



Uso integrado de GPR e GPS para elaboração de mapas utilizados como guia em atividades de manutenção e instalação de dutos

Jeferson Ribeiro de Moura (DGEF/UFRN), Josibel Gomes de Oliveira Júnior (DGEF/UFRN)

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 work is about application of the Ground Penetrating Radar (GPR) to map underground interferences the limits of the campus Federal University of Rio Grande do Norte (UFRN). This activity was conducted in three distinct stages: In the first one the GPR and GPS data were acquired by performing a 3D dataset, composed of twenty one parallel lines, spaced one meter apart. In the second stage, the data was processed with the software REFLEX for Windows. In the last stage, the data were analyzed based on 2D and 3D techniques. The obtained results made possible to identify six pipelines associated to water, hydrant and a sewer systems.

Introdução

Recentemente, a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) tem passado por um processo de expansão e vários prédios foram construídos dentro dos limites de seu Campus Central. Por essa razão, no ano de 2012, utilizou-se o GPR para mapear a presença de dutos em um local potencialmente importante (Figura 1) para a construção de novas edificações (Mota e Oliveira Jr, 2013). Por meio desse estudo, foram identificados três dutos de água, cujas localizações eram apenas estimadas (Figura 2). Posteriormente, esses resultados também ajudaram, informalmente, na instalação de novas tubulações para os sistemas de hidrantes e esgotos domésticos da UFRN. No entanto, as coordenadas e profundidades exatas dessas tubulações não foram definidas no momento de sua colocação. Por isso, o principal objetivo deste trabalho é, por meio de um levantamento conjunto envolvendo GPS RTK e GPR, gerar um mapa da área, em 3D, contendo todos esses dados. Este mapa poderá ser utilizado, no futuro, para reduzir o risco de rompimentos de dutos durante atividades de manutenção, em particular, do duto de esgoto.

Metodologia

Todo trabalho foi realizado em três etapas distintas: Aquisição (GPR e GPS RTK), processamento e interpretação de dados. A seguir, uma descrição sucinta de cada uma delas:

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. Ao todo foram levantadas 21 seções de GPR (Figura 1), espaçadas por 1m, transversais a direção dos dutos enterrados. Ao final do levantamento foi possível construir um pseudo 3D. 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. Para o levantamento topográfico foi empregado um sistema composto por um GPS e um receptor RTK integrados, operando em modo cinemático e configurados para adquirir dados a cada 0.1m. Para correção dos dados em tempo real, necessitou-se de um marco geodésico nas proximidades da área de trabalho, sendo escolhido um existente na Estação de Climatológica da UFRN. Sobre as marcas deixadas no solo pelo odômetro do GPR foram coletados 21 perfis topográficos.

Já o processamento dos dados de GPR foi composto por cinco etapas distintas, definidas com base no trabalho de Xavier Neto (2006): Ajuste do tempo zero, *dewow*, aplicação de ganhos para correção dos efeitos de propagação, ajuste de velocidades e filtragem. Este processamento teve por finalidade preservar e corrigir distorções da imagem, atenuando ruídos provenientes da saturação do sinal e de possíveis interferências geradas por alvos que interagem com o pulso eletromagnético. O programa utilizado foi o programa *REFLEX* 6.1.0 (Sandmeier, 2000).

Ainda por meio do programa *Reflex* 6.1.0, após o processamento dos dados, criou-se um pseudo 3D. A visualização dos dados em 3D permitiu analisá-los através de seções 2D (Figura 03), blocos (Figura 04) e *timeslices* (Figuras 05). Isso ajudou a identificar claramente as posições relativas dos dutos e também suas profundidades.

Resultados

De modo geral, os dados de GPR apresentaram bons resultados e identificaram refletores hiperbólicos associados a presença de diversos alvos em subsuperfície. Para diferenciar corretamente os refletores ligados aos dutos enterrados, daqueles produzidos por raízes (Rocha et al., 2012) ou outros objetos (NEAL & ROBERTS, 2000), foram considerados dois critérios de interpretação: A intensidade dessas reflexões e sua continuidade lateral.

A intensidade dos refletores é um critério de interpretação importante porque está relacionado ao contraste dielétrico existente entre o meio encaixante e o alvo. A constante dielétrica de solos arenosos varia de 3 (solo seco) a 25 (solo saturado) (Annam, 1992). Por outro lado, a constante dielétrica de raízes admite valores entre 3 e 5 (Prado, 2000; Rocha et al., 2012). Em termos práticos, isso significa que em solos secos, ou parcialmente saturados, a intensidade de reflexões de radar provocadas por raízes podem ser muito baixas (Marcas R, Figura 03) se comparadas àquelas causadas por dutos contendo água em seu interior (Constante dielétrica da água é 80) (Marcas A1, A2, A3, B1, B2, B3 na Figura 03 e marcas B1, A1, A2 e A3 na figura 4). Quanto a continuidade lateral, espera-se que os dutos sejam contínuos em mais de 10m, enquanto as raízes das árvores em apenas 2m ou 3m.

Com base nos critérios acima descritos, a ocorrência de refletores intensos e com posição/profundidade semelhantes em seções de GPR paralelas, são atribuídas aos dutos. É interessante esclarecer, neste momento, que as marcas "A" discutidas neste texto correspondem aos dutos identificados em trabalhos anteriores (Mota e Oliveira Jr, 2013), enquanto as marcas "B" e "R" estão relacionadas àqueles mapeados neste trabalho.

Ainda durante a interpretação dos dados, os ápices das hipérbolos correspondentes aos dutos observados nas seções de GPR (Figura 3), nos blocos 3D (Figura 4) e em *timeslices* (Figura 5), foram marcados (picados) com as seguintes cores: Preta (A1), vermelha (A2 e A3), verde (B1), azul (B2) e rosa (B3). Dessa forma, foi possível mapear sua extensão lateral, bem como definir as posições e profundidades relativas.

Foram picados seis dutos (Marcas A1, A2, A3, B1, B2 e B3 na Figura 3), dentre eles, três tiveram sua posição confirmada durante a última manutenção realizada na área de estudo (Marcas A1, A2, A3 na Figura 2). Após a manutenção, a posição desses dutos foi mantida e os novos sistemas de hidrante e esgoto instalados (Marcas B1 e B2, na Figura 3). Adicionalmente, é possível observar, na Figura 3, a marca B3. Esta marca indica a presença de refletores com intensidade variando de média a baixa, cuja presença não é percebida em todas as seções de GPR. No entanto, baseado em relatos de trabalhadores da construção civil e também na análise 3D, esses refletores puderam ser interpretados como uma antiga rede de esgoto que atualmente encontra-se abandonada.

A Figura 4 mostra hipérbolos causadas pelo sistema de hidrante (Marca B1) e também pelos dutos mapeados por Mota e Oliveira Jr (2013): Marcas A1, A2 e A3. Todos Os ápices dessas hipérbolos parecem ocorrer, ao sul, em um tempo menor que aqueles observados ao norte, sugerindo um discreto mergulho. Observação semelhante pode ser feita em relação ao sistema de hidrante (Marca B1), que além de apresentar um mergulho para o norte, possui uma curva acentuada para oeste.

A Figura 5 (Marcas cor de rosa) consiste em um *timeslice*, em 31.6ns (aproximadamente 1.8m de

profundidade), que evidencia uma anomalia encurvada. A análise integrada desse dado e das seções 2D (Veja por exemplo a marca B3 na Figura 3) foi decisiva para definir a posição da antiga rede de esgoto.

Após picagem dos dados, gerou-se um mapa 3D contendo informações precisas sobre coordenadas e disposição dos dutos sob o terreno (Figura 6). Observe, em particular, as curvaturas do sistema de hidrante (em verde) e também da antiga rede de esgoto (em rosa). Além disso, percebe-se que o duto A1 (em preto), a partir de determinada posição, corre abaixo do duto A2 (em vermelho). Essa observação é facilmente confirmada por meio da Figura 2 e esclarece de forma definitiva dúvidas existentes em Mota e Oliveira Jr (2013).

Conclusões

Os resultados alcançados neste trabalho confirmaram a viabilidade do uso integrado de GPR e GPS RTK para a elaboração de mapas contendo informações acerca da localização precisa de interferências em subsuperfície, de modo a guiar atividades de manutenção e instalação de dutos.

Foram coletados, simultaneamente, 21 seções de GPR e perfis de GPS RTK. No levantamento de GPR utilizou-se uma antena blindada de 200 MHz e todas as seções foram interpretadas em duas e três dimensões. Os dados de radar mostraram refletores hiperbólicos, possivelmente relacionados a dutos, raízes de árvores e alvos isolados. Para diferenciá-los, foram estabelecidos dois critérios de interpretação: Um baseado na intensidade das reflexões e outro em sua continuidade lateral.

Por meio das seções 2D foram identificados, claramente, cinco dutos: Três antigos e dois instalados durante o último trabalho de manutenção realizado na área (sistemas de hidrante e esgoto). Em parte dessas seções, também foram observadas hipérbolos com intensidade variando de média a baixa e continuidade lateral relativamente pequena. Posteriormente, através da análise de *timeslices*, esses refletores foram interpretados como a antiga rede de esgoto, atualmente abandonada. A observação desses dados também mostrou que os três dutos antigos, bem como o sistema de hidrante, apresentam um discreto mergulho para o norte. Adicionalmente, a integração dos dados de GPR e GPS possibilitou a elaboração de um mapa contendo informações precisas sobre coordenadas e disposição dos dutos sob o terreno. Em particular, os traçados curvos dos dutos que compõe os sistemas de hidrante e a antiga rede de esgoto ficaram evidentes. Além disso, percebe-se que um dos dutos antigos corre abaixo dos outros dois, dúvida que persistia desde o primeiro levantamento de GPR realizado na área.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Departamento de Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte pelo fornecimento do GPR utilizado neste trabalho e também ao Grupo de Pesquisa em Geologia e Geofísica Marinha e Monitoramento Ambiental (GEMMA), pelo empréstimo do GPS RTK. Adicionalmente, agradecemos a Iuriane Conti, Sabrina Luz, Jurandir, Myrli Andrade e ao Técnico

Thiago Figueiredo pela valorosa colaboração na aquisição dos dados.

Referências

ANNAN AP. 1992. Ground penetrating radar workshop notes. Sensors and Software, Incorporated, Mississauga, Ontario, 150 p.

MOTA JA & OLIVEIRA JR JG. 2013. Imageamento de dutos e dunas com o radar de penetração no solo (GPR). 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Rio de Janeiro, Brazil.

NEAL A & ROBERTS CL. 2000. Applications of ground penetrating radar (GPR) to sedimentological, geomorphological studies in coastal environments. In: PYE K & ALLEN JRL (Eds.). Coastal and Estuarine Environments: sedimentology, geomorphology and geoarchaeology. Geological Society London Special Publications, 175: 139-171.

PRADO, RL. 2000. A sísmica de reflexão e o radar de penetração no solo na investigação geológico-geotécnica

em ambientes urbanos: Um estudo na cidade de São Paulo – SP, Brasil. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Campus de Rio Claro - SP, 174p.

ROCHA AA, SOUSA FRFROS, VON HUELSEN MG, BORGES WR. 2012. GPR 3D como método não invasivo para estudo do crescimento e biomassa de raízes de árvores de florestas tropicais. V *Simpósio Brasileiro de Geofísica*, Salvador/BA.

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.

XAVIER NETO P. 2006. Processamento e Interpretação de Dados 2D e 3D de GPR: Aplicações no Imageamento de Feições Kársticas e Estruturas de dissolução no Campo de Petróleo de Fazenda Belém – CE. Tese de Doutorado em Geofísica – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 192 p.

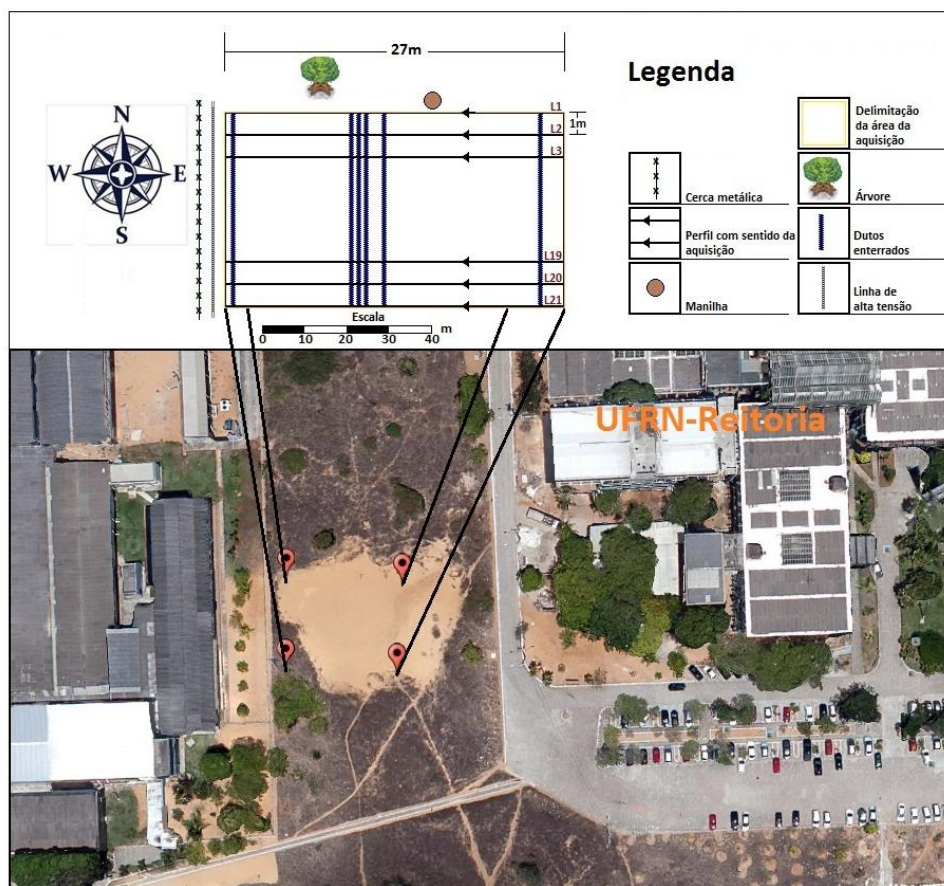


Figura 1 – Imagem de satélite situando a área de trabalho dentro da UFRN. Adicionalmente, esta figura mostra detalhes da aquisição de dados, posição relativa dos dutos e possíveis fontes de ruídos aéreos (árvores, cercas e linha de alta tensão).



Figura 2 – Fotografia obtida durante a última atividade de manutenção na área de estudo. Por meio dela podem ser observados os três dutos de água (Marcas A1, A2 e A3) localizados no levantamento com GPR realizado por Mota & Oliveira Jr (2013). Perceba que o primeiro duto (de baixo para cima, A1) está posicionado imediatamente abaixo do duto central (A2). Veja também as Figuras 3, 4 e 6.

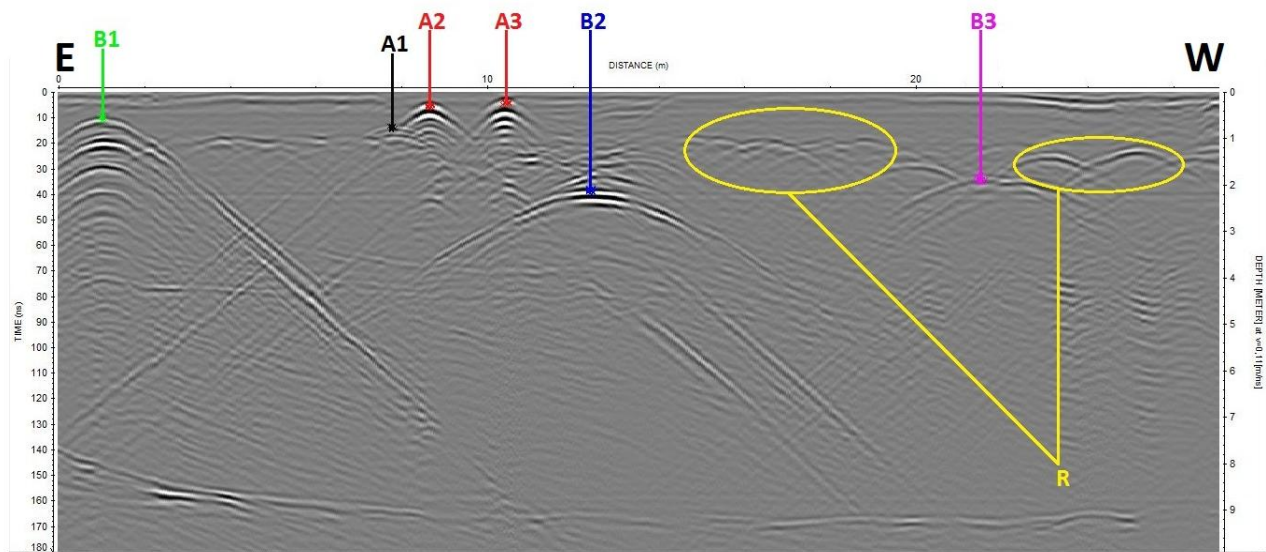


Figura 3 – Seção de GPR coletada com antena de 200MHz. As marcas coloridas, sobre os refletores hiperbólicos, estão associadas às seguintes interferências em subsuperfície: Uma tubulação de PVC que faz parte do novo sistema de hidrantes instalado na UFRN (Marca B1 verde); Três dutos de água mapeados por Mota & Oliveira (2013) (Marca preta - A1, e vermelhas – A2 e A3); Novo sistema de esgotos (Marca B2 azul); Antigo sistema de esgoto (Marca B3 rosa) e raízes de árvores (Marca R).

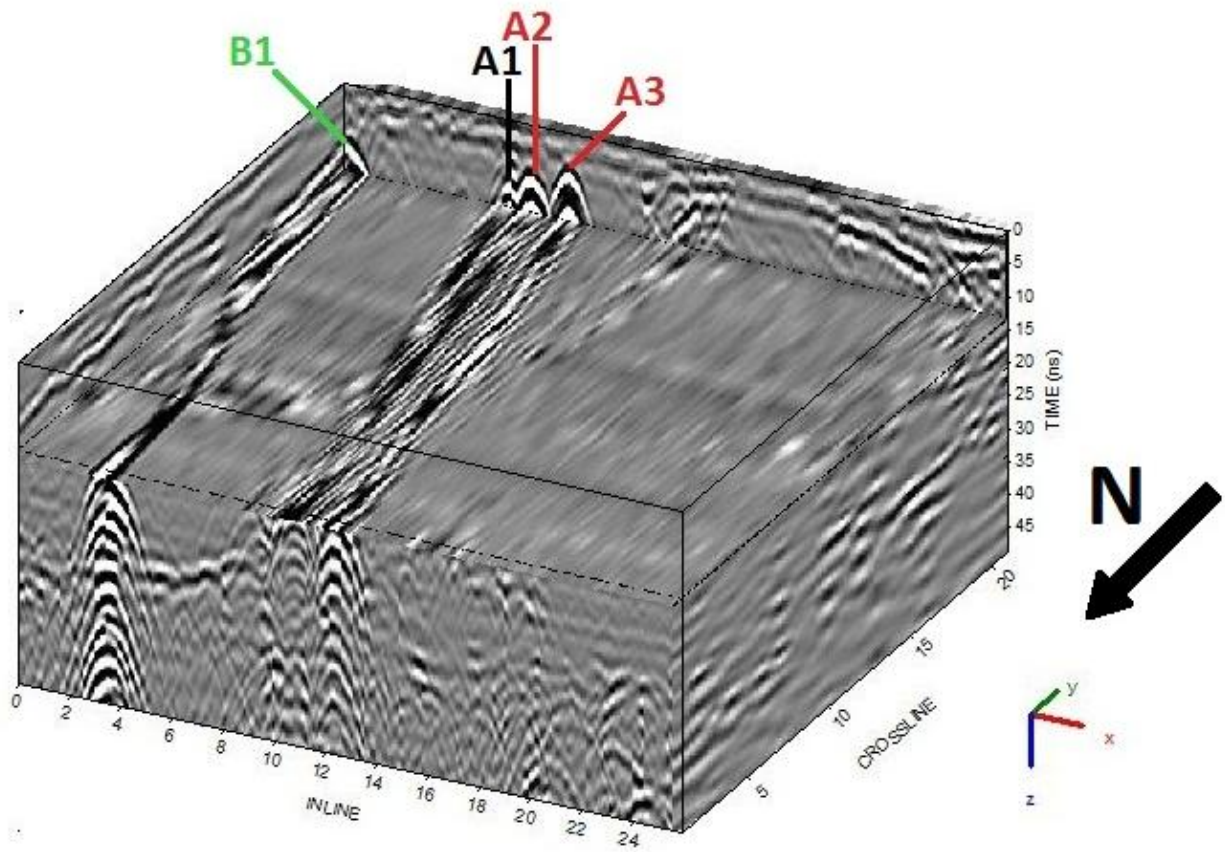


Figura 4 – Pseudo 3D gerado a partir de 21 seções de GPR. As marcas indicam: Uma tubulação de PVC que faz parte do novo sistema de hidrantes instalado na UFRN (Marca B1 verde); Três dutos de água mapeados por Mota & Oliveira (2013) (Marca preta - A1, e marcas vermelhas – A2 e A3).

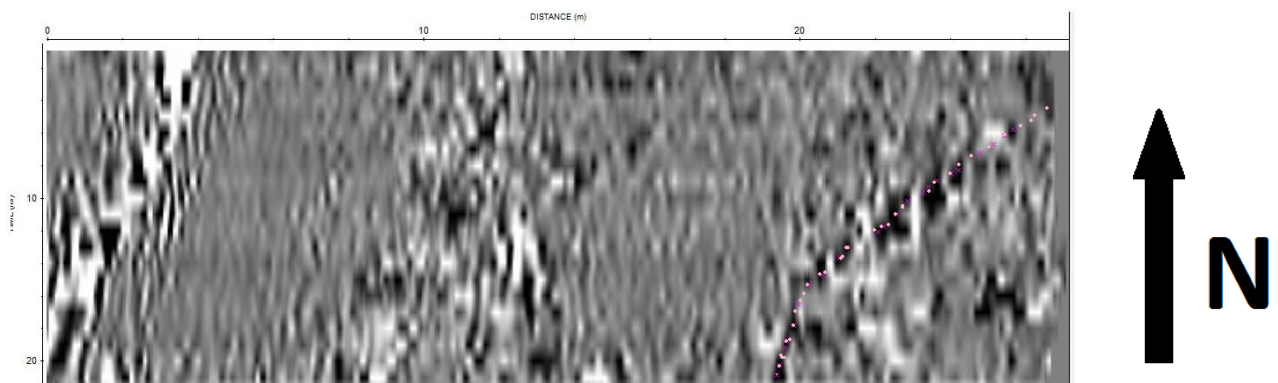


Figura 5 – Timeslice gerado em 31.6ns (aproximadamente 1.8m de profundidade). As marcas rosa indicam o antigo sistema de esgoto.

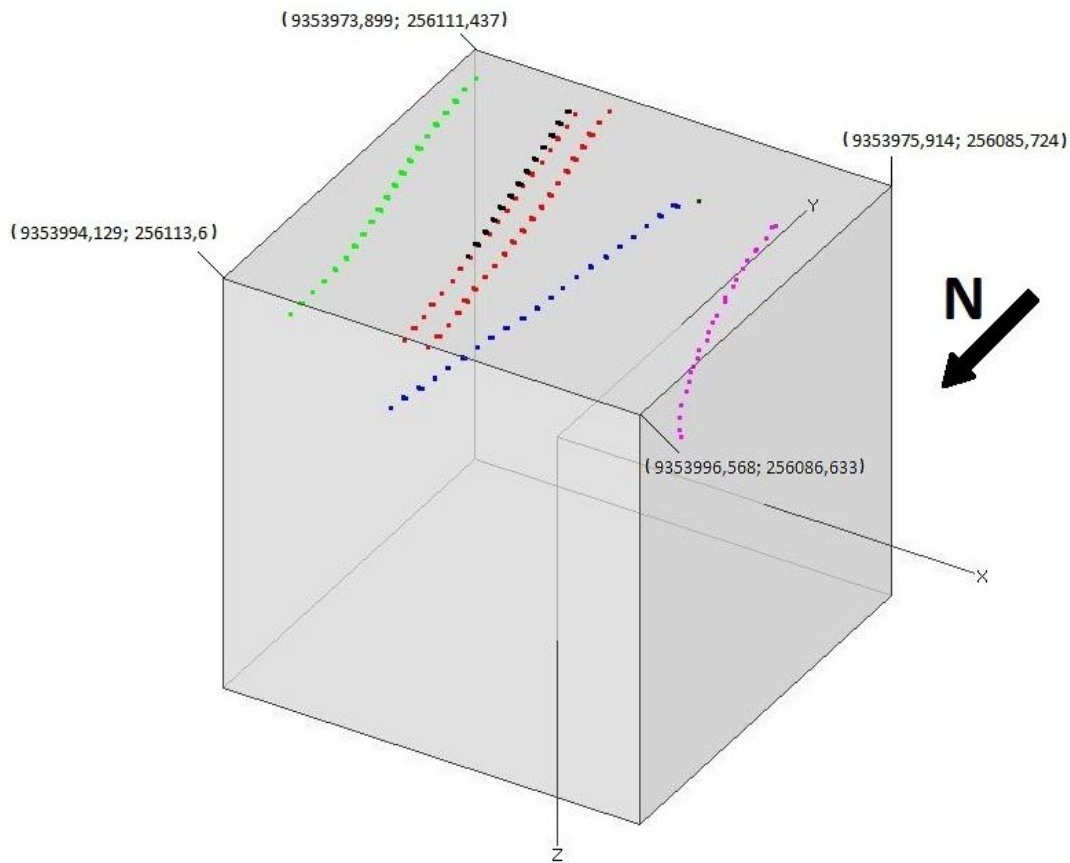


Figura 6 – Mapa 3D gerado a partir de levantamento integrado de GPR/GPS. Por meio dele, pode-se obter informações importantes sobre coordenadas e posição relativa dos seis dutos mapeados neste trabalho. As marcas coloridas estão associadas aos seguintes alvos em subsuperfície: Uma tubulação de PVC que faz parte do novo sistema de hidrantes instalado na UFRN (Marca verde); Três dutos de água mapeados por Mota & Oliveira (2013)(Marcas vermelhas e preta); Novo sistema de esgotos(Marca azul); Antigo sistema de esgoto (Marca rosa).