08	2,540E-08	2,126E-08	1,816E-08	1,577E-08
SSE	292,5	1,195E-08	9,741E-09	8,151E-09	6,964E-09	6,049E-09

Tabela 7.12 CONCENTRAÇÕES DE ATIVIDADE TOTAL DE URÂNIO NO AR (Bq/m³) AO NÍVEL DO SOLO PARA CADA DISTÂNCIA (m) RADIAL POR DIREÇÃO SETORIAL - Pior Cenário Operacional

Setor	Direção	100	200	300	400	500
S	270,0	6,883E-07	4,740E-06	4,289E-06	3,225E-06	2,487E-06
SSW	247,5	2,702E-06	1,426E-05	1,216E-05	8,972E-06	6,883E-06
SW	225,0	6,862E-06	2,417E-05	1,890E-05	1,361E-05	1,039E-05
WSW	202,5	3,612E-05	1,000E-04	7,444E-05	5,300E-05	4,046E-05
W	180,0	3,572E-05	1,042E-04	7,838E-05	5,591E-05	4,268E-05
WNW	157,5	2,300E-05	8,054E-05	6,290E-05	4,527E-05	3,456E-05
NW	135,0	6,078E-06	2,725E-05	2,243E-05	1,638E-05	1,254E-05
NNW	112,5	2,807E-06	1,143E-05	9,225E-06	6,696E-06	5,116E-06
N	90,0	7,903E-07	4,053E-06	3,436E-06	2,532E-06	1,941E-06
NNE	67,5	6,133E-07	2,569E-06	2,085E-06	1,516E-06	1,159E-06
NE	45,0	1,701E-06	7,094E-06	5,750E-06	4,179E-06	3,195E-06
ENE	22,5	8,687E-06	3,222E-05	2,547E-05	1,839E-05	1,405E-05
E	0	1,788E-05	6,587E-05	5,200E-05	3,753E-05	2,865E-05
ESE	337,5	1,645E-05	8,729E-05	7,454E-05	5,502E-05	4,222E-05
SE	315,0	4,435E-06	3,213E-05	2,941E-05	2,219E-05	1,714E-05
SSE	292,5	1,604E-06	1,212E-05	1,119E-05	8,468E-06	6,545E-06

Setor	Direção	700	1000	1500	2000	2500
S	270,0	1,700E-06	1,156E-06	7,206E-07	4,966E-07	3,644E-07
SSW	247,5	4,697E-06	3,183E-06	1,975E-06	1,356E-06	9,915E-07
SW	225,0	7,089E-06	4,779E-06	2,931E-06	1,996E-06	1,452E-06
WSW	202,5	2,765E-05	1,856E-05	1,128E-05	7,636E-06	5,535E-06
W	180,0	2,915E-05	1,958E-05	1,193E-05	8,087E-06	5,867E-06
WNW	157,5	2,357E-05	1,589E-05	9,742E-06	6,633E-06	4,828E-06
NW	135,0	8,549E-06	5,781E-06	3,571E-06	2,444E-06	1,785E-06
NNW	112,5	3,487E-06	2,355E-06	1,450E-06	9,903E-07	7,223E-07
N	90,0	1,325E-06	8,979E-07	5,568E-07	3,821E-07	2,795E-07
NNE	67,5	7,905E-07	5,343E-07	3,295E-07	2,252E-07	1,643E-07
NE	45,0	2,179E-06	1,472E-06	9,072E-07	6,199E-07	4,523E-07
ENE	22,5	9,579E-06	6,463E-06	3,970E-06	2,706E-06	1,972E-06
E	0	1,954E-05	1,318E-05	8,097E-06	5,518E-06	4,020E-06
ESE	337,5	2,880E-05	1,952E-05	1,212E-05	8,315E-06	6,084E-06
SE	315,0	1,172E-05	7,977E-06	4,984E-06	3,438E-06	2,525E-06
SSE	292,5	4,480E-06	2,958E-06	1,907E-06	1,316E-06	9,667E-07

Continua na página seguinte

Tabela 7.12 *Continuação*

Setor	Direção	3000	3500	4000	5000	5500
S	270,0	2,797E-07	2,285E-07	1,914E-07	1,425E-07	1,256E-07
SSW	247,5	7,595E-07	6,194E-07	5,182E-07	3,851E-07	3,393E-07
SW	225,0	1,109E-06	9,015E-07	7,524E-07	5,572E-07	4,904E-07
WSW	202,5	4,213E-06	3,417E-06	2,847E-06	2,103E-06	1,850E-06
W	180,0	4,469E-06	3,627E-06	3,023E-06	2,235E-06	1,966E-06
WNW	157,5	3,684E-06	2,995E-06	2,500E-06	1,851E-06	1,629E-06
NW	135,0	1,365E-06	1,112E-06	9,296E-07	6,875E-07	6,076E-07
NNW	112,5	5,519E-07	4,493E-07	3,754E-07	2,784E-07	2,451E-07
N	90,0	2,141E-07	1,745E-07	1,460E-07	1,084E-07	9,554E-08
NNE	67,5	1,257E-07	1,023E-07	8,547E-08	6,339E-08	5,581E-08
NE	45,0	3,457E-07	2,760E-07	2,352E-07	1,744E-07	1,536E-07
ENE	22,5	1,506E-06	1,225E-06	1,022E-06	7,576E-07	6,669E-07
E	0	3,069E-06	2,496E-06	2,084E-06	1,544E-06	1,360E-06
ESE	337,5	4,660E-06	3,802E-06	3,180E-06	2,363E-06	2,082E-06
SE	315,0	1,938E-06	1,584E-06	1,327E-06	9,879E-07	8,711E-07
SSE	292,5	7,424E-07	6,068E-07	5,085E-07	3,786E-07	3,339E-07

Setor	Direção	6000	7000	8000	9000	10000
S	270,0	1,120E-07	9,122E-08	7,577E-08	6,519E-08	5,663E-08
SSW	247,5	3,022E-07	2,460E-07	2,057E-07	1,756E-07	1,525E-07
SW	225,0	4,366E-07	3,550E-07	2,965E-07	2,530E-07	2,195E-07
WSW	202,5	1,645E-06	1,336E-06	1,116E-06	9,513E-07	8,252E-07
W	180,0	1,749E-06	1,421E-06	1,186E-06	1,012E-06	8,775E-07
WNW	157,5	1,450E-06	1,179E-06	9,849E-07	8,404E-07	7,292E-07
NW	135,0	5,412E-07	4,403E-07	3,681E-07	3,142E-07	2,727E-07
NNW	112,5	2,183E-07	1,776E-07	1,484E-07	1,267E-07	1,100E-07
N	90,0	8,512E-08	6,929E-08	5,793E-08	4,946E-08	4,294E-08
NNE	67,5	4,970E-08	4,043E-08	3,379E-08	2,884E-08	2,503E-08
NE	45,0	1,368E-07	1,113E-07	9,300E-08	7,938E-08	6,890E-08
ENE	22,5	5,936E-07	4,828E-07	4,033E-07	3,441E-07	2,987E-07
E	0	1,210E-06	9,839E-07	8,220E-07	7,015E-07	6,087E-07
ESE	337,5	1,855E-06	1,511E-06	1,263E-06	1,078E-06	9,363E-07
SE	315,0	7,765E-07	6,327E-07	5,294E-07	4,523E-07	3,928E-07
SSE	292,5	2,977E-07	2,426E-07	2,030E-07	1,734E-07	1,507E-07

Tabela 7.13 DEPOSIÇÃO SECA TOTAL DE URÂNIO (Bq/m²) SOBRE O SOLO PARA CADA DISTÂNCIA (M) RADIAL POR DIREÇÃO SETORIAL - Pior Cenário Operacional

Setor	Direção	100	200	300	400	500
S	270,0	3,907E-02	2,691E-01	2,435E-01	1,831E-01	1,412E-01
SSW	247,5	1,534E-01	8,093E-01	6,902E-01	5,093E-01	3,907E-01
SW	225,0	3,895E-01	1,372E+00	1,073E+00	7,725E-01	5,898E-01
WSW	202,5	2,050E+00	5,678E+00	4,226E+00	3,008E+00	2,297E+00
W	180,0	2,028E+00	5,915E+00	4,449E+00	3,174E+00	2,423E+00
WNW	157,5	1,306E+00	4,572E+00	3,574E+00	2,569E+00	1,961E+00
NW	135,0	3,451E-01	1,547E+00	1,273E+03	9,298E-01	7,115E-01
NNW	112,5	1,593E-01	6,492E-01	5,237E-01	3,801E-01	2,905E-01
N	90,0	4,486E-02	2,301E-01	1,951E-01	1,437E-01	1,102E-01
NNE	67,5	3,481E-02	1,428E-01	1,183E-01	8,607E-02	6,672E-02
NE	45,0	9,655E-02	4,027E-01	3,264E-01	2,373E-01	1,814E-01
ENE	22,5	4,932E-01	1,829E+00	1,445E+00	1,043E+00	7,970E-01
E	0	1,015E+00	3,739E+00	2,952E+00	2,130E+00	1,627E+00
ESE	337,5	9,339E-01	4,955E+00	4,503E+00	3,123E+00	2,396E+00
SE	315,0	2,517E-01	1,824E+00	1,669E+00	1,260E+00	9,726E-01
SSE	292,5	9,110E-02	6,877E-01	6,351E-01	4,807E-01	3,715E-01

Setor	Direção	700	1000	1500	2000	2500
S	270,0	9,649E-02	6,558E-02	4,091E-02	2,819E-02	2,069E-02
SSW	247,5	2,666E-01	1,807E-01	1,121E-01	7,693E-02	5,628E-02
SW	225,0	4,024E-01	2,712E-01	1,664E-01	1,133E-01	8,247E-02
WSW	202,5	1,570E+00	1,054E+00	6,405E-01	4,334E-01	3,142E-01
W	180,0	1,654E+00	1,102E+00	6,185E+03	4,590E-01	3,330E-01
WNW	157,5	1,338E+00	9,019E+00	5,530E-01	3,765E-01	2,740E-01
NW	135,0	4,852E-01	3,282E-01	2,028E-01	1,387E-01	1,013E-01
NNW	112,5	1,980E-01	1,337E-01	8,231E-02	5,621E-02	4,099E-02
N	90,0	7,520E-02	5,097E-02	3,161E-02	2,169E+01	1,586E-02
NNE	67,5	4,487E-02	3,032E-02	1,871E-02	1,278E-02	9,329E-03
NE	45,0	1,236E-01	8,356E-02	5,150E-02	3,519E-02	2,567E-02
ENE	22,5	5,438E-01	3,668E-01	4,596E-01	3,132E-01	2,282E-01
E	0	1,110E+00	7,484E-01	6,877E-01	4,720E-01	3,454E-01
ESE	337,5	1,635E+00	1,109E+00	6,877E-01	4,720E-01	3,454E-01
SE	315,0	6,654E-01	4,528E-01	2,829E-01	1,951E-01	1,433E-01
SSE	292,5	2,543E-01	1,731E-01	1,082E-01	7,472E-02	5,488E-02

Continua na página seguinte

Tabela 7.13 *Continuação*

Setor	Direção	3000	3500	4000	5000	5500
S	270,0	1,587E-02	1,297E-02	1,086E-02	8,086E-03	7,129E-03
SSW	247,5	4,312E-02	3,516E-02	2,942E-02	2,186E-02	1,926E-02
SW	225,0	6,293E-02	5,117E-02	4,271E-02	3,163E-02	2,785E-02
WSW	202,5	2,391E-01	1,940E-01	1,616E-01	1,194E-01	1,051E-01
W	180,0	2,537E-01	2,058E-01	1,716E-01	1,269E-01	1,116E-01
WNW	157,5	2,091E-01	1,700E-01	1,419E-01	1,051E-01	9,249E-02
NW	135,0	7,750E-02	6,314E-02	5,277E-02	3,916E-02	3,450E-02
NNW	112,5	3,133E-02	2,091E-02	2,131E-02	1,580E-02	1,391E-02
N	90,0	1,215E-02	9,908E-03	8,288E-03	6,156E-03	5,423E-03
NNE	67,5	7,132E-03	5,807E-03	4,851E-03	3,599E-03	3,168E-03
NE	45,0	1,962E-02	1,598E-02	1,335E-02	9,902E-03	8,720E-03
ENE	22,5	8,545E-02	6,951E-02	5,804E-02	4,300E-02	3,785E-02
E	0	1,742E-01	1,417E-01	1,183E-01	8,766E-02	7,716E-02
ESE	337,5	2,646E-01	2,158E-01	1,805E-01	1,341E-01	1,182E-01
SE	315,0	1,101E-01	8,990E-02	7,532E-02	5,608E-02	4,944E-02
SSE	292,5	4,214E-02	3,445E-02	2,887E-02	2,149E-02	1,895E-02

Setor	Direção	6000	7000	8000	9000	10000
S	270,0	6,356E-03	5,178E-03	4,332E-03	3,701E-03	3,214E-03
SSW	247,5	1,716E-02	1,396E-02	1,168E-02	9,973E-03	8,659E-03
SW	225,0	2,479E-02	2,015E-02	1,683E-02	1,436E-02	1,246E-02
WSW	202,5	9,341E-02	7,586E-02	6,332E-02	5,400E-02	4,684E-02
W	180,0	9,928E-02	8,064E-02	6,732E-02	5,742E-02	4,981E-02
WNW	157,5	8,233E-02	6,693E-02	5,591E-02	4,771E-02	4,139E-02
NW	135,0	3,072E-02	2,499E-02	2,089E-02	1,784E-02	1,548E-02
NNW	112,5	1,239E-02	1,008E-02	8,422E-03	7,189E-03	6,240E-03
N	90,0	2,821E-03	2,295E-03	1,919E-03	1,637E-03	1,421E-03
NNE	67,5	7,765E-03	6,317E-03	5,280E-03	4,506E-03	3,912E-03
NE	45,0	3,370E-02	2,740E-02	2,289E-02	1,953E-02	1,695E-02
ENE	22,5	6,869E-02	5,586E-02	4,667E-02	3,982E-02	3,456E-02
E	0	6,869E-02	5,586E-02	4,667E-02	3,982E-02	3,456E-02
ESE	337,5	1,053E-01	8,573E-02	7,169E-02	6,121E-02	5,314E-02
SE	315,0	4,407E-02	3,591E-02	3,005E-02	2,567E-02	2,230E-02
SSE	292,5	1,690E-02	1,377E-02	1,153E-02	9,845E-03	8,552E-03

Tabela 7.14 SOMA DA DEPOSIÇÃO SECA E ÚMIDA DE URÂNIO (Bq/m²) SOBRE O SOLO PARA CADA DISTÂNCIA (M) RADIAL POR DIREÇÃO SETORIAL - Pior Cenário Operacional

Setor	Direção	100	200	300	400	500
S	270,0	1,544E+00	1,001E+00	7,417E-01	5,641E-01	4,285E-01
SSW	247,5	4,216E+00	2,802E+00	2,067E+00	1,573E+00	1,196E+00
SW	225,0	6,265E+00	4,295E+00	3,148E+00	2,396E+00	1,825E+00
WSW	202,5	2,419E+01	1,682E+01	1,227E+01	9,344E+00	7,127E+00
W	180,0	2,557E+01	1,773E+01	1,294E+01	9,857E+00	7,514E+00
WNW	157,5	2,083E+01	1,327E+01	1,047E+01	7,969E+00	6,070E+00
NW	135,0	7,625E+00	5,137E+00	1,275E+03	2,877E+00	2,188E+00
NNW	112,5	3,099E+00	2,104E+00	1,546E+00	1,176E+00	8,954E-01
N	90,0	1,189E+00	7,916E-01	5,840E-01	4,442E-01	3,377E-01
NNE	67,5	7,040E-01	4,735E-01	3,503E-01	2,665E-01	2,037E-01
NE	45,0	1,937E+00	1,312E+00	9,648E-01	7,344E-01	3,956E+00
ENE	22,5	8,481E+00	5,796E+00	4,250E+00	3,235E+00	2,464E+00
E	0	1,730E+01	1,183E+01	8,675E+00	6,602E+00	5,029E+00
ESE	337,5	2,587E+01	1,719E+01	1,295E+01	9,647E+00	7,336E+00
SE	315,0	1,068E+01	6,887E+00	5,105E+00	3,883E+00	2,949E+00
SSE	292,5	4,084E+00	2,627E+00	1,948E+00	1,481E+00	1,125E+00

Setor	Direção	700	1000	1500	2000	2500
S	270,0	2,895E-01	1,903E-01	1,129E-01	7,432E-02	5,247E-02
SSW	247,5	8,108E-01	5,367E-01	3,228E-01	2,156E-01	1,544E-01
SW	225,0	1,244E+00	8,325E-01	5,121E-01	3,504E-01	2,573E-01
WSW	202,5	4,877E+00	3,287E+00	2,052E+00	1,426E+00	1,065E+00
W	180,0	5,138E+00	3,448E+00	6,187E+03	1,490E+00	1,109E+00
WNW	157,5	4,137E+00	1,089E+01	1,705E+00	1,166E+00	8,567E-01
NW	135,0	1,487E+00	9,883E-01	5,997E-01	4,041E-01	2,923E-01
NNW	112,5	6,088E-01	4,058E-01	2,475E-01	1,677E-01	1,220E-01
N	90,0	2,290E-01	1,517E-01	9,139E-02	2,172E+01	4,384E-02
NNE	67,5	1,379E-01	9,182E-02	5,591E-02	3,782E-02	2,738E-02
NE	45,0	3,830E-01	2,531E-01	1,542E-01	1,044E-01	7,584E-02
ENE	22,5	1,678E+00	1,121E+00	9,221E-01	6,286E-01	4,595E-01
E	,0	3,425E+00	2,290E+00	1,633E+00	1,117E+00	8,187E-01
ESE	337,5	4,971E+00	3,291E+00	1,979E+00	1,321E+00	9,458E-01
SE	315,0	1,991E+00	8,200E+03	7,744E-01	5,087E-01	3,584E-01
SSE	292,5	7,593E-01	4,983E-01	2,944E-01	1,930E-01	1,357E-01

Continua na página seguinte

Tabela 7.14 *Continuação*

Setor	Direção	3000	3500	4000	5000	5500
S	270,0	3,853E-02	2,946E-02	2,312E-02	1,519E-02	1,263E-02
SSW	247,5	1,150E-01	8,883E-02	7,043E-02	4,694E-02	3,920E-02
SW	225,0	1,964E-01	1,550E-01	1,245E-01	8,653E-02	7,332E-02
WSW	202,5	8,269E-01	6,633E-01	5,449E-01	3,873E-01	3,326E-01
W	180,0	8,573E-01	6,850E-01	5,608E-01	3,959E-01	3,388E-01
WNW	157,5	6,539E-01	5,165E-01	4,179E-01	2,886E-01	2,446E-01
NW	135,0	2,196E-01	1,711E-01	1,366E-01	9,210E-02	7,728E-02
NNW	112,5	9,218E-02	6,756E-02	5,790E-02	3,936E-02	3,314E-02
N	90,0	3,268E-02	2,528E-02	2,007E-02	1,339E-02	1,119E-02
NNE	67,5	2,071E-02	1,618E-02	1,296E-02	8,785E-03	7,386E-03
NE	45,0	5,724E-02	4,476E-02	3,587E-02	2,435E-02	2,048E-02
ENE	22,5	2,610E-01	2,054E-01	1,656E-01	1,137E-01	9,612E-02
E	,0	5,336E-01	4,200E-01	3,389E-01	2,328E-01	1,968E-01
ESE	337,5	7,039E-01	5,439E-01	4,311E-01	2,871E-01	2,397E-01
SE	315,0	2,628E-01	2,004E-01	1,572E-01	1,031E-01	8,566E-02
SSE	292,5	9,931E-02	7,567E-02	5,929E-02	3,883E-02	3,226E-02

Setor	Direção	6000	7000	8000	9000	10000
S	270,0	1,065E-02	7,843E-03	6,020E-03	4,786E-03	3,920E-03
SSW	247,5	3,314E-02	2,443E-02	1,867E-02	1,472E-02	1,192E-02
SW	225,0	6,277E-02	4,716E-02	3,644E-02	2,883E-02	2,326E-02
WSW	202,5	2,884E-01	2,219E-01	1,749E-01	1,406E-01	1,149E-01
W	180,0	2,929E-01	2,241E-01	1,756E-01	1,405E-01	1,144E-01
WNW	157,5	2,094E-01	1,575E-01	1,217E-01	9,628E-02	7,767E-02
NW	135,0	6,558E-02	4,857E-02	3,718E-02	2,926E-02	2,359E-02
NNW	112,5	2,820E-02	2,099E-02	1,610E-02	1,268E-02	1,021E-02
N	90,0	6,279E-03	4,665E-03	3,576E-03	2,814E-03	2,267E-03
NNE	67,5	1,742E-02	1,295E-02	9,932E-03	7,818E-03	6,299E-03
NE	45,0	8,211E-02	6,147E-02	4,736E-02	3,738E-02	3,012E-02
ENE	22,5	1,682E-01	1,260E-01	9,709E-02	7,664E-02	6,177E-02
E	0	1,682E-01	1,260E-01	9,709E-02	7,664E-02	6,177E-02
ESE	337,5	2,026E-01	1,494E-01	1,142E-01	9,002E-02	7,290E-02
SE	315,0	7,221E-02	5,322E-02	4,091E-02	3,259E-02	2,676E-02
SSE	292,5	2,719E-02	2,006E-02	1,544E-02	1,232E-02	1,014E-02

Em anexo encontram-se quatro mapas (MAP-000-04-06 a MAP-000-04-09) que ilustram em escala regional e local, os resultados da modelagem de dispersão e deposição para o pior cenário (Modelo DISPERSE), mostrando as isolinhas de deposição total e de concentrações médias devidas às emissões atmosféricas. Estes mapas refletem os resultados apresentados nas Figuras 7.6 a 7.8, plotados, respectivamente, na carta imagem da região (1:50.000) e na base topográfica do projeto (1:5.000).

7.1.2.2 Resultados do Modelo CAP88-PC para Dispersão - Cenário Operacional Normal

As tabelas apresentadas a seguir mostram os resultados, para o cenário operacional provável, do modelo de dispersão contido no pacote CAP88-PC, o qual simula valores bastante semelhantes aos do modelo DISPERSE anteriormente descrito, com metodologia praticamente idêntica e permite o cálculo de doses discutido adiante. São apresentadas a concentração de urânio (U-234, U-235 e U-238) no ar, a taxa de deposição seca, a taxa de deposição úmida e a taxa de deposição no solo. Conforme as simulações do CAP88-PC em anexo, os valores máximos foram obtidos a 500 metros WSW da FEC-II.

Tabela 7.15 CONCENTRAÇÃO NO AR (Bq/m³)

Vento	Distância (m)					
	100	500	1000	5000	10000	50000
N	2,79 E-08	1,05 E-07	8,69 E-08	1,44 E-08	5,65 E-09	4,77 E-10
NNW	8,69 E-08	3,22 E-07	2,65 E-07	4,35 E-08	1,69 E-08	1,44 E-09
NW	1,96 E-07	7,39 E-07	6,08 E-07	9,99 E-08	3,85 E-08	3,27 E-09
WNW	6,55 E-07	2,49 E-06	2,05 E-06	3,39 E-07	1,31 E-07	1,13 E-08
W	9,99 E-07	3,77 E-06	3,13 E-06	5,23 E-07	1,96 E-07	1,70 E-08
WSW	1,01 E-06	3,85 E-06	3,18 E-06	5,23 E-07	2,01 E-07	1,70 E-08
SW	2,00 E-07	7,43 E-07	6,12 E-07	1,61 E-07	3,92 E-08	3,35 E-09
SSW	9,58 E-08	3,62 E-07	2,96 E-07	4,81 E-08	1,88 E-08	1,61 E-09
S	3,00 E-08	1,13 E-07	9,16 E-08	1,52 E-08	5,70 E-09	4,82 E-10
SSE	7,43 E-08	2,83 E-07	2,35 E-07	3,89 E-08	1,48 E-08	1,26 E-09
SE	2,01 E-07	7,43 E-07	6,12 E-07	1,04 E-07	3,96 E-08	3,39 E-09
ESE	5,70 E-07	2,22 E-06	1,83 E-06	3,00 E-07	1,14 E-07	9,99 E-09
E	5,23 E-07	1,96 E-06	1,61 E-06	2,70 E-07	1,04 E-07	8,74 E-09
ENE	2,56 E-07	9,58 E-07	7,85 E-07	1,31 E-07	5,19 E-08	4,31 E-09
NE	5,24 E-08	2,00 E-07	1,65 E-07	2,70 E-08	1,04 E-08	8,74 E-10
NNE	1,87 E-08	6,97 E-08	5,66 E-08	9,58 E-09	3,66 E-09	3,13 E-10

Tabela 7.16 TAXA DE DEPOSIÇÃO SECA
(Bq/cm²/s)

Vento	Distância (m)					
	100	500	1000	5000	10000	50000
N	4,82 E-15	1,87 E-14	1,53 E-14	2,57 E-15	9,99 E-16	8,28 E-17
NNW	1,53 E-14	5,70 E-14	4,77 E-14	7,85 E-15	3,05 E-15	2,61 E-16
NW	3,50 E-14	1,31 E-13	1,09 E-13	1,79 E-14	6,96 E-15	6,07 E-16
WNW	1,18 E-13	4,39 E-13	3,69 E-13	6,12 E-14	2,35 E-14	2,01 E-15
W	1,83 E-13	6,96 E-13	5,65 E-13	9,16 E-14	3,09 E-13	3,05 E-15
WSW	1,83 E-13	6,96 E-13	5,66 E-13	9,58 E-14	3,62 E-14	3,09 E-15
SW	3,58 E-14	1,35 E-13	1,09 E-13	1,83 E-14	6,97 E-15	6,08 E-16
SSW	1,74 E-14	6,54 E-14	5,24 E-14	8,74 E-15	3,39 E-15	2,92 E-16
S	5,24 E-15	2,01 E-14	1,65 E-14	2,74 E-15	1,05 E-15	9,11 E-17
SSE	1,35 E-14	5,23 E-14	4,23 E-14	6,96 E-15	2,66 E-15	2,27 E-16
SE	3,61 E-14	1,35 E-13	1,13 E-13	1,87 E-14	7,01 E-15	6,08 E-16
ESE	1,05 E-13	3,96 E-13	3,27 E-13	5,24 E-14	2,09 E-14	1,78 E-15
E	9,58 E-14	3,54 E-13	2,92 E-13	4,81 E-14	1,87 E-14	1,57 E-15
ENE	4,77 E-14	1,74 E-13	1,44 E-13	2,35 E-14	9,12 E-15	7,81 E-16
NE	9,58 E-15	3,58 E-14	2,96 E-14	4,81 E-15	1,87 E-15	1,61 E-16
NNE	3,35 E-15	1,26 E-14	1,04 E-14	1,74 E-15	6,54 E-16	5,65 E-17

Tabela 7.17 TAXA DE DEPOSIÇÃO ÚMIDA
(Bq/cm²/s)

Vento	Distância (m)					
	100	500	1000	5000	10000	50000
N	1,57 E-13	3,09 E-14	1,53 E-14	2,87 E-15	1,31 E-1	1,65 E-16
NNW	4,81 E-13	9,58 E-14	4,77 E-14	8,74 E-15	4,08 E-15	5,19 E-16
NW	1,09 E-12	2,18 E-13	1,09 E-13	2,00 E-14	9,16 E-15	1,17 E-15
WNW	3,73 E-12	7,43 E-13	3,69 E-13	6,96 E-14	3,18 E-14	3,93 E-15
W	5,66 E-12	1,13 E-12	5,65 E-13	1,05 E-13	4,81 E-14	6,08 E-15
WSW	5,66 E-12	1,14 E-12	5,66 E-13	1,05 E-13	4,81 E-14	6,08 E-15
SW	1,13 E-12	2,22 E-13	1,09 E-13	2,05 E-14	9,58 E-15	1,18 E-15
SSW	5,24 E-13	1,09 E-13	5,24 E-14	9,99 E-15	4,77 E-15	5,66 E-16
S	1,66 E-13	3,35 E-14	1,65 E-14	3,09 E-15	1,44 E-15	1,74 E-16
SSE	4,27 E-13	8,32 E-14	4,23 E-14	7,85 E-15	3,61 E-15	4,39 E-16
SE	1,13 E-12	2,26 E-13	1,13 E-13	2,09 E-14	9,58 E-15	1,18 E-15
ESE	3,31 E-12	6,54 E-13	3,27 E-13	6,08 E-14	2,79 E-14	3,50 E-15
E	2,96 E-12	5,70 E-13	2,92 E-13	5,24 E-14	2,49 E-14	3,09 E-15
ENE	1,44 E-12	2,87 E-13	1,44 E-13	2,65 E-14	1,22 E-14	1,52 E-15
NE	2,96 E-13	6,08 E-14	2,96 E-14	5,65 E-15	2,53 E-15	3,13 E-16
NNE	1,05 E-13	2,09 E-14	1,04 E-14	1,92 E-15	8,74 E-16	1,09 E-16

Tabela 7.18 TAXA DE DEPOSIÇÃO NO SOLO (Bq/cm²/s)

Vento	Distância (m)					
	100	500	1000	5000	10000	50000
N	1,62 E-13	4,96 E-14	3,06 E-14	5,44 E-15	1,31 E-01	2,48 E-16
NNW	4,96 E-13	1,53 E-13	9,54 E-14	1,66 E-14	7,13 E-15	7,80 E-16
NW	1,13 E-12	3,49 E-13	2,18 E-13	3,79 E-14	1,61 E-14	1,78 E-15
WNW	3,85 E-12	1,18 E-12	7,38 E-13	1,31 E-13	5,53 E-14	5,94 E-15
W	5,84 E-12	1,83 E-12	1,13 E-12	1,97 E-13	3,57 E-13	9,13 E-15
WSW	5,84 E-12	1,84 E-12	1,13 E-12	2,01 E-13	8,43 E-14	9,17 E-15
SW	1,17 E-12	3,57 E-13	2,18 E-13	3,88 E-14	1,66 E-14	1,79 E-15
SSW	5,41 E-13	1,74 E-13	1,05 E-13	1,87 E-14	8,16 E-15	8,58 E-16
S	1,71 E-13	5,36 E-14	3,30 E-14	5,83 E-15	2,49 E-15	2,65 E-16
SSE	4,41 E-13	1,36 E-13	8,46 E-14	1,48 E-14	6,27 E-15	6,66 E-16
SE	1,17 E-12	3,61 E-13	2,26 E-13	3,96 E-14	1,66 E-14	1,79 E-15
ESE	3,42 E-12	1,05 E-12	6,54 E-13	1,13 E-13	4,88 E-14	5,28 E-15
E	3,06 E-12	9,24 E-13	5,84 E-13	1,01 E-13	4,36 E-14	4,66 E-15
ENE	1,49 E-12	4,61 E-13	2,88 E-13	5,00 E-14	2,13 E-14	2,30 E-15
NE	3,06 E-13	9,66 E-14	5,92 E-14	1,05 E-14	4,40 E-15	4,74 E-16
NNE	1,08 E-13	3,35 E-14	2,08 E-14	3,66 E-15	1,53 E-15	1,66 E-16

Os mapas MAP-000-04-011 e MAP-000-04-012 apresentados em anexo mostram os resultados da modelagem de dispersão e deposição para o cenário normal, mostrando as isolinhas de deposição total e de concentrações médias devidas às emissões atmosféricas, em escala 1:50.000.

7.1.2.3 Resultados do Modelo de Dispersão - Cenário de Alerta

As tabelas apresentadas a seguir apresentam os resultados, para o cenário de alerta, do modelo de dispersão contido no pacote CAP88-PC. São apresentadas a concentração de urânio (U-234, U-235 e U-238) no ar, a taxa de deposição seca, a taxa de deposição úmida e a taxa de deposição no solo.

Tabela 7.19 CONCENTRAÇÃO NO AR (Bq/m³)

Vento	Distância (m)					
	100	500	1000	5000	10000	50000
N	7,81 E-08	2,92 E-07	2,40 E-07	3,96 E-08	1,52 E-08	1,30 E-09
NNW	2,39 E-07	9,11 E-07	7,39 E-07	1,22 E-07	4,77 E-08	4,00 E-09
NW	5,24 E-07	2,05 E-06	1,69 E-06	2,79 E-07	1,08 E-07	9,16 E-09
WNW	1,87 E-06	6,96 E-06	5,66 E-06	9,58 E-07	3,66 E-07	3,13 E-08
W	2,79 E-06	1,05 E-05	8,70 E-06	1,44 E-06	5,65 E-07	4,77 E-08
WSW	2,87 E-06	1,09 E-05	8,74 E-06	1,48 E-06	5,65 E-07	4,81 E-08
SW	5,65 E-07	2,09 E-06	1,70 E-06	2,83 E-07	1,09 E-07	9,16 E-09
SSW	2,70 E-07	1,00 E-06	8,27 E-07	1,39 E-07	5,24 E-08	4,39 E-09
S	8,27 E-08	3,13 E-07	2,57 E-07	4,27 E-08	1,61 E-08	1,39 E-09
SSE	2,13 E-07	7,85 E-07	6,54 E-07	1,09 E-07	4,16 E-08	3,58 E-09
SE	5,65 E-07	2,13 E-06	1,74 E-06	2,87 E-07	1,09 E-07	9,58 E-09
ESE	1,65 E-06	6,12 E-06	5,19 E-06	8,31 E-07	3,22 E-07	2,75 E-08
E	1,48 E-06	5,65 E-06	4,39 E-06	7,43 E-07	2,87 E-07	2,48 E-09
ENE	7,01 E-07	2,70 E-06	2,22 E-06	3,66 E-07	1,18 E-07	1,21 E-09
NE	1,48 E-07	5,65 E-07	4,76 E-07	7,43 E-08	2,92 E-08	2,48 E-09
NNE	5,23 E-08	1,96 E-07	1,61 E-07	2,66 E-08	1,04 E-08	8,74 E-10

 Tabela 7.20 TAXA DE DEPOSIÇÃO SECA
(Bq/cm²/s)

Vento	Distância (m)					
	100	500	1000	5000	10000	50000
N	1,39 E-14	5,23 E-14	4,31 E-14	7,01 E-15	2,74 E-15	2,35 E-16
NNW	4,31 E-14	1,61 E-13	1,35 E-13	2,22 E-14	8,32 E-15	7,38 E-16
NW	9,62 E-14	3,69 E-13	3,05 E-13	5,19 E-14	1,92 E-14	1,65 E-15
WNW	3,35 E-13	1,26 E-12	1,04 E-12	1,70 E-13	6,54 E-14	5,65 E-15
W	5,19 E-13	1,92 E-12	1,57 E-12	2,61 E-13	9,99 E-14	8,69 E-15
WSW	5,23 E-13	1,92 E-12	1,61 E-12	2,65 E-13	1,00 E-13	8,70 E-15
SW	9,99 E-14	3,73 E-13	3,09 E-13	5,23 E-14	1,96 E-14	1,69 E-15
SSW	4,81 E-14	1,83 E-13	1,48 E-13	2,48 E-14	9,58 E-15	8,27 E-16
S	1,49 E-14	5,65 E-14	4,77 E-14	1,55 E-14	2,92 E-15	2,52 E-16
SSE	3,81 E-14	1,44 E-13	1,18 E-13	1,96 E-14	7,43 E-15	6,50 E-16
SE	1,00 E-13	3,81 E-13	3,13 E-13	5,23 E-14	2,00 E-14	1,70 E-15
ESE	2,96 E-13	1,13 E-12	9,16 E-13	1,52 E-13	5,70 E-14	4,81 E-15
E	2,61 E-13	9,99 E-13	8,27 E-13	1,35 E-13	5,23 E-14	4,35 E-15
ENE	1,26 E-13	4,70 E-13	3,96 E-13	2,52 E-14	2,53 E-14	2,17 E-15
NE	2,66 E-14	9,99 E-14	8,27 E-14	1,35 E-14	5,23 E-15	4,39 E-16
NNE	9,16 E-15	3,54 E-14	2,91 E-14	4,81 E-15	1,83 E-15	1,57 E-16

Tabela 7.21 TAXA DE DEPOSIÇÃO ÚMIDA
(Bq/cm²/s)

Vento	Distância (m)					
	100	500	1000	5000	10000	50000
N	4,35 E-13	8,69 E-14	4,31 E-14	7,85 E-15	3,69 E-15	4,77 E-16
NNW	1,35 E-12	2,70 E-13	1,35 E-13	2,48 E-14	1,13 E-14	1,43 E-15
NW	3,09 E-12	6,12 E-13	3,04 E-13	5,66 E-14	2,61 E-14	3,22 E-15
WNW	1,05 E-11	2,09 E-12	1,04 E-12	1,92 E-13	8,74 E-14	1,09 E-14
W	1,57 E-11	3,14 E-12	1,56 E-12	2,91 E-13	2,72 E-13	1,65 E-14
WSW	1,61 E-11	3,22 E-12	1,61 E-12	2,96 E-13	1,35 E-13	1,70 E-14
SW	3,13 E-12	6,12 E-13	3,09 E-13	5,66 E-14	2,65 E-14	3,31 E-15
SSW	1,52 E-12	3,00 E-13	1,48 E-13	2,79 E-14	1,30 E-14	1,61 E-15
S	4,77 E-13	9,16 E-14	4,76 E-14	8,69 E-15	3,96 E-15	4,81 E-16
SSE	1,18 E-12	2,35 E-13	1,18 E-13	2,18 E-14	8,92 E-15	1,26 E-15
SE	3,18 E-12	6,12 E-13	3,13 E-13	5,70 E-14	2,70 E-14	3,31 E-15
ESE	9,16 E-12	1,83 E-12	9,16 E-13	1,70 E-13	7,85 E-14	9,58 E-15
E	8,27 E-12	1,65 E-12	8,26 E-13	1,52 E-13	6,96 E-14	8,69 E-15
ENE	4,00 E-12	7,86 E-13	3,96 E-13	7,39 E-14	3,38 E-14	4,23 E-15
NE	8,27 E-13	1,65 E-13	8,27 E-14	1,52 E-14	6,97 E-15	8,73 E-16
NNE	2,92 E-13	5,70 E-14	2,92 E-14	5,24 E-15	2,48 E-15	3,09 E-16

Tabela 7.22 TAXA DE DEPOSIÇÃO NO SOLO (Bq/cm²/s)

Vento	Distância (m)					
	100	500	1000	5000	10000	50000
N	4,49 E-13	1,39 E-13	8,62 E-14	1,49 E-14	6,43 E-15	7,12 E-16
NNW	1,39 E-12	4,31 E-13	2,70 E-13	4,70 E-14	1,96 E-14	2,17 E-15
NW	3,19 E-12	9,81 E-13	6,09 E-13	1,09 E-13	4,53 E-14	4,87 E-15
WNW	1,08 E-11	3,35 E-12	2,08 E-12	3,62 E-13	1,53 E-13	1,66 E-14
W	1,62 E-11	5,06 E-12	3,13 E-12	5,52 E-13	3,72 E-13	2,52 E-14
WSW	1,66 E-11	5,14 E-12	3,22 E-12	5,61 E-13	2,35 E-13	2,57 E-14
SW	3,23 E-12	9,85 E-13	6,18 E-13	1,09 E-13	4,61 E-14	5,00 E-15
SSW	1,57 E-12	4,83 E-13	2,96 E-13	5,27 E-14	2,26 E-14	2,44 E-15
S	4,92 E-13	1,48 E-13	9,53 E-14	2,42 E-14	6,88 E-15	7,33 E-16
SSE	1,22 E-12	3,79 E-13	2,36 E-13	4,14 E-14	1,64 E-14	1,91 E-15
SE	3,28 E-12	9,93 E-13	6,26 E-13	1,09 E-13	4,70 E-14	5,01 E-15
ESE	9,46 E-12	2,96 E-12	1,83 E-12	3,22 E-13	1,36 E-13	1,44 E-14
E	8,53 E-12	2,65 E-12	1,65 E-12	2,87 E-13	1,22 E-13	1,30 E-14
ENE	4,13 E-12	1,26 E-12	7,92 E-13	9,91 E-14	5,91 E-14	6,40 E-15
NE	8,54 E-13	2,65 E-13	1,65 E-13	2,87 E-14	1,22 E-14	1,31 E-15
NNE	3,01 E-13	9,24 E-14	5,83 E-14	1,01 E-14	4,31 E-15	4,66 E-16

7.1.2.4 Resultados do Modelo de Dispersão - Pior Cenário

As tabelas apresentadas a seguir apresentam os resultados, para o pior cenário, do modelo de dispersão contido no pacote CAP88-PC. São apresentadas a concentração de urânio (U-234, U-235 e U-238) no ar, a taxa de deposição seca, a taxa de deposição úmida e a taxa de deposição no solo.

Tabela 7.23 CONCENTRAÇÃO NO AR (Bq/m³)

Vento	Distância (m)					
	100	500	1000	5000	10000	50000
N	5,65 E-07	2,09 E-06	1,70 E-06	2,83 E-07	1,09 E-07	9,16 E-09
NNW	1,70 E-06	6,50 E-06	5,24 E-06	8,74 E-07	3,35 E-07	2,87 E-08
NW	3,89 E-06	1,48 E-05	1,22 E-05	2,01 E-06	7,80 E-07	6,54 E-08
WNW	1,31 E-05	4,82 E-05	4,08 E-05	6,96 E-06	2,61 E-06	2,22 E-07
W	2,01 E-05	7,43 E-05	6,12 E-05	1,04 E-05	3,96 E-06	3,39 E-07
WSW	2,05 E-05	7,81 E-05	6,50 E-05	1,05 E-05	4,00 E-06	3,43 E-07
SW	3,96 E-06	1,48 E-05	1,22 E-05	2,05 E-06	7,85 E-07	6,55 E-08
SSW	1,92 E-06	7,38 E-06	6,08 E-06	9,99 E-07	3,77 E-07	3,22 E-08
S	6,08 E-07	2,22 E-06	1,83 E-06	3,05 E-07	1,17 E-07	9,99 E-09
SSE	3,68 E-05	5,66 E-06	4,77 E-06	7,81 E-07	2,96 E-07	2,53 E-08
SE	4,00 E-06	1,52 E-05	1,26 E-05	2,05 E-06	7,85 E-07	6,92 E-08
ESE	1,17 E-05	4,35 E-05	3,66 E-05	1,21 E-05	2,31 E-06	1,96 E-07
E	1,05 E-05	3,96 E-05	3,26 E-05	5,24 E-06	2,05 E-06	1,74 E-07
ENE	5,19 E-06	1,92 E-05	1,57 E-05	2,61 E-06	9,99 E-07	8,69 E-08
NE	1,05 E-06	3,96 E-06	3,27 E-06	5,24 E-07	2,09 E-07	1,78 E-08
NNE	3,70 E-07	1,39 E-06	1,17 E-06	1,92 E-07	7,39 E-08	6,12 E-09

Tabela 7.24 TAXA DE DEPOSIÇÃO SECA (Bq/cm²/s)

Vento	Distância (m)					
	100	500	1000	5000	10000	50000
N	9,99 E-14	3,73 E-13	3,09 E-13	5,23 E-14	1,96 E-14	1,69 E-15
NNW	3,09 E-13	1,17 E-12	9,58 E-13	1,57 E-13	6,08 E-14	5,23 E-15
NW	6,97 E-13	2,65 E-12	2,18 E-12	3,61 E-13	1,39 E-13	1,18 E-14
WNW	2,39 E-12	9,11 E-12	7,39 E-12	1,22 E-12	4,77 E-13	4,00 E-14
W	3,61 E-12	1,35 E-11	1,13 E-11	1,87 E-12	7,01 E-13	6,08 E-14
WSW	3,69 E-12	1,39 E-11	1,14 E-11	3,77 E-12	7,38 E-13	6,12 E-14
SW	7,01 E-13	2,70 E-12	2,22 E-12	3,66 E-13	1,39 E-13	1,21 E-14
SSW	3,46 E-13	1,30 E-12	1,08 E-12	3,58 E-13	6,96 E-14	5,70 E-15
S	1,09 E-13	4,00 E-13	3,31 E-13	5,65 E-14	2,09 E-14	1,79 E-15
SSE	2,74 E-13	1,04 E-12	8,28 E-13	1,39 E-13	5,24 E-14	4,76 E-15
SE	7,38 E-13	2,74 E-12	2,22 E-12	3,70 E-13	1,44 E-13	1,22 E-14
ESE	2,09 E-12	7,85 E-12	6,54 E-12	1,09 E-12	4,16 E-13	3,58 E-14
E	1,88 E-12	6,97 E-12	1,17 E-11	9,58 E-13	3,69 E-13	3,18 E-14
ENE	9,16 E-13	3,43 E-12	2,83 E-12	4,77 E-13	1,83 E-13	2,10 E-14
NE	1,92 E-13	7,01 E-13	6,07 E-13	9,62 E-14	3,73 E-14	2,18 E-15
NNE	6,55 E-14	2,52 E-13	2,09 E-13	3,43 E-14	1,31 E-14	1,13 E-15

Tabela 7.25 TAXA DE DEPOSIÇÃO ÚMIDA (Bq/cm²/s)

Vento	Distância (m)					
	100	500	1000	5000	10000	50000
N	3,13 E-12	6,12 E-13	3,09 E-13	5,66 E-14	2,65 E-14	1,69 E-15
NNW	9,58 E-12	1,92 E-12	9,58 E-13	1,78 E-13	6,08 E-14	1,01 E-14
NW	2,18 E-11	4,35 E-12	2,18 E-12	4,04 E-13	1,87 E-13	2,31 E-14
WNW	7,43 E-11	1,48 E-11	7,39 E-12	1,39 E-12	6,5 E-13	7,85 E-14
W	1,13 E-10	2,26 E-11	1,13 E-11	1,86 E-12	9,58 E-13	1,18 E-13
WSW	1,14 E-10	2,31 E-11	1,13 E-11	2,13 E-12	9,62 E-13	1,22 E-13
SW	2,22 E-11	4,35 E-12	2,22 E-12	4,12 E-13	1,91 E-13	2,35 E-14
SSW	1,09 E-11	2,17 E-12	1,08 E-12	2,00 E-13	9,16 E-14	3,92 E-15
S	3,35 E-12	6,55 E-13	3,31 E-13	6,12 E-14	2,83 E-14	3,54 E-15
SSE	8,69 E-12	1,70 E-12	8,28 E-13	1,57 E-13	7,38 E-14	9,11 E-15
SE	2,26 E-11	4,39 E-12	2,22 E-12	4,19 E-13	1,92 E-13	2,39 E-14
ESE	6,55 E-11	1,31 E-11	6,54 E-12	1,22 E-12	5,65 E-13	6,96 E-14
E	6,07 E-11	1,18 E-11	1,17 E-11	1,09 E-12	4,82 E-13	6,12 E-14
ENE	2,87 E-11	5,66 E-12	2,83 E-12	5,24 E-13	2,44 E-13	3,05 E-14
NE	6,08 E-12	1,18 E-12	6,07 E-13	1,09 E-13	5,19 E-14	6,12 E-15
NNE	2,09 E-12	4,19 E-12	2,09 E-13	3,89 E-13	1,78 E-14	2,22 E-15

 Tabela 7.26 TAXA DE DEPOSIÇÃO NO SOLO (Bq/cm²/s)

Vento	Distância (m)					
	100	500	1000	5000	10000	50000
N	3,23 E-12	9,85 E-13	6,18 E-13	1,09 E-13	4,61 E-14	3,38 E-15
NNW	9,89 E-12	3,09 E-12	1,92 E-12	3,35 E-13	1,22 E-13	1,53 E-14
NW	2,25 E-11	7,00 E-12	4,36 E-12	7,65 E-13	3,26 E-13	3,49 E-14
WNW	7,67 E-11	2,39 E-11	1,48 E-11	2,61 E-12	1,13 E-12	1,19 E-13
W	1,17 E-10	3,61 E-11	2,26 E-11	3,73 E-12	1,66 E-12	1,79 E-13
WSW	1,18 E-10	3,70 E-11	2,27 E-11	5,90 E-12	1,70 E-12	1,83 E-13
SW	2,29 E-11	7,05 E-12	4,44 E-12	7,78 E-13	3,30 E-13	3,56 E-14
SSW	1,12 E-11	3,47 E-12	2,16 E-12	5,58 E-13	1,61 E-13	9,62 E-15
S	3,46 E-12	1,06 E-12	6,62 E-13	1,18 E-13	4,92 E-14	5,33 E-15
SSE	8,96 E-12	2,74 E-12	1,66 E-12	2,96 E-13	1,26 E-13	1,39 E-14
SE	2,33 E-11	7,13 E-12	4,44 E-12	7,89 E-13	3,36 E-13	3,61 E-14
ESE	6,76 E-11	2,10 E-11	1,31 E-11	2,31 E-12	9,81 E-13	1,05 E-13
E	6,26 E-11	1,88 E-11	2,34 E-11	2,05 E-12	8,51 E-13	9,30 E-14
ENE	2,96 E-11	9,09 E-12	5,66 E-12	1,00 E-12	4,27 E-13	5,15 E-14
NE	6,27 E-12	1,88 E-12	1,21 E-12	2,05 E-13	8,92 E-14	8,30 E-15
NNE	2,16 E-12	4,44 E-12	4,18 E-13	4,23 E-13	3,09 E-14	3,35 E-15

7.1.3 Cálculo de Dose - CAP88-PC

O cálculo de doses efetivas foi feito com o código CAP88-PC, distribuído pelo ORNL - Oak Ridge National Laboratory e DOE - Department of Energy dos EUA. Trata-se de instrumento de uso obrigatório para o licenciamento ambiental de atividades nucleares nos EUA, por exigência da EPA - Environmental Protection Agency. As tabelas apresentadas neste capítulo apresentam os resultados em duas unidades diferentes uma vez que o CAP88-PC utiliza as unidades Ci (atividade) e rem (dose) do sistema Anglo-Saxão. Estas unidades são então convertidas para Bq (atividade) e Sv (dose), de acordo com o sistema internacional.

7.1.3.1 Pior Cenário

a) Considerações

Para a utilização do modelo CAP88-PC, as seguintes considerações foram feitas:

- Temperatura ambiente: 21°C
- Precipitação Anual: 156 cm/ano
- Altura de Mistura: 800 m
- Número de Chaminés: 1
- Altura da Chaminé: 35 m
- Diâmetro da Chaminé: 0,4 m
- Momento - Velocidade de Emissão da Pluma: 18 m/s
- Atividade: 1,0 Bq/m³
- Emissões de Radionuclídeos:
 - ◊ U-234: 1,80 E-02 Ci/ano (6,66 E+08 Bq/a)
 - ◊ U-235: 8,11 E-04 Ci/ano (3,00 E+07 Bq/a)
 - ◊ U-238: 2,37 E-03 Ci/ano (8,77 E+07 Bq/a)

- Dados de Consumo dos Produtos Agrícolas:

	<u>Vegetais</u>	<u>Leite</u>	<u>Carne</u>
◊ Fração Produzida na Área do Empreendimento	0,2	0,2	0,2
◊ Fração Produzida em Áreas Próximas:	0,8	0,8	0,8
◊ Fração Importada:	0	0	0

- Densidade de Gado para Corte: 50/km²
- Densidade de Gado Leiteiro: 20/km²
- Fração da área cultivada para plantação de vegetais: 0,05

Os resultados finais de dose obtidos através da simulação pelo CAP88-PC estão apoiados nos parâmetros apresentados no capítulo 4.4.6. (Tabelas 4.104 a 4.108).

b) Resultados

O valor de dose equivalente efetiva máxima obtida por este modelo é de 2,31 mrem/ano ou 0,0231 mSv/ano, valor este ainda inferior a 0,3 mSv/ano para o grupo crítico, conforme a Norma CNEN 3.01. Este valor de dose equivalente efetiva é obtido para um indivíduo localizado a 500 m na direção WSW, local de maior dose segundo a simulação do CAP88-

PC, que se alimenta exclusivamente de verduras, leite e carne localmente produzidos. A dose equivalente efetiva obtida por órgão pelo CAP88-PC está apresentada na Tabela 7.27 a seguir.

Tabela 7.27 DOSE EQUIVALENTE - Pior Cenário (1,0 Bq/m³)

Órgão	Dose Equivalente Efetiva (mrem/ano)	Dose Equivalente Efetiva (mSv/ano)
Gônadas	1,04 E-02	1,04 E-4
Tórax	1,29 E-02	1,29 E-04
Medula Óssea Eritropoética	1,36 E-01	1,36 E-03
Pulmão	1,81 E+01	1,81 E-01
Tiróide	9,90 E-03	9,90 E-05
Osso (Superfície)	2,05 E+00	2,05 E-02
Resto	1,80 E-01	1,80 E-03
Total Efetivo	2,31 E+00	2,31 E-02

Observa-se que o total efetivo não é igual a soma de cada órgão, uma vez que os valores individuais para cada órgão devem ser divididos pelo fator de ponderação correspondente, w_T .

Cada radionuclídeo liberado contribui à dose efetiva anual. A dose equivalente efetiva por radionuclídeo encontra-se resumida na Tabela 7.28 a seguir. Verifica-se que o ²³⁴U é o radionuclídeo mais relevante em termos de atividade, pois ele é responsável por mais de 85% da dose equivalente efetiva obtida.

Tabela 7.28 DOSE EQUIVALENTE EFETIVA POR RADIONUCLÍDEO - Pior Cenário

Radionuclídeo	Dose Individual (mrem/ano)	Dose Individual (mSv/ano)	Porcentagem (%)
U 234	1,99 E+00	1,99 E-02	86,1
U 235	8,74 E-02	8,74 E-04	3,8
U 238	2,33 E-01	2,33 E-03	10,1
Total	2,31 E+00	2,31 E-02	100,0

Os caminhos de exposição equivalente efetiva estão apresentados na Tabela 7.29 abaixo.

Tabela 7.29 VIAS DE EXPOSIÇÃO - Pior Cenário

Caminho	Dose Individual (mrem/ano)	Dose Individual (mSv/ano)	Porcentagem (%)
Ingestão	1,29 E-01	1,29 E-03	5,7
Inalação	2,17 E+00	2,17 E-02	94,0
Imersão	6,13 E-08	6,13 E-10	2,6 E-06
Superfície*	4,85 E-03	4,85 E-05	0,3
Total	2,31 E+00	2,31 E-02	100,0

* depositado na superfície

A Tabela 7.29 mostra que a inalação é o caminho de exposição mais importante, responsável por mais de 90% da dose equivalente obtida.

c) Conclusões

Os valor de dose obtido para este cenário (0,0231 mSv/ano) encontra-se 10 vezes abaixo do limite de 0,3 mSv/ano, imposto pela Norma CNEN-3.01 para o grupo crítico.

A Tabela 7.30 compara os limites impostos pela referida norma com os valores obtidos do cálculo de doses via CAP88-PC, apresentado na Tabela 7.27.

Tabela 7.30 COMPARAÇÃO ENTRE OS LIMITES DE DOSE IMPOSTOS PELA NORMA CNEN-3.01 E AS SIMULAÇÕES (mSv/ano)

	Norma CNEN 3.01 Individuo do Público	CAP88-PC Pior Cenário (1 Bq/m ³)
Dose equivalente efetiva total	1	2,31 E-02
Gônadas	4	1,04 E-4
Mama	6,7	1,29 E-04
Medula Óssea Eritropoética	8,3	1,36 E-03
Pulmão	8,3	1,81 E-01
Tireóide	33,3	9,90 E-05
Osso (Superfície)	33,3	2,05 E-02
Restante do corpo	16,7	1,80 E-03

Fonte: Diretrizes Básicas de Radioproteção / DNE-32 / CNEN-NE-3.01 / Julho 1988
Simulações CAP88-PC

A íntegra das simulações realizadas pelo CAP88-PC encontra-se em anexo.

Somando este valor à dose calculada para a FEC-I (considerada como background pois as populações já estariam expostas a este valor) – 1,40 E-04 mSv/ano -, obtém-se um valor de **2,32 E-02 mSv/ano**, inferior ao limite estabelecido pela norma.

7.1.3.2 Cenário de Alerta

a) Considerações

Para a utilização do modelo CAP88-PC, as seguintes considerações foram feitas:

- Temperatura ambiente: 21°C
- Precipitação Anual: 156 cm/ano
- Altura de Mistura: 800 m
- Número de Chaminés: 1
- Altura da Chaminé: 35 m
- Diâmetro da Chaminé: 0,4 m
- Momento - Velocidade de Emissão da Pluma: 18 m/s
- Atividade: 0,14 Bq/m³
- Emissões de Radionuclídeos:
 - ◊ U-234: 2,52 E-03 Ci/ano (9,32 E+07 Bq/ano)
 - ◊ U-235: 1,14 E-04 Ci/ano (4,22 E+06 Bq/ano)
 - ◊ U-238: 3,32 E-04 Ci/ano (1,23 E+07 Bq/ano)

- Dados de Consumo de Produtos Agrícolas:

	<u>Vegetais</u>	<u>Leite</u>	<u>Carne</u>
◊ Fração Produzida na Área do Empreendimento:	0,2	0,2	0,2
◊ Fração Produzida em Áreas Próximas:	0,8	0,8	0,8
◊ Fração Importada:	0	0	0

- Densidade de Gado para Corte: 50/km²
- Densidade de Gado Leiteiro: 20/km²
- Fração da área cultivada para plantação de vegetais: 0,05

Os dados gerais gerados pelo programa são novamente os mesmos apresentados nas Tabelas 4.104 a 4.108.

b) Resultados

O valor de dose equivalente efetiva obtida por este modelo é de 0,322 mrem/ano ou 0,00322 mSv/ano, valor este cerca de 100 vezes inferior aos 0,3 mSv/ano impostos pela norma CNEN 3.01 para o indivíduo crítico. Este valor de dose equivalente máxima efetiva também está, obviamente, associado a um indivíduo localizado a 500 m na direção WSW (local de maior dose conforme resultado do CAP88-PC). A Tabela 7.31 apresenta os valores de dose obtidos pelo CAP88-PC para cada órgão.

Tabela 7.31 DOSE EQUIVALENTE - Cenário de Alerta (0,14 Bq/m³)

Órgão	Dose Equivalente (mrem/ano)	Dose Equivalente (mSv/ano)
Gônadas	1,45 E-03	1,45 E-05
Tórax	1,80 E-03	1,80 E-05
Medula Óssea Eritropoética	1,91 E-02	1,91 E-04
Pulmão	2,53 E+00	2,53 E-02
Tiróide	1,38 E-03	1,38 E-05
Osso (Superfície)	2,87 E-01	2,87 E-03
Resto	2,52 E-02	2,52 E-04
Efetivo	3,22 E-01	3,22 E-03

A dose equivalente efetiva para cada radionuclídeo encontra-se resumida na Tabela 7.32 abaixo:

Tabela 7.32 DOSE EQUIVALENTE EFETIVA POR RADIONUCLÍDEO - Cenário de alerta

Radionuclídeo	Dose Individual (mrem/ano)	Dose Individual (mSv/ano)	Porcentagem (%)
U 234	2,78 E-01	2,78 E-03	86,2
U 235	1,22 E-02	1,22 E-04	3,7
U 238	3,26 E-02	3,26 E-04	10,1
Total	3,22 E-01	3,22 E-03	100,0

Os caminhos de exposição estão apresentados na Tabela 7.33 abaixo:

Tabela 7.33 VIAS DE EXPOSIÇÃO - Cenário de Alerta

Caminho	Dose Individual (mrem/ano)	Dose Individual (mSv/ano)	Porcentagem (%)
Ingestão	1,80 E-02	1,80 E-04	5,5
Inalação	3,04 E-01	3,04 E-03	94,3
Imersão	8,57 E-09	8,57 E-11	2,6 E-06
Superfície*	6,79 E-04	6,79 E-06	0,2
Total	3,22 E-01	3,22 E-03	100,0

* depositado na superfície

Observa-se que os mesmos resultados (em termos de porcentagem) obtidos nas Tabelas 7.32 e 7.33 foram também obtidos para as Tabelas 7.28 e 7.29, comprovando assim a importância do ²³⁴U para o cálculo de dose e da inalação como via crítica de exposição.

c) Conclusões

O valor de dose obtido para este cenário de alerta (0,00322 mSv/ano) encontra-se cerca de 100 vezes abaixo do limite imposto pela Norma CNEN-3.01 para o grupo crítico.

A Tabela 7.34 compara os demais limites impostos pela norma com os valores obtidos pela simulação, apresentados na Tabela 7.31.

Tabela 7.34 COMPARAÇÃO ENTRE OS LIMITES DE DOSE IMPOSTOS PELA NORMA CNEN-3.01 E AS SIMULAÇÕES (mSv/ano)

	Norma CNEN 3.01 Indivíduo do Público	CAP88-PC Cenário Int. (0,14 Bq/m ³)
Dose equivalente efetiva	1	3,22 E-03
Gônadas	4	1,45 E-05
Mama	6,7	1,80 E-05
Medula Óssea Eritropoética	8,3	1,91 E-04
Pulmão	8,3	2,53 E-02
Tireóide	33,3	1,38 E-05
Ossos (Superfície)	33,3	2,87 E-03
Restante do corpo	16,7	2,52 E-04

Fonte: Diretrizes Básicas de Radioproteção / DNE-32 / CNEN-NE-3.01 / Julho 1988
Simulações CAP88-PC

A íntegra das simulações realizadas pelo CAP88-PC encontra-se em anexo.

Somando este valor à dose calculada para a FEC-I (considerada como background pois as populações já estariam expostas a este valor) – 1,40 E-04 mSv/ano -, obtém-se um valor de **3,36 E-03 mSv/ano**, inferior ao limite estabelecido pela norma.

7.1.3.3 Cenário Operacional Normal

a) Considerações

Para a utilização do modelo CAP88-PC, as seguintes considerações foram feitas:

- Temperatura ambiente: 21°C
- Precipitação Anual: 156 cm/ano
- Altura de Mistura: 800 m
- Número de Chaminés: 1
- Altura da Chaminé: 35 m
- Diâmetro da Chaminé: 0,4 m
- Momento - Velocidade de Emissão da Pluma: 18 m/s
- Atividade: 0,05 Bq/m³
- Emissões de Radionuclídeos:
 - ◊ U-234: 9,00 E-04 Ci/ano (3,33 E+07 Bq/ano)
 - ◊ U-235: 4,06 E-05 Ci/ano (1,52 E+06 Bq/ano)
 - ◊ U-238: 1,19 E-04 Ci/ano (4,40 E+06 Bq/ano)

- Dados de Consumo de Produtos Agrícolas:

	<u>Vegetais</u>	<u>Leite</u>	<u>Carne</u>
◊ Fração Produzida na Área do Empreendimento:	0,2	0,2	0,2
◊ Fração Produzida em Áreas Próximas:	0,8	0,8	0,8
◊ Fração Importada:	0	0	0

- Densidade de Gado para Corte: 50/km²
- Densidade de Gado Leiteiro: 20/km²
- Fração da área cultivada para plantação de vegetais: 0,05

Os dados gerais gerados pelo programa são novamente os mesmos apresentados nas tabelas 4.104 a 4.108.

b) Resultados

O valor de dose equivalente efetiva máxima obtida por este modelo é de 0,115 mrem/ano ou 0,00115 mSv/ano, valor este cerca de 300 vezes menor do que os 0,3 mSv/ano impostos pela norma CNEN 3.01 para o indivíduo crítico. Este valor de dose equivalente máxima efetiva está associado a um indivíduo localizado a 500 m na direção WSW (resultado obtido pelo CAP88-PC). Os valores de dose por órgão encontram-se na Tabela 7.35.

Tabela 7.35 DOSE EQUIVALENTE - Cenário Operacional Normal (0,05 Bq/m³)

Órgão	Dose Equivalente (mrem/ano)	Dose Equivalente (mSv/ano)
Gônadas	5,19 E-04	5,19 E-06
Tórax	6,45 E-04	6,45 E-06
Medula Óssea Eritropoética	6,82 E-03	6,82 E-05
Pulmão	9,04 E-01	9,04 E-03
Tiróide	4,95 E-04	4,95 E-06
Osso (Superfície)	1,03 E-01	1,03 E-03
Resto	9,02 E-03	9,02 E-05
Efetivo	1,15 E-01	1,15 E-03

A dose equivalente efetiva para cada radionuclídeo encontra-se resumida na Tabela 7.36 a seguir.

Tabela 7.36 DOSE EQUIVALENTE EFETIVA POR RADIONUCLÍDEO - Cenário Operacional Normal

Radionuclídeo	Dose Individual (mrem/ano)	Dose Individual (mSv/ano)	Porcentagem (%)
U 234	9,93 E-02	9,93 E-04	86,2
U 235	4,37 E-03	4,37 E-05	3,7
U 238	1,17 E-02	1,17 E-04	10,1
Total	1,15 E-01	1,15 E-03	100,0

Verifica-se, comparando os valores da Tabela 7.36 com aqueles das Tabelas 7.28 e 7.32, que a porcentagem referente a cada radionuclídeo é praticamente a mesma, o que era de se esperar.

Os caminhos de exposição equivalente efetiva estão apresentados na Tabela 7.37 abaixo:

Tabela 7.37 VIAS DE EXPOSIÇÃO - Cenário Operacional Normal

Caminho	Dose Individual (mrem/ano)	Dose Individual (mSv/ano)	Porcentagem (%)
Ingestão	6,43 E-03	6,43 E-05	5,6
Inalação	1,09 E-01	1,09 E-03	94,2
Imersão	3,07 E-09	3,07 E-11	2,7 E-06
Superfície*	2,43 E-04	2,43 E-06	0,2
Total	1,15 E-01	1,15 E-03	100,0

* depositado na superfície

Assim como verificado anteriormente para as doses efetivas por radionuclídeo, as porcentagens referentes a cada caminho de exposição na Tabela 7.37 são iguais aquelas apresentadas nas Tabelas 7.29 e 7.33.

c) Conclusões

A dose equivalente máxima efetiva obtida neste cenário (0,00115 mSv/ano) encontra-se cerca de 300 vezes abaixo do limite imposto pela Norma CNEN-3.01 para o indivíduo crítico (0,3 mSv/ano). A Tabela 7.38 compara os demais limites impostos pela norma com os valores obtidos pela simulação, apresentados na Tabela 7.39.

Tabela 7.38 COMPARAÇÃO ENTRE OS LIMITES DE DOSE IMPOSTOS PELA NORMA CNEN-3.01 E AS SIMULAÇÕES (mSv/ano)

	Norma CNEN 3.01 Individuo do Público	CAP88-PC Cenário Oper. (0,05 Bq/m ³)
Dose equivalente efetiva	1	1,15 E-03
Gônadas	4	5,19 E-06
Mama	6,7	6,45 E-06
Medula Óssea Eritropoética	8,3	6,82 E-05
Pulmão	8,3	9,04 E-03
Tireóide	33,3	4,95 E-06
Osso (Superfície)	33,3	1,03 E-03
Restante do corpo	16,7	9,02 E-05

Fonte: Diretrizes Básicas de Radioproteção / DNE-32 / CNEN-NE-3.01 / Julho 1988 e Simulações CAP88-PC

A íntegra das simulações realizadas pelo CAP88-PC encontra-se em anexo.

Somando o valor final à dose calculada para a FEC-I (considerada como background pois as populações já estariam expostas a este valor) – 1,40 E-04 mSv/ano -, obtém-se um valor de **1,29 E-03 mSv/ano**, inferior ao limite estabelecido pela norma.

A Tabela 7.39 a seguir apresenta uma consolidação das tabelas 7.30, 7.34 e 7.38, comparando os três cenários com os limites de dose impostos pela Norma CNEN 3.01.

Tabela 7.39 COMPARAÇÃO ENTRE OS LIMITES DE DOSE IMPOSTOS PELA NORMA CNEN-3.01 E AS SIMULAÇÕES (mSv/ano)

	Público	Pior Cenário (1,0 Bq/m ³)	Cenário Intermed. (0,14 Bq/m ³)	Cenário Operacional Provável (0,05 Bq/m ³)
Dose equivalente efetiva	1	2,31 E-02	3,22 E-03	1,15 E-03
Gônadas	4	1,04 E-4	1,45 E-05	5,19 E-06
Mama	6,7	1,29 E-04	1,80 E-05	6,45 E-06
Medula Óssea Eritropoética	8,3	1,36 E-03	1,91 E-04	6,82 E-05
Pulmão	8,3	1,81 E-01	2,53 E-02	9,04 E-03
Tireóide	33,3	9,90 E-05	1,38 E-05	4,95 E-06
Osso (Superfície)	33,3	2,05 E-02	2,87 E-03	1,03 E-03
Restante do corpo	16,7	1,80 E-03	2,52 E-04	9,02 E-05

Fonte: Diretrizes Básicas de Radioproteção / DNE-32 / CNEN-NE-3.01 / Julho 1988 e Simulações CAP88-PC

A Tabela 7.39 mostra que os valores obtidos para os três cenários de avaliação considerados são inferiores ao limite de dose imposto pela Norma CNEN-3.01. Mesmo no pior cenário operacional prevê-se uma dose cerca de 13 vezes inferior ao limite imposto pela norma.

7.2 EFLUENTES LÍQUIDOS

7.2.1 Considerações Gerais

O lançamento de elementos radioativos no meio ambiente, através de efluentes líquidos, pode causar danos ao homem, através de várias e complexas vias, “Vias de Exposição”, abrangendo processos geo e bioquímicos, conforme já discutido no capítulo anterior. A Figura 7.20 adiante apresenta os aspectos principais da via de exposição aquática, que culmina com a ingestão de água e organismos aquáticos pelo homem.

Os radionuclídeos descartados em efluentes líquidos resultam na exposição externa e interna de organismos aquáticos (primários) e biotas que se alimentam destes organismos (secundários). A exposição externa de organismos aquáticos pode resultar da presença de radionuclídeos na água e em sedimentos. A exposição interna de organismos aquáticos resulta da acumulação de radionuclídeos, a qual é indicada pelo fator de concentração ou bioacumulação.

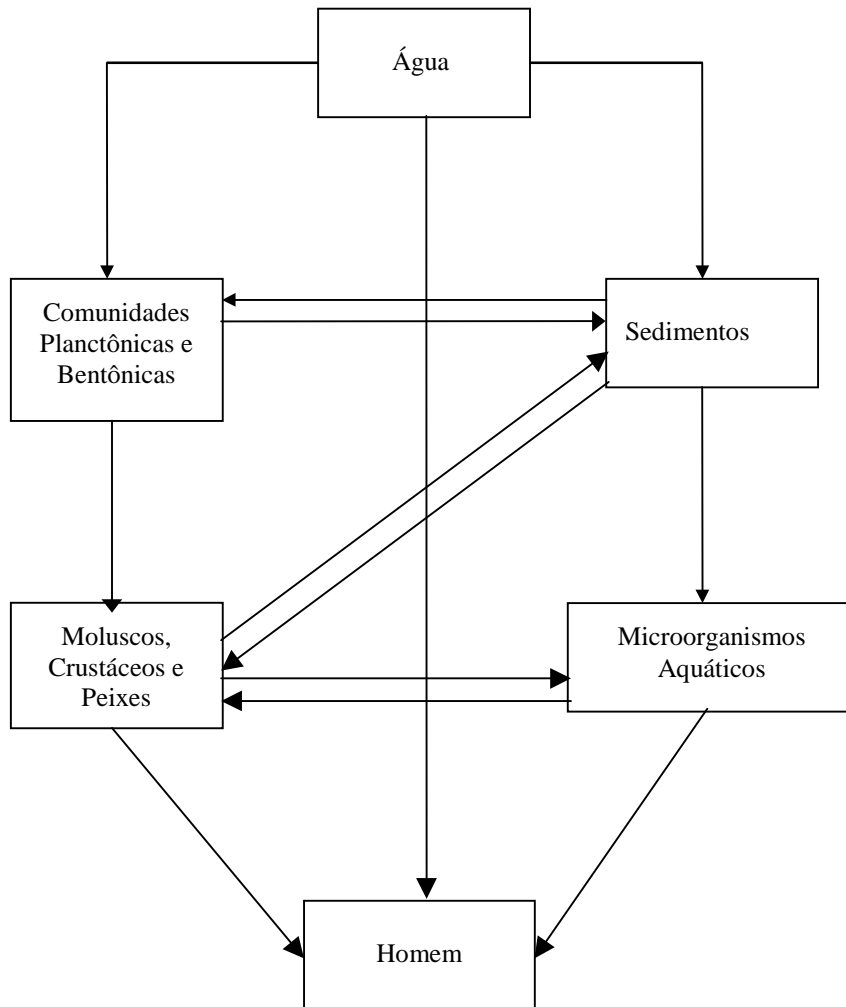
O grau de concentração pode ser significativamente influenciado por muitos fatores, incluindo as concentrações de elementos estáveis na água. No caso de plantas aquáticas, a absorção dos nutrientes e consequentemente de substâncias nocivas, ocorre exclusivamente através das folhas. A absorção dos nuclídeos pelos peixes pode ocorrer de diversas maneiras, a saber:

- por assimilação direta; e
- por ingestão de plantas aquáticas, peixes pequenos e outros inferiores tais como: larvas, lesmas e crustáceos.

Para o homem, a radiação ionizante proveniente de efluentes líquidos pode atingi-lo das seguintes formas:

- exposição externa: natação, viagens de embarcação e permanência perto das margens de corpos d’água contendo radionuclídeos;
- exposição interna por ingestão: bebendo-se água proveniente dos cursos receptores dos efluentes, alimentando-se de peixes, invertebrados e plantas aquáticas da região de lançamento.

Figura 7.20 VIAS AQUÁTICAS DA EXPOSIÇÃO HUMANA POR NGESTÃO



7.2.2 Termo-Fonte

Os efluentes líquidos que serão efetivamente lançados no Rio Paraíba do Sul, através do córrego Água Branca, podem ser separados em duas fontes: as águas residuais inativas são lançadas numa vazão de 40 m³/semana e as águas normais de drenagem são lançadas numa vazão de 140 m³/semana. As águas residuais inativas contém, após prévio tratamento e polimento final em lagoa impermeabilizada dotada de sistema de monitoramento a ser acionado antes de cada liberação, valores de urânio oriundo do sistema de produção de pó e pastilhas de UO₂ inferiores a 0,5 ppm. As águas normais de drenagem contém valores de urânio natural inferiores a 0,02 ppm.

Tabela 7.40 QUANTIFICAÇÃO DOS EFLUENTES LÍQUIDOS

Composto/Atividade	Volume Anual	Quantidade Anual	Atividade
Águas Residuais Inativas	2.080 m ³	1.040 g	* 1,12 E+08 Bq
Águas Normais de Drenagem	7.280 m ³	145,6 g	** 1,81 E+06 Bq
Total	9.360 m ³	1.185,6 g	1,14 E+08 Bq

* Atividade correspondente a 5,32E+04 Bq/m³ (Fonte: INB)

** Atividade do urânio natural correspondente a 1,24E+04 Bq/g (Fonte: Handbook of Radioactive Nuclides)

Pode-se dizer que o efluente líquido final lançado no Rio Paraíba do Sul, através do córrego Água Branca, tem um teor de urânio inferior a 0,13 ppm, de acordo com os dados apresentados na Tabela 7.40 acima.

Deve-se comentar que, naturalmente, as águas pluviais das vertentes das rochas alcalinas da Serra de Itatiaia contribuem para esse trecho do Paraíba, anualmente, com quantidades de elementos radioativos mais elevadas, a saber:

- Análise das Rochas:

$$U = 34 \text{ ppm (Fonte: BIDONE et al., 1984)}$$

- Concentração das Águas Pluviais de Percolação:

$$U = 9 \text{ E-05 ppm (Lixiviação Natural)}$$

- Taxa de Contribuição:

$$V = 0,15 \text{ m}^3/\text{ano}/\text{m}^2 \text{ de área}$$

- Área de Contribuição da Serra (somente porção de rochas alcalinas mais próximas)

$$S = 265 \text{ km}^2$$

- Quantidade Anual de Urânio:

$$m = (2,65 \text{ E+08}).(0,15).(9 \text{ E-05})/1000$$

$m = 3,61 \text{ kg}$

7.3 AVALIAÇÃO DE POSSÍVEIS IMPACTOS NOS CORPOS HÍDRICOS

7.3.1 Avaliação de Possíveis Impactos na Represa do Funil

Este capítulo busca considerar a questão da possível contaminação da Represa do Funil, corpo aquático artificial de grande importância ecológica - filtro e lagoa de decantação "natural" de poluentes vindos de São Paulo - e sócio-econômica (geração de energia elétrica e lazer).

7.3.1.1 Introdução

O urânio liberado pela FEC-II pode chegar ao reservatório do Funil basicamente de três modos: precipitação, deposição seca ou deposição úmida do particulado diretamente no corpo d'água, despejo direto de efluente líquido da fábrica - lembrando-se que esta possibilidade só existe no caso de acidente extremamente improvável no transporte de cilindros de UF_6 ¹ já que os efluentes líquidos serão lançados, após controle numa lagoa de polimento final impermeabilizada, no córrego Água Branca, com subsequente chegada ao Paraíba do Sul antes de Nhangapi - e arraste pela chuva do urânio precipitado sobre o solo. Estes três modos terão seus processos explicados e quantificados a seguir.

7.3.1.2 Contaminação do Meio Terrestre

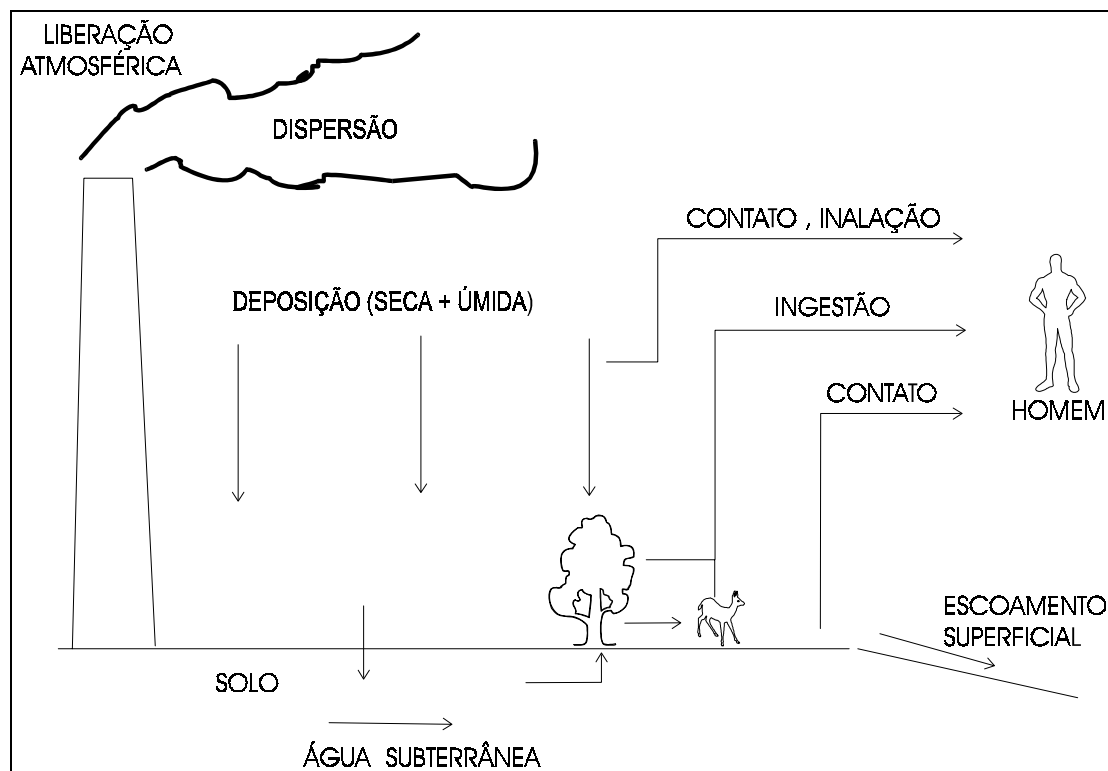
Na deposição do material radioativo sobre a superfície terrestre, parte do material radioativo é imediatamente interceptada pelos vegetais, enquanto a outra vai para o solo. Uma parcela do material depositado no solo volta aos vegetais através de processos de incorporação pela raiz e 'rain-splash'. Existem também outros tipos de perdas na superfície terrestre, tais como: a lixiviação e arraste das camadas superficiais do solo, infiltração para camadas mais profundas, a ressuspensão (scavenging), além do próprio decaimento radioativo. A Figura 7.21 apresenta um esquema deste processo.

As vias de exposição do homem, a partir da liberação de material radioativo na atmosfera e deposição no solo, são classificadas em externas e internas. Nas primeiras incluem-se o contato desse material com a pele, através do ar ou pelos sedimentos colocados em suspensão. A via interna inclui a inalação e a ingestão de alimentos contaminados, como vegetais ou animais.

As taxas de deposição seca e úmida foram calculadas no item 7.1.2.4 o cenário operacional predominante. Integrando-se estas taxas por uma área de 10 quilômetros de raio, com centro na chaminé, obtém-se uma deposição total de urânio sobre o solo de 24,12 g U/ano. É importante ressaltar que este valor depositado é um valor conservativo uma vez que a taxa de emissão dos gases de saída no cenário operacional predominante é inferior a 0,05 Bq/m³, valor considerado para o cálculo de dose pelo CAP88-PC.

¹ Sequer considerado crível e estudado na análise de riscos apresentada no capítulo 5 anterior.

Figura 7.21 ESQUEMA DE CONTAMINAÇÃO VIA DEPOSIÇÃO



7.3.1.3 Contaminação do Meio Aquático

No meio aquático a contaminação pode ter como fontes:

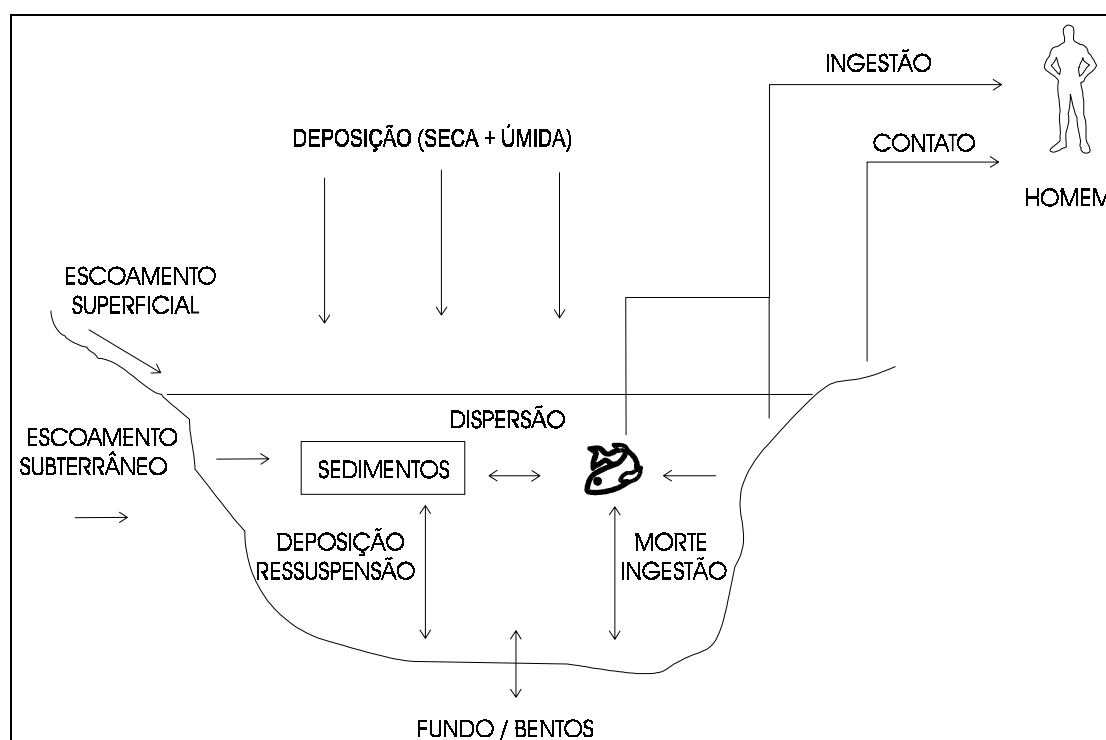
- a deposição atmosférica direta (seca e úmida);
- o escoamento superficial sobre o solo contaminado (run-off) e erosão do solo; e
- descarga direta de águas contaminadas (não aplicável estudo em questão)

Os corpos aquáticos receptores podem ser rios, lagos, estuários ou mar, nos quais ocorrem os processos de dissolução, precipitação e transporte no meio líquido, que dependem do radionuclídeo considerado. Através da irrigação, a contaminação pode voltar ao solo, e deste modo também pode-se contaminar o ar; é por isso que ar, água e solo são considerados meios primários, onde a contaminação de um deles pode levar à contaminação dos demais. Geralmente as deposições no solo são as mais relevantes numa avaliação de impacto, pois além do homem viver neste ambiente, é dele que provém a maior parte de seu alimento.

A mistura física do poluente no meio aquático depende de diversos fatores como: profundidade, tipo de fundo, configuração dos contornos do corpo d'água, marés, vento, temperatura, profundidade na qual o poluente é introduzido no meio aquático, etc. Cada córrego, rio, lago, baía, estuário, mar e oceano, possui suas características próprias de mistura, que variam no espaço e ao longo do tempo. Por isso os processos de mistura ainda não são completamente compreendidos pela ciência.

No meio aquático ainda há uma complicação adicional, visto que existem outros processos físicos e biológicos que interferem no destino do poluente. Sendo o poluente composto por sólidos em suspensão, estes podem se depositar no fundo, ser filtrados por certos organismos ou aderir às plantas. Poluentes em solução podem se associar a sólidos orgânicos e inorgânicos em suspensão ou podem ser assimilados por plantas e animais. Os sólidos suspensos, os organismos mortos ou seus excrementos se depositam no fundo, se tornando parte do substrato orgânico que alimenta os bentos. Estes processos estão esquematizados na Figura 7.22.

Figura 7.22 PROCESSOS DE CONTAMINAÇÃO - MEIO AQUÁTICO



Assim como na contaminação do meio terrestre, as vias de exposição do homem a partir da contaminação da água também se dividem em internas e externas. As vias internas abrangem a ingestão direta da água contaminada; de animais contaminados via ingestão de água, como os peixes, ou a ingestão de produtos derivados desses animais em particular; ingestão de alimentos vegetais irrigados com água contaminada; etc. As vias externas de contaminação incluem a natação; pesca; contato com sedimentos de fundo ou que margeiam o corpo d'água. A quantificação da contaminação do homem pela ingestão de animais no meio aquático, onde tem-se a bioacumulação, é bastante complexa, existindo diversos níveis tróficos na cadeia alimentar, desde algas a predadores. Além disso, diversas espécies possuem grande mobilidade, podendo chegar a grandes distâncias da fonte.

1) Taxa de Deposição Sobre o Espelho d'água

A taxa de deposição total é calculada integrando-se as taxas de deposição seca e úmida, considerando-se o espelho d'água da represa do Funil. O resultado desta operação é de 0,036 gU/ano para todo o reservatório. O espelho d'água dos córregos da região não foi levado em

consideração, isto porque estes córregos apresentam uma área de superfície de algumas ordens de grandeza inferior ao espelho d'água do reservatório do Funil.

2) Contribuição Devido ao Escoamento Superficial Sobre o Solo

A chuva, ao cair sobre o solo, possui uma parcela que escoar sobre o solo e outra parcela que infiltra. Esta parcela que escoar superficialmente vem descarregar sua água diretamente nos corpos d'água, levando assim parte da radioatividade que se encontra no solo. O cálculo da contribuição de urânio para a represa do Funil será feito pela multiplicação da quantidade de urânio que cai no solo pelo coeficiente de run-off (relação entre o volume escoado superficial e infiltrado). A região entorno da FEC-II é formada basicamente por campos e pastagens e para este tipo de cobertura do solo utiliza-se um coeficiente médio de run-off de 0,20. Desta forma a contribuição devido ao escoamento superficial é de 4,82 gU/ano (0,20 x 24,12 gU/ano).

3) Contribuição Devido ao Lançamento de Efluente Líquido da FEC-II

Devido ao seu processo normal de operação, a fábrica de elementos combustíveis lança um efluente líquido contaminado de urânio. Este efluente tem uma vazão de 180 m³/semana e uma concentração de urânio de 0,13 ppm, correspondendo a um lançamento de 1.185,6 gU/ano, a ser lançado na lagoa de polimento, para controle final e monitoramento biológico antes do descarte no córrego Água Branca

7.3.1.4 Modelagem da Contaminação

Uma vez chegando ao ambiente aquático o material radioativo se distribui em três fases: diluído na própria massa d'água; nos sólidos em suspensão e nos sedimentos de fundo; há ainda a parcela que é ingerida diretamente pelos organismos presentes neste meio. Geralmente despreza-se essa última porção, pois a maioria dos estudos indica que a predominância da atividade encontra-se na água, nos sedimentos e nas algas móveis (SERDYUK et all, 1993).

O comportamento do material radioativo no meio aquático deve ser focado de distintas maneiras, conforme o corpo d'água no qual ele se encontra: rio, lago, estuário ou mar. Um rio, por exemplo, se caracteriza pelo escoamento unidirecional, onde a velocidade do escoamento (advecção) é a maior governante do processo de transporte do material.

Um modelo simplificado para a determinação das concentrações ao longo do curso de um rio, considera valores médios anuais. Além da taxa de introdução do radionuclídeo e sua constante de decaimento, a formulação é dependente da vazão e velocidade do rio e um fator de diluição.

Em estuários, que são corpos d'água intermediários entre rio e mar, a variação de salinidade entre a zona mais próxima ao rio até a embocadura com o mar, exerce grande influência na concentração de radionuclídeos, tanto na biota quanto nos sedimentos. Estuários bem misturados, onde há forte influência da entrada e saída de maré, favorecem o aumento da concentração de sedimentos em suspensão, o que possibilita a retirada de radionuclídeos da massa d'água. A quantidade de sedimentos presentes nesses corpos d'água é expressiva pois esses recebem sedimentos trazidos tanto pelo rio quanto pelo mar.

Um modelo bem simplificado para determinação de concentrações de radionuclídeos em estuários, assume uma completa mistura dentro de um certo volume fechado de água, que compreende as margens, o fundo e uma dada extensão longitudinal. Este volume se movimenta para montante e jusante do estuário em decorrência do movimento das marés. Fatores que determinam a concentração do poluente são a sua taxa de entrada, a diluição no volume, a entrada de água doce e a remoção de radionuclídeos exercida pelos sedimentos.

Nos mares costeiros, a formulação simplificada para determinação da concentração de radionuclídeos é similar à desenvolvida para estuários, onde se assume uma completa mistura dentro do volume arbitrado. Geralmente a quantidade de sedimentos presentes nesse corpo d'água é menor que em estuários, residindo aí a grande diferença: a remoção de radionuclídeos da massa d'água para os sedimentos. Deve-se lembrar contudo, que em locais cuja influência da maré é muito grande, ou em águas rasas muito próximas da costa, como em praias submetidas à ação de ondas, as condições para presença de sedimentos em suspensão são bastante favoráveis, acarretando uma considerável depleção de atividade na água.

Em lagos ou reservatórios como Funil, diferente do ocorre em rios, a componente difusiva possui maior importância que a advectiva, visto a ocorrência de velocidades extremamente baixas ou até nulas. A represa do funil é considerada um lago, cuja modelação da concentração de material radioativo é função do tempo de residência do radionuclídeo neste corpo d'água, a presença de sedimentos em suspensão e sua taxa de sedimentação, o aporte e saída de água na represa, além do tipo de radionuclídeo considerado.

1) Remoção de Radionuclídeos pelos Sedimentos

Em geral os sedimentos representam importante meio integrador de poluentes retirados da coluna d'água mediante decantação natural. Por outro lado, também podem funcionar como fonte de poluição para a água, caso haja a ressuspensão de fundo, em decorrência de um aumento da turbulência, ou quando a concentração de poluente na coluna d'água é reduzida em comparação com a concentração presente no fundo.

A granulometria dos sedimentos e sua distribuição afetam a distribuição e concentração de vários poluentes. Usualmente os poluentes e nutrientes são incorporados aos sedimentos mais finos, como silte e argila, ao passo que sedimentos mais grossos, contendo grande parcela de quartzo, possuem efeito de diluição.

O processo de transferência de poluentes da água para os sedimentos é complexo, e inclui, dentre alguns fatores, a 'limpeza' promovida pelo ciclo suspensão - sedimentação de fundo - ressuspensão, que possibilita o contato entre as fases líquida e sólida; e o contato entre a água e o material de fundo. Uma simplificação consiste em considerar somente o primeiro processo, e o fator de redução F da concentração do radionuclídeo na água é dado pela seguinte fórmula:

$$F = \frac{1}{1 + K_d S}$$

Equação 7.7 Fator de Redução da Concentração do Radionuclídeo

onde K_d é o fator de distribuição, que para o estado de equilíbrio permanente é a relação entre as concentrações do radionuclídeo nos sedimentos e na água; K_d é característico de cada radionuclídeo e para o urânio em água assume o valor de 500 (SAFETY SERIES n° 57). O parâmetro S é a concentração de sedimentos em suspensão, que para a represa do Funil, é muito variável de acordo com a época do ano; girando entre 10 e 200 mg/l para as estações secas e chuvosas respectivamente, assim será considerado um valor médio de 100 mg/l. Assim, obtém-se um valor de F igual a 0,952, ou seja, a concentração de urânio na água, propriamente dita, é de 95% e apenas 5% se agrupam aos sedimentos.

A remoção de radioatividade da coluna d'água pelos sedimentos de fundo é calculada usando-se um modelo descrito por CLARK e WEBB (1980). Neste, a remoção de radionuclídeos da solução é determinada por dois fatores principais: o fator de distribuição, K_d , e a taxa de sedimentação. O modelo assume que a radioatividade é distribuída uniformemente ao longo da coluna d'água.

A taxa de remoção de atividade da água pelos sedimentos, K_{ws} , é dada por:

$$K_{ws} = \frac{K_d q_s}{h_m (1 + K_d S)}$$

Equação 7.8 Taxa de Remoção de Atividade

onde q_s é a taxa de sedimentação e h_m é a profundidade média do lago. A taxa de sedimentação será dada pela divisão da carga de sólidos em suspensão acumulada no reservatório e a área do mesmo. A carga acumulada é de 260 kg/dia (FEEMA, 1988) e a área do reservatório é de 40 km². Assim, a taxa de remoção de atividade pelos sedimentos é de apenas 0,1%.

2) Concentração de Radionuclídeos na Água

A modelagem simplificada assume uma situação de equilíbrio na qual a entrada de material no sistema seria balanceada pela saída do mesmo. Essa situação de estado permanente é alcançada mais rapidamente para o caso de pequenos reservatórios. Assumindo uma completa mistura, tem-se a relação (IAEA, 1982):

$$C_{w,i} = \frac{\dot{Q}_i}{K_e V} (1 - K_{ws})$$

Equação 7.9 Concentração de Radionuclídeos na Água

onde $C_{w,i}$ é a concentração em estado permanente do radionuclídeo i na água (gU/m³), \dot{Q}_i a taxa de entrada do radionuclídeo (gU/ano), V o volume do lago e K_e constante de remoção efetiva, dada por:

$$K_e = \lambda_i + \frac{r}{V}$$

Equação 7.10 Constante de Remoção Efetiva

onde λ_i é a constante de decaimento do radionuclídeo, r a taxa de entrada de água (m³/ano).

Foram calculadas as taxas médias anuais de entrada de urânio no reservatório do Funil, em decorrência do funcionamento da fábrica de elementos combustíveis. Essas estão divididas de acordo com as seguintes fontes:

- A deposição seca e úmida sobre a área do reservatório: 0,036 gU/ano
- O escoamento superficial que carrega parte do material depositado em terra: 4,82 gU/ano
- O despejo de efluente líquido da fábrica: 1.185,6 gU/ano (aqui considerado mas que não irá ocorrer, conforme já salientado)

Com o lançamento direto e indireto ao longo do ano de cerca de 1.190 g de urânio (cenário de operação normal), um volume médio represado de $890 \times 10^6 \text{ m}^3$, uma taxa de entrada de água $246 \text{ m}^3/\text{s}$ (média anual), sendo λ_i de $1,54 \text{ E-}10$ para o ^{238}U , obtém-se a concentração $C_{w,i}$ de $7,06 \text{ E-}05 \text{ gU/m}^3$, ou seja mais de duzentas vezes menos do que o limite de qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA 20/86 para urânio total em corpos de água doce, de 0,02 ppm, o que dispensaria a demonstração abaixo, na qual é calculada a dose efetiva para um indivíduo crítico - i.e. que vivesse junto à Represa e dela retirasse todo o seu sustento - a qual se encontra muito abaixo do limite de 0,3 mSv/ano da Norma CNEN 3.01.

7.3.2 Avaliação do Descarte no Sistema do Médio Paraíba do Sul

A baixa concentração de elementos radioativos (0,13 ppm no Cenário Normal), a pequena quantidade (1.185,6 g/ano), a atividade anual da ordem de $1,14 \text{ E+}08 \text{ Bq}$ e a reduzida vazão volumétrica do efluente ($180 \text{ m}^3/\text{semana}$) não justificam a elaboração de sofisticados modelos de dispersão em meio aquoso para demonstrar o risco virtualmente insignificante do efluente.

Adotando um modelo simplificado, que considera uma mistura homogênea de radionuclídeos no rio Paraíba do Sul, que será o receptor final do efluente, é a seguir determinada a concentração máxima, que ocorreria no ponto de lançamento, a saber:

$$C = \frac{C_o \times V_o}{V + V_o}$$

Equação 7.11 Concentração no Ponto de Lançamento

- C: atividade no ponto de lançamento em Bq/m^3
 Co: atividade do efluente = $1,22 \text{ E+}04 \text{ Bq/m}^3$
 Vo: vazão do efluente = $180 \text{ m}^3/\text{semana} = 3 \text{ E-}04 \text{ m}^3/\text{s}$
 V: vazão mínima do Receptor = $1,7 \text{ m}^3/\text{s}$

$$C = \frac{(1,22 \text{ E+}04) \times (3 \text{ E-}4)}{(1,7) + (3 \text{ E-}4)} = 2,15 \text{ Bq/m}^3$$

Neste modelo, a concentração resultante dos elementos radioativos é da ordem de $2,26 \text{ Bq/m}^3$, que corresponde a cerca de $2,11 \text{ E-}05 \text{ gU/m}^3$, demonstrando a reduzida contribuição deste efluente. Este valor é bastante inferior, quase mil vezes, ao limite estabelecido pela Resolução

CONAMA 20, de 1986, para urânio total nessa classe de corpo receptor, que é de 0,02 ppm, conforme já enfatizado.

7.3.3 Dose Efetiva Total

7.3.3.1 Considerações Gerais

Neste ítem é analisada a dose efetiva anual em um indivíduo que utiliza a água da Represa ou do Paraíba do Sul e ingere seus peixes e invertebrados.

As principais formas de contaminação desse indivíduo crítico ocorreriam por ingestão de água numa relação de 0,8 m³/ano, peixes num total de 100 kg/ano e invertebrados em 15 kg/ano.

7.3.3.2 Atividade Total considerando Descarte na Represa do Funil

A atividade total que o indivíduo estaria exposto, conforme anteriormente comentado é composta por três parcelas, a saber:

- Água: A atividade anual é obtida pela ingestão de 0,8 m³ com concentração de 7,06 E-05 gU/m³ (no caso do descarte na Represa do Funil) equivalente a 7,2 Bq/m³ (considerando urânio enriquecido a 5% em ²³⁵U, cuja atividade específica é de 1,02 E+05 Bq/g):

$$(0,8 \text{ m}^3/\text{ano} \times 7,2 \text{ Bq/m}^3) = \boxed{5,76 \text{ Bq/ano}}$$

- Peixes: O fator de incorporação nos peixes é equivalente a 10 l de água/kg/ano, resultando portanto para o indivíduo o seguinte valor:

$$(7,2 \text{ Bq/m}^3 \times 100 \text{ kg/ano} \times 10 \text{ l/ano} \times 1\text{m}^3/1000 \text{ l}) = \boxed{7,2 \text{ Bq/ano}}$$

- Invertebrados: Quanto aos invertebrados, o fator é de 100 l de água/kg/ano, resultando em:

$$(7,2 \text{ Bq/m}^3 \times 15 \text{ kg/ano} \times 100 \text{ l/ano} \times 1\text{m}^3/1000 \text{ l}) = \boxed{11,27 \text{ Bq/ano}}$$

7.3.3.3 Atividade Total considerando Descarte no Sistema do Médio Paraíba

As mesmas considerações feitas no item 7.3.3.2 acima serão feitas neste caso, alterando apenas a concentração de radionuclídeos na água, que neste caso, conforme visto no item 7.3.2, é de 2,11 E-05 gU/m³..:

- Água: A atividade anual é obtida pela ingestão de 0,8 m³ com concentração de 2,11 E-05 gU/m³ equivalente a 2,15 Bq/m³ (considerando urânio enriquecido a 5% em ²³⁵U, cuja atividade específica é de 1,02 E+05 Bq/g):

$$(0,8 \text{ m}^3/\text{ano} \times 2,15 \text{ Bq/m}^3) = \boxed{1,72 \text{ Bq/ano}}$$

- Peixes: O fator de incorporação nos peixes é equivalente a 10 l de água/kg/ano, resultando portanto para o indivíduo o seguinte valor:

$$(2,15 \text{ Bq/m}^3 \times 100 \text{ kg/ano} \times 10 \text{ l/ano} \times 1\text{m}^3/1000 \text{ l}) = \boxed{2,15 \text{ Bq/ano}}$$

- Invertebrados: Quanto aos invertebrados, o fator é de 100 l de água/kg/ano, resultando em:

$$(2,15 \text{ Bq/m}^3 \times 15 \text{ kg/ano} \times 100 \text{ l/ano} \times 1\text{m}^3/1000 \text{ l}) = \boxed{3,23 \text{ Bq/ano}}$$

7.3.3.4 Conclusões

O somatório das atividades resulta em 7,1 Bq/ano, o que implicaria uma dose (fator total de dose para ingestão de U da Safety Series 115 de 4,4 E-08 Sv/Bq²) da ordem de 3,12 E-04 mSv/ano. Este valor é cerca de quatro vezes inferior aos 1,15 E-03 mSv/ano da dose efetiva total calculada anteriormente através do CAP88-PC para as liberações atmosféricas normais. Ambos os valores são mais de duzentas e cinquenta vezes inferiores ao limite estabelecido pela Norma CNEN-3.01 para o grupo crítico (0,3 mSv/ano).

A concentração máxima final de urânio, de 2,11 E-05 gU/m³ simulada para o sistema do Paraíba do Sul (córrego Água Branca), é desprezível frente ao limite estabelecido pelo padrão da Resolução CONAMA 20/86 para corpos aquáticos de classes 1 e 2, que é de 0,02 mg/l ou 2,0 E-02 g/m³ para urânio total.

Verifica-se que o descarte dos efluentes líquidos no córrego Água Branca, ou seja, diretamente em ponto a jusante da Represa no Paraíba do Sul, conduz à constatação do caráter ainda mais inofensivo do efluente, não mais sujeito a uma retenção média de 29 dias na Represa e, conseqüentemente, a processos de sedimentação e transferência ou bioacumulação mais intensos. Adicionalmente, convém enfatizar que o ponto de descarte no córrego Água Branca encontra-se imediatamente a montante do ponto de captação de água doce utilizada para as necessidades industriais e sanitárias do CIR.

Assim sendo qualquer possibilidade de impacto adverso no sistema de reservatórios da LIGHT/CEDAE, localizado a cerca de 170 km a jusante do empreendimento - para geração

² Valor obtido a partir da média ponderada dos fatores de dose dos isótopos de urânio (234, 235 e 238) apresentados na Tabela II-III do Safety Series 115.

de energia e abastecimento d'água da população metropolitana - e que depende da transposição da bacia do Paraíba/Piraí para a bacia do Guandú, deve ser descartado.

7.3.4 Considerações Adicionais (considerando piores hipóteses)

Este item apresenta os cálculos de dose para as emissões atmosféricas e os efluentes líquidos em cenários hipotéticos, de modo a demonstrar que as doses estabelecidas pela Norma CNEN 3.01 não serão atingidas mesmo considerando uma emissão atmosférica limite de 3,5 Bq/Nm³ e um efluente de 1 ppm.

7.3.4.1 Emissões Atmosféricas

Foi considerada uma emissão limite de 3,5 Bq/Nm³ para avaliar a dose resultante de um cenário operacional hipotético.

O termo-fonte de radiação origina-se na mesma chaminé industrial, com 35 metros de altura.

Assim sendo, esta chaminé neste cenário hipotético, que corresponde a uma atividade dos gases de saída de 3,5 Bq/Nm³, emitirá os elementos e atividades apresentados na Tabela 7.41.

Tabela 7.41 TERMO-FONTE CIR

Elemento	Atividade (Ci/a)	Atividade (Bq/a)
U 234	5,67 E-02	2,10 E+09
U 235	2,56 E-03	9,47 E+07
U 238	7,48 E-03	2,77 E+08

(*) 118.000 Nm³/h durante 6.000 horas/ano.

A quantidade total de urânio nas emissões atmosféricas anuais previstas neste cenário operacional hipotético é portanto³:

$$118.000 \text{ Nm}^3/\text{h} \times 6.000 \text{ h/ano} \times 3,43 \text{ E-}05 \text{ g/Nm}^3 = 24284,4 \text{ g/ano}$$

O programa CAP88-PC foi utilizado, com as mesmas premissas e parâmetros pertinentes apresentados no item 7.1.3 anterior.

O valor de dose equivalente efetiva obtida por este modelo é de 7,26 mrem/ano ou 0,0726 mSv/ano, valor este ainda cerca de 4 vezes menor do que 0,3 mSv/ano para o grupo crítico, conforme a Norma CNEN 3.01. Este valor de dose equivalente efetiva também é obtido para um indivíduo localizado a 500 m na direção WSW, local de máxima dose segundo a simulação do CAP88-PC, que se alimenta exclusivamente de verduras, leite e carne localmente produzidos. A dose equivalente efetiva obtida por órgão pelo CAP88-PC por radionuclídeo e por via de exposição, está apresentada na Tabela 7.42 a seguir.

³ Os valores de densidade específica (g/Nm³) para cada cenário foram obtidos através da multiplicação da atividade (em Bq/Nm³) limite de cada cenário por 1,02E05 g/Bq (atividade específica do urânio enriquecido a 5%)

Tabela 7.42 DOSE EQUIVALENTE - (3,5 Bq/Nm³)

Órgão	Dose Equivalente Efetiva (mrem/ano)	Dose Equivalente Efetiva (mSv/ano)
Gônadas	3,23 E-02	3,23 E-04
Tórax	4,02 E-02	4,02 E-04
Medula Óssea Eritropoética	4,24 E-01	4,24 E-03
Pulmão	5,70 E+01	5,70 E-01
Tiróide	3,09 E-02	3,09 E-04
Osso (Superfície)	6,39 E+00	6,39 E-02
Resto	5,62 E-01	5,62 E-03
Total Efetivo	7,26 E+00	7,26 E-02

Tabela 7.43 DOSE EQUIVALENTE EFETIVA POR RADIONUCLÍDEO

Radionuclídeo	Dose Individual (mrem/ano)	Dose Individual (mSv/ano)	Porcentagem (%)
U 234	6,26 E+00	6,26 E-02	86,11
U 235	2,75 E-01	2,75 E-03	3,78
U 238	7,35 E-01	7,35 E-03	10,11
Total	7,27 E+00	7,27 E-02	100,00

Tabela 7.44 VIAS DE EXPOSIÇÃO

Caminho	Dose Individual (mrem/ano)	Dose Individual (mSv/ano)	Porcentagem (%)
Ingestão	4,00 E-01	4,00 E-03	5,5
Inalação	6,85 E+00	6,85 E-02	94,2
Imersão	1,93 E-07	1,93 E-09	2,65 E-06
Superfície*	1,51 E-02	1,51 E-04	0,21
Total	7,27 E+00	7,27 E-02	100,0

* depositado na superfície

São verificadas as mesmas observações anteriores quanto à importância relativa dos efeitos potenciais sobre o pulmão por inalação dos radionuclídeos liberados.

A Tabela 7.45 compara os demais limites impostos pela referida norma com os valores obtidos do cálculo de doses via CAP88-PC, apresentado na Tabela 7.42.

Tabela 7.45 COMPARAÇÃO ENTRE OS LIMITES DE DOSE IMPOSTOS PELA NORMA CNEN-3.01 E AS SIMULAÇÕES (mSv/ano)

	Norma CNEN 3.01 Indivíduo do Público	CAP88-PC (3,5 Bq/Nm ³)
Dose equivalente efetiva total	1	7,27 E-02
Gônadas	4	3,23 E-04
Mama	6,7	4,02 E-04
Medula Óssea Eritropoética	8,3	4,24 E-03
Pulmão	8,3	5,70 E-01
Tireóide	33,3	3,09 E-04
Osso (Superfície)	33,3	6,39 E-02
Restante do corpo	16,7	5,62 E-03

Fonte: Diretrizes Básicas de Radioproteção / DNE-32 / CNEN-NE-3.01 / Julho 1988
Simulações CAP88-PC

Estas simulações mostram que os valores de dose obtidos encontram-se bastante abaixo dos limites respectivos impostos pela Norma CNEN 3.01 – Diretrizes Básicas de Radioproteção.

Conforme o item 4.4.6.5 anterior, a dose resultante das emissões atmosféricas da FEC-I é de 1,4 E-04 mSv/ano. A soma das doses resultantes das emissões atmosféricas da FEC-I e da FEC-II é portanto de **7,28 E-02 mSv/ano**, valor quatro vezes inferior ao limite de 0,3 mSv/ano da Norma CNEN 3.01 para o indivíduo crítico.

7.3.4.2 Efluentes Líquidos

Considerando uma concentração de 1 ppm no efluente líquido lançado a 180m³/semana, obtém-se uma quantidade anual de 9,36 kg/ano de urânio, com uma atividade de 9,55 E+08 Bq/ano.

Utilizando as mesmas considerações apresentadas no item 7.1.3, pode-se também avaliar o descarte hipotético deste efluente na Represa do Funil¹. Neste caso, a deposição total das emissões atmosféricas (3,5 Bq/Nm³) num raio de 10 km é da ordem de 1500 gU. A partir deste valor, obtém-se:

- a deposição seca e úmida sobre a área do reservatório: 2,22 gU/ano e
- o escoamento superficial que carrega parte do material depositado em terra: 300,0 gU/ano.

Como o despejo de efluente líquido da fábrica seria, neste caso hipotético, de 9360 gU/ano, a quantidade total de urânio lançada no reservatório seria de 9662,22 gU/ano. Utilizando as equações apresentadas no item 7.3.1.4, obtém-se uma concentração final de 5,73 E-04 gU/m³. Este valor é inferior ao limite de qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA 20/86 para urânio total, de 0,02 ppm.

¹ Conforme já enfatizado o descarte será realizado no córrego Água Branca, imediatamente à montante da captação da água utilizada pelo CIR. Esta avaliação visa unicamente ilustrar um cenário hipotético que reúne as piores condições imagináveis.

Através da concentração obtida acima será feito o cálculo de dose, de acordo com os procedimentos apresentados no item 7.3.3.

- Água: A atividade anual é obtida pela ingestão de 0,8 m³ com concentração de 5,73 E-04 gU/m³ equivalente a 58,45 Bq/m³:

$$(0,8 \text{ m}^3/\text{ano} \times 58,45 \text{ Bq/m}^3) = \boxed{46,76 \text{ Bq/ano}}$$

- Peixes: O fator de incorporação nos peixes é equivalente a 10 l de água/kg/ano, resultando portanto para o indivíduo o seguinte valor:

$$(58,45 \text{ Bq/m}^3 \times 100 \text{ kg/ano} \times 10 \text{ l/ano} \times 1\text{m}^3/1000 \text{ l}) = \boxed{58,45 \text{ Bq/ano}}$$

- Invertebrados: Quanto aos invertebrados, o fator é de 100 l de água/kg/ano, resultando em:

$$(58,45 \text{ Bq/m}^3 \times 15 \text{ kg/ano} \times 100 \text{ l/ano} \times 1\text{m}^3/1000 \text{ l}) = \boxed{87,68 \text{ Bq/ano}}$$

A atividade resultante é de 192,89 Bq/ano. Utilizando o fator total de dose para ingestão de U da Safety Series 115, de 4,4 E-08 Sv/Bq, obtém-se uma dose total da ordem de 8,5 E-04 mSv/ano.

A dose resultante dos efluentes líquidos da FEC-I, conforme apresentado no item 4.4.6.4, é de 8,68E-6 mSv/ano. A dose devido a operação da FEC-I e da FEC-II é portanto de **8,59 E-04 mSv/ano**.

7.3.4.3 Dose Total

O somatório das doses resultantes das emissões atmosféricas e dos efluentes líquidos obtidos da operação da FEC-I e da FEC-II (em condições hipotéticas extremamente conservadoras) resultaria numa dose total de 7,37 E-02 mSv/ano. Este valor ainda seria quatro vezes inferior ao valor imposto pela Norma CNEN 3.01.

Tabela 7.46 DOSES TOTAIS

	FEC-I	FEC-II (em condições hipotéticas)
Emissão Atmosférica	1,40 E-04 mSv/ano	7,27 E-02 mSv/ano
Efluentes Líquidos	8,68 E-6 mSv/ano	8,50 E-04 mSv/ano
Total	7,37 E-02 mSv/ano	

7.4 AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS (NAS ÓTICAS DISCIPLINARES CONVENCIONAIS)

O texto a seguir reúne contribuições específicas dos especialistas dos meios físico, biótico e sócio-econômico.

7.4.1 Meio Físico

Não serão observados impactos relevantes na fase de implantação já que o empreendimento utilizará toda a base de obras civis existentes no CIR, correspondendo efetivamente a um re-aperfeiçoamento e remanejamento de instalações existentes e de novas montagens industriais.

Na fase de operação poderão ocorrer impactos sobre o ar, o solo e a água conforme analisado a seguir, onde se retoma a discussão das vias de exposição do homem à radiação numa perspectiva ambiental mais ampla.

7.4.1.1 Ar

Conforme já analisado, o maior potencial de dano ambiental da operação normal do empreendimento em tela, está associado à emissão atmosférica anual de cerca de 385,3 g de U/ano. Também conforme já analisado, as concentrações derivadas de U na atmosfera da área de influência do empreendimento são bastante reduzidas, conforme se pode comprovar nos resultados das simulações descritas anteriormente e incluídas na íntegra em anexo, conduzindo a doses efetivas máximas - nos três cenários de avaliação - bastante inferiores aos limites da CNEN. As doses efetivas calculadas para várias distâncias do chaminé crescem a partir dos valores máximos de 0,00115 mSv/ano (cenário operacional Normal), para 0,00322 mSv/ano (cenário de alerta) e 0,0231 mSv/ano (pior cenário) para o indivíduo crítico localizado a cerca de 500 metros a Sudoeste do chaminé. A título ilustrativo, para uma distância de 4 km do chaminé, na direção Leste-Oeste, de maior interesse - na direção Norte-Sul as concentrações só são mensuráveis em níveis superiores a 1 E-05 Bq/m³ em distâncias de até 500 metros, em função do regime de ventos na região - atinge-se uma concentração expressa em 1 E-05 Bq/m³, inferior ao *background* natural em construções de concreto¹, que pode atingir 12 Bq/m³

Em relação aos outros elementos presentes nas emissões atmosféricas, o potencial de agressão é pouco significativo, dada as baixas concentrações obtidas, a saber:

F:	4,5 E-5 g/Nm ³
NH ₃ :	6,0 E-2 g/Nm ³
CH ₃ OH:	9,7 E-2 g/Nm ³

¹ Ver UIC – Uranium Information Centre, “Radiation and Health Effects”, 1996.

Para o indivíduo crítico localizado a cerca de 500 metros a sudoeste da chaminé, considerando o mesmo modelo de diluição adotado, os valores são reduzidos para:

F:	10^{-10} g/Nm ³
NH ₃ :	10^{-7} g/Nm ³
CH ₃ OH:	10^{-7} g/Nm ³

Portanto, com base nos reduzidos traços de flúor, amônia e metanol presentes nas emissões atmosféricas da chaminé, não existe a menor possibilidade de agressão ambiental.

7.4.1.2 Solo

1) Dinâmica do Urânio no Solo

ARMSTRONG *et al.* (1994) consideram que o principal objetivo em se definir um limite seguro para a avaliação dos teores de urânio no solo, oriundos de fontes artificiais, é a proteção à saúde humana. Tal limite é calculado como a concentração máxima de urânio total no solo que não venha produzir, de maneira combinada, inalação, ingestão, radiação e contaminação através da pele, que resulte em doses efetivas totais acima dos critérios estabelecidos, tanto do ponto de vista determinístico como probabilístico. Tal limite também será influenciado pelas vias de exposição e os cenários que costumam definir o contato humano com radionuclídeos no solo; as propriedades físico-químicas que afetam a movimentação dos radionuclídeos no ambiente e as características da paisagem contaminada (profundidade do lençol freático, pluviometria, ventos, etc..). Outro fator importante a ser considerado é o *background* (teores minerais normais) do urânio no solo pois, sem esse conhecimento, não é possível uma avaliação correta da exposição total.

Os diferentes tipos de usos das terras em uma determinada região têm um efeito direto quanto a natureza e a magnitude do potencial de exposição do ser humano ao urânio presente no solo. Os quatro tipos de usos das terras considerados são: residencial, agrícola, comercial/industrial e recreativo.

Cada tipo de uso da terra possui uma suíte de vias de exposição potenciais que devem ser identificadas e avaliadas. As vias de exposição compreendem quatro elementos básicos:

- 1) Uma fonte e um mecanismo de contaminação;
- 2) Retenção do contaminante no solo ou sedimento e o meio de transporte deste (água, vento);
- 3) Um ponto potencial de contato humano com o meio contaminante;
- 4) Uma rota de exposição no ponto de contato (ingestão, contato com a pele).

Serão resumidas as principais formas de exposição e suas magnitudes que afetam os quatro tipos básicos de usos das terras.

Cenário Residencial: neste cenários, habitantes de casas próximas a uma fonte de contaminação, estão em contato freqüente, tanto direto como indireto, com o solo contaminado. Estas pessoas sofrem exposição diária e de longo termo, que geralmente resulta em alto potencial de exposição e risco. Parâmetros de exposição importantes que definem este cenário incluem o tempo de residência em uma dada casa; a freqüência de exposição (dias por ano em contato com o meio contaminante); quantidade de alimentos consumidos de uma horta caseira; fonte de água para uso doméstico e padrões de atividade (tempo gasto fora da residência como função da idade).

Cenário Agrícola: Exposição em áreas contaminadas utilizadas para fins agrícolas ocorrem como resultado do contato do trabalhador rural com o meio contaminante, bem como o consumo de produtos cultivados no local. Os parâmetros de exposição de trabalhadores rurais incluem a jornada de trabalho no campo, que varia com a estação (aragem, semeadura, colheita, entressafra) e o emprego temporário de trabalhadores.

Cenário Comercial/Residencial: Neste cenário, os trabalhadores são expostos ao meio contaminante dentro de um estabelecimento comercial ou área industrial, pelo tempo que permanecem nestes locais (aprox. 8 horas por dia durante 250 dias por ano). A exposição ao meio contaminante varia de acordo com o tipo de trabalho (ao ar livre ou em escritórios).

Cenário Recreativo: A exposição neste cenário depende de fatores tais como o tipo de local (hotel, parque, etc.), o tempo passado nele e o tipo de lazer efetuado (pesca, caminhada, jogos, ciclismo, etc.). A pesca de subsistência pode ser considerada neste cenário, ou em qualquer um dos outros, se há a possibilidade de migração do urânio de uma área contaminada para um corpo d'água local.

A exposição do ser humano ao urânio se dá via ingestão (através da água, produtos vegetais, carne, leite etc.), inalação (de partículas de urânio no ar) e por contato com a pele (através do solo e água), conforme amplamente discutido nos capítulos 2 e 3 anteriores.

Ingestão: A ingestão de urânio através da alimentação é estimada como a soma das concentrações deste elemento em vários itens da dieta alimentar. FISENNE *et al.* (1987) estimaram que as fontes de urânio na dieta média dos habitantes da cidade de Nova York são oriundas dos seguintes itens alimentares: moluscos (33%); frutas e vegetais (27%); grãos (24%); bebidas (8%); laticínios (3%); carne (3%) e peixe (2%). A ingestão média de isótopos de urânio por habitante foi de 7,9E-05 (²³⁴U), 9,2E-03 (²³⁵U) e 1,3 µg/dia (²³⁸U).

As medições das concentrações de urânio em vários itens da dieta alimentar fornecem um entendimento dos processos de biotransferência que influenciam a movimentação do urânio natural (ou artificial) nos sistemas terrestres e aquáticos. Contaminantes oriundos do solo, por exemplo, podem ser transportados para as partes superiores dos vegetais através das raízes, bem como pelo lançamento de partículas de solo na superfície foliar. Segundo FISENNE *et al.* (op. cit.), a concentração de ²³⁸U medida em vegetais folhosos foi três vezes maior do que em tubérculos, sugerindo que a contaminação através da superfície foliar é o processo de transferência dominante.

Inalação: O urânio natural (0,7% de ²³⁵U) contido na atmosfera é derivado principalmente do intemperismo dos solos. O movimento do vento sobre a superfície resulta na suspensão do

urânio contido no solo, com subsequente queda em qualquer superfície exposta. FISENNE *et al.* (op. cit.) informaram que as concentrações de ²³⁴U, ²³⁵U e ²³⁸U na atmosfera na cidade de Nova York foram de, respectivamente, 0,93; 0,036 e 0,94 µBq/m³, ou seja, um total da ordem de 0,2 E-05 Bq/m³.

A inalação representa cerca de 0,1% do total de isótopos de urânio absorvidos pelo homem, admitindo-se uma taxa de respiração exagerada de 20 m³/dia. Estimativas mais realistas dessa taxa (11 a 15 m³/dia) diminuiriam mais ainda essa percentagem já reduzida. No entanto, os autores descobriram que o acúmulo de urânio nos pulmões indica que o urânio inalado está, em grande parte, sob a forma de um óxido insolúvel (que possui uma longa retenção nos pulmões) derivado do intemperismo e ressuspensão da parte superior dos solos, ou do *fall-out* resultante dos testes nucleares.

Contaminação através da Pele: São poucas as informações sobre a toxidez do urânio na pele, que parece estar correlacionada com a solubilidade dos compostos deste elemento. Por exemplo, em estudos com animais, uma substância solúvel como o nitrato de uranila é rapidamente transportado através da pele. Já a exposição ao óxido de urânio insolúvel produz apenas uma pequena perda de peso (REY *et al.*, 1983).

A magnitude das exposições humanas via pele depende de uma série de fatores que incluem a concentração de urânio na poeira depositada na pele, a extensão da superfície de contaminação da pele e a quantidade de poeira na pele.

2) Impacto do Urânio no Solo

Segundo o item 7.3.1 anterior, a deposição de urânio sobre o solo dentro de uma área de 10 km de raio, com centro na chaminé da FEC-II, no cenário operacional normal, será de 24,12 g por ano.

Nesta área os cenários básicos de uso das terras, definidos por ARMSTRONG *et al.* (1994), seriam:

- *Cenário Residencial:* Principalmente a cidade de Engenheiro Passos e o povoado de Vila Forte;
- *Cenário Agrícola:* Os principais usos agrícolas das terras nessa área são as pastagens voltadas para uma pecuária extensiva e o reflorestamento de eucaliptus;
- *Cenário Recreativo:* Hotel-Fazenda Vila Forte e a represa do Funil;
- *Cenário Comercial/Industrial:* Seria, principalmente, a própria área da INB (FEC I e II), além dos estabelecimentos comerciais de Engenheiro Passos e às margens da Via Dutra (postos de gasolina).

Considerando a área total cujo centro é a chaminé da FEC-II, com cerca de 78.000.000 m² (não considerando a rugosidade do terreno, que aumentaria essa superfície) e os primeiros 10 cm do solo, teríamos um volume de material terroso de:

$$78.000.000 \text{ m}^2 \times 0,1 \text{ m} = 7.800.000 \text{ m}^3$$

Multiplicando esse volume por 2 (densidade aproximada do solo), teríamos um peso de 15.600.000t.

Considerando que a deposição total anual nessa área é de 24,12 g de U, a contribuição anual desse elemento seria de:

$$24,12 \text{ g} / 15.600.000 \text{ t} = 1,55 \text{ E-06 ppm U}$$

Segundo os estudos de BIDONE *et al.* (1984), apresentados no sub-item c do item 4.1.3.3 (Geologia Local), o *background* de urânio nos sedimentos da região estaria compreendido entre 0,1 e 25 ppm U, com uma média de 8 ppm U (16 análises de sedimento).

Portanto, a contribuição estimada de 1,55E-06 ppm U/ano, para atingir o *background* médio de 8 ppm, teria que se acumular por cerca de 515.000 anos. Para atingir a concentração mínima de urânio nos sedimentos de 0,1 ppm encontrada por BIDONE *et al.* (op. cit.), esse tempo de acumulação seria de 6,4 mil anos. Destacamos que não estão sendo considerados fatores como o carreamento do urânio da superfície do solo pelas águas superficiais e pelo vento, a infiltração do elemento no solo e a absorção pela vegetação. O decaimento radioativo do urânio também poderia ser considerado em que pese sua meia-vida elevada.

7.4.1.3 Água

A possibilidade de contaminação das águas superficiais foi exaustivamente abordada no item 7.2 anterior, de modo que apenas as águas subterrâneas serão aqui analisadas. A percolação do material depositado no solo ou a infiltração de efluentes líquidos contendo urânio pode, de fato, implicar a contaminação de aquíferos.

No setor leste da área da INB, a espessura do pacote sedimentar está situada entre 20 e 30 m, aproximadamente. A sucessão sedimentar da área é representada por camadas métricas de siltitos, argilitos e arenitos com muita matriz pelítica, que não constituem um bom aquífero devido a granulometria fina destes sedimentos, que não fornecem boas permeabilidades, tampouco bons reservatórios. O embasamento cristalino da área é constituído por gnaisses leuco a melanocráticos onde, nos intervalos mais intensamente fraturados, é captada a água dos três poços existentes na área da INB (vide item 4.1.2.8. Hidrogeologia).

Como a quantidade anual de urânio depositado no solo através das emissões gasosas da FEC-II é inexpressiva, o urânio passível de ser infiltrado no solo apresentará valores ainda mais desprezíveis, inclusive pelo fato de parte do material depositado ser carreado pelas águas superficiais, pelo vento e absorvido pela vegetação.

Em relação à possibilidade de contaminação dos aquíferos através da infiltração no solo dos efluentes líquidos da fábrica, esta ocorreria apenas se este efluente fosse encaminhado a uma lagoa ou barragem não impermeabilizada, antes de ser lançado em corpo d'água (represa do Funil ou córrego da Água Branca). Ainda assim, o efluente líquido da fábrica representa apenas um total anual de cerca de 1.240 g de U. Deste total, apenas uma pequena parte infiltraria no solo até alcançar o aquífero, o que representaria uma quantidade inexpressiva, que não constituiria impacto ambiental. A baixa permeabilidade dos sedimentos que jazem sob a área da INB dificultaria, de qualquer modo, a infiltração destes efluentes.

A presença de flúor numa concentração máxima de 6,5 ppm no efluente também não provoca agressão ambiental, ficando abaixo do limite de lançamento permitido pela FEEMA, que é de 10 ppm.

7.4.2 Meio Biótico

7.4.2.1 Identificação dos Impactos

Fase de Implantação: Não serão observados impactos nesta fase, pelas mesmas razões já expostas para o meio físico.

Fase de Operação: Durante esta fase serão observadas emissões rotineiras provenientes de Sistema de Tratamento e Destinação Final de Rejeitos. Estas emissões são de dois tipos: atmosféricas e efluentes líquidos.

Ambas liberações ocorrerão em concentrações muito baixas, não causando efeitos significativos na biota. As emissões atmosféricas normais terão uma concentração inferior a 1,0 Bq/m³ (nível que acionaria o alarme e o *shut down* do processo), esperando-se que ocorra sempre com valor inferior a 0,055 Bq/Nm³ no cenário operacional provável. Os efluentes líquidos serão liberados numa vazão de 180 m³/semana, com menos de 0,13 ppm de urânio.

Conforme amplamente demonstrado nos itens 7.1 e 7.2, os impactos decorrentes destas emissões sobre a população local podem ser considerados desprezíveis. Em que pese a carência de estudos sobre os efeitos da radiação sobre a flora e a fauna, admite-se, por analogia ao verificado no cálculo de doses efetivas para o ser humano em condições normais de operação, que indica doses de ordem de grandeza desprezível frente àquelas resultantes da radiação de *background* na região, que estes efeitos afetem apenas marginalmente os processos naturais de evolução, os quais sempre contaram com a influência da radiação terrestre e cósmica.

1) Emissões Atmosféricas

A emissão de gases ácidos contendo ácido fluorídrico (HF) - somente possível em quantidades significativas (ou seja não apenas como elementos-traços, normalmente considerados em proporções de ppb ou inferiores) em casos de acidentes - pode gerar danos à flora e à fauna no momento em que as concentrações atinjam níveis elevados. Uma concentração de 3 ppm (massa por massa) ou 2 mg/m³, é usada como limite de referência para saúde ocupacional em vários países, inclusive no Brasil (NR 15, MT) mas concentrações de até 32 ppm são reportadas como “concentrações mínimas com efeitos tóxicos conhecidos” enquanto concentrações acima de 100 ppm podem causar a morte (TOXIC AND HAZARDOUS INDUSTRIAL CHEMICALS HANDBOOK, ITI, 1977). É de conhecimento que as plantas superiores absorvem flúor pelas folhas, causando a necrose das partes atingidas (BRANCO & ROCHA, 1987; CETESB, 1996). Para a fauna este elemento só é perigoso quando presente no ar em concentrações superiores aos limites acima. Altas concentrações também resultam em incorporação significativa pela vegetação, e transferência aos herbívoros, que então podem apresentar a fluorose, doença caracterizada por alterações patológicas nos ossos (BRANCO & ROCHA, 1987).

Os compostos de flúor não atingem somente as plantas superiores, mas também agem sobre outros grupos como os musgos e líquens que são mais sensíveis a estes compostos, reduzindo sua taxa de crescimento e atuando no bloqueio dos processos de fotossíntese e respiração (FELLENBERG, 1980) de modo a comprometer a sobrevivência dessas espécies.

Algumas plantas são indicadas para identificar a presença de fluoretos e HF na atmosfera. Os musgos dos gêneros *Sphagnum* e *Polytrichum* são sensíveis ao HF, enquanto *Dicraniella heteromalla* é resistente. Algumas espécies de líquens também apresentam características semelhantes (FELLEMBERG, 1980). Outros grupos vegetais são frequentemente utilizados no controle da poluição atmosférica, como é o caso da família das **Bromeliaceae**, conhecidas popularmente como gravatás, que podem ser analisados com a finalidade de demonstrar o quanto está sendo incorporado pela vegetação.

2) Efluentes Líquidos

O comportamento dos radionuclídeos liberados no meio aquático depende, normalmente, de inúmeros fatores como: suas propriedades físico-químicas; características da água (concentração de sais, pH e teor de matéria orgânica); características físico-químicas dos sedimentos de fundo e em suspensão e atividade biológica.

Os radionuclídeos quando lançados em cursos de água sofrem inicialmente, uma diminuição física e também isotópica se existirem homólogos estáveis presentes no meio. A diluição dos radionuclídeos é acompanhada por sua retenção pelos materiais sólidos (partículas em suspensão e sedimentos de fundo) e conseqüente incorporação pela biota (STOFEL, 1979), conforme já discutido.

A retenção dos radionuclídeos nos sedimentos envolve processos de adsorção, precipitação, trocas iônicas, etc. Os sedimentos finos apresentam maiores capacidades de retenção de radionuclídeos em função de disporem de maiores superfícies específicas. Entretanto, o tipo de sedimento pode ser determinante em relação à área específica de reação para alguns radionuclídeos.

Os sedimentos com grande capacidade de troca iônica parecem reter os radionuclídeos em maior concentração, sendo que esta retenção atinge um equilíbrio após tempos variáveis, a partir dos quais a atividade específica do sedimento se mantém constante, caso não sejam alteradas as condições iniciais (STOFEL op. cit.). Os tempos necessários para se atingir o equilíbrio variam com o radionuclídeo, tipo de sedimento e qualidade da água.

O urânio insolúvel lançado no meio aquático, rapidamente é transportado até o sedimento. Contudo, neste caminho, pode afetar a biota através de exposição direta. Uma vez no sedimento, este elemento continua disponível podendo ser incorporado na biota de diversas maneiras.

A absorção de urânio por plantas aquáticas tem sido registrada em vários estudos como os de STOFEL (op.cit.), HYNES (1990), KANE *et al.* (1993) SERDYUK ET ALL (1993) e DREICER (1996). Alguns estudos como os de SWANSON (1982) e SERDYUK ET ALL (op.cit.) indicam incorporação do urânio na biota pela via sedimento - invertebrados - peixes e via algas móveis - peixes. Tais dados ressaltam a importância da presença de urânio sob forma disponível para incorporação na biota, ou seja, este elemento radioativo presente no meio aquático e nos sedimentos percorre a cadeia alimentar acumulando-se nos tecidos ósseos e musculares de peixes e invertebrados.

Os efeitos químicos do urânio são bastante nocivos, como os de outros metais pesados. Com o tempo, o decaimento - sobretudo do ²³⁵U - resulta na criação de outros elementos radioativos (²²⁶Ra e ²²²Rn), os quais são mais perigosos que o próprio urânio. Cabe ressaltar que alguns estudos apontam ²²⁶Ra e ²¹⁰Pb acumulados na cadeia alimentar preferencialmente ao urânio (SWANSON op. cit., KIRCHMANN *et al.*, 1974).

7.4.3 Meio Antrópico

7.4.3.1 Prognóstico Ambiental

A proximidade do eixo regional industrializado dos principais mercados do país e a existência de boa infra-estrutura fizeram com que Resende apresentasse boas condições para o movimento de descentralização industrial das regiões metropolitanas do Rio e de São Paulo.

A turbulência e a desqualificação das condições de vida nas metrópoles próximas também contribuíram para o incremento populacional relativamente expressivo da região.

O setor industrial regional é um dos mais importantes do Estado do Rio de Janeiro, caracterizado por grandes instalações, em torno das quais surgem inúmeras outras de pequeno e médio porte.

Todo esse potencial regional influenciou decisivamente a implantação de indústrias de grande porte como é o caso da Xerox do Brasil, da própria implantação do projeto inicial da atual INB e de montadoras de veículos como é o caso da Volkswagen com a implantação da nova fábrica de caminhão e ônibus no município de Resende.

O pólo industrial de Resende prevê a implantação de mais de 110 indústrias, contando com mais de 863 ha destinados à zona industrial, 71 ha destinados à zona central e 466 ha destinados à zona habitacional. Seus limites se dão, ao Norte e Leste, com o Rio Paraíba do Sul, ao Sul com as linhas da Rede Ferroviária Federal - RFFSA e a Oeste com o sopé das elevações onde têm início as áreas destinadas à produção agropecuária regional.

Por outro lado, o turismo e lazer induzem um grande fluxo de pessoas para a região em busca de passeios ecológicos, dadas as características peculiares da porção preservada de mata atlântica, nomeadamente em lugares aprazíveis como o Parque Nacional de Itatiaia ou em pequenas localidades como Penedo e Visconde de Mauá, contribuindo para a incidência de uma população flutuante, praticamente durante todo o ano. De acordo com dados obtidos do DNER, a Via Dutra apresenta, na região de Resende, um tráfego de cerca aproximadamente 17.000 veículos/dia, dos quais cerca de metade corresponde a caminhões/ônibus e a outra metade a automóveis.

Quanto à população residente, de acordo com os dados do IBGE, aplicando-se a taxa geométrica de crescimento anual da ordem de 2,0%, a expectativa de crescimento populacional de Resende é, de acordo com a Tabela 7.47 adiante:

Tabela 7.47 CRESCIMENTO PREVISTO DA POPULAÇÃO

Ano	População Estimada
1994	120.000
1995	124.000
2000	145.000
2005	170.000

Fonte: Natrontec

Corroborar-se assim uma tendência de ampliação da oferta de mão-de-obra.

Este quadro tendencial deverá ser mantido, independente da implantação do empreendimento proposto pela INB. O mesmo acontecerá em relação à absorção da mão-de-obra local, que hoje está preferencialmente alocada no setor terciário, com tendência de maior absorção pelas atividades de comércio, serviços e especificamente turismo.

O setor secundário, por sua vez, utiliza cada vez mais de trabalhadores especializados, ditos “importados” o que, somado ao crescente processo de automação industrial na região - como é o caso da Volkswagen - tende a absorver relativamente menos mão-de-obra local.

Em que pese a manutenção do quadro atual quanto aos aspectos da tendência econômica regional e de oferta de mão-de-obra, vale ressaltar que ocorrerá substantivo incremento na arrecadação fiscal do município de Resende, decorrente da entrada em operação da nova unidade de produção a ser instalada pela INB.

Nos municípios do Vale do Paraíba Paulista onde detecta-se um quadro de estagnação econômica nos setores produtivos, o cenário futuro apresenta possibilidades de expansão, a médio prazo, com a ampliação da atividade de turismo ecológico, dado o potencial patrimonial existente.

O empreendimento também trará mudanças relevantes especialmente do ponto de vista sócio-ambiental com a concretização do Programa de Recuperação das Matas Ciliares, em área de cerca de 200 ha, às margens da Represa do Funil, acordado entre o empreendedor e os órgãos ambientais.

7.4.3.2 Impactos Sócio-Econômicos

1) Fiscais

- Variação da Arrecadação Tributária

Na etapa de implantação este evento é consequência do incremento de tributos de diversas naturezas determinados pela execução das obras previstas, como: contratos de serviços (ISS), aquisição de materiais (ICMS), imposto de renda, além dos encargos sociais associados à contratação de mão-de-obra. Este impacto ocorrerá apenas durante a execução das obras de montagem industrial e consequentemente será temporário.

Com a entrada em operação da nova unidade produtiva da INB, espera-se um incremento direto e indireto na oferta de postos de trabalho e decorrente aumento da arrecadação

tributária, resultando no fortalecimento da economia municipal e contribuindo para uma melhoria na qualidade de vida da população.

Este impacto fiscal tem abrangência local e regional, atingindo direta e diretamente o município de Resende, no primeiro caso via tributos locais (IPTU e ISS sobre serviços localmente contratados) e no segundo através dos mecanismos de participação na arrecadação estadual (ICMS) e federal (IPI e IR) e será permanente, a partir da entrada em operação da nova unidade produtiva, cuja receita bruta anual deverá atingir cerca de US\$360 milhões. O aumento de recursos para a esfera administrativa municipal contribuirá para a manutenção e ampliação da infra-estrutura existente a fim de atender a demanda detectada no diagnóstico ambiental, de equipamentos de saúde, de rede viária interna e de incremento às atividades promotoras da concretização do potencial turístico da região.

Deve-se considerar que o coeficiente de participação para a receita estadual transferida ao município de Resende em 1994 (dado disponível mais recente, segundo o TCU), foi da ordem de 3,2% e que a receita total transferida naquele ano foi de R\$ 1.801.022,77 (um milhão, oitocentos e um mil e vinte e dois reais e setenta e sete centavos).

- Substituição de Importações

Com a entrada em operação das linhas de pó e de pastilhas, a INB garante o suprimento de combustível para as Usinas Nucleares de Angra I e II, proporcionando a prática de preços finais do combustível mais competitivos, em função da substituição gradativa das importações de pastilhas de UO₂ de alto valor agregado – atualmente a INB paga para estes serviços US\$ 160,00/Kg de pastilhas – o que considerando a recarga das unidades I e II da CNAAA representa uma economia de divisas de aproximadamente US\$ 8 milhões anuais.

Este impacto pode ser considerado importante por se inserir na estratégia de garantia do domínio da tecnologia nuclear pela indústria brasileira, proporcionando, gradualmente, a auto-suficiência do país quanto ao ciclo completo do urânio. A Figura 7.23 a seguir ilustra o ciclo do combustível.

2) Efeitos Multiplicadores e de Indução

- Novos postos diretos e indiretos de trabalho permanente

Em que pese a reduzida importância local dos empregos temporários gerados na presente fase de estudos, projetos e montagem industrial, a operação do empreendimento implicará a criação de 137 novos postos permanentes e 85 na fase de projeto e montagem, todos de nível semi-qualificado a técnico e superior.

Em função dos encadeamentos econômicos previsíveis, sobretudo no que se refere aos chamados efeitos para trás - neste caso possivelmente restritos a compra de insumos e contratação de serviços locais - haverá a geração de um número significativo porém de difícil quantificação de novos empregos (basicamente pela ausência de tabelas de insumo-produto regionalizadas e de conhecimento detalhado da estrutura produtiva local atual).

Figura 7.23 CICLO DO COMBUSTÍVEL

- Indução ao desenvolvimento de outras atividades

O aumento da massa salarial local e regional, gerada pela contratação de novos trabalhadores, propiciará efeitos de indução na economia, com a criação de novos postos de trabalho - na indústria, no comércio e nos serviços - para atender ao aumento da demanda agregada, ampliando o investimento e a renda em rodadas sucessivas típicas da abordagem das relações insumo-produto.

Este efeito é esperado sobretudo nas atividades de comércio e serviços ofertadas pelo centros urbanos de Resende e Itatiaia.

3) Aumento do Tráfego de Caminhões

A seguir, está apresentado um resumo sobre o transporte de cilindros de UF_6 e elementos combustíveis para/da FEC II.

- **Transporte de Cilindros**

Os materiais radioativos, dentre os quais se incluem os cilindros de UF_6 e os elementos combustíveis não-irradiados, receberam a Classe 7 dentre as nove classes de produtos perigosos estabelecidas pela ONU, juntamente com os correspondentes rótulos de risco.

O transporte dos cilindros de UF_6 e dos elementos combustíveis não-irradiados será realizado em conformidade com as seguintes normas:

CNEN-NE 2.01 - “Proteção Física de Unidades Operacionais da Área Nuclear”;

CNEN-NE 3.01 - “Diretrizes Básicas de Radioproteção”;

CNEN-NE 5.01 - “Transporte de Materiais Radioativos”;

CNEN-NE 5.02 - “Transporte, Recebimento, Armazenagem e Manuseio de Elementos Combustíveis de Usinas Nucleoelétricas”;

ABNT-NBR 7500 - “Transporte, Armazenagem e Manuseio de Materiais - Simbologia”;

ABNT-NBR 7502 - “Transporte de Cargas Perigosas - Classificação”;

ABNT-NBR 7503 - “Ficha de Emergência para o Transporte de Carga Perigosa - Características e Dimensões”;

ABNT-NBR 7504 - “Envelope para o Transporte de Carga Perigosa - Dimensões e Utilizações”;

ABNT-NBR 8285 - “Preenchimento da Ficha de Emergência para o Transporte de Produtos Perigosos”;

ABNT-NBR 8286 - “Emprego da Sinalização nas Unidades de Transporte e de Rótulos nas Embalagens de Produtos Perigosos”;

ABNT-NBR 9374 - “Conjunto de Equipamentos de Proteção Individual para Avaliação de Emergência e Fuga no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos”;

ABNT-NBR 9375 - “Conjunto de Equipamentos para Emergências no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos”;

ABNT-NBR 12710 - “Proteção Contra Incêndio por Extintores no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos”;

SAE-NG 04 - Norma Geral para Situações de Emergência nas Unidades de Transporte;

ANSI-N14.1 – American National Standard for Packing of Uranium Hexafluoride for Transport” (1982 Edition);

IAEA Safety Series No. 6 (1985 Edition revised in 1986) e Safety Series No. 6 Supplement (1986 Edition revised in 1987) – “Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material”;

Publicação ORO 651 – “Uranium Hexafluoride: Handling Procedures and Container Criteria”;

Resolução CONAMA nº 001-A, de 23/01/86;

Decreto-Lei nº 96.044, de 18/05/88 - “Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos” e

Portaria nº 291, de 31/05/88 - “Instruções Complementares ao Regulamento do Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos”.

Para o transporte dos cilindros de UF_6 e dos elementos combustíveis não-irradiados, será elaborado pela INB, em conjunto com todos os órgãos envolvidos (tais como SIPRON, CNEN, Furnas, SEDEC, FEEMA, INFRAERO, Administração do Porto Marítimo do Rio de Janeiro, Ministério dos Transportes, DNER e Polícia Rodoviária Federal), um Plano Geral de Transporte, definindo os cuidados especiais a serem adotados.

As situações de emergência, previstas nas operações de transporte, são:

- . ameaças à integridade física da Unidade de Transporte (UT);
- . interrupção das comunicações de segurança;
- . ocorrência de acidente grave (incêndio, explosão ou desastre);
- . distúrbios civis, com reflexos sobre a UT;
- . emboscadas, ataques ou assaltos armados;
- . remoção não-autorizada de material radioativo em questão;
- . sabotagem; e
- . liberação de radiação acima dos níveis de referência, estabelecidos na norma CNEN-NE 5.01.

Será estabelecido e implementado um Programa de Garantia da Qualidade relativo ao projeto, manufatura, ensaios, documentação, uso, manutenção e inspeção das embalagens, bem como às operações de transporte e armazenamento em trânsito.

As viaturas de escolta e os veículos de transporte do comboio rodoviário vão portar toda a documentação, placas de aviso, rótulos e marcações, assim como os equipamentos de radioproteção, de monitoração radiológica, de comunicação, de proteção física e de combate a incêndio requeridos pelas normas e regulamentos pertinentes.

O Plano de Proteção Radiológica, a ser estabelecido pela INB, abordará todas as atividades e precauções necessárias para as diversas etapas da operação de transporte dos embalados;

Todos os equipamentos e ferramentas necessários ao desenvolvimento dos trabalhos, incluindo aqueles de proteção individual e radiológica, estarão disponíveis durante toda a operação;

Todas as atividades de inspeção, manuseio, carga e descarga, e transporte dos embalados serão feitas utilizando-se procedimentos específicos, escritos e aprovados, e tomando-se

medidas adequadas para evitar uma condição de criticalidade accidental. Essas atividades serão submetidas a auditorias de acordo com o Programa de Garantia da Qualidade estabelecido pela INB;

Todo o pessoal envolvido nas operações de carga, descarga, transbordo e transporte dos cilindros de UF₆ e dos elementos combustíveis não-irradiados possuirá qualificação e experiência profissionalmente, e receberá treinamento específico apropriado não só para as operações normais como também para as ações a serem tomadas em caso de emergência, conforme programa a ser estabelecido pela INB.

• **Transporte dos Cilindros de UF₆ Cheios**

Para o transporte e estocagem de hexafluoreto de urânio serão adotados cilindros aceitos internacionalmente;

Para o transporte de UF₆ levemente enriquecido em ²³⁵U serão utilizados cilindros do tipo 30 B, projetados e fabricados de acordo com a norma ANSI-N14.1 e com as seguintes especificações técnicas:

Tabela 4.48 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS CILINDROS

Característica	Cilindro 30 B
Diâmetro -	0,76 m
Comprimento nominal-	2,07 m
Espessura da Parede -	1,27 m
Tara -	635 kg
Peso líquido máximo -	2.278 kg
Peso líquido mínimo para transporte –	1.950 kg
Peso bruto nominal -	2.913 kg
Material de construção -	aço ASTM A-516
Pressão de projeto -	200 psig
Pressão hidrostática de teste -	400 psig
Temperatura máxima de projeto -	121 °C
Limite de concentração em peso de ²³⁵ U – (com grau de moderação H/U ≤ 0,088)	5% c/ controle de moderação nos cilindros; pureza mínima de UF ₆ = 99,5%

O transporte dos cilindros de UF₆ cheios será previamente autorizado pela CNEN e realizado com o apoio da Polícia Rodoviária Federal, SSP-RJ e Ministério do Exército

O transporte dos cilindros de UF₆ cheios do tipo 30 B será feito de forma a mantê-los apoiados e rigidamente fixados em berços de aço – formados por pares de suportes – soldados em localização pré-determinada das embalagens de aço do tipo EI-2 Físsil. As embalagens serão especialmente projetadas e construídas para essa finalidade, de forma a resistir a uma aceleração de 3G e atender aos requisitos estabelecidos na norma CNEN-NE 5.01, no sentido de:

- facilitar e agilizar as tarefas de inspeção e as possíveis operações de emergência;
- prevenir a dispersão e ingestão do material radioativo através de uma contenção adequada;

- controlar o nível externo de radiação, através de espaçamento adequado, de incorporação da blindagem necessária e de sinalização do nível de radiação existente externamente aos embalados;
- controlar a configuração dos embalados, tomando como base o seu projeto e o índice de transporte (IT);
- evitar níveis elevados de temperatura na superfície dos embalados e danos decorrentes do calor;
- ser subcrítico, tanto em condições normais de transporte como também em casos de acidente;
- levar em consideração várias contingências, tais como vazamento de água para dentro do embalado, perda de eficiência de moderador e absorvedor, rearranjo de conteúdo; redução de espaço entre embalados, efeitos de mudança de temperatura e eventual imersão do embalado em água.

Os equipamentos para transporte dos embalados de UF₆ atenderão aos seguintes requisitos:

- compatibilidade com as características dos embalados;
- adequação estrutural para suportar o peso estático equivalente a 2,5 vezes o peso dos cilindros e outros esforços impostos, de forma a prover proteção do embalado contra danos causados por possíveis acidentes durante o transporte;
- alta confiabilidade operacional; e
- resposta adequada às situações de insegurança, avaria, acidente e emergência.

Será submetida à aprovação da CNEN uma análise de acidentes previsíveis com os embalados e as medidas adotadas para preveni-los ou minorar as suas conseqüências.

• Transporte de Elementos Combustíveis Não-Irrradiados

O transporte dos elementos combustíveis não-irradiados será previamente autorizado pela CNEN, SEDEC, FEEMA, Ministério dos Transportes e DNER.

O transporte dos elementos combustíveis não-irradiados, com enriquecimento de ²³⁵U de no máximo 5% em peso, é realizado segundo a modalidade de arranjos especiais (*special arrangements*) – que são condições adicionais estabelecidas pela CNEN – com embalagens especialmente projetadas, construídas e testadas para essa finalidade, com vistas a satisfazer todos os critérios de segurança. Embora esses recipientes ainda não estejam qualificados pela norma CNEN-NE 5.01, a INB garante que o transporte é efetuado em segurança, adotando, para tanto, medidas adicionais ou restritivas até a qualificação dos mesmos.

Os recipientes, projetados para transportar dois elementos combustíveis, são similares àqueles usados para a usina de Biblis B, constituindo-se de duas partes – bacia com patim de assento e tampa, – com comprimento de 57,45 cm, largura de 98,60 cm e altura de 77,80 cm e peso de 1.810 kg. Possuem em seu interior um suporte elástico suspenso sobre a bacia, para prover amortecimento aos elementos combustíveis, sendo classificados pela norma CNEN-NE 5.01 como embalagens do tipo A e classe fissil II. Com excessão do limite inferior de -40°C, esses recipientes satisfazem os requisitos da IAEA Safety Series No. 6 e seu suplemento;

Cada elemento combustível não-irradiado conterà 60 kg de pastilhas de UO₂ com uma atividade específica de 7,29 E+04 Bq/g U, resultando em uma atividade total de 4,37 E+9 Bq

por recipiente. Sua radioatividade será devida basicamente à emissão de radiação alfa, facilmente contida pelas paredes dos tubos de envareamento dos elementos combustíveis;

O índice de transporte (IT) determinado para o controle da criticalidade no arranjo dos recipientes é dado por $IT = 50/N$, sendo $N = 25$ o número máximo de recipientes permitido por transporte. Isso considera que, na hipótese de os recipientes serem empilhados juntos em qualquer arrumação com a pilha revestida em todos os lados por uma espessura de 20 cm de água, ou equivalente, eles satisfaçam as seguintes condições da norma CNEN-NE 5.01:

- . 5 vezes N recipientes não-danificados, sem nada entre eles, constituírem um conjunto subcrítico; e
- . 2 vezes N recipientes danificados, com moderação hidrogenada entre eles resultando na maior multiplicação de nêutrons possível, formarem um conjunto subcrítico;

Os recipientes carregados serão rotulados como de Categoria III Amarela (Figura 4 da norma CNEN-NE 5.01), que corresponde a um índice de transporte máximo maior que 1 e menor ou igual a 10 conforme a Tabela X da norma CNEN-NE 5.01;

Os equipamentos para transporte dos recipientes carregados atenderão aos seguintes requisitos:

- compatibilidade com as características do recipiente carregado;
- adequação estrutural para suportar os esforços impostos, de forma a prover proteção do recipiente carregado contra danos causados por possíveis acidentes durante o transporte;
- alta confiabilidade operacional; e
- resposta adequada às situações de insegurança, avaria, acidente e emergência.

Será submetida à aprovação da CNEN uma análise de acidentes previsíveis com os recipientes carregados e as medidas adotadas para preveni-los ou minorar as suas conseqüências.

• **Proteção Física das Unidades de Transporte**

Para cada operação de transporte realizada por unidade de transporte (UT), será submetido à CNEN um Plano de Proteção Física (PPF) específico, em conformidade com os requisitos da norma CNEN-NE 2.01.

A aprovação do PPF será condição essencial para a concessão, pela CNEN, da autorização escrita indispensável à transferência de materiais de interesse, requerida pela INB e que deve acompanhar a carga.

No transporte da carga, serão considerados, além da proteção física, outros aspectos de segurança, de acordo com as outras normas pertinentes.

O modo de transporte e o itinerário serão planejados de maneira que o número de viagens, o número e a duração de armazenamentos temporários, assim como o tempo no qual a carga permanecerá em trânsito sejam os mínimos possíveis.

O itinerário da UT levará em conta a segurança do trajeto.

Serão planejados itinerários opcionais, que permitam alterar a programação inicial, em caso de necessidade.

Os transbordos da carga, se necessário, serão planejados de tal modo, que a transferência da carga se realize no menor tempo possível.

O PPF define locais adequados para pernoite ou armazenamento temporário da carga, com medidas apropriadas de proteção física, para o caso da transferência não puder ser completada em um dia.

O PPF prevê a inclusão, na força de segurança do transporte, de pessoal treinado para atuar em situações de emergência, especialmente apto para se opor prontamente a ações de sabotagem ou à remoção não-autorizada de material nuclear.

Para o caso de transferência internacional dos cilindros de UF_6 , as medidas de proteção física serão reguladas, caso a caso, pela CNEN.

A UT vai contar com um serviço de proteção física compatível com a natureza e o vulto da operação de transporte, dotado de um centro de coordenação geral, pessoal com treinamento específico, comunicações de segurança e procedimentos escritos e aprovados.

Cada meio transportador será vistoriado pela força de segurança, de acordo com o PPF, antes do carregamento, do embarque do pessoal e da partida da UT e nos eventuais pontos de parada.

Em caso de necessidade de armazenamento temporário não previsto no PPF, será montado um esquema provisório adequado de proteção física, especialmente durante o pernoite.

• **Aumento de Tráfego**

Atualmente, o tráfego de veículos na rodovia Presidente Dutra (BR-116) na região de Resende apresenta um fluxo diário de aproximadamente 17.000 veículos, dos quais cerca de metade corresponde a caminhões e ônibus e a outra metade a automóveis.

Elementos Combustíveis

O transporte de elementos combustíveis é feito através de caminhões, em comboios especiais. Cada caminhão tem capacidade de transportar 4 (quatro) elementos combustíveis, carregando somente 2 (dois) como parte das medidas de segurança. Para o núcleo completo do reator, são necessários 193 elementos combustíveis, e para cada recarga (uma vez por ano 1/3 dos elementos combustíveis é trocado) cerca de 64 elementos combustíveis são utilizados.

Cada comboio é composto de no máximo cinco (5) veículos, de forma que cada comboio pode transportar apenas 10 elementos combustíveis por viagem. Para cada recarga (correspondente a 64 elementos combustíveis) são necessários portanto 6,4 comboios, o que

corresponde a cerca de 32 veículos/ano. Para o núcleo completo, são necessários 19,2 comboios, o que representa 106 veículos.

A INB está adquirindo 8 (oito) contêineres especiais para transportar elementos combustíveis não-irradiados de modo a diminuir o número de caminhões/comboios por ano.

UF₆

Cada cilindro do tipo 30B transporta até 2,2t de UF₆. No primeiro estágio de operação, que corresponde a uma produção de 120t/ano, são necessários 55 cilindros. Para uma produção equivalente a capacidade nominal da planta (240t/ano), seriam necessários 110 cilindros. Considerando novamente que cada caminhão tem capacidade para transportar dois cilindros, no primeiro estágio seriam necessários 28 caminhões/ano, enquanto que para atender à capacidade nominal de produção seriam necessários 55 caminhões.

Cabe aqui lembrar que o DNER informa um TMD – Tráfego Médio Diário, no trecho da Rodovia Presidente Dutra que contém a Estação de Pedágio de Itatiaia, no valor de 17.000 veículos/dia, com cerca de 50% de caminhões.

7.4.4 Conclusões

A matriz adiante (Tabela 7.49) sintetiza os resultados das análises multidisciplinares apresentadas anteriormente.

Tabela 7.49 MATRIZ DE AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS EM CONDIÇÕES NORMAIS

SISTEMAS E AÇÕES	EVENTO CAUSADOR DO IMPACTO	ESTRUTURA / PROCESSO IMPACTADO	ALTERAÇÕES E FENÔMENOS AMBIENTAIS ENVOLVIDOS	INDICADORES DE IMPACTO	CARACTER. DO IMPACTO
EXAUSTÃO DO AR AMBIENTE E DE EQUIPAMENTOS DE PROCESSO	. Emissões Atmosféricas (118.000 Nm ³ /h, menos de 1 Bq/Nm ³)	Ecosistemas Terrestres e Aquáticos	. Deposição seca e úmida no solo implicando transferências à flora e à fauna . Exposição direta e indireta das biotas e comunidades locais	. Possíveis alterações genéticas e aumento do risco de câncer	. Negativo, Direto e Indireto, Local, Permanente, Intensidade Baixa a Desprezível
SISTEMA DE TRATAMENTO DE REJEITOS	. Lançamento de efluentes líquidos no rio Paraíba do Sul (180 m ³ /semana, menos de 0,13 ppm de U).	Ecosistemas Aquáticos	. Concentração do urânio nos sedimentos e plantas aquáticas, com transferência aos peixes e invertebrados . Exposição direta e indireta das biotas e comunidades locais	. Possíveis alterações genéticas e aumento do risco de câncer . Fitoplâncton, Fito e Zôo Bento, Plantas e Invertebrados e Peixes	. Negativo, Direto e Indireto, Local, Permanente, Intensidade Desprezível

Tabela 7.49 Cont.

SISTEMAS E AÇÕES	EVENTO CAUSADOR DO IMPACTO	ESTRUTURA / PROCESSO IMPACTADO	ALTERAÇÕES E FENÔMENOS AMBIENTAIS ENVOLVIDOS	INDICADORES DE IMPACTO	CARACTER. DO IMPACTO
DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	.Estocagem controlada no aguardo da solução global CNEN	Ecosistemas Terrestres e Aquáticos apenas em caso de acidente	. Exposição direta e indireta das biotas e comunidades locais	.Possíveis alterações genéticas e aumento do risco de câncer	. Irrelevante em condições normais
DESEMPENHO ECONÔMICO (turn over da ordem de US\$360 milhões/ano quando da produção de 240t/ano)	. Pagamento de Tributos (INPI, IR, INSS, ICMS, IPTU e taxas locais) . Contratação de pessoal estável (pelo menos 80 novos postos de trabalho) . Substituição de importações de pastilhas de UO ₂ por Hexafluoreto de Urânio	Quadro Sócio-econômico	. Efeitos fiscais e de encadeamento econômico (efeitos “ para frente e para trás”) . Efeitos induzidos ou do tipo acelerador (demanda induzida gerando novos empregos e renda)	. Aumento da arrecadação fiscal municipal (sobretudo pelo aumento das transferências federais e estaduais) . Aumento da renda pessoal local . Melhoria potencial da infra-estrutura social econômica	. Positivo, Direto e Indireto, Local, Permanente, Intensidade Média a Alta