

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

LÍVIA CARVALHO FALCÃO

**PARÂMETROS FÍSICOS DE SEDIMENTOS MARINHOS SUPERFICIAIS DA
REGIÃO COSTEIRA DE CARAVELAS, SUL DA BAHIA**

NITERÓI

2009

LÍVIA CARVALHO FALCÃO

**PARÂMETROS FÍSICOS DE SEDIMENTOS MARINHOS SUPERFICIAIS DA
REGIÃO COSTEIRA DE CARAVELAS, SUL DA BAHIA**

Trabalho de conclusão de curso submetido
ao Programa de Graduação em Geofísica
da Universidade Federal Fluminense como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Geofísica.

Orientador:

Arthur Ayres Neto

Niterói

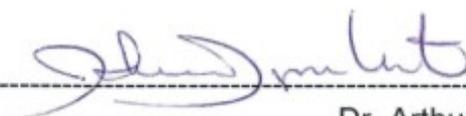
2009

**PARÂMETROS FÍSICOS DE SEDIMENTOS MARINHOS SUPERFICIAIS DA
REGIÃO COSTEIRA DE CARAVELAS, SUL DA BAHIA**

LÍVIA CARVALHO FALCÃO

Trabalho de conclusão de curso submetido
ao Programa de Graduação em Geofísica
da Universidade Federal Fluminense como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Geofísica.

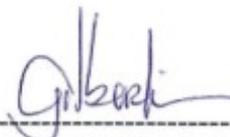
Aprovado por:



Dr. Arthur Ayres Neto
UFF



Dr. Alberto Garcia Figueiredo Junior
UFF



Dr. Gilberto Tavares de Macedo Dias
UFF

Niterói

Junho / 2009

F178 Falcão, Lívia Carvalho
Parâmetros físicos de sedimentos marinhos
superficiais da região costeira de Caravelas, sul da Bahia /
Lívia Carvalho Falcão. – Niterói : [s.n.], 2009.
63 f.
Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em
Geofísica) – Universidade Federal Fluminense, 2009.

1.Sedimentologia. 2.Sedimentos. 3.Testemunhos
(Geologia). I.Título.

CDD 551.46083367

“O homem verdadeiramente livre é aquele que é escravo da sua própria consciência.”

Sathya Sai

Agradecimentos

A Deus, pela inspiração e presença que conduzem cada passo do meu caminho;

Aos meus pais e avós, a quem devo minha vida, felicidade, educação e saúde;

À minha irmã Lisie, eterna companheira, pelo seu exemplo e por me despertar para a Geofísica, e ao meu cunhado Glauco, pela amizade e prestatividade durante os estudos;

Ao meu noivo Claudio, pelo incentivo, companheirismo e exemplo que me inspirou desde o início desta caminhada;

A todos os professores do Lagemar, que me deram a oportunidade de uma profissão. Especialmente, ao Prof. Arthur Ayres, pela paciência e forma como me orientou neste trabalho, à Prof.^a Eliane Alves, pelo apoio e contribuição no decorrer do curso, e aos demais professores da banca examinadora, pela ajuda, atenção e críticas ressaltadas;

A todos os amigos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Sumário

Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	ix
Resumo	x
Abstract	xi
1. Introdução	1
2. Objetivos	6
3. Área de estudo	
3.1 Localização.....	7
3.2 Sedimentação.....	9
4. Conceitos Básicos	
4.1 Velocidade da Onda Compressional.....	11
4.2 Densidade.....	13
4.3 Impedância Acústica e Refletividade.....	15
4.4 Susceptibilidade Magnética.....	16
5. Metodologia	18
5.1 Sistema de Medição.....	18
5.2 Coleta e Descrição dos Sedimentos.....	21
6. Resultados	22
7. Discussão	35
7.1 Perfis de Velocidade.....	35
7.2 Perfis de Densidade.....	37
7.3 Perfis de Susceptibilidade Magnética.....	38
7.4 Perfis de Impedância Acústica e Refletividade.....	39
8. Conclusão	40
9. Referências Bibliográficas	42
Apêndice I.....	46
Apêndice II.....	50
Apêndice III.....	52

Lista de Figuras

Figura 1.1: Relação de dependência das propriedades elásticas dos sedimentos.....	2
Figura 3.1: Mapa batimétrico com a localização dos pontos de coleta.	8
Figura 4.1: Ondas P propagando-se em um meio elástico.....	11
Figura 4.2: Correlação entre V_p e densidade de sedimentos marinhos.....	12
Figura 4.3: Modelos para densidade de um material composto.....	13
Figura 5.1: Perfilador Multi-Sensor de testemunhos (MSCL).....	20
Figura 5.2: Legendas para os diferentes tipos de sedimentos.	21
Figura 6.1: Perfis do testemunho JP-104.....	26
Figura 6.2: Frações granulométricas do testemunho JP-112.....	28
Figura 6.3: Perfis do testemunho JP-112.....	29
Figura 6.4: Perfis do testemunho JP-119.....	32
Figura 6.5: Perfis do testemunho JP-120.....	35

Lista de Tabelas

Tabela 1.1: Relação entre granulometria, densidade e porosidade do sedimento.	3
Tabela 3.1: Localização e profundidade aproximada dos testemunhos.....	7
Tabela 7.1: Valores das velocidades para cada tipo de sedimento.	36
Tabela 7.2: Valores das densidades para cada tipo de sedimento.	37
Tabela 7.3: Valores das susceptibilidades magnéticas para cada tipo de sedimento.....	38

RESUMO

Este trabalho combina informações obtidas por testemunhos de sondagem a dados adquiridos por perfilagem geofísica e, desta forma, pretende contribuir para o estudo das propriedades físicas dos sedimentos marinhos superficiais. As principais medidas físicas investigadas no presente trabalho são: velocidade da onda compressional (V_p), densidade gama e susceptibilidade magnética. Através da perfilagem de testemunhos, observa-se que estas propriedades fornecem informações diretamente relacionadas à composição do sedimento, porosidade, granulometria e dados de impedância acústica. Utilizando como sistema de medição o perfilador multi-sensor de testemunhos (MultiSensor Core Logger – MSCL), foram perfilados quatro testemunhos coletados na região costeira de Caravelas-BA, totalizando 12 m de material. Oito tipos distintos de sedimentos foram considerados: conchas, areia grossa a muito grossa, areia média, areia muito fina a fina, lama arenosa, lama compacta, lama fluida e lama muito fluida. Os resultados dos parâmetros físicos para as lamas estão de acordo com a literatura. De maneira geral, os maiores valores de velocidade e densidade, inversamente proporcionais aos de susceptibilidade magnética, estão associados aos sedimentos de maior granulometria. Especificamente, os resultados com a areia grossa a muito grossa estão em desacordo com esta afirmação, devido à falta de compactação desse material no testemunho JP-104 e à grande quantidade de conchas encontrada neste sedimento. Os gráficos de impedância acústica e do coeficiente de reflexão facilitaram a identificação de interfaces e apresentaram coerência em relação aos perfis de velocidade e de densidade. Medições de granulometria foram realizadas na seção de lama arenosa do testemunho JP-112, para ratificar a relação da variabilidade dos parâmetros físicos com a classificação granulométrica utilizada para a caracterização dos quatro testemunhos. No experimento desenvolvido nesta pesquisa, foi possível observar que, nas medições dos testemunhos JP-104, JP-112, JP-119 e JP-120, há nitidamente um aumento da velocidade e da densidade, relacionados a uma diminuição da susceptibilidade magnética e vice-versa.

ABSTRACT

This paper combines data acquired from geological description of sediment cores and by geophysical logging and aims to contribute to the study of the physical properties of surface marine sediments. The main physical parameters investigated in this work were: compressional wave velocity (V_p), gamma density and magnetic susceptibility. The logging of sediment core shows that these properties provide information directly related to sediment composition, porosity, particle size and acoustic impedance data. Using the measurement system Multisensor Core Logger (MSCL), four cores from coastal zone of Caravelas-BA were logged, totaling 12 m of material. Eight different types of sediments were considered: shells, coarse to very coarse sand, medium sand, fine to very fine sand, sandy mud, fluid mud and very fluid mud. The results of the physical parameters for the muds are in accordance with the literature. In general, the higher V_p and density, inversely proportional to the magnetic susceptibility, associated with sediments of greater size. The results for very coarse sand are in disagreement with this statement, due to compaction of this sediment in core JP-104 and the large quantity of shells found within the sediment. The plots of acoustic impedance and reflection coefficient facilitated the identification of sediment interfaces and showed consistency in relation to the profiles of velocity and density. Particle size measurements were made in the section of the sandy mud of the core JP-112, to confirm the relationship of the variability of physical parameters with the grain size classification used for the characterization of the four samples. In the experiment developed in this research, it was possible to observe that, in measurements of the samples JP-104, JP-112, JP-119 and JP-120 there is clearly an increase of wave-velocity and density, related to a decrease in magnetic susceptibility and vice-versa.

1. Introdução

Nenhuma técnica usada isoladamente pode fornecer evidências inequívocas sobre as características dos sedimentos. Algumas respondem à litologia, à porosidade e densidade, outras ao fluido encontrado nos poros (Ayres Neto, 1998).

As propriedades físicas de sedimentos marinhos estão diretamente relacionadas aos seus constituintes, ou seja, propriedades físicas no poro, arranjos estruturais e propriedades de contato entre grãos. Ayres e Theilen (1999) apresentaram resultados onde as relações entre velocidade de ondas acústicas, porosidade e densidade mostraram relação direta e de fácil aplicação no estudo das propriedades dos sedimentos marinhos.

As principais medidas físicas que serão investigadas no presente trabalho são: velocidade de ondas compressoriais (V_p), densidade e susceptibilidade magnética. Através da perfilação de testemunhos, estas propriedades fornecerão informações diretamente relacionadas à porosidade, índices de água, areia ou lama e dados de impedância acústica.

No caso da propagação de ondas compressoriais no espaço poroso, vários autores demonstraram que esta é basicamente controlada pela compressibilidade do fluido no poro (Brown e Korringa, 1975; Freund, 1992; Hamilton e Bachman, 1982; Han *et al.*, 1986; Le Ravelec e Géguen, 1996; Tao *et al.*, 1995). Desta forma, pode-se dizer que o que controla a propagação da onda é o tipo de fluido presente no espaço poroso.

Para melhor compreender como ocorre a propagação de ondas acústicas em sedimentos marinhos, e para avaliar o tipo de informação que pode ser obtida em termos geológicos, geofísicos e ambientais, é imprescindível conhecer os princípios que controlam esta propagação. Em geral ar e gás podem estar associados aos sedimentos marinhos superficiais. Dessa forma, cada um destes materiais apresentará propriedades elásticas distintas influenciando, de maneira conjunta e proporcionalmente a sua presença em volume, a propagação das ondas acústicas (Ayres Neto, 1998) (Fig. 1.1).

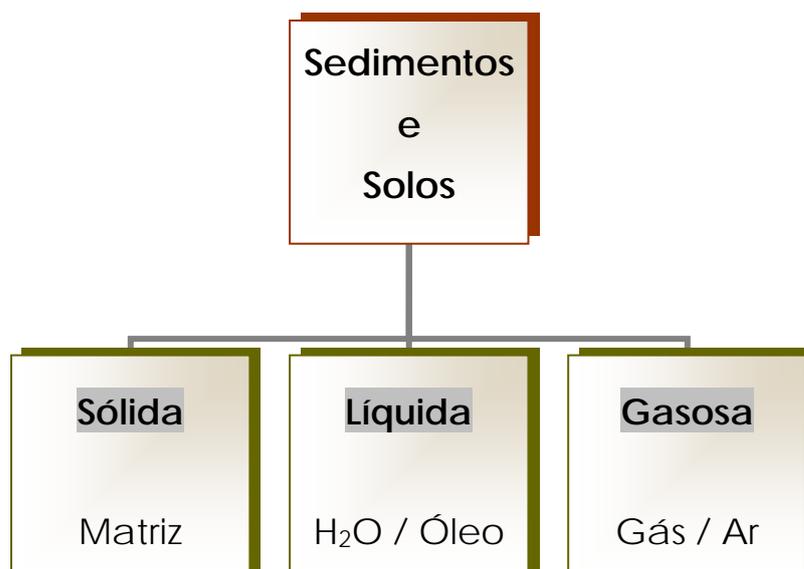


Figura 1.1: Relação de dependência das propriedades elásticas dos sedimentos com a proporção de cada uma das fases presentes no material.

Para Freund (1992), a diferença entre a velocidade da onda P em um sedimento marinho contendo água e um sedimento com gás é definida principalmente pela diferença que existe entre os módulos de compressão (k) destas duas fases. Como os gases são mais compressíveis que os líquidos, os valores de V_p em sedimentos saturados por gás são menores que os valores de V_p em sedimentos saturados com líquidos.

Macedo (2006) executou medições de V_p em testemunhos de até 2 m coletados na plataforma continental do Rio de Janeiro, a oeste da Ilha de Cabo Frio, e relatou que lama arenosa e lama compacta apresentam valores e variações muito semelhantes, indicando que a propagação de ondas P nestes sedimentos tem o mesmo comportamento. O autor ressalta ainda que, em alguns pontos das amostras, ambos os sedimentos apresentaram valores abaixo de 1500 m/s, sendo este fato justificado pela presença de gás ou bolhas de ar no conteúdo do material. Os valores mínimo e máximo encontrados para a lama compacta foram de 1493 e 1600 m/s, respectivamente, enquanto a lama arenosa registrou o valor máximo de 1639 m/s. Para a areia média, o autor encontrou valores entre 1555 e 1752 m/s.

Medições de V_p realizadas por Hamilton (1980) em sedimentos da plataforma continental do norte do Oceano Pacífico e áreas adjacentes, a 0,3 m de profundidade, também revelam a elevação da velocidade da onda compressional em função do aumento do tamanho dos grãos. Neste estudo, as areias grossas apresentaram velocidades mais altas, chegando a 1836 m/s, quando comparadas com sedimentos mais finos. Nas areias finas foram medidos valores de 1702 a 1749 m/s, enquanto valores menores foram registrados na lama arenosa (1579 a 1652 m/s) e na lama (de 1520 a 1615 m/s).

Segundo Ayres Neto (2001), a velocidade de ondas P pode variar entre 800 m/s em sedimentos marinhos superficiais com 0,1% de gás, e 4000 m/s em rochas sedimentares depositadas nas partes mais profundas de uma bacia.

Outros parâmetros também sofrem influência da porosidade. A presença de sedimentos argilosos, por exemplo, afeta as leituras do perfil de Densidade. Por ser menos densa por unidade de volume (dado o excesso de água), a argila tenderá a diminuir o valor da densidade, indicando sua alta porosidade (Tab. 1.1).

Tabela 1.1: Relação entre granulometria, densidade e porosidade de sedimentos da plataforma continental de localidades diversas (Hamilton e Bachman, 1982).

Sedimento	Tamanho do grão (mm)	Densidade (g/cm³)	Porosidade (%)
Areia grossa	0,5285	2,034	38,6
Areia fina	0,1638	1,962	44,5
Areia muito fina	0,0988	1,878	48,5
Areia siltosa	0,0529	1,783	54,2
Silte arenoso	0,0340	1,769	54,7
Silte	0,0237	1,74	56,2
Silte argiloso	0,0071	1,489	71,6
Argila siltosa	0,0022	1,48	73,0

Uma compilação realizada por Wohlenberg (1982) revela que a faixa de valores de densidade para sedimentos inconsolidados vai de 2 a 2,7 g/cm³ em argilas, de 2,3 a 2,6 g/cm³ em margas e de 1,4 a 1,9 g/cm³ em argilas orgânicas.

Estudos feitos por Becegato e Ferreira (2005), em Maringá-PR, revelam que os sedimentos argilosos apresentam maior susceptibilidade magnética quando comparados aos areno-argilosos, como era de se esperar, em decorrência da maior disponibilidade de minerais magnéticos nos primeiros. Segundo estes autores, o valor médio para os solos argilosos foi de 700×10^{-6} SI, e para os de textura mista foi de 450×10^{-6} SI, ambos medidos entre 0,2 e 0,4 m de profundidade.

A susceptibilidade magnética é também muito útil na identificação do nível de contaminação em sedimentos marinhos e lagunares. Diversos autores (Scoullos *et al.* 1979; Oldfield e Scoullos 1984; Scoullos 1986; Yu *et al.* 1992) têm apresentado evidências de que elevadas intensidades de susceptibilidade magnética em lagos e em sedimentos marinhos resultaram de grãos de óxidos de ferro de granulometria fina de origem industrial e urbana. Dentre os diversos poluentes orgânicos e inorgânicos nos sedimentos, a concentração de metais pesados tem mostrado uma notável relação genética com a intensidade da susceptibilidade magnética (Durza *et al.* 1993).

Em sedimentos marinhos, a susceptibilidade magnética pode variar do valor mínimo absoluto de -15×10^{-6} (minerais diamagnéticos, como calcita pura ou quartzo) ao máximo de 10.000×10^{-6} para detritos basálticos ricos em (titano-) magnetita (Frederichs *et al.*, 1996). Em muitos casos k é primeiramente determinado pela concentração de minerais ferrimagnéticos, enquanto minerais paramagnéticos como argilas são de menor importância. Susceptibilidades magnéticas altas indicam alta concentração de litogênicos, mineralização de ferro ou baixa produtividade de carbonato/opala e vice-versa. Esta relação pode servir para a mútua correlação entre seqüências sedimentares depositadas em condições similares a nível global ou regional (Frederichs *et al.*, 1996).

Medidas de V_p , densidade e susceptibilidade magnética em sedimentos coletados por testemunhos também foram realizadas no Cruzeiro 34/4 do navio Meteor, na região da plataforma continental do litoral norte do Brasil. As medições foram executadas em um sistema automático de perfilagem. Na Margem Nordeste Brasileira, em profundidades de até 870 cm, os registros médios para velocidade de onda compressional foram de 1489 a 1509 m/s, enquanto as densidades encontradas foram em torno de 1,647 a 1,724 g/cm³. As

medidas de susceptibilidade magnética mostraram valores constantes em torno de 100×10^{-6} SI. Altas intensidades atingiram 427×10^{-6} SI na plataforma Amazônica. Medições de V_p e densidade nesta região registraram de 1476 a 1534 m/s e 1,677 a 1,821 g/cm³, respectivamente (Frederichs, 1996).

A descrição visual de testemunhos nem sempre possibilita discriminar o tipo de sedimento, densidade, porosidade e propriedades geotécnicas, sendo necessário submeter o sedimento a uma série de análises laboratoriais (Figueiredo *et al.* 2008). Este trabalho combina informações obtidas por testemunhos de sondagem a dados adquiridos por perfilagem geofísica e, desta forma, pretende contribuir para o estudo das propriedades físicas dos sedimentos marinhos superficiais. Com baixo custo de operação e versatilidade de manuseio, a perfilagem geofísica proporciona resposta imediata do parâmetro medido. Assim, espera-se melhorar a resolução dos estudos geofísicos, reduzindo a necessidade de amostragens – etapa geralmente mais cara e demorada dos projetos.

2. Objetivos

A perfilagem geofísica é um método de amostragem indireta, que vem se mostrando muito eficaz com o desenvolvimento de novas tecnologias para medições de grandezas físicas. Através da utilização de um sistema de perfilagem de testemunhos inconsolidados “MultiSensor Core Logger” (MSCL), produzido pela empresa GEOTEK, este projeto visa verificar a relação entre dados de velocidade de ondas compressoriais (ondas P), densidade e susceptibilidade magnética, com parâmetros geológicos de sedimentos marinhos superficiais da região de Caravelas-BA.

3. Área de estudo

3.1 Localização

A região costeira de Caravelas situa-se no extremo sul do Estado da Bahia (Fig. 3.1), em uma área de, aproximadamente, 800 km², limitada pelos planaltos da Formação Barreiras (Terciário Superior).

Nesta pesquisa foram utilizados quatro testemunhos (JP-104, JP-112, JP-119 e JP-120), coletados em maio de 2000 pela equipe da Universidade Federal Fluminense e que estavam disponíveis no Departamento de Geologia (LAGEMAR/UFF). A figura 3.1 mostra a localização da coleta das amostras, cujas coordenadas geográficas encontram-se na tabela 3.1.

Tabela 3.1: Localização e profundidade aproximada dos testemunhos coletados.

Amostra	Latitude (S)	Longitude (W)	Profundidade aproximada da coleta (m)
JP-104	17° 46' 51"	39° 11' 35"	0,6
JP-112	17° 47' 13"	39° 11' 24"	2,4
JP-119	17° 47' 21"	39° 11' 13"	3,0
JP-120	17° 47' 20"	39° 11' 08"	3,0

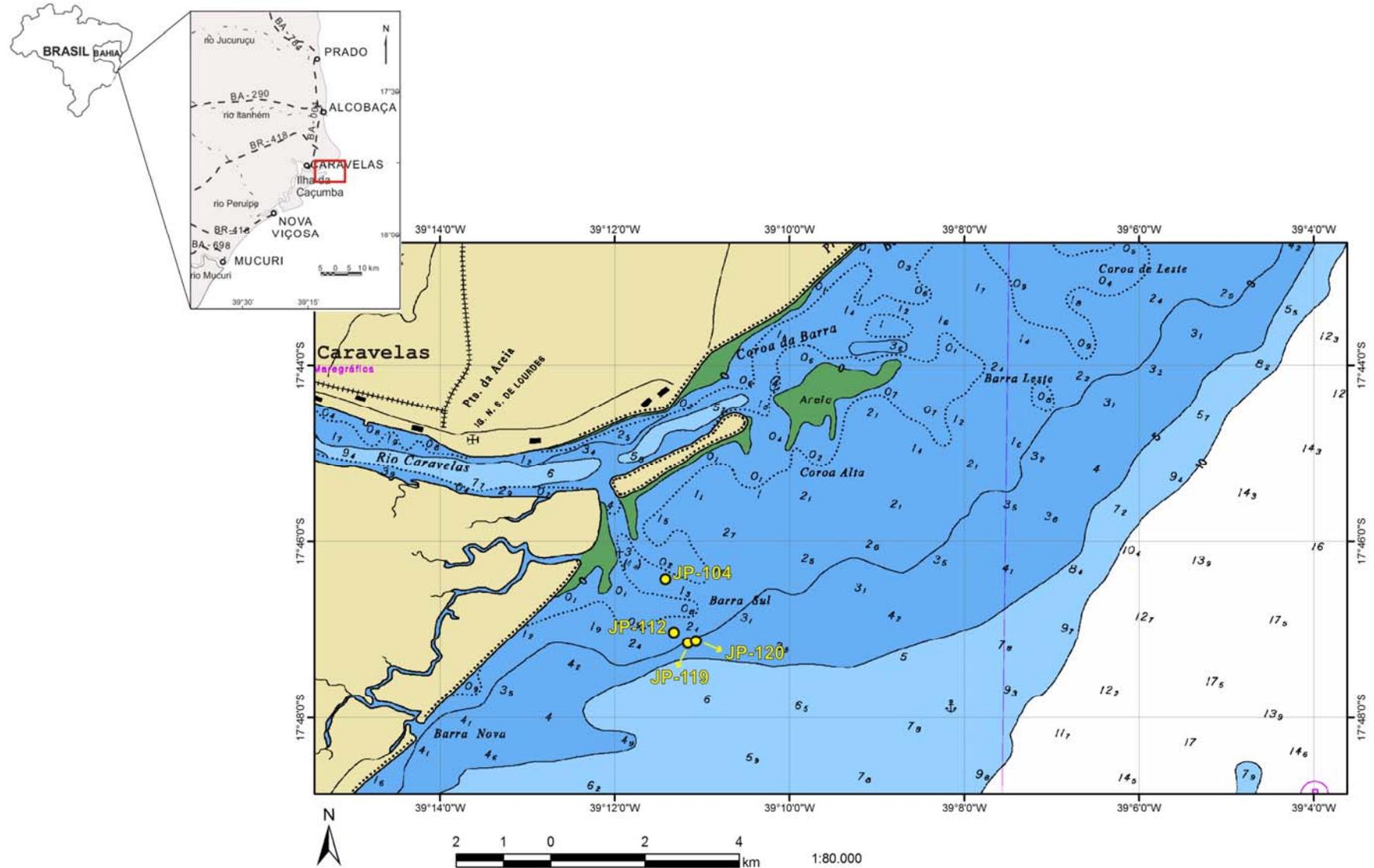


Figura 3.1: Mapa batimétrico com a localização dos pontos de coleta dos testemunhos JP-104, JP-112, JP-119 e JP-120 (Carta Náutica 1310).

3.2 Sedimentação

A plataforma continental da Margem Leste Brasileira estende-se desde a Ponta do Calcanhar-RN até as proximidades da cidade de Itapemerim-ES, apresentando, aproximadamente, 2200 km de linha de costa. Sua largura máxima de 246 km encontra-se em Caravelas-BA e se estende ao sul de Vitória-ES. Este alargamento foi causado por efeito de um vulcanismo de grande amplitude e também está associado aos efeitos da contribuição de correntes fluviais de maior porte (França, 1979). De acordo com Campos *et al.* (1973), essas intrusões vulcânicas constituem os sítios mais favoráveis para o desenvolvimento das estruturas biogênicas, como corais e algas calcáreas.

A evolução Quaternária da região costeira de Caravelas foi fortemente controlada por variações relativas no nível do mar que, associadas ao desenvolvimento do complexo recifal de Abrolhos (entre 20 e 70 km da linha de costa), desempenharam importante papel na dispersão e acumulação sedimentar ao longo da linha de costa. Por este aspecto, esta região apresenta peculiaridades que a distinguem das demais planícies costeiras do Brasil (Andrade *et al.*, 2003).

A pequena profundidade da plataforma da região Nordeste/Leste permite supor que toda ela esteja atualmente sendo retrabalhada por ondas e correntes, retrabalhamento esse que deve ser menos ativo na plataforma externa. As areias terrígenas internas estão submetidas a uma presente mobilização, a qual impede a colonização biogênica próximo ao litoral (Kowsmann e Costa, 1979).

Em contraste com a predominância de sedimentação carbonática na maioria dos recifes dos mares tropicais, os recifes costeiros de Abrolhos estão circundados por sedimentos lamosos com 40 a 70% de areias quartzosas e minerais de argilas (Leão, 2002).

A superfície da plataforma interna do banco de Abrolhos é plana e suave. Canais estreitos e bancos arenosos ocorrem nas plataformas média e externa. Os canais formaram-se durante a última regressão pleistocênica, quando o banco de Abrolhos ficou subaereamente exposto e sua superfície foi cortada por um sistema fluvial que desaguou na chamada depressão de Abrolhos (parte sul do banco) e depositou sedimentos de origem

terrígena. Durante a transgressão que sucedeu, essa sedimentação terrígena foi substituída por depósitos carbonáticos de origem marinha (Vicalvi *et al.*, 1978).

A produção de sedimento carbonático a partir dos organismos recifais gera uma transição de fácies sedimentares, caracterizada pela dominância de sedimentos siliciclásticos, na zona costeira, e sedimentos carbonáticos recifais costa afora.

Segundo Leão (2002), os sedimentos terrígenos que circundam os recifes costeiros têm duas origens principais: sedimento retrabalhado, oriundo da erosão dos depósitos terciários do Grupo Barreiras que cobrem grande parte da zona continental e aflora ao longo da costa, e sedimentos fluviais que podem alcançar os recifes, levados pelas correntes de deriva litorânea. Este sedimento siliciclástico é dominante ao longo da costa (>70%) e seu teor varia entre 30 e 60% nas áreas que circundam os recifes costeiros. Grãos de quartzo são os constituintes principais das frações grossas. Mica e minerais de argila ocorrem no sedimento lamoso acumulado nas partes mais profundas dos canais interrecifais. Este sedimento lamoso pode atingir até 60% do material acumulado no fundo do lado protegido dos recifes costeiros.

4. Conceitos Básicos

4.1 Velocidade da Onda Compressional

Uma onda é definida como uma perturbação que viaja através de um meio. Ondas compressivas (ou ondas P) são ondas de corpo, ou seja, ondas mecânicas que se propagam no interior de um meio elástico. O deslocamento de uma onda compressional em meios homogêneos causa vibração nas partículas na direção de sua propagação (Fig. 4.1).

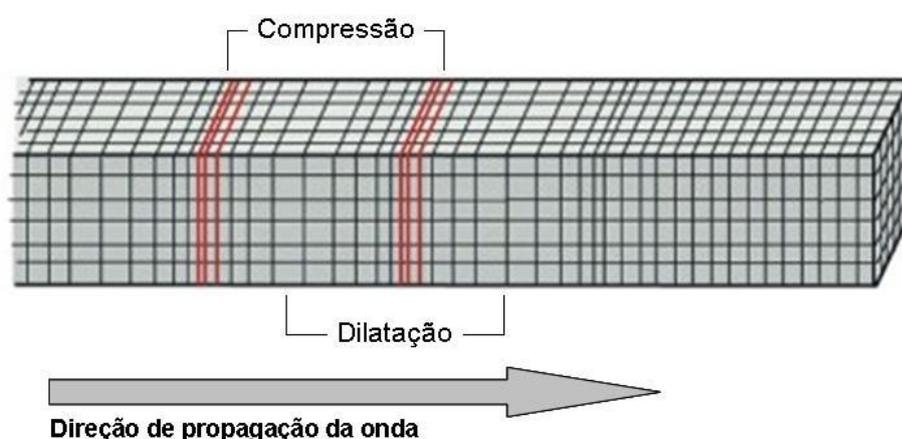


Figura 4.1: Ondas P propagando-se em um meio elástico. O deslocamento de cada partícula é paralelo à direção de propagação (fonte: <http://www.lamit.ro/earthquake-early-warning-system.htm>).

A velocidade da onda compressional (V_p) é uma função da rigidez e da densidade do material. Para meios homogêneos e isotrópicos, a velocidade da onda P é expressa pela equação 1 (Ayres Neto, 1998):

$$V_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (1)$$

Onde k é o módulo de incompressibilidade (módulo de Bulk), μ é o módulo de rigidez e ρ é a densidade.

A capacidade dos sedimentos marinhos propagarem ondas sísmicas depende, basicamente, de duas propriedades elásticas descritas acima: módulo de rigidez μ e módulo de compressão K (Akal, 1984). O módulo de rigidez representa a elasticidade longitudinal do

material, enquanto o módulo de compressão correlaciona a redução do volume de um corpo sujeito à pressão (hidrostática) em três dimensões. De acordo com Woods (1991), os fatores controladores desses parâmetros nos sedimentos são: porosidade, pressão de confinamento, histórico de tensão, idade geológica, tensão cisalhante, grau de saturação, temperatura e taxa de sobre-adensamento. Em geral, como os sedimentos são compostos por diferentes materiais, suas propriedades elásticas irão depender das propriedades destes componentes.

Os fatores geológicos controladores da velocidade de ondas compressoriais em sedimentos marinhos são: porosidade, densidade e pressão. Hamilton e Bachman (1982) apresentaram resultados satisfatórios das correlações entre V_p , densidade e porosidade. Em geral, há uma tendência do aumento de V_p com o decréscimo da porosidade, e conseqüente aumento da densidade (Ayres Neto, 1998), como mostra o gráfico da figura 4.2.

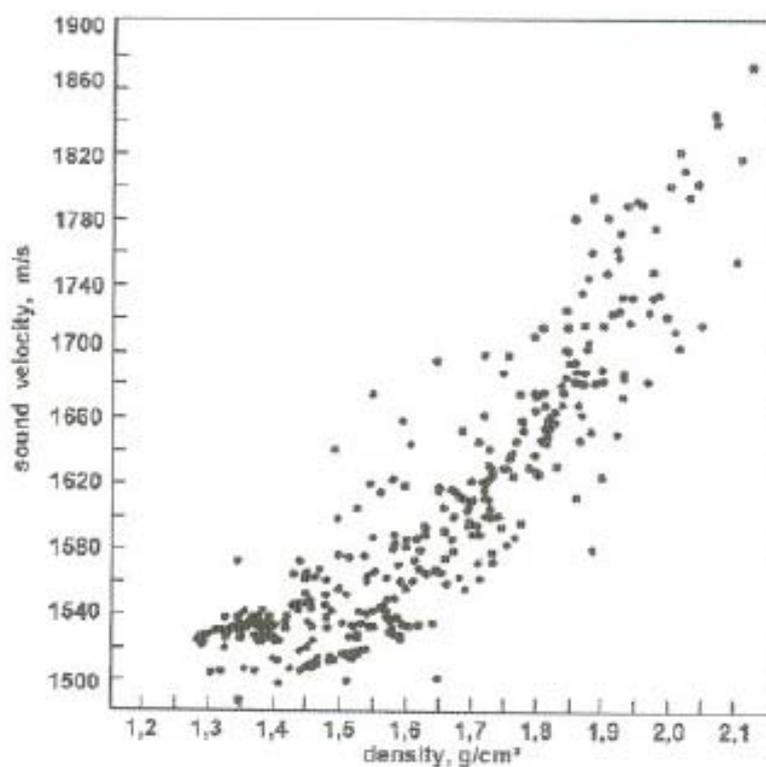


Figura 4.2: Exemplo de correlação entre V_p (m/s) e densidade (g/cm^3), em sedimentos marinhos da plataforma continental de localidades diversas (Hamilton e Bachman, 1982).

4.2 Densidade

Densidade ρ é definida como a massa m de todas as partículas de um material dividida pelo volume total V que elas ocupam (Schon, 1996).

$$\rho = m / V \quad (2)$$

A densidade de um material composto consiste de n componentes (Fig. 4.3), como mostra a relação (Schon, 1996):

$$\rho = \sum_{i=1}^n (V_i / V) \cdot \rho_i \quad (3)$$

Onde ρ_i é a densidade, V_i é o volume do componente i e a razão (V_i / V) é a fração do volume do componente i .

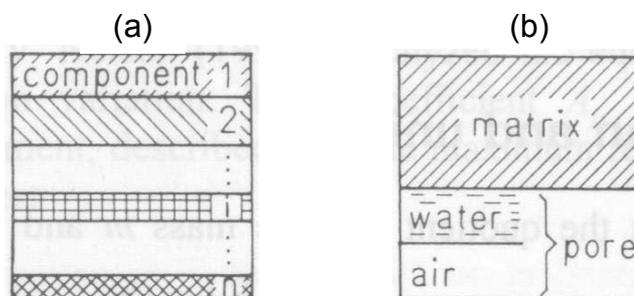


Figura 4.3: Modelo para densidade de um material composto (rochas e sedimentos). (a) Consiste em n constituintes; (b) Consiste na matriz e dois constituintes do espaço poroso (Schon, 1996).

A densidade dos sedimentos de fundo é medida por meio do perfil de raios gama. Tal perfil mede a atenuação dos raios gama entre a fonte e o receptor. Os raios gama são dispersos e absorvidos na formação como uma função da densidade de elétrons, que é fortemente relacionada à densidade do material (Sancevero e Remacre, 2003).

Segundo Schon (1996), a densidade dos sedimentos é controlada por:

- composição mineral

- porosidade
- condições de saturação

Como resultado de diferenças diversas entre os valores da densidade na matriz e do fluido intersticial, existe uma forte correlação entre densidade e porosidade. Para um dado tipo de sedimento, há uma ampla faixa de valores de densidade que refletem variações de porosidade e saturação. O aumento da porosidade causa a diminuição da densidade, porém, a correlação exata é controlada pela densidade da matriz e do fluido presente no espaço poroso (Schon, 1996).

As variações da densidade e da porosidade em rochas e sedimentos marinhos têm grande importância para a propagação de ondas acústicas. A medida da densidade da formação tem também aplicação na identificação de minerais em depósitos de evaporitos, descobertas de gás, determinação da densidade de hidrocarbonetos; avaliação de areias argilosas e litologias complexas (Bassiouni, 1994).

O processo físico dominante para o aumento da densidade é a redução do espaço poroso (Schon, 1996), que ocorre pelo preenchimento dos poros por processos diagenéticos, principalmente cimentação, ou por processos de compactação.

4.3 Impedância Acústica e Refletividade

Juntos, os perfis de densidade (ρ) e de velocidade de onda P (V_p) podem resultar em dados de impedância acústica (IA), que será o resultado da multiplicação dos valores de V_p pelos valores de densidade, como mostra a equação 4 (Schlumberger, 1987):

$$IA = \rho \times V_p \quad (4)$$

A densidade dos sedimentos de fundo é função basicamente da mineralogia, da porosidade e do teor de água. Estes fatores variam localmente em maior escala, controlando, portanto, de maneira mais intensa a impedância dos sedimentos. O coeficiente de reflexão é função da diferença de impedância acústica entre dois meios (neste caso a água do mar e os sedimentos do fundo). Quanto maior for esta diferença, maior será a quantidade de energia refletida. Um sedimento mais compacto, menos poroso e com um teor de água menor será mais denso e refletirá uma quantidade maior de energia. Por outro lado, sedimentos porosos e saturados, com densidade pouco maior que a água do mar serão pouco refletivos (Ayres Neto, 2001).

O coeficiente de reflexão (R) é definido pela equação 5 (Schlumberger, 1987):

$$R = A_r / A_i = (\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1) / (\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1) \quad (5)$$

Onde A_r é a amplitude do sinal refletido, A_i é a amplitude da onda incidente, V e ρ representam os valores da velocidade do som e da densidade, respectivamente, nos meios 1 e 2. Portanto, o coeficiente de reflexão depende do contraste de impedância acústica (produto da velocidade pela densidade) entre dois meios físicos.

4.4 Susceptibilidade Magnética

O magnetismo é uma propriedade importante dos materiais. De acordo com Sheriff (1999), a susceptibilidade magnética é uma medida do grau segundo o qual uma determinada substância pode ser magnetizada e representa a razão entre a magnetização (M) e a força magnetizante (H):

$$k = M / H \text{ (Sistema SI)} \quad (6)$$

Onde M é o momento magnético por unidade de volume e H é a medida da influência de um magneto no espaço circundante. A susceptibilidade magnética é uma propriedade física intrínseca das rochas e solos, constituindo uma grandeza adimensional.

Nos minerais, o magnetismo é normalmente associado à quantidade de ferro presente em sua estrutura. O modo mais fácil de medir o grau de magnetização de um material é expondo-o a um campo magnético.

Segundo Ellwood *et al.* (2006), os sedimentos marinhos são compostos por componentes terrígenos (detríticos e eólicos) e biogênicos (carbonato e/ou silício provenientes de organismos marinhos). Todos os grãos minerais são susceptíveis à magnetização quando expostos a um campo magnético. A susceptibilidade magnética atua como um indicador da força deste magnetismo transiente em uma determinada amostra.

O magnetismo nos sedimentos inclui os minerais ferromagnéticos, que adquirem magnetização remanescente (óxido de ferro, magnetita e maguemita, sulfeto e sulfato de ferro, pirrotita), e também substâncias pouco magnéticas, como os minerais paramagnéticos encontrados em sedimentos marinhos (argilas ricas em ferro, particularmente, clorita, esmectita e illita) (Ellwood *et al.*, 2000). Há também a calcita e o quartzo, abundantes em sedimentos marinhos por serem compostos orgânicos. Estes minerais tipicamente adquirem susceptibilidade magnética negativa quando expostos a um campo magnético induzido. Portanto, fatores tais como alterações na produtividade biológica ou taxas de acúmulo de

carbono orgânico podem causar variações nos valores da susceptibilidade magnética (Ellwood *et al.*, 2000).

Medidas realizadas por Hellwood *et al.* (2006) em sedimentos marinhos superficiais no Golfo do México, indicam que partículas ferromagnéticas muito finas costumam associar-se a sedimentos argilosos, provocando uma elevação da susceptibilidade magnética neste tipo de sedimento. Os mesmos autores revelam que valores baixos de susceptibilidade magnética estão associados à presença de carbonatos e quartzos, encontrados nas areias das margens leste e sul do Golfo.

5. Metodologia

A pesquisa desta monografia compreendeu 4 etapas. Na primeira foi realizado um levantamento bibliográfico sobre o comportamento dos parâmetros físicos em questão em sedimentos marinhos superficiais. As informações adquiridas nesta etapa serviram de base para o planejamento adequado das tarefas subseqüentes.

Na segunda etapa foram realizadas medições ao longo dos quatro testemunhos coletados na área de estudo, que estavam disponíveis no Banco Nacional de Amostras Geológicas (BNAG) do LAGEMAR–UFF, somando 12 metros de sedimentos. Através do sistema de perfilagem proposto, foi possível obter perfis de velocidade do som, densidade, susceptibilidade magnética, impedância acústica e refletividade, a cada centímetro.

A abertura, fotografia, análise e descrição sedimentológica dos testemunhos constituíram a terceira etapa, também realizada no Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha (LAGEMAR) – UFF.

Na quarta e última etapa, os resultados das medições foram analisados e interpretados, sendo correlacionados entre si e com as características observadas dos sedimentos coletados.

5.1 Sistema de Medição

O perfilador multi-sensor de testemunhos (MultiSensor Core Logger – MSCL) (Fig. 5.1) consiste em um sistema computadorizado que realiza testes não destrutivos. O testemunho ainda encapsulado em tubo de PVC é conduzido por diversos sensores, armazenando dados de forma sincronizada.

O sistema de velocidade de ondas “P” funciona com dois transdutores de ultra-som na frequência de 250 kHz, diametralmente opostos, posicionados de modo perpendicular ao eixo do testemunho, de forma que a onda emitida em um seja detectada no outro

(Figueiredo *et al.* 2008). Este sistema tem demonstrado uma precisão absoluta de ± 3 m/s (Manual de Operação do MSCL).

O sensor de densidade gama consiste em uma cápsula de 10 milli-curie de Césio 137 protegida em um invólucro de chumbo com um colimador de 2,5 e 5 mm e produzindo energia principalmente a 0,662 MeV (Figueiredo *et al.* 2008). No dispositivo de densidade, uma fonte radioativa emite raios gama, considerados partículas de alta velocidade que se chocam com os elétrons da formação. A cada choque, os raios gama perdem parte de sua energia cinética para elétrons dos elementos constituintes dos minerais, e se dispersam seguindo nova trajetória, porém com menor energia. Este tipo de interação é conhecida como Efeito Compton. Assim, quanto mais densa for a formação, menor a intensidade da radiação no detector, e vice-versa (Bassiouni, 1994).

O sistema para medidas de susceptibilidade magnética consiste em um circuito oscilador que produz um campo magnético alternante (0,565 kHz) de baixa intensidade, não saturado (aprox. 80 A/m RMS), que se modifica com a passagem de qualquer material com susceptibilidade magnética (Figueiredo *et al.* 2008). Vale ressaltar que o sensor disponível no sistema é adaptado para perfilar idealmente testemunhos de 10 cm de diâmetro, o que poderá afetar as medições de susceptibilidade magnética apresentadas neste trabalho, uma vez que o diâmetro das amostras utilizadas é de 7,5 cm.

Os dados do sedimento em análise obtidos pelo sistema são: velocidade de onda compressional (m/s), densidade gama (g/cm^3) e susceptibilidade magnética ($\times 10^{-6}$ SI). A partir dos resultados de densidade e V_p , foi possível obter também informações sobre impedância acústica e coeficiente de reflexão, facilitando a individualização dos conjuntos faciológicos.

Os parâmetros físicos citados representam ferramentas úteis para a caracterização granulométrica e de porosidade dos sedimentos.

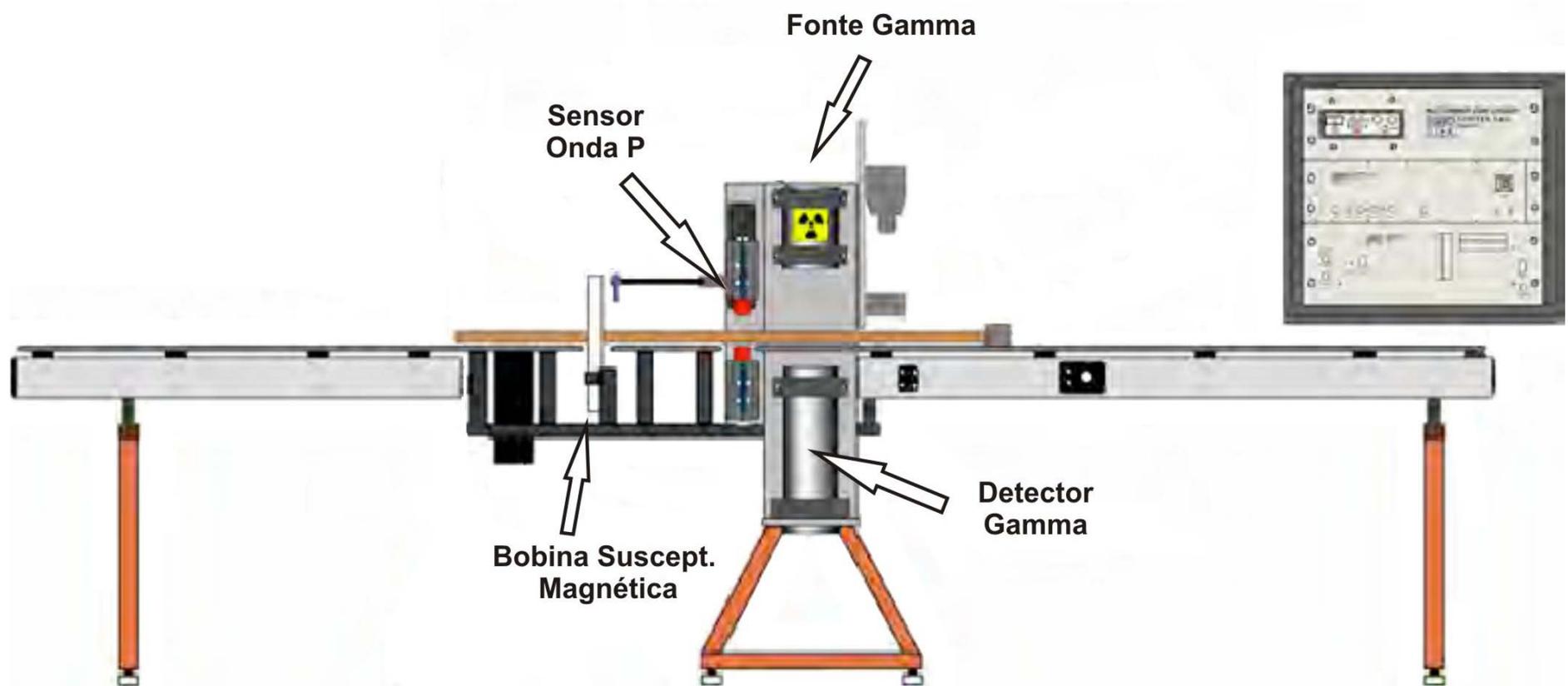


Figura 5.1: Perfilador Multi-Sensor de testemunhos (MultiSensor Core Logger – MSCL). Fonte: MSCL Overview, 2007.

5.2 Coleta e Descrição dos Sedimentos

A coleta dos sedimentos foi realizada com o auxílio de um mergulhador autônomo e equipamento específico para coleta de testemunhos com tubos de PVC. Os testes foram realizados em quatro testemunhos de sedimento recente (inconsolidados), com 7,5 cm de diâmetro e 2,98 m de comprimento, sendo a amostra principal sub-amostrada em seções de 1 m para os ensaios.

A classificação de sedimentos baseada em parâmetros granulométricos e composicionais é de fundamental importância para a identificação faciológica e das características dos ambientes deposicionais (Macedo, 2006) e, no que diz respeito a este trabalho, para a caracterização dos dados de perfilagem.

Após a perfilagem, os testemunhos foram abertos, fotografados e foi realizada a descrição visual dos sedimentos com a finalidade de caracterizar e classificar o material. Para definição das cores foi utilizada a Tabela de Cores de Rochas (Rock Color Chart) editada pela GSA. As planilhas granulométricas com as descrições completas de cada testemunho e as fotografias são apresentadas nos apêndices I e II, respectivamente.

Oito tipos de sedimentos foram identificados nos quatro testemunhos analisados: areia grossa a muito grossa, areia média, areia muito fina a fina, lama arenosa, lama compacta, lama fluida e lama muito fluida. Para facilitar a diferenciação sedimentológica do material, foi criada a legenda abaixo (Fig. 5.3).

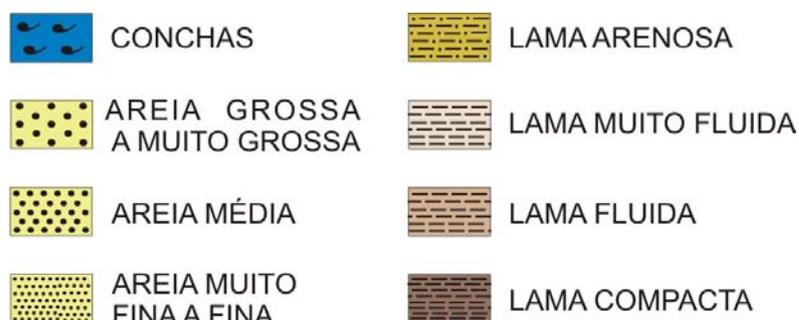


Figura 5.2: Legenda com os diferentes tipos de sedimentos identificados nas amostras.

6. Resultados

Após a realização dos procedimentos de perfilagem, conforme descrito no item anterior, os dados obtidos foram plotados em gráficos (perfis) em relação à profundidade dos sedimentos. Os perfis são apresentados neste capítulo, ao lado de uma representação simplificada da descrição sedimentológica do testemunho, construída com base na análise visual dos sedimentos.

A análise da variação do comportamento dos parâmetros descritos no meio foi realizada pela comparação dos perfis de V_p , densidade e susceptibilidade magnética com a representação da granulometria. Os perfis de impedância acústica e de reflexão colaboraram para a identificação faciológica.

É válido ressaltar que no topo, nas profundidades de 1 m e 2 m e na base dos testemunhos, as leituras apresentaram problemas devido à divisão das amostras em três seções de 1 m, gerando falta de continuidade nas medidas. Para desconsiderar este comportamento nos gráficos, os perfis foram cortados nessas profundidades, estando representado por linhas pontilhadas.

JP-104

O testemunho JP-104, composto pela alternância de espessas camadas de lama compacta, conchas e areias grossas a muito grossas, apresenta grandes oscilações nos perfis indicando as mudanças faciológicas (Fig. 6.1). Nos intervalos de 0,35 a 0,62 m e de 0,88 a 1,31 m ocorrem camadas de conchas, divididas por uma espessa camada de areia grossa a muito grossa. A partir do ponto, 1,31 m predomina a lama compacta, com numerosas intercalações de lama arenosa. Uma última camada de conchas ocorre no intervalo entre 2,57 e 2,64 m, sucedida por lama compacta com lama arenosa e uma pequena intercalação de areia fina, entre 2,75 e 2,77 m (apêndice I).

Os resultados obtidos com as medições de V_p nos primeiros 1,31 m apresentaram-se bastante limitados, uma vez que neste intervalo há uma grande quantidade de conchas e

areia grossa a muito grossa. Apenas a partir deste trecho é possível identificar a presença das interfaces (Fig. 6.1). No intervalo correspondente à lama compacta intercalada por lama arenosa fina com mica, entre os pontos 1,31 a 2,2 m, a velocidade registrou valores de 1291 a 1619,6 m/s, com média igual a 1470 m/s e desvio-padrão de 67,1. Na lama compacta entre 2,2 e 2,57 m a V_p varia apenas de 1385,7 a 1497 m/s, com valor médio de 1480,6 m/s e desvio-padrão igual a 16,3. Na camada mais profunda, do ponto 2,57 em diante, a diversidade granulométrica provocou grandes oscilações no perfil, que registrou valores entre 1134,9 e 1628 m/s, média de 1466,2 m/s e desvio-padrão igual a 92,1.

Os registros de densidade nas duas grandes camadas de conchas apresentaram comportamento anômalo, acusando valores negativos, como mostra a figura 6.1. Para a camada de areia grossa a muito grossa, posicionada entre as camadas de conchas no intervalo de 0,6 a 0,9 m, o perfil registrou valores entre 0,86 e 1,65 g/cm³, média e desvio-padrão iguais a 1,35 g/cm³ e 0,23, respectivamente. Na interface de lama compacta com intercalações de lama arenosa, entre os pontos 1,31 e 1,75 m, os valores oscilaram de 0,51 a 1,58 g/cm³, com valor médio igual a 1,18 g/cm³ e desvio-padrão de 0,2. A lama compacta que vai de 1,75 m a 2,57 m apresenta menor amplitude de variação, com valores que oscilam entre 0,94 e 1,14 g/cm³, média 1,04 g/cm³ e desvio-padrão igual a 0,04. Uma brusca queda ocorre na interface com a camada mais profunda de conchas, a 2,57 m, a partir da qual os valores registrados foram de 1,08 a 1,62 g/cm³, com média igual a 1,28 g/cm³ e desvio-padrão de 0,1.

O perfil de susceptibilidade magnética também distinguiu com clareza as interfaces identificadas neste testemunho. As camadas de conchas dos intervalos de 0,35 a 0,62 m e de 0,88 a 1,31 m registraram valores entre 1,4 e 3×10^{-6} SI, com média de $2,29 \times 10^{-6}$ SI e desvio-padrão igual a 0,32. Uma queda na susceptibilidade ocorreu entre os pontos 0,62 e 0,9 m, aproximadamente, devido à presença da areia grossa que divide as camadas de conchas citadas (Fig. 6.1). Neste trecho o perfil registrou valores de -3,7 a $-0,7 \times 10^{-6}$ SI, com média igual a $-1,3 \times 10^{-6}$ SI e desvio-padrão de 0,58. Entre os pontos 1,31 e 1,73 m, onde há presença de camadas centimétricas de lama arenosa, os valores oscilaram de 6,8 a $13,4 \times 10^{-6}$ SI, apresentando média de $9,8 \times 10^{-6}$ SI e desvio-padrão igual a 1,86. Já a lama

compacta entre 1,73 e 2,57 m registrou valores de 11,3 a $21,4 \times 10^{-6}$ SI, média de $14,9 \times 10^{-6}$ SI e desvio-padrão igual a 1,14. Após este trecho, uma queda acentuada nos valores ocorre a partir do ponto 2,57 m, chegando a um mínimo de $4,37 \times 10^{-6}$ SI, máximo de $9,1 \times 10^{-6}$ SI, média de 7×10^{-6} SI e desvio-padrão igual a 1,1, devido à estreita camada de conchas, sucedida por lama compacta intercalada por areia fina nas proximidades da base do testemunho.

As interfaces citadas foram claramente identificadas nos perfis de impedância acústica, com variações muito semelhantes às do perfil de densidade. Os registros de reflexão apresentaram picos associados às transições entre camadas, com intensidades que variam de 0,1 a 5,1. A figura 6.1 mostra as principais interfaces associadas a estes dois perfis, que situam-se nas profundidades de 0,66 m, 0,96 m, 1,31 m, 1,78 m e 2,57 m.

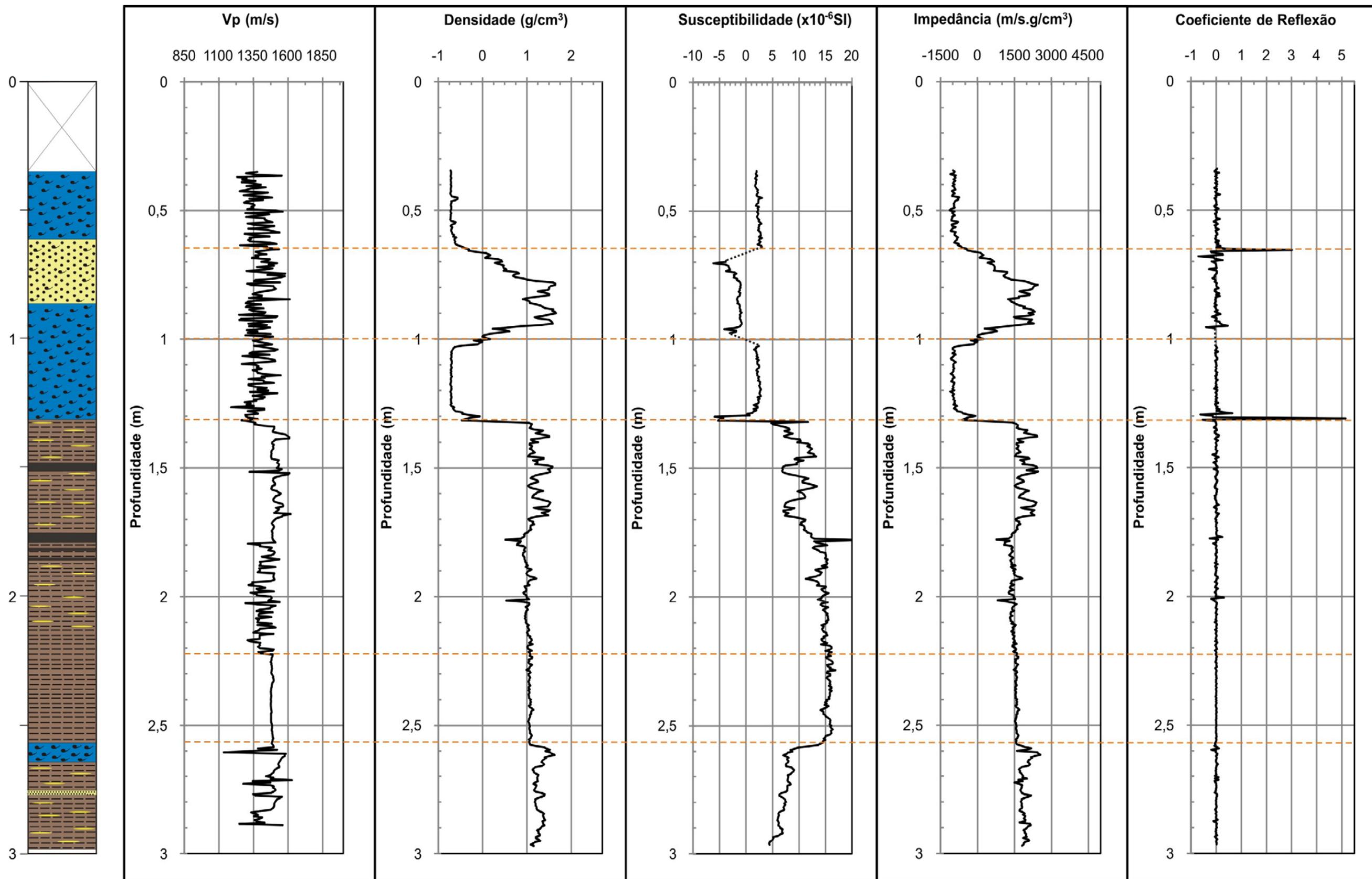


Figura 6.1: Perfis de velocidade de ondas P, densidade gama, susceptibilidade magnética, impedância acústica e coeficiente de reflexão do testemunho JP-104. As linhas horizontais pontilhadas ressaltam as principais interfaces.

JP-112

Os resultados obtidos com as medições de ultra-som no testemunho JP-112 apresentam-se bastante limitados. Este testemunho tem em sua composição grande quantidade de areia média compacta com mica. Do ponto 2,39 m em diante, predomina a lama compacta com intercalações centimétricas de areia fina lamosa. No intervalo entre 2,23 e 2,24 m identifica-se a presença de areia lamosa (apêndice I). Vale ressaltar que a areia média só é considerada compacta a partir do ponto 0,8 m, devido ao mau preenchimento do testemunho nas proximidades do topo, sendo este fato claramente observado nas variações dos perfis (apêndice II).

O comportamento da velocidade na areia média, que vai do topo até o ponto 2,39 m do testemunho JP-112, mostrou grande variação e valores totalmente fora do padrão, uma vez que este sedimento apresenta-se visualmente homogêneo. Neste trecho, a velocidade registrou valores entre 896,4 e 1914,1 m/s, média igual a 1286,2 m/s e desvio-padrão de 182,5.

Já os perfis de densidade e susceptibilidade magnética apresentaram uniformidade e coerência (Fig. 6.3), uma vez que sua variação no trecho inicial até a profundidade de 0,8 m pode ser explicada pela falta de compactação do sedimento no topo do testemunho. A densidade oscilou entre 2,08 e 2,45 g/cm³, apresentando média de 2,38 g/cm³ e desvio-padrão de 0,03. Os resultados obtidos no perfil de susceptibilidade magnética, neste trecho, registraram valores de -0,3 a 1×10^{-6} SI, com média igual a $-0,06 \times 10^{-6}$ SI e desvio-padrão de 0,28.

As principais diferenças nos acamamentos desta amostra foram registradas a partir do ponto 2,39 m, na transição da areia média para a lama compacta. As velocidades e densidades mais altas, associadas às estreitas intercalações de areia fina, coincidiram com pequenas quedas na susceptibilidade magnética (Fig. 6.3). A V_p variou entre 1338,9 e 1914,2 m/s, com média 1691,7 m/s e desvio-padrão igual a 154,6 m/s; a densidade registrou valores de 1,7 a 2,4 g/cm³, com média igual a 2,08 g/cm³ e desvio-padrão de 2,46; a

susceptibilidade magnética oscilou entre $1,7$ e $4,9 \times 10^{-6}$ SI, com valor médio de $3,2 \times 10^{-6}$ SI e desvio-padrão de $0,94$.

Os perfis de impedância acústica e do coeficiente de reflexão apresentaram coerência somente nos trechos correspondentes aos resultados compatíveis do perfil de velocidade.

Para auxiliar a descrição deste testemunho, foi efetuada uma análise granulométrica dos sedimentos a partir do ponto $2,4$ m, sub-amostrados em intervalos de 4 cm. O trecho escolhido, composto por lama compacta com intercalações de areia fina e muito fina, teve o objetivo de ratificar, detalhadamente, os resultados dos perfis neste e nos demais testemunhos, para esta escala de variabilidade granulométrica.

A quantificação das frações granulométricas foi realizada através do analisador de partículas a laser Mastersizer 2000 e o procedimento de análise granulométrica baseou-se no processo de desfloculação física com ultrassom. Os dados de granulometria são apresentados no gráfico da figura 6.2 e, de forma detalhada, no apêndice III.

As informações obtidas neste experimento confirmam o comportamento dos perfis apresentados na figura 6.3, uma vez que os picos alternados das proporções de areia (muito fina a fina, média e grossa a muito grossa) e lama (silte e argila) estão compatíveis com os valores obtidos por cada parâmetro físico descrito.

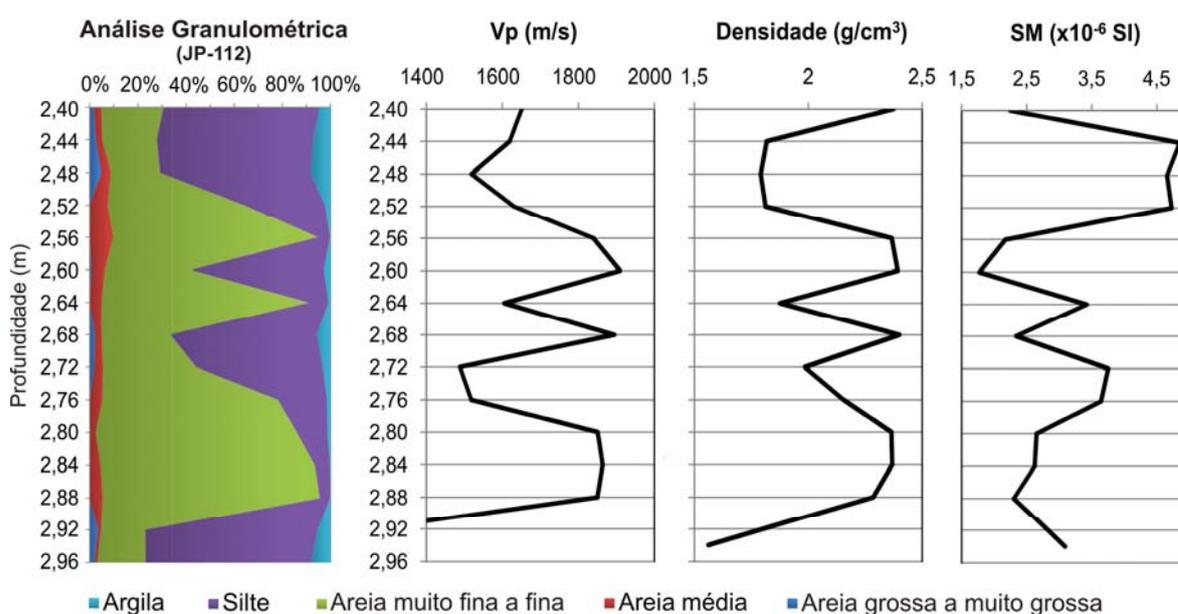


Figura 6.2: Frações granulométricas do testemunho JP-112, entre as profundidades de $2,4$ e $2,96$ m, com os resultados dos parâmetros físicos obtidos neste trecho.

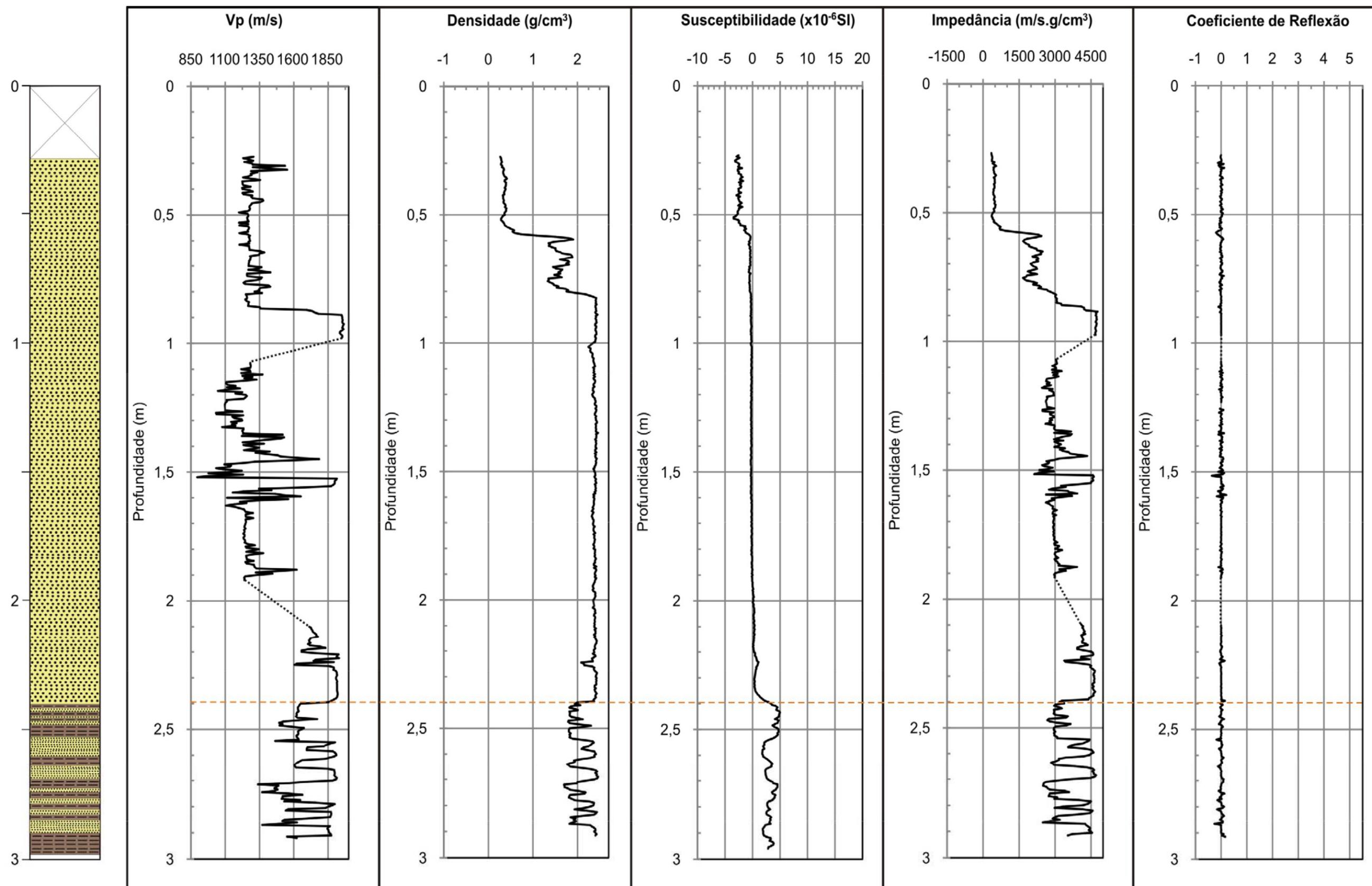


Figura 6.3: Perfis de velocidade de ondas P, densidade gama, susceptibilidade magnética, impedância acústica e coeficiente de reflexão do testemunho JP-112. As linhas horizontais pontilhadas ressaltam as principais interfaces.

JP-119

O testemunho JP-119 é composto integralmente por lama compacta, com intercalações de lama arenosa e raras ocorrências de fragmentos de conchas. Nas proximidades da base a lama apresenta-se fluida (apêndice I). Considerando o preenchimento pouco uniforme no topo do testemunho (apêndice II), cabe ressaltar que os valores medidos acima de 0,5 m, em alguns perfis, podem não estar na faixa considerada para o tipo de sedimento encontrado.

Na lama compacta que vai do topo até a profundidade de 0,93 m (Fig. 6.4), uma estreita camada de lama arenosa é encontrada próxima ao ponto 0,65 m onde pode ser notada uma súbita elevação de V_p , atingindo o valor máximo de 1778 m/s. Nesta camada, a velocidade mínima registrou 1416,4 m/s, apresentando valor médio de 1540,4 m/s e desvio-padrão de 45, devido ao mau preenchimento do testemunho nas proximidades do topo. A lama compacta que vai de 1,08 m a 2,13 m apresenta menor amplitude de variação, com valores que oscilam entre 1496,6 e 1550 m/s, média 1511,6 m/s e desvio-padrão igual a 11,5. No trecho entre 2,17 m e 2,98 m, onde também há ocorrência de pequenos intervalos com lama arenosa, os valores da velocidade aumentam, variando entre 1500,7 e 1619 m/s, com desvio-padrão de 21,6 e média 1539,3 m/s.

O perfil de densidade também evidencia a variação granulométrica observada neste testemunho, como mostra a figura 6.4. Os valores na camada do topo com lama arenosa vão de 1,82 a 2,54 g/cm³, com desvio-padrão de 0,12 e média 2,08 g/cm³; enquanto a lama compacta no meio do testemunho fornece medidas de 2,03 a 2,28 g/cm³, com média igual a 2,16 g/cm³ e desvio-padrão de 0,04. A camada mais profunda composta por lama compacta intercalada com lama arenosa apresentou valor médio de 2,42 g/cm³, mínimo e máximo iguais a 2,1 g/cm³ e 2,64 g/cm³, respectivamente, e desvio-padrão de 0,09.

Neste testemunho são observadas quedas nos valores da susceptibilidade magnética associadas às interfaces de maior granulometria (Fig. 6.4). Duas delas ocorrem nos pontos 0,6 e 0,8 m devido à presença de camadas centimétricas de lama arenosa. Do topo até o ponto 0,81 m foram registrados valores de 2,29 a $4,6 \times 10^{-6}$ SI, com média igual a

$3,6 \times 10^{-6}$ SI e desvio-padrão de 0,51. Já a lama compacta entre 1,08 e 2,13 m registrou valores de 4,3 a $5,8 \times 10^{-6}$ SI, média de 5×10^{-6} SI e desvio-padrão igual a 0,26. Uma queda brusca ocorre a partir do ponto 2,2 m, chegando a um mínimo de $2,2 \times 10^{-6}$ SI, provavelmente devido à seqüência de camadas centimétricas de lama arenosa. Os valores máximo, médio e o desvio-padrão nesta última camada foram de $6,3 \times 10^{-6}$ SI, $2,9 \times 10^{-6}$ SI e 0,7, respectivamente.

Os registros de impedância acústica também apresentaram intervalos de valores distintos para lama compacta e lama arenosa. Em termos de valores médios, a impedância sobe de 3265 para 3742 m/s.g/cm³ na transição de lama compacta para a lama com intercalações de lama arenosa. O desvio-padrão para cada uma dessas camadas foi de 55,6 e 195,7, respectivamente. Já o perfil de reflexão apresentou um padrão homogêneo para a lama compacta, com desvio-padrão de 0,008, e serrilhado quando há intercalação de lama arenosa apresentando desvio igual a 0,013 (Fig. 6.4).

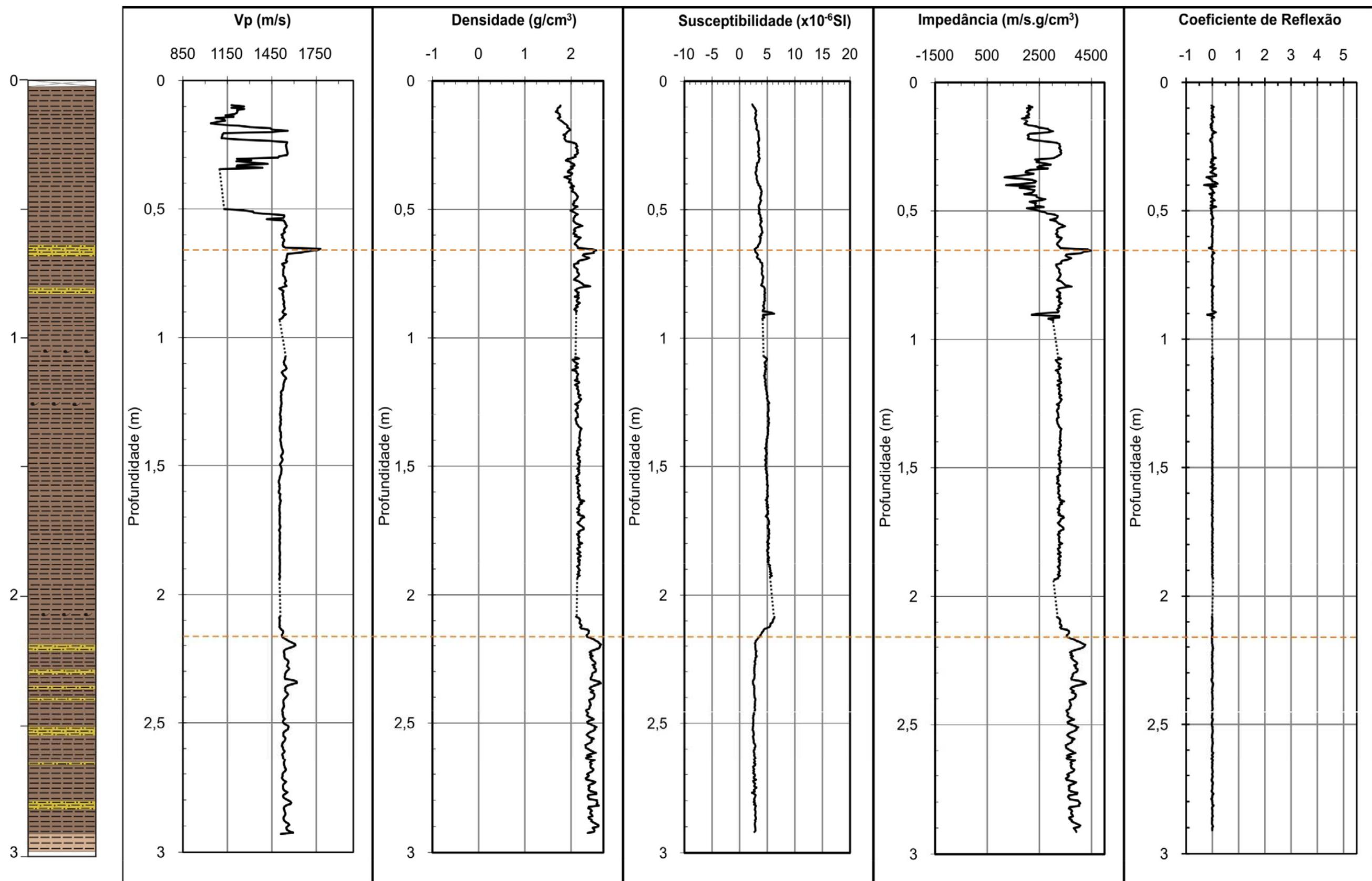


Figura 6.4: Perfis de velocidade de ondas P, densidade gama, susceptibilidade magnética, impedância acústica e coeficiente de reflexão do testemunho JP-119. As linhas horizontais pontilhadas ressaltam as principais interfaces.

JP-120

Este testemunho assemelha-se ao JP-119 devido à sua proximidade geográfica. O topo do testemunho é composto por lama muito fluida, passando a lama fluida, até a interface com lama compacta, desde o ponto 0,81 m em diante (apêndice II). Uma estreita camada de conchas ocorre entre as profundidades de 2,24 e 2,28 m, a partir da qual eventuais camadas milimétricas e centimétricas de lama arenosa com mica intercalam a lama compacta até a base (apêndice I).

De acordo com a figura 6.5, na camada do topo, composta por lama muito fluida e lama fluida, a velocidade oscilou entre 1518,7 e 1553,1 m/s, com valor médio de 1535,5 m/s e desvio-padrão igual a 9,0. Para a lama compacta que vai de 0,81 a 2,24 m, os registros variaram de 1498 a 1531,1 m/s, com média e desvio-padrão iguais a 1508,5 m/s e 6, respectivamente. Na camada mais profunda composta por conchas, lama compacta e lama arenosa, o perfil apresentou maior amplitude de variação atingindo valores entre 1513,5 e 1624 m/s, com desvio-padrão de 23,2 e média 1540,8 m/s.

No trecho que vai do topo até o ponto 0,81 m, o registro de densidade para as lamas muito fluida e fluida apresentou valores de 0,6 a 0,98 g/cm³, com média igual a 0,9 g/cm³ e desvio-padrão de 0,07. Já a lama compacta no meio do testemunho forneceu medidas de 0,95 a 1,17 g/cm³, apresentando valor médio de 1,06 g/cm³ e desvio-padrão igual a 0,04. Na camada mais profunda, o perfil de densidade mostrou-se irregular em função de uma maior variabilidade granulométrica (Fig. 6.5), e oscilou entre 1,17 e 1,66 g/cm³, com valor médio de 1,34 g/cm³ e desvio-padrão igual a 0,09.

O comportamento da susceptibilidade magnética neste testemunho evidenciou sua diferenciação faciológica (Fig. 6.5). Os valores mínimo e máximo na camada do topo foram 2,6 e 4,9x10⁻⁶ SI, respectivamente, com média igual a 3,3x10⁻⁶ SI e desvio-padrão de 0,5. Uma súbita elevação ocorre nas proximidades do ponto 0,8 m, devido à transição para a lama compacta. Os registros nesta camada oscilaram entre 6,9 e 12,5x10⁻⁶ SI, apresentando valor médio de 9,6x10⁻⁶ SI e desvio-padrão de 1,2. Em seguida, uma queda brusca ocorre a partir do ponto 2,28 m, devido à presença de conchas e lama arenosa. Neste trecho, a

susceptibilidade registrou valores de 2,2 a $5,2 \times 10^{-6}$ SI, média igual a $3,6 \times 10^{-6}$ SI e desvio-padrão de 0,7.

Através do perfil de impedância acústica foi possível identificar a interface no ponto 2,28 m, entre lama compacta e conchas (Fig. 6.5). Deste ponto em diante, o registro mostrou-se bastante irregular em relação às camadas superiores, provocando uma elevação no desvio-padrão de 58,4 para 170. Os valores do coeficiente de reflexão apresentaram muito pouca variação, não ressaltando as interfaces identificadas nos demais perfis.

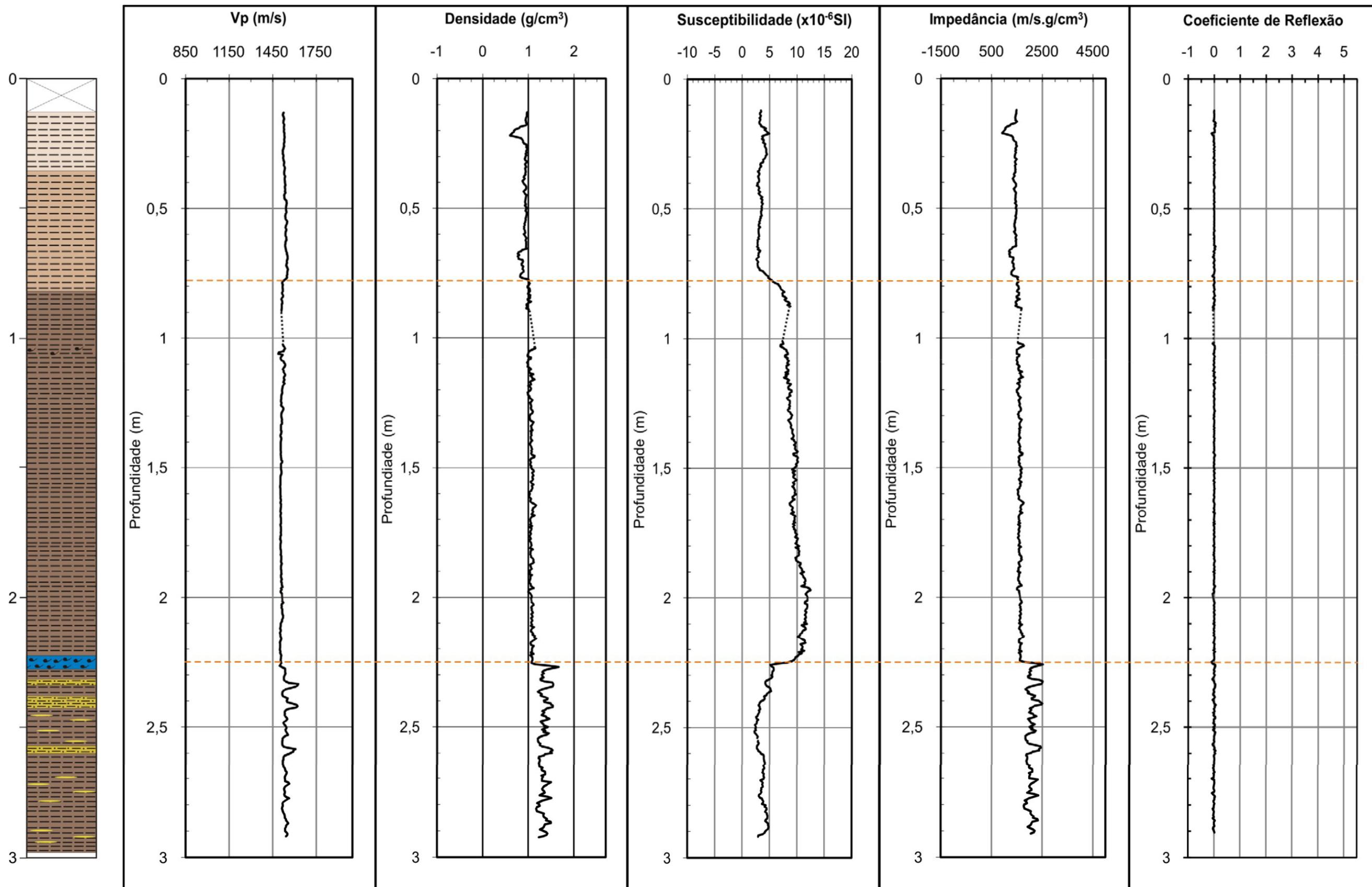


Figura 6.5: Perfis de velocidade de ondas P, densidade gama, susceptibilidade magnética, impedância acústica e coeficiente de reflexão do testemunho JP-120. As linhas horizontais pontilhadas ressaltam as principais interfaces.

7. Discussão

Este capítulo apresenta uma análise da relação entre os valores encontrados nos perfis e as características sedimentológicas do material que compõe os testemunhos. É apresentada uma análise dos resultados das medições de cada parâmetro físico, bem como a identificação das principais interfaces entre camadas de sedimentos.

7.1 Perfis de Velocidade

Para Buckingham (2005), em sedimentos que variam desde o cascalho até a argila, um aumento da granulometria representa um aumento nos valores da velocidade.

De acordo com os valores apresentados na tabela 7.1, a presença de lama arenosa provocou um aumento nas velocidades quando comparadas com a lama compacta. No testemunho JP-119, as finas camadas de lama arenosa, inseridas em um pacote de lama compacta, foram identificadas pelas sucessivas elevações da velocidade. Na interface próxima a 2 m, o sinal homogêneo da lama compacta passa a apresentar um padrão serrilhado em decorrência da transição para lama arenosa (Fig. 6.4).

Vale ressaltar que, em alguns pontos das amostras, ambos os sedimentos tiveram valores reduzidos, chegando a registrar um mínimo de 1309,4 m/s na lama arenosa do testemunho JP-104. Este comportamento pode ser justificado pela presença de gás ou bolhas de ar no conteúdo do material, o que necessariamente implicaria em uma redução no valor da V_p .

O principal problema para medições em laboratório, de sedimentos saturados por água, é a presença de ar trapeado nos espaços porosos. Uma atenuação mais intensa do sinal pode ocorrer devido à existência de ar ou gás, originado da decomposição de material orgânico (Hamilton, 1972). Considerando que os testemunhos utilizados neste trabalho foram mantidos guardados por aproximadamente nove anos, desde a coleta até a execução

das medidas, é grande a possibilidade da ocorrência de fermentação bacteriana com geração de gases no interior das amostras.

Nos primeiros 1,31 m do testemunho JP-104, o perfil de velocidade apresentou padrão serrilhado com grande variação, devido à presença de conchas com areia grossa a muito grossa. Neste intervalo, o sinal da velocidade aparece descontínuo e registra valores isolados, dentro de uma mesma faixa de variação (Fig. 6.1).

Com relação à variação dos valores encontrados para cada tipo de sedimento (Tab. 7.1), observou-se que a lama compacta com lama arenosa, as areias grossas a muito grossa e as conchas, apresentaram uma faixa ampla, enquanto as lamas fluida e muito fluida e a lama compacta mostraram uma faixa mais estreita. Este comportamento pode estar associado aos efeitos da heterogeneidade de cada material – o sedimento mais homogêneo (lama fluida e lama compacta) estaria menos susceptível a alterações na propagação. Esta heterogeneidade pode ocorrer devido à geometria das camadas de sedimento, ao grau de seleção das partículas, como também devido à própria proporcionalidade das misturas dos grãos (Macedo, 2006).

Tabela 7.1: Valores mínimo, máximo, média e desvio-padrão (DP) das velocidades encontradas para cada tipo de pacote sedimentar e resultados de Vp (m/s) em sedimentos marinhos superficiais obtidos de trabalhos anteriores.

Velocidade de Onda P (m/s)									
Tipo de Sedimento	mínimo	máximo	média	DP	Trabalhos anteriores				
					Hamilton (1980)		Hamilton e Bachman (1982)	Macedo (2006)	
Conchas	1134,9	1584,3	1389	88,75	–		–	–	
Areia grossa a muito grossa	1253,5	1612,8	1426,3	83,49	1836		1836		
Lama arenosa	1309,4	1777,9	1535,1	32,7	mín	máx	1582	mín	máx
					1579	1652			1492
Lama fluida e muito fluida	1519,3	1553,1	1535,5	9,02	–	–	–	–	–
Lama compacta	1385,6	1549,9	1505,3	14,86	1520	1615	1546	1493	1600

7.2 Perfis de Densidade

Através dos perfis de densidade gama as principais diferenças nos acamamentos também foram registradas.

De maneira geral, ocorreram pequenas elevações na densidade em decorrência da presença de lama arenosa. O perfil homogêneo observado nas camadas de lama compacta dos testemunhos JP-104, JP-119 e JP-120, passa a apresentar um padrão serrilhado nas transições para a lama arenosa (Figs. 6.1, 6.4 e 6.5). A tabela 7.2 evidencia esta diferença através dos valores médios encontrados para ambos os sedimentos.

É importante ressaltar que, apesar dos valores calculados para a lama compacta apontarem uma ampla variabilidade (Tab. 7.2), a análise separada dos perfis de densidade mostra o padrão altamente uniforme caracterizado por esse tipo de sedimento. Este fato pode ocorrer devido aos testemunhos apresentarem valores diferenciados, apesar da aparente semelhança entre os pacotes sedimentares.

No testemunho JP-104 foi observada uma queda significativa associada às camadas de conchas, que se encontravam esparsas dentro do testemunho (apêndice II), chegando a atingir valores negativos. Uma súbita elevação ocorreu na interface com areia grossa a muito grossa, como mostra a figura 6.1.

Ao observar os valores das tabelas 7.1 e 7.2, é possível notar a proporcionalidade das oscilações de Vp e densidade, respectivamente, confirmando a linearidade existente entre ambas, como visto no capítulo 4 (Fig. 4.2), dada suas relações em comum com a porosidade, granulometria, processos de compactação, entre outros.

Tabela 7.2: Valores mínimo, máximo, média e desvio-padrão (DP) das densidades encontradas para cada tipo de pacote sedimentar.

Densidade (g/cm³)				
Tipo de Sedimento	mínimo	máximo	média	DP
Conchas	-0,72	1,65	-0,37	0,76
Areia grossa a muito grossa	0,9	1,64	1,32	0,23
Lama arenosa	1,02	2,64	1,84	0,43
Lama fluida e muito fluida	0,59	0,98	0,9	0,07
Lama compacta	0,53	2,28	1,37	0,5

7.3 Perfis de Susceptibilidade Magnética

Segundo Cavalini *et al.* (2006), o tamanho das partículas constitui um dos principais fatores que influenciam a susceptibilidade magnética de um material. As variações na susceptibilidade magnética relacionadas à mudança do tipo de material foram registradas com precisão pelos perfis obtidos neste trabalho.

Alterações significativas ocorreram nas interfaces, onde os valores da tabela 7.3 para lama arenosa se mostraram inferiores aos encontrados na lama compacta, visto que granulometrias mais finas tendem a apresentar maior disponibilidade de minerais magnéticos.

No testemunho JP-120 (Fig. 6.5), por exemplo, uma queda acentuada nos valores da susceptibilidade caracterizou a transição de lama compacta para lama arenosa, também com presença de conchas. As lamas fluida e muito fluida registraram valores mais baixos do que a lama compacta, devido a menor concentração de sedimentos nas primeiras.

Outras interfaces foram observadas no testemunho JP-104. Nos primeiros 1,31 m o perfil de susceptibilidade magnética associou valores negativos à camada de areia grossa a muito grossa, caracterizando o material como diamagnético (substâncias ligeiramente repelidas quando sujeitas a um campo magnético). Na segunda metade do testemunho, composta por lama compacta, pequenas quedas na susceptibilidade ocorreram em função de sucessivas intercalações de areia fina e lama arenosa (Fig. 6.1).

Tabela 7.3: Valores mínimo, máximo, média e desvio-padrão (DP) das susceptibilidades magnéticas encontradas para cada tipo de pacote sedimentar.

Susceptibilidade Magnética ($\times 10^{-6}$ SI)				
Tipo de Sedimento	mínimo	máximo	média	DP
Conchas	1,45	8,79	2,88	1,75
Areia grossa a muito grossa	-3,78	-0,77	-1,39	0,58
Lama arenosa	2,22	6,3	3,31	0,74
Lama fluida e muito fluida	2,59	4,96	3,37	0,5
Lama compacta	4,3	21,46	9,69	3,85

7.4 Perfis de Impedância Acústica e Refletividade

De maneira geral, os perfis de impedância acústica apresentaram coerência na identificação das interfaces, estando mais diretamente associados às variações dos perfis de densidade (Figs. 6.1, 6.3, 6.4 e 6.5). Os gráficos do coeficiente de reflexão confirmaram as discordâncias quando os demais perfis mostraram diferenças bruscas nas transições entre camadas como, por exemplo, na transição entre conchas e lama compacta ocorrida no ponto 1,31 m do testemunho JP-104 (Fig. 6.1), onde o coeficiente de reflexão registrou o valor máximo de 5,14.

8. Conclusão

A integração das etapas associadas à metodologia adotada mostrou-se adequada para a função de identificar interfaces, dada a variabilidade granulométrica das amostras coletadas.

Foram perfilados quatro testemunhos coletados na área de estudo, totalizando 12 m de material. Oito tipos distintos de sedimentos foram considerados: conchas, areia grossa a muito grossa, areia média, areia muito fina a fina, lama arenosa, lama compacta, lama fluida e lama muito fluida. Esta variedade favoreceu a análise comparativa realizada com os gráficos de velocidade, densidade e susceptibilidade magnética.

Os perfis mostraram-se satisfatórios na avaliação do comportamento de cada parâmetro físico. Estes permitiram associar as posições ao longo dos testemunhos, com os valores de V_p , densidade gama e susceptibilidade magnética, e com os parâmetros sedimentológicos obtidos na descrição do material coletado. Desta forma, o recurso utilizado favoreceu a identificação de interfaces entre camadas de sedimentos.

Conforme descrito no capítulo 6, os gráficos de impedância acústica e do coeficiente de reflexão se mostraram úteis na definição das principais interfaces. Pode-se dizer que eles facilitaram a diferenciação das camadas e apresentaram coerência em relação aos perfis de velocidade e de densidade.

De maneira geral, a lama arenosa apresentou velocidade e densidade mais altas, e susceptibilidade magnética mais baixa, quando comparada com a lama compacta (Tabs. 7.1, 7.2 e 7.3).

Os resultados obtidos para as lamas estão de acordo com a literatura. Esta explica que os maiores valores de velocidade e densidade, inversamente proporcionais aos de susceptibilidade magnética, estão associados aos sedimentos de maior granulometria. Especificamente, os resultados com a areia grossa a muito grossa e as conchas estão em desacordo com esta afirmação, devido à falta de compactação do material no testemunho JP-104 (apêndice II). Neste trecho, o perfil de velocidade apresentou valores anômalos,

coincidindo com os registros negativos de densidade (Fig. 6.1). Este resultado pode ser justificado pela grande quantidade de espaços vazios no interior do testemunho e, portanto, não representa os valores reais de densidade e velocidade para ambos os tipos de sedimentos.

A análise granulométrica da seção de lama arenosa do testemunho JP-112, expressa na figura 6.2, foi de fundamental importância para ratificar a relação da variabilidade dos parâmetros físicos com a classificação granulométrica utilizada para a caracterização dos quatro testemunhos.

É importante lembrar que as taxas de variação encontradas para cada parâmetro físico não dependem somente da granulometria do material. Estes também sofrem influência direta de seus constituintes, ou seja, das propriedades físicas no poro, dos arranjos estruturais, das propriedades de contato entre grãos e da composição mineral – dados que podem colaborar ainda mais com a precisão da pesquisa.

No experimento desenvolvido nesta pesquisa, foi possível observar que, nas medições dos testemunhos JP-104, JP-112, JP-119 e JP-120, há nitidamente um aumento da velocidade e da densidade, relacionados a uma diminuição da susceptibilidade magnética e vice-versa.

9. Referências Bibliográficas

- AKAL, T; CURZI, P. V. & MICHELOZZI, E. 1984. *Geoacoustic and Geotechnical Properties of Sediments: a pilot study*. Mem. Soc. Geol. Italiana, Vol. 27. P. 411-421.
- ANDRADE, A.C.S.; DOMINGUEZ, J.M.L.; MARTIN, L. & BITTENCOURT, A.C. 2003. *Quaternary Evolution of the Caravelas Strandplain – Southern Bahia State – Brazil*. Anais da Academia Brasileira de Ciências 75(3) P: 357-382.
- AYRES NETO, A. 1998. *Relationships Between Physical Properties and Sedimentological Parameters of Near Surface Marine Sediments and their Applicability in the Solution of Engineering and Environmental Problems*. University of Kiel, Germany.
- AYRES NETO, A. 2001. *Uso da Sísmica de Reflexão de Alta Resolução e da Sonografia na Exploração Mineral Submarina*. Brazilian Journal of Geophysics, Vol. 18(3), 2000.
- AYRES, A. & THEILEN, F. 1999. *Relationship Between P- and S-wave Velocities and Geological Properties of Near-surface sediments of the Continental Slope of the Barents Sea*. Geophysical Prospecting, 1999, 47, p. 431-441.
- BASSIOUNI, Z. 1994. *Theory, Measurement, and Interpretation of Well Logs*. Society of Petroleum Engineers. Richardson, TX, USA.
- BECEGATO, V.A. & FERREIRA, F.J.F. 2005. *Gamaespectrometria, Resistividade Elétrica e Susceptibilidade Magnética de Solos Agrícolas no Noroeste do Estado do Paraná*. Revista Brasileira de Geofísica, 23(4): 371-405.
- BROWN, R.J.S. & KORRINGA, J. 1975. *On the Dependence of the Elastic Properties of a Porous Rock on the Compressibility of the Pore Fluid*. Geophysics, Vol. 40, No 4. P: 608-616.
- BUCKINGHAM, M.J. 2005. *Compressional and shear wave properties of marine sediments: comparisons between theory and data*. J. Acoust. Soc. Am., v.117, n.1, p.137-152.
- CAMPOS, C.W.M.; MIURA, K.; REIS, L.A.N. 1973. *The East Brazilian Cotinental Margin and Petroleum Prospects*. In: Nairn, A.E.M. & Stehli, F.G., Eds. *The Ocean Basins and Margins*. New York, Plenum Press. V. 1.

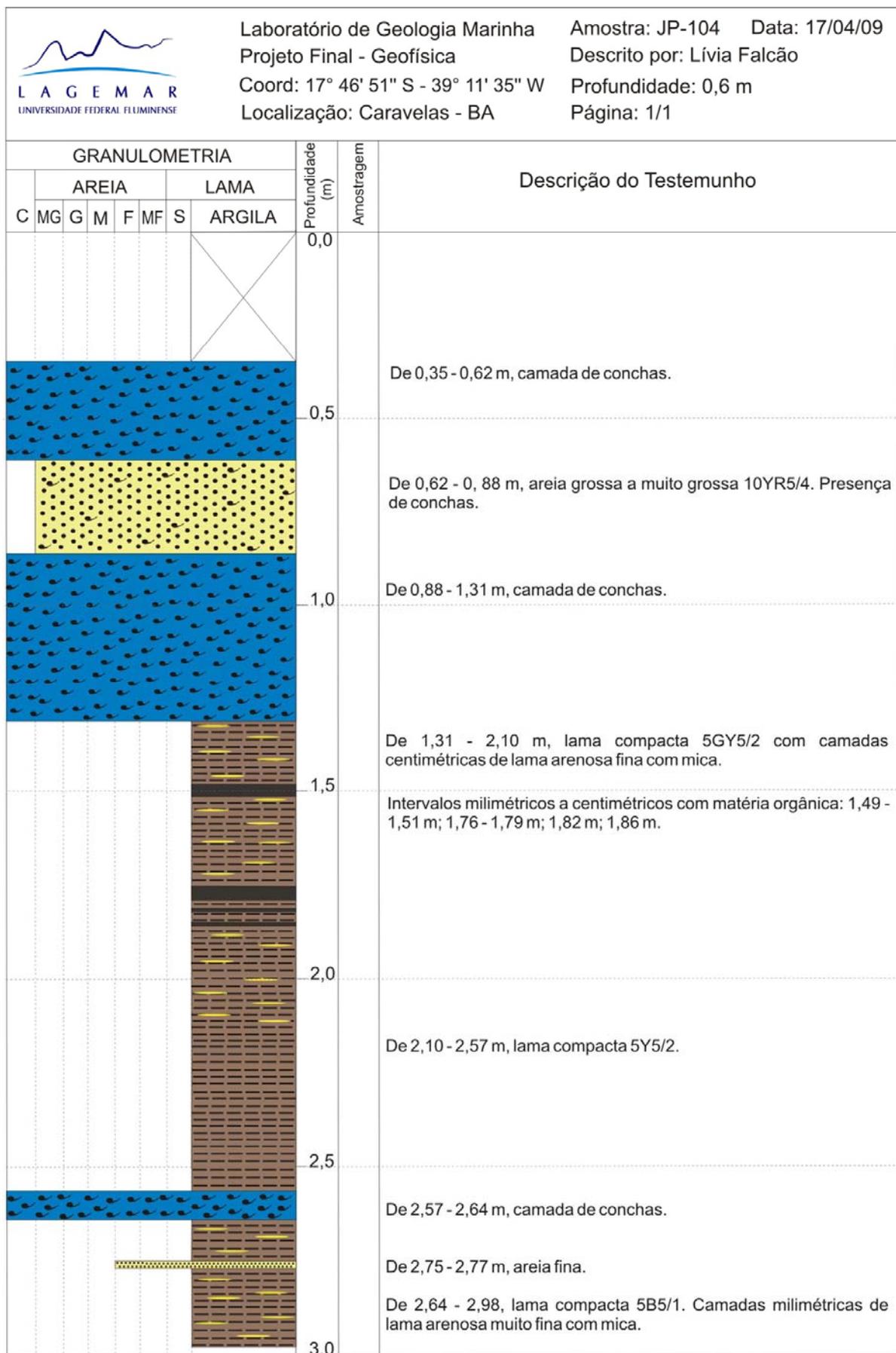
- CAVALINI, S.R.; COSTA, A.C.; JUNIOR, I.G.; HOEPERS, A.; VILAR, C.C. & LICHT, O.A.B. *Variabilidade Espacial da Susceptibilidade Magnética de Solos do Estado do Paraná*. Anais da 58ª Reunião Anual da SBPC - Florianópolis, SC - Julho/2006.
- DURZA O., GREGOR T., ANTALOVA S. 1993. *The effects of the heavy metals soil contamination on the magnetic susceptibility*. Acta Univ Carol Geol 37 : 135–143.
- ELLWOOD, B.B.; BALSAM, W.L. & ROBERTS H.H. 2006. *Gulf of Mexico sediment sources and sediment transport trends from magnetic susceptibility measurements of surface samples*. Marine Geology 230. P. 237-248.
- ELLWOOD, B.B.; CRICK, R.E., EL HASSANI, A., BENOIST, S., YOUNG, R., 2000. *MagnetoSusceptibility Event and Cyclostratigraphy (MSEC) in marine rocks and the question of detrital input versus carbonate productivity*. Geology 28, 1135–1138.
- FIGUEIREDO JR., A. G.; ABUCHACRA, R. C.; VASCONCELOS, S. C.; SANTOS, R. A.; SAMPAIO, M. B.; VIANNA, P. J. A.; SILVA, F. T.; De TOLEDO, BEVILACQUA, M. *Perfilador Multi-Sensor Geotek para Testemunhos (Aplicação em Análises Não-Destrutivas de Testemunhos Sedimentares)*. Anais do 44º Congresso Brasileiro de Geologia. Curitiba, 2008.
- FRANÇA, A.M.C., 1979. Geomorfologia da Margem Continental Leste Brasileira e da Bacia Oceânica Adjacente. Série Projeto REMAC, v. 7: 89-127.
- FREDERICHS, T.; SCHMIEDER, F.; HUBSCHER, C.; FIGUEIREDO, A.; COSTA, E. 1996. *Physical Properties Studies*. Report and preliminary results of METEOR-Cruise M 34/4. Recife – Bridgetown (19.03 – 15.04.1996). No 80.
- FREUND, D. 1992. *Ultrasonic Compressional and Shear Velocities in Dry Clastic Rocks as a Function of Porosity, Clay content and Confining Pressure*. Geophysics. J. Int., Vol 108. P: 125-135.
- GEOTEK Multi Sensor Core Logger systems (MSCL) – *General product overview and price guide MSCL*. February 2007.
- GEOTEK Multi Sensor Core Logger systems (MSCL) – *Manual operation, version 11-08*.
- HAMILTON, E. L. 1972. Compressional-wave attenuation in marine sediments. Geophysics, Society of Exploration Geophysicists, v.37, p.620-646.

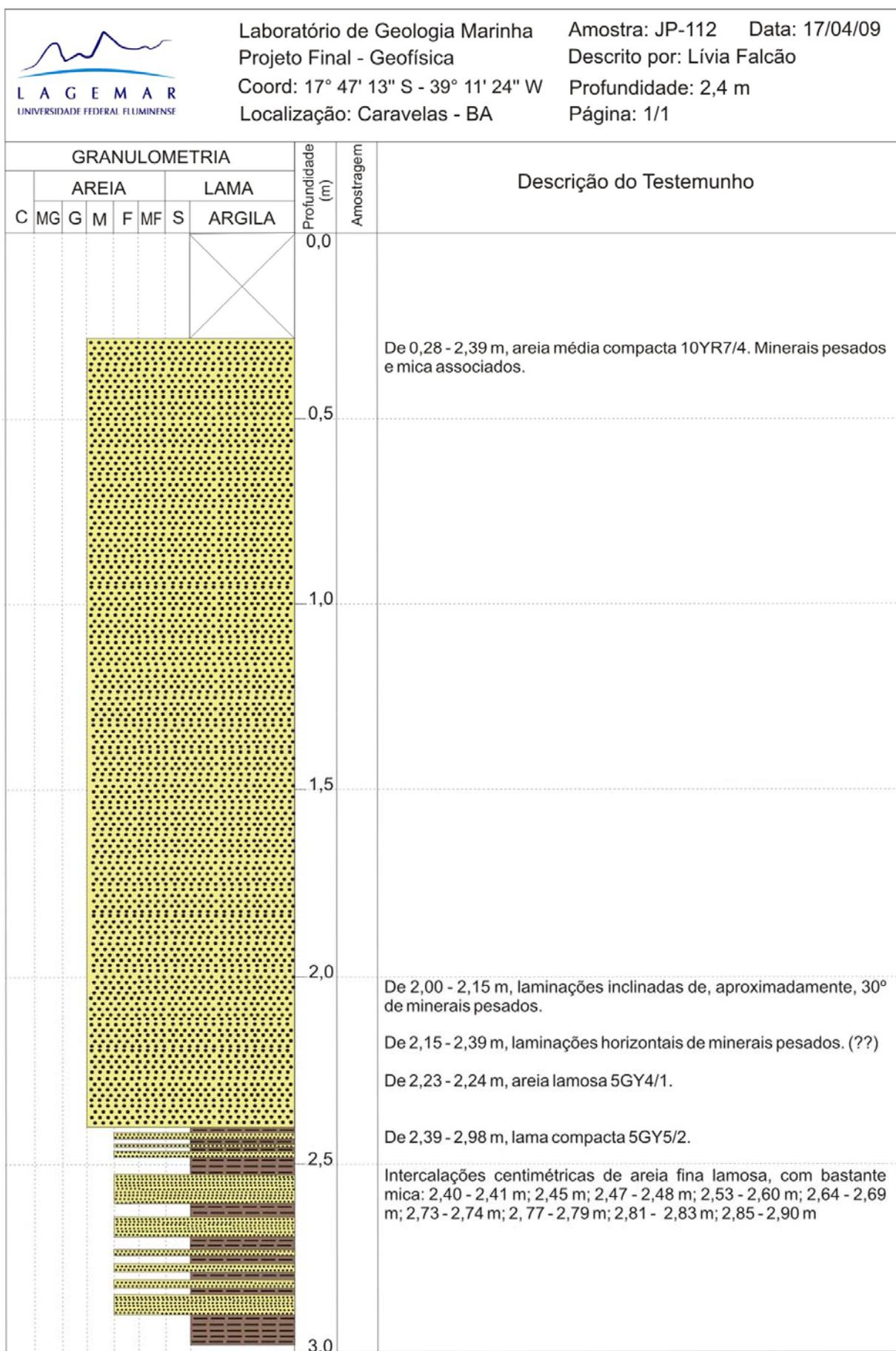
- HAMILTON, E.L. 1980. *Geoacoustic Modeling of the Sea Floor*. J. Acoustical Society of America, 68(5), Nov.1980.
- HAMILTON, E.L. & BACHMAN, R.T. 1982. *Sound Velocity and Related Properties of Marine Sediments*. J. Acoustic Soc. Am., Vol. 72, No 6, p.1891-1904.
- HAN, D.; NUR, A. & MORGAN, D. 1986. Effects of Porosity and Clay Content on Wave Velocities in Sandstones. *Geophysics*, Vol. 51, No 11. P: 2093-2107.
- KOWSMANN, R.O. & COSTA, M.P.A. 1979. *Sedimentação Quaternária da Margem Continental Brasileira e das Áreas Oceânicas Adjacentes*. Série Projeto REMAC, vol. 8.
- LE RAVALEC, M. & GUÉGUEN, Y. 1996. *High- and Low-frequency Elastic Moduli for a Saturated Porous/Cracked Rock- Differential Self-Consistent and Poroelastic Theories*. *Geophysics*, Vol. 61, No 4. P: 1080-1094.
- LEÃO, Z.M.A.N. 2002. *Abrolhos, BA - O complexo recifal mais extenso do Atlântico Sul*. In: Schobbenhaus, C.; Campos, D.A. ; Queiroz, E.T.; Winge, M.; Berbert-Born, M.L.C. (Edits.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. 1. ed. Brasília: DNPM/CPRM - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002, v.01: 345-359.
- MACEDO, H.C. 2006. *Análise da propagação de ondas compressãois (P) em sedimentos marinhos*. Dissertação de Mestrado. Lagamar – UFF.
- OLDFIELD F. & SCOULLOS M. 1984. *Particulate pollution monitoring in the Elefsis Gulf : the role of mineral magnetic studies*. *Mar Pollut Bull* 15 : 229–231
- SANCEVERO, S.S. & REMACRE, A.Z. 2003. *Representação de Reservatórios Turbidíticos gerados por Simulação Estocástica baseada em Objetos*. Anais do 2º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo & Gás.
- SCHLUMBERGER. 1987. *Log interpretation - principles/applications*. N.Y.: Schlumberger Ltd., p. 11-4.
- SCHON, J.H. 1996. *Physical properties of rocks: fundamentals and principles of petrophysics*. Vol.18. Chapter 3.
- SCOULLOS M.J. 1986. *Trace metal and magnetic studies of sediments in Greek estuaries and enclosed gulfs*. *Mar Chem* 18: 249–268

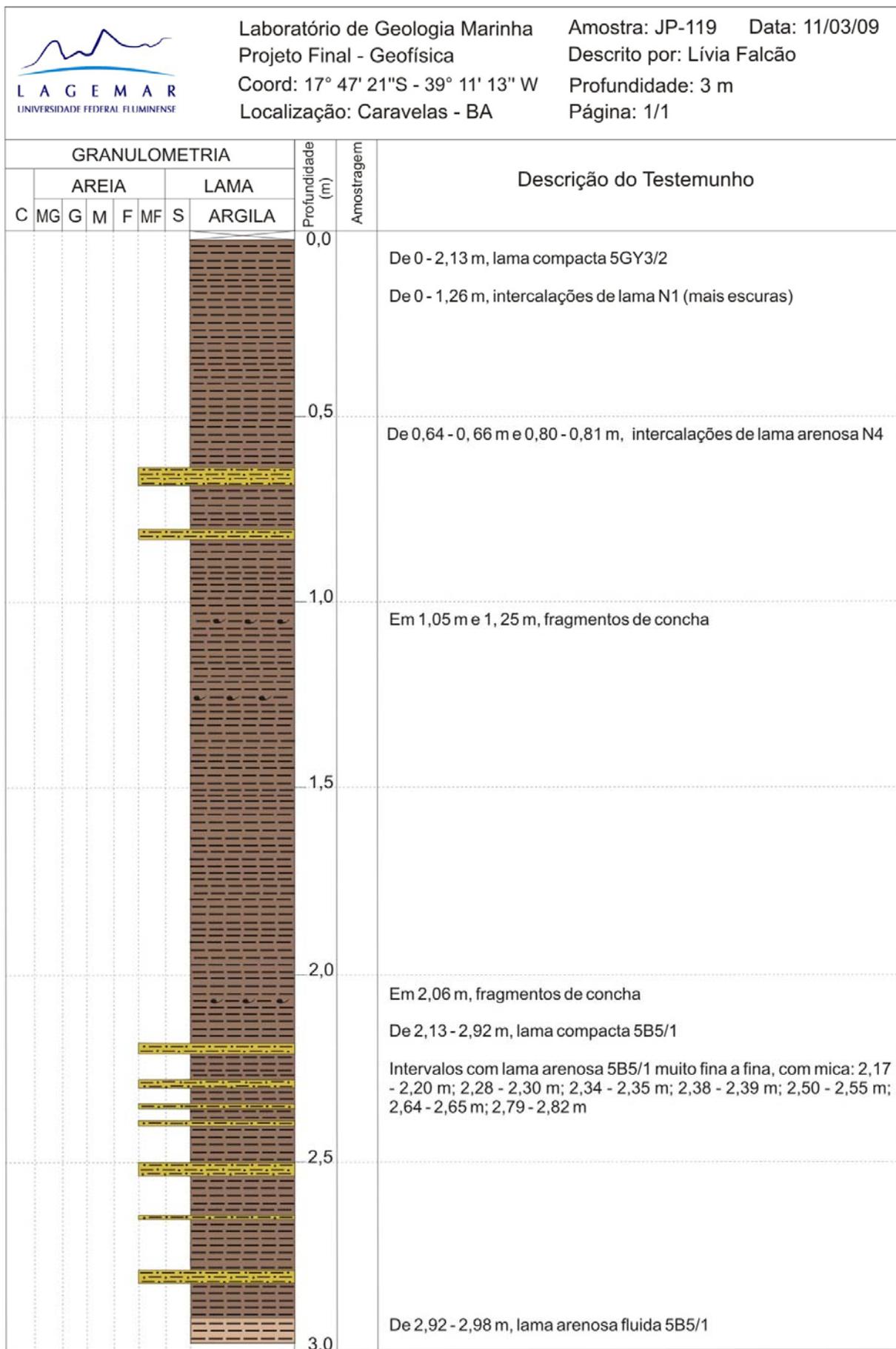
- SCOULLOS M.J., OLDFIELD F., THOMPSON R. 1979. *Magnetic monitoring of marine particulate pollution in the Elefsis Gulf, Greece*. Mar Pollut Bull 10 : 287–291
- SHERIFF RE. 1999. *Encyclopedic Dictionary of Exploration Geophysics*. Society of Exploration Geophysicists, Third Edition, 384 p.
- TAO, G.; KING, M.S. & NABI-BIDHENDI, M. 1995. *Ultrasonic Wave Propagation in Dry and Brine-Saturated Sandstones as Function of Effective Stress: Laboratory Measurements and Modelling*. Geophysical Prospecting, Vol. 43. P: 299-327.
- VICALVI, M.A.; COSTA, M.P.A.; KOWSMANN, R.O. 1978. *Depressão de Abrolhos: uma paleolaguna Holocênica na plataforma continental leste brasileira*. Bol. Tec. Petrobrás, 21(4):279-286.
- WOHLENBERG, J. 1982. Density, in: LANDOLT-BORNSTEIN. Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology, New Series; Group V. Geophysics and Space Research, Vol.1 Physical Properties of Rocks, Subvol. a Springer-Verlag Berlin. Heidelberg. New York.
- WOODS, R.D. 1991. *Soil Properties for Shear Wave Propagation*. In Hovem, J.M. et al. (Eds.), *Shear Wave in Marine Sediments*. P: 29-39.
- YU L., OLDFIELD F., WU Y., ZHANG S., XIAO J. 1992. *Paleoenvironmental implications of magnetic measurements on sediment core from Kunming Basin, SW China*. J Paleolimnol 3: 95–111.

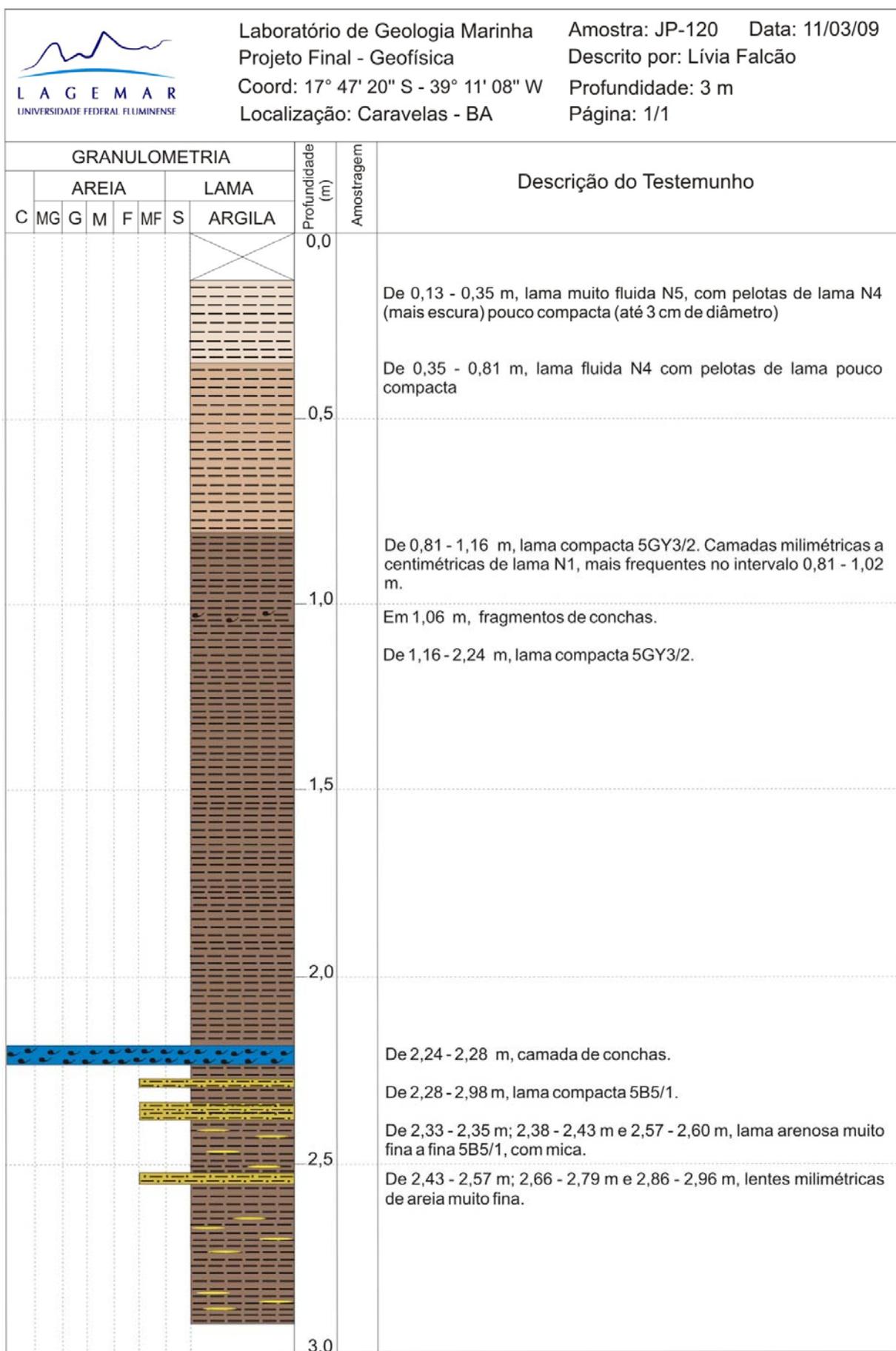
Apêndice I

DESCRIÇÃO SEDIMENTOLÓGICA DOS TESTEMUNHOS









Apêndice II

FOTOGRAFIAS DOS TESTEMUNHOS

