

APLICAÇÃO DO FATOR DE TRANSFERÊNCIA SOLO-PLANTA DO ^{137}Cs PARA AVALIAÇÃO DA RADIOVULNERABILIDADE DE SOLOS BRASILEIROS

M.A. Wasserman^{(1)*}, F. Bartoly⁽¹⁾; A.G. Viana⁽¹⁾; D.V. Pérez⁽²⁾, A.C.M. Ferreira⁽¹⁾, G.P. Moura⁽¹⁾ & M.M. Silva⁽¹⁾

⁽¹⁾Instituto de Radioproteção e Dosimetria/CNEN. Av. Salvador Allende s/nº. Recreio. CEP: 22780-160, Rio de Janeiro, RJ. Brasil; ⁽²⁾Centro Nacional de Pesquisa de Solos/EMBRAPA.

*E-mail: angelica@ird.gov.br

Financiado parcialmente pela IAEA/FAO/IUR (contrato BRA 10456). Apoio MCT.

A transferência de radionuclídeos do solo para os vegetais reflete a possibilidade da transferência da radioatividade para o homem através da cadeia alimentar. O fator de transferência solo/planta é o parâmetro que descreve a interação entre os compartimentos solo e planta, para um determinado radionuclídeo. No entanto, a existência de diversos tipos de solos associados à diversidade de espécies agrícolas e práticas culturais regionais, resulta em uma grande variabilidade de valores de transferência para um mesmo radionuclídeo. Estudos radioecológicos têm demonstrado que alguns ecossistemas apresentam condições favoráveis para a maior ou menor absorção vegetal de radionuclídeos (Frissel et al., 2002; Wasserman et al., 2002; Skarlou et al., 2001). Tem sido observado experimentalmente que, se um tipo de solo apresenta características que favorecem a transferência de um radionuclídeo para uma espécie vegetal, qualquer espécie cultivada neste solo apresentará elevada concentração deste radionuclídeo. Este fato levou a escolha de plantas de referência para se determinar experimentalmente o FT e, a partir de um fator de conversão, inferir o fator de transferência para outras culturas que possam vir a ser cultivadas neste solo (Frissel et al. 2002; Skarlou et al. 2001). Este trabalho apresenta resultados parciais do projeto de Radioecologia Tropical que vem sendo desenvolvido desde 1993 no Departamento de Proteção Radiológica Ambiental do Instituto de Radioproteção e Dosimetria da CNEN, integrado a programas de pesquisa coordenado pela Agência internacional de Energia Atômica. O objetivo é detectar a radiovulnerabilidade de classes de solos brasileiros em função dos valores de transferência observados para ^{137}Cs em plantas de referência. Estes resultados permitirão detectar ecossistemas vulneráveis à contaminação pelo ^{137}Cs e otimizar o planejamento de ações de emergência em áreas rurais.

O Fator de Transferência (FT) é calculado levando-se em conta o conteúdo total do radionuclídeo presente na parte comestível da planta, cultivadas segundo recomendações agronômicas regionais e o conteúdo total do radionuclídeo presente no solo (IUR, 1989):

$$FT = A_p/A_s$$

Onde, A_p = Atividade na parte comestível da planta (Bq/kg peso seco) e A_s = Atividade nos primeiros 20cm do solo (Bq/kg de peso seco).

Para este trabalho foi selecionado o milho (*Zea mays*, L.) como cultura de referência, dentre as culturas propostas para se classificar solos em função dos valores de FT (Frissel et al. 2002; Skarlou et al. 2001). O cultivo foi realizado em lisímetros de 1m² instalados em área protegida no Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD/CNEN) contendo os seguintes tipos de solos: a) *solos com contaminação acidental com ^{137}Cs* : Solo de Goiânia (solo proveniente do jardim de uma das casas contaminadas no acidente de 1987); b) *solos contaminados artificialmente com ^{137}Cs* : Latossolo Vermelho Amarelo - LVA, (coletado na região de Abadia de Goiás); Nitossolo, (coletado na região de São Borja, RS); Argissolo, (coletado na região de Campos, RJ). Estas classes de solos constituem grande parte no território nacional. Análises pedológicas dos solos foram realizadas segundo protocolo de rotina descrito no manual da

Empresa Brasileira de Pesquisa Agrícola (EMBRAPA). A atividade do ^{137}Cs foi determinada por espectrometria gama com um detetor de Ge.

O solo urbano de Goiânia apresentou propriedades alcalinas, com bom suprimento em elementos nutritivos e média capacidade de troca catiônica (CTC). Apresentou textura franco-arenosa e conteúdo de C orgânico típico de solos tropicais. As análises mineralógicas indicaram a predominância de gibsita sobre a caulinita na fração argilosa (tabela I). O solo LVA apresentou propriedades semelhantes ao solo de Goiânia, na época do cultivo do milho (tabela I). O Nitossolo apresentou propriedades ácidas, textura argilosa, teor de C orgânico típico de solos tropicais, média CTC, estando bem suprido em potássio trocável. As análises mineralógicas indicam a predominância de hematita e goetita e traços de vermiculita na fração argilosa (tabela I). O Argissolo apresentou propriedades ácidas, textura arenosa, pobre em C orgânico e nutrientes, baixa CTC e deficiente em potássio trocável. As análises mineralógicas apontam para predominância de caulinita na fração argilosa (tabela I).

Tabela I: Propriedades dos solos contaminados e idade da contaminação (ic) .

Parâmetros	LVA	Goiânia	Nitossolo	Argissolo
pH (KCl 1M)	6.9	7.3	4.9	4.4
areia (%)	71	68	10	82
argila (%)	18	16	49	9
CTC ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	3.2	5.2	6.1	2.3
C (dag kg^{-1})	1.16	1.25	1.24	0.27
P (mg kg^{-1})	5	53	8	1
K ⁺ ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	0.13	0.25	0.75	0.02
Al ₂ O ₃ (dag kg^{-1})	10.5	11	10.2	3.9
Fe ₂ O ₃ (dag kg^{-1})	3.4	5.4	13.3	1.9
Ca ⁺⁺ ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	1.6	4.4	nd	0.8
Al ⁺⁺⁺ ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	0.0	0.0	0.05	0.2
textura	franco arenosa	franco arenosa	argilosa	arenosa
ic em anos	9	14	5	1
argilo-minerais	gibsita	gibsita	hematita	caulinita

A correlação negativa entre o pH dos solos e o FT para ^{137}Cs tem sido observada no cultivo de várias espécies vegetais (Skarlou et al., 1996, Wasserman et al., 2002). Ao analisar valores de FTs para ^{137}Cs disponíveis na literatura especializada para cereais, Frissel et al. (2002) concluíram que os maiores valores de FT ocorrem quando o pH é inferior a 4.8. Os resultados para o milho confirmaram que os maiores valores de FT ocorreram quando o pH foi inferior a 4.8, acima deste valor as variações observadas, não parecem estar correlacionadas com pH (Figura 1a). No que se refere ao teor de K trocável, foi possível observar que os valores de FT obtidos no solo deficiente em potássio, corresponderam aos valores mais altos e se diferenciaram dos demais valores de FT obtidos em solos nos quais o K não está deficiente (figura 1b). Este resultado confirma que as variações observadas nos valores de FTs para ^{137}Cs em cereais não parecem estar correlacionadas com o conteúdo de K trocável, quando o teor estiver acima de $0.05 \text{ cmol.kg}^{-1}$ (Frissel et al., 2002). O Nitossolo apresentou valor de FT cerca de uma ordem de grandeza menor que o Argissolo (figura 2), apesar de apresentarem valores de pH muito próximos: 4.9 e 4.4 respectivamente. Estes solos apresentam propriedades distintas, no que se refere a textura, teor de K trocável e idade da contaminação no momento da análise (tabela I), ou seja, naquelas outras propriedades que interferem diretamente no padrão de absorção do ^{137}Cs (Papastefanou et al., 1999).

O valor médio de FT do ^{137}Cs obtido para o milho neste trabalho foi superior ao valor médio obtido em solos de clima temperado, segundo banco de dados da União Internacional de Radioecologistas (IUR,1989): $\text{FT}_{\text{IRD}} = 0.35 \pm 0.28$ (n=11) e $\text{FT}_{\text{IUR}}=0.03 \pm 0.03$ (n=27). A tendência dos solos tropicais em apresentar FT elevado foi observada anteriormente também para outros grupos de vegetais (e.g.: Wasserman & Belém, 1996; Wasserman, 1998a,b; Wasserman et al., 2002). O solo de Goiânia e o LVA, apresentaram valores semelhantes de FT assim como apresentaram semelhanças nas principais propriedades dos solos (figura 2).

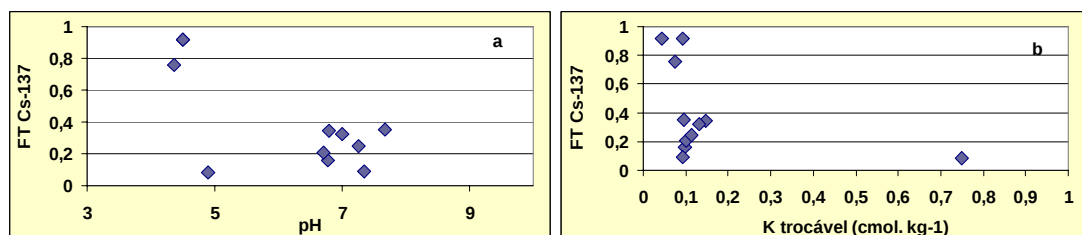


Figura 1. FT solo-milho do ^{137}Cs : a) em função do pH; b) em função do K trocável.

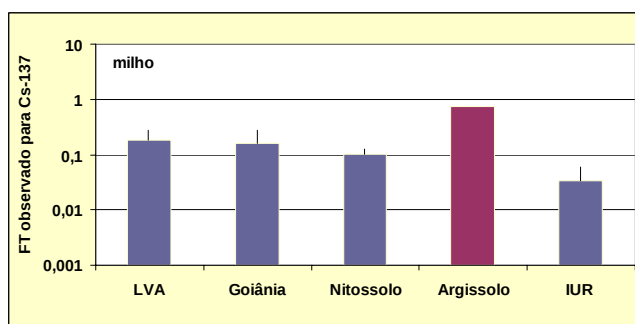


Figura 2. $\text{FT}_{\text{observado}}$ para ^{137}Cs , comparados com dados médios da IUR para milho (dado em vermelho indica contaminação recente).

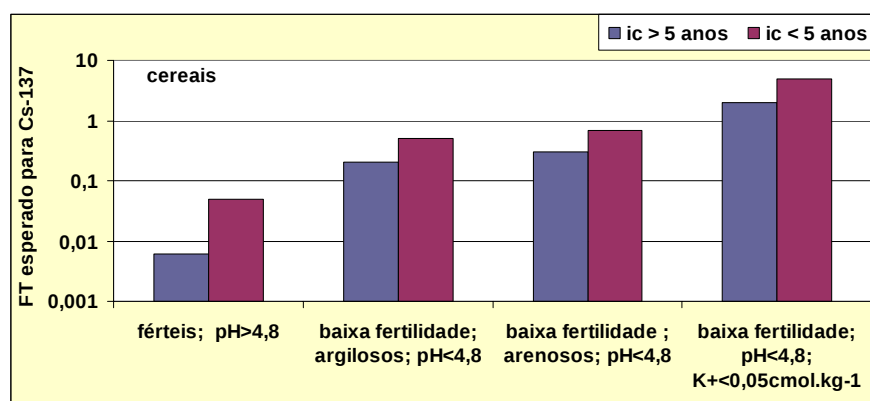


Figura 3. $\text{FT}_{\text{esperado}}$ para ^{137}Cs em cereais em função de propriedades dos solos e do tempo decorrido após o acidente (dados originais de Frissel et al.,2002).

A figura 3 apresenta valores de transferência de referência esperados para o ^{137}Cs em cereais, considerando propriedades dos solos relevantes para a transferência do ^{137}Cs e em função do tempo decorrido após a contaminação, segundo Frissel et al. (2002). Pode-se observar que os resultados obtidos neste trabalho foram coerentes com os valores propostos por Frissel et al. (2002) o que demonstra a viabilidade do uso de dados genéricos no cálculo

de dose e análise de risco radiológico no caso do ^{137}Cs , desde que baseado em parâmetros pedológicos tais como, pH, textura, idade da contaminação e fertilidade, ao invés de valores médios obtidos nas diferentes zonas climáticas.

Os resultados do presente trabalho apontam para a viabilidade do uso de dados genéricos no cálculo de dose e análise de risco radiológico no caso do ^{137}Cs , baseando-se em propriedades como pH, textura, teor em K trocável e fertilidade. Estes resultados também apontam para a vulnerabilidade de grande parte dos sistemas agroecológicos do país (*e.g.*: solos de cerrado, caatinga, floresta equatorial e o complexo do pantanal), já que os solos presente nestas áreas apresentam baixa fertilidade, favorecendo os processos de transferência do ^{137}Cs .

CITAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa-CNPq, 1997.p 212.

FRISSEL, M.J.; DEB,D.L; FATHONY, M.; LIN, Y.M.; MOLLAH, A.S.; NGO, N.T.; OTHMAN, I.; ROBISON, W.L; SKARLOU-ALEXIOU, V.; TOPCUOGLU, S.; TWINING, J.R.; UCHIDA, S. & WASSERMAN, M.A. Generic Values for Soil-to-Plant Transfer Factors of Radiocesium. J. Environ. Radioactiv., 58 (2-3): 113-128. 2002.

INTERNATIONAL UNION OF RADIOECOLOGISTS. Report of the Working Group Soil-to-Plant Transfer Factors. IUR, Bilthoven, Netherlands.1989. p 215.

PAPASTEFANOU, C.; MANOLOPOULOU, M.; STOULOS, S.; IOANNIDOU, A. & GERASOPOULOS, E. Soil-to-Plant Transfer of ^{137}Cs , ^{40}K and ^7Be . J. Environ. Radioactiv., 45: 59-65.1999.

SKARLOU, V.; FRISSEL, M.J; TWINING, J.R.; WASSERMAN, M.A.; DJINGOVA, R.; SCHULLER, P.; LI JIANGUO, SACHDEV, P., UCHIDA, S.; SANZHAROVA, N.; AL-OU DAT, M.;TOPCUOGLU, S.; WANG, J.J.; PRISTER, B.; ROBISON W.L & NGUYEN HAO QUANG. Generic TF-values for Cs and Sr. ESNA 2001, Greece, 2001.

SKARLOU, V., PAPANICOLAOU, E.P. & NOBELI, C. Soil to plant transfer of radioactive cesium and its relation to soil and plant properties, Geoderma, 72 (1-2): 53-63. 1996.

WASSERMAN, M.A.; PEREZ, D.V. & BOURG, A. behaviour of ^{137}Cs in some Brazilian Oxisols. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 33 (7&8):1335 - 1349, 2002.

WASSERMAN, M.A. Geochemical partitioning related to soil-plant transfer of caesium-137 in Oxisols of tropical areas. In: WASSERMAN, J.C; SILVA-FILHO, E.V.& VILLAS-BOAS,R.ed. Environmental Geochemistry in the Tropics, 72, Springer-Verlag, Germany. 1998a.p.17-28.

WASSERMAN, M.A. The behaviour of caesium-137 in Oxisols and Goiânia soil. In: GOIÂNIA, TEN YEARS LATER, Proceedings of an International Conference. CNEN/IAEA, Goiânia, 1998b. p. 346-353.

WASSERMAN, M.A.& BELÉM, L.J. Valores de Transferência do ^{137}Cs de Latossolos para Plantas Comestíveis. In VI CONGRESSO GERAL DE ENERGIA NUCLEAR, Rio de Janeiro, Brasil. 1996. CD-ROM.