

Contribuição para o mapeamento da radioatividade natural no Brasil – exposição externa

Krause Cristina Silva Salles¹
Elaine Rua Rodriguez Rochedo²
João Claudio Batista Fiel¹
Maria Angélica Vergara
Wasserman^{3*}

¹ Instituto Militar de Engenharia
Praça Gen. Tibúrcio, 80 - Urca
Rio de Janeiro, RJ, Brasil
CEP 22290-270

² Instituto de Radioproteção e Dosimetria
Av. Salvador Allende s/No
Recreio do Bandeirantes
Rio de Janeiro, RJ, Brasil
CEP 22783-127

³ Instituto de Engenharia Nuclear
Rua Hélio de Almeida, 75
Cidade Universitária, Ilha do Fundão
Rio de Janeiro, RJ, Brasil
CEP 21941-972.

* Autora correspondente:
angelica.wasserman@gmail.com

RESUMO

A exposição à radiação natural é a principal fonte de exposição média para a população mundial. O objetivo deste trabalho é efetuar estimativas de dose externa na população brasileira decorrentes desta exposição. Para o cálculo de doses efetivas, foram utilizados os modelos utilizados pelo United Nations Scientific Committee for the Effects of Atomic Radiation – UNSCEAR. Em relação à radiação cósmica, foi considerada a exposição ao nível do mar em função da latitude, corrigida para a altitude dos locais selecionados, que compreendem os municípios brasileiros com uma população maior do que 100.000 habitantes, o que inclui 53% da população do país e pelo menos uma cidade em cada unidade da federação. Para o cálculo da radiação terrestre, os locais foram limitados àqueles para os quais existem informações sobre medidas de taxa de dose ou de concentração de radionuclídeos naturais no solo. Estes locais incluem apenas 21% da população do país. Os resultados para a exposição à radiação cósmica são semelhantes àqueles estimados pelo UNSCEAR como médias mundiais. Os resultados para a exposição à radiação terrestre são bastante superiores àqueles indicados como média mundial. Este resultado pode refletir a preferência por estudos radioecológicos em áreas de alta radiação natural de fundo.

Palavras-chave: Radioatividade Natural, Exposição do público

ABSTRACT

Exposure to natural radiation is the main source of exposure for the world's population. The objective of this work is to make external dose estimates to the Brazilian population resulting from this exposure. For the calculation of effective doses, the models used by the United Nations Scientific Committee for the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) were used. In relation to cosmic radiation, sea level exposure was considered as a function of the latitude, corrected for the altitude of the selected sites, which comprise Brazilian municipalities with a population greater than 100,000 inhabitants, which includes 53% of the country's population and at least one city in each state. For the calculation of terrestrial radiation, sites were limited to those for which there are information on dose rate or concentration measurements of natural radionuclides in the soil. These sites comprise only 21% of the country's population. The results for exposure to cosmic radiation are similar to those estimated by UNSCEAR as world averages. The results for the exposure to terrestrial radiation are much higher than that indicated as world average. This result may reflect the preference for radioecological studies in areas of high natural background radiation.

Keywords: natural background radiation, public exposure

1. INTRODUÇÃO

A exposição à radiação natural é a principal fonte de exposição média para a população mundial (UNSCEAR, 2008). No Brasil, a grande maioria dos trabalhos historicamente encontrados na literatura se refere a áreas de radioatividade natural elevada, e.g. Amaral (1992) e Fernandes *et al.* (2006). Recentemente, começaram a aparecer trabalhos incluindo avaliações de taxas de dose externa e de níveis de radônio em áreas grandes urbanas, e.g. Souza *et al.* (2007) e Yoshimura *et al.* (2004). Uma tentativa de integração destes resultados está sendo efetuada pelo Instituto de Radioproteção e Dosimetria (CNEN) dentro do projeto GEORAD (2010). Neste projeto, foi montado um banco de dados georeferenciados reunindo medidas ambientais fornecidas por diversos laboratórios, dados obtidos de levantamentos bibliográficos e dados relativos aos programas de monitoramento ambiental rotineiros efetuados em diversas áreas no Brasil.

O conjunto de dados reunidos até o momento já permite iniciar uma avaliação integrada, que permite obter, embora ainda de forma preliminar, um quadro sobre a exposição da população brasileira à radioatividade ambiental.

O objetivo deste trabalho é efetuar, a partir de dados já compilados pelo GEORAD (2010), complementados por dados levantados na

literatura, estimativas de dose externa na população brasileira decorrentes da exposição à radioatividade natural.

Neste trabalho foi efetuada estimativa de doses externas com a maior abrangência possível no território nacional. A irradiação externa decorrente da radioatividade natural é geralmente um componente importante da exposição de populações humanas. O conhecimento desta exposição tem grande relevância para o estabelecimento de padrões de radioproteção, além de representar importante contribuição para o conhecimento dos níveis de exposição existentes no Brasil.

Este trabalho pretende dar continuidade à iniciativa do Projeto GEORAD (2010), que tem grande relevância para a valorização do uso de dados nacionais para a determinação de doses na população, normalmente efetuada utilizando principalmente dados levantados na literatura internacional, muitas vezes inadequados para a situação de países de clima tropical, em particular o Brasil.

Adicionalmente, uma avaliação deste tipo permitirá fornecer uma diretriz sobre as áreas que ainda carecem de levantamentos específicos, que poderá nortear projetos futuros de pesquisa e de levantamento de dados ambientais de forma a contribuir para completar um quadro mais preciso sobre este tipo de exposição no Brasil.

2. METODOLOGIA

2.1 EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO CÓSMICA

A seleção das áreas de estudo foi obtida através de dados do censo sobre a população do Brasil em 2010 efetuado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2012). Foram selecionados municípios com mais de 100.000 habitantes, contabilizando um total de 252 municípios, juntamente com o Distrito Federal. Esta seleção compreende cerca de 53% da população total brasileira e tem a representatividade de pelo menos 1 município em cada unidade da federação brasileira. Os dados de latitude, longitude e altitude foram coletados através do *Google Earth*[®] para os 252 municípios e para o Distrito Federal.

Para calcular as doses efetivas no público devido à exposição à radiação cósmica, foram utilizados os modelos utilizados por

UNSCEAR (2008). Em uma primeira etapa, as doses para cada município foram estimadas como uma função da latitude, ao nível do mar, de acordo com os dados apresentados na Tabela 1. Os valores obtidos para os dois componentes foram então corrigidos para a altitude de referência para cada município, de acordo com as equações fornecidas pelo UNSCEAR (2008).

A dose efetiva para o componente diretamente ionizante de radiação cósmica na altitude z , $E(z)$, foi calculado pela fórmula:

$$E(z) = E(0) [0,21e^{-1,649z} + 0,79e^{-0,4528z}]$$

onde $E(0)$ é a taxa de dose efetiva, devido ao componente diretamente ionizante ao nível do mar ($z = 0$), e z é a altitude, em km.

A dose efetiva para o componente de nêutrons de radiação cósmica na altitude z , $E_N(z)$, foi calculado pela fórmula:

$$E_N(z) = E_N(0) b_N e^{az}$$

$$E_N(z) = E_N(0) b_N e^{az}$$

onde $E_N(0)$ é a taxa de dose de componente devido a nêutrons, ao nível do mar, e z é a altitude, em km. Os parâmetros b e a terão valores dependentes da altitude. No caso do presente estudo, todas as altitudes são menores do que 2 km, assim os parâmetros assumirão os seguintes valores:

$$b_N = 1 \text{ e } a = 1 \text{ km}^{-1}$$

Tabela 1. Taxa de dose efetiva ao nível do mar em função da latitude (nSv/h)

Faixa de	Taxa de dose efetiva (nSv/h)	
	Componente diretamente	Componente
80 -	32	11
70 -	32	11
60 -	32	10.9
50 -	32	10
40 -	32	7.8
30 -	32	5.3
20 -	30	4
10 -	30	3.7
0 - 10	30	3.6

A taxa de dose efetiva total é a soma das contribuições dos dois componentes, isto é, a soma do componente diretamente ionizante, $E(z)$, com a contribuição do componente de nêutrons $E_N(z)$. Os resultados de dose efetiva anual individual foram estimados considerando uma taxa de ocupação interna de 80% e um fator de blindagem de 0,8, conforme proposto por UNSCEAR (2008) para o espectro de energia esperado para a radiação cósmica ao nível do mar.

Doses coletivas foram calculadas multiplicando as doses individuais pelo número de residentes em cada município. Doses médias individuais para cada estado foram estimadas pela soma das doses coletivas para todos os municípios de um determinado estado, dividido pelo número total de residentes dos mesmos municípios. As doses médias individuais (*per capita*) foram então utilizadas para extrapolar doses estimadas para os estados e destes para o país

2.2 EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO TERRESTRE

Dois tipos de dados foram utilizados para estimar a exposição externa da população em relação aos radionuclídeos de origem terrestre:

- Medidas de taxas de dose absorvida no ar ou de taxas kerma (do inglês energia cinética liberada no ar por unidade de massa) no ar; e,
- Concentração de radionuclídeos medida em solos

A falta de dados oriundos de referências bibliográficas inviabilizou atingir o mesmo percentual dos municípios selecionados no cálculo devido à radiação cósmica. A seleção dos municípios para o cálculo, baseada na disponibilidade de dados, compreende cerca de 20% da população total brasileira

O fator de blindagem médio mundial para exposição à radiação terrestre dentro de residência sugerido pelo UNSCEAR (2008) coincide aproximadamente com o valor

estimado por Yoshimura e colaboradores (2004) para a cidade de São Paulo e foi então utilizado neste estudo. O valor para o fator de blindagem devido à radiação terrestre foi de 1,4. O valor é maior do que a unidade por causa da contribuição de radionuclídeos naturais presentes nos materiais de construção para a exposição dentro de casa. As taxas de ocupação de ambientes interiores ou exteriores foi a mesma utilizada para a estimativa da exposição à radiação cósmica.

Poucos trabalhos foram encontrados com levantamentos de taxas de dose ou de kerma no ar. No entanto, alguns destes trabalhos incluem um grande número de medidas fornecendo boas caracterizações das taxas de exposição da população em áreas urbanas (Licinio et al 2013; Morais et al 2000, Oliveira 1988, Pascholati 1989, Sachett 2002, Silva 1999,

Silva *et al.* 2001, 2013, Souza *et al.* 2007, 2009, 2015^a, 2015b). Foram também utilizados dados obtidos a partir de programas de monitoramento de instalações nucleares (Almeida *et al.* 2001, Amaral *et al.* 1988, Amaral 1992, Fernandes *et al.* 2008, Mendonça *et al.* 1989, Moraes *et al.* 2011, Santos 2010, Szeles 1994, Tavares *et al.* 2011) e institutos de pesquisa (Melo *et al.* 2015, Peixoto *et al.* 2009, Venturini *et al.* 1993).

Em relação a trabalhos encontrados na literatura científica, alguns trabalhos foram descartados por não apresentarem uma descrição metodológica que permitisse identificar de forma clara o que os resultados apresentados representavam ou apresentavam inconsistências metodológicas. Nos casos em que as taxas medidas nos ambientes externos foram apresentadas como taxas de kerma no ar, foi seguida a recomendação do UNSCEAR (2008) de considerar um valor idêntico para a taxa de dose absorvida no ar, considerando

equilíbrio eletrônico nos locais medidos. O fator de conversão de 0,7 Sv/Gy foi usado para obter valores de taxa de dose efetiva a partir do valor de taxa de dose absorvida no ar.

Embora a pesquisa tenha indicado uma boa quantidade de trabalhos com medidas de radionuclídeos naturais em solos, poucos apresentavam resultados que incluíam radionuclídeos das três principais fontes de exposição externa a partir do solo. Desta forma, apenas aqueles trabalhos que incluíam resultados da concentração de pelo menos um radionuclídeo de cada uma das cadeias do U-238 e do Th-232 e resultados de concentração de K-40 puderam ser utilizados (Conceição *et al.* 2009, Malanca *et al.* 1996, Peixoto *et al.* 2013, Schuch 1993, Silveira *et al.* 2007, Vasconcelos *et al.* 2009).

Foi considerado equilíbrio radioativo no solo para as séries naturais e os fatores de dose utilizados são aqueles citados pelo UNSCEAR (2000) (Tabela 2):

Tabela 2 Taxa de dose efetiva para adultos em ambientes externos por unidade de concentração no solo para os principais radionuclídeos naturais (Eckerman, 1993).

Radionuclídeo	Taxa de dose efetiva por unidade de concentração (nSv/h)/(Bq/kg)
⁴⁰ K	0,033
Série do ²³² Th	0,510
Série do ²³⁸ U	0,350

Doses coletivas foram estimadas para cada município considerado, multiplicando a dose efetiva anual pelo respectivo número de habitantes em cada localidade. Doses

individuais per capita foram então estimadas por estado e para a totalidade dos municípios incluídos nas análises.

3. RESULTADOS

A média estimada de dose efetiva per capita para o Brasil, decorrentes da exposição à radiação cósmica, considerando-se todos os municípios com mais de 100.000 habitantes é de 0,37 mSv/ano; este valor é muito próximo ao da média mundial estimada pela UNSCEAR, de 0,38 mSv/ano). Os valores variaram de 0,24 mSv/ano em Macapá, AP, até 0,76 mSv/ano em Poços de Caldas, MG..

A altitude mostrou ser responsável pela maior parte da variabilidade entre os diferentes locais. Na verdade, uma regressão exponencial entre doses e altitudes efetivos mostrou um coeficiente de correlação de cerca de 0.998 (Figura 1).

A dose coletiva estimada para esta população foi 36.693 homem-Sv/ano. Considerando-se a dose média *per capita* para

a população selecionada, estima-se, para o Brasil, uma dose coletiva total, cerca de 71.000 homem-Sv/ano devido à exposição à radiação cósmica.

A Figura 2 mostra a distribuição geográfica da dose de exposição à radiação cósmica no Brasil, com base nos 253 municípios considerados neste estudo. Observa-se que a cobertura, em termos de área é bastante reduzida, embora os municípios demarcados incluam mais de 50 % da população do país.

Apenas cerca de 21% da população e 16% da área total do Brasil é coberta com medidas que permitem estimativas da exposição externa terrestre (Figura 3). A taxa média de dose efetiva em ambientes abertos foi estimada como sendo 67,6 nSv/h.

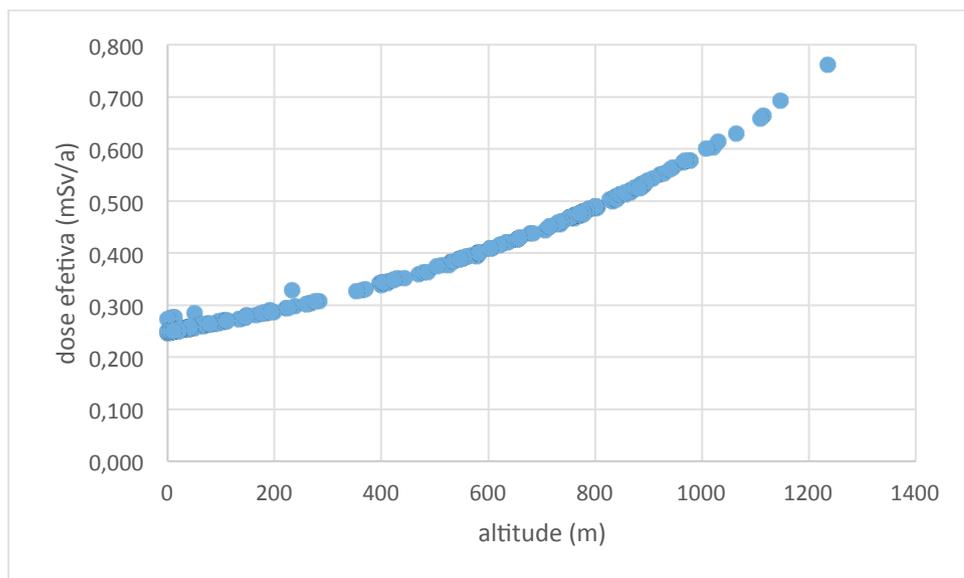


Figura 1
Correlação entre a dose efetiva e a altitude.

Considerando um fator de blindagem de 1,4, conforme medido em São Paulo, para a radiação terrestre em ambientes interiores, e uma ocupação de 80 % de ambientes fechados, a dose média estimada para população

brasileira incluída neste estudo foi de 0,78 mSv/ano, superior ao valor médio mundial de 0,48 mSv/ano estimado pelo UNSCEAR (2000; 2008).

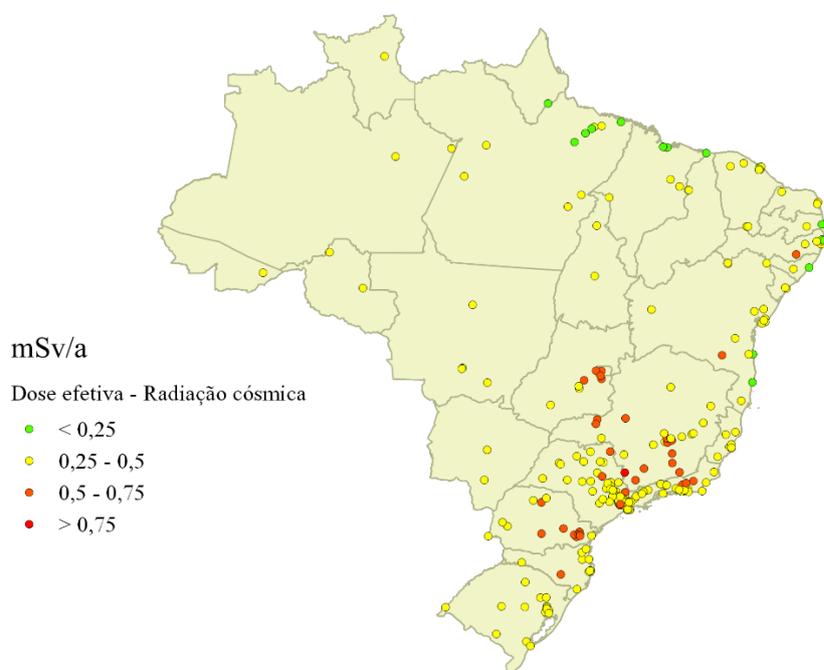


Figura 2
Mapa de resultados para o cálculo da dose efetiva devido à exposição à radiação cósmica(mSv/a)

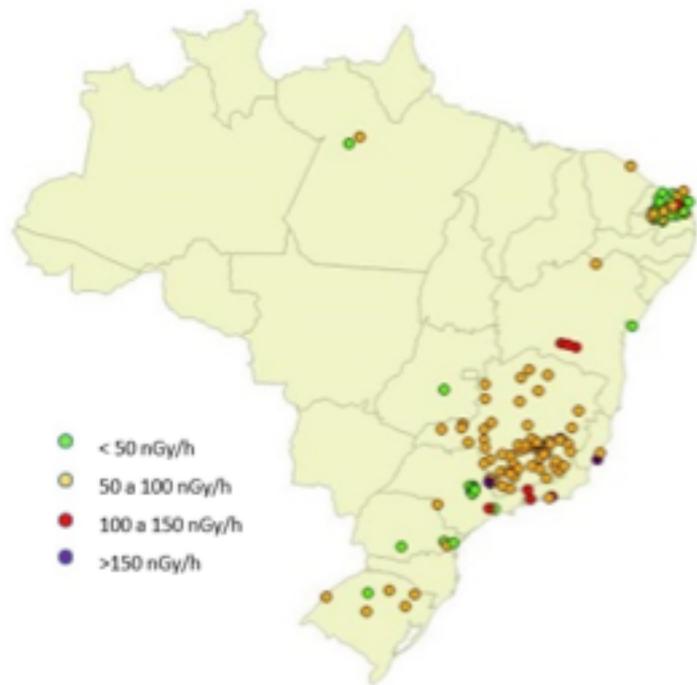


Figura 3
Taxas de dose externa devido à radiação terrestre (nSv/h)

O resumo das doses estimadas neste estudo está apresentado na Tabela 3. Na mesma tabela

estão incluídas as doses de referência sugeridas como média mundial pelo UNSCEAR (2008).

Tabela 3 - Dose efetiva externa média – resumo dos resultados

Origem	Grandeza	Unidade	Este trabalho	Valor de referência UNSCEAR 2008)
Radiação cósmica	taxa de dose em áreas abertas	nGy/h	50,0	52,4
	taxa de dose em ambientes internos	nGy/h	40,0	41,9
	dose efetiva média anual	mSv/a	0,37	0,38
Radiação terrestre	taxa de dose em áreas abertas	nGy/h	67,6	58
	taxa de dose em ambientes internos	nGy/h	94,6	84
	dose efetiva média anual	mSv/ano	0,78	0,48
Total	dose efetiva média anual	mSv/ano	1,15	0,86

A taxa de dose individual média total (cósmica + terrestre) foi estimada apresentando o valor de 1,15 mSv/ano, e, portanto, superior ao valor médio mundial estabelecido pelo UNSCEAR, de 0,86 mSv/ano. A principal diferença entre os valores encontrados no Brasil e a média mundial se deve à exposição à radiação terrestre.

No entanto, com a continuidade dessas pesquisas de rastreamentos de longo alcance,

espera-se que a taxa de dose externa média da população brasileira deva ser inferior àquela estimada neste estudo, devido à pequena contribuição de alto background natural para a exposição da população brasileira em geral.

Utilizando os valores médios, obtemos uma dose coletiva de 44.000 homem-Sv/ano para a população envolvida no estudo, e cerca de 211.600 homem-Sv/ano para o Brasil. Cerca de 32 % desta dose é devida à radiação cósmica e 68 % é devida à radiação terrestre.

4. CONCLUSÕES

A quantidade de dados disponíveis ainda é muito pequena para caracterizar contribuição terrestre da taxa de dose externa para a população brasileira.

Não há dados experimentais que permitam a validação da exposição à radiação cósmica no Brasil. Os cálculos efetuados neste trabalho refletem a exposição de cerca de 53 % da população brasileira. Os resultados são bastante semelhantes àqueles apontados como média mundial pelo UNSCEAR.

Conforme citado anteriormente, existem diversos grupos, no Brasil efetuando levantamentos dos níveis de radioatividade ambiental, mas estes grupos ainda não trabalham de uma forma integrada, nem a partir de metodologias padronizadas, de forma a permitir uma avaliação integrada dos resultados.

Atualmente constatou-se que somente 16% da área total do território brasileiro dispõe de valores para o cálculo de radiação terrestre, sendo que deste percentual a maior parte das áreas medidas referem-se a áreas anômalas devido à alta radioatividade presente no solo. Medidas indicativas da radiação terrestre refletem a exposição de 21 % da população total do país. O valor médio de dose devido à radiação terrestre no Brasil é cerca de 63 % superior àquele sugerido pelo UNSCEAR (2008) como média mundial. A pequena cobertura dos dados disponíveis para o Brasil,

tanto em termos de área quanto em termos de população, não permite avaliar se este resultado é real ou se é desviado da média geral, decorrente da preferência histórica de avaliação das áreas conhecidas como sendo de elevada radiação natural de fundo.

A continuidade de estudos, tanto de levantamentos radiométricos que permitam obter dados diretamente para áreas densamente populadas, quanto em termos de levantamentos radioecológicos de concentração de radionuclídeos naturais de solos brasileiros, deverá permitir, no futuro, o estabelecimento de valores mais precisos de exposição da população brasileira à radioatividade natural.

Como recomendação para estudos futuros, sugere-se o rastreamento de taxa de dose, priorizando áreas de maior população. Já os estudos de caracterização de solos deveriam sempre incluir o K-40, devido à sua relevância para a dose externa, devida à radioatividade natural, incluindo sempre junto a este, radionuclídeos representativos das famílias do U-238 e do Th-232.

A falta de um padrão quanto às metodologias adotadas para estimar a exposição da população brasileira à radiação natural acaba por invalidar grande parte dos estudos realizados, dificultando a comparação de análises e acompanhamento da radiação natural no cenário brasileiro.

5. REFERÊNCIAS

- Almeida G.M., Campos S.S.S., Gennari R.F; Souza S.O. 2011. Determination of the concentration of radionuclides in soil and water next the uranium mining of Caetité-BA. Anais do INAC 2011- International Nuclear Atlantic Conference, Belo Horizonte.
- Amaral, E.C.S. 1992. Modificação da Exposição à Radiação Natural Devido a Atividades Agrícolas e Industriais numa Área de Radioatividade Natural Elevada no Brasil. 1992. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, 129P
- Amaral E.C.S., Reis Y.G., Lauria D.C. 1988. Levantamento ambiental pré-operacional nas circunvizinhanças do Complexo Industrial de Resende (CIR), RJ. Ciência e Cultura 40(8):741-747.
- Conceição, F.T., Bonotto D.M., Jiménex-Rueda J.R., Roveda J.A..F. 2009. Distribution of ²²⁶Ra, ²³²Th and ⁴⁰K in soils and sugar cane crops at Corumbataí river basin, São Paulo State, Brazil. Applied Radiation and Isotopes 67: 1114-1120.
- Eckerman, K.F., Ryman, J.C. 1993. External exposure to radionuclides in air, water, and soil. Federal Guidance Report No. 12, EPA 402-R-93-08, Environmental Protection Agency.
- Fernandes H.M., Lamego F.F.; Perez V., Franklin M.R., Gomiero L.A. 2006. Radioecological characterization of a uranium mining site located in a semi-arid region in Brazil. J. Environ. Radioact. 88(2): 40-157. GEORAD, Banco De Dados De Radioatividade No Brasil. Home [on line]. 2014. Disponível em http://georad.ird.gov.br/login_georad/login_georad.php. Acessado em agosto de 2015
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2012. Censo de 2010 Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>. Acessado em maio de 2012.

- Licínio M.V.; Freitas, A.C.; Evangelista, H. Costa Gonçalves, A.; Miranda, M.; Alencar, A.S. 2013. A high spatial resolution outdoor dose rate map of the Rio de Janeiro city, Brazil, risk assessment and urbanization effects. *J. Environ. Radioact.* 126: 32-39.
- Malanca A., Gaidolfi L., Pessina V., Dallara G. 1996. Distribution of Ra-226, Th-232 and K-40 in soils of Rio Grande do Norte (Brazil). *J. Environ. Radioact.* 3(1): 55-67.
- Melo V.P., Souza E.M., Rochedo E.R.R., Ferreira A.C.M., Perez S.S. 2005. Development of an environmental monitoring program for IRD-Instituto de Radioproteção e Dosimetria, CNEN. *Anais do INAC 2005- International Nuclear Atlantic Conference*, Santos.
- Mendonça, A.H. Nobrega, A.W.; Mulder, R.U.; Vianna, M.E.; Almeida, C.E.; Winter, M. 1983. Preoperational Environmental Monitoring of the Angra Reactor Site : Program and Results. Instituto de Radioproteção e Dosimetria. Publicação CNEN-1001 e KFK3448, IRD, Rio de Janeiro.
- Moraes M.A.P.V., Daltro T.L.F. 2000. Environmental gamma radiation and natural radioactivity in soils in Centro Experimental ARAMAR (CTMSP- Brasil) and region. *Radiat. Protec. Dosim.* 87(3): 207-211.
- Morais E.N.L., Amaral R.S., Santos Junior J.A. Bispo, R.C.B.; Bezerra, J.D. 2013. Radiometria em área urano-fosfática da cidade de Igarassú-Pernambuco. *Anais do IRPA 2013 - IX Latin American IRPA Regional Conference On Radiation Protection And Safety*, Rio de Janeiro.
- Oliveira, H. 1988. Radioatividade Natural em Solos do Município de Piracicaba. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de São Paulo. 63 p..
- Pascholati E.M. 1989. Caracterização geofísica da suite intrusiva de Itu. Tese de Doutorado em Geofísica, Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo.
- Peixoto C.M., Jacomino V.M.F., Dias F.F. 2009. Environmental monitoring program of a nuclear research institute. *Anais do INAC 2009 - International Nuclear Atlantic Conference*, Rio de Janeiro.
- Peixoto C.M., Balaine F., Taddei M.H.T., Jacomino V.M.F. 2013. Determination of Soil Screening Levels for natural radionuclides in Minas Gerais State, Brazil. *Anais do INAC 2013 - International Nuclear Atlantic Conference*, Recife.
- Rochedo E.R.R., Amaral E.C.S., Godoy J.M.O., Wasserman M.A.V. 2007. Avaliação de Impacto Radiológico Ambiental. Parte I – Liberações Rotineiras. IRD - Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro. 141 p.
- Sachett, I.A. 2002. Caracterização da radiação gama ambiental em Áreas urbanas utilizando uma unidade móvel de Rastreamento. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes. 195 p..
- Santos E.F.S. 2010. Espectrometria gama aérea da província uranífera de Lagoa Real (Caetité, BA): aspectos geoambientais e distribuição da dose absorvida no ar. Dissertação (mestrado em radioproteção e dosimetria), Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro. 128 p.
- Schuch L.A. 1993. Cesio-137 e radionuclídeos naturais em solos do sul do Brasil e em solos e outras amostras ambientais da Antártica. Tese de Doutorado em Ciência Espacial/Geofísica Espacial. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José do Campos, SP.
- Silva J.R.S. 1999. Estudo da radioatividade natural da região de Presidente Figueiredo (AM) utilizando espectrometria gama. Dissertação de mestrado. Departamento de Geofísica, Universidade de São Paulo, SP.
- Silva N.C., Santos E.E., Pimenta L.R. Costa, H.F.; Dias, D.C.S.; Guerrero, E.T.Z.; Alberti, H.L.C. 2011. Assessment of natural and artificial radiation dose in the city urban area of Goiânia. *Anais do INAC 2011 - International Nuclear Atlantic Conference*, Belo Horizonte.
- Silva A.A., Santos Junior J.A., Cunha A.F.V. Amaral, R.S.; Oliveira, I.A.; Bezerra, J.D.; Silva, F.F. 2013. Gamma dosimetry of the uranium deposit in São José de Espinharas, Paraíba, Brazil. *Anais do INAC 2013 - International Nuclear Atlantic Conference*, Recife.
- Silveira, P.M. 2007. Determinação de ^{238}U , ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{40}K em uvas e vinhos da Região do Vale do São Francisco. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) – Universidade Federal de Pernambuco.
- Souza, E.M., Rochedo E.R.R., Wasserman M.A.V. 2009. Methodological Studies for Long Range Environmental Gamma Rate Survey in Brazil. *Anais do INAC 2009 - International Nuclear Atlantic Conference*, Rio de Janeiro.
- Souza E.M., Rochedo E.R.R., Conti, L.F.C., Wasserman M.A.V., Melo V. 2007. Survey on Background radiation on Guanabara Bay. *Anais do INAC-2007- International Nuclear Atlantic Conference*, Santos.
- Souza, E.M., Rochedo, E.R.R., Conti, C.C. 2015a. External Dose Rates in Coastal Urban Environments in Brasil. *Anais do Congresso Regional Latinoamericano Irpa De Protección Y Seguridad Radiológica, IRPA-X, Buenos Aires*.
- Souza, E.M., Rochedo, E.R.R., Conti, C.C. 2015b. In-situ gamma ray measurements for background environmental studies and calculation of external dose rates in Brazil. *ENVIRA 2015 – International Conference on Environmental Radioactivity*, Thessaloniki, Grécia.
- Szeles M.S.M.F. 1994. Avaliação da contaminação de um solo agrícola nas proximidades de uma mina de urânio. Tese de doutorado. Instituto de

- Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo. 119 p.
- Tavares P.G., Souza R.F., Cardoso F.N.M. 2011. The monitoring of the terrestrial environment around Almirante Alvaro Alberto nuclear power station. Anais do INAC 2011 - International Nuclear Atlantic Conference, Belo Horizonte.
- UNSCEAR - UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION. 2000. UNSCEAR 2000 report – Vol. I: Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations, New York, 654 p.
- UNSCEAR - UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION 2010. UNSCEAR 2008 report – Vol. I: United Nations, New York, 463 p.
- Vasconcelos, D.C., Oliveira A.H., Silva M.R.S. Penna, R.; Santos, T.O.; Pereira, C.; Rocha, Z.; Menezes, M.A.B. C. 2009. Natural Radioactivity in Extreme South of Bahia, Brazil using Gamma- Ray Spectrometry. Anais do INAC 2009 - International Nuclear Atlantic Conference, Rio de Janeiro.
- Venturini L., Nisti M.B., Pecequilo B.R.S. 1993. Análises radiométricas realizadas pelo serviço de monitoração ambiental do IPEN de 1988 a 1991. IPEN – Instituto de Pesquisas energéticas e Nucleares, IPEN-Pub-385, São Paulo.
- Yoshimura E.M., Otsubo S.M., Oliveira R.R.R. 2004; Gamma ray contribution to the ambient dose rate in the city of São Paulo, Brazil. Radiation Measurements 38: 51-57.