



www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 20, nº 2 (2019)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v20i2.1382>



APLICAÇÃO DO GPR PARA ANÁLISE E DIFERENCIAÇÃO ENTRE MATERIAIS ALUVIONARES E COLUVIONARES, EMBASADAS EM OBSERVAÇÕES DIRETAS, NO VALE DO RIBEIRÃO CONTAGEM - DISTRITO FEDERAL (BRASIL)

APPLICATION OF GPR FOR THE DIFFERENTIATION OF ALLUVIAL AND COLLUVIAL MATERIALS, BASED ON DIRECT OBSERVATION IN CONTAGEM VALLEY – DISTRITO FEDERAL (BRASIL)

José Gustavo da Silva Nunes

*Departamento de Geografia, Universidade de Brasília
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília, Distrito Federal. CEP: CEP 70910-900. Brasil
ORCID: orcid.org/0000-0002-6184-4085
E-mail: jgustavosn@gmail.com*

Rogério Uagoda

*Departamento de Geografia, Universidade de Brasília
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília, Distrito Federal. CEP: CEP 70910-900. Brasil
ORCID: orcid.org/0000-0002-9448-1313
E-mail: rogeriouagoda@unb.br*

Dandara Caldeira

*Departamento de Geografia, Universidade de Brasília
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília, Distrito Federal. CEP: CEP 70910-900. Brasil
ORCID: orcid.org/0000-0002-3790-3567
E-mail: dandara.caldeira2014@gmail.com*

Ligier Modesto Braga

*Departamento de Geografia, Universidade de Brasília
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília, Distrito Federal. CEP: CEP 70910-900. Brasil
E-mail: ligierbraga@gmail.com*

Yawar Hussain

*Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília, Distrito Federal. CEP: CEP 70910-900. Brasil
ORCID: orcid.org/0000-0002-4155-6764
E-mail: yawar.pgn@gmail.com*

Hernán Martínez Carvajal

*Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia
Campus Robledo, Carrera 80, Medellín. No 65-223. Colombia
ORCID: orcid.org/0000-0001-7966-1466
E-mail: hmartinezc30@gmail.com*

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):
06/08/2018
Aceito (Accepted):
16/11/2018

Palavras-chave:
GPR; Alúvio; Colúvio.

Keywords:
GPR; Alluvium; Colluvium.

Resumo:

O presente estudo tem por objetivo fazer uso de tecnologia GPR (Ground Penetration Radar), também conhecido como Georadar, para distinguir os materiais aluvionares, coluvionares e eluvionares depositados nas encostas e planícies da fazenda Vão do Buraco, calha do Contagem, porção leste do Planalto Central, na região do Distrito Federal. Foram definidas três encostas: côncava fechada (E1), côncava aberta (E2) e convexa (E3), para a aquisição de dados dos perfis de GPR, onde já se tinham descrições prévias dos materiais depositados, apresentando elúvio no topo, colúvio na média encosta e colúvio/aluvião na planície com formação de um leque aluvial. Fez-se uso de uma antena de 400 MHz para a sondagem, resultando em radargramas com informações de refletância.

Devido às diferenças de composição entre o aluvião e o coluvião, seus contatos são abruptos. O alúvio, por apresentar cascalhos em sua composição, é definido por um número maior de alvos e alta refletância. Já o colúvio é constituído por materiais de granulometria mais fina (silte e argila), apresentando baixa refletância com alvos difusos.

Abstract:

The present study aimed at making the use of Ground Penetration Radar (GPR) technology, also known as Georadar for the differentiation of alluvial and colluvial materials deposited on the slopes and plains of the Contagem channel. The research was carried out on concave, convex and alluvial slopes of Vão do Buraco Farm, located in the Contagem Basin, that covers the eastern portion of the Central Plateau of the Federal District. Three slopes (E1, E2, and E3) were chosen for the GPR data acquisition, having previous descriptions of the deposited materials, such as alluvial at the top, colluvial in the middle and colluvium/alluvium in the plain making an alluvial fan. A 400 MHz antenna was used for the survey, that resulted in radargrams having reflectance information of the materials. Due to the differences in composition of the alluvium (gravels) and the colluvium (silt and clay) resultant contacts between them are delineated which are high for alluvium and low for colluvium because of the high reflectance and diffusion, respectively.

Introdução

A utilização de técnicas de GPR (Ground Penetration Radar), também conhecido como Georadar, para estudos de solo e rocha *in situ* vem se modernizando nas últimas décadas, sendo que as primeiras utilizações de ondas de rádio de alta frequência para mapeamento de estruturas em subsuperfície foram realizadas no final da década de 1920 por W. Stern, para determinar a espessura de geleiras (OLHOEFT, 1986). O método ganhou evidência com a investigação feita por Waite e Schmidt (1961), com o estudo da quebra de grandes placas de gelo na Groelândia, na década de 1960. A missão Apolo à lua, na década de 1970, representou um dos primeiros usos da técnica fora de geleiras, favorecendo sua popularização (ULRIKSEN, 1982).

Segundo Neil (2004), o GPR detecta descontinuidades elétricas na subsuperfície rasa (profundidades <50m) utilizando-se de geração, transmissão,

propagação, reflexão e recepção de pulsos discretos de energia eletromagnética de alta frequência, superando a resolução de Sísmica de Refração e Sísmica de Reflexão para essas profundidades. Tal método de geofísica rasa emprega ondas de rádio entre 10 MHz e 1GHz, obtendo informações relacionadas à subsuperfície. A penetração da onda eletromagnética depende também do meio material, podendo variar de 5m a 25m em relação inversamente proporcional à resolução da imagem produzida no radargrama, que pode variar de 0,5cm a 100cm. De acordo com Van Dam (2012), a resposta do sinal dependerá das variações no teor de água ou porosidade. Van Dam (2003) também comprova que superfícies irregulares de paleossolos podem causar difração em sinais de frequência. O GPR tem se mostrado uma técnica bastante eficaz no estudo de solos e rochas em pouca profundidade e vem se popularizando, como demonstrou Schrot e Sass (2008). Segundo Jol e Bristow (2003), não existe nenhuma outra ferramenta

não destrutiva que alcança os resultados produzidos por GPR em estudos sedimentológicos.

Trabalhos sobre coberturas detríticas com uso de GPR tiveram início com Davis e Annan (1989), que mapearam a superfície de um granodiorito entre 5m e 20m de profundidade, recoberto por areia fina saturada. No entanto, o GPR teve sua primeira aplicação em estudos geomorfológicos no início da década de 1990, para o estudo de depósitos deltáicos no norte do Canadá (JOL & SMIT, 1991). Os autores conseguiram demonstrar com clareza os depósitos de areia e cascalho da região. Também, na mesma década, Schenk *et al.* (1993) utilizou a ferramenta para mapear estruturas internas de dunas do Great Sand Dunes National Monument, com resultados satisfatórios para até 5m de profundidade. Trabalhos posteriores sobre sedimentos fluviais, eólicos, costeiros, depósitos colúviais e cársticos continuaram a ser desenvolvidos com o uso de GPR (BRIDGE *et al.*, 1998; BRISTOW *et al.*, 2010; NIELSEN *et al.*, 2009; BORECKA *et al.*, 2015; ČERU & GOSAR, 2018).

Borecka *et al.* (2015) utilizou GPR para estudar uma área ainda instável em que ocorrem movimentos de massa em encostas de Radziszów, na Polônia, com uma antena de 100 MHz, visando alcançar respostas entre 3m e 10m de profundidade, quando foi possível identificar uma estrutura de deslizamento entre 4m e 6m de profundidade.

Segundo Chowksey *et al.* (2011) estudos recentes demonstram que a aplicação do GPR tem sido bem sucedida na caracterização de depósitos colúviais e outros depósitos de granulação grossa de diversas origens em variadas configurações geomórficas. Doolittle e Collins (1995) afirmaram que devido à forte atenuação em materiais que possuem alta condutividade elétrica, a profundidade de penetração em sedimentos úmidos ou solos argilosos diminui rapidamente.

Manson *et al.* (2017) executou vários perfis de GPR em uma parede suspensa na falha de Lastros, no leste de Creta, para determinar se havia colúvio cimentado na superfície da parede e mapear sua geometria, quando foi possível determinar que ambos colúvios, cimentados ou não por calcita, haviam sido afetados por ação antrópica.

Segundo Braga *et al.* (2018), na bacia do Contagem existem depósitos colúvionares e leques aluviais em encostas íngremes de concavidades abertas e fechadas que se interdigitam com depósitos aluvionares em fundos planos. Tal esquema deposicional teria origem em sucessões de movimentos de massa rotacionais detonados por solapamentos gerados em regimes de alta

intensidade fluvial, que também são responsáveis pelos antigos terraços depositados em fundo de vale.

A sucessão de estudos de física de solos e geotecnia em tais encostas ainda não permitiu delimitar com precisão o contato entre o saprolito e os materiais colúvionares e aluvionares, o que confere sentido a esta linha de pesquisa. Desta forma, o presente estudo teve como foco a obtenção e o processamento de dados de GPR, aplicados na distinção entre materiais aluvionares e colúvionares da encosta do Ribeirão Contagem (Distrito Federal, Brasil). Estes dados servirão como parâmetro para verificar a acurácia da técnica em relação à pedogênese, granulometria e geometria de depósitos em diferentes posições das encostas.

Área de Estudo

A área de estudo foi a Fazenda Vão do Buraco, Chapada do Contagem, localizada na porção noroeste do Distrito Federal, à 50km de Brasília. As rodovias DF-150 e DF-205 são as principais vias pavimentadas que dão acesso ao local.

Na área em questão aflora uma pequena porção da unidade PPC (Psamo Pelito Carbonatada) (Figura 2A) que, segundo Freitas e Campos (1998), é dominada por rochas pelíticas com ardósias cinzas e metassiltitos argilosos. A espessura da unidade varia entre 120m a 150m, sendo que as rochas que compõem tal unidade sofreram forte influência da paleogeografia de fundo, marcando o final de deposição da Bacia Paranoá. Devido à composição desta unidade, os minerais primários, quando em contato com água ou submetidos às condições atmosféricas, são rapidamente intemperizados, conforme demonstrado na Figura 2B.

Nas Figuras 2A e 2B têm-se fotos retiradas na margem da drenagem, próximas ao início do perfil de GPR 02, evidenciando o contato entre o material colúvio-aluvionar e o material aluvionar, onde este último detém uma continuidade lateral que varia entre 30m e 100m, a partir do leito da drenagem.

No leito da drenagem foi possível observar que o material aluvionar de granulação mais fina – grãos bem selecionados, minerais secundários e baixa umidade – estava sobreposto ao material colúvionares – grãos mal selecionados (variando de areia média a cascalho com matações decimétricos), composto basicamente por quartzo e de alto índice de umidade devido ao nível freático. Tais características foram evidenciadas nas Figuras 2C e 2D.

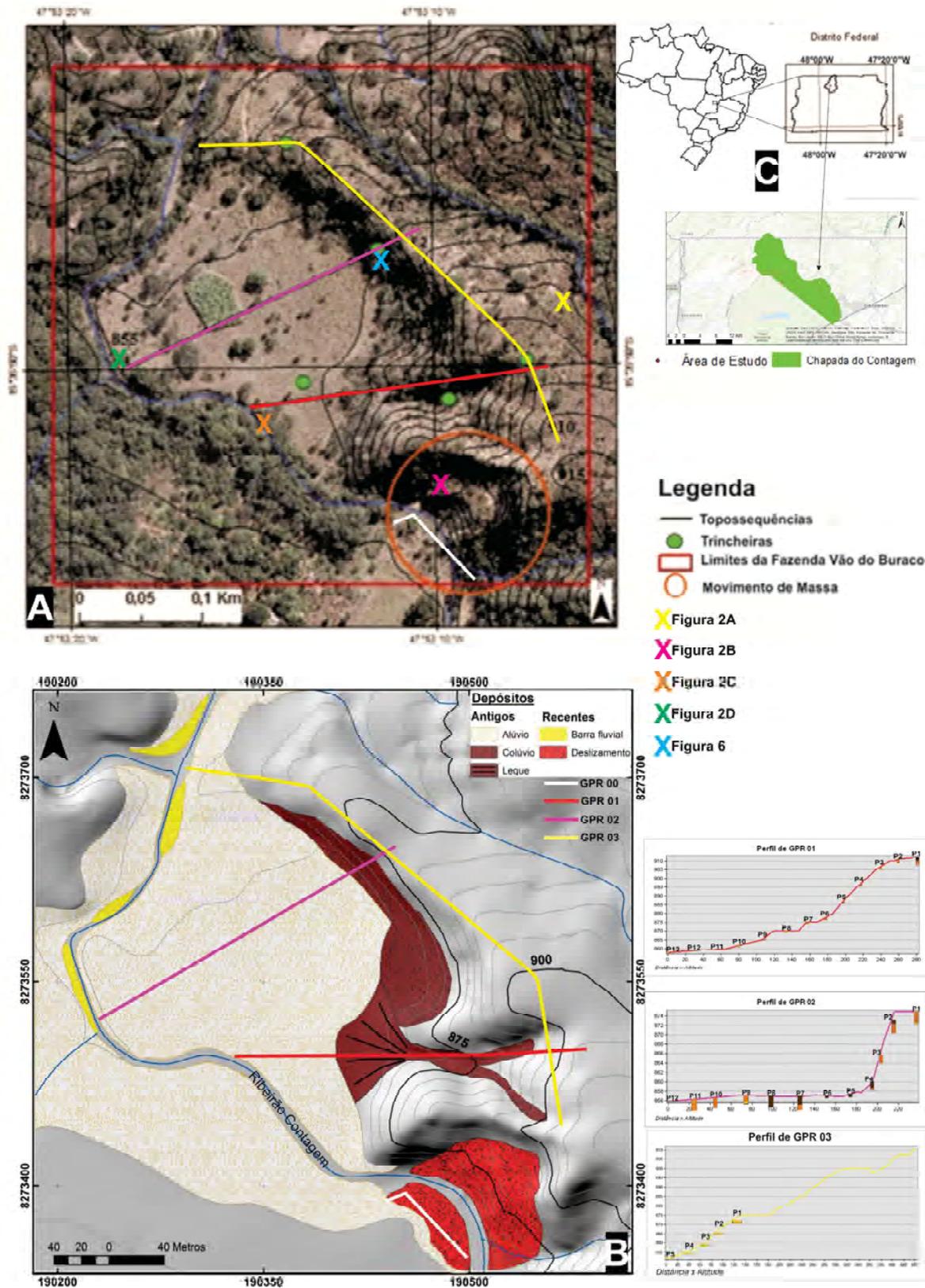


Figura 1 - A) Carta imagem da Fazenda Vão do Buraco, bacia do Ribeirão Contagem; B) Mapa de depósitos sedimentares proposto por Braga et al. (2018). Na carta imagem e no mapa de depósitos têm-se os perfis de GPR aqui empreendidos, bem como as fotos ilustrativas dos materiais estudados; C) Localização da Fazenda Vão do Buraco, Chapada do Contagem, Região Administrativa da Fercal, Distrito Federal, Brasil.

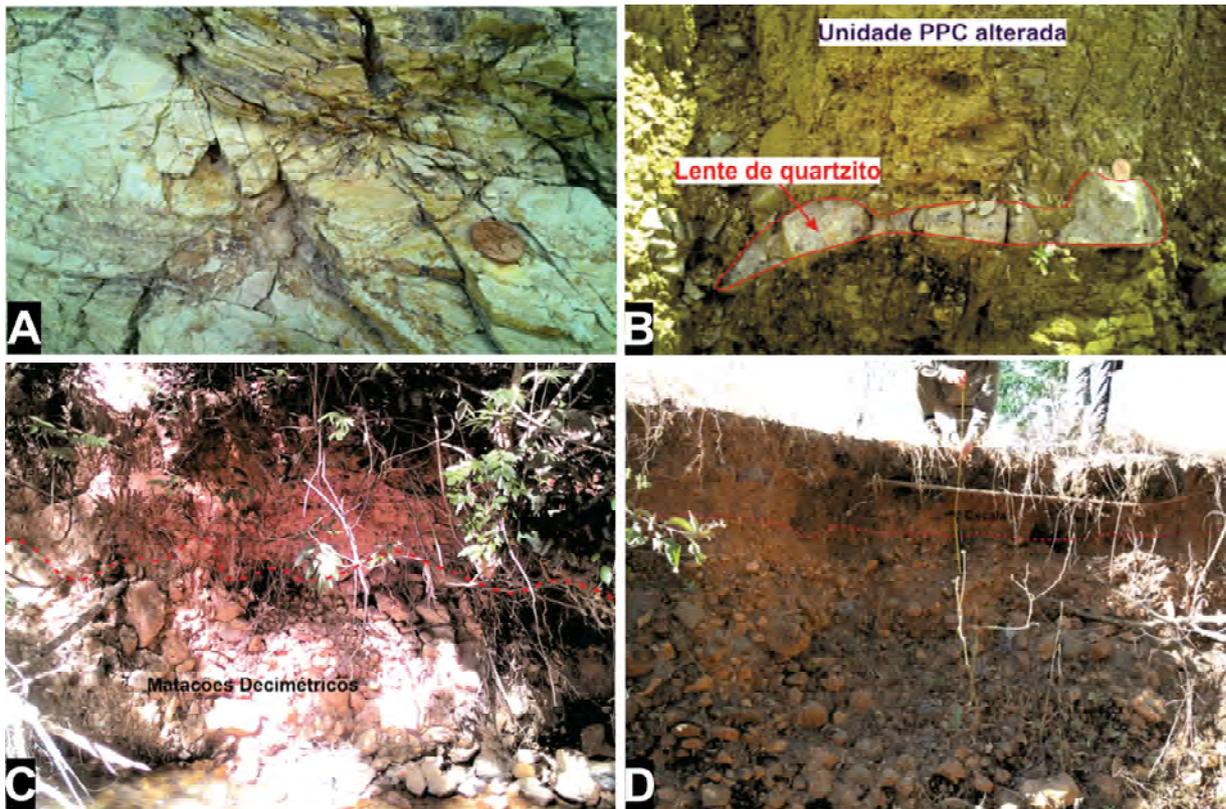


Figura 2 - A) Afloramento de rochas nas áreas de cota mais elevadas, com baixo grau de intemperismo; B) Saprolito com fragmentos de quartzitos com alguns minerais micáceos; C) Foto apontando o perfil com depósito aluvionar centimétrico sobreposto ao aluvião com matacões decimétricos, com maior grau de detalhe; D) Foto apontando o perfil com material aluvionar mais fino sobreposto ao aluvião de granulação decimétrica.

Em geral, os depósitos na calha do Ribeirão Congatem, conforme apresentado na Figura 1, distribuem-se em: massas de solo movimentadas por deslizamentos rotacionais recentes; sedimentos fluviais depositados em barras fluviais recentes; sedimentos depositados em leque aluvial; sedimentos coluvionares; e sedimentos aluvionares.

Materiais e Métodos

As etapas metodológicas foram subdivididas em campo e processamento de dados. Anteriormente, amostragens diretas foram feitas por Braga *et al.* (2018) em diferentes pontos da topossequência que, juntamente com as tradagens e dados de descrição de trincheiras, validaram os dados adquiridos por GPR e processados posteriormente. Na figura 3 apresentamos o fluxograma com as etapas de planejamento, atividades de campo e processamento de dados que são descritas a seguir.

Nos trabalhos executados anteriormente (Braga *et al.*, 2018), foram escolhidas encostas com formas distin-

tas, quais sejam: concavidade aberta (E1), concavidade fechada (E2) e convexidade (E3). Neste trabalho, a encosta E1 corresponde ao perfil de GPR 01, E2 ao perfil de GPR 02, e E3 ao perfil de GPR 03. No perfil GPR 01 foram utilizados dados de 13 pontos de tradagem, mas apenas três tiveram seus dados de textura correlacionados ao trabalho devido à relevância de seu posicionamento (P1; P8; P13). Deste modo, todos os pontos de tradagem realizados na encosta em questão foram plotados conforme Figura 7.

A ferramenta GPR apresenta seus dados como uma resposta da propagação das ondas eletromagnéticas na forma de imageamento de representação de descontinuidades elétricas, frente à propagação e reflexão das ondas que são plotadas em um radargrama. É feita então uma identificação de padrões representativos destas descontinuidades na forma de agrupamento de respostas associadas a um padrão de reflexão, correlacionado com o alvo a ser identificado. Como resultado é possível identificar feições do solo e da rocha, bem como a interface entre os dois, além das diferentes litologias e objetos ou corpos estranhos a elas (Figura 4).

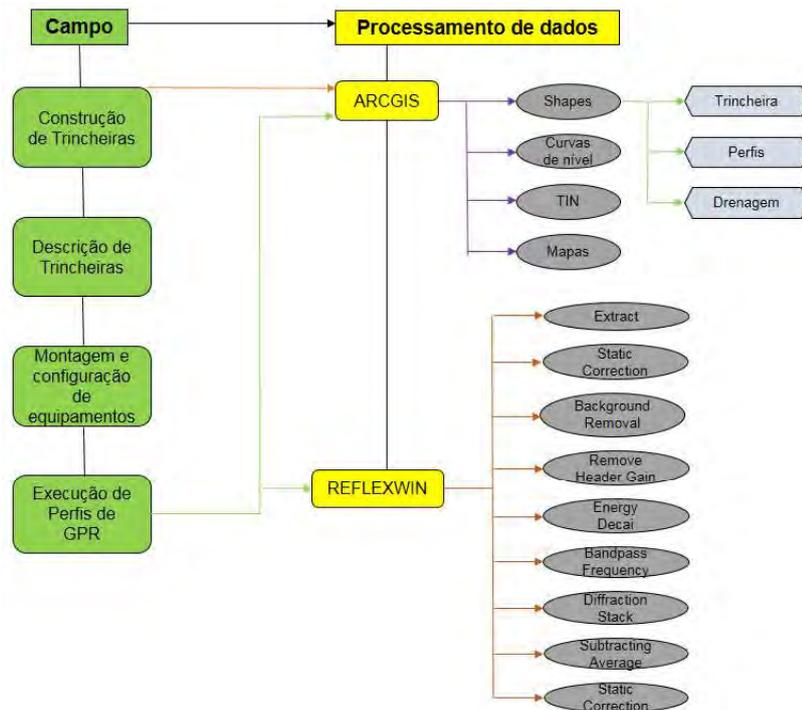


Figura 3 - Fluxograma com definição do planejamento de atividades de campo e processamentos de dados.

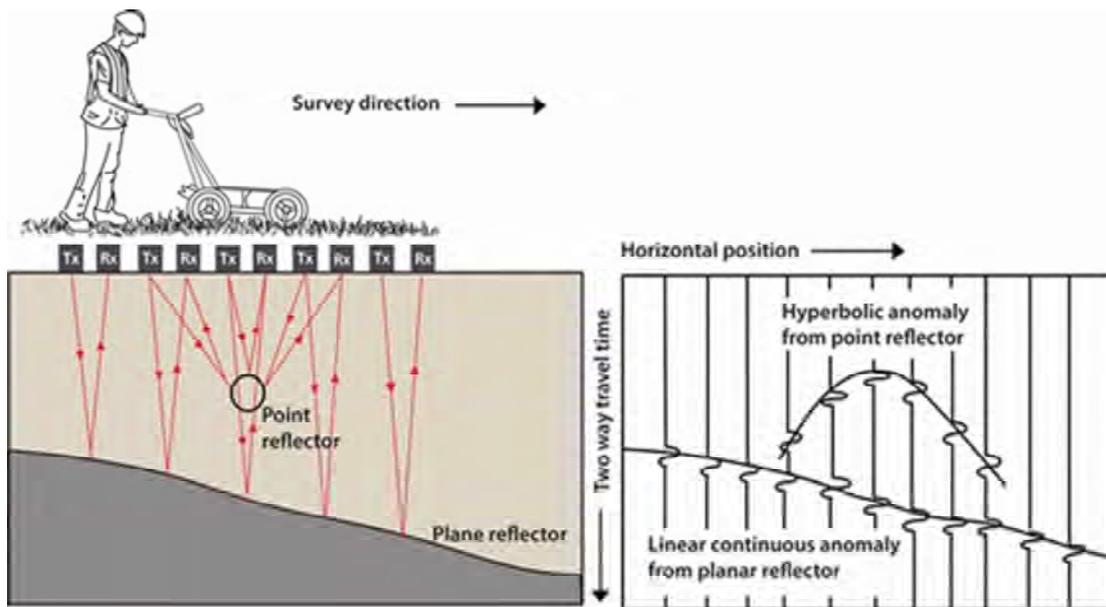


Figura 4 - Aplicação do método GPR. Fonte: Scantech Geoscience, 2017.

Grande parte dos sistemas de GPR comerciais fazem uso de antenas transmissoras e receptoras semelhantes a dipolos (Grumman, 1995) que irradiam ondas eletromagnéticas com a componente do vetor campo elétrico orientada de forma paralela ao eixo das antenas. As ondas emitidas são consideradas linearmente polarizadas devido às direções dos campos elétrico e magnético, permanecendo constantes durante a propagação do sinal.

Na presente pesquisa, fez-se uso do GPR da marca GSSI, modelo SIR 3000, com Rugged Survey Cart e unidade de controle. Utilizou-se antena de frequência central de 400Mhz e aquisição em distância no modo *constant offset*. Os parâmetros básicos de aquisição foram os mesmo para todos os perfis, com amostras por Traço (*sample*) de 1024 e janela temporal (*range*) de 150ns, alcançando 5 metros de profundidade de investigação em média.

Foram realizados cálculos para estimar a velocidade da onda de radar no meio, permitindo converter o tempo duplo de reflexão em profundidade, bem como verificar se o refletor de subsuperfície é proveniente de alvo geológico ou de interferências superficiais, seguindo os procedimentos de Borecka *et al.* (2015). Assim, para o cálculo de velocidade (v), na etapa campo foi instalada uma barra de

metal em trincheira (Figuras 5 e 6), com altura (h) e tempo que a onda demorou em ser emitida, refletida e captada (t) conhecidas e aplicadas na equação (1) que se segue:

$$V = \frac{2h}{t} \quad (1)$$



Figura 5 - Fotografia demonstrando o procedimento para o cálculo de velocidade.

Os cálculos de velocidade foram feitos para a base, o meio e o topo da encosta, na profundidade de 50 cm em cada nível, visando melhores interpretações. Os valores obtidos na etapa laboratório foram 0,0787m/ns para a base (Figura 7A), de 0,063 m/ns para o meio (Figura 7B) e 0,0864 m/ns para o topo (Figura 7C). Os alvos para o cálculo de velocidade, da base e do meio, foram instalados respeitando a distância de 30cm de profundidade com medições feitas a partir de uma trena. A profundidade para o topo foi de 50 cm.

O processamento de dados é uma das fases da pes-

quisa com maior impacto sobre os resultados e produtos finais. Ao longo das últimas décadas, os autores que trabalharam com GPR têm adotado diferentes processamentos nesta etapa, mas muitos dos trabalhos com GPR para o estudo de solos e sedimentos aplicaram somente correções estáticas. No trabalho de Mason (2017), na investigação de materiais coluvionares em paredes suspensas, foi aplicado o seguinte procedimento seguido quase na íntegra no presente trabalho: correção estática, remoção de fundo, ajustes de ganho e adaptação de velocidade para conversões de profundidade de tempo.

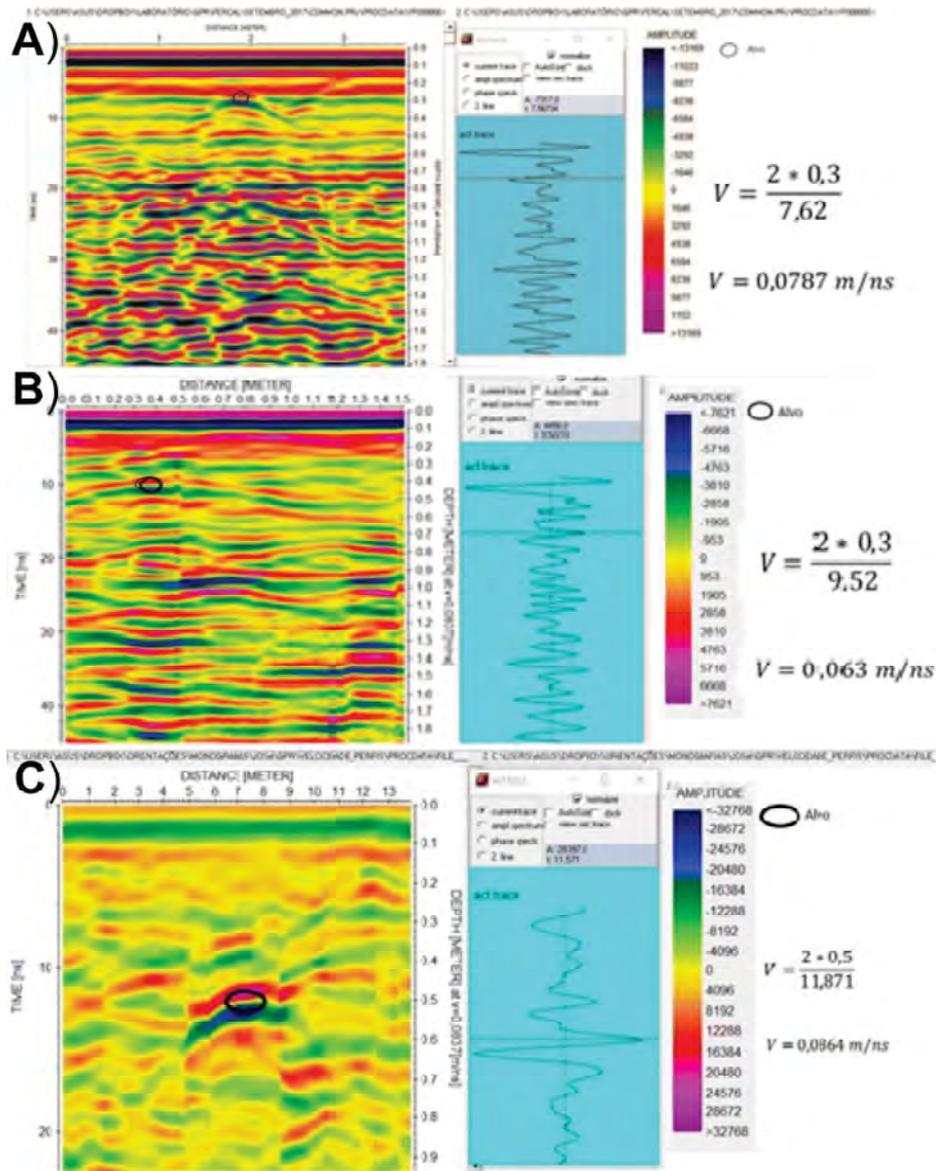


Figura 6. Alvo (barra de metal) visualizada como alvo no software Reflexw, para cálculo de velocidade da base (A), do meio (B) e do topo(C).

Os perfis de reflexão foram processados utilizando-se o software ReflexW, com os seguintes procedimentos: *Static correction*, para eliminar o efeito da onda direita e realizar a correção do tempo zero. Este tipo de correção, já utilizado por Van Dam (2012) em bancos de areia da Nova Zelândia, visa atribuir à onda aérea o valor de tempo igual à zero, ou seja, corresponde à superfície onde o levantamento é realizado; *Remove Header Gain*, cujo processamento atua em cada traço de forma independente, além de amenizar as curvas das hipérbolas digitalizadas no arquivo, permitindo uma suavização destas para melhor visualização das estruturas reais; *Background Removal* (que faz parte dos filtros especiais em 2D), que funciona como um filtro

de “passa alta” (ambos procedimentos já utilizados por VAN DAM, 2012 e MASON, 2017, visando remover as reverberações das antenas de baixa frequência e realçar os refletores pontuais e inclinados); *Energy Decay*, que é um ganho de frequência que serve para compensar a decomposição energética com o tempo, também utilizado no processamento de dados de Carpentier et al. (2012), para a identificação de estruturas de deformação em sedimentos Quaternários; *Bandpassfrequency*, que funciona como um equalizador, eliminando frequências abaixo e acima de um corte definido; *Migration, no modo Diffraction Stack*: uma aplicação do operador integral de Kirchhoff a um conjunto de traços eletromagnéticos, onde se supõe existir

apenas reflexões primárias com base em modelos com velocidades conhecidas. Segundo Van Dam (2012) tal procedimento serve para a correção do espalhamento geométrico, onde se aplica a função peso apropriada aos dados de entrada durante a integração; e, *Spectrum Spikes*, adequado para suprimir ruídos de monofrequência em cada traço isoladamente. Por fim para correção topográfica foi utilizado a ferramenta static correction para transformação de velocidade em profundidade no perfil a cada 10 metros lineares.

Foram tomadas algumas precauções ao executar o perfil com o carrinho, seguindo as indicações de Koppelman (2009), que indica que o PRI e a quantidade de empilhamento afetam a velocidade com que o GPR pode ser movido pela superfície. Segundo o autor, o intervalo de amostragem não deve ser maior que 200ps, pois largura de pulso (p) necessária para uma largura de banda de 500 MHz é de 2ns, mas normalmente p é menor para superar os efeitos de ampliação do tempo de subida do pulso, o que reduz a largura de banda (KOPPENJAN, 2009).

Foram realizadas tradagens antes da execução dos perfis também na etapa campo, visando a comparação com os dados de GPR. Em E1 se deram tradagens com espaçamento de 20m. Já para E2 e E3, as tradagens foram executadas a cada 30m. O trado utilizado foi o modelo holandês 1 ½' de diâmetro, e caçamba de 10cm, coletando aproximadamente 600g de solo em cada amostragem, devidamente armazenadas para análise. A classificação de cor se deu utilizando a Carta Münsell, para solo úmido e seco.

De acordo com o posicionamento nas encostas, a coloração e organização nas topossequências, os materiais amostrados foram previamente classificados como colúvios, alúvios e elúvios em análises laboratoriais. Após a análise granulométrica, as informações obtidas foram plotadas em histogramas, classificando os grãos em: argila (< 0,002 mm); silte (>0,002 <0,02mm); areia fina (>0,02<0,2mm); areia grossa (>0,2<2,0mm); e, cascalhos (>2,0mm). Na etapa laboratório fez-se uso do método de pipetagem para análise granulométrica de materiais finos, além do método de peneiramento para materiais grossos; e ainda, uma análise morfológica para a separação de areia fina (E – 0,063mm), apresentada em Braga *et al.* (2018).

Resultados

Como pode ser visto na figura 7, na Encosta 1 na tradagem do Ponto 1 (E1P1), localizado a 905m

de altura do perfil de GPR 01, os primeiros 10cm de tradagem revelaram um material argiloso, de origem coluvionar (E1P1A1 correspondente aos primeiros 10cm de profundidade), que se mantém até 50cm de profundidade, quando começam a aparecer concreções ferruginosas (laterita), que se estendem até 86cm de profundidade (E1P1A2 corresponde ao material argiloso como fragmentos de argila). Por conseguinte, em 94cm de profundidade aparecem fragmentos de quartzo (nível determinado como E1P1A4); e, em 1m de profundidade aumentam as concreções. Em 1,4m, elas passam de milimétricas para centimétricas. Em 1,5m de profundidade o material amostrado começa a apresentar uma alteração de cor para vermelho mosqueado (E1P1A5), que termina em 1,7m com o fim das concreções, no limite com a camada saprolítica. A partir de 1,8m, o material descrito é mais arenoso, poroso e com menor umidade aparente (E1P1A6) (Figura 8A).

Em 2,4m de profundidade, na figura 17, perfil de GPR 01A, a granulometria dos materiais indica variações entre silte e argila, havendo transição para areia grossa até chegar ao nível de cascalhos em 2,8m. Devido às variações de composição do material em 3,3m de profundidade, este volta a apresentasse mais argiloso e com tonalidade avermelhada (E1P1A9), aumentando a presença de água com a profundidade e intercalando areia e argila até 5,1m. Conforme se aproxima do saprolito a composição ultrapassa 90% de argila e apresenta saturação o que pode causar atenuação do sinal de GPR (Figura 8B).

A variação composicional observada na tradagem E1P1A7, no qual o material passa do nível do colúvio para o nível saprolítico, confirma a informação do dado de GPR, onde a amplitude da onda diminui com a profundidade, observando-se estruturas abaixo de 2,5m no perfil de GPR 01E na Figura 8B exposta anteriormente. Tais informações também são confirmadas pela trincheira ao lado (Figura 8C).

No ponto E1P8, na parte média da encosta, a tradagem expõe um solo orgânico fino, composto por raízes e grãos milimétricos de solo seco até 20cm (E1P8A1). Em 50cm, o solo começa a se apresentar desagregado (E1P8A2). Em 60cm, inicia-se uma transição no horizonte e o solo expressa uma cor mosqueada (E1P8A3). Tal variação composicional também indicou diferenças de amplitude no radargrama e foi delimitada na Figura 18, a seguir, na subdivisão GPR 01C.

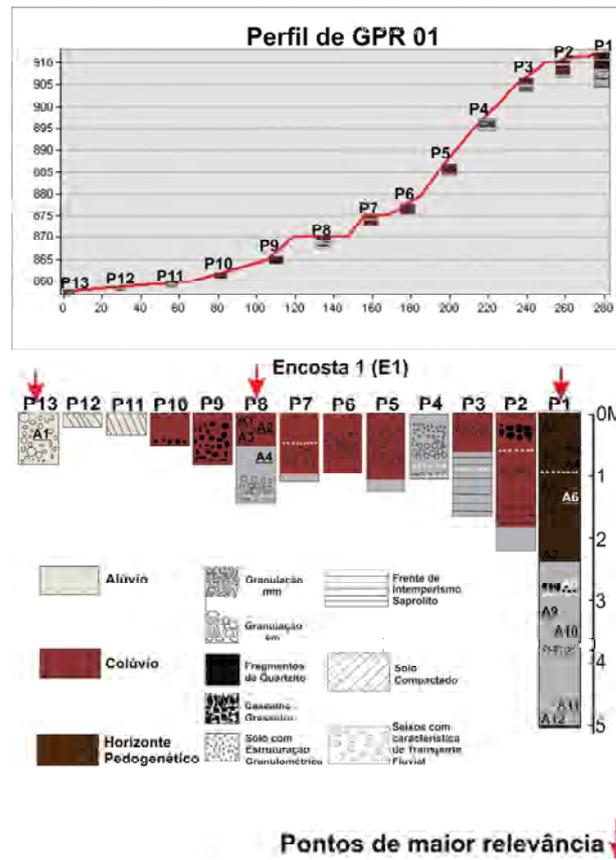


Figura 7 - Toposequência da encosta E1 realizados por Braga et al. (2018) com tradagens plotadas ao longo do perfil de GPR 01.

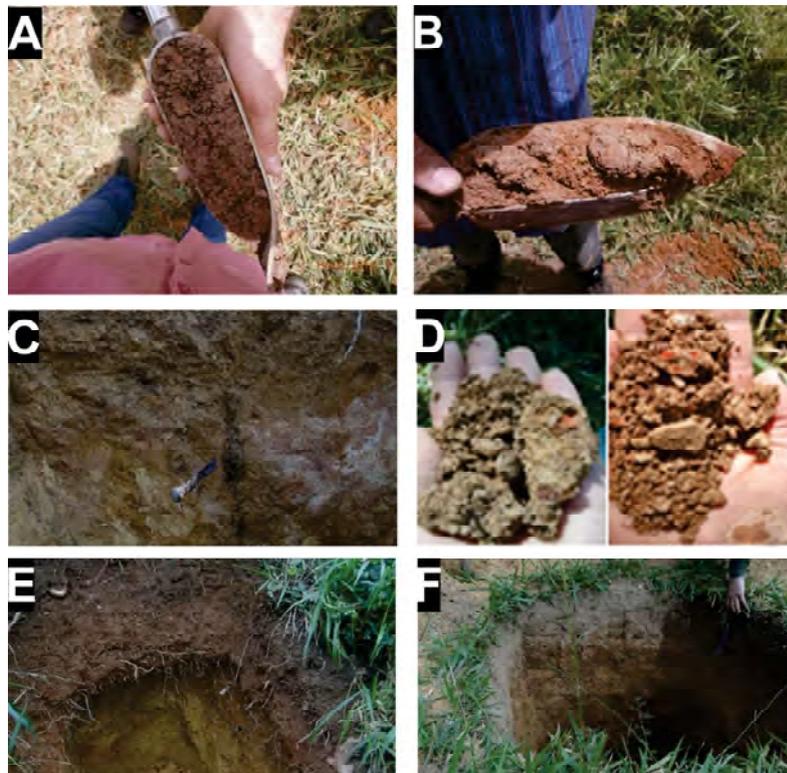


Figura 8 - A) Material arenoso encontrado em 1,8m de profundidade. B) Nível argiloso, a 5,1m de profundidade. C) Foto da trincheira, próxima ao ponto EIP1, onde foi realizado o cálculo de velocidade para o topo. D) Solo mosqueado do ponto EIP8A4. E) Foto da trincheira ao lado de EIP8, marcando o contato entre o colúvio e a unidade Psamo Pelito Carbonatada. F) Imagem apontando a deposição de material de granulometria fina, que aparece em contato com aluvião no radargrama.

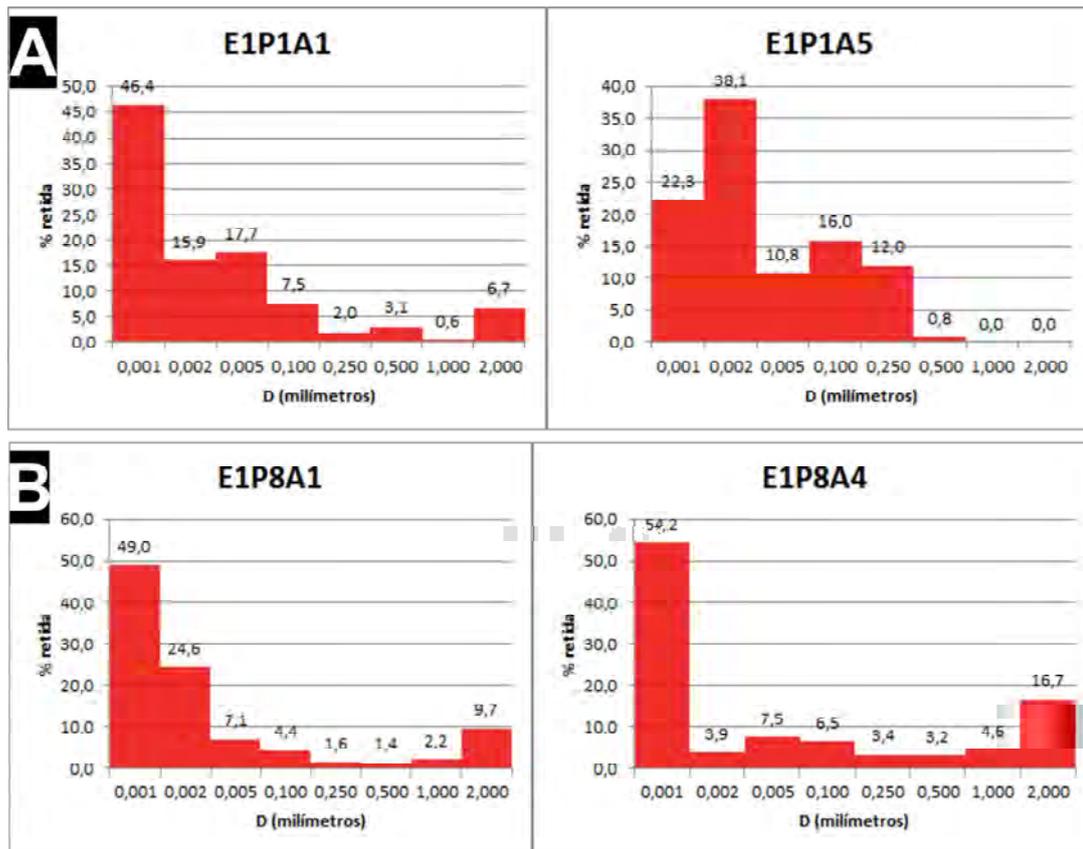


Figura 9 - A) Histogramas dos níveis A1 e A5 evidenciando a variação composicional e granulométrica, onde as frações areia grossa e areia fina desaparecem conforme aumenta a profundidade. B) Histogramas dos níveis A1 e A4 evidenciando a variação composicional e granulométrica, onde as frações argila, areia fina e areia grossa aumentam com profundidade, enquanto se tem uma supressão da fração silte.

Em 1,2m (E1P8A4), tem-se a transição para o solo mosqueado amarelo, com granulometria silte (Figura 8D), no qual foi encerrada a tradagem devido à camada cascalhosa em 1,35m de profundidade. A partir deste ponto o radargrama exibiu um aumento na amplitude da onda eletromagnética, que também está definida na subdivisão GPR 01C. Os dados da trincheira localizada ao lado deste ponto confirmam a categorização do material no radargrama, onde foi demarcado o material coluvionar da superfície até 1,2m. A partir desta profundidade encontra-se unidade Psamo Pelito Carbonatada (PPC) (Figura 8E), guardando poucas informações da sua paragénese mineral original.

No E1P13, já na área de pasto próximo à drenagem até 20cm de profundidade, o solo se apresenta muito seco e compactado, possivelmente trata-se de um cambissolo com presença de plintita. Há 50cm, na vertical, o solo se apresenta relativamente homogêneo, com a presença de cascalho, conforme evidenciado na Figura 2. Aqui, a

tradagem foi rasa devido ao contato com a camada de depósito aluvionar – limite bem definido na Figura 17.

No perfil de GPR 02, Ponto1 (E2P1) – 874m de altura, os primeiros 10cm (E2P1A1) de tradagem manifestaram um solo orgânico, com horizonte A se mantendo até 65cm de profundidade em E2P1A2. O material tem transição gradual até 1,2m, alterando a coloração para amarelo (E2P1A3), e em 1,5m, é encontrado um material desagregado, de coloração amarelada, com areia esbranquiçada.

Os histogramas da Figura 12A demonstraram a variação composicional de acordo com a profundidade, sendo que na análise granulométrica o sedimento apresentou diminuição significativa de argila enquanto que a presença de silte aumentou substancialmente. Tal heterogeneidade indica resposta no radargrama, aumentando a reflectância conforme exposto na Figura 18, a seguir, subdivisão GPR 02C.

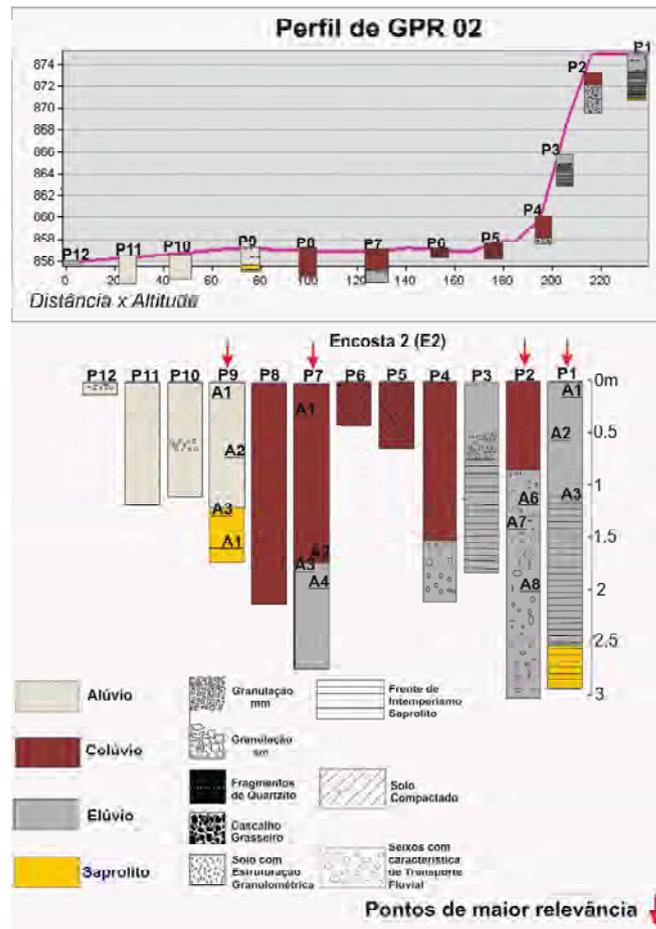


Figura 10 - Toposequência da encosta E2 realizada por Braga (2018), plotadas no perfil de GPR 02.



Figura 11 - A) Material encontrado no ponto E2P1A4, com cor amarela e areia branca, que desaparece em E2P1A6. B) Foto apontando o material pedogenético amarelo com fragmentos brancos.

No ponto E2P2, os 50cm de solo orgânico foram coincidentes com o ponto anterior, mas com fragmentos de couraça laterítica e óxidos amarelados – possivelmente petroplintita (E2P2A1). Conforme se aprofundou a tradagem houve um aumento dos fragmentos das concreções com o interior esbranquiçado, bem como o surgimento de uma quantidade de cascalho expressiva (E2P2A2) e, em 85cm, teve início a transição para o material pedogenético com cor amarela mais forte (E2P2A3). Em 90 cm, havia aumentado a quantidade

deste material (E2P2A4). Em 1m, o material pedogenético amarelo era praticamente homogêneo (E2P2A5), mas, há 1,2m, começaram a aparecer novamente os grãos de concreções amarela (E2P2A6). Em 1,4m, o material era muito duro, misturado à argila e com uma tonalidade de amarelo mais intensa (E2P2A7). Em 2m, surgiu a areia (E2P2A8) e, em 3m, estava definido o contato com a rocha (E2P2A8). Os dados de E2P2 podem ser confirmados pela trincheira ao lado, onde se deu o cálculo de velocidade para o meio (Figura 5).

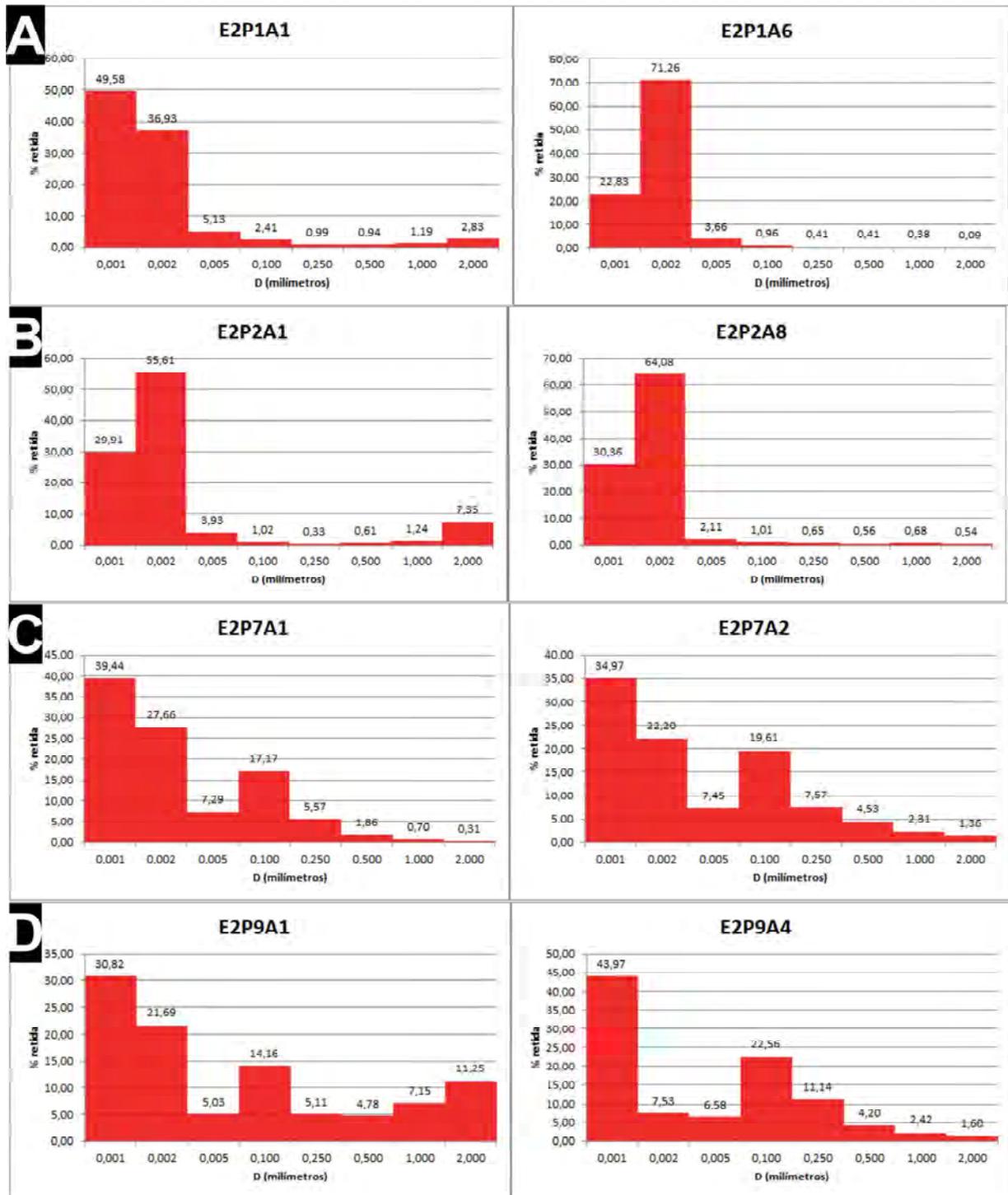


Figura 12 - A) Histogramas de E2P1, dos níveis A1 e A6, apontando a variação composicional e granulométrica, onde as frações areia fina e areia grossa desaparecem conforme aumenta a profundidade e se tem maior compensação na quantidade de silte. B) Histogramas de E2P2, dos níveis A1 e A8, apontando a variação composicional e granulométrica, onde as frações areia fina e areia grossa desaparecem conforme aumenta a profundidade e se tem maior compensação na quantidade de silte. C) Histogramas de E2P7, dos níveis A1 e A2, apontando a homogeneidade composicional e granulométrica, onde as concentrações se mantem ao longo da tradagem. D) Histogramas de E2P9, dos níveis A1 e A4, apontando a variação composicional e granulométrica, onde as frações areia grossa e silte diminuem conforme aumenta a profundidade e se tem maior concentração na quantidade de argila.

O ponto E2P7 está localizado na área de planície, alocado segundo a imagem de radargrama, apresentando uma grande homogeneidade ao longo da tradagem, que é confirmada pela subdivisão da Figura 18, GPR 02A.

Um ponto de relevância na área da planície foi o E2P9, pois ele trouxe informações do contato entre o cambissolo e o material de aluvião, determinado há 1,5m de profundidade, confirmando a imagem do radargrama

na Figura 18. No mesmo perfil também é demonstrado o contato entre o material de média amplitude (solo colúvio-aluvionar) com o material de alta amplitude (cascalho fluvial).

Foram classificados como colúvio apenas os materiais coletados no E2P2 e E2P3 até 90cm de profundidade. Segundo Braga (2015), nestas profundidades foram encontrados materiais provenientes de frente de intemperismo, transportado por ação da gravidade.

Tabela 1: Frações granulométricas das tradagens realizadas em E1 e E2.

Dados de Granulometria de E1.										
	Profundidade	Passados						Colúvio		
		7,620	2,000	1,000	0,500	0,250	0,100	0,053	0,002	0,001
P1A1	10,000	100,000	93,285	92,713	89,564	87,519	80,002	62,352	46,410	0,000
P1A2	70,000	100,000	95,320	93,275	90,643	85,843	80,420	59,320	45,540	0,000
P1A3	150,000	100,000	100,000	98,368	97,809	85,240	73,427	56,002	22,657	0,000
P1A4	350,000	100,000	99,454	98,763	96,978	86,874	71,562	64,874	23,576	0,000
P1A5	510,000	100,000	100,000	100,000	99,243	87,254	71,265	60,422	22,345	0,000
P8A1	20,000	100,000	90,270	88,064	86,669	85,080	80,669	65,000	49,009	0,000
P8A2	50,000	100,000	86,693	82,733	77,664	72,331	63,988	54,589	51,912	0,000
P8A3	60,000	100,000	92,813	90,130	87,526	84,792	80,573	64,000	32,398	0,000
P8A4	120,000	100,000	83,331	78,780	75,619	72,170	65,704	58,184	54,242	0,000
P13A1	80,000	100,000	98,285	96,463	93,998	88,774	69,028	61,071	35,178	0,000

Dados de Granulometria de E2.										
	Profundidade	Passados						Colúvio		
		7,620	2,000	1,000	0,500	0,250	0,100	0,053	0,002	0,001
P1A1	65,000	100,000	97,166	95,976	95,041	94,049	91,640	86,511	49,581	0,000
P1A2	90,000	100,000	86,990	84,998	84,031	83,298	81,481	77,262	46,874	0,000
P1A3	120,000	100,000	95,494	94,492	93,547	92,740	90,403	85,452	52,851	0,000
P1A4	150,000	100,000	92,138	90,901	90,135	89,458	87,073	82,273	49,382	0,000
P1A5	250,000	100,000	100,000	99,635	99,354	99,017	98,287	97,790	36,173	0,000
P1A6	290,000	100,000	99,913	99,530	99,120	98,709	97,752	94,088	22,832	0,000
P2A1	50,000	100,000	92,653	91,415	90,809	90,479	89,461	85,526	29,911	0,000
P2A2	70,000	100,000	84,536	82,695	81,701	80,891	79,271	74,227	35,420	0,000
P2A3	85,000	100,000	95,418	93,674	92,847	92,196	90,777	87,023	35,826	0,000
P2A4	90,000	100,000	97,933	95,564	93,910	93,056	91,265	87,104	37,669	0,000
P2A5	100,000	100,000	97,382	95,959	95,589	95,305	94,394	91,577	45,043	0,000
P2A6	120,000	100,000	98,563	97,845	97,037	96,348	95,001	91,858	52,356	0,000
P2A7	140,000	100,000	99,411	98,587	97,880	97,203	95,672	92,405	49,020	0,000
P2A8	200,000	100,000	99,464	98,788	98,224	97,575	96,560	94,446	30,364	0,000
P7A1	180,000	100,000	99,694	98,998	97,133	91,566	74,393	67,101	39,443	0,000
P7A2	270,000	100,000	98,643	96,332	91,799	84,232	64,624	57,173	34,975	0,000
P9A1	125,000	100,000	88,747	81,598	76,814	71,704	57,543	52,514	30,824	0,000
P9A2	160,000	100,000	100,000	99,276	96,771	81,654	52,951	46,798	24,694	0,000
P9A3	170,000	100,000	99,120	98,126	95,571	85,605	59,625	52,669	37,252	0,000
P9A4	175,000	100,000	98,402	95,982	91,781	80,639	58,082	51,507	43,973	0,000

Conforme se avança da planície para a encosta, sentido OSO para ENE, a quantidade de areia fina aumenta significativamente, conforme é indicado nos histogramas da figura 12. Altas concentrações de silte e argila são mantidas e desaparecem no E2P10 bem próximo à drenagem. Enquanto isso há uma quantidade de areia em ordem crescente desde E2P4 até E2P11, com duas quebras de continuidade desde

E2P8 até E2P12, que também ocorre no perfil de GPR 02A, podendo ser observado na Figura 18, a seguir.

A encosta E3 apenas é coincidente com o perfil de GPR 03 em seu 145m finais, com base em cinco pontos de tradagem na encosta. Em E3P1A1, nos primeiros 65cm de profundidade, foi extraído cambissolo vermelho amarelo, argiloso e com cascalho de espessura milimétrica.



Figura 13 - A) Solo argiloso do ponto E3P1A1. B) Solo esbranquiçado com presença de cascalhos milimétricos do ponto E3P3A1. C) Barranco do ponto E3P4 ao lado da drenagem.

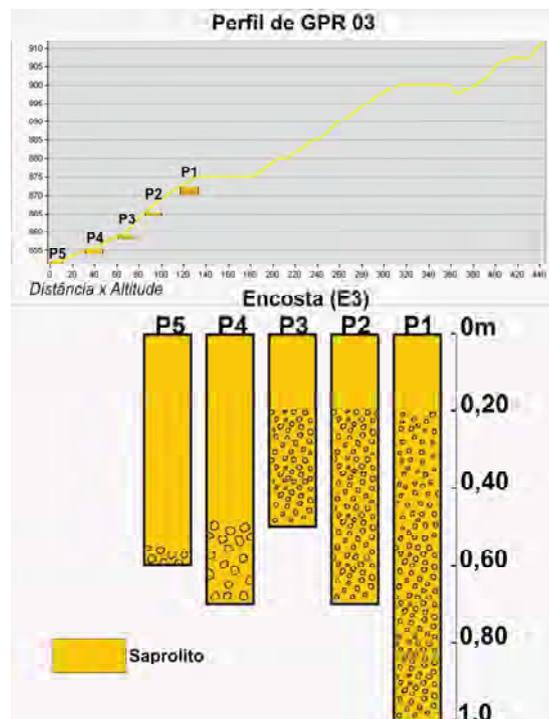


Figura 14 - Toposequência de E3.

Na média encosta, nos primeiros 20cm de E3P3 foi tradado um solo cinza claro. Em 30cm, o solo ficou mais esbranquiçado e, em 50cm, alcançou-se o contato entre o solo e a frente de intemperismo

(E3P3A1). Na área de barranco da drenagem em E3P5, até 60cm havia um solo muito argiloso com fragmentos de cascalho, que foi confirmado como sendo saprólito.

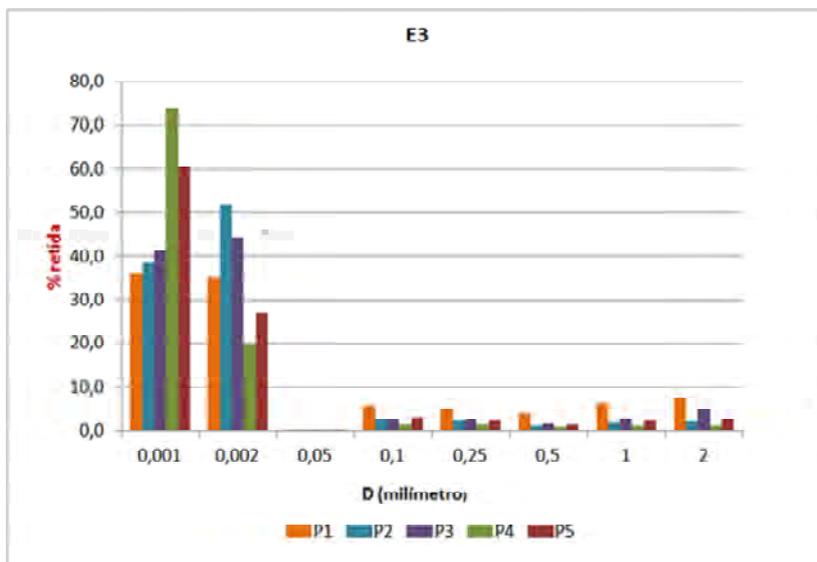


Figura 15 - Histograma de E3, demonstrando o predomínio de material da fração silte e argila.

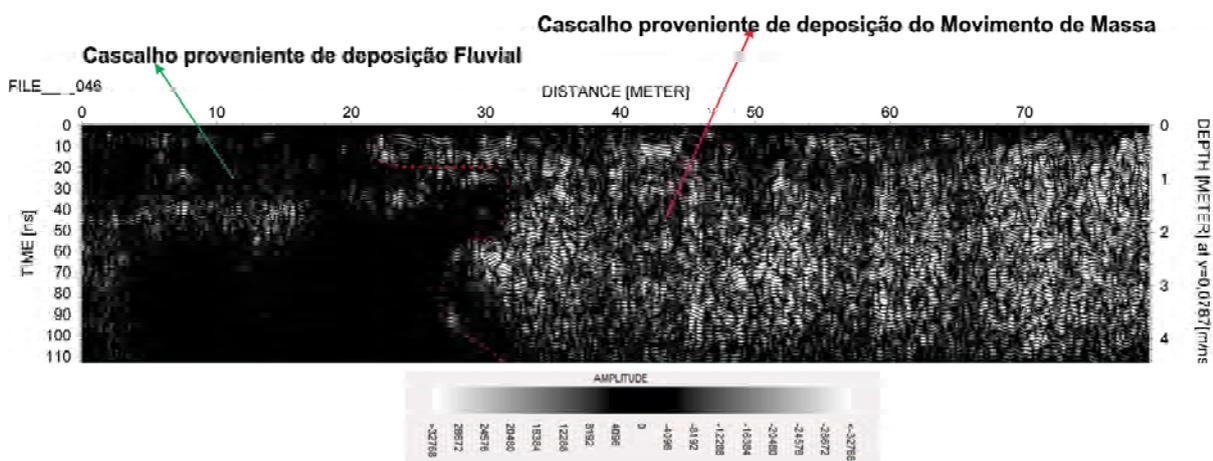


Figura 16 - Perfil de GPR 00 ao lado do movimento de massa, com 80m de extensão, com quebra abrupta na continuidade de material com alta amplitude de reflexão.

Devido à estruturação e granulometria dos materiais analisados (aluvião/coluvião), foram obtidas resposta distintas no radargrama. Os sedimentos fluviais restringem-se às calhas fluviais ou à paleoanais, sendo bem selecionados e arredondados. Estas características são correspondentes a regiões de cabeceiras mais elevadas e de maior energia fluvial (BRITO *et al.*, 2009; SOUZA *et al.*, 2006). O material da planície de inundação também é composto por (silte/argila). Os colúvios, em geral, são transportados

somente por ação da gravidade, podendo esta ser combinada com águas meteóricas, sendo dispostas ao longo das encostas de montanhas, serras ou morros, apresentando características das rochas matrizes ou minerais secundários (ALLABY & ALLABY, 2003; KLEBER, 2006, ROGERS & CHUNG, 2016). Em todas as imagens de radargrama (Figuras 17, 18, 19 e 20), é possível observar uma homogeneidade entre 1 e 2m de profundidade – nível onde se estabelece o material coluvionar.

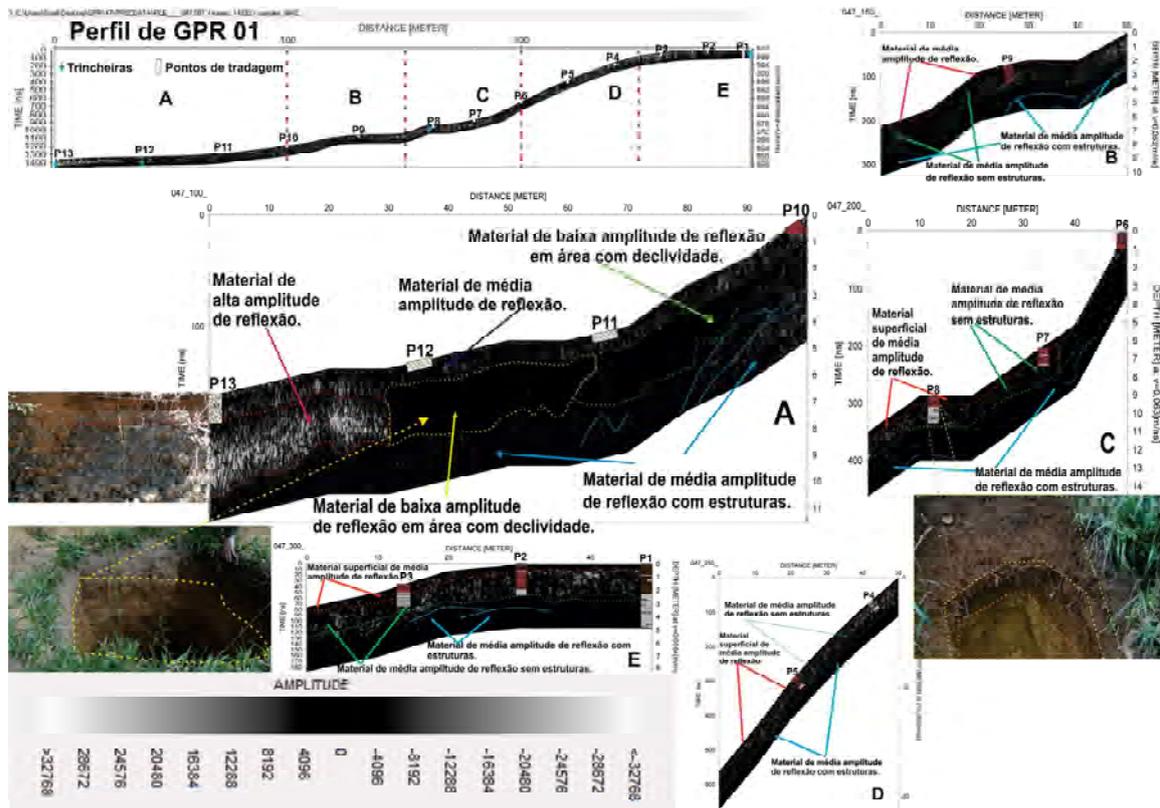


Figura 17 - Perfil de GPR 01, com 298m de extensão, subdividido em cinco partes assimétricas.

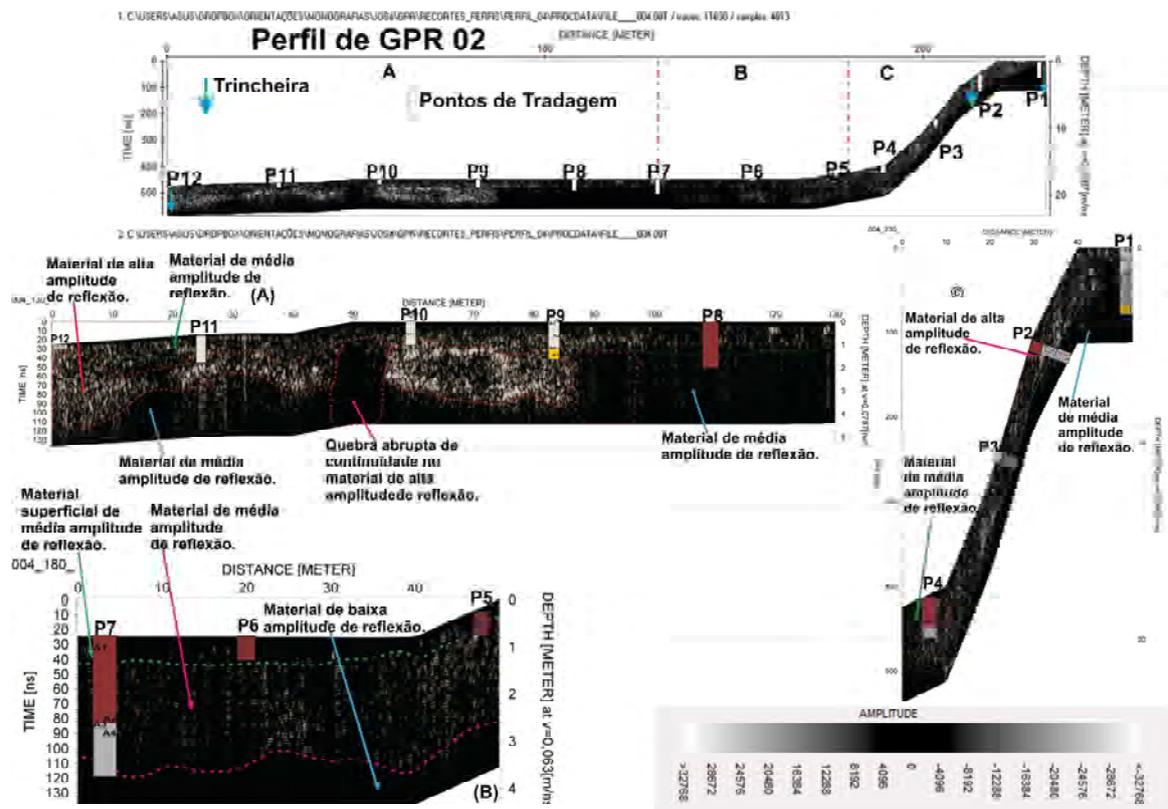


Figura 18 - Perfil de GPR 02 com 246m de extensão, subdividido em três partes assimétricas.

Em níveis abaixo de 2m de profundidade, todos os radargramas apresentam heterogeneidade nas imagens devido as descontinuidades dos materiais. Nos perfis de cotas mais baixas na topografia do terreno, no qual se espera encontrar material aluvionar, a heterogeneidade

no material representado pelo radargrama (muitos alvos difusos com alta reflectância) é diferente dos perfis realizados nas cotas mais altas do terreno (alvos concisos com alta reflectância), em que se espera encontrar saprolito ou rocha com baixo grau de intemperismo.

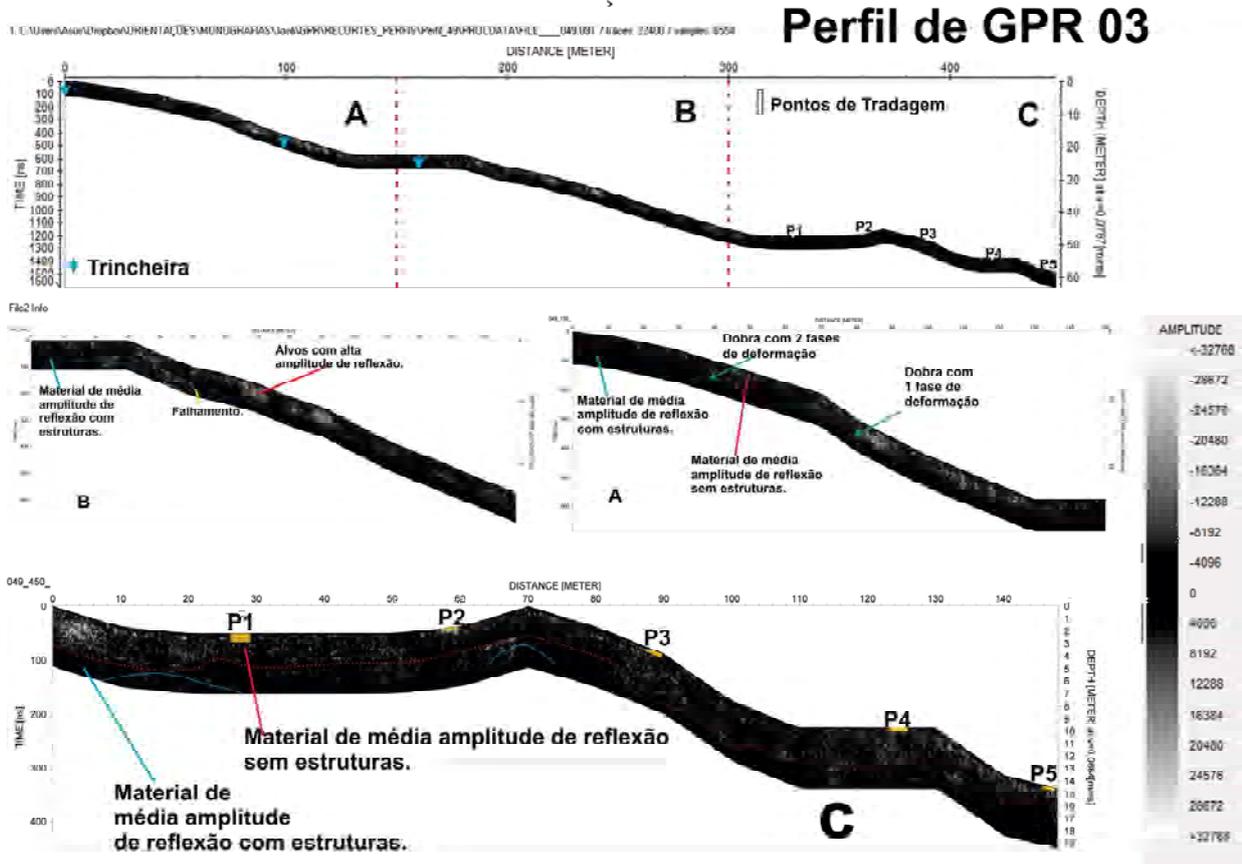


Figura 19 - Perfil de GPR 03 com 448m de extensão, subdividido em três partes de 150m.

Discussões

Para análise de classificação dos materiais sedimentares, convencionou-se denominar o material que apresentou reflectância entre 0 e 8192MHz de baixa, 8193 a 28672MHz de média, e as reflectâncias acima deste valor de altas. Uma vez que o coeficiente de reflexão da onda eletromagnética depende principalmente da diferença de permissividade entre o alvo e meio adjacente a ele, quanto maior a diferença, mais forte será o coeficiente de reflexão e também o sinal do alvo recebido pela antena (JIN, 2013).

No perfil de GPR 00 (Figura 16), a reflectância dos materiais com limites muito bem definidos sugere que o aluvião depositado no leito da drenagem foi cortado abruptamente pelos cascalhos despejados pelo movimento de massa (Figura 1), com alta energia (HUNGR,

2001), conforme observado pelo fluxo de detritos com um contato muito bem definido delineado na Figura 16.

O perfil de GPR 01 apresentado na Figura 17 possui uma extensão horizontal de 298 m, com início do radargrama da margem da drenagem (utilizada como trincheira) e final no topo da encosta. É possível observar logo no início do perfil um material com alta amplitude de reflexão que está sotoposto estratigraficamente a um material de média amplitude, com um limite muito bem definido na marca de 30m do perfil. Este, segundo descrições feitas no corte do perfil (Figura 2D), corresponde ao cascalho fluvial grosseiro que foi transportado por uma fonte fluvial de alta energia e apresenta cascalhos e matacões arredondados, com alto grau de angulosidade, com um desgaste uniforme e contemporâneo (BARTHOLOMA *et al.*, 1998).

O material que se sobrepõe à camada descrita anteriormente possui média amplitude de reflexão e, segundo informações de trincheira (Figura 2D) e tradagens (Figura 8), é composto por uma mistura de material de aluvio e colúvio, com cascalho, silte e argila, podendo ocorrer de forma mais comum pela descida de material de topografias mais altas para mais baixas ou até mesmo pela reativação de falhas (THAKKAR *et al.* 1999; CREMEENS *et al.* 2003; BETTIS, 2003).

Após os 30m iniciais do Perfil 01, é possível observar um contato bem definido entre o material de alta amplitude de reflexão e o material de baixa amplitude de reflexão (marcado pelo cascalho grosseiro descrito na Figura 2D, e o material descrito na trincheira E1P12). Tal contato corresponde ao limite entre o colúvio e a antiga calha fluvial onde foi depositado o material de aluvião, decorrente de períodos de transbordamento da drenagem, provocando a deposição do material lamoso, com silte, argila e pouca areia fina. Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Chowksey *et al.*, (2011) que aplicou um sistema de processamento um pouco mais simplificado, mas conseguiu identificar calhas fluviais e depósitos colúvios-fluviais no oeste da Índia, reportando os sedimentos aluviais como refletores de alta amplitude. O autor verificou que quanto menor a granulometria do sedimento mais baixa é a amplitude da onda refletida.

Em síntese, as três reflectâncias com variação horizontal abaixo de 1m de profundidade no Perfil 01A (Figura 17), delimitam o depósito aluvial que tem início na margem de drenagem e se estende por 30m. Tal terraço fluvial, segundo Ballais (1995) pode ter se formado durante um período climático de maior umidade, com material fluvial misturado ao material coluvionar de granulometria variável, devido à abundância de lama e o caráter não ordenado do sedimento produzido (BLAIR, 1999), demarcado na Figura 1.

O perfil de GPR 02 (Figura 18), apresenta estruturação semelhante ao Perfil 01, com início na margem da drenagem e fim no topo da encosta com concavidade fechada. Nos primeiros 100m, é possível observar da base para o topo uma variação granulométrica nas respostas dos materiais. Na área de planície o material sedimentar apresenta resposta de média amplitude de reflexão, sem organização estrutural, com quebras de continuidade, que correspondem ao aluvião do leito do rio, composto por cascalho grosseiro, areia e silte. Subindo a encosta há materiais com alta amplitude de

reflexão, sem estruturação clara e com quebras de continuidade, representando o material depositado na área de maior energia, composto por cascalhos grosseiros e até matacões de quartzitos.

O material com alta amplitude de reflexão apresenta uma quebra de continuidade abrupta, destacada na subdivisão da imagem 02A, que foi interpretada como estrutura de rio anastomosado, ou um meandro abandonado, onde mais de um canal pode ter cortado o relevo ao longo da evolução da paisagem. Esta estrutura produziu uma clara interface de reflexão que já foi pesquisada por Okazaki *et al.* (2013), em pesquisas de campo e ensaios laboratoriais. Tal estrutura é convergente com a descrição granulométrica da pesquisa realizada por Braga *et al.* (2018), que descreve a área plana deste perfil como uma sequência de materiais areno-argilosos, entrecortados por uma linha horizontal de seixos arredondados de granulometria milimétrica a centimétrica, sotopostos a linhas de seixos de calha fluvial que variam entre centimétricos e métricos.

No Perfil 02B, a partir de 1m de profundidade, as ondas eletromagnéticas apresentam baixa amplitude de reflexão em um material sem estruturas e sem a presença de cascalhos. Tal camada foi descrita na trincheira como área de terraço, com sedimento na fração silte e argila. Tais pontos E2P8 e E2P12, foram tidos como “outliers” devido à baixa quantidade de areia.

Na quebra de relevo do Perfil 02C (Figura 18) entre 180 e 190m de perfil, tem-se uma descontinuidade do material com uma interdigitação entre dois materiais com amplitudes pouco distintas. Estes foram classificados como depósito aluvio-coluvionares (Figura 1), no qual este último cria uma estrutura no formato de rampa. O colúvio está organizado na forma de teto, semelhante às estruturas de falhas geológicas, mas com a diferença de que a estrutura se deu por deposição de um material sobre o outro. A gênese desta estrutura fora descrita por Bigarella & Mousinho (1965). Tal contato é bem marcado no mapa da Figura 1.

O perfil de GPR 03 (Figura 19) foi subdividido em três partes de extensões equidistantes. Apresenta duas áreas de médias amplitudes bem delimitadas, uma marcando a frente de intemperismo na rocha, e a outra apontando a rocha fresca com mergulho claro, que contribuem para o controle estrutural do relevo.

Conforme aumenta a declividade do terreno, o material saprolítico fica mais próximo à superfície de-

monstrando estruturas da rocha (falhas e dobras), com uma e duas fases de deformação, com respostas claras no radargrama. As estruturas de dobras da Chapada do contagem representadas no radargrama se assemelham as estruturas estudadas por Carpentier *et al.* (2012), que descreveu as dobras do noroeste da Nova Zelândia, identificadas em radargramas, como fácies de reflexão altamente heterogêneas, com reflexões variando de lineares a curvilíneas, sub-horizontais a imersas e contínuas a parcialmente contínuas ou descontínuas.

Nos dois primeiros metros de profundidade do perfil de GPR 03, é visível uma descontinuidade no material, com porções mais claras (relacionados à frente de intemperismo) e porções mais escuras marcando os locais onde os processos pedogenéticos estão mais avançados (formando elúvio). Os resultados apresentados superam as dificuldades apresentadas no trabalho de Aranha *et al.* (2002), que não conseguiu chegar a identificação do manto de intemperismo em uma zona de cisalhamento. As descontinuidades envolvendo a pedogênese podem se dar por variação composicional na rocha que, em grande parte, não é uniforme – em caso de rochas sedimentares, a variação mais comum é devido à ocorrência de lentes. O processo também pode avançar em um ritmo superior nos planos de fraqueza da rocha (clivagem, fraturas e/ou falhamentos).

Abaixo de 2m de perfil, o material apresenta uma continuidade lateral bastante homogênea, com muitas estruturas. Os dados de tradagem e trincheiras não fazem a descrição destas, mas as estruturas são diagnósticas, sendo bem marcadas em rochas que mantem uma quantidade razoável dos minerais primários. Além disso as unidades litológicas da região são conhecidas, tornando possível inferir que existem dobras com uma e com duas fases de deformação que controlam estruturalmente o relevo. Diversas dobras delimitadas na Figura 19 (03A, 03B e 03C), demarcam o grau de convexidade da encosta.

Considerações Finais

A partir resultados obtidos é possível notar diferenças na interação entre as ondas eletromagnéticas e os diversos materiais presentes na área de estudo aqui analisada. Assim, nos materiais de menor variação granulométrica foi possível observar uma menor refletância e refração das ondas eletromagnéticas, devido a atenuação do sinal que ocorre na presença de argila e água (Borecka

et al., 2015). Essa resposta se repete para rochas *in situ* intemperizadas, quando a amplitude da onda aumenta, acarretando em diferentes respostas devido a estruturas (dobras e falhamentos). O aluvião apresenta porções com alta reflectância por possuir uma grande quantidade de alvos de maior fração que o colúvio, correspondentes aos cascalhos fluviais bem selecionados.

Outro fator importante é que as ondas eletromagnéticas alcançam maiores profundidades nas áreas que concentram material aluvionar que nas áreas de rocha intemperizada ou fresca. Tal diferença de profundidade da onda diminui quando comparado com material coluvionar. Em média, a onda eletromagnética com frequência de 400Mhz alcançou 5,4m nos materiais aluvionares e 4,5m no saprólito e rochas intemperizadas, talvez se deva ao fato de uma maior absorção do sinal da onda pelo saprólito que pela rocha sã, ou ao fato da maior quantidade de água no primeiro meio, que poderá abafar o sinal.

Levando-se em consideração a profundidade dos depósitos de materiais que deveriam ser investigados pela pesquisa a antena de 400 MHz se mostrou eficiente. Além de alcançar profundidades satisfatórias, também apresenta boa resolução (quanto menor a frequência, maior a resolução) de modo que uma antena com frequência mais alta não alcançaria os depósitos de aluvio e colúvio, e a antena com menor frequência, também alcançaria materiais que não interessam à pesquisa e com baixa resolução.

As respostas entre os materiais estudados são muito distintas, com padrões de refração, reflexão e polarização da onda eletromagnética divergentes. Neste sentido, foi possível observar que o GPR permite até mesmo fazer inferências de estruturas existentes nas rochas. Portanto, o método se mostrou eficaz na realização da pesquisa para a distinção entre os alúvios e o colúvio com uma evidente riqueza de detalhes em subsuperfície, provando ser o uso do GPR profícuo para os estudos geomorfológicos e sedimentares nos domínios fluviais e de encosta, ampliando a capacidade de investigação da distribuição dos materiais.

Agradecimentos

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Laboratório de Geografia Física da Universidade de Brasília e a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).

Referências Bibliográficas

- ALLABY, A.; ALLABY, M. **A Dictionary of Earth Sciences**. 2 edition: Oxford University Press; page 640, 2003.
- ARANHA, P. R. A. AUGUSTIN, C. H. R. R.; SOBREIRA, F. G. The Use Of GPR For Characterizing Underground Weathered Profiles In The Sub-Humid Tropics. **JOURNAL OF APPLIED GEOPHYSICS**. V. 49 n. 4 p. 195-210, 2002. Doi: 10.1016/S0926-9851(02)00123-4.
- BALLAIS, J. L. Alluvial Holocene Terraces In Eastern Maghreb: Climate And Anthropogenic Controls. **MEDITERRANEAN QUATERNARY RIVER ENVIRONMENTS**. P 183-194. Proceedings Paper. 1995. Doi: 9789054101918.
- BARTHOLOMA, A.; IBBEKEN, H.; Schleyer R. Modification Of Gravel During Longshore Transport (Bianco Beach, Calabria, Southern Italy). **JOURNAL OF SEDIMENTARY RESEARCH**, VOL. 68, NO. 1, JANUARY, p. 138-147, 1998. Doi: 10.2110/jsr.68.138.
- Bettis, E.A., Patterns in Holocene colluvium and alluvial fans across the prairie– forest transition in the midcontinent USA. **Geoarchaeology: An International Journal**, v. 18, n. 7, p. 779– 797 2003. Doi: 10.1002/gea.10087
- BIGARELLA, J.J.; MOUSINHO, M.R. Considerações a respeito dos terraços fluviais, rampas de colúvio e várzeas. **Boletim Paranaense de Geografia**, n.16/17, p.152-197. 1965.
- BLAIR, T. C. Cause of dominance by sheetflood vs. debris-flow processes on two adjoining alluvial fans, Death Valley, California. **SEDIMENTOLOGY**. v. 46 Ed 6 p. 1015-1028. 1999. DOI: 10.1046/j.1365-3091.
- BORECKA, A.; HERZIG, J.; DURJASZ-RYBACKA, M. Ground Penetrating Radar Investigations of Landslides: A Case Study in a Landslide in Radziszów. **Studia Geotechnica et Mechanica**, v. 37, n. 3, p. 11-18 2015. DOI: 10.1515/sgem-2015-0028
- BRAGA, L. **Mapeamento de Feições Erosivas e Rede de Canais no Ribeirão Contagem Distrito Federal**. Espaço & Geografia, v. 20, n. 1 2017. P. 99-121 ISSN: 1516-9375
- BRAGA, L.; CALDEIRA, D.; NUNES, A. HUSSEIN, Y.; MARTINEZ-CARVAJAL, H.; UAGODA, R. Caracterização Geomorfológica e Dinâmica Erosivo-Deposicional de Encostas no Vale Fluvial do Ribeirão Contagem-DF. **Anuário de Geociências da UFRJ**. v. 41 n. 2, p. 51-65. 2018. ISSN 0101-9759
- BRIDGE, J.S., COLLIER, R., ALEXANDER, J., Large-scale structure of Calamus River deposits (Nebraska, USA) revealed using ground-penetrating radar. **Sedimentology**, V. 45, p. 977–986. 1998. Doi: 10.1046/j.1365-3091.1998.00174.x
- BRISTOW, C.S., JOL, H.M., AUGUSTINUS, P., WALLIS, I., Slipfaceless ‘whaleback’ dunes in a polar desert, Victoria Valley, Antarctica: Insights from ground penetrating radar. **Geomorphology** v. 114 n. 3, p. 361–372. 2010. Doi: 10.1016/j.geomorph.2009.08.001
- BRITO, R. N. R.; ASP, N. E.; BEASLEY, C. R. Características Sedimentares Fluviais Associadas ao Grau de Preservação da Mata Ciliar - Rio Urumajó, Nordeste Paraense. **SciELO: Acta Amazônica, Bragança**, v. 39, n. 1, p.173-180, 2009. Doi: 10.1590/S0044-59672009000100017
- CARPENTIER, S.F.A.; GREEN, A.G., DOETSCH, J.; DORN, C.; KAISER, A. E.; CAMPBELL, F.; HORSTMAYER, H.; FINNEMORE, M. Recent Deformation Of Quaternary Sediments As Inferred From GPR Images And Shallow P-Wave Velocity Tomograms: Northwest Canterbury Plains, New Zealand. **JOURNAL OF APPLIED GEOPHYSICS** v. 81 p. 2-15 Edição especial: 2012. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2011.09.007.
- ČERU, T.; DOLENEC, M.; GOSAR, A. Application of Ground Penetrating Radar Supported by Mineralogical-Geochemical Methods for Mapping Unroofed Cave Sediments. **Remote Sens**. v. 10, n. 4, p. 639-664. 2018. DOI: 10.3390/rs10040639
- CHOWKSEY, V.; JOSHI, P.; MAURYA D. M.; CHAMYAL, L. S. Ground Penetrating Radar Characterization Of Fault-Generated Quaternary Colluvio-Fluvial Deposits Along The Seismically Active Kachchh Mainland Fault, Western India. **CURRENT SCIENCE**, v. 100, n. 6, p. 915-921. 2011. Doi: 037068980
- DAVIS, J. L.; ANNAN A.P. Ground penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy **Geophys. Prospect.**, v. 37, n. 5, p. 531-551. 1989. Doi: 10.1111/j.1365-2478.1989.tb02221.x
- FREITAS-SILVA F. H & CAMPOS J. E. G Hidrogeologia do Distrito Federal. In: IEMA. Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal, vol. IV,1998. Brasília, **IEMA/SEMATEC/UnB**, 85p. 1998. DOI: 10.25249/0375-7536.20043414148
- GSSI. Geophysical Survey Systems, Inc., **RADAN for Windows NT**, 22p. 2001.
- HUNGR, O; EVANS, SG; BOVIS, MJ; HUTCHINSON, JN; A review of the classification of landslides of the flow type. **ENVIRON ENG GEOSCI** , (2001). v. 7 n. 3, p. 221 - 238. DOI: 10.2113/gsegeosci.7.3.221
- JIN, S. The Research and Detection Practice of Geological

- Radar Technology. **Advanced Materials Research** v. 838-841 p. 883-888. (2014). Doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.838-841.883
- JOL, HM; BRISTOW, CS; GPR in sediments: Advice on data collection, basic processing and interpretation, a good practice guide. Geological Society Special Publication , 2003. 211 pp. 9-27. 10.1144/GSL.SP.2001.211.01.02.
- JOL, H.M., SMITH, D.G., Ground penetrating radar of northern lacustrine deltas. **Canadian Journal of Earth Sciences**. v. 28 n. 12, p. 1939–1947. 1991. Doi: 10.1139/e91-175
- KLEBER, A., Kolluvium “does not equal” colluvium. **Zeitschrift für Geomorphologie**. v. 50 n. 4, p. 541–542. 2006. DOI:10.1127/zfg/50/2006/541
- KOPPENJAN, S. 2008. Ground Penetrating Radar Systems and Design. In: Jol, H.M. Ground Penetrating Radar Theory and Applications. Elsevier, Amsterdam. p. 73-93.
- MARTINO, S; HUSSAIN, M.B. Resposta em Microtremor de um Movimento de Massa no Distrito Federal, Brasil. ANUÁRIO DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS (UFRJ. IMPRESSO), v. 40, p. 212-221, 2018.
- MASON, J., SCHNEIDERWIND, S., PALLIKARAKIS, A., MECHERNICH, S., PAPANIKOLOAU, I. & REICHERTER, K. Hanging-wall colluvial cementation along active normal faults. **Quaternary Research**. v. 88, p. 39-59, 2017. doi:10.1017/qua.2017.32.
- MESCHEDÉ, M., ASPRION, U. & REICHERTER, K., Visualization of tectonic structure in shallow-depth high-resolution ground-penetrating radar (GPR) profiles. **Terra Nova**. v. 9, n. 4, p. 167-170. 1997. DOI: 10.1046/j.1365-3121.1997.d01-25.x
- NEAL, A. Ground Penetrating Radar and Its Use in Sedimentology: Principle, Problem and Progress. **Earth Science Reviews**, v. 66, p. 261-330. (2004) Doi: 10.1016/j.earscirev.2004.01.004.
- NIELSEN, L., MØLLER, I., NIELSEN, L.H., JOHANNESSEN, P.N., PEJRUP, M., ANDERSEN, T., KORSHØJ, J.S., Integrating ground-penetrating radar and borehole data from a Wadden Sea barrier island. **Journal of Applied Geophysics**. v. 68, n. 1, p. 47–59. 2009. Doi: 10.1016/j.jappgeo.2009.01.002
- OKAZAKI, H.; NAKAZATO, H.; KWAK, Y. APPLICATION OF HIGH-FREQUENCY GROUND PENETRATING RADAR TO THE RECONSTRUCTION OF 3D SEDIMENTARY ARCHITECTURE IN A FLUME MODEL OF A FLUVIAL SYSTEM. In: **Sedimentary Geology**, v. 293, p. 21-29. 2013. DOI: 10.1016/j.sedgeo.2013.04.001
- OLHOEFT, G.R. Direct detection of hydrocarbon and organic chemicals with ground penetrating radar and complex resistivity. Proceedings of National Water Well Association/API Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water, Ohio, p. 284-305. 1986. DOI: 10.4133/1.2921963
- ROGERS, J. D., CHUNG. J. Applying Terzaghi’s method of slope characterization to the recognition of Holocene land slippage. In: **Geomorphology**, V 265 (2016), p24–44.
- SOUZA, A. M.; ARAUJO, V. D.; SANTOS, D. A.; LIMA FILHO, F. P. Nova metodologia para aquisição de geometria (interna e externa) de depósitos fluviais recentes e modelagem determinística 3D: Exemplo do rio Assu. **Revista de Geologia (Fortaleza)**, v. 19, n.1 p. 49-60, 2006.
- THAKKAR, M. G.; MAURYA, D. M.; RAJ, R.; CHAMYAL, L. S. Quaternary Tectonic History And Terrain Evolution Of The Area Around Bhuj, Mainland Kachchh, Western India. **JOURNAL OF THE GEOLOGICAL SOCIETY OF INDIA**. v. 53 n. 5, P 601-610. 1999.
- ULRIKSEN CPF. Application of impulse radar to civil engineering. Doctoral Thesis – Lund University of Technology, 1982. 179 p. Doi: 0016-7622/99-53-5-601
- VAN DAM, R.L., NICHOL, S.L., AUGUSTINUS, P.C., PARNELL, K.E., HOSKING, P.L., MCLEAN, R.F., GPR stratigraphy of a large active dune on Parengarenga Sandspit, New Zealand, **The Leading Edge**. v. 22, n. 9, p. 865–870. 2003. Doi: 10.1190/1.1614159
- VAN DAM R.L. Landform characterization using 62 geophysics-Recent advances, applications, and emerging tools. **Geomorphology**, 2012. Doi: 137:57–73. 63
- WAITE, A. H.; SCHMIDT, S. J. Gross errors in height indication from pulsed radar altimeters operating over thick ice or snow. **Institute Radio Engineers**, v. 50, n. 6, p. 1515-1520. 1962. DOI: 10.1109/JRPROC.1962.288195