

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

LUIZA BARBOSA PEREIRA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE A EFICIÊNCIA DE SONDAGENS SPT E
SÍSMICA RASA PARA DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS GEOTÉCNICOS EM
UMA ÁREA DO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL,RS**

**CAÇAPAVA DO SUL
2015**

LUISA BARBOSA PEREIRA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE A EFICIÊNCIA DE SONDAgens SPT E
SÍSMICA RASA PARA DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS GEOTÉCNICOS EM
UMA ÁREA DO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL,RS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Geologia da
Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel em Geologia.

Orientador: José Waldomiro Jiménez
Rojas

Coorientador: Luiz Delfino Albarnaz

**CAÇAPAVA DO SUL
2015**

LUISA BARBOSA PEREIRA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE A EFICIÊNCIA DE SONDAJENS SPT E
SÍSMICA RASA PARA DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS GEOTÉCNICOS EM
UMA ÁREA DO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL,RS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Geologia da
Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 30 de Novembro de
2015.

Banca examinadora:

Prof. Dr. José Waldomiro Jiménez Rojas
Orientador
UNIPAMPA

Prof. Dr. Marcus Vinícius Aparecido Gomes de Lima
UNIPAMPA

Prof. Dra. Cristiane Heredia Gomes
UNIPAMPA

RESUMO

Nas últimas décadas a geofísica aplicada vem desempenhando um importante papel nos projetos de engenharia, entretanto, as empresas que gerenciam estes projetos desconhecem a diversidade de metodologias geofísicas disponíveis no mercado. Todavia, ressalta-se que a utilização de métodos geofísicos não implica no abandono dos métodos convencionais de investigação. Dados diretos, oriundos de sondagens serão sempre importantes para subsidiar o profissional na interpretação das informações geofísicas. O Standard Penetration Test (SPT) é reconhecidamente a mais popular, rotineira e econômica ferramenta de investigação geotécnica em praticamente todo o mundo, permitindo uma indicação da densidade de solos granulares, também aplicado à identificação da consistência de solos coesivos e mesmo de rochas brandas. Um dos métodos mais clássicos utilizados na investigação do ambiente terrestre é a sísmica, método geofísico que lida com a propagação das ondas elásticas nos materiais geológicos, característica que tem correlação direta com algumas propriedades físicas dos materiais, tais como, grau de consolidação/cimentação, alteração, compactação, saturação do maciço, entre outros. Desta forma, a sísmica produz informações que podem ser integradas com dados de sondagens mecânicas contribuindo efetivamente para a caracterização geológica e geotécnica dos terrenos. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo realizar um comparativo entre os resultados de parâmetro geotécnicos obtidos através do ensaio SPT e através de levantamentos de sísmica rasa utilizando a técnica MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*), a fim de analisar a eficácia de ambos os métodos em projetos geotécnicos. O trabalho foi realizado a partir de sondagens geotécnicas e levantamentos geofísicos. Os resultados obtidos foram: identificação das diferentes camadas de solo e do nível freático, obtenção de parâmetros de resistência do solo a partir do ensaio geotécnico e obtenção de parâmetros de resistência a partir de ensaios geofísicos. Com este trabalho conclui-se que a aplicação conjunta dos ensaios SPT, eletrorresistividade, sísmica de refração rasa e MASW mostrou ser uma ferramenta muito eficaz em projetos de engenharia geotécnica, sendo possível correlacionar os resultados de todos esses métodos.

Palavras-chave: geotecnia, geofísica, prospecção do subsolo.

ABSTRACT

In the last decades the applied geophysics has been playing a very important role in engineer projects however the enterprises who management these projects are unaware the diversity of geophysics methodologies available. Nevertheless, it's important to highlight that using geophysical methods does not imply quitting in the conventional of investigation. Data coming directly from drilling hole will always be important to help the professional to interpret the geophysical data. The Standard Penetration Test (SPT) is the most popular, habitual and cheaper tool of geotechnical investigation in almost around the world, allowing indicating the density of granular soils, applied as well to identify the consistency of cohesive soils and even soft rocks. One of the most classic methods used in the investigation of land environments is the seismic method, it is a geophysical method that can read the propagation of elastic waves through the geologic layers, characteristics that have a direct correlation with some properties as consolidation/cementing, alteration, compactation, saturation and others more. Thus the seismic generate data that can be integrated with drill holes data to characterize the geology and geotechnique of an area. This paper aims to compare the geotechnical parameters obtained by SPT tests and through shallow seismic surveys using MASW technique (Multichannel Analysis of Surface Waves), to analyze the effectiveness of both the methods in geotechnical projects. Work was performed from geotechnical surveys and geophysical surveys. The results obtained were: identifying different layers of soil and the water table, obtaining soil resistance parameters from geotechnical testing and resistance parameters obtained from geophysical tests. With this work is concluded that the joint application of SPT, electrical resistivity, seismic shallow refraction and MASW proved to be a very effective tool in geotechnical engineering projects, making it possible to correlate the results of all these methods.

Keywords: geotechnics, geophysics, underground exploration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Amostrador padrão “Raymond” (NBR 6.484/80).....	12
Figura 2 - Ensaio SPT	13
Figura 3 - Resultados de ensaio MASW mostrando a variação de VS com a profundidade em um perfil 1D (esquerda) e seção 2D (direita).....	19
Figura 4 - Mapa de situação e localização da área de estudo	26
Figura 5 - Mapa com a delimitação das províncias geológicas do Estado do Rio Grande do Sul	27
Figura 6 - Mapa geológico da região de Caçapava Sul, mostrando as fácies do Complexo Granítico Caçapava do Sul, as estruturas que tendem a NW e que controlam a subdivisão do corpo intrusivo, e o local onde foram coletadas amostras para fazer apatita FT termocronologia	29
Figura 7 - Perfil de solo da área de estudo	30
Figura 8 - Diagrama com o detalhamento das atividades que serão desenvolvidas nesta pesquisa.	31
Figura 9 – Equipamentos utilizados no levantamento sísmico, em (A) o Sismógrafo Summit II Compact, em (B) o geofone e em (C) a marreta sísmica	33
Figura 10 – Equipamento utilizado no levantamento de eletrorresistividade.....	34
Figura 11 - Planta de locação dos furos de sondagem e dos perfis geofísicos executados.....	35
Figura 12 - Perfil 2 de Eletrorresistividade.....	50
Figura 13 - Perfil 3 de Eletrorresistividade.....	51
Figura 14 – Comparação entre os resultados do SP 01 e do Tiro 1 do Perfil 1	52
Figura 15 – Comparação entre os resultados do SP 05 e do Tiro 3 do Perfil 1	53
Figura 16 – Comparação entre os resultados do SP 02 e do Tiro 1 do Perfil 2	54
Figura 17 – Comparação entre os resultados do SP 04 e do Tiro 2 do Perfil 2	55
Figura 18 – Comparação entre os resultados do SP 03 e do Tiro 2 do Perfil 3	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos solos	14
Tabela 2 - Vantagens e desvantagens do SPT	14
Tabela 3 - Métodos Geofísicos.....	16
Tabela 4 - Peso específico de solos argilosos	21
Tabela 5 - Peso específico de solos arenosos.....	21
Tabela 6 - Coesão de argilas	21
Tabela 7 - Coeficiente α	23
Tabela 8 - Coeficiente K.....	24
Tabela 9 - Coeficiente de Poisson.....	24
Tabela 10 - Parâmetros geotécnicos calculados para as camadas do SPT 01	36
Tabela 11 - Parâmetros geotécnicos calculados para as camadas do SPT 02	37
Tabela 12 - Parâmetros geotécnicos calculados para as camadas do SPT 02A	38
Tabela 13 - Parâmetros geotécnicos calculados para as camadas do SPT 02B	38
Tabela 14 - Parâmetros geotécnicos calculados para as camadas do SPT 03	39
Tabela 15 - Parâmetros geotécnicos calculados para as camadas do SPT 04	40
Tabela 16 - Parâmetros geotécnicos calculados para as camadas do SPT 05	41
Tabela 17 - Relação entre consistência, resistência a partir de verificação no campo e resistência calculada	42
Tabela 18 - Avaliação dos Parâmetros de Resistência e de deformabilidade em Função do SPT (Esp.) e comparação com esses parâmetros calculados (Cal.).....	43
Tabela 19 - Relação entre velocidade da onda P, velocidade da onda S, densidade e material	44
Tabela 20 – Dados obtidos e calculados a partir do Tiro 1 do Perfil 1	45
Tabela 21 - Dados obtidos e calculados a partir do Tiro 2 do Perfil 1	45
Tabela 22 - Dados obtidos e calculados a partir do Tiro 3 do Perfil 1	46
Tabela 23 - Dados obtidos e calculados a partir do Tiro 1 do Perfil 2	46
Tabela 24 - Dados obtidos e calculados a partir do Tiro 2 do Perfil 2	47
Tabela 25 - Dados obtidos e calculados a partir do Tiro 1 do Perfil 3	47
Tabela 26 - Dados obtidos e calculados a partir do Tiro 2 do Perfil 3	48
Tabela 27 - Dados obtidos e calculados a partir do Tiro 3 do Perfil 3	48
Tabela 28 - Dados obtidos e calculados a partir do Tiro 4 do Perfil 3	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SPT – Standard Penetration Test

MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves

ASTM - American Society for Testing and Materials

IRTP - International Reference Test Procedure

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

SASW - Spectral Analysis of Surface Waves

V_p – Velocidade de onda Primária

V_s – Velocidade de onda Cisalhante

cm - centímetros

mm - milímetros

kg - quilogramas

Hz – Hertz

CE – Caminhamento Elétrico

SiBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de solos

CPT – Cone Penetration Teste

CPTU - Piezocone Penetration Teste

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivos	10
1.1.1 Objetivos gerais	10
1.1.2 Objetivos específicos.....	11
1.2 Justificativa	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 Sondagem de Simples Reconhecimento (SPT)	12
2.2 Ensaios Geofísicos	15
2.2.1 Considerações Iniciais.....	15
2.2.2 Ensaios Sísmicos	17
2.2.2.1 Sísmica rasa e técnica MASW	17
2.3 Parâmetros Geotécnicos	20
3 ÁREA DE ESTUDO	26
3.1 Geologia Regional.....	27
3.2 Geologia Local.....	28
3.3 Pedologia	29
4 MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1 Métodos	31
4.1.1 Análise geotécnica	31
4.1.2 Análise geofísica	31
4.1.3 Análise dos resultados	32
4.2 Materiais e Equipamentos	32
4.2.1 SPT	32
4.2.2 Sísmica de refração rasa	32
4.2.3 Eletrorresistividade	33
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
5.1 SPT	36
5.1.1 SPT 1	36
5.1.2 SPT 2	37
5.1.3 SPT 2A.....	37
5.1.4 SPT 2B.....	38
5.1.5 SPT 3	39

5.1.6 SPT 4	39
5.1.7 SPT 5	40
5.2 Sísmica de Refração Rasa e MASW	44
5.2.1 Perfil 1	45
5.2.2 Perfil 2	46
5.2.3 Perfil 3	47
5.3 Eletrorresistividade	49
5.3.1 Perfil 2	49
5.3.3 Perfil 3	50
5.4 Comparativo entre os resultados do ensaio de SPT, Sísmica de Refração Rasa e MASW	51
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
ANEXO	63
Anexo 1	63
Anexo 2	64
Anexo 3	65
Anexo 4	66
Anexo 5	67
Anexo 6	68
Anexo 7	69
Anexo 8	70

1 INTRODUÇÃO

A engenharia geotécnica tem uma grande necessidade de caracterizar as propriedades elásticas de solos e rochas. Para isso, são utilizados rotineiramente ensaios geotécnicos de campo como o SPT (*Standard Penetration Test*) e sondagens rotativas. Por se tratarem de ensaios pontuais, onde as características observadas e as propriedades elásticas medidas se referem somente ao ponto analisado, tornou-se necessário o estudo da aplicabilidade de outro ensaio que permita a obtenção de propriedades elásticas mais representativas em área.

Um ensaio que vem sendo bastante empregado com este propósito na engenharia geotécnica é o levantamento geofísico, onde o método mais utilizado é a sísmica de refração. Através do conhecimento das propriedades elásticas dos materiais geológicos e seus efeitos na propagação das ondas sísmicas, é possível obter os chamados módulos elásticos dinâmicos a partir dos valores das velocidades das ondas P, S e densidade dos materiais.

Existem diversos estudos apresentando correlações empíricas entre os valores das velocidades de ondas sísmicas e parâmetros geotécnicos como número de golpes do ensaio SPT (GIACHETI, 1991), grau de fraturamento (TURK e DEARMAN, 1987), ou fator de qualidade do maciço (BARTON et al., 1974).

A integração bem elaborada de vários estudos no ramo da geotecnia possibilita a execução de uma caracterização geotécnica mais realista. Desta forma, no Brasil vem sendo cada vez mais comum o uso de sondagens diretas aliadas a levantamentos sísmicos, sendo possível determinar locais de potencial interesse ou pontos críticos que devem ser detalhados.

É com a finalidade de analisar a aplicabilidade do levantamento sísmico neste ramo da geotecnia e realizar um comparativo entre os parâmetros geotécnicos obtidos com os diferentes ensaios citados anteriormente que este trabalho se faz necessário.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos gerais

O objetivo geral do presente estudo é realizar um comparativo entre os resultados de parâmetro geotécnicos obtidos através do ensaio SPT e através de

levantamentos de sísmica rasa utilizando a técnica MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*), a fim de analisar a eficácia de ambos os métodos em projetos geotécnicos.

1.1.2 Objetivos específicos

Dentre os objetivos específicos deste estudo salientam-se:

- a) Analisar ensaios SPT e os parâmetros geotécnicos obtidos através deste ensaio.
- b) Analisar dados de levantamento sísmico raso e os parâmetros geotécnicos obtidos através deste.
- c) Analisar a eficácia de ambos os ensaios e a presença de correlações qualitativas entre eles, de modo que forneçam dados suficientes para subsidiar dimensionamento de obras geotécnicas.

1.2 Justificativa

A fundação é uma das etapas mais importantes para a construção civil. Sabe-se que, todas as cargas da edificação são suportadas e distribuídas, através das fundações, pelo solo, o qual, de acordo com sua constituição, apresenta maior ou menor resistência. Conseqüentemente, a construção, em função do seu peso, exigirá uma camada de solo de resistência compatível. Dessa forma, o conhecimento dos parâmetros geotécnicos do subsolo do terreno onde se pretende construir é de fundamental importância para a escolha e dimensionamento da fundação.

Desde a década de 60 muitos artigos tem sido publicado (TEIXEIRA, 1974; FLETCHER, 1965; MOHR, 1966) sobre padronização, interpretação e qualidade dos ensaios de SPT (Standard Penetration Test), um ensaio demasiadamente empregado não apenas no Brasil, mas em todo o mundo como instrumento indispensável nas investigações preliminares para o projeto de fundações. Todas essas preocupações com o SPT têm suas sólidas razões, uma vez que tanto a aparelhagem como o modo de execução do ensaio sofrem influência de vários fatores.

Os ensaios geofísicos, algumas vezes passíveis de grandes incertezas na interpretação, proporcionam um meio rápido e barato de se obter informações da geologia de subsuperfície, sendo possível detectar e delinear características locais

de possível interesse e que talvez não pudessem ser descobertas apenas através das sondagens diretas. Porém, os ensaios geofísicos não dispensam a necessidade de sondagens diretas, ao contrário, se correlacionados podem gerar informações mais precisas sobre área investigada.

Neste contexto, o presente estudo tem a finalidade de verificar a eficácia de ambos os métodos no ramo da geotecnia, podendo assim auxiliar empresas deste ramo na escolha do método que seja mais eficaz para o seu objetivo.

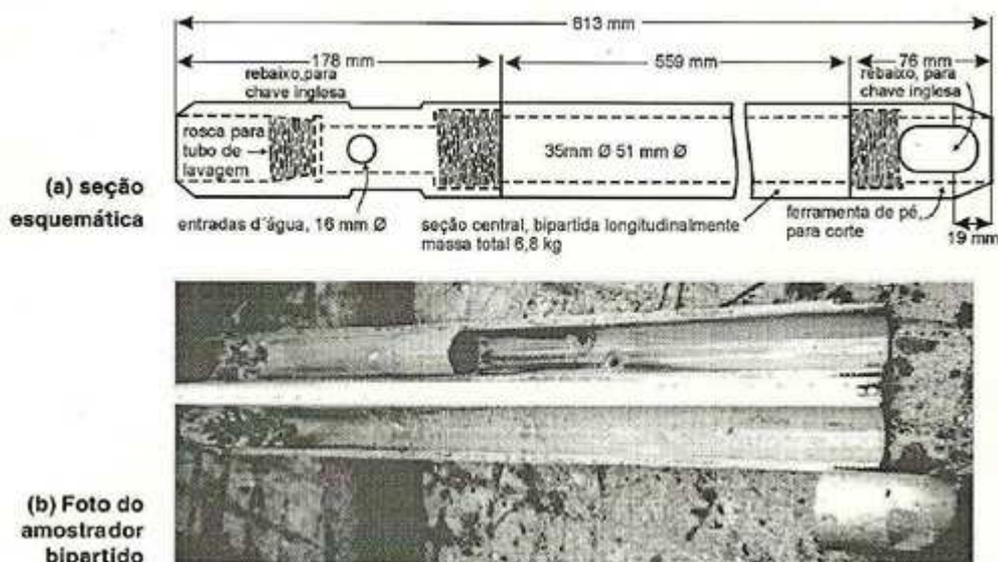
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sondagem de Simples Reconhecimento (SPT)

Segundo Schnaid (2000), o *Standard Penetration Test* (SPT) é a mais popular, rotineira e econômica ferramenta de investigação geotécnica em quase todo o mundo, permitindo uma indicação da densidade de solos granulares, identificação da consistência de solos coesivos e de rochas brandas. Através dele é possível obter-se a estratigrafia do terreno ao longo do furo de sondagem e a resistência à cravação do amostrador padrão aos golpes de um martelo.

As amostras representativas de solo são coletadas a cada metro de profundidade, por meio de um amostrador-padrão de 50 mm de diâmetro externo, que permite a descrição táctil-visual da amostra ao longo do furo de sondagem (Figura 1).

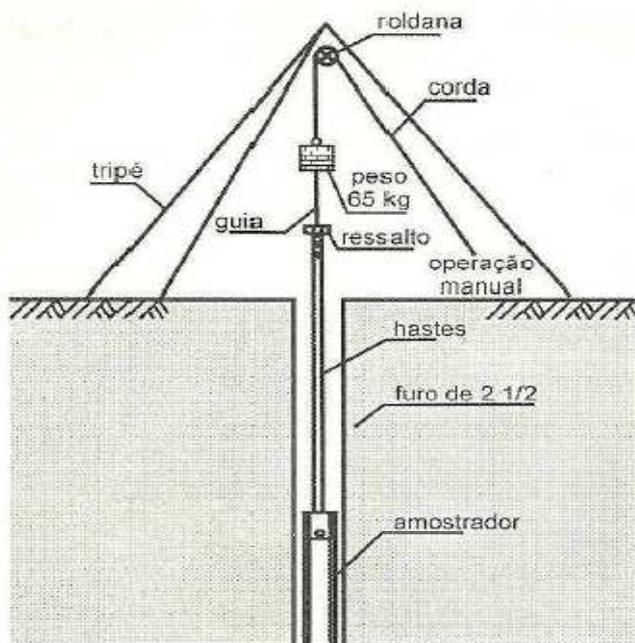
Figura 1 - Amostrador padrão "Raymond" (NBR 6.484/80)



Fonte: Schnaid (2000)

O procedimento de execução do ensaio consiste na cravação do amostrador-padrão no fundo de uma escavação, sendo esta revestida ou não, usando-se um peso de 65 kg caindo de uma altura de 750 mm (Figura 2). O número de golpes necessários para cravar o amostrador no solo em 300 mm, após uma cravação inicial de 150 mm, é chamado de N_{SPT} .

Figura 2 - Ensaio SPT



Fonte: Schnaid (2000)

Existe uma variação ao longo do mundo nos ensaios de SPT, sendo que as principais diferenças se referem à técnica de perfuração, diâmetro do furo, tipo de equipamento e os procedimentos na execução do ensaio, o que resultam em desuniformidade nos resultados obtidos. Além do processo executivo, temos a influência das características dos solos nas medidas de SPT.

Odebrecht (2003) afirma que embora de uso corrente, o ensaio tem sido objeto frequente de críticas da comunidade acadêmica, que abrangem aspectos relacionados à dispersão de resultados, dependência do operador e diversidade de equipamentos e procedimentos.

Schnaid (2000) apresenta fatores que influenciam os resultados de ensaios realizados segundo recomendações de normas e da boa prática de engenharia. Estes fatores explicam porque no mesmo local, diferentes sondagens realizadas dentro da técnica recomendada podem resultar em valores desiguais, considerando-

se, por exemplo, a técnica de escavação, o equipamento e o procedimento de ensaio.

A classificação das camadas de solo é realizada em função do índice de resistência a penetração (N_{SPT}), tipo de solo, consistência ou compactidade (Tabela 1), cor, origem e presença ou não de materiais diversos na amostra.

Tabela 1 - Classificação dos solos

Solo	Índice de resistência à Penetração (N_{spt})	Designação
Areia e silte arenoso	≤ 4	Fofa (o)
	5 a 8	Pouco compacta (o)
	9 a 18	Medianamente compacta (o)
	19 a 40	Compacta (o)
	> 40	Muito compacta (o)
Argila e silte argiloso	≤ 2	Muito Mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média (o)
	11 a 19	Rija (o)
	> 19	Dura (o)

Fonte: NBR 7250 (1982) e NBR 6484 (2001)

A Tabela 2 apresenta uma síntese das vantagens e desvantagens da utilização do SPT como ferramenta de investigação geotécnica e ambiental, encontradas na literatura (SCHNAID, 2000 e CAVALCANTE, 2002).

Tabela 2 - Vantagens e desvantagens do SPT

Vantagens	Desvantagens
<p>Simplicidade e rapidez na execução; Coleta de amostras deformadas para caracterização; Baixo custo financeiro; Informações suficientes para projetos de fundação de obras correntes;</p> <p>Permite a determinação direta do nível d'água do subsolo; Mundialmente utilizado, em função de muita experiência acumulada no meio técnico e da ampla utilização em correlações;</p>	<p>Diversos procedimentos de execução; Grande número de empresas executoras, incorporando modificações no ensaio ou até mesmo não realizar a manutenção necessária no equipamento utilizado;</p> <p>Análise e controle da energia transferida ao amostrador padrão durante a execução; Formação precária das equipes ocasionando vícios na execução;</p>

Fonte: Autor

A normalização do ensaio SPT foi realizada em 1958 pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM), sendo mundialmente comum o uso de procedimentos não padronizados e equipamentos diferentes do padrão internacional (*International Reference Test Procedure – IRTP / ISSMFE*). Na América do Sul, a normalização Norte Americana ASTM D 1586-67 é utilizada com frequência. No Brasil, o ensaio é normalizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas a ABNT NBR 6484/1980.

2.2 Ensaio Geofísicos

2.2.1 Considerações Iniciais

A geofísica estuda a Terra através dos princípios da física. A investigação geofísica do interior da Terra envolve medidas em sua superfície ou próxima a ela, que são influenciadas pela distribuição das propriedades físicas do solo.

Os levantamentos geofísicos, embora algumas vezes passíveis de grandes incertezas na interpretação, proporcionam um meio relativamente rápido e barato de se obter informações distribuídas em área da geologia de subsuperfície.

Segundo Kearey *et al.* (2009), a investigação pelos métodos geofísicos é capaz de detectar e delinear características locais de potencial interesse e que não poderiam ser descobertas através das sondagens diretas. No entanto, os levantamentos geofísicos não dispensam a necessidade de sondagens diretas, que se aplicadas corretamente podem aperfeiçoar as informações sobre a área investigada.

Assim sendo, através da geofísica é possível investigar a subsuperfície utilizando medidas indiretas, que correspondem a uma determinada propriedade física do meio investigado. A eficácia de um levantamento está condicionada à existência de contrastes dos valores da grandeza física mensurada.

De acordo com Gandolfo *et al.* (2010) a geofísica é classificada em dois grandes ramos de atuação: a geofísica pura, concentra seus estudos em uma escala global investigando grandes profundidades do planeta e a geofísica aplicada, é mais utilizada para investigações de profundidades menores, de dezenas a centenas de metros, mas pode também ser utilizada em investigações de maiores profundidades.

Segundo Kearey *et al.* (2009), os métodos de levantamento geofísico são divididos em dois tipos: os que fazem uso dos campos naturais da Terra (campos

gravitacionais, magnéticos, elétricos e eletromagnéticos) e aqueles que envolvem a aplicação de uma energia artificial na superfície do solo, envolvendo a geração de campos elétricos ou eletromagnéticos locais ou a geração de ondas sísmicas, cuja velocidade de propagação e caminhos de transmissão através das camadas de subsuperfície são mapeados para fornecer informações sobre a distribuição das camadas em profundidade.

Os métodos de fontes naturais fornecem informações sobre as propriedades em profundidades significativamente maiores e são mais simples de executar que os métodos de fontes artificiais. Porém, os métodos de fontes artificiais são capazes de produzir um perfil mais detalhado e melhor refinamento da geologia do subsolo.

São vários os métodos de levantamentos geofísicos, sendo que cada um deles é fundamentado em uma propriedade física (Tabela 3).

Tabela 3 - Métodos Geofísicos

Método	Parâmetro Medido	Propriedades Físicas
Sísmico (refração)	Tempo de percurso de ondas sísmicas refradas	Densidade e módulo elástico, os quais determinam a velocidade de propagação da onda sísmica
Gravitacional	Variações espaciais da força do campo gravitacional da Terra	Densidade
Magnético	Variações espaciais da força do campo geomagnético	Suscetibilidade magnética e Remanência
Elétrico		
Resistividade	Resistência elétrica da Terra	Condutibilidade elétrica
Polarização Induzida	Voltagens de polarização ou resistência do solo dependente da frequência	Capacitância elétrica
Potencial Espontâneo	Potenciais elétricos	Condutividade elétrica
Eletromagnético	Resposta às radiações eletromagnéticas	Condutividade e indutância elétrica
Radar	Tempo de percursos de pulsos de radar refletidos	Constante dielétrica

Fonte: modificado de Reynolds (1997)

Dentre todos os métodos geofísicos, o mais utilizado na área da geotecnia é o método sísmico, que será descrito a seguir.

2.2.2 Ensaio Sísmicos

Segundo Elis (2015), o método sísmico baseia-se na emissão de ondas mecânicas geradas artificialmente através do impacto de explosões, tiros de ar comprimido, impactos mecânicos ou vibradores. Essas ondas penetram a certas profundidades no interior da Terra e se tornam maiores à medida que a energia liberada no impacto for maior. Durante esse trajeto, as ondas atravessam camadas geológicas com diferentes características físicas, sofrendo assim reflexão e refração. As ondas sísmicas geradas são detectadas por instrumentos chamados de geofones ou hidrofones (quando utilizados em ambiente aquático), capazes de perceber os movimentos do solo.

Segundo Bertulani (2015), os principais métodos sísmicos são a refração e a reflexão, e a escolha do melhor método irá depender do objetivo da pesquisa. A sísmica de reflexão fornece maior detalhe das camadas geológicas e é o método mais empregado na prospecção de petróleo e gás. Já a sísmica de refração fornece informações de grandes áreas, porém com menor detalhe. Vem sendo amplamente empregada na geologia de engenharia, determinando a profundidade do topo rochoso e a espessura da cobertura de rocha alterada ou solo.

De acordo com Reynolds (1997), as aplicações do levantamento sísmico são: investigações locais para engenharia, detecção de cavidades, integridade do solo oceânico, adequabilidade local para construção de aterros, prédios e túneis e exploração hidrogeologia e de água subterrânea. As informações obtidas através deste levantamento são: módulo de elasticidade, densidade, porosidade, velocidades das ondas elásticas, anisotropia e as características geológicas (profundidade do leito rochoso, localização de falhas e zonas de fraturas, determinações litológicas, estratigrafia, etc).

2.2.2.1 Sísmica rasa e técnica MASW

Os métodos sísmicos geralmente utilizam a onda P (compressional, longitudinal ou primária) por ser facilmente gerada e identificada em sismogramas. Porém, atualmente observa-se um aumento no emprego da onda S (cisalhante, transversal ou secundária) em projetos de geotecnia, principalmente na área de fundações, uma vez que a velocidade de propagação da onda S não é influenciada pela presença de água no maciço, ao contrário da onda P. A onda S se propaga

apenas na porção sólida do solo, podendo assim identificar mudanças litológicas de modo mais eficaz do que a onda P.

Segundo Dourado (1984), o conhecimento das velocidades da onda P (V_P) e da onda S (V_S), juntamente com a densidade dos materiais, permite a determinação dos parâmetros elásticos dinâmicos dos maciços como: módulo de Young, coeficiente de Poisson e módulo de rigidez ou cisalhamento.

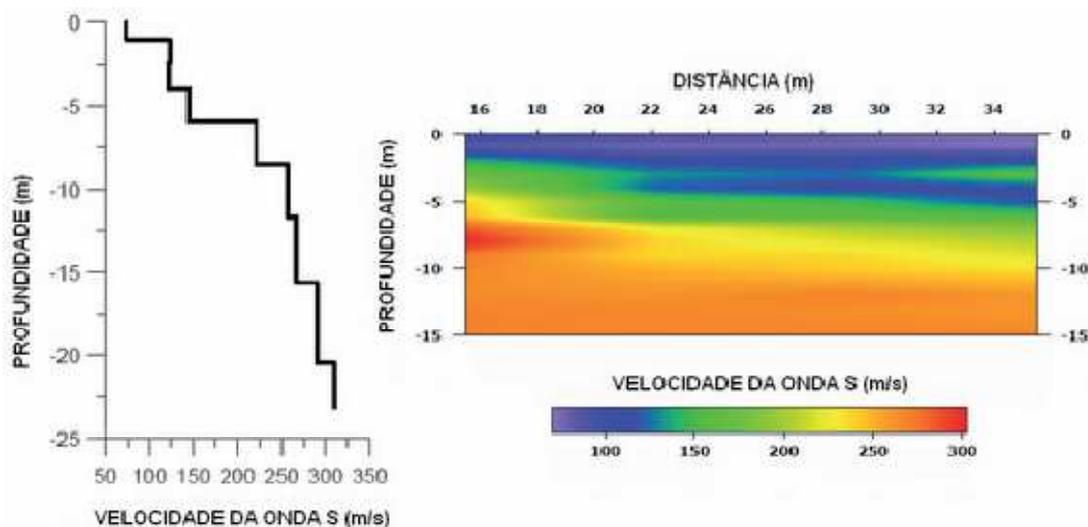
É possível obter V_P e V_S através de vários ensaios sísmicos. Quando temos disponíveis furos de sondagens, as velocidades podem ser obtidas por meio dos ensaios *crosshole*, *downhole* ou *uphole*. Já na falta destes, as velocidades são obtidas através da realização de ensaios sísmicos em superfície.

A refração sísmica, muito utilizada para determinar V_P também pode ser utilizada para determinar V_S . Porém, ao contrário da onda P, que é de fácil geração e identificação, a onda S é difícil de ser gerada em superfície. Desta forma, existem outros ensaios de superfície que permitem a obtenção de V_S através de ondas superficiais. Estes são amplamente utilizados em investigações geotécnicas em outros países e vem ganhando espaço no Brasil em função das facilidades operacionais nos ensaios e sua enorme potencialidade em diversas aplicações.

O SASW (*Spectral Analysis of Surface Waves*) é uma das técnicas precursoras e analisa a propagação das ondas superficiais (onda Rayleigh) captadas por apenas dois geofones, tendo como resultado um perfil da variação de V_S com a profundidade. Recentemente esta técnica foi substituída pelo MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) uma vez que este tem a vantagem de utilizar múltiplos geofones.

Segundo Park *et al.* (1999), a realização do ensaio MASW é muito parecido ao ensaio de sísmica de refração. No processamento utilizam-se técnicas de inversão dos dados que resultam em informações pontuais da variação de V_S com a profundidade em um perfil 1D (a partir da análise das ondas Rayleigh). Se realizado diversos ensaios ao longo de uma linha é possível gerar uma seção com a distribuição espacial de V_S (2D), informação de grande importância na área da geotecnia (Figura 3).

Figura 3 - Resultados de ensaio MASW mostrando a variação de V_S com a profundidade em um perfil 1D (esquerda) e seção 2D (direita).



Fonte: Souza et al. (2012)

O MASW é utilizado principalmente na geotecnia, uma vez que através desta técnica os parâmetros obtidos são a velocidade das ondas S e o módulo de cisalhamento. Tem se mostrado uma ferramenta muito útil nas obras de compactação, mas não se limita a aplicações apenas em terra, podendo também fornecer informações valiosas sobre a rigidez dinâmica do leito do mar e os primeiros metros abaixo para a identificação de diferentes tipos de sedimentos.

Lima Junior (2007) utilizou a técnica MASW em um estudo de avaliação das ondas Rayleigh para a obtenção de perfis de velocidade de onda S visando à caracterização geotécnica de solos não saturados.

Mas recentemente, Lima Junior *et al.* (2013) utilizou a inversão conjunta de Ondas Rayleigh através da técnica MASW para a avaliação de áreas susceptíveis a deslizamentos de terra.

Além deste, Rigoti (2015) utilizou dados obtidos com sísmica de refração rasa para estimar V_S a partir da análise espectral de ondas de superfície utilizando o MASW, a fim de melhorar a qualidade da curva de dispersão, apontada por ele como o ponto crítico desta técnica.

2.3 Parâmetros Geotécnicos

Os parâmetros geotécnicos de solos e rochas podem ser determinados através de ensaios de campo ou laboratoriais. O SPT é um dos ensaios mais utilizados na engenharia geotécnica para a determinação desses parâmetros.

Várias são as correlações existentes entre este ensaio e os parâmetros geotécnicos, sendo assim, através dele é possível determinar:

- Densidade relativa de solos granulares (GIBBS e HOLTZ, 1957 *apud* SCHNAID, 2000):

$$D_r = \left(\frac{N_{SPT}}{0,23\sigma'_{VO} + 16} \right)^{1/2}$$

Onde:

D_r = densidade relativa;

σ'_{VO} = tensão efetiva de repouso, em kPa;

N_{SPT} = número de golpes obtido no ensaio SPT.

- Ângulo de atrito: são várias as correlações para a previsão do ângulo de atrito dos solos a partir dos ensaios SPT, dentre elas:

- de MELLO (1971) *apud* SCHNAID (2000):

$$(1,49 - D_r) \cdot \tan \phi' = 0,712$$

- GODOY (1983) *apud* CINTRA *et al.* (2003):

$$\phi' = 28^\circ + 0,4 N$$

- TEIXEIRA (1996) *apud* CINTRA *et al.* (2003):

$$\phi' = \sqrt{20N} + 15$$

Onde:

ϕ' = ângulo de atrito efetivo do solo;

N = número de golpes;

D_r = densidade relativa.

- Peso específico de solos argilosos:

Tabela 4 - Peso específico de solos argilosos

N (golpes)	Consistência	Peso específico (kN/m³)
≤ 2	Muito mole	13
3 - 5	Mole	15
6 - 10	Média	17
11 - 19	Rija	19
≥ 20	Dura	21

Fonte: Godoy (1972) *apud* Cintra et al. (2003)

- Peso específico de solos arenosos:

Tabela 5 - Peso específico de solos arenosos

N (golpes)	Consistência	Peso específico (kN/m³)		
		Seca	Úmida	Saturada
≤ 5	Fofa	16	18	19
5 – 8	Pouco compacta	16	18	19
9 – 18	Medianamente compacta	17	19	20
19 – 40	Compacta	18	20	21
> 40	Muito compacta	18	20	21

Fonte: Godoy (1972) *apud* Cintra et al. (2003)

- Coesão de argilas:

Tabela 6 - Coesão de argilas

N (golpes)	Consistência	Coesão (kPa)
< 2	Muito mole	< 10
2 - 4	Mole	10 – 25
4 - 8	Média	25 – 50
8 - 15	Rija	50 – 100
15 - 30	Muito Rija	100 – 200
> 30	Dura	> 200

Fonte: Alonso (1983)

- Módulo de elasticidade dos solos (STROUD, 1989 *apud* SCHNAID, 2000):

$$\frac{E}{N_{60}} = 1 \text{ a } 2 \text{ (MPa)}$$

Onde:

E = módulo de elasticidade para solos normalmente adensados;

N_{60} = número de golpes com correção da energia de cravação, considerando-se que seja transmitida ao amostrador 60% da energia teórica produzida pelo impacto do martelo.

- Resistência não-drenada de argilas pré-adensadas (STROUD, 1989 *apud* SCHNAID, 2000):

$$\frac{S_u}{N} = 4 \text{ a } 6 \text{ (MPa)}$$

Onde:

S_u = resistência não drenada das argilas pré-adensadas;

N = número de golpes.

- Coeficiente de variação volumétrica de solos pré-adensados (STROUD e BUTLER, 1975 *apud* SCHNAID, 2000):

$$m_v = 450 \cdot N_{60} \text{ (m}^2\text{/MN)}$$

Onde:

m_v = coeficiente de variação volumétrica;

N_{60} = número de golpes com correção da energia de cravação, considerando-se que seja transmitida ao amostrador 60% da energia teórica produzida pelo impacto do martelo.

- Módulo de elasticidade não-drenado de solos pré-adensados (STROUD e BUTLER, 1975 *apud* SCHNAID, 2000):

$$\frac{E_u}{N} = 1 \text{ Y}$$

Onde:

E_u = módulo de elasticidade não-drenado;

N = número de golpes.

- Resistência à compressão de rochas brandas (SCHNAID, 2000):

$$\sigma_c \geq 10 \cdot N_{60} \text{ (kPa)}$$

Onde:

σ_c = resistência à compressão para rochas brandas;

N_{60} = número de golpes com correção da energia de cravação, considerando-se que seja transmitida ao amostrador 60% da energia teórica produzida pelo impacto do martelo.

- Coesão (TEIXEIRA e GODOY, 1996)

$$C_u = 10 \cdot N \text{ (kPa)}$$

Onde:

C_u = coesão não drenada;

N = número de golpes

- Módulo de deformabilidade (TEIXEIRA e GODOY, 1996)

$$E_s = \alpha \cdot K \cdot N$$

Onde:

E_s = módulo de deformabilidade;

N = número de golpes

α e K = coeficientes empíricos dados pelas tabelas abaixo (Tabela 7 e 8)

Tabela 7 - Coeficiente α

Solo	α
Areia	3
Silte	5
Argila	7

Fonte: Teixeira e Godoy (1996)

Tabela 8 - Coeficiente K

Solo	K (MPa)
Areia com pedregulho	1,10
Areia	0,90
Areia siltosa	0,70
Areia argilosa	0,55
Silte arenoso	0,45
Silte	0,35
Argila arenosa	0,30
Silte argiloso	0,25
Argila siltosa	0,20

Fonte: Teixeira e Godoy (1996)

- Coeficiente de Poisson (TEIXEIRA e GODOY, 1996)

Tabela 9 - Coeficiente de Poisson

Solo	v
Areia pouco compacta	0,2
Areia compacta	0,4
Silte	0,3-0,5
Argila saturada	0,4-0,5
Argila não saturada	0,1-0,3

Fonte: Teixeira e Godoy (1996)

É sempre desejável comparar os valores de parâmetros estimados empiricamente através das medidas de N_{SPT} com aqueles obtidos através de outros ensaios. Com este propósito que vem se utilizando cada vez mais ensaios sísmicos para determinação de parâmetros geotécnicos.

Os ensaios sísmicos possuem uma série de vantagens na determinação dos parâmetros geotécnicos, como: são ensaios “in situ” não necessitando a retirada de amostras do terreno para ensaios em laboratório, são ensaios não destrutivos e de características não pontuais. Os parâmetros determinados através deste ensaio são denominados de parâmetros elásticos dinâmicos, ou de baixa deformação quando comparados a outros tipos de ensaios.

Como explicado no item 2.2.2, segundo Elis (2015) o método sísmico se baseia na emissão de ondas mecânicas. As velocidades de propagação das ondas sísmicas de corpo, ondas longitudinais (P) e transversais (S), são diretamente proporcionais aos parâmetros elásticos dos materiais e inversamente proporcionais às suas densidades. Desta forma, é possível determinar os parâmetros geotécnicos de solos e rochas por meio do conhecimento da velocidade de propagação das ondas sísmicas nestes materiais e da densidade dos mesmos.

Os parâmetros elásticos possíveis de se determinar através dos ensaios sísmicos são: coeficiente de Poisson, módulo de Young ou de elasticidade, módulo de rigidez ou de cisalhamento e módulo de volume ou incompressibilidade. Abaixo seguem as respectivas fórmulas para o cálculo dos mesmos:

$$v = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}$$

$$E = V_p^2 \cdot \rho \cdot \frac{(1 - 2v)(1 + v)}{(1 - v)}$$

$$G = \rho \cdot V_s^2$$

$$K = \rho \cdot V_p^2 - \frac{4}{3} \cdot \rho \cdot V_s^2$$

Onde:

V_p = velocidade da onda longitudinal

V_s = velocidade da onda transversal

E = módulo de Young ou de Elasticidade

G = módulo de Rigidez ou de Cisalhamento

K = módulo de Volume ou de Incompressibilidade

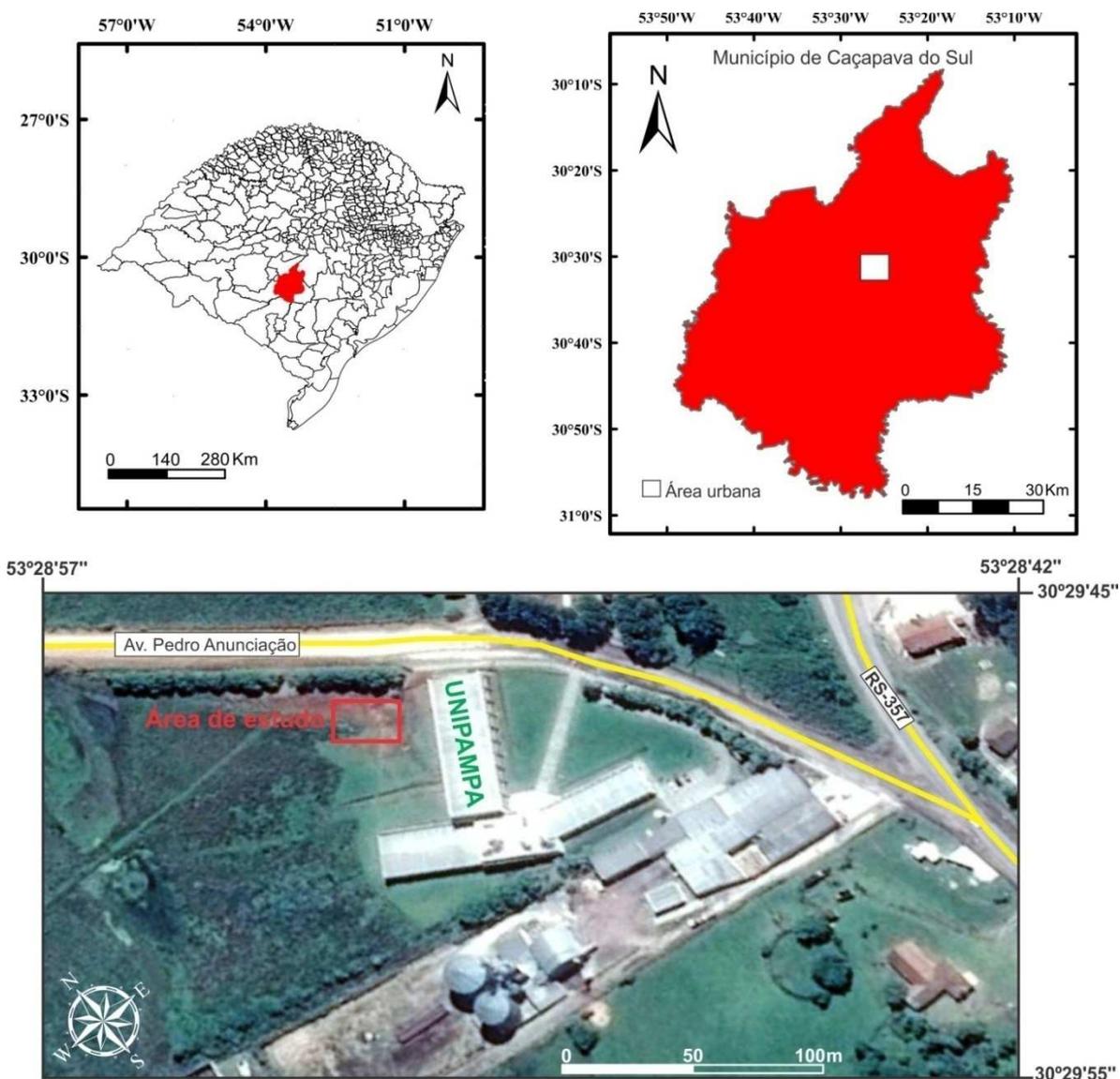
v = coeficiente de Poisson

ρ = densidade

3 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo trata-se de uma obra, localiza-se na Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul, na Avenida Pedro Anunciação, número 111, Bairro Vila Batista (Figura 5). Seu acesso se dá através da Avenida Presidente Kennedy e RS 357. Está inserida na folha topográfica de escala 1:50.000 (Ministério do Exército - Folha Caçapava do Sul, Sh.22-Y-A-V-I) entre as coordenadas 261965 W 6623507 S; 261960 W e 6623496 S; 261924 W e 6623530 S; 261918 W 6623507 S.

Figura 4 - Mapa de situação e localização da área de estudo

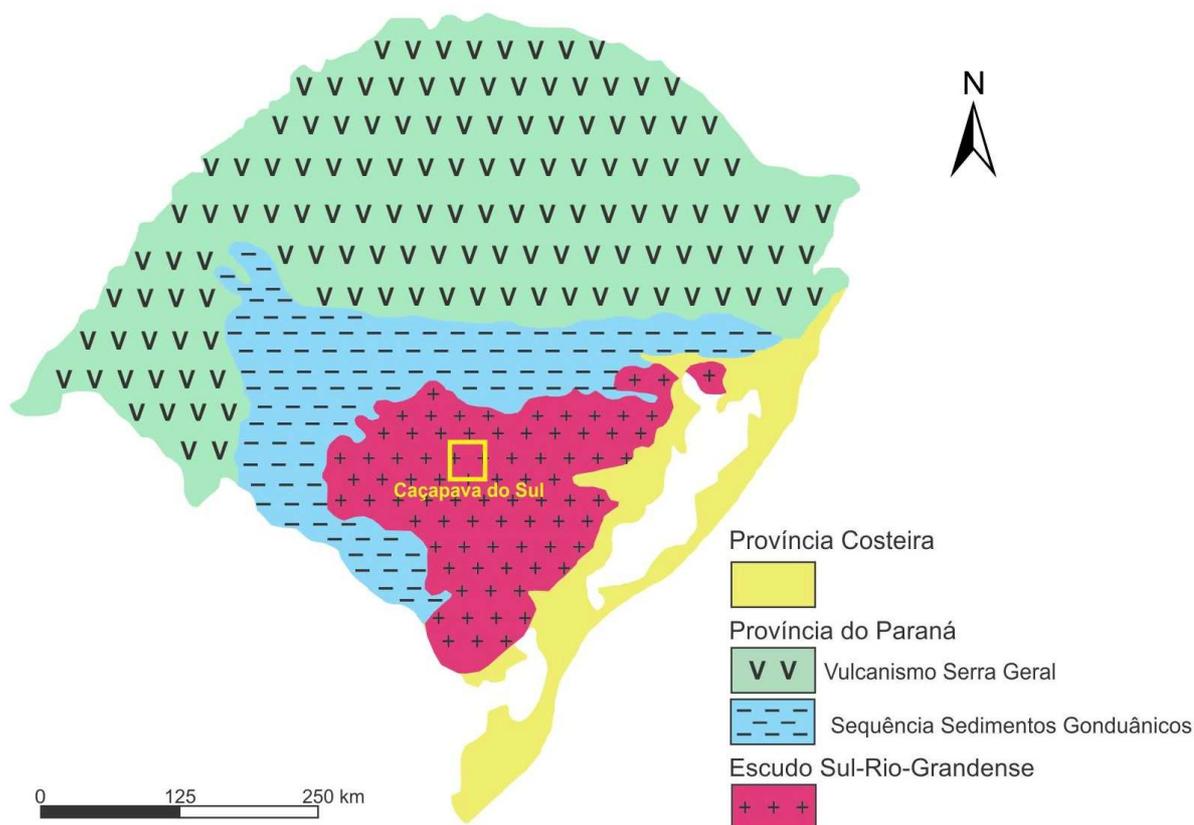


Fonte: Autor

3.1 Geologia Regional

O município de Caçapava do Sul está situado na porção centro-norte do Escudo Sul Rio-Grandense (Figura 6), o qual se insere na parte sul da Província Mantiqueira (ALMEIDA *et al.*, 1977). A região na qual está inserido o município de Caçapava do Sul abrange associações de rochas relacionadas ao Escudo Sul-Riograndense, que inclui as sequências sedimentares e vulcano-sedimentares que preenchem calhas tectônicas, referidas como bacias do Camaquã e Piquiri, e a Bacia do Paraná, além de depósitos cenozoicos.

Figura 5 - Mapa com a delimitação das províncias geológicas do Estado do Rio Grande do Sul



Fonte: modificado de CPRM (2000)

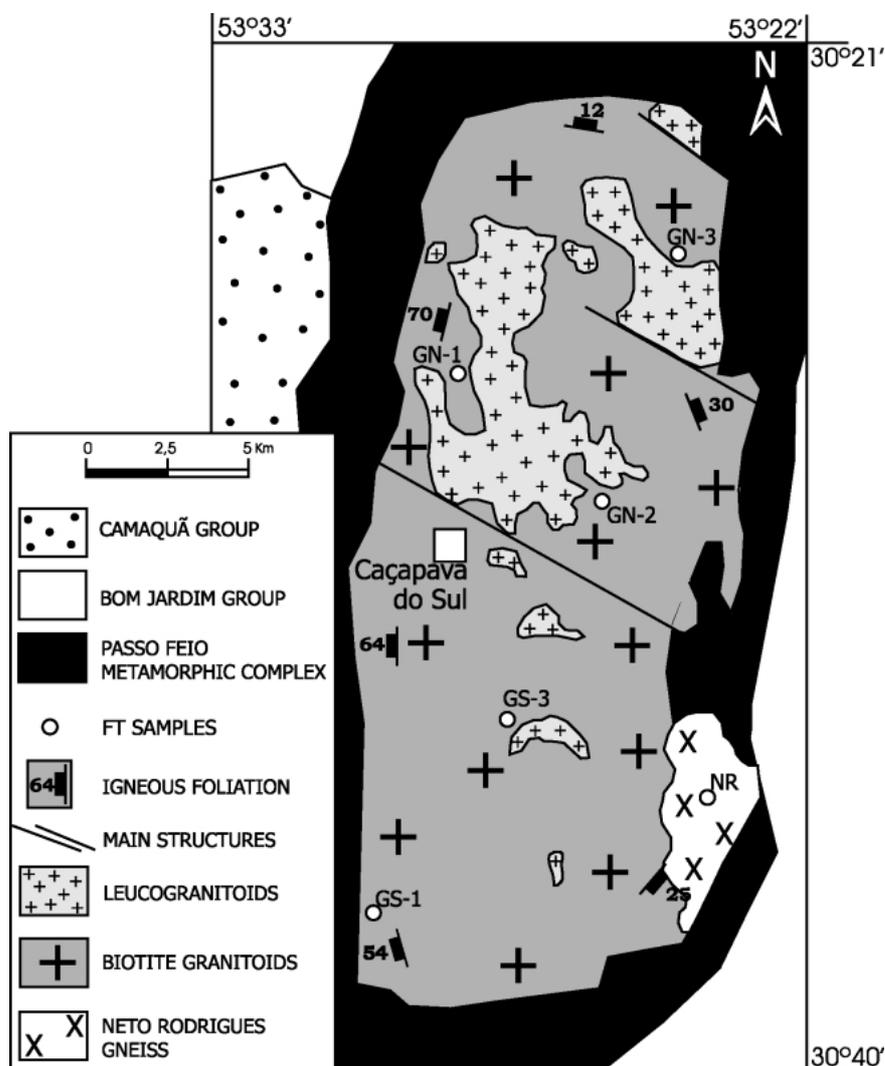
3.2 Geologia Local

A suíte granítica Caçapava do Sul, no qual a área de estudo esta inserida, segundo Bitencourt (1983) consiste de um corpo com dimensões de 25 km x 12 km, tem uma forma ovalada e está orientado segundo uma direção N-S. Sua idade magmática é de aproximadamente 550 Ma, com datação por isocrônica Rb/Sr (SARTORI e KAWASHITA, 1985).

Esta unidade (Figura 7) foi mapeada na escala 1:25.000 (BITENCOURT *et al.*, 1998) onde dois contrastantes blocos delimitados por estruturas tendendo a NW podem ser reconhecidos. No norte desta estrutura, leucogranitos (principalmente sienogranitos) são muito abundantes, particularmente sobre topografias altas. Já ao sul das falhas, os leucogranitos estão praticamente ausentes, porém granitóides biotita (monzogranitos, granodioritos e porções diorítica) aparecem bastante. De acordo com COSTA *et al.* (1995), estudos gravimétricos indicaram que na porção norte a suíte granítica atinge espessuras de até 4 km.

NARDI & BITENCOURT (1989) englobaram os diversos tipos petrográficos em três fácies principais, que classificaram como biotita granitóides, leucogranitóides e granitóides transicionais. A constituição mineralógica principal está representada por proporções variadas de quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio, em que a biotita é o mineral varietal observado nas diversas fácies, enquanto a hornblenda foi identificada apenas nos tipos tonalíticos. Os minerais acessórios mais comuns estão representados por zircão, allanita, apatita e minerais opacos, e com menor frequência titanita, rutilo e esfênio. Clorita, epidoto, muscovita, sericita, carbonato e minerais opacos secundários constituem a mineralogia resultante da transformação metamórfica associada à fase de deformação transcorrente. Esses granitóides têm coloração roseada a avermelhada, granulação média a fina e frequentemente porfiroclásticos. Observa-se ainda foliação milonítica, marcada pela orientação dos filossilicatos e pelo estiramento do quartzo e dos feldspatos.

Figura 6 - Mapa geológico da região de Caçapava Sul, mostrando as fácies do Complexo Granítico Caçapava do Sul, as estruturas que tendem a NW e que controlam a subdivisão do corpo intrusivo, e o local onde foram coletadas amostras para fazer apatita FT termocronologia



Fonte: Borba *et.al.* (2002)

3.3 Pedologia

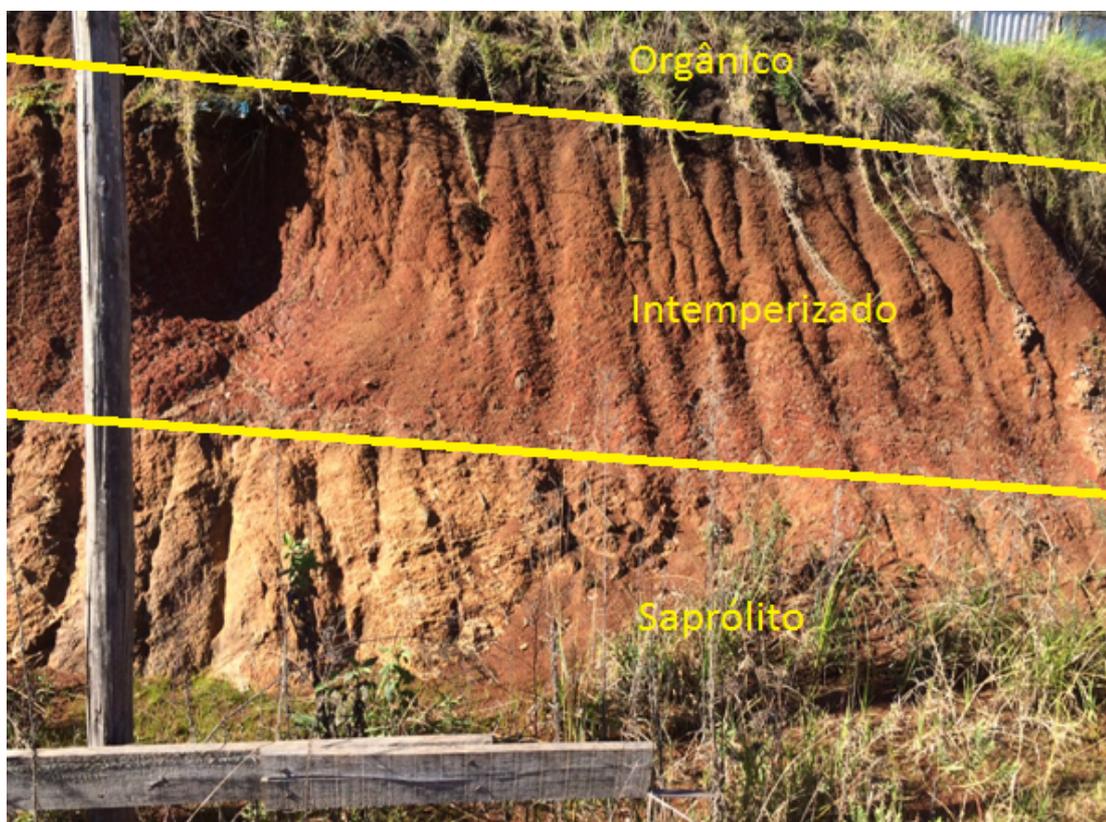
Segundo STRECK (2008), a província do Escudo Sul-Riograndense tem ampla diversidade geológica, com predomínio de litologias pré-cambrianas. Na porção noroeste, entre as cidades de Vila Nova, Caçapava do Sul, Santana da Boa Vista e Lavras do Sul, ocorrem áreas expressivas de solos com alta fertilidade química, originados de xisto, como os Neossolos regolíticos Húmicos lépticos ou típicos, que ocupam um relevo ondulado a forte, associados a afloramentos de rocha; Luvisolos Crômicos Pálicos saprolíticos de relevo ondulado; e, originados de andesitos em relevo ondulado Chernossolos Ebânicos Órticos vertissólicos.

Associados a esses solos e estendendo-se para o sul de Bagé, ocorrem Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos abruptos originados de arenitos, Cambissolos Háplicos Distróficos e Luvisolos Háplicos Órticos típicos originados de granitos e gnaisses, e Neossolos Litólicos Distro-úmbricos fragmentários ou típicos.

Na área de estudo encontram-se Neossolos, que são solos constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso, com insuficiência de manifestação dos atributos diagnósticos que caracterizam os diversos processos de formação dos solos, seja em razão de maior resistência do material de origem ou dos demais fatores de formação (clima, relevo ou tempo) que podem impedir ou limitar a evolução dos solos. Apresentam predomínio de características herdadas do material originário, sendo definido como solos pouco evoluídos e sem a presença de horizonte diagnóstico (Embrapa, 2006).

A Figura 8 representa um perfil de solo característico da área de estudo, onde é possível observar, geotecnicaamente, que existem três camadas que se destacam: no topo o horizonte O (orgânico), logo abaixo um solo bastante intemperizado e na base um saprólito, todas evoluídas a partir da Suíte Granítica Caçapava do Sul.

Figura 7 - Perfil de solo da área de estudo



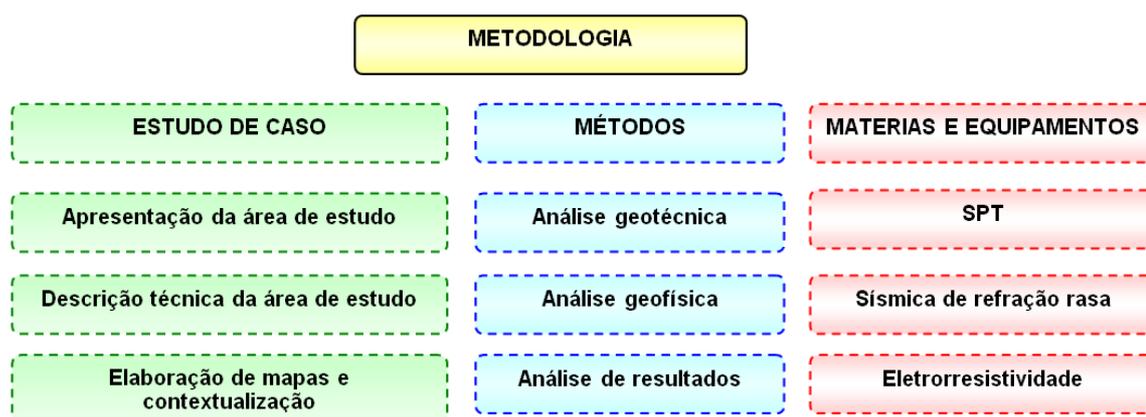
Fonte: Autor

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia estabelecida tem dois objetivos fundamentais, o primeiro constitui em analisar sondagens geotécnicas do tipo SPT, em uma área conhecida, obtendo parâmetros geotécnicos de projeto. O segundo procedimento metodológico será a realização de ensaios geofísicos na mesma área onde foram realizadas as sondagens geotécnicas e por fim correlacionar os resultados obtidos.

As etapas da pesquisa estão detalhadamente descritas neste capítulo, bem como a descrição dos materiais utilizados na pesquisa, os métodos utilizados na aquisição de dados de campo e laboratório, detalhes de execução de ensaios e equipamentos utilizados. A Figura 4 apresenta resumidamente o diagrama do delineamento desta pesquisa.

Figura 8 - Diagrama com o detalhamento das atividades que serão desenvolvidas nesta pesquisa.



Fonte: Autor

4.1 Métodos

4.1.1 Análise geotécnica

Consistiu da análise dos cinco ensaios de SPT realizados na Universidade, tendo como objetivo observar em cada relatório de sondagem o nível freático, os índices de SPT iniciais, os índices de SPT finais, a profundidade e classificação das camadas de solo.

4.1.2 Análise geofísica

Consistiu da análise dos resultados numéricos obtidos com o processamento dos dados do levantamento geofísico de Sísmica de Refração Rasa e Eletrorresistividade. Foram analisados: as velocidades de propagação da onda P e

da onda S a fim de determinar as camadas do subsolo do terreno, modelo de resistividade do terreno para a determinação da profundidade do nível freático e valores dos parâmetros elásticos das camadas de solo e rocha.

4.1.3 Análise dos resultados

Consistiu de um comparativo entre os resultados obtidos com ambas as análises citadas anteriormente, tendo como propósito observar a eficácia de ambos os métodos e se de alguma forma possuem correlações qualitativas entre eles.

4.2 Materiais e Equipamentos

4.2.1 SPT

Foram executados na obra 5 furos de sondagem de reconhecimento do subsolo (SP-01 ao SP-05), e seus respectivos deslocamentos, totalizando 45,02 metros de perfuração (Figura 11).

As perfurações foram executadas inicialmente com o auxílio de um tradocavadeira, prosseguindo com circulação d'água e protegidas por revestimento de 2"½. A coleta das amostras foi feita pela penetração do amostrador padrão modelo SPT, com diâmetro interno de 1" 3/8 (35 mm) e externo de 2" (50,8 mm).

A resistência à penetração do amostrador de percussão é obtida através do número de golpes de um peso de 65 Kg, caindo em queda livre de 75 cm de altura, fornecendo assim a indicação de compacidade dos solos arenosos e siltsos ou a consistência dos solos argilosos.

4.2.2 Sísmica de refração rasa

A aquisição dos dados foi realizada utilizando o sismógrafo Summit II Compact de 24 canais fabricado pela DMT, com espaçamento entre os geofones de 1 metro horizontal, utilizando geofones de frequência natural de 14 Hz e como fonte de energia sísmica foi utilizada uma marreta de 5 Kg batida sobre uma chapa metálica (Figura 9). O impacto da marreta na chapa metálica é denominado de tiro. Foram realizados cerca de 2 a 4 tiros em cada perfil, sendo cada um deles composto por 10 impactos. Foram realizados três perfis de sísmica de refração (Figura 11), de forma a abranger os pontos onde foram executados furos de sondagem.

Figura 9 – Equipamentos utilizados no levantamento sísmico, em (A) o Sismógrafo Summit II Compact, em (B) o geofone e em (C) a marreta sísmica



Fonte: Autor

4.2.3 Eletrorresistividade

No levantamento de eletrorresistividade foi realizada a técnica de caminhamento elétrico (CE) e o arranjo do tipo dipolo-dipolo com espaçamento entre os eletrodos de corrente (A-B) e de potencial (M-N) de 1 metro. Foi utilizado o resistivímetro da Iris Instrumento, de fabricação francesa, modelo Syscal Pro (Figura 10) com operação em 10 canais de saída e potência de 250 watts.

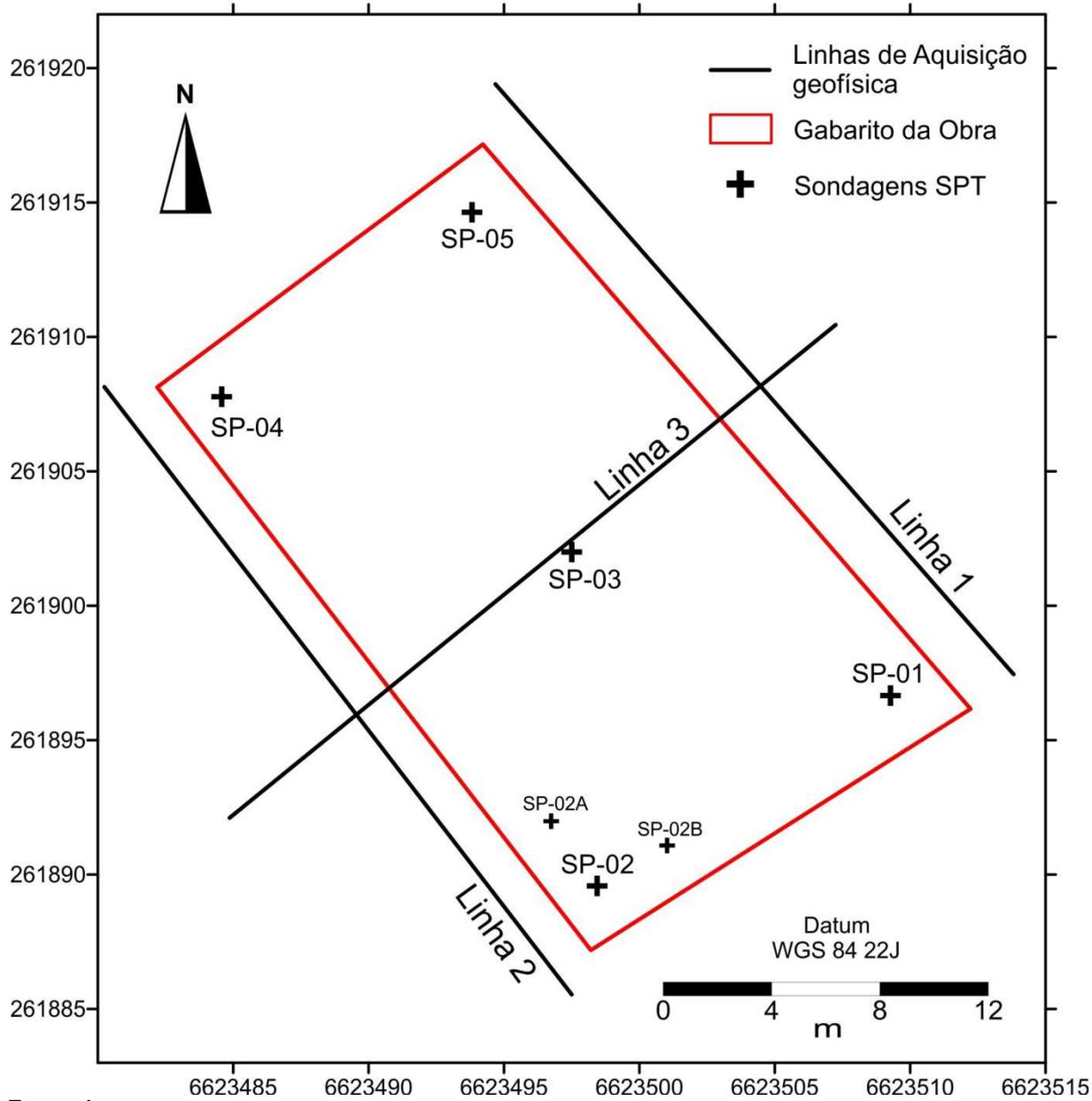
Da mesma forma que no levantamento sísmico, também foram realizados três perfis (Figura 11) de forma a abranger os pontos onde foram executados furos de sondagem.

Figura 10 – Equipamento utilizado no levantamento de eletroresistividade



Fonte: Disponível em <<http://www.iris-instruments.com>>

Figura 11 - Planta de localização dos furos de sondagem e dos perfis geofísicos executados



5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 SPT

Através dos relatórios de sondagem, foram realizadas as descrições detalhadas e o cálculo dos parâmetros geotécnicos para cada camada de solo. Os parâmetros geotécnicos foram obtidos através das fórmulas e tabelas apresentadas no tópico 2.3.

5.1.1 SPT 1

No relatório de sondagem SPT 1 (Anexo 1), foram descritas quatro camadas de solo e não foi encontrado o nível de água no terreno. Até 1,6 metros de profundidade ocorre a primeira camada, que consiste de uma argila arenosa de cor vermelha e consistência rija, de 1,6 a 2,6 metros ocorre a segunda camada, que consiste de uma argila arenosa de cor variegada e consistência rija, a terceira camada ocorre de 2,6 a 6 metros e é composta por uma argila muito arenosa de cor variegada e consistência rija a dura e a última camada ocorre de 6 a 8,97 metros sendo composta por silte muito arenoso compacto a muito compacto de cores preto e cinza. Abaixo segue a tabela (Tabela 10) com os parâmetros geotécnicos calculados a partir do N_{SPT} para cada uma dessas camadas.

Tabela 10 - Parâmetros geotécnicos calculados para as camadas do SPT 01

SPT 01						
Camada	D_r	ϕ'	Peso específico (kN/m^3)	Coesão argilas (kPa)		E (MPa)
1	1,1	-	19	100-200		17,1
2	2,6	-	19	100-200		16,2
3	0,3	-	21	>200		24,3
4	2,2	46,3	18	-		44,1
Camada	S_u (MPa)	m_v (m^2/MN)	E_u (GPa)	C_u (KPa)	E_s	ν
1	76	5130	0,019	190	39,9	0,4-0,5
2	72	4860	0,018	180	37,8	0,4-0,5
3	108	7290	0,027	270	56,7	0,4-0,5
4	-	13230	0,049	-	110,25	0,3-0,5

Fonte: Autor

5.1.2 SPT 2

No relatório de sondagem SPT 2 (Anexo 2), foram descritas duas camadas de solo e a cota do nível de água é de 2 metros de profundidade. Até 3,85 metros de profundidade ocorre a primeira camada, que consiste de uma argila arenosa de cores vermelha e cinza e consistência rija e de 3,85 a 4,2 metros ocorre a segunda camada, que consiste de uma areia fina pouco argilosa muito compacta de cor cinza.

Abaixo segue a tabela (Tabela 11) com os parâmetros geotécnicos calculados a partir do N_{SPT} para cada uma dessas camadas.

Tabela 11 - Parâmetros geotécnicos calculados para as camadas do SPT 02

SPT 02						
Camada	D_r	ϕ'	Peso específico (kN/m^3)	Coesão argilas (kPa)		E (MPa)
1	1,7	-	19	100-200		20,7
2	0,9	57,4	20	-		81
Camada	S_u (MPa)	m_v (m^2/MN)	E_u (GPa)	C_u (KPa)	E_s	ν
1	92	6210	0,023	230	48,3	0,4-0,5
2	-	24300	0,090	-	148,5	0,4-0,5

Fonte: Autor

5.1.3 SPT 2A

No relatório de sondagem SPT 2A (Anexo 3), foram descritas duas camadas de solo e a cota do nível de água é de 2 metros de profundidade. Até 1 metro de profundidade ocorre a primeira camada, que consiste de uma argila arenosa de cor vermelha pouco compacta a medianamente compacta e de 1 a 3,24 metros ocorre a segunda camada, que consiste de silte arenoso pouco compacto de cores preto e cinza.

Abaixo segue a tabela (Tabela 12) com os parâmetros geotécnicos calculados a partir do N_{SPT} para cada uma dessas camadas.

Tabela 12 - Parâmetros geotécnicos calculados para as camadas do SPT 02A

SPT 02A						
Camada	D_r	ϕ'	Peso específico (kN/m^3)	Coesão argilas (kPa)		E (MPa)
1	3,5	-	17	100-200		8,1
2	2,5	49,6	20	-		54
Camada	S_u (MPa)	m_v (m^2/MN)	E_u (GPa)	C_u (KPa)	E_s	ν
1	36	2430	0,009	90	18,9	0,4-0,5
2	-	16200	0,060	-	135	0,3-0,4

Fonte: Autor

5.1.4 SPT 2B

No relatório de sondagem SPT 2B (Anexo 4), foram descritas duas camadas de solo e a cota do nível de água é de 3,2 metros de profundidade. Até 2 metro de profundidade ocorre a primeira camada, que consiste de uma argila arenosa de cor vermelha e consistência média a dura e de 2 a 5,1 metros ocorre a segunda camada, que consiste de silte arenoso de cores preto e cinza.

Abaixo segue a tabela (Tabela 13) com os parâmetros geotécnicos calculados a partir do N_{SPT} para cada uma dessas camadas.

Tabela 13 - Parâmetros geotécnicos calculados para as camadas do SPT 02B

SPT 02B						
Camada	D_r	ϕ'	Peso específico (kN/m^3)	Coesão argilas (kPa)		E (MPa)
1	0,88	-	21	100-200		9
2	0,9	57,4	20	-		81
Camada	S_u (MPa)	m_v (m^2/MN)	E_u (GPa)	C_u (KPa)	E_s	ν
1	40	2700	0,010	21	18,9	0,4-0,5
2	-	24300	0,090	-	202,5	0,3-0,4

Fonte: Autor

5.1.5 SPT 3

No relatório de sondagem SPT 3 (Anexo 5), foram descritas quatro camadas de solo e a cota do nível de água é de 6 metros de profundidade. Até 1 metro de profundidade ocorre a primeira camada, que consiste de uma argila pouco arenosa de cores preta e vermelha e consistência rija a dura, de 1 a 4 metros ocorre a segunda camada, que consiste de uma argila pouco arenosa de cores vermelha e cinza e consistência rija a dura, a terceira camada ocorre de 4 a 7 metros e é composta por uma areia siltosa compacta de cores branca e rosa e a última camada ocorre de 7 a 7,3 metros sendo composta por silte arenoso medianamente compacto de cor preto variegada.

Abaixo segue a tabela (Tabela 14) com os parâmetros geotécnicos calculados a partir do N_{SPT} para cada uma dessas camadas.

Tabela 14 - Parâmetros geotécnicos calculados para as camadas do SPT 03

SPT 03						
Camada	D_r	ϕ'	Peso específico (kN/m^3)	Coesão argilas (kPa)		E (MPa)
1	1	-	21	100-200		25,2
2	1,4	-	19	100-200		14,4
3	6,2	40,7	20	-		29,7
4	0,9	57,4	20	-		81
Camada	S_u (MPa)	m_v (m^2/MN)	E_u (GPa)	C_u (KPa)	E_s	ν
1	112	7560	0,028	280	58,8	0,4-0,5
2	64	4320	0,016	160	33,6	0,4-0,5
3	-	8910	0,033	-	69,3	0,4
4	-	24300	0,090	-	202,5	0,3-0,4

Fonte: Autor

5.1.6 SPT 4

No relatório de sondagem SPT 4 (Anexo 6), foram descritas três camadas de solo e a cota do nível de água é de 5,5 metros de profundidade. Até 2 metro de profundidade ocorre a primeira camada, que consiste de uma argila pouco arenosa de cor preta e consistência mole a dura, de 2 a 5 metros ocorre a segunda camada, que consiste de uma argila pouco arenosa com pedregulhos de cores vermelha e

amarela e consistência dura e a última camada ocorre de 5 a 7,46 metros sendo composta por silte arenoso muito compacto de cor preto.

Abaixo segue a tabela (Tabela 15) com os parâmetros geotécnicos calculados a partir do N_{SPT} para cada uma dessas camadas.

Tabela 15 - Parâmetros geotécnicos calculados para as camadas do SPT 04

SPT 04						
Camada	D_r	ϕ'	Peso específico (kN/m^3)	Coesão argilas (kPa)		E (MPa)
1	1,6	-	17	25-50		6,3
2	1	-	21	>200		32,4
3	2,3	43,3	20	-		36
Camada	S_u (MPa)	m_v (m^2/MN)	E_u (GPa)	C_u (KPa)	E_s	ν
1	28	1890	0,007	70	14,7	0,4-0,5
2	144	9720	0,036	360	75,6	0,4-0,5
3	-	10800	0,040	-	90	0,3-0,5

Fonte: Autor

5.1.7 SPT 5

No relatório de sondagem SPT 5 (Anexo 7), foram descritas quatro camadas de solo e a cota do nível de água é de 6 metros de profundidade. Até 1 metro de profundidade ocorre a primeira camada, que consiste de uma argila pouco arenosa de cor preta e consistência dura, de 1 a 4 metros ocorre a segunda camada, que consiste de uma argila pouco arenosa de cor vermelha e consistência dura a média, a terceira camada ocorre de 4 a 7 metros e é composta por uma argila arenosa de cores preta e cinza e consistência rija e a última camada ocorre de 7 a 8,75 metros sendo composta por silte arenoso com pedregulhos medianamente compacto a compacto de cores preto e cinza.

Abaixo segue a tabela (Tabela 16) com os parâmetros geotécnicos calculados a partir do N_{SPT} para cada uma dessas camadas:

Tabela 16 - Parâmetros geotécnicos calculados para as camadas do SPT 05

SPT 05						
Camada	D_r	ϕ'	Peso específico (kN/m^3)	Coesão argilas (kPa)		E (MPa)
1	2	-	21	>200		27,9
2	0,5	-	21	100-200		31,5
3	1,8	-	19	100-200		15,3
4	2,7	40,3	20	-		28,8
Camada	S_u (MPa)	m_v (m^2/MN)	E_u (GPa)	C_u (KPa)	E_s	ν
1	124	8370	0,031	310	65,1	0,4-0,5
2	140	9450	0,035	350	73,5	0,4-0,5
3	68	4590	0,017	170	35,7	0,4-0,5
4	-	8640	0,032	-	72	0,3-0,4

Fonte: Autor

Para analisar a qualidade dos valores dos parâmetros geotécnicos calculados, foram utilizadas tabelas que apresentam correlações empíricas entre os valores de parâmetros geotécnicos, os tipos de solo e o N_{SPT} (Tabela 17 e 18) e uma tabela de conversão de unidades (Anexo 8).

Abaixo segue uma comparação entre os valores calculados e os esperados de se obter para cada parâmetro geotécnico.

Peso específico: Foram obtidos pesos específicos de 1,8 e 2 t/m^3 para os solos arenosos e de 1,7; 1,9 e 2,1 t/m^3 para os solos argilosos. Ambos os valores estão dentro do que se espera encontrar para cada um desses tipos de solos, confirmando assim a qualidade dos valores obtidos para este parâmetro.

Coesão: Apenas os solos argilosos apresentam coesão, desta forma, foram obtidos valores que vão desde 0,7 a 3,6 t/m^2 . De acordo com a Tabela 17, os valores calculados encontram-se dentro dos esperados de acordo com este tipo de solo.

Ângulo de atrito: Apenas solos arenosos apresentam ângulo de atrito, desta forma, foram obtidos valores que vão desde $40,3^\circ$ a $57,4^\circ$, que de acordo com a Tabela 17, também estão dentro dos valores esperados.

Módulo de elasticidade: Para os solos arenosos foram obtidos valores de módulo de elasticidade que vão desde 3200 até 9000 t/m^2 , enquanto que para os solos argilosos foram calculados valores que vão de 630 até 3150 t/m^2 . Todos estes

valores de módulo de elasticidade estão dentro dos previstos de acordo com a Tabela 17 e 18.

Módulo de Poisson: Foram obtidos valores no intervalo de 0,3 a 0,5 para os solos arenosos e valores no intervalo de 0,4 a 0,5 para os solos argilosos. Ambos os intervalos estão corretos de acordo com a Tabela 17.

Resistência não-drenada das argilas: Os valores obtidos para resistência não-drenada foi de 28 a 40 para as argilas de consistência mole, 68 a 76 para as argilas de consistência média e de 92 a 140 para as argilas de consistência rija. Foi possível notar que os valores obtidos para este parâmetro são bem confiáveis, pois se encontram exatamente nos intervalos esperados de acordo com a Tabela 19, que relaciona este parâmetro com a consistência das argilas.

Tabela 17 - Relação entre consistência, resistência a partir de verificação no campo e resistência calculada

Consistência	Resistência não-drenada ao cisalhamento (KN/m ²)	
	Esperada	Calculada
Muito Rija	>150	-
Rija	75-150	92 a 140
Média	40-75	68 a 76
Mole	20-40	28 a 40
Muito Mole	<20	-

Fonte: modificado de Marangon (2015)

Tabela 18 - Avaliação dos Parâmetros de Resistência e de deformabilidade em Função do SPT (Esp.) e comparação com esses parâmetros calculados (Cal.)

Areias e Solos Arenosos										
Compacidade	y (t/m ²)		C (t/m ²)		∅		E (t/m ²)		v	
	Esp.	Cal.	Esp.	Cal.	Esp.	Cal.	Esp.	Cal.	Esp.	Cal.
Fofa	1,6		0		25-30		100-500			
Pouco Compacta	1,8		0		30-35		500-1400			
Medianamente Compacta	1,9	1,8 a	0	0	35-40		1400-4000		0,3 a 0,4	0,3 a 0,5
Compacta	2,0	2,0	0		40-45		4000-7000		9000	
Muito Compacta	>2,0		0		>40		>7000			

Argilas e Solos Argilosos										
Consistência	y (t/m ²)		C (t/m ²)		∅		E (t/m ²)		v	
	Esp.	Cal.	Esp.	Cal.	Esp.	Cal.	Esp.	Cal.	Esp.	Cal.
Muito Mole	1,6		0-1,2		0		30-120			
Mole	1,8		1,2-2,5		0		120-280			
Média	1,9	1,7 a	2,5-5		0,7 a		280-500		630 a	0,4 a 0,5
Rija	2,0	2,1	5-15		0		500-1500		3150	
Dura	>2,0		>15		0		>1500			

Fonte: modificado de Marangon (2015)

Sendo:

y = Peso específico Natural do Solo

∅ = Ângulo de Atrito Interno

C = Coesão

E = Módulo de Elasticidade (Não Drenado)

E' = Módulo de Elasticidade (Drenado)

v = Módulo de Poisson

5.2 Sísmica de Refração Rasa e MASW

Através dos valores de V_p , V_s e densidade das camadas obtidos através do levantamento de sísmica de refração rasa e MASW, foram calculados os parâmetros elásticos (coeficiente de Poisson (ν), módulo de Young ou de elasticidade (E), módulo de rigidez ou de cisalhamento (G) e módulo de volume ou incompressibilidade (K)), através das equações apresentadas no tópico 2.3.

Para interpretar através dos valores de V_p , V_s e densidade o que pode ser cada uma das camadas identificadas, foi utilizada a Tabela 20 que relaciona esses parâmetros com cada tipo de material.

Tabela 19 - Relação entre velocidade da onda P, velocidade da onda S, densidade e material

Material	Velocidade da onda P (m/s)	Velocidade da onda S (m/s)	Densidade(g/cm ³)
Ar	330	-	-
Solo	300 – 700	100 – 300	1,7 – 2,4
Areia seca	400 – 1200	100 – 500	1,5 – 1,7
Areia saturada	1500 – 2000	400 – 600	1,9 – 2,1
Argila saturada	1100 – 2500	200 – 800	2,0 – 2,4
Arenito saturado	2000 – 3500	800 – 1800	2,0 – 2,4
Calcáreo	3500 – 6000	2000 – 3300	2,4 – 2,7
Sal	4500 – 5500	2500 – 3100	2,1 – 2,3
Granito	4500 – 6000	2500 – 3300	2,5 – 2,7
Basalto	5000 – 6000	2800 – 3400	2,7 – 3,1
Gnaisse	4400 – 5200	2700 – 3200	2,5 – 2,7
Carvão	2200 – 2700	1000 – 1400	1,3 – 1,8
Água	1450 – 1500	-	1
Gelo	3400 – 3800	1700 – 1900	0,9
Petróleo	1200 – 1250	-	0,6 – 0,9

Fonte: Dourado (1984)

5.2.1 Perfil 1

As tabelas abaixo (Tabela 21, 22 e 23) apresentam os valores de Vp, Vs, densidade das camadas e os parâmetros elásticos calculados para cada um dos três tiros realizado neste perfil.

Em todos os tiros deste perfil foi possível identificar cinco camadas, que de acordo com as suas velocidades e densidades podem ser interpretadas do topo para a base como: uma primeira camada de solo, logo abaixo duas camadas de argila saturada e na base granito bastante alterado.

Tabela 20 – Dados obtidos e calculados a partir do Tiro 1 do Perfil 1

Tiro 1								
H(m)	D(m)	Vp(m/s)	Vs(m/s)	Rho(kg/m ³)	G(GPa)	v	E(GPa)	K(Pa)
1,24	1,24	800,00	122,00	2020,00	0,03	0,49	0,09	1,25
1,73	2,97	1250,00	223,00	2445,40	0,12	0,48	0,36	3,66
1,90	4,88	1760,00	530,00	2474,50	0,70	0,45	2,02	6,74
2,97	7,85	2310,00	2499,00	2499,20	15,61	3,94	154,06	-7,47
-	-	2720,00	2601,00	2601,30	17,60	-4,84	-135,2	-4,22

Fonte: Autor

Tabela 21 - Dados obtidos e calculados a partir do Tiro 2 do Perfil 1

Tiro 2								
H(m)	D(m)	Vp(m/s)	Vs(m/s)	Rho(kg/m ³)	G(GPa)	v	E(GPa)	K(Pa)
1,65	1,65	400,00	226,00	2020,00	0,10	0,27	0,26	0,19
1,93	3,58	600,00	361,00	2445,40	0,32	0,22	0,78	0,46
5,88	9,46	830,00	505,00	2474,50	0,63	0,21	1,52	0,86
3,51	12,97	1910,00	1786,00	2499,20	7,97	-2,98	-31,57	-1,51
-	-	2587,00	2601,00	2601,30	17,60	47,07	1691,9	-6,06

Fonte: Autor

Tabela 22 - Dados obtidos e calculados a partir do Tiro 3 do Perfil 1

Tiro 3								
H(m)	D(m)	Vp(m/s)	Vs(m/s)	Rho(kg/m ³)	G(GPa)	Poisson	E(GPa)	K(Pa)
1,65	1,65	1000,00	124,00	2020,00	0,03	0,49	0,09	1,98
1,93	3,58	1200,00	289,00	2445,40	0,20	0,47	0,60	3,25
5,88	9,46	1595,00	547,00	2474,50	0,74	0,43	2,12	5,31
3,51	12,97	2230,00	1735,00	2499,20	7,52	-0,27	11,03	2,40
-	-	2400,00	2602,00	2601,30	17,61	3,85	170,85	-8,50

Fonte: Autor

5.2.2 Perfil 2

As tabelas abaixo (Tabela 24 e 25) apresentam os valores de velocidade da onda P, onda S, densidade das camadas e os parâmetros elásticos calculados para cada um dos dois tiros realizado neste perfil.

Nos dois tiros deste perfil também foi possível identificar cinco camadas, que de acordo com as suas velocidades e densidades podem ser interpretadas do topo para a base como: uma primeira camada de solo, uma segunda camada de areia seca, logo abaixo uma camada de areia saturada, seguida por um granito muito alterado e na base um granito bem mais sã do que o encontrado no perfil anterior praticamente na mesma profundidade.

Tabela 23 - Dados obtidos e calculados a partir do Tiro 1 do Perfil 2

Tiro 1								
H(m)	D(m)	Vp(m/s)	Vs(m/s)	Rho(kg/m ³)	G(GPa)	v	E(GPa)	K(Pa)
2,83	2,83	390,90	193,50	1717,00	0,06	0,34	0,17	0,18
4,15	6,98	470,30	202,00	1786,70	0,07	0,39	0,20	0,30
1,56	8,54	1474,12	520,30	2037,06	0,55	0,43	1,58	3,69
2,68	11,22	2590,51	1144,66	2140,97	2,81	0,38	7,74	10,63
-	-	5838,11	2342,90	2289,33	12,57	0,40	35,29	61,27

Fonte: Autor

Tabela 24 - Dados obtidos e calculados a partir do Tiro 2 do Perfil 2

Tiro 2								
H(m)	D(m)	Vp(m/s)	Vs(m/s)	Rho(kg/m ³)	G(GPa)	v	E(GPa)	K(Pa)
2,02	2,02	402,71	114,20	1751,51	0,02	0,46	0,07	0,25
4,75	6,77	615,23	374,35	1954,10	0,27	0,21	0,66	0,37
1,85	8,62	1093,69	610,10	1977,15	0,74	0,27	1,88	1,38
1,13	9,75	2919,05	1191,14	2098,79	2,98	0,40	8,34	13,91
-	-	4462,67	2251,48	2579,67	13,08	0,33	34,77	33,94

Fonte: Autor

5.2.3 Perfil 3

As tabelas abaixo (Tabela 26, 27, 28 e 29) apresentam os valores de velocidade da onda P, onda S, densidade das camadas e os parâmetros elásticos calculados para cada um dos quatro tiros realizado neste perfil.

Assim como nos perfis anteriores, nos quatro tiros deste perfil também foi possível identificar cinco camadas, que de acordo com as suas velocidades e densidades podem ser interpretadas do topo para a base como: uma primeira camada de solo, uma segunda camada de areia seca, logo abaixo uma camada de areia saturada, seguida por um granito muito alterado e na base granito sã.

Tabela 25 - Dados obtidos e calculados a partir do Tiro 1 do Perfil 3

Tiro 1								
H(m)	D(m)	Vp(m/s)	Vs(m/s)	Rho(kg/m ³)	G(GPa)	v	E(GPa)	K(Pa)
2,17	2,17	247,31	145	1769,02	0,04	0,24	0,09	0,06
2,48	4,65	456,45	251,43	1877,85	0,12	0,28	0,30	0,23
4,07	8,72	1816,7	857,23	2162,38	1,59	0,36	4,31	5,02
2,29	11,01	2298,95	1251,9	2250,18	3,53	0,29	9,09	7,19
-	-	5896,5	2887,38	2382,28	19,86	0,34	53,32	56,35

Fonte: Autor

Tabela 26 - Dados obtidos e calculados a partir do Tiro 2 do Perfil 3

Tiro 2								
H(m)	D(m)	Vp(m/s)	Vs(m/s)	Rho(kg/m ³)	G(GPa)	v	E(GPa)	K(Pa)
2,49	2,49	427,48	135,24	1954,10	0,04	0,44	0,10	0,31
3,41	5,90	707,20	204,02	1993,40	0,08	0,45	0,24	0,89
1,80	7,70	1533,98	628,58	2098,80	0,83	0,40	2,32	3,83
1,59	9,29	3633,40	1251,90	2436,62	3,82	0,43	10,94	27,08
-	-	4374,74	2487,04	2479,00	15,33	0,26	38,68	27,00

Fonte: Autor

Tabela 27 - Dados obtidos e calculados a partir do Tiro 3 do Perfil 3

Tiro 3								
H(m)	D(m)	Vp(m/s)	Vs(m/s)	Rho(kg/m ³)	G(GPa)	v	E(GPa)	K(Pa)
1,37	1,37	423,25	145,00	2074,32	0,04	0,43	0,13	0,31
3,46	4,83	765,79	309,86	2137,18	0,21	0,40	0,58	0,98
1,45	6,28	1149,47	592,15	2250,18	0,79	0,32	2,08	1,92
1,60	7,88	2440,38	1251,90	2388,61	3,74	0,32	9,89	9,23
-	-	5838,11	2274,00	2406,11	12,44	0,41	35,10	65,42

Fonte: Autor

Tabela 28 - Dados obtidos e calculados a partir do Tiro 4 do Perfil 3

Tiro 4								
H(m)	D(m)	Vp(m/s)	Vs(m/s)	Rho(kg/m ³)	G(GPa)	v	E(GPa)	K(Pa)
2,02	2,02	383,16	197,39	1877,86	0,07	0,32	0,19	0,18
4,96	6,98	597,14	349,16	2053,79	0,25	0,24	0,62	0,40
1,82	8,80	1677,69	510,05	2140,97	0,56	0,45	1,61	5,28
1,77	10,57	3289,26	1721,30	2295,41	6,80	0,31	17,84	15,77
-	-	4832,44	2121,00	2382,28	10,72	0,38	29,59	41,34

Fonte: Autor

A fim de compreender o quão eficaz é estimar as camadas de solo e rocha através dos dados de sísmica de refração e MASW, foi realizada uma comparação entre o tipo de material que se estimou ter, baseando-se nas velocidades de propagação das ondas P e S e na densidade, com o material realmente encontrado nos ensaios de SPT.

Nos três perfis, os materiais estimados para cada camada concordam com os materiais amostrados no SPT, havendo apenas uma diferença na profundidade encontrada em cada levantamento.

5.3 Eletrorresistividade

Os perfis de caminamento elétrico deste trabalho foram realizados com o intuito principal de identificar e caracterizar o comportamento do nível freático da área estudada, comparando e amarrando os resultados dos dados geofísicos com dados diretos adquiridos através dos ensaios de SPT. Porém, analisando os resultados obtidos antes e após a inversão dos dados de resistividade, é possível verificar que os resultados sofreram grande influência dos eventos de alta pluviosidade ocorridos nos dias que precederam os levantamentos causando ruído nos dados.

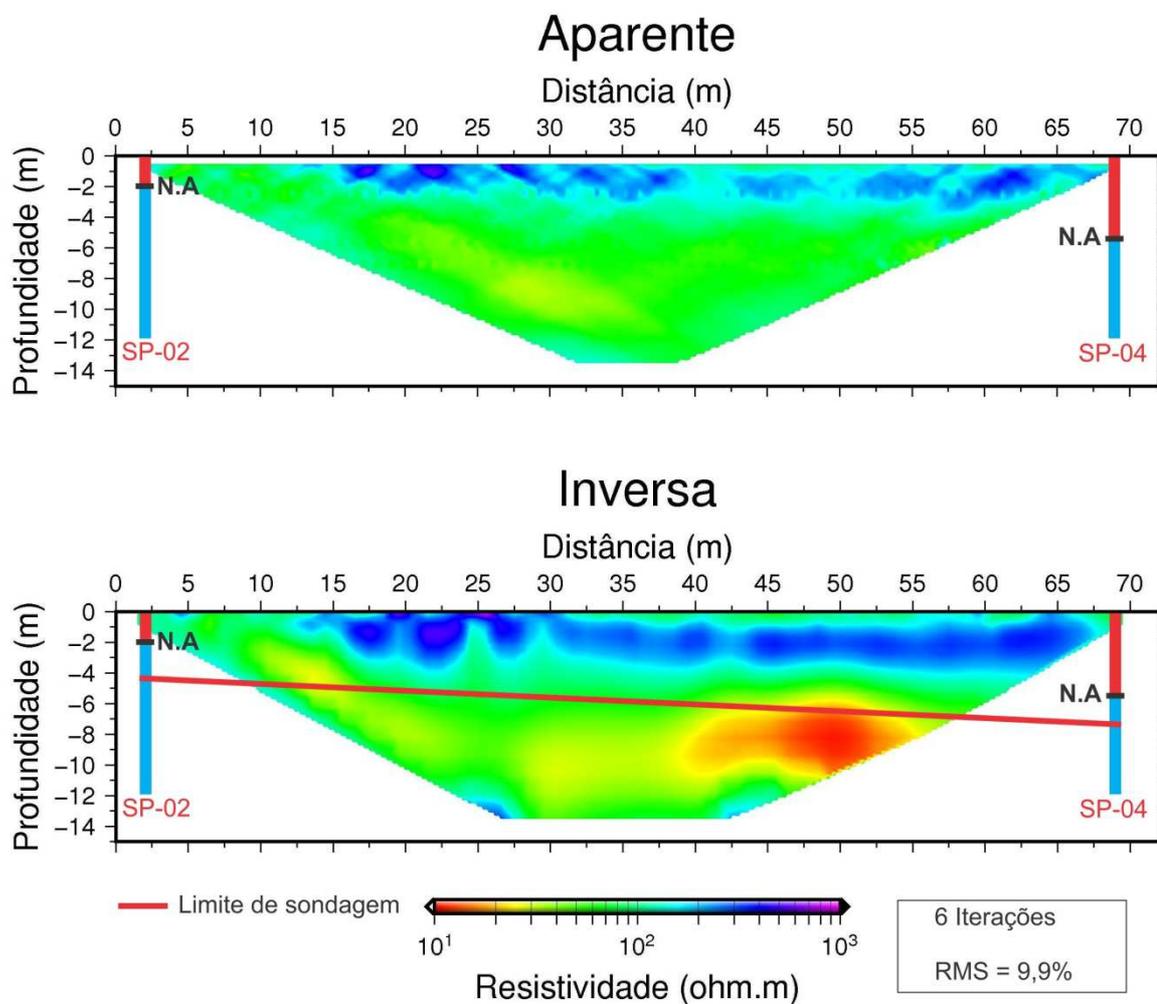
Do três perfis realizados, um foi descartado (Perfil 1) devido a baixa qualidade dos dados coletados em campo que acarretaram em uma baixa qualidade no modelo de inversão. Os demais (Perfil 2 e Perfil 3), apresentam dados com boa qualidade e consequentemente bons modelos de inversão.

5.3.1 Perfil 2

O perfil realizado entre o SP 02 e SP 04 (Figura 12) parece apresentar uma camada até dois metros de profundidade de alta resistividade, possivelmente ocasionada pela presença de uma camada de concreto e de uma camada aerada no solo. Também podemos notar uma camada com valores inferiores a 100 ohms metro, que coincide com as profundidades encontradas para o nível d'água nas sondagens SPT, aparecendo no SP 02 por volta de 2 metros e no SPT 4 a 5,5 metros de profundidade. Os valores encontrados abaixo desta profundidade também indicam a presença de água. Na base do perfil começam a aparecer valores mais resistivos, indicando a presença de um material com menos umidade que estaria

sustentando essa camada de aquífero livre, mas não a presença de uma rocha sã e sim de um material bem alterado.

Figura 12 - Perfil 2 de Eletrorresistividade



Fonte: Autor

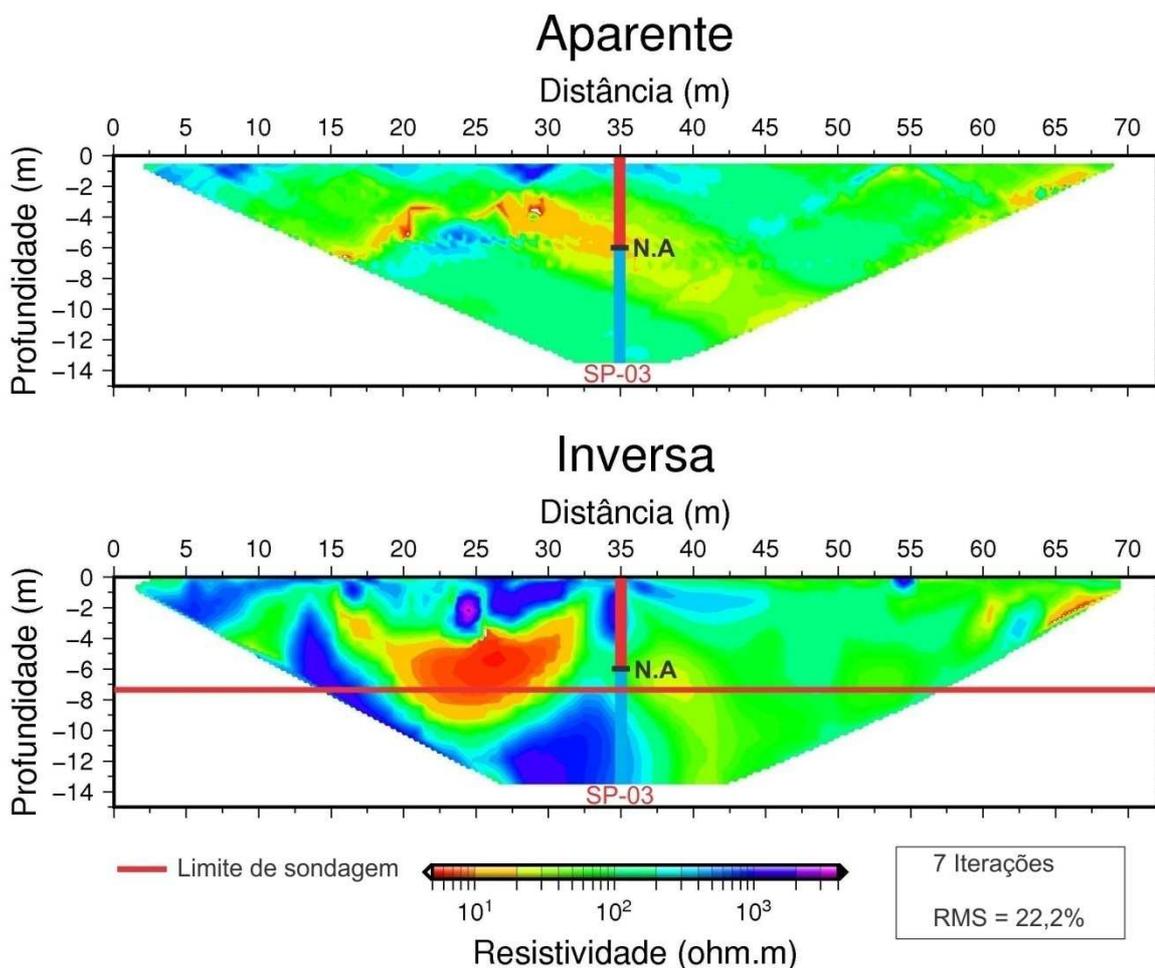
5.3.3 Perfil 3

O Perfil 03 (Figura 13), mesmo com a ausência de dados de topografia da área que exerce maior influência sobre ele, apresenta um modelo de inversão que também concorda com os dados de sondagem SPT.

È possível observar uma zona de baixa resistividade marcada pela presença de água, observada também na sondagem SP 03 a 6 metros de profundidade. Essa zona é sustentada por outra de alta resistividade, ocasionada provavelmente pela presença de uma rocha muito mais sã do que a encontrada no perfil anterior. Do meio para o fim do perfil existe uma nítida mudança nos valores de resistividade, indicando uma zona menos úmida, mas que provavelmente não estaria muito longe

do nível freático. Isso se confirma se observarmos a área de estudo, já que esta região é próxima ao prédio da universidade, área que foi aterrada, mas que está localizada próxima ao banhado ali existente.

Figura 13 - Perfil 3 de Eletrorresistividade



Fonte: Autor

5.4 Comparativo entre os resultados do ensaio de SPT, Sísmica de Refração Rasa e MASW

Para atestar a aplicabilidade do ensaio sísmico de refração na identificação das camadas do solo, foi feita uma comparação entre perfis que mostram a variação na velocidade da onda P, variação na velocidade da onda S e variação do N_{SPT} (Figura 14, 15, 16, 17 e 18).

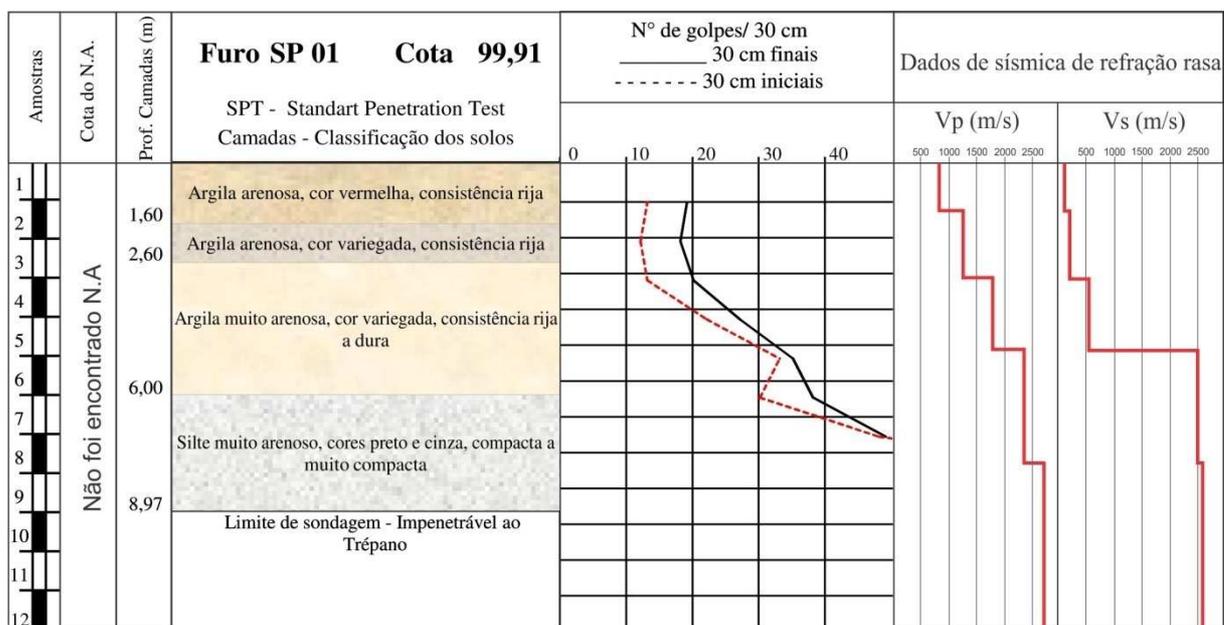
Na Figura 14 foi possível observar que as mudanças nas velocidades V_p e V_s coincidem com as variações no N_{SPT} . À medida que aumenta o número de golpes

necessário para penetrar o amostrador no solo, aumenta também V_p e V_s , mostrando que, à medida que aumenta a profundidade dos ensaios é possível identificar materiais mais densos e de maior resistência.

É possível observar um pequeno aumento nos valores de V_p e um aumento mais significativo nos valores de V_s a aproximadamente 5 metros de profundidade. Essa variação mais expressiva em V_s provavelmente é causada por uma mudança abrupta na litologia. Isso se dá pelo fato de que, como a velocidade de propagação da onda P é influenciada pela presença de fluidos no meio e a velocidade de propagação da onda S não é influenciada, quando tiver uma mudança abrupta de um meio mais lento e para um meio mais rápido que esteja algum fluido, a variação da velocidade de propagação da onda S vai ser bem maior do que a da onda P, uma vez que a onda P estará sendo influenciada pela presença de fluido no meio e não conseguirá distinguir essa mudança litológica abrupta.

Desta forma, é possível perceber que essa variação em V_p e V_s coincide com a mudança identificada no SPT de uma camada de argila muito arenosa para uma camada de silte muito arenoso, sendo provável a presença de algum fluido nesta camada superior.

Figura 14 – Comparação entre os resultados do SP 01 e do Tiro 1 do Perfil 1



Fonte: Autor

Na Figura 15 também foi possível observar que as mudanças em V_p e V_s coincidem com as variações no N_{SPT} , apresentam somente pequena variação na

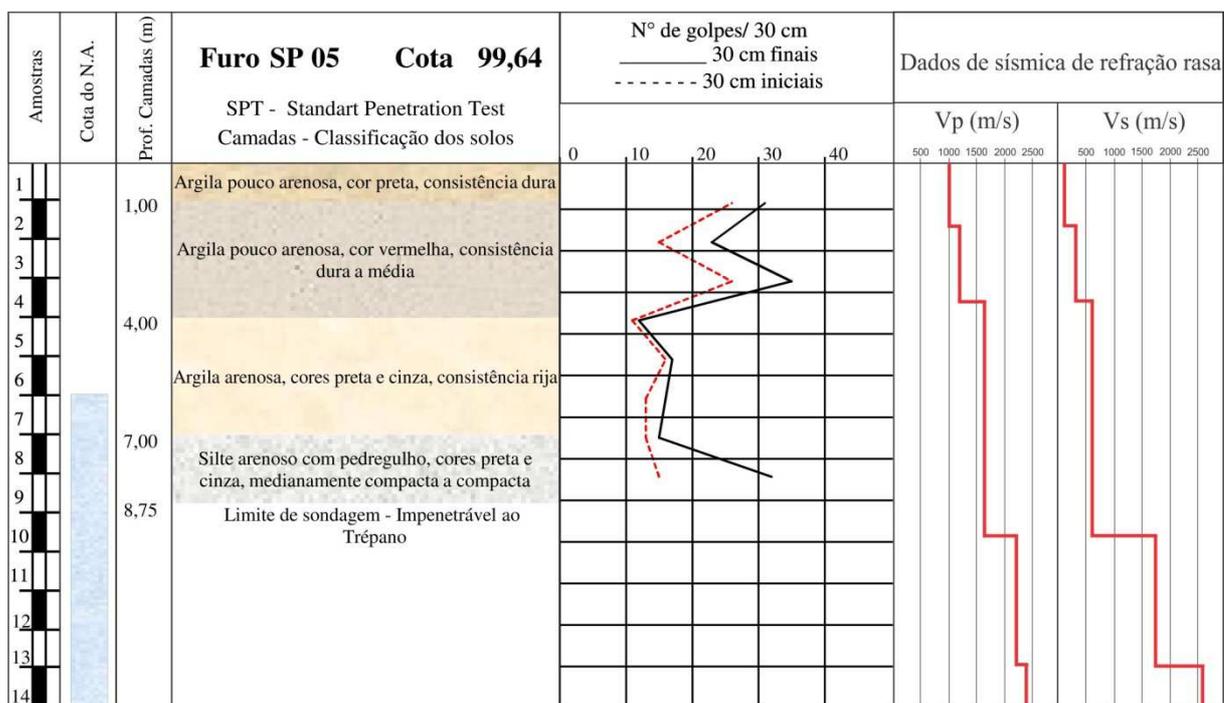
profundidade encontrada em cada um dos levantamentos para a primeira mudança de camada.

Através do ensaio de SPT foi encontrado o nível d'água a 6 metros de profundidade, porém nenhuma variação de V_p e V_s foi observada a esta profundidade. Em 9,5 e 13 metros de profundidade é possível perceber que existe uma variação maior de V_s do que de V_p . Como já dito anteriormente, a onda S não se propaga em meio líquido, todavia se propaga em meio saturado utilizando o contato entre os grãos dos sedimentos ou fragmentos para sua propagação, ao contrário da onda P que sofre influência do fluido que preenche os poros do meio. Sendo assim, é provável que esta variação mais expressiva de V_s identifique não só uma mudança de camada, mas também a presença de fluido neste meio.

É importante salientar que analisar somente V_p e V_s não nos permite indicar com precisão o nível freático da área. O interessante é fazer esta estimativa é comparar com os dados obtidos através de levantamento elétrico.

Essa variação na profundidade encontrada para o nível d'água em cada uma das aquisições é plausível, uma vez que existe um grande intervalo de tempo entre elas e é natural que o nível do lençol freático varie bastante.

Figura 15 – Comparação entre os resultados do SP 05 e do Tiro 3 do Perfil 1

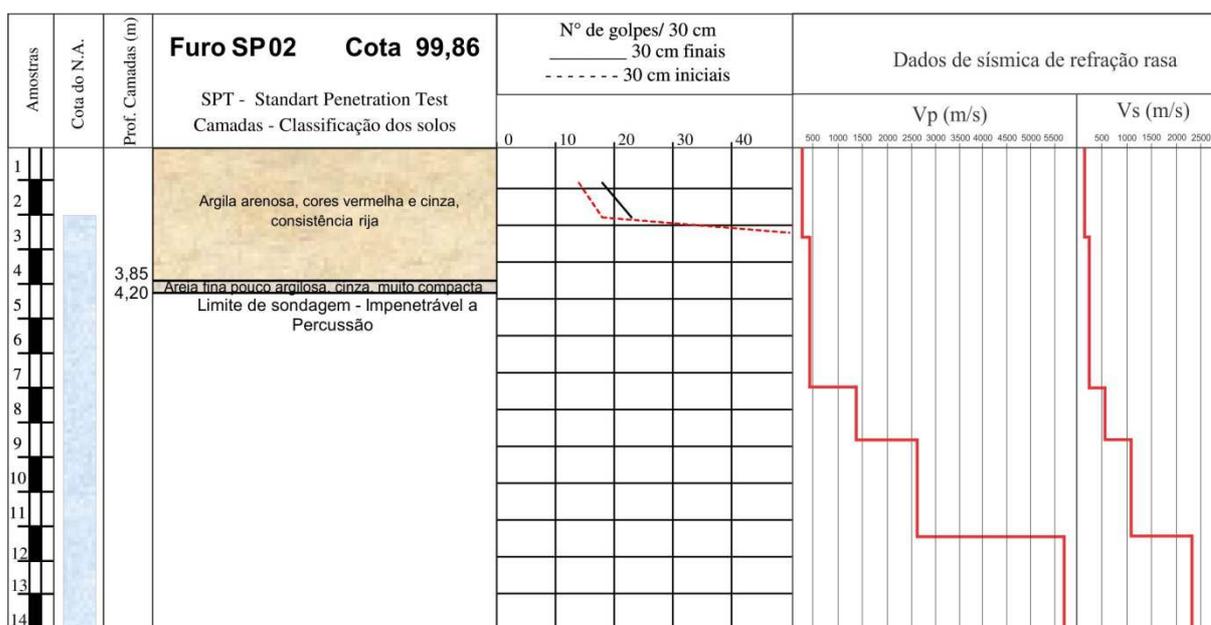


Fonte: Autor

Na Figura 16 a aproximadamente 2 metros de profundidade observa-se um aumento brusco no N_{SPT} , que coincide com um aumento não muito considerável de V_p e V_s . Em 4,2 metros de profundidade foi determinado através do ensaio de SPT como impenetrável ao trépano e o que se observa nos perfis de V_p e V_s é que, a partir desta profundidade ambas as velocidades aumentam bastante, apresentando valores bem característicos de um corpo granítico.

Como ambos os métodos puderam identificar essa mudança significativa, é possível afirmar que esta seção da área de estudo apresenta um corpo granítico sã ou pouco alterado a aproximadamente 11 metros de profundidade. No perfil 2 de eletrorresistividade, também foi observado a mais ou menos esta profundidade a presença de um corpo alterado que provavelmente granítico.

Figura 16 – Comparação entre os resultados do SP 02 e do Tiro 1 do Perfil 2



Fonte: Autor

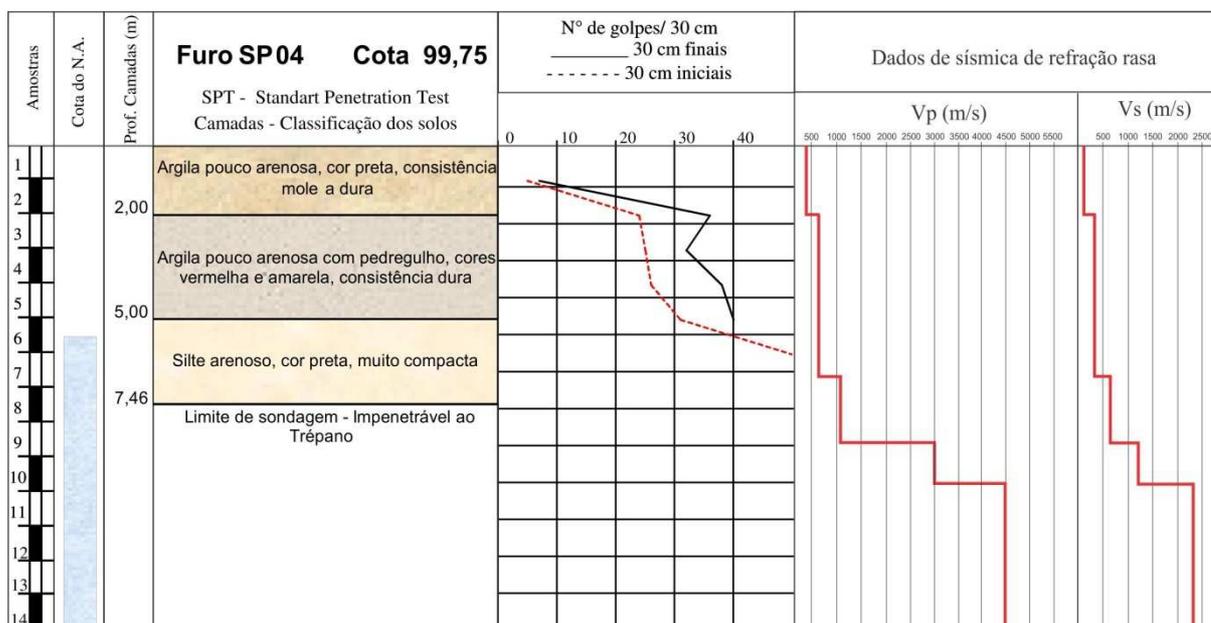
Na Figura 17 as mudanças nas velocidades V_p e V_s também coincidem com as variações no N_{SPT} . Assim como na análise anterior, a 2 metros de profundidade observa-se um aumento brusco no N_{SPT} , que também coincide com o aumento de V_p e V_s , sendo possível distinguir claramente duas camadas de diferentes densidades e resistências.

Em 7,46 metros de profundidade foi determinado através do ensaio de SPT como impenetrável ao trépano e o que se observa nos perfis de V_p e V_s é que, a

partir desta profundidade, ambas as velocidades aumentam bastante, apresentando valores bem característicos de um corpo granítico.

Da mesma forma que na análise anterior, também é possível afirmar que esta seção da área de estudo apresenta um corpo granítico sã ou pouco alterado a aproximadamente 10 metros de profundidade, também identificado um pouco mais profundo no perfil 2 de eletrorresistividade.

Figura 17 – Comparação entre os resultados do SP 04 e do Tiro 2 do Perfil 2



Fonte: Autor

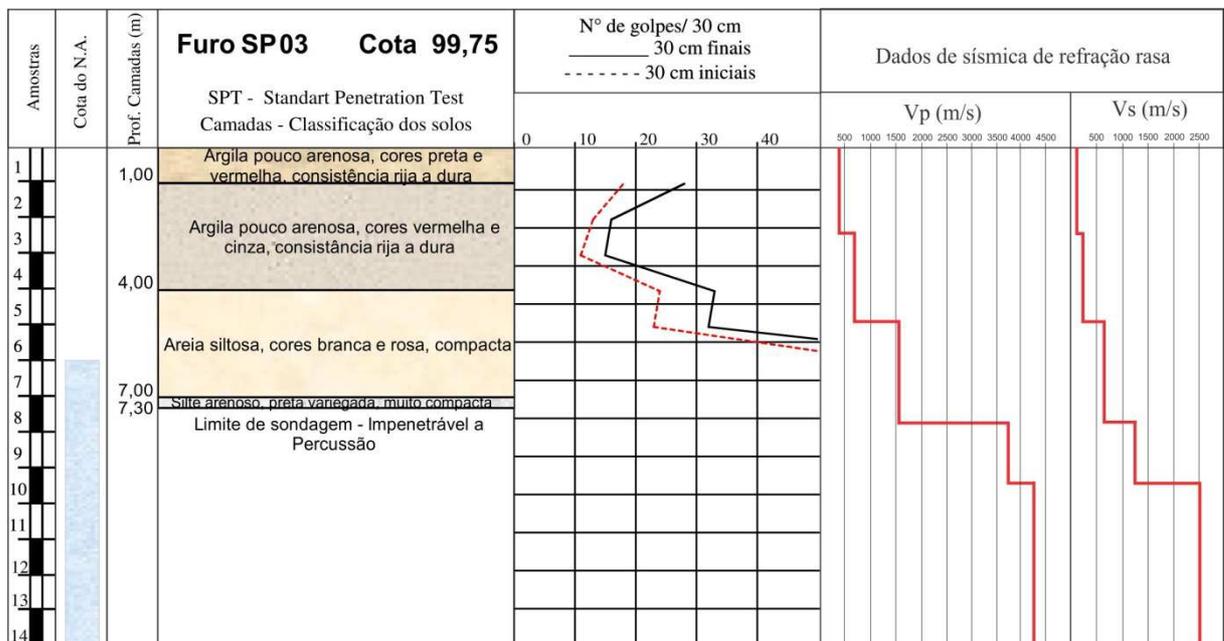
Na Figura 18, a 5 metros de profundidade é possível observar um aumento considerável no N_{SPT} , que coincide com um aumento de V_p e V_s , confirmando assim a transição de uma camada de menor resistência para uma de maior resistência, determinada através do ensaio SPT. Já as outras variações nos perfis de V_p e V_s não coincidiram muito bem em profundidade com as variações do N_{SPT} .

Em 7,3 metros de profundidade foi determinado através do ensaio de SPT como impenetrável ao trépano e o que se observa nos perfis de V_p e V_s é que, a partir desta profundidade, ambas as velocidades aumentam, apresentando valores bem característicos de um corpo granítico. Além de ser possível identificar esta mudança no perfil de SPT e nos valores de V_p e V_s , também foi descrito através do perfil 3 de eletrorresistividade uma zona de alta resistividade, ocasionada provavelmente pela presença de uma rocha sã ou pouco alterada.

Desta forma, unindo resultados dos três levantamentos, é possível afirmar que esta seção da área de estudo apresenta um corpo granítico sã a aproximadamente 8 metros de profundidade.

Assim como nas Figuras 14 e 15, é possível observar um pequeno aumento nos valores de Vp e um aumento mais significativo nos valores de Vs a 10 metros de profundidade. Da mesma forma que nas anteriores, essa variação também indica uma mudança mais abrupta entre os materiais, provavelmente marcando a transição de um granito alterado para um granito sã, assim como a presença de fluidos neste meio.

Figura 18 – Comparação entre os resultados do SP 03 e do Tiro 2 do Perfil 3



Fonte: Autor

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação conjunta dos ensaios SPT, eletrorresistividade, sísmica de refração rasa e MASW, mostrou ser uma ferramenta muito eficaz em projetos de engenharia geotécnica, sendo possível correlacionar os resultados de todos esses métodos buscando uma caracterização cada vez mais realista do subsolo do terreno.

A integração de todos os resultados foi satisfatória, pois possibilitou uma boa caracterização da área de estudo, fornecendo informações importantes e mais abrangentes tanto em área quanto em profundidade do que se fosse utilizado somente o ensaio SPT.

Os resultados de sísmica de refração rasa foram fundamentais para a identificação de seções maiores, como por exemplo, o contato entre solo e rocha. Contudo, as variações no solo foram mais bem identificadas através dos resultados de MASW.

Através de ambos os métodos foi possível estimar o nível d'água em alguns perfis, entretanto é válido ressaltar que analisando somente V_p e V_s não é possível identificar com precisão o nível freático do terreno. É de fundamental importância comparar estas estimativas com as interpretações realizadas através dos perfis de eletrorresistividade, uma vez que este método tem maior resolução para identificar corpos d'água.

Os parâmetros geotécnicos calculados através do N_{SPT} se mostraram bastante condizentes com os encontrados na literatura, confirmando assim a importância dos ensaios de SPT para o dimensionamento de fundações.

Os parâmetros elásticos calculados através dos valores de V_p , V_s e densidade, obtidos através da sísmica de refração rasa e MASW, também apresentaram valores que condizem com os tipos de solos e rochas encontradas na área, apesar de não ter sido realizada nenhuma comparação com valores encontrados em literaturas.

A partir dos estudos realizados neste trabalho e verificando a possibilidade de um estudo mais aprofundado em obras de terra, destacam-se as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar ensaios geotécnicos de laboratório para obter precisão nos resultados;

- Realizar ensaios de CPT e CPTU na área analisada;
- Elaborar perfil geotécnico;
- Gerar modelos que correlacionem diretamente os parâmetros geotécnicos calculados através do N_{SPT} com os calculados através de V_p , V_s e densidade;
- Analisar a relação V_p/V_s e a saturação do meio;
- Verificar outros métodos geofísicos interessantes de se aplicar nesta área da geotécnica, de forma a correlacionar com dados geotécnicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIRA, F. F. M. O Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 7, n. 4, p. 349-364, 1977.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **NBR 7250**: Identificação e descrição de amostras de solo obtidas em sondagem de simples reconhecimento dos solos. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **NBR 6484**: Solo - Sondagem de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.

ALONSO, U. R. **Exercício de fundações**. São Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda., 1983, 202 p.

BARTON, N.; LIEN, R.; LUNDE, J. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. **Rock Mechanics**, v. 6, n. 4, p. 189-236, 1974.

BERTULANI, C. **O que é geofísica?** Projeto de ensino a distância do Instituto de física da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.if.ufrj.br/teaching/geo/sbfgfque.html>>. Acesso em: abril 2015.

BITENCOURT, M. F. A. S. Metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS - Geologia e relações com o corpo granítico. In: I Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, 1983, Porto Alegre. **Atas**. Porto Alegre, 1983.

BITENCOURT, M. F. ; PHILIPP, R. P. ; DILLENBURG, S. ; LISBOA, N. A. ; PORCHER, C. C. ; SOMMER, C.A.. **Mapa Geológico 1:25.000 das Folhas Caçapava do Sul, Passo do Salsinho, Durasnal e Arroio Santa Bárbara, RS**. Porto Alegre, 1998. Escala 1:25.000.

BORBA, A. W.; VIGNOL LELARGE, M. L. M.; MIZUSAKI, A. M. P. Uplift and denudation of the Caçapava do Sul granitoids (southern Brazil) during Late Paleozoic and Mesozoic: constraints from apatite fission-track data. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 15, n. 2, p. 683–692, 2002.

CAVALCANTE, E.H. **Investigação Teórico-Experimental sobre o SPT**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2002. 430 p.

CINTRA, J.C.A.; AOKI, N.;ALBIERO, J.H. **Tensão admissível em fundações diretas**. São Carlos: Editora Rima, 2003. 135 p.

COSTA, A.F.U. et al. Modelamento Gravimétrico 3D do Complexo Granítico de Caçapava do Sul, RS. In: 4º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, 1995, Rio de Janeiro. **Resumo expandido**. Rio de Janeiro, v. 2, p. 753–758, 1995.

COSTA, A.F.U. et al. Compartimentação tectônica das associações de rochas pré-cambrianas do Escudo Sul-rio-grandense baseada em dados de magnetometria e gravimetria. In: V Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 1995, Gramado. **Boletim de resumos expandidos**. Gramado, 1995, p.236-238.

CPRM. COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Mapa Geológico do Estado Rio Grande do Sul**. Superintendência Regional de Porto Alegre, 2006. Escala 1:750.000.

DOURADO, J.C. A utilização da sísmica na determinação de parâmetros elásticos de maciços rochosos e terrosos “in situ”. **Publicações de artigos técnicos da ABGE**, São Paulo, n.8, 12 p, 1984.

ELIS, Vagner Roberto. **Método sísmico**. Instituto de Astronomia Geofísica e Ciência Atmosféricas da Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://www.iag.usp.br/siae98/geofisica/geofmetodos.htm>>. Acesso em: abril de 2015.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. – Rio de Janeiro : EMBRAPA-SPI, 2006.

FLETCHER, G.F.A. Standard Penetration Test: It's Uses and Abuses, Clousere at Discussion, **Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division**. ASCE, v. 91, n. SM4, 1965.

GANDOLFO, O. C. B.; ELIS, V. R.; SANCEVERO, S. S. A geofísica como ferramenta na investigação do meio físico: aplicações em meio ambiente, engenharia e na prospecção de petróleo. In: Anuário do Instituto de Geociências, v. 26, 2003, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos**. Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <<http://www.sbpnet.org.br/livro/60ra/textos/MR-Geofisica.pdf>>. Acesso em: abril 2015.

GIACHETI, H. L. **Estudo Experimental de Parâmetros Dinâmicos de Alguns Solos tropicais do Estado de São Paulo**. Tese de doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos. 1991, 232 p.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. **Geofísica de exploração**. São Paulo: Oficina de textos, 2009. Tradução de Maria Cristina Moreira Coelho.

LIMA JÚNIOR, S.B. **Emprego das ondas Rayleigh visando à caracterização geotécnica de solos superficiais de encosta numa área teste em Ubatuba/ SP**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. 81 p.

LIMA JÚNIOR, S. B. et al. Inversão conjunta de Ondas Rayleigh através da técnica MASW na avaliação de áreas susceptíveis a deslizamentos de terra. **Revista de Geologia**, Fortaleza, v. 01, p. 31-47, 2013.

MARANGON, M., **Apostila Geotecnia de Fundações**. Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/GF03-Par%C3%A2metros-dos-Solos-para-C%C3%A1culo-de-Funda%C3%A7%C3%B5es.pdf>>. Acesso em: setembro 2015

MOHR, H.A. Discussion on "Standard Penetration Test: It's Use and Abuse. **Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division**. ASCE, v. 92. n. SM1, 1966.

NARDI, L.V.S.; BITENCOURT, M. F. A. S. Geologia, petrologia e geoquímica do Complexo Granítico de Caçapava do Sul, RS. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 19, p. 153–169, 1989.

ODEBRECHT, E. **Medidas de Energia no Ensaio SPT**. Doutorado em Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

PARK, C.B.; MILLER, R.D.; XIA, J. Multichannel analysis of surface waves. **Geophysics**, v. 64, n. 3, p. 800-808, 1999.

RAMGRAB, G.E.; WILDNER, W.; CAMOZZATO, E. **Mapa Geológico da Folha Porto Alegre SH.22-Y-B**. Brasília, CPRM, Programa de Levantamentos Geológicos Básicos, 144p. 1997.

REMUS, M. V. D. et al. SHRIMP U/Pb Dating at 2448 Ma of the Oldest Igneous Rock in Southern Brazil: Identification of the Westernmost Border of the Dom Feliciano

Belt. In: SBG Symposium-Archean Terranes of the South American Platform, 1996, Brasília. **Anais**. Brasília, 1996, p. 67–69.

REYNOLDS, J. M. **An Introduction to Applied and Environmental Geophysics**. Chichester, Inglaterra: John Willey & Sons, 1997.

RIGOTI, F.H. **Análise espectral de ondas sísmicas de superfície determinando Vs em apoio à investigações geotécnicas**. Dissertação de Graduação, Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2015. 58p.

SARTORI, P. L. P.; KAWASHITA, K. Petrologia e Geocronologia do Batólito Granítico de Caçapava do Sul, RS. In: II Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, 1985, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis, 1985, p. 102–107.

SCHNAID, F. **Ensaio de Campo e suas Aplicações à Engenharia de Fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

SOUZA, L. A. P.; GANDOLFO, O. C. B. Métodos Geofísicos em geotecnia e geologia ambiental. **Revista Brasileira de Geologia e Engenharia e Ambiental**, v. 2, n. 2, p. 10-27, maio 2012.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2 ed. Porto Alegre: Emater/RS, 2008, 222 p.

TEIXEIRA, A. H. A Padronização de Sondagens de Simples Reconhecimento. In: V Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, 1974, São Paulo. **Anais**. São Paulo, 1974, v. 3.

TEIXEIRA, A. H.; GODOY, N. S. Análise, projeto e execução de fundações rasas. In: HACHICH et. al. (eds.). **Fundações: teoria e prática**. São Paulo: PINI, 1996. cap. 7, p. 227-264.

TURK, N.; DEARMAN, W.R. Assessment of grouting efficiency in a rock mass in terms of seismic velocities. **Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.**, v. 36, p. 101–108, 1987.

ANEXO

Anexo 1

Índice de SPT iniciais		Índice SPT finais		Revestimento	Método cravação	Cota relação R.N.	Cota do N.A.	Amostras	Prof. Camadas (m)	Relatório de Sondagem		Nº OS 33555795							
										Furo SP 01 Cota 99,91 SPT - Standart Penetration Test Camadas - Classificação dos solos		N° de golpes/ 30 cm _____ 30 cm finais - - - - - 30 cm iniciais 10 20 30 40							
13	19					0		1	1,60	Argila arenosa, cor vermelha, consistência rija									
12	18						2	2,60	Argila arenosa, cor variegada, consistência rija										
13	20						3		Argila muito arenosa, cor variegada, consistência rija a dura										
22	27			95		4													
33	35						5		Silte muito arenoso, cores preto e cinza, compacta a muito compacta										
30	38					6	6,00												
48	49						7		Limite de sondagem - Impenetrável ao Trépano										
90						8													
90						90		9	8,97										
								10											
								11											
								12											
								13											
								14											
								15											
								16											
								17											
								18											
								19											
								20											
								21											
								22											
								23											
								24											
								25											
								26											
								27											
								28											
								29											
								30											
				Profundidade nível d'água				Amostrador				Revestimento Ø 2 3/8 "				Data			
				Inicial 8,50 m 13/03/2014				Ø interno 1 3/8 "				Peso 65,0 kg				Início 13/03/2014			
				Final m 14/03/2014				Ø externo 2 "				Altura de queda 75,0 cm				término 14/03/2014			
Obs:																0			
Sondador: Cristiano								Eng: Auro Jorge Schilling CREA/RS 62.249D				28/03/2014				Folha 01			

Não foi encontrado N.A.

Anexo 2

Índice de SPT iniciais	Índice SPT finais	Revestimento	Método cravação	Cota relação R.N.	Cota do N.A.	Amostras	Prof. Camadas (m)	Relatório de Sondagem		Nº OS 33555795
								Furo SP 02	Cota 99,86	
14	18			0		1		Nº de golpes/ 30 cm		
18	23			95		2		30 cm finais		
90						3		SPT - Standart Penetration Test		
90						4	3,85 4,20	Camadas - Classificação dos solos		
						5		Argila arenosa, cores vermelha e cinza, consistência rija		
						6		Argila fina pouco argilosa, cinza, muito compacta		
						7		Limite de sondagem - Impenetrável a Percussão		
				90		8				
						9				
				85		10				
						11				
						12				
						13				
				80		14				
						15				
						16				
						17				
						18				
				75		19				
						20				
						21				
						22				
						23				
						24				
						25				
						26				
						27				
						28				
				70		29				
						30				
				65						
Profundidade nível d'água						Amostrador	Revestimento	Ø 2 3/8 "	Data	
Inicial 3,80 m 13/03/2014						Ø interno 1 3/8 "	Peso 65,0 kg	Início 13/03/2014		
Final 2,00 m 14/03/2014						Ø externo 2 "	Altura de queda 75,0 cm	término 14/03/2014		
Obs:										0
Sondador: Cristiano						Eng: Auro Jorge Schilling CREA/RS 62.249D		28/03/2014		Folha 02

Anexo 3

Índice de SPT iniciais	Índice SPT finais	Revestimento	Método cravação	Cota relação R.N.	Cota do N.A.	Amostras	Prof. Camadas (m)	Relatório de Sondagem		N° OS 3355795	
								Furo SP 2A Cota 99,86		N° de golpes/ 30 cm	
								SPT - Standart Penetration Test		30 cm finais	
								Camadas - Classificação dos solos		10 --- 20 30 40	
								Argila arenosa, cor vermelha, pouco compacta a medianamente compacta		0	
								Silte arenoso, cores preto e cinza, pouco compacta		5	
								Limite de sondagem - Impenetravel a Percussão			
7	9			0		1	1,00				
27	60			95		2					
84				90		3	3,24				
				85		4					
				80		5					
				75		6					
				70		7					
				65		8					
						9					
						10					
						11					
						12					
						13					
						14					
						15					
						16					
						17					
						18					
						19					
						20					
						21					
						22					
						23					
						24					
						25					
						26					
						27					
						28					
						29					
						30					
Profundidade nível d'agua				Amostrador		Revestimento Ø 2 3/8 "		Data			
Inicial 3,00 m 13/03/2014				Ø interno 1 3/8 "		Peso 65,0 kg		Início 13/03/2014			
Final 2,00 m 14/03/2014				Ø externo 2 "		Altura de queda 75,0 cm		término 13/03/2014			
Obs:										0	
Sondador: Cristiano				Eng: Auro Jorge Schilling CREA/RS 62.249D		28/03/2014		Folha 03			

Anexo 4

Índice de SPT iniciais	Índice SPT finais	Revestimento	Método cravação	Cota relação R.N.	Cota do N.A.	Amostras	Prof. Camadas (m)	Relatório de Sondagem		N° OS 3355795	
								Furo SP 2B	Cota 99,86		
8	10			0		1	2,00	Argila arenosa, cor vermelha, consistência média a dura	N° de golpes/ 30 cm		
15	25					2			30 cm finais		
58	90			95		3		Silte arenoso, cores preto e cinza, medianamente compacta	30 cm iniciais		
90						4	5,10	Limite de sondagem - Impenetrável a Percussão			
90				90		5					
						6					
				85		7					
						8					
				80		9					
						10					
						11					
				75		12					
						13					
						14					
				70		15					
						16					
						17					
				65		18					
						19					
						20					
						21					
						22					
						23					
						24					
						25					
						26					
						27					
						28					
						29					
						30					
Profundidade nível d'água				Amostrador		Revestimento Ø 2 3/8 "			Data		
Inicial 4,00 m 24/03/2014				Ø interno 1 3/8 "		Peso 65,0 kg			Início 24/03/2014		
Final 3,20 m 25/03/2014				Ø externo 2 "		Altura de queda 75,0 cm			término 24/03/2014		
Obs:		0									
Sondador: Cristiano				Eng: Auro Jorge Schilling CREA/RS 62.249D				28/03/2014 Folha 04			

Anexo 5

Índice de SPT iniciais	Índice SPT finais	Revestimento	Método cravação	Cota relação R.N.	Cota do N.A.	Amostras	Prof. Camadas (m)	Relatório de Sondagem		N° OS 33555795
								Furo SP 03	Cota 99,75	
								SPT - Standart Penetration Test		N° de golpes/ 30 cm
								Camadas - Classificação dos solos		30 cm finais
										10 - - - - - 20 30 cm iniciais 40 5
18	28			0		1	1,00	Argila pouco arenosa, cores preta e vermelha, consistência rija a dura		
13	16					2		Argila pouco arenosa, cores vermelha e cinza, consistência rija a dura		
11	15					3				
24	33			95		4	4,00	Areia siltoosa, cores branca e rosa, compacta		
23	32					5				
63	85					6	7,00	Solo arenoso, preta variegada, muito compacta		
90						7	7,30	Limite de sondagem - Impenetrável a Percussão		
				90		8				
						9				
				85		10				
						11				
						12				
				80		13				
						14				
						15				
						16				
						17				
				75		18				
						19				
						20				
						21				
						22				
						23				
						24				
						25				
						26				
						27				
						28				
				70		29				
						30				
				65						
Profundidade nível d'água						Amostrador	Revestimento Ø 2 3/8 "	Data		
Inicial 7,00 m 25/03/2014						Ø interno 1 3/8 "	Peso 65,0 kg	Início 25/03/2014		
Final 6,00 m 26/03/2014						Ø externo 2 "	Altura de queda 75,0 cm	término 25/03/2014		
Obs:									0	
Sondador: Cristiano						Eng: Auro Jorge Schilling CREA/RS 62.249D			28/03/2014 Folha 05	

Anexo 6

Índice de SPT iniciais	Índice SPT finais	Revestimento	Método cravação	Cota relação R.N.	Cota do N.A.	Amostras	Prof. Camadas (m)	Relatório de Sondagem		Nº OS 33555795			
								Furo SP 04	Cota 99,75		Nº de golpes/ 30 cm	30 cm finais	
								SPT - Standart Penetration Test		10	20	30	40
								Camadas - Classificação dos solos					
5	7			0		1	2,00	Argila pouco arenosa, cor preta, consistência mole a dura					
24	36					2							
25	32			95		3		Argila pouco arenosa com pedregulho, cores vermelha e amarela, consistência dura					
26	38					4							
31	40					5	5,00	Silte arenoso, cor preta, muito compacta					
50						6							
90						7	7,46	Limite de sondagem - Impenetrável ao Trépano					
				90		8							
						9							
				85		10							
						11							
						12							
				80		13							
						14							
						15							
						16							
				75		17							
						18							
						19							
				70		20							
						21							
						22							
						23							
						24							
				65		25							
						26							
						27							
						28							
						29							
						30							
Profundidade nível d'água				Amostrador		Revestimento Ø 2 3/8 "				Data			
Inicial 7,40 m 25/03/2014				Ø interno 1 3/8 "		Peso 65,0 kg				Início 25/03/2014			
Final 5,60 m 26/03/2014				Ø externo 2 "		Altura de queda 75,0 cm				término 26/03/2014			
Obs:		0											
Sondador: Cristiano				Eng: Auro Jorge Schilling CREA/RS 62.249D				28/03/2014 Folha 06					

Anexo 7

Índice de SPT iniciais	Índice SPT finais	Revestimento	Método cravação	Cota relação R.N.	Cota do N.A.	Amostras	Prof. Camadas (m)	Relatório de Sondagem		N° OS 3355795	
								Furo SP 05	Cota 99,64	N° de golpes/ 30 cm	
								SPT - Standart Penetration Test		30 cm finais	
								Camadas - Classificação dos solos		10	20
										30	40
26	31			0		1	1,00	Argila pouco arenosa, cor preta, consistência dura			
15	23					2		Argila pouco arenosa, cor vermelha, consistência dura a média			
26	35			95		3	4,00				
11	12					4		Argila arenosa, cores preta e cinza, consistência rija			
16	17					5					
13	16					6	7,00	Silte arenoso com pedregulho, cores preta e cinza, medianamente compacta a compacta			
13	15			90		7	8,75				
15	32					8		Limite de sondagem - Impenetrável ao Trépano			
				85		9					
						10					
				80		11					
						12					
						13					
				75		14					
						15					
						16					
				80		17					
						18					
						19					
				70		20					
						21					
						22					
						23					
				75		24					
						25					
						26					
						27					
				70		28					
						29					
						30					
				65							
Profundidade nível d'agua				Amostrador		Revestimento Ø 2 3/8 "		Data			
Inicial 8,00 m 26/03/2014				Ø interno 1 3/8 "		Peso 65,0 kg		Início 26/03/2014			
Final 6,00 m 27/03/2014				Ø externo 2 "		Altura de queda 75,0 cm		término 26/03/2014			
Obs:										0	
Sondador: Cristiano				Eng: Auro Jorge Schilling CREA/RS 62.249D		28/03/2014		Folha 07			

Anexo 8

Unidades usuais de conversão	
1 KPa	1 KN/m ²
1 t/m ²	10 KPa
1 t/m ²	1 KN/m ²
1 Kg/cm ²	10 t/m ²
1 Kg/cm ²	100 KPa
1 MPa	1000 KPa
1 MPa	10 Kg/cm ²
1 t/ft ²	107,3 KN/m ²
1 KN	1000 N
1 KN	0,1 t
1 Kg	9,81 N
