



Estudo Geofísico e Geológico dos Arenitos Asfálticos da Formação Pirambóia – Bacia do Paraná

Marco Ceia*, Hilário M. Giro, Kledson Tomaso, Jorge Triguís, A. Abel Carrasquilla, LENEP/UENF, Jandyr Travassos, MCT/OBSERVATÓRIO NACIONAL, Luis S. Cunha Jr. & Antônio C. Almeida, LENEP/UENF

Copyright 2003, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper was reviewed by The Technical Committee of The 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represents 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 aims to show some preliminar results of a geophysical/geological study of asphaltic sandstones that occurs on Pirambóia Formation (Parana Basin), southeast of Brazil. In one outcrop of this basin, Ground Penetrating Radar, well logging and core analysis techniques were applied on a survey, in order to provide a better understanding about stratigraphical and lithological features of such kind of rocks.

With the integrated use of these techniques, it was possible to identify five zones along the borehole and the mapped section, showing different layering patterns, associated to different oil content levels.

Introdução

Desde de muito tempo é conhecida a ocorrência de arenitos asfálticos no Estado de São Paulo. O asfalto é encontrado preenchendo os poros dos arenitos da Formação Pirambóia (Triássico da Bacia do Paraná), em afloramentos isolados localizados numa região limitada ao norte pelo Rio Piracicaba, e ao sul pelos afluentes da margem direita do Rio Paranapanema (tapetininga e Guareí).

A Formação Pirambóia corresponde a uma seção relativamente espessa de arenitos médios a muito finos, de cores amareladas, avermelhadas, arroxeadas e brancas, portadores de estratificações cruzadas de grande e pequeno porte. Em alguns locais ocorrem níveis de conglomerados intraformacionais ou arenitos conglomeráticos, além de freqüentes intercalações de siltitos e argilitos vermelhos. Sua espessura pode variar desde 60m, em Franca (SP), até 300m na bacia do Rio Tietê. Esta Formação se estende de maneira contínua por todo Estado de São Paulo abrangendo parte de estados vizinhos e aflorando ao longo de toda a borda oeste da Bacia do Paraná. A área de ocorrência dos arenitos asfálticos estudados situa-se na porção leste da bacia (Figura 1), ao sul do Arco de Ponta Grossa, no Estado de São Paulo.

A ocorrência Fazenda Betumita consiste de uma extensa mina abandonada (Figura 2), localizada na Fazenda homônima (Fazenda Betumita), a aproximadamente 14 Km nordeste da cidade de Anhembi. As reservas da Fazenda Betumita foram

calculadas, pela PETROBRAS, em 5 a 7 milhões de barris (Zalán et al., 1986).

Metodologia

Neste trabalho, técnicas de GPR (Radar de Penetração no Solo), perfilagem de poços (imageamento acústico, calíper e raios gama) e análise de testemunhos foram utilizadas com o objetivo de definir a litologia e a estratigrafia da área impregnada com hidrocarbonetos.

O GPR é uma ferramenta geofísica que utiliza ondas de rádio na faixa de frequências compreendida entre 1 e 1000Mhz, para mapear estruturas no subsolo. Este método trabalha com o registro do tempo trânsito do pulso eletromagnético, que parte da fonte transmissora, o qual, ao encontrar no subsolo alguma estrutura com contraste de constante dielétrica suficiente para causar uma reflexão, retorna a superfície sendo captado pelo receptor. O sucesso do GPR resulta das imagens em seção de subsuperfície, com qualidade de sinal e profundidade de penetração dependente do solo local e das propriedades elétricas das rochas. Com o uso de diferentes antenas transmissoras, o levantamento pode registrar profundidades que variam de poucos metros a algumas dezenas de metros. Em termos gerais, a profundidade de penetração com esse método é controlada pela condutividade elétrica e a velocidade de propagação da onda eletromagnética em subsuperfície. A penetração é maior em terrenos com condutividade baixa, em formações geológicas tais como areia e carbonatos e menor em áreas com alta condutividade como folhelhos e argilas. (Davis & Annan, 1989).

O método de imageamento acústico BHTV utiliza ondas refletidas para criar imagem orientada similar a um corte da parede do poço. Pulsos de ultrasons (500KHz) são gerados por um ressonador piezo-elétrico. Esses pulsos se deslocam através do óleo que o ressonador está imerso e atravessam o acrílico que envolve a fonte, após isso o pulso se propaga através do fluido do poço, a energia é refletida na parede do poço. Esta energia é captada pelo mesmo transdutor, que registra a amplitude e o tempo de trânsito do pulso decorrido. Filtros são utilizados para evitar que o transdutor registre reflexões do acrílico. O poço deve estar preenchido com fluido para possibilitar o deslocamento dos pulsos ultra-sônicos. (Robertson Geologging, 2001).

Levantamento de Campo

O trabalho de campo consistiu de levantamentos GPR em duas (2D) e três (3D) dimensões. O equipamento utilizado foi um PulseEko 100 operando com antenas de 100 MHz. Os perfis GPR do levantamento 3D foram orientados

perpendicularmente a face exposta do afloramento, aproximadamente na direção NNE-SSW. O posicionamento dos perfis foi determinado através de medidas com um GPS diferencial e trenas, ao longo de uma área retangular de aproximadamente 50 m x 100 m. A topografia foi estimada utilizando-se um clinômetro portátil para determinar as inclinações do terreno, de modo que com o auxílio de uma trena as alturas pudessem ser estimadas por meio de triangulação. Estas alturas foram posteriormente referenciadas às alturas determinadas nas medições GPS realizadas nos vértices da área retangular, ou seja, foram referenciadas ao elipsóide WGS1984.

Os perfis GPR do levantamento 3D/2D, foram realizados com afastamento constante, porém um perfil CMP adicional também foi levantado de modo a ser possível estimar as velocidades de propagação das ondas eletromagnéticas em sub-superfície.

Posteriormente foi perfurado um poço de cerca de 20 m de profundidade, na área do levantamento GPR, no qual foram recolhidas testemunhos, para posterior análise geológica. Neste poço também foram realizadas medidas de perfilagem geofísica com ferramentas de imageamento acústico (Borehole Televiwer-BHTV), Calíper e Radiação Gama Natural.

Processamento dos Dados

O processamento dos dados GPR consistiu, basicamente, das etapas comumente realizadas com esse método geofísico, a saber:

- Edição de Dados (eliminação de traços repetidos, correção de cabeçalhos dos arquivos, reposicionamento ou reversão de perfis, etc.);
- Ajuste do Tempo Zero;
- Análise de Velocidades;
- Aplicação de Ganhos;
- Migração;
- Aplicação de Filtros;
- Correção Topográfica.

Por outro lado, o processamento dos dados da ferramenta BHTV, foi realizado com o *software* da própria ferramenta (RglDip), que pode fornecer:

- Perfil de Amplitude/Tempo de trânsito;
- Perfil de desvio vertical;
- Perfil *Breakout* (mostra o comportamento da parede do poço);
- Perfil integrado (Amplitude – RG).

O perfil da amplitude/tempo de trânsito mostrou melhores resultados para a caracterização de fácies geológica, observado pelo seu contraste. Através deste perfil pode-se estabelecer correlação com o perfil geológico obtido com análise de testemunho.

No caso dos testemunhos, a taxa de recuperação foi de aproximadamente 55% do total, que corresponde a 11,5 m. O testemunho recuperado foi devidamente embalado e acondicionado em caixas apropriadas, com o objetivo de preservar as frações químicas do óleo, para posterior análise geoquímica. O passo seguinte foi a descrição em caderneta para a elaboração de um perfil geológico/sedimentológico e fotografias para arquivo. De imediato procurou-se reconhecer feições macroscópicas como estruturas sedimentares, colorações dadas pelas impregnações de óleo, diferenças na granulometria, e possíveis níveis mais

argilosos.

Interpretação dos dados

O perfil de amplitude/tempo de trânsito obtido pela perfilagem com a ferramenta acústica (BHTV) foi correlacionado com os testemunhos do poço, com o objetivo de averiguar a existência de características que pudessem ser utilizadas para a separação e definição de diferenças faciológicas existentes em um mesmo pacote arenoso em subsuperfície, originado por deposição eólica.

Com base nesta correlação, foram caracterizadas cinco diferentes zonas, referenciadas como Zona A, B, C, D e E, conforme Figura 3-A.

A Zona A está situada entre as profundidades de 15,50 e 16,25 m, e não apresentou boa caracterização pela análise do perfil acústico, o que pode ser observado pelo pico muito baixo de tempo de trânsito, observado na Figura 3-A. Isto pode representar problemas oriundos do desabamento que encontrado no fundo do poço. A descrição de testemunho desta zona indicou que sua deposição provavelmente ocorreu em um local úmido, na porção basal das dunas, devido à proximidade do lençol freático, responsável pela retenção da fração silte e argila, que causam uma maior compactação dos sedimentos, durante a diagênese.

A Zona B, localizada entre os intervalos de 15,50 até 13,10 m, corresponde a um arenito altamente impregnado com óleo, com estratificações cruzadas, representadas por lâminas milimétricas a centimétricas. As lâminas de maior espessura são de fácil identificação no perfil de amplitude (14,30 m), através da sua coloração mais escura e pela sua forma sinuosa. Essa coloração mais escura é causada pela menor amplitude dos níveis enriquecidos com material siltico, que se encontram mais compactados. A presença de silte é corroborada pela ausência de óleo nessas lâminas que, por apresentarem uma menor porosidade, não permitem que o óleo penetre no seu espaço poroso. Nesta zona foi possível se correlacionar melhor os perfis, de acordo com a presença de estratificações cruzadas, observadas com clareza em ambos os perfis (Figuras 3-A e 3-C), onde o BHTV pode auxiliar fornecendo a orientação das estratificações, o que seria muito difícil apenas com amostra de testemunho. Entre as zonas B e C ocorre um contato abrupto, facilmente observado na amostra de testemunho (Figura 3-B) que também pode ser identificado no perfil BHTV (Figura 3-A).

A Zona C, localizada entre as profundidades de 13,10 e 11,50 m, volta a apresentar menores valores de amplitude e tempo de trânsito. Este intervalo dos testemunhos corresponde a um arenito esbranquiçado friável, com grande quantidade de níveis silticos e ausência de óleo. A presença de silte e a ocorrência e estratificações plano-paralelas sub-horizontais indicam que a deposição se deu na base de uma duna, provavelmente na forma de depósitos de cauda de *foreset* de duna, onde a presença de umidade permitiu o aprisionamento das partículas silticas que diminuíram a porosidade do intervalo, e não permitiram o preenchimento por óleo. Esta zona é caracterizada geofisicamente por apresentar as menores amplitudes, que pode ser explicada pelo estrangulamento do poço nesta profundidade, observado no perfil *breakout*, que

interferiu na qualidade imagem acústica (Zona C, Figura 3-A).

A Zona D (11,5 a 8,80 m) apresenta características geológicas semelhantes à Zona B, correspondendo a um arenito altamente impregnado com óleo, com a presença de estratificações cruzadas. Apesar das laminações não aparecerem tão marcantes no perfil de amplitude, estas são bastante visíveis no testemunho. Esta zona corresponde a um depósito de *foreset* de duna. Este intervalo apresentou os maiores valores do tempo de trânsito, que estão relacionados com compactação mais baixa e maior porosidade, que tornou esta zona, a de maior teor de impregnação de óleo.

Na Zona E (8,80 a 7,00 m), o perfil de amplitude se mostra com uma resposta na forma de manchas irregulares, com valores médios. Esta zona é representada por arenitos esbranquiçados, friáveis, com ocorrências locais de impregnação de óleo, onde o preenchimento ocorre seguindo planos preferencias definidos pelas estratificações cruzadas. A fácil desagregação desse arenito é evidenciada pela ausência das marcas dos centralizadores, provavelmente devido à ocorrência de desabamento ou desgaste da parede do poço neste intervalo. Correspondem a depósitos de *foreset* de duna, onde as estratificações cruzadas não são bem definidas pelo perfil de amplitude. Apesar destes depósitos, geralmente, apresentarem uma boa porosidade, neste intervalo, não são encontradas evidências disso, devido ao preenchimento descontínuo do óleo.

Na Figura 4 mostra-se uma seção GPR orientada de maneira perpendicular ao eixo da face exposta do afloramento. Uma conversão para profundidade foi aplicada, utilizando-se uma velocidade constante de 80 m/hs e com as elevações referenciadas ao elipsóide WGS 1984. A torre na parte superior da seção e a linha amarela mostram a localização do poço de cerca de 20 m que foi perfurado. Observando-se a seção GPR, há evidências de estratificação cruzada com inclinação na direção da face exposta (NNE) no início do perfil e na direção oposta (SSW), no final do perfil. Na parte central do perfil, porém, eventos inclinados em ambas direções podem ser notados. A partir de 10-13 m de profundidade, o sinal GPR parece ficar bastante atenuado revelando poucas feições.

É interessante notar na figura 4, que os limites das zonas E, D e C, parecem coincidir com fortes reflexões na seção de radar, podendo estar associados às diferenças de porosidade, que por sua vez, alteram os níveis de saturação, acarretando em fortes contrastes nas propriedades elétricas dos substratos. Já o limite entre as zonas B e A se encontra obscuro devido à atenuação do sinal de radar nesta profundidade, possivelmente relacionado a maior presença silte/argila nesta zona.

Conclusões

Devido à presença de um arenito muito friável, houve a necessidade de se revestir os primeiros 7 m do poço, o que acabou limitando a integração dos dados de perfilagem e testemunhos com o perfil GPR, que também foi limitada pela atenuação do sinal em profundidades maiores que 13 m.

Já a integração das informações do perfil

acústico televisivo (BHTV) e da análise dos testemunhos mostrou uma boa correlação. De forma que, a análise de testemunho substanciou a presença de estruturas sedimentares observadas no perfil caracterizando-a litologicamente. Por outro lado com base na interpretação de perfis pôde-se obter:

- A orientação dessas estruturas sedimentares
- As profundidades de investigação com maior precisão, tendo em vista o auxílio do perfil de desvio vertical, que fornece o desvio do poço.

Além disso, através da análise integrada do perfil acústico e da análise de testemunho pôde-se identificar o zoneamento entre as fácies de interesse.

Este trabalho terá prosseguimento com correlações com resultados de análises geoquímicas dos testemunhos e com o resultado dos outros perfis GPR do levantamento 3D/2D.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CTPETRO pelo suporte financeiro para a realização do projeto de pesquisa "Estudo de afloramentos análogos da Bacia do Paraná", coordenado por J. Triguís. Ao CNPq pelas bolsas de produtividade em pesquisa outorgadas a A. Carrasquilla e J. Travassos. A ANP/FINEP (PRH-20) pela bolsa de doutorado de K. Tomaso e iniciação científica de A. Almeida e L. Cunha Jr. A CAPES pela bolsa de mestrado de H. Giro.

Referências

- Davis, J.L. & Annan, A.P., 1989.** Ground Penetrating Radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting* 37, 531-551.
- Robertson Geologging MicroLogger, 2001.** Operating and Technical Manual.
- Zalán, P.V.; Conceição, J.C.J; Wolff, S.; Astolfi, M.A.M.; Vieira, I.S.; Appi, V.T.; Netto, E.V.S.; Cerqueira, J.R.; Zanotto, O.A.; Paumer, M.L.; Marques, A. 1986.** Análise da Bacia do Paraná. Relatório Interno da PETROBRAS. DEPEX/CENPES nº 1035-5765, Rio de Janeiro, 5 vol.

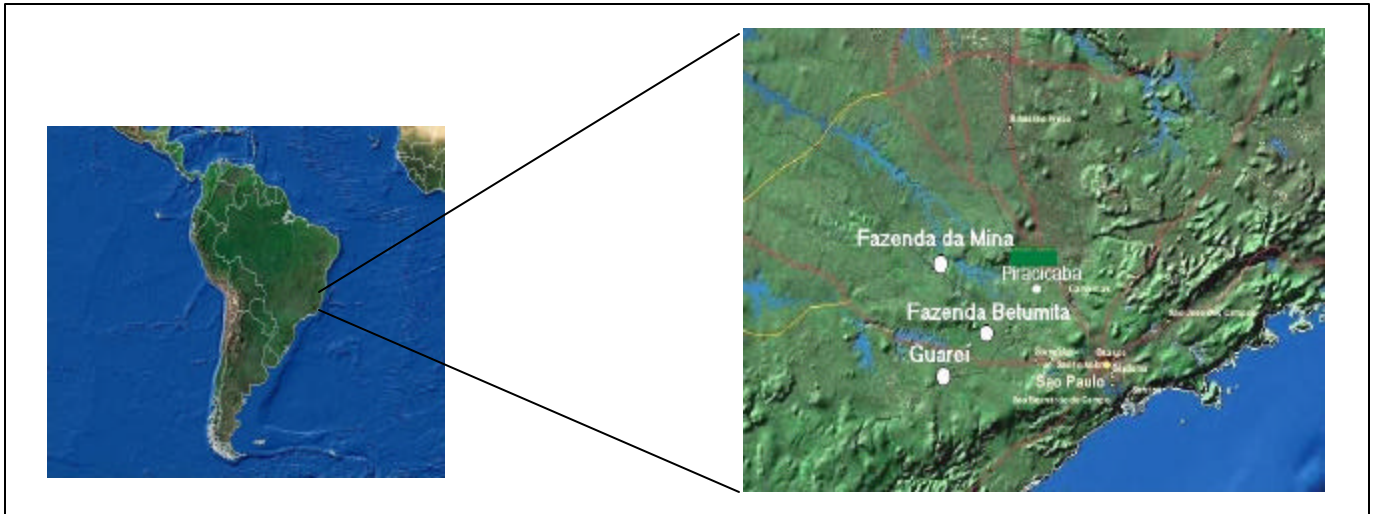


Figura 1 – Localização dos principais afloramentos da Formação Pirambóia. O afloramento estudado encontra-se na Fazenda Betumita em Piracicaba, SP.



Fig. 2 – Foto do afloramento estudado. Formação Pirambóia. Localizado na Fazenda Betumita, Piracicaba, SP.

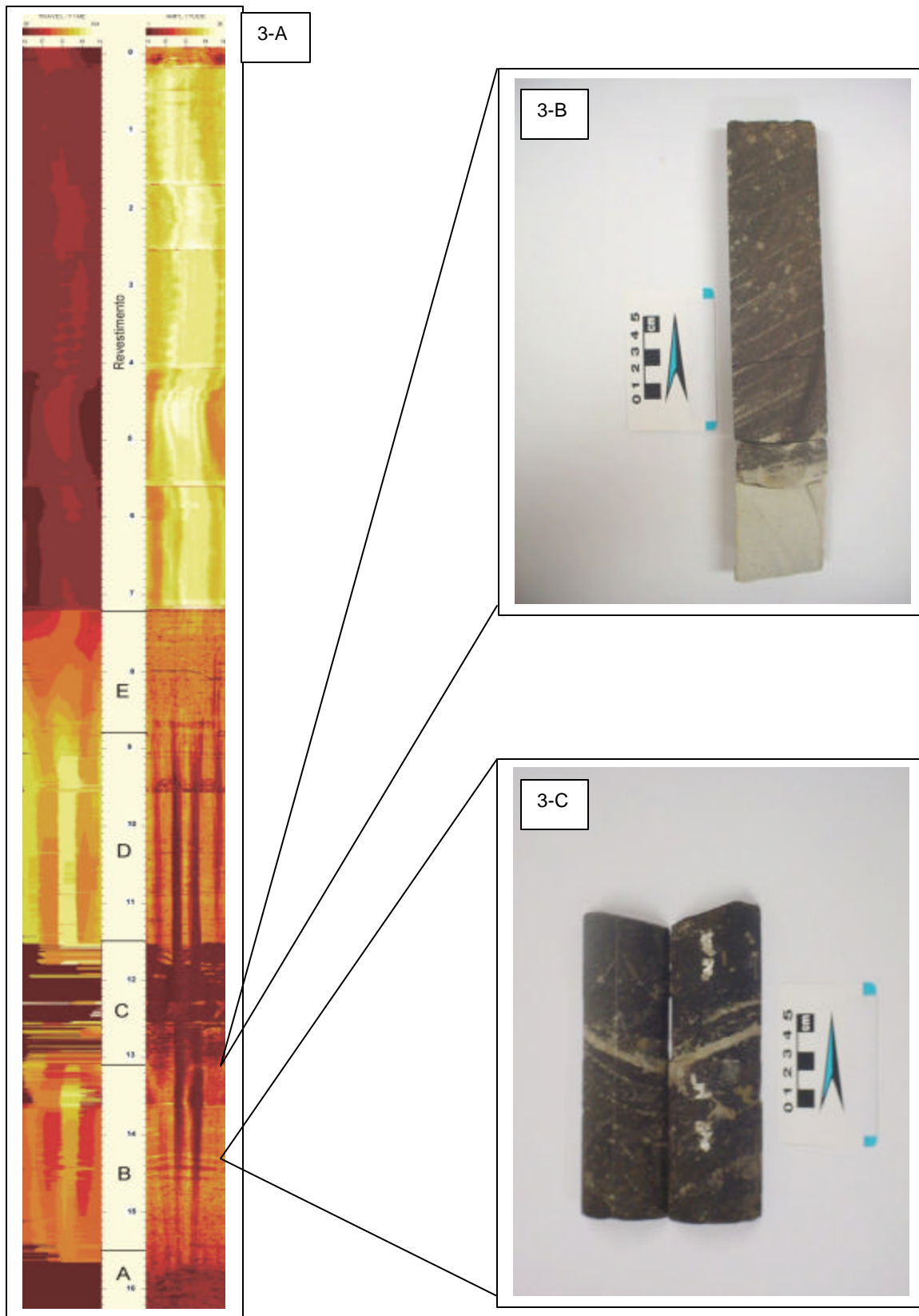


Figura 3 – Imagem acústica (BHTV) do poço perfurado (Painel 3-A), onde são exibidos os perfis de tempo de trânsito e amplitude do sinal acústico. O zoneamento das fácies (A-E) foi feito através da correlação com análise dos testemunhos, como pode ser observado nas duas amostras mostrados à direita. A Figura 3-B mostra um contato abrupto entre as zonas B e C. A Figura 3-C mostra uma evidência de estratificação cruzada.

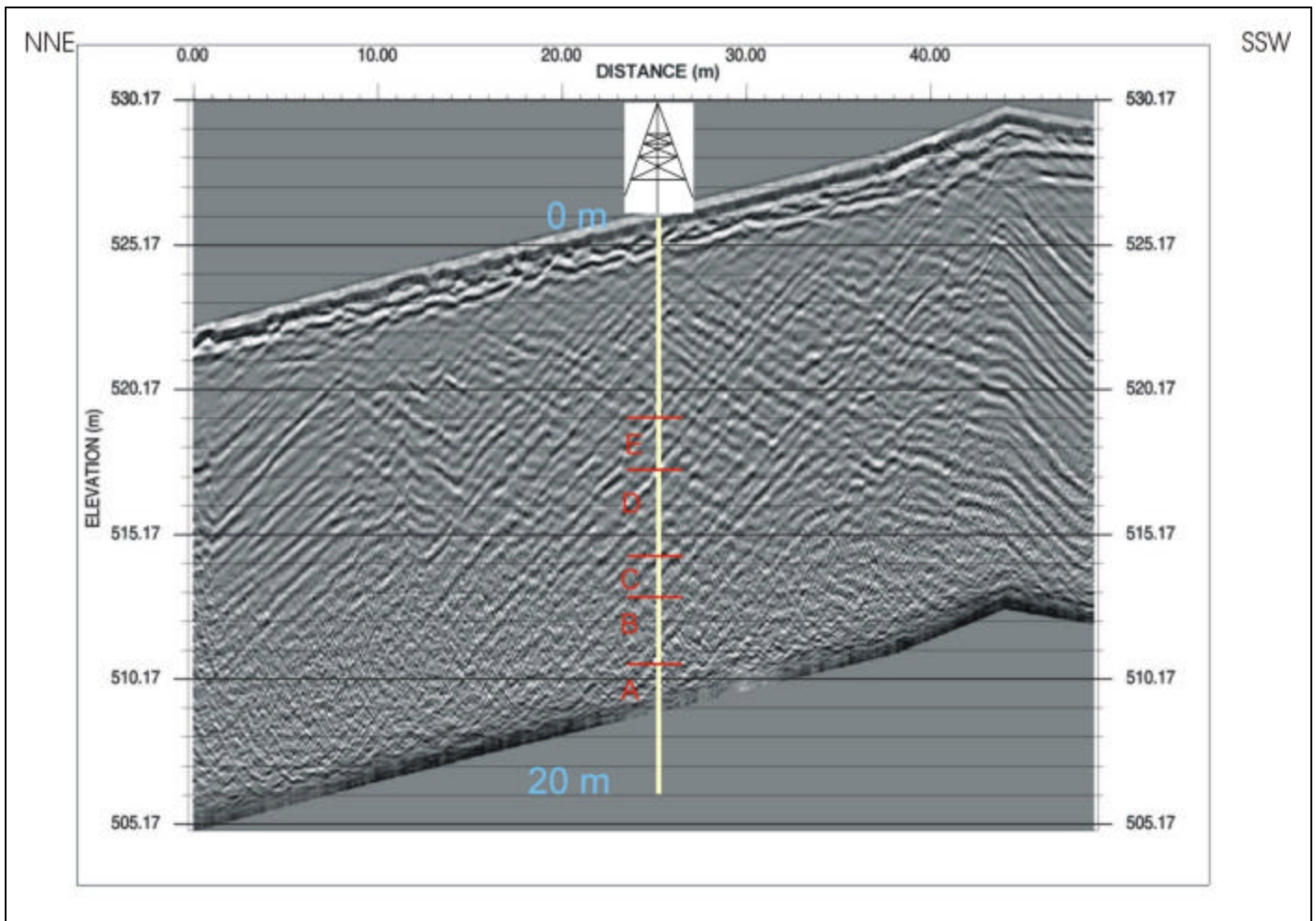


Figura 4 – Perfil GPR perpendicular ao eixo da face exposta do afloramento. A linha amarela mostra o poço perfurado, de onde foram retirados os testemunhos e também onde foi realizada uma perfilagem geofísica com os métodos : Caliper, Radiação gama natural e Imageamento Acústico (BHTV). As zonas demarcadas pela interpretação dos testemunhos e do perfil de imagem acústica, A-E, foram superpostas ao perfil GPR.