



Uso do Radar de Penetração do Solo para estudos da variabilidade espacial de solos de várzea – Planície Distal¹.

José Ricardo da Rocha Campos⁽²⁾; Lee Slater⁽³⁾; Pablo Vidal-Torrado⁽⁴⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP.

⁽²⁾ Professor, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR; Pato Branco, PR; jr campos@utfpr.edu.br; (

⁽³⁾ Professor, Rutgers, The State University of New Jersey, Newark – NJ 07102. USA.

⁽⁴⁾ Professor, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba – SP.

RESUMO: O Radar de Penetração do Solo (GPR) é um método geofísico de exploração que usa ondas eletromagnéticas para estudos de estruturas em subsuperfície. Dentre os principais fatores limitantes desta técnica, destaca-se, a elevada atenuação dos sinais causados pela matéria orgânica, argila e água, características comuns em ambientes de várzea. O presente estudo foi realizado na Bacia do Rio Christina, localizada na cidade de Chester – Pennsylvania (USA) e teve como objetivo estudar a capacidade de exploração do solo pelo sistema GPR em uma área de várzea – Planície Distal. A partir dos radargramas gerados pelo GPR foi possível discriminar diferentes camadas de solo, bem como calcular a profundidade do contato com as rochas e sua estratigrafia.

Termos de indexação: Geofísica, Gleissolo, Sedimento.

INTRODUÇÃO

O Radar de Penetração do Solo (GPR) é um método geofísico que usa ondas eletromagnéticas para estudos de estruturas em subsuperfície nas mais diversas áreas do conhecimento como construção civil, geologia e geofísica. Recentemente, esta técnica tem sido utilizada com grande eficiência para estudos de solos, tendo como principais vantagens ser uma técnica não destrutiva e não invasiva (Daniels, 2004).

A configuração mais comum do GPR apresenta uma antena transmissora (Tx) e uma receptora (Ty) acopladas a um sistema de processamento de dados que calcula o tempo decorrido para que um pulso de onda gerada na antena Tx percorra uma determinada distância dentro do solo e retorne a antena Ty (Daniels, 2004; Doolittle et al., 2007).

A capacidade de exploração do solo pelo sistema GPR é determinada pela frequência da antena e pelas propriedades físicas e químicas do solo estudado (Daniels, 2004). Devido ao fenômeno de atenuação de sinais, a penetração das ondas no solo é fortemente reduzida em condições de alta condutividade elétrica, elevado conteúdo de argilas, bem como alto teor de material orgânico e água, características comuns em ambientes de várzea.

O objetivo deste trabalho foi testar a capacidade de exploração do solo pelo sistema GPR em uma área de Planície Distal.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Bacia do Rio Christina, um dos mais importantes tributários do Estuário Delaware, localizado na cidade de Chester – Pennsylvania (USA).

Foi realizada uma transeção em área de Planície Distal, localizada as margens do córrego Christina, até o início da meia encosta.

Utilizou-se um sistema GPR do tipo offset com antenas de 250 MHz com tomadas de medidas do tipo common mid point (CMP) onde as antenas são movimentadas em sentido contrário uma em relação a outra e pelo método contínuo (Daniels, 2004; Doolittle et al., 2007; Plado et al., 2010).

Tratamentos dos dados

Em laboratório, os radargramas foram analisados, utilizando filtros para remoção de ruídos e melhoria das imagens geradas. Os filtros utilizados foram: static correlation, dewow e gain function. Os ajustes das profundidades reais das camadas estratigráficas com as profundidades apresentadas no radargrama foi feita pela técnica denominada “migration” disponível no software reflexW.

Os pontos correspondentes a cada hipérbole foram tomados e transferidos para o software Excel onde foram geradas equações lineares entre tempo (eixo Y) x distância (eixo X). O cálculo da velocidade de propagação da onda referente a cada camada estratigráfica foi calculado a partir do inverso do coeficiente de determinação da equação de cada camada estratigráfica (Daniels, 2004).

A validação dos resultados obtidos foi conseguida a partir de tradagens até o contato com a rocha.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados fornecidos pelo GPR foram gerados modelos da velocidade de propagação das ondas no solo (Figura 1), representativos da faixa entre a planície distal e o início da meia encosta. Nestes modelos, podemos observar um aumento significativo nos valores da velocidade com o aumento da profundidade. Na superfície, estes valores são mais baixos em virtude da existência de elevado conteúdo de matéria orgânica e argila que proporcionam atenuação dos sinais de GPR. Ao contrário, nas camadas mais profundas, os valores da velocidade de propagação das ondas são maiores em virtude da existência de rochas que, por conter menor teor de argila e matéria orgânica, tendem a apresentar maiores valores de v (Daniels, 2004).

Cada uma das hipérbolas destacadas em vermelho na figura 1 B são interfaces entre camadas com características físicas e químicas distintas, ou seja, que diferem em relação à condutividade elétrica e a permeabilidade dielétrica (Daniels, 2004; Doolittle et al., 2007; Plado et al., 2010). A partir deste modelo, pode-se calcular com precisão satisfatória a profundidade desta interface pela técnica denominada "migration", bem como os parâmetros permeabilidade dielétrica relativa (ϵ) e velocidade de propagação da onda (v) na respectiva camada (Comas e Slater, 2007).

A figura 1 C é um modelo que realça a variação da velocidade entre as camadas. Cores mais vivas representam pontos de máxima reflexibilidade da camada. Este modelo permite observar a variação do valor de v na camada, permitindo inferir acerca das características físicas e mineralógicas de cada camada.

A partir das hipérbolas geradas pelos modelos da Figura 1B foram calculados os parâmetros físicos referentes às principais camadas (Tabela1), e ajustado a profundidade dos radargramas da figura (2) (Plado et al., 2010). Apesar de ser um ambiente sedimentar e hidromórfico, pode-se observar forte homogeneidade, dada a baixa variabilidade dos valores de v (Daniels., 2004; Doolittle et. al., 2006; Doolittle et al., 2007). Entretanto, a partir do parâmetro permeabilidade dielétrica relativa (ϵ) foi possível verificar variações significativas nas características das camadas estratigráficas (Plado et al., 2010).

A primeira interface apresentada na tabela (1), caracterizada pelos maiores valores de v e menores valores de ϵ , são característicos da interface ar/solo. Os valores encontrados comumente na literatura para a referida interface são da ordem de $0,3 \text{ m ns}^{-1}$ e $1,0$ para v e ϵ , respectivamente (Comas et al.,

2005ab; Comas e Slater, 2007).

As características apresentadas pela primeira camada (hipérbole 1) (Tabela 1), são característicos de ambiente de elevada atenuação de sinais. Os baixos valores de v ($0,02 \text{ m ns}^{-1}$) e elevados valores de ϵ (128,35) sugerem camadas com elevado teor de argila e matéria orgânica típico de ambiente hidromórfico, tal como observado por (Comas et al.2005,).

Na segunda camada de solo, os valores de v dobram em relação a camada sobrejacente, enquanto os valores de ϵ passam de 128,35 na camada sobrejacente para 39,87 na segunda camada (Tabela 1). Estes valores sugerem que o conteúdo de MO, bem como o de argila diminuíram em relação à superfície (Comas et al., 2005ab; Plado et al., 2010).

A tendência observada entre a primeira camada de solo e a segunda camada não foi observada entre a segunda e a terceira camada. Os valores de v foram semelhantes e mantiveram na faixa de $0,04 \text{ m.ns}^{-1}$, enquanto a ϵ passou de 39,87 para 52,41 na terceira camada. Esta variação, apesar de discreta, ocorre, principalmente, pela tendência de redução do conteúdo de MO e de argila com o aumento da profundidade e com o aumento da influência embasamento rochoso.

A partir do ponto supracitado, observa-se 4 camadas, cujas variações nos valores de v e de ϵ sugerem o acamamento de rochas sedimentares, especificamente do tipo folhelho como observado em campo. A existência de hipérbolas são evidências da ocorrência de interfaces e a discreta variação entre os valores de v e ϵ indicam semelhanças entre os materiais (Tabela 1).

CONCLUSÕES

A partir dos radargramas gerados pelo GPR, foi possível discriminar camadas de solos com características distintas bem como identificar camadas de rochas e sua estratigrafia.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a FAPESP – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo e a Rutgers – Universidade do Estado de New Jersey.

REFERÊNCIAS

COMAS, X.; SLATER, L. Evolution of biogenic gases in peat blocks inferred from noninvasive dielectric permittivity measurements. *Water Resources Research*, Hobokenv. 43: 1 – 10, 2007.



COMAS, X.; SLATER, L.; REEVE, A. Geophysical and hydrological evaluation of two bog complexes in a northern peatland: Implications for the distribution of biogenic gases at the basin scale. **Global biogeochemical cycles**, Maine, 19: 1- 10, 2005a.

COMAS, X.; SLATER, L.; REEVE, A. Stratigraphic controls on pool formation in a domed bog inferred from ground penetrating radar (GPR). **Journal of Hydrology**, Amsterdam, 315: 40-51, 2005b.

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

DOOLITTLE, J. A.; JENKINSON, B.; HOPKINS, D.; ULMER, M.; TUTTLE, W. Hydrogeological investigations with ground-penetrating radar (GPR): Estimating water-table depths and local ground-water flow pattern in areas of coarse-textured soils. **Geoderma**, Amsterdam, 131: 317-329, 2006.

DOOLITTLE, J. A. DOOLITTLE, W. J.A.; MINZENMAYER, F.E.; WALTMAN, S.W.; BENHAM, E.C.; TUTTLE, J.W.; PEASLEE, S.D. Ground-penetrating radar soil suitability map of the conterminous United States. **Geoderma**, Amsterdam, 141: 416-421, 2007.

PLADO, J.; SIBUL. I.; MUSTASAAR, M.; JÕELEHT, A. Ground-penetrating radar study of the Rahivere peat bog, eastern Estonia. **Estonian Journal of Earth Sciences**, Tallinn, 60: 31 – 42, 2011.

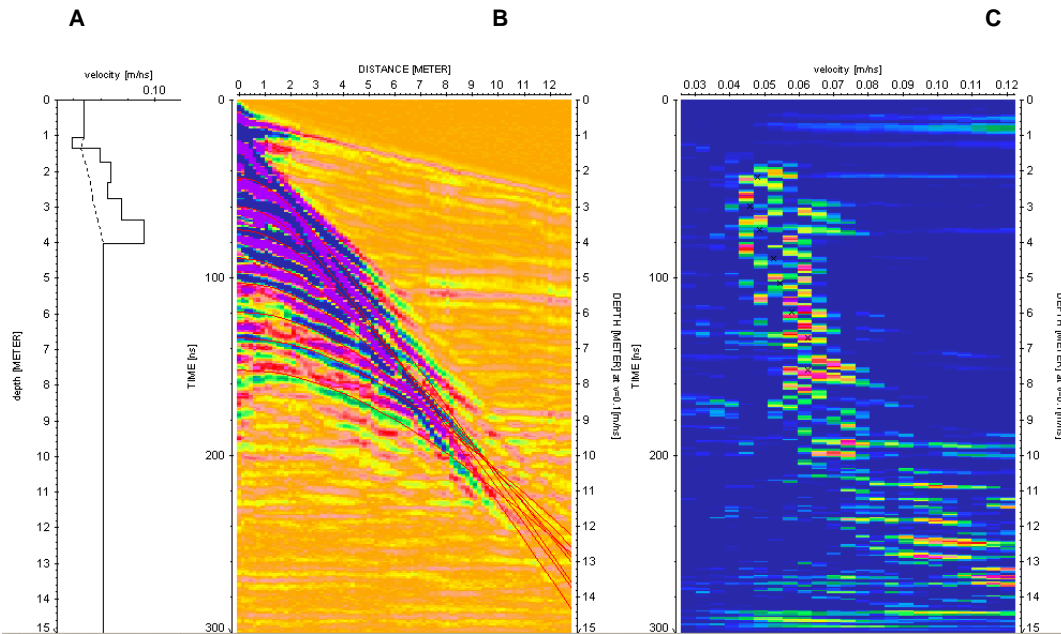


Figura 1 – Radagrama gerado pelo método CMP; B – representação esquemática das hipérbolas referentes as diferentes camadas do solo.

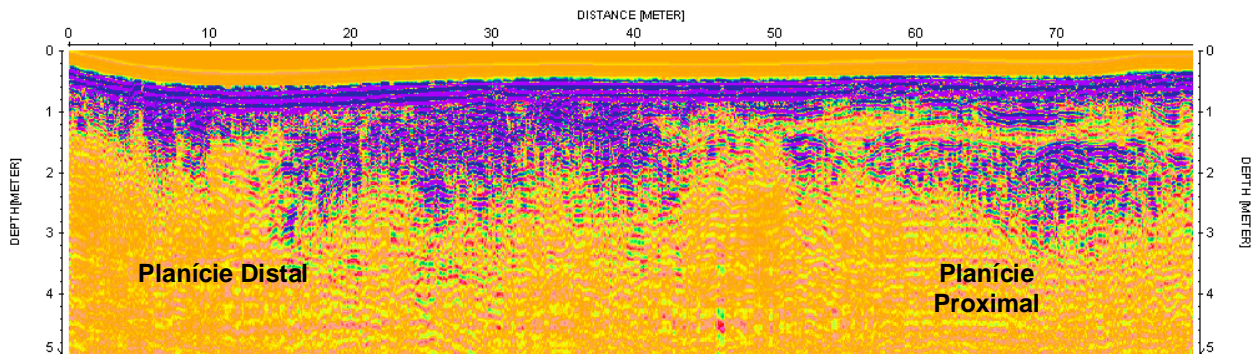


Figura 2 – Radagrama gerado pelo método contínuo.

Tabela 1.: Características das camadas estratigráfica encontradas na planície proximal várzea da microbacia christina na Pennsylvania – USA

	equação	¹ v (m.ns ⁻¹)	² ε	Profundidade (m)
Ar	$y = 3,5268x + 35,14$	0,28	1,12	0
Hipérb 1 - Solo	$y = 737,25x + 2130$	0,02	128,35	35
Hipérb 2 - Solo	$y = 443,02x + 6947,9$	0,04	39,87	65
Hipérb 3 - Solo	$y = 582,4x + 7457,6$	0,04	52,41	100
Hipérb 4 - Rocha	$y = 448,44x + 10524$	0,05	40,35	120
Hipérb 5 - Rocha	$y = 389,02x + 14025$	0,05	35,01	140
Hipérb6 - Rocha	$y = 411,71x + 17250$	0,05	37,05	165
Hipérb 7 - Rocha	$y = 373,6x + 21945$	0,05	33,62	200

¹velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no solo; ²permeabilidade dielétrica relativa.