

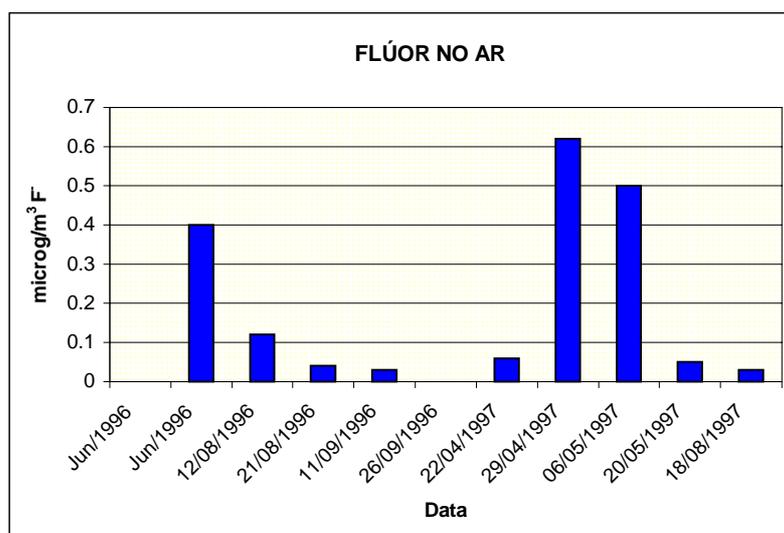
4.4.5.2. Qualidade do Ar

- **Análises INB**

Fluoretos

A Tabela 4.90 a seguir mostra os valores das análises especialmente realizadas pela INB, tendo em vista o processamento futuro de hexafluoreto de urânio. O valor máximo obtido foi de 0,62 microg/m³.

O gráfico a seguir ilustra os resultados apresentados na Tabela 4.90.



Verifica-se que os níveis de flúor na atmosfera da região, ainda que insignificantes¹, refletem a influência de outras atividades industriais existentes na região.

Aerossóis - Emissão Alfa e Beta Total (Valores Máximos)

As análises de aerossol são realizadas semanalmente, sendo feita uma amostragem de 24 horas. São utilizados amostradores de alto fluxo (75 m³/h), modelo GMWL-2000 H da General Metal Works Inc. e os filtros são de fibra de vidro sem aglutinante de 8x10" tipo AP-40, da Millipore.

Comparando os valores de emissão alfa no período operacional com aqueles determinados no levantamento pré-operacional do CDTN, pode-se verificar que para os pontos de amostragem 02, 09, 10, e 29 os valores de emissão alfa são bastante semelhantes. A Tabela 4.91, a seguir, resume as curvas de emissão alfa no período pré-operacional (CDTN) e operacional (INB). Observa-se que o maior valor obtido ocorreu no período pré-operacional. Somente os pontos analisados também pelo CDTN encontram-se na tabela. Os valores ausentes se devem a não realização de análise de emissão alfa e beta no período respectivo.

¹ A regulamentação brasileira para qualidade do ar não considera o parâmetro flúor.



Tabela 4.90 FLUORETO NO AR

Início			Término			Tempo Decorrido (dias)	Volume Amostrado (m ³)	Vazão (l/min)	Concentração		
Data	Hora	Volume (m ³)	Data	Hora	Volume (m ³)				Branco ppm	Amostra ppm	F ⁻ no ar ug/m ³
Jun/1996*						0,67	6,4		6,67		0
Jun/1996*						0,98	11,9		8,44		0,4
12/08/1996	11:10	206	15/08/96	09:00	240,3	2,91	32,7	7,8	0,4	0,6	0,12
21/08/1996	14:37	240	27/08/96	10:56	295,1	5,85	54,8	6,51	0,1	0,2	0,04
11/09/1996	13:50	295	20/09/96	16:44	369,5	9,12	74,4	5,86	0,2	0,3	0,03
26/09/1996	08:48	370	07/10/96	10:22	455,3	11,07	85,8	5,36	0,8	0,8	0
18/03/1997 **	10:30	485	21/03/97	15:50	618,8		133,472		3,25	3,68	0,03
31/03/1997 **	10:07	619	04/04/97	13:45	796,1		177,328		2,01	2,87	0,05
22/04/1997	11:05	797	29/04/97	09:11	862,1	6,92	65,4	6,56	1,06	1,47	0,06
29/04/1997	11:15	862	06/05/97	08:15	876,5	6,88	14,29	1,44	1,07	1,96	0,62
06/05/1997	10:21	877	13/05/97	09:50	885,4	6,98	8,88	0,66	1,2	1,64	0,5
20/05/1997	15:45	886	27/05/97	10:01	954,2	6,76	68,61	7,05	1,05	1,4	0,05
18/08/1997	15:06	980	25/08/97	10:00	1011	6,79	31,34	3,21	1,06	1,15	0,03

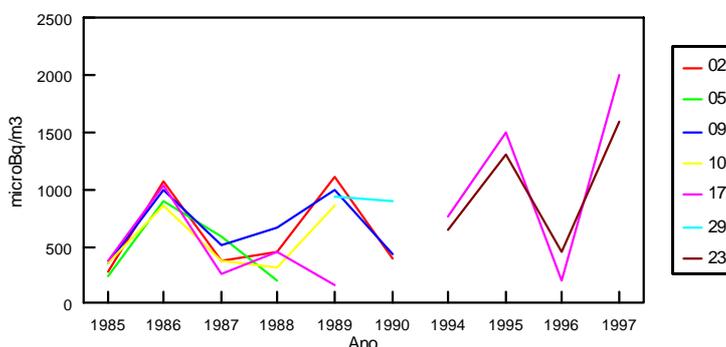
Fonte: INB

Obs.: * amostrado em paralelo com a Valesul, cujo resultado deu 0 microg/m³

** esses resultados de fluoreto não serão considerados porque a vazão obtida foi superior a 7,8 l

Emissão Alfa - Aerossol

Valores Máximos



Obs.: Não foram realizadas análises no período de 1991-1993

Obs:

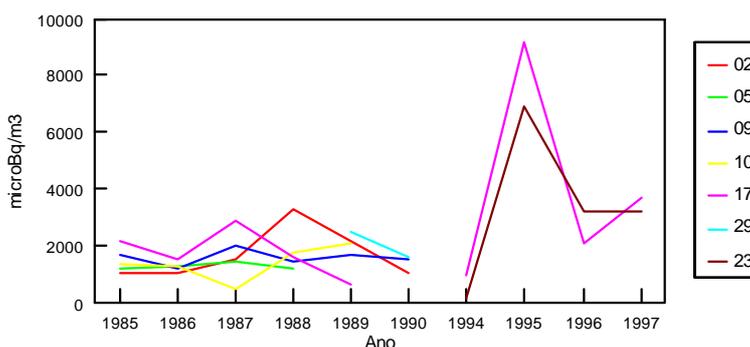
- 1- Os valores das emissões para o período de 1981-1984 não foram considerados por constarem somente como médias anuais.
- 2- Não foram realizadas análises no período de 1991-1993

Tabela 4.91 EMISSÃO ALFA - AEROSSOL (microBq/m³) - Valores Máximos

Ponto de Amostragem	CDTN Pré Operacional		INB Operacional						
	1980	1981	1985	1986	1987	1988	1989	1995	1996
02	1073	740	281	1073	370	444	1100		
09	740	518	351	999	518	666	1100		
10	592	296	359	851	370	318	860		
17	1036	407	370	1036	259	444	170	1500	210
29	629	4440	1480				940		

Emissão Beta - Aerossol

Valores Máximos



Obs.: Não foram realizadas análises no período de 1991-1993

Obs:

- 1- Os valores das emissões para o período de 1981-1984 não foram datados devido ao fato de constarem somente como valores médios.
- 2- Não foram realizadas análises no período de 1991-1993

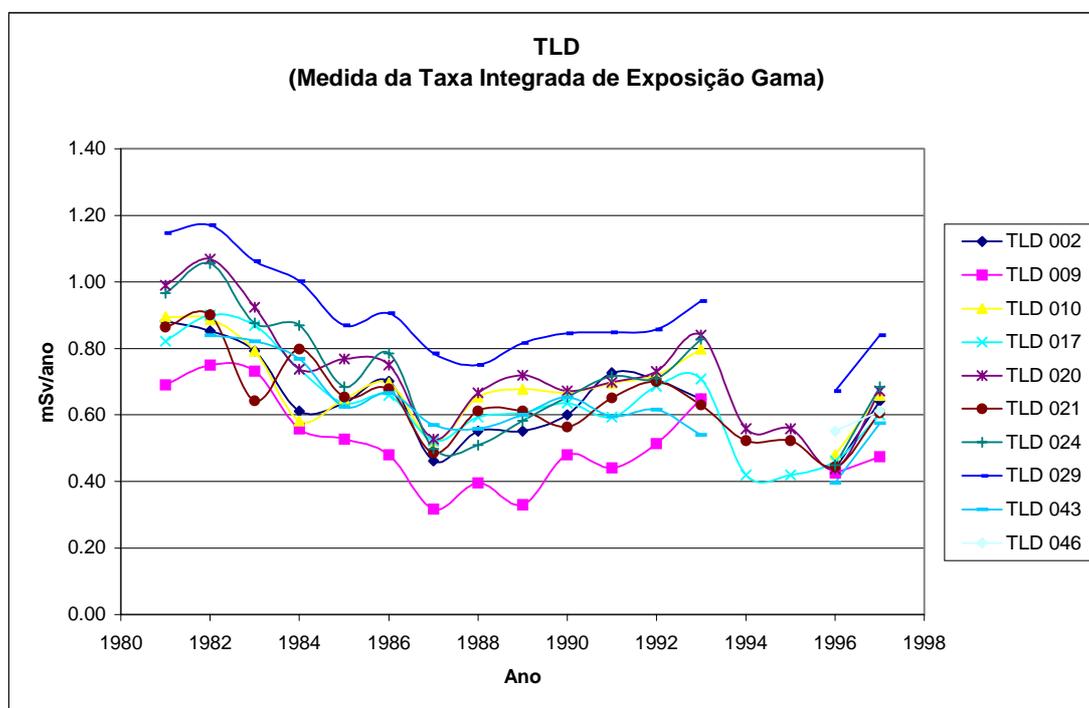
No caso de emissão beta, os valores pré-operacionais e operacionais se encontram na mesma faixa, conforme sumariza a tabela a seguir. Com exceção de 1995, em que um elevado valor de emissão beta foi obtido, provavelmente devido a erros metrológicos (verifica-se que os outros pontos não foram analisados neste ano), todos os demais valores encontram-se abaixo do maior valor obtido no período pré-operacional.

Tabela 4.92 EMISSÃO BETA - AEROSSOL (microBq/m³) - Valores Máximos

Ponto de Amostragem	CDTN Pré Operacional		INB Operacional						
	1980	1981	1985	1986	1987	1988	1989	1995	1996
02	1628	1998	1073	1073	1554	3256	2200		
09	2664	2183	1665	1184	2035	1406	1700		
10	2257	3700	1369	1295	481	1776	2100		
17	2109	2405	2146	1517	2923	1591	670	9200	2100
29	2960	2183	2664				2500		

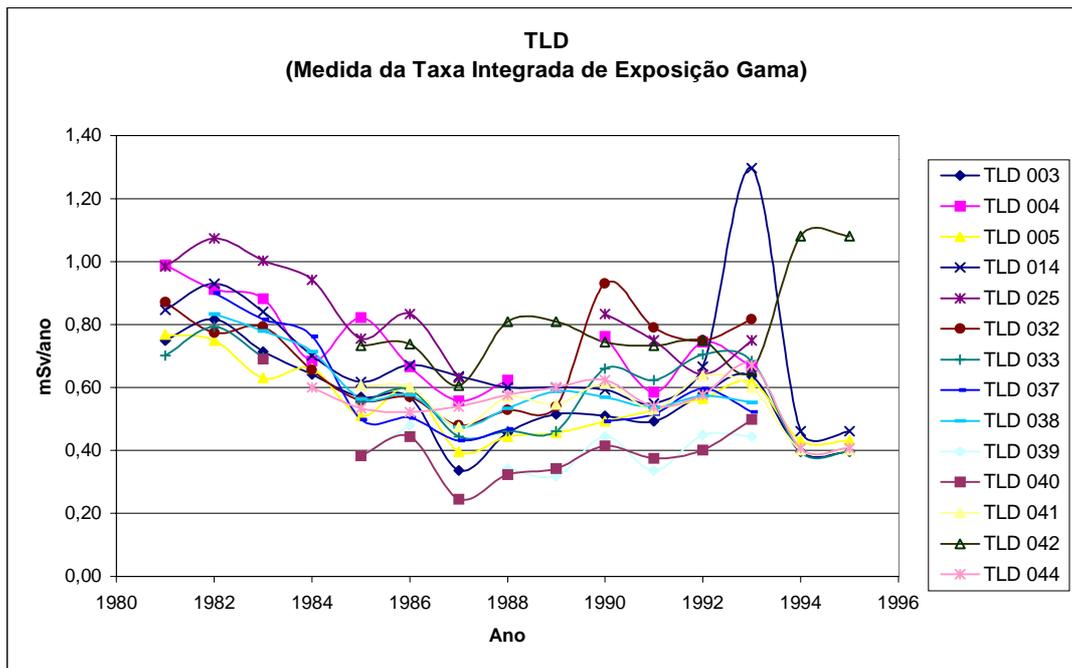
Taxa Integrada de Exposição Gama (TLD) e Taxa Instantânea de Exposição Gama

O gráfico a seguir apresenta os pontos de amostragem de TLD de acordo com a versão mais recente do Programa de Monitoração Ambiental da INB. O ponto 046 foi introduzido em 1996. Os valores ausentes se devem a extravios dos monitores.

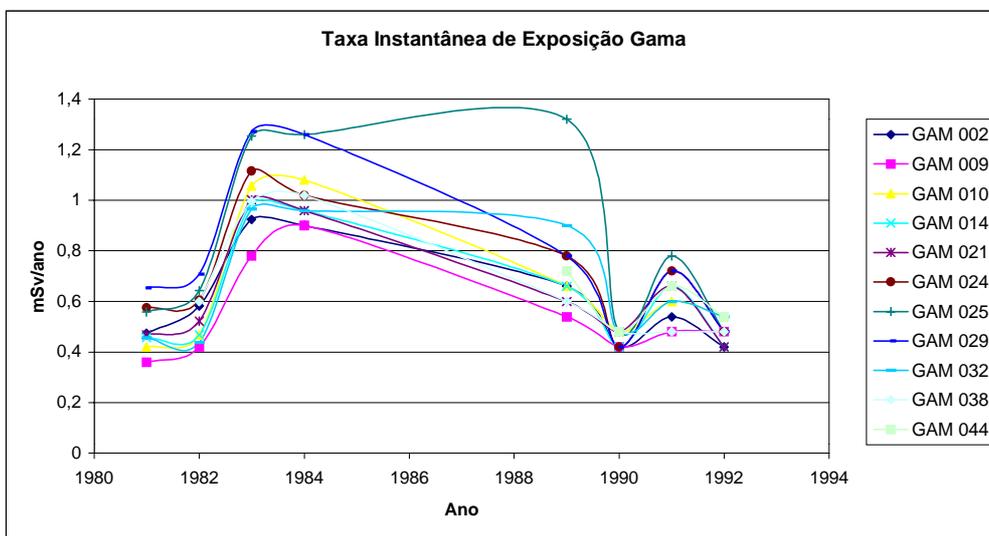


Verifica-se que os valores deste gráfico estão na mesma faixa dos valores pré-operacionais apresentados anteriormente. Novamente o ponto 029 apresenta valores de TLD mais elevados, mas estes estão na mesma faixa que os valores apresentados no gráfico pré-operacional do CDTN. Deve ser observado que os valores são em geral decrescentes.

O gráfico a seguir apresenta os pontos de amostragem monitorados entre 1981 e 1985. Deve-se ressaltar que 1981 corresponde a um ano pré-operacional.



A comparação desta curva com a curva de TLD para o programa pré-operacional do CDTN mostra que os valores de TLD se encontram na mesma faixa (entre 0,6 e 1,2 mSv/ano). Baixos valores de TLD foram encontrados no ponto de amostragem 09 (Grupo Escolar Barão da Bocaina - Areias) para os levantamentos. Observa-se que, com exceção de pontos isolados (TLD 014 e TLD 042 em 1993-1995), os valores de 1982-1997 são inferiores aqueles medidos no ano pré-operacional.



Verifica-se um aumento na taxa instantânea de exposição gama no período 1983-1989.

A comparação deste gráfico com aquele apresentado para o levantamento pré-operacional do CDTN mostra que os valores obtidos para a fase operacional são superiores àqueles obtidos em 1981. Na fase pré-operacional, os valores variaram de 0,36 a 0,6 mSv/ano, enquanto que na fase operacional estes valores variaram de 0,3 a 1,3 mSv/ano. As diferenças nos métodos e graus de precisão das análises em tela podem ser responsáveis pelos aumentos verificados,

cabendo frisar que os mesmos não assumem maior relevância. Observa-se que o aumento é mais significativo de 1982 para 1983, e a partir deste ano os valores tornam a diminuir.

• **Análises Natrontec/INB**

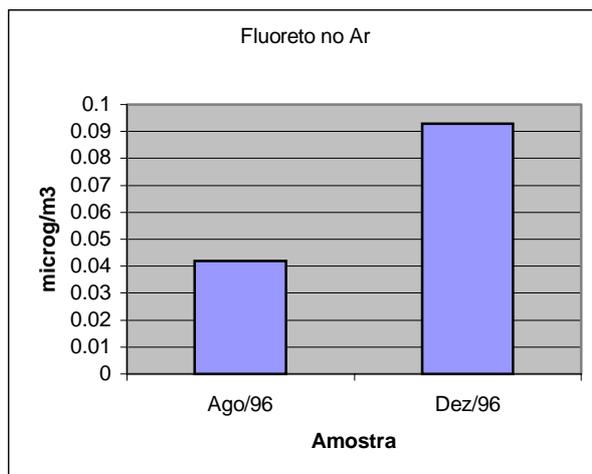
Fluoreto

A Tabela 4.93, a seguir, apresenta os valores obtidos para as análises de ar para medida de fluoreto realizadas pela Natrontec/INB nas Estações Seca (Agosto) e Úmida (Dezembro).

Tabela 4.93 ANÁLISE DE FLUORETO NO AR

Análise para Fluoreto no Ar	1ª Campanha - Estação Seca (12/08/96 - 15/08/96)	2ª Campanha - Estação Úmida (13/12/96 - 17/12/96)
Registro Inicial do Totalizador	207.582 m ³	207.582 m ³
Registro Final do Totalizador	240.290 m ³	237.543 m ³
Total de Ar	32.708 m ³	29.961 m ³
Amostra	2,144 mg	3,115 mg
Branco	0,754 mg	0,310 mg
Fluoreto	1,39 mg	2,805 mg
Valor Final de Fluoreto no Ar	0,0425 µg/ m³	0,0936 µg/m³

TLV = 2,5 mg/m³ ar



Verifica-se que os valores apresentados são comparáveis aos valores apresentados no gráfico da página 4.263, comprovando a insignificância dos níveis de flúor medidos.

Emissão Alfa e Gama

A seguir são apresentados, na forma de tabelas e gráficos, os resultados de espectrometria alfa e gama realizadas pela Natrontec para aerossóis nos períodos de Estação Seca, Estação Úmida e intermediários. É importante lembrar que o ponto ASL 002 é a montante da FEC, o ponto ASL 017 é próximo a FEC e o ponto ASL 029 fica a jusante da FEC, conforme a Figura 4.54.

Tabela 4.94 ESPECTROMETRIA ALFA - Ago 96 (Estação Seca) - 1ª Campanha

Cod. INB	Pt Amost.	Unidade	U - 238	U - 235	U - 234
60913A792A-INT-55	ASL 002	μBq/m ³	8.3± 0.6	< 0.5	6.8 ± 0.5
60830A761A-INT-55	ASL 017	μBq/m ³	11.3± 0.9	< 0.7	10.2 ± 0.9
60925A819A-INT-55	ASL 029	μBq/m ³	15.5± 0.7	< 0.6	15.3 ± 0.8

Tabela 4.95 ESPECTROMETRIA ALFA - Dez 96 (Estação Úmida) - 2ª Campanha

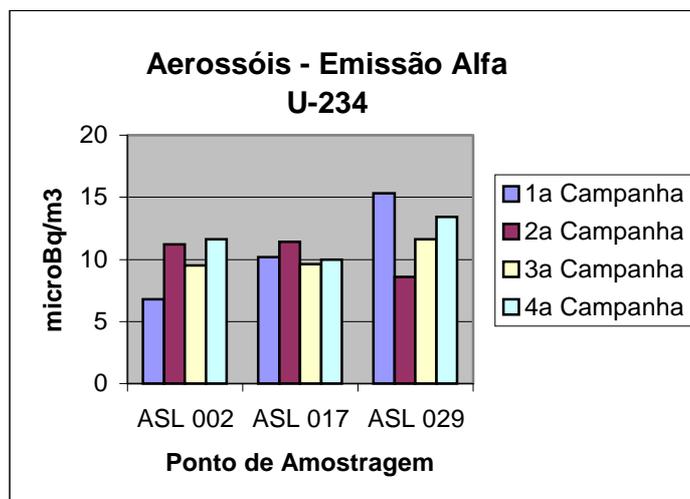
Cod. INB	Pt Amost.	Unidade	U - 238	U - 235	U - 234
70113A009A-INT-55	ASL 002	μBq/m ³	9.6± 0.7	0.45± 0.16	11.2± 0.7
61216B100A-INT-55	ASL 017	μBq/m ³	12.0±0.7	0.43± 0.15	11.4± 0.7
70115A027A-INT-55	ASL 029	μBq/m ³	11.0± 0.8	< 0.88	8.6± 0.8

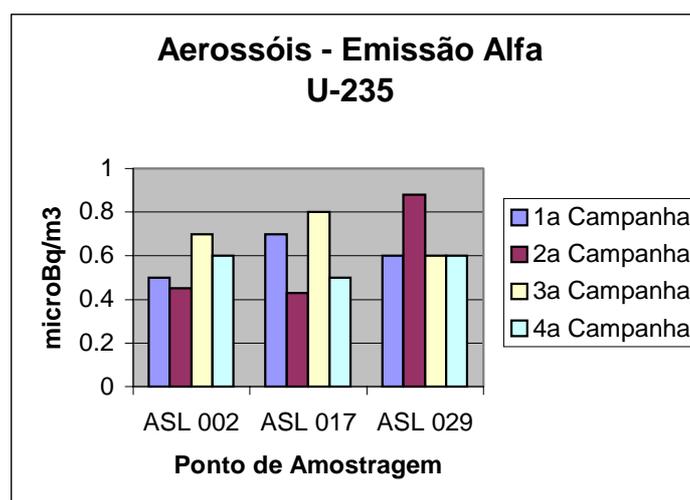
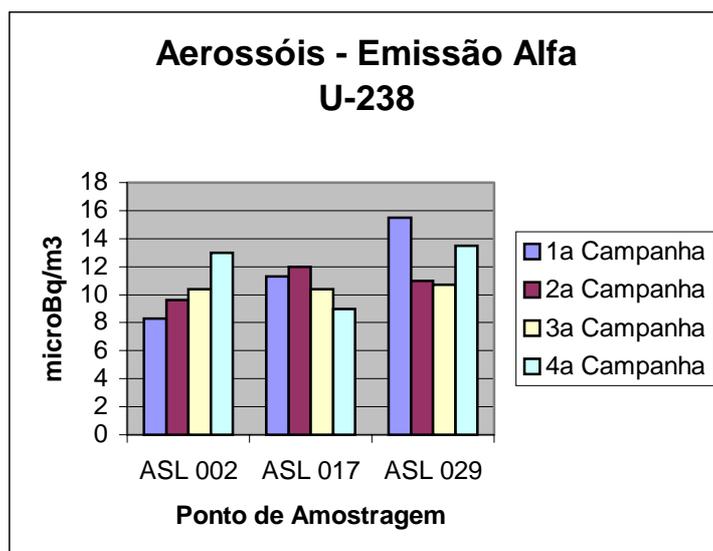
Tabela 4.96 ESPECTROMETRIA ALFA - Março/Abril 97 - 3ª Campanha

Cod. INB	Pt Amost.	Unidade	U - 238	U - 235	U - 234
70402A276A-INT-55	ASL 002	μBq/m ³	10,4± 0.7	< 0,7	9,5± 0,7
70325A275A-INT-55	ASL 017	μBq/m ³	10,4±0.7	< 0,8	9,6± 0,7
70410A277A-INT-55	ASL 029	μBq/m ³	10,7± 0.7	< 0,6	11,6± 0,7

Tabela 4.97 ESPECTROMETRIA ALFA - Junho 97 - 4ª Campanha

Cod. INB	Pt Amost.	Unidade	U - 238	U - 235	U - 234
70625A607A-INT-55	ASL 002	μBq/m ³	13 ± 0,7	< 0,6	11,6 ± 0,6
70618A531A-INT-55	ASL 017	μBq/m ³	9 ± 0,6	< 0,5	10,0 ± 0,6
70630A631A-INT-55	ASL 029	μBq/m ³	13,5 ± 0,7	< 0,6	13,4 ± 0,7





Verifica-se na estação úmida (2^a Campanha) um acréscimo nas médias dos valores de espectrometria alfa para U-238 e U-234 nos pontos de amostragem ASL 002 e ASL 017, enquanto que o ponto ASL 029 apresenta, em geral, valores superiores na estação seca. Os valores de U-235 são maiores na 3^a Campanha (Março/Abril 1997) nos pontos ASL 002 e 017. O maior valor encontrado foi na 2^a Campanha no ponto ASL 029.

Tabela 4.98 ESPECTROMETRIA GAMA - Ago 96 (Estação Seca) - 1^a Campanha

Cod. INB	Pt Amost.	Unidade	Tl - 208	Cs - 137	K - 40
60913A792A-INT-55	ASL 002	μBq/m ³	< 59	< 16	771 ± 248
60830A761A-INT-55	ASL 017	μBq/m ³	< 171	< 58	1368 ± 648
60925A819A-INT-55	ASL 029	μBq/m ³	< 140	< 58	11452 ± 480

Cod. INB	Pt Amost.	Unidade	Pb - 214	Bi - 214	Ac - 228	Bi - 212
60913A792A-INT-55	ASL 002	μBq/m ³	< 38	< 53	< 78	< 290
60830A761A-INT-55	ASL 017	μBq/m ³	< 141	< 121	< 238	< 996
60925A819A-INT-55	ASL 029	μBq/m ³	< 107	< 99	< 184	< 660

Tabela 4.99 ESPECTROMETRIA GAMA - Março/Abril 97 - 3^a Campanha

Cod. INB	Pt Amost.	Unidade	TI - 208	Cs - 137	K - 40
70402A276A-INT-55	ASL 002	μBq/m ³	< 170	< 58	2879 ± 597
70325A275A-INT-55	ASL 017	μBq/m ³	< 164	< 57	1472 ± 526
70410A277A-INT-55	ASL 029	μBq/m ³	< 154	< 54	2387 ± 560

Cod. INB	Pt Amost.	Unidade	Pb - 214	Bi - 214	Ac - 228	Bi - 212
70402A276A-INT-55	ASL 002	μBq/m ³	< 118	< 118	< 201	< 672
70325A275A-INT-55	ASL 017	μBq/m ³	< 111	< 134	< 245	< 674
70410A277A-INT-55	ASL 029	μBq/m ³	< 124	< 139	< 203	< 646

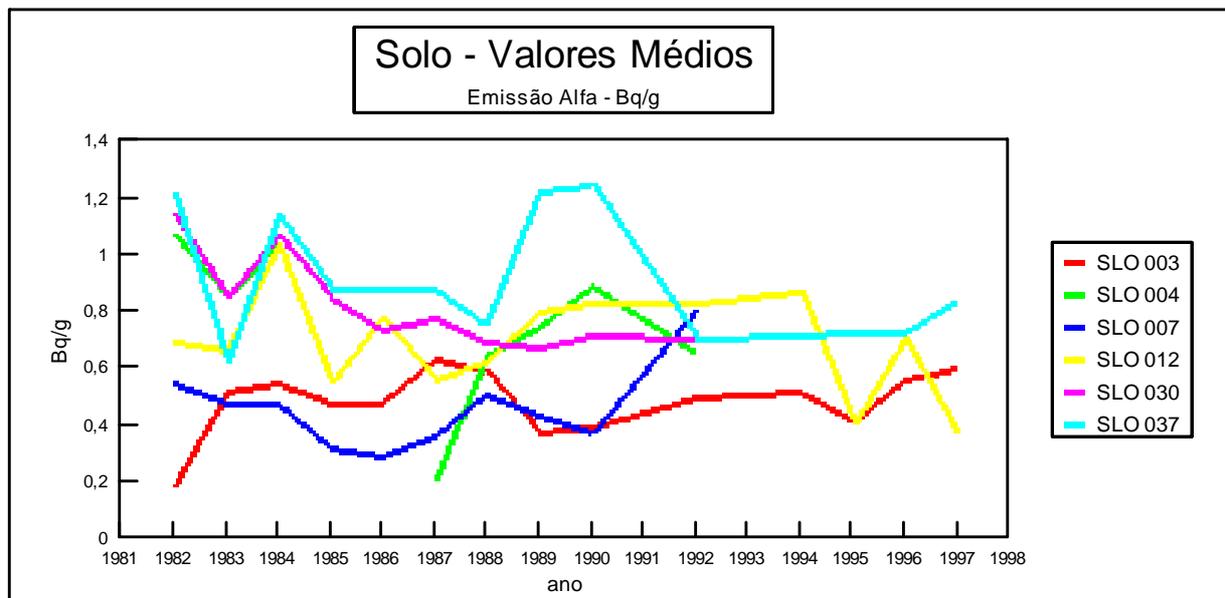
Quanto a espectrometria gama, foram observados os elementos acima datados e somente os valores de K-40 se apresentam acima dos limites de detecção, com alta na 3^a Campanha, período de Março/Abril.

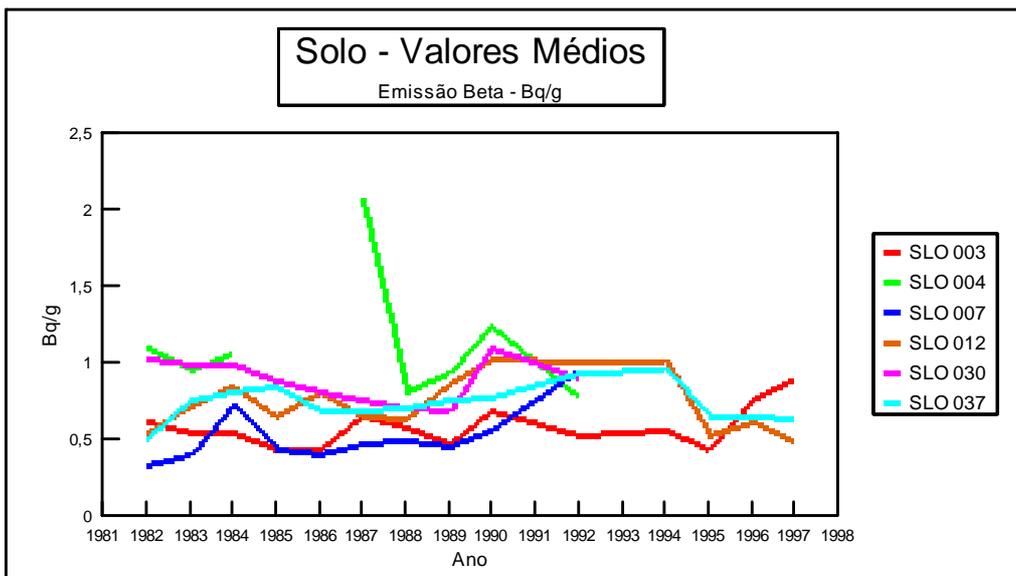
4.4.5.3. Outras Análises (Leite, Solo, Sedimento, Pasto, Peixes)

- Análises INB

A INB realiza também análises de emissão alfa e emissão beta em amostras de solo, leite, sedimentos e lamas, vegetação e ração, conforme ilustram os gráficos abaixo. Os pontos de amostragem estão relacionados na Tabela 4.81. Deve-se lembrar que a descontinuidade dos gráficos se deve ao fato de que, em alguns anos, não foi realizada a análise.

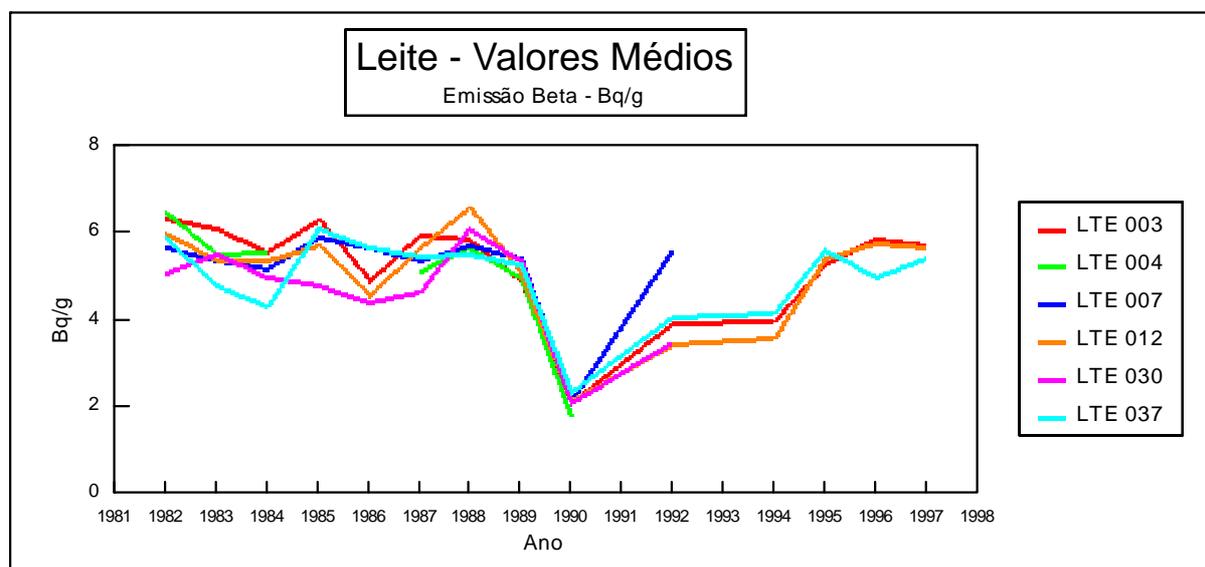
Solo





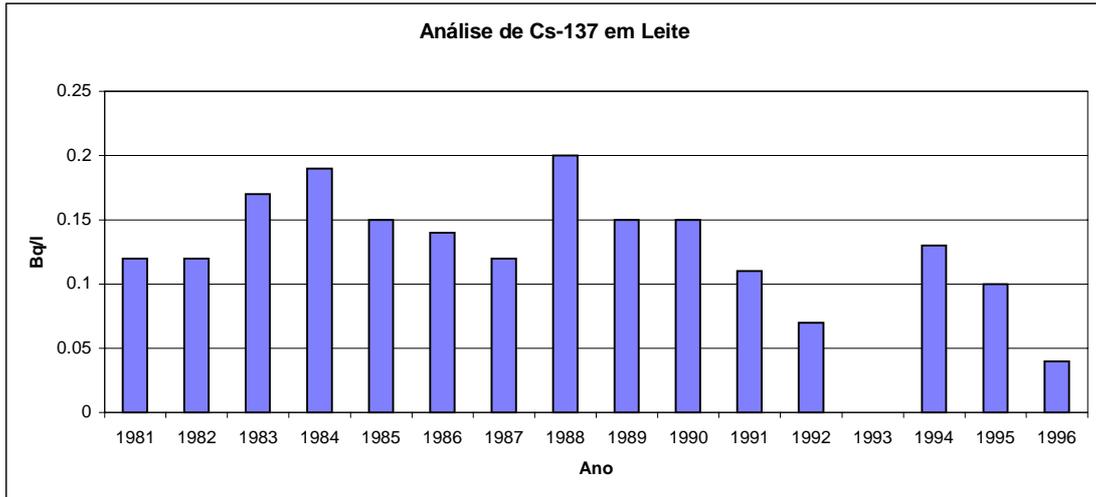
Pode-se concluir, a partir da análise dos gráficos acima, e comparando com os resultados do IRD, que os valores, tanto para emissão alfa quanto beta em solo, não apresentam variações significativas do período pré-operacional para o operacional, estando estes dentro da possível flutuação das medidas.

Leite

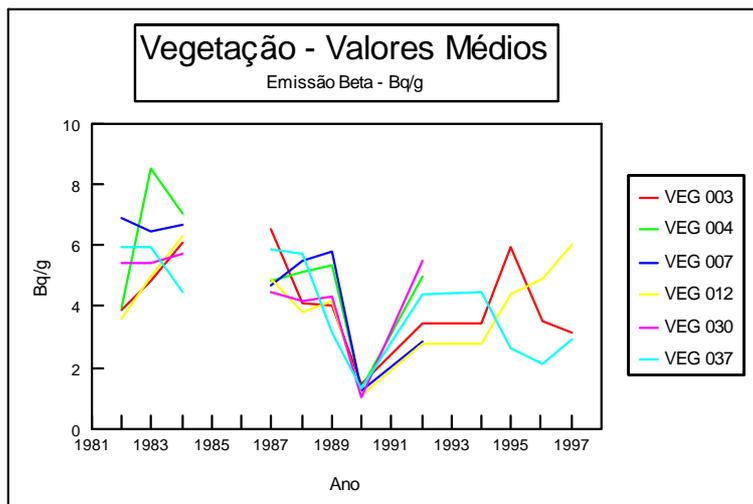
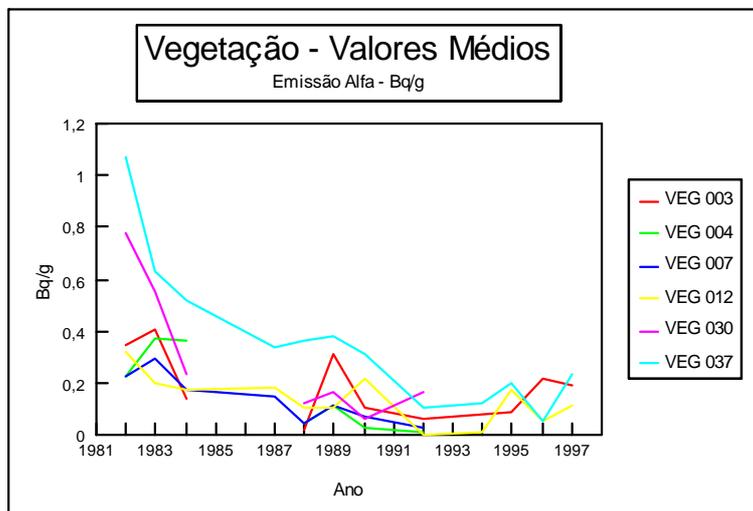


Os valores para emissão alfa no leite foram inferiores ao limite de detecção, portanto não considerados.

O gráfico a seguir apresenta, para efeito avaliação do *background* da região, os valores de Cs-137 em amostras de leite provenientes de pontos estabelecidos no Programa de Monitoração Ambiental do CIR para os períodos de 1981 a 1996. Os valores encontrados na região do CIR são inferiores a 0,37 Bq/l, valor mínimo que deveria ser reportado, de acordo com a Regulatory Guide 4.8 do U.S. Nuclear Regulatory Commission.

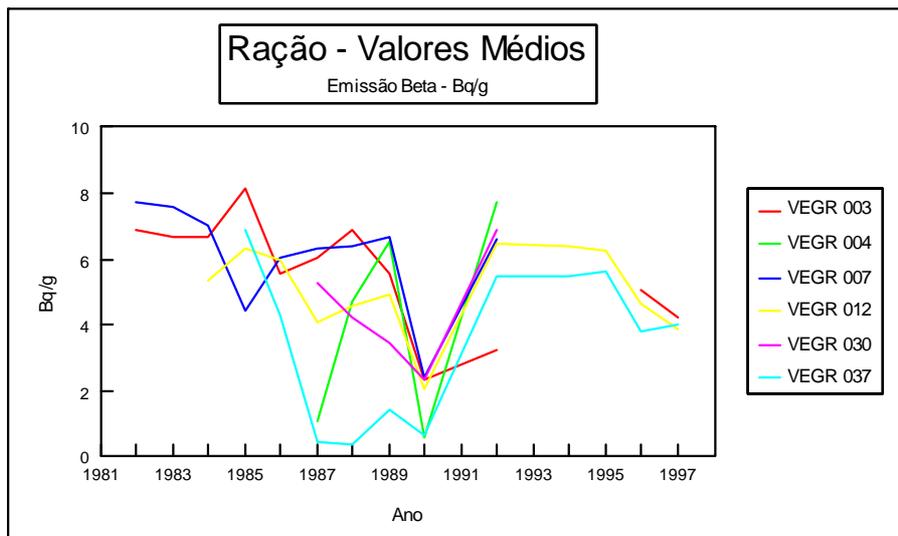
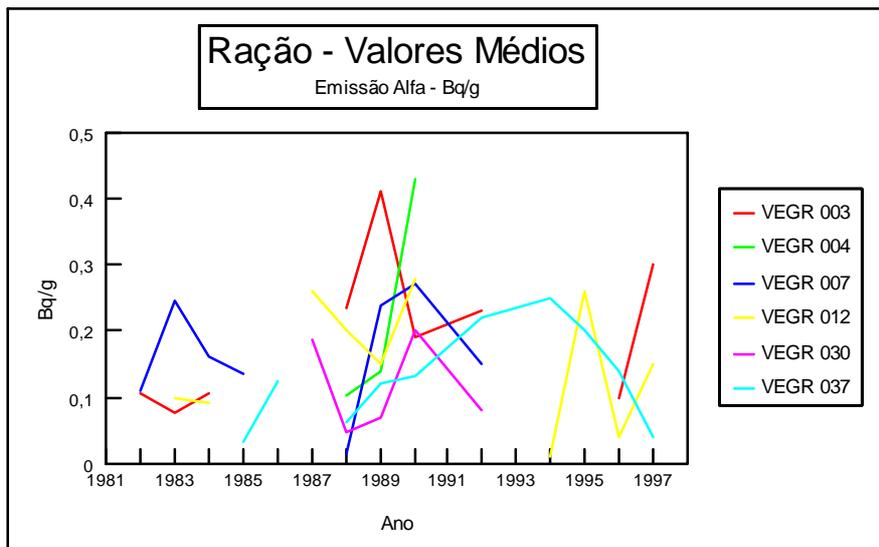


Vegetação



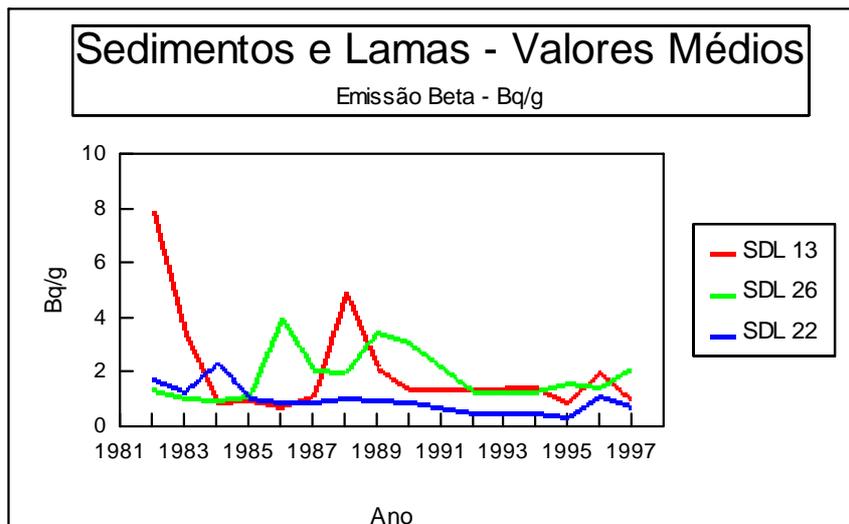
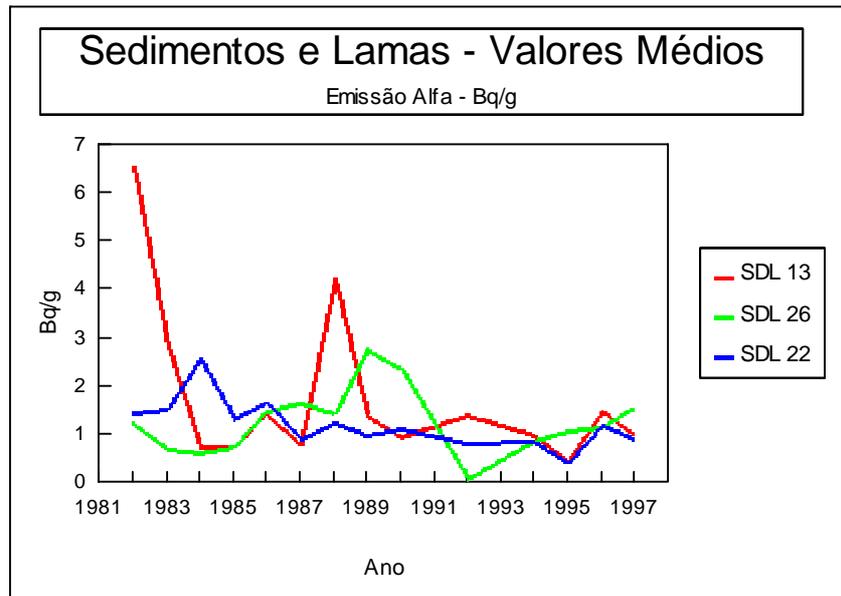
Verifica-se uma grande oscilação dos valores porém estes não atingem níveis significativos. Nota-se que os diferentes pontos de amostragem seguem o mesmo comportamento.

Ração



Os valores de emissão alfa e emissão beta para ração são da mesma ordem de grandeza daqueles obtidos para vegetação, porém neste caso os diferentes pontos de amostragem tiveram diferentes comportamentos.

Sedimentos e Lamas



Verifica-se que os valores dos gráficos acima são superiores àqueles apresentados na Tabela 4.84 para o período pré-operacional, tanto no caso de emissão alfa quanto emissão beta. Deve-se lembrar porém que no programa operacional somente três pontos foram analisados, enquanto que no período pré-operacional 16 amostras foram coletadas e analisadas.

- **Análises Realizadas pela Natrontec/INB**

As Tabelas a seguir apresentam os resultados das análises de solo, leite, vegetação e sedimentos realizadas pela Natrontec/INB em agosto/setembro de 1996.

Tabela 4.100 RESULTADOS DE ESPECTROMETRIA GAMA (Amostras Natrontec/INB) - 1ª Campanha (Ago 96)

Cod. INB	Pt Amost.	Unidade	Pb - 214	Bi - 214	Ac - 228	Bi - 212	TI - 208	Cs - 137	K - 40
60829A754A-INT-55	SLO 012	Bq/kg	53.76± 3.94	50.93± 3.81	116.8± 8.67	120.9± 11.25	107.5± 7.83	< 1.07	328.3± 25.03
60327A393A-INT-55	SLO 037	Bq/kg	43.98± 3.42	38.72± 3.36	94.32± 7.49	85.22± 11.40	79.89± 6.52	< 1.32	273.0± 23.35
60920A814A-INT-55	SLO 047	Bq/kg	46.92± 3.54	41.83± 3.31	80.02± 6.39	82.23± 10.10	69.45± 5.41	1.46± 0.53	361.8± 28,98
60830A759A-INT-55	LTE 012	Bq/l	< 0.33	< 0.22	< 0.54	< 1.25	< 0.36	< 0.14	44.25± 3.5
60327A390A-INT-55	LTE 037	Bq/l	< 0.026	< 0.053	< 0.089	< 0.23	< 0.054	0.036± 0.010	33.37± 2.37
60925A820A-INT-55	LTE 047	Bq/l	< 0.33	< 0.27	< 0.60	< 1.27	< 0.40	< 0.11	48.30± 3.76
60829A753A-INT-55	VEG 012	Bq/kg seco	< 2.64	< 2.52	< 6.13	< 17.21	< 3.19	< 1.24	1192± 87
60327A391A-INT-55	VEG 037	Bq/kg seco	< 0.31	< 0.31	0.68± 0.62	< 2.03	< 0.36	< 0.12	25.42± 2.27
60920A815A-INT-55	VEG 047	Bq/kg seco	3.21± 0.63	1.65± 0.87	16.78± 2.03	< 7.66	3.40± 1.39	< 0.54	1771± 125
60829A752A-INT-55	SDL 011	Bq/kg	73.75± 5.37	65.74± 5.01	141.8± 10.46	133.7± 12.86	123.6± 9.18	3.93± 0.85	644.1± 47.32
60919A807A-INT-55	SDL 022	Bq/kg	71.63± 5.19	63.49± 4.76	173.5± 12.55	193.3± 16.88	156.4± 11.23	< 1.26	49.48± 8.11
60919A809A-INT-55	SDL 023	Bq/kg	40.85± 3.08	34.04± 2.82	75.77± 5.92	73.94± 10.59	71.23± 5.55	< 1.70	732.7± 52.94
60829A757A-INT-55	SDL 026	Bq/kg	111.1± 8.19	102.9± 7.60	340.9± 24.63	328.4± 27.06	302.1± 21.73	< 1.31	796.9± 58.46
60919A811A-INT-55	SDL 027	Bq/kg	116.1± 8.29	108.9± 7.84	305.7± 21.73	305.3± 23.35	265.2± 18.80	< 1.43	585.3± 42.46
60919A813A-INT-55	SDL 045	Bq/kg	85.75± 6.45	76.68± 5.81	246.5± 18.11	229.4± 22,98	220.2± 15.94	< 1.14	127.7± 14.07

Tabela 4.101 RESULTADOS DE ESPECTROMETRIA GAMA (Amostras Natrontec/INB) - 2ª Campanha

Cod. INB	Pt Amost.	Unidade	Pb - 214	Bi - 214	Ac - 228	Bi - 212	TI - 208	Cs - 137	K - 40
61216B096A-INT-55	SLO 003	Bq/kg	35,07± 2,86	33,76± 2,86	77,03± 6,23	83,34± 9,1	70,01± 5,42	1,64± 0,61	182,0± 16,9
61216B131A-INT-55	SLO 029	Bq/kg	63,67± 4,67	61,47± 4,63	130,4± 9,6	125,8± 10,9	119,2± 8,63	< 0,97	133,6± 13,3
61216B099A-INT-55	SLO 038	Bq/kg	53,87± 4,62	49,05± 3,87	120,6± 9,20	113,6± 12,9	111,6± 8,4	< 0,99	263,5± 22,22

Tabela 4.102 RESULTADOS DE ESPECTROMETRIA ALFA (Amostras Natrontec/INB) - 1ª Campanha (Ago 96)

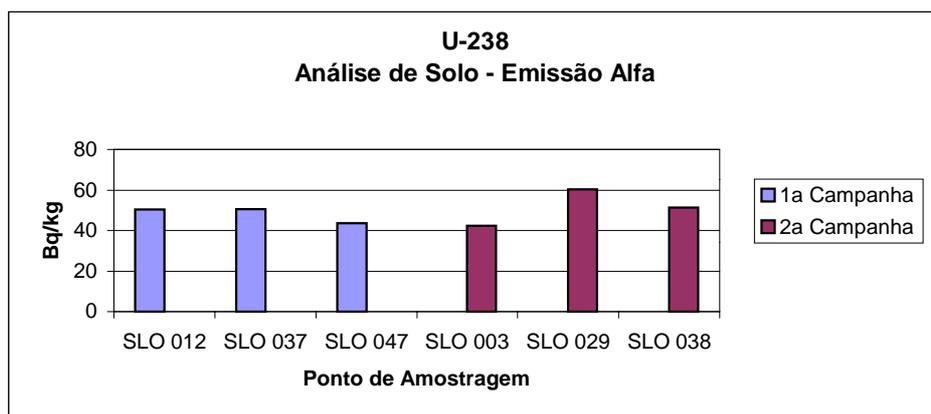
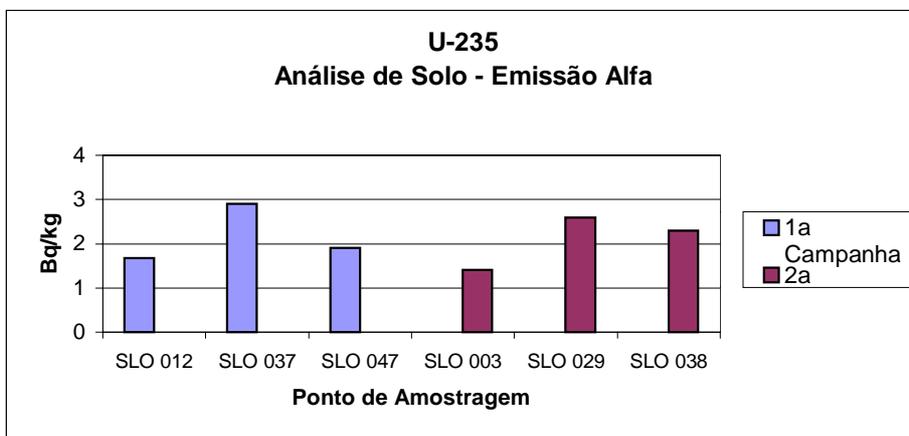
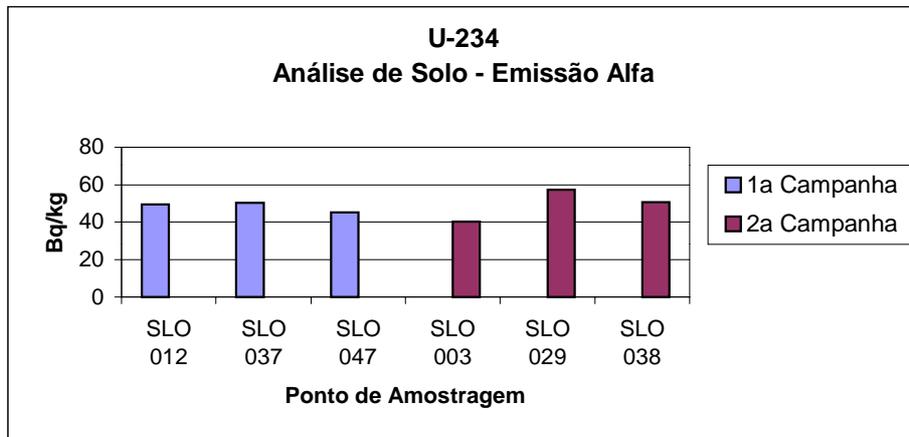
Cod. INB	Pt Amost.	Unidade	U - 238	U - 235	U - 234
60829A754A-INT-55	SLO 012	Bq/kg	50.2± 4.1	1.67± 0.24	49.6± 4.1
60327A393A-INT-55	SLO 037	Bq/kg	50.5± 4.2	2.90± 0.66	50.4± 4.2
60920A814A-INT-55	SLO 047	Bq/kg	43.8±3.6	1.90± 0.26	45.3± 3.7
60830A759A-INT-55	LTE 012	Bq/l	< 0.003	< 0.0003	< 0.003
63027A390A-INT-55	LTE 037	Bq/l	< 0.003	< 0.0003	< 0.003
60925A820A-INT-55	LTE 047	Bq/l	< 0.003	< 0.0004	< 0.004
60829A753A-INT-55	VEG 012	Bq/kg seco	0.77± 0.07	0.040± 0.01	0.74± 0.06
60327A391A-INT-55	VEG 037	Bq/kg seco	0.052± 0.004	0.005± 0.001	0.060± 0.005
60920A815A-INT-55	VEG 047	Bq/kg seco	0.51± 0.05	0.023± 0.007	0.58± 0.04
60829A752A-INT-55	SDL 011	Bq/kg	69.8± 5.8	2.47± 0.40	67.5± 5.6
60919A807A-INT-55	SDL 022	Bq/kg	72.1± 5.9	2.04± 0.42	75.3± 6.2
60919A809A-INT-55	SDL 023	Bq/kg	40.2± 3.3	1.43± 0.25	37.4± 3.1
60829A757A-INT-55	SDL 026	Bq/kg	69.8± 6.3	2.65± 0.5	84.0± 6.9
60919A811A-INT-55	SDL 027	Bq/kg	85.4± 7.0	3.14± 0.45	88.4± 7.3
60919A813A-INT-55	SDL 045	Bq/kg	142± 12	5.86± 1.43	132± 11

Tabela 4.103 RESULTADOS DE ESPECTROMETRIA ALFA (Amostras Natrontec/INB) - 2ª Campanha (Dez 96)

Cod. INB	Pt Amost.	Unidade	U - 238	U - 235	U - 234
61216B085A-INT-55	SDL 011	Bq/kg	48.4± 1.5	1.2± 0.3	47.5± 1.5
61216B088A-INT-55	SDL 022	Bq/kg	86.2± 2.4	3.1± 0.4	86.6± 2.4
61216B090A-INT-55	SDL 023	Bq/kg	67.7± 2.0	1.9± 0.4	66.1± 1.9
61216B092A-INT-55	SDL 026	Bq/kg	85.8± 2.0	2.4± 0.4	67.0± 2.0
61216B094A-INT-55	SDL 027	Bq/kg	68.0± 1.9	< 1.5	66.8± 1.9
61216B097A-INT-55	SDL 045	Bq/kg	54.7± 1.6	1.7± 0.3	55.9± 1.7
61216B098A-INT-55	SLO 003	Bq/kg	42.4± 1.5	1.4± 0.4	40.2± 1.5
61216B131A-INT-55	SLO 029	Bq/kg	60.3± 2.0	< 2.6	57.5± 2.0
61216B099A-INT-55	SLO 038	Bq/kg	51.3± 2.1	< 2,3	50.6± 2.2

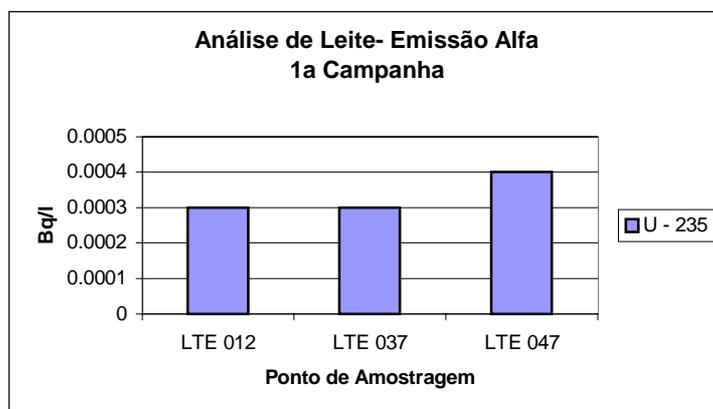
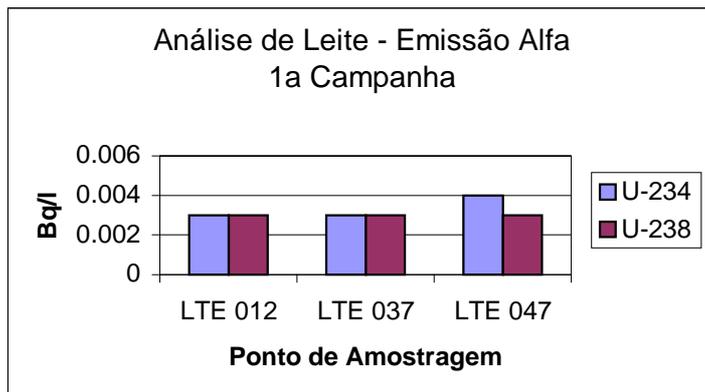
Obs.: As amostras de aerossol tiveram 2447 m³ de ar amostrado em 48 horas

Análise de Solo Complementares – Natrontec/INB



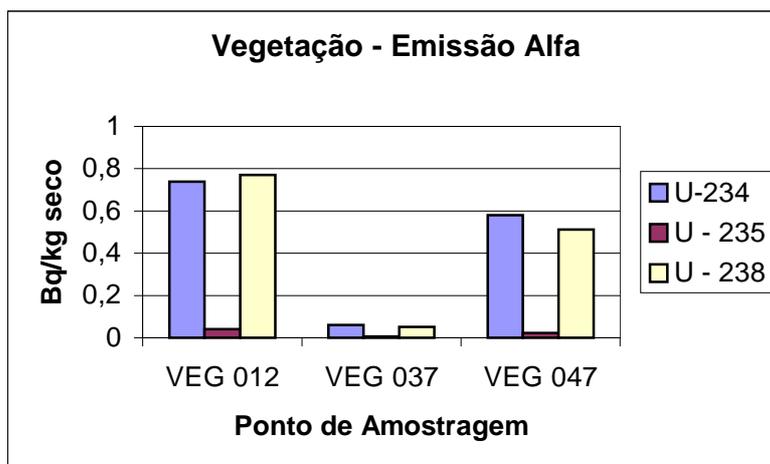
Somando-se a contribuição dos três isótopos de urânio, obtém-se um valor médio para emissão alfa no solo de 100 Bq/kg, o que equivale a 0,1 Bq/g. Este valor é inferior aos valores apresentados no gráfico da página 4.271, que corresponde à análise da INB no período operacional. Este valor é comparável ao valor médio apresentado na Tabela 4.84, que apresenta os valores de emissão alfa no período pré-operacional.

Análise de Leite Complementar – Natrontec/INB



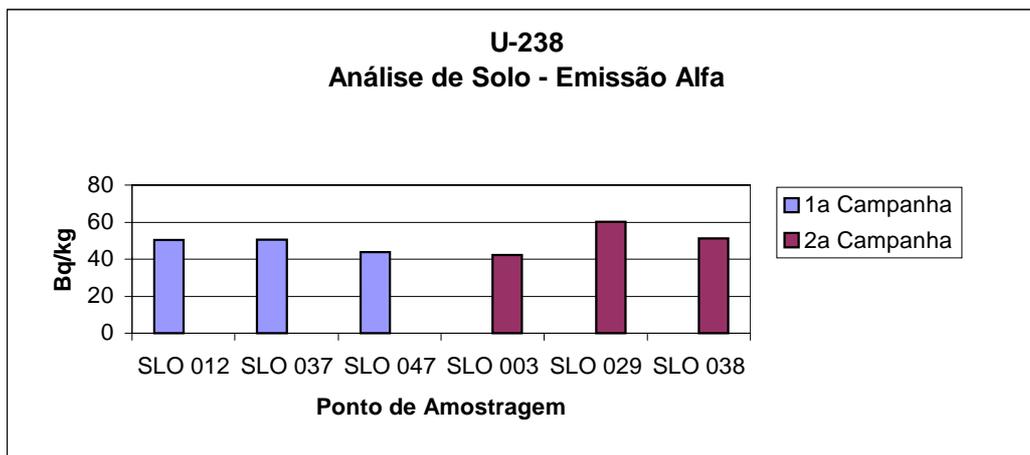
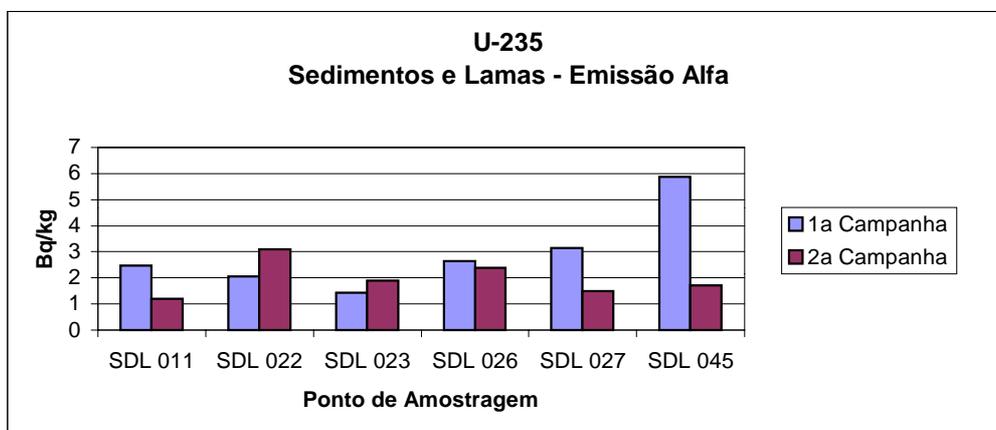
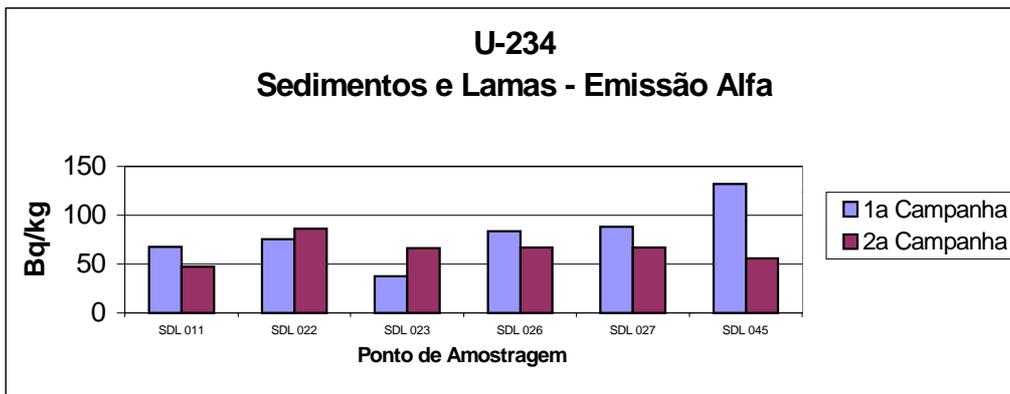
No período pré-operacional (Tabela 4.85), obteve-se uma concentração de urânio média de 0,4 Bq/l no leite (sem considerar U-235 já que sua contribuição é bem menor que a dos outros dois isótopos). O valor obtido pela emissão alfa (0,006 Bq/l) é bastante inferior a esta concentração.

Análise de Vegetação Complementar – Natrontec/INB



A soma das parcelas dos três radionuclídeos de urânio no caso do ponto 12 (apresenta maiores valores) resulta numa atividade alfa de 1,5 Bq/kg (0,0015 Bq/g). Este valor é bem inferior aos valores apresentados nos gráficos da página 4.273.

Análise de Sedimentos e Lamas – Natrontec/INB



Somando a contribuição dos três isótopos de urânio para o ponto SDL 45 na 1ª Campanha (para obter um valor conservador), obtém-se um valor aproximado de 0,3 Bq/g para emissão alfa em sedimentos e lamas. Este valor é bem próximo ao valor médio de 0,28 Bq/g apresentado na Tabela 4.84 para o período pré-operacional, e inferior àqueles apresentados no gráfico da página 4.275 para o período operacional.

4.4.6. Avaliação Preliminar dos Efeitos Ambientais da FEC-I

4.4.6.1. Introdução

Este item tem por objetivo caracterizar e quantificar, através do cálculo de dose resultante das diversas vias de exposição (atmosféricas e aquáticas), eventuais efeitos ambientais provocados pela operação da FEC-I na região de influência do CIR.

A quantificação destes efeitos serve de base para caracterizar a atual situação do meio ambiente, notadamente no aspecto de radioatividade, para a implantação da FEC-II, objeto deste estudo.

4.4.6.2. Considerações Gerais

Instalada em 1982, a FEC-I tem como objetivo principal a montagem de elementos combustíveis para o reator de Angra I, e vem operando ao longo destes anos em esquema não padronizado, pela natureza do serviço, mas garantindo o fornecimento do elemento numa média de 15 t/a de UO₂ em intervalos de 1,5 anos.

Nestas condições é considerada para a FEC-I uma produção de 10 t/a na forma final do elemento combustível.

O processo produtivo é caracterizado, principalmente, por operação mecânica de encapsulamento das pastilhas de UO₂ em tubos de zircalloy (liga de zircônio e alumínio), não envolvendo processos químicos, geralmente mais agressivos ao meio ambiente.

4.4.6.3. Caracterização dos Rejeitos

Tendo por base a produção de 10 t/a e as características operacionais da instalação, foram considerados os rejeitos a seguir:

- SÓLIDOS

Os rejeitos sólidos consistem em elementos filtrantes, papéis, plásticos, luvas para limpeza, estopas e, peças e ferramentas danificadas, num total de 1 m³/ano.

Os rejeitos sólidos, quando aplicável, são compactados em tambores de 200 l.

As doses na superfície são sempre inferiores a 2,0 E-02 mSv/h.

- LÍQUIDOS

Os efluentes líquidos são águas de lavanderia, de descontaminação de pessoal, de limpeza de pisos e de equipamentos, num volume considerado de 20 m³/semana, que foram descartadas com concentração máxima de 7,6 E02 Bq/m³, equivalente a 7,45E-02 ppm de urânio, valor este bem inferior ao limite fixado para o CIR, que foi de 10,5 ppm para os efluentes líquidos (CNEN-DIN-DIR-2129/87).

- GASOSOS

Os gases gerados provêm do sistema de exaustão da unidade, e envolvem eventuais partículas de UO₂, oriundas de quebras de pastilhas durante o processamento.

Logicamente, numa unidade cuja atividade consiste apenas no encapsulamento das pastilhas de UO₂, a emissão de partículas é bastante reduzida conforme verificado no controle de aerossol, cujas concentrações anuais em média foram de 5,8 E-03 Bq/Nm³, equivalente a 5,7 E-08 g de urânio (enriquecido a 5%) por m³ de emissão gasosa².

4.4.6.4. Quantificação do Urânio

Com vistas a quantificar o urânio descartado no meio ambiente, proveniente de operação de FEC-I durante os últimos 14 anos, foram adotados as seguintes premissas:

- Vazão de emissão gasosa: 40.000 Nm³/h.
- Sistema operacional: 8 horas/dia e 250 dias/ano.
- Vazão de efluente líquido: 20 m³/semana.
- Sistema operacional: 52 semanas.

A Tabela 4.104 a seguir quantifica os valores de urânio emitidos para o meio ambiente:

Tabela 4.104 QUANTIFICAÇÃO DO URÂNIO (PERÍODO DE 14 ANOS)

EFLUENTE	TAXA	U (g/m ³)	U anual (g)	U total – 14 anos (kg)
AR	40.000 m ³ /h	5,7E-08	4,6	0,064
ÁGUA	20 m ³ /semana	7,45E-02	7,75	0,11
TOTAL			12,35	0,174

4.4.6.5 Cálculos de Taxas de Dose

1) Emissões Atmosféricas

Para efeito do cálculo da dose equivalente efetiva, a partir dos diferentes caminhos de exposição da radiação ao homem, foi utilizado o programa CAP88-PC – Versão 2, a exemplo do realizado para a FEC-II no Capítulo 5 deste EIA. Trata-se de modelo distribuído pelo DOE – Departamento de Energia – e EPA – Agência de Proteção Ambiental – dos Estados Unidos para uso obrigatório em sua versão 1 em estudos de impacto do gênero. Os dados de entrada do programa, parâmetros utilizados e os resultados obtidos estão apresentados a seguir:

- **Dados de entrada**

- Temperatura ambiente: 25° C
- Precipitação anual: 159 cm/ano
- Altura de Mistura: 800m
- Pontos de emissão: 1 (chaminé)
- Altura da emissão: 10m (foi considerado a emissão através de uma chaminé)

² Atividade específica do urânio enriquecido a 5%: 1,02 E+05Bq/g

- Velocidade de saída do efluente: 18 m/s
- Atividade anual dos radionuclídeos:
 - ◇ U₂₃₄: 1,07 E-05 Ci/ano (3,97E+05 Bq/ano)
 - ◇ U₂₃₅: 4,84 E-07 Ci/ano (1,79E+04 Bq/ano)
 - ◇ U₂₃₈: 1,42 E-06 Ci/ano (5,24E+04 Bq/ano)
- Dados sobre consumo de produtos agrícolas

	Vegetais	Leite	Carne
◇ 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

• Parâmetros

Os resultados finais obtidos através da simulação estão apoiados nos seguintes parâmetros:

Tabela 4.105 VALORES DOS PARÂMETROS DEPENDENTES DO RADIONUCLÍDEO

Radionuclídeo	Classe de Particulado	Tamanho da Partícula (micron)	Coefficiente de "Scavenging" (por segundo)	Velocidade de Deposição Seca (m/s)
U-234	Y	1,0	1,59 E-05	1,80 E-03
U-235	Y	1,0	1,59 E-05	1,80 E-03
U-238	Y	1,0	1,59 E-05	1,80 E-03

Fonte: CAP88

As Tabelas 4.106 a 4.108 a seguir apresentam valores utilizados pelo programa CAP88 para o cálculo de dose.

Tabela 4.106 VALORES DAS CONSTANTES DE DECAIMENTO E COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA

Radionuclídeo	Constante de Decaimento (por dia)			Coeficiente de Transferência	
	Radioativo (1)	Superfície	Água	Leite (2)	Carne (3)
U-234	0	5,48 E-05	0	6,0 E-04	2,0 E-04
U-235	0	5,48 E-05	0	6,0 E-04	2,0 E-04
U-238	0	5,48 E-05	0	6,0 E-04	2,0 E-04

Fonte: CAP88

Notas: (1) Constante Efetiva de Decaimento Radioativo na pluma: considerado 0 se o valor for inferior a 1,0 E-02

(2) Fração da ingestão diária animal de radionuclídeo contida em cada L de leite (dias/L)

(3) Fração da ingestão diária animal de radionuclídeo contida em cada kg de carne (dias/kg)

Tabela 4.107 FATORES DE RETENÇÃO

Radionuclídeo	Fator de Concentração para Retenção		Fração de Retenção	
	Pastagem (1)	Vegetação Comestível (2)	Inalação	Ingestão
U-234	8,5E-03	1,71E-03	2,0E-03	2,0E-01
U-235	8,5E-03	1,71E-03	2,0E-03	2,0E-01
U-238	8,5E-03	1,71E-03	2,0E-03	2,0E-01

Fonte: CAP88

Notas: (1) Fator de concentração para retenção de radionuclídeo do solo por pastagem e vegetação (em pCi/kg peso seco por pCi/kg solo seco)

(2) Fator de concentração para retenção de radionuclídeo do solo pela vegetação comestível (em pCi/kg peso úmido por pCi/kg solo seco)

Tabela 4.108 VALORES DOS PARÂMETROS DEPENDENTES DO RADIONUCLÍDEO

INALAÇÃO HUMANA - cm ³ /hr	9,17E+05
PARÂMETROS DO SOLO	
Densidade superficial efetiva (kg/m ² - peso seco)	2,15E+2
TEMPO DE DESENVOLVIMENTO	
Da atividade no solo (anos)	1,00E+2
Para deposição dos radionuclídeos no solo/água (dias)	3,65E+4
TEMPO DE RETARDAMENTO	
Ingestão de pastagem por animais (hr)	0
Ingestão de ração armazenada por animais (hr)	2,16E+3
Ingestão de verdura (folhas) pelo homem (hr)	3,36E+2
Ingestão de verduras/legumes pelo homem (hr)	3,36E+2
Tempo de retenção entre a alimentação do animal e a ingestão do leite do animal pelo homem (dia)	2,0
Tempo do abate para o consumo (dia)	2,0E+1
CLIMA	
Constante de remoção para perda física (por hr)	2,90E-3
TEMPO DE EXPOSIÇÃO DA COLHEITA	
Pastagem/grama (hr)	7,2E+2
Colheita/verduras (hr)	1,44E+03
PRODUÇÃO AGRÍCOLA	
Via Grama-Vaca-Leite-Homem (kg/m ²)	2,8E-1
Via Verduras/Legumes para consumo humano (kg/m ²)	7,16E-1
FRAÇÕES "FALLOUT"	
Vegetais	2,0E-1
Pastagem	5,7E-1
PARÂMETROS DE PASTAGEM	
Fração do ano de pastagem dos animais	4,0E-1
Fração da alimentação diária que é pastagem	4,3E-1
FATORES DE CONSUMO ANIMAL	
Alimentação contaminada (kg/dia, peso seco)	1,56E+1
PRODUÇÃO DE LEITE	
Produção diária de leite pela vaca (L/dia)	1,1E+1
PARÂMETROS DE ABATE	
Massa muscular do animal no abate (kg)	2,0E+2
Fração da boiada abatida (por dia)	3,81E-3

Tabela 4.108 Cont.

DESCONTAMINAÇÃO	
Fração da radioatividade contida após lavagem das verduras/legumes	5,0E-1
FRAÇÃO PLANTADA NA ÁREA DE INTERESSE	
Legumes ingeridos	1
Verduras ingeridas	1
RAZÃO DE INGESTÃO: REDONDEZAS DA ÁREA DE INTERESSE	
Vegetais	2,0E-1
Carne	2,0E-1
Leite	2,0E-1
FRAÇÃO MÍNIMA INGERIDA DE FORA DA ÁREA DE INTERESSE	
Vegetais	0
Carne	0
Leite	0
FATORES DE UTILIZAÇÃO PELO HOMEM	
Ingestão de vegetais (kg/ano)	1,76E+2
Ingestão de leite (L/ano)	1,12E+2
Ingestão de carne (kg/ano)	8,50E+1
Ingestão de verduras (kg/ano)	1,80E+1
PARÂMETROS DE CONTATO COM A ÁGUA	
Fração do tempo gasta nadando	0
Fator de diluição para a água	1,0

 Fonte: CAP88-PC Versão 2³

• Resultados

O resultado final desta simulação, que compreende a indicação da localização do grupo crítico da população e a Dose Equivalente Efetiva para o indivíduo pertencente a este grupo e maximamente exposto, é expresso de três modos, sendo estes a dose equivalente por órgão, a dose equivalente efetiva por caminho de exposição e por radionuclídeo. Tais resultados se encontram nas tabelas a seguir.

Tabela 4.109 RESULTADO DA SIMULAÇÃO DO CAP88-PC PARA A FEC-I

Dose Equivalente Efetiva	Localização do Grupo Crítico
1,4 E-04 mSv/ano	200 metros na direção (W – SW)

Fonte: CAP88-PC Versão 2

³ Estes parâmetros não são editáveis pelo usuário, já que o modelo é usado no contexto regulatório dos EUA. Assim sendo, não refletem idealmente as condições brasileiras. No entanto, garantiu-se pela utilização de 100% da alimentação por produtos localmente produzidos e nas quantidades médias do homem norte-americano médio, representatividade conservadora das nossas condições.

Tabela 4.110 DOSE EQUIVALENTE POR ÓRGÃO

Órgão	Dose Equivalente (mSv/ano)
Gonadas	3,12 E-07
Tórax	3,95 E-07
Medula Óssea Eritropoética	3,68 E-06
Pulmão	1,14 E-03
Tiróide	2,96 E-07
Osso (superfície)	5,51 E-05
Resto	4,88 E-06
Dose equivalente efetiva (total)	1,4 E-04

Fonte: CAP88-PC Versão 2

Tabela 4.111 DOSE EQUIVALENTE EFETIVA POR VIAS DE EXPOSIÇÃO

Caminho	Dose Equivalente Efetiva (mSv/ano)
Ingestão	3,29 E-06
Inalação	1,37 E-04
Imersão	3,87 E-12
Superfície*	1,60 E-07
Total	1,4 E-04

* depositado no solo

Fonte: CAP88-PC Versão 2

Tabela 4.112 DOSE EQUIVALENTE EFETIVA POR RADINUCLÍDEO

Radionuclídeo	Dose Equivalente Efetiva (mSv/ano)
U-234	1,21 E-04
U-235	5,21 E-06
U-238	1,42 E-05
Total	1,4 E-04

Fonte: CAP88-PC Versão 2

2) Efluentes Líquidos

Para análise da possível contribuição radiológica da FEC-I à Represa do Funil e o estudo das vias de exposição de dose ao homem a partir desse meio, foram utilizados os métodos de cálculo propostos pelo Safety Series nº 57 e parâmetros do Safety Series nº 115.

Deve-se observar que, para efeito de simplificação dos cálculos, não serão levados em consideração as contribuições na concentração radiológica na represa, dos efeitos do run-off e da deposição seca e úmida sobre o espelho d'água, visto que estes apresentam valores pouco significativos tendo em vista a concentração devida ao efluente líquido. Observa-se que tal metodologia não compromete os resultados finais desta análise, já que estamos considerando as consequências radiológicas das emissões atmosféricas conservadoramente, através do modelo CAP88-PC.

Os efeitos radiológicos podem atingir o homem, a partir de lançamentos no meio aquático, por exposição interna, via inalação (quando se considera o "spray" formado pelas ondas dos mares) e ingestão, e exposição externa, via contato com a água ou sedimentos contaminados. Os cálculos utilizados para cada via de exposição estão apresentados a seguir:

- **Cálculo das Concentrações por isótopo de urânio na emissão**

Vazão do efluente líquido: 1040 m³/ano.

Concentração de atividade na emissão: 7,6 E02 Bq/m³.

Atividade específica para o urânio enriquecido a 5%: 1,02 E05 Bq/g

– U₂₃₄: 8,64 E04 Bq/g

– U₂₃₅: 3,9 E03 Bq/g

– U₂₃₈: 1,14 E04 Bq/g

Massa de urânio no efluente:

$(7,6 \text{ E}02)(960) / (1,02 \text{ E}05) = 7,75 \text{ g U/ano}$

Atividade anual por radionuclídeo:

– U₂₃₄: $(8,64 \text{ E}04)(7,75) = 6,7 \text{ E}05 \text{ Bq/ano}$

– U₂₃₅: $(3,9 \text{ E}03)(7,75) = 3,02 \text{ E}04 \text{ Bq/ano}$

– U₂₃₈: $(1,14 \text{ E}04)(7,75) = 8,83 \text{ E}04 \text{ Bq/ano}$

Concentração por radionuclídeo:

– U₂₃₄: $(6,7 \text{ E}05) / 1040 = 6,44 \text{ E}02 \text{ Bq/m}^3$

– U₂₃₅: $(3,02 \text{ E}04) / 1040 = 2,9 \text{ E}01 \text{ Bq/m}^3$

– U₂₃₈: $(8,83 \text{ E}04) / 1040 = 8,5 \text{ E}01 \text{ Bq/m}^3$

Total de 7,58 E02 Bq/m³

- **Cálculo das concentrações por isótopo de urânio após diluição**

$$C = Q / (K_e \times V)$$

$$K_e = \lambda + (r / V)$$

C: concentração após diluição (Bq/m³)

Q: atividade anual no efluente (Bq/ano)

K_e: constante de remoção efetiva (ano⁻¹)

λ: constante de decaimento (1,54 E-10 ano⁻¹)

r: taxa de entrada de água (7,758 E09 m³/ano)

V: volume da Represa (890 E06 m³)

Fonte: Safety Series n° 57

$$K_e = 1,54\text{E-}10 + (7,758 \text{ E}09 / 890 \text{ E}06) = 8,7 \text{ ano}^{-1}$$

$$C = Q / 7,75 \text{ E}09$$

– U₂₃₄: $6,7 \text{ E}05 \times 1,29\text{E-}10 = 8,6 \text{ E-}5 \text{ Bq/m}^3$

– U₂₃₅: $3,02 \text{ E}04 \times 1,29\text{E-}10 = 3,9 \text{ E-}6 \text{ Bq/m}^3$

– U₂₃₈: $8,83 \text{ E}04 \times 1,29\text{E-}10 = 1,14 \text{ E-}5 \text{ Bq/m}^3$

Total: 10,1 E-05 Bq/m³

- **Cálculo da Dose por via de exposição**

- **Exposição Interna**

Dose devido a ingestão da água da Represa do Funil: $D = C \times g \times I$

D: dose equivalente efetiva (mSv/ano)

C: concentração (Bq/m³)

g_i: fator de conversão de dose para o radionuclídeo i em função da ingestão (mSv/Bq)

I: Consumo anual de água (0,73 m³/ano)

Fatores de Conversão:

Os fatores de conversão de dose efetiva (g) em função da ingestão para trabalhadores e público crítico da população foram obtidos através do Safety Series n^o 115 e estão abaixo indicados:

Trabalhadores

– U₂₃₄: 4,98 E-08 Sv/Bq

– U₂₃₅: 4,6 E-08 Sv/Bq

– U₂₃₈: 4,4 E-08 Sv/Bq

Público

– U₂₃₄: 3,7 E-07 Sv/Bq

– U₂₃₅: 3,5 E-07 Sv/Bq

– U₂₃₈: 3,4 E-40 Sv/Bq

Dose, por isótopo, devido à exposição interna

U₂₃₄

Público: (8,6 E-05)(3,7E-07)(0,73) = 2,32 E-8 mSv/ano

Trabalhador: (8,6 E-05)(4,9 E-08)(0,73) = 3,07E-9 mSv/ano

U₂₃₅

Público: (3,9 E-06)(3,5 E-07)(0,73) = 9,96E-10 mSv/ano

Trabalhador: (3,9 E-06)(4,6 E-08)(0,73) = 1,3E-10 mSv/ano

U₂₃₈

Público: (1,14 E-05)(3,4 E-07)(0,73) = 2,82 E-9 mSv/ano

Trabalhador: (1,14 E-05)(4,4 E-08)(0,73) = 3,66 E-10 mSv/ano

Total

Público: 2,7 E-08 mSv/ano

Trabalhador: 3,56 E-09 mSv/ano

- Exposição Externa

Concentração nos Sedimentos: $C_s = C \times K_d$

C: concentração da atividade na água após diluição (Bq/m³)

K_d: Fator de distribuição para cada radionuclídeo (500)

Obs: Foi considerado o fator de distribuição para o mar (Fonte: Safety Series n° 57)

$$- U_{234}: 8,6 \text{ E-}05 \times 500 = 4,3 \text{ E-}02 \text{ Bq/m}^3$$

$$- U_{235}: 3,9 \text{ E-}06 \times 500 = 1,95 \text{ E-}03 \text{ Bq/m}^3$$

$$- U_{238}: 1,14 \text{ E-}05 \times 500 = 5,7 \text{ E-}03 \text{ Bq/m}^3$$

Total: 5,06E-2 Bq/m³

Cálculo de Dose Equivalente, por isótopo, devido à exposição externa, a partir da água e do sedimento

Dose equivalente externa: $H_i = D_{ip} \times U_p$ (Fonte: Safety Series n° 57)

D_{ip}: taxa de dose absorvida para corpo inteiro em função da emissão gama (mSv/h)

U_p: taxa de exposição (2.000 h/a)

$$D_{ip} = 2,88 \text{ E-}06 \times C^* \times E_i \times M_p$$

C*: concentração de radionuclídeo na água ou no sedimento após diluição (Bq/m³)

E_i: energia média liberada por decaimento (emissão gama) (meV)

$$- U_{234}: 0,03$$

$$- U_{235}: 0,05$$

$$- U_{238}: 0,02$$

(obs: os valores para U₂₃₄ e U₂₃₅ foram obtidos no CRC Handbook of Chemistry and Physics e para U₂₃₈ do Safety Series n° 57, TabelaXIII)

M_p: fator de modificação ($\gamma = 1$)

a) Água

U₂₃₄

$$D_{ip} = 2,88 \text{ E-}06 \times 8,6 \text{ E-}05 \times 0,03 \times 1 = 7,4\text{E-}12 \text{ mSv/h}$$

$$H = 1,48 \text{ E-}08 \text{ mSv/ano}$$

U₂₃₅

$$D_{ip} = 2,88 \text{ E-}06 \times 3,9\text{E-}06 \times 0,05 \times 1 = 5,6 \text{ E-}13 \text{ mSv/h}$$

$$H = 1,12 \text{ E-}09 \text{ mSv/ano}$$

U₂₃₈

$$D_{ip} = 2,88 \text{ E-}06 \times 1,14 \text{ E-}05 \times 0,02 \times 1 = 6,5 \text{ E-}13 \text{ mSv/h}$$

$$H = 1,31 \text{ E-}09 \text{ mSv/ano}$$

Dose equivalente efetiva total: 1,72 E-08 mSv/ano

b) Sedimento $\underline{U_{234}}$

$$D_{ip} = 2,88 \text{ E-}06 \times 4,3 \text{ E-}2 \times 0,03 \times 1 = 3,7 \text{ E-}9 \text{ mSv/h}$$

$$H = 7,43 \text{ E-}06 \text{ mSv/ano}$$

 $\underline{U_{235}}$

$$D_{ip} = 2,88 \text{ E-}6 \times 1,95 \text{ E-}3 \times 0,05 \times 1 = 2,8 \text{ E-}10 \text{ mSv/h}$$

$$H = 5,61 \text{ E-}7 \text{ mSv/ano}$$

 $\underline{U_{238}}$

$$D_{ip} = 2,88 \text{ E-}6 \times 5,7 \text{ E-}3 \times 0,02 \times 1 = 3,2 \text{ E-}10 \text{ mSv/h}$$

$$H = 6,56 \text{ E-}7 \text{ mSv/ano}$$

Dose equivalente efetiva total: $8,64 \text{ E-}6 \text{ mSv/ano}$

Dose Equivalente Efetiva total (exposição interna e externa), através do meio aquático, para o indivíduo pertencente ao grupo crítico da população

Interna: $2,7 \text{ E-}08 \text{ mSv/ano}$

Externa: $1,72 \text{ E-}08 \text{ mSv/ano} + 8,64 \text{ E-}06 \text{ mSv/ano} = 8,66 \text{ E-}06 \text{ mSv/ano}$

Total: $8,68 \text{ E-}06 \text{ mSv/ano}$

Dose Equivalente Efetiva Total (Meio Atmosférico e Aquático)

A dose equivalente efetiva total é o resultado do somatório das doses equivalentes efetivas decorrentes dos diferentes caminhos de exposição no meio ambiente atmosférico e aquático, devido às liberações da FEC I. Este valor não deve ultrapassar o limite da Norma CNEN-NE-3.01 (Diretrizes Básicas de Radioproteção) no valor de $0,3 \text{ mSv/ano}$.

Dose Equivalente Efetiva Total (meio atmosférico) = $1,4 \text{ E-}04 \text{ mSv/ano}$

Dose Equivalente Efetiva Total (meio aquático) = $8,68 \text{ E-}06 \text{ mSv/ano}$

Dose Equivalente Efetiva Total = $1,4 \text{ E-}04 + 8,68 \text{ E-}06 = 1,5 \text{ E-}04 \text{ mSv/ano}$

Pode-se observar, a partir da comparação entre os resultados obtidos e o limite da Norma, que a dose equivalente efetiva devido às emissões atmosféricas e líquidas da FEC-I resultam em valores pouco significativos, apresentando riscos desprezíveis ao meio ambiente. A dose equivalente total apresenta valor 200 vezes menor ao permitido pela Norma CNEN 3.01, de $0,3 \text{ mSv/ano}$ para o indivíduo crítico.

4.4.6.6. Concentração de Isótopos de Urânio na Região

Para avaliar a influência da operação da FEC-I, nos últimos 14 anos, ao background da região, também foi determinada a sua contribuição ao meio terrestre e aquático, empregando parâmetros contidos na IAEA - Safety Series 115 e 57:

Condições Básicas

- local a 3.000 m da emissão
- velocidade de precipitação de 1,15E-02 m/s
- densidade efetiva do solo de 200 kg/m²
- tempo de operação de 3.500 dias

Taxa de Deposição

A taxa de deposição no solo é calculada pela seguinte fórmula:

$$d = C \times V \times f$$

d = taxa de deposição em Bq/m². s

C = concentração em Bq/m³

V = velocidade de deposição em m/s

f = fator de frequência do vento no ponto

$$d = (1,5 \text{ E-}05) (1,15 \text{ E-}04) (0,14)$$

$$d = 4,2 \text{ E-}09 \text{ Bq/m}^2/\text{s}$$

$$\mathbf{d = 2,16E-5 Bq/m}^2/\mathbf{dia}$$

Contribuição ao Solo

A contribuição ao solo no período de 14 anos é obtida, resumidamente, pelos cálculos abaixo:

$$C_s = d \times t / \delta$$

C_s = concentração em Bq/kg de solo

t = tempo em dias

δ = densidade efetiva do solo em kg/m²

$$C_s = (2,16 \text{ E-}05) (3.500) / 200$$

$$\mathbf{C_s = 3,78 \text{ E-}04 \text{ Bq/kg de solo}}$$

Contribuição à Pastagem

A contribuição a pastagem é obtida pela equação seguinte:

$$C_p = \left\{ d. R/Y. 1/a [1 - \exp (-a t)] + C_s. B_p \right\} \exp (- b)$$

C_p: concentração na pastagem em Bq/kg

R/Y: fator da atividade que é interceptada pelas culturas (R) e a produtividade (Y) = 2 m²/kg

a: taxa efetiva de redução da atividade nas colheitas = 4,6E-02 /dia

B_p: fator de concentração para pastagem = 10⁻²

b: fator de decaimento e meia- vida = 0 (devido a ser urânio)

t: tempo de exposição a atividade durante o crescimento = 30 dias

$$C_p = (2,16E-05) (2) (1/ 4,6 E-02)[1 - \exp (-4,6E-02 x 30)] + (3,78E-04) (E-02)$$

$$C_p = 7,06E-04 \text{ Bq/kg}$$

Contribuição a Ração

A contribuição relativa a ração, em função da longa meia-vida do urânio, é idêntica a determinação anterior, portanto:

$$C_r = 7,06E-04 \text{ Bq/kg}$$

Contribuição a Colheita

O cálculo da concentração na colheita (C_c) utiliza os mesmos parâmetros anteriores, excetuando os seguintes:

B_c: fator de concentração para colheita = 2 E-03

t: tempo de exposição = 60 dias

$$C_c = 8,8E-4 \text{ Bq/kg}$$

Concentração na Alimentação dos Animais

Nesta determinação, é considerado que 40% da alimentação diária é devida à ração e 40% do ano, de pasto.

$$Ca = Fp \times Fr \times Cr + (1 - Fp \times Fr) Cp$$

Ca: Concentração na alimentação animal em Bq/kg

Fp: fator pasto = 0,4

Fr: fator ração = 0,4

$$Ca = 0,4 \times 0,4 \times 7,06E-4 + (1 - 0,4 \times 0,4) 7,06E-4$$

$$Ca = 7,06E-4 \text{ Bq/kg}$$

Concentração no Leite

A concentração resultante no leite, em função da atividade na alimentação do animal, é a seguinte:

$$Cl = Ca \times F \times Q \times \exp(-b)$$

Cl: concentração no leite em Bq/l

F: fator de transferência de atividade da dieta para o leite = 6 E-4 dias/l

Q: quantidade de alimento ingerido em kg/dia = 16

$$Cl = (7,06E-4) (6E-4) \times 16 \times 1$$

$$Cl = 6,77E-6 \text{ Bq/l}$$

Concentração na Carne

A concentração na carne é obtida de modo semelhante, a saber:

$$Cf = Ca \times F \times Q \times \exp(-b)$$

Cf: concentração na carne em Bq/kg

F: fator de transferência de atividade da dieta para a carne = 3 E-2 dias/kg

Q: quantidade de alimento ingerida = 16 kg/dia

$$Cf = (7,06E-4) (3 E-2) \times 16 \times 1$$

$$Cf = 3,4E-4 \text{ Bq/kg}$$

Concentração em Peixes e Invertebrados

As concentrações para peixes e invertebrados são obtidas através das seguintes fórmulas:

$$C_{px} = C \times B_{px}$$

$$C_{in} = C \times B_{in}$$

C: concentração no rio = 10,1E-8 Bq/l

B_{px}: fator de acumulação no peixe = 10 l/kg

B_{in}: fator de acumulação no invertebrado = 100 l/kg

$$C_{px} = 10,1E-7 \text{ Bq/kg}$$

$$C_{in} = 10,1E-6 \text{ Bq/kg}$$

4.4.6.7. Conclusões

Com base nos cálculos e considerações anteriores, é possível apresentar as seguintes conclusões:

- As quantidades de elementos radioativos dispersos no meio ambiente, provenientes da operação da FEC-I, são praticamente desprezíveis;
- As doses equivalentes efetivas obtidas para os diferentes vias de exposição atendem plenamente às normas mais rigorosas de proteção radiológica;
- A contribuição simulada da FEC-I ao *background* – radiação anterior à entrada em operação das Unidades de Pó e Pastilhas -, considerando a sua operação contínua ao longo dos 14 últimos anos, é insignificante quando comparada aos valores constantes no Levantamento Ambiental Pré-Operacional nas Circunvizinhanças do CIR, conforme a Tabela 4.113, que compara os valores respectivos.

Tabela 4.113 DADOS COMPARATIVOS (FEC-I x LEVANTAMENTO)

TIPO	LEVANTAMENTO	FEC-I CALCULADO
Água do Paraíba do Sul	< 1E-3 ppm de U	1,4E-8 ppm de U
Solo	4,4E-1 Bq/g	3,78E-07 Bq/g
Leite	< 7,4E-2 Bq/g	6,7E-09 Bq/g
Vegetais	1,1E-1 Bq/g	8,8 E-07 Bq/g
Peixe	1,1E-1 Bq/g	1,01E-9 Bq/g