



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

IDENTIFICAÇÃO EM PROFUNDIDADE DE BARRAS DE FERRO UTILIZANDO RADAR DE PENETRAÇÃO DO SOLO (GPR) COM ANTENA DE 450 MHZ EM TRÊS CLASSES DE SOLO

Carlos Wagner Rodrigues do Nascimento ^(a), Hugo Machado Rodrigues ^(b), Marcos Bacis Ceddia ^(c), Gustavo Mattos Vasques ^(d), Suelen Marques de Oliveira Durão ^(e), Wadson de Menezes Santos ^(f), Martin de Oliveira Freire ^(g)

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

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

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

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

^(e) Instituto de agronomia, UFRRJ, susumarques1603@hotmail.com

^(f) Departamento de Solos, UFRRJ, wadson.wms@gmail.com

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

Eixo: Geotecnologias e modelagem aplicada aos estudos ambientais.

Resumo

O objetivo deste trabalho foi verificar a viabilidade do uso de barras de ferro para demarcar as profundidades dos horizontes em três classes de solos (Cambissolo Háplico, Planossolo Háplico e Argissolo Vermelho) nos respectivos radargramas gerados pelo Radar de Penetração do Solo (GPR) portando uma antena monoestática blindada de 450 MHz. O estudo ocorreu na Fazendinha Agroecológica, em Seropédica-RJ. As barras foram inseridas nas transições entre os horizontes dos perfis, com posterior leitura do GPR. Como resultados, foram identificadas algumas barras (sob forma de hipérbole) nos radargramas, sendo as inseridas no radargrama do Planossolo Háplico mais nítidas e detectadas com maior profundidade, em que predomina a matriz arenosa em superfície. Nos demais radargramas, as hipérbolos foram vistas com menor nitidez e em menor profundidade. Conclui-se que barras de ferro são úteis na separação de alguns horizontes das três classes de solos estudadas, principalmente quando a matriz do solo é arenosa.

Palavras chave: Georadar, horizontes do solo, geofísica de exploração.

1. Introdução

O campo da Pedologia aplicada à agricultura é uma área que está sendo aprimorada e é fundamental para a economia mundial, pois é do cultivo em terra que provém a maior parte dos alimentos produzidos para a população. Assim, há uma busca constante por novas tecnologias na agricultura para diminuir os gastos de tempo e dinheiro em análises convencionais de campo e laboratório (ADAMCHUK et al., 2004).



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

Uma possibilidade é o Radar de Penetração do Solo (*Ground Penetrating Radar - GPR*), um método geofísico elétrico não invasivo ao meio natural, sendo utilizado em estudos de investigação de regiões rasas do terreno com o uso de antenas de altas frequências que variam de 10 MHz a 1 GHz (ANNAN, 2009). A resposta gerada pelo GPR (radargrama) é dependente dos constituintes do solo, os quais apresentam propriedades físicas distintas, a exemplo da constante dielétrica (K).

De forma geral, quanto maior for a diferença entre as constantes K dos materiais que formam o solo, melhor é a nitidez do sinal traduzido no radargrama (DE BENEDETTO et al., 2010). Neste sentido, algumas características do solo são importantes de serem observadas antes do uso do GPR. Como, solos com textura argilosa apresentam maior CTC que solos com textura arenosa, o que resulta na maior dissipação do sinal emitido pelo GPR no primeiro caso, acarretando em um radargrama com menor nitidez de detalhes do solo (DOOLITTLE; COLLINS, 1995; DE BENEDETTO et al., 2010).

Por outro lado, um entrave no uso do GPR é o tipo de antena utilizada. Por exemplo, antenas monoestáticas (em que as partes receptora e transmissora de sinal estão acopladas em um único dispositivo) não permitem gerar um modelo de profundidade preciso para o radargrama. Um método que apresenta precisão é o *Common MidPoint*, porém este depende que as partes transmissora e receptora do sinal do GPR estejam separadas (antenas biestáticas) (ANNAN, 2003). Desta forma, quando se utiliza um GPR com uma antena monoestática, é necessário um subsídio para que se possa calibrar a profundidade vista no radargrama com o que é demarcado em campo.

O uso de barras de ferro, ainda que influencie localmente as propriedades do solo e tenha uma análise limitada a uma curta seção lateral no radargrama, é uma opção para averiguar a profundidade de alvos de interesse no solo (JACOB; URBAN, 2015).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi verificar em quais perfis de solo a inserção de barras de ferro é útil na visualização das transições dos horizontes nos radargramas (sob forma de hipérboles) gerados por um GPR portando uma antena monoestática blindada de 450 MHz.



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

2. Materiais e Métodos

O trabalho foi realizado na Fazendinha Agroecológica Km 47 (Sistema Integrado de Produção Agroecológica - SIPA) em Seropédica-RJ, pertencente à Embrapa Agrobiologia, da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (PESAGRO-Rio) e da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) nas coordenadas geográficas 22° 45' S e 43° 40'30'' W (Figura 1).

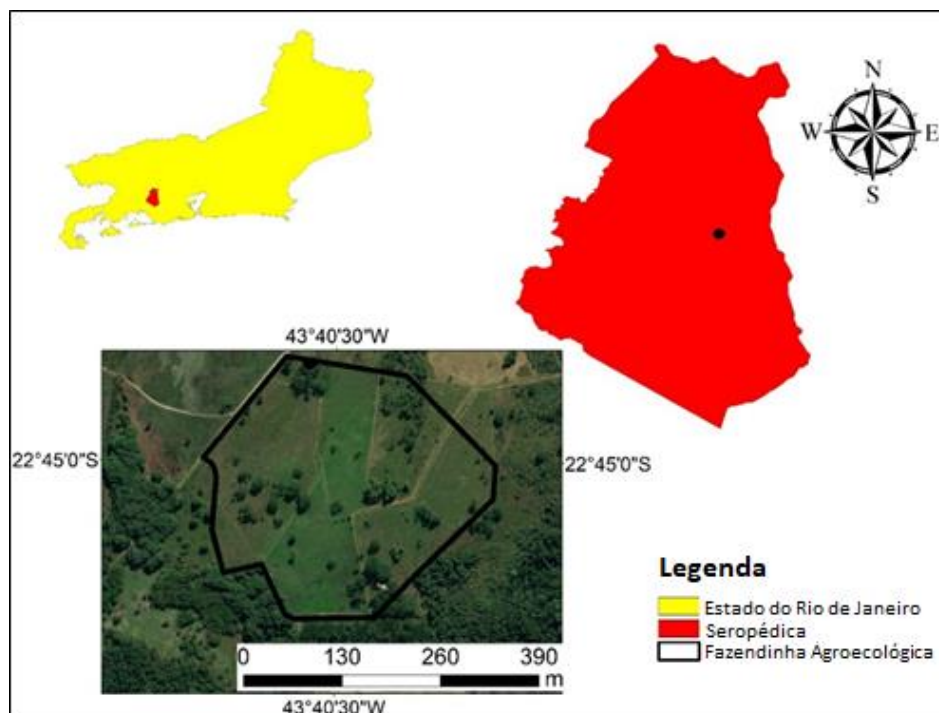


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.

Para este estudo foram abertas três trincheiras em diferentes pontos da paisagem, onde foram descritos e classificados os perfis de solo, sendo uma trincheira no terço médio (P3), uma no sopé da vertente (P2) e uma na área de baixada (P1). As posições dos perfis na topossequência estão representadas na Figura 2. Os perfis foram descritos e coletados segundo as normas do Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo (SANTOS et al., 2015). Foram coletadas amostras deformadas para posterior caracterização dos atributos físicos em laboratório de acordo com as recomendações expressas em Donagemma et al. (2011).



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

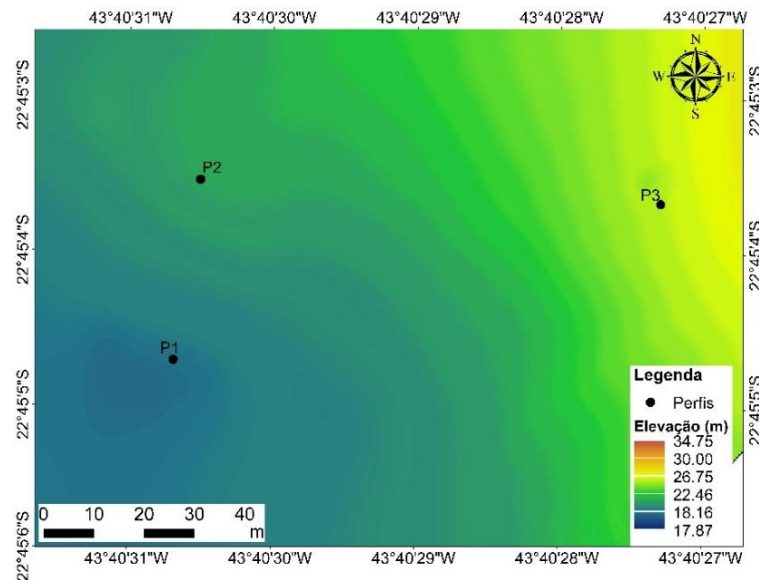


Figura 2 - Mapa de localização dos perfis de solo na área de estudo, mostrando o modelo digital de elevação do terreno no fundo.

Os perfis de solo foram classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018). O P1 foi classificado como Cambissolo Háplico Ta Distrófico típico, o P2 como Planossolo Háplico Distrófico arênico e o P3 como Argissolo Vermelho Eutrófico nitossólico.

Após a delimitação dos horizontes em cada perfil de solo, foi inserida uma barra de ferro com dimensões de 80 cm de comprimento e 8 mm de diâmetro na transição de cada horizonte. Depois, navegou-se sobre os três perfis de solo com o GPR MALÅ GroundExplorer, (Guideline Geo AB, Sundbyberg, Suécia), com odômetro, usando uma antena monoestática blindada de 450 MHz. Ao final do procedimento de campo, obtiveram-se três radargramas individuais dos perfis descritos. Para identificação do perfil de solo estudado em cada radargrama, foram anotadas em campo as posições espaciais dos perfis. Também, foram anotadas as distâncias de cada barra de ferro até os limites laterais da parede de cada perfil. Posteriormente, os dados foram processados utilizando o software ReflexW, desenvolvido por Sandmeier (2009) (Sandmeier Software, Karlsruhe, Alemanha). O processamento das imagens seguiu dois procedimentos realizados em sequência: *Static correction* e *Dewow*.



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

3. Resultados e discussões

As profundidades das transições, as cores úmidas e os teores de areia e argila dos horizontes do Cambissolo Háplico (P1) estão apresentados na Tabela 1. Nesta classe de solo os teores de argila são maiores que 200 g kg^{-1} desde a superfície, com uma diminuição a partir do B2. A formação de cor neutra (N6/) nos horizontes mais profundos mostra que ocorreu o processo de redução, o que é condizente, pois este solo está posicionado em área de baixada, região onde há influência do lençol freático de forma temporária ou permanente ao longo do ano. A disposição das barras de ferro no P1 está esquematizada na Figura 3.

Tabela I - Profundidades, texturas e cores úmidas dos horizontes do Cambissolo Háplico (P1).

Horizonte	Profundidade (cm)	Areia (g kg^{-1})	Argila (g kg^{-1})	Cor úmida
A1	0-10	594	206	7,5YR2,5/1
A2	10-16	559	269	7,5YR 3/1
BA	16-30	563	319	7,5YR 4/4
B1	30-54	510	339	7,5YR 5/8
B2	54-87	619	287	10 YR 5/8
BC	87-115	648	271	N6/
CB	115-130 ⁺	701	146	N6/



Figura 3 - Disposição das barras de ferro no P1. As setas indicam onde as barras foram inseridas. O sentido do caminhamento com o GPR foi da direita para esquerda



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

No radargrama deste solo foram vistas apenas três barras, representando as três primeiras transições entre os horizontes (Figura 4). Em relação a este solo, percebe-se que a profundidade máxima da barra de ferro que o GPR demarcou foi de 30 cm. As assinaturas das barras de ferro mais profundas podem ter sido suprimidas devido aos teores relativamente altos de argila desde o topo do perfil, aumentando em profundidade (DANIELS; GUNTON; SCOTT,1988).

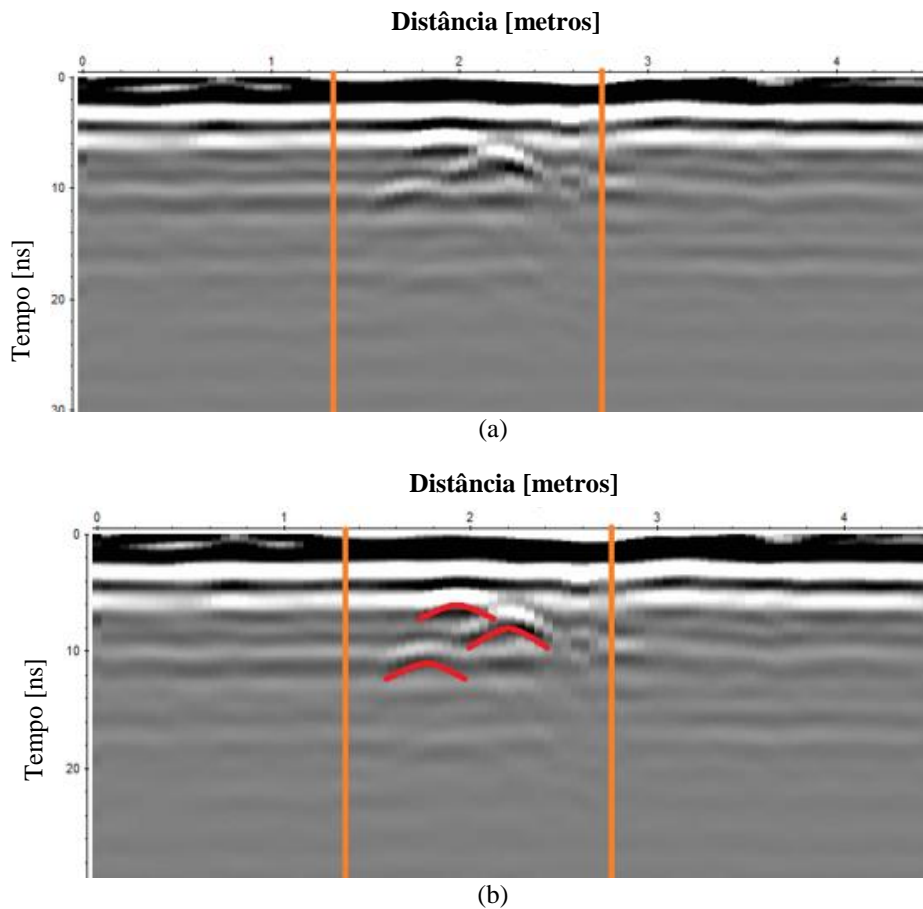


Figura 4 - Delimitação do perfil do solo (P1) dentro do radargrama em laranja (a) e demarcação em vermelho das hipérboles geradas pelas barras de ferro (b).



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

Contudo, as hipérboles vistas neste radargrama apresentaram boa nitidez, o que sugere que o uso de barras de ferro pode ser favorável neste tipo de solo, desde que o alvo de interesse esteja dentro dos horizontes mais superiores.

No Planossolo Háptico (perfil P2), a textura arenosa atinge até os 69 cm de profundidade (Tabela 2; Figura 5), onde ocorre uma mudança textural abrupta do horizonte E para o Bt1, com um aumento do teor de argila de 4,2 vezes, também associada a uma diminuição no teor da fração areia de 267 g kg⁻¹.

Tabela II - Profundidades, texturas e cores úmidas dos horizontes do Planossolo Háptico (P2).

Horizonte	Profundidade (cm)	Areia (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)	Cor úmida
A	0-8	809	99	5YR 4/1
AE	8-22	876	43	7,5YR 4/1
E	22-69	831	92	10 YR 5/2
Bt1	69-92	564	388	10YR 4/6
Bt2	92-133	441	443	10YR 4/3
Bt3	133-155 ⁺	513	367	10 YR 4/4



Figura 5 - Disposição das barras no P2. As setas indicam onde as barras foram inseridas. O sentido do caminhamo com o GPR foi da esquerda para direita.

Neste solo, as três primeiras transições foram demarcadas no radargrama. Contudo, diferente do P1, a maior profundidade assinalada da barra de ferro foi de 69 cm, marcando a



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

transição do E para o Bt1. Além disso, aparece uma forte feição (destaque em amarelo) associada a essa barra mais profunda vista no radargrama. Como a linha em amarelo aparece junto à terceira transição, essa feição marca a passagem do final do horizonte E para o horizonte Bt1 (Figura 6).

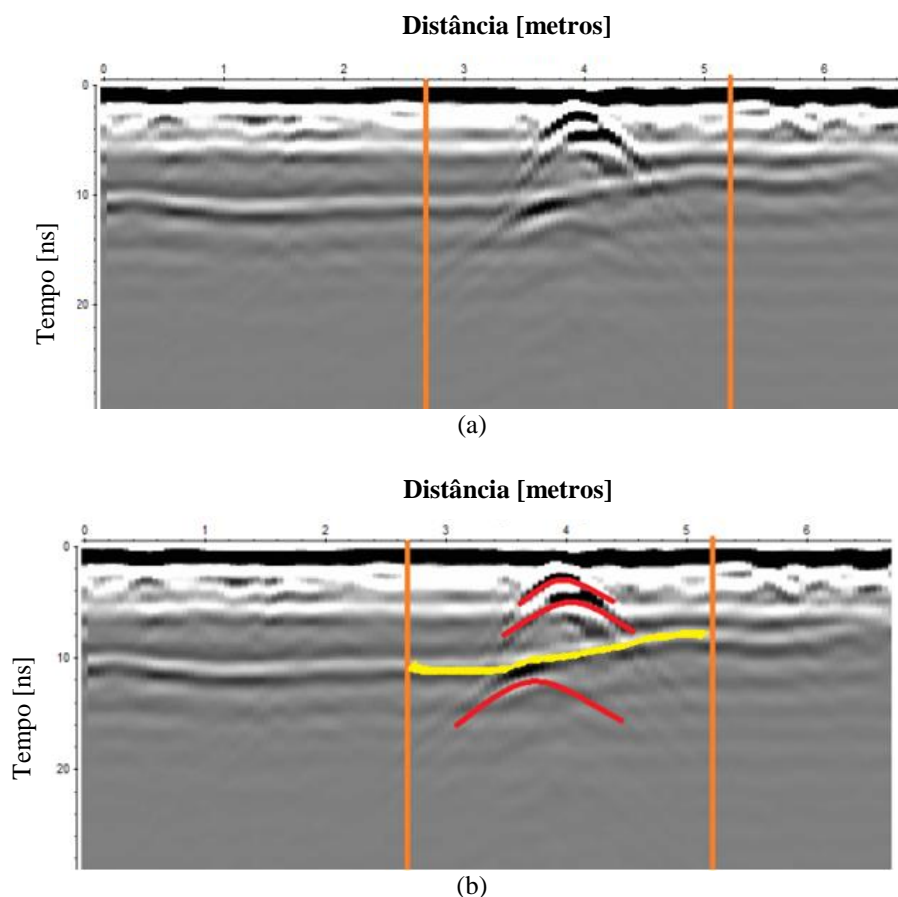


Figura 6 - Delimitação do perfil do solo (P2) dentro do radargrama em laranja (a) e demarcação em vermelho das hipérboles geradas pelas barras de ferro e da base do horizonte E em amarelo (b).

Essa linha foi uma resposta da interação do pulso magnético, emitido pelo GPR, com as diferentes constantes K em decorrência da grande variação textural entre estes dois horizontes (DE BENEDETTO et al., 2010). Além disso, as hipérboles foram mais nítidas quando comparadas ao P1. A melhor visualização das assinaturas das barras de ferro é ocasionada pelo alto contraste dos valores de K entre as barras (de ferro) e a matriz arenosa (constituída



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

principalmente por quartzo), o que favorece a nitidez das mesmas no radargrama (DE BENEDETTO et al., 2010). Esses resultados podem corroborar a hipótese de que no radargrama do P1 as hipérboles não puderam ser vistas em maiores profundidades por causa dos teores mais altos de argila ainda em superfície.

No Argissolo Vermelho (P3), os teores de argila desse solo são similares ao longo do perfil até a passagem para o horizonte Bt3 (Tabela 3; Figura 7), onde ocorre um acréscimo de argila de cerca de 230 g kg^{-1} . Além disso, percebe-se que este solo apresenta cores alaranjadas (5YR) à avermelhadas (2,5 YR). Isso indica que a proporção de hematita, em relação aos demais minerais, é maior neste solo (ALMEIDA; MAÇANEIRO; KLAMT, 2000).

Tabela III - Profundidades, texturas e cores úmidas dos horizontes do Argissolo Vermelho (P3).

Horizonte	Profundidade (cm)	Areia (g kg^{-1})	Argila (g kg^{-1})	Cor úmida
A	0-10	544	307	5YR 3/1
E	10-26	568	260	5YR 3/2
BA	26-48	486	349	5 YR 4/4
Bt1	48-65	482	396	2,5YR 3/6
Bt2	65-86	421	421	2,5YR 3/6
Bt3	86-108	212	657	2,5 R 3/6
Bt4	108-147 ⁺	112	779	2,5YR 4/6



Figura 7 - Disposição das barras de ferro no P3. As setas indicam onde as barras foram inseridas. O sentido do caminamento com o GPR foi da esquerda para direita.



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

Neste solo também houve a demarcação das hipérboles das primeiras três transições. Porém, diferente dos outros dois solos, as hipérboles são vistas com menor nitidez (Figura 8).

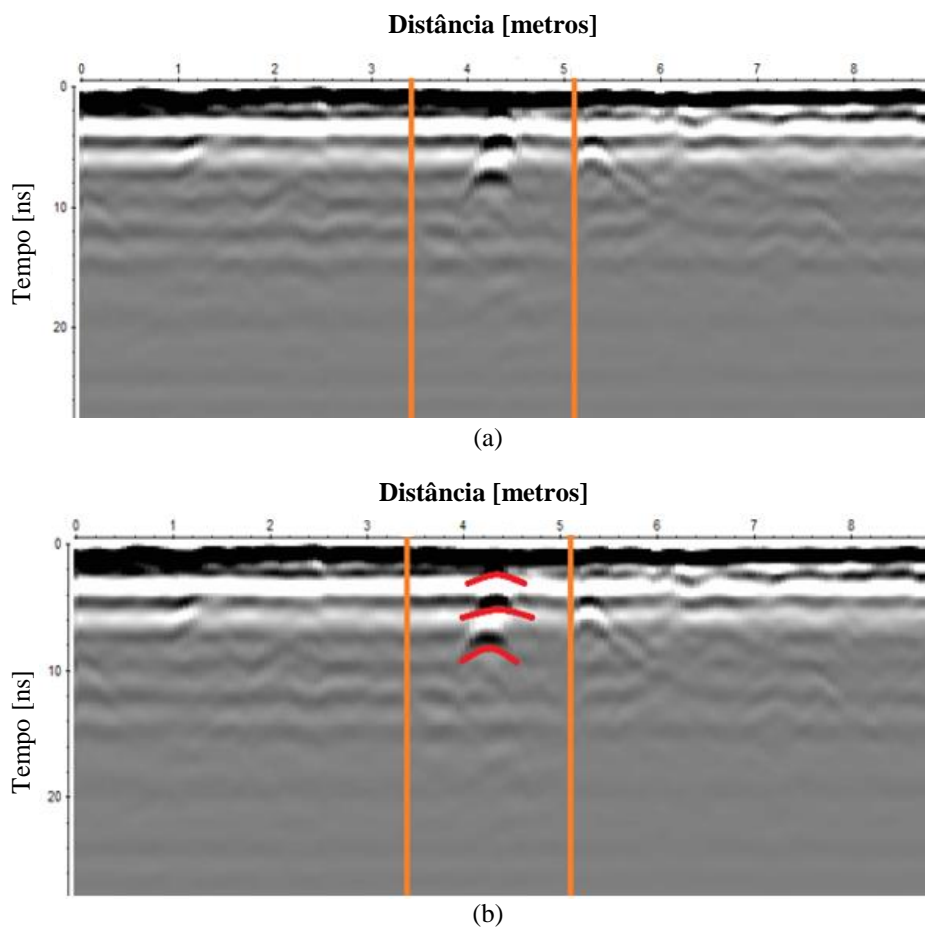


Figura 8. Delimitação do perfil do solo (P3) dentro do radargrama em laranja (a) e demarcação em vermelho das hipérboles geradas pelas barras de ferro (b).

A menor expressão das hipérboles neste solo pode ter sido resultado de dois fatores principais: os altos teores de argila (sendo ainda maiores que em P1 desde a superfície) e a maior quantidade de hematita (DANIELS; GUNTON; SCOTT, 1988). Como os minerais da fração argila são, em parte, formados por íons de ferro e as barras inseridas no solo também são de ferro, pode ter ocorrido uma aproximação dos valores das constantes K entre a barra e o solo circundante (DE BENEDETTO et al., 2010). Também, solos com valores maiores de argila



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

implicam em mais sítios de CTC, quando comparados a um solo com matriz mais arenosa, o que resulta na maior dissipação do sinal (DOOLITTLE; COLLINS, 1995). Dessa forma, a visibilidade das barras de ferro mais superficiais foi mais atenuada neste solo e as assinaturas das barras mais profundas foram suprimidas.

4. Considerações finais

O uso de barras de ferro como indicador de profundidade utilizando o GPR com a antena de 450 MHz é um subsídio vantajoso para identificar as transições entre horizontes mais superficiais, considerando as três classes de solo deste estudo, apresentando melhores resultados para o Planossolo Háptico em que apresenta matriz arenosa.

5. Agradecimentos

Este estudo foi realizado com o apoio técnico e logístico do Laboratório de Água e Solo em Agroecossistemas (LASA) do Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Os autores agradecem à Embrapa Agrobiologia, à UFRRJ e à Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (Pesagro), que, juntas, mantêm a Fazenda Agroecológica onde o estudo foi realizado. Também, o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

6. Referências Bibliográficas

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

ALMEIDA, J.A., MAÇANEIRO, K.C.; KLAMT, E. Mineralogia da fração argila de solos vermelhos com horizontes superficiais brunados do Planalto de Lages (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 815-828, 2000.

ANNAN, J.P. **Ground Penetrating Radar: Principles, Procedures and Applications**. Sensors and Software Inc: Ontario, Canada, 2003. 278 p.



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

ANNAN, A.P. Electromagnetic principles of ground penetrating radar. In **Ground Penetrating Radar: Theory and Applications**, 1st ed.; Jol, H.M., Ed.; Elsevier Science: Amsterdam, The Netherlands, 2009, p. 3-40, ISBN: 978-0-444-53348-7.

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

DANIELS, D.J. **Ground-penetrating radar**, 2nd ed.; The Institution of Electrical Engineers: London, UK, 2004. 734 p.

DE BENEDETTO, D.; CASTRIGNANÒ, A.; SOLLITTO, D.; MODUGNO, F. Spatial relationship between clay content and geophysical data. **Clay Minerals**, v. 45, p. 197–207, 2010.

DONAGEMMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B.; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

DOOLITTLE, J.A.; COLLINS, M.E. Use of soil information to determine application of ground penetrating radar. **J. of Applied Geophysics**, v. 33, p. 101-108, 1995.

JACOB, R. W.; URBANL, T.M. Ground-Penetrating Radar Velocity Determination and Precision Estimates Using Common-Mid-Point (CMP) Collection with Hand-Picking, Semblance Analysis, and Cross-Correlation Analysis: a Case Study and Tutorial for Archaeologists. **Faculty Journal Articles**, p. 1-18, 2015.

SANDMEIER, K.J. **ReflexW Version 7.5**. Program for processing of seismic, acoustic or electromagnetic reflection, refraction and transmission data. Manual do Software. Karlsruhe, Germany, 2009. 345 p

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

SANTOS, R.D.; 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, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 101 p.