

5 PROJETO GEOTÉCNICO

5.1 ESTUDOS EXISTENTES

No ano de 2010 contrato firmado entre a ENCOP e a prefeitura do Canoas elaborou-se projeto de casas de bombas de drenagem, CB 05, 8 e 9 e o dique Araçá. Na oportunidade foram previstas investigações geotécnicas constituídas de uma série de sondagens e ensaios distribuídos ao longo do eixo do dique projetado (sobre o dique existente, taludes e próximo ao arroio e ao canal). As sondagens consistiram de sondagens a trado e sondagens a percussão (SPT), e os ensaios de laboratório consistiram de ensaios de caracterização (granulometria, Limites de Attenberg e peso específico) em alguns materiais extraídos das sondagens à trado.

Esta investigação geotécnica consistiu na execução de 30 sondagens a trado (atingindo profundidade de até 3 metros), 13 sondagens a percussão SPT (atingindo profundidade de até 10 metros), e 26 conjuntos de ensaio de caracterização. A partir dos resultados dos boletins de sondagem e dos ensaios de laboratório foi possível estimar um perfil geotécnico da área do dique.

De acordo com os resultados das sondagens e suas descrições e utilizando a caracterização de laboratório identificou-se 12 materiais distintos no perfil geotécnico segundo o estudo. Estes materiais foram classificados da seguinte forma:

- i. Solo superficial com vegetação: consiste na capa de solo com espessura de até 30 cm e vegetação na superfície;
- ii. Material argiloso com caliça: consiste na mistura de solo com sobras de materiais de construção das habitações existentes. Aparece em alguns trechos ao longo do perfil junto à superfície;
- iii. Material arenoso com brita: mistura de material arenoso com brita oriunda de sobra de construção, ocorre em uma pequena parte do perfil próximo ao início do dique;
- iv. Argila arenosa com seixo: material com provável origem do arroio. Caracteriza-se pela alta porcentagem de pedregulho e areia na sua granulometria (impenetrável ao trado). Ocorre somente em parte do trecho inicial do dique.

v. Solo com lixo: mistura de solo com lixo (origem domiciliar) depositado na superfície do terreno. Em função da contínua disposição de material no terreno observa-se ocorrência de solo com lixo em profundidades de até 0,5 metros.

vi. Argila arenosa tipo 1: este material consiste em uma argila arenosa altamente plástica (IP em torno de 20%) com teores de argila, areia e silte em torno de 40, 45 e 15%, respectivamente. Os valores de NSPT são baixos (em torno de 5 golpes) indicando um solo com baixa capacidade de suporte. Denominado como argila mole.

vii. Argila arenosa tipo 2: este material consiste em uma argila arenosa medianamente plástica (IP em torno de 15%) com teores de argila, areia e silte em torno de 28, 46 e 26%, respectivamente. Os valores de NSPT variam de baixo a médio (em torno de 8 golpes) indicando um solo de baixa a média capacidade de suporte. Denominado como argila média a mole.

viii. Argila arenosa tipo 3: este material consiste em uma argila arenosa medianamente plástica (IP em torno de 15%) com teores de argila, areia e silte em torno de 20, 62 e 18%, respectivamente. Os valores de NSPT são baixos (em torno de 5 golpes) indicando um solo com baixa capacidade de suporte. Pode ser considerado como argila mole.

ix. Argila arenosa marrom: consiste em uma camada superficial de argila arenosa observada junto às sondagens SPT. O material apresenta valores de NSPT da ordem de 9 golpes.

x. Areia argilo/siltosa: consiste em um material predominantemente arenoso, com teores de argila, areia e silte em torno de 27, 60 e 13%, respectivamente. O material apresenta valores de NSPT da ordem de 8 golpes.

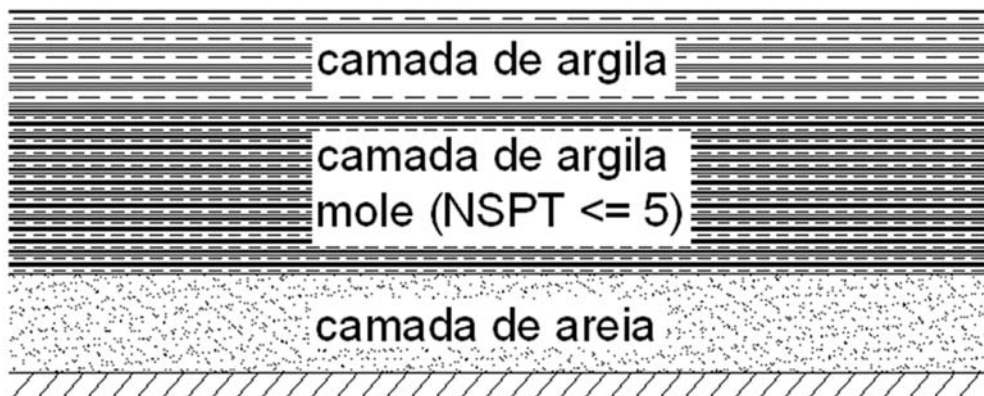
xi. Areia siltosa cinza: consiste na camada de areia observada nos furos de sondagem abaixo da camada de argila mole. Apresenta valores de resistência baixos a elevados (impetrável ao trépano). A sua posição junto ao relevo é variada (com a cota do topo da camada variando de -2 a -6 metros).

xii. Areia / Silte com pedregulhos: mistura de material com pedregulhos, ocorre em dois pontos isolados ao longo do perfil;

Apesar da heterogeneidade de materiais o estudo observou que ao longo do perfil, em termos de comportamento geotécnicos, foi possível separar os materiais ocorrentes

em três tipos principais, sendo: (i) camada de argila de baixa resistência; (ii) camada de argila mole de baixa resistência (iii) camada de areia abaixo da camada de argila mole.

Figura 11 - Estratigrafia definida para as análises preliminares.



Fonte: Consultora (2019)

Em síntese, o estudo sugere que o Dique Araçá está sobre uma camada de argila mole de espessura variando entre 5 e 8 metros. Abaixo da camada de argila mole encontra-se uma camada de areia com resistência variando de baixa a elevada. Desta forma, para o dimensionamento do dique a principal condicionante geotécnica é a existência desta camada de argila mole.

Do estudo realizado no ano de 2010 até o presente estudo, próximo ao traçado do dique foi construída uma das mais importantes rodovias do estado, a rodovia BR-448/RS. Dentro dos estudos da BR 448 foi desenvolvido no Volume 3B – Estudos Geotécnicos no qual foram realizados diversos ensaios de campo e laboratório. Com base nestes ensaios determinou-se o perfil geotécnico do trecho da rodovia. O perfil geotécnico mais próximo a área de interesse está demonstrado na Figura 12. Da mesma forma foi identificado e caracterizado quanto aos parâmetros de permeabilidade, resistência e adensamento das camadas de solo mole. A partir dos ensaios realizados foram extraídos os valores da Figura 12 e Tabela 9.

Tabela 9 – Comparação dos Parâmetros Geotécnicos da Fundação

Parâmetro	Valores Médios BR 448	Valores Adensamento BR 448 km 17+750
OCR	5	2 a 3
Índice de vazios (e0)	3,44	1,19
Coefficiente de recompressão (Ccr)	0,018	0,014
Coefficiente de compressão (Cc)	1,73	0,181
Tensão Efetiva de pré-adensamento	54 kPa	110 kPa
Coefficiente de adensamento horizontal (Ch)	3,59E-08 m ² /s	1,82E-07 m ² /s
Coefficiente RR/CR	0,15	

ENCOP ENGENHARIA LTDA

AV. CORONEL APARÍCIO BORGES, 965 SALA 202 E 302.

CEP 90680-570 - PORTO ALEGRE/RS

FONE/FAX: (51) 30284799 / 33525073 - E-MAIL:ENCOP@ENCOP.COM

Parâmetro	Valores Médios BR 448	Valores Adensamento BR 448 km 17+750
Coeficiente de adensamento vertical (Cv)	2,98E-08 m ² /s	1,51E-07 m ² /s
Permeabilidade horizontal/Vertical (Kh/Kv)	1,2	
Peso Específico natural da Argila mole	13 kN/m ³	
Resistência ao cisalhamento não drenada (Su)	12 kPa	

Fonte: Estudos Geotécnicos – TOMO I (DNIT)

Figura 12 - Perfil Geotécnico da Fundação BR-448.

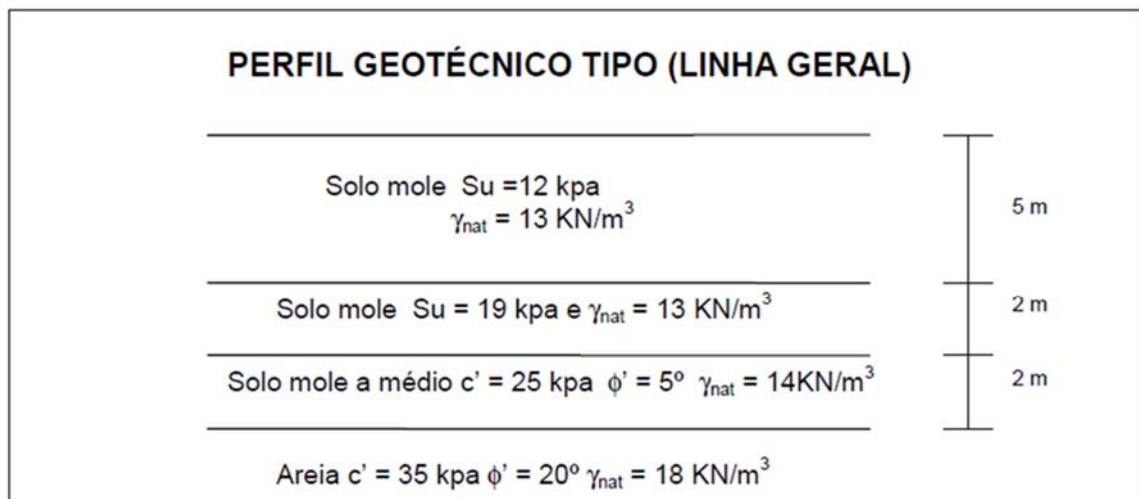


Figura 2.9: Perfil geotécnico tipo (desenho esquemático) para os trechos compreendidos entre as estacas 3+200 a 12+460 e 14+520 a 16+220.

Fonte: Estudos Geotécnicos – TOMO I (DNIT)

Conforme dados do estudo da BR-448 em comparação aos valores obtidos do estudo de 2010 podemos verificar uma aproximação da espessura da camada de solos moles. Porém no estudo de 2010 não foram realizados ensaios geotécnicos que pudessem caracterizar as propriedades do solo em termos geotécnicos. Todos os valores foram obtidos de estudos já realizados na CEASA/RS e Aeroporto, portanto faz-se necessário obter os valores da área de interesse. Em função do exposto acima neste novo estudo será realizado investigações complementares para obtenção de parâmetros geotécnicos.

5.2 INVESTIGAÇÃO COMPLEMENTAR

Os ensaios SPTs, proporcionam importante informação da estratigrafia dos solos e de um mapa aproximado de profundidades de ocorrência de camadas de baixa resistência e deformabilidade. No entanto, os SPTs pouco possibilitam as estimativas de magnitude de deformabilidade para materiais argilosos como é caso dos depósitos sedimentares do presente estudo.

A investigação complementar surge da necessidade de verificar a capacidade resistente e de deformação e o tempo para que estas deformações se desenvolvam de forma completa sob o ponto de vista teórico a partir das futuras sobrecargas devido ao empreendimento a ser executado.

A NBR-6484/2001 estabelece uma classificação com base no índice de penetração (N) do ensaio SPT julgando correlação da compactidade e consistência dos solos com a sua resistência. A partir disso, pode-se inicialmente definir que solos moles a muito mole são aqueles que apresentam igual ou inferior 5 golpes para cravação dos últimos 30 cm de amostrador.

Figura 13 - Correção NSPT versus consistência e compactidade.

Solo	Denominação	SPT
Compactidade de areias e siltes arenosos	Fofa	≤ 4
	Pouco compacta	5 a 8
	Medianamente compacta	9 a 18
	Compacta	19 a 41
	Muito compacta	> 41
	Rocha	> 80
Consistência de argila e siltes argiloso	Muito mole	< 2
	Mole	2 a 5
	Média	6 a 10
	Rija	11 a 19
	Dura	> 19

Fonte: Consultora (2019)

Como todos os boletins de sondagem executados no local indicam predomínio de materiais argilosos a siltosos, os perfis de solo são vistos sob o ponto de vista da consistência do material. No entanto, consistência é apenas a indicação de um estado físico que depende exclusivamente da quantidade de água presente no solo. Por outro lado, os solos em ambientes de deposição em que o nível freático está praticamente na superfície, constitui de solos saturados. Portanto, a compactidade dos solos do local de estudo é um bom indicador das características mecânicas destes solos, ou seja, um ponto de partida para elaborar um plano complementar de investigação.

Com base nos SPT's, apresenta-se na Tabela 10, a variação da espessura da camada inicial de depósito mais jovem e de consistência mole a muito mole registrada em cada furo de sondagem SPT.

Tabela 10 - Espessura de camadas moles a muito moles apresentada nos boletins de investigação do ano de 2010.

Furo	Posição nível d'água	Espessura estimada camada de argila
SP 1	1,8 m	-

Furo	Posição nível d'água	Espessura estimada camada de argila
SP 2	1,9 m	1 m
SP 3	1,9 m	4,5 m
SP 4	2,3 m	2 m
SP 5	2,2 m	6,5 m
SP 6	1,3 m	7,5 m
SP 7	1,8 m	3 m
SP 8	1,6 m	6,5 m
SP 9	2,2 m	7 m
SP 10	1,6 m	2 m
SP 11	1,2 m	5 m
SP 12	0,9 m	6 m

Fonte: Consultora (2019)

A partir desta tabela convergiu-se para uma divisão para facilitar a magnitude do problema com base nos resultados dos SPT's, a partir de interpolações estimadas, com intuito de contribuir para a determinação das investigações complementares a serem realizadas, de modo a caracterizar os solos de sob superfície.

Com base nestas análises preliminares, ficou claro a necessidade de maior densidade de investigação de campo com ensaios que proporcione parâmetros mais adequados para os específicos materiais presentes na subsuperfície desta obra. Então, a campanha complementar de ensaios foi definida dentro das possibilidades de quantitativos previstos pelo contrato.

Em atendimento ao termo de referência foi executado o presente relatório técnico que tem como finalidade a avaliação da capacidade de suporte e estabilidade dos taludes do dique para o Projeto de Complementação do Dique. Sendo assim, ocorre necessidade de complementar a investigação com ensaios de campo e laboratório para que se possa convergir para valores de parâmetros geotécnicos que proporcione, através de métodos de cálculo consagrados, obter quantitativamente recalques e tempo de recalque, bem como atribuir parâmetros para que se possa estabelecer soluções de estabilidade, melhoria ou aceleração destas deformações.

Na campanha complementar foram realizados tanto ensaios de campo quanto coleta de amostras deformadas e indeformadas para ensaios em laboratório. A relação de ensaios complementares previstas inicialmente pode ser verificada na Tabela 11.

Tabela 11 - Ensaios geotécnicos de campo e laboratório

Tipo	Unid.	Quant.
Ensaio de CPTU (4 furos)	metro	33

Tipo	Unid.	Quant.
Ensaio de Dissipação	ensaio	2
Ensaio de Palheta (Vane Test, amostra indeformada) em quatro ilhas de investigação	ensaio	3
Coleta de amostras indeformadas de solos moles (Shelby)	amostra	4
Sondagens a trado.	ensaio	4
Densidade e umidade naturais (solos moles, amostras indeformadas)	ensaio	4
Granulometria por peneiramento e sedimentação com defloculante em amostras deformadas de solos moles	ensaio	4
Massa específica real dos grãos em amostras deformadas de solos mole	ensaio	4
Ensaio de Adensamento	ensaio	3

Fonte: Consultora (2019)

5.2.1 Ensaio de Caracterização

O Quadro 1 mostra os resultados de LL e LP (Limites de Liquidez e Plasticidade) obtidos no estudo do Dique em Araçá juntamente com os valores de índice de plasticidade (Ip).

Quadro 1 - Parâmetros de Caracterização das Amostras.

Local de Sondagem			FURO	Ensaio Físicos			Classificação		TIPO DE SOLO
Est	Prof. (cm)	NA (cm)		LL	IP	IG	HRB	Classificação AASHTO HRB	Classificação Visual
-	250-350	-	F-03	27,9	10,3	5	A6	ARGILA ARENOSA	ARGILA SILTOSA CINZA
-	550-650	-	F-03	31,6	14,2	10	A6	ARGILA ARENOSA	ARGILA SILTOSA CINZA E AMARELA
-	350-450	-	F-04	36,4	14,9	8	A6	ARGILA ARENOSA	ARGILA SILTOSA VARIEGADA
-	750-800	-	F-04	NP	NP	0	A4	SILTE ARENOSO	AREIA POUCA ARGILOSA CINZA

Fonte: Consultora (2019)

Conforme a classificação unificada de solos podemos observar que o solo se enquadra com CL, argilas de baixa compressibilidade. O índice de consistência de todos os furos se caracterizou por consistência mole, tendo como índice de consistência menor que 0,5.

Quadro 2 – Distribuição Granulométrica das Amostras.

Amostra	Profundidade (m)	Análise Granulométrica (%)					
		% de Finos (#200)	Argila	Silte	Areias		
					Fina	Média	Grossa
F-03	250-350 m	62	31,11	25,92	30,81	11,42	0,69
F-03	250-350 m	70	53,82	14,82	24,24	6,53	0,60
F-04	350-450 m	60	39,32	17,22	30,91	10,94	1,32
F-04	750-800 m	36	17,86	10,36	55,42	15,89	0,47

Fonte: Consultora (2019)

Os resultados da granulometria confirmaram o comportamento plástico das amostras, sendo as classificadas como argilas de baixa plasticidade arenosa.

5.2.2 Ensaio de CPTu

O CPTu é um potente ensaio para efetivar correções paramétricas, no entanto, escolheu-se, neste momento, aquelas propriedades que contribuem para que o solo seja avaliado na condição de estabilidade no que tange a resistência ao cisalhamento destas diferentes camadas, tanto para os materiais de comportamento argilosos, quanto para os de comportamento arenosos.

No Relatório dos Ensaios Geotécnicos na Atualização de Projetos das Estruturas do Pôlder Mato Grande, configurado como segunda entrega, os parâmetros adquiridos em campo, se resumem a: resistência à penetração (q_t); o atrito do fuste do cone (f_s), a poro-pressão (U) e a razão de atrito (R_f), que corresponde a razão f_s/q_t . Outra importante relação direta entre os parâmetros obtidos é o Parâmetro de Poro-pressão B_q , onde:

$$B_q = \frac{\Delta U}{(q_t - \sigma_{vo})} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

B_q = Parâmetro de Poro-pressão

ΔU = Diferença de Poro pressão

q_t = Resistência à penetração

σ_{vo} = Tensão Vertical

A observação deste parâmetro passa a ser importante pois valores superiores a 0,5 são marcados como argilas moles normalmente adensadas e valores abaixo,

correspondem a argilas pré-adensadas ou material de comportamento arenoso. Para obtenção dos parâmetros OCR e Su segue.

A Razão de Consolidação (OCR) é determinada segundo a seguinte expressão:

$$OCR = k \left(\frac{q_t - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) = k \cdot Q_t \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

OCR = Razão de Pré-Adensamento

$k = 0,33$

q_t = Resistência à penetração, kPa

σ_{v0} = Tensão Vertical total na profundidade do ensaio, kPa

σ'_{v0} = Tensão Vertical Efetiva total na profundidade do ensaio, kPa

Schaid e Odebrecht (2017) indicam o ensaio de piezocone para obtenção da resistência ao cisalhamento não drenada (Su) de depósitos de argilas moles através da expressão a seguir.

$$Su = \frac{(q_t - \sigma_{v0})}{Nkt} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

Su = resistência ao cisalhamento não drenada, em kPa;

σ_{v0} = tensão vertical;

Nkt = fator empírico do cone. 12 a 18 (valores obtidos da literatura, principalmente dos estudos apresentados por Soares (1997) e Schnaid (2000). Segundos os autores referidos, o fator de cone (NKT) da região estaria compreendido com valores entre 12 a 18.

Outro parâmetro importante diz respeito as tensões de pré-adensamento, este conhecimento constitui-se um fator importante para à análise de comportamento de depósitos de argilas moles. Conforme (Schnaid, 2017) as tensões de pré-adensamentos podem ser obtivas pela seguinte expressão.

$$\sigma'_m = K(q_t - \sigma_0) \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

σ'_m = tensão de pré-adensamento, em kPa;

σ_{v0} = tensão vertical total na profundidade do ensaio, kPa;

$K = 0,301$

Para o presente estudo foram avaliados os quatro ensaios CPTu de forma individual segundo referências bibliográficas nacionais e internacionais (Soares, 1997; Schnaid, 2017; Robertson, 2012; Robertson e Cabal, 2015).

Quadro 3 - Furos de CPTU realizados

Furo	Coordenada		Cota (m)	Prof. (m)	Prof. Dissipação (m)
	E	N			
CPTU-01	481.700,000	6.688.890,000	4,00	5,54	
CPTU-02	481.397,000	6.688.441,000	4,00	6,90	
CPTU-03	481.067,000	6.688.172,000	3,00	8,64	4,50
CPTU-04	480.489,000	6.687.969,000	3,00	11,94	7,50

Fonte: Consultora (2019)

5.2.2.1 Dissipação no CPTu

O ensaio de Dissipação tem o objetivo de obter o coeficiente de adensamento horizontal (Ch) que pode ser utilizado para o projeto de aceleração de recalques em solos, mas também tem relação com o Cv (coeficiente de adensamento vertical do solo) utilizado no cálculo do tempo de recalque e obtido diretamente em cada etapa de carregamento do ensaio de adensamento em laboratório.

O ensaio de Dissipação consiste em uma parada da penetração do cone em posição pré-definida. A partir da parada, acompanha-se a dissipação do excesso de poro-pressão até que atinja 50% da dissipação total.

A curvas das quatro dissipações estão apresentadas a seguir. Os ensaios foram realizados nos seguintes locais e profundidades:

- CPTu 03, a 4,5 m;
- CPTu 04 a 7,5 m.

5.2.2.2 Resultados do CPTu

Os resultados conjuntos das quatro sondagens CPTU comprovam ocorrência de camada espessa de solos moles a muito moles nos quatro furos ($q_c < 1.000$ kPa). No Furo 01 observamos que até 3,0 metros a resistência é média e partir deste verificamos ocorrência de resistências elevadas. No Furo 02 a camada com baixa resistência ocorre até a profundidade de 4,0 metros, após a resistência de ponta se eleva