

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA OCEÂNICA

**INVENTÁRIO E ANÁLISE DOS PARÂMETROS  
GEOTÉCNICOS DA ARGILA SILTOSA PROFUNDA DA  
REGIÃO PORTUÁRIA DE RIO GRANDE**

Cristina Lemos Goularte

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica da Universidade do Rio Grande, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Oceânica.

Orientador: Cláudio Renato Rodrigues Dias  
Co-orientador: Cezar Augusto Burkert Bastos

Rio Grande, maio de 2012.

APROVAÇÃO DA BANCA

*Este trabalho é dedicado a minha família, em especial a minha avó Ecila da Rosa Garcia (in memoriam).*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por sempre iluminar meus caminhos além de confortar meu coração.

Agradeço a minha família, em especial a meus Pais, pois me transmitiram todos os valores que embasam minha vida e minhas decisões.

Agradeço a meu marido, Celso Pedreira, que a sua maneira soube me incentivar a concluir mais esta etapa, e a pequena Giovanna, que soube me acompanhar e participar das tardes e noites de escrita, como uma pequena, grande colaboração.

Agradeço aos colegas do Laboratório de Geotecnia – FURG, destacando as colegas Eduarda Scott Hood, Patrícia Priebe de Farias e Paula Branco Pinto pela cooperação nos trabalhos realizados durante a pesquisa experimental.

Agradeço ao Professor Antônio Alves pelas orientações e pela sua sala, por vezes utilizadas para atendimento, bem como ao orientador Cláudio Dias, que compreensivamente analisava cada capítulo entregue, e posteriormente alterado – diversas vezes.

Com carinho especial agradeço ao co-orientador Prof. Cezar Bastos, pelas inúmeras horas de atendimento e discussões, pela dedicação e companheirismo durante a elaboração deste trabalho. Certamente parte desta titulação seria sua.

Não poderia deixar de mencionar meus colegas de serviço, que por inúmeras vezes escutaram o mesmo assunto, e sempre incentivaram o andamento deste trabalho, pois sabem a força de vontade necessária após horas de orçamentos e fiscalizações. Em especial agradeço uma colega e grande amiga – Rita Gnutzmann – pela dedicação e interesse durante as revisões, além da força agregada a conclusão final desta etapa – muito obrigada.

Não podia deixar de mencionar uma simples frase que, com certeza foi o grande impulso a conclusão deste trabalho, elaborado em conjunto com a jornada de trabalho, a família, a construção da casa e raramente os cavalos: “O difícil fazemos hoje, o impossível demora um pouquinho mais”.

## RESUMO

O presente trabalho apresenta um inventário e análise dos parâmetros geotécnicos da argila siltosa profunda da região portuária de Rio Grande, RS, especialmente na área do chamado Superporto. O estudo está embasado em dados obtidos para o solo desta região desde a década de 70 até o presente momento, especialmente importante devido aos investimentos na área de infraestrutura ocorridos no país nos últimos anos. O crescimento do número de obras portuárias proporcionou investigações geotécnicas, com os quais se pôde obter novos dados, possibilitando ampliar o conhecimento anterior. O trabalho desenvolveu-se a partir da compilação de dados provenientes de documentos que registram prospecções e análises anteriores e programas experimentais mais atuais, um dos quais, com os dados sistematizados para análise gráfica e estatística pelo Grupo de Pesquisa -FURG. Pode-se descrever o solo da região do Superporto como um perfil composto de quatro camadas: Uma camada de areia superficial com espessura em torno de 13m, sobre uma camada formada por várias sub-camadas alternadas entre areia e argila que apresentam espessuras desde poucos centímetros até 3 metros, englobando uma espessura total de 11 metros. A terceira camada foi caracterizada como argila siltosa com alguns veios de areia fina em alguns pontos, sendo identificada no intervalo de profundidade de 27m a 43m. A última camada, posterior aos 43m de profundidade, constituída de areia fina de média muito compacta. A variação dos parâmetros geotécnicos da argila siltosa foi analisada em relação à localização ao longo do canal do Superporto e também quanto à profundidade. Estatisticamente pode-se comprovar que 66% dos parâmetros analisados tem sua variação relacionada com a profundidade, enquanto apenas 44% dos parâmetros tem sua variação explicada pela localização. Comprovou-se ainda que 22% dos parâmetros analisados não possuem correlações explicadas por nenhuma das possibilidades anteriores. A análise dos dados compilados mostra, entre outros, que a maioria dos dados de razão de pré-adensamento encontra-se entre 1 e 2, caracterizando a argila siltosa como normalmente adensada a levemente pré-adensada. Já as correlações obtidas entre diferentes parâmetros dessa argila siltosa, praticamente em sua totalidade, foram consideradas moderadamente positivas, apresentando comportamento similar ao das argilas do Recife (Coutinho, 2001). Por outro lado, na análise de comportamento da argila do Porto Novo, pôde-se constatar certas diferenças, em relação ao Superporto, salientando-se que o subsolo naquela região apresenta-se menos argiloso e, por conseqüência, com menores teor de umidade natural, limite de liquidez, índice de vazios e compressibilidade.

## ABSTRACT

This study presents an inventory and analysis of the geotechnical parameters of a deep silty clay located at the port area of Rio Grande, RS, especially in the area of the so-called Superporto. The study is based on data obtained for the soil of this region since the 70's until now, and is especially important due to infrastructure investments in the country occurred in recent years. The growth of port projects provided geotechnical investigations, which made it possible to obtain new data, allowing to expand the previous knowledge. The work was developed from data compilation of surveys and documents that record previous analyses and current experimental programs, one of which, with the systematic data for statistical and graphical analysis by the Research Group-FURG. The Superporto area subsoil can be described as a profile composed of four layers: a superficial layer of sand with around 13m in thickness, over a layer formed by several sub-layers alternating between sand and clay presenting thicknesses from a few centimeters to 3 meters, comprising a total thickness of 11 meters. The third layer is characterized as silty clay with some fine grain sand in some points, being identified in depths ranging between 27m to 43m. The last layer, below 43m depth, consists of a very compact fine sand medium. The range of the geotechnical parameters values of the silty clay was related to the location along the Superporto channel and also to the depth. Statistically, it is possible to prove that 66% of the analyzed parameters have its variation related to depth, while only 44% of them have variation related to the location. It is also proved that 22% of the analyzed parameters are not explained by any of the preceding correlation possibilities. The analysis of the data collected shows, among others, that most of the pre-consolidated ratio data is between 1 and 2, characterizing the silty clay as normally consolidated to lightly overconsolidated. The correlations between different parameters of silty clay were considered moderately positive, showing similar behavior to the clays of Recife (Coutinho, 2001). On the other hand, the behaviour of the Porto Novo clay shows some differences, when compared to Superporto clay, stressing that the subsoil in that region has become less clayey and, consequently, with lower moisture natural content, liquidity edge, void ratio and compressibility.

## *Lista de Tabelas*

Tabela 2.1 - Classificação da sensibilidade de Rosenqvist (1953); adaptado por Mitchell (1976).....	26
Tabela 2.2 - Classificação do solo quanto a atividade da fração argila (Skempton, 1953).....	27
Tabela 2.3 - Características geotécnicas depósito de argilas moles marinhas brasileiras (LACERDA e ALMEIDA,1995).....	34
Tabela 2.4 - Parâmetros geotécnicos depósito argila (COUTINHO et al., 2001).....	38
Tabela 2.5 – Correlações estatísticas para Argilas de Recife (COUTINHO et al., 2001).....	38
Tabela 2.6 - Propriedades geotécnicas da cidade de Santos comparada a Baixada Santista (MASSAD, 2009).....	41
Tabela 2.7 - Resumo das propriedades geotécnicas da zona portuária de Santos (GONÇALVES, 2008; 2010).....	44
Tabela 2.8 - Resumo de propriedades geotécnicas de argilas moles do Rio de Janeiro.....	47
Tabela 2.9 – Correlações empíricas $C_c$ x $w$ para argilas moles do Rio de Janeiro.....	47
Tabela 2.10 - Parâmetros apresentados para camadas compressíveis.....	51
Tabela 2.11 – Correlações empíricas para o solo argiloso da BR101 (DRÖSEMAYER et. al., 2001).....	51
Tabela 3.1 - Características da argila siltosa - TECON (1993).....	58
Tabela 3.2 - Parâmetros de adensamento da argila siltosa – TECON (1993).....	58
Tabela 3.3 - Parâmetros adensamento argila siltosa – Região 1.....	59
Tabela 3.4 - Características de Identificação da areia-argilosa - Região 2 (DIAS et al., 2000).....	64
Tabela 3.5 - Parâmetros de adensamento da areia argilosa – Região 2 (DIAS et al., 2000)....	65
Tabela 3.6 - Resultados dos ensaios de resistência ao cisalhamento da areia argilosa – Região 2 (DIAS et al., 2000).....	65
Tabela 3.7 - Ensaios de caracterização dos Solos Moles Superficiais - Região 2.....	67
Tabela 3.8 - Parâmetros de adensamento dos solos superficiais – Região 2.....	68
Tabela 3.9 – Resultados de ensaios de resistência ao cisalhamento – Região 2.....	68
Tabela 3.10 - Resultados dos ensaios de caracterização (Pedreira, 2000).....	70
Tabela 3.11 - Parâmetros de adensamento (Pedreira, 2000).....	71
Tabela 3.12 - Dados de resistência não drenada – ensaios de piezocone (Pedreira, 2000).....	71
Tabela 4.1 - Valores de $S_u$ da camada C a partir dos resultados de piezocone (Dias et. al 2008).....	77

Tabela 4.2 Dados geotécnicos - Terminal Derivados de Petróleo (TERIG).....	88
Tabela 4.3 - Dados geotécnicos - Terminal de Fertilizantes (TREVO).....	88
Tabela 4.4 – Dados geotécnicos - Estaleiro Rio Grande (DIQUE SECO) .....	89
Tabela 4.5 – Dados geotécnicos - Terminal de Trigo e Soja (TTS).....	89
Tabela 4.6 – Dados geotécnicos - Terminal de Containers (TECON).....	90
Tabela 4.7 – Dados geotécnicos - Molhes da Barra (MOLHES).....	90
Tabela 5.1 - Análise estatística em função da localização e profundidade da amostra.....	111
Tabela 5.2 – Algumas das correlações citadas por autores internacionais.....	112
Tabela 5.3 – Algumas das correlações citadas por autores nacionais .....	112
Tabela 5.4 - Correlação entre parâmetros geotécnicos da argila siltosa profunda do Superporto de Rio Grande.....	118
Tabela 5.5 - Relações da compressibilidade e da resistência ao cisalhamento não drenada com parâmetros de consistência, suas equações e graus de correlações - Superporto de Rio Grande .....	122
Tabela 5.6 - Relações entre parâmetros de compressibilidade, índice de vazios e teor de umidade natural , suas equações e graus de correlações - Superporto de Rio Grande...	125

## *Lista de Figuras*

Figura 1.1 - Área portuária cidade de Rio Grande - Superporto, Porto Novo e Porto Velho. Fonte: software Google Earth, 2010. ....	19
Figura 2.1 - Arranjo estrutural das partículas (a) dispersa (b) floculada (MITCHELL, 1976)	25
Figura 2.2 - Amostrador de parede fina do tipo Osterberg .....	31
Figura 2.3 - Mapa do Brasil identificando os locais pesquisados .....	35
Figura 2.4 - Recife - Esboço do relevo (COUTINHO et al., 2001) .....	36
Figura 2.5 – Estado de São Paulo – Localização Santos e Baixada Santista (MASSAD, 2009) .....	40
Figura 2.6 - Localização do Estuário – Acesso Portuário de Santos.....	43
Figura 2.7 - Perfil geotécnico da orla santista - lado mar - adaptado de Teixeira (1994) por Massad (2003) e por Dias M. (2008), complementado.....	44
Figura 2.8 - Perfil geotécnico da orla santista - lado terra - adaptado de Teixeira (1994) por Massad (2003) e por Dias M. (2008), complementado.....	45
Figura 2.9 - Localização do estado do Rio de Janeiro .....	45
Figura 2.10 - Localização do Estado de Santa Catarina.....	48
Figura 2.11 - Perfil geotécnico do Porto de Navegantes.....	50
Figura 3.1 - Perfil esquemático (W-E) transversal aos sistemas deposicionados da Planície Costeira do Rio Grande do Sul TOMAZELLI et al. (2005). ....	53
Figura 3.2 – Localização área urbana da cidade de Rio Grande. Em primeiro plano visualiza- se o centro da cidade, a esquerda o Porto Novo e acima pode-se ver a ponte dos franceses cruzando o Saco da Mangueira onde tem início a região do Superporto. Fonte: software Google Earth – novembro 2011. ....	55
Figura 3.3 - Região 01 - Superporto de Rio Grande .....	57
Figura 3.4 – Perfil Geotécnico para o Superporto de Rio Grande, do Ginásio CTI- FURG (norte) até os Molhes da Barra (sul). (DIAS et al., 2008).....	60
Figura 3.5 - Vista aérea obra ampliação dos Molhes - Leste e Oeste .....	61
Figura 3.6 - Região 2 – Porto Novo, Duque de Caxias, Rua General Vitorino e Saco da Mangueira.....	62
Figura 3.7 - - Região 2 – Porto Novo, construído no início do século passado. ....	62
Figura 3.8 - Perfil Longitudinal lado de terra - Porto Novo (DIAS et al., 2000).....	63
Figura 3.9 - Perfil Longitudinal lado de mar - Porto Novo (DIAS et al., 2000).....	64
Figura 3.10 - Localização das sondagens superficiais - Região 2.....	67

Figura 3.11 - Localização da Região 3 .....	69
Figura 3.12 - Localização das áreas estudadas na região 3.....	70
Figura 4.1 - Localização Estaleiro Rio Grande - Dique Seco .....	74
Figura 4.2 - Distribuição das sondagens tipo SPT e ensaios CPTU realizados no empreendimento (modificado de SCHULER, 2007) .....	75
Figura 4.3 - Perfil representativo do subsolo da obra do Estaleiro Rio Grande com valores médios do $N_{SPT}$ (DIAS et al.,2008) .....	76
Figura 4.4 - Escavação do Dique Seco do Estaleiro Rio Grande.....	78
Figura 4.5 - Retirada dos blocos de amostras indeformadas – Dique Seco do Estaleiro Rio Grande .....	79
Figura 4.6 - Bloco coletado para realização de ensaios no processo de seccionamento dos volumes menores.....	80
Figura 4.7 - Instalações da Transpetro no Superporto de Rio Grande .....	81
Figura 4.8 - Obtenção das amostras por tubos Shelby no sítio da Transpetro – .....	81
Figura 4.9 - Esquema da célula de compressão oedométrica (PINTO, 2000) .....	83
Figura 4.10 - Corpo de prova para o ensaio de adensamento (o material claro corresponde a irregulares e descontínuos veios de areia muito fina presentes na amostra).....	83
Figura 4.11 - Prensa oedométrica do Laboratório de Geotecnia e Concreto da FURG.....	84
Figura 4.12 - Moldagem de corpo de prova para cisalhamento direto (camada argilosa - material escuro; lente de areia - material claro). (Bastos et. al 2009 – Geo-RS).....	85
Figura 4.13 - Esquema do equipamento para ensaio de cisalhamento direto (modificado de PINTO, 2000).....	85
Figura 4.14 - Equipamento de cisalhamento direto do Laboratório de Geotecnia e Concreto da FURG .....	86
Figura 4.15 - Localização sítios estudados - Superporto .....	87
Figura 5.1 – Perfil estratigráfico do Superporto de Rio Grande (Modificado de DIAS et al., 2010).....	94
Figura 5.2– Teor de argila x localização (Superporto de Rio Grande) .....	95
Figura 5.3– Teor de argila x profundidade (Superporto de Rio Grande).....	96
Figura 5.4– Teor de umidade natural x localização (Superporto de Rio Grande) .....	97
Figura 5.5– Teor de umidade natural x profundidade (Superporto de Rio Grande) .....	98
Figura 5.6– Limite de liquidez x localização (Superporto de Rio Grande) .....	99
Figura 5.7– Limite de liquidez x profundidade (Superporto de Rio Grande).....	99
Figura 5.8– Índice de plasticidade x localização (Superporto de Rio Grande).....	100

Figura 5.9– Índice de plasticidade x profundidade (Superporto de Rio Grande) .....	101
Figura 5.10– Índice de vazios x localização (Superporto de Rio Grande).....	102
Figura 5.11– Índice de vazios x profundidade (Superporto de Rio Grande) .....	102
Figura 5.12– Índice de compressão x localização (Superporto de Rio Grande).....	103
Figura 5.13– Índice de compressão x profundidade (Superporto de Rio Grande).....	104
Figura 5.14– Relação $C_c/(1+e_0)$ x localização (Superporto de Rio Grande) .....	105
Figura 5.15– Relação $C_c/(1+e_0)$ x profundidade (Superporto de Rio Grande).....	105
Figura 5.16– Razão de pré-adensamento x localização (Superporto de Rio Grande).....	106
Figura 5.17– Razão de pré-adensamento x profundidade (Superporto de Rio Grande) .....	107
Figura 5.18– Resistência não drenada x localização (Superporto de Rio Grande).....	108
Figura 5.19– Resistência não drenada x profundidade (Superporto de Rio Grande).....	108
Figura 5.20 - Razão de resistência do solo x localização (Superporto de Rio Grande).....	109
Figura 5.21 - Razão de resistência do solo x profundidade (Superporto de Rio Grande).....	110
Figura 5.22 - Teor de argila x umidade natural (Superporto de Rio Grande) .....	114
Figura 5.23 - Teor de argila x limite de liquidez (Superporto de Rio Grande).....	115
Figura 5.24 - Teor de argila x limite de plasticidade (Superporto de Rio Grande).....	115
Figura 5.25 - Teor de argila x índice de plasticidade (Superporto de Rio Grande) .....	116
Figura 5.26 - Teor de argila x índice de compressão (Superporto de Rio Grande) .....	116
Figura 5.27 - Teor de argila x índice de vazios (Superporto de Rio Grande) .....	117
Figura 5.28 - Teor de argila x relação $C_c/(1+e_0)$ (Superporto de Rio Grande).....	117
Figura 5.29 - Limite de liquidez x índice de compressão (Superporto de Rio Grande).....	119
Figura 5.30 - Índice de plasticidade x índice de compressão (Superporto de Rio Grande)...	119
Figura 5.31 - Limite de liquidez x relação $C_c/(1+e_0)$ (Superporto de Rio Grande).....	120
Figura 5.32 - Índice de plasticidade x relação $C_c/(1+e_0)$ (Superporto de Rio Grande) .....	120
Figura 5.33 - Índice de plasticidade x resistência ao cisalhamento não drenada – $S_u$ (Superporto de Rio Grande) .....	121
Figura 5.34 - Índice de plasticidade x $S_u/\sigma'v_0$ (Superporto de Rio Grande).....	121
Figura 5.35- Teor de umidade natural x $C_c/(1+e_0)$ (Superporto de Rio Grande).....	123
Figura 5.36 - Teor de umidade natural x índice de compressão (Superporto de Rio Grande).....	123
Figura 5.37 – Teor de umidade natural x índice de vazios (Superporto de Rio Grande).....	124
Figura 5.38 - Índice de vazios x índice de compressão (Superporto de Rio Grande).....	124
Figura 5.39 - Teor de argila x profundidade (Porto Novo x Superporto de Rio Grande) .....	128
Figura 5.40 – Teor de umidade natural x profundidade (Porto Novo e Superporto de Rio Grande).....	128

Figura 5.41 - Limite de liquidez x profundidade (Porto Novo e Superporto de Rio Grande)	129
Figura 5.42 - Índice de vazios x profundidade (Porto Novo e Superporto de Rio Grande)...	129
Figura 5.43 - Índice de compressão x profundidade (Porto Novo e Superporto de Rio Grande)	
.....	130
Figura 5.44 - Razão de pré-adensamento x profundidade (Porto Novo e Superporto de Rio Grande).....	130
Figura 5.45 - Resistência ao cisalhamento x profundidade (Porto Novo e Superporto de Rio Grande).....	131
Figura 5.46 – Teor de umidade natural de solos argilosos ao longo da costa brasileira .....	132
Figura 5.47 – Limite de liquidez de solos argilosos ao longo da costa brasileira.....	133
Figura 5.48 – Índice de plasticidade de solos argilosos ao longo da costa brasileira .....	133
Figura 5.49 – Índice de compressão de solos argilosos ao longo da costa brasileira.....	134
Figura 5.50 – Índice de vazios ao longo da costa brasileira.....	134
Figura 5.51 – Razão de pré-adensamento ao longo da costa brasileira.....	135
Figura 5.52 – Resistência ao cisalhamento não drenada de solos argilosos ao longo da costa brasileira .....	135

### ***Lista de Símbolos***

C <sub>c</sub> -	índice de compressão
CIU -	ensaio triaxial consolidado isotropicamente e não drenado
CPTU -	ensaio de piezocone
CR -	relação de recompressão
C <sub>s</sub> -	índice de recompressão
e -	índice de vazios
e <sub>0</sub> -	índice de vazios inicial
E <sub>v</sub> -	modulo de Young não-drenado
G -	modulo cisalhante
G <sub>u</sub> -	modulo cisalhante de carregamento e descarregamento
IP -	índice de plasticidade
k <sub>0</sub> -	coeficiente de empuxo no repouso
LL -	limite de liquidez
LP -	limite de plasticidade
MO -	teor de matéria orgânica
NA -	normalmente adensada
OCR -	razão de pré-adensamento
PA -	pré-adensada
R <sup>2</sup> -	Coefficiente de Determinação
Su/σ' <sub>vo</sub>	Razão de Resistência
SPT -	<i>Standart Penetration Test</i>
S -	grau de saturação
St	é a sensibilidade;
Su	é a resistência ao cisalhamento não drenada indeformada;
Sur	é a resistência ao cisalhamento não drenada amolgada.
w -	teor de umidade
Z -	profundidade
γ <sub>nat</sub> -	peso específico natural
σ' <sub>vo</sub> -	tensão media efetiva de campo
σ' <sub>vm</sub> -	tensão média pré-adensamento

## **Sumário**

1	Introdução.....	17
1.1	Contextualização do Tema de Pesquisa .....	17
1.2	Objetivos da Pesquisa.....	18
1.2.1	Objetivo geral .....	18
1.2.2	Objetivos Específicos .....	18
1.3	Estrutura da pesquisa.....	19
1.4	Local de Estudo .....	20
1.5	Organização da dissertação .....	21
2	Considerações gerais sobre solos argilosos.....	22
2.1	Origem e formação geológica dos solos moles .....	22
2.2	Propriedades dos solos moles.....	24
2.2.1	Composição mineralógica .....	24
2.3	Amostragem de solos argilosos.....	27
2.3.1	Extração de blocos .....	28
2.3.2	Extração de tubos de paredes finas .....	29
2.3.3	Representatividade e perturbação das amostras .....	32
2.4	Estudos e parâmetros obtidos em argilas costeiras .....	32
2.4.1	Recife – Geologia e formação do depósito .....	36
2.4.2.	Santos – Geologia e formação do depósito .....	39
2.4.3.	Rio de Janeiro – Geologia e formação do depósito.....	45
2.4.4	Santa Catarina – Geologia e formação do depósito .....	48
3	Geologia e Geotecnia dos Solos da Cidade de Rio Grande: Uma Revisão.....	52
3.1	Geologia da planície costeira do Rio Grande do Sul .....	52
3.2	Geologia e geotecnia de Rio Grande.....	54
3.2.1	Identificação das regiões com depósitos argilosos.....	56
4	Materiais e Métodos .....	72
4.1	Levantamento e análise de ensaios anteriormente produzidos em rio Grande .....	72

4.2	Levantamento e análise dos ensaios de campo – Sondagens SPT realizadas na área de estudo.....	72
4.3	Revisão bibliográfica de estudos geotécnicos produzidos ao longo da costa brasileira .....	73
4.4	Programa experimental de investigação geotécnica.....	73
4.4.1	Sítios dos programas experimentais cujos dados foram incorporados a pesquisa	74
4.4.2	Origem (obtenção) das amostras para ensaios de laboratório utilizadas nos programas experimentais.....	78
4.5	Síntese dos dados utilizados nesta pesquisa .....	86
4.6	Métodos de Análise .....	91
5	Resultados e Discussão .....	92
5.1	Parâmetros geotécnicos do Superporto de Rio Grande.....	92
5.1.1	Teor de argila .....	95
5.1.2	Teor de umidade natural.....	96
5.1.3	Limite de liquidez.....	98
5.1.4	Índice de Plasticidade.....	100
5.1.5	Índice de Vazios .....	101
5.1.6	Índice de Compressão .....	103
5.1.7	Relação $C_c/(1+e_0)=CR$ .....	104
5.1.8	Razão de Pré-Adensamento .....	106
5.1.9	Resistência ao Cisalhamento Não Drenada.....	107
5.1.10	Síntese da análise estatística da variação dos parâmetros geotécnicos ao longo da camada argilosa profunda.....	110
5.2	Correlações entre Parâmetros Geotécnicos para o Superporto de Rio Grande.....	112
5.2.1	Correlações citadas na bibliografia .....	112
5.2.2	Parâmetros físicos e de compressibilidade em função do teor de argila.....	113
5.2.3	Compressibilidade e resistência não drenada em função dos parâmetros de consistência .....	118
5.2.4	Correlação entre compressibilidade, índice de vazios e teor de umidade natural	122
5.3	Comparações entre correlações obtidas para Rio Grande e as citadas por diversos autores. ....	125

5.4	Parâmetros geotécnicos do Porto Novo .....	126
5.5	Parâmetros geotécnicos do solo argiloso do Superporto de rio Grande frente a outros locais da costa Brasileira .....	131
6	Conclusões .....	136
6.1	Sugestões para trabalhos futuros .....	139
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFCAS .....	140
	Anexo A .....	148
	Apêndice A.....	170

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA DE PESQUISA

Construções portuárias são obras de infraestrutura de grande porte, de especial importância socioeconômica e tecnológica para região em que estão inseridas. A instalação de uma estrutura portuária marítima, ou empreendimentos que são a ela vinculados, normalmente localizados em áreas litorâneas, às margens de rios ou canais, encontra, em geral, um subsolo que possui estratigrafia complexa, composta por camadas de argila e areia, com diferentes espessuras e posições, conforme sua localização e formação geológica.

Estas obras combinam esforços expressivos com condições de subsolo desfavoráveis, necessitando de grandes campanhas de investigação geotécnica. Geralmente, nos subsolos envolvidos, há ocorrência de argilas moles, um material de baixa capacidade de suporte e grande compressibilidade.

Na cidade de Rio Grande, no estado do Rio Grande do Sul, está localizado o único porto marítimo desse estado, sendo considerado o segundo mais importante porto do país para o desenvolvimento do comércio internacional brasileiro, com sua principal estrutura portuária, denominada de Superporto de Rio Grande, instalada ao longo de um canal com aproximadamente 12 km de extensão que interliga a desembocadura da Laguna dos Patos ao Oceano Atlântico.

Os primeiros estudos envolvendo o subsolo no Superporto datam a década de 70, visando a implantação das primeiras grandes instalações. Desde aquela época, somente agora, com a criação e expansão do pólo naval e o crescimento de obras industriais na área, ocorre um novo impulso a estudos geotécnicos, possibilitando, durante os programas de investigação, a obtenção de amostras para ensaios de laboratório, bem como a execução de alguns ensaios de campo, o que contribui para a ampliação do conhecimento sobre os solos que compõem a região portuária de Rio Grande.

Esta dissertação se origina do propósito de reunir e analisar as informações decorrentes dos ensaios geotécnicos de laboratório realizados com a chamada *argila siltosa profunda*, presente no perfil de subsolo ao longo do Superporto de Rio Grande. Com esse estudo pretende-se contribuir para a caracterização e definição de parâmetros de

comportamento geotécnico para este material, que se entende ser de suma importância para projetos de Engenharia presentes e futuros relacionados à área portuária da região.

## **1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Atualmente detém-se um grande número de dados obtidos para o solo de Rio Grande, desde a década de 1970, sendo alguns já publicados e outros não. Por esta razão, o objetivo geral desta pesquisa consiste em reunir e sistematizar os dados geotécnicos de ensaios de laboratório realizados com amostras da camada de argila siltosa profunda obtidas na cidade do Rio Grande, em especial nas áreas do Superporto e Porto Novo, visando ampliar e atualizar o conhecimento já produzido nas regiões de estudo e compará-los com dados do Porto Novo, bem como apresentá-los em conjunto a outros locais da costa brasileira.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Como objetivos específicos desta pesquisa, e que contribuem para o objetivo geral, se pode destacar:

- Reunir e sistematizar informações acerca das propriedades dos solos argilosos e parâmetros geotécnicos destes solos ocorrentes em alguns locais ao longo da costa brasileira;
- Compilar, a partir da análise documental associada à análise estatística, os parâmetros geotécnicos da região portuária de Rio Grande, produzidos no período compreendido entre a década de 1970 e 2009;
- Agregar novos parâmetros a partir de campanhas geotécnicas realizadas a partir de 2008, para o solo da camada argilosa profunda presente na área portuária da cidade de Rio Grande;
- Analisar os parâmetros geotécnicos obtidos ao longo do canal do Superporto de Rio Grande, desde a ponte dos Franceses até os Molhes da Barra (Figura 1.1), em função de sua localização e profundidade, e correlacioná-los;

- Refinar e reeditar o perfil estratigráfico longitudinal existente para o Superporto de Rio Grande, apresentado por Dias et al. (2010), ratificando ou alterando-o a partir da reanálise de perfis compilados;
- Apresentar junto aos parâmetros obtidos para o solo argiloso, em especial a camada de argila siltosa profunda existente no Superporto de Rio Grande, com os solos argilosos existentes em alguns pontos da costa brasileira.



Figura 1.1 - Área portuária cidade de Rio Grande - Superporto, Porto Novo e Porto Velho.  
Fonte: software Google Earth, 2010.

### 1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA

A pesquisa foi dividida em quatro etapas, sendo a primeira uma revisão bibliográfica geral sobre propriedades dos solos argilosos e parâmetros geotécnicos destes solos presentes ao longo da costa brasileira.

A segunda etapa consistiu em uma revisão bibliográfica reunindo parâmetros geotécnicos para diversos locais ao longo do canal do Superporto da Cidade de Rio Grande. O

maior número de informações, ou dados geotécnicos, foram reunidos para a camada de argila siltosa profunda, chamada de camada “C” por Dias et al. (2008), tanto a partir das campanhas geotécnicas mais antigas quanto das mais recentes.

Na terceira etapa foi realizada a análise destes dados, sendo os parâmetros obtidos para o Superporto reunidos na forma gráfica e apresentados conforme sua localização e profundidade ao longo do canal. Compõe juntamente esta etapa a análise estatística destes parâmetros verificando a relação com sua posição. Esta posição foi referenciada de acordo com a localização da obtenção da amostra ao longo do canal, desde a Ponte dos Franceses aos Molhes da Barra, bem como com sua profundidade em relação à superfície do terreno. Outra análise estatística nesta etapa buscou correlacionar os parâmetros geotécnicos entre si, comparando com relações clássicas estabelecidas na bibliografia para outros solos argilosos.

Na última etapa procurou-se comparar os parâmetros obtidos para a região portuária de Rio Grande com alguns outros publicados para solos ao longo da costa brasileira, possibilitando algumas conclusões com relação ao comportamento geotécnico dos solos argilosos profundos de Rio Grande na comparação com solos presentes em diferentes locais da costa brasileira. Esta análise torna-se importante quando da tomada de decisão frente à possibilidade de extrapolação de soluções de Engenharia para a região portuária de Rio Grande.

#### **1.4 LOCAL DE ESTUDO**

A área portuária da cidade de Rio Grande, atualmente compreende três portos: Porto Velho, Porto Novo e Superporto (Figura 1.1).

O Porto Velho de Rio Grande, tem sido utilizado desde a fundação da cidade (1737). Foram instalados, em sua bacia de evolução, entrepostos da indústria de pescados, alguns desativados atualmente.

O Porto Novo possui um calado de 31 pés e um cais de aproximadamente 2 km de extensão, e foi construído na primeira década do século passado, tendo sua área de retroporto localizada em uma região outrora pantanosa. Um extenso aterro do retroporto (terrapleno oeste) permitiu a instalação de diversas indústrias e alguns bairros da cidade.

O Superporto de Rio Grande, instalado na década de 70 do século passado, situa-se ao longo do bordo oeste do canal de desembocadura da Laguna dos Patos no Oceano Atlântico, estendendo-se cerca de 12 km desde a ponte sobre a Ponte dos Franceses até a raiz

do molhe oeste da Barra do Rio Grande, no sentido norte-sul. Possui um complexo portuário reunindo uma série de terminais privados, acompanhado de um parque industrial na área retroportuária.

O escopo desta pesquisa compreende a camada de argila siltosa profunda presente no subsolo portuário da cidade de Rio Grande, em particular no Superporto e no Porto Novo.

## **1.5 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

A dissertação está dividida em 6 capítulos, descritos a seguir, em seqüência à esse Capítulo 1 - Introdução.

No Capítulo 2 - Considerações gerais sobre solos argilosos, é apresentada uma revisão bibliográfica do principal assunto referente a esta dissertação - solos argilosos, especialmente em relação aos parâmetros geotécnicos referentes a esse tipo de solo e destacando-se alguns pontos da costa brasileira com descrição sucinta acerca destes locais.

No Capítulo 3- Geotecnia do solo de Rio Grande – Em uma revisão, aprofunda-se a descrição geotécnica do local de estudo. Serão apresentados os parâmetros obtidos em várias campanhas, antigas e recentes, representando o conhecimento existente para o solo argiloso encontrado em diversos pontos ao longo da região portuária da cidade de Rio Grande.

Em seqüência, no Capítulo 4 - Materiais e Métodos, é descrito a obtenção de resultados em campanhas geotécnicas recentes, bem como a localização dos locais estudados e a compilação dos dados referentes a cada local.

Já no Capítulo 5 –Resultados, uma análise estatística é apresentada, procurando demonstrar o comportamento dos parâmetros geotécnicos compilados ao longo do perfil estratigráfico, referenciados segundo a localização e profundidade, bem como entre si.

No último capítulo é apresentada a conclusão da dissertação. Neste mesmo capítulo é feita uma análise comparativa dos parâmetros geotécnicos obtidos para o solo argiloso de Rio Grande frente aos parâmetros compilados para alguns locais ao longo da costa brasileira, finalizando com sugestões para futuras pesquisas nesta área.

## **2 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE SOLOS ARGILOSOS**

Neste capítulo é apresentada uma revisão sucinta sobre características geotécnicas das argilas moles, com ênfase em solos de áreas portuárias, de retroáreas e de faixas litorâneas ao longo da costa brasileira. Essa revisão acerca das prospecções realizadas, obtenção de dados e conclusões envolvendo estes locais de estudo, possibilitarão o estudo comparativo, apresentado ao longo do trabalho, com o solo argiloso portuário da cidade de Rio Grande.

### **2.1 ORIGEM E FORMAÇÃO GEOLÓGICA DOS SOLOS MOLES**

“*Solos moles*” podem ser definidos como depósitos de solos de granulometria fina, com predominância de partículas siltsas ou argilosas, plásticos, e do ponto de vista geológico de formação recente, correspondente ao período Quaternário.

Segundo Massad (2009), há 10 mil anos o descongelamento das geleiras provocou uma elevação significativa no nível do mar, encobrendo os vales e planícies litorâneas. Esta variação relativa obteve sua amplitude máxima de 5 m na costa da Bahia, período de aproximadamente 5100 anos atrás, época em que grande parte do litoral brasileiro esteve submerso, ocorrendo após, períodos de regressão finalizados por uma fase de estabilização até o nível que hoje conhecemos.

Com as fases de submersão ocorreram formações de ilhas acrescidas de cordões de areia que, durante a transgressão do nível do mar, formaram lagunas com ligações a rios, proporcionando a deposição de areias e argilas. Com a estabilização do processo, as lagunas secaram forçando os rios a depositarem o material em suspensão diretamente no mar.

Com as fases de transgressão e regressão do nível marinho, o depósito das partículas de solo ocorreu de forma alternada entre camadas de argila e areia conforme a estabilização do processo, sendo recobertas por cordões de areia na maior parte da costa brasileira.

Segundo Sandroni (1980), podem ser identificados diversos ambientes de deposição que influenciam o tipo de depósito a ser formado, tais como, os fluviais, deltaicos-fluviais e costeiros.

O ambiente fluvial ocorre em planícies de enchente ou em leitos de rios abandonados. Já o deltaico-fluvial ocorre quando existe a deposição dos sedimentos de um rio em um lago (ou em local de águas calmas). O ambiente costeiro caracteriza-se principalmente pela influência da flutuação da maré, sendo extremamente complexo, podendo coexistir com ambos ambientes citados anteriormente. A forma de distribuição dos sedimentos é função de diversos fatores tais como a salinidade, densidade dos corpos d'água, correntes, entre outros.

As argilas moles brasileiras apresentam geralmente processos semelhantes de deposição em regiões costeiras, visto terem a mesma influência do período Quaternário. Como exemplos têm-se os depósitos de Sarapuí, na Baixada Fluminense (ANTUNES, 1978), da Baixada Santista (MASSAD, 1985 e 1986) e de Pernambuco (FERREIRA et. al., 1986).

A semelhança nos processos de formação dos depósitos argilosos, também é identificada pelos estados de adensamento encontrados, apresentando-se com frequência normalmente adensados ou ligeiramente pré-adensados, com algumas exceções, principalmente nas partes superficiais, devido à oscilação do lençol freático, existência de aterros ou de camadas subjacentes que produziram sobrecarga ou oscilações negativas do nível marinho.

Terzaghi & Peck (1967) definiram como solo mole ou muito mole aquele que apresenta uma resistência não-drenada inferior a 50 kPa. Complementando a definição anterior, Hight et al. (1987) afirmam que este tipo de solo também deve se apresentar como normalmente adensado ou levemente pré-adensado, excetuando-se a camada superficial, a qual apresente tensões totais verticais inferiores a 100-150 kPa. Por outro lado, existe outra condição imposta por Christoulas et al. (1987) de que o solo deve apresentar também baixa permeabilidade para ser considerado mole, além da baixa resistência. Cabe esclarecer que estas definições não obedecem nenhum sistema de classificação tradicional de solos, portanto, não podem ser utilizadas para detalhamento de um depósito.

A história geológica é uma das principais indicações sobre as características dos depósitos de solos, pois permitem inferir informações quanto a granulometria, permeabilidade, homogeneidade, resistência e anisotropia, entre outros aspectos.

A maioria dos depósitos de solos moles apresenta uma formação atrelada ao carregamento de partículas através das águas de rios, lagoas e mares que sofreram mudanças de níveis e de superfície ao longo de suas existências. A sedimentação ocorre quando a

velocidade do curso d'água torna-se igual ao da velocidade de deposição da partícula, fazendo com que tais cursos não consigam mantê-las suspensas. Essa deposição ocorre progressivamente com o decréscimo da velocidade das correntes que reduz o potencial transportador das partículas d'água.

## **2.2 PROPRIEDADES DOS SOLOS MOLES**

Dentre as principais características dos solos moles podem ser destacadas: grande compressibilidade, baixa resistência, pequena permeabilidade e baixa consistência. Como resultado da combinação destas, os solos moles podem apresentar uma variação considerável nas suas propriedades físicas, como teor de umidade, granulometria, índice de vazios, resistência não-drenada etc. comparados a solos pouco compressíveis, alta resistência e alta consistência.

A possibilidade de alteração de características (variação das propriedades físicas) é fundamentalmente importante do ponto de vista geotécnico por levar a variações de comportamento dentro de um mesmo depósito de solos moles.

### **2.2.1 Composição mineralógica**

Conforme é amplamente conhecido nas ciências geotécnicas, os solos argilosos são constituídos essencialmente por argilominerais, podendo conter também matéria orgânica e outros minerais não considerados argilominerais, como por exemplo, o quartzo e a alumina, e outras impurezas. No Brasil, o mineral argílico mais freqüente é a caulinita, sendo também possível a presença de illita, haloisita, montmorilonita e clorita.

A composição mineralógica controla principalmente as características das partículas de argila, tais como dimensão, forma e superfície (MITCHELL, 1976). A influência da fração argila no comportamento do solo é altamente relevante, pois quanto maior sua porcentagem, relacionada ao teor de umidade, maiores deverão ser outros parâmetros como plasticidade, o potencial de expansão e a compressibilidade, e menores deverão ser a resistência ao cisalhamento e a permeabilidade.

### 2.2.2. Estruturação e sensibilidade das argilas

Segundo Mitchell (1976), a estruturação que existe entre as partículas das argilas depende das forças elétricas de atração e repulsão entre elas. As forças de repulsão são devidas às cargas líquidas negativas que ocorrem em camadas duplas desde que estejam em contato. Enquanto a dupla camada produz forças de repulsão, as forças de *Van der Waals* são atrativas fazendo com que o arranjo estrutural das partículas de argila dependa da rede de força intermoleculares.

São identificados dois tipos básicos de estruturas: estrutura floculada e estrutura dispersa. Se a resultante da rede de forças for de repulsão (argilas depositadas em águas doces), as partículas tendem a assumir uma orientação de paralelismo. Este tipo de arranjo estrutural é chamado de estrutura dispersa. No caso contrário, se a resultante é atrativa (argilas depositadas em águas marinhas), as partículas tendem a formar uma estrutura floculada, conforme demonstrado na Figura 2.1. Em ambos os casos, o volume específico das argilas pode ser grande, dependendo do argilomineral que compõe o solo (MITCHELL, 1976).

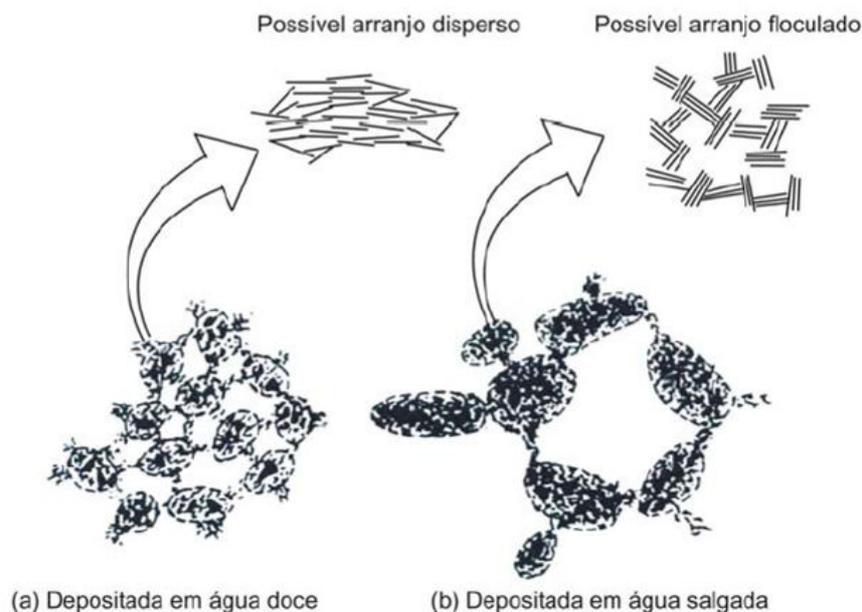


Figura 2.1 - Arranjo estrutural das partículas (a) dispersa (b) floculada (MITCHELL, 1976)

Sendo assim, sob influência da estrutura adquirida pela argila, é possível definir matematicamente a sensibilidade como o quociente entre a resistência ao cisalhamento

não drenada na condição de estrutura indeformada e a resistência ao cisalhamento não drenada na condição de estrutura amolgada (propositalmente desestruturada) segundo a Equação (2.1).

$$S_t = \frac{S_u}{S_{ur}} \quad (2.1)$$

Onde:

$S_t$  é a sensibilidade;

$S_u$  é a resistência ao cisalhamento não drenada indeformada;

$S_{ur}$  é a resistência ao cisalhamento não drenada amolgada.

Para classificação de uma argila quanto a sua sensibilidade, foi proposta por Skempton e Northey (1952), seguida por Rosenqvist (1953), sendo posteriormente adaptada por Mitchell (1976), a seguinte classificação dada pela Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Classificação da sensibilidade de Rosenqvist (1953); adaptado por Mitchell (1976)

SENSIBILIDADE	CLASSIFICAÇÃO
1	argila insensíveis
1 a 2	argila levemente sensível
2 a 4	argila medianamente sensível
4 a 8	argila muito sensível
8 a 16	levemente <i>quick Clay</i>
16 a 32	medianamente <i>quick Clay</i>
32 a 64	muito <i>quick clay</i>
maior que 64	extra <i>quick clay</i>

Segundo Terzaghi (1925), a camada de água adsorvida possui alta viscosidade próximo à superfície das partículas e é responsável pela forte adesão nos pontos de contato entre os grãos minerais. Se a argila sofre alguma perturbação, há o rompimento desses contatos e, com isso, a água preenche esses espaços ocasionando queda de resistência. A sensibilidade é uma característica de grande importância, pois indica se a argila pode sofrer uma redução considerável de resistência com a evolução do cisalhamento.

### 2.2.3 Atividade das argilas

A influência do argilomineral nas propriedades geotécnicas do solo é medida pela atividade coloidal. A atividade das argilas depende da porcentagem de argilominerais presentes no solo. Skempton (1953) definiu este índice ( $I_a$ ) como sendo a relação entre o índice de plasticidade e a porcentagem da fração argila (grãos com diâmetro médio inferior a  $2\mu\text{m}$ ).

$$I_a = \frac{IP}{\text{Fração Argila}} \quad (2.2)$$

Esse parâmetro serve como indicador do potencial de variação de volume da argila, sendo esta variação classificada em ativa, normal ou inativa, de acordo com a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Classificação do solo quanto a atividade da fração argila (SKEMPTON, 1953)

$I_a$	ATIVIDADE
< 0,75	Inativa
0,75 – 1,25	Normal
> 1,25	Ativa

## 2.3 AMOSTRAGEM DE SOLOS ARGILOSOS

Dois tipos de amostras podem ser usadas na realização dos ensaios geotécnicos em laboratório: *amostra deformada* ou *amostra indeformada*. Na amostra deformada, uma porção de solo desagregado deve ser representativa do solo que está sendo investigado apenas quanto à textura e constituição mineral. Ela é usada na identificação visual e tátil, nos ensaios de classificação (granulometria, limites de consistência e massa específica dos sólidos), no ensaio de compactação e na preparação de corpos de prova para ensaios de permeabilidade, compressibilidade e resistência ao cisalhamento. Essas amostras, até um

metro abaixo da superfície do terreno, poderão ser obtidas através de ferramentas simples (pás, enxadas, picaretas e outras mais apropriadas a cada caso), enquanto que para maiores profundidades ocorre a necessidade de utilização de ferramentas especiais (trados ou um amostrador de parede grossa).

A amostra indeformada, geralmente de forma cúbica ou cilíndrica, deve ser representativa da estrutura e do teor de umidade do solo, na data de sua retirada, além da textura e composição mineral. Ela é usada para se determinar às características do solo “*in situ*”, como os índices físicos, o coeficiente de permeabilidade, os parâmetros de compressibilidade e de resistência ao cisalhamento.

Uma amostra indeformada pode ser obtida de diversas maneiras dependendo da cota da amostragem, da densidade do solo e da posição do lençol freático; assim, para solos moles abaixo do nível d’água costuma-se usar um amostrador de parede fina, chamado de amostrador tipo Shelby, enquanto que, para solos acima do nível d’água e mais densos, é aberto um poço até a cota de interesse e retirado um bloco de solo usando uma caixa metálica ou de madeira como fôrma e com dimensões apropriadas ao tipo e número de ensaios a realizar. A NBR 9604/86 rege a abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas. A norma NBR 9820/87 trata da coleta de amostras indeformadas de solo em furos de sondagem.

Na retirada, no transporte e no manuseio, de qualquer um dos dois tipos de amostras indeformadas, devem ser tomados cuidados especiais para que a amostra não sofra nenhuma avaria.

### **2.3.1 Extração de blocos**

A extração de blocos é técnica difundida tanto no meio acadêmico quanto na prática de engenharia quando se deseja obter amostras indeformadas. As suas limitações são, em linhas gerais, a impossibilidade de ultrapassar relativamente pequenas profundidades em condições de segurança e rentabilidade, e de ser muito difícil, se não impossível, o seu avanço abaixo do nível freático. A retirada de amostras poderá ser de locais como: taludes, superfícies, fundo e paredes de poço, valas ou trincheiras.

Clayton et al. (1995) e Hvorslev (1949) afirmam que a extração de blocos é uma boa metodologia para obtenção de amostras indeformadas de qualidade, pois não mobiliza deformações cisalhantes significativas (frequentes em solos extraídos com

amostradores cravados, causando amolgamento). Contudo, cabe salientar que para solos moles a sua aplicação é restrita, visto a dificuldade que esses materiais teriam de manter suas dimensões esculpidas.

Como procedimento de retirada de uma amostra indeformada em bloco, utiliza-se uma caixa metálica ou de madeira, devendo ser determinada a área para extração da amostra, procedendo à remoção com cuidado do solo externo a essa área. A caixa utilizada deverá ter uma superfície biselada, ajustada ao solo, voltada para baixo, sendo pressionada levemente provocando sua descida ao passo que decorre a escavação em sua volta.

O bloco deverá ser cortado próximo à base da caixa, após a escavação da altura total da amostra, devendo ser mantido um excesso de material que deverá ser removido com o máximo cuidado a fim de se evitar qualquer alteração na estrutura do solo, sendo aplicada uma camada de parafina ao redor das faces do bloco. A aplicação de parafina garantirá a manutenção do teor de umidade da amostra, mas não a preservação de sua estrutura, representativa da estrutura do solo “*in situ*”. Para uma melhor preservação da estrutura, o bloco deve ser envolvido em um tecido poroso e, em seguida, reaplicado uma segunda camada de parafina.

O bloco deverá ser fielmente identificado no que diz respeito a cotas de extração, lados superiores e inferiores, sendo etiquetado com informações precisas de localização e referências.

### **2.3.2 Extração de tubos de paredes finas**

Segundo Hvorslev (1949), a pedido de Casagrande, pela necessidade de amostras de melhor qualidade do que as fornecidas pelos tubos de parede mais espessa, Mohr desenvolveu em 1936 o amostrador de parede fina (espessura da parede inferior a 2,5% do diâmetro do tubo).

O amostrador de parede fina tipo Shelby é o mais empregado para extração de amostra em argilas moles. É composto basicamente de um tubo de latão ou de aço inoxidável de espessura reduzida, ligado a um cabeçote provido de uma válvula de esfera que permite ao ar e à água escaparem à medida que ocorre penetração da amostra, sendo introduzido no solo por pressão estática constante. As dimensões, os materiais empregados e os procedimentos de

amostragem exigidos para os amostradores de tubo aberto são fixadas pela norma ABNT NBR 9820/97.

O amostrador de parede fina, após a remoção com solo desde o fundo da perfuração até a superfície, é transportado até o laboratório e cortado no sentido transversal do tubo para facilitar a extração do material com o mínimo de perturbação. Em casos de amostras de pequena extensão, é possível extrudá-la para fora do tubo amostrador, evitando assim a inutilização do tubo, podendo neste caso ocorrer alguma perturbação da amostra.

De acordo com Lima (1979), o amostrador tipo shelby pode ser classificado nos seguintes tipos: amostrador de pistão livre, amostrador de pistão estacionário e amostrador de pistão tipo Osterberg.

O amostrador de pistão livre utiliza um êmbolo que se movimenta dentro do tubo de parede fina, o que reduz o amolgamento da amostra. Com o uso deste amostrador, a retirada das argilas muito moles é auxiliada pelo efeito de sucção do pistão. O amostrador é posicionado no fundo do furo de sondagem, com o tubo fechado pelo pistão. Suspende-se então o pistão, puxando a haste interna até cerca de um terço da altura do tubo e crava-se de forma estática essa parte livre no solo. Depois se puxa o restante do pistão e crava-se o restante do amostrador.

O amostrador de parede fina com pistão estacionário é mais amplamente difundido na prática de engenharia, e difere do anterior pela maneira de cravação no solo que não exige a execução do pré-furo apesar de ser geralmente utilizado na prática. O amostrador é introduzido no interior do furo com o pistão colocado na extremidade do tubo de parede fina até apoiar-se no solo. O pistão permanece então estacionário, enquanto o tubo é cravado estaticamente no terreno.

Hvorslev(1949) afirma que o procedimento utilizado com o amostrador de pistão estacionário impede a transferência da pressão hidrostática, ou atmosférica, à amostra indeformada, e a perturbação no topo da amostra é menor quando comparada às amostras obtidas com amostradores de tubo aberto.

Após a criação do amostrador de pistão estacionário concebido pelo Sueco John Olsson, em 1923, o mesmo recebeu ao longo de sua história modificações de diferentes pesquisadores, sendo uma das últimas alterações proposta por Osterberg, em 1973 (sendo este tipo de amostrador também conhecido como amostrador de Osterberg).

O amostrador tipo Osterberg, Figura 2.2, é um amostrador de pistão estacionário que consiste basicamente em um tubo interno de parede fina circunscrito por

outro tubo. O tubo interno é forçado a penetrar no solo pela pressão de água que é injetada no interior do tubo externo.

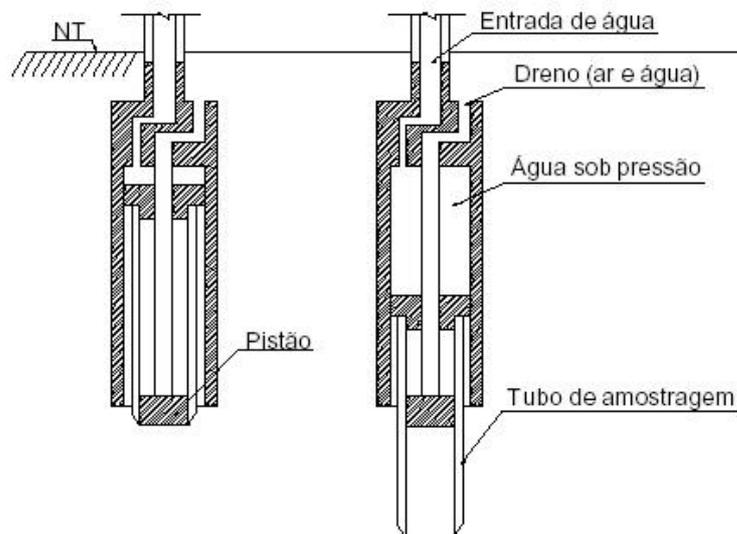


Figura 2.2 - Amostrador de parede fina do tipo Osterberg

Além dos amostradores tubulares de parede fina, existem ainda outros amostradores especiais para argila mole. Um exemplo é o amostrador Sherbrooke. Este equipamento retira amostras que possuem forma de um bloco cilíndrico com 250 mm de diâmetro e altura variável entre 250 e 350 mm. A utilização do amostrador Sherbrooke nas argilas moles do Rio de Janeiro e de Recife está reportada por Oliveira (2002). A metodologia de amostragem é feita da seguinte forma: o amostrador é descido até a cota de amostragem dentro de um pré-furo, após a base do mesmo ser limpa com um trado de fundo chato. As paredes laterais do furo podem ser revestidas ou estabilizadas com lama bentonítica. O amostrador possui 3 hastes por onde circulam água ou lama para facilitar o corte do material natural. Na extremidade de cada haste existe uma faca, que tem a função de esculpir a amostra de solo, através da rotação lenta (5 rpm) do amostrador. Esta rotação é dada por uma máquina de forma mecânica ou manual.

### 2.3.3 Representatividade e perturbação das amostras

Segundo Smith (1992), as amostras devem representar fielmente a massa de solo em estudo, apresentando características como estrutura, fissuração, tamanho das partículas, entre outras.

Mesmo com a evolução dos diversos tipos de amostragem intacta de solos, com tubos amostradores de maior diâmetro e menor espessura e com retirada de blocos, sabe-se que é impossível a extração de amostras que mantenham o estado natural do solo no campo, principalmente com as técnicas usualmente utilizadas que fazem uso de amostradores de pequeno diâmetro.

Alguns dos principais problemas encontrados pela amostragem são as variações do teor de umidade e índice de vazios, destruição da estrutura “*in situ*” do solo, e a principal delas, a variação no estado de tensões a que o solo se encontrava, sendo esta última a que possui maior dificuldade de minimização dos efeitos (CLAYTON et. al., 1995).

O resultado do alívio de tensões encontrado na amostragem acaba por produzir um corpo de prova num estado isotrópico que apresenta valores nulos de tensões totais, enquanto as tensões efetivas são dependentes das tensões no campo, das características do solo (parâmetros de pressão neutra) e, é claro, da qualidade da amostra. A perturbação na amostragem provoca diferentes trajetórias de tensões efetivas e de comportamento tensão-deformação em ensaios triaxiais não-drenados, sendo, segundo Clayton et al. (1995), menos nocivos os efeitos da amostragem mal executada para amostras pré-adensadas.

## 2.4 ESTUDOS E PARÂMETROS OBTIDOS EM ARGILAS COSTEIRAS

Muitos estudos de campo e de laboratório têm sido realizados nas últimas décadas com o objetivo de maior conhecimento do solo das regiões costeiras e portuárias do país. Estudos realizados no litoral brasileiro por pesquisadores reconhecidos nesta área direcionaram a um maior conhecimento sobre o subsolo, seus parâmetros e características geotécnicas, proporcionando uma maior segurança e confiabilidade nos projetos de Engenharia decorrentes.

Cabe salientar que o estudo do comportamento de subsolos costeiros trata-se de algo extremamente complexo, sendo o material de estudo não homogêneo, neste caso normalmente composto por areias e argilas intercaladas em camadas com espessuras variadas, ou simplesmente em pequenos veios aleatoriamente distribuídos. O comportamento do conjunto torna-se complexo e de difícil modelagem, proporcionando resultados muitas vezes inesperados.

Por esta complexidade e grande variação de comportamento, os estudos relacionados a este material - “argilas costeiras” ou “argilas moles”, estão em constante atualização, demonstrando novas variações nos limites dos parâmetros de alguns depósitos, mesmo assim apresentando comportamentos semelhantes.

A identidade de alguns parâmetros e comportamentos de alguns depósitos de solos costeiros, segundo Massad (1988) e Dias (1998), deve-se à formação geológica, decorrente da variação do nível do mar em pelo menos dois ciclos de sedimentação, um no Pleistoceno (1,8 a 0,01 milhões de anos) e outro no Holoceno (10.000 anos), justificando a deposição dos materiais areia e argila, justapostos em diferentes espessuras e camadas, o que provoca um comportamento diferenciado em cada depósito, mas análogo a depósitos com influências semelhantes na sua formação.

Na Tabela 2.3 são apresentados alguns parâmetros obtidos em depósitos argilosos, estudados em diferentes locais do Brasil.

Cabe destacar que apesar de um grande avanço nas pesquisas de solos moles, a utilização de dados da literatura, mesmo para depósitos relativamente próximos, não é recomendada, pois podem apresentar características particulares mesmo em zonas de deposição semelhantes, com semelhança nas espessuras das camadas de argilas. O comportamento de cada depósito, conforme anteriormente descrito, deve-se, entre outros parâmetros, a sua composição, formação e tempo de deposição. Logo, depósitos próximos com espessuras de camada de argila semelhantes poderão apresentar comportamentos diferenciados, não sendo possível caracterizar um material sem o rigoroso estudo com relação aos parâmetros geotécnicos, precedido de um programa de sondagem. O fato não invalida estudos que têm como objetivo caracterizar depósitos de argila mole ao longo da costa brasileira. Esta dissertação versa neste sentido.

Tabela 2.3 - Características geotécnicas depósito de argilas moles marinhas brasileiras (LACERDA e ALMEIDA,1995)

Propriedades do Solo	Planícies de Santos (SP)	Rio Janeiro Sarapuí (RJ)	Porto de Rio Grande (RS)	Recife (PE)	Porto de Sergipe (SE)
	Sudeste	Sudeste	Sul	Nordeste	Nordeste
Espessura de argila (m)	<50	11	40	19	7
$w_n$ (%)	90 - 140	100 - 170	45 - 85	40 - 100	40 - 60
LL (%)	40 - 150	60 - 150	40 - 90	50 - 120	50 - 90
IP (%)	15 - 90	30 - 110	20 - 60	15 - 66	20 - 70
Argila (%)	20 - 80	20 - 80	34 - 96	40 - 70	65
Peso específico natural ( $kN/m^3$ )	13,5 - 15,5	13	15 - 17,8	15,1 - 16,4	16
Atividade	1 - 2,2	1,4 - 2,3	0,6 - 1,0	0,4 - 1,0	0,5 - 1,0
Sensibilidade	4 - 5	4,3	2,5	-	4 - 6
Teor de matéria orgânica (%)	2 - 7	4 - 6,5	-	3 - 10	-
$C_c/(1+e_0)$	0,33 - 0,51	0,36 - 0,41	0,31 - 0,38	0,45	0,31 - 0,43
$C_v$ (campo) / $C_v$ (laboratório)	15 - 100	20 - 30	-	-	-
$S_u$ ( $kN/m^2$ ) - Palheta	8 - 40	8 - 20	50 - 90	2 - 40	12 - 25
$S_u/\sigma'_{vm}$	0,28 - 0,30	0,35	0,3	0,28 - 0,32	0,22 - 0,24
$\Phi'$ (°)	19 - 24	25 - 30	23 - 29	25 - 28	26 - 30

São apresentados na Figura 2.3 locais ao longo da costa brasileira em que foi realizado um levantamento de dados geotécnicos publicados, caracterizando cada sítio com relação aos parâmetros geotécnicos, espessura e formação dos depósitos. Cabe salientar que a compilação destes dados procurou representar de forma abrangente o comportamento de alguns depósitos argilosos ao longo da costa.



Figura 2.3 - Mapa do Brasil identificando os locais pesquisados

### 2.4.1 Recife – Geologia e formação do depósito

O depósito sedimentar de Recife é situado na costa nordeste do Brasil, e segundo Coutinho et al. (1993), apresenta-se em uma área plana de origem flúvio-marinha (com influência de águas doces e salinas), formado no período Quaternário e apresentando dois conjuntos de terraços marinhos arenosos, sendo um do Pleistoceno e outro do Holoceno (com idade máxima de cerca de 10.000 anos), além de mangues, sedimentos flúvio-lagunares (SFL) e aluviões. Os depósitos de argilas/solos orgânicos moles encontrados em cerca de 50% da área da planície estão quase que em sua totalidade debaixo da lâmina d' água, visto o nível dos terrenos próximo ao nível do mar.

Segundo Coutinho et al. (1988), a planície aluvionar de Recife é limitada pelo mar e pela formação de barreiras terciárias, cuja deposição ocorreu no Pré-Quaternário, apresentando quatro perfis geotécnicos típicos para planície: presença de uma camada superior de aterro/areia, a estratificação dos depósitos de solos moles, e a existência de areias argilosas e/ou solos orgânicos.

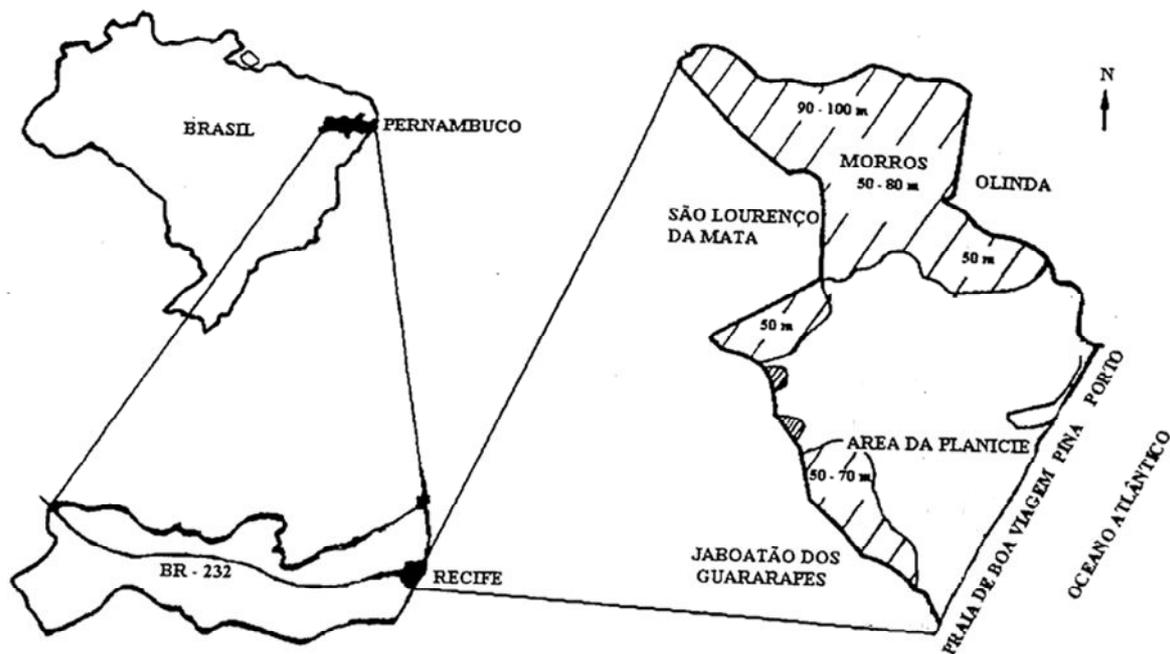


Figura 2.4 - Recife - Esboço do relevo (COUTINHO et al., 2001)

### ***Características geotécnicas dos sedimentos***

Segundo Massad (2009), Recife possui argilas dos tipos SFL e mangues, ratificando a identificação apresentada em trabalhos de Coutinho e colaboradores desde a década de 70. Estas argilas aparentam ser normalmente adensadas ou com certo grau de pré-adensamento, cuja causa foi atribuída ao ressecamento de camadas superiores (FERREIRA et al., 1986; e COUTINHO, 2002). Para estas argilas, Ferreira, et al. (1986) observou a presença de caulinita com traços de montmorilonita e illita.

Em Coutinho (1988) foi apresentado um completo relatório sobre a caracterização de seis depósitos distribuídos amplamente na cidade do Recife. Foram determinadas as características físicas (teor de matéria orgânica, massa específica dos grãos, umidade natural, índice de vazios, análise granulométrica e limites de Atterberg), características de compressibilidade, história de tensões, velocidade de adensamento e adensamento secundário. Através da análise de perfis de sondagem, verificou-se que a metade dos depósitos estudados apresentam camadas de argilas orgânicas e a outra metade mostram camadas de argilas orgânicas associadas a turfas, sendo identificados nestes últimos maiores variações nos valores dos parâmetros obtidos. Os depósitos foram determinados como normalmente adensados ou levemente pré-adensados.

### ***Panorama geral dos solos moles da cidade de Recife***

É apresentado por Coutinho (2001) um resumo de informações geotécnicas consideradas típicas para a cidade de Recife. Para os locais pesquisados foram executadas investigações detalhadas, com execução de ensaios de campo, o que permitiu a formação de um banco de dados. A esta pesquisa foram agregados dados de laboratório apresentados em Coutinho (1998), na área do Clube Internacional do Recife, com campanha de investigação contendo também ensaios de campo.

Segundo Coutinho e Lacerda (1987) os solos de Recife podem ser subdivididos em quatro grupos: areias, siltes, argilas orgânicas e turfas/solos orgânicos, apresentando camadas de argila entre 5 m e 25 m de profundidade. Após esta profundidade, é identificado em alguns locais, camadas alternadas de areia e argila, de compactidade e consistência variada, e após 40 m de profundidade uma camada resistente de areia compacta.

É apresentado na Tabela 2.4 um resumo de informações do banco de dados de parâmetros geotécnicos de laboratório da cidade de Recife.

Tabela 2.4 - Parâmetros geotécnicos dos depósitos de argila de Recife (COUTINHO et al., 2001)

Local	Prof. Camada	LL (%)	IP (%)	w (%)	e <sub>0</sub>	OCR	Cc	Su/σ' <sub>vm</sub>
Ibura	8,1 / 1	195	70	149	4,78	1,1	2,55	0,39
Ibura	15,4 / 2	90	36	80	2,16	0,9	1,33	0,27
Madalena	9,4 / 1	118	42	97	2,43	1,2	1,44	0,29
Madalena	22,6 / 2	69	30	55	1,37	1,00	0,73	0,34
B. Viagem	14,8 / 2	28	18	34	0,94	1,00	0,23	0,25
B. Viagem	21,8 / 3	66	29	53	1,11	1,3	0,64	0,14
C. Internacional	6 / 1	80	70	*	*	< 2,5	1,45	*
C. Internacional	16 / 2	55	33	*	*	1,00	0,68	*

Segundo Coutinho (2001), as argilas moles/médias de Recife apresentam grande variação em plasticidade, com limite de liquidez variando entre 23% a 235%, e o índice de plasticidade entre 5% e 148%. O teor de umidade natural encontra-se entre 18% e 215%. O índice de vazios varia entre 0,5 e 5,25. Na análise da consolidação pode-se destacar que o solo argiloso (de consistência mole/média) apresenta-se ligeiramente pré-adensado (OCR < 3) ou normalmente adensado. O índice de compressão está no intervalo entre 0,1 e 2,8 e a resistência não drenada (Su) varia entre 10 e 55 kPa para as argilas moles/médias.

São apresentadas na Tabela 2.5 correlações estatísticas para as argilas médias/moles de Recife.

Tabela 2.5 – Correlações estatísticas para argilas de Recife (COUTINHO et al., 2001)

Solo	Correlação	Equação	r <sup>2</sup>
Argilas / Argilas Orgânicas w < 200% e <sub>0</sub> > 4.0	e <sub>0</sub> vs. w(%)	e <sub>0</sub> = 0.024w + 0.1410	0,98
	Cc vs. w(%)	Cc = 0.014w - 0.0940	0,82
	Cc vs. e <sub>0</sub>	Cc = 0.586e <sub>0</sub> - 0.165	0,84

### 2.4.2. Santos – Geologia e formação do depósito

É apresentado na Figura 2.5 o estado de São Paulo, localizando Santos, que é um dos nove municípios que integram a região denominada de Baixada Santista. Segundo Massad (2009), a planície de Santos é limitada pelo lado continental pela Serra do Mar, desenvolve-se da Serra de Mongaguá, a oeste, até a parte rochosa da ilha de Santo Amaro, a leste, numa extensão de 40 km ao longo da praia, e com uma largura máxima de 15 km entre a enseada do Itaipu e Cubatão.

Massad (2009) descreve a estrutura do litoral sudeste brasileiro composto pela Bacia Sedimentar de Santos e pela Serra do Mar, identificando a Bacia Sedimentar de Santos como uma depressão tectônica preenchida por depósitos sedimentares.

Segundo Suguio e Martin (1981) a flutuação do nível do mar no Quaternário é limitada pelo que se denomina de Transgressão Cananéia, mais antiga e de nível mais alto, e Transgressão de Santos, mais recente e de nível mais baixo.

Para a máxima Transgressão da Cananéia (Pleistoceno), cerca de 120 mil anos atrás, admitiu-se uma deposição de argila transicional sobre sedimentos continentais, e sobre esta foram depositadas areias transgressivas. Após a última glaciação, ocorreu a regressão do nível do mar 110 m abaixo do nível atual, erodindo parte dos depósitos pleistocênicos, até mesmo o embasamento cristalino. Durante a Transgressão de Santos (Holoceno), cerca de 7 mil anos atrás, o mar penetrou em algumas zonas baixas, formando lagunas e baías sedimentando material argiloso orgânico com restos de conchas. Paralelamente as partes mais altas formadas na Cananéia foram erodidas pelo mar e as areias novamente sedimentadas, formando os sedimentos arenosos holocênicos (SUGUIO e MARTIN, 1978).

Os sedimentos fluvio-lagunares e de baía (SFL), formados nos últimos 7 mil anos, desenvolvem-se em quase toda a Baixada Santista, inclusive na cidade de Santos, sob areias marinhas litorâneas, com alguns depósitos podendo atingir grandes profundidades.



### ***Características físicas dos sedimentos***

Segundo Massad (2009) as argilas de SFL, a leste da planície de Santos, apresentam predominância de montmorilonita, seguida de caulinita e illita. Já na cidade de Santos tem-se predominância de illita e montmorilonita, seguida de caulinita, o que indica que a sedimentação holocênica deve ter ocorrido em águas paradas (lagunas ou baías). A oeste da planície de Santos, onde os SFL formaram-se por sedimentos pleistocênicos, tem-se a predominância de caulinita.

Segundo o mesmo autor, o subsolo se mostra heterogêneo, com alternâncias de camadas de argilas e areias e, entre elas, transições de camadas de argilas arenosas ou areias argilosas. A porcentagem da fração de argila apresenta uma ampla faixa de valores, da mesma forma o limite de liquidez, oscilando com valores entre 40 e 150%. O índice de atividade de Skempton assume valores entre 1 e 2,2. Os teores de umidade variam amplamente, numa faixa de 50 a 160%, em virtude da composição variada do solo num mesmo perfil.

### ***Características de compressibilidade e deformabilidade***

Massad (1985), após análises em ensaios realizados em 17 locais da Baixada Santista, obteve parâmetros representativos para argilas SFL. No ano de 2009, o mesmo autor indica que ocorre uma sobreposição nas propriedades índices, como um todo, da cidade de Santos em relação as mesmas propriedades obtidas para a Baixada Santista, o que não acontece em relação as propriedades de estado, como índice de vazios e resistência não drenada, isto porque as argilas SFL da cidade de Santos sofreram diferente adensamento sob pressões maiores de terra. O resumo das propriedades para a cidade de Santos e a Baixada Santista estão apresentados na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 - Propriedades geotécnicas da cidade de Santos comparada a Baixada Santista (MASSAD, 2009)

Características	Cidade de Santos		Baixada Santista	
	SFL	AT	SFL	AT
Profundidade (m)	8 - 24	14 - 43	<50	20 - 45
$e_0$	1,2 - 2,4	2,1	2 - 4	<2
OCR(*)	1,25	>3,5	1,1 - 2,5	>2,5
$N_{SPT}$	1 - 5	5 - 10	0 - 4	5 - 25
Su (kPa)	25 - 73	200	10 - 60	>100
$\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	14,5 - 16	16	13,5 - 16,3	15 - 16,3
$C_{ue}$ (%)	3 - 4,5	*	3 - 6	*
$C_v$ lab(cm <sup>2</sup> /s)	(2-7).10 <sup>-4</sup>	*	(0,3-10).10 <sup>-4</sup>	(3-7).10 <sup>-4</sup>
$C_v / C_v$ (campo/lab)	10 - 20	*	15 - 100	*
$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	26,5	*	26,6	26
%<5 $\mu$	15 - 80	20 - 50	20 - 90	20 - 70
LL (%)	47 - 137	40 - 120	40 - 150	40 - 150
IP (%)	19 - 90	20 - 60	20 - 90	40 - 90
Ia	0,9 - 2,9	1,8	0,7 - 3	0,8 - 2,0
IL (%)	39 - 78	55	50 - 160	20 - 90
$C_c / (1+e_0)$	0,25 - 0,44	*	0,33 - 0,51	0,35 - 0,43
$C_r / C_c$ (%)	6 - 19	*	8 - 12	9

### ***Subsolo do Porto de Santos***

Em Santos, o mais importante dos nove municípios que integram a Baixada Santista, está instalado o Porto de Santos, o maior porto marítimo da América Latina. O incremento na atividade portuária, com a decorrente necessidade de aumento no calado do estuário, além de novas obras na região portuária, preconizam eficiente investigação geotécnica dos solos da região.

Segundo Gonçalves et al.(2008), existia uma necessidade de aumento do calado no acesso à zona portuária de Santos (Figura 2.6), de 11 m para 12,3 m em 240 m de extensão, portanto, uma escavação de 1,30 m do lado mar que reduziria a ficha das estacas prancha de 5,4 m para 4,1 m. Foi realizada uma campanha de investigação geotécnica composta de sondagens no mar e em terra, sendo realizados, como ensaios de campo, o SPT e

palheta, e extraídas quatro amostras Shelby (duas no mar e duas em terra) para ensaios de laboratório realizados na USP.



Figura 2.6 - Localização do Estuário – Acesso Portuário de Santos  
Fonte: Google Earth, junho 2011.

Segundo os autores, os primeiros metros explorados pelas sondagens indicaram no lado da terra um aterro heterogêneo com uma camada de 11 m e  $N_{SPT}$  médio igual a 2, seguida de uma camada de argila arenosa com fragmentos de concha e matéria orgânica com  $N_{SPT}$  variando de 2 a 6, seguida de uma camada de argila siltosa com matéria orgânica e fragmentos de concha com  $N_{SPT}$  variando de 2 a 4. No lado do mar, abaixo da lâmina d'água de 11 m de profundidade, aparece uma camada de aproximadamente 3 m de argila siltosa com matéria orgânica e lentes milimétricas de areia com fragmentos de concha com  $N_{SPT}$  em torno de zero. Abaixo desta camada aparece a argila siltosa com matéria orgânica mole cinza escura e  $N_{SPT}$  variando entre 2 e 4.

As argilas marinhas estudadas por Yanez & Gonçalves (2010), apresentaram valores de resistência não-drenada acima daqueles determinados para região da orla santista, e também acima dos obtidos para as argilas SFL no geral. No entanto, apresentaram sempre  $N_{SPT} < 5$  e índice de vazios em torno de 2, característicos das argilas SFL. Um resumo dos dados analisados por Gonçalves (2008; 2010) estão reproduzidos na Tabela 2.7.

Tabela 2.7 - Resumo das propriedades geotécnicas da zona portuária de Santos (GONÇALVES 2008; YANEZ & GONÇALVES 2010)

Características	TEAÇU **		TECONDI **		ENTRADA* ESTUÁRIO
	lado mar	lado terra	lado mar	lado terra	
Profundidade (m)	14 - 30	12 - 30	14 - 25	13 - 25	3 - 32
$e_0$	1,92 - 2,09	1,53 - 2,41	1,16 - 1,65	#	#
$N_{SPT}$	$\leq 5$	$\leq 5$	$\leq 5$	$\leq 5$	#
Su (kPa)	20 - 100 (Vane)	20 - 100 (Vane)	10 - 140 (Vane)	20 - 90 (Vane)	37 (Triaxial)
$\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	15,25	15,5	#	16,20	#
LL (%)	70 - 100	60 - 140	40 - 50	35 - 80	95
IP (%)	30 - 60	30 - 90	10 - 40	15 - 45	61
w(%)	70 - 80	60 - 110	#	#	78

\*\* Yanez & Gonçalves (2010)

\* Massad (2009)

É apresentado em Yanez & Gonçalves (2010) um perfil geotécnico para região portuária, estuário lado mar e lado terra (Figura 2.7 e 2.8).

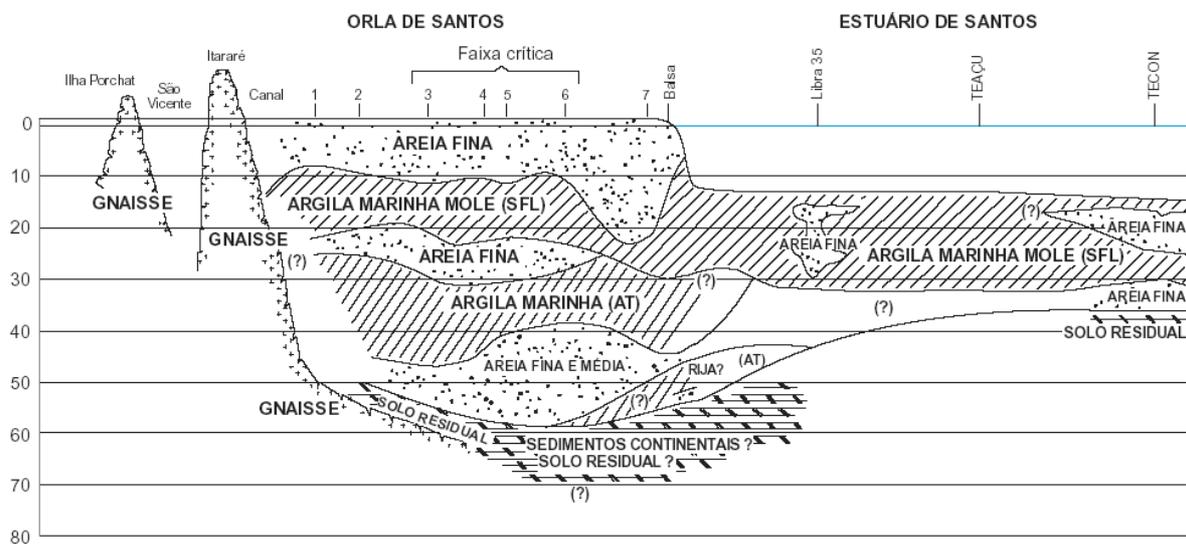


Figura 2.7 - Perfil geotécnico da orla santista - lado mar - adaptado de Teixeira (1994) por Massad (2003) e por Dias M. (2008), complementado

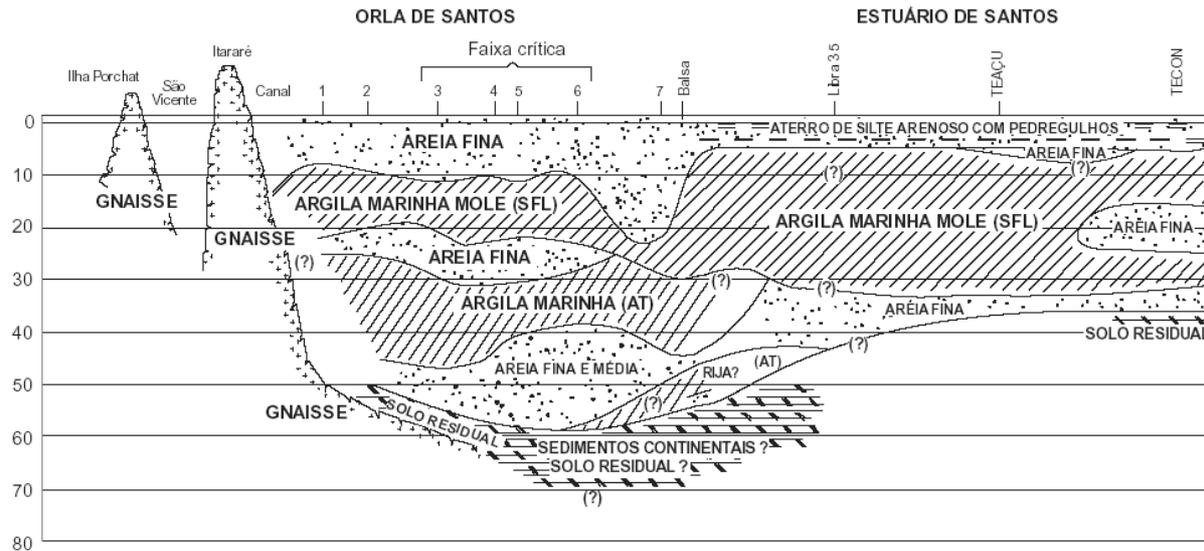


Figura 2.8 - Perfil geotécnico da orla santista - lado terra - adaptado de Teixeira (1994) por Massad (2003) e por Dias M. (2008), complementado.

### 2.4.3. Rio de Janeiro – Geologia e formação do depósito

Segundo Futai et al. (2008), os depósitos sedimentares que formam a planície costeira da cidade do Rio de Janeiro (Figura 2.9), consistem principalmente de aluviões e depósitos marinhos do período Quaternário. Inúmeros depósitos de argilas moles têm sido estudados nos últimos 30 anos na cidade do Rio de Janeiro (entre estes: Botafogo, Uruguaiana, Barra da Tijuca, Caju e Sta. Cruz) e proximidades (Planície Fluminense, Sarapuí, Itaipu e Jurnaíba).

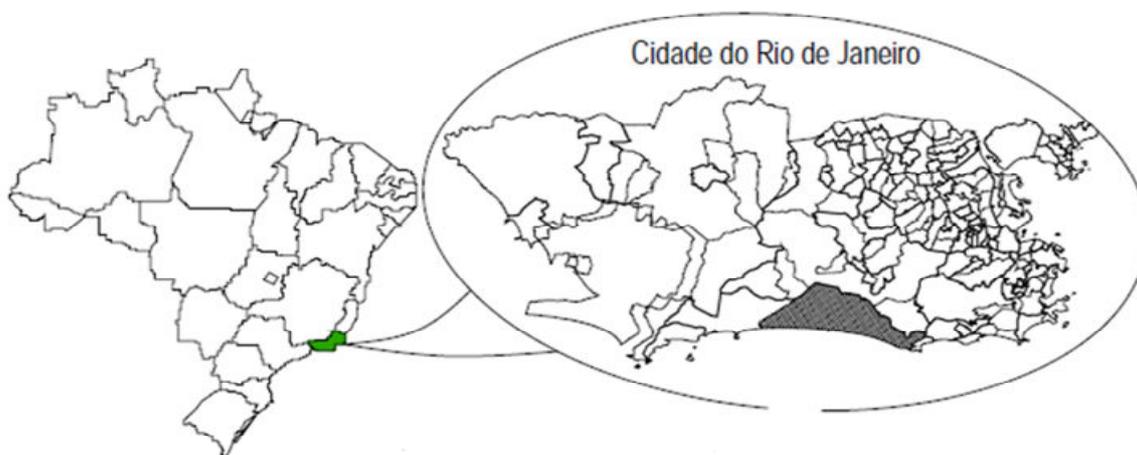


Figura 2.9 - Localização do estado e cidade do Rio de Janeiro

A geologia do estado do Rio de Janeiro é constituída, na maior parte, por gnaiesses e granitos do pré-cambriano. Os solos que preenchem as regiões de baixada são constituídos por aluviões e deposições marinhas do Quaternário. Uma análise geológica para a argila de Sarapuí foi apresentada por Antunes (1978), tendo na sua composição mineralógica a predominância de caulinita, com indícios de illita e montmorilonita, ocorrendo também materiais primários (quartzo, mica e feldspato) (FUTAI et al. (2001).

As argilas naturais do Rio de Janeiro são identificadas, segundo Futai et al. (2001), como estruturadas, ocorrendo em camadas de espessuras variando entre 6 e 15 m, dependendo da localização do depósito.

### ***Características geotécnicas dos sedimentos***

Os autores supracitados ainda salientam que apesar de apresentarem algumas características similares, observam-se diferenças entre as argilas moles do Rio de Janeiro. Algumas argilas apresentam elevados índices de plasticidade, teores de umidade e compressibilidade, diferente de outros locais, com menor plasticidade e compressibilidade, podendo ser estas últimas consideradas como argilas de consistência média a rija. Essa diferença de comportamento é explicada pela modificação do perfil estratigráfico ao longo dos depósitos, proporcionando, por exemplo, condições diversas de drenagem em alguns locais, o que confere características diferenciadas das demais argilas, onde as propriedades tendem a variar continuamente com a profundidade.

Na Tabela 2.8 a seguir, é apresentada resumidamente uma compilação de dados obtidos para argilas moles do Rio de Janeiro.

Tabela 2.8 - Resumo de propriedades geotécnicas de argilas moles do Rio de Janeiro

Parâmetro		Sayão (1980)	Ortigão (1980)	Gracés (1995)	Futai et. al.(2001)
Caracterização	$w_{nat}$ (%)	140,5	106 a 172	35,8 a 84,4	$143 \pm 21,7$
	LL (%)	98	86 a 161	39,4 a 86,7	$120,3 + 21,7$
	LP (%)	49	33 a 73	23,6 a 40,2	-
	IP (%)	49	44 a 102	12,4 a 48,6	$73,1 + 16,1$
	IL (%)	-	1,11 a 1,7	0,72 a 0,98	-
	G ( $kN/m^3$ )	26,4	-	25,2 a 26,2	-
Adensamento	Argila (%)	85	55	25 a 55	70
	$C_c$	1,41 a 2,56	1,65 a 2,43	0,25 a 0,75	1,5 a 2,3
	$C_s$	0,16 a 0,39	0,25 a 0,58	0,05 a 0,136	-
	$C_r$	0,25 a 0,55	-	0,065 a 0,34	0,20 a 0,65
	OCR	< 4	1	1 a 2	< 4
Triaxial – CIU	$S_u$ kPa	-	3,5 a 12,6	-	$8,64 \pm 3,26$
	$C_v$ $m^2/s$	$4,7 \times 10^{-4}$	-	-	$9 \times 10^{-4}$
	$E_{50}$ kPa	$180 \pm 28$	-	-	-
	Af	$0,82 \pm 0,05$	< 1	-	-
	$c'$ kPa	3	0	-	-
$\Phi'$	$24^\circ$	$25^\circ$	-	$32^\circ \pm 9^\circ$	

São apresentadas em Futai et al. (2001) correlações empíricas para os parâmetros índice de compressão e umidade, sendo estas reproduzidos na Tabela 2.9.

Tabela 2.9 – Correlações empíricas  $C_c$  x  $w$  para argilas moles do Rio de Janeiro

Local	Equação	r
Juturnaíba	$C_c = 0.0132w - 0.6$	0,84
Sarapuí	$C_c = 0.0174w - 0.6$	0,59

Com relação à história de tensões, a argila demonstra comportamentos semelhantes, com altos valores de OCR (de até 14), diminuindo rapidamente até 6 m, onde se torna praticamente constante, oscilando entre levemente pré-adensada a normalmente adensada.

#### 2.4.4 Santa Catarina – Geologia e formação do depósito

O estado de Santa Catarina, ilustrado na Figura 2.10, litoral sul do País, apresenta sua região costeira englobando áreas de maior elevação e declividade, correspondendo a solos residuais de rochas pré-cambrianas, e áreas de baixada, correspondente a solos sedimentares quaternários, sendo estes sedimentos de maior espessura nas proximidades do litoral, reduzindo em direção as áreas mais elevadas onde ocorrem solos residuais (SAYÃO et. al., 2002).

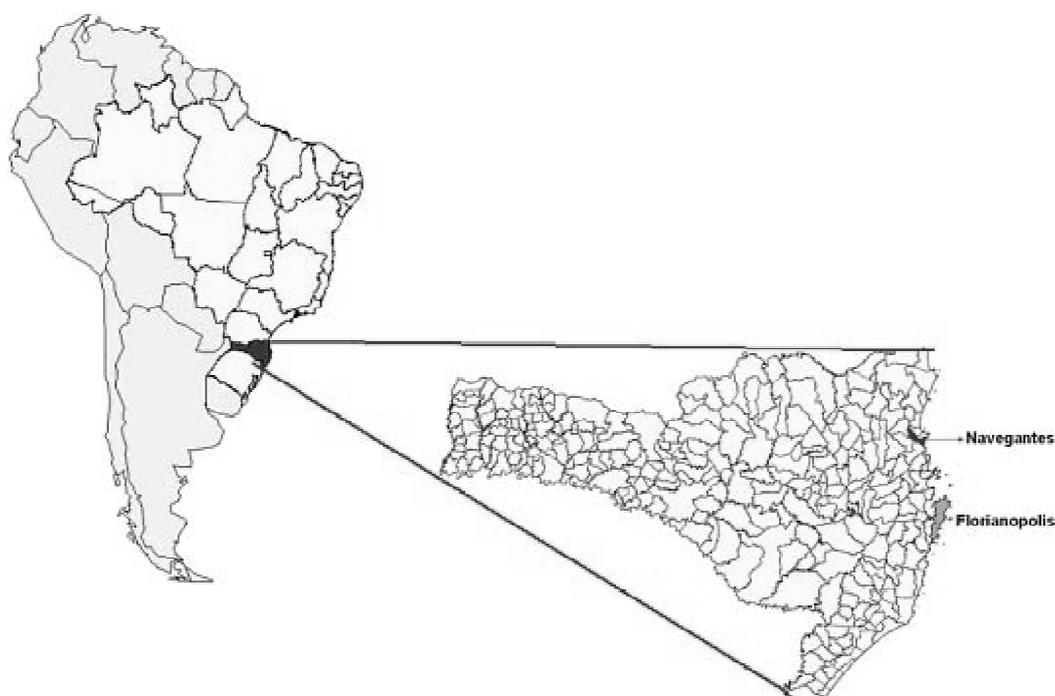


Figura 2.10 - Localização do Estado de Santa Catarina e cidades de Florianópolis e Navegantes

Segundo Maccarini et al. (2001), os sedimentos quaternários têm ocorrência bastante ampla, especialmente no litoral de Santa Catarina, chegando a alcançar uma faixa de até 45 km de largura no litoral norte do estado. Do município de Garopaba em direção ao sul, até o estado do Rio Grande do Sul, a faixa de sedimentos quaternários chega a alcançar 35 km.

Analogamente aos outros depósitos sedimentares na costa brasileira, em Santa Catarina as áreas de planície tiveram a sedimentação controlada pela flutuação do nível do mar durante o período Quaternário e pelas decorrentes transgressões e regressões marinhas,

sendo os depósitos marinhos essencialmente arenosos e os depósitos transicionais, argilosos moles.

Os ambientes transicionais lagunares seriam resultado do período de regressão marinha, formando depósitos de sedimentos fluviais, flúvio-marinhos e flúvio-lacustres, com argilas inconsolidadas e matéria orgânica, chegando a constituírem turfas com baixa capacidade de suporte.

Ainda segundo Maccarini et al. (2001), tais depósitos podem ser identificados desde o município de Joinville no norte de Santa Catarina, até o município de Sombrio no sul do estado, sendo identificadas camadas de argilas moles de até 33 m de espessura.

Nos depósitos transicionais de barreiras, identificam-se depósitos eólicos de dunas e planícies arenosas, sendo mais recentemente depositados, recobrando sedimentos anteriores.

### ***Características geotécnicas dos sedimentos***

Marques e Lacerda (2004) apresentam informações sobre o pacote sedimentar de origem fluvial, do Quaternário, seguido de cascalhos, seixos e fragmentos de rochas sobre rochas metamórficas, obtidos em estudo realizado na área de implantação do Porto de Navegantes, situado às margens do rio Itajaí-Açu.

No local foram realizadas campanhas de investigação geotécnica nos anos de 1998, 2001 e 2002, agregando informações de aproximadamente 103 sondagens. Foram também realizados ensaios de palheta e de piezocone com testes de dissipação, sendo coletadas amostras indeformadas, do tipo Shelby, com as quais foram executados ensaios de caracterização completa, ensaios triaxiais e de adensamento oedométrico.

O impenetrável a percussão ocorreu a 52 m de profundidade, sendo após este, constatado ocorrências de argila dura ou areia fina intercalada com seixos, observados em sondagens mistas até 84 m de profundidade. O depósito analisado apresentou um perfil estratigráfico composto simplificadamente por três camadas de argila intercaladas por camadas de areias finas e grossas. Uma camada superficial de areia que ocorre em poucos locais, segundo os autores, pode ser material de dragagem ou mangues. O lençol freático apresentou-se superficial, ou no topo da camada da argila mole, em quase toda área pesquisada (Figura 2.11).

A chamada camada 1 apresenta espessura variando entre 0 e 7 m, e  $N_{SPT} < 1$ . Subjacente à camada 1 há, em geral, uma camada de argila muito mole a mole, identificada

como camada 2, com espessura de 0 a 10 m. Foram constatadas lentes de argila nas camadas arenosas e lentes de areia nas camadas argilosas, podendo ter sido originadas de variações no curso do rio, alterando o processo de sedimentação. A camada de argila mais profunda, camada 3, de consistência média à dura, possui sua espessura variando de 12,7 a 32 m com topo de 16,5 m a 38 m de profundidade.

No referente à resistência ao cisalhamento não drenada, pode-se destacar que o subsolo do local apresenta uma resistência crescente com a profundidade, chegando a valores superiores a 100 kPa em profundidades maiores (> 40 m), sendo obtido para camada 1 um Su médio de 10 kPa, para a camada 2 um Su médio de 50 kPa e na camada 3 um Su médio de 85 kPa. Os demais parâmetros estão apresentados na Tabela 2.10.

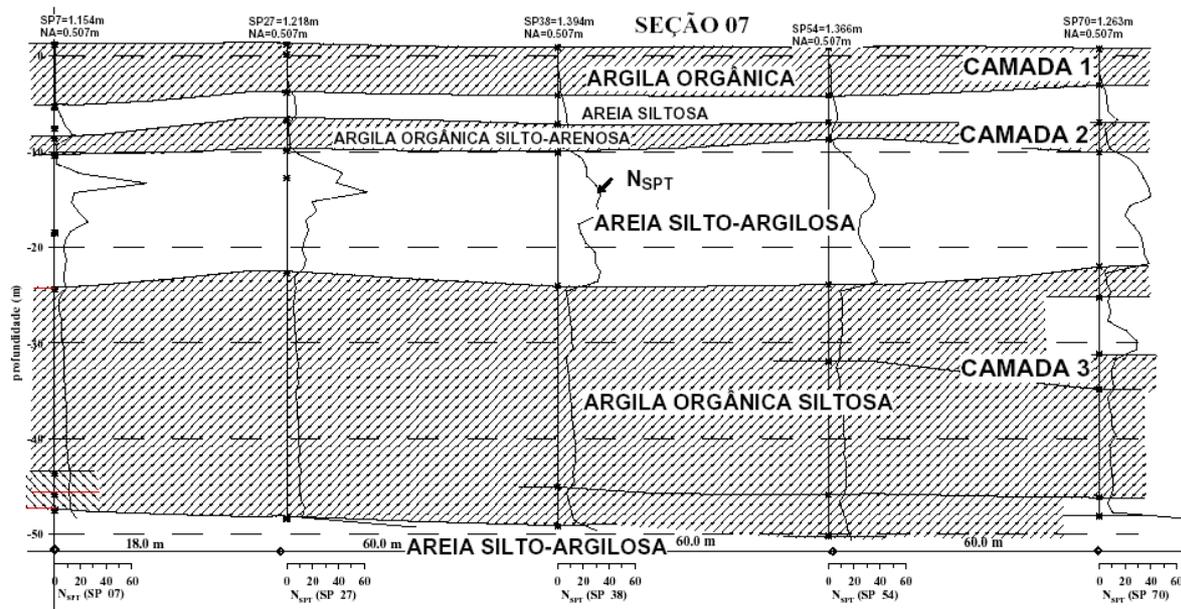


Figura 2.11 - Perfil geotécnico do Porto de Navegantes

É apresentado em Drösemeyer et al. (2001) e reproduzido na Tabela 2.10, dados sobre argilas moles em diversos locais ao longo do litoral do estado de Santa Catarina, entre Florianópolis e a divisa com o estado do Rio Grande do Sul.

Tabela 2.10 - Parâmetros apresentados para camadas compressíveis

CAMADAS			Camada 1	Camada 2	Camada 3
Profundidade (m)			0 - 7	6 - 16,5	16,5 - 38
Caracterização	Espessura	M	0 - 7	0 - 10	13 - 32
	$w_{nat}$	(%)	47 - 100	49 - 103	40 - 75
	LL	(%)	40 - 98	32 - 110	57 - 84
	IP	(%)	6 - 53	11 - 57	26 - 46
	$e_0$		1,26 - 2,70	1,37 - 2,82	1,12 - 2,01
	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	14,0 - 17,0	13,8 - 16,8	14,8 - 17,7
Adensamento Resistência	$C_c$		0,18 - 0,93	0,34 - 0,88	0,25 - 0,99
	$C_v$ lab.	cm <sup>2</sup> /s	(2,4 - 81)x10 <sup>-8</sup>	(2,0 - 49)x10 <sup>-8</sup>	(2,7 - 17)x10 <sup>-8</sup>
	$S_u$	kPa	3 - 20	30 - 60	>60
	$N_{SPT}$		0 - 5	0 - 8	4 - 35

Os ensaios apresentados foram realizados até uma profundidade máxima de 15 m, sendo determinado um percentual médio superior a 95% para a presença de siltes e argilas. O limite de liquidez foi determinado entre 20 e 95% e o índice de plasticidade entre 5 e 55%. Em relação à compressibilidade do material, foi determinado uma ampla faixa de variação para  $C_c$ , de 0,09 até 2,59. Para resistência ao cisalhamento, foram executados ensaios triaxiais CIU, apresentando para solos orgânicos resistência não drenada na ordem de até 50 kPa.

Através destes estudos foi possível a obtenção de algumas correlações empíricas para os solos moles da BR101, sendo algumas consideradas razoavelmente boas e outras nem tanto, estando as mesmas descritas na Tabela 2.11.

Tabela 2.11 – Correlações empíricas para o solo argiloso da BR101 (DRÖSEMAYER et. al., 2001)

Local	Correlação	Equação	$r^2$
BR 101 - Santa Catarina	$C_c$ vs. $e_0$	$C_c = 0,6447e_0 - 0,4201$	0,82
BR 101 - Santa Catarina	$C_c$ vs. IP	$C_c = 0,0396 (IP-2)$	0,37
BR 101 - Santa Catarina	$S_u$ vs. $w_{nat}$	$S_u = 0,1482w_{nat} + 31,978$	0,35
BR 101 - Santa Catarina	$C_c/(1+e_0)$ vs. $w_{nat}$	$C_c/(1+e_0) = 0,0028 w_{nat} + 0,0495$	0,58
BR 101 - Santa Catarina	IP vs. LL	$IP = 0,64 (LL-15)$	0,92
BR 101 - Santa Catarina	$C_c$ vs. $w_{nat}$	$C_c = 0,0169 (w_{nat}-24)$	0,80

### **3 GEOLOGIA E GEOTECNIA DOS SOLOS DA CIDADE DE RIO GRANDE: UMA REVISÃO**

Neste capítulo é apresentada uma revisão abordando a geologia e a geotecnia da cidade de Rio Grande e sua macro região. As informações relacionadas fornecem o subsídio às abordagens subseqüentes, as quais discutem os parâmetros geotécnicos dos solos da cidade de Rio Grande.

#### **3.1 GEOLOGIA DA PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL**

Segundo Tomazelli et al. (2005) os depósitos aflorantes na Planície Costeira do Rio Grande do Sul acumularam-se em sistemas deposicionais específicos, desenvolvidos na região durante o final do Terciário e, principalmente, durante o Quaternário, dividindo-se em um sistema de leques aluviais que ocupam uma faixa contínua ao longo da parte mais interna da planície costeira e outros quatro distintos sistemas deposicionais transgressivos-regressivos do tipo laguna-barreira.

Os autores trazem um perfil esquemático (W-E) transversal dos sistemas deposicionais da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, sendo o sistema de leques aluviais o mais antigo, depósitos resultantes de processos gravitacionais (queda livre de blocos e o fluxo de detritos) que começaram no terciário e perduram até hoje. Os demais sistemas Laguna-Barreira começam no Pleistoceno perdurando até o Holoceno. A cada nova transgressão marinha, parte da região antes emersa era afogada, retrabalhando a deposição, resultando em depósitos aluviais, lagunares, lacustres e paludais de diversas idades.

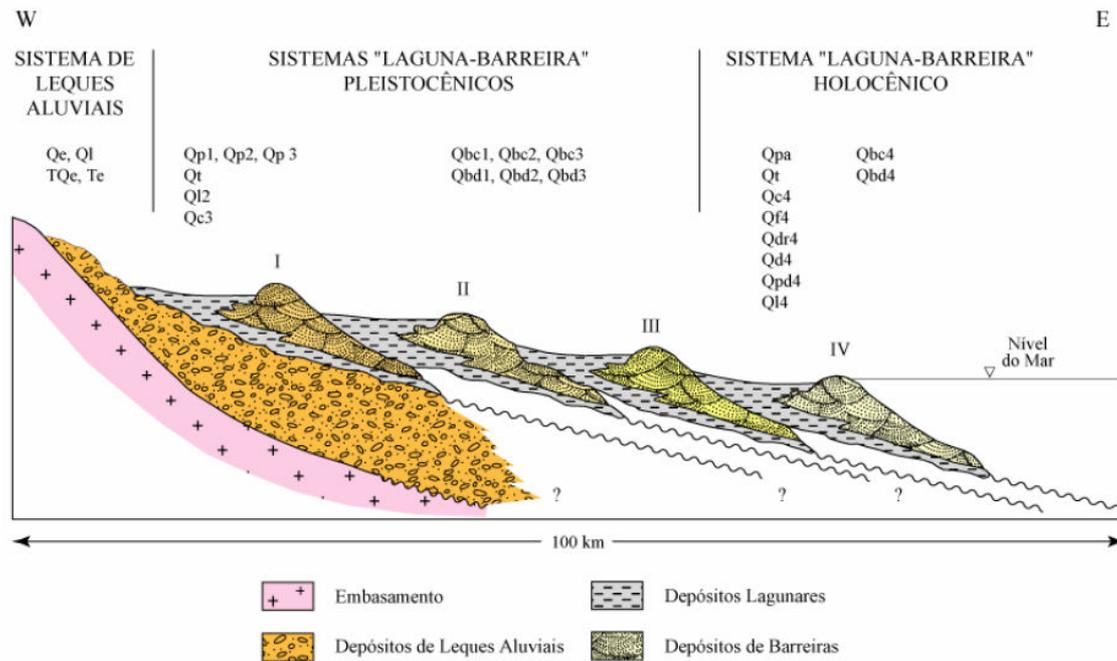


Figura 3.1 - Perfil esquemático (W-E) transversal aos sistemas deposicionais da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (TOMAZELLI et al. ,2005).

O mais recente sistema deposicional do tipo laguna-barreira da Planície Costeira do Rio Grande do Sul desenvolveu-se durante o Holoceno, como consequência da última transgressão glacial, quando o mar alcançou na região costeira aproximadamente 4 ou 5 m acima do nível atual, ao longo de toda a margem continental brasileira, segundo Suguio et al. (1985).

No sul do Rio Grande do Sul, areias e cascalhos aparecem como importantes constituintes dos sedimentos da praia atual no trecho situado entre Rio Grande e Chuí, tendo um campo de dunas eólicas com largura variável entre 2 e 8 km, se estendendo praticamente ao longo de toda a linha de costa.

Deste modo a formação sedimentar sob a planície é intercalada por sedimentos lagunares (lamas e areias finas ricas em matéria orgânica e restos de conchas) e sedimentos de canal e de planícies de inundação (areias médias, lamas e lamas orgânicas).

### 3.2 GEOLOGIA E GEOTECNIA DE RIO GRANDE

A cidade de Rio Grande está localizada em uma península, Figura 3.2, onde tem instalado o único porto marítimo do estado, situando-se na foz da Laguna dos Patos, na Planície Costeira Sul. A Laguna dos Patos liga-se ao Oceano Atlântico pelo Canal do Norte, tendo como finalização os Molhes da Barra do Rio Grande, com dois “braços” de pedra que penetram 4 km no mar, e que possibilitam a fixação da Barra e o acesso dos navios ao complexo portuário.

O complexo portuário da cidade de Rio Grande, denominado de Superporto de Rio Grande, situa-se ao longo do bordo oeste do canal de desembocadura da Laguna dos Patos no Oceano Atlântico, possuindo aproximadamente 12 km de extensão, considerados desde a ponte dos Franceses sobre o Saco da Mangueira até a raiz do molhe oeste da Barra do Rio Grande, no sentido norte-sul.

A zona urbana da cidade do Rio Grande está localizada em uma península que se desenvolve na direção leste-oeste, sendo seus limites fixados a leste pelo Porto Novo, junto ao Canal de Rio Grande, pelo Porto Velho ao Norte, pelo Saco da Mangueira ao sul e pelos bairros Parque São Pedro e Parque Marinha a oeste.

A formação geológica da região, segundo Dias e Bastos (1994), apresenta para a cidade de Rio Grande um subsolo composto por camadas de sedimentos marinhos e lagunares, em um pacote com até 52 m de espessura, descrito como um empacotamento de materiais justapostos em diversas camadas (areia e argila) depositados em ambiente transicional altamente influenciados pela maré e pelas correntes de maré enchente e vazante. A camada basal deste pacote sedimentar ocorre a partir dos 46 m de profundidade, com a presença de uma camada de areia fina a grossa muito compacta, seguida de estratos de argila silto-arenosa e argila siltosa dura até a profundidade máxima investigada na região (63,5 m) (DIAS e BASTOS, 1997).

Segundo Dias e Bastos (2010), na análise da estratigrafia da região, é extremamente importante considerar as curvas de variações relativas do nível do mar ocorrido na costa brasileira, relacionados aos últimos 7.000 anos, com grande relevância na passagem do Pleistoceno ao Holoceno, caracterizada por uma elevação em nível de aproximadamente 5 m, sendo designada na região de Rio Grande como Transgressão Quinta. Este evento transgressivo é identificado por uma falésia com cerca de 2 m de altura, atualmente interiorizada a 20 km aproximadamente da linha de praia (GODOLPHIM, 1976). Ao longo

dos terrenos pleistocênicos marinhos (regionalmente pertencentes à Formação Chuí) teria sido construída tal falésia, que constitui um contato entre os terrenos pleistocênicos marinhos e os holocênicos marinhos e lagunares.



Figura 3.2 – Localização área urbana da cidade de Rio Grande. Em primeiro plano visualiza-se o Porto Novo e o centro da cidade, a esquerda pode-se ver a ponte dos franceses cruzando o Saco da Mangueira onde tem início a região do Superporto e a direita as instalações do Porto Velho.

Sondagens realizadas pela Petrobrás (Petróleo Brasileiro S.A.) na praia do Cassino, distante 7 km das áreas até então estudadas na cidade de Rio Grande, confirmaram o depósito continental entre as profundidades de 45 e 100 m, registrando o substrato rochoso a 520 m de profundidade (CLOSS, 1970).

### **3.2.1 Identificação das regiões com depósitos argilosos**

Conforme Dias (1993b), para o mapeamento geotécnico da cidade de Rio Grande, foi feita uma divisão em três regiões principais: Região 1 – Superporto e Distrito Industrial; Região 2 – Porto Novo e Saco da Mangueira; Região 3 – Parte norte da cidade, desenvolvendo-se desde o aterro onde está construído o Museu Oceanográfico até proximidades do bairro Cidade Nova (Rua Domingos de Almeida), conforme Figura 1.1.

#### **REGIÃO 1 – SUPERPORTO E DISTRITO INDUSTRIAL**

Como mencionado anteriormente, o Superporto de Rio Grande situa-se ao longo da margem oeste do canal de desembocadura da Laguna dos Patos no Oceano Atlântico, estendendo-se cerca de 12 km desde a ponte sobre o Saco da Mangueira (ponte dos Franceses) até a raiz do molhe oeste da Barra do Rio Grande, no sentido norte-sul, conforme Figura 3.3.

O complexo portuário localizado na Região 1, é composto por fábricas de fertilizantes, terminais privados de grãos, terminais de derivados de petróleo e petroquímica com tanques de armazenamento, terminal de containers e o Estaleiro Rio Grande.

Em Dias et al. (1998) define-se a década de setenta para o início dos primeiros estudos em profundidade do solo argiloso encontrado no Superporto da cidade de Rio Grande, tendo sido apresentado os primeiros dados em Dias (1979), sendo estes estudos destinados ao conhecimento do subsolo para implantação de terminais e fábricas nesta área da cidade.

O autor descreve o perfil deste solo argiloso da área portuária subdividido em camada de argila siltosa depositada em ambiente flúvio-lagunar e de baías do Holoceno, acima dos 40 m de profundidade, com espessura variável entre 10 e 22 m, apresentando-se de normalmente a levemente pré-adensada (com OCR de até 1,7), demonstrando junto à camada basal um brusco enriquecimento em matéria orgânica da argila siltosa. Sobre a camada de

argila siltosa encontram-se sedimentos de areia fina pouco argilosa com cerca de 10 m de espessura e um manto superficial de areia siltosa, com espessuras de até 15 m, dependendo do local, identificadas como pequenas dunas, com cotas entre +4,0 m e +1,5 m, relacionadas ao nível médio do mar atual.



Figura 3.3 - Região 01 - Superporto de Rio Grande

(desde a ponte dos Franceses até os Molhes da Barra – aproximadamente 12 km)

No local da ampliação do Terminal de Contêineres (TECON) - fase 1, segundo Dias (2001), a argila siltosa encontrada foi subdividida em 3 sub-camadas: argila de baixa plasticidade (CL), até 28 metros, argila altamente plástica (CH), entre 28 e 39 metros e argila orgânica de alta plasticidade (OH), entre 39 e 42 metros, sendo descrito um teor de argila médio da camada de 70% e um crescimento de plasticidade com a profundidade. Segundo o autor, pode-se considerar para a argila siltosa valores médios de limite de liquidez de 74%, de limite de plasticidade de 30%, de índice de vazios de 1,4 e de peso específico natural de  $16\text{kN/m}^3$ , sendo a totalidade dos dados publicados, reproduzidos na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Características da argila siltosa - TECON, Dias (2001)

PROF. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	w %	$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	e	S %	Areia %	Silte %	Argila %	LL %	LP %	Classe
27,5	17,8	37,6	25,6	-	-	25	41	34	41	20	CL
28,5	17,9	46,3	25,6	1,18	100	6	39	55	64	27	CH
30,5	17,3	48,0	25,7	1,23	100	4	28	68	73	27	CH
31,5	17,7	56,0	26,6	1,49	100	10	20	70	81	31	CH
34,5	15,0	55,6	25,5	1,65	86	0	20	80	74	28	CH
35,5	16,5	39,1	25,1	1,20	85	1	27	72	78	32	CH
37,5	16,9	54,8	26,5	1,45	100	1	27	72	83	26	CH
38,5	16,5	58,6	24,8	1,45	100	0	20	80	87	38	CH
40,5	15,9	64,0	25,3	1,62	100	0	4	96	90	37	OH

Também são apresentados em Dias (2001) resultados para ensaios oedométricos e ensaios CRS, mostrando que a argila siltosa do local apresentou comportamento de normalmente adensado a levemente pré-adensado, conforme demonstrado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Parâmetros de adensamento da argila siltosa – TECON, Dias (2001)

PROF. (m)	$\sigma'_{vo}$ perf.	$\sigma'_{vo}$ art.	$\sigma'_{vm}$ CRS	OCR (CRS)
28 - 28,9	198	193	210	1,09
29 - 29,8	205	200	430	2,15
30 - 30,7	210	206	360	1,74
31 - 31,8	215	211	-	-
32 - 32,6	223	219	270	1,23
33 - 33,8	230	225	200	0,89
34 - 34,8	235	232	-	-
35 - 35,6	242	237	350	1,47
36 - 36,6	249	244	220	0,90
37 - 37,6	254	249	130	0,52
38 - 38,5	262	257	450	1,75
40 - 40,7	269	267	350	1,31

Perf: Perfil      Art: Artesianismo

As dispersões nos resultados de OCR apresentados em Dias (2001) são referentes à heterogeneidade da camada de argila, podendo ter sido ocasionada pela presença de veios de areia e silte, os quais influenciariam nas dissipações das poropressões.

Já em Hallal (2003) o material presente no TECON é caracterizado como normalmente adensado, sem a formação de picos de resistência, e valores normalizados de  $S_u/\sigma'_{v0}$  entre 0,2 e 0,3, o que caracterizaria um depósito como normalmente adensado.

A Tabela 3.3 reúne dados gerais, apresentados em Dias (2001), para diversos locais da Região 1, em Dias e Bastos (1994) e em Dias e Moraes (1998), demonstrando a mesma dispersão nos valores de OCR, dentre outros parâmetros.

Tabela 3.3 - Parâmetros adensamento argila siltosa – Região 1

LOCAL	PROF. m	w %	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	S %	Cc	$\sigma'_{v0}$ (kPa)	$\sigma'_{vm}$ (kPa)	OCR
TTS (terra)	33,25	45,6	17,4	100	0,92	294	430	1,46
	39,25	55,1	16,7	98	0,87	380	380	1,12
TECON	31,20	51,0	17,0	100	0,63	266	220	0,83
	34,00	54,5	16,9	100	0,68	285	260	0,91
1975 (terra)	39,20	56,4	16,7	100	0,72	322	280	0,87
POV BARRA  (terra)	36,20	57,1	16,4	97	0,69	277	210	0,76
	38,20	56,5	16,7	100	0,60	290	200	0,69
	42,20	67,2	15,7	97	0,81	316	200	-
	44,20	85,4	15,4	100	1,21	330	280	0,85
LEAL SANTOS (mar)	29,20	46,9	17,4	99	0,58	143	170	1,18
TERMINAL	24,00	42,0	17,6	100	0,55	174	370	2,12
FERTILIZANTES	27,00	38,0	17,9	100	0,43	198	380	1,92
(1976) BH11	35,50	48,0	17,3	100	0,64	262	400	1,52
TERMINAL	26,60	37,0	18,3	99	0,30	235	120	0,51
FERTILIZANTES	32,50	52,0	17,1	100	0,59	264	265	1,00
(1976) BH16	35,50	51,0	17,0	99	0,66	285	250	0,88
TERMINAL	25,00	34,0	18,5	99	0,27	181	117	0,65
FERTILIZANTES	28,00	46,0	17,2	98	0,48	205	160	0,78
(1976) BH19	31,50	50,0	17,2	99	0,77	232	280	1,21
	34,50	52,0	17,1	100	0,75	262	460	1,75

Após uma compilação de dados relacionados aos parâmetros de resistência, Dias (2001) indicou que a resistência ao cisalhamento não drenada obtida em ensaios UU realizados na Região 1, variam entre 50 kPa (prof. 30 m) e 95 kPa (prof. 42 m). Para argilas levemente pré-adensadas o ângulo de atrito efetivo ( $\phi'$ ) determinado foi de 21° e a coesão efetiva ( $c'$ ) de 26 kPa, para as argilas normalmente adensadas o ângulo de atrito efetivo ( $\phi'$ ) determinado foi de 26°, não apresentando coesão efetiva ( $c'$ ).

Para o depósito do TECON, é descrito em Hallal (2003) ângulo de atrito efetivo ( $\phi'$ ) de 26° e coesão efetiva ( $c'$ ) de 25 kPa, próximos aos parâmetros publicados por Dias (2001), indicando um  $S_u$  característico para a região de 40 kPa.

Reunindo as informações anteriormente descritas, é apresentado em Dias et al. 2010, uma nova adequação ao perfil estratigráfico do Superporto, anteriormente produzido pelo autor, como apresentado na Figura 3.4.

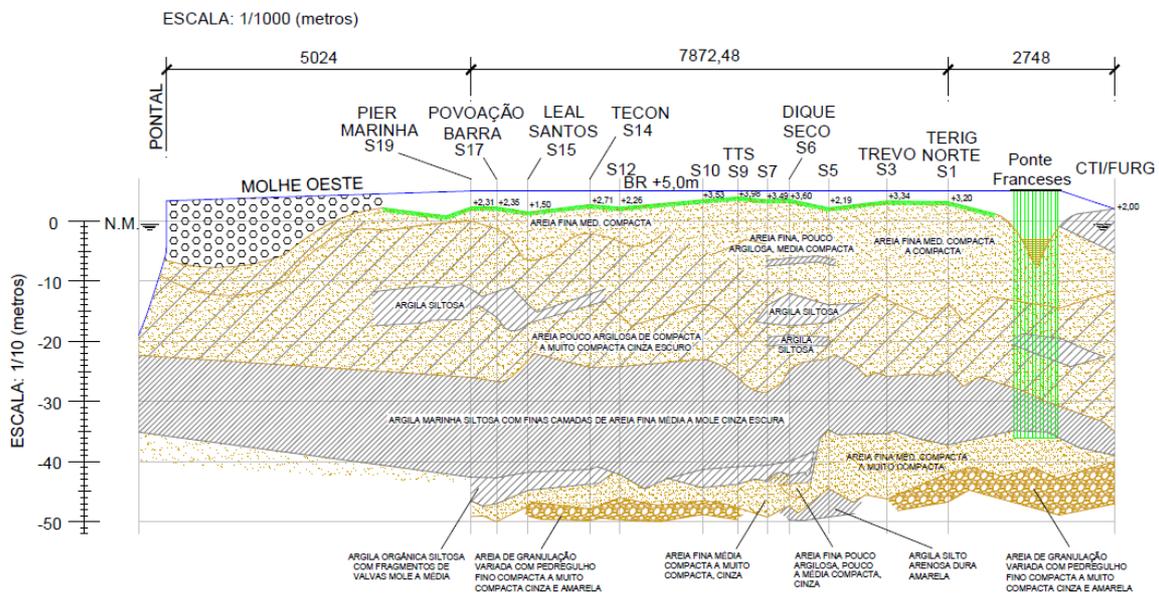


Figura 3.4 – Perfil Geotécnico para o Superporto de Rio Grande, do Ginásio CTI- FURG (atual IF-RS) (norte) até os Molhes da Barra (sul). (DIAS et al., 2010).

Na área oeste do Superporto está localizado os molhes da barra, importante obra de fixação do canal da barra, construídos em dois braços de pedra com extensão média de 4.000 m, atuando na proteção das embarcações da ação de fortes ondas e na fixação do canal da Barra de Rio Grande. O projeto dos molhes originou-se em 1883, sendo começada sua execução em 1911. A necessidade de movimentação de navios com maior capacidade de carga direcionou a uma das recentes grandes obras de engenharia da região: a obra de ampliação dos molhes em conjunto com um procedimento de dragagem do solo, possibilitando o aprofundamento do canal da barra de 14 m para 18 m, dilatando o intervalo entre dragagens devido à redução do transporte de sedimentos do mar para o canal no caso de enchente e o redimensionamento do escoamento fluvial, proporcionando uma menor sedimentação (RABASSA, 2010).

Segundo Rabassa (2010), o tipo, ambiente e o porte da obra, solicitaram um programa de investigação geotécnica específico, sendo realizados no ano de 2001 ensaios de campo (palheta, piezocone, sondagens) e coleta de amostras em furos localizados interna e

externamente ao canal, ao longo da estrutura dos molhes existentes. Em 2007, foi realizada campanha de sondagem complementar com ensaios CPTU e retirada de amostras Shelby.



Figura 3.5 - Vista aérea obra ampliação dos Molhes - Leste e Oeste (CONSÓRCIO CBPO, PEDRASUL, CARIOCA E IVAÍ, 2001)

Segundo Dias (2001) e Rabassa (2010), a maior parte das amostras puderam classificar o solo como argila siltosa de alta compressibilidade ou argila orgânica de alta compressibilidade. Os ensaios geotécnicos apresentaram, em média, umidade natural ( $w$ ) de 60 %, limite de liquidez (LL) de 80 % e limite de plasticidade (LP) de 38 %, resultando em um índice de plasticidade (IP) médio de 42 % e índice de liquidez (IL) médio de 0,524.

De acordo com a análise de  $S_u/\sigma'_{v0}$  realizada por Rabassa (2010), o solo apresentou-se de normalmente adensado a levemente pré-adensado. Os ensaios UU realizados, palheta e piezocone, apresentaram uma variação de 20 a 50 kPa, sendo apresentado por Dias (2001), por ensaios triaxiais, uma variação inferior, entre 27 e 36 kPa.

## **REGIÃO 2 - PORTO NOVO E SACO DA MANGUEIRA**

A região 2 foi determinada em Dias (1993b) como sendo a região compreendendo a área que vai do Porto Novo (leste) à Rua Duque de Caxias (oeste), à Rua General Vitorino (norte) e às margens do Saco da Mangueira (sul), conforme Figura 3.6.

O Porto Novo (Figuras 3.6 e 3.7) surgiu entre as décadas de 1910 e 1920, com 1800 m de extensão, ocorrendo nos anos 2000 alterações em sua estrutura original, como acréscimo de calado o que possibilitou a atracação de navios de maior porte.

Segundo Dias e Pedreira (2000), o Porto Novo foi executado em fundações superficiais sobre camada arenosa, com a presença de argila de consistência mole a média em profundidades entre 27 e 35 m.



Figura 3.6 - Região 2 – Porto Novo, Duque de Caxias, Rua General Vitorino e Saco da Mangueira.

Fonte: [www.portoriogrande.com.br](http://www.portoriogrande.com.br)



Figura 3.7 - - Região 2 – Porto Novo, construído no início do século passado.

Fonte: [www.portoriogrande.com.br](http://www.portoriogrande.com.br)

As primeiras sondagens de simples reconhecimento indicavam a presença de uma camada argilosa entre 28 e 37 m que foi classificada pela empresa que executou a sondagem como argila arenosa, com  $N_{SPT}$  médio de 7 golpes.

Ensaio de caracterização geotécnica realizados no local puderam melhor classificar esta camada como areia argilosa e não como argila arenosa, como verificado em outra região próxima. Foram apresentados por Dias e Pedreira (2000) dois perfis longitudinais, respectivamente no mar (a 6 m da face do cais) e em terra (a 20 m da face do cais) (Figura 3.8 e Figura 3.9), descrevendo uma camada arenosa de aterro entre as cotas +2,85 m e -1,25 m, tendo no terreno original camadas de argilas arenosas em profundidades entre 4 e 7 m, indicando a possibilidade de ter sido fundo de laguna em um ambiente de deposição típico lagunar.

O trecho onde a camada mais argilosa é mais espessa coincide com o posicionamento da antiga Ilha do Ladino; fora dessa área e em mesmas cotas, aparece areia de aterro, certamente lançada pela dragagem do porto, preenchendo a chamada Lagoa do Ladino.

Na Figura 3.9, pode-se observar a profundidade do fundo do canal (-10,3m) e a camada de areia argilosa mais profunda.

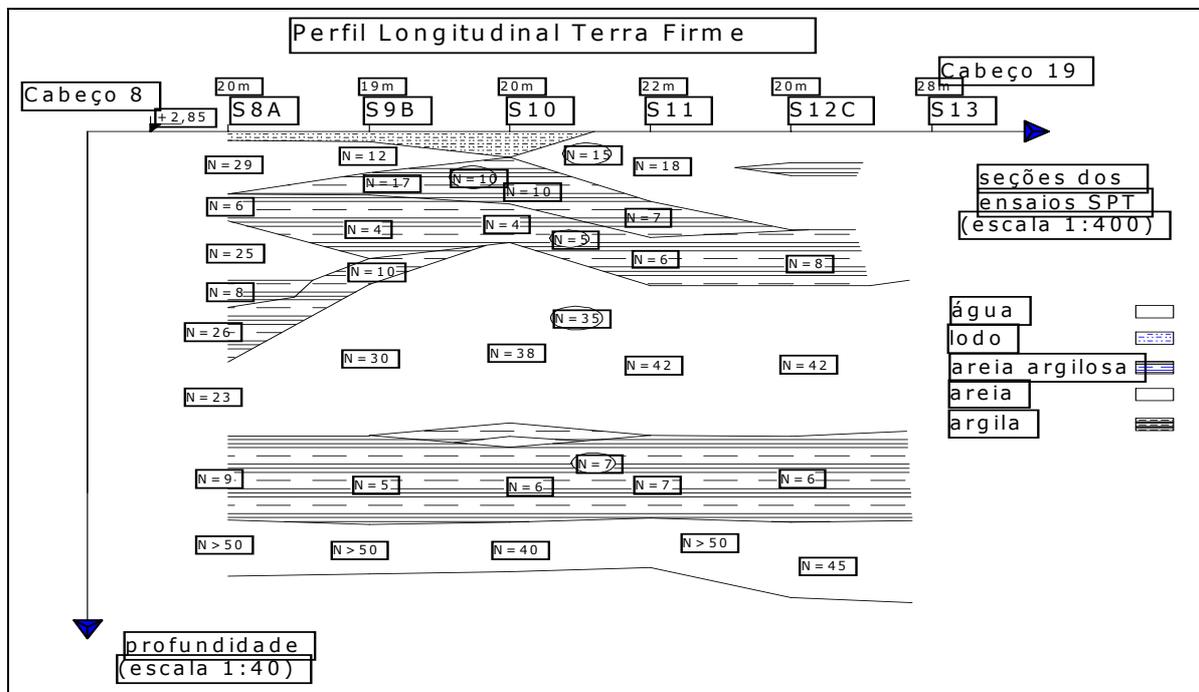


Figura 3.8 - Perfil Longitudinal lado de terra - Porto Novo (DIAS et al., 2000)

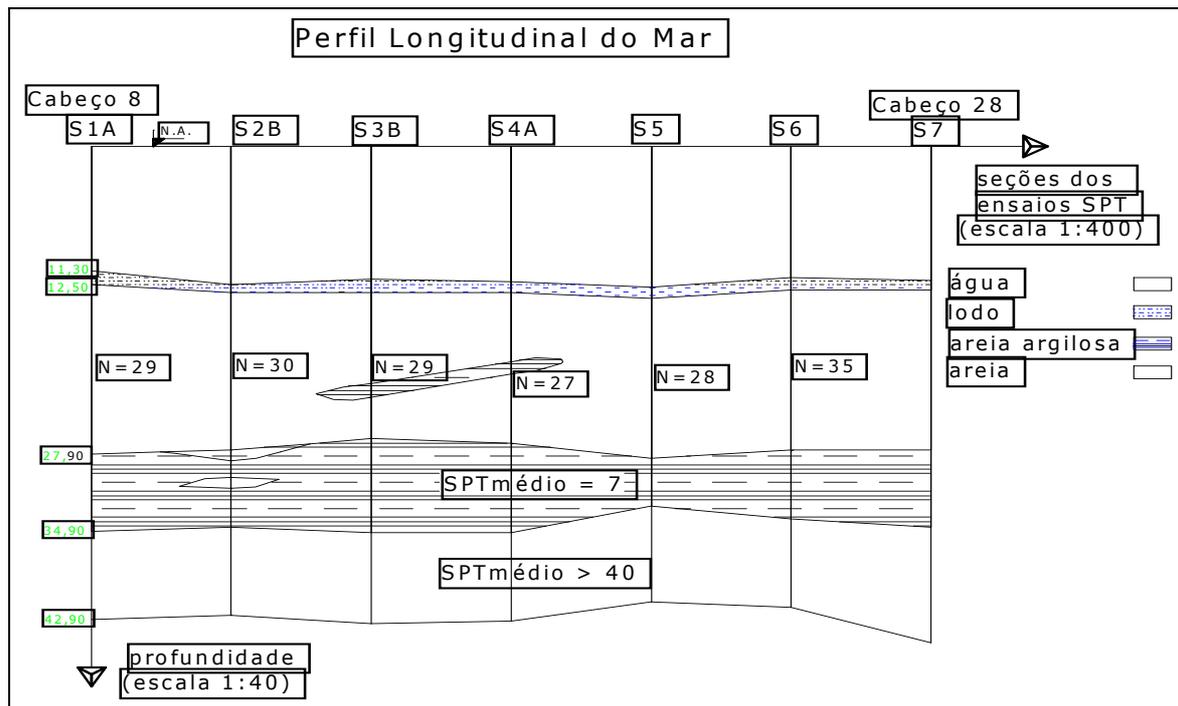


Figura 3.9 - Perfil Longitudinal lado de mar - Porto Novo (DIAS et al., 2000)

Com base na campanha de ensaios geotécnicos, foi apresentado por Dias et al. (2000) os seguintes parâmetros de caracterização médios para a areia argilosa: 79% de areia, 6,5% de silte e 14,5% de argila. O limite de liquidez médio é de 29% e limite de plasticidade pode ser representado por 18%, com algumas amostras não plásticas (NP). Os dados apresentados pelo autor estão reproduzidos na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Características de Identificação da areia-argilosa - Região 2 (DIAS et al., 2000)

Sondagem	Prof. (m)	w (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	LL (%)	LP (%)
SP1-A	29,6	27,1	77	10	13	26	NP
SP2-A	31,2	-	73	7	20	-	-
SP2-A	31,2	26,4	90	2	9	34	16,5
SP2-A	33,5	-	72	8	20	30	16,5
SP3-B	28,0	-	82	9	9	-	-
SP8	30,6	28,9	77	5	18	29	22,3
SP7	30,3	23,4	82	8	10	-	-
SP12-A	31,3	20,9	82	5	12	25	NP
<b>Médias</b>		<b>25,3</b>	<b>79</b>	<b>6,5</b>	<b>14,5</b>	<b>29</b>	<b>18/NP</b>

Com relação aos parâmetros de adensamento e resistência, os autores apresentam dados obtidos para areia argilosa, entre as profundidades de 28 e 37 m, reproduzidos nas Tabela 3.5 e Tabela 3.6, respectivamente.

Tabela 3.5 - Parâmetros de adensamento da areia argilosa – Região 2 (DIAS et al., 2000)

Sond.	Prof. (m)	w (%)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$e_0$	S (%)	Cc	$\sigma'_{vo}$ (kPa)	$\sigma'_{vm}$ (kPa)	Cc/(1+ $e_0$ )	OCR
SP1-A	29,3	27,1	20,6	0,70	100	0,20	175	220	0,12	1,26
SP2-A	31,2	26,4	19,3	0,71	96	0,29	190	300	0,17	1,58
SP7	30,3	23,4	19,4	0,68	92	0,11	176	80	0,07	0,45
SP8-A	30,8	28,9	19,0	0,77	98	0,18	305	120	0,10	0,39
SP12	31,3	20,9	20,8	0,55	100	0,12	323	300	0,08	0,93

Em Hallal (2003) é apresentada a classificação deste depósito através do OCR como sendo de normalmente adensado a levemente pré-adensado, sendo este comportamento confirmado através de ensaios CPTU.

Tabela 3.6 - Resultados dos ensaios de resistência ao cisalhamento da areia argilosa – Região 2 (DIAS et al., 2000)

Ensaio Triaxial	Ensaio	Prof. (m)	$\Delta u_r$ (kPa)	$\sigma_1 - \sigma_3$ (kPa)	$\epsilon_r$ (%)	$\phi'$ (°)	$c'$ (kPa)	Su (kPa)	Su/ $\sigma'_{v0}$
UU	1	30,3	-	170	20,0	-	-	85	0,28
	2	30,4	-	240	16,0	-	-	120	0,60
	3	30,5	-	80	9,0	-	-	40	0,13
CIU	4	20,3	80	374	13,4	37	0	-	-
	5	29,4	42	608	12,5	33	0	-	-
	6	31,2	40	419	8,2	27	0	-	-
CID	7	30,0	-	438	14,4	31,5	0	-	-
	8	31,2	-	548	8,0	35	0	-	-
	9	28,6	-	435	10,3	31,4	0	-	-
	10	29,0	-	495	14,1	33,6	0	-	-

Para a camada analisada entre 29 e 31 m, a areia argilosa apresentou Cc entre 0,12 e 0,29, com Cc/1+ $e_0$  (CR) variando entre 0,07 e 0,17. A resistência não drenada variou entre 40 e 120 kPa, apresentando uma grande dispersão nos resultados. Em ensaios CIU e

CID, obteve-se respectivamente ângulo de atrito médio de  $32,3^0$  e  $32,9^0$ , em ambos sem intercepto de coesão.

É apresentado em Hallal (2003) um intervalo de valores de Su obtidos através de ensaios de piezocone para este depósito, apresentando variações significativas de resistência e drenagem das diversas camadas. A resistência não drenada apresentou um valor médio de 35 kPa para as camadas superficiais, crescendo para um valor médio de aproximadamente 90 kPa em profundidades superiores a 28 m.

Pode-se perceber que os valores apresentados em Hallal (2003) são comparáveis aos obtidos por Dias et al. (2000) através de ensaios de laboratório.

Conforme destacado por Dias e Moraes (1998) e Dias (2001) e reafirmado por Hallal (2003), o depósito do Porto Novo difere significativamente do subsolo do Superporto, apresentando particularidades na caracterização (presença destacada de areia argilosa), bem como na compressibilidade e resistência ao cisalhamento.

## **REGIÃO 2 – SOLOS MOLES DAS CAMADAS SUPERFICIAIS**

Foram apresentados, também em Dias (2001), propriedades dos solos moles das camadas superficiais encontradas na Região 2. Os resultados são referentes às sondagens executadas no Campus Cidade/FURG junto ao Laboratório de Geotecnia e Concreto; em um terreno localizado na esquina das ruas Zaloni e Senador Correa e no Porto Novo.

Foi constatado um aterro superficial em todas as sondagens, variando de 1,15 a 4,00 m de profundidade (no Porto Novo), apresentando sob estas: camada de argila orgânica muito mole no Campus Cidade da FURG, com espessura de aproximadamente 2 m; argila orgânica com pouca areia na esquina das ruas Zaloni e Senador Correa, com aproximadamente 2 m de espessura; e uma argila arenosa com espessura de 4 m no Porto Novo, conforme apresentado na Tabela 3.7.

Abaixo das camadas argilosas é detectada areia compacta em todas as sondagens. Pode-se perceber, através das sondagens realizadas, que ocorrem oscilações sobre a profundidade das camadas de argila e areia compacta, não seguindo um perfil longitudinal com variação contínua, pois no ponto central (Campus Cidade) a camada de areia compacta começa na profundidade de 4 m e nos demais pontos na profundidade de 8 m.

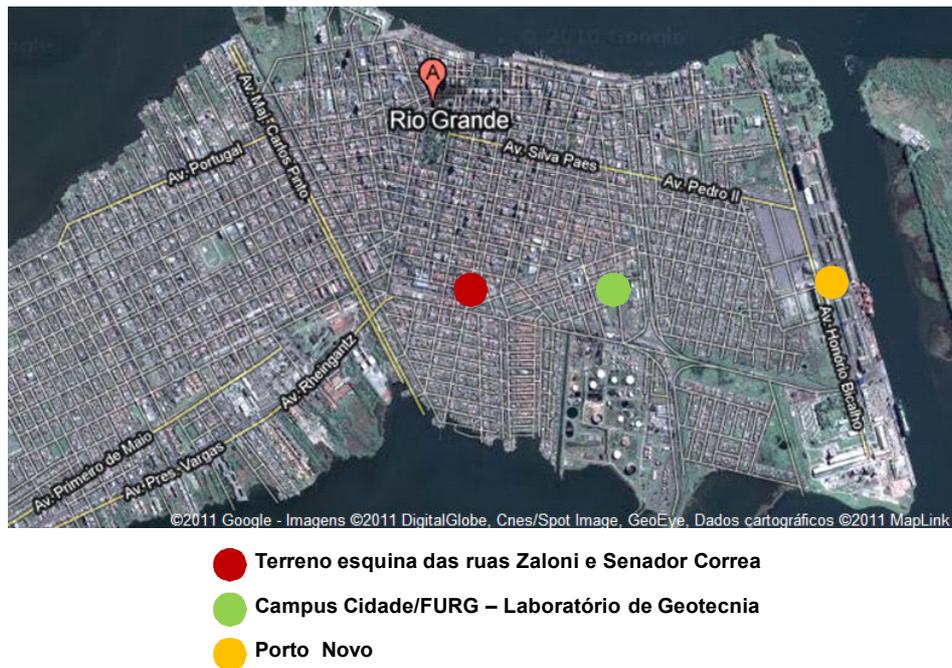


Figura 3.10 - Localização das sondagens superficiais - Região 2

Fonte: Software Google Earth – 2010

Tabela 3.7 - Ensaio de caracterização dos Solos Moles Superficiais - Região 2

<b>Sondagem</b>	<b>Prof. (m)</b>	<b>w (%)</b>	<b>Areia (%)</b>	<b>Silte (%)</b>	<b>Argila (%)</b>	<b>LL (%)</b>	<b>LP (%)</b>
Campus da FURG (Dias,1992)	3,0	113,0	20	25	55	112	47
	3,7	117,0	24	29	48	79	41
Campus da FURG (Balinhas, 2006)	1,7	70,4	21	20	59	75	31
	2,4	101,3	5	20	75	101	41
	3,1	77,3	30	22	48	54	31
	3,8	89,5	64	8	28	35	20
Esquina Zaloni/S.C. (Dias,2001)	4,3	77,9	30	20	50	66	33
	2,5	52,0	42	9	49	68	36
Porto Novo S19 (Dias et al.,2000)	6,3	76,3	42	18	40	87	56

Os parâmetros de adensamento são apresentados na Tabela 3.8, demonstrando grande variabilidade de resultados.

Com relação à resistência ao cisalhamento, foi constatado por Dias (2001) um baixo valor de Su para estes estratos moles superficiais, sendo ainda apresentado pelo autor,

através da análise das trajetórias de tensões em ensaios triaxiais, que para um nível de tensões até 30 kPa o solo apresenta um comportamento de solo levemente pré-adensado, e que para o nível de tensões entre 40 e 100 kPa apresenta um comportamento de solo normalmente adensado.

Na Tabela 3.9 são apresentados resultados de ensaios realizados em amostras amolgadas que, segundo o autor, apresentam consistência muito mole, o que explica os baixos valores de  $S_u$  e as grandes dispersões dos resultados encontrados.

Tabela 3.8 - Parâmetros de adensamento dos solos superficiais – Região 2

Sondagem	Prof. (m)	w (%)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$e_0$	S (%)	Cc	$\sigma'_{v0}$ (kPa)	$\sigma'_{vm}$ (kPa)	Cc/1+ $e_0$	OCR
Campus da FURG (Dias,1992)	3,5	112,0	14,5	2,83	100	1,04	11,6	26,2	0,27	0,44
	3,7	95,2	14,6	2,48	100	0,84	13,5	27,1	0,24	0,50
	3,8	100,6	14,4	2,63	100	1,02	16,0	27,6	0,28	0,45
Campus da FURG (Balinhas 2006)	2,4	101,3	13,1	3,31	-	2,00	20,1	38,0	0,49	1,90
	3,1	77,3	15,1	2,15	-	0,95	25,4	37,0	0,31	1,46
	3,8	89,5	15,2	1,93	-	0,70	28,0-	27,0	0,23	1,10
Esquina Zaloni/S.C. (Dias,1992)	2,5	55,0	16,0	1,52	100	0,45	21,6	28,0	0,18	1,30
	2,9	106,0	13,6	2,92	100	1,12	23,2	30,0	0,29	1,29
Porto Novo (Dias et al. 2000)	6,8	85,0	13,5	2,57	100	1,11	40,5	25,0	0,31	0,62
	6,3	76,3	14,9	2,16	96	1,75	87,0	185,0	0,55	2,12

Tabela 3.9 – Resultados de ensaios de resistência ao cisalhamento – Região 2

Sondagem	Ensaio	Prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	w (%)	$e_0$	$\sigma'_1 - \sigma'_3$ (kPa)	$\theta'$ (°)	c' (kPa)	$S_u$ (kPa)
Campus da FURG (Dias,1992)	1- UU	3,4	13,6	112	2,61	8,00	-	-	4,0
	2 -UU	3,5	13,6	110	3,30	17,94	-	-	8,7
	3- CIU	3,6	13,0	100	3,39	61,23	24,5	0	30,6
Esquina Zaloni/S.C.	1- CP2	2,6	14,8	69,0	1,96	83,33	30	0	41,7
	2- CP1	3,0	14,0	93,7	2,46	30,81	-	-	15,4
	2- CP2	3,3	14,2	91,6	2,49	35,77	30	0	17,9
	4- CP1	6,5	14,4	95,7	2,00	79,50	30	0	39,8

### REGIÃO 3 - REGIÃO NORTE: MUSEU OCEANOGRÁFICO – CIDADE NOVA

Denominada em Dias e Moraes (1998) como região norte, a região 3 - Figura 3.11, é localizada junto a Laguna dos Patos, onde, segundo os autores, ocorrem depósitos de material vasoso com até 18 m de espessura, quase superficiais, podendo ser classificados como de areia silto-argilosa, com a presença de conchas, cor cinza escura, apresentando-se de mole a muito mole. São depósitos muito jovens, formados em antigas baías ou enseadas, através de feixes de restingas e/ou na foz dos rios, originando pântanos e alagadiços litorâneos, sujeitos à ação intermitente das marés.

É apresentado na Figura 3.12 - Localização a localização de duas áreas estudadas na região 3, que compreendem a instalação do Museu Oceanográfico e de um conjunto habitacional (PEDREIRA, 2000), com detalhes sobre a obtenção destes dados presentes em Dias e Moraes (1998), Dias (2001) e Pedreira (2000).

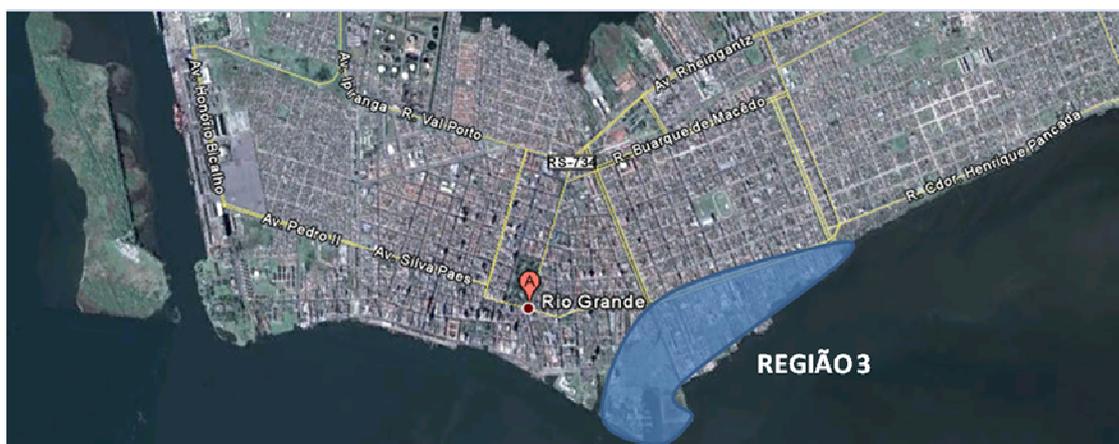
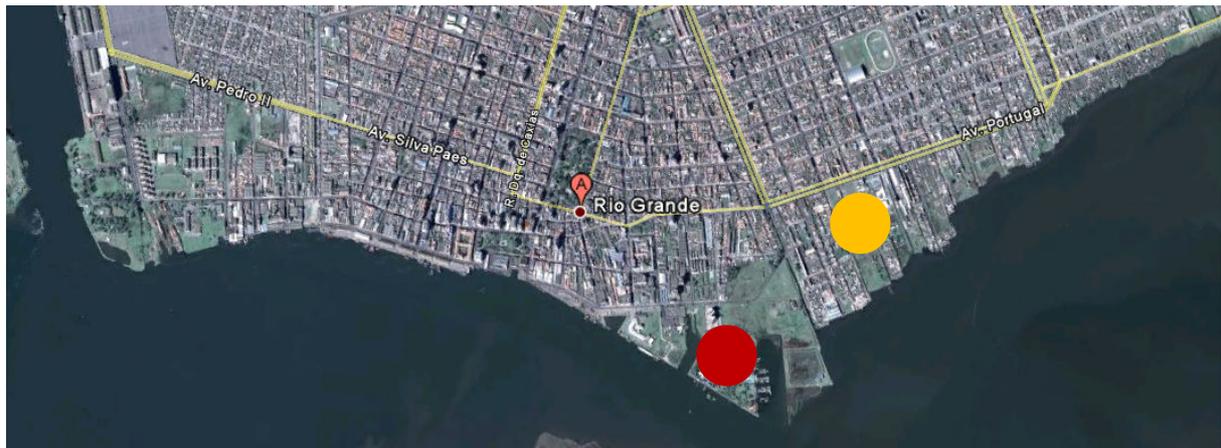


Figura 3.11 - Localização da Região 3

Fonte : Software Google Earth – 2010

Na caracterização das amostras em laboratório, os solos foram classificados como siltes areno-argilosos, moles na consistência de vaza, sendo altamente compressíveis, porém muito permeáveis, de modo que a dissipação de pressões neutras acontece de forma muito rápida.

Foi determinada uma camada inicial de aterro com boa resistência até a profundidade de  $\pm 2$  m . Camadas alternadas de argila, silte argiloso e areia são encontradas ao longo de toda a profundidade, seguidas de lentes de materiais diversos, de variada granulometria e diferentes condições de drenagem.



- Museu Oceanográfico
- Pedreira 2000

Figura 3.12 - Localização das áreas estudadas na região 3.

Fonte: Software Google Earth - 2010

A variação da profundidade das camadas de argila ao longo do terreno permite estabelecer uma hipótese de formação através de constantes mudanças de nível da maré, determinando que os sedimentos fossem depositados ao longo da superfície do terreno, em condições variadas, produzindo um substrato bastante estratificado.

Na área de um conjunto habitacional situado entre as ruas Visconde do Rio Grande e Caramuru, Pedreira (2000) obteve os resultados para os ensaios de caracterização reproduzidos na Tabela 3.10.

Tabela 3.10 - Resultados dos ensaios de caracterização (Pedreira, 2000)

Sondagem	Prof. (m)	Granulometria			LL (%)	LP (%)	w (%)
		Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)			
1	3 e 6	86	5	99	NP	NP	31
2	7	-	-	-	41	22	43

É apresentado, ainda em Pedreira (2000), parâmetros de adensamento e resistência ao cisalhamento (obtidos através de ensaios de piezocone), reproduzidos nas Tabela 3.11 e Tabela 3.12.

Tabela 3.11 - Parâmetros de adensamento (Pedreira, 2000)

<b>Sondagem</b>	<b>Prof. (m)</b>	<b><math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b><math>e_0</math></b>	<b>S (%)</b>	<b>Cc</b>	<b><math>\sigma'_{v0}</math> (kPa)</b>	<b><math>\sigma'_{vm}</math> (kPa)</b>	<b>Cc/ 1+<math>e_0</math></b>	<b>OCR</b>
1	3	19,4	0,80	100	0,24	35,4	-	0,13	-
2	7	16,4	1,47	100	0,50	66,9	61	0,20	0,91
2	8	14,0	2,10	100	1,07	70,5	41	0,35	0,58

Tabela 3.12 - Dados de resistência não drenada – ensaios de piezocone (Pedreira, 2000)

<b>Furo</b>	<b>Profundidade (m)</b>	<b>Su (kPa)</b>	<b>OCR</b>
F1	8-15	35	2,0
F2	7-15	25	1,3
F3	8-15	20	1,0
F4	10-15	35	2,0
F5	10-15	40	2,0

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

A atual expansão, bem como a implantação de novos investimentos na área da indústria naval, petrolífera, de fertilizantes, de geração de energia, ampliação de estruturas de atracação em terminais existentes, estruturas de armazenamento e pavimentação em áreas retro portuárias atualmente existentes na cidade de Rio Grande, estão sendo realizadas novas campanhas de investigação geotécnica na área identificada de pesquisa na dissertação.

Por ocasião destas obras, algumas campanhas de investigação geotécnica foram realizadas com a participação do Laboratório de Geotecnia e Concreto da FURG, o que contribuiu de forma relevante para o desenvolvimento do trabalho que aqui se apresenta.

Com o propósito de se atingir os objetivos geral e específicos desta pesquisa, foram definidas as estratégias de investigação a seguir descritas.

### **4.1 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE ENSAIOS ANTERIORMENTE PRODUZIDOS EM RIO GRANDE**

O trabalho partiu de um levantamento de dados sobre os ensaios geotécnicos, em particular ensaios de laboratório, obtidos para o solo argiloso profundo da cidade de Rio Grande, através de análise realizada em trabalhos publicados pelo grupo de pesquisa Geotecnia FURG, ao qual a autora dessa dissertação integra, e laudos de ensaios emitidos pelo Laboratório de Geotecnia e Concreto da Escola de Engenharia da FURG.

### **4.2 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DOS ENSAIOS DE CAMPO – SONDAgens SPT REALIZADAS NA ÁREA DE ESTUDO**

Para análise e aperfeiçoamento do perfil estratigráfico apresentado por Dias (2010) foi necessário a reunião de alguns perfis de sondagem na área do Superporto de Rio Grande. Estes relatórios serão dispostos em forma de anexo, sendo datados desde a década de

1970 até os dias de hoje. O documento mais antigo obtido foi um perfil estratigráfico de 1971. O relatório de sondagem geotécnica mais antigo que integra a pesquisa, foi realizado no ano de 1975, na região do atual Superporto de Rio Grande (para a obra de construção do Terminal de Trigo e Soja). A partir desta re-análise o perfil longitudinal foi parcialmente retificado ou modificado, e os resultados são apresentados no capítulo 5 – Discussão de Resultados.

### **4.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDOS GEOTÉCNICOS PRODUZIDOS AO LONGO DA COSTA BRASILEIRA**

Foi realizada uma compilação de dados de trabalhos publicados acerca de solos argilosos de alguns locais ao longo da costa brasileira. Os locais foram escolhidos da região norte até a região sul do país pelo litoral, em áreas portuárias e formados por depósitos argilosos de ampla investigação geotécnica.

Os dados que representam a argila profunda existente no Superporto de Rio Grande e os dados obtidos para os solos argilosos presentes em alguns locais ao longo da costa brasileira, foram graficados em conjunto, facilitando a proposta de uma análise comparativa.

### **4.4 PROGRAMA EXPERIMENTAL DE INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA**

Ainda na região do Superporto de Rio Grande, a partir do ano de 2008 foi executado um extenso programa de investigação geotécnica para as obras do Estaleiro Rio Grande e para a implantação de estruturas de armazenamento de produtos petroquímicos pela Transpetro no TERIG. Nestas investigações geotécnicas, a realização dos ensaios de laboratório foi executada pelo Laboratório de Geotecnia e Concreto da FURG, com a participação do Grupo de Pesquisa Geotecnia-FURG na análise dos resultados. Foram coletadas amostras em profundidade, sob a responsabilidade dos clientes e entregues ao laboratório.

Logo, além da análise de documentos com dados publicados, utilizou-se como estratégia de investigação desta pesquisa dados inéditos dos programas experimentais de

ensaios de adensamento e resistência ao cisalhamento, com amostras obtidas da obra do Estaleiro Rio Grande (DIQUE SECO) e da obra de implantação de tanques petroquímicos (TERIG). Os dados obtidos através dos programas experimentais foram agregados aos obtidos na revisão documental, integrando o universo de dados de cada sítio.

#### 4.4.1 Sítios dos programas experimentais cujos dados foram incorporados a pesquisa

##### Estaleiro Rio Grande

O empreendimento trata-se da construção de um grande estaleiro – Estaleiro Rio Grande, implantado na área portuária da cidade de Rio Grande, mais especificamente na região do Superporto de Rio Grande (Figura 4.1), em um terreno arenoso relativamente plano, perfazendo uma área total de 560.000 m<sup>2</sup>. As obras envolveram a construção de um dique seco (350 m de comprimento, 132 m de largura e 13 m de profundidade) e demais instalações de produção naval e administrativas. A construção do dique seco envolveu a execução de estacas-prancha atirantadas (estacas metálicas) e a escavação de 18 m do terreno natural.



Figura 4.1 - Localização Estaleiro Rio Grande - Dique Seco

Fonte: Software Google Earth - 2010

Uma extensa campanha de sondagens tipo SPT foi realizada na área do empreendimento. Os testemunhos coletados no amostrador padrão foram descritos no Laboratório de Geotecnia e Concreto da FURG.

Dados de 53 furos de sondagens foram georeferenciados e lançados num Sistema de Informações Geográficas (SIG) por Schuler (2007). Ensaio de penetração estática de cone com medida de poropressão (CPTU ou piezocone), segundo a norma brasileira ABNT NBR-12069/1991 foram locados em pontos estratégicos da estrutura do dique (ao longo das paredes laterais de contenção, também destinadas ao suporte de um pórtico deslizante) (Figura 4.2).

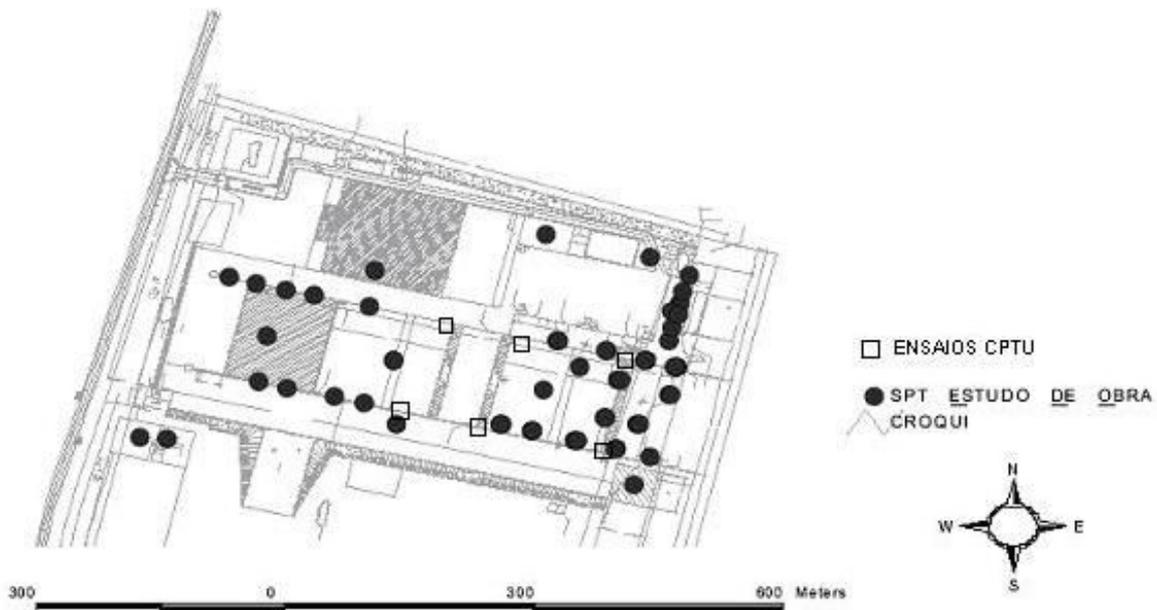


Figura 4.2 - Distribuição das sondagens tipo SPT e ensaios CPTU realizados no empreendimento (modificado de SCHULER, 2007)

### Sondagens SPT

Durante as sondagens SPT, notou-se a presença no canteiro de obras de um forte fluxo artesianos, originado na profundidade de 40 m, com ascensão de água a mais de 6 m da superfície do terreno no início do processo.

A análise da estratigrafia do terreno a partir das sondagens SPT possibilitou retratar um perfil estratigráfico identificando quatro camadas representativas e de comportamentos variados, gerando um perfil representativo, com os valores médios do  $N_{SPT}$  ao longo da profundidade, apresentado na Figura 4.3.

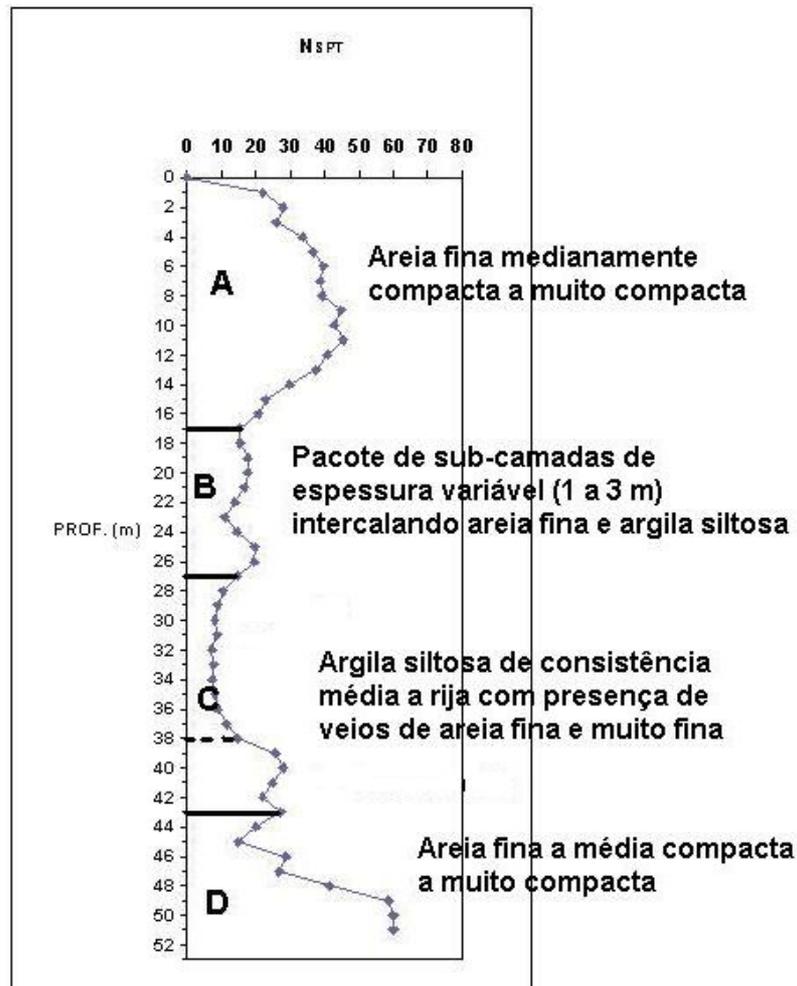


Figura 4.3 - Perfil representativo do subsolo da obra do Estaleiro Rio Grande com valores médios do  $N_{SPT}$  (DIAS et al.,2008)

A primeira camada (A) vai da superfície do terreno até a profundidade média de 16 m (cota -12,5 m), sendo formada por areia fina de medianamente compacta a muito compacta. O  $N_{SPT}$  tende a crescer com a profundidade até 10 m (superando os 40 golpes), onde, a partir daí, tende a decrescer até o limite da camada seguinte.

A segunda camada (B), na realidade é um pacote de sub-camadas com espessuras variáveis de 1 a 3 m, predominando a seguinte seqüência: argila siltosa, areia fina, argila siltosa, areia fina, argila siltosa, areia fina. Por vezes, a penúltima sub-camada de areia fina não se apresenta. Esta camada vai da profundidade de 16 até 27 m (cota -24 m). O  $N_{SPT}$  mantém-se entre 10 e 20 golpes.

A terceira camada (C), classificada desde os estudos pretéritos como argila siltosa profunda de Rio Grande, de consistência média a rija, aparece desde a profundidade de 27 até 43 m (cotas -24 a -40 m). Entre as profundidades de 27 e 30 m verificou-se a presença

de argila com veios de areia fina e, a partir daí, veios de areia clara muito fina. Nesta camada, pode-se considerar um trecho uniforme com  $N_{SPT}$  médio entre 8 e 9 golpes até a profundidade de 38 m. Deste ponto em diante, a resistência à penetração cresce por um suposto pré-adensamento, pela maior ocorrência de conchas ou mesmo influência da camada basal nesta profundidade em alguns furos.

A quarta camada (D), que começa na profundidade de 43 m, é constituída de areia fina a média, compacta a muito compacta. É considerada como a camada resistente ou indeformável (vindo a atingir valores de  $N_{SPT} > 60$  golpes). A transição entre esta camada e a superior (argila siltosa) é dada por uma sub-camada de 1 a 3 m, constituída de argila siltosa orgânica de cor preta rija. A presença de conchas (íntegras ou em decomposição) é comum ao longo de todo o perfil.

### Sondagens CPTU

Dos resultados dos ensaios de piezocone, considerando-se um fator de cone (Nkt) igual a 20, definido para a região a partir de ensaios executados na obra de ampliação dos molhes de Rio Grande (Dias, 2001), foram obtidos alguns valores de resistência não drenada ( $S_u$ ) da argila siltosa da camada C (entre 27 m e 43 m). A Tabela 4.1 apresenta a estimativa de  $S_u$  desde um ensaio de piezocone representativo da campanha realizada.

Tabela 4.1 - Valores de  $S_u$  da camada C a partir dos resultados de piezocone (Dias et. al 2008)

<b>Prof. (m)</b>	<b>Resistência de ponta corrigida <math>q_t</math> (kPa)</b>	<b>Tensão vertical total <math>\sigma_{v0}</math> (kPa)</b>	<b><math>S_u</math> (kPa)</b>
32	2.267	555	86
37	3.066	633	90
39	2.800	650	80
42	3.200	712	120

#### 4.4.2 Origem (obtenção) das amostras para ensaios de laboratório utilizadas nos programas experimentais

##### Estaleiro Rio Grande – Dique Seco

A obra de implantação do Estaleiro Rio Grande tornou possível, através de uma grande escavação (Figura 4.4), a extração de blocos de amostras indeformadas em profundidades maiores que as habituais.

Durante a escavação do dique seco do estaleiro, no mês de julho de 2008, na profundidade de 15 m, foi realizada a coleta de amostras indeformadas por blocos, sendo identificadas de acordo com o perfil estratigráfico apresentado, como material do topo da camada (B) - o pacote de sub-camadas com espessuras variáveis de 1 a 3 m.



Figura 4.4 - Escavação do Dique Seco do Estaleiro Rio Grande

Quatro blocos cúbicos foram retirados utilizando caixas de madeira com dimensões aproximadas de 40 cm de lado, conforme Figura 4.5, tendo sido determinada “in loco” as áreas em que seriam feitas as extrações. Após a determinação do local, cada bloco foi esculpido, recebendo uma camada externa de parafina, o que garantiria a manutenção da umidade natural da amostra.

Os blocos foram cortados próximos à base da caixa, após a impermeabilização da amostra, sendo mantido um excesso de material que posteriormente foi removido com o máximo cuidado, na tentativa de se evitar qualquer alteração na estrutura do solo.



Figura 4.5 - Retirada dos blocos de amostras indeformadas – Dique Seco do Estaleiro Rio Grande

Os blocos foram identificados no que diz respeito a cotas de extração, lados superiores e inferiores, sendo etiquetados com estas informações e nominados como bloco A, B, C e D.

Todo o processo de coleta das amostras foi acompanhado e orientado pela equipe técnica do Laboratório de Geotecnia e Concreto da FURG, local para o qual foram imediatamente encaminhados. Cada bloco quando aberto foi dividido em 27 volumes (menores elementos prismáticos), sendo cada volume devidamente identificado, impermeabilizado e acondicionado, possibilitando a gradual realização de ensaios e obtenção de resultados.



Figura 4.6 - Bloco coletado para realização de ensaios no processo de seccionamento dos volumes menores

## TERIG

A Transpetro (Petrobras Transporte S.A), subsidiária integral da Petrobras, constitui a maior armadora da América Latina e a principal empresa de logística e transporte de combustíveis do Brasil, atendendo às atividades de transporte e armazenamento de petróleo e derivados, álcool, biocombustíveis e gás natural. O terminal da Transpetro em Rio Grande - TERIG fica situada no Superporto, Figura 4.7, na área mais próxima ao Saco da Mangueira, distando 3,5 km a norte do sítio ERG.

O local estudado consiste na área em que estão localizados os tanques de armazenamento de derivados de petróleo. Para esta investigação foram extraídas amostras indeformadas através de tubos Shelby, em profundidades de 19 a 30 m (Figura 4.8). Para as amostras obtidas neste intervalo de cotas, caso relacionadas ao perfil prospectado no Estaleiro Rio Grande, seriam atribuídas à camada C.



Figura 4.7 - Instalações da Transpetro no Superporto de Rio Grande



(a)



(b)

Figura 4.8 - Obtenção das amostras por tubos Shelby no sítio da Transpetro –  
 (a) equipamento hidráulico para extração do amostrador ; (b) tubo Shelby extraído

As amostras obtidas através de tubos Shelby, foram devidamente acondicionadas e encaminhadas ao Laboratório de Geotecnia e Concreto da FURG, onde os ensaios laboratoriais foram realizados.

### **Ensaio complementares realizados agregando dados aos dois sítios**

No programa experimental do Estaleiro Rio Grande, foi ensaiado o quarto bloco cúbico, anteriormente extraído conforme descrito no item obtenção das amostras, até então ainda não utilizado e devidamente armazenado no Laboratório de Geotecnia e Concreto da FURG. Este bloco foi igualmente aberto e seccionado em partes menores, sendo as mesmas identificadas e acondicionadas, de forma a possibilitar a gradual realização de ensaios e obtenção de resultados.

Já para a área da Transpetro, os ensaios foram realizados em amostras remanescentes obtidas anteriormente de tubos Shelby, complementando ensaios geotécnicos realizados pelo Laboratório de Geotecnia e Concreto.

Foram realizados os seguintes ensaios: caracterização, adensamento e resistência ao cisalhamento (cisalhamento direto). Estes ensaios foram acompanhados pela autora desta dissertação.

### **Ensaio de Caracterização**

Os ensaios de caracterização foram realizados com amostras restantes da moldagem de corpos de prova para os outros ensaios, segundo especificações das normas brasileiras. Foram realizados os ensaios de análise granulométrica - NBR7181/84; determinação da massa específica dos grãos - NBR 6508/84; determinação do limite de liquidez - NBR 6459/84 e determinação do limite de plasticidade - NBR 7180/84. Os ensaios de limites de Atterberg foram realizados sem secagem prévia das amostras.

### **Ensaio de Adensamento**

Também conhecido como ensaio de compressão oedométrica, consiste na compressão do solo contido dentro de um anel metálico de dimensões conhecidas que impede qualquer deformação lateral. O ensaio simula o comportamento de camada de solo quando sob ação da carga de aterros ou outras cargas distribuídas sobre ela.

Para o ensaio, a amostra é colocada em um anel rígido ajustado numa célula de compressão oedométrica (Figura 4.9), contendo acima e abaixo da amostra duas pedras porosas, que permitem a saída de água do solo e caracterizam dupla drenagem.

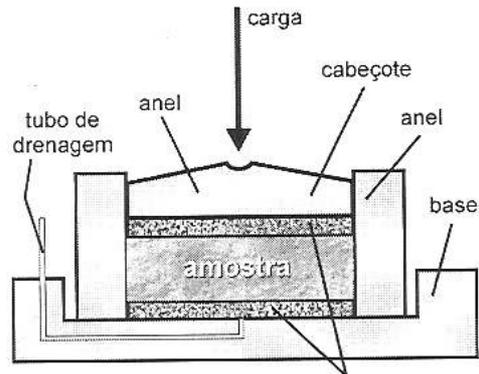


Figura 4.9 - Esquema da célula de compressão oedométrica (PINTO, 2002)

As amostras foram moldadas em anéis biselados com 5 cm de diâmetro e 2 cm de altura, conforme Figura 4.10, sendo submetidos a estágios de carregamentos incrementais com duração de 24 h, sendo o ensaio conduzido de acordo com a norma NBR 12007/1990 (Solo – Ensaio de adensamento unidimensional).

O ensaio de adensamento foi realizado nas prensas oedométricas do Laboratório de Geotecnia e Concreto da FURG. A Figura 4.11 ilustra um exemplo de corpo de prova.



Figura 4.10 - Corpo de prova para o ensaio de adensamento (o material claro corresponde a irregulares e descontínuos veios de areia muito fina presentes na amostra)



Figura 4.11 - Prensa oedométrica do Laboratório de Geotecnia e Concreto da FURG

### **Ensaio de Cisalhamento Direto**

Nas amostras coletadas no Estaleiro Rio Grande foram realizados alguns ensaios de cisalhamento direto. Apesar das incertezas sobre a real condição de drenagem dos ensaios, em particular pelo material argiloso, o ensaio foi escolhido em vista da impossibilidade da moldagem de corpos de prova para realização de ensaios triaxiais, em face da pequena espessura dos estratos argilosos.

Para o ensaio, foram moldadas amostras anelares de 6 cm de diâmetro e 2 cm de altura, sendo as amostras de estratos argilosos e da interface argila-areia moldadas com auxílio de anéis metálicos biselados. As amostras para os ensaios com o material das lentes de areias foram reconstituídas a partir de amostras indeformadas. A Figura 4.12 ilustra a moldagem dos corpos de prova e a Figura 4.13 traz um esquema do arranjo experimental.



Figura 4.12 - Moldagem de corpo de prova para cisalhamento direto (camada argilosa - material escuro; lente de areia - material claro). (BASTOS et. al 2009)

Às amostras arenosas reconstituídas na caixa de cisalhamento, aplicou-se inicialmente um pré-carregamento vertical de 200 kPa, compatível com a tensão geostática no nível de coleta das amostras, buscando uma situação mais próxima da daquela observada “*in situ*”.

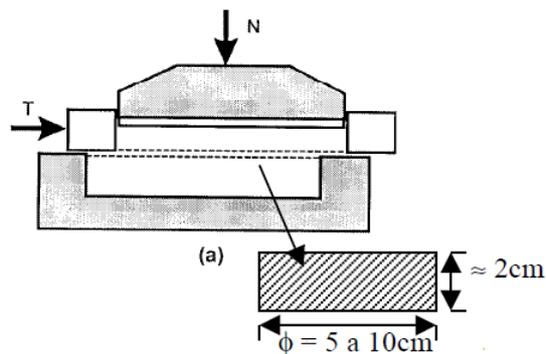


Figura 4.13 - Esquema do equipamento para ensaio de cisalhamento direto (modificado de PINTO, 2000)

Para o material do estrato argiloso e para a interface areia argila, foram realizadas duas séries de ensaios inundados: ensaios lentos e ensaios rápidos, realizados com velocidades de cisalhamento de 0,0277 mm/min e 0,277 mm/min, respectivamente. Como este ensaio não permite a determinação dos parâmetros de deformabilidade do solo, nem o controle de drenagem, os ensaios realizados com carregamentos rápidos buscaram uma condição próxima da não drenada. Para os ensaios com o material das lentes de areia, foram realizados somente ensaios na menor velocidade.

Em cada série foram cisalhados três corpos de prova sob tensões normais entre 50 e 300 kPa. O equipamento de cisalhamento direto do Laboratório de Geotecnia e Concreto

da FURG empregado nestes ensaios, da marca Wille Geotechnik, é ilustrado na Figura 4.14. Mais detalhes sobre estes ensaios são apresentados em Bastos et al. (2009).



Figura 4.14 - Equipamento de cisalhamento direto do Laboratório de Geotecnia e Concreto da FURG

#### 4.5 SÍNTESE DOS DADOS UTILIZADOS NESTA PESQUISA

Após a revisão bibliográfica sobre os parâmetros geotécnicos da argila profunda do subsolo da cidade de Rio Grande através de análise documental e a contribuição com novos dados obtidos na faixa de terra ao longo do canal do Superporto através do programa experimental descrito anteriormente (item 4.4), foi realizada a compilação dos parâmetros geotécnicos, de campo e de laboratório, ao longo do canal do Superporto de Rio Grande, desde a ponte dos Franceses até os Molhes da Barra. Esta compilação agregou um grande número de dados, sendo alguns gerados pela Universidade e outros por empresas particulares, reunidos desde a década de setenta (70) até os dias atuais.

Na Figura 4.15 é apresentada uma localização aproximada dos sítios estudados, sendo os parâmetros apresentados conforme tabelas abaixo: Terminais de derivados de petróleo (TERIG) – Tabela 4.2, Terminais de Fertilizantes (TREVO) – Tabela 4.3, Estaleiro Rio Grande (DIQUE) – Tabela 4.4; Terminal de Trigo e Soja (TTS) – Tabela 4.5; Terminal de Containers (TECON) – Tabela 4.6 e Molhes da Barra – Tabela 4.7.



Figura 4.15 - Localização sítios estudados - Superporto

Através da pesquisa realizada em documentos obtidos, pode-se realizar um novo inventário dos dados existentes para a área do Terminal Derivados de Petróleo. A estes dados foram agregados os resultados do programa experimental descrito no item 4.4 (Tabela 4.2).

O novo inventário conduzido também ampliou o universo de dados para o Terminal de Fertilizantes, reproduzidos na Tabela 4.3.

Com a realização da parte experimental da pesquisa descrita no item 4.4, de posse dos resultados dos ensaios com amostras extraídas na obra do Estaleiro Rio Grande, pode-se agregar maior número de dados àqueles já publicados, ampliando o universo de dados para análise. A Tabela 4.4 apresenta os parâmetros geotécnicos compilados para este sítio.

Da mesma forma que para o Terminal de Fertilizantes, foi realizada uma compilação e análise de todas as informações contidas em documentos sobre a geotecnia do subsolo da área do antigo Terminal de Trigo e Soja (TTS). Os dados são apresentados na Tabela 4.5.

Tabela 4.2 Dados geotécnicos - Terminal Derivados de Petróleo (TERIG)

PROF. (m)	w <sub>nat</sub> (%)	Argila (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	e <sub>0</sub>	Cc	Cd	OCR	Cc/1+e <sub>0</sub> CR
20,23 a 20,33	29,9	21	-	-	NP	-	-	-	-	-
21,17 a 21,27	30,3	29	32	18	14	0,87	0,22	0,010	-	-
23,25 a 23,35	25,9	31	NP	NP	NP	0,76	0,22	0,018	1,31	-
23,25 a 23,35	32,7	24	34	NP	NP	0,88	0,18	0,028	1,00	-
27,25 a 27,35	26,9	30	37	22	15	0,72	0,28	-	1,16	0,16
28,75 a 28,85	26,0	26	29	19	10	0,67	0,22	-	1,53	0,13
28,75 a 28,85	26,0	26	29	19	10	0,74	0,21	-	-	-
29,25 a 29,35	28,9	21	29	20	9	0,73	0,18	-	-	-

Tabela 4.3 - Dados geotécnicos - Terminal de Fertilizantes (TREVÓ)

PROF. (m)	w <sub>nat</sub> (%)	Argila (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	e <sub>0</sub>	Cc	σ' <sub>v0</sub>	σ' <sub>vm</sub>	OCR	CR	Su Triaxial (kPa)
24,30	43,5	44,3	76	24	52	1,17	0,55	194,4	370,0	1,90	0,25	77,1
25,30	32,6	33,4	59	17	42	0,92	0,27	198,3	-	-	0,14	50,4
25,30	44,7	48,8	84	26	58	1,28	0,50	198,3	370,0	1,87	0,22	54,6
27,30	38,5	30,9	46	19	27	1,05	0,43	212,3	380,0	1,79	0,21	21,3
28,35	43,8	45,9	80	27	53	1,26	0,48	226,0	160,0	0,71	0,21	55,0
29,35	41,5	41,8	67	24	43	1,15	0,41	233,9	170,0	0,73	0,19	-
31,30	50,4	42,7	77	24	53	1,33	0,73	247,5	270,0	1,09	0,31	70,9
31,40	49,3	51,9	93	28	65	1,38	0,77	248,1	280,0	1,13	0,32	70,1
32,30	49,5	48,7	80	28	52	1,32	0,59	254,0	265,0	1,04	0,25	66,1
33,40	45,3	54,3	88	30	58	1,26	0,64	261,1	380,0	1,46	0,28	-
34,00	48,1	-	94	38	56	1,29	0,63	-	-	0,95	0,28	-
34,40	50,8	52,3	87	33	54	1,02	0,75	267,6	460,0	1,72	0,37	-
35,40	50,1	55,0	87	3	51	1,38	0,66	274,1	250	0,91	0,28	77,6
36,00	50,7	-	-	-	-	1,36	0,62	-	-	1,00	0,26	-

Tabela 4.4 – Dados geotécnicos - Estaleiro Rio Grande (DIQUE SECO)

<b>PROF.</b> <b>(m)</b>	<b>Argila</b> <b>(%)</b>	<b>w<sub>nat</sub></b> <b>(%)</b>	<b>LL</b> <b>(%)</b>	<b>LP</b> <b>(%)</b>	<b>IP</b> <b>(%)</b>	<b>e<sub>0</sub></b>	<b>Cc</b>	<b>Cr</b>	<b>OCR</b>	<b>CR</b>
17,20	48,2	68,2	86	39	47	1,93	1,23	-	1,61	0,42
17,80	38,8	87,5	112	49	63	2,40	1,44	-	-	0,42
24,34	44,0	72,0	96	40	56	1,40	0,40	-	-	0,17
30,11 a 30,14	36,0	31,3	40	17	23	0,86	0,22	-	0,23	0,12
30,34 a 30,36	-	30,6	-	-	-	0,89	0,21	-	0,21	0,11
32,32 a 32,39	40,0	40,7	49	18	31	1,10	0,45	0,013	0,80	0,21
34,56 a 34,60	-	48,1	-	-	-	1,35	0,54	0,020	0,88	0,23
35,33 a 35,38	33,0	35,2	38	18	20	0,95	0,44	0,017	0,98	0,23
35,47 a 35,50	-	35,0	-	-	-	0,92	0,25	0,027	0,34	0,13
37,65 a 37,67	53,0	46,3	69	31	38	1,16	0,58	0,017	1,16	0,27
40,43 a 40,47	62,0	33,4	49	18	31	0,82	0,30	0,043	0,29	0,16
40,20 a 40,24	51,0	53,5	80	26	54	1,52	0,82	0,015	1,32	0,33

Tabela 4.5 – Dados geotécnicos - Terminal de Trigo e Soja (TTS)

<b>Prof.</b> <b>(m)</b>	<b>Argila</b> <b>(%)</b>	<b>w<sub>nat</sub></b> <b>(%)</b>	<b>LL</b> <b>(%)</b>	<b>LP</b> <b>(%)</b>	<b>IP</b> <b>(%)</b>	<b>e<sub>0</sub></b>	<b>Cc</b>	<b>σ'<sub>v0</sub></b> <b>(kPa)</b>	<b>σ'<sub>vm</sub></b> <b>(kPa)</b>	<b>OCR</b>	<b>CR</b>	<b>Su</b> <b>Triaxial</b> <b>(kPa)</b>
28,0	31,2	33,8	40	17	23	0,91	0,30	219,6	140	0,64	0,16	69,9
30,0	31,1	35,5	39	17	22	0,93	0,47	232,6	370	1,59	0,24	45,5
32,0	38,0	45,0	57	20	37	1,23	0,68	245,6	350	1,43	0,30	74,9
33,0	-	45,6	-	-	52	-	0,92	294,0	430	1,46	-	75,0
35,0	51,0	52,2	87	25	62	1,35	-	-	-	-	-	98,7
36,0	-	58,0	88	26	62	-	-	125,0	158	1,26	0,28	64,5
37,0	51,6	48,6	71	24	47	1,30	0,72	278,1	490	1,76	0,31	70,6
39,0	55,9	53,4	85	28	57	1,39	0,87	338,0	380	1,12	86,9	112,4
42,0	63,9	57,0	110	32	78	1,53	1,49	310,6	560	1,80	0,59	124,6

Os dados geotécnicos acerca da área do Terminal de Containers (TECON) foram também compilados. São apresentados na Tabela 4.6.

Os dados apresentados para a área dos Molhes da Barra, foram compilados, analisados e organizados a partir de um relatório elaborado pelo Laboratório de Geotecnia e Concreto da FURG atendendo um contrato particular. Os dados apresentados na Tabela 4.7 complementam aos já publicados por Pedreira et. al. (2008).

Tabela 4.6 – Dados geotécnicos - Terminal de Containers (TECON)

Prof. (m)	Argila (%)	w <sub>nat</sub> (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	e <sub>0</sub>	Cc	γ <sub>nat</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	OCR	Cc/ 1+e <sub>0</sub>	Su (kPa)	c' (kPa)	φ' (°)
27,5	34,0	37,6	41	20	21	-	-	-	-	-	-	-	-
28,5	55,0	46,3	64	27	37	1,40	0,71	17,93	1,09	0,30	61,9	-	-
29,5	-	51,0	83	32	51	1,43	0,8	17,23	2,15	0,33	73,4	17	22
30,5	68,0	48,0	73	27	46	1,47	0,92	17,33	1,74	0,37	95,9	-	-
31,5	70,0	56,2	81	31	50	1,49	0,63	17,74	0,83	0,25	62,8	32	21
32,0	-	56,0	83	46	37	1,57	0,86	16,63	1,23	0,33	70,3	-	-
33,5	-	53,5	85	45	40	1,63	0,82	16,54	0,89	0,31	71,6	16	25
34,5	80,0	55,6	81	31	50	1,65	0,68	15,02	0,91	0,26	71,2	27	15
35,5	72,0	39,1	78	32	46	1,52	0,9	16,53	1,47	0,36	79,3	-	-
36,0	-	53,0	86	46	40	1,63	0,72	16,70	0,95	0,27	82,6	-	-
37,5	72,0	54,8	83	26	57	1,65	0,98	16,96	0,52	0,37	65,9	38	24
38,5	80,0	58,6	87	38	49	1,55	1,05	16,50	1,75	0,41	68,3	-	-
39,2	-	56,4	-	-	-	-	0,72	16,70	0,87	-	-	-	-
40,5	96,0	64,0	90	37	53	1,62	1,19	15,95	1,31	0,45	105,7	-	-

Tabela 4.7 – Dados geotécnicos - Molhes da Barra (MOLHES)

Prof. (m)	Argila (%)	w <sub>nat</sub> (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	e <sub>0</sub>	Cc	γ <sub>nat</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	OCR	Cc/ 1+e <sub>0</sub>	Su (kPa)
26,5	29,0	36,0	38	19	19	0,86	0,44	19,20	0,37	0,24	36,7
28,5	27,0	46,0	48	26	22	1,11	0,41	18,00	2,50	0,19	17,1
28,5	30,0	35,5	37	20	17	1,08	0,42	17,70	1,96	0,20	26,5
28,5	43,0	41,0	51	25	26	1,62	0,77	15,90	2,05	0,29	32,7
28,5	31,0	44,0	44	23	21	1,39	0,39	17,30	0,28	0,16	-
28,5	47,5	51,5	59	27	32	1,25	0,50	17,30	1,05	0,22	-
29,0	51,0	53,0	76	36	40	1,55	0,64	16,60	0,85	0,25	33,0
30,5	52,0	68,0	76	36	40	1,89	0,58	15,80	0,20	0,20	28,7
30,5	63,0	62,0	88	43	45	1,92	1,01	15,50	1,25	0,35	38,8
31,0	58,0	65,0	90	45	45	1,80	0,69	15,60	0,42	0,25	21,5
31,5	61,0	59,0	86	43	43	1,75	0,95	15,90	1,82	0,35	34,3
31,5	33,0	50,0	47	25	22	1,62	0,45	16,90	0,09	0,17	-
32,5	58,0	55,0	86	36	50	-	-	-	-	-	31,0
32,5	52,5	62,0	78	40	38	1,77	0,83	15,60	1,04	0,30	23,0
32,5	62,0	66,5	90	44	46	1,87	0,86	15,90	0,96	0,30	29,5
33,0	53,0	59,0	79	40	39	1,80	0,66	15,90	1,14	0,24	22,7
33,0	55,0	69,0	69	34	35	2,01	0,67	15,40	0,45	0,22	-
34,0	56,0	60,0	85	40	45	1,64	0,59	16,50	0,86	0,22	-
34,5	47,5	60,0	89	42	47	1,56	0,87	16,50	2,30	0,34	33,5

## 4.6 MÉTODOS DE ANÁLISE

Os dados obtidos para os diversos sítios ao longo do canal do Superporto de Rio Grande foram analisados espacialmente no sentido longitudinal, isto é, da Ponte dos Franceses em direção aos Molhes da Barra. Os parâmetros geotécnicos foram devidamente referenciados segundo sua localização (ao longo do corte longitudinal) e sua profundidade. Num segundo momento, os diferentes parâmetros foram relacionados entre si. Na análise da correlação entre os parâmetros, algumas das correlações revistas na revisão bibliográfica são lembradas.

Na análise dos parâmetros ao longo do Superporto (segundo a chamada localização), serão utilizados aqueles associados à camada “C” – camada de argila siltosa profunda (Figura 4.3). Esta camada possui cota e espessura variada ao longo do perfil longitudinal, sendo identificada sítio a sítio de acordo com dados de ensaios.

A análise estatística dos dados (estatística descritiva básica e testes de correlação) foi realizada com o emprego dos softwares Statistica e Microsoft Office Excel, buscando analisar a representatividade da localização e da profundidade na variação dos parâmetros.

Também foram comparados os perfis estratigráficos do Superporto e Porto Novo e os parâmetros compilados para cada um deles. Busca-se melhor entender os comportamentos geotécnicos dos dois sítios, que apesar da pouca distância, segundo a revisão bibliográfica apresentam-se diferenciados.

Já a atualização do perfil estratigráfico proposto pela empresa Geotécnica S.A. (1971) e remodelado por Dias (1993b/2010) foi realizada a partir da análise de perfis de sondagem existentes nos sítios de estudo possibilitando refinar a seção longitudinal existente para a região do Superporto de Rio Grande.

Com as análises anteriores finalizadas, foram obtidos parâmetros representativos para o solo argiloso contido em profundidade na cidade de Rio Grande, os quais se apresentam comparados aos parâmetros publicados para solos argilosos costeiros de outros locais na costa brasileira. Os locais pesquisados ao longo da costa foram representados ordenadamente no sentido norte-sul.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, serão apresentados e analisados os parâmetros geotécnicos compilados dos dois sítios em foco nesta dissertação: Superporto e Porto Novo. Os dados do Superporto foram reunidos na forma de um perfil longitudinal, sendo analisados os parâmetros da camada de argila siltosa em diversas profundidades e em diversos pontos localizados ao longo da margem do canal do Superporto no sentido norte-sul. Foram compilados, analisados e inter-relacionados os seguintes parâmetros: teor de umidade natural ( $w_{nat}$ ), percentual de argila, limite de liquidez (LL), índice de plasticidade (IP), índice de vazios ( $e_0$ ), índice de compressão (Cc), a relação  $Cc/(1+e_0)$ , razão de pré-adensamento (OCR) e a resistência ao cisalhamento não drenada UU ( $S_u$ ).

Ao final do capítulo uma comparação destes parâmetros com aqueles publicados para outros pontos da costa brasileira é realizada.

### 5.1 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DO SUPERPORTO DE RIO GRANDE

A partir dos dados coletados para esta dissertação, pode-se detalhar, retificar e reeditar o perfil anteriormente traçado para a região de estudo por Dias et al.(2010). Esse perfil longitudinal, ilustrando o subsolo ao longo do Superporto de Rio Grande é apresentado na Figura 5.1. Neste perfil fica indicada a presença de uma camada de argila siltosa cujas propriedades geotécnicas são determinantes nos projetos de fundações de várias obras nos terminais e nas demais estruturas desta região portuária. Sobreposta a esta camada, ocorrem pacotes arenosos espessos e outros estratos argilosos intercalados com lentes arenosas. Já abaixo desta encontra-se um pacote arenoso compacto, com características que remetem a sedimentação de origem continental. Dias et. al. (2010), traz uma descrição completa do perfil localizado sob a obra do Estaleiro Rio Grande.

Os parâmetros geotécnicos compilados desde as campanhas selecionadas são representados espacialmente segundo duas dimensões: 1ª) em função da localização ao longo do canal – através de gráficos onde na abscissa são representadas em escala as distâncias desde a Ponte dos Franceses aos Molhes da Barra e na ordenada o parâmetro em questão; 2ª)

em função da profundidade do perfil através de gráficos onde na abscissa tem-se o parâmetro analisado e na ordenada a profundidade em relação a superfície do terreno. Os dados concentram-se na camada de argila siltosa profunda, tendo em vista que o solo desta é o objeto principal das campanhas pesquisadas. A pequena variação de cota nos terrenos envolvidos faz com que os erros assumidos ao considerar a profundidade ao invés de cotas (em relação a um mesmo referencial) sejam pequenos.

Os resultados da análise estatística por regressão linear múltipla para cada um dos parâmetros frente à localização ao longo do canal e a profundidade balizam as discussões que seguem. O apêndice A traz um resumo dos resultados obtidos com o software Statistica na análise por regressão linear múltipla, definindo os parâmetros utilizados para a realização da análise de comportamento dos parâmetros apresentados.



### 5.1.1 Teor de argila

As Figuras 5.2 e 5.3 mostram a variação do teor de argila da camada ao longo da localização e da profundidade. Apesar da dispersão dos dados, percebe-se tendência de aumento no teor de argila, obtido de ensaios granulométricos com defloculante, com a profundidade e na direção dos Molhes da Barra. Modificações no ambiente deposicional, com influência do regime hidrodinâmico, do ambiente físico-químico ao longo do canal e da história geológica que modelou o estuário, podem justificar esta tendência.

Os estudos realizados no Estaleiro Rio Grande (DIAS et al., 2008) revelaram que esta argila siltosa profunda apresenta-se preta, com presença de matéria orgânica altamente mineralizada, nas maiores profundidades (a mais de 40 m), na interface com a camada arenosa basal. Por outro lado, nas menores profundidades (no entorno dos 20 m) é comum a presença de lentes arenosas de pequena espessura, vindo a reduzir o teor de argila nos resultados dos ensaios granulométricos, pois passa a ser incorporado material arenoso na amostra deformada ensaiada.

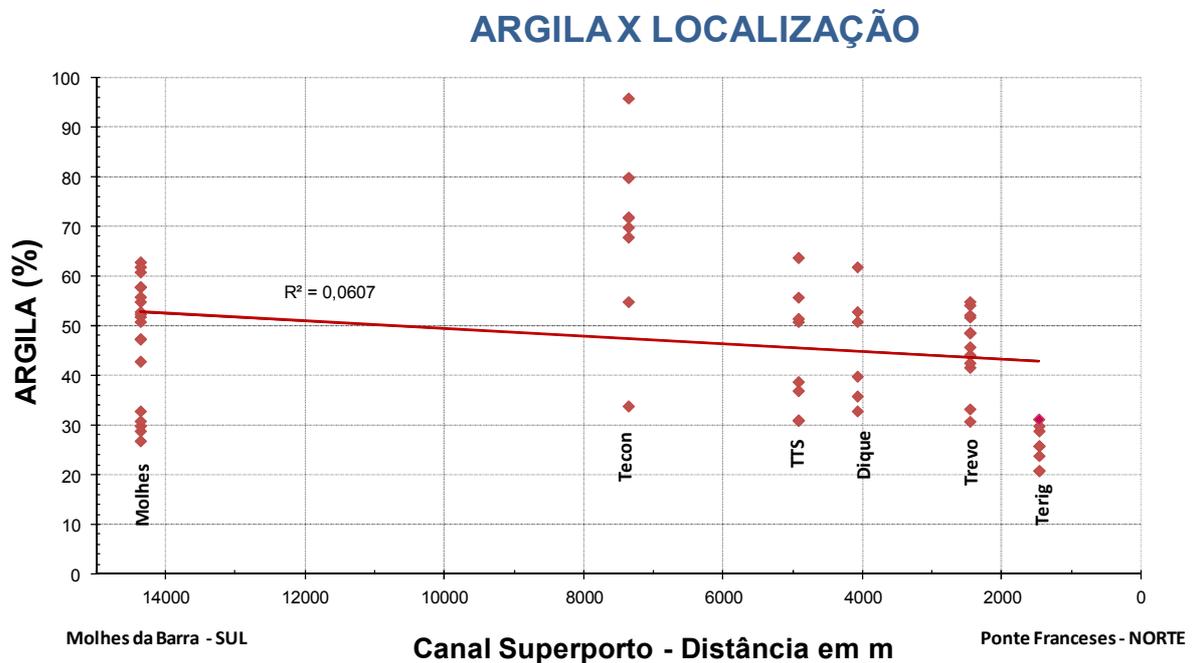


Figura 5.2– Teor de argila x localização (Superporto de Rio Grande)

No modelo de regressão linear múltipla, pode-se constatar que tanto a profundidade como a localização são significativas (ver apêndice A), isto é, comprova-se que o teor de argila mostra dependência tanto com a localização ao longo do canal como com a profundidade. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) ajustado para o modelo foi de 44,13% (ver anexo 1). Logo, foi possível comprovar, com base estatística, que o solo da camada profunda torna-se mais argiloso à medida que se aproxima do centro da cidade e se aprofunda na camada.

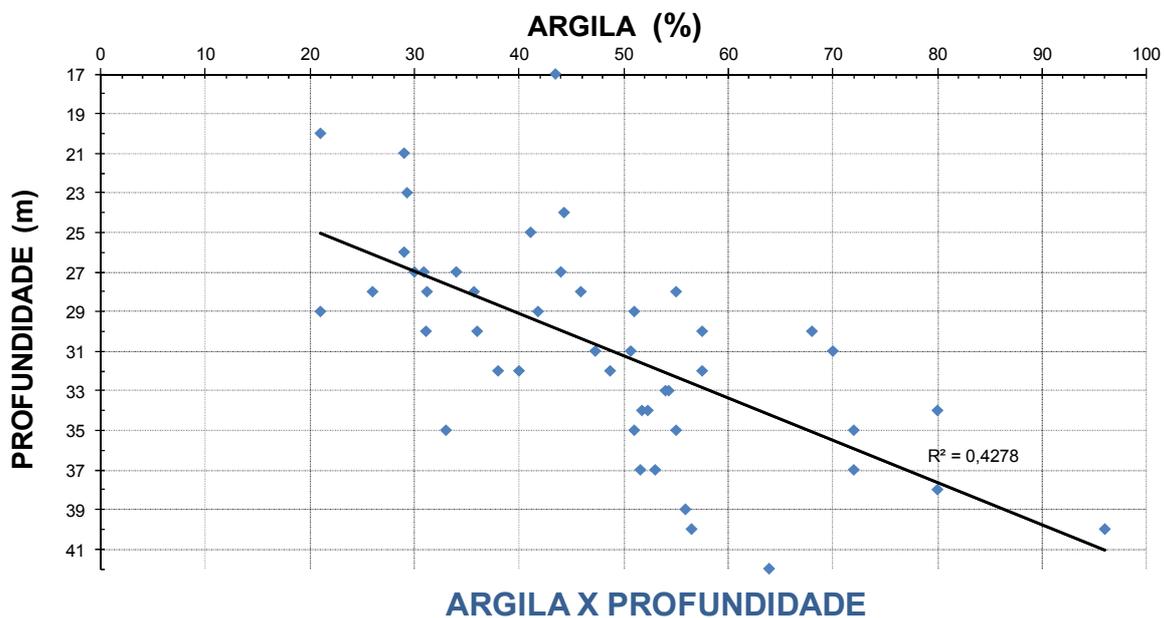


Figura 5.3– Teor de argila x profundidade (Superporto de Rio Grande)

### 5.1.2 Teor de umidade natural

O teor de umidade natural ( $w_{nat}$ ) dos solos argilosos profundos ao longo do canal e da profundidade é apresentado nas Figuras 5.4 e 5.5. Estes dados são oriundos de determinações realizadas pelo método da estufa quando da moldagem de corpos de prova para diferentes ensaios. Observa-se a tendência de aumento no teor de umidade natural com a profundidade e na direção dos Molhes da Barra. A forte relação do teor de umidade com o

teor de argila explica este comportamento (ver item 5.2). Entretanto, observa-se que como o teor de argila, para os dados de umidade natural apresenta dispersão dos dados.

Através do modelo de regressão, pode-se constatar que tanto a profundidade como a localização são significativas, isto é, comprova-se que o teor de umidade mostra dependência tanto com a localização ao longo do canal como com a profundidade. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) ajustado para o modelo foi de 24,02% (apêndice A). Logo, seguindo a mesma tendência do teor de argila, pode-se afirmar que o solo argiloso profundo tem maior teor de umidade na direção dos Molhes da Barra e à medida que se aprofunda na camada.

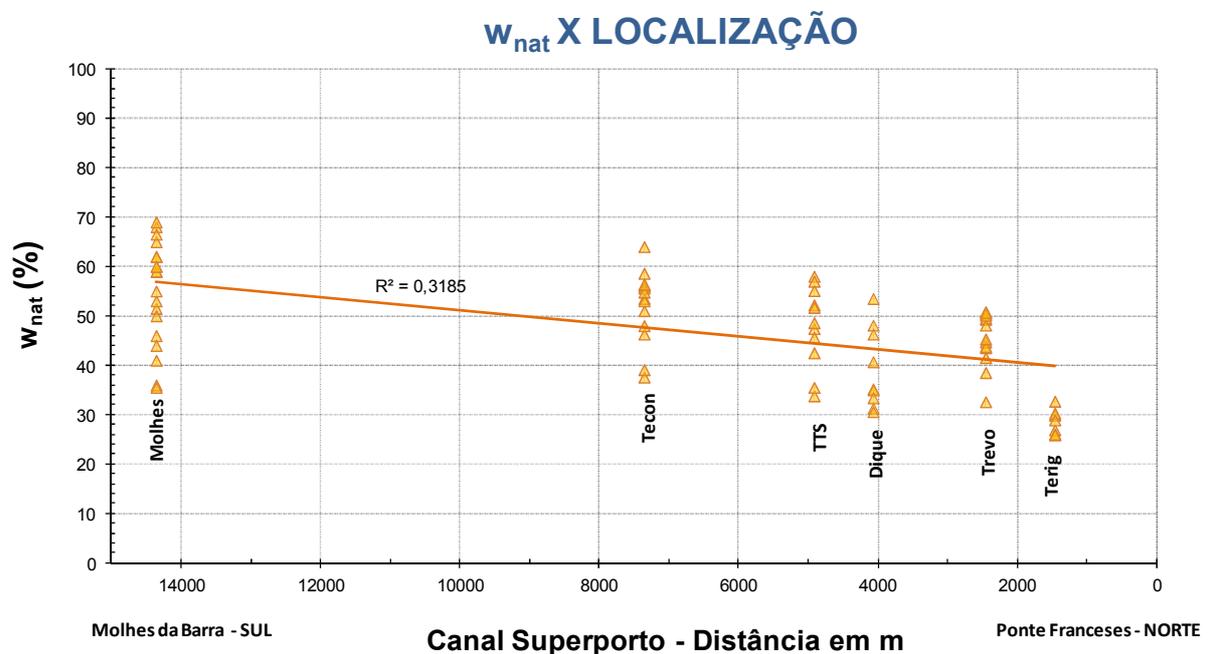


Figura 5.4– Teor de umidade natural x localização (Superporto de Rio Grande)

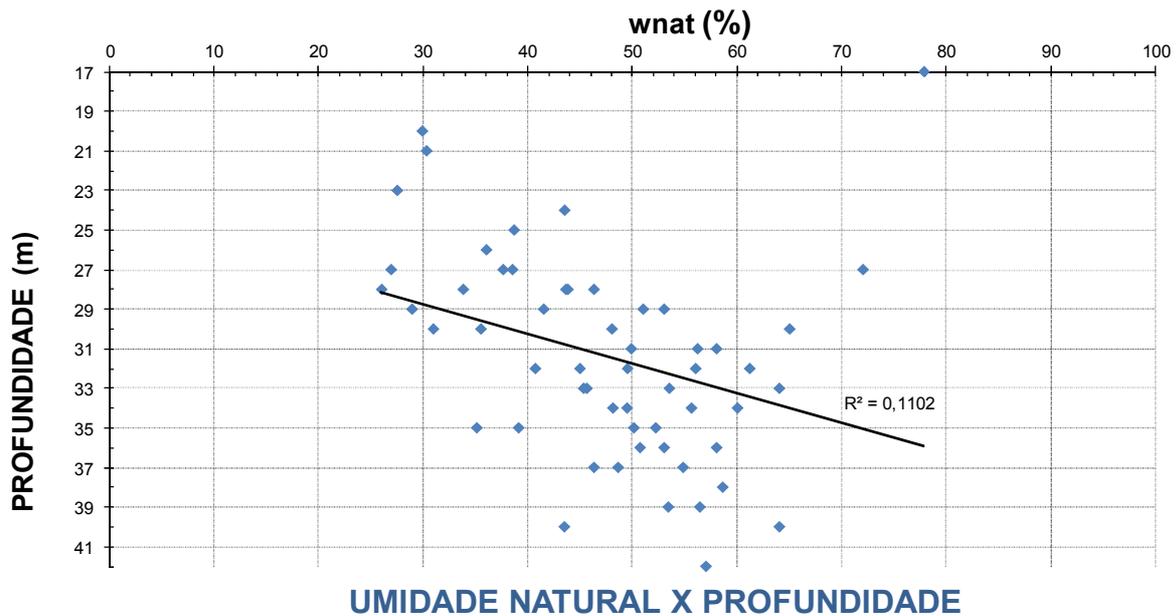


Figura 5.5– Teor de umidade natural x profundidade (Superporto de Rio Grande)

### 5.1.3 Limite de liquidez

O limite de liquidez (LL) dos solos argilosos profundos ao longo do canal e da profundidade é apresentado nas Figuras 5.6 e 5.7. Foi identificada a mesma tendência de variação com a localização e profundidade que para o teor de argila. A reconhecida relação de aumento do limite de liquidez com o teor de argila explica este comportamento (ver item 5.2).

Entretanto, no modelo de regressão linear múltipla, pode-se constatar que apenas a profundidade apresentou-se como variável significativa ao modelo, isto é, a localização da amostra não contribui para a variação do parâmetro. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) ajustado para o modelo foi de 12,40% (apêndice A). Neste caso, pode-se apenas afirmar que o limite de liquidez do solo argiloso tende a aumentar com a profundidade da camada profunda.

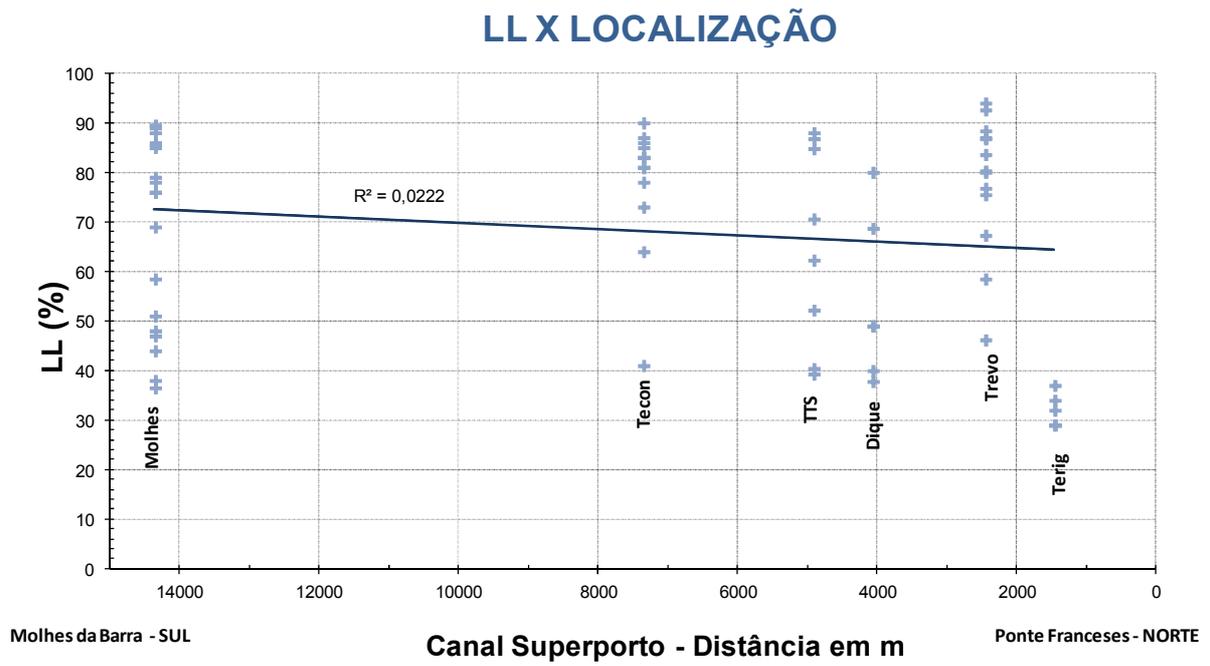


Figura 5.6– Limite de liquidez x localização (Superporto de Rio Grande)

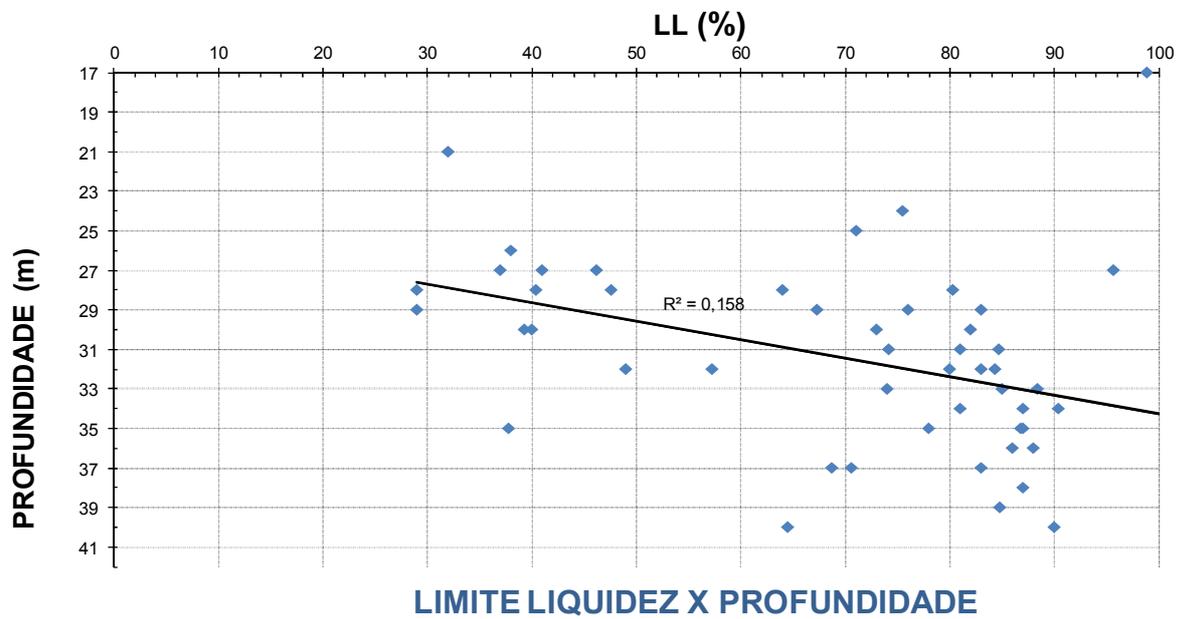


Figura 5.7– Limite de liquidez x profundidade (Superporto de Rio Grande)

### 5.1.4 Índice de Plasticidade

Seguindo a análise conduzida para os parâmetros anteriores, a variação do índice de plasticidade (IP) para o mesmo solo argiloso é apresentada nas Figuras 5.8 e 5.9. Este parâmetro, que quantifica a plasticidade dos solos, também possui reconhecida relação crescente com o teor de argila (ver item 5.2). Entretanto, na análise frente à localização não se percebe acréscimo do IP na direção dos Molhes da Barra, diferente do comportamento apresentado para o teor de argila e o limite de liquidez frente à mesma análise. Já com relação à profundidade, a tendência de aumento com a profundidade é confirmada, tal como acontece com o teor de argila e limite de liquidez.

Pelo modelo de regressão, pode-se constatar que apenas a profundidade apresentou-se como variável significativa ao modelo, de igual forma que a análise do limite de liquidez. Logo, conclui-se que, a partir dos limites de Atterberg, permite-se apenas identificar um aumento da plasticidade do solo ao longo da profundidade na camada de argila siltosa profunda. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) ajustado para o modelo foi de 15,25% (apêndice A).

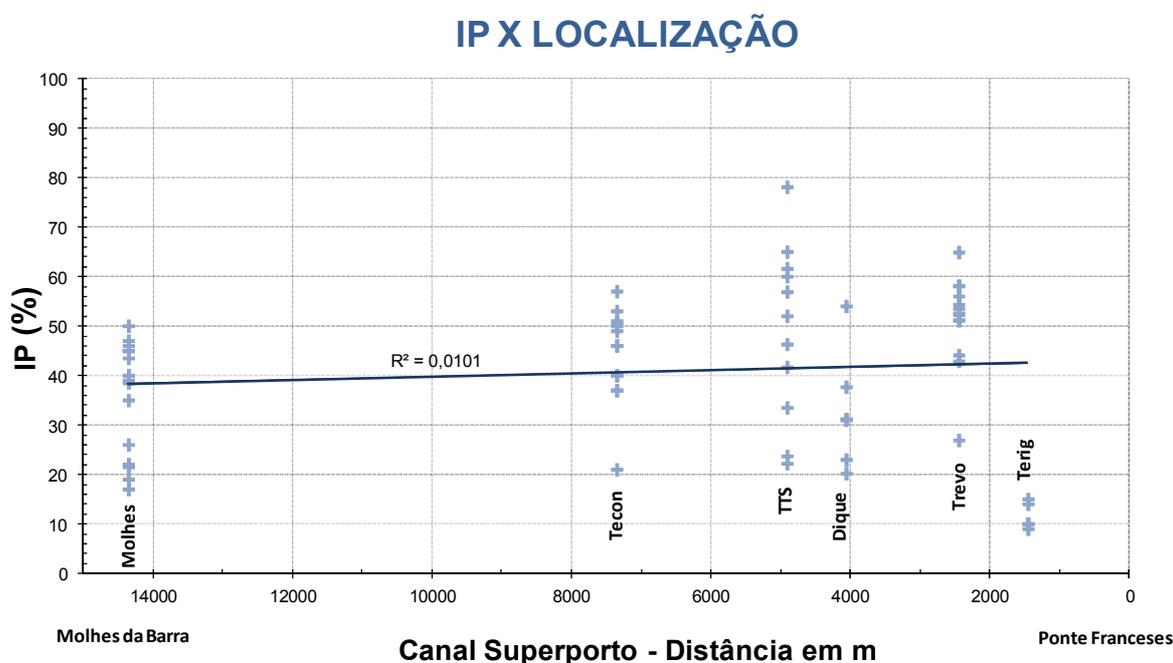


Figura 5.8– Índice de plasticidade x localização (Superporto de Rio Grande)

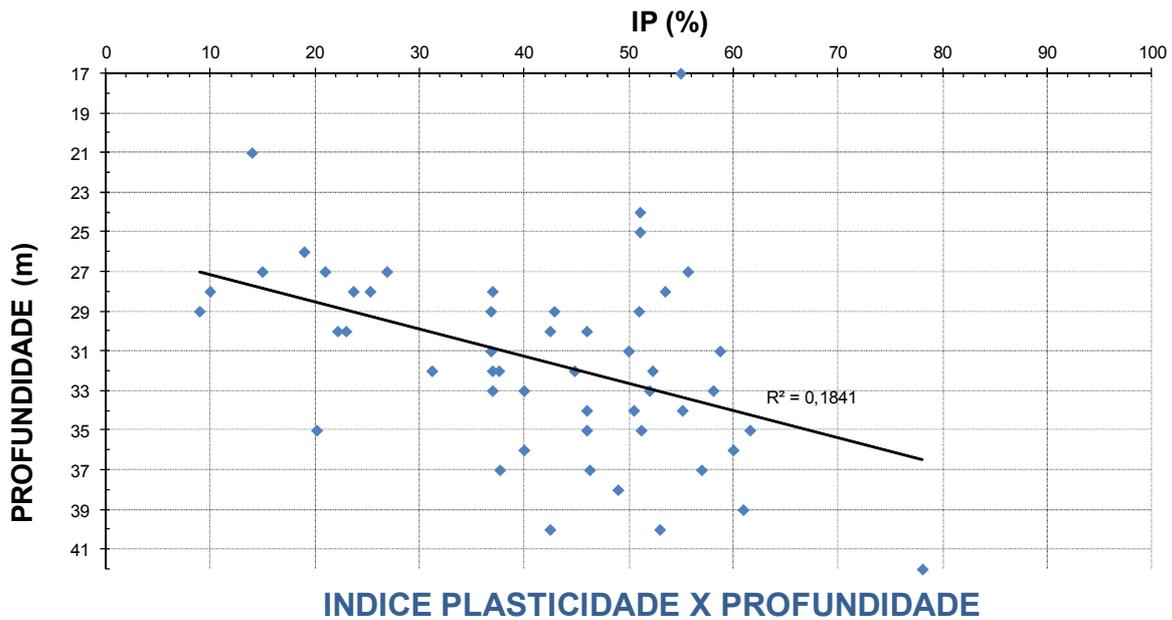


Figura 5.9– Índice de plasticidade x profundidade (Superporto de Rio Grande)

### 5.1.5 Índice de Vazios

O índice de vazios ( $e_0$ ) dos solos argilosos profundos ao longo do canal e da profundidade é apresentado nas Figuras 5.10 e 5.11. Estes dados são obtidos dos cálculos de índices físicos de corpos de prova indeformados submetidos a ensaios triaxiais e de adensamento. Observa-se um aumento no índice de vazios tanto em direção aos Molhes da Barra como em profundidade. A relação crescente do índice de vazios com o teor de argila possibilita explicar para este comportamento (item 5.2). Entretanto, pelo modelo de regressão, apenas a variação com a profundidade se apresentou significativa, apesar da variação com a localização apresentar crescimento como pode-se observar o gráfico da Figura 5.10. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) ajustado para o modelo foi de 30,53% (apêndice A).

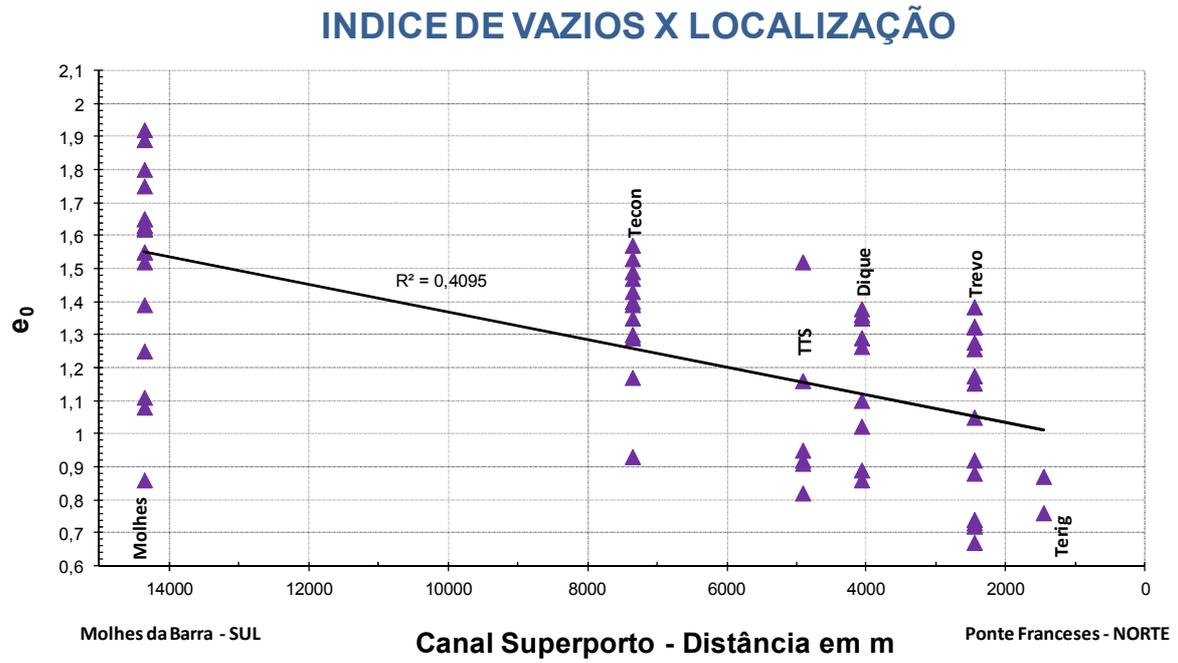


Figura 5.10– Índice de vazios x localização (Superporto de Rio Grande)

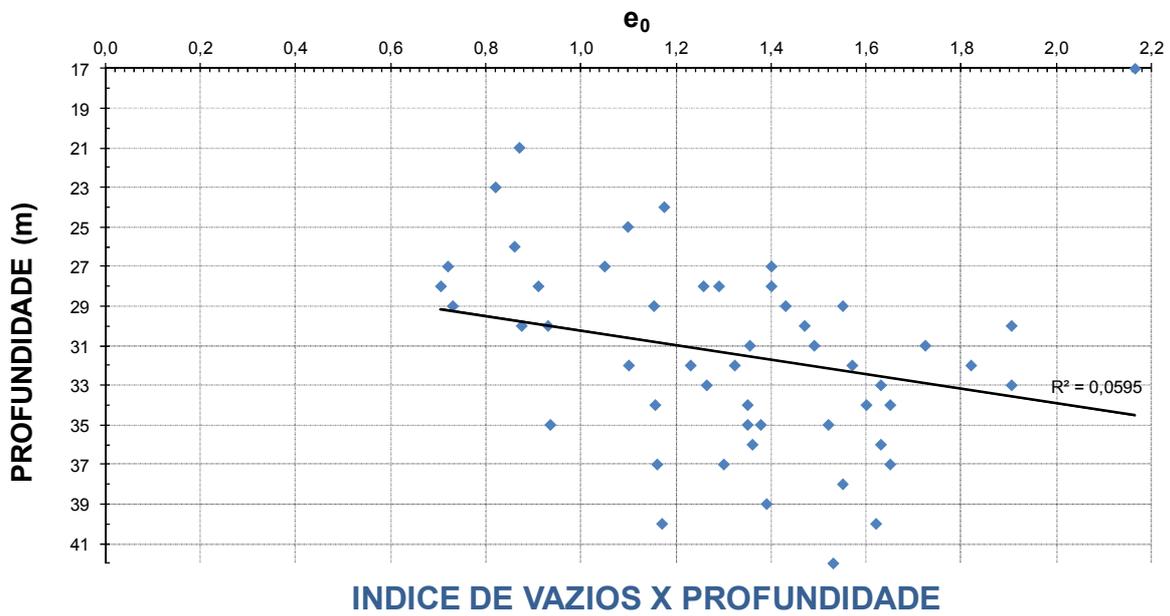


Figura 5.11– Índice de vazios x profundidade (Superporto de Rio Grande)

### 5.1.6 Índice de Compressão

O índice de compressão ( $C_c$ ) dos solos analisados ao longo do canal e da profundidade é apresentado nas Figuras 5.12 e 5.13. Estes dados são oriundos de ensaios oedométricos de adensamento conduzidos com amostras indeformadas. Observa-se a tendência de acréscimo no índice de compressão tanto em direção ao Molhes da Barra como em profundidade. A relação existente do índice de compressão com o teor de argila poderia explicar este comportamento (item 5.2).

No modelo de regressão linear múltipla, pode-se constatar que somente a profundidade se apresentou significativa, comprovando dependência do parâmetro com a variável profundidade. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) ajustado para o modelo foi de 22,06% (apêndice A). Com isso, é possível afirmar que o solo da camada argilosa profunda torna-se mais compressível à medida que se aprofunda na camada.

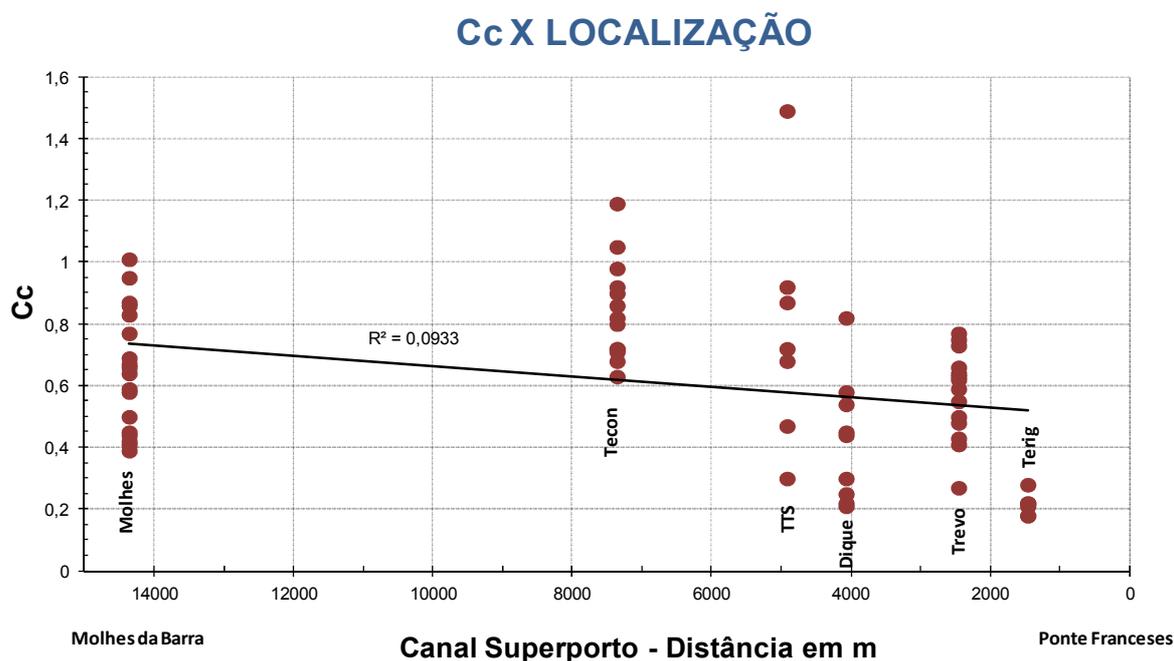


Figura 5.12– Índice de compressão x localização (Superporto de Rio Grande)

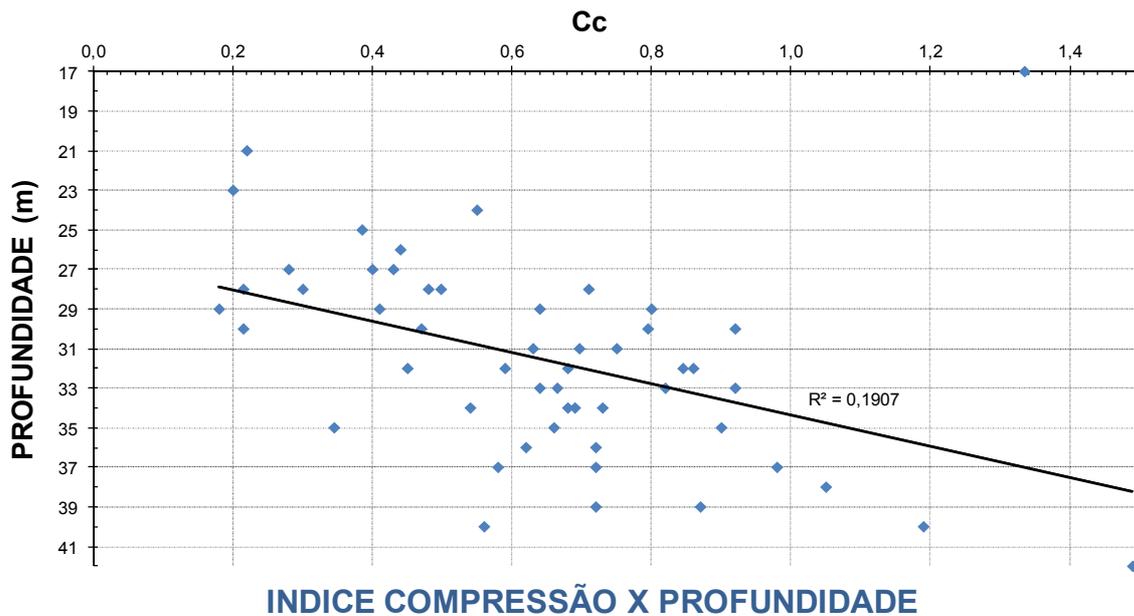


Figura 5.13– Índice de compressão x profundidade (Superporto de Rio Grande)

### 5.1.7 Relação $C_c/(1+e_0)=CR$

As relações  $C_c/(1+e_0)$ , obtidas dos resultados dos mesmos ensaios de adensamento referidos em 5.1.6, executados com solos da camada de argila siltosa profunda, foram também analisadas ao longo do canal do Superporto (localização) e da profundidade, sendo apresentadas nas Figuras 5.14 e 5.15. Não se observa tendência de variação em relação à localização, entretanto um crescimento com a profundidade é perceptível. A relação existente para  $C_c/(1+e_0)$  com o teor de argila e, por conseqüência, com a plasticidade dos solos, pode explicar o comportamento em relação a profundidade (item 5.2). Entretanto, no modelo de regressão linear múltipla, pode-se constatar que, com base na análise estatística, nenhuma das variáveis (localização e profundidade) se apresentou significativa (apêndice A).

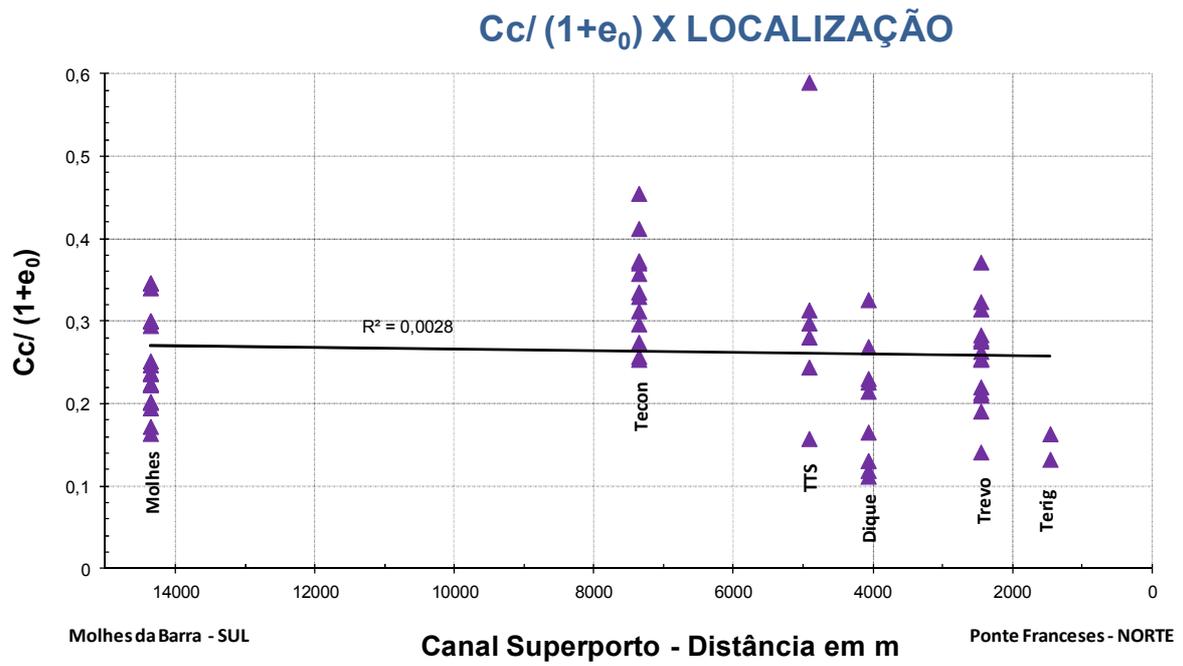


Figura 5.14– Relação  $Cc/(1+e_0)$  x localização (Superporto de Rio Grande)

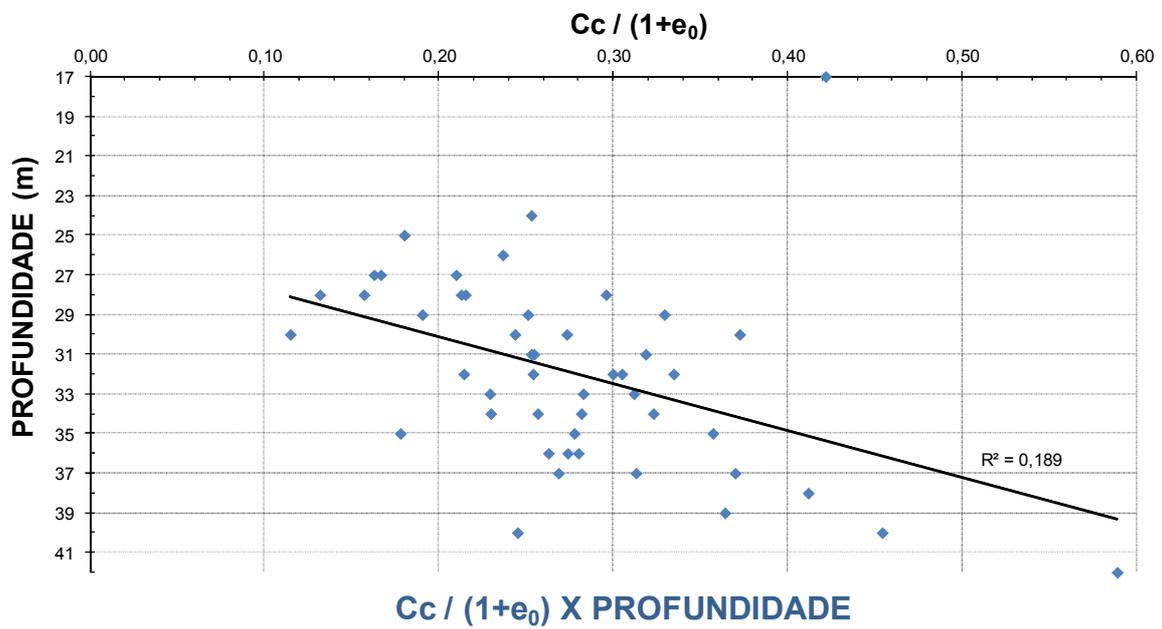


Figura 5.15– Relação  $Cc/(1+e_0)$  x profundidade (Superporto de Rio Grande)

### 5.1.8 Razão de Pré-Adensamento

A razão de pré-adensamento (OCR) dos solos analisados ao longo do canal e da profundidade é apresentada nas Figuras 5.16 e 5.17. Estes dados são oriundos de determinações das tensões de pré-adensamento em ensaios de adensamento, relacionadas às respectivas tensões “in situ” a que o solo está submetido. A maioria dos valores das tensões “in situ” foi calculada nesta dissertação desde perfis tipificados para cada local ao longo do canal, estimando-se valores de pesos específicos aparentes das diferentes camadas. Percebe-se que 74,5% dos resultados de OCR encontram-se com valores entre 1 e 2, indicando que, de maneira geral, a argila siltosa profunda do Superporto de Rio Grande pode ser caracterizada como normalmente adensada a levemente pré-adensada, corroborando com conclusões de estudos anteriores (DIAS, 1993 e DIAS, 2001). Valores indicando subadensamento ( $OCR < 1$ ) provavelmente decorrem de problemas localizados no programa experimental realizado (amostras amolgadas ou erro na interpretação dos resultados) ou podem ser atribuídos a erros na estimativa das tensões “in situ”. Quanto à variação de OCR com a posição observa-se um pequeno acréscimo na razão de pré-adensamento em direção ao Molhes da Barra e um decréscimo em profundidade. Em relação à aplicação do modelo de regressão linear múltipla, nem a localização nem a profundidade mostram-se significativas para explicar a variação de OCR (apêndice A).

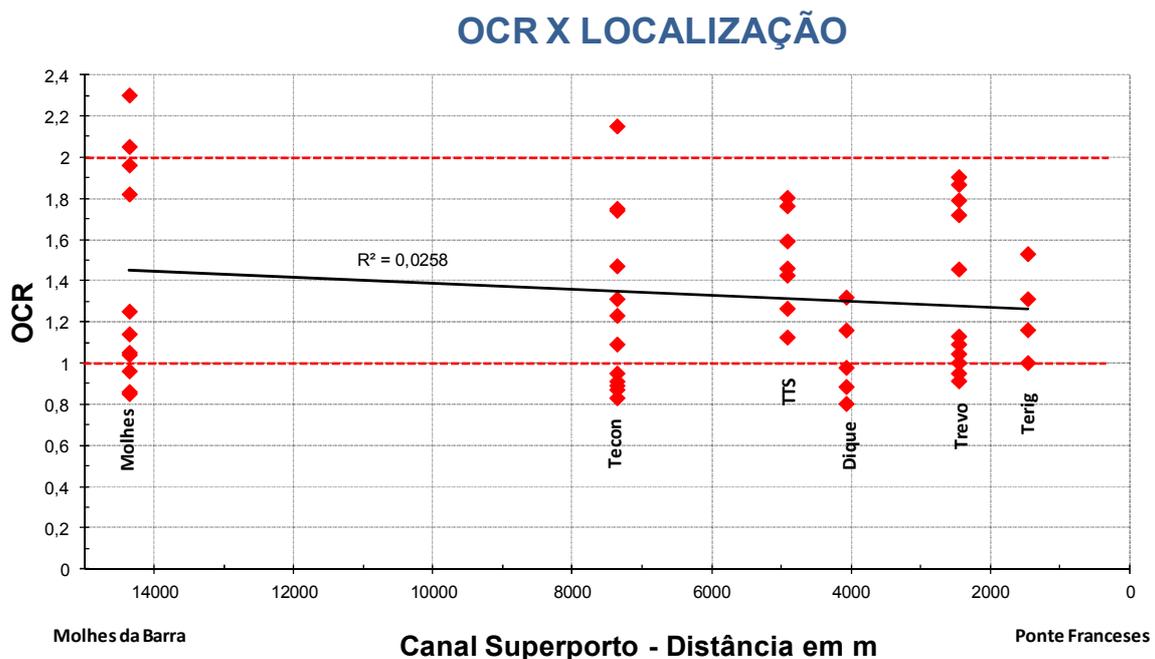


Figura 5.16– Razão de pré-adensamento x localização (Superporto de Rio Grande)

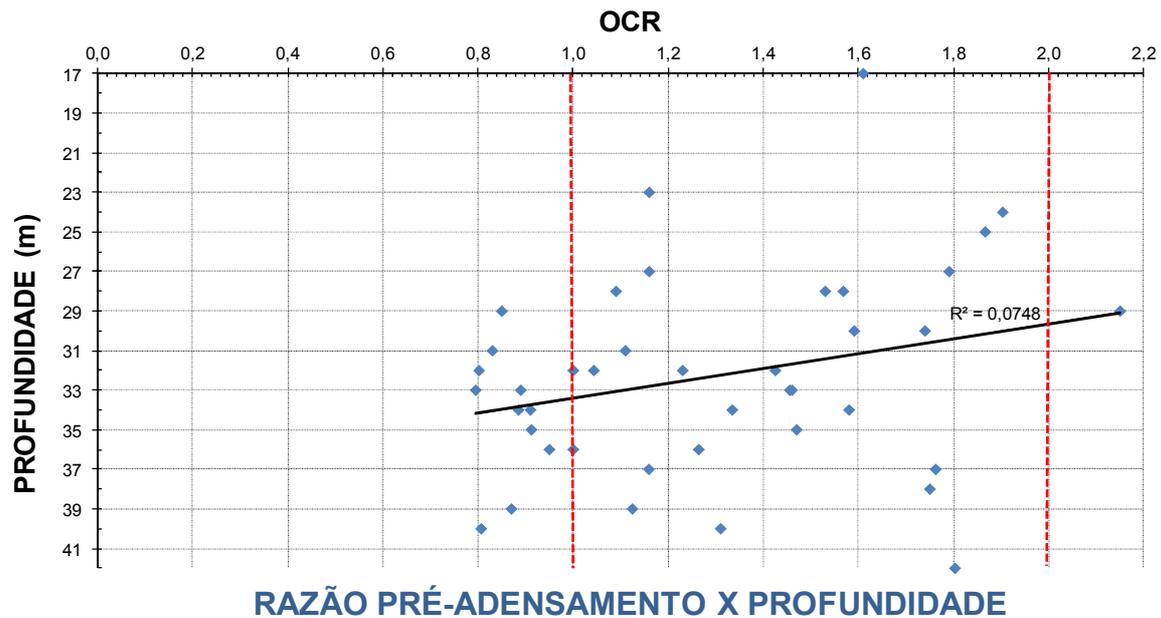


Figura 5.17– Razão de pré-adensamento x profundidade (Superporto de Rio Grande)

### 5.1.9 Resistência ao Cisalhamento Não Drenada

A resistência ao cisalhamento não drenada ( $S_u$ ) foi mais um parâmetro analisado para a camada de argila siltosa ao longo do canal e da profundidade, conforme apresentado nas Figuras 5.18 e 5.19. Estes dados são oriundos de ensaios triaxiais realizados em condições não drenadas e não consolidado (UU). Observa-se a tendência de acréscimo na resistência ao cisalhamento com a profundidade e uma grande dispersão no comportamento analisado frente à localização. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) ajustado para o modelo foi de 26,55% (apêndice A). Com a aplicação do modelo de regressão linear múltipla, pode-se constatar que tanto a localização como a profundidade se apresentaram significativas, isto é, comprova-se que a resistência ao cisalhamento mostra dependência com as variáveis analisadas. Em resumo, com base estatística é possível afirmar que o solo mostra maior resistência ao cisalhamento não drenada à medida que se aproxima do centro da cidade e se aprofunda na camada.

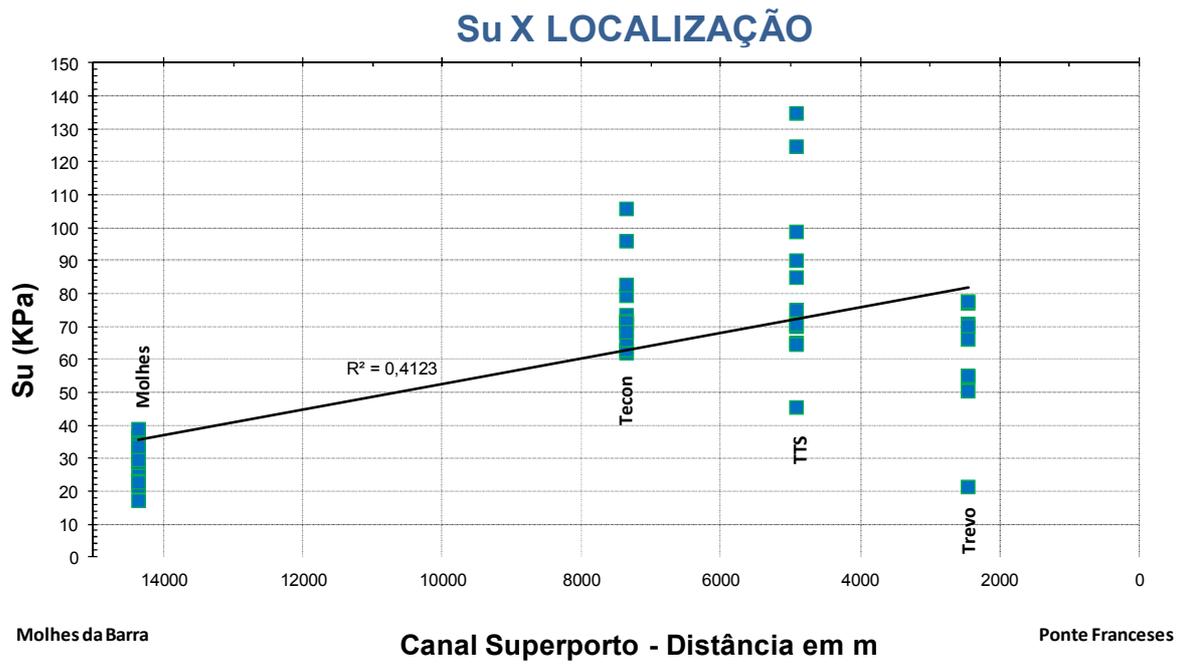


Figura 5.18– Resistência não drenada x localização (Superporto de Rio Grande)

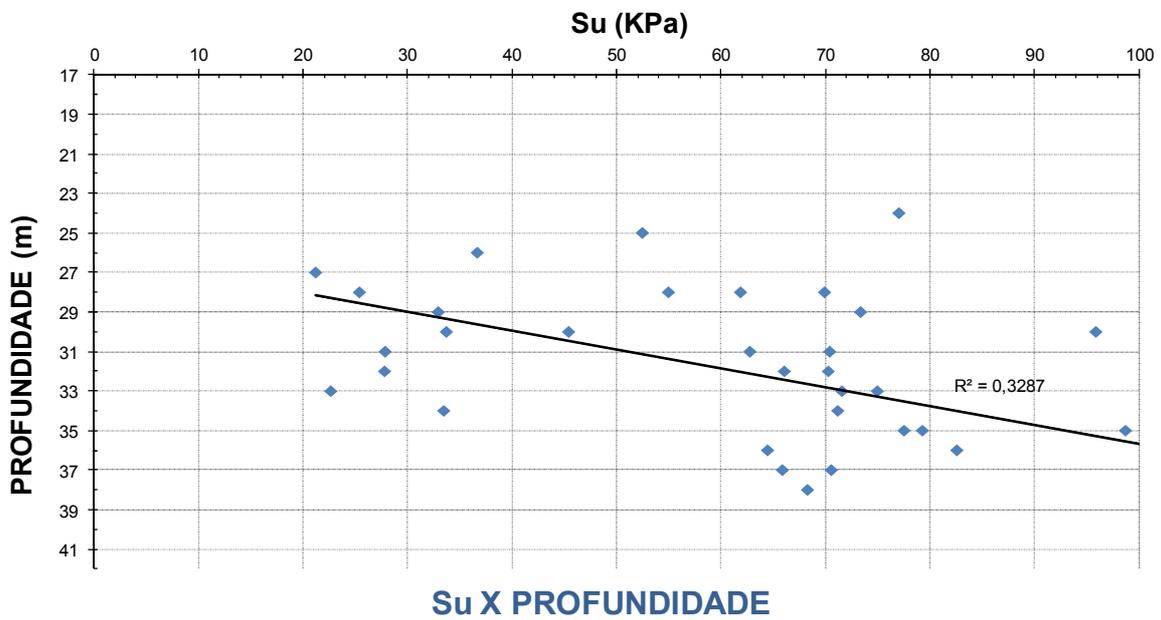


Figura 5.19– Resistência não drenada x profundidade (Superporto de Rio Grande)

Uma normalização em função da tensão efetiva “in situ” é apresentada na Figura 5.20 e Figura 5.21. Esta relação  $Su/\sigma'_{v0}$  é a chamada de Razão de Resistência do solo (PINTO, 2002). Nestas mesmas figuras são representados os valores de razão de resistência igual a 0,23 e 0,40, obtidos ao aplicar a relação explicitada na Equação 5.1 (JAMIOLKOWSKI et al., 1985 apud PINTO, 2002), para valores de OCR igual a 1 e 2.

$$Su/\sigma'_{v0} = (0,23 \pm 0,04).OCR^{0,8} \quad (5.1)$$

Observa-se que 81,4% dos resultados encontram-se nesta faixa de razão de resistência. Este fato mais uma vez corrobora que a argila siltosa profunda do Superporto de Rio Grande pode ser tratada como de comportamento normalmente adensado a levemente pré-adensado também no que se refere a sua resistência ao cisalhamento.

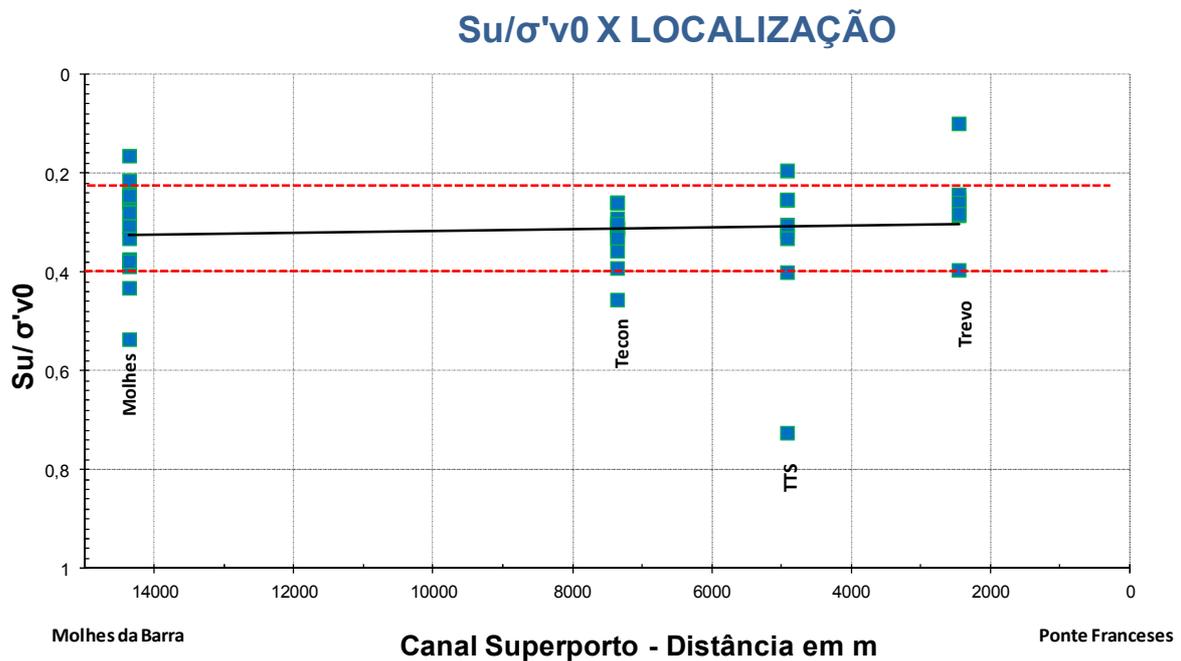


Figura 5.20 - Razão de resistência do solo x localização (Superporto de Rio Grande)

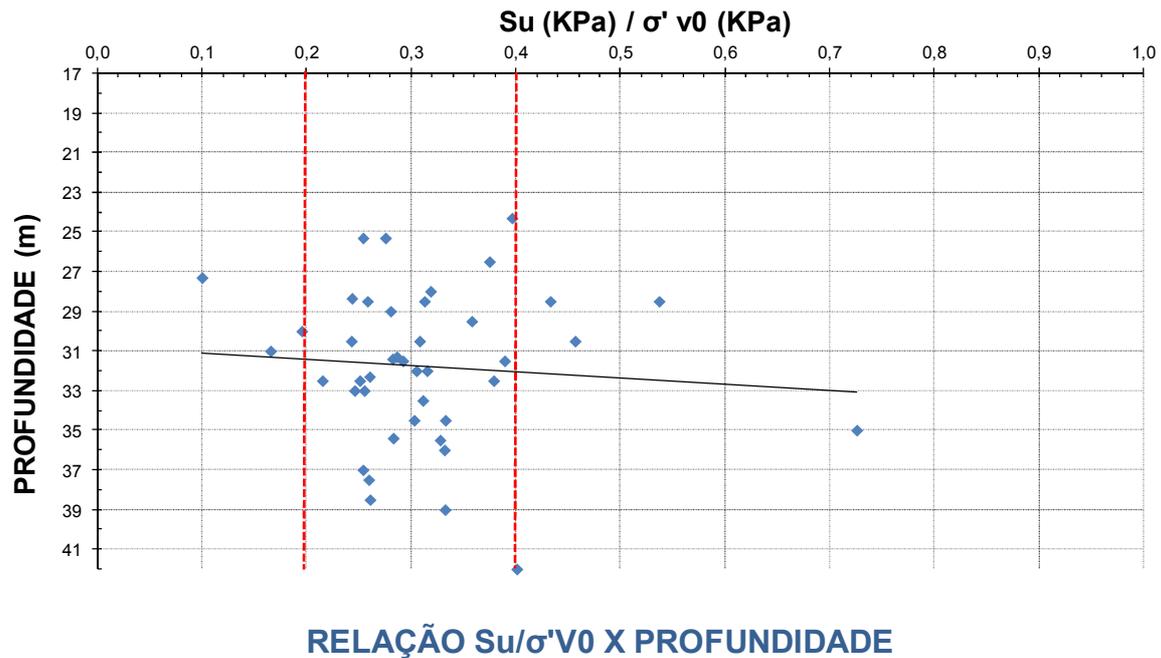


Figura 5.21 - Razão de resistência do solo x profundidade (Superporto de Rio Grande)

Com a aplicação do modelo de regressão linear múltipla, pode-se constatar que a resistência não drenada normalizada em relação à tensão “in situ” mostra relação significativa com a localização, mostrando um ligeiro decréscimo de  $S_u$  em direção aos Molhes da Barra (ver Figura 5.18).

#### 5.1.10 Síntese da análise estatística da variação dos parâmetros geotécnicos ao longo da camada argilosa profunda

A Tabela 5.1 apresenta uma síntese da análise estatística da variação com a localização e profundidade dos parâmetros geotécnicos avaliados individualmente nos itens anteriores. Esta análise estatística foi realizada através do programa Statistica teve sua análise de significância vinculada a um parâmetro de 6%, ou seja, quando o comportamento analisado apresenta o índice (p-level) inferior ao identificado anteriormente, este se mostra significativo ao comportamento analisado, podendo ter pouca significância quando este valor passar de 6% ou nenhum significado quando o programa mesmo exclui da resposta o item estudado (apêndice A).

Tabela 5.1 - Análise estatística em função da localização e profundidade da amostra

<b>Parâmetros</b>	<b>Variação significativa com a localização</b>	<b>Variação significativa com a profundidade</b>	<b>R<sup>2</sup> Modelo de regressão múltipla</b>
Teor de Argila	SIM	SIM	44%
Teor de umidade natural	SIM	SIM	24%
Limite de liquidez	NÃO	SIM	12%
Índice de plasticidade	NÃO	SIM	15%
Índice de vazios	NÃO	SIM	30%
Índice de compressão	NÃO	SIM	22%
Relação $C_c/(1+e_0)$	NÃO	NÃO	-
Razão de pré-adensamento	NÃO	NÃO	-
Resistência ao cisalhamento não drenada	SIM	SIM	26%

Observa-se que dos 9 (nove) parâmetros analisados apenas 3 (três) deles mostraram variação explicada pela localização ao longo do canal. Já a profundidade explica a variação de 7 (sete) destes e somente 3 (três) parâmetros têm sua variação explicada por ambos. O maior coeficiente de determinação na aplicação do modelo de regressão linear múltipla foi verificado para o teor de argila, cuja variação é significativamente explicada tanto pela localização como com a profundidade.

## 5.2 CORRELAÇÕES ENTRE PARÂMETROS GEOTÉCNICOS PARA O SUPERPORTO DE RIO GRANDE

### 5.2.1 Correlações citadas na bibliografia

Os parâmetros geotécnicos obtidos para camada de argila siltosa profunda, anteriormente analisados em relação à profundidade e localização, são agora correlacionados. Buscou-se apresentar, em conjunto, relações citadas na bibliografia nacional e internacional no estudo de solos argilosos (Tabela 5.2 e Tabela 5.3).

Tabela 5.2 – Algumas das correlações citadas por autores internacionais

<b>Autores Internacionais</b>	<b>Correlação</b>	<b>Equação</b>
Nishida (1956)	$C_c$ vs. $w_{nat}$	$C_c = 0,0054 (2,6w_{nat} - 35\%)$
Terzaghi e Peck (1967)	$C_c/(1+e_0)$ vs. $w_{nat}$	$C_c/(1+e_0) = 0,0051 w_{nat} - 0,0078$
Terzaghi e Peck (1948)	$C_c$ vs. LL	$C_c = 0,009 (LL - 10\%)$
Skempton (1954)	$S_u/\sigma'_{v0}$ vs. IP	$S_u/\sigma'_{v0} = 0,11 + 0,0037.IP$

Tabela 5.3 – Algumas das correlações citadas por autores nacionais

<b>Autores Nacionais</b>	<b>Correlação</b>	<b>Equação</b>
Cozzolino (1961) - São Paulo/SP	$C_c$ vs. LL	$C_c = 0,0046 (LL - 9\%)$
Castello e Pollido(1986) - Vitória/ES	$C_c$ vs. LL	$C_c = 0,01 (LL - 8\%)$
Costa Filho et. al. (1985) - Rio Janeiro/RJ	$C_c$ vs. LL	$C_c = 0,021 (LL - 40\%)$
Ortigão (1975) - Rio Janeiro/RJ	$C_c$ vs. LL	$C_c = 0,013 (LL - 18\%)$
Aragão (1975) - Baixada	$C_c$ vs. LL	$C_c = 0,013 (LL - 11\%)$

Fluminense/RJ

Cozzolino (1961) – Santos/SP	Cc vs. LL	$Cc = 0,00186 (LL - 30\%)$
Coutinho e Ferreira (1988) – Recife/PE	Cc vs. LL	$Cc = 0,014.LL$
Dias –Rio Grande/RS	Cc vs. LL	$Cc = 0,01 (LL - 14\%)$
Hallal (2003) - Rio Grande do Sul	Cc vs. LL	$Cc = 0,0158.LL - 0,3477$
Maccarini et al. (2001) - Santa Catarina	Cc vs. $e_0$	$Cc = 0,6447.e_0 - 0,4201$
Coutinho et.al.(2001) – Recife/PE	Cc vs. $e_0$	$Cc = 0,586.e_0 - 0,165$
Hallal (2003) - Rio Grande do Sul	Cc vs $e_0$	$Cc = 0,6903.e_0 - 0,3197$
Maccarini et al. (2001) - Santa Catarina	$Cc/(1+e_0)$ vs $w_{nat}$	$Cc/(1+e_0) = 0,0028.w_{nat} + 0,0495$
Maccarini et al. (2001) - Santa Catarina	IP vs. LL	$IP = 0,64 (LL - 15\%)$
Maccarini et al. (2001) - Santa Catarina	Cc vs. $w_{nat}$	$Cc = 0,0169 (w_{nat} - 24\%)$
Futai et al. (2001) - Jurnaiba/RJ	Cc vs. $w_{nat}$	$Cc = 0,0132.w_{nat} - 0,6$
Fuati et al. (2001) – Sarapui/RJ	Cc vs. $w_{nat}$	$Cc = 0,0174.w_{nat} - 0,6$
Coutinho et. al.(2001) – Recife/PE	Cc vs. $w_{nat}$	$Cc = 0,014.w_{nat} - 0,0940$
Hallal (2003) - Rio Grande do Sul	Cc vs. $w_{nat}$	$Cc = 0,0136.w_{nat} - 0,0081$
Coutinho et. al.(2001) – Recife/PE	$e_0$ vs. $w_{nat}$	$e_0 = 0,024.w_{nat} + 0,1410$
Maccarini et al. (2001) - Santa Catarina	Cc vs. IP	$Cc = 0,0396 (IP - 2\%)$
Maccarini et al. (2001) - Santa Catarina	Su vs. $w_{nat}$	$Su = 0,1482.w_{nat} + 31,978kPa$

## 5.2.2 Parâmetros físicos e de compressibilidade em função do teor de argila

Os valores de teor de umidade natural, limite de liquidez, limite de plasticidade, índice de plasticidade, índice de vazios, índice de compressão e a relação  $Cc/(1+e_0)$  são plotados frente aos respectivos teores de argila (Figuras 5.22 a 5.28).

Analisando as supracitadas figuras, percebe-se que existe uma clara relação de dependência dos parâmetros com o teor de argila. A Tabela 5.4 apresenta as relações estabelecidas e os respectivos coeficientes de correlação ( $r$ ). Ao analisar os dados da tabela, observa-se que todas são consideradas moderadas positivas ( $0,6 < r \leq 0,8$ ), isto é, existe uma relação moderada crescente entre os parâmetros. A correlação entre o índice de compressão e o teor de argila é aquela mais forte ( $r = 0,76$ ), seguida da relação entre o limite de liquidez e a quantidade de argila presente no solo ( $r = 0,73$ ).

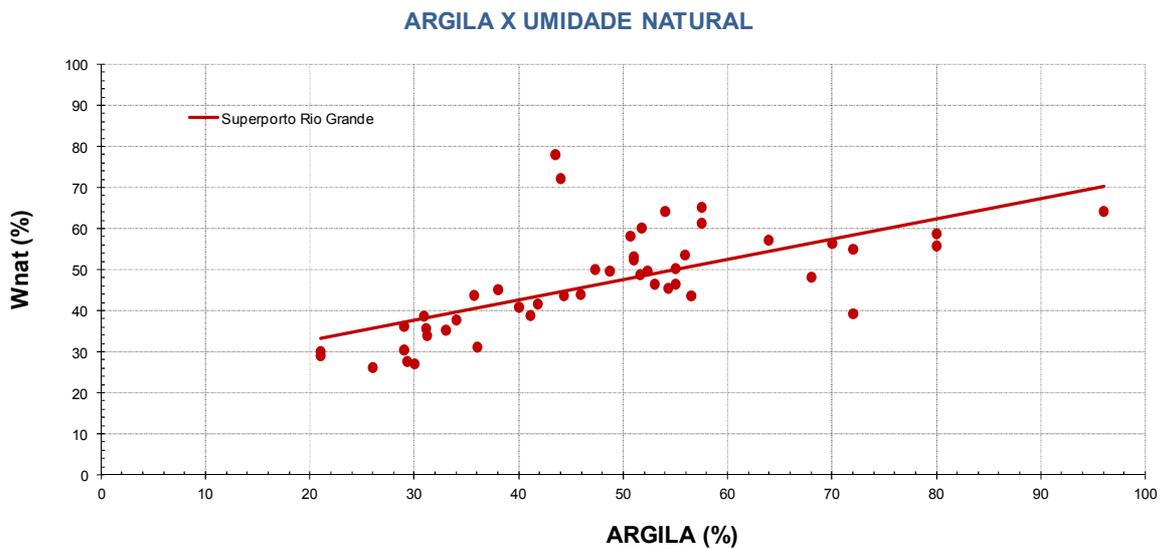


Figura 5.22 - Teor de argila x umidade natural (Superporto de Rio Grande)

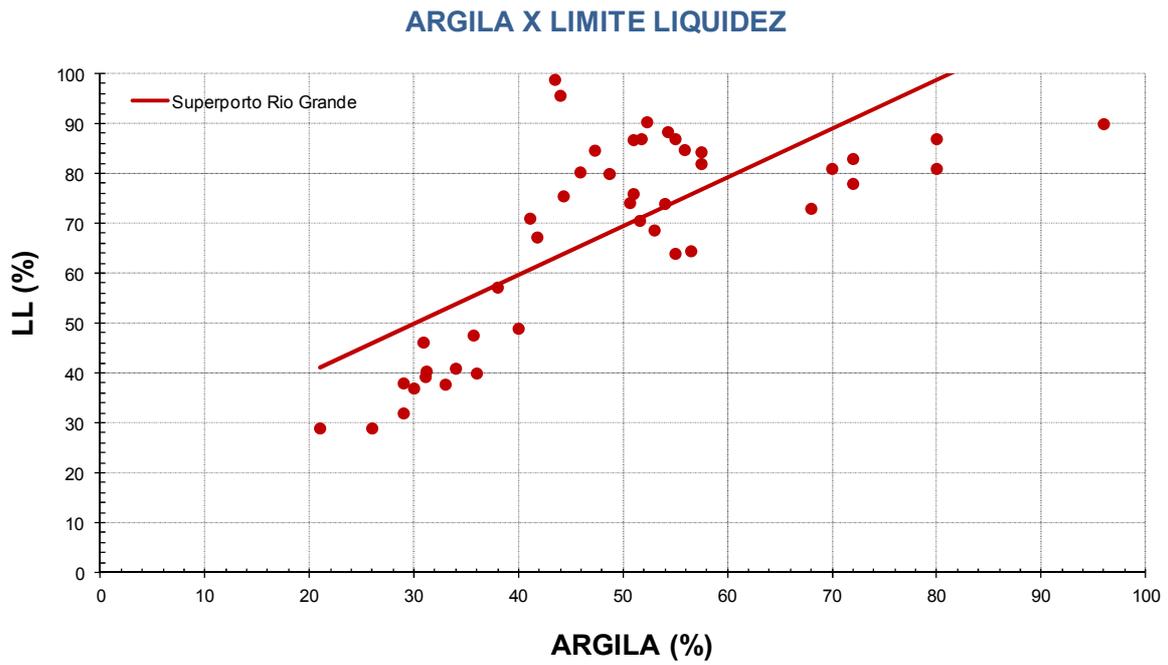


Figura 5.23 - Teor de argila x limite de liquidez (Superporto de Rio Grande)

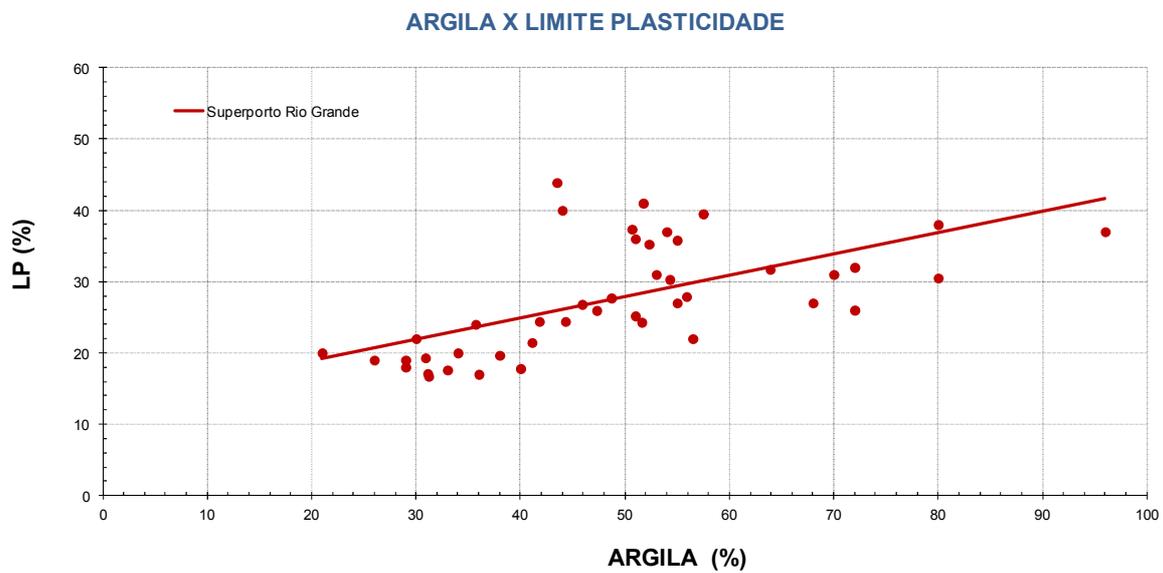


Figura 5.24 - Teor de argila x limite de plasticidade (Superporto de Rio Grande)

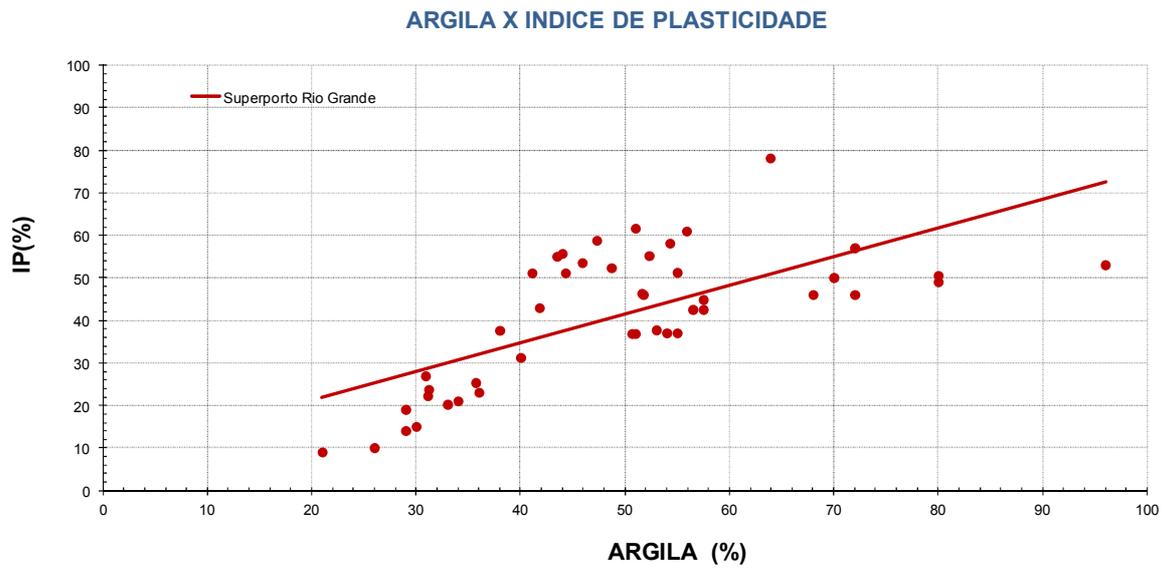


Figura 5.25 - Teor de argila x índice de plasticidade (Superporto de Rio Grande)

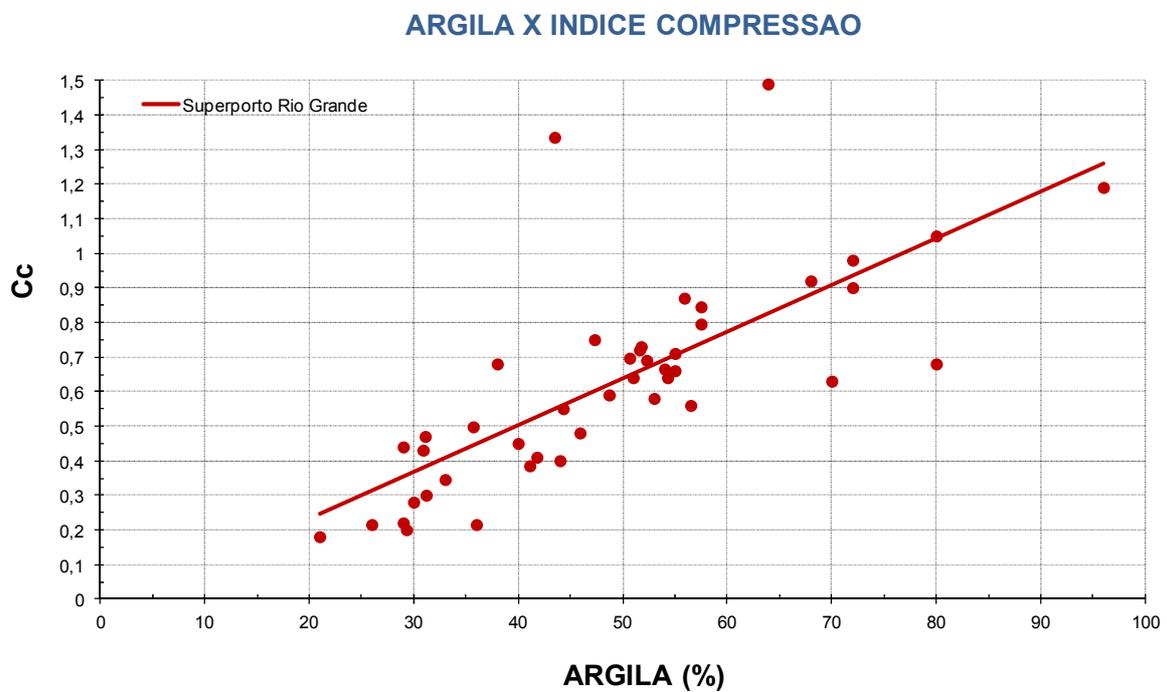


Figura 5.26 - Teor de argila x índice de compressão (Superporto de Rio Grande)

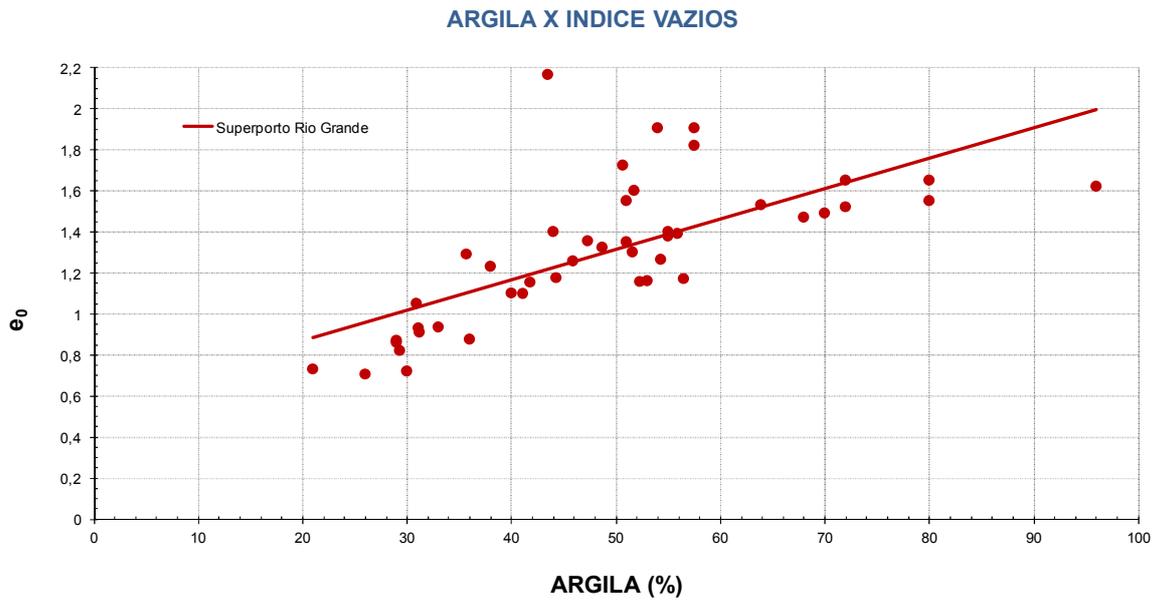


Figura 5.27 - Teor de argila x índice de vazios (Superporto de Rio Grande)

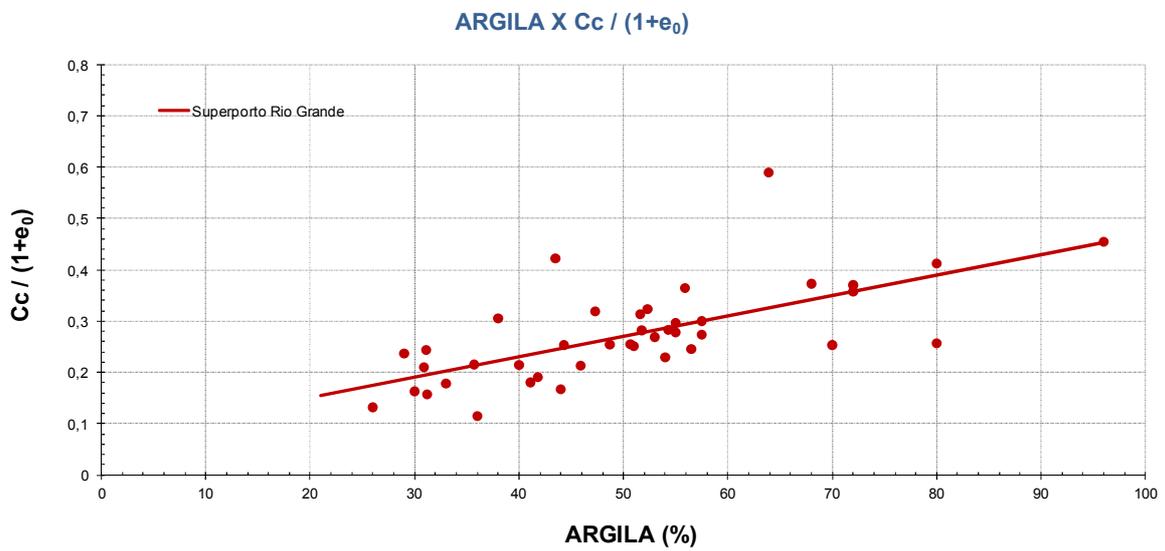


Figura 5.28 - Teor de argila x relação  $C_c/(1+e_0)$  (Superporto de Rio Grande)

Tabela 5.4 - Correlação entre parâmetros geotécnicos da argila siltosa profunda do Superporto de Rio Grande

RELAÇÃO	EQUAÇÃO	R <sup>2</sup>	r	CORRELAÇÃO
Argila x w <sub>nat</sub>	w <sub>nat</sub> = 0,5153 (% argila) + 21,76%	0,47	0,68	Moderada Positiva
Argila x LL	LL = 0,9763 (% argila) + 20,543%	0,54	0,73	Moderada Positiva
Argila x LP	LP = 0,3 (% argila) + 12,91%	0,37	0,61	Moderada Positiva
Argila x IP	IP = 0,6751 (% argila) + 7,7815%	0,47	0,68	Moderada Positiva
Argila x Cc	Cc = 0,0134 (% argila) - 0,0302	0,58	0,76	Moderada Positiva
Argila x e <sub>0</sub>	e <sub>0</sub> = 0,0154 (% argila) + 0,5394	0,51	0,72	Moderada Positiva
Argila x Cc/(1+e <sub>0</sub> )	Cc/(1+e <sub>0</sub> ) = 0,004 (% argila) + 0,0708	0,45	0,67	Moderada Positiva

### 5.2.3 Compressibilidade e resistência não drenada em função dos parâmetros de consistência

Os valores de índice de compressão, relação  $Cc/(1+e_0)$ , resistência não drenada e razão de resistência são plotados frente aos respectivos parâmetros de plasticidade (Figura 5.29 a Figura 5.34). Em algumas destas figuras são plotadas as retas que representam as correlações apresentadas nas Tabelas 5.2 e 5.3. A Tabela 5.5 apresenta as relações estabelecidas e os respectivos coeficientes de correlação. Ao analisar os dados da tabela, observa-se que praticamente todas as relações entre os parâmetros foram consideradas moderadas positivas, o que comprova a relação crescente, exceto a relação entre IP e  $Su/\sigma'_{v0}$  que foi considerada nula. A correlação entre o índice de compressão e o limite de liquidez é aquela mais forte ( $r = 0,79$ ) (Figura 5.29), seguida da relação entre o índice de compressão e o índice de plasticidade ( $r = 0,73$ ) (Figura 5.30).

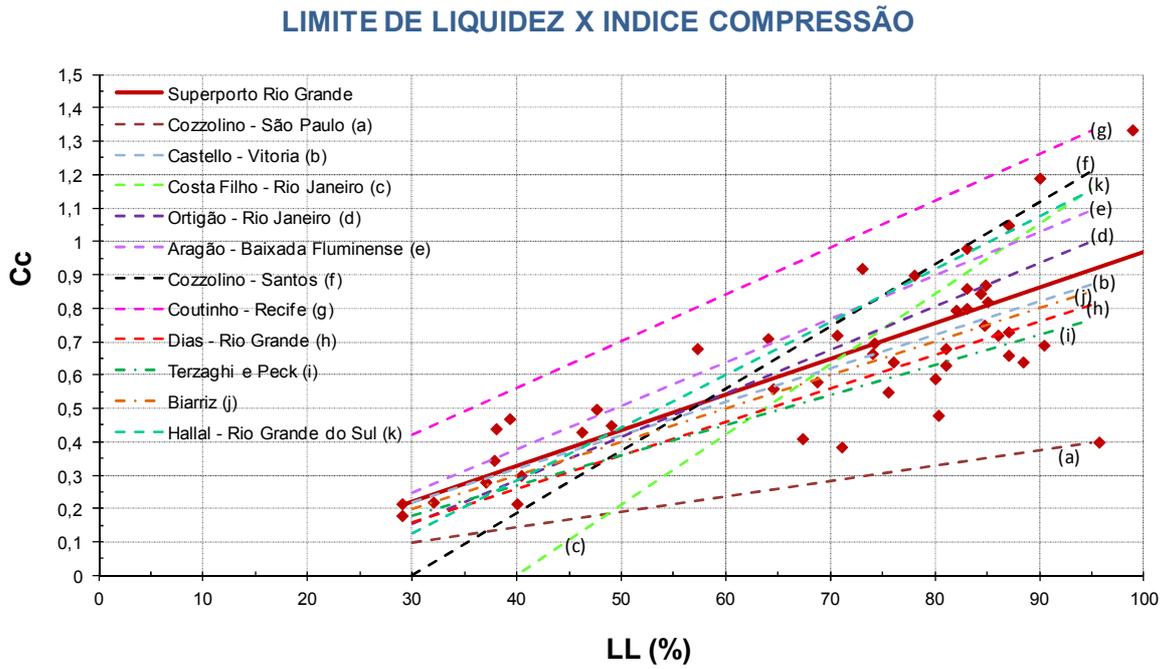


Figura 5.29 - Limite de liquidez x índice de compressão (Superporto de Rio Grande)

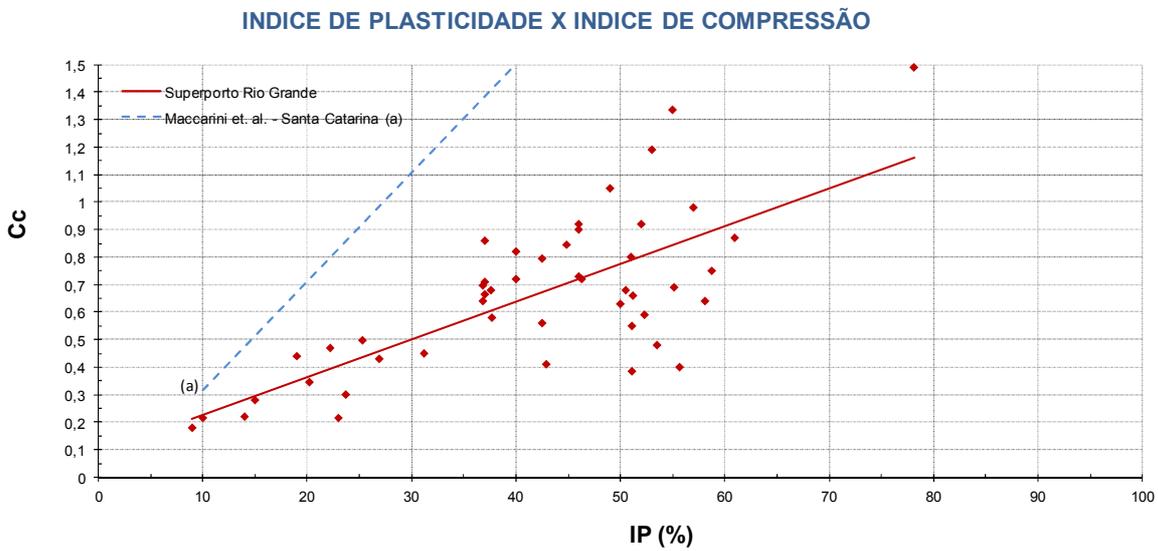


Figura 5.30 - Índice de plasticidade x índice de compressão (Superporto de Rio Grande)

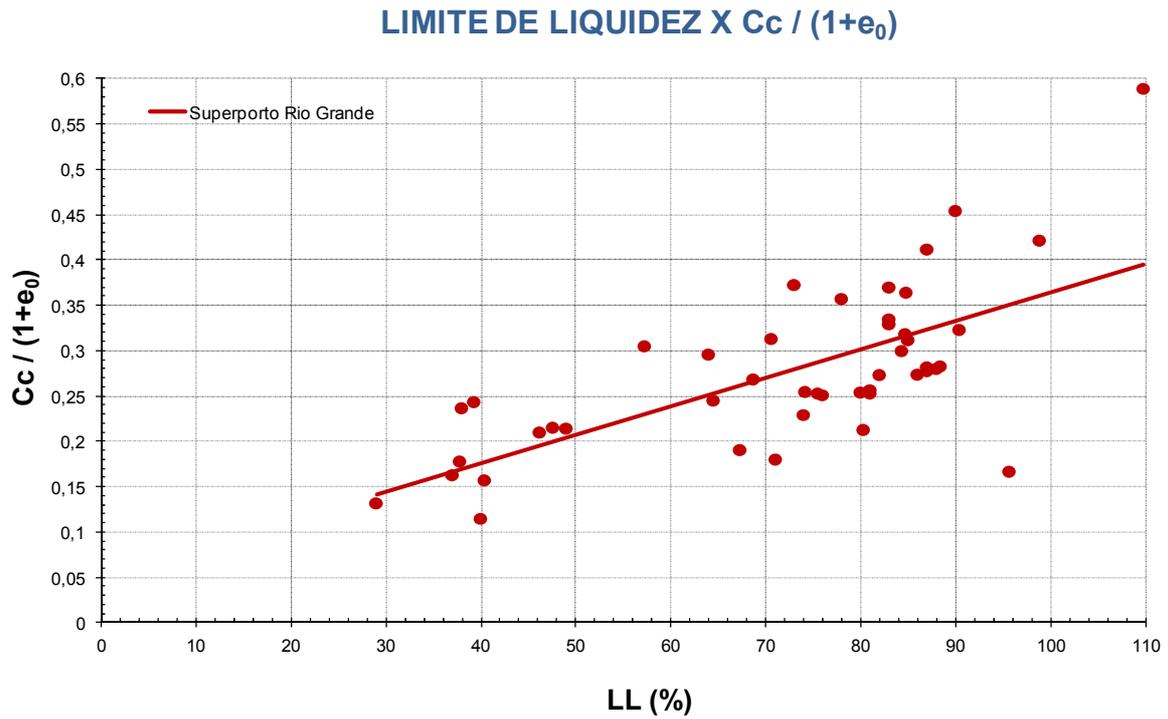


Figura 5.31 - Limite de liquidez x relação  $C_c/(1+e_0)$  (Superporto de Rio Grande)

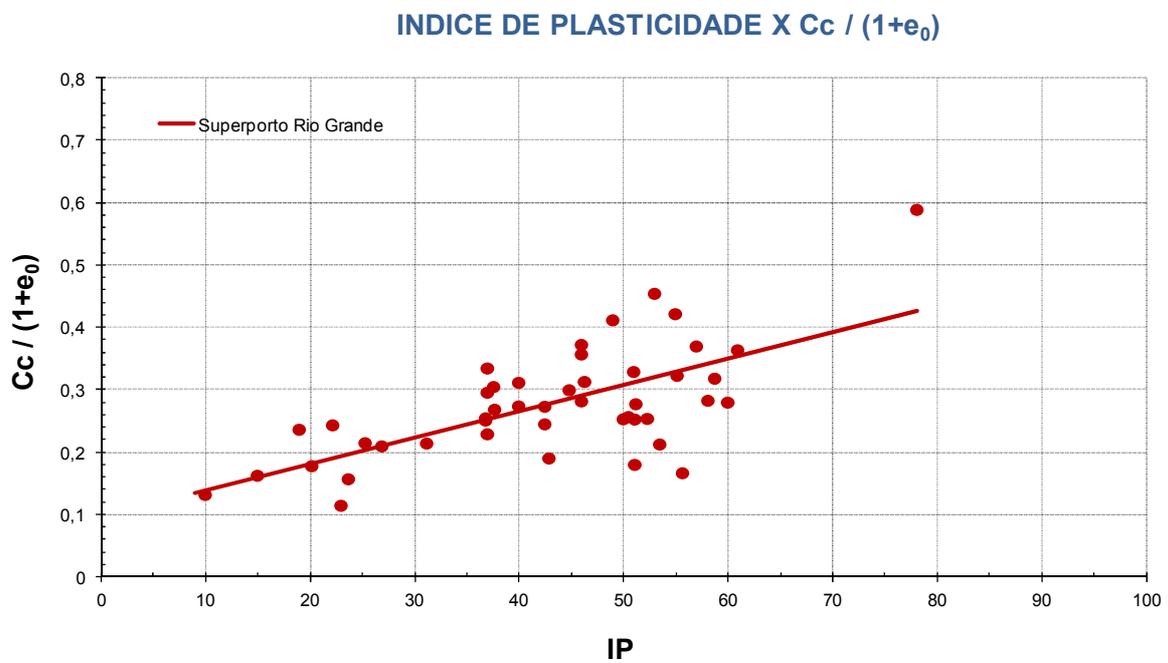


Figura 5.32 - Índice de plasticidade x relação  $C_c/(1+e_0)$  (Superporto de Rio Grande)

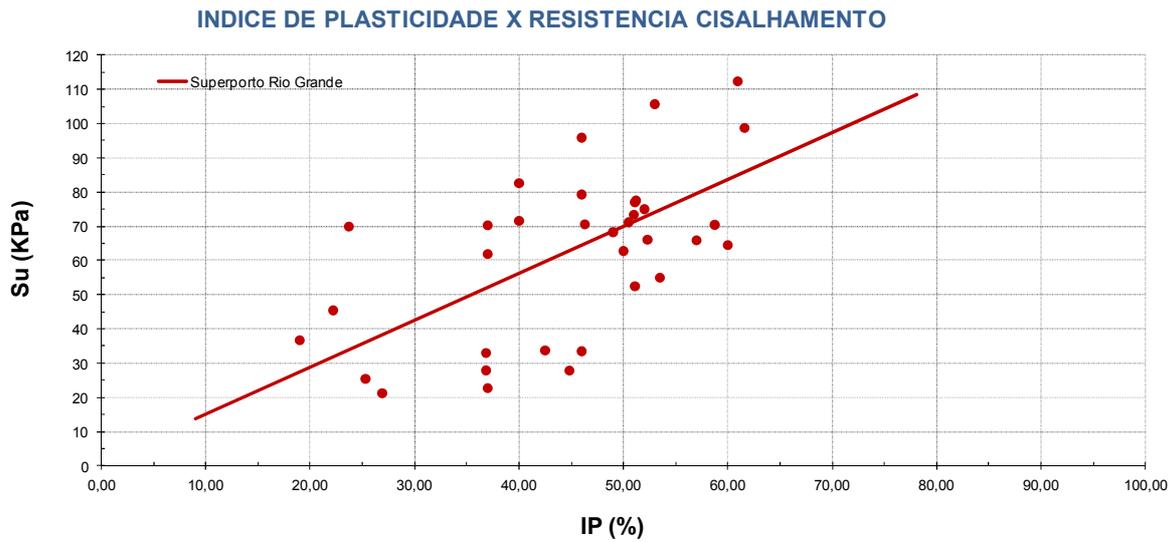


Figura 5.33 - Índice de plasticidade x resistência ao cisalhamento não drenada – Su (Superporto de Rio Grande)

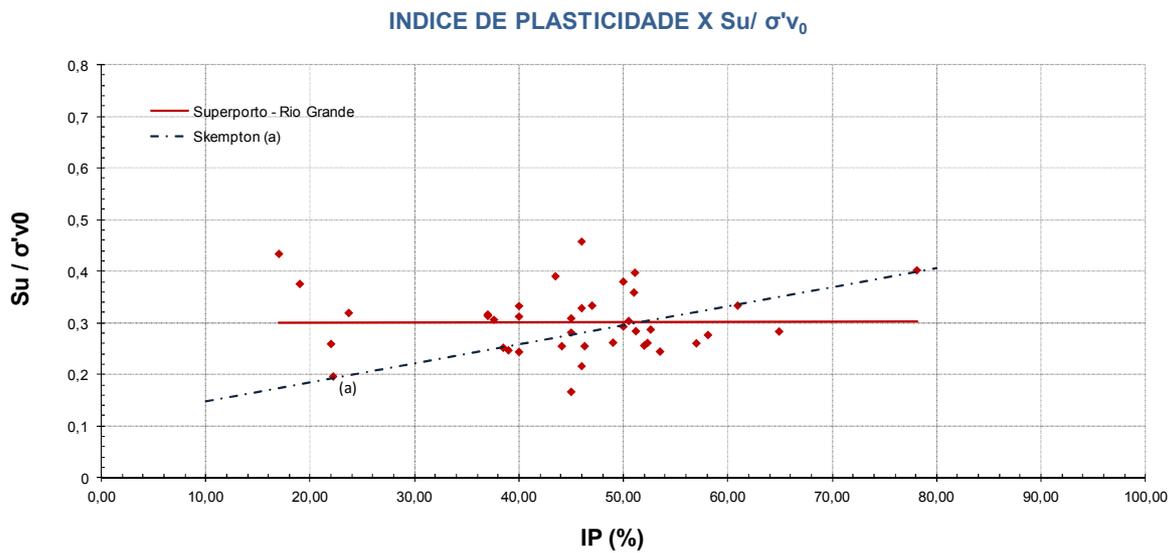


Figura 5.34 - Índice de plasticidade x  $Su/\sigma'_{v0}$  (Superporto de Rio Grande)

Tabela 5.5 - Relações da compressibilidade e da resistência ao cisalhamento não drenada com parâmetros de consistência, suas equações e graus de correlações - Superporto de Rio Grande

RELAÇÃO	EQUAÇÃO	R <sup>2</sup>	r	CORRELAÇÃO
LL x Cc	$Cc = 0,0107.LL - 0,1005$	0,62	0,79	Moderada Positiva
IP x Cc	$Cc = 0,0138.IP + 0,0859$	0,53	0,73	Moderada Positiva
LL x $Cc/(1+e_0)$	$Cc/(1+e_0) = 0,0031.LL + 0,0506$	0,47	0,68	Moderada Positiva
IP x $Cc/(1+e_0)$	$Cc/(1+e_0) = 0,0042.IP + 0,0962$	0,45	0,67	Moderada Positiva
IP x Su	$Su = 1,3723.IP + 1,2188kPa$	0,44	0,66	Moderada Positiva
IP x $Su/\sigma'_{v0}$	$Su/\sigma'_{v0} = -0,0006.IP + 0,3164$	0,00	0,01	Nula

#### 5.2.4 Correlação entre compressibilidade, índice de vazios e teor de umidade natural

Os valores da relação  $Cc/(1+e_0)$ , índice de compressão e índice de vazios são plotados frente ao parâmetro da umidade natural, sendo o índice de compressão plotado também frente ao índice de vazios (Figura 5.35 a Figura 5.38). As relações são apresentadas na Tabela 5.6.

As correlações analisadas foram classificadas como moderadas positivas, exceto a relação entre o teor de umidade natural e o índice de vazios, classificada como fortemente positiva ( $r = 0,92$ ).

Para a análise das diversas equações frente àquela obtida para o Superporto de Rio Grande para identificação do melhor ajuste, foi utilizado o método dos mínimos quadrados.

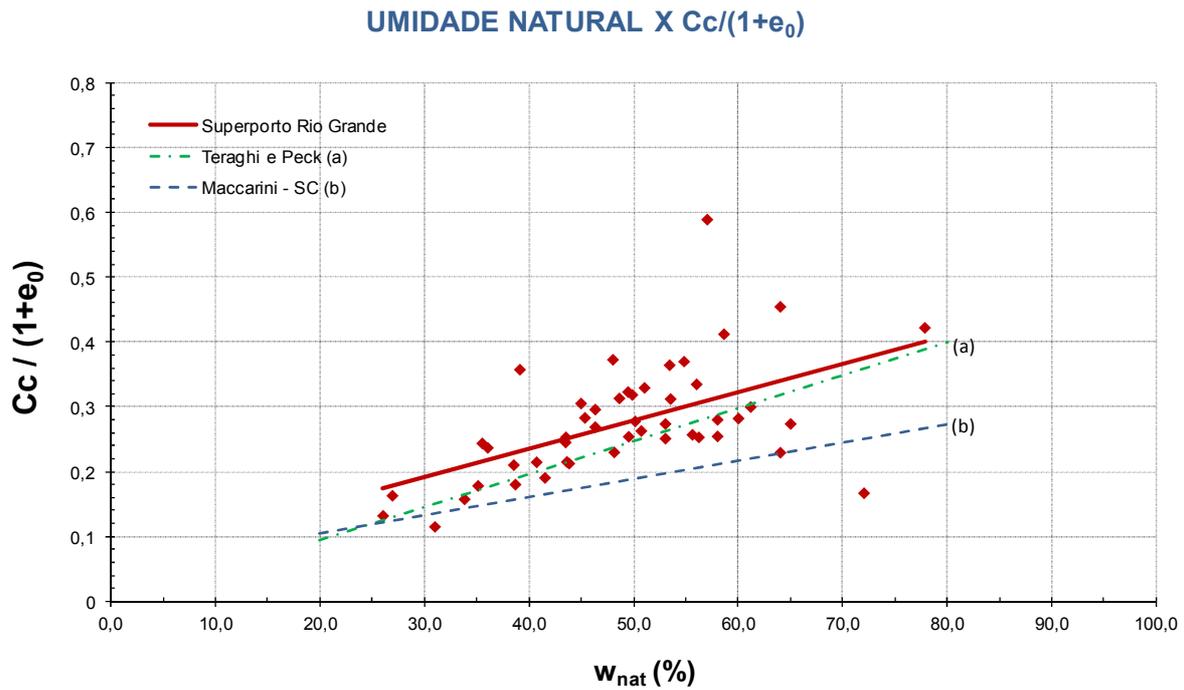


Figura 5.35- Teor de umidade natural x  $C_c/(1+e_0)$  (Superporto de Rio Grande)

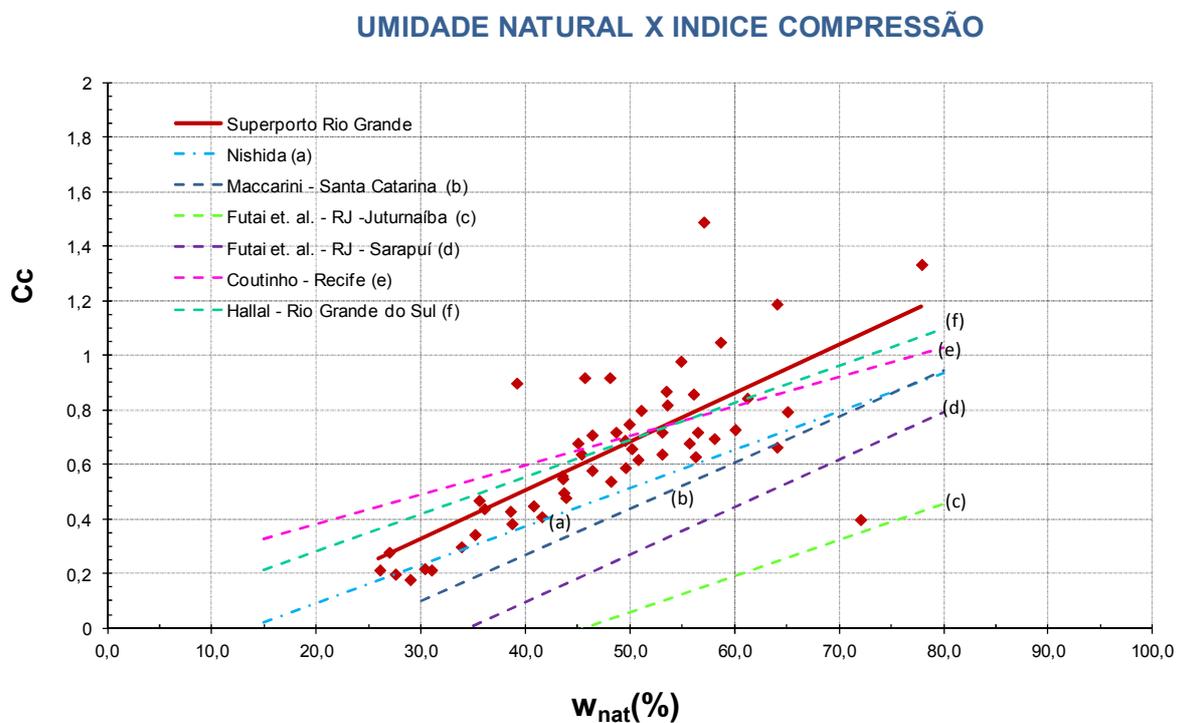


Figura 5.36 - Teor de umidade natural x índice de compressão (Superporto de Rio Grande)

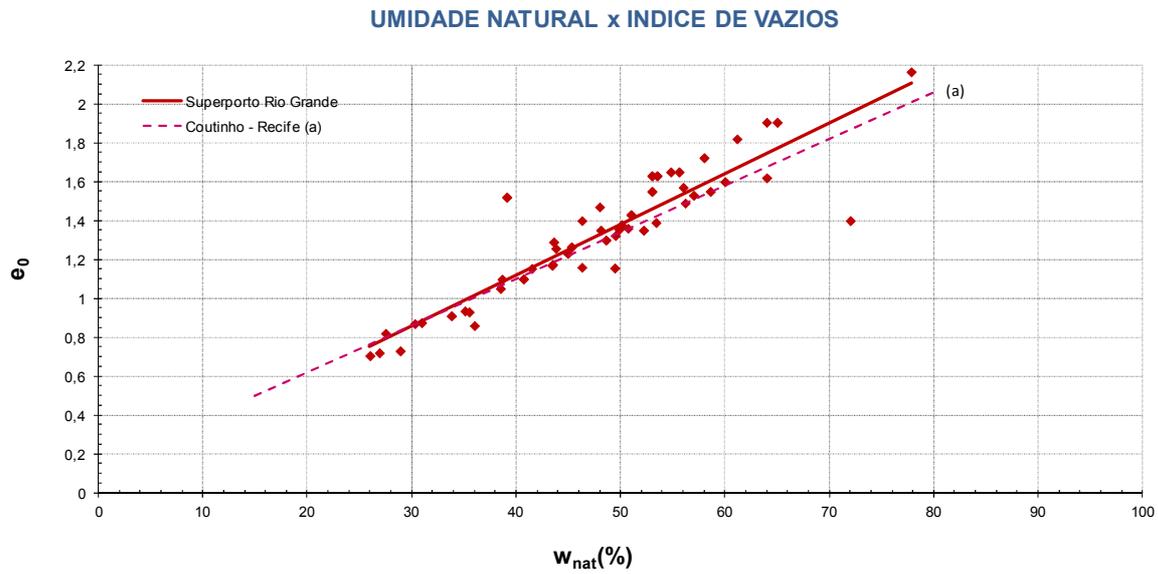


Figura 5.37 – Teor de umidade natural x índice de vazios (Superporto de Rio Grande)

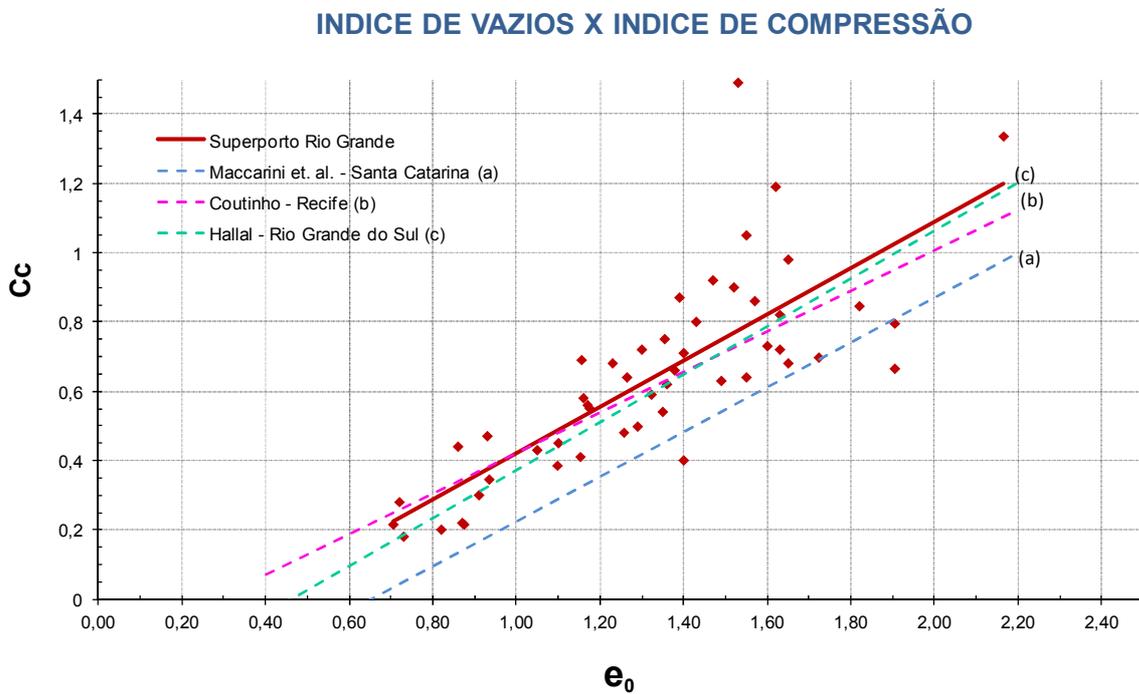


Figura 5.38 - Índice de vazios x índice de compressão (Superporto de Rio Grande)

Tabela 5.6 - Relações entre parâmetros de compressibilidade, índice de vazios e teor de umidade natural, suas equações e graus de correlações - Superporto de Rio Grande

RELAÇÃO	EQUAÇÃO	R <sup>2</sup>	r	CORRELAÇÃO
Cc x w <sub>nat</sub>	$Cc = (w_{nat} + 0,1838) / 0,0173$	0,55	0,74	Moderada Positiva
Cc/(1+e <sub>0</sub> ) x w <sub>nat</sub>	$(Cc/(1+e_0)) = (w_{nat} - 0,0622) / 0,0043$	0,30	0,55	Moderada Positiva
w <sub>nat</sub> x e <sub>0</sub>	$e_0 = 0,0264 \cdot w_{nat} + 0,0617$	0,85	0,92	Forte Positiva
Cc x e <sub>0</sub>	$Cc = (e_0 + 0,2192) / 0,6495$	0,64	0,80	Moderada Positiva

### 5.3 COMPARAÇÕES ENTRE CORRELAÇÕES OBTIDAS PARA RIO GRANDE E AS CITADAS POR DIVERSOS AUTORES.

As comparações entre as correlações obtidas para Rio Grande e as citadas por diversos autores foi realizada utilizando o método dos mínimos quadrados, buscando sempre conhecer a correlação que mais se identificava àquela obtida para a região de estudo.

Na análise da correlação LL x Cc, a equação apresentada por Castello e Pollido (1986) para Vitória foi a que mais se aproximou aos dados experimentais do Superporto, seguida por aquela estabelecida por Ortigão (1975) para o Rio de Janeiro na sua tese de doutorado (Figura 5.29). A correlação estabelecida por Dias para Rio Grande não estabeleceu a melhor correlação na análise, visto a mesma ter sido obtida pelo autor através de parte dos dados citados para a região do Superporto.

Em análise à Figura 5.30 (IP x Cc), pode-se observar a não concordância entre a correlação estabelecida com dados de Santa Catarina por Maccarini et al.(2001) e aquela aqui sugerida a partir dos dados do Superporto de Rio Grande.

Com relação a correlação apresentada por Skempton entre o índice de plasticidade e  $Su/\sigma'v_0$  é constatada a divergência com a relação estabelecida aos dados do Superporto de Rio Grande (Figura 5.34).

Para a relação  $C_c/(1+e_0)$  frente à umidade natural, a equação proposta por Terzaghi e Peck (1967) é a que melhor ajusta os dados obtidos para o Superporto de Rio Grande (Figura 5.35).

Para as correlações  $C_c \times w_{nat}$ , ilustradas na Figura 5.36, o melhor ajuste aos dados do Superporto de Rio Grande foi dado pela equação proposta por Hallal (2003), reunindo dados de Rio Grande, Porto Alegre e Canoas, todos estes no Rio Grande do Sul, seguido pela equação de Coutinho et al. (2001), estabelecida com dados de Recife.

Como já citado, a relação do teor de umidade natural frente ao índice de vazios apresentou uma correlação fortemente positiva ( $r = 0,92$ ). Esta forte correlação endossa o emprego da técnica de estimar o índice de vazios de estratos argilosos a partir da determinação do teor de umidade de amostras coletadas em sondagens tipo SPT. Pode-se observar pela Figura 5.37 o bom ajuste dos dados do Superporto de Rio Grande com a equação proposta por Coutinho et al. (2001) para Recife.

Em seqüência realizou-se a análise entre as diversas equações  $e_0 \times C_c$  propostas na literatura e a obtida a partir dos dados do Superporto (Figura 5.38). A melhor aproximação aos dados de Rio Grande foi obtida com a equação proposta por Coutinho et al. (2001) com base em dados de Recife, seguida pela equação proposta por Hallal (2003) para argilas do Rio Grande do Sul.

Em resumo, pode-se dizer que as relações estabelecidas por Coutinho et al. (2001) e Hallal (2003) para argilas de Recife e do Rio Grande do Sul, respectivamente, são aquelas que melhor ajustam dados da compressibilidade da argila de Superporto de Rio Grande frente a uma propriedade física como o índice de vazios  $e$ , indiretamente, frente ao teor de umidade.

#### **5.4 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DO PORTO NOVO**

A campanha geotécnica realizada no Porto Novo de Rio Grande, que resultou nos dados publicados por Dias e Pedreira (2000), foi executada durante a fase de projeto para modernização do cais, numa área de 600 metros de extensão, com aprofundamento de calado de 10,3 m para 13,5 m. Esta campanha contou com a retirada de tubos Shelby, possibilitando

a caracterização do solo juntamente com a determinação de parâmetros de compressibilidade e resistência. Segundo Dias e Pedreira (2000), existe uma significativa diferença de comportamento geotécnico entre o solo argiloso do Porto Novo e aquele do Superporto. Os autores atribuem esta diferença à dinâmica de sedimentação entre os dois depósitos.

Os parâmetros geotécnicos compilados de Dias e Pedreira (2000) foram reproduzidos graficamente nas Figuras 5.39 a 5.45. Estes dados são apresentados em conjunto com aqueles para o Superporto ao longo da profundidade. Admite-se que, em virtude da pequena variação de cota nos terrenos envolvidos, os erros assumidos ao considerar a profundidade ao invés de cotas (em relação a um mesmo referencial) sejam pequenos.

A compilação de dados geotécnicos para o solo estudado do Porto Novo não permite uma representativa análise estatística deste solo ao longo da profundidade, visto o pequeno intervalo de profundidade em que os ensaios foram realizados, aliado ao reduzido conjunto de dados para o local. Logo, os gráficos supracitados têm por objetivo apenas comparar dados dos dois sítios.

Em resumo, pode-se afirmar que o solo do Porto Novo mostra-se menos argiloso em relação ao Superporto a mesma profundidade, assim como tende a apresentar menores teor de umidade natural, limite de liquidez e índice de vazios. A compressibilidade do estrato argiloso do Porto Novo também é menor em relação à argila siltosa profunda do Superporto. Estas conclusões corroboram com aquelas publicadas por Dias e Pedreira (2000) e Dias (2001).

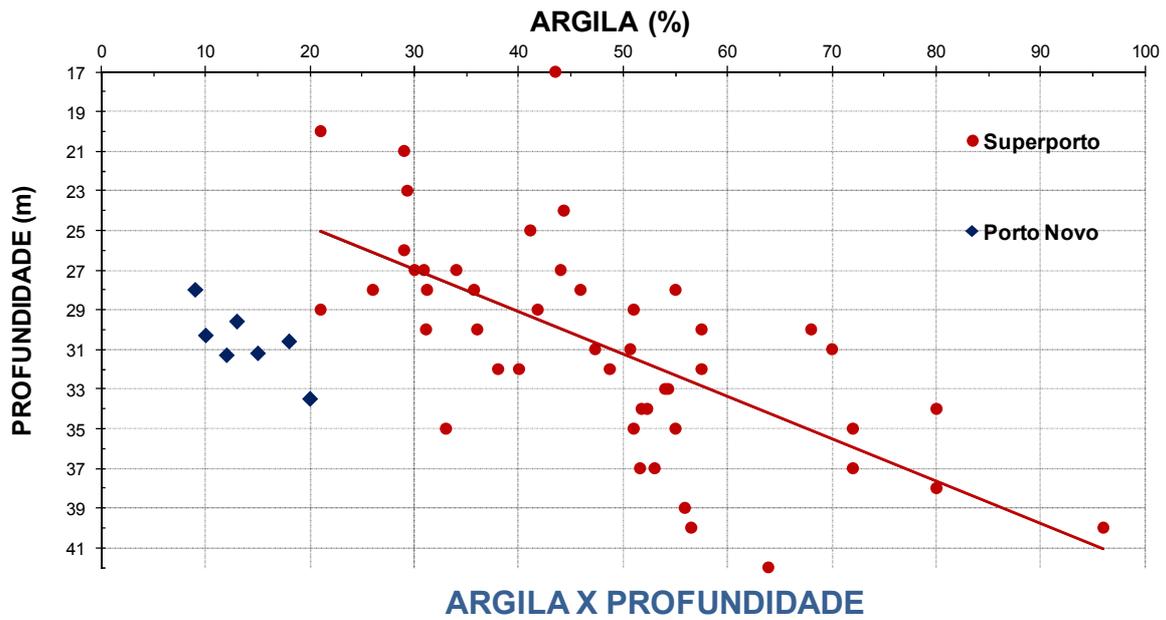


Figura 5.39 - Teor de argila x profundidade (Porto Novo x Superporto de Rio Grande)

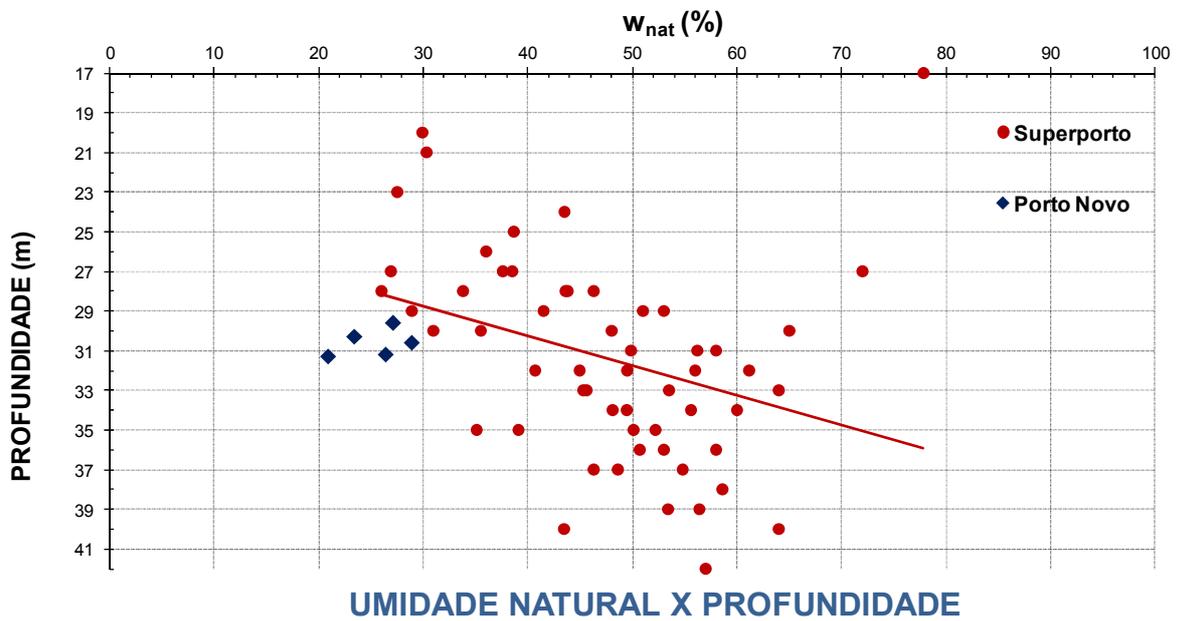


Figura 5.40 – Teor de umidade natural x profundidade (Porto Novo e Superporto de Rio Grande)

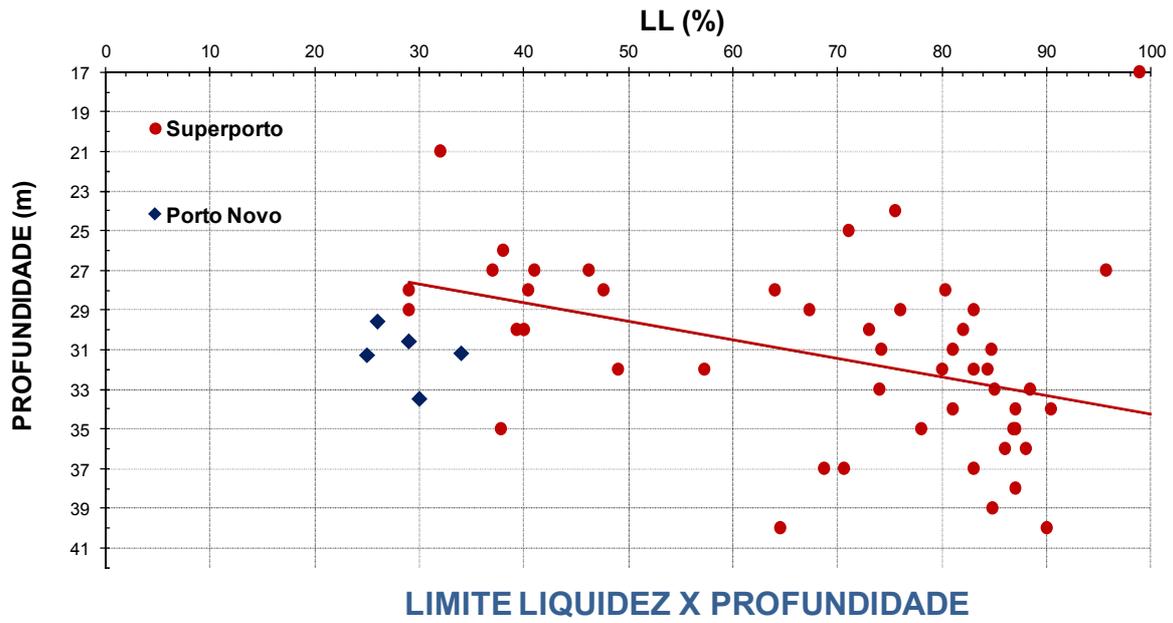


Figura 5.41 - Limite de liquidez x profundidade (Porto Novo e Superporto de Rio Grande)

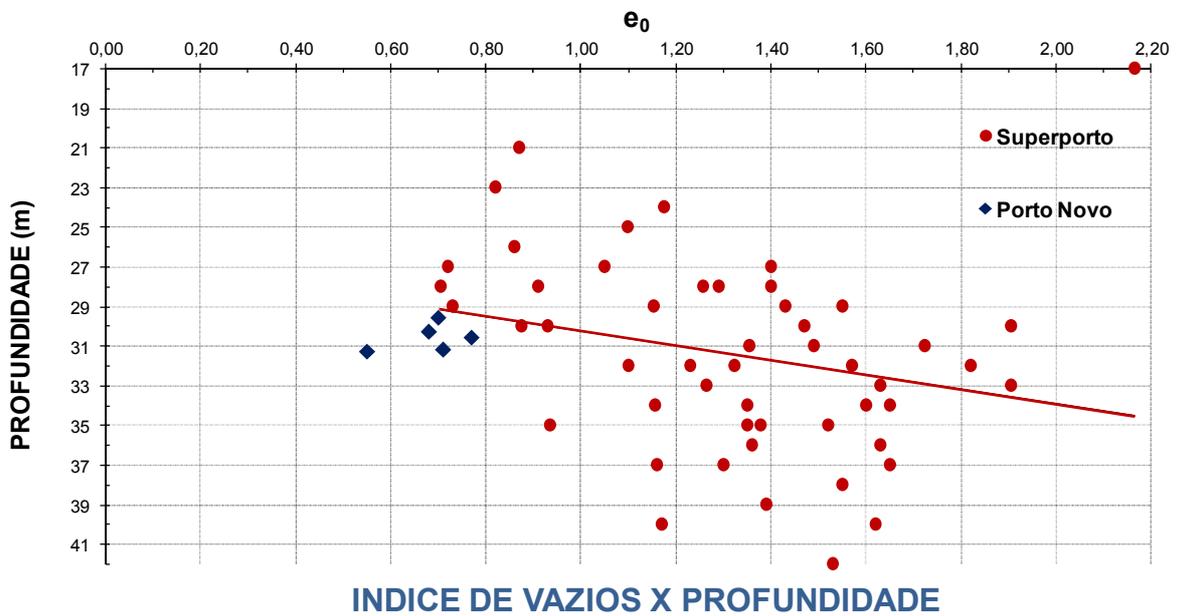


Figura 5.42 - Índice de vazios x profundidade (Porto Novo e Superporto de Rio Grande)

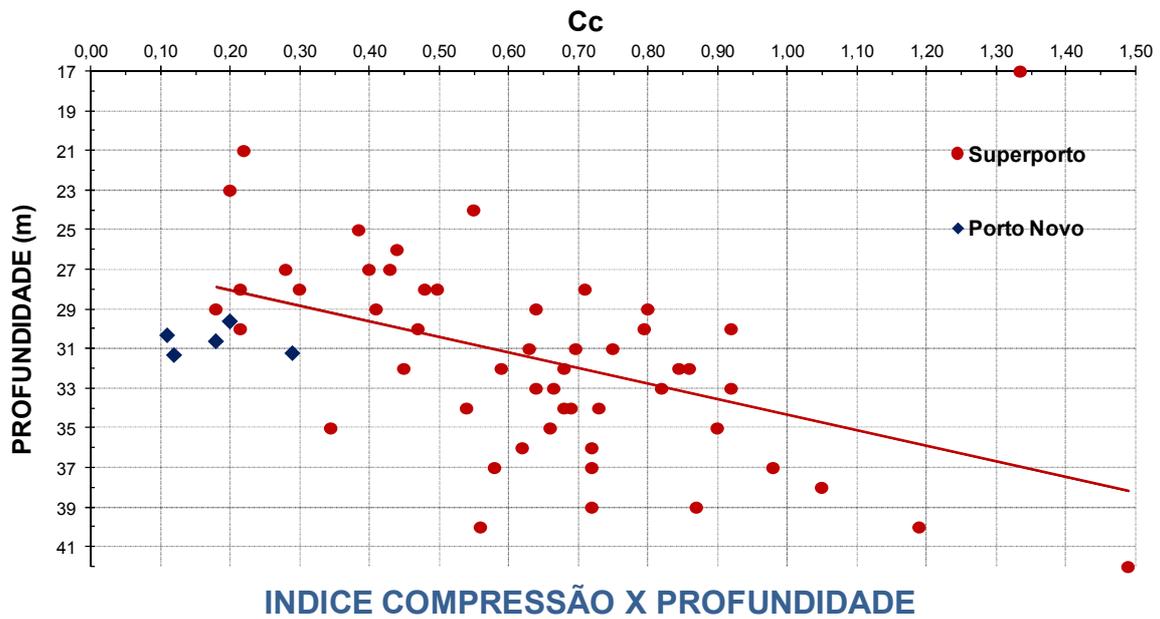


Figura 5.43 - Índice de compressão x profundidade (Porto Novo e Superporto de Rio Grande)

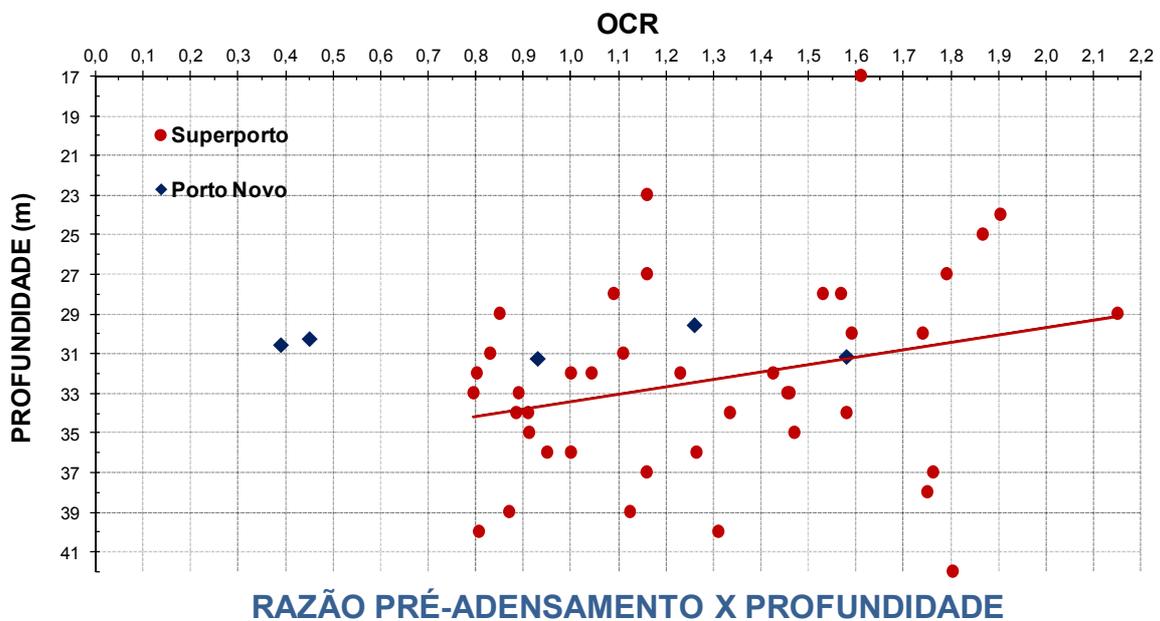


Figura 5.44 - Razão de pré-adensamento x profundidade (Porto Novo e Superporto de Rio Grande)

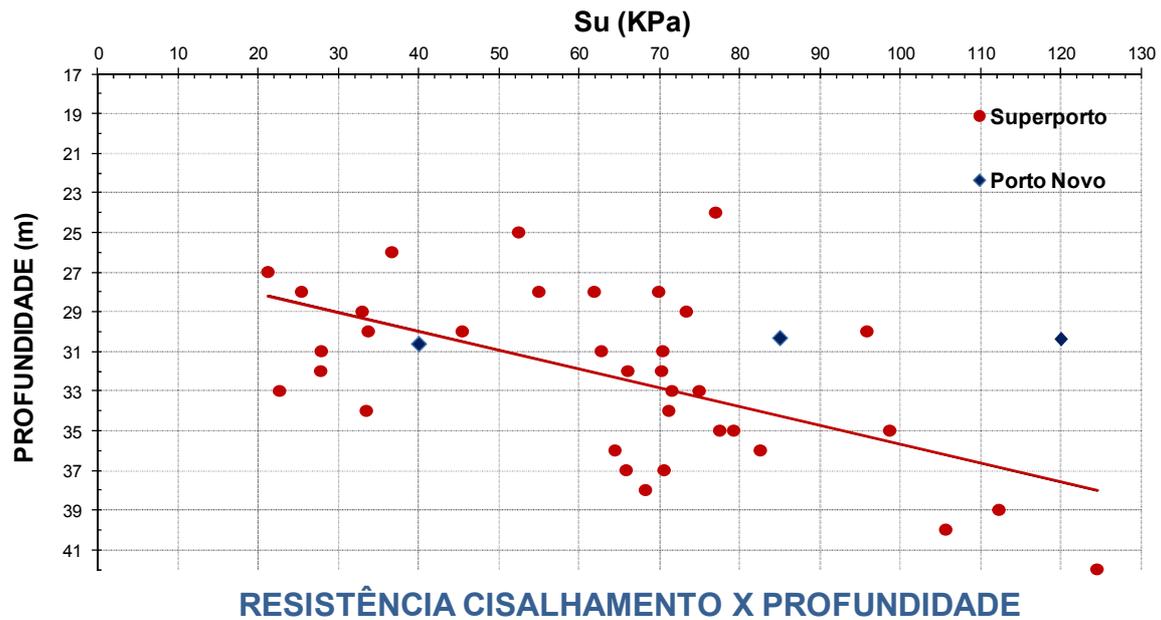


Figura 5.45 - Resistência ao cisalhamento x profundidade (Porto Novo e Superporto de Rio Grande)

## 5.5 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DO SOLO ARGILOSO DO SUPERPORTO DE RIO GRANDE FRENTE A OUTROS LOCAIS DA COSTA BRASILEIRA

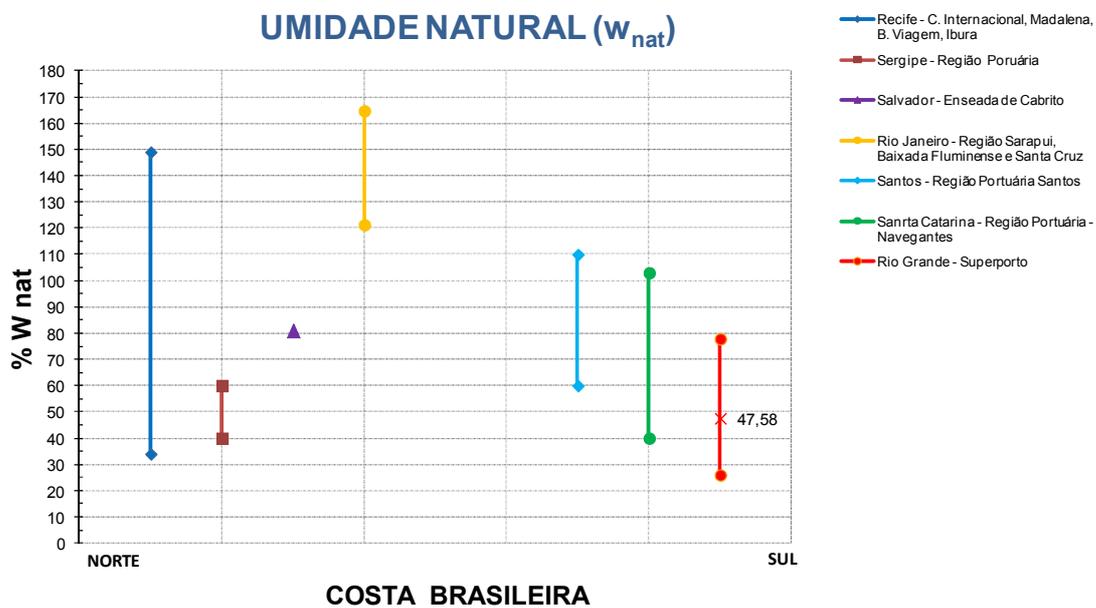
Neste item os dados do Superporto de Rio Grande são apresentados frente a parâmetros geotécnicos compilados de outros sítios da costa brasileira e antes apresentados na revisão bibliográfica (item 2.4). É representada a faixa de variação para os parâmetros, enquanto para o Superporto, também o valor médio é apresentado.

Os parâmetros geotécnicos das argilas são dispostos espacialmente da seguinte forma: tem-se o parâmetro analisado na ordenada e a representação dos sítios estudados na abscissa, numa ordenação norte – sul, desde Recife/PE até Rio Grande/RS (Figura 5.46 a Figura 5.52).

Cabe destacar que os parâmetros geotécnicos revisados na literatura nacional têm como pontos comuns somente o fato de referirem-se a solos argilosos e pertencerem a pontos da costa brasileira, entretanto, estes solos são de constituição muito variada (desde

argilas orgânicas recentes até sedimentos argilosos inorgânicos de mais antiga idade geológica) e são encontrados nas mais variadas profundidades. Ainda neste sentido, dados de caracterização e profundidade são muitas vezes omitidos nos estudos revisados.

As razões acima explicitadas justificam que não se faça nesta dissertação uma análise comparativa mais apurada dos dados apresentados, possibilitando apenas confrontá-los e apresentá-los graficamente, diferente da proposta original dos objetivos, mas reavaliada nesta etapa do trabalho.



Figura

5.46 – Teor de umidade natural de solos argilosos ao longo da costa brasileira

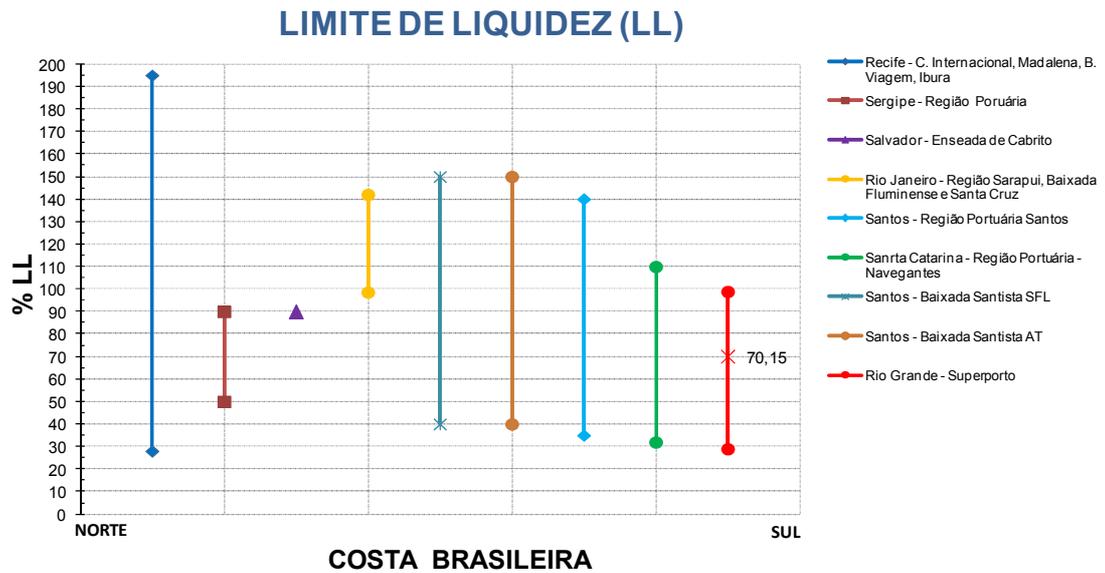


Figura 5.47 – Limite de liquidez de solos argilosos ao longo da costa brasileira

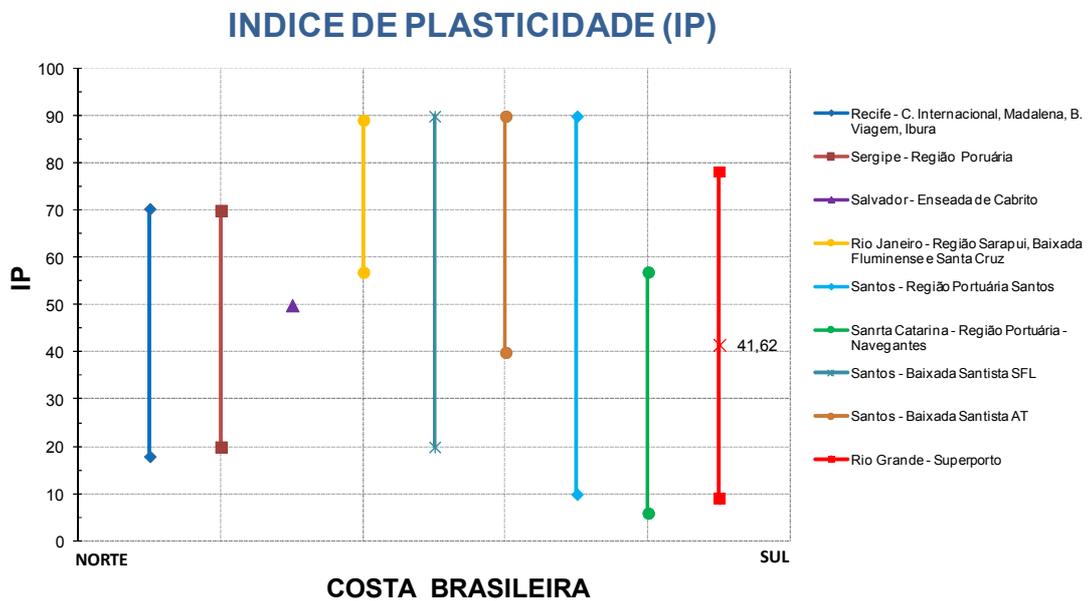


Figura 5.48 – Índice de plasticidade de solos argilosos ao longo da costa brasileira

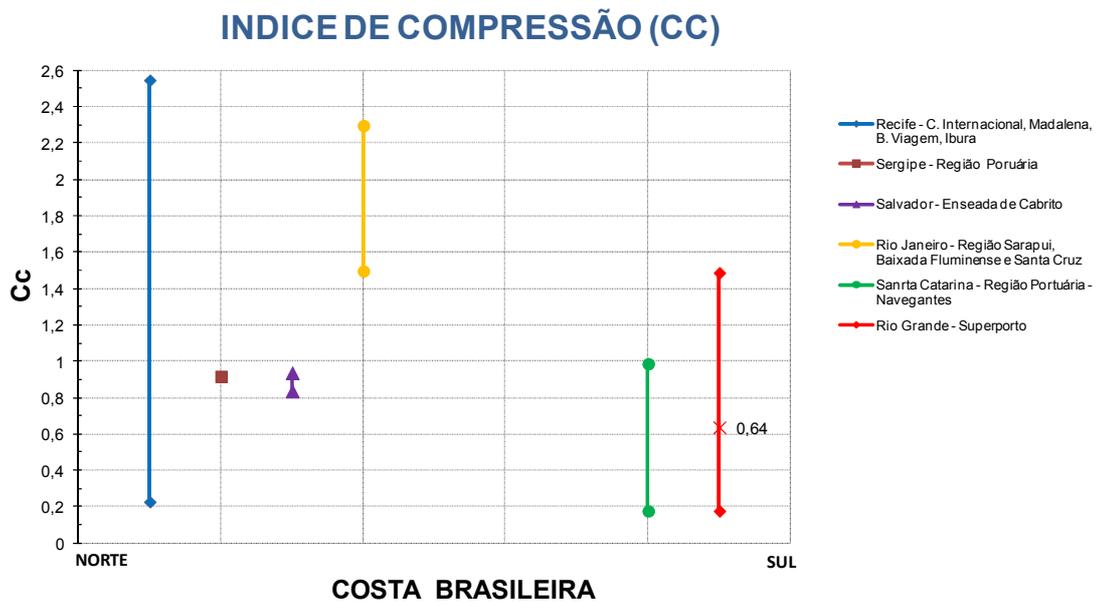


Figura 5.49 – Índice de compressão de solos argilosos ao longo da costa brasileira

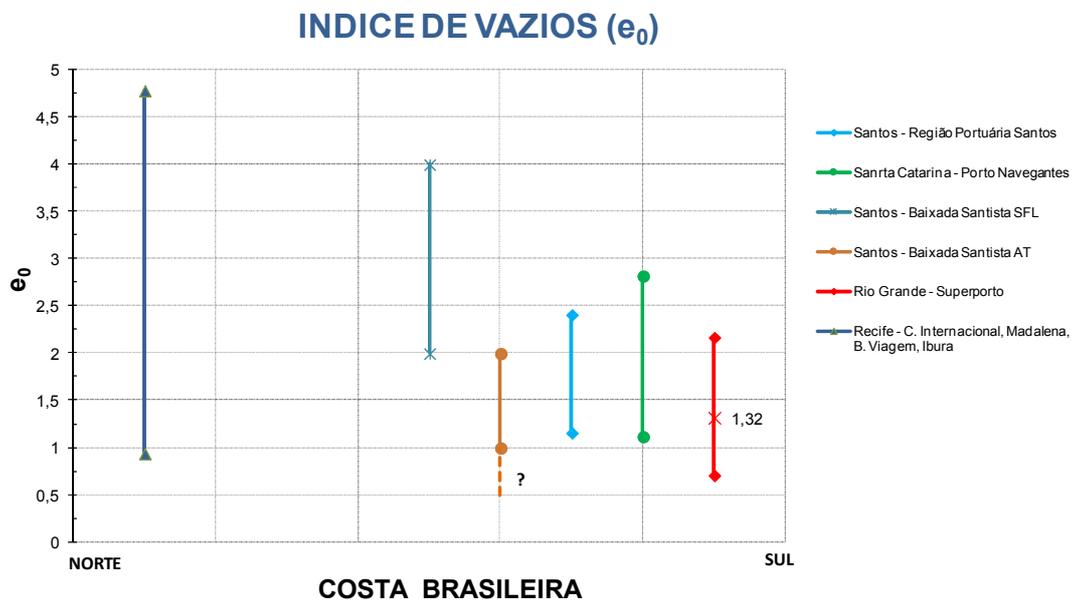


Figura 5.50 – Índice de vazios ao longo da costa brasileira

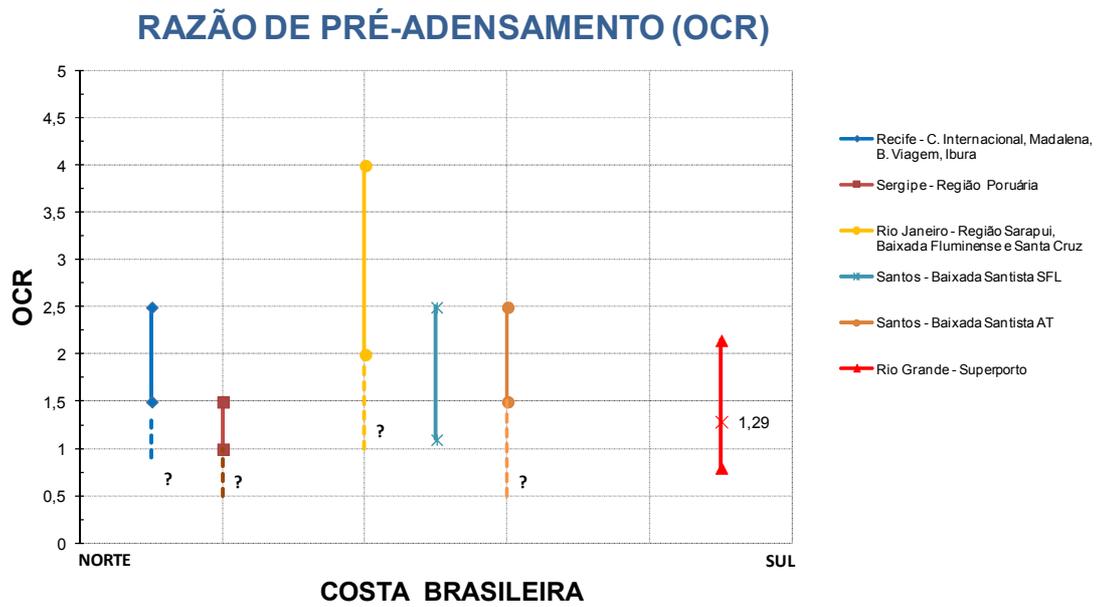


Figura 5.51 – Razão de pré-adensamento ao longo da costa brasileira

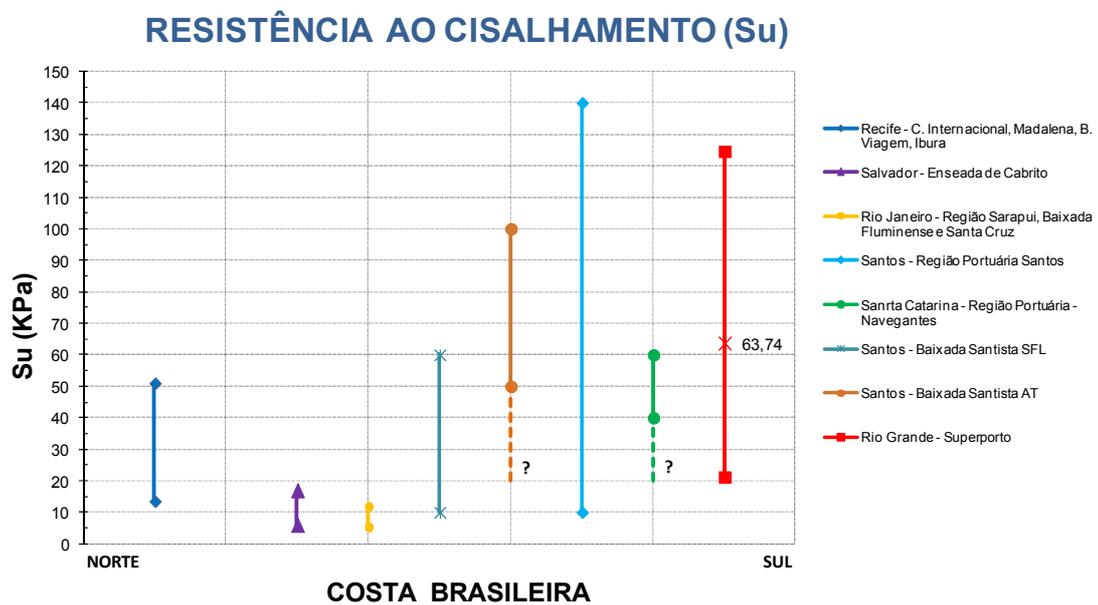


Figura 5.52 – Resistência ao cisalhamento não drenada de solos argilosos ao longo da costa brasileira.

## 6 CONCLUSÕES

Este trabalho de dissertação procurou inventariar e analisar o perfil estratigráfico e os parâmetros geotécnicos do subsolo da região portuária de Rio Grande.

O perfil estratigráfico da região do Superporto de Rio Grande, analisado em destaque, permitiu definir uma espessa camada de argila siltosa condicionante de vários projetos de engenharia nesta área portuária.

Esta camada argilosa apresenta-se a partir dos 20 m de profundidade, atingindo profundidades de até 42 m. A argila siltosa desta camada apresenta-se preta, com presença de matéria orgânica altamente mineralizada, nas maiores profundidades (a mais de 40 m), na interface com a camada arenosa basal.

Em menores profundidades (no entorno dos 20 m) é comum a presença de lentes arenosas de pequena espessura, vindo a reduzir o teor de argila nos resultados dos ensaios granulométricos, pois passa a ser incorporado material arenoso na camada.

Os parâmetros geotécnicos desta argila siltosa foram analisados ao longo de um perfil longitudinal traçado dos cerca de 12 km de extensão do Superporto, desde a Ponte dos Franceses aos Molhes da Barra, levando em conta as variáveis localização e profundidade. Pode-se constatar que a maior parte dos parâmetros analisados (77%) tem sua variação explicada com a profundidade, enquanto apenas 33% dos parâmetros têm sua variação explicada pela localização ao longo das margens do canal do Superporto em Rio Grande.

Destes parâmetros, 33% têm seu comportamento explicado pela variação simultânea da profundidade e localização da amostra. Também pode ser observado que 22% destes parâmetros não têm sua variação explicada nem pela profundidade, nem pela localização.

Os parâmetros que apresentaram sua variação explicada pela profundidade e localização (teor de argila, teor de umidade natural e resistência ao cisalhamento não drenada), o teor de argila teve seu melhor ajuste para o modelo, com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) em 44,13%, onde se pode comprovar, com base estatística, que o solo da camada profunda torna-se mais argiloso à medida que se aproxima do centro da cidade e se aprofunda na camada.

Quanto aos parâmetros de plasticidade definidos pelos limites de Atterberg, conclui-se por um aumento da plasticidade do solo ao longo da profundidade na camada de argila siltosa profunda.

Em relação ao índice de vazios, poderia se afirmar tão somente um aumento na porosidade dos solos à medida que a camada se aproxima da costa. O comportamento significativo apresentado com a profundidade pode ser relacionado ao comportamento de teor de argila, umidade natural e índice de compressão, diretamente relacionados ao desenvolvimento deste parâmetro.

Observa-se a tendência de acréscimo no índice de compressão tanto em direção ao Molhes da Barra como em profundidade, apesar de somente esta última variável mostrar significância estatística. A relação existente do índice de compressão com o teor de argila poderia explicar este comportamento. Já o índice de compressão normalizado em relação ao índice de vazios ( $C_c/1+e_0$ ), apesar de mostrar uma tendência de acréscimo com a profundidade (acompanhando o aumento no teor de argila), não verifica esta tendência com base no modelo de regressão.

Observou-se que 74,5% dos resultados de OCR encontram-se entre 1 e 2, indicando que, de maneira geral, que a argila siltosa profunda do Superporto de Rio Grande pode ser caracterizada como normalmente adensada a levemente pré-adensada, corroborando com conclusões de estudos anteriores.

Já com a normalização dos resultados de  $S_u$  em função da tensão efetiva “*in situ*” (razão de resistência), observa-se que 81,4% dos resultados encontram-se na faixa de razão de resistência de 0,23 a 0,40, correspondendo a valores de OCR entre 1 e 2 (segundo JAMIOLKOWSKI et al., 1985 apud PINTO, 2000) . Este fato mais uma vez corrobora que a argila siltosa profunda do Superporto de Rio Grande pode ser tratada como de comportamento normalmente adensado a levemente pré-adensado também no que se refere a sua resistência ao cisalhamento.

Uma tendência de acréscimo na resistência ao cisalhamento não drenada com a profundidade e uma grande dispersão no comportamento analisado frente à localização foi observada. Com base na análise estatística é possível afirmar que o solo mostra maior resistência ao cisalhamento não drenada à medida que se aproxima do centro da cidade e se aprofunda na camada.

Com a análise de todos os dados inventariados, pode-se descrever a seguinte faixa de variação para os parâmetros analisados na camada de argila siltosa profunda em Rio Grande (variando entre 22 e 44 m de profundidade): teor de argila de 20 a 96% (valor médio de 47,79%); teor de umidade natural de 26 a 77 % (valor médio de 47,36%); limite de liquidez de 29 a 98% (valor médio de 69%); índice de plasticidade de 9 a 78% (valor médio de 42%); índice de vazios de 0,71 a 2,17 (valor médio de 1,32); índice de compressão de 0,18 a 1,49 (valor médio de 0,64); relação  $C_c/(1+e_0)$  de 0,11 a 0,59 (valor médio de 0,28); razão de pré-adensamento de 0,80 a 2,15 (valor médio de 1,29); resistência ao cisalhamento não drenada de 21 a 124 kPa (valor médio de 63,74 kPa); e razão de resistência de 0,10 a 0,73 (valor médio de 0,35).

Um estudo de correlação entre os parâmetros foi também conduzido. Através deste pôde-se afirmar que na totalidade, as correlações pesquisadas entre os parâmetros obtidos para a argila siltosa do Superporto de Rio Grande foram consideradas moderadas positivas, com exceção da relação entre o teor de umidade natural e o índice de vazios, classificada como fortemente positiva ( $R = 0,92$ ), e da relação entre o índice de plasticidade e a razão de resistência, que foi considerada nula.

Em relação à comparação com as correlações entre parâmetros obtidas por diversos autores, pode-se dizer que àquelas estabelecidas por Coutinho et al. (2001) e Hallal (2003) para argilas de Recife e do Rio Grande do Sul, respectivamente, são aquelas que melhor ajustam dados da compressibilidade da argila de Superporto de Rio Grande frente a uma propriedades físicas como o índice de vazios e teor de umidade, destacando que estes dois estão fortemente relacionados entre si .

Em relação ao solo do Porto Novo, outra área inventariada, pode-se afirmar que o mesmo mostra-se menos argiloso em relação ao Superporto, tendendo a apresentar conforme demonstrado, menores teor de umidade natural, limite de liquidez e índice de vazios. A compressibilidade do estrato argiloso do Porto Novo também é menor em relação à argila siltosa profunda do Superporto. Estas conclusões corroboram com aquelas publicadas por Dias e Pedreira (2000) e Dias (2001).

Para os parâmetros geotécnicos revisados na literatura nacional, que têm como pontos comuns somente o fato de referirem-se a solos argilosos e pertencerem a pontos da costa brasileira, pode-se observar grandes variações na maioria dos parâmetros inventariados tanto entre os locais, como nos próprios sítios. A análise destas variações não se sustenta, visto que em muitos trabalhos as profundidades das amostras não são devidamente

identificadas ou mesmo os solos não são adequadamente caracterizados geológico-geotecnicamente, dificultando a definição de um coerente universo para análise.

## **6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

O contexto socioeconômico nacional, que tem repercutido em Rio Grande em forma de grandes investimentos, tem possibilitado que sejam executados novos programas de investigação geotécnica. Essas investigações têm ocorrido em diversos locais da cidade, não somente na região dos portos. Devido à formação da cidade de Rio Grande, e sua história de “organização da cidade (aterros, etc.)”, sugere-se a utilização de um mais abrangente inventário de perfis de sondagens, direcionando a realização de uma análise do comportamento do perfil estratigráfico não só na região portuária, mas em toda a área urbana. O uso de técnicas de representação espacial dos dados de sondagem e de geoestatística também virão a contribuir num estudo desta natureza.

Um novo estudo ou a complementação desse, empregando dados de ensaios de campo também fica como sugestão.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ANTUNES, F.. **Ensaio para Caracterização Geológica, Pedológica e Mineralógica de Argilas do Rio de Janeiro**. Relatório Final, 2.019-02.02-2/10/42, IPR/DNER, Rio de Janeiro, 1978.

ARAGÃO, C. J. C. **Propriedades geotécnicas de alguns depósitos de argila mole da área do Grande Rio**. Rio de Janeiro, 1975. Dissertação de Mestrado. PUC-Rio.

BALINHAS, B.C. **Estudos prévios visando a implantação do campo experimental de fundações da FURG caracterização do perfil de solo local**. Rio Grande, 2006. Projeto de Graduação em Engenharia Civil. FURG.

BASTOS, C. A. B.; DIAS, P B.; PINTO, E. S.S, HOOD. Determinação de parâmetros de resistência de um solo sedimentar estratificado através de ensaios de cisalhamento direto. In: V Seminário de Engenharia Geotécnica do Rio Grande do Sul, 2009, Pelotas. **Anais ...** (in CD)

BASTOS, C. A. B.; DIAS, C. R. R.; GOULARTE, C. L.. Investigação dos parâmetros geotécnicos de uma camada sedimentar muito estratificada na região do Superporto do Rio Grande. In: XV Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2010, Gramado. **Anais ...** (in CD)

BERTUOL, F.. **Caracterização geotécnica da sensibilidade de um depósito sedimentar do Rio Grande do Sul com o uso de ensaios de laboratório**. Porto Alegre, 2009. 180p. Dissertação de Mestrado, UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CASTELLO, R. R.; POLIDO, U. F.. Algumas características de adensamento das argilas marinhas de Vitória. In: 8º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, 1, 1986. Vitória. **Anais....** Porto Alegre, vol. 1, p.149-159, 1986.

CHRISTOULAS, S.; KALTEZIOTIS, N.; TSIAMBAOS, G.; SABATAKAKIS, N.. **Engineering geology of soft clays. Examples from Greece. Embankments on soft clays**. Special Publication, Bulletin of the Public Works Research Center, Athens, 1987.

CLAYTON, C. R. I.; MATTHEWS, M. C.; SIMONS, N. E. **Site investigation**. Oxford. Blackwell Science, 546p. 1995.

CLOSS, D.. Estratigrafia da bacia de Pelotas. **Iheringia**, Porto Alegre, v.3, pp.3-76, 1970.

COSTA FILHO, L. M.; ARAGAO, C. J. G.; VELLOSO, P. P. C.. Características geotécnicas de alguns depósitos de argila mole na área do Rio de Janeiro. **Solos e Rochas**. Vol. 8:1, p.3-13, 1985.

COUTINHO, R. Q.; FERREIRA, S. R. M.. Argilas orgânicas do Recife - estudos de caracterização e de compressibilidade em seis depósitos. SIDEQUA – Simpósio Sobre Depósitos Quaternários das Baixadas Litorâneas Brasileiras, 1988. **Anais...** Rio de Janeiro,1, pp.3.35-3.54.

COUTINHO, R. Q.; LACERDA, W. A.. Characterization – Consolidation of Juturnaíba organic clays. In: International Symposium on Geotechnical Engineering of Soft Soils, 1987, **Proceedings...** México, 1, pp.17-24.

COUTINHO, R. Q.; OLIVEIRA, J. T. R.; DANZIGER, F. A. B.. Caracterização geotécnica de uma argila mole do Recife. **Solos e Rochas**. Vol.:1, p.255-266, 1993.

COUTINHO, R. Q.; OLIVEIRA, J. T. R.; OLIVEIRA, A. T. J.. Geotechnical Site Characterization of Recife Soft Clays, 1998a., 1<sup>st</sup> International Symposium on Site Characterization, Atlanta-USA, 2, pp.1001-1006

COUTINHO, R. Q.; OLIVEIRA, J. T. R.; OLIVEIRA, A. T. J.. Características geotécnicas das argilas moles de Recife. **Solos e Rochas**. V.59, n.1, p.177-203, 2000.

COUTINHO, R. Q.; OLIVEIRA, J. T. R.; OLIVEIRA, A. T. J.. Geotechnical properties of Recife soft clays. Encontro Propriedades de Argilas Moles Brasileiras. **Anais...** UFRJ/COPPE, pp. 1-28, 2001.

COZZOLINO, V. M.. Statistical forecasting of compression index. 51 ICSMFE, Int Conf on Soils Mechanics and Foundation Engineering, **Proceedings...** Paris, 1961.

DIAS, C.R.R.. Comportamento de estacas de fundação dos silos do terminal de Trigo e Soja do Superporto de Rio Grande. **Solos e Rochas**, São Paulo, v.2, n.2, p.27-37, 1979.

DIAS, C. R. R.; BASTOS, C. A. B. Propriedades geotécnicas da argila siltosa marinha de Rio Grande/RS: uma interpretação a luz da história geológica recente da região. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, 1994, Foz do Iguaçu. **Anais...**, Rio de Janeiro: ABMS, 7v. v.2, p.555-562.

DIAS, C. R. R.. **Caracterização dos parâmetros de sedimentação e adensamento de solo sedimentar da planície costeira - Região de Rio Grande**. Relatório FAPERGS - Proj. 0797/89, 1992.

DIAS, C. R. R.. Parâmetros geotécnicos da argila siltosa mole da cidade de Rio Grande – região do Superporto. **Vetor**, Rio Grande, Brasil, v.3, 19-34, 1993a.

DIAS, C. R. R.. Caracterização dos parâmetros geotécnicos de solo sedimentar da cidade do Rio Grande – Resultados de pesquisa sobre argilas moles. COPPEGEO'93,1993, **Proceedings...** Rio de Janeiro, Brasil, 55-68, p.1993b.

DIAS, C. R. R.; BASTOS, C. A. B.. Argila siltosa marinha de Rio Grande/RS – Análise dos dados geotécnicos aplicados às obras portuárias. In: VI Congresso Brasileiro da ABEQUA, 1997, **Anais...** Curitiba, Brasil, p.53-57.

DIAS, C. R. R.; MORAES, J. M.. A experiência sobre argilas moles da região do estuário da Laguna dos Patos e Porto de Rio Grande. In: 1º Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, 1998, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, Brasil, p.179-196.

DIAS, C. R. R.; PEDREIRA, C. L. S.. Aspectos geotécnicos e soluções de fundações de obras portuárias de Rio Grande/RS. In: 2º Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, 2000, Porto Alegre. **Anais...** p.53-61

DIAS, C. R. R.. Os parâmetros geotécnicos e a influência dos eventos geológicos – Argilas moles de Rio Grande/RS. In: Encontro Propriedades de Argilas Moles Brasileiras, 2001, **Proceedings...** Rio de Janeiro, Brasil, p.29-49.

DIAS, C. R. R.; BASTOS, C. A. B.; PEDREIRA, C. L. S.; SCHULER, A. R.; SCHMITT, L. A.. Caracterização do subsolo do Superporto de Rio Grande a partir de novas investigações geotécnicas para obras portuárias. In: IV Congresso Luso-Brasileiro de Geotecnia, 2008, Coimbra. **Anais...**, p.375-382.

DIAS, C. R. R.; BASTOS, C. A. B.; PEDREIRA, C. L. S.. Variações no comportamento geotécnico da camada argilosa profunda ao longo do Porto de Rio Grande : Influência da energia durante o processo sedimentar. In: XV Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2010, Gramado. **Anais...**, (in CD).

DIAS, M. S. Cidade de Santos: Comparação entre as propriedades geotécnicas do subsolo de alguns trechos da orla de Santos. 6º SEFE, Vol. 2, PP. 331-342, 2008.

DRÖSEMAYER, A.; MÜLLER, R.; OLIVEIRA, H. M.; MACCARINI, M.; RAIMUNDO, H. A.. Propriedades geotécnicas de solos moles do litoral de Santa Catarina. Encontro Propriedades de Argilas Moles Brasileiras. **Anais...** UFRJ/COPPE, pp.101-115, 2001.

FERREIRA, S. R. M.; AMORIM JR, W. M.; COUTINHO, R. Q.. Argila orgânica do Recife – Contribuição ao banco de dados. In: VIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, 1986. **Anais...**, Porto Alegre. pp. 183-197.

FUTAI, M. M.; ALMEIDA, M. S. S.; LACERDA, W. A.. Propriedades geotécnicas das argilas moles do Rio de Janeiro. Encontro Propriedades de Argilas Moles Brasileiras. **Anais...** UFRJ/COPPE, pp.138-165, 2001.

FUTAI, M. M.; ALMEIDA, M. S. S.; LACERDA, W. A.. Laboratory Behaviour of Rio de Janeiro Soft Clays. **Soils and Rocks**, São Paulo, V.32, n.2, p. 77-84, 2008.

GODOLPHIM, M. **Geologia do Holoceno Costeiro do município de Rio Grande**. Porto Alegre, 1976. 146p. Dissertação de Mestrado,UFRGS- Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GONÇALVES, H. H. S.; MAFFEI, C. E. M.. Resistência não drenada das argilas moles do porto de Santos. In: IV Congresso Luso-Brasileiro de Geotecnia, 2008, Coimbra. **Anais...**, p.367-374.

GARCÉS, V.A.N. Características de Deformabilidade e Adensamento de Alguns Depósitos de Argila Mole no Rio de Janeiro. 1995. 195p. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC.

HALLAL, R. R.. **Características de depósitos de argilas moles no estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2003. 123p. Dissertação de Mestrado, UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

HIGH, D. W.. JARDINE, R. J. & GENS, A.. The behaviour of Soft Clays. Embankments on Soft Clays. Special Publication, Bulletin of the Public Works Research Center, Athens, 1987

HVORSLEV, M. J.. **Surface exploration and sampling of soils for Civil Engineering purposes**. Vicksburg: Waterways Experiment Station, 521p. 1949.

JAMIOLKOWSKI, M.; LADD, C. C.; GERMAINE, J. T.; LANCELOTTA, R.. New developments in field and laboratory testing of soils. In: International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 11, San Francisco. **Proceedings...** Rotterdam: A. A. Balkema, 5v. v.1, p.57-153, 1985.

LACERDA, W. A.; ALMEIDA, M. S. S.. Engineering properties of regional soils: residual soils and soft clays. In: X Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundations Engineering, 1995. **Proceedings...** State-of-the-Art Report.

LIMA, M.J.C.P.A. Prospecção Geotécnica de sub solo. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro-RJ. 104p, 1979.

MACCARINI, M.; OLIVEIRA, H. M.. Caracterização geotécnica de um depósito de argila mole em Santa Catarina. Encontro Propriedades de Argilas Moles Brasileiras. **Anais...** UFRJ/COPPE, pp.79-100, 2001.

MARQUES, M. E. S.; LACERDA, W. A.. Caracterização geotécnica de um depósito argiloso fluviomarinho em Navegantes, SC. In: 4º SIMPÓSIO DE PRÁTICA DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA DA REGIÃO SUL, 2004, Curitiba. **Anais....**p. 31-38.

MASSAD, F.. **As argilas quaternárias da Baixada Santista: Características e Propriedades Geotécnicas**. São Paulo, 1985. Tese de livre docência. Escola Politécnica – USP. 250p.

MASSAD, F.. As argilas transicionais (pleistocênicas) do litoral paulista. In: VIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, 1986, Porto Alegre. **Anais...** São Paulo, ABMS, v.2, pp.28-113.

MASSAD, F.. **História geológica e propriedades dos solos de baixadas: Comparações entre diferentes locais da costa Brasileira**. In: Depósitos Quaternários das Baixadas Litorâneas Brasileiras, 1988. Rio de Janeiro, pp. 3.1-3.34.

MASSAD, F.. Características geotécnicas dos solos da Baixada Santista, com ênfase na cidade de Santos. In: Workshop: Passado, Presente e Futuro dos Edifícios da Orla Marítima de Santos, 2003. **Anais...** São Paulo. ABMS, v.1, pp.1-24.

MASSAD, F. **Solos Marinhos da Baixada Santista**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 247p. ISBN 978-85-86238-89-5.

MITCHELL, J. K.. **Fundamentals of soil behavior**, 1, 1976, John Wiley & Sons. Ins. New York.

NISHIDA, Y. A.. Brief note on compression index of soils. **Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division**, ASCE, v.82, n.SM3, .1027-1-1027-14, 1956.

OLIVEIRA, J. T. R.. **A influência da qualidade da amostra no comportamento tensão-deformação-resistência de argilas moles**, Rio de Janeiro, 2002, 272p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia da UFRJ.

ORTIGÃO, J. A. R. (1975). **Contribuição ao estudo das propriedades geotécnicas de um depósito de argila mole da Baixada Fluminense**, Rio de Janeiro, 1975. 94p. Dissertação de Mestrado. UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

ORTIGÃO, J. A. R. Aterro experimental levado à ruptura sobre argila cinza do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1980. 715p. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ.

PEDREIRA, C. L. S.. **Uso de material de rejeito como fundação em solos compressíveis: Caso de obra**. Porto Alegre, 2000, 135p. Dissertação de Mestrado – PPGECC – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.

PEDREIRA, C. L. S.; DIAS, C. R. R.; BASTOS, C. A. B.; FAGUNDES, D. F.; SCHNAID, F.. Argilas moles de Rio Grande: Estudo de sítios de investigação. In: IV Congresso Luso-Brasileiro de Geotecnia, 2008, Coimbra. **Anais...**, p.303-310.

PINTO, C. S.. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 2º edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 355p.

RABASSA, C. M. **Monitoramento Geotécnico da obra de ampliação dos molhes do Rio Grande, Brasil**. Porto Alegre, 2010. 103p. Dissertação de Mestrado, UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ROSENQVIST, I. Considerations on the sensitivity of norwegian quick clays. **Geotechnique**, v.3, n.5, pp 195-200, 1953.

SANDRONI, S. S. Depósitos Moles: Formação, Tipos e Análise de Estabilidade de Aterros sob Condições Não Drenadas. Relatório AT 20/80. DEC/PUC-Rio, Rio de Janeiro.

SANTOS, P. S. Tecnologia de argilas: fundamentos, Universidade de São Paulo. São Paulo, vol.1 340p., 1975.

SAYÃO, A. S. F. J. Ensaio de laboratório na argila mole da escavação experimental de Sarapuí. 1980. 201p. Dissertação de mestrado, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro.

SAYÃO, A. S. F. J.; SIEIRA, A. C. F.; CASTRO, D. C.. Metodologia para Determinação de Parâmetros de Interação Solo-Geogrelha. **Solos e Rochas**, São Paulo, v. 25, n. 3, 2002.

SCHULER, A. R. **Mapeamento Geoestatístico de ensaios de prospecção geotécnica no município de Rio Grande**. Rio Grande, 2007. 196p., Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, FURG- Universidade Federal de Rio Grande.

SKEMPTON, A.W.; NORTHEY, R. D.. The Sensitivity of Clays. **Geotechnique**, vol. 3 pp 72-78. 1952.

SKEMPTON, A.W.. The colloidal activity of clays. In: 3º International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1953, **Proceedings...** vol. 1, p.157.

SKEMPTON, A.W.. The Pore Pressure Coefficients A and B. **Geotechnique**, Vol IV, p.143-147, 1954.

SMITH, P. R.. **The behaviour of natural high compressibility clay with special reference to construction on soft ground**. Thesis (Ph.D) - Imperial College, University of London. London, 1992.

SUGUIO, K.; MARTIN, L.. Formações quaternárias marinhas do litoral paulista e sul fluminense. In: International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary, 1978. **Proceedings...** São Paulo, pp.8-11.

SUGUIO, K.; MARTIN, L.. Progress in research on quaternary sea level changes and coastal evolution in Brazil. In: Symposium on Variations in Sea Level in the Last 15000 Years, Magnitude and Causes, 1981. **Proceedings...** University South Caroline – USA.

SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; DOMINGUEZ, J. M. L.; FLEXOR, J. M.; AZEVEDO, A. E. G.. Flutuações do nível freático do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. **Revista Brasileira de Geociências**, v.15, n.4, p.273-286, 1985.

TEIXEIRA, A. H.. **Fundações rasas na Baixada Santista**. In: Solos do Litoral Paulista, 1994. ABMS, São Paulo, pp. 54-137

TERZAGHI, K. **Die Berechnung der Durchlässigkeitsziffer des Tones aus dem Verlauf der Hydrodynamischen Spannungerscheinungen**. Akademie der Wissenschaften in Wien, 132, 125-138, 1925.

TERZAGHI, K.& PECK, R. B.. **Soil Mechanics in Engineering Practice**. John Wiley, New York, 1948.

TERZAGHI, K.& PECK, R. B. **Soil Soil Mechanics in Engineering Practice**. 2<sup>nd</sup> ed. John Wiley and Sons, New York, 1967.

TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A.. Mapeamento geológico de planícies costeiras: O exemplo da costa do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005. **Gravel**, 3, pp.109-115.

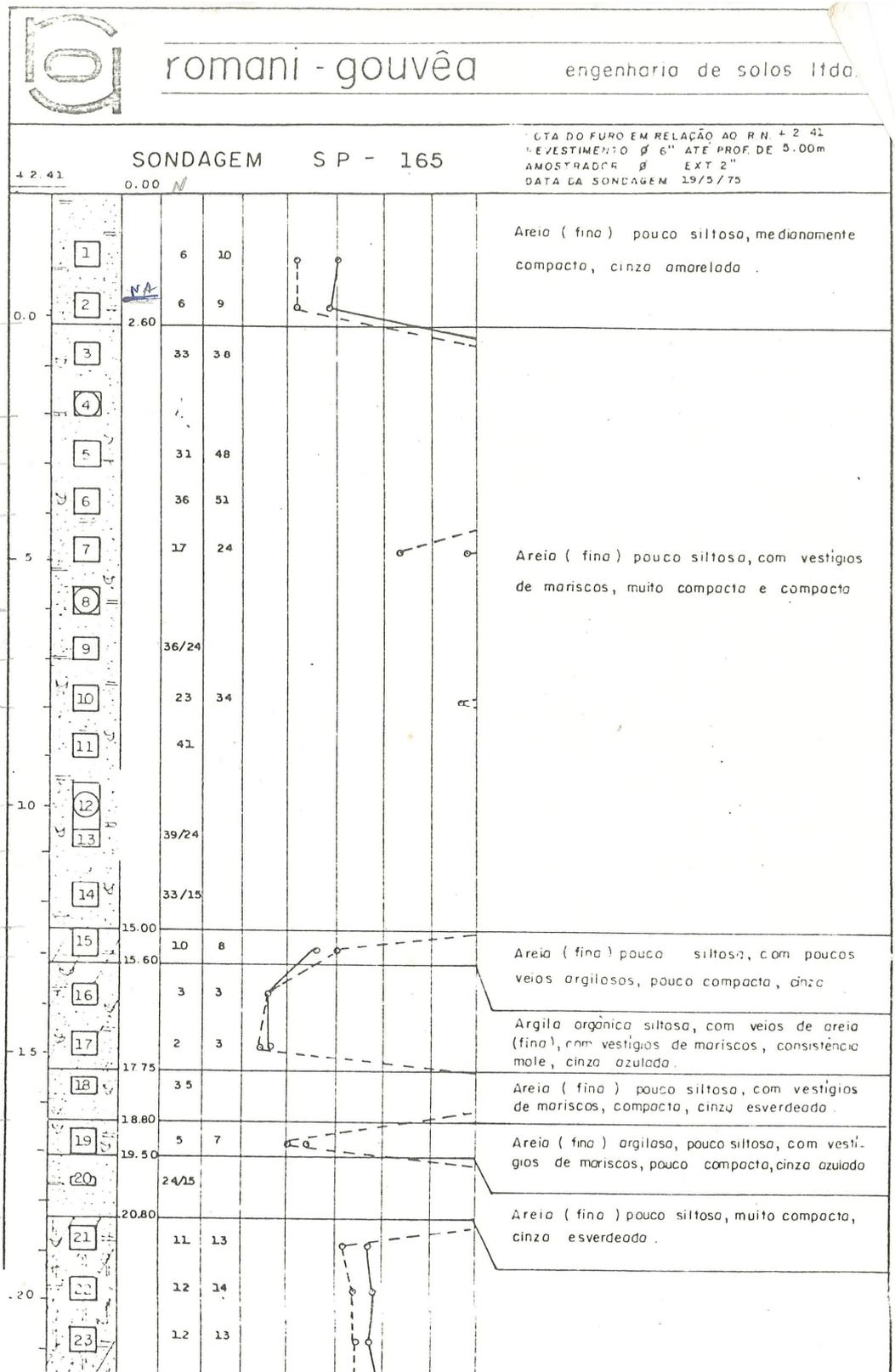
YANEZ, D. G. ; GONÇALVES, H. H. S. . Parâmetros Geotécnicos das Argilas Marinhas da Região do Porto de Santos. In: IV Simpósio Brasileiro de Jovens Geotécnicos, 2010, Gramado. **Anais...** (in CD)

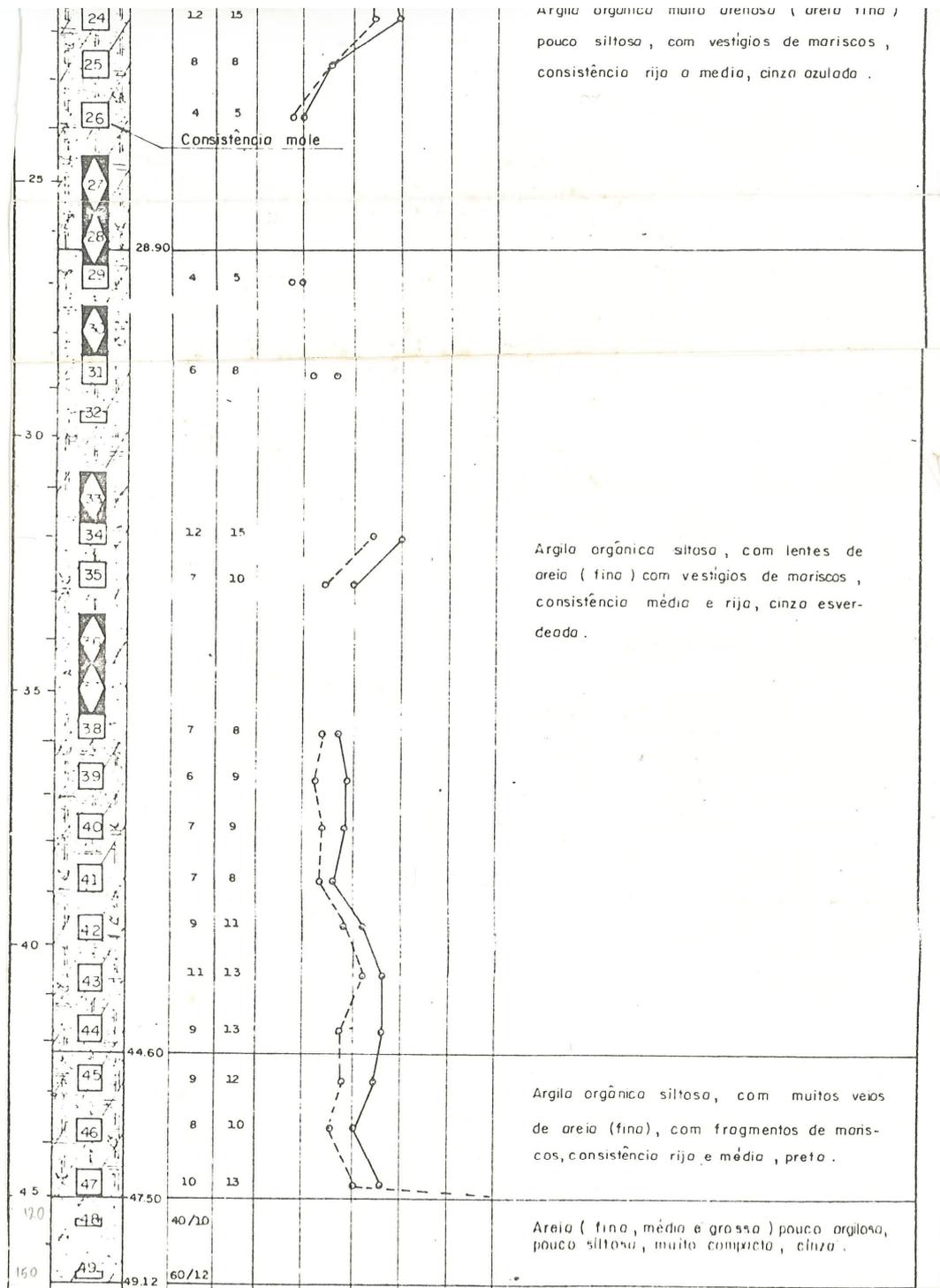
## ANEXO A

No anexo A serão apresentadas algumas sondagens utilizadas para re-análise no perfil estratigráfico proposto por Dias et. al. 2010.



1. PERFIL SONDAAGEM SPT - TERMINAL DE TRIGO E SOJA - 1975

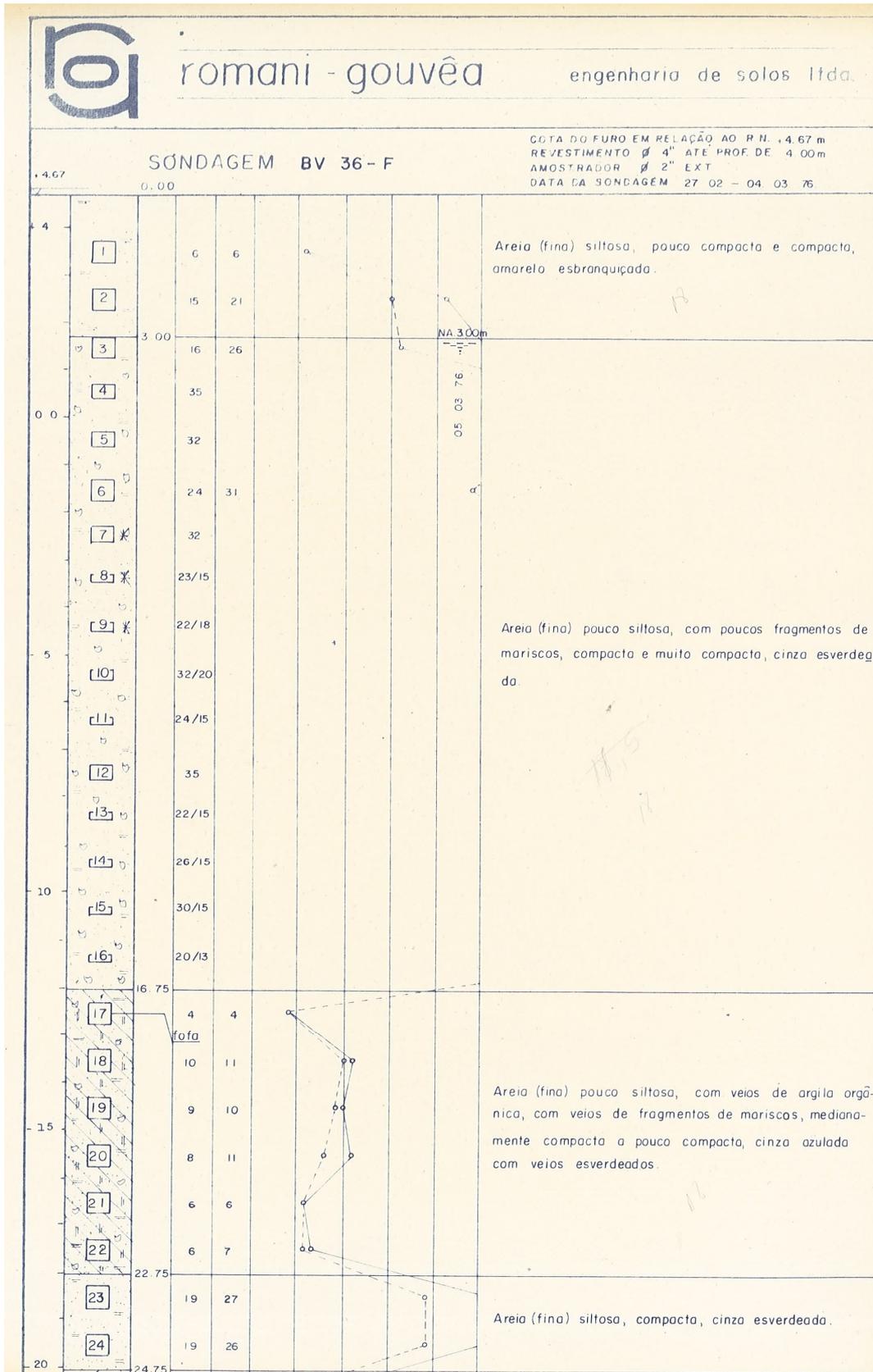


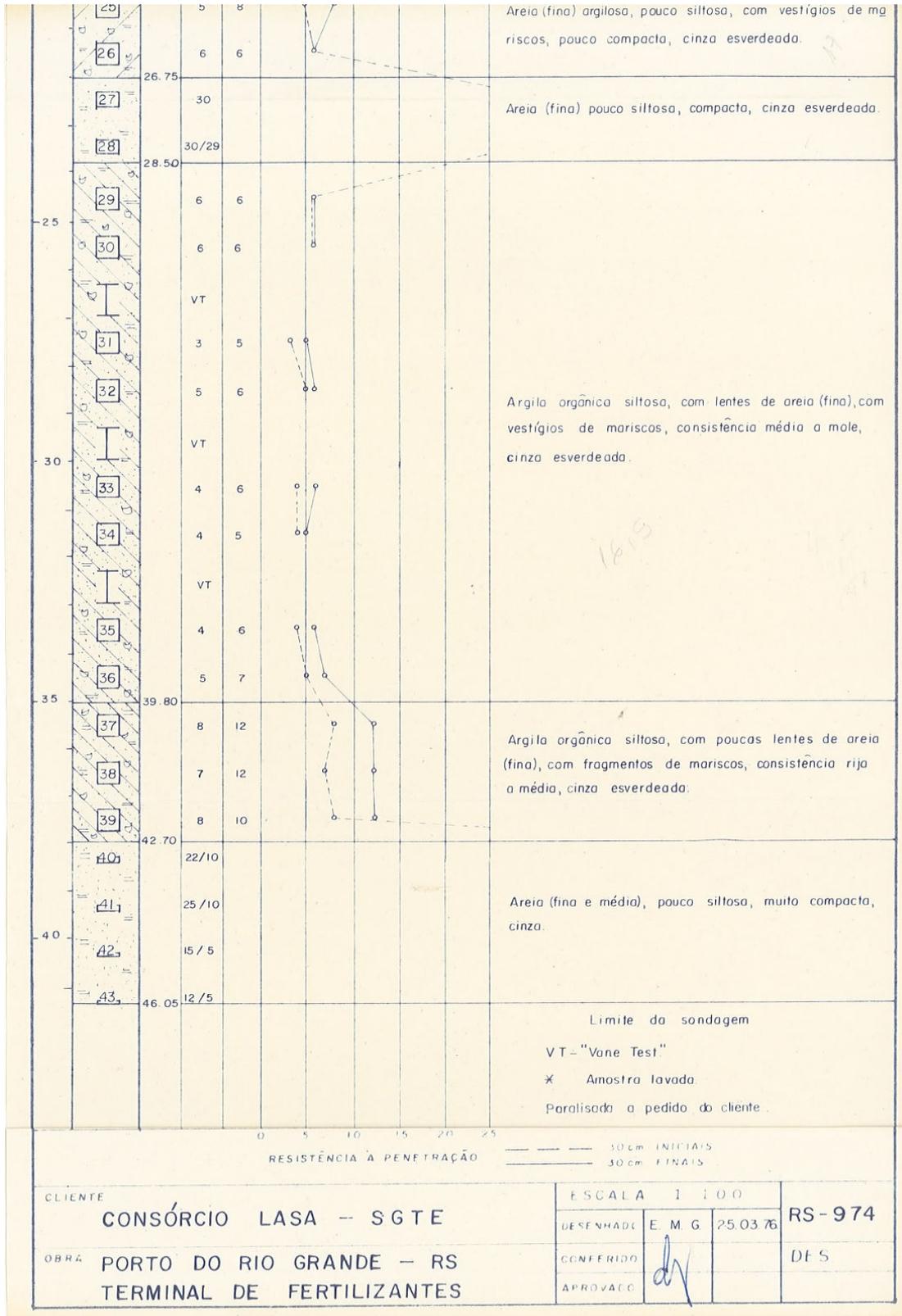


RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO ——— 10cm PENETRAÇÕES  
————— 30cm PENETRAÇÕES

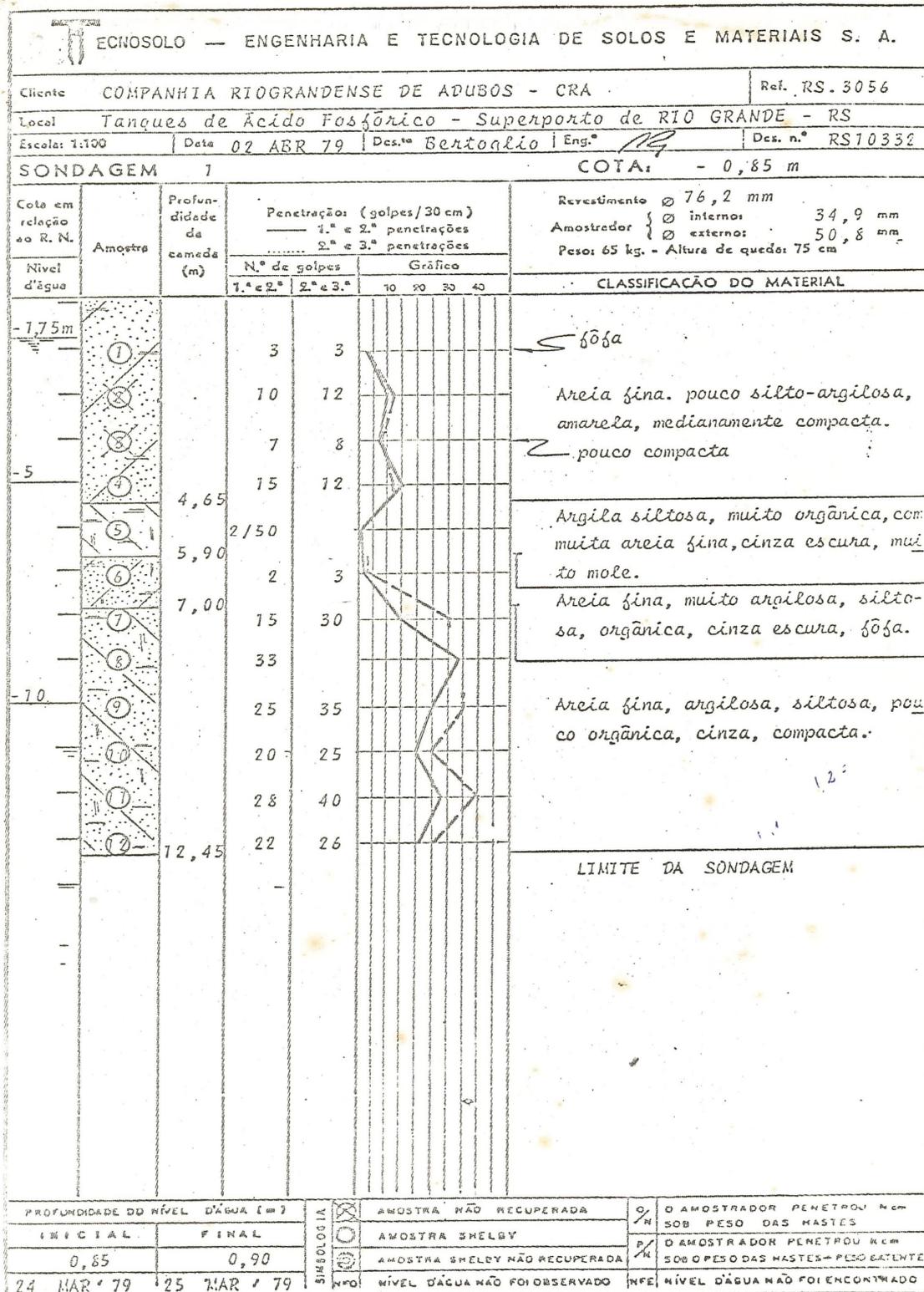
CLIENTE	CONSORCIO LASA SGTE		ESCALA	1:100	RS-970
	PORTO DO RIO GRANDE-RS. TERMINAL DE TRIGO E SOJA.		DESENHADO	P. PAULO 30/7/75	
PROJETO			CONFERIDO		DES
			APROVADO		

2. PERFIL SONDAÇÃO SPT - TERMINAL DE FERTILIZANTES – 1976

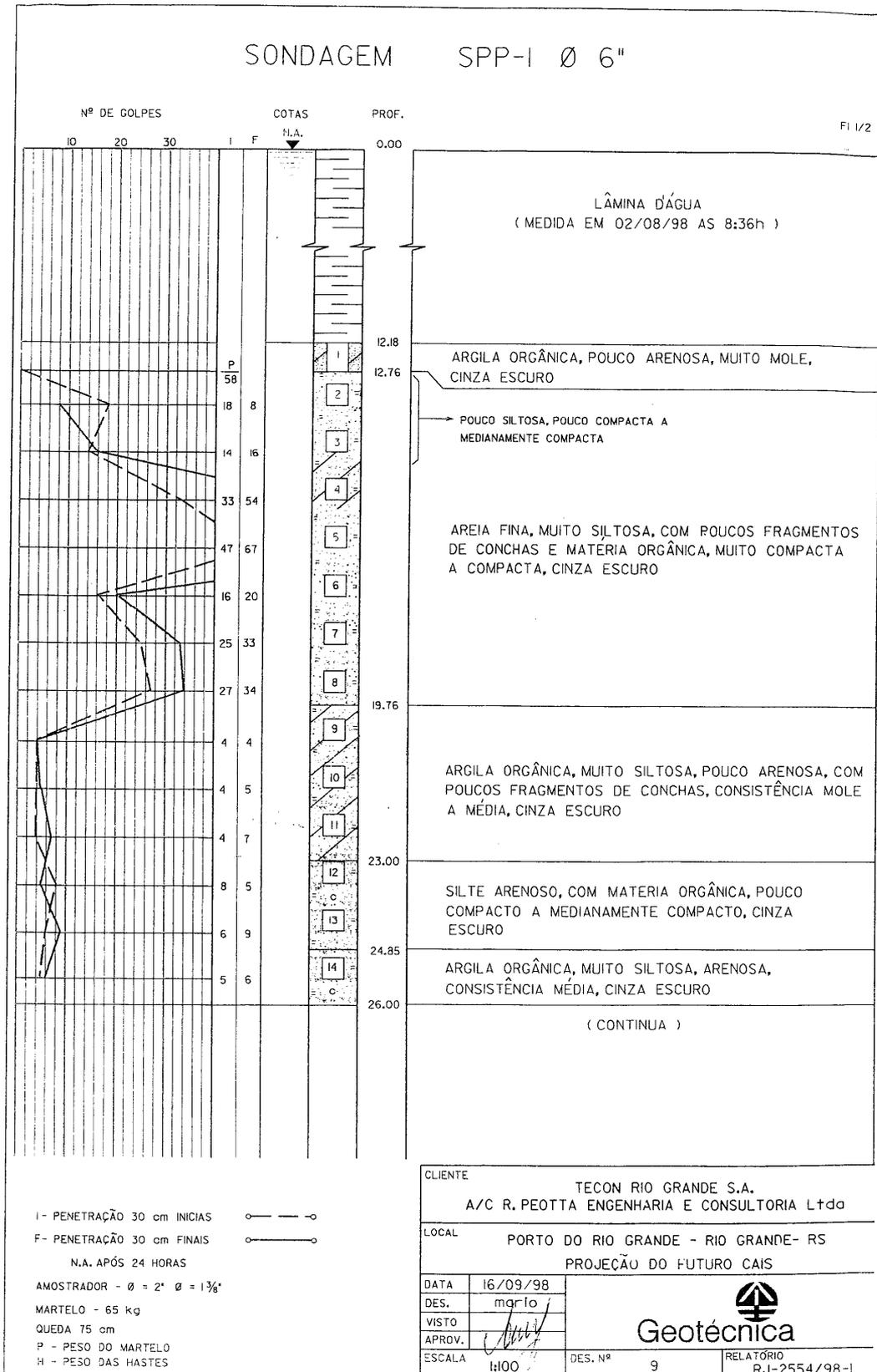




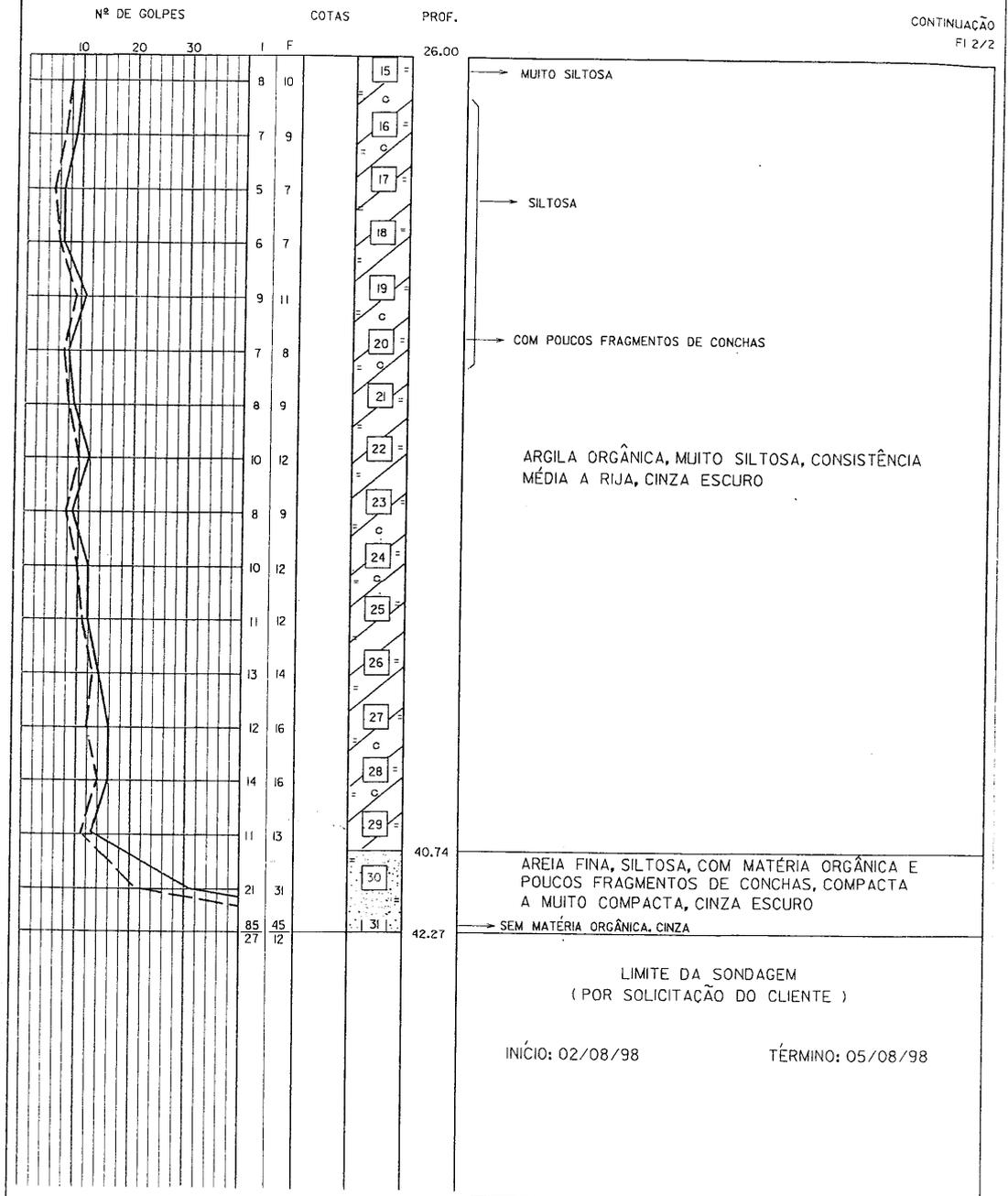
### 3. PERFIL SONDAAGEM SPT - COMPANHIA RIOGRANDENSE DE ADUBOS - 1979



4. PERFIL SONDAÇÃO SPT - TERMINAL DE CONTAINERS - 1998



## SONDAGEM SPP-1 Ø 6"



I - PENETRAÇÃO 30 cm INICIAS    

F - PENETRAÇÃO 30 cm FINAIS      

N.A. APÓS 24 HORAS

AMOSTRADOR - Ø = 2" Ø = 1 3/8"

MARTELO - 65 kg

QUEDA 75 cm

P - PESO DO MARTELO

H - PESO DAS HASTES

CLIENTE		TECON RIO GRANDE S.A. A/C R. PEOTTA ENGENHARIA E CONSULTORIA Ltda	
LOCAL		PORTO DO RIO GRANDE - RIO GRANDE - RS AMPLIAÇÃO DO CAIS	
DATA	14/09/98	 <b>Geotécnica</b>	
DES.	marlo		
VISTO			
APRÓV.		ESCALA	1:100
		DES. Nº	10
		RELATÓRIO RJ-2554/98-1	

5. PERFIL SONDAAGEM SPT - MUSEU OCEANOGRÁFICO – 2008



PRJESQFT (011)8991-0022

PERFIL DE SONDAAGEM				SONDAAGEM SP.02		COTA		INÍCIO 10/05/08		FIM 13/05/08	
GOLPES PARA PENETRAÇÃO DE 30 cm DO AMOSTRADOR				PROFUN. DA CAMADA (m)	TORQUE (kgf.m)		N.A. (m)	PERFIL GEOLÓGICO	CONS. OU COMP.**	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL	
N.º DE GOLPES	GRÁFICO				RES.	MAX.				Revestimento	Amostrador
	10	20	30	40						Ø 63.5 mm = 2 1/2"	Alt. Queda 75 cm
										Ø INTERNO 34.9 mm = 1 3/8"	
										Ø EXTERNO 50.8 mm = 2"	
2/15	2/15	2/15	4				1,00	1,00		fofa**	Areia fina cinza claro.
1/30	1/15		2/45				1,50		1	fofa**	Areia fina, cinza escuro.
1/30	1/15		2/45						2		
1/45			1/45						3	multo mole*	Argila com areia fina, cinza escuro.
1/30	1/15		2/45						4		
1/15	1/30		1				5,00		5		
1/30	1/15		2/45						6	fofa**	Areia fina com argila e fragmentos de conchas, cinza escuro.
1/45			1/45				7,00		7		
1/45			1/45						8		
1/45			1/45						9		
1/45			1/45						10		
1/45			1/45						11		
1/45			1/45						12	multo mole*	Argila orgânica com areia fina, preta.
1/45			1/45						13		
1/45			1/45						14		
1/30	1/15		2/45						15		
1/30	1/15		2/45						16		
1/15	1/1	1/1	2						17		

GRAU DE FRATURA RAÇÃO Lavagem por tempo (10 min.) inicio (m) : -- Estágios: 1.º -- cm - 2.º -- cm - 3.º -- cm	RECUPERAÇÃO (%) 80 60 40 20	Leitura Intervalo N.A.(m) 1 inicial 1,00 2 -- -- -- 3 -- -- --	Método Início(m) Fim(m) T. Cavadeira 0,00 T. Espiral 0,45 1,00 Lavagem 1,45 45,45	OBS. Utilizado BENTONITA a partir dos 18,00 m.
--	--------------------------------	---	--	---

Cliente FAURG - Fundação de Apoio a Universidade do Rio Grande Obra Museu Oceanográfico da Furg - Projeto Básico N° 29/2008 (Projeto 297-PU-06) Local Rua Capitão Heitor Perdigoão, s/n°, Rio Grande, RS	Ref. 1593.08 Data 15/05/08 Escala 1 : 100	Des. Milene Folha 3 / 3 Eng. <i>[Signature]</i>
--	---	---





7. PERFIL SONDAAGEM SPT - CAIS PORTO NOVO – 2009



**RELATÓRIO DE ENSAIO**  
**SONDAAGEM A PERCUSSÃO**  
 Execução de sondagens de simples  
 reconhecimento dos solos  
 NBR 6484/2001

PROJETO FT 0110691-4/EEZ



CONTRATANTE **Superintendência do Porto de Rio Grande**

FOLHA N.º

OBRA **Cais do Porto Novo de Rio Grande**

ESCALA **1: 100**

LOCAL **Cais do Porto Novo de Rio Grande**

TRAB. N.º **507070**

SONDAAGEM **SP.10** COTA **0,00** DATA DE INÍCIO **27/11/09** COORD. N **6455064,53** RE N.º  
 TÉRMINO **04/12/09** E **398312,55**

COTA (m)	PERFIL GEOLO- GICO	INTER- GEOLO- GICA	PROFUN- CAMADA (m)	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	CONSI- TÊNCIA OU COMPA- CIDADE	NUMERO DE GOLPES S. P. T.	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO						N. A. (m)	
							AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI N.º DE GOLPES / 30 cm. 35 30 25 20 15 10 5							
		AREIA		AREIA FINA AMARELADA.		1 2 3 15 15 15								
			2,60		MEDIA. COMP. RUA	13 12 4 16 16 16								
		ARGILA		ARGILA ARENOSA CINZA ESCURO.	DURA	4 12 10 15 15 15								
			3,90		COMP.	1 2 1 15 15 15								
			4,90	AREIA COM PEDREGULHO COR VARIEGADA.		1 1 1 15 15 15								
-5,00					FOFA	1 1 1 15 15 15								
		AREIA		AREIA ARGILOSA CINZA ESCURO.		2 1 2 15 15 15								
			8,90		POUCO COMP.	4 3 2 15 15 15								
					MOLE MUITO MOLE	1 1 1 15 15 15								
						2 1 3 15 15 15								
		ARGILA		ARGILA ARENOSA CINZA ESCURO.	MOLE	1 1 2 15 15 15								
						1 2 1 15 15 15								
					MUITO MOLE	2 1 1 15 15 15								

Leitura	Data/Hora	N.A.(m)	Método	Início(m)	Fim(m)	Lavagem por tempo - 10 min.	OBS.:
1			T. Cavadeira	0,00		Profun. de Início (m) : ...	
2			T. Espiral			Estagio 1 (cm) : ...	
3		2,00	Lavagem			Estagio 2 (cm) : ... Estagio 3 (cm) : ...	

Porto Alegre, 9 de dezembro de 2009

**NOTA IMPORTANTE:**  
 Os resultados deste ensaio têm  
 significação restrita e se aplicam tão  
 somente à(s) amostra(s) ensaiada(s).

A reprodução deste documento depende da autorização prévia por escrito, não sendo permitida a reprodução parcial.

**EPT - ENGENHARIA E PESQUISAS TECNOLÓGICAS S.A.**  
 Rua Catão, 523 - Lapa - São Paulo/SP - CEP 05049-000 - PABX: (11) 3873-3399 - Fax: (11) 3672-5411 - E-mail: ept@ept.com.br  
 Rua Marcelo Gama, 41 - Porto Alegre/RS - CEP 90540-040 - Fone: (51) 342-7766 - Fax: (51) 342-7642 - E-mail: eptpoa@aol.com



**RELATÓRIO DE ENSAIO**  
**SONDAGEM A PERCUSSÃO**  
 Execução de sondagens de simples  
 reconhecimento dos solos  
 NBR 6484/2001



CONTRATANTE **Superintendência do Porto de Rio Grande**

FOLHA N.º

OBRA **Cais do Porto Novo de Rio Grande**

ESCALA **1 : 100**

LOCAL **Cais do Porto Novo de Rio Grande**

TRAB. N.º **507070**

SONDAGEM **SP.10** COTA **0,00** DATA DE INÍCIO **27/11/09** COORD. N. **6455064,53** REN.º  
 TÉRMINO **04/12/09** E **398312,55**

COTA (m)	PERFIL GEOLO- GICO	INTER- GEOLO- GICA	PROFUN- CAMADA (m)	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	CONSIS- TÊNCIA OU COMPA- CIDAÇÃO	NUMERO DE GOLPES S. P. T.	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO					N. A. (m)	
							AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI N.º DE GOLPES / 30 cm. 35 30 25 20 15 10 5						
-15,00		ARGILA	14,70	ARGILA ARENOSA CINZA ESCURO.	MUNDO MOLE	1 1 1 15 15 15							
					FOFA	5 7 9 15 15 15				16			
					MEDIA. COMP.	10 15 16 15 15 15			31				
					MEDIA. COMP.	5 10 7 15 15 15				17			
					COMP.	15 17 19 15 15 15				36			
						29 15			29/15				
-20,00		AREIA		AREIA FINA CINZA.		30 15			30/15				
						22 30 15 15			30/15				
						14 30 15 15			30/15				
						16 30 15 15			30/15				
					MUNDO COMP.	16 32 15 15			32/15				
-25,00						30 14			30/14				
						30 13			30/13				
						15 20 30 15 15 15			50				

Leitura	Data/Hora	N.A.(m)	Método	Início(m)	Fim(m)	Lavagem por tempo - 10 min	OBS.:
1	---	---	T. Cavadeira	0,00		Profun. de Início (m) : ---	
2	---	---	T. Espiral	---	---	Estagio 1 (cm) : ---	
3	---	2,00	Lavagem	---	---	Estagio 2 (cm) : --- Estagio 3 (cm) : ---	

Porto Alegre, 9 de dezembro de 2009

**NOTA IMPORTANTE:**  
 Os resultados deste ensaio têm  
 significação restrita e se aplicam tão  
 somente à(s) amostra(s) ensaiada(s).

A reprodução deste documento depende de autorização prévia por escrito, não sendo permitida a reprodução parcial.

**EPT - ENGENHARIA E PESQUISAS TECNOLÓGICAS S.A.**  
 Rua Catão, 523 - Lapa - São Paulo/SP - CEP 05049-000 - PABX: (11) 3873-3399 - Fax: (11) 3672-5411 - E-mail: ept@ept.com.br  
 Rua Marcelo Gama, 41 - Porto Alegre/RS - CEP 90540-040 - Fone: (51) 342-7766 - Fax: (51) 342-7642 - E-mail: eptpoa@aol.com



**RELATÓRIO DE ENSAIO**  
**SONDAGEM A PERCUSSÃO**  
 Execução de sondagens de simples  
 reconhecimento dos solos  
 NBR 6484/2001.



CONTRATANTE **Superintendência do Porto de Rio Grande**

FOLHA N.º

OBRA **Cais do Porto Novo de Rio Grande**

ESCALA **1 : 100**

LOCAL **Cais do Porto Novo de Rio Grande**

TRAB. N.º **507070**

SONDAGEM **SP.10** COTA **0,00**

DATA DE INÍCIO **27/11/09**

COORD. N **6455064,53**

RE N.º

TÉRMINO **04/12/09**

E **398312,55**

COTA (m)	PERFIL GEOLO. GICO	INTER. GEOLO. GICA	PROFUND. CAMADA (m)	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	CONDIÇÃO TÊNICA* OU COMPA. CIDADE*	NUMERO DE GOLPES S. P. T.	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO					N. A. (m)	
							AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI N.º DE GOLPES / 30 cm.						
							35	30	25	15	10	5	
-30,00				AREIA FINA CINZA.	MUITO COMP.	15 15 15 32 15 15	32	15					
						5 12 25 15 15 15	37						
						10 15 16 15 15 15	31						
					COMP.	5 12 18 15 15 15	30						
						5 10 21 15 15 15	31						
-35,00						10 20 20 15 15 15	40						
						15 31 15 15	31	15					
						10 12 22 15 15 15	34						
						4 11 10 15 15 15	29						
			39,00			4 11 15 15 15 15	26						
-40,00		ARGILA		ARGILA PRETA.	RUJA*	4 6 11 15 15 15	17						
			40,45			7 10 8 15 15 15	18						

Leitura	Data/Hora	N.A.(m)	Método	Início(m)	Fim(m)	Lavagem por tempo - 10 min	OBS.:
1	---	---	T. Cavadeira	0,00	---	Profun. de Início (m) :---	
2	---	---	T. Espiral	---	---	Estagio 1 (cm) :---	
3	---	2,00	Lavagem	---	---	Estagio 2 (cm) :---	
						Estagio 3 (cm) :---	

Porto Alegre, 9 de dezembro de 2009

**NOTA IMPORTANTE:**  
 Os resultados deste ensaio têm  
 significação restrita e se aplicam tão  
 somente à(s) amostra(s) ensaiada(s).

A reprodução deste documento depende de autorização prévia por escrito, não sendo permitida sua reprodução parcial.

**EPT - ENGENHARIA E PESQUISAS TECNOLÓGICAS S.A.**  
 Rua Catão, 523 - Lapa - São Paulo/SP - CEP 05049-000 - PADX: (11) 3873-3399 - Fax: (11) 3672-5411 - E-mail: ept@ept.com.br  
 Rua Marcelo Gama, 41 - Porto Alegre/RS - CEP 90540-040 - Fone: (51) 342-7766 - Fax: (51) 342-7642 - E-mail: eptpoa@aol.com

8. PERFIL SONDAAGEM SPT - OCEANÁRIO BRASIL – 2010



PROJESOFT (011)6991-5032

PERFIL DE SONDAAGEM										
SONDAAGEM SP.01		COTA 3,10			INÍCIO 06/04/2010		FIM 12/04/2010			
GOLPES PARA PENETRAÇÃO DE 30 cm DO AMOSTRADOR				PROFUN. DA CAMADA (m)	TORQUE (kgf.m)		N.A. (m)	PERFIL GEOLÓGICO	CONS. OU COMP.**	Revestimento ø 63.5 mm = 2 1/2 " Amostrador ø INTERNO 34.9 mm = 1 3/8 " ø EXTERNO 50.8 mm = 2 " Peso 65 kg Alt. Queda 75 cm
N.º DE GOLPES	GRÁFICO				RES.	MAX.				
	10	20	30	40						
1 3 3	6						0,56			
15 15 15					1				pouco compacta*	Areia fina, cor cinza esverdeado.
3 4 4	8				2					
15 15 15					3	2,90				
8 14 16			30		4					
15 15 15					5					
5 9 12			21		6					
15 15 15					7					
5 8 11			19		8					
15 15 15					9				compacta*	Areia fina com fragmentos de conchas, cor cinza esverdeado.
5 7 8			15		10					
15 15 15					11					
6 7 9			16		12					
15 15 15					13					
7 8 9			17		14					
15 15 15					15					
7 10 9			19		16					
15 15 15					17					
8 12 14			26		18					
15 15 15					19					
8 9 13			22		20					
15 15 15					21					
11 14 19			33		22					
15 15 15					23					
12 16 19			35		24					
15 15 15					25					
11 15 18			33		26					
15 15 15					27	13,60				
2 1 1	2				28				mole a média*	Argila orgânica siltosa, cor cinza escuro
15 15 15					29					
2 1 1	2				30	15,70				
15 15 15					31					
15 31 20			36		32				multo compacta*	Areia fina, com fragmentos de conchas, cor cinza escuro.
15 15 8					33					
3 2 2					34				mole a média*	Argila orgânica siltosa com areia fina, cor cinza escuro.
15 15 15					35	16,80				

GRAU DE FRATU- RAÇÃO	80 60 40 20	Leitura	Intervalo	N.A.(m)	Método	Início(m)	Fim(m)	OBS.	
	RECUPERAÇÃO (%)	1	Inicial	0,56	T. Cavadeira	0,00		Foi usado BENTONITA.	
		2	--	--	T. Espiral	0,45	0,56		
		3	--	--	Lavagem	0,56	59,07		
Lavagem por tempo (10 min. Início (m) : ---									
Estagios: 1.º --- cm - 2.º --- cm - 3.º --- cm									
Ciente	UNI Engenharia	Ref.	1714.10	Des.	Lucas Boeira	Data	3/8/2010	Folha	2 / 17
Obra	Oceanário Brasil - FURG	Eng.		Eng.		Escala	1 : 100		
Local	Cassino, Rio Grande, RS								







9. PERFIL SONDAAGEM SPT - CAMPUS SAÚDE - 2011



PROJESOFT (011)68

PERFIL DE SONDAAGEM			SONDAAGEM SP1		COTA 0,11		INÍCIO 27/09/2011 FIM 30/09/2011			
GOLPES PARA PENETRAÇÃO DE 30 cm DO AMOSTRADOR			PROFUN. DA CAMADA (m)	TORQUE (kgf.m)		N.A. (m)	PERFIL GEOLÓGICO	CONS. OU COMP.*	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL	
N.º DE GOLPES	GRÁFICO			RES.	MAX.					
	10	20	30	40						
2 3 3 15 15 15	8			0,50				pouco compacta*	Aterro de areia fina com calça, cor variegada.	
1 2 2 15 15 15	4			1,60		1,20		fofa**	Areia fina com argila orgânica e pedreguho, cor preta	
1 2 1 15 15 15	3							mole*	Argila com pouca areia fina, cor marrom escuro.	
2 1 2 15 15 15	3									
2 2 2 15 15 15	4			4,80						
2 2 2 15 15 15	4									
2 3 2 15 15 15	5							fofa a pouco compacta*	Areia fina argilosa, cor cinza escuro esverdeado.	
2 2 2 15 15 15	4									
2 1 2 15 15 15	3			8,60						
1 2 1 15 15 15	3									
1 1 1 15 30	1			12,00				muito mole a mole*	Argila orgânica, cor preto.	
1 1 1 15 15 15	2									
5 12 20 15 15 15	32									
7 11 18 15 15 15	29									
6 9 12 15 15 15	21									
8 14 21 15 15 15	35									
10 19 27 15 15 15	45									
12 23 31 15 15 15	>50							muito compacta*	Areia fina pouco argilosa com fragmentos de conchas, cor cinza escuro esverdeado.	
GRAU DE FRATURA RAÇÃO			RECUPERAÇÃO (%)	Leitura	Intervalo	N.A.(m)	Método	Início(m)	Fim(m)	OBS.
				1	inicial	1,20	T. Cavadeira	0,00		Foi usada bentonita.
				2	--	--	T. Espiral	0,45	2,00	
				3	--	--	Lavagem	2,45	44,05	

Cliente	Universidade Federal do Rio Grande (FURG)	Ref.	1815.11	Des.	Rodrigo Santolin
Obra	Edificação	Data	20/10/2011	Folha	2
Local	Rua Gen. Canabarro nº 68, Centro, Rio Grande/RS	Escala	1 : 100	Eng.	



PROJESOFIT 01

PERFIL DE SONDAGEM				SONDAGEM SP1		COTA 0,11		INÍCIO 27/09/2011 FIM 30/09/2011		
GOLPES PARA PENETRAÇÃO DE 30 cm DO AMOSTRADOR				PROFUN. DA CAMADA (m)	TORQUE (kgf.m)		N.A. (m)	PERFIL GEOLÓGICO	CONS. OU COMP.**	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
N.º DE GOLPES	GRÁFICO				RES.	MAX.				
	10	20	30	40						
15 26 32										Areia fina pouco argilosa com fragmentos de conchas, cor cinza escuro esverdeado.
15 15 12										
21 32										Areia fina pouco argilosa, cor cinza médio.
15 10										
11 17 26					20,50					
15 15 15										
13 17 20										
15 15 15										
6 10 18										
15 15 15										
9 13 21										
15 15 15										
8 16 14										Argila com areia fina, cor cinza escuro esverdeado.
15 15 15										
7 14 17										
15 15 15										
6 9 19										
15 15 15										
4 6 12										
15 15 15										
10 16 22										
15 15 15										
12 17 27										OBS. Foi usada bentonita.
15 15 15										
11 15 24										
15 15 15										
14 21 30										
15 15 15										
10 8 6					32,00					
15 15 15										
7 9 10										
15 15 15										
5 7 9										
15 15 15										
15 15 15										

Cliente <b>Universidade Federal do Rio Grande (FURG)</b> Obra <b>Edificação</b> Local <b>Rua Gen. Canabarro nº 68, Centro, Rio Grande/RS</b>	Ref. 1815.11	Des. Rodrigo Santolin
	Data 20/10/2011	Folha 2B
	Escala 1:100	Eng.



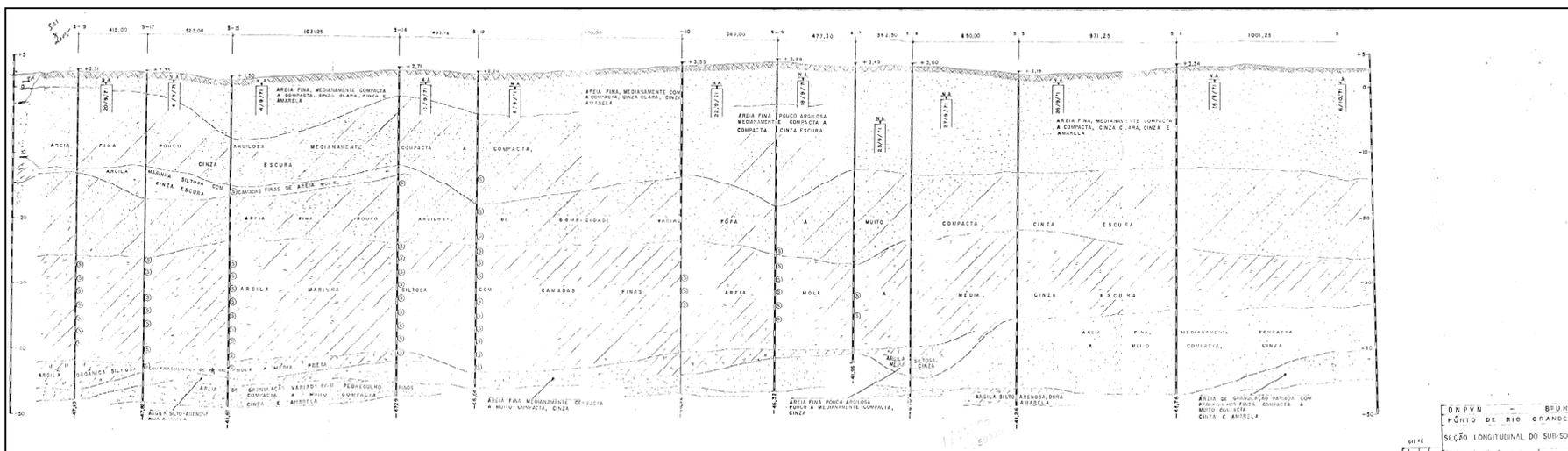
PROJESOFF (01)

PERFIL DE SONDAGEM				COTA		INÍCIO		FIM		
SONDAGEM SP1				0,11		27/09/2011		30/09/2011		
GOLPES PARA PENETRAÇÃO DE 30 cm DO AMOSTRADOR				PROFUN. DA CAMADA (m)	TORQUE (kgf.m)		N.A. (m)	PERFIL GEOLÓGICO	CONS.* OU COMP.*	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
N.º DE GOLPES	GRÁFICO				RES.	MAX.				
	10	20	30	40						
5 7 9	16							rija a dura*		Argila com areia fina, cor cinza escuro esverdeado.
15 15 15				34,60						
10 13 17	30									
15 15 15				35						
11 13 18	31									
15 15 15				36						
12 17 23	40									
15 15 15				37				compacta*		Areia fina, cor marrom claro.
9 14 21	35									
15 15 15				38						
5 4 3	33									
15 15 15				38,80						
3 3 30	23							média		Argila orgânica com areia fina, cor marrom escuro.
15 15 8				39						
24 32	>50									
15 15				40						
27 30	>50									
15 10				41						
32	32									
15				42						
32	32									
5	5							muito compacta*		Areia fina, cor marrom médio.
				43						
				44						
				44,05						
				45						
				46						
				47						
				48						
				49						
				50						
				51						
										Final de sondagem. Impenetrável.

GRAU DE FRATURAMENTO	80 60 40 20	Leitura	Intervalo	N.A. (m)	Método	Início(m)	Fim(m)	OBS. Foi usada bentonita.
	RECUPERAÇÃO (%)	1	inicial	1,20	T. Cavadeira	0,00		
		2	---	---	T. Espiral	0,45	2,00	
Lavagem por tempo (10 min.)	Início (m) : ---	3	---	---	Lavagem	2,45	44,05	
Estágios: 1.º --- cm - 2.º --- cm - 3.º --- cm								

Cliente <b>Universidade Federal do Rio Grande (FURG)</b> Obra <b>Edificação</b> Local <b>Rua Gen. Canabarro nº 68, Centro, Rio Grande/RS</b>	Ref. 1815.11	Des. Rodrigo Santolin
	Data 20/10/2011	Folha 2C
	Escala 1 : 100	Eng.



Secção longitudinal do subsolo ao longo do canal do Superporto – RG

DNPVN – 8° DR – Pôrto de Rio Grande (1971)

## APÊNDICE A

Software STATISCA – Regressão Linear Múltipla dos Parâmetros Geotécnicos

A relação dos parâmetros pesquisados em relação a profundidade e localização foi considerado significativo aquele que o índice “p-level” se apresentou inferior a 0,06.

REGRESSÃO TEOR DE ARGILA						
R = 0,68235736		R <sup>2</sup> =0,46561156		Ajustado R <sup>2</sup> =0,44132118		
N=47	Beta	Std. Err. of Beta	B	Std. Err. Of B	t (44)	p-level
<b>Intercept</b>			-13,9981	10,46951	-1,33703	0,188083
<b>Profundidade</b>	0,614187	0,11171	1,8615	0,33858	5,49803	0,000002
<b>Localização</b>	0,213335	0,11171	0,0008	0,00043	1,90971	0,062703

REGRESSÃO TEOR DE UMIDADE NATURAL						
R = 0,51754303		R <sup>2</sup> =0,26785079		Ajustado R <sup>2</sup> =0,24022252		
N=56	Beta	Std. Err. of Beta	B	Std. Err. Of B	t (53)	p-level
<b>Intercept</b>			23,74621	8,231504	2,884795	0,005651
<b>Profundidade</b>	0,423167	0,11878	0,00121	0,00034	3,562615	0,000786
<b>Localização</b>	0,243031	0,11878	0,53309	0,260544	2,046064	0,045726

REGRESSÃO LIMITE DE LIQUIDEZ						
R = 0,37668162		R <sup>2</sup> =0,14188904		Ajustado R <sup>2</sup> =0,12401173		
N=50	Beta	Std. Err. of Beta	B	Std. Err. Of B	t (48)	p-level
<b>Intercept</b>			20,69855	17,76886	1,164878	0,249825
<b>Profundidade</b>	0,376682	0,133706	1,57484	0,55900	2,817237	0,007012

REGRESSÃO LIMITE DE PLASTICIDADE						
R = 0,45113306		R <sup>2</sup> =0,20352104		Ajustado R <sup>2</sup> =0,16962831		
N=50	Beta	Std. Err. of Beta	B	Std. Err. Of B	t (47)	p-level
<b>Intercept</b>			15,19301	7,226527	2,102395	0,040903
<b>Profundidade</b>	0,411272	0,130709	0,00086	0,000275	3,146463	0,002866
<b>Localização</b>	0,152037	0,130709	0,26265	0,225809	1,163167	0,250633

REGRESSÃO ÍNDICE DE PLASTICIDADE						
R = 0,41163596		R <sup>2</sup> =0,16944416		Ajustado R <sup>2</sup> =0,15249405		
N=51	Beta	Std. Err. of Beta	B	Std. Err. Of B	t (49)	p-level
<b>Intercept</b>			1,68463	12,78261	0,131791	0,895689
<b>Profundidade</b>	0,411636	0,130193	1,270483	0,40183	3,161746	0,00269

REGRESSÃO ÍNDICE DE VAZIOS						
R = 0,57868720		R <sup>2</sup> =0,33487888		Ajustado R <sup>2</sup> =0,30531794		
N=48	Beta	Std. Err. of Beta	B	Std. Err. Of B	t (45)	p-level
<b>Intercept</b>			0,723857	0,249941	2,896108	0,005813
<b>Profundidade</b>	0,527575	0,122712	0,000042	0,00001	4,299289	0,000091
<b>Localização</b>	0,176695	0,122712	0,011428	0,007937	1,439911	0,156814

REGRESSÃO ÍNDICE DE COMPRESSÃO						
R = 0,50303786		R <sup>2</sup> =0,25304709		Ajustado R <sup>2</sup> =0,22057088		
N=49	Beta	Std. Err. of Beta	B	Std. Err. Of B	t (46)	p-level
<b>Intercept</b>			-0,153895	0,220406	-0,698233	0,488546
<b>Profundidade</b>	0,422576	0,128779	0,022913	0,006983	3,281419	0,001975
<b>Localização</b>	0,218621	0,128779	0,000015	0,000009	1,697654	0,09633

REGRESSÃO Cc/(1+e <sub>0</sub> )						
R = 0,22801825		R <sup>2</sup> =0,5199232		Ajustado R <sup>2</sup> =0,03092548		
N=47	Beta	Std. Err. of Beta	B	Std. Err. Of B	t (45)	p-level
<b>Intercept</b>			-16,85810	12,21383	-1,380250	0,174329
<b>Profundidade</b>	0,228018	0,145144	0,5981	0,38074	1,57098	0,123194

REGRESSÃO RAZÃO PRÉ-ADENSAMENTO						
R = 0,26491501		R <sup>2</sup> =0,07017996		Ajustado R <sup>2</sup> =0,04571102		
N=40	Beta	Std. Err. of Beta	B	Std. Err. Of B	t (38)	p-level
<b>Intercept</b>			1,92924	0,378738	5,093850	0,00001
<b>Profundidade</b>	-0,264915	0,156426	-0,01972	0,01164	-1,69355	0,098533

REGRESSÃO RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO						
R = 0,55804549		R <sup>2</sup> =0,31141477		Ajustado R <sup>2</sup> =0,26550908		
N=33	Beta	Std. Err. of Beta	B	Std. Err. Of B	t (30)	p-level
<b>Intercept</b>			17,67683	31,53949	0,560470	0,579323
<b>Profundidade</b>	-0,456434	0,151532	-0,00282	0,00093	-3,01214	0,005228
<b>Localização</b>	0,312131	0,151532	1,96029	0,95167	2,05984	0,048182