



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

GAMAESPECTRÔMETRO COMO FERRAMENTA AO CIENTISTA DO SOLO: IDENTIFICANDO O LIMITE ENTRE UM ARGISSOLO VERMELHO E UM PLANOSSOLO HÁPLICO

Hugo Machado Rodrigues ^(a), Carlos Wagner Rodrigues do Nascimento ^(b),
Marcos Bacis Ceddia ^(c), Gustavo Mattos Vasques ^(d), Raquel Gomes Feijó ^(e),

^(a) Departamento de Solos, UFRRJ, rodrigues.machado.hugo@gmail.com

^(b) Departamento de Solos, UFRRJ, carloswagner.geologia@yahoo.com

^(c) Departamento de Solos, UFRRJ, marcosceddia@gmail.com

^(d) Embrapa Solos, gustavo.vasques@embrapa.br

^(e) Instituto de Agronomia, UFRRJ, raquel.raquel.rg@gmail.com

^(f) Departamento de Solos, UFRRJ, martin_freire@hotmail.com

Eixo: Geotecnologias e modelagem aplicada aos estudos ambientais.

Resumo

Este trabalho teve como objetivo mapear o limite entre um PLANOSSOLO HÁPLICO e um ARGISSOLO VERMELHO utilizando um gamaespectrômetro. O estudo foi realizado na Fazendinha Agroecológica Km 47 em Seropédica-RJ. Foram abertos e descritos dois perfis do solo (PLANOSSOLO HÁPLICO e ARGISSOLO VERMELHO), sendo cada solo descrito em cada extremidade de um transecto com 70 m de comprimento. Posteriormente, passou-se o gamaespectrômetro pelo transecto, capturando as assinaturas dos elementos urânio e tório (eU e eTh, respectivamente). Em seguida, os dados foram krigados no software R e referenciados em ArcGis. Foram identificadas as maiores concentrações destes elementos em posições opostas no transecto, ainda que apresentando o mesmo ponto limite de transição, da área de maior concentração para menor concentração. A verificação por meio de tradagens na região limítrofe corroborou a identificação do limite entre os tipos de solo identificado no transecto pelo gamaespectrômetro.

Palavras chave: Gamaespectrômetro, sensores proximais, proximal soil sensing, radiação, Brasil



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

1. Introdução

O campo da Pedologia aplicada à agricultura busca novas tecnologias para a complementar a agricultura convencional, assim como promover a agricultura de precisão. Estas tecnologias visam converter os trabalhos de campo tradicionais que são, geralmente, custosos e laboriosos em trabalhos dinâmicos, eficientes e apresentando menor tempo e menores custos (ADAMCHUK et al., 2004). Neste sentido, o gamaespectrômetro pode ser útil na exploração de diversas características do solo. A gamaespectrometria é uma técnica geofísica não invasiva utilizada para os estudos de materiais geológicos a partir da medição do decaimento radioativo dos elementos químicos K, U e Th nos 30 cm superiores da superfície da terra.

A exploração com o gamaespectrômetro está relacionada com a distribuição destes elementos químicos na natureza. De forma geral, os nucleotídeos tendem a se concentrar em solos que possuem maiores teores de argila, principalmente em relação ao tório. Isso se deve à capacidade de troca catiônica dessas partículas, adsorvendo os diversos elementos químicos, incluindo os radioativos. No caso do urânio, sua mobilidade depende das condições ambientais, tornando-se mais móvel em ambientes oxidantes e imóvel em ambientes redutores. O potássio, por outro lado, é mais móvel que os anteriores, tendendo a estar em maiores quantidades nas áreas de baixada (LIVENS; BEXTER, 1988).

No que tange o mapeamento de solos, Nascimento et al. (2004) constataram que o emprego da gamaespectrometria pode ser bastante útil na separação de solos que sejam arenosos daqueles mais argilosos. Becegato (2005) ainda salienta que ocorre correlação estatística positiva e significativa entre urânio e argila; urânio e matéria orgânica; urânio e pH; urânio e fósforo; urânio e cálcio; e urânio e magnésio.

Desta forma, visto que o tório, urânio e potássio apresentam comportamentos geoquímicos bem definidos na natureza, suas assinaturas radiométricas podem ser demarcadas em solos que apresentam características físicas contrastantes e que estão localizados em posições distintas do relevo. Assim, este trabalho propõe empregar o gamaespectrômetro com



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

o objetivo de identificar os limites entre dois solos descritos em um transecto de 70 metros de comprimento, sendo um PLANOSSOLO HÁPLICO na extremidade baixa, transicionando para um ARGISSOLO VERMELHO na extremidade alta, localizados na Fazendinha Agroecológica, em Seropédica-RJ. Para constatar o momento de transição de uma classe de solo para outra, realizaram-se tradagens com o trado holandês na posição de transição entre as classes de solos indicada pelo gamaespectrômetro.

2. Materiais e métodos

Este trabalho foi desenvolvido na Fazendinha Agroecológica Km 47 (Sistema Integrado de Produção Agroecológica - SIPA) localizada em Seropédica nas coordenadas geográficas 22° 45' S e 43° 40'30'' W. Foram abertas duas trincheiras em dois pontos da paisagem onde foram descritos e classificados dois perfis do solo, sendo um perfil no terço médio (P3) e um no sopé da vertente (P2) (Figura 1).

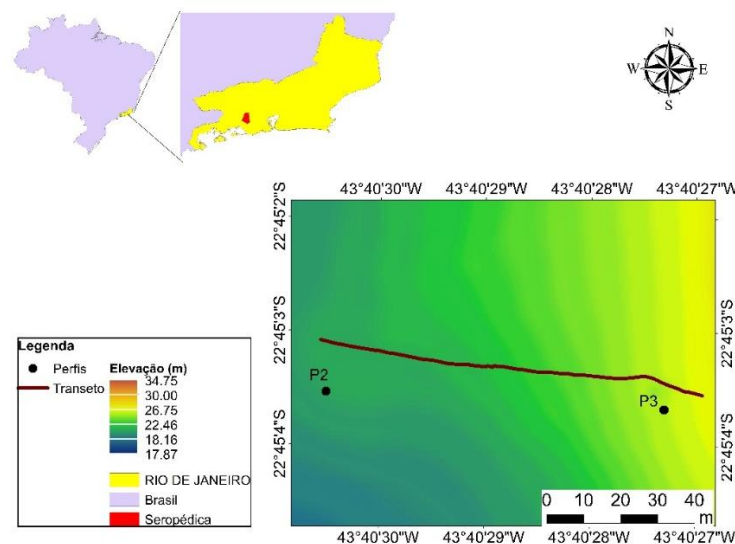


Figura 1. Mapa de localização dos perfis de solo e do transecto na área de estudo, mostrando o modelo digital de elevação do terreno no fundo.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

De acordo com Silva (2001), a geologia da área é formada, principalmente, por um embasamento constituído por hornblenda-biotita gnaíse. Migmatitos e microclina-gnaíse podem aflorar como corpos intrusivos tabulares no hornblenda-biotita gnaíse. Diques ou *sills* de rocha básica com orientação preferencial NNE/SSW, ocorrem discordante à sub-concordante em relação ao bandamento principal da Unidade microclina-gnaíse.

Os perfis foram descritos e coletados seguindo as normas do Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo (SANTOS et al., 2015). A análise granulométrica foi realizada em laboratório de acordo com as recomendações expressas em Donagemma et al. (2011). A classificação foi feita segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018), sendo o P2 classificado como PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico e o P3 como ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico (Figura 2).



Figura 2. Perfis analisados na área de estudo. À esquerda está o PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico arênico (P2) e à direita o ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico (P3).

Foi feito um transecto de P2 para P3, passando sobre os dois perfis com o gamaespectrômetro modelo Gamma-Ray Sensor MS 2000 (MEDUSA RADIOMETRICS, Holanda), transportado a uma altura de aproximadamente 10 cm do solo. Para validar o



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

momento de transição de uma classe de solo para outra, realizaram-se tradagens, com o trado holandês, especificamente onde o gamaespectrômetro indica a transição de tipos de solos.

Os dados coletados tiveram os semivariogramas ajustados e os dados posteriormente foram mapeados utilizando krigagem ordinária, ambos procedimentos realizados no software R (R Core Team; 2018). O *layout* final foi realizado no ArcGis (Esri, 2015). Somente os dados de tório e urânio foram analisados, visto que os valores das concentrações de potássio na área de estudo foram muito próximos de zero.

4. Resultados e discussões

No caso do Planossolo Háptico (P2), as profundidades e as análises granulométricas dos horizontes estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela I. Profundidades e texturas dos horizontes do Planossolo Háptico (P2).

Horizonte	Profundidade (cm)	Areia	Argila
A	0-8	809	99
AE	8-22	876	43
E	22-69	831	92
BE	69-92	564	388
Bt1	92-133	441	443
Bt2	133-155 ⁺	513	367

Este solo tem nos primeiros três horizontes uma matriz tipicamente arenosa, com menos de 100 g.kg⁻¹ de argila. Além disso, percebe-se a presença da mudança textural abrupta que ocorre na passagem do horizonte E para o BE, com um aumento de cerca de 4 vezes de argila em BE.

Para os dados do Argissolo Vermelho (P3), os dados morfológicos e físicos estão expressos na Tabela 2.

Tabela II. Profundidades e texturas dos horizontes do Argissolo Vermelho (P3).

Horizonte	Profundidade (cm)	Areia	Argila
A	0-10	544	307
AB	10-26	568	260



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

BA	26-48	486	349
Bt1	48-65	482	396
Bt2	65-86	421	421
Bt3	86-108	212	657

Este solo apresenta os teores de argila mais altos desde a superfície. Uma implicação relacionada a estes altos teores refere-se à maior capacidade de troca catiônica (CTC) neste solo, comparado ao Planossolo em que prevalece a fração areia (menor CTC) (DANIELS et al., 1988).

Após os dados de tório e urânio serem coletados, foram realizados testes geoestatísticos no software R para se obter um semivariograma teórico com a finalidade de krigar os valores das concentrações destes elementos. O semivariograma da concentração de Th está amostrado na Figura 3.

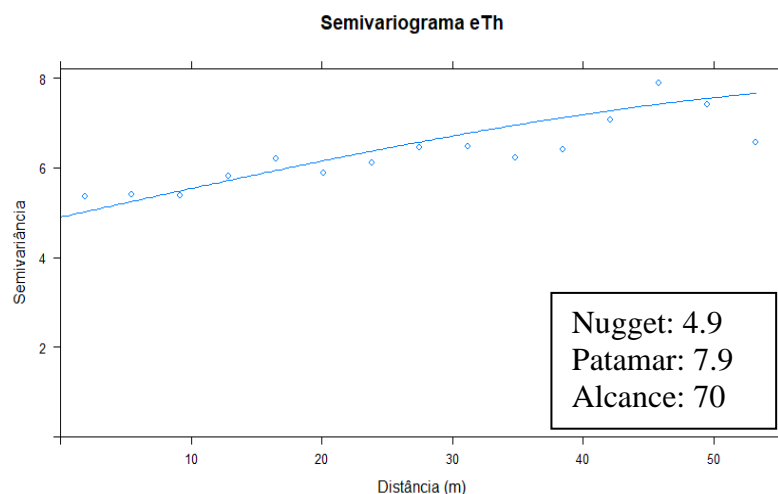


Figura 3. Semivariograma teórico ajustado do eTh.

O mapeamento do tório no formato de transecto é apresentado na Figura 4. De acordo com o mapa gerado, as maiores concentrações de eTh foram encontradas na região alta do



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

transecto, enquanto que as menores concentrações foram detectadas na parte baixa. Na área mais alta está o campo do Argissolo Vermelho. Como foi visto na Tabela 2, este solo apresenta maiores quantidades dos teores de argila ao longo do perfil, quando comparado ao Planossolo. As altas quantidades de argila favorecem o acúmulo dos nucleotídeos menos móveis, como é o caso do tório e seus átomos filhos. Isso acontece porque o tório é imóvel por estar fortemente adsorvido nas partículas coloidais do solo, como na argila (DICKSON; SCOTT, 1997) e na matéria orgânica (DOWDALL; O'DEA, 2002).

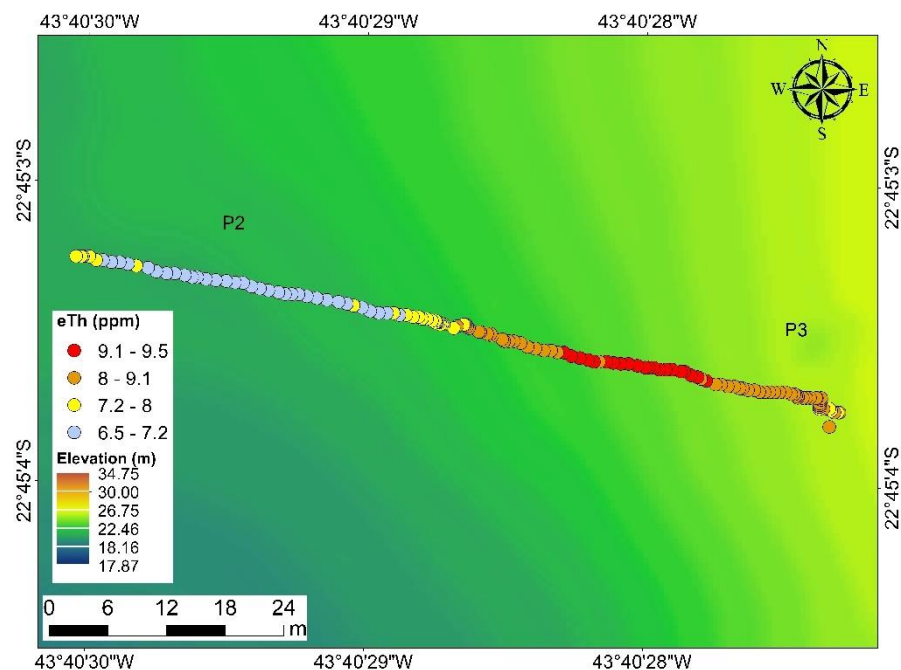


Figura 4: Mapa interpolado do tório em formato de transecto.

Esse fenômeno é normalmente verificado em solos de origem autóctone, onde há maior influência de minerais resistatos que apresentam, em sua constituição, o elemento tório (assim como urânio) devido ao material de origem (IAEA, 1979). São caracterizados como minerais resistatos àqueles que são resistentes ao intemperismo, como o zircão, a monazita e a allanita. Esses minerais, além de serem resistatos, também são considerados pesados, pois sua alta



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

densidade impede que os agentes erosivos e transportadores os carreguem facilmente para áreas de deposição de sedimentos.

Como o tório é um elemento praticamente imóvel, este elemento tende a ficar posicionado na paisagem onde esses minerais são originalmente formados. Assim, a concentração do tório torna-se um bom indicador na identificação de solos autóctones. Também, como consequência, solos com maiores quantidades de tório tendem a estar posicionados nas regiões mais altas da paisagem onde a deposição de sedimentos não é fator principal na pedogênese nestas posições da paisagem (WEIHERMANN et al., 2016).

Da mesma forma que o tório, as concentrações de urânio também foram interpoladas utilizando krigagem ordinária após o ajuste do semivariograma. Sendo assim, o semivariograma do urânio está apresentado na Figura 5.

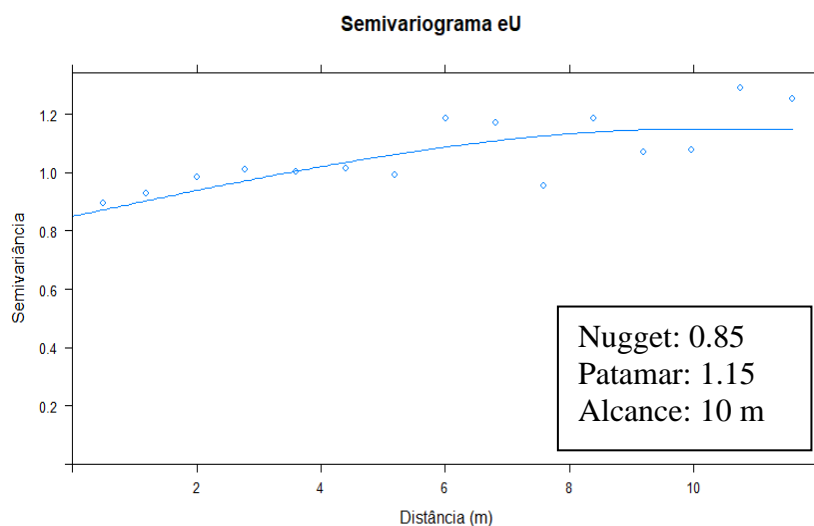


Figura 5: Semivariograma empírico e ajustado do urânio equivalente

Diferente da distribuição do eTh, as concentrações de eU foram maiores na região mais baixa do terreno (Figura 6). A região mais baixa do transecto marca o campo de ocorrência do Planossolo. Este solo possui características redutoras em sua pedogênese, o que favorece o acúmulo de urânio nesta área.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

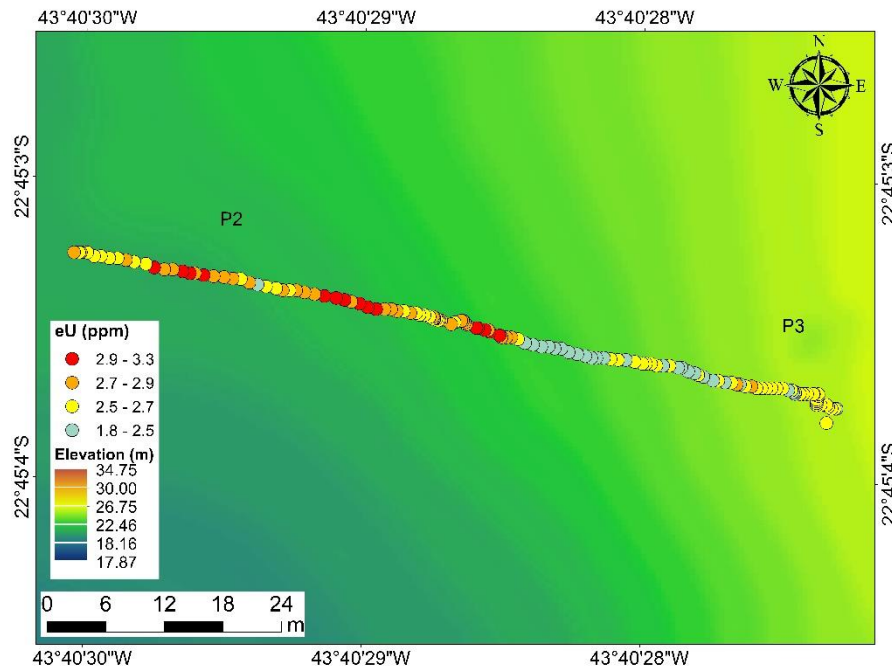


Figura 6: Mapa interpolado do urânio em formato de transecto.

Isso acontece porque, apesar do urânio provir de minerais resistentes, este elemento tem mobilidade em condições oxidantes (na forma de íon U^{+6}), o que favorece seu deslocamento por agentes transportadores das regiões mais altas para mais baixas da paisagem. Nas regiões mais baixas torna-se imobilizado quando depositado em ambiente redutor (passando para o íon U^{+4}) (DICKSON; SCOTT, 1997).

Comparando-se os mapas de eTh e eU mostrados nas Figuras 4 e 6, respectivamente, percebe-se que a relação inversa entre as distribuições dos elementos radioativos sinalizou, claramente, o limite de ocorrência entre esses solos em uma região comum no transecto. Tradagens confirmaram a mudança entre ambas as classes devido à rápida mudança textural em superfície (avaliada pelo método expedito) na posição indicada pelas leituras das radioatividades (Figura 7).



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019



Figura 7: Tradagem do ponto de transição das classes de solo (foto da esquerda) e verificação pelo pesquisador (foto da direita).

5. Considerações finais

As análises comparativas entre as concentrações krigadas de tório e urânio no transecto foram úteis na determinação de uma faixa nítida onde ocorre a transição da zona do Planossolo para a do Argissolo, confirmada com tradagens localizadas nesta mesma faixa.

Constata-se, assim, que o gamaespectrômetro é uma ferramenta útil na delimitação dos limites entre classes de solos que apresentam características físicas contrastantes, principalmente quando estão localizadas em posições distintas do relevo.

6. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

7. Referências Bibliográficas



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

ADAMCHUK, V. I.; HUMMEL, J. W.; MORGAN, M. T.; UPADHYAYA, S. K. On-the-go soil sensors for precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, [S.l.], v. 44, p. 71–91, 2004.

BECEGATO, V.A. **Aplicação de técnicas geofísicas e geoquímicas em duas glebas agrícolas do noroeste do Paraná e suas relações com fertilizantes fosfatados**. 2005. 198 f. Tese (Doutorado em Geologia), Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2005.

DANIELS, D.J.; GUNTON, D.J.; SCOTT, H.F. Introduction to subsurface radar. **IEE Proc**, [S.l.], v. 135, p. 278-320, 1988.

DICKSON, B. L.; SCOTT, K. M. Interpretation of aerial gamma-ray surveys-adding the geochemical factors. **Journal of Australian Geology & Geophysics**, [S.l.], v. 17, n. 2, p. 187-200, 1997.

DONAGEMMA, G.K. et al. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

DOWDALL, M.; O'DEA, J. $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ disequilibrium in an upland organic soil exhibiting elevated natural radioactivity. **Journal of Environmental Radioactivity**, [S.l.], v. 59, p. 91-104, 2002.

ESRI. **ArcGIS Desktop**: Release 10.5 Redlands. California: Environmental Systems Research Institute, 2015

HANSEN D. A. **Geological Applications Manual for Portable Gamma Ray Spectrometers**. Toronto: Exploranium G. S. Limited, 1975. 87 p

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Gamma-ray surveys in uranium exploration**. Vienna, 1979. 91p.

LIVENS, F. R.; BAXTER, M. S. Particle size and radionuclide levels in some west soils. **The Science of the Total Environment**, [S.l.], v. 70, p.1-17, 1988.

MAHMOOD, H. S.; HOOGMOED, W. B.; VAN HENTEN, E. J. Proximal Gamma-Ray Spectroscopy to Predict Soil Properties Using Windows and Full-Spectrum Analysis Methods. **Sensors**, [S.l.], v. 13, p. 16263-16280, 2013.

MINTY, B.R.S. Fundamentals of airborne gamma-ray spectrometry. **Journal of Australian Geology & Geophysics**, [S.l.], v. 17, n. 2, p. 39-50, 1997.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

NASCIMENTO, C. T.; PIRES, A. C. B.; MORAES, R. A. V. Reconhecimento de solos por meio de resistividade elétrica e radiação gama. **Revista Brasileira de Geociências**, [S.l.], v. 34, n. 3, p. 383-392, 2004.

R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2018.

SANTOS, H. G.; JACOMINE P. K. T.; ANJOS L. H. C.; OLIVEIRA V. A.; LUMBRERAS J. F.; COELHO M. R.; ALMEIDA J. A.; FILHO J. C. A.; OLIVEIRA J. B.; CUNHA T. J. F.; **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. DF: Embrapa, 2018. 356 p.

S. R. DAVID; SANTOS H. G.; KER J. C.; ANJOS L. H. C.; SHIMIZU S. H. **Manual de descrição e coletas de solos no campo**. 7.ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 101 p.

SILVA, L. C. **Geologia do Estado do Rio de Janeiro**. CPRM, DRM/RJ, 2001. 79p.

WEIHERMANN, J. D. ; FERREIRA, F. J. F. ; CURY, L. F. ; DA SILVEIRA, C.T. Gamma-ray spectrometry application for mass movements of the Paranaguá Terrane, southern Brazil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOFÍSICA, VII., 2016, Ouro Preto. **Anais...** [S.l.]: [s.n.]. 6p.