



Uso integrado de dados de GPR, Potencial Espontâneo e altimétricos na investigação do fluxo subterrâneo no lixão de Cidade Nova, Natal/RN

Bruno Raphael Morais de Vasconcelos (DGEF/UFRN), Josibel Gomes de Oliveira Júnior (DGEF/UFRN), João Paulo Ferreira da Silva (DOT/UFF)

Copyright 2015, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 3-6, 2015.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

This paper presents the results of geophysical surveys with GPR and Spontaneous Potential methods on a landfill located in Natal / RN, Brazil. In addition to the geophysical survey, altimetry data were collected with GPS RTK and provided a digital terrain model of the area. The results confirmed the direction of groundwater flow in the study area and identified ancient sites used for disposal of residential waste.

Introdução

Em Natal, capital do Estado do Rio Grande do Norte, existe um antigo lixão que está localizado em uma área composta por dunas eólicas (Figura 1), responsáveis pela recarga de parte do aquífero que abastece a cidade (Figura 2). Até junho de 2004, todos os resíduos produzidos na cidade foram enviados para este local, perfazendo um total de 1.600 toneladas. Como não havia meios adequados para recobrir todo este material, na maioria das vezes, ele era apenas espalhado e compactado, prevalecendo o conceito de lixão a céu aberto. A partir de 2004 iniciou-se o processo de desativação deste lixão, sendo boa parte dos resíduos encaminhados para um aterro sanitário no município de Massaranduba.

Nos últimos anos, pelo menos duas pesquisas geofísicas foram conduzidas buscando mapear a presença da pluma de contaminação associada ao chorume produzido em Cidade Nova: Uma com o método da eletrorresistividade (Vasconcelos & Oliveira Jr, 2013) e outra com potencial espontâneo (Vasconcelos & Oliveira Jr, 2014). Neste trabalho, serão apresentados dados complementares ao levantamento realizado com método do potencial espontâneo (Raphael & Oliveira Jr, 2014) e também novos resultados obtidos a partir da coleta de dados com GPR e GPS RTK.

Metodologia

A área de trabalho encontra-se sobre dunas eólicas, caracterizada por sua elevada permeabilidade. Nesta situação, espera-se que uso integrado de dois métodos

geofísicos possa ajudar a mapear a migração de contaminantes em subsuperfície: GPR e potencial espontâneo (SP). Particularmente, na justificativa do uso do GPR, cabe uma breve discussão:

O método GPR realiza medidas do tempo de propagação de ondas eletromagnéticas dentro da Terra, cuja velocidade é dada por:

$$v \approx \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}$$

Na expressão acima, c é a velocidade da luz e ϵ a permissividade elétrica do meio. A presença de água altera fortemente o valor de ϵ , comportamento descrito por alguns modelos empíricos (Wyllie & Gregory, 1953; Topp, 1980) utilizados para estudar a propagação de ondas em solos arenosos (Oliveira jr & Medeiros, 2008). Para que o GPR funcione adequadamente é necessário que a tangente de perdas (Parâmetro que relaciona as propriedades elétricas do solo, com a frequência angular da onda eletromagnética) seja muito baixa. Assim, ambientes contaminados por chorume não são, em princípio, favoráveis ao uso do GPR devido a sua elevada condutividade elétrica. Mas é justamente esta limitação que torna método interessante para trabalhos ambientais: Zonas “cegas” contidas nos radargramas podem indicar plumas de contaminação (Shiraiwa et al. 2002; Costa, 2008; Porsani, 2004).

A aquisição dos dados de GPR foi realizada com o equipamento SIR 3000, fabricado pela *Geophysical Survey Systems Incorporate* (GSSI), que pertence ao Departamento de Geofísica da UFRN. O sistema é constituído por uma unidade de controle digital, cabos de conexão e uma antena blindada de 200 MHz. A técnica utilizada na coleta dos dados foi a de reflexão, no modo distância. Esta técnica consiste em manter fixa a distância entre a antena transmissora e receptora, ao longo de uma direção preferencial. Ao todo foram levantadas sete seções 2D, distribuídas dentro e fora dos limites do lixão (Marcas GR1, GR2, GR3, GR4, GR5, GR6 e GR7 na Figura 1).

Já no processamento dos dados de GPR foi utilizado O programa o programa *REFLEX 6.1.0* (Sandmeier, 2000) e aplicado um fluxo composto por quatro etapas distintas: Ajuste do tempo zero, *dewow*, aplicação de ganhos e filtros. Este processamento teve por finalidade atenuar ruídos e compensar os efeitos da atenuação, sem destruir importantes relações de amplitude utilizadas como guia para identificar áreas possivelmente contaminadas.

No levantamento de potencial espontâneo adotaram-se eletrodos não polarizáveis, construídos a partir do trabalho de Oliveira e Sousa et al (2013). Foram utilizados tubos de PVC, fios de cobre em espiral e uma base porosa, responsável pela passagem do sulfato de cobre para o solo de modo lento e gradual. Na aquisição dos dados, utilizou-se a técnica da base fixa e um resistímetro ABEM SAS 400, pertencente ao Departamento de Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

O acoplamento entre os eletrodos e o solo foi composto por uma pequena cava, preenchida com água e recoberta por areia (Butler, 2005). Foram adquiridos oito perfis de SP, quatro na parte central e mais elevada do lixão (SP1, SP2, SP3 e SP4, Figura 01) e outros quatro no seu entorno (SP5, SP6, SP7 e SP8, Figura 01). Por se tratar de uma área de risco, não foi possível melhorar a malha de aquisição.

Para o levantamento altimétrico, empregou-se um sistema composto por um GPS RTK, operando em modo cinemático e configurado para adquirir pontos a cada metro.

Resultados

Permita-nos, inicialmente, analisar o mapa potenciométrico da cidade do Natal (Figura 02). Por meio deste mapa percebe-se que o lixão de Cidade Nova está inserido em uma área localizado entre os bairros de Felipe Camarão, Cidade da Esperança, Planalto e Guarapes, exatamente sobre uma região onde o fluxo de água subterrânea apresenta um padrão divergente, característico de zonas de recarga de aquíferos.

A Figura 03 ilustra o modelo digital de terreno associado ao lixão. Enquanto sua parte central possui cota topográfica de aproximadamente noventa e seis metros acima do nível do mar, seus arredores apresentam valores mais modestos, variando de quarenta metros a cinquenta metros. Segundo Orellana (1972), a infiltração da água da chuva em locais com topografia elevada pode produzir núcleos eletricamente negativos. Este comportamento define um dos principais mecanismos de produção de SP, denominado "*per descensum*", muito utilizado em estudos ambientais.

Para comprovar a existência desse mecanismo em Cidade Nova, bem como a potenciométrica da área, elaborou-se, com base nos dados de SP, um mapa de potenciais. Este mapa apresenta valores entre -140 mV e 280 mV (Figura 04). Na parte mais elevada do lixão predominam potenciais negativos, enquanto em seu entorno valores positivos. A análise integrada desse mapa com o modelo digital do terreno sugere que, devido ao desnível existente entre as partes alta e baixa do lixão, o chorume produzido migra em um padrão divergente, incrementando a recarga do aquífero e confirmando a potenciométrica (Figura 02).

Adicionalmente, os dados de SP foram utilizados para guiar o levantamento com GPR. As Figuras 05 e 06 ilustram segmentos das seções GR3 e GR6. A seção GR3 tem início dentro de uma das lagoas para captação de efluentes e termina ao lado de um poço de água. Por meio deste radargrama pode-se ver um refletor com pouco mais

de um metro de profundidade que, provavelmente, representa o contato entre solos compactados e sedimentos dunares. Abaixo dele, há forte atenuação do sinal de GPR causado, provavelmente, pela presença de líquidos provenientes das partes mais elevadas do lixão (Há um desnível de aproximadamente vinte e cinco metros entre as lagoas e o topo da montanha de lixo). A seção GR6 está localizada fora dos limites do lixão. Através dela observa-se um padrão de reflexões caótico, contendo diversas hipérbolas. Essas hipérbolas foram interpretadas como indicadores de antigas áreas utilizadas, por moradores locais, para descarte de seus resíduos domésticos (Figura 06). Adicionalmente, não são vistos indícios de reflexões abaixo de quatro metros de profundidade. No entanto, trabalhos realizados em ambientes similares (Dunas), com antena de 200 MHz, mostram que é possível investigar facilmente até dez metros de profundidade (Oliveira Jr et al, 2008; Bristow et al, 2000). A análise desses trabalhos e também dos dados de campo, sugerem que a baixa profundidade alcançada em Cidade Nova pelo GPR pode ter sido causada por um solo condutivo, neste caso, possivelmente contaminado por chorume. No entanto, para comprovar essas interpretações, são necessárias análises químicas de solo e de água.

Conclusões

O modelo digital de terreno do lixão mostrou um desnível de até cinquenta metros entre sua parte central e seus arredores. Nessas condições, a infiltração da água da chuva em locais com topografia elevada favoreceu o surgimento de núcleos eletricamente negativos, observados por meio de um levantamento com o método do Potencial Espontâneo. Ressalta-se que os potenciais medidos variaram de -140 mV (parte mais elevada) a 280 mV (entorno do lixão). Estes resultados sugerem que o chorume produzido migra para regiões mais baixas, em um padrão divergente, incrementando a recarga do aquífero.

As duas seções de GPR coletadas dentro e fora dos limites do lixão mostraram que a profundidade de investigação variou de um metro (dentro de uma das lagoas de captação de águas pluviais e chorume) até quatro metros. Ao comparar estes resultados com aqueles alcançados em trabalhos sobre aplicação do GPR em ambientes de dunas, percebe-se que a baixa profundidade de investigação atingida em Cidade Nova pode estar relacionada à presença de chorume, fato que elevaria a condutividade elétrica do meio. Adicionalmente, os dados de GPR também mostraram um padrão de reflexões caótico, interpretado como uma antiga área de disposição de resíduos domiciliares dos moradores locais. Para a comprovação dos resultados, sugere-se a análise química de solos a água coletada na área de estudo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro (processo nº478582/2011-0). A Companhia de Serviços Urbanos de Natal (URBANA) pela autorização de acesso a área de trabalho e pelo fornecimento de informações sobre o lixão de Cidade Nova. A Sociedade Brasileira de

Geofísica (SBGF) pela bolsa de Iniciação Científica do primeiro autor deste trabalho. Ao Departamento de Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte pelos equipamentos de campo e a Polícia Militar do Rio Grande do Norte por promover a segurança da equipe durante os trabalhos de campo.

Referências

BRISTOW C.S, BAILEY S.D & LANCASTER N. 2000. The sedimentary structure of linear sand dunes. *Nature* 406, 56-59.

BUTLER, K. D. 2005. Near-surface geophysics. Ulsa, Oklahoma. Ed. SEG. 723p.

COSTA, A.F, FILHO, M.W. 2008. Caracterização estrutural e geofísica da lixeira de Porto Velho (RO). *Geociências (São Paulo)*, v. 27, p. 229-236.

MELO, J.G., VASCONCELOS M.B., ALVES R.S. & SOARES N.C. 2011. Problemas de manejo de águas subterrâneas em ambientes urbanos: o caso do município de Natal, RN. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió – AL.

OLIVEIRA E SOUSA F.R.F.R, BORGES W.R, CAVALCANTI M.M, GAUDÊNCIO G.M.M.F, MENDES P.K.M.F, PINHEIRO A.N.D.V. 2013. The Self-Potential (SP) method applied for investigating the contamination in the vicinity of the Structural city landfill, in Brasília-DF. In: 13th International Congress of the Brazilian Geophysical, Rio de Janeiro. Brazil.

OLIVEIRA JR J.G, MEDEIROS W.E, TABOSA W.F, VITAL H. 2008. From Barchan to Domic Shape: Evolution of a Coastal Sand Dune In Northeastern Brazil Based on GPR Survey. *Revista Brasileira de Geofísica*. 26(1): 5-20.

OLIVEIRA JR J.G, MEDEIROS W.E. 2008. Influência do conteúdo de água, granulometria e minerais pesados sobre as reflexões de GPR em corpos arenosos inconsolidados. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 26, p. 437-449.

ORELLANA E. 1972. Prospeccion geoeletrica en corriente continua. Madrid:Paraninfo, 523 p.

PORSANI JL, FILHO WM, ELIS VR, SHIMELES F, DOURADO JC & MOURA H P. 2004 - The use of GPR and VES in delineating a contamination plume in a landfill site: a case study in SE Brazil. *Journal of Applied Geophysics*, 55(3): 199-209 p.

VASCONCELOS B.R.M & OLIVEIRA JR J.G. 2013. Aplicação do método da eletrorresistividade em uma área contaminada por chorume na região metropolitana de Natal/RN. In: 13th International Congress of the Brazilian Geophysical, Rio de Janeiro. Brazil.

VASCONCELOS B.R.M & OLIVEIRA JR J.G. 2014. Aplicação do método do potencial espontâneo na investigação do fluxo subterrâneo na área do lixão de Cidade Nova, em Natal/RN. VI Simpósio Brasileiro de Geofísica, Porto Alegre, 14 a 16 de outubro.

SANDMEIER KJ. 2000. REFLEXW Version 6.0, Windows 9x/2000/NT. Program for the processing of seismic, acoustic or eletromagnetic reflection, refraction and transmission data. Germany. 272 p.

SHIRAIWA S, LISOVSKY S.P, ELIS V.R, PORSANI J.L & BORGES W.R. 2002. Estudos geofísicos integrados no lixão de Cuiabá, MT, Brasil – resultados preliminares. *Rev. Bras. Geof.* vol.20 no.3 São Paulo Sept./Dec.

TOPP G.C, DAVIES J.L & ANNAN A.P. 1980. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. *Water Resources Research*, 16: 574–582.

WYLLIE M.R.J & GREGORY A.R. 1953. Formation factors of unconsolidated porous media: influence of particle shape and effect of cementation. *Petroleum Transactions AIME*, 198: 103–110.

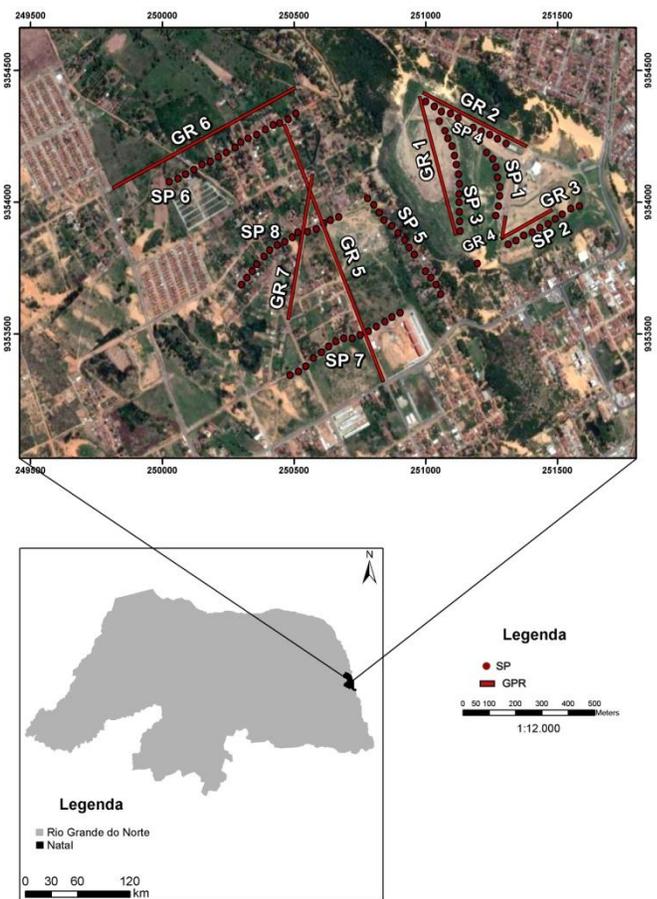


Figura 1 – Imagem de satélite mostrando o lixão de Cidade Nova e a disposição dos perfis de Potencial Espontâneo (SP1, SP2, SP3, SP4, SP5, SP6, SP7 e SP8) e seções de GPR (GR1, GR2, GR3, GR4, GR5, GR6 e GR7).

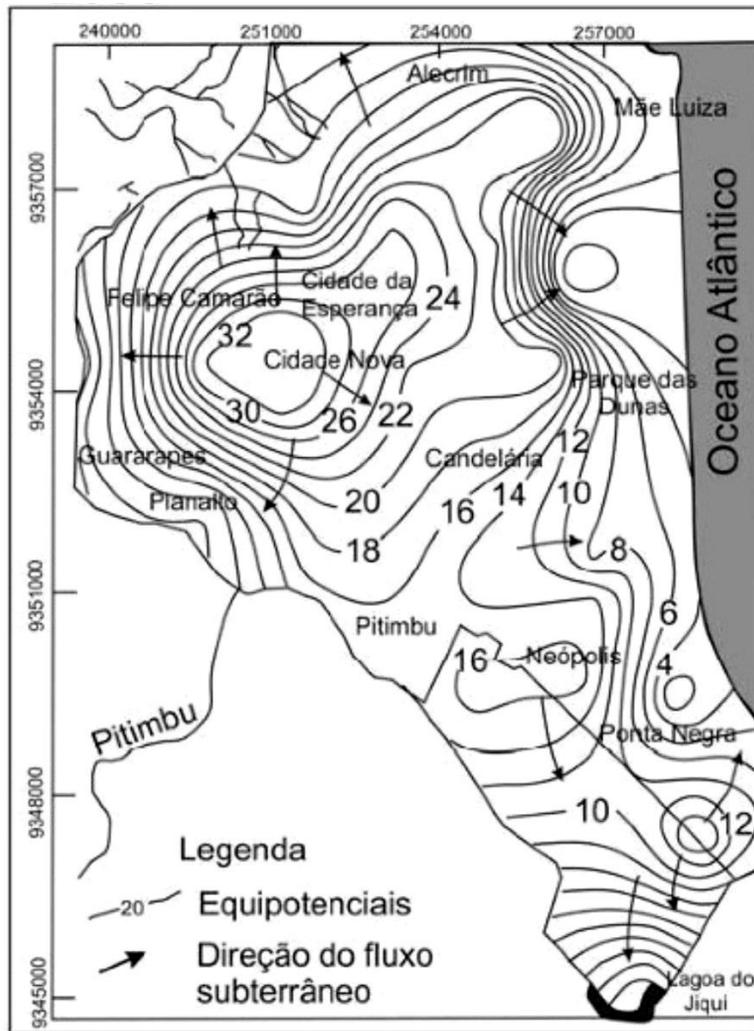


Figura 2 – Potenciometria do Sistema aquífero Dunas/Barreiras (Melo, 2011).

MAPA TOPOGRÁFICO - ATERRO DE CIDADE NOVA - NATAL/RN

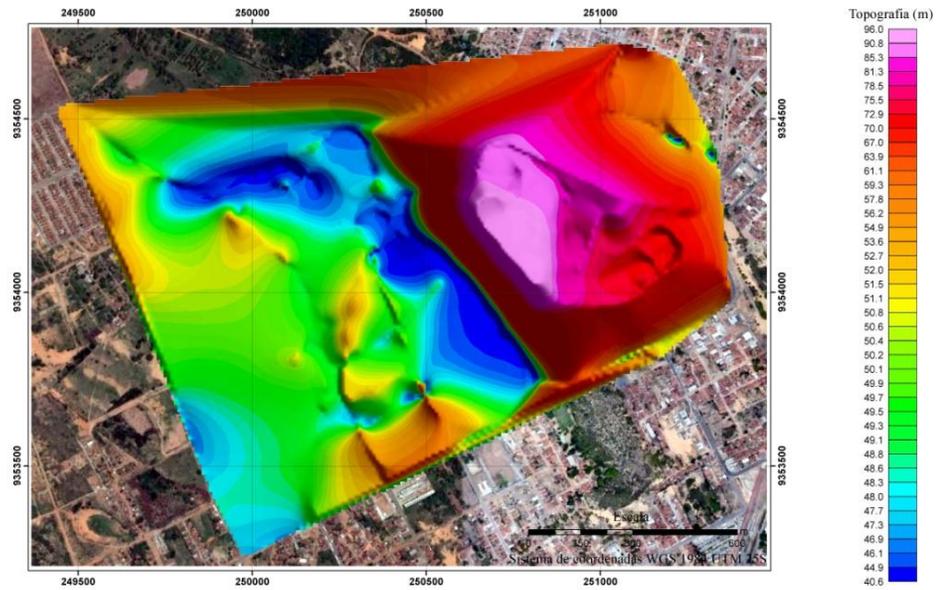


Figura 3 - Modelo digital do terreno associado ao lixão de Cidade Nova e seu entorno.

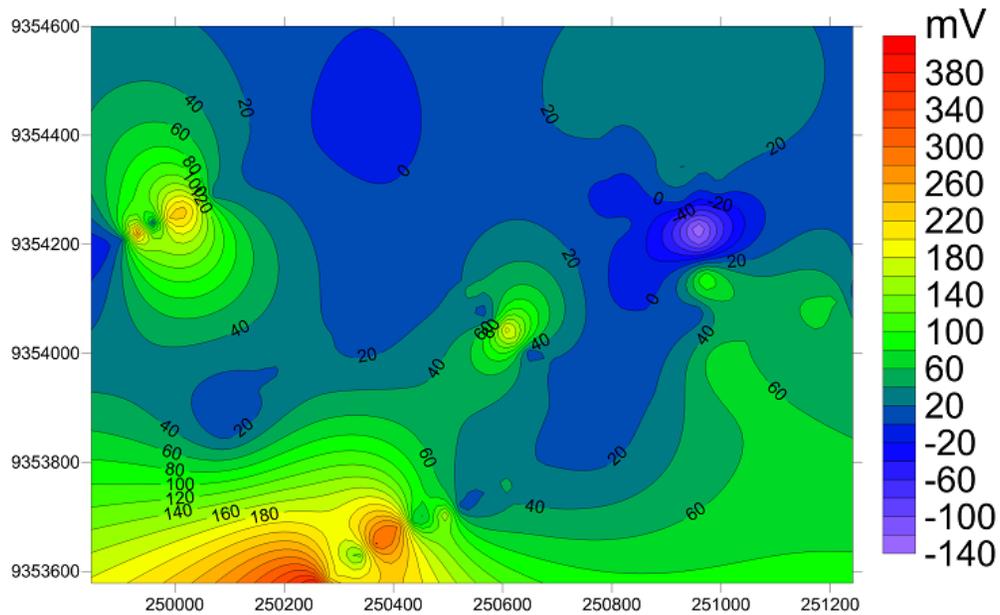


Figura 4 – Mapa de potencial espontâneo obtido em Cidade Nova. Valores negativos estão associados a áreas com topografia elevada, enquanto os valores positivos, áreas com topografia mais baixa.

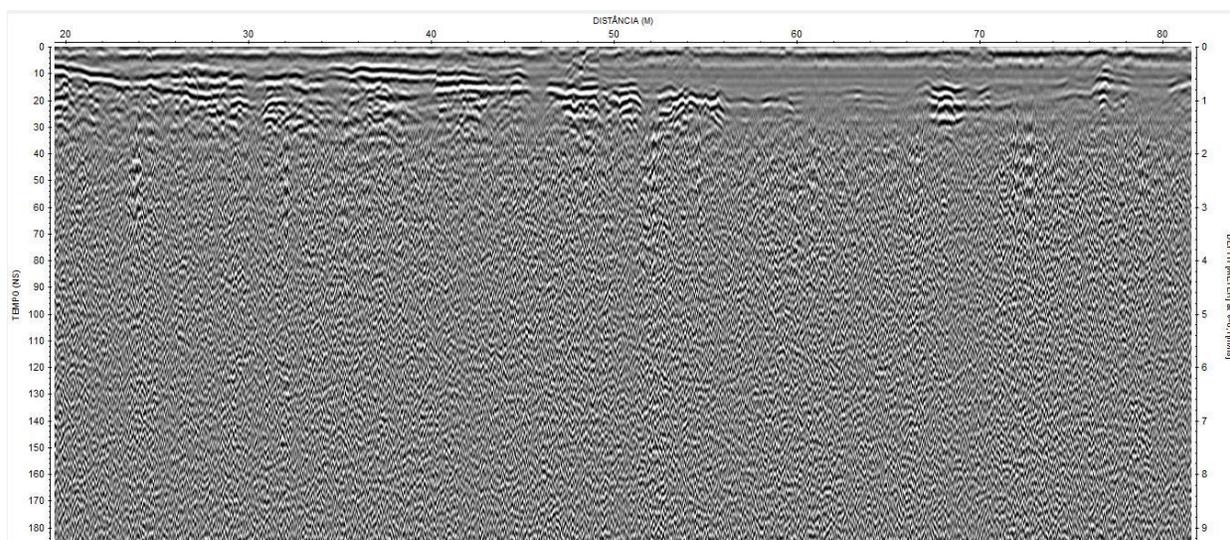


Figura 5- Segmento da seção de GPR (GR3), obtida com antena de 200MHz, dentro da lagoa de captação de águas pluviais e chorume. O refletor em aproximadamente um metro de profundidade representa o contato entre solos compactados e sedimentos dunares.

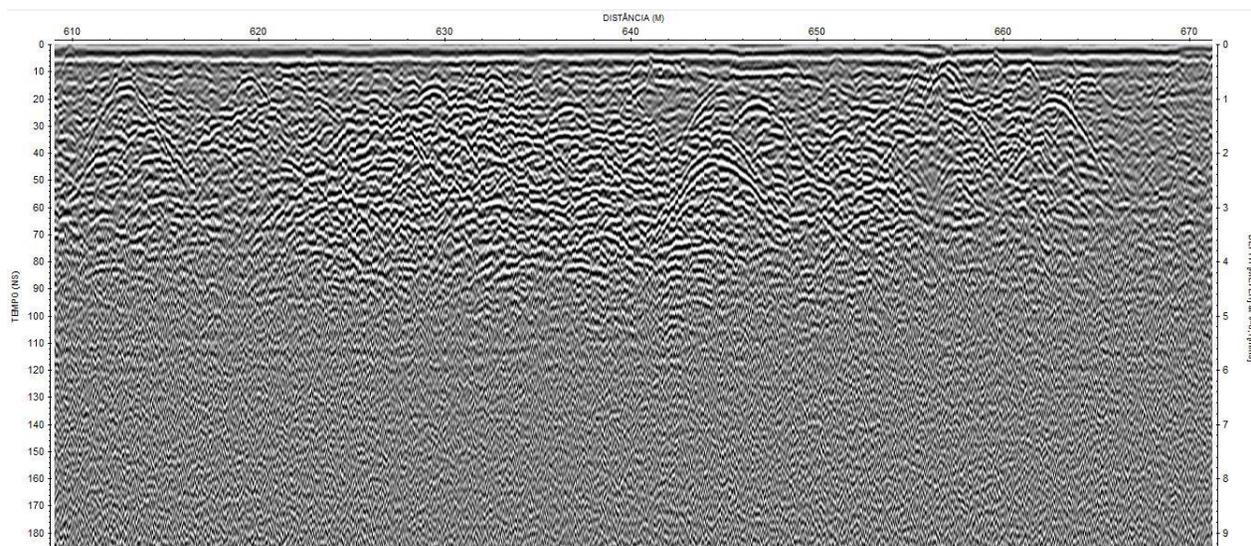


Figura 6 – Segmento da seção de GPR (GR6), obtida com antena de 200MHz, fora dos limites do lixão. O padrão de reflexões caótico foi interpretado como uma antiga área utilizada pelos moradores locais para a disposição de resíduos domiciliares.