

**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE**

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA**

**RODRIGO LEANDRO BASTOS PONTES**

**CORRELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS ACÚSTICOS, GEOLÓGICOS E  
GEOTÉCNICOS DOS SEDIMENTOS MARINHOS SUPERFICIAIS DA PORÇÃO  
CENTRAL DA BACIA DE SANTOS**

**NITERÓI**

**2010**

**RODRIGO LEANDRO BASTOS PONTES**

**CORRELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS ACÚSTICOS, GEOLÓGICOS E  
GEOTÉCNICOS DOS SEDIMENTOS MARINHOS SUPERFICIAIS DA PORÇÃO  
CENTRAL DA BACIA DE SANTOS**

**Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito  
parcial, para obtenção do título de  
Bacharel em Geofísica da  
Universidade Federal Fluminense.**

**Orientador:**

**Arthur Ayres Neto**

**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE**

**NITERÓI**

**2010**

**CORRELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS ACÚSTICOS, GEOLÓGICOS E  
GEOTÉCNICOS DOS SEDIMENTOS MARINHOS SUPERFICIAIS DA PORÇÃO  
CENTRAL DA BACIA DE SANTOS**

**Trabalho de conclusão de curso submetido ao  
Programa de Graduação em Geofísica da  
Universidade Federal Fluminense como  
requisito parcial para obtenção do título de  
Graduado. Área de concentração: Geofísica  
Marinha e Ambiental.**

**Aprovada em Julho de 2010.**

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Arthur Ayres Neto**

**UFF**

---

**Prof<sup>a</sup>. Eliane da Costa Alves**

**UFF**

---

**Prof. José Antônio Baptista Neto**

**UFF**

**Niterói**

**2010**

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVOS.....	4
3	ÁREA DE ESTUDO.....	5
4	GEOLOGIA REGIONAL.....	6
5	CONCEITOS BÁSICOS.....	8
5.1	Velocidade de Ondas P.....	8
5.2	Densidade.....	9
5.3	Impedância Acústica.....	10
5.4	Susceptibilidade Magnética.....	10
5.5	Porosidade.....	11
5.6	Resistência ao Cisalhamento.....	11
5.7	Ensaio de Carga.....	12
5.8	Teor de Umidade.....	12
5.9	Granulometria.....	13
5.10	Correlações.....	13
6	METODOLOGIA.....	15
6.1	Aquisição dos Dados.....	15
6.2	Sistemas de Medição MSCL.....	17
6.3	Ensaio Geológicos.....	19

6.4	Ensaio Geotécnicos.....	20
7	RESULTADOS.....	22
7.1	Grupo 1.....	23
7.2	Grupo 2.....	33
7.3	Grupo 3.....	44
8	CONCLUSÕES.....	55
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

## 1. Introdução

A evolução tecnológica, o uso de algoritmos mais eficientes e o grande interesse econômico, são alguns dos fatores responsáveis pela crescente descoberta de campos exploratórios de óleo e gás em grandes profundidades, que chegam a ultrapassar os 2000 metros de lâmina d'água. É na exploração em águas profundas e distantes da costa que as empresas produtoras encontram o desafio de transportar sua produção para o continente. A solução mais eficiente para o escoamento da produção desses campos é a utilização de dutos rígidos e flexíveis.

Os processos de instalação e manutenção destes dutos têm de levar em conta uma série de variáveis como as altas pressões e temperaturas que os dutos estão sujeitos, a ação de correntes marinhas, a instabilidade e erosão dos sedimentos do fundo. Então, o estudo para o assentamento destas instalações tem de ser detalhado de maneira que possa haver um bom gerenciamento dos riscos geológicos e geotécnicos. Este detalhamento dos primeiros 50 a 100 cm do fundo é feito utilizando métodos geoacústicos.

Diversos modelos vêm sendo estudados e desenvolvidos a fim de obter um maior detalhamento das correlações entre propriedades físicas, geológicas, geotécnicas e os parâmetros geoacústicos. Em geral, estes modelos são importantes ferramentas que permitem medir, inferir e prever valores e relações das propriedades físicas em um determinado meio marinho. Sabe-se que a obtenção de medidas *in situ* é um processo complexo, por questões logísticas, por exemplo, e reflete na quantidade de informações e dados presentes na literatura (Buckingham, 2005).

Desta forma, utiliza-se metodologias e ferramentas que auxiliam o aperfeiçoamento da modelagem geoacústica do fundo marinho, como o estudo das correlações entre as propriedades acústicas dos sedimentos através da velocidade de propagação das ondas P e os parâmetros físicos, geológicos e geotécnicos

(granulometria, susceptibilidade magnética, teor de umidade, resistência ao cisalhamento, porosidade e densidade entre outros) dos sedimentos que compõe o fundo marinho e suas camadas subseqüentes. (Hamilton 1980, Richardson et al. 1997 e 2002 e Buckingham 2005).

Uma das ferramentas estatísticas mais importantes a ser utilizada nesse tipo de estudo é a análise dos coeficientes de correlação. Sem sombra de dúvida, a correlação (ou coeficiente de correlação) se tornou uma das ferramentas mais importantes na análise de dados desde que foi desenvolvida por matemáticos no início do séc. XX. A correlação permite que se estude o grau de dependência entre duas variáveis e é fundamental quando existe a necessidade de modelar o comportamento de duas ou mais variáveis em uma determinada situação.

Os primeiros trabalhos sobre classificação geocústica do fundo marinho foram desenvolvidos na década de 80. Hamilton (1980) e Hamilton & Bachman (1982) realizaram trabalhos pioneiros na área de correlação entre parâmetros físicos e geológicos de sedimentos marinhos superficiais e chegaram a resultados importantes. Concluíram que  $V_p$  é sensível às mudanças na porosidade e aos fluidos presentes nas amostras. Demonstraram que a impedância é fortemente controlada pela densidade e que nem sempre  $V_p$  possui boa correlação com a densidade. Akal et al. (1984) apresentou resultados sobre a relação entre modelos geocústicos (velocidade de ondas P e S) e propriedades como granulometria, densidade, teor de umidade e índice de vazios. Recentemente Britzke & Spiess (1991) verificaram estas relações em sedimentos de mar profundo. Estudos mais específicos entre propriedades geotécnicas foram executados por Ayres e Theilen (1997a, 1997b, 1998, 1999, 2001) e Theilen et al. (1997). Ayres (1998), por exemplo, encontrou correlações muito fracas entre a velocidade de propagação de ondas P e os teores de areia, silte e argila. Ayres e Silva (2006) e Solano et al. (2007) mostraram como a integração entre geofísica e

geotecnia é vital em projetos para instalação de plataformas, dutos e estruturas fixas de produção e exploração de óleo e gás no fundo.



## **2. Objetivos**

Estudar a correlação entre os parâmetros acústicos e as propriedades geológicas e geotécnicas de sedimentos marinhos superficiais para aplicação na modelagem geoacústica do fundo marinho para projetos de instalação de estruturas de exploração e produção de hidrocarbonetos.

### **3. Área de Estudo**

A área de estudo corresponde à região de plataforma continental interna e talude na Bacia de Santos. A Bacia de Santos corresponde a uma das principais bacias da porção sudeste da margem leste brasileira, cobrindo uma área de aproximadamente 200.000 km<sup>2</sup>, localizada na região que compreende os estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina (Milani *et al.* 2000). É delimitada ao norte pelo Alto de Cabo Frio e ao sul pelo alto de Florianópolis. Possui uma espessura sedimentar estimada em oito mil metros podendo alcançar treze mil metros nos principais depocentros (Chang & Kowsmann, 1984 *apud* Macedo, 1990).

#### 4. Geologia Regional

O Programa REVIZEE e o projeto Remac foram fundamentais para o conhecimento e mapeamento da sedimentação na margem sudeste brasileira. A cobertura sedimentar desta região é dividida em dois grandes domínios: o domínio de sedimentação terrígena que abrange as plataformas interna e média e o domínio carbonático, de plataforma externa.

A plataforma continental brasileira apresenta uma largura máxima de 250 km e sua quebra é, em média, na isóbata de 200 m. Entre o sul da cidade de Rio Grande e o norte de Santos, há uma ampla distribuição de areias, bolsões de areia lamosa e de lama arenosa, que ocorrem na plataforma continental média na porção sul e nas proximidades da Baía de Ilha Grande (Figueiredo Jr. & Tessler, 2004).

Na plataforma continental interna e média há a predominância de lamas em toda sua extensão, desde a Ilha de São Sebastião até a cidade de Rio Grande. As areias finas e muito finas estão localizadas na plataforma média e interna e predominam ao sul da cidade do Rio de Janeiro.

Segundo Rocha *et al* (1975), os depósitos encontrados na plataforma continental média do sul/sudeste correspondente às extensas fácies lamosas, com predominância de silte e argila, são associados aos depósitos lagunares costeiros, principalmente entre Santos e o arroio Chuí. Esse ambiente sedimentar foi caracterizado através da variação litológica lateral das fácies (areia/lama/areia) e em aspectos diagenéticos locais do corpo de lama. As lamas aproximam-se do talude continental ao sul de Santos, enquanto ao norte de Florianópolis avançam até a plataforma interna. Entre Santos e Cabo Frio a ocorrência dessas lamas não apresenta a mesma continuidade, no entanto ainda se destaca como unidade faciológica.

As fácies principais da sedimentação carbonática, entre Cabo Frio e Santos, são areias de recifes de algas, foraminíferos bentônicos e misturas de moluscos com briozoários e foraminíferos. Ao norte de Santos predominam composições ricas em recifes de algas e briozoários, sendo cada vez menos aparentes em direção ao sul (Kempff, 1972; Rocha et al. 1975; Vicalvi & Milliman, 1977). Kempff (1972) atribui esta mudança a uma atuação maior de sedimentação terrígena ao sul de Santos, imperceptível a partir de Cabo Frio. Na plataforma externa, encontram-se componentes de fácies carbonáticas em mau estado de preservação devido a uma

fase de retrabalhamento em ambiente de alta energia (Kowsmann & Costa, 1974; Rocha *et al*, 1975; Souza, 2010).

Uma análise feita através de estudos do projeto REVIZEE, segundo a classificação de Larssonneur (1977), indica que os sedimentos litoclásticos predominam na região ao sul do estado de São Paulo, enquanto que os bioclásticos aumentam de São Paulo para o norte. Os sedimentos bioclásticos concentram-se mais nas partes profundas, enquanto os litoclásticos estão nas áreas mais rasas. Os sedimentos bioclásticos apresentam faixas menores e isoladas ao sul, enquanto que para o norte, as faixas são maiores e contínuas. A classificação de Larssonneur refere-se aos percentuais de carbonato e granulometria. Sedimentos com percentual de carbonato menor que 30% são classificados como litoclásticos; entre 30% e 50% são classificados como litobioclásticos; entre 50% e 70% são classificados como biolitoclásticos e acima de 70% são chamados de bioclásticos (Souza, 2010).

Ao sul da Ilha de São Sebastião observa-se que a plataforma continental é caracterizada por apresentar sedimentos com percentual de carbonatos inferior a 30%, ou seja, litoclásticos, transitando para sedimentação biolitoclástica na plataforma continental externa, onde se encontram depósitos intercalados a sedimentação litobioclástica e bioclástica, até as imediações da Lagoa dos Patos (Figueiredo Jr & Tessler, 2004).

Ao norte da Ilha de São Sebastião, os sedimentos distribuem-se ao longo de faixas maiores e de maior continuidade, cobrindo não só a plataforma externa, mas estendendo-se em direção à plataforma continental interna e média.

Os mapas de classificação de sedimentos do programa REVIZEE foram feitos a partir de modificações na classificação de Shepard, pois consideram apenas como principais constituintes as granulometrias de argila, silte e areia.

## 5. Conceitos Básicos

### 5.1. Velocidade de Ondas P

As ondas P são ondas mecânicas compressoriais, isto é, as partículas do meio pelo qual as ondas se propagam, se movimentam na mesma direção de propagação da onda, de forma que o meio é constantemente comprimido e distendido. As ondas longitudinais, podendo ser assim classificadas, são as primeiras a serem registradas por um sismo ou fonte artificial, por isso são chamadas de ondas P (primárias). Este tipo de onda se propaga em meios compressíveis, ou seja, tanto em sólidos como em fluidos.

A propagação das ondas P depende de duas constantes elásticas: o módulo de rigidez ( $\mu$ ) e compressão (k). De acordo com Akal (1984), entende-se por módulo de rigidez a elasticidade longitudinal do material, e o módulo de incompressibilidade correlaciona a redução do volume do corpo sujeito a pressões em três dimensões.

Através destes parâmetros pode-se definir a velocidade de propagação de ondas P através da equação:

$$v_p = \sqrt{\frac{k + (4/3)\mu}{\rho}}$$

Onde:  $\rho$  = densidade

As constantes elásticas em questão, também podem ser aplicadas na propagação de ondas P em sedimentos marinhos saturados, uma vez que por definição, a velocidade de onda compressional foi admitida para meios homogêneos e isotrópicos (Ayres Neto, 1998). Existem diversos parâmetros que influenciam estas constantes, tais como: porosidade, pressão de confinamento, histórico de tensão, idade geológica, tensão cisalhante, grau de saturação, temperatura e taxa de adensamento. Esses parâmetros foram definidos por Woods (1991) para validar a aplicação destas constantes na propagação de ondas P em sedimentos marinhos saturados.

Os sedimentos podem estar misturados à água, ar, grãos minerais e gás. Cada um destes materiais apresenta propriedades elásticas distintas e, portanto, a propagação neste tipo de meio será influenciada pelo conjunto de todas as propriedades dos diferentes tipos de materiais (Ayres Neto, 1998).

Hamilton e Bachman (1982) descrevem a influência de fatores geológicos, tais como a densidade, porosidade e pressão de confinamento, na velocidade de ondas compressoriais em determinados tipos de sedimentos.

A bibliografia forneceu alguns valores de Vp encontrados que serviram como referência neste estudo, os valores estão representados na Tabela 1.

Tabela 1: Medidas de laboratório de velocidade de ondas P (Vp) em sedimentos marinhos saturados. Os valores estão em m/s e foram corrigidos para a temperatura de 23°. Fonte: Modificado de Souza, 2010

Tipo de Sedimento	Hamilton (1980)		Richard e Briggs (2004)		Macedo (2006)		Falcão (2009)	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo
Areia Grossa	1836		--		--		1236	1613
Areia Média	--		1735	1774	1555	1752	--	
Areia Fina	1702	1749	1652	1764	1635	1715	--	
Areia lamosa	1646		1511	1618	1550	1644	--	
Lama Arenosa	1579	1652	1610	1652	1492	1639	1309	1778
Lama Arenosa	1520	1615	1480	1554	1493	1600	1386	1550

## 5.2. Densidade

A densidade  $\rho$  de um material é definida como a razão da massa  $m$  de todas as partículas deste material pelo volume  $V$  que estas ocupam, ou seja:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Schön (1996) definiu a densidade de um material de  $n$  constituintes como:

$$\rho = \sum_{i=1}^n \left( \frac{V_i}{V} \right) \cdot \rho_i$$

Onde:

$\rho_i$  = densidade.

$V_i$  = volume do componente  $i$ .

$\left( \frac{V_i}{V} \right)$  = fração do volume do componente  $i$ .

Os fatores que controlam a densidade são: composição mineral, porosidade e condições de saturação (tipo e conteúdo de fluido nos poros). Há uma forte correlação inversa entre densidade e porosidade, ou seja, à medida que uma aumenta a outra diminui. No entanto, a correlação exata é controlada pela densidade da matriz e do fluido presente nos poros. Processos diagenéticos podem influenciar no aumento da densidade, reduzindo o tamanho dos poros através da cimentação ou por processos de compactação (Schön, 1996).

A importância das variações de densidade e porosidade na propagação de ondas acústicas foi descrito por Bassiouni (1994). Obtendo-se a medida da densidade é possível avaliar litologias complexas e até mesmo determinar a densidade de hidrocarbonetos.

Os dados de densidade gamma fornecem dados de densidade volumétrica precisos e de alta resolução, e são bons indicadores de litologia e mudanças de porosidade. Outras aplicações importantes são: o cálculo de impedância acústica e a construção de sismogramas sintéticos.

### **5.3. Impedância Acústica**

Impedância acústica ( $I$ ) foi definida por Schlumberger (1987) como o produto da velocidade de onda compressional ( $V_p$ ) pela densidade ( $\rho$ ):

$$I = V_p \cdot \rho$$

A densidade dos sedimentos marinhos é função basicamente de sua composição mineralógica, de sua porosidade e do teor de água. Localmente, estes fatores variam em maior escala, controlando de maneira mais intensa a impedância dos sedimentos, como veremos mais adiante neste trabalho.

### **5.4. Susceptibilidade Magnética**

Susceptibilidade magnética é, basicamente, o grau de magnetização adquirida por um material em resposta a um campo magnético.

Segundo Schön (1996), existem três grupos de materiais com propriedades magnéticas, são eles: diamagnéticos, paramagnéticos e ferromagnéticos.

Diamagnéticos: o material sob influência do campo magnético apresenta a magnetização no sentido oposto, ou seja, valores negativos de susceptibilidade.

Paramagnéticos: sob influência do campo magnético, os elétrons produzem um momento na mesma direção do campo aplicado, apresentando assim, valores positivos de susceptibilidade.

Ferromagnéticos: este tipo de magnetismo ocorre em materiais que apresentam magnetização espontânea. A susceptibilidade é mais forte que a dos materiais paramagnéticos e positiva. No caso dos materiais antiferromagnéticos, a susceptibilidade também apresenta forte resposta ao campo, porém no sentido contrário, ou seja, negativa.

## 5.5. Porosidade

A porosidade  $\emptyset$  é definida como a razão do volume de vazios ou espaços porosos ( $V_p$ ) pelo volume total ( $V$ ) de rocha ou pacote sedimentar:

$$\emptyset = \frac{V_p}{V} = 1 - \frac{V_m}{V},$$

Onde  $V_m$  é o volume da matriz. A porosidade é uma grandez adimensional que é expressa em porcentagem ou fração decimal (0 a 1).

A porosidade é influenciada diretamente pelas propriedades geométricas dos grãos como forma, tamanho e distribuição dos grãos.

## 5.6. Resistência ao Cisalhamento

A capacidade dos sedimentos se romperem é quase sempre um fenômeno de cisalhamento. Isto acontece, por exemplo, quando um duto ou sapata de fundação é carregado até a ruptura ou quando ocorre o escorregamento de um talude. A resistência ao cisalhamento de um sedimento pode ser definida como a máxima tensão  $\tau_r$  de cisalhamento que o sedimento pode suportar sem sofrer ruptura, ou tensão de cisalhamento do sedimento no plano em que a ruptura estiver ocorrendo (Pinto, 2000).



Existem fatores que controlam diretamente o cisalhamento: atrito e coesão real entre os grãos. O primeiro está relacionado ao deslocamento envolvendo um grande número de grãos, que possam deslizar entre si ou rolar uns sobre os outros, acomodando-se em vazios encontrados no percurso. O segundo é uma parcela da resistência ao cisalhamento de solos úmidos, não saturados, devido à tensão entre partículas resultante da pressão capilar da água. Caso o sedimento esteja saturado, a coesão passa a ser aparente, na qual a parcela de resistência desaparece e passa a ser um fenômeno de atrito em função da pressão capilar (Schmitz, 2000).

Há uma diferença entre as forças transmitidas nos contatos entre os grãos de areia e os grãos de argila. Nos contatos entre grãos de areia, geralmente as forças são suficientemente grandes para expulsar a água da superfície, de forma que o contato acontece entre os minerais. No caso das argilas, o número de partículas é muito maior, sendo a força transmitida em um único contato, extremamente reduzida. Sendo assim, as partículas de argila são envolvidas por moléculas de água quimicamente adsorvidas a elas. As forças de contato não são suficientemente grandes para remover estas moléculas de água, e são elas as responsáveis pela transmissão das forças (Pinto, 2000).

### **5.7. Ensaio de Carga**

O ensaio de carga mede a capacidade do material de suportar cargas sem sofrer rupturas. Normalmente mede-se a pressão na qual o material de rompe.

### **5.8. Teor de Umidade**

O teor de umidade é a razão da massa de água pela massa de sólidos de uma amostra. É expresso em porcentagem e possui correlação direta com a porosidade. O teor de umidade influencia na velocidade de propagação de ondas P, pois como já foi dito anteriormente, as ondas P são sensíveis aos fluidos presentes nos poros (Ayres Neto, 1998).

## 5.9. Granulometria

O estudo da granulometria é fundamental para este trabalho, pois diversos autores (Hamilton (1980), Hamilton e Bachman (1982), Ayres Neto (1998) e Woods (1991)) demonstraram que o comportamento dos parâmetros físicos e/ou geotécnicos é condicionado por parâmetros sedimentológicos. O parâmetro que possui maior influência é a granulometria, já que a densidade, porosidade, permeabilidade e outros são afetados diretamente pelo tamanho dos grãos. No entanto, existem outros parâmetros sedimentológicos que influenciam essas propriedades, como o arredondamento, o grau de seleção e até mesmo a origem dos sedimentos, mas que não foram utilizados neste trabalho.

## 5.10. Correlações

A correlação é uma técnica estatística que mostra quando e com que intensidade pares de variáveis se relacionam.

Os coeficientes de correlação foram calculados utilizando a seguinte equação:

$$\rho_{x,y} = \frac{COV(X,Y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

Onde:

$\rho$  = coeficiente de correlação

$COV(X, Y)$  = Covariância entre x e y

$\sigma_x / \sigma_y$  = desvio padrão de x e y

Utilizando as ferramentas de análise de dados do Excel, foi possível construir a matriz de correlação para cada testemunho. Essas matrizes apresentam os coeficientes de correlação para cada par de variáveis e são muito úteis na interpretação dos resultados, pois permitem que o comportamento das correlações seja estudado não somente entre as variáveis de um testemunho, mas também entre diferentes testemunhos.

Os coeficientes de correlação podem assumir valores entre -1 e 1. Sendo -1 correlação inversa perfeita, 1 correlação direta perfeita e 0 sem correlação. Neste trabalho, foram consideradas correlações fortes aquelas que possuem o coeficiente de correlação entre 0,6 e 1 e entre -0,6 e -1.

## **6. Metodologia**

Este trabalho é um ramo de um projeto que abrangeu diversas etapas. A primeira delas foi o levantamento bibliográfico sobre a geologia regional e as características e correlações dos parâmetros acústicos e geotécnicos dos sedimentos marinhos superficiais.

O embarque para a aquisição de dados acústicos e coleta de testemunhos foi a segunda etapa. No embarque foram coletadas 16 amostras em diferentes profundidades, variando entre 70 e 2100 metros. Além disso, cerca de 400 sub amostragens foram feitas através de seringas, padronizadas e etiquetadas, para estudos mais detalhados.

Posteriormente, foi realizada a perfilagem dos testemunhos através do Multi Sensor Core Logger (MSCL), que mediu as velocidades de ondas P, susceptibilidade magnética, densidade gama, impedância acústica e porosidade.

A quarta etapa consistiu na descrição geológica dos testemunhos, que foi realizada no banco de amostras do LAGEMAR.

A etapa seguinte abrange toda a parte de ensaios de laboratório, onde foram feitas análises granulométricas com integração de dois métodos, a utilização de peneiras e do equipamento Mastersizer 2000 para um melhor detalhamento dos sedimentos finos. Também foram obtidos, a partir das seringas, os valores de densidade úmida e teor de umidade. Ainda no laboratório, porém usando testemunhos que foram coletados especificamente para este fim, foram feitos os seguintes ensaios geotécnicos: ensaio de carga com penetrômetro de mão, resistência ao cisalhamento com o Torvane e limite de plasticidade.

### **6.1. Aquisição dos Dados**

O embarque para a coleta de amostras e aquisição de dados acústicos teve duração de nove dias. Neste período foram coletados cerca de 800 km de dados acústicos e a coleta de sedimentos em oito pontos de amostragem, utilizando um amostrador do tipo Box-corer, totalizando 16 testemunhos e cerca de 400 sub amostras.

Neste trabalho foram utilizados 16 testemunhos no total, sendo oito deles para geofísica/geologia e o restante para geotecnia. A amostragem ocorreu durante o

embarque entre os dias 12 e 20 de maio de 2009, através do projeto da empresa Repsol YPF em parceria com o Departamento de Geologia Marinha (Lagemar-UFF). A figura 1 apresenta a localização da área de estudo.

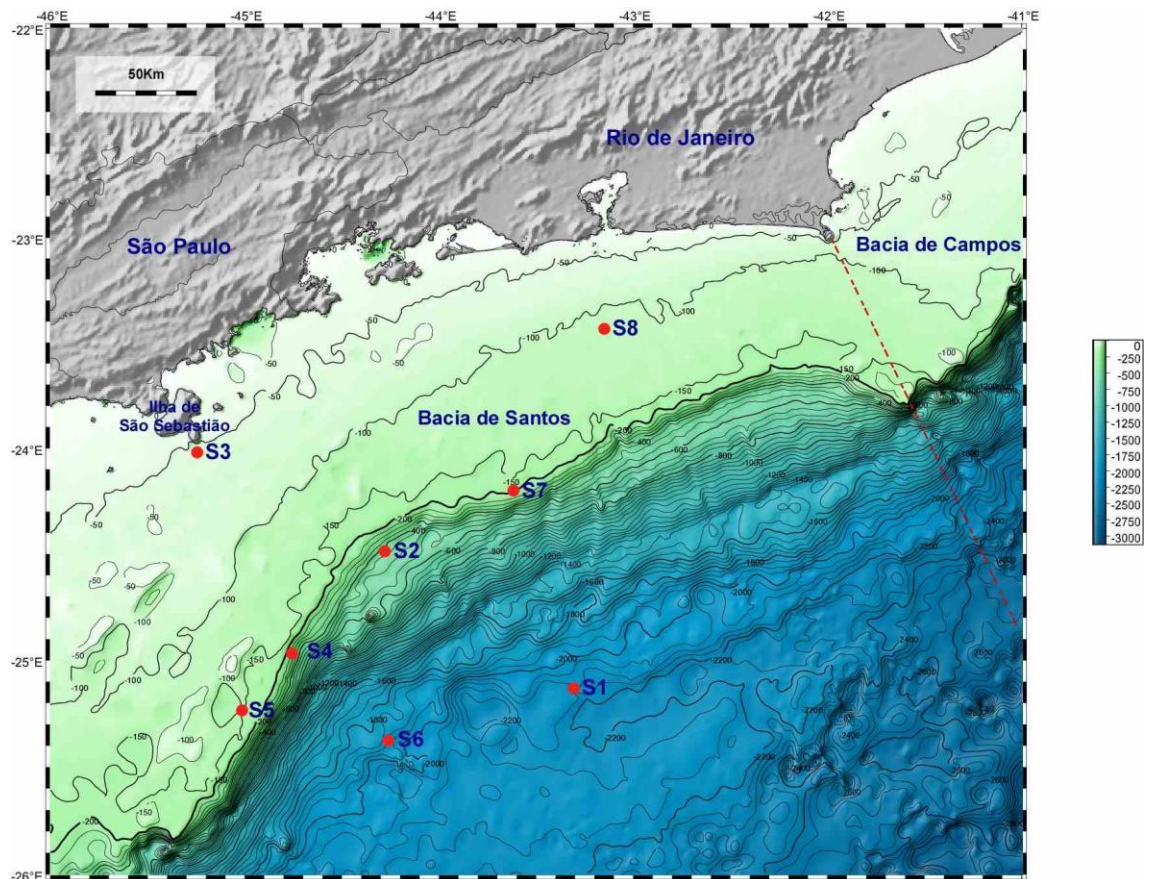


Figura 1: Mapa batimétrico, em metros, da região da Bacia de Santos. Os pontos em vermelho mostram a localização dos pontos de amostragem. A amostragem foi realizada entre 70 m (S3) e 2104 m (S1).

Tabela 1: Localização (coordenadas geográficas) e profundidade dos pontos de amostragem.

Pontos de Amostragem	Latitude (S)	Longitude(W)	Profundidade (m)
S1	25°06,835'	43°17,803'	2104
S2	24°28,653'	44°16,386'	415
S3	24°01,109'	45°11,674'	70
S4	24°58,029'	44°43,925'	350
S5	25°13,527'	44°59,627'	170
S6	25°21,992'	44°15,144'	1930
S7	24°11,567'	43°36,076'	200
S8	23°26,121'	43°08,194'	115

## 6.2. Sistemas de Medição MSCL (Multi Sensor Core Logger)

A perfilagem dos testemunhos foi feita utilizando o Multi Sensor Core Logger (MSCL) da empresa Geotek. O testemunho é conduzido pelos trilhos e passa pelos sensores, em seguida, os dados são digitalizados e sincronizados.

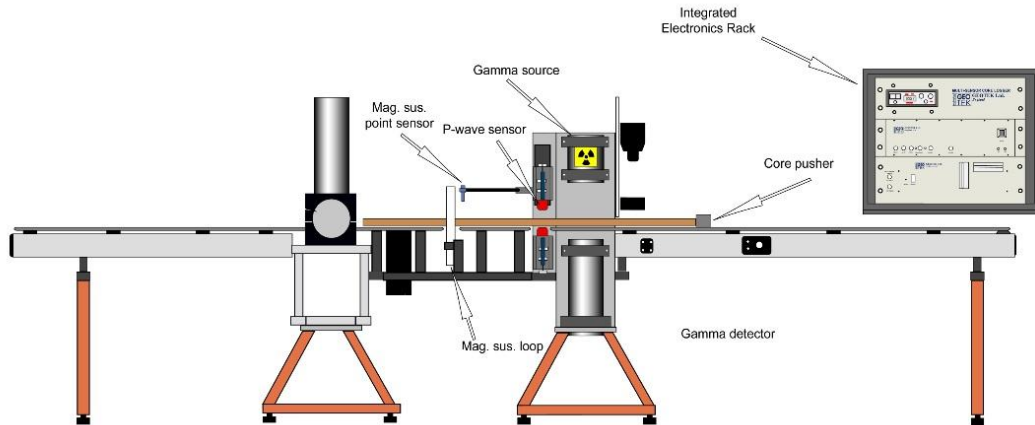


Figura 2: Multi Sensor Core Logger (MSCL). Fonte: MSCL Manual.

### 6.2.1. $V_p$

O sistema de medição de velocidade de ondas P consiste em dois transdutores de ultra-som que operam na frequência de 250 kHz, posicionados em lados opostos para que as ondas emitidas por um, sejam detectadas pelo outro (Figueiredo et al. 2008). O equipamento calcula o tempo de viagem das ondas emitidas de acordo com a seguinte equação:

$$V_p = \frac{d}{t}$$

Onde:

d = distância

t = tempo

### 6.2.2. Densidade

O testemunho passa entre uma fonte e um detector de raios gama que são alinhados com o centro do testemunho. Um feixe estreito de raios gama colimados é emitido por uma fonte de Césio-137 com energias em torno de 0.662 MeV. Esses fótons atravessam o testemunho e são detectados do outro lado. Neste nível de energia, o principal mecanismo de atenuação é o espalhamento Compton. Os fótons são espalhados pelos elétrons e perdem parte de sua energia. Esta atenuação está diretamente relacionada com o número de elétrons no caminho do raio gama (espessura do testemunho e densidade eletrônica). Medindo o número de fótons que chegam sem serem atenuados, a densidade do material pode ser determinada pela seguinte equação:

$$\rho = \left( \frac{1}{\mu d} \right) \cdot \ln (I_0/I)$$

Onde:

$\rho$  = densidade

$\mu$  = coeficiente de atenuação Compton

$d$  = espessura do testemunho

$I_0$  = intensidade da fonte de raios gama

$I$  = intensidade medida de raios gama

### 6.2.3. Porosidade

Os valores de porosidade podem ser calculados assumindo sensivelmente que o sedimento é totalmente saturado com água, ar ou qualquer outro fluido, densidade do mineral predominante e densidade do fluido.

O cálculo é feito com a seguinte fórmula:

$$P = (d_g - \rho) / (d_g - \frac{d_a}{\alpha_g})$$

Onde:

P = porosidade

$d_g$  = densidade do mineral predominante

$\rho$  = densidade gama

$\frac{d_a}{a_g}$  = densidade ar/água

#### **6.2.4. Impedância Acústica**

A impedância acústica é o produto da velocidade de ondas P pela densidade:

$$Z = V_p * \rho$$

Pode ser usada para a construção de sismogramas sintéticos.

#### **6.2.5. Susceptibilidade Magnética**

O sistema de medição da susceptibilidade magnética funciona da seguinte maneira: Um circuito oscilante no sensor produz um campo magnético alternado de baixa intensidade, qualquer material na vizinhança do sensor, que possua susceptibilidade magnética, causa uma mudança na frequência de oscilação. O sistema transforma esta mudança na oscilação em valores de susceptibilidade magnética.

### **6.3. Ensaio Geológicos**

#### **6.3.1. Descrição dos Testemunhos**

Nesta etapa do trabalho, os testemunhos foram abertos para descrição geológica. Os seguintes parâmetros foram considerados no momento da descrição: granulometria, grau de compactação e consistência, cor e teor de carbonato. Para a determinação das cores, a Tabela de Cores de Rochas (Rock Color Chart) editada pela GSA foi utilizada.



### **6.3.2. Densidade Úmida e Teor de Umidade**

As análises de granulometria, densidade úmida e teor de umidade foram feitas utilizando as seringas coletadas no embarque. Inicialmente, cada seringa vazia e etiquetada, é pesada numa balança com precisão de  $10^{-4}$ . Em seguida as seringas são pesadas novamente, desta vez com amostra e o valor de densidade úmida é calculado.

Posteriormente, para o cálculo do teor de umidade, o conteúdo das seringas foi colocado em placas de petri e foram levadas a uma estufa aquecida a  $50^{\circ}\text{C}$  para secagem. Estas amostras, após secas, foram pesadas novamente e o teor de umidade foi calculado.

### **6.3.3. Granulometria**

A granulometria foi realizada no Granulômetro a laser Mastersizer 2000 da Malvern Instruments. Seu sistema define estatisticamente as frações de areia muito grossa, grossa, média, fina e muito fina, silte e argila de cada amostra. Nas amostras que tinham sedimentos mais grosseiros que areia fina, cujo peso amostral seja insuficiente, foram utilizadas amostras de areia do testemunho geológico do Box-corer respectivo das amostras das seringas. Para amostras que continham areia e conchas, a granulometria foi realizada utilizando peneiras de 1,00 e 2,00.

## **6.4. Ensaios Geotécnicos**

### **6.4.1. Resistência ao Cisalhamento**

Este ensaio consiste em medir a tensão máxima de cisalhamento ( $\tau_r$ ) que o sedimento pode suportar sem sofrer ruptura, ou tensão de cisalhamento do sedimento no plano em que a ruptura estiver ocorrendo (Souza, 2010). Utiliza-se o Torvane de bolso, que possui três discos com dimensões diferentes e numeração específica que são aplicados de acordo com o comportamento da amostra.

#### **6.4.2. Ensaio de Carga**

Para o ensaio de carga, utilizou-se o Penetrômetro de bolso de precisão. Este equipamento possui um mostrador analógico, provido de um indicador de pico, penetrador padrão de 6,35 mm com escala de 0 a 6 Kgf/cm<sup>2</sup>, com divisões de 0,1 Kgf/cm<sup>2</sup>, além de outros 4 penetradores (10, 15, 20 e 25 mm).

## 7. Resultados

Após as análises das correlações, os testemunhos foram divididos em três grupos. O principal critério para esta divisão foi a granulometria, que mostrou sua influência em outros parâmetros físicos, ou seja, em testemunhos que apresentam granulometria semelhante é possível observar comportamentos similares de alguns dos parâmetros dos mesmos. Este comportamento pode aparecer tanto na tendência apresentada, como na faixa de valores.

Os grupos foram divididos da seguinte maneira: Para o Grupo 1 foram selecionados os testemunhos 1, 2 e 6. São os testemunhos que apresentam maiores teores de silte e argila em sua composição. No Grupo 2, um grupo intermediário, foram selecionados os testemunhos 4 e 7. Estes testemunhos apresentam um teor maior de areias do que os do grupo 1 porém menos grosseiras do que as areias do grupo 3. O Grupo 3 é formado pelos testemunhos 3, 5 e 8. Estes testemunhos apresentam areias muito grossas ou grossas, assim como cascalho.

A partir dessa divisão, a relação entre os parâmetros físicos foi estudada e os resultados são apresentados a seguir. Todas as tabelas com os valores dos parâmetros e as tabelas de correlação estão no Apêndice I.

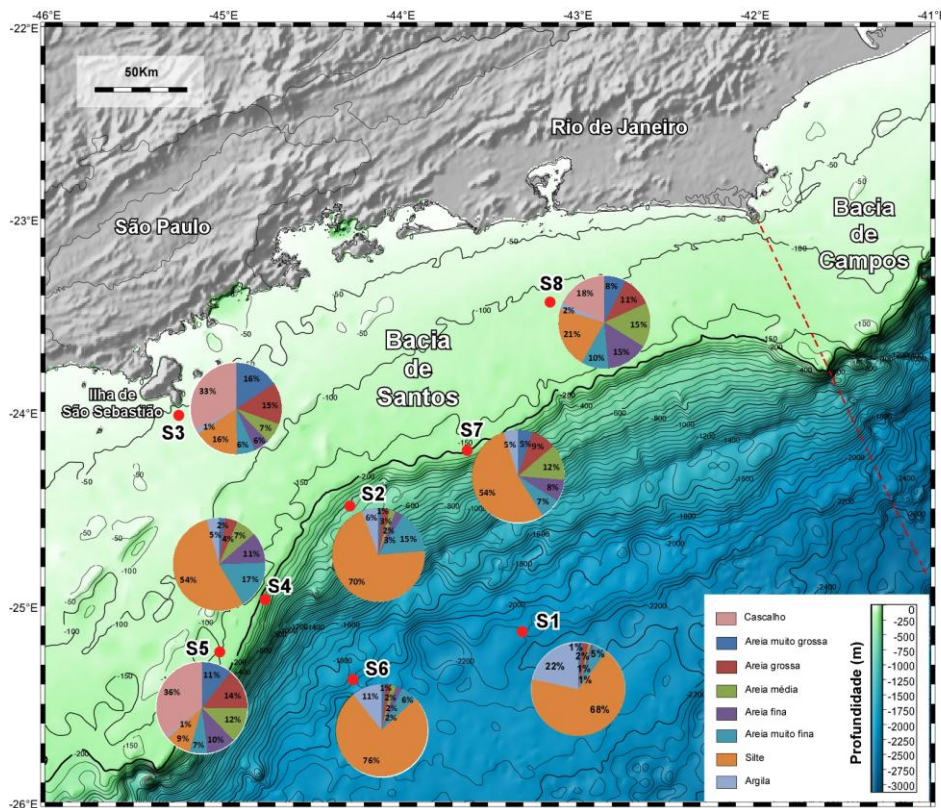


Figura 3: Mapa batimétrico da área de estudo com a composição granulométrica (%) e localização dos testemunhos.

## **7.1. Grupo 1**

O Grupo 1 é formado pelos testemunhos que apresentam a granulometria mais fina. Possuem quantidades pouco expressivas de areia e são compostos, principalmente, de silte. Os testemunhos T1 e T6 são os mais profundos, tendo sido coletados nas profundidades de 2104 e 1930 m respectivamente. T2 foi coletado a 415 m profundidade, porém apresenta características geológicas semelhantes aos mais profundos. T1 e T6 são do talude inferior enquanto T2 é do talude superior.

### **Vp**

Os valores de velocidade de ondas P variam pouco nos 3 testemunhos e estão entre 1449 e 1512 m/s. T2 apresenta a maior faixa de valores, que variam entre 1486 e 1512 m/s. Os testemunhos T1 e T6 apresentam valores muito próximos mesmo tendo variações internas particulares.

### **Densidade**

A densidade se comporta de maneira semelhante nos três testemunhos. De maneira geral é crescente quando analisada do topo para a base, o que os diferencia é o intervalo dos valores. Em T1 os valores vão de 1,4 a 1,6 g/cm<sup>3</sup>, em T2 os valores variam entre 1,5 e 1,7 g/cm<sup>3</sup> e T6 apresenta valores entre 1,2 e 1,6 g/cm<sup>3</sup>.

### **Susceptibilidade Magnética**

Em todos os testemunhos os valores crescem quando analisados do topo para a base. Em T1 os valores variam entre 3,2 e 5,2x10<sup>-6</sup>, T2 possui valores entre 4,9 e 5,7x10<sup>-6</sup> e T6 apresenta valores de 1,3 a 5,4x10<sup>-6</sup>.

### **Impedância Acústica**

A impedância apresenta um comportamento muito semelhante ao comportamento da densidade, com valores crescentes do topo para a base. Estes valores estão entre 2037 e 2381 m/s.g/cm<sup>3</sup> em T1, 2231 e 2619 m/s.g/cm<sup>3</sup> em T2 e 1718 e 2409 m/s.g/cm<sup>3</sup> em T6.

### **Porosidade**

A tendência que os valores de porosidade assumem é inversa à tendência dos valores de densidade, ou seja, são decrescentes quando analisados do topo para a base. Os valores de T1 variam entre 0,66 e 0,78, em T2 vão de 0,59 a 0,72 e em T6 apresentam valores entre 0,64 e 0,92.

## **Ensaio de Carga**

Em T1 os valores de pressão do ensaio de carga variam entre 0,32 e 1,50 kg/m<sup>2</sup> e os maiores valores se encontram entre 22 e 38 cm. T2 possui um comportamento semelhante, porém seus maiores valores estão entre 26 e 42 cm e vão de 0,15 a 0,90 kg/m<sup>2</sup>. Ao contrário dos testemunhos anteriores, T6 apresenta valores crescentes do topo para a base que vão de 0,10 a 1,90 kg/m<sup>2</sup>.

## **Resistência ao Cisalhamento**

Os valores de resistência ao cisalhamento apresentam tendências muito semelhantes aos valores do ensaio de carga. As faixas em que T1 e T2 possuem os maiores valores são as mesmas e T6 tem a mesma característica crescente do topo para a base. Os valores estão entre 0,32 e 1,35 kg/m<sup>2</sup> em T1, 0,01 e 0,18 kg/m<sup>2</sup> em T2 e 0,06 e 0,75 kg/m<sup>2</sup> em T6.

## **Granulometria**

A análise granulométrica mostra que os testemunhos são compostos principalmente por silte, enquanto o teor de argila e o teor de areia se equilibram. Vale ressaltar que o teor de areia é a soma de do teor de areia muito grossa, grossa, média, fina e muito fina. T1 possui o teor de silte entre 77 e 83%, o teor de argila entre 10 e 12% e o teor de areia entre 8 e 16%. T2 apresenta o teor de silte menor que T1, variando entre 61 e 77%. O teor de argila também é menor e fica entre 5 e 7%. No entanto, o teor de areia é maior e passa a variar entre 16 e 33%. T6 apresenta valores para o teor de silte entre 66 e 82%, entre 8 e 16% para argila e entre 8 e 26% para o teor de areia.

## Vp x Densidade

O gráfico de Vp x Densidade mostra que T1 e T2 possuem a mesma tendência de correlação (0,51 e 0,80 respectivamente) ainda que suas faixas de valores sejam ligeiramente diferentes. T6 possui alguns valores que possuem a mesma tendência positiva de T1, no entanto, alguns valores assumem uma tendência diferente. Isto faz com que o coeficiente de correlação seja negativo para todo o testemunho T6 (-0,61). Por este motivo, não é possível modelar uma curva de regressão para todos os valores desta correlação.

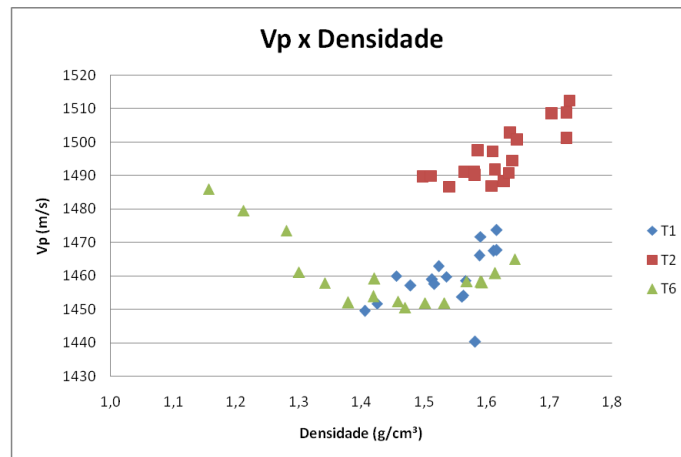


Figura 4: Gráfico de dispersão entre Vp e densidade dos testemunhos T1, T2 e T6.

## Vp x Susceptibilidade Magnética

Os coeficientes de correlação são próximos nos testemunhos T1 e T2 (0,47 e 0,41) e sofre inversão em T6 (-0,49). Como os valores de susceptibilidade são bem baixos, não é possível extrair nenhum tipo de informação relevante da correlação, já que esta faixa de valores pode ser causada por muitos materiais e, por causa da dispersão dos valores, não é possível o ajuste de uma função de regressão.

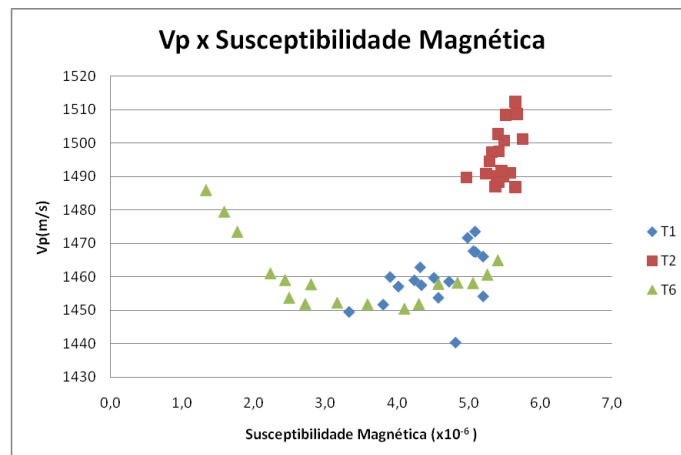


Figura 5: Gráfico de dispersão entre Vp e susceptibilidade magnética dos testemunhos T1, T2 e T6

## Vp x Impedância Acústica

A dispersão dos valores é quase idêntica ao de Vp x Densidade, isso ocorre pelo fato de densidade e impedância possuírem um coeficiente de correlação muito alto (0,99). Assim como no gráfico de dispersão não foi possível ajustar uma curva de regressão aos dados.

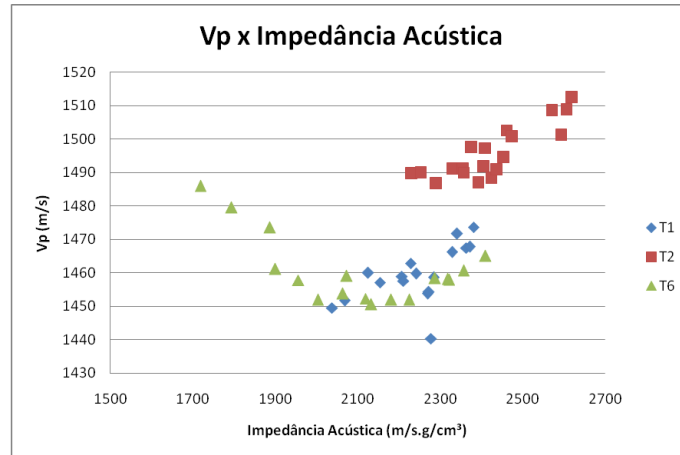


Figura 6: Gráfico de dispersão entre Vp e impedância acústica dos testemunhos T1, T2 e T6

## Vp x Porosidade

Os coeficientes de correlação valem -0,50, -0,80 e 0,62 para T1, T2 e T6 respectivamente. Não é possível encontrar nenhuma função que descreva esse comportamento. Vale ressaltar que Vp é sensível às mudanças na porosidade, pois é diretamente afetada pelo tipo de material que está presente nos poros (Hamilton & Bachman, 1982). No entanto, como a variação de porosidade é pequena e no caso do Grupo 1, todos os testemunhos estavam saturados com água, a correlação entre Vp e porosidade não é muito clara.

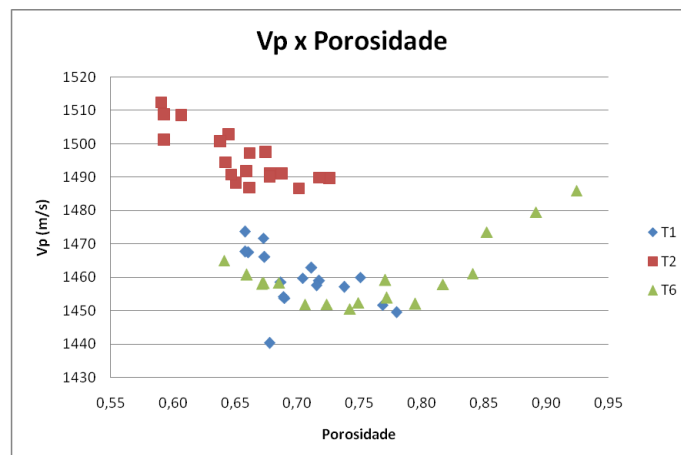


Figura 7: Gráfico de dispersão entre Vp e porosidade dos testemunhos T1, T2 e T6.

## Vp x Ensaio de Carga

Não há correlação forte entre Vp e o ensaio de carga em T1 e T6, cujos coeficientes de correlação valem 0,29 e -0,02 respectivamente. Em T2 observa-se uma correlação mais forte (0,61) e um distanciamento nos valores de Vp.

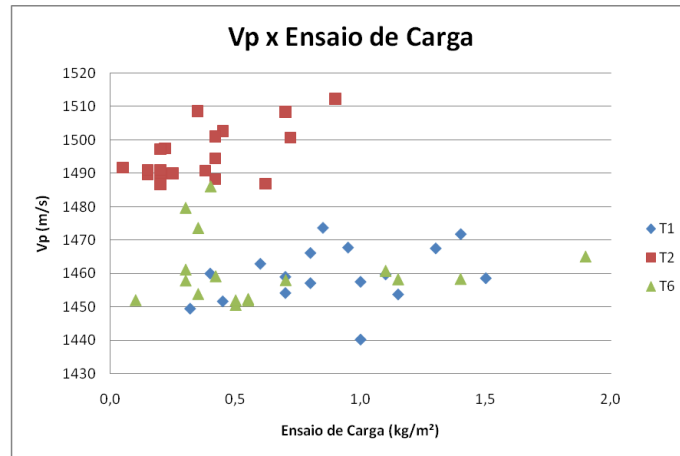


Figura 8: Gráfico de dispersão entre Vp e porosidade dos testemunhos T1, T2 e T6.

## Vp x Resistência ao Cisalhamento

O gráfico de dispersão mostra que apesar de possuírem tendências semelhantes à dispersão Vp x Ensaio de Carga, porém os valores são mais distantes, especialmente T2 que possui um comportamento bem diferente de T1 e T6. Os coeficientes de correlação valem 0,24, 0,61 e -0,07 para T1, T2 e T6 respectivamente.

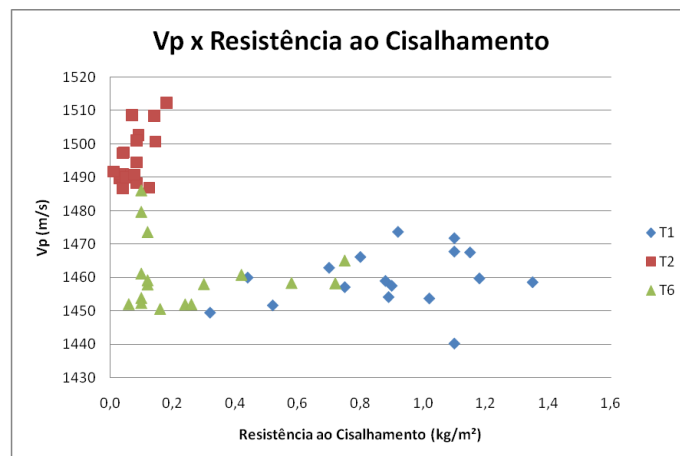


Figura 9: Gráfico de dispersão entre Vp e porosidade dos testemunhos T1, T2 e T6.



## Vp x Granulometria

De maneira geral Vp não se correlaciona bem com a granulometria. Os coeficientes de correlação são baixos com algumas exceções. Para o teor de silte os valores dos coeficientes valem 0,47, -0,14 e -0,37 para T1, T2 e T6 respectivamente. Para o teor de argila os coeficientes valem 0,24, -0,41 e -0,62 para T1, T2 e T6. Os coeficientes de correlação para o teor de areia valem -0,50 0,19 e 0,55 para T1, T2 e T6. Observa-se que T1 possui tendências inversas às de T2 e T6.

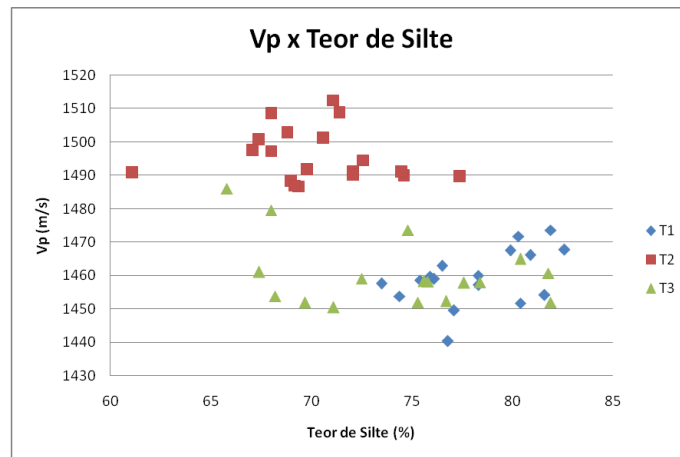


Figura 10: Gráfico de dispersão entre Vp e teor de silte dos testemunhos T1, T2 e T6.

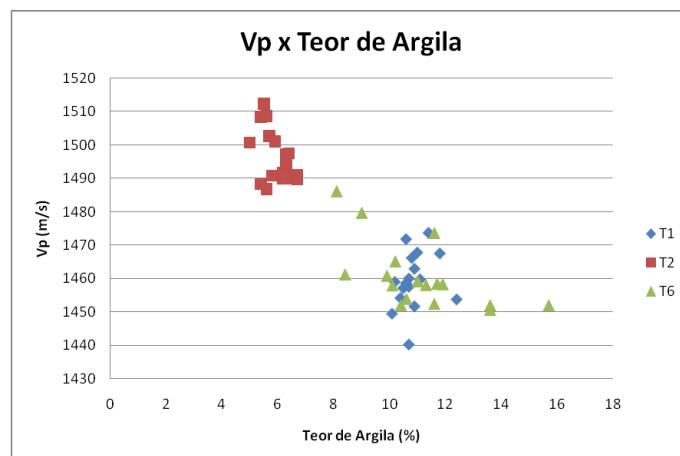


Figura 11: Gráfico de dispersão entre Vp e teor de argila dos testemunhos T1, T2 e T6.

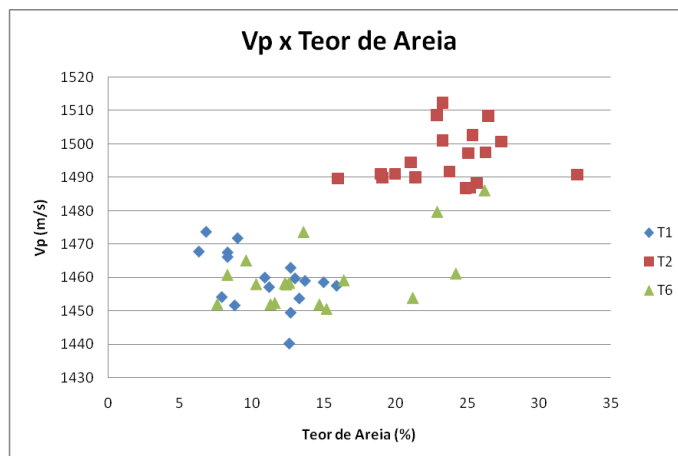


Figura 12: Gráfico de dispersão entre Vp e teor de areia dos testemunhos T1, T2 e T6.

### Impedância Acústica x Densidade

Como foi visto anteriormente, a dispersão dos valores de Vp é bem pequena nos 3 testemunhos, ou seja, variam pouco em torno da média. Os valores de densidade possuem uma variação relativamente maior e apresentam uma tendência crescente quando analisados do topo para a base. Foi possível ajustar uma reta aos valores da dispersão ( $r^2=0,980$ ). Vale ressaltar que a reta foi ajustada para todos os pontos, como se fosse um único conjunto de dados, já que as litologias são semelhantes.

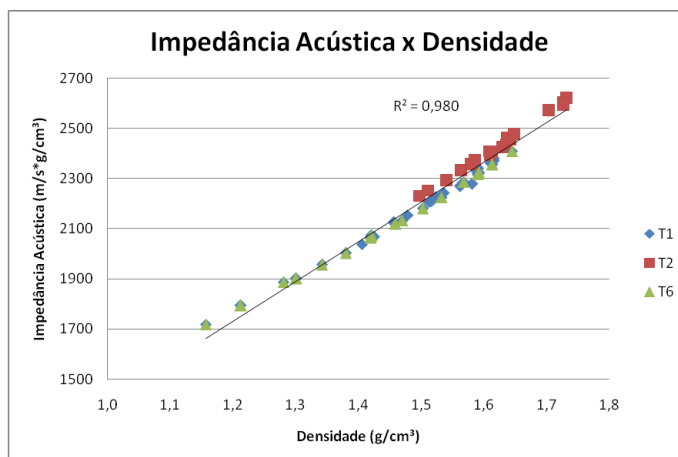


Figura 13: Gráfico de dispersão entre impedância acústica e densidade dos testemunhos T1, T2 e T6.

### Impedância Acústica x Susceptibilidade Magnética

A dispersão mostra uma boa correlação entre impedância acústica e susceptibilidade magnética. T1 e T6 possuem tendências muito similares enquanto T2

segue uma tendência ligeiramente diferente. Os coeficientes de correlação são: 0,95, 0,49 e 0,96, para T1, T2 e T6 respectivamente.

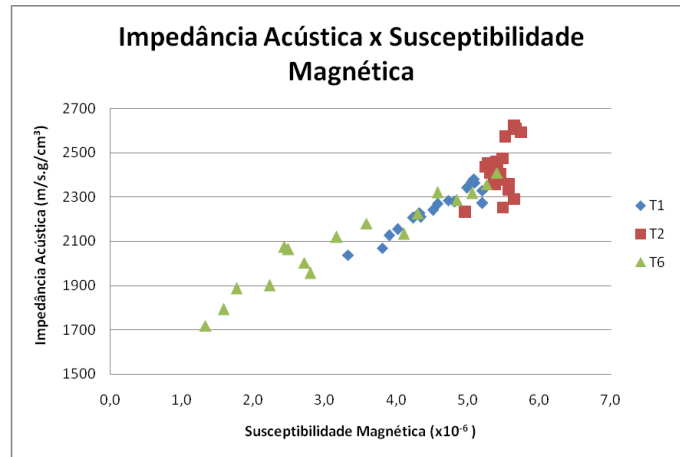


Figura 14: Gráfico de dispersão entre impedância acústica e susceptibilidade magnética dos testemunhos T1, T2 e T6.

### Impedância Acústica x Porosidade

O gráfico de dispersão de Impedância Acústica x Porosidade é exatamente o inverso do gráfico de Impedância x Densidade. A reta ajustada, obviamente, possui o valor de  $r^2$  igual (0,98).

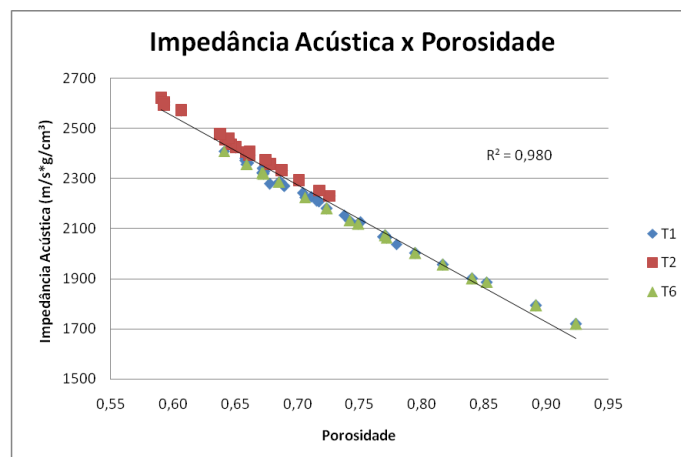


Figura 15: Gráfico de dispersão entre impedância acústica e porosidade dos testemunhos T1, T2 e T6.

### Impedância Acústica x Ensaio de Carga

Pode-se observar que os testemunhos apresentam forte correlação e tendências semelhantes, mas como não são muito bem definidas, não é possível ajustar uma função ao comportamento dos dados. Os coeficientes de correlação valem 0,70, 0,68 e 0,76 para T1, T2 e T6 respectivamente.

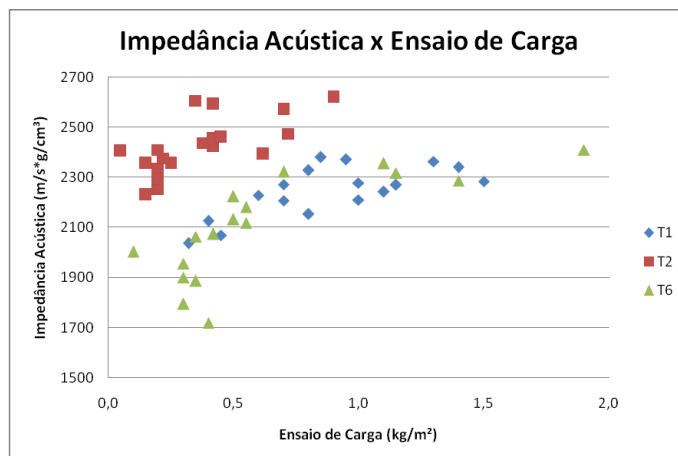


Figura 16: Gráfico de dispersão entre impedância acústica e ensaio de carga dos testemunhos T1, T2 e T6.

### Impedância Acústica x Resistência ao Cisalhamento

Observa-se que os testemunhos possuem tendências semelhantes à dispersão de Impedância Acústica x Ensaio de Carga, porém são mais individualizados. Os coeficientes de correlação valem 0,78, 0,68 e 0,77 para T1, T2 e T6 respectivamente.

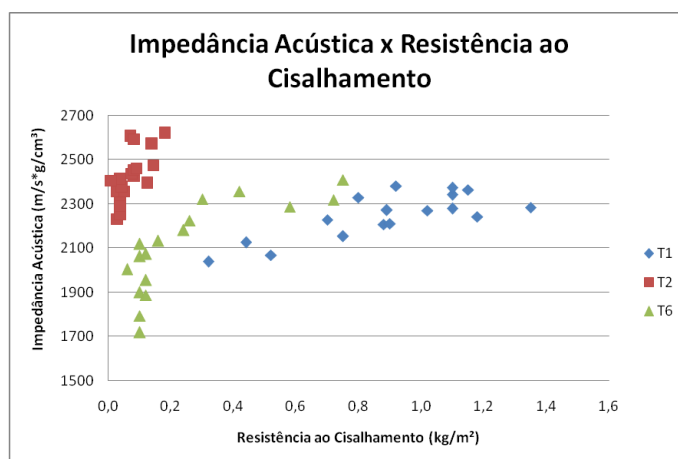


Figura 17: Gráfico de dispersão entre impedância acústica e resistência ao cisalhamento dos testemunhos T1, T2 e T6.

### Impedância Acústica x Granulometria

Em T1 e T6 observa-se a mesma tendência (sinais iguais) para todos os tamanhos de sedimento. T2 possui tendência inversa a de T1 e T6 em todos os casos. Por este motivo não é possível identificar uma tendência para o grupo inteiro. Os coeficientes de correlação para T1, T2 e T6 são: Para o teor de silte, 0,36, -0,36 e

0,62. Para o teor de argila, 0,44, -0,58 e 0,47 e para o teor de areia os coeficientes valem -0,42, 0,42 e -0,72.

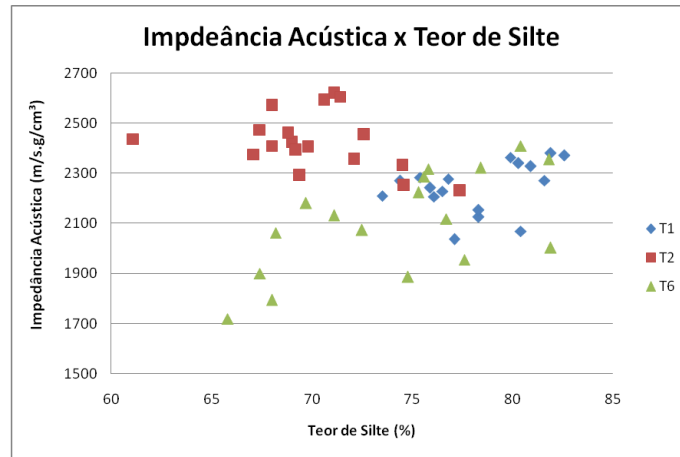


Figura 18: Gráfico de dispersão entre impedância acústica e teor de silte dos testemunhos T1, T2 e T6.

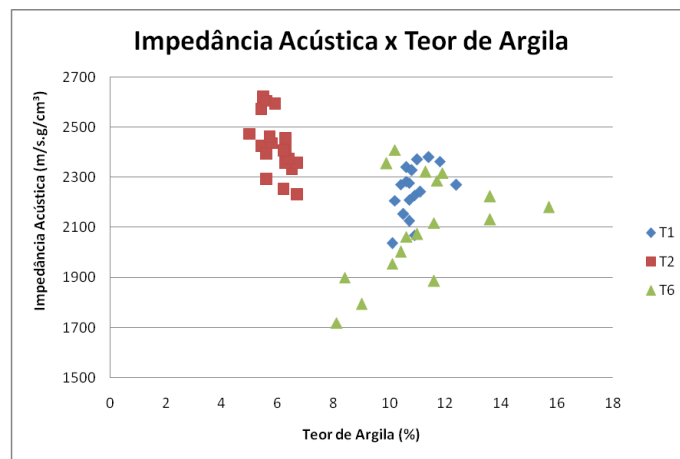


Figura 19: Gráfico de dispersão entre impedância acústica e teor de argila dos testemunhos T1, T2 e T6.

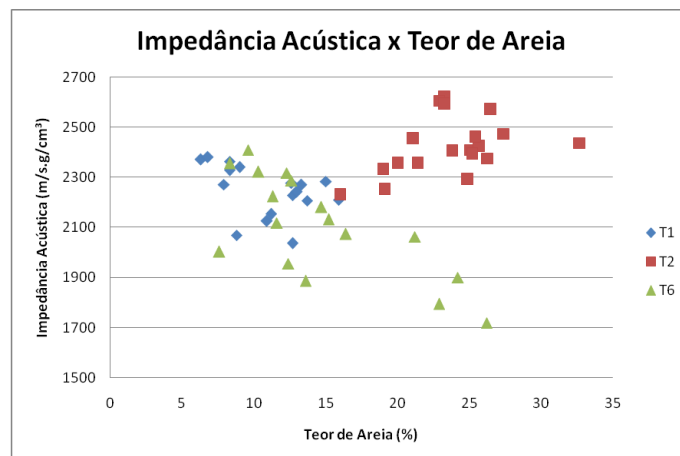


Figura 20: Gráfico de dispersão entre impedância acústica e teor de areia dos testemunhos T1, T2 e T6.

## **7.2. Grupo 2**

O Grupo 2 é composto pelos testemunhos T4 e T7, que são testemunhos com teores maiores de areia do que os testemunhos do Grupo 1. Em T4, o teor de areia está entre 30% e 40%, enquanto T7 apresenta valores que variam de 12% a 72% nas camadas superiores. T4 foi coletado a 350 m de profundidade e T7 a 200 m. Ambos foram coletados próximos da região de quebra da plataforma continental.

### **Vp**

O comportamento dos valores de velocidade de ondas P nos testemunhos é semelhante, não apresentando grandes variações ao longo do testemunho. O que diferencia os testemunhos é o intervalo dos valores de velocidade. No testemunho T4 as velocidades variam entre 1481 m/s e 1500 m/s, já no testemunho T7 as velocidades variam entre 1536 m/s e 1559 m/s.

### **Densidade**

Os valores de densidade variam entre 1,57 e 1,75 g/cm<sup>3</sup> em T4 e 1,61 e 1,81 g/cm<sup>3</sup> em T7. De maneira geral, os valores crescem do topo para a base.

### **Susceptibilidade Magnética**

O padrão e o intervalo dos valores dos testemunhos são diferentes. Em T4 os valores variam entre 138 e 154x10<sup>-6</sup> e decrescem quando analisados do topo para a base enquanto os valores de T7 estão entre 2,8 e 6,9x10<sup>-6</sup> e são crescentes quando analisados do topo para a base.

### **Impedância Acústica**

Os valores de impedância apresentam intervalos próximos nos dois testemunhos. Em T4 variam entre 2337 e 2632 m/s.g/cm<sup>3</sup> e em T7 variam entre 2487 e 2815m/s.g/cm<sup>3</sup>.

### **Porosidade**

Em T4 e T7 os valores de porosidade decrescem quando analisados do topo para a base. Variam entre 0,57 e 0,68 em T4 e em T7 estão entre 0,55 e 0,67.

## **Ensaio de Carga**

Os valores em T4 possuem uma tendência crescente do topo para a base e variam de 0,2 a 1,9 kg/m<sup>2</sup>. T7 comporta-se de maneira diferente, os maiores valores se concentram entre 20 e 33 cm e variam entre 0,4 e 2,9 kg/m<sup>2</sup>.

## **Resistência ao Cisalhamento**

Em T4 os valores possuem tendência crescente quando analisados do topo para a base e estão entre 0,2 e 1,3 kg/m<sup>2</sup>. T7 apresenta valores entre 0,4 e 0,8 kg/m<sup>2</sup> e não possui tendência definida.

## **Granulometria**

No Grupo 2 o teor de silte é bem alto ainda que não seja tão representativo quanto no Grupo 1. Neste grupo, o teor de areia fica mais alto enquanto os teores de silte e argila diminuem. Em T4 o teor de silte varia entre 45 e 68%, o teor de argila varia entre 4 e 5% e o teor de areia fica entre 27 e 51%. T7 apresenta uma variação maior nos teores de silte, argila e areia que possuem valores entre 26 e 86%, 3 e 9% e 5 e 72% respectivamente.

## Correlações

### Vp x Densidade

Os dois testemunhos apresentam o mesmo comportamento para o gráfico de dispersão em questão. À medida que a densidade aumenta Vp também aumenta. No entanto não é possível ajustar uma função de regressão, pois as faixas de valores são diferentes. Os coeficientes de correlação valem 0,77 e 0,25 para T4 e T7.

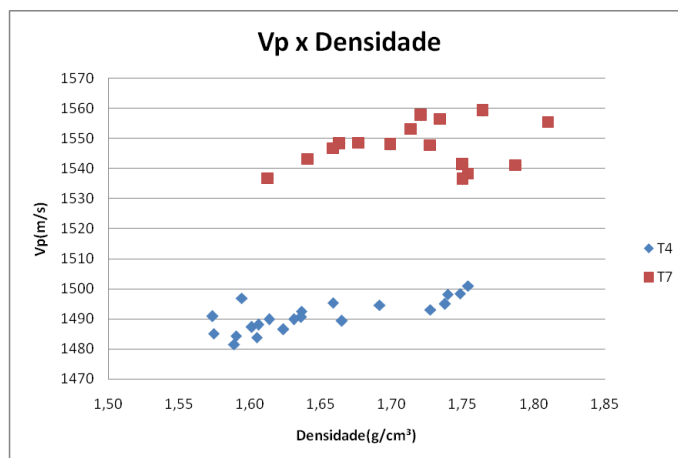


Figura 21: Gráfico de dispersão entre Vp e densidade dos testemunhos T4 e T7.

### Vp x Susceptibilidade Magnética

Os valores de susceptibilidade magnética diferem enormemente entre os testemunhos. O testemunho T4 possui valores anômalos em relação aos outros testemunhos, da ordem de  $150 \times 10^{-6}$  S.I., já o testemunho T7 possui valores próximos aos valores encontrados nos outros testemunhos. Por causa disso, não foi possível encontrar nenhuma função que representasse bem o comportamento entre Vp e susceptibilidade magnética.

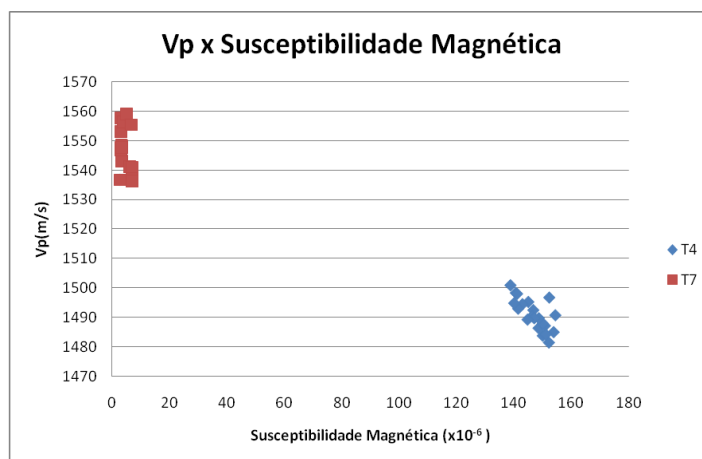


Figura 22: Gráfico de dispersão entre Vp e susceptibilidade magnética dos testemunhos T4 e T7.



## Vp x Impedância Acústica

O gráfico de dispersão Vp x Impedância Acústica apresenta as mesmas características que o gráfico Vp x Densidade. Esta dispersão mostra que para os dois testemunhos a correlação é positiva (0,80 e 0,38 para T4 e T7), no entanto, como os valores estão em faixas distintas não é possível ajustar uma função aos dados.

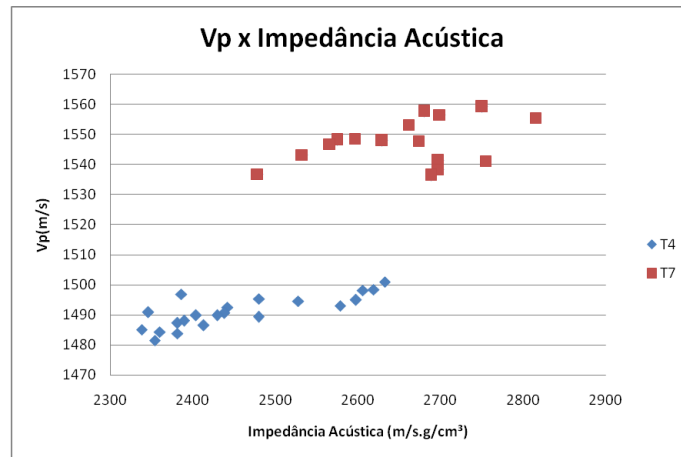


Figura 23: Gráfico de dispersão entre Vp e impedância acústica dos testemunhos T4 e T7.

## Vp x Porosidade

Para os testemunhos T4 e T7, o coeficiente de correlação entre densidade e porosidade vale -0,99. Por isso as tendências possuem as mesmas características, porém são invertidas em relação à dispersão entre Vp e densidade. Os coeficientes valem -0,77 e -0,25 para T4 e T7.

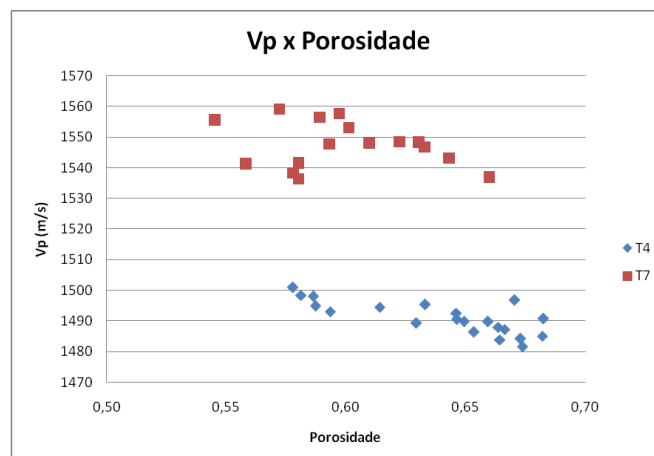


Figura 24: Gráfico de dispersão entre Vp e porosidade dos testemunhos T4 e T7.

## Vp x Ensaio de Carga

Os dois testemunhos apresentam correlações positivas (0,72 e 0,22 para T4 e T7), porém os valores de Vp estão em intervalos diferentes impossibilitando o ajuste de uma função aos dados.

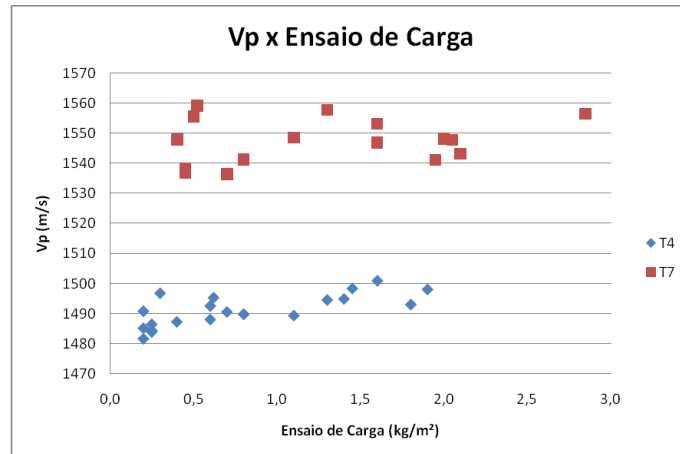


Figura 25: Gráfico de dispersão entre Vp e ensaio de carga dos testemunhos T4 e T7.

## Vp x Resistência ao Cisalhamento

Nesta dispersão os testemunhos apresentam comportamentos diferentes. Os valores de resistência de T7 são concentrados enquanto os valores de T4 variam mais. Os coeficientes de correlação valem, para T4 e T7, 0,60 e 0,61.

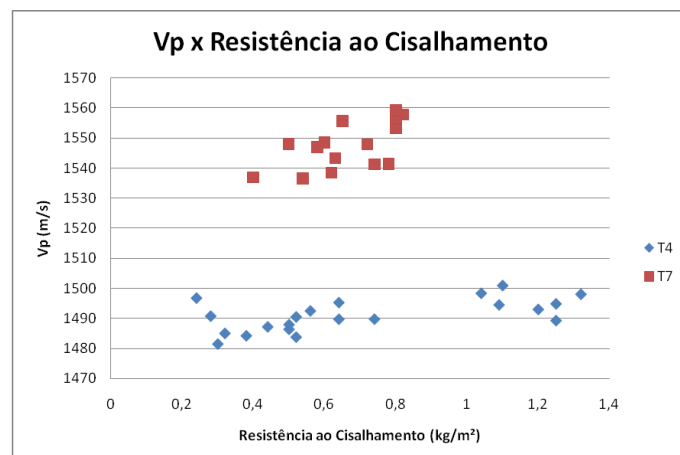


Figura 26: Gráfico de dispersão entre Vp e resistência ao cisalhamento dos testemunhos T4 e T7.

## Vp x Granulometria

Observa-se que os teores em T7 variam bastante ao longo do testemunho e em T4 não mostram grandes variações. T4 apresenta correlações fortes enquanto as correlações de T7 são fracas. Os coeficientes para as dispersões para T4 e T7 valem 0,77 e 0,11 para o teor de silte, 0,57 e 0,10 para o teor de argila e -0,76 e -0,11 para o teor de areia.

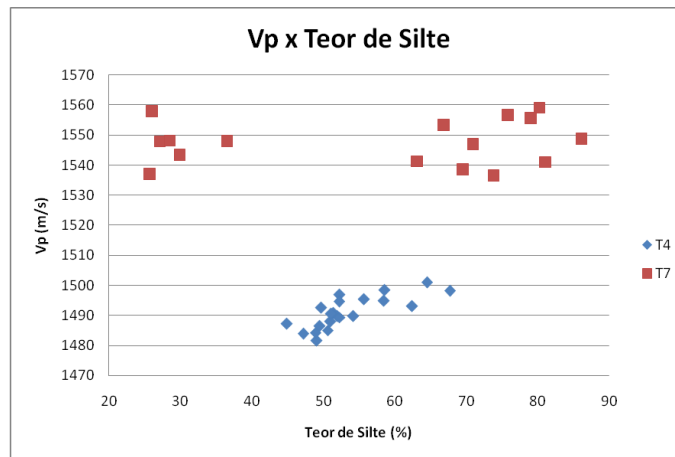


Figura 27: Gráfico de dispersão entre Vp e teor de silte dos testemunhos T4 e T7.

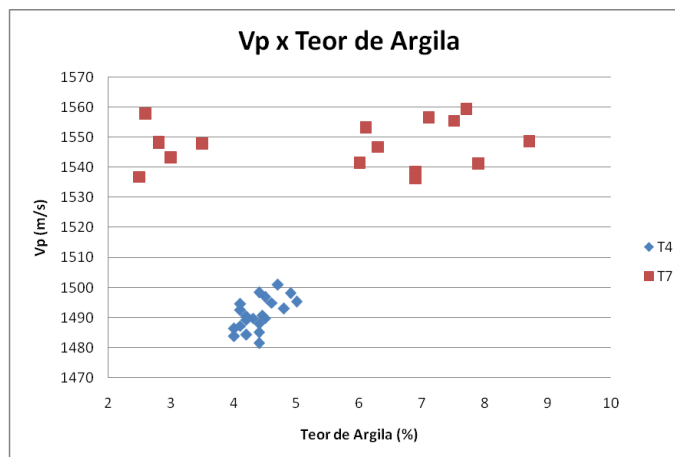


Figura 28: Gráfico de dispersão entre Vp e teor de argila dos testemunhos T4 e T7.

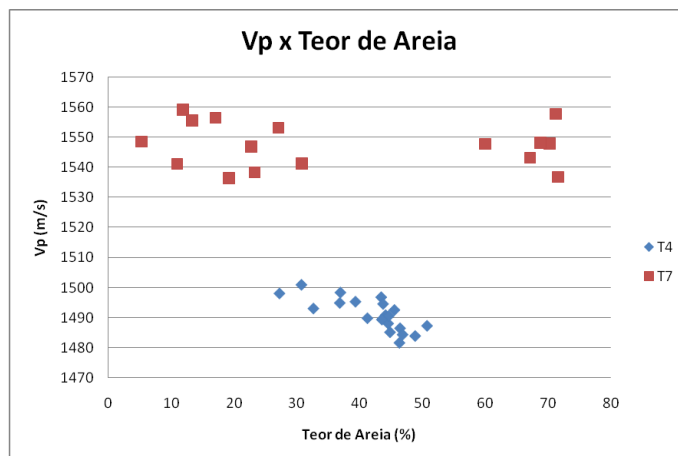


Figura 29: Gráfico de dispersão entre Vp e teor de areia dos testemunhos T4 e T7.

### Impedância Acústica x Densidade

Nos dois casos, os coeficientes de correlação valem 0,99 para a dispersão impedância x densidade. É possível ajustar uma reta com  $r^2=0,917$ .

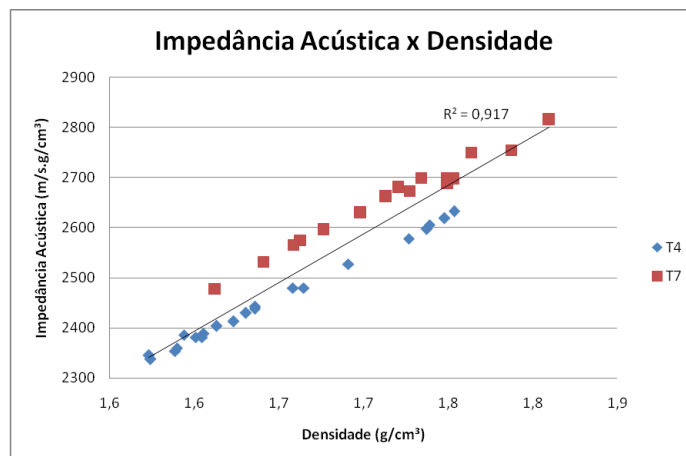


Figura 30: Gráfico de dispersão entre impedância acústica e densidade dos testemunhos T4 e T7.

### Impedância Acústica x Susceptibilidade Magnética

Os testemunhos se comportam de maneiras distintas quanto à correlação em questão. Enquanto T4 possui correlação negativa (-0,97), T7 apresenta correlação positiva (0,70). Consequentemente, não é possível ajustar uma função que se adapte ao comportamento da dispersão para os dois testemunhos juntos.

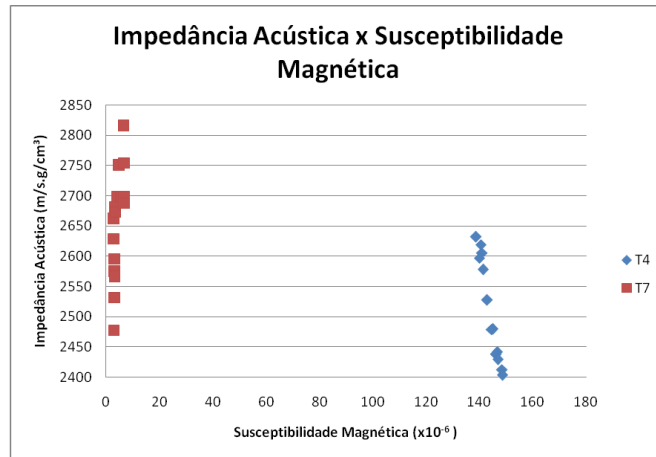


Figura 31: Gráfico de dispersão entre impedância acústica e susceptibilidade magnética dos testemunhos T4 e T7.

### Impedância Acústica x Porosidade

A impedância acústica e a porosidade possuem correlação inversa forte (-0,99). É possível ajustar uma reta com  $r^2=0,917$ .

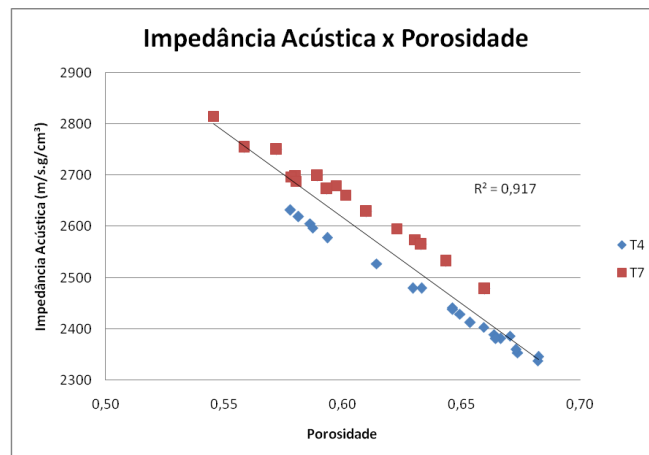


Figura 32: Gráfico de dispersão entre impedância acústica e porosidade dos testemunhos T4 e T7.

### Impedância Acústica x Ensaio de Carga

T4 mostra uma tendência bem definida e seu coeficiente de correlação vale 0,94. T7 não possui tendência definida e correlação fraca (-0,12). Por este motivo não é possível encontrar uma função que represente bem o comportamento dos dados como um conjunto.

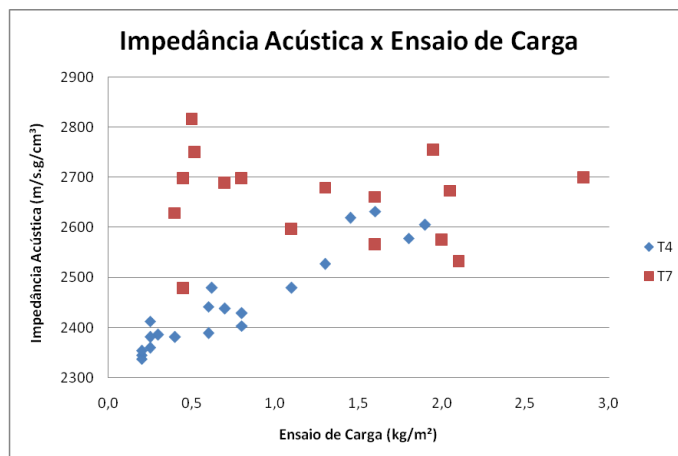


Figura 33: Gráfico de dispersão entre impedância acústica e ensaio de carga dos testemunhos T4 e T7.

### Impedância Acústica x Resistência ao Cisalhamento

Nesta dispersão T7 apresenta uma tendência crescente, mesmo que não seja bem definida, e possui coeficiente de correlação forte (0,60). T4 possui uma correlação ainda mais forte que T7 (0,90) e, assim como no caso de Impedância x Ensaio de Carga, apresenta uma tendência bem definida.

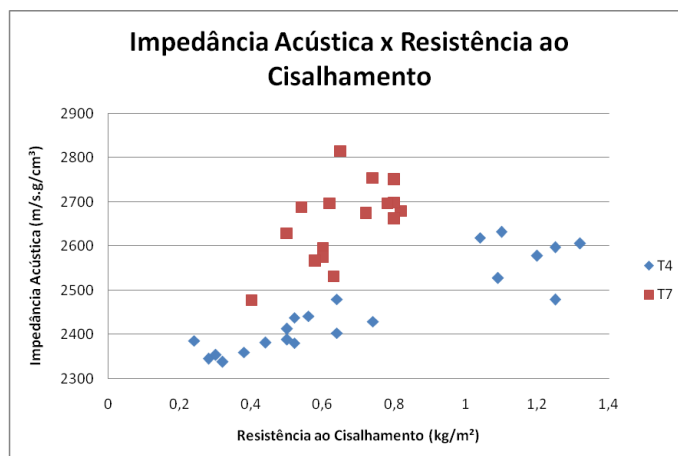


Figura 34: Gráfico de dispersão entre impedância acústica e resistência ao cisalhamento dos testemunhos T4 e T7.

## Impedância Acústica x Granulometria

O comportamento da dispersão é diferente dos anteriores, observa-se que em relação aos teores de silte e areia os valores apresentam uma continuação, com exceção de alguns valores de T7, valores estes que impossibilitam o ajuste de uma curva de regressão. A única dispersão que não possui esta característica é a do teor de argila. Os coeficientes para T4 e T7 são: 0,86 e 0,58 para silte, 0,50 e 0,58 para argila e -0,85 e -0,58 para o teor de areia.

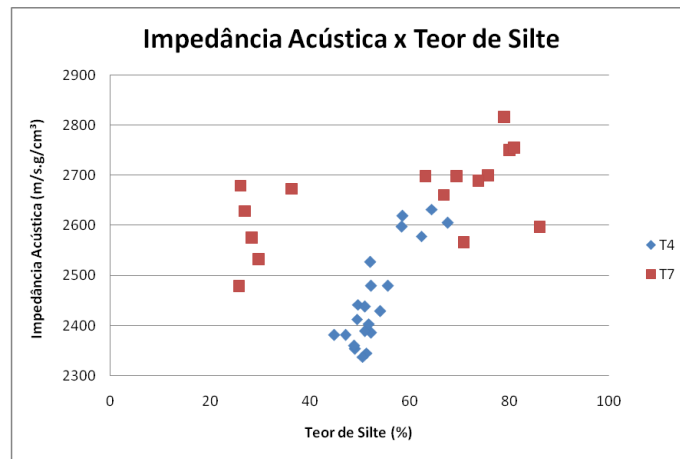


Figura 35: Gráfico de dispersão entre impedância acústica e teor de silte dos testemunhos T4 e T7.

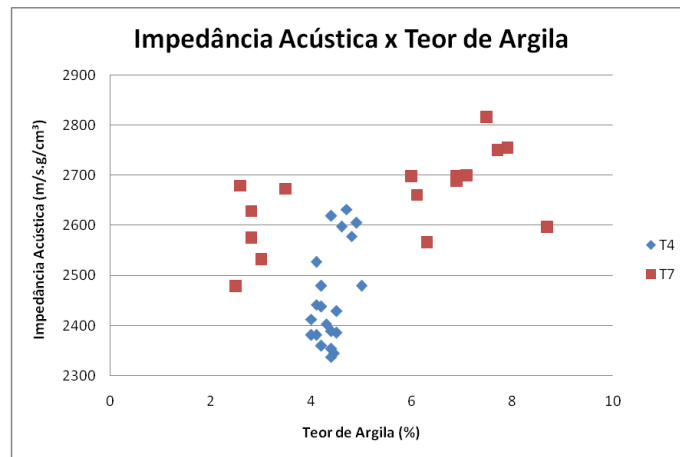


Figura 36: Gráfico de dispersão entre impedância acústica e teor de argila dos testemunhos T4 e T7.

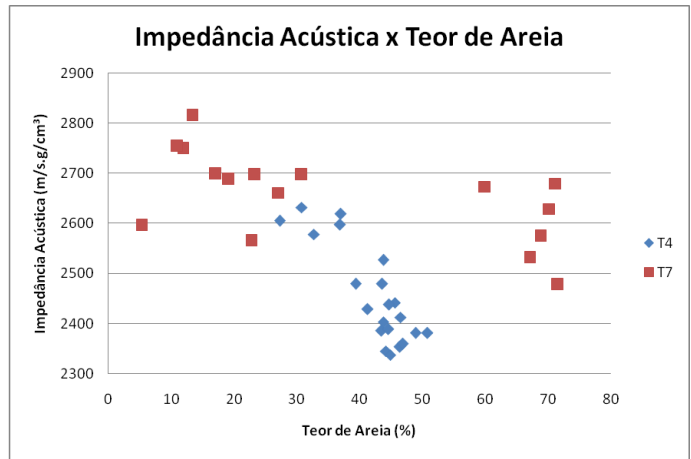


Figura 37: Gráfico de dispersão entre impedância acústica e teor de areia dos testemunhos T4 e T7.



### **7.3. Grupo 3**

O Grupo 3, formado pelos testemunhos T3, T5 e T8, é o grupo que apresenta maior teor de sedimentos grosseiros. Apesar de possuírem silte e argila em sua composição, são quase totalmente compostos por areias e cascalho. As profundidades de amostragem dos testemunhos são: 70 m, 170 m e 115 m, para T3, T5 e T8 respectivamente.

#### **Vp**

Os dados mostram uma variação muito grande nos valores de Vp no Grupo 3, com exceção de T8, que apresenta um comportamento uniforme. T3 varia de 1031 a 1602 m/s, sendo a maior variação de Vp entre todos os testemunhos. T5 possui valores entre 1157 e 1572 m/s e em T8 os valores estão entre 1494 e 1534 m/s. Vale ressaltar que os valores estão dispersos sem um padrão reconhecível.

#### **Densidade**

Os valores de densidade não apresentam grandes variações em T3 e T5. Em T8, esta variação é um pouco maior. Os valores estão entre 1,65 e 1,88 g/cm<sup>3</sup> em T3, 1,65 e 1,73 g/cm<sup>3</sup> em T5 e 1,37 e 1,63 g/cm<sup>3</sup> em T8.

#### **Susceptibilidade Magnética**

Em T3 os valores apresentam um comportamento muito diferente de todos os outros testemunhos e variam de maneira crescente do topo para a base. T5 e T8 apresentam comportamento semelhante e valores pouco expressivos. Os valores variam entre -42,9 e  $1,1 \times 10^{-6}$  em T3, 2,2 e  $2,7 \times 10^{-6}$  em T5 e 3,5 e  $4,9 \times 10^{-6}$  em T8.

#### **Impedância Acústica**

A impedância acústica possui valores no intervalo de 2316 a 3016 m/s.g/cm<sup>3</sup> em T3, de 1976 a 2673 m/s.g/cm<sup>3</sup> em T5 e entre 2095 e 2465 m/s.g/cm<sup>3</sup> em T8.

#### **Porosidade**

Comporta-se de maneira inversa à densidade. Apresenta valores entre 0,50 a 0,63 em T3, 0,59 a 0,64 em T5 e 0,66 a 0,80 em T8.

#### **Ensaio de Carga**

A distribuição dos valores não apresenta tendência definida em nenhum testemunho. Em T3 os valores variam entre 1,8 e 9,7 kg/m<sup>2</sup> e os maiores valores se

concentram nos 6 primeiros centímetros do topo para a base. Em T5 os valores variam entre 4,6 e 10,3 kg/m<sup>2</sup> e em T8 variam entre 0,2 e 0,7 kg/m<sup>2</sup>.

### **Resistência ao Cisalhamento**

Assim como no ensaio de carga, os valores de resistência ao cisalhamento não possuem tendência definida em nenhum testemunho. T3 possui os valores entre 0,2 e 2,0 kg/m<sup>2</sup>, T5 apresenta valores entre 0,8 e 1,8 kg/m<sup>2</sup> e os valores de T8 variam entre 0,3 e 0,8 kg/m<sup>2</sup>.

### **Granulometria**

O Grupo 3 possui a granulometria mais grosseira de todos os grupos. Seus testemunhos são constituídos principalmente de areia. T3 possui o maior teor de areia, que varia de 64 a 89%, o teor de silte varia de 11 a 33% e o teor de argila varia entre 1 e 3%. T5 apresenta uma variação de 59 a 86% no teor de areia, 13 a 36% no teor de silte e 1 a 5% no teor de argila. T8 é o testemunho que possui o menor teor de areia do grupo, que vai de 44 a 59%. Os teores de silte e argila variam entre 37 e 51% e 3 e 5% respectivamente.

## Correlações

### Vp x Densidade

Os testemunhos T3 e T5 apresentam comportamentos semelhantes e possuem coeficientes de correlação positivos (0,50 e 0,82 respectivamente). T8 mostra um comportamento muito diferente e possui coeficiente de correlação negativo (-0,70). Este comportamento não permite que uma função se ajuste aos dados quando analisados como um conjunto.

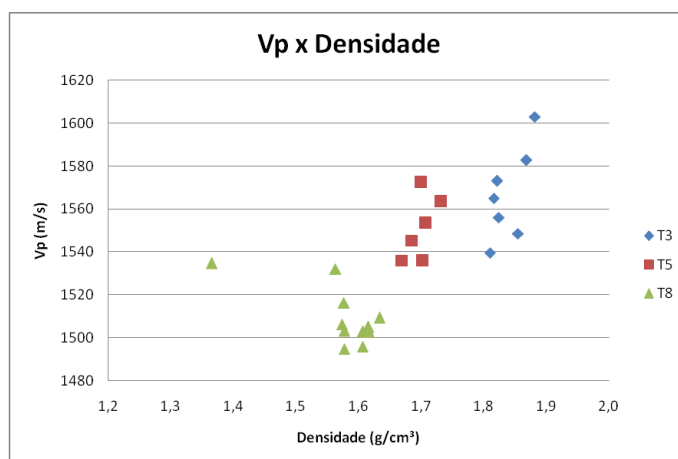


Figura 38: Gráfico de dispersão entre Vp e densidade dos testemunhos T3, T5 e T8.

### Vp x Susceptibilidade Magnética

Os testemunhos T5 e T8 apresentam coeficientes negativos (-0,43 e -0,36, respectivamente), enquanto T3 possui um coeficiente positivo (0,50). Novamente, não é possível encontrar uma função que se adapte ao comportamento da dispersão do grupo.

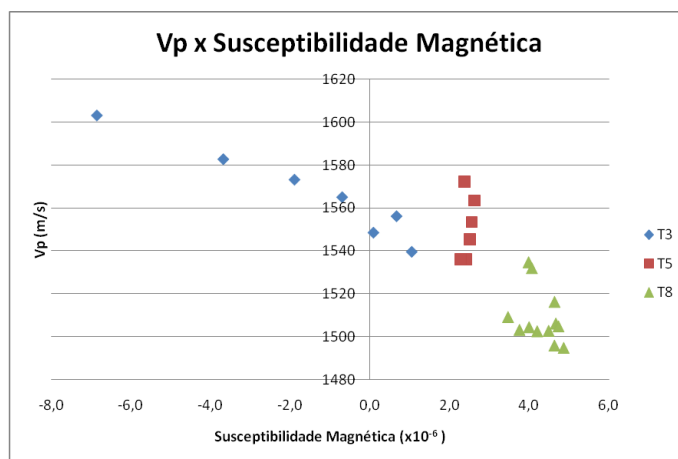


Figura 39: Gráfico de dispersão entre Vp e susceptibilidade magnética dos testemunhos T3, T5 e T8.

## Vp x Impedância Acústica

O comportamento da dispersão é semelhante ao de Vp x Densidade, onde T3 e T5 apresentam coeficientes positivos (0,94 e 0,98 respectivamente) e T8 negativo (-0,59). Assim como em Vp x Densidade, não foi possível ajustar uma função aos dados.

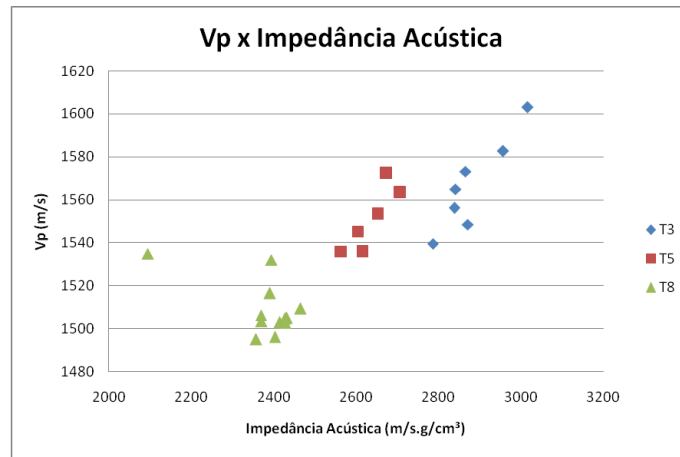


Figura 40: Gráfico de dispersão entre Vp e impedância acústica dos testemunhos T3, T5 e T8.

## Vp x Porosidade

Os testemunhos T3, T5 e T8 apresentam os seguintes coeficientes de correlação: -0,50, -0,82 e 0,70, respectivamente. Não é possível determinar uma tendência geral para os dados como conjunto.

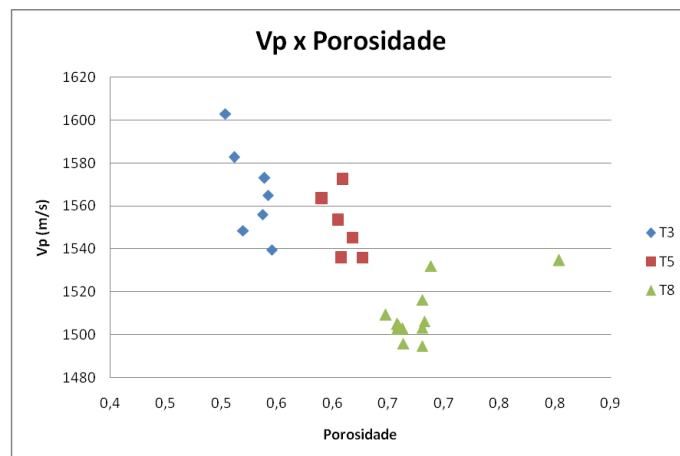


Figura 41: Gráfico de dispersão entre Vp e porosidade dos testemunhos T3, T5 e T8.

## Vp x Ensaio de Carga

Os dados estão dispersos sem apresentar qualquer tipo de tendência em todos os testemunhos. Os coeficientes de correlação para T3, T5 e T8 são: -0,67, 0,58 e -0,45 respectivamente.

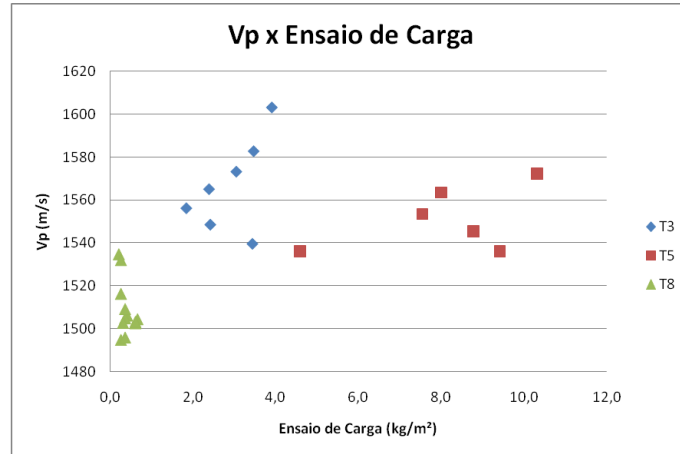


Figura 42: Gráfico de dispersão entre Vp e ensaio de carga dos testemunhos T3, T5 e T8.

## Vp x Resistência ao Cisalhamento

O testemunho T3 não possui tendência definida enquanto T5 e T8 apresentam tendências contrárias. Os coeficientes para T3, T5 e T8 são -0,10, 0,48 e -0,54.

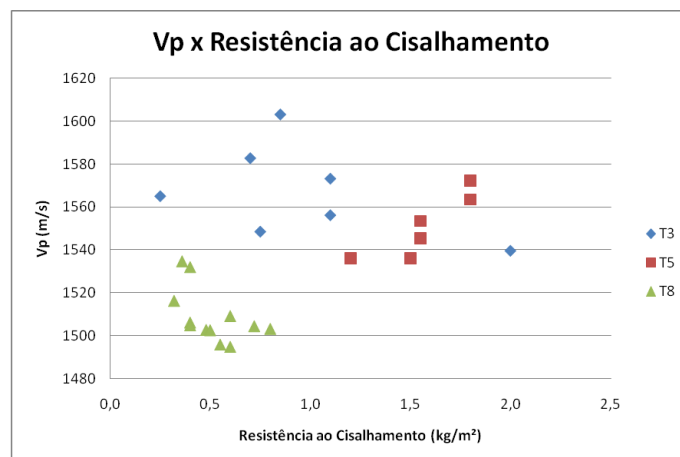


Figura 43: Gráfico de dispersão entre Vp e resistência ao cisalhamento dos testemunhos T3, T5 e T8.

## Vp x Granulometria

Os gráficos de dispersão de Vp x Teor de Silte e Vp x Teor de Argila são muito semelhantes, enquanto a dispersão Vp x Teor de Areia possui um comportamento inverso. No entanto, nenhum deles apresenta uma tendência bem definida fato que é bem ilustrado pelos coeficientes de correlação, que são relativamente baixos. Para T3, T5 e T8 os coeficientes de correlação valem: -0,27, 0,39 e 0,11 para o teor de silte, -0,24, -0,40 e 0,10 para o teor de argila e 0,26, 0,39 e -0,08 para o teor de areia.

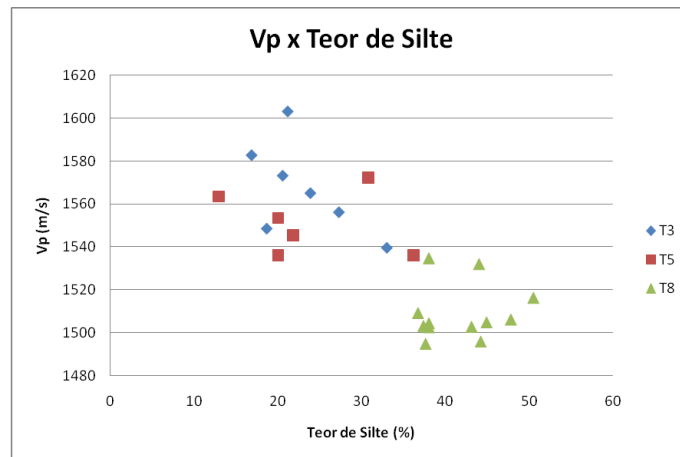


Figura 44: Gráfico de dispersão entre Vp e teor de silte dos testemunhos T3, T5 e T8.

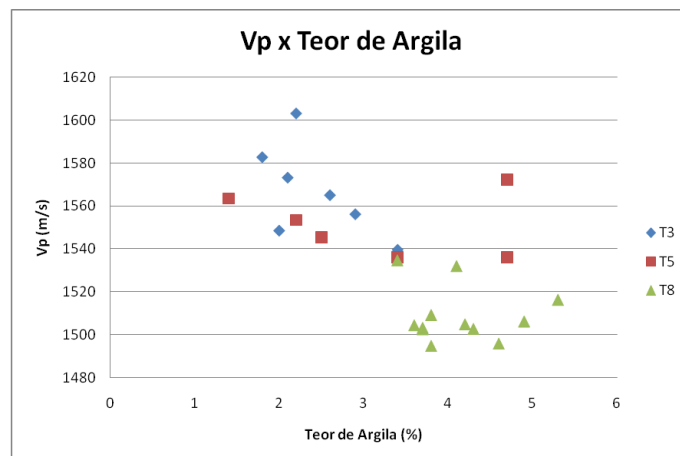


Figura 45: Gráfico de dispersão entre Vp e teor de argila dos testemunhos T3, T5 e T8.

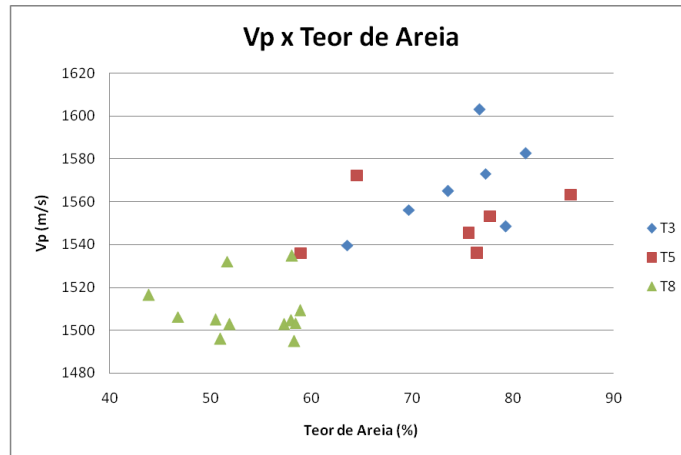


Figura 46: Gráfico de dispersão entre Vp e teor de areia dos testemunhos T3, T5 e T8.

### Impedância Acústica x Densidade

Este é o único grupo que apresenta um comportamento diferente entre densidade e impedância acústica. Nos grupos anteriores, os valores de densidade apresentavam correlações fortes e positivas com os valores de impedância. Neste grupo, somente T8 possui essa característica (0,99), já que T3 e T5 apresentam coeficientes positivos, mas com valores menores (0,76 e 0,93, respectivamente). Foi possível ajustar uma reta aos dados com  $r^2=0,976$ .

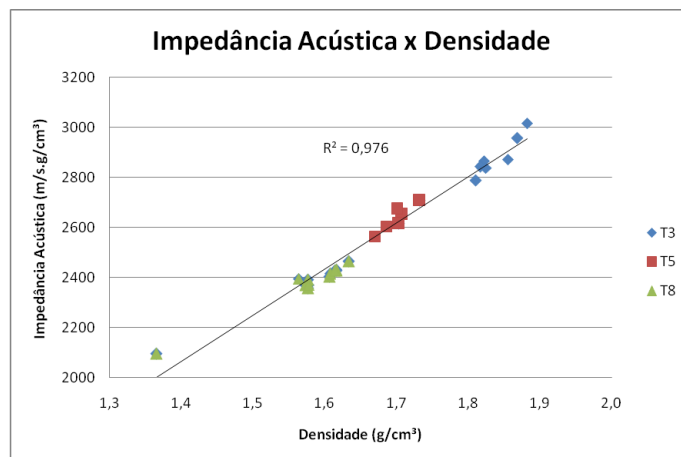


Figura 47: Gráfico de dispersão entre impedância acústica e densidade dos testemunhos T3, T5 e T8.

## Impedância Acústica x Susceptibilidade Magnética

Cada testemunho apresenta uma tendência distinta para a dispersão. Não foi possível encontrar nenhuma função que representasse o comportamento dos dados. Os coeficientes de correlação valem 0,26, -0,26 e 0,05 para T3, T5 e T8.

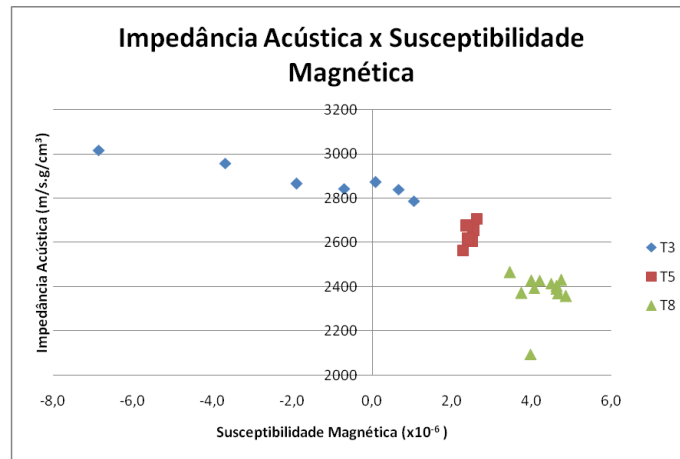


Figura 48: Gráfico de dispersão entre impedância acústica e susceptibilidade magnética dos testemunhos T3, T5 e T8.

## Impedância Acústica x Porosidade

O coeficiente de correlação entre densidade e porosidade vale -0,99, logo, o gráfico de dispersão entre impedância acústica e porosidade é o inverso do gráfico de impedância x densidade. Pode-se ajustar uma reta com  $r^2=0,976$ .

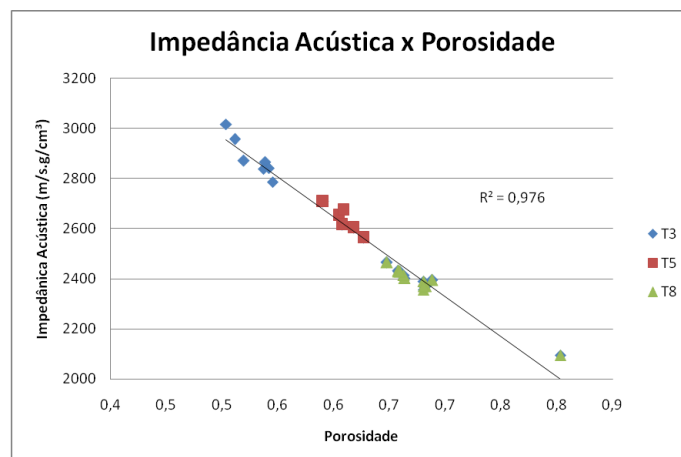


Figura 49: Gráfico de dispersão entre impedância acústica e porosidade dos testemunhos T3, T5 e T8.



## Impedância Acústica x Ensaio de Carga

O comportamento da dispersão não apresenta tendência definida para nenhum dos testemunhos. Os coeficientes de correlação valem -0,48, 0,62 e 0,40 para T3, T5 e T8 respectivamente.

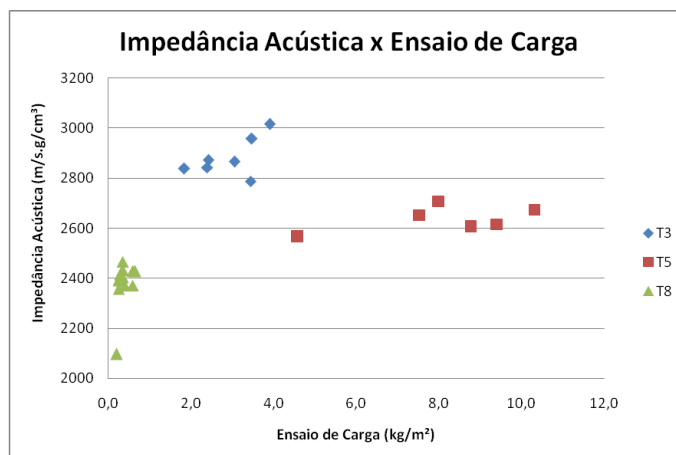


Figura 50: Gráfico de dispersão entre impedância acústica e ensaio de carga dos testemunhos T3, T5 e T8.

## Impedância Acústica x Resistência ao Cisalhamento

Assim como na dispersão Impedância Acústica x Ensaio de Carga, T5 é o único testemunho que apresenta uma tendência definida e coeficiente de correlação alto (0,89). T3 e T8 não possuem tendências definidas e seus coeficientes valem 0,21 e 0,30 respectivamente.

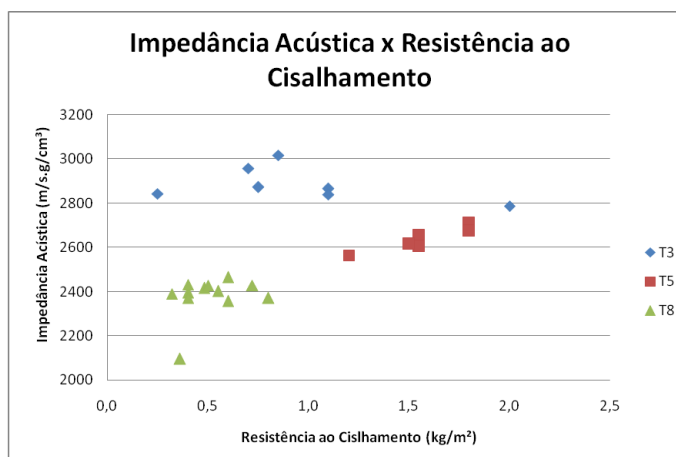


Figura 51: Gráfico de dispersão entre impedância acústica e resistência ao cisalhamento dos testemunhos T3, T5 e T8.

## Impedância Acústica x Granulometria

Em nenhum dos casos é possível observar tendências nos gráficos de dispersão. O comportamento dos dados é semelhante para os teores de silte e argila e assume uma forma inversa no teor de areia. Os coeficientes de correlação valem 0,34, 0,17 e 0,15 para o teor de silte, 0,39, 0,28 e 0,28 para o teor de argila e -0,34, -0,19 e -0,18 para o teor de areia.

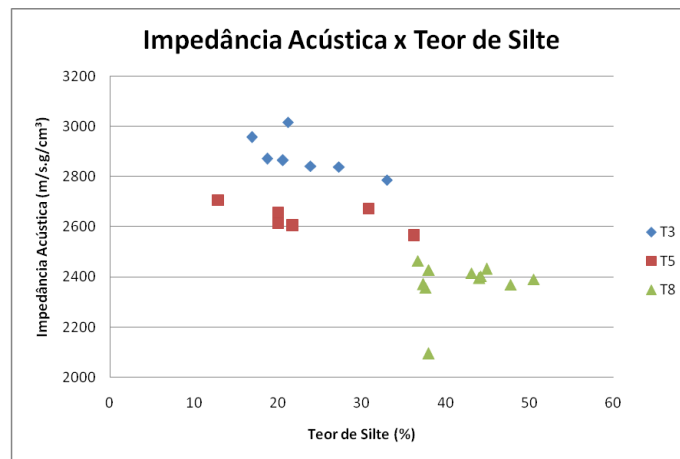


Figura 52: Gráfico de dispersão entre impedância acústica e teor de silte dos testemunhos T3, T5 e T8.

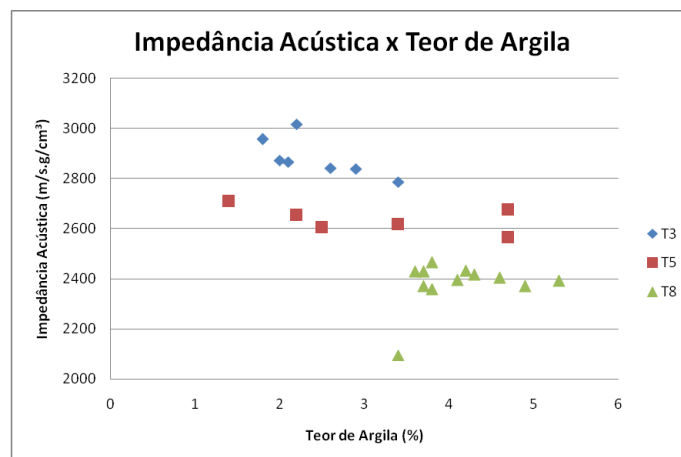


Figura 53: Gráfico de dispersão entre impedância acústica e teor de argila dos testemunhos T3, T5 e T8.

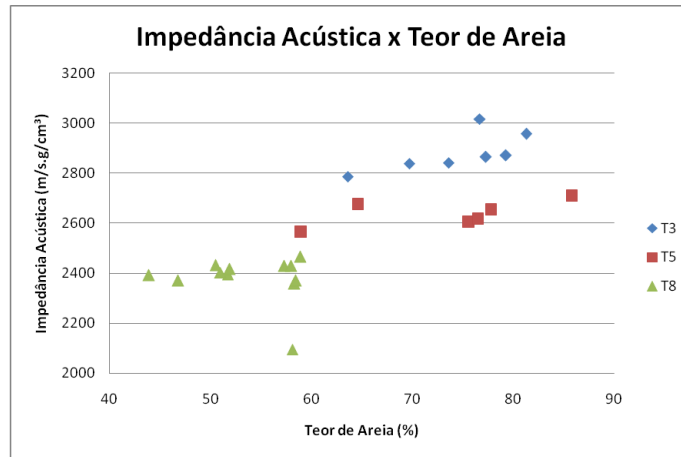


Figura 54: Gráfico de dispersão entre impedância acústica e teor de areia dos testemunhos T3, T5 e T8.

## 8. Conclusões

Os resultados obtidos neste trabalho permitem que se estabeleça uma ligação entre os parâmetros físicos, geológicos e geotécnicos em sedimentos superficiais marinhos. Ligações deste tipo já foram amplamente discutidas pela literatura e, em alguns casos, resultados semelhantes foram obtidos. A metodologia utilizada, apesar de semelhante às de outros estudos, foi aplicada em uma área onde não havia sido realizada nenhuma pesquisa com os mesmos fins. Por este motivo, é preciso ter cautela na utilização de algumas correlações que podem existir somente nos ambientes que foram estudados.

A metodologia não se mostrou eficiente para testemunhos que possuíam sedimentos mais grosseiros, pois a coleta é mais trabalhosa e favorece a perda de água. Esses sedimentos são mais permeáveis e o transporte e armazenamento podem ter alterado o arranjo dos grãos e a distribuição dos fluidos no interior dos poros, alterando os valores de Vp, densidade, impedância acústica e porosidade.

O Grupo 1 apresentou, em geral, correlações fortes. Algumas correlações são muito semelhantes às estudadas na literatura como, por exemplo, as correlações entre Vp e densidade, porosidade, susceptibilidade magnética e impedância acústica. O formato que estas correlações assumem assemelha-se ao encontrado por Hamilton & Bachman (1982) onde utilizaram a Equação de Wood para descrever o comportamento de Vp e porosidade em sedimentos superficiais de mar profundo. Os valores de Vp em T1 e T6 estão no mesmo intervalo, enquanto os valores de T2 são ligeiramente mais altos. Alguns valores de T6 possuem tendências diferentes da tendência apresentada pelo restante da dispersão. Estes valores, até 18 cm a partir do topo, são os menos densos do grupo apresentando densidades entre 1,15 e 1,41 g/cm<sup>3</sup> e valores mais baixos nos ensaios geotécnicos.

A impedância acústica no Grupo1 possui correlações muito fortes com densidade e, obviamente, com a porosidade. Este comportamento também foi descrito por Hamilton e Bachman (1982).

O Grupo 2 mostra que, em geral, as tendências são muito semelhantes mas apresentam uma distância entre valores, principalmente quando se trata dos valores de Vp e impedância acústica. O fator que causa essa diferença na faixa de valores de Vp dos testemunhos T4 e T7 pode ser a composição mineralógica dos testemunhos, que de acordo com Horn (1968), Hamilton & Bachman (1982) entre outros tem grande influência na propagação das ondas acústicas já que o arranjo estrutural entre sedimentos finos e arenosos são bastante diferentes.

Este grupo ainda apresenta uma peculiaridade em relação à susceptibilidade magnética. O testemunho T4 apresenta valores completamente diferentes do restante dos testemunhos estudados. Os valores de T4 são muito elevados, o que sugere a presença de materiais paramagnéticos ou ferromagnéticos. No entanto, neste estudo não foi realizada nenhuma análise mineralógica que poderá ser utilizada em estudos futuros.

O Grupo 3 é o mais pobre em correlações fortes e os testemunhos T3, T5 e T8 comportam-se muitas vezes com tendências diferentes. Ainda assim, as principais características apresentadas pelos outros grupos são observadas no Grupo 3, como por exemplo as boas correlações entre impedância acústica e variáveis como densidade, porosidade e os teores de silte, argila e areia (Tabelas 3 e 4).

Observa-se que nos grupos 1 e 2 os gráficos de dispersão possuem coeficientes de correlação e tendências semelhantes, no entanto suas inclinações são diferentes, por este motivo foram separados em dois grupos distintos.

Em geral, não foram encontradas boas correlações com os parâmetros geotécnicos. Pois além de serem métodos pouco precisos de medição, são muito afetados pelo transporte e perda de água dos testemunhos.

Os dados mostram que, em geral, a impedância acústica em sedimentos superficiais é mais influenciada pela densidade do que pela velocidade de ondas P. A impedância acústica correlacionou-se bem com diversas variáveis, o que é extremamente importante quando se trabalha com classificação acústica, pois a impedância possui relação com a amplitude sísmica do traço que é obtida facilmente com o sistema QTC ao contrário de Vp que é difícil de medir *in situ*.

Tabela 3: Coeficientes de correlação calculados para Vp e as outras variáveis estudadas. As cores claras indicam correlações fortes (> 0,60).

		Vp X Densidade	Vp X Porosidade	Vp X Susc. Magnética	Vp X Imp. Acústica	Vp X Ensaio de Carga	Vp X Resist. Cisalhamento	Vp X Teor de Argila	Vp X Teor de Silte	Vp X Teor de Areia
Grupo 1	T1	0,51	-0,51	0,48	0,60	0,30	0,24	0,24	0,47	-0,50
	T2	0,80	-0,80	0,41	0,84	0,61	0,61	-0,42	-0,14	0,18
	T6	-0,62	0,62	-0,50	-0,57	-0,03	-0,08	-0,63	-0,37	0,55
Grupo 2	T4	0,77	-0,77	-0,73	0,80	0,73	0,60	0,57	0,77	-0,77
	T7	0,25	-0,25	-0,32	0,38	0,22	0,61	0,10	0,11	-0,11
Grupo 3	T3	0,50	-0,50	0,50	0,94	-0,67	-0,10	0,24	0,27	-0,26
	T5	0,82	-0,82	-0,43	0,97	0,58	0,48	0,40	0,39	-0,40
	T8	-0,70	0,70	-0,36	-0,59	-0,45	-0,54	-0,10	0,11	-0,08

Tabela 4: Coeficientes de correlação calculados para impedância acústica e as outras variáveis estudadas. As cores claras indicam correlações fortes (> 0,60).

		Imp. Acústica X Densidade	Imp. Acústica X Porosidade	Imp. Acústica X Susc. Magnética	Imp. Acústica X Ensaio de Carga	Imp. Acústica X Resist. Cisalhamento	Imp. Acústica X Teor de Argila	Imp. Acústica X Teor de Silte	Imp. Acústica X Teor de Areia
Grupo 1	T1	0,99	-0,99	0,95	0,70	0,78	0,44	0,36	-0,42
	T2	0,99	-0,99	0,50	0,68	0,68	-0,58	-0,36	0,42
	T6	0,99	-0,99	0,96	0,76	0,78	0,47	0,62	-0,72
Grupo 2	T4	0,99	-0,99	-0,98	0,94	0,91	0,50	0,86	-0,85
	T7	0,99	-0,99	0,71	-0,12	0,61	0,58	0,58	-0,58
Grupo 3	T3	0,77	-0,77	0,26	-0,48	-0,20	0,00	0,02	-0,02
	T5	0,93	-0,93	-0,26	0,62	0,59	0,23	0,18	-0,19
	T8	0,99	-0,99	0,05	0,40	0,30	0,28	0,15	-0,18

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AYRES, A. & THEILEN, F. 1997 - *Seismische Wellen Geschwindigkeit im Oberflächlichen Marinen Sedimente*. DAGA/97, Kiel, Germany.
- AYRES, A. & THEILEN, F. 1997 - *Relationship between Seismic Velocities and Sediment Properties of Near Surface Marine Sediments*. 22<sup>nd</sup> Annual Meeting of the European Geophysical Society, Vienna, Austria.
- AYRES, A. & THEILEN, F. 1998 - *Physical Properties versus Engineering and Environmental Parameters of Marine Sediments*. 60<sup>th</sup> Conference and Technical Exhibition of the European Association of Geoscientists and Engineers, Leipzig, Germany.
- AYRES, A. & THEILEN, F. 1999 - *Relationship between Seismic Velocities and Geological and Geotechnical Properties of Near Surface Marine Sediments of the Continental Slope of the Barents Sea*. Geophysical Prospecting, Vol 47, No. 4 . Pag: 431 - 441.
- AYRES, A. & SILVA, B.A. 2006 - Geofísica e Geotecnia – Integração de Métodos na Determinação de Diretrizes de Dutos Submarinos. 13<sup>th</sup> Brazilian Congress of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Curitiba, Brazil.
- BREITZKE, M & SPIESS, V. 1991 – *Imaging the physical properties of deep sea sediments: a comparison between narrow-beam echosounding surveys and Laboratory measurements on sediment cores*. In Weydert, M. (Ed.) European Conference on Underwater Acoustic. P: 505-508.
- 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.
- COLLINS, W.T. & RHYNAS, K.P. 1998 - *Acoustic Seabed Classification using Echo Sounders: Operational Considerations and Strategies*. In Anais Canadian Hydrographic Conference- 1998, Victoria, Canada
- DOBENECK, T.V.; GRIGEL, J.; RICHTER, M.; SCHMIDT, A.; SPIEB, V. 1993. *Physical Properties Studies*. Report and preliminary results of METEOR- Cruise M 23/1. Cape Town/South Africa – Rio de Janeiro/Brazil. (04.02 – 25.02.1993). N. 94-1.
- FALCAO, L.C. 2009. Parâmetros físicos de sedimentos marinhos superficiais da região costeira de Caravelas, Sul da Bahia. Monografia. Lagemar – UFF.
- FIGUEIREDO JUNIOR, A.G.; ABUCHACRA, R. C.; VASCONCELOS, S. C.; SANTOS, R.A.; SAMPAIO, M. B.; VIANNA, P. J. A.; SILVA, F. T.; DE TOLEDO, B. M. Perfilador Multi-Sensor Geotek para Testemunhos (Aplicação em Análises Não-Destrutivas de Testemunhos Sedimentares). Anais do 44<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Geologia. Curitiba, 2008.

- FIGUEIREDO JUNIOR, A.G. & MADUREIRA, L.S.P. 2004 – Topografia, composição, refletividade do substrato marinho e identificação de províncias sedimentares na Região Sudeste-Sul do Brasil. Série de Documentos REVIZEE – Score Sul.
- FREDERICHES, T.; SCHMIEDER, F.; HUBSCHER, C.; FIGUEIREDO, A.; COSTA, E. 1996. *Physical Properties Studies*. Report and preliminary results of METEOR-Cruise M34/4. Recife – Bridgetown (19.03 – 15.04.1996). N. 80.
- GEOTEK Multi Sensor Core Logger systems (MSCL): *General product overview and price guide MSCL*. February 2007. Geotek Ltda.
- HAMILTON, E. L. 1980 – *Geoacoustic modeling of the seafloor*. J. Acoust. Soc. Am., Vol 68, n° 5. P: 1313-1340
- HAMILTON, E. L. & Bachman, R.T. 1982 – *Sound velocity and related properties of marine sediments*. J. Acoust. Soc. Am., Vol 72, n° 6. P: 1891-1904
- MACEDO, H.C. 2006. Análise da propagação de ondas compressoriais (P) em sedimentos marinhos. Dissertação de Mestrado. Lagamar – UFF.
- PINTO, C. S. 2006. Curso Básico em Mecânica dos Solos em 16 aulas. Terceira edição. Editora Oficina de Textos, São Paulo.
- SCHON, J.H. 1996. *Physical properties of rocks: fundamentals and principles of petrophysics*. Vol.18 Chapter 3.
- SOLANO, R.F., GENAIO, M.C., AYRES, A & CEZAR, G.S. 2007 - *Design and Installation Challenges of Jubarte Gas Pipeline in the Shore Approach Area*. 17<sup>TH</sup> Isope Conference, Lisboa.
- SCHMITZ, C.S. 2000. Mecânica dos Solos. Módulo Geral 1. Curso Técnico de Edificações. Centro Federal de Educação Tecnológica de Pelotas, RS.
- THEILEN, F. AYRES, A. & LANGE, G. 1997 - *Physical Properties of Near Surface Marine Sediments*. 59<sup>th</sup> Conference and Technical Exhibition of the European Association of Geoscientist and Engineers, Geneva Switzerland.
- 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.