



PROJETO GEOTÉCNICO DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS EM SOLOS MOLES - ESTUDO DE CASO

João Manoel Cardoso (1); Adailton Antonio dos Santos (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)jocardoso@gmail.com (2)adailton@unsec.net

RESUMO

O presente trabalho apresenta o projeto geotécnico de fundação profunda, adotada para o Edifício Comercial, localizado próximo ao Parque Francisco Dias Velho, Aterro da Baía Sul, no município de Florianópolis, Estado de Santa Catarina. Com base nas informações e dados geotécnicos do solo de fundação objeto de estudo, o qual apresenta camadas distribuídas de forma heterogênea e espessuras variadas, determinou-se o perfil estratigráfico estimado do mesmo. A camada ideal para apoiar a carga da edificação em estudo encontra-se a uma profundidade aproximada de 25m. Para determinar a capacidade de carga das fundações, empregou-se o método de Aoki & Velloso (1975). Com base neste método determinou-se a capacidade de carga de três tipos de fundações profundas: *pré-moldada de concreto centrifugada vazada*, (\varnothing 33 cm), *pré-moldada de aço (Perfil I - W250 x 44,8)* e *estaca raiz* (\varnothing 31 cm). De posse da capacidade de carga das referidas fundações, realizou-se uma análise comparativa, técnica e econômica, definindo-se a partir desta, a estaca pré-moldada de concreto centrifugada vazada (\varnothing 33 cm), como elemento de fundação do Edifício Comercial. Com base nesta definição elaborou-se o projeto geotécnico de fundações, da referida edificação.

Palavras-Chave: Investigações Geotécnicas, Fundações profundas, projeto geotécnico de fundações.

1 INTRODUÇÃO

Fundações são elementos estruturais, cuja função é transmitir as cargas da estrutura ao terreno onde ela se apoia (apud Azevedo Escola Politécnica). Portanto, a elaboração de projetos geotécnicos de fundações exige um conhecimento adequado do solo de fundação, já que o mesmo irá determinar, com base nas investigações geotécnicas, qual o tipo mais adequado de fundação para a construção, independente do seu porte. Para se obter este conhecimento é necessário que se faça, através das investigações geotécnicas, a identificação e a classificação das diversas camadas que compõem o solo de fundação, assim como a avaliação das suas propriedades geotécnicas.

Portanto, para elaborar o projeto geotécnico de fundações do Edifício Comercial, objeto de estudo, avaliou-se no presente trabalho, as cargas transmitidas pelo mesmo. Determinou-se ainda, a estratigrafia e as propriedades geotécnicas do solo de fundação, através de investigações por sondagem à percussão e rotativa, bem como as características estruturais e executivas dos elementos de fundação profunda. Com base nestas informações, definiu-se o tipo de fundação, técnica e economicamente mais indicada para o mesmo.

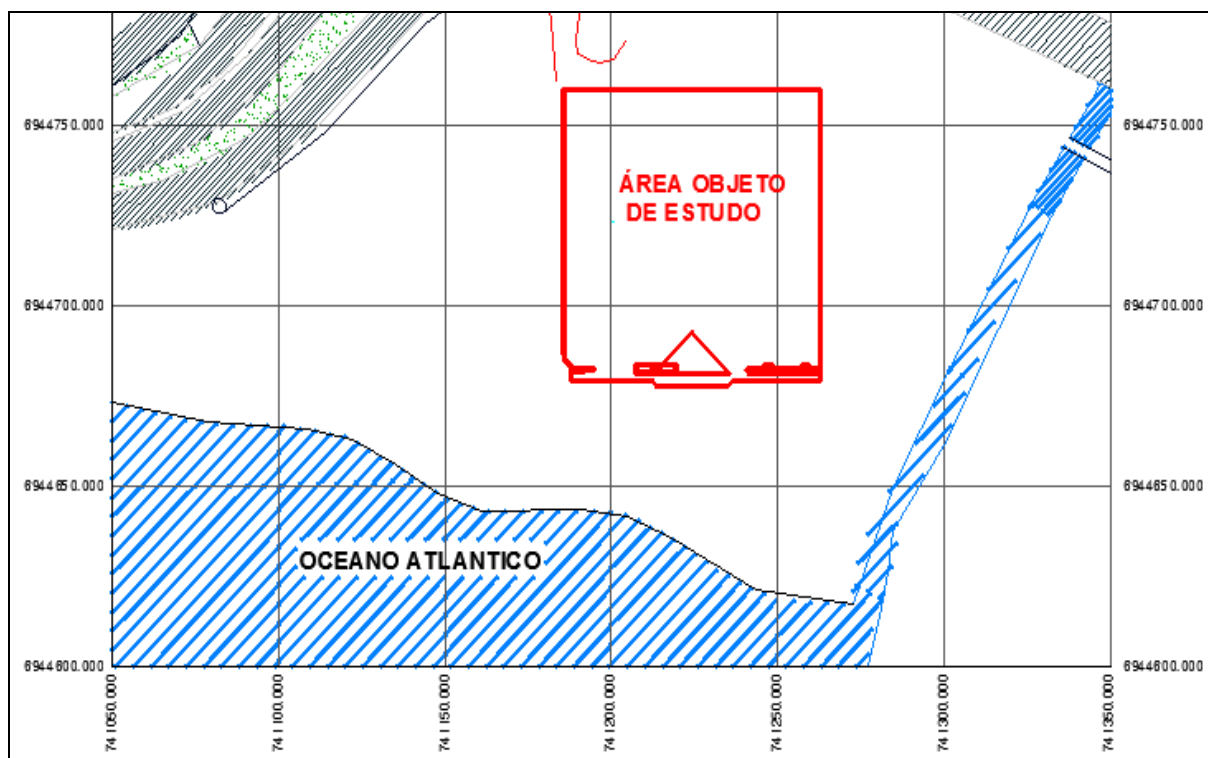
2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir o objetivo deste trabalho foi feita a revisão bibliográfica sobre os métodos de investigação, com ênfase nos métodos diretos (sondagem a percussão e rotativa). Em seguida levantou-se os dados existentes sobre o Edifício Comercial (projeto estrutural) e sobre a área destinada a implantação do mesmo (investigações geotécnicas). Com base nestas informações, determinou-se o perfil estratigráfico estimado do solo de fundação e definiu-se os tipos de fundações mais indicados para o presente caso. Na sequência iniciou-se a determinação da capacidade de carga dos elementos de fundação, por meio da aplicação do método de Aoki & Velloso (1975). De posse do dimensionamento geotécnico realizou-se uma análise técnica e econômica para definir entre os tipos de fundação analisados, qual seria o adotado como elemento de fundação do Edifício Comercial em questão. Por fim, elaborou-se o projeto executivo da solução de fundação adotada e determinou-se o seu custo de implantação.

2.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA OBJETO DE ESTUDO

A área objeto de estudo do presente trabalho está localizado nas coordenadas geográficas, $27^{\circ}35'58.91$ Sul e $48^{\circ}33'21.40$ Oeste, Parque Francisco Dias Velho, no Aterro da Baía Sul, no município de Florianópolis, Estado de Santa Catarina.

Figura 1 – Localização do área objeto de estudo.



Fonte: Companhia Catarinense de Águas e Saneamento - Casan

2.2 CARACTERÍSTICAS DA OBRA

Este estudo, consiste em elaborar o projeto geotécnico de fundação para um Edifício Comercial (Figura 2), composto por 15 (quinze) pavimentos, sendo 10 (dez) pavimentos tipo, com 80 (oitenta) salas comerciais medindo, entre 46m² e 60m², 04 (quatro) pavimentos garagem, com capacidade para 226 (duzentas e vinte e seis) vagas, sendo 126 (cento e vinte e seis) como estacionamento rotativo, e 01 (um) pavimento térreo composto de três salas comerciais.

Figura 2 – Fachada Edifício Comercial.



Fonte: <http://www.construtorastein.com.br>

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 GEOLOGIA DA ÁREA OBJETO DE ESTUDO

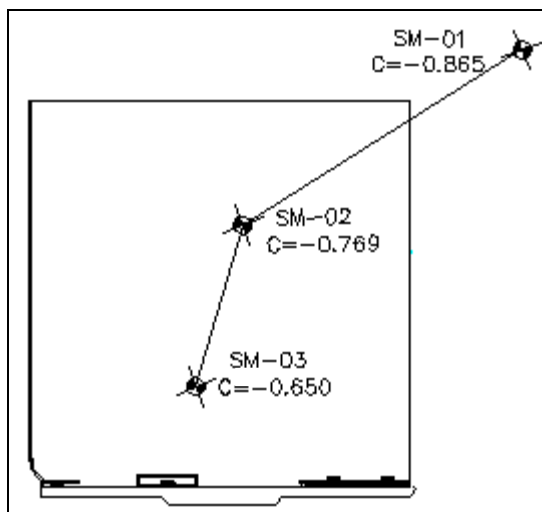
A área do Aterro da Baía Sul encontra-se situada numa região de ocorrência de depósitos marinhos praias, constituído por camadas de argila mole e areia, assentados sobre o maciço rochoso de Granito Ilha. Esta rocha pertence ao grupo dos granitos alcalinos, classificado como um Biotita-monzogranito a Granito, com predomínio de feldspatos potássicos e plagioclásios sódicos sobre o quartizo, cor cinza clara, com textura granular hipidiomórfica, fanerítica grossa (granulometria grossa) e localmente porfirítica.

3.2 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA

A empresa responsável pelas investigações geotécnicas do solo em estudo foi a Geodésia – Estudos, Projetos e Assessoria Ltda., a qual realizou no local 03 (três) furos de sondagem mista (SM-01, SM-02 e SM-03), isto é, a percussão com medidas de resistência a penetração (NSPT) e rotativa com amostragem de testemunhos de rocha. De posse destas informações elaborou-se o perfil

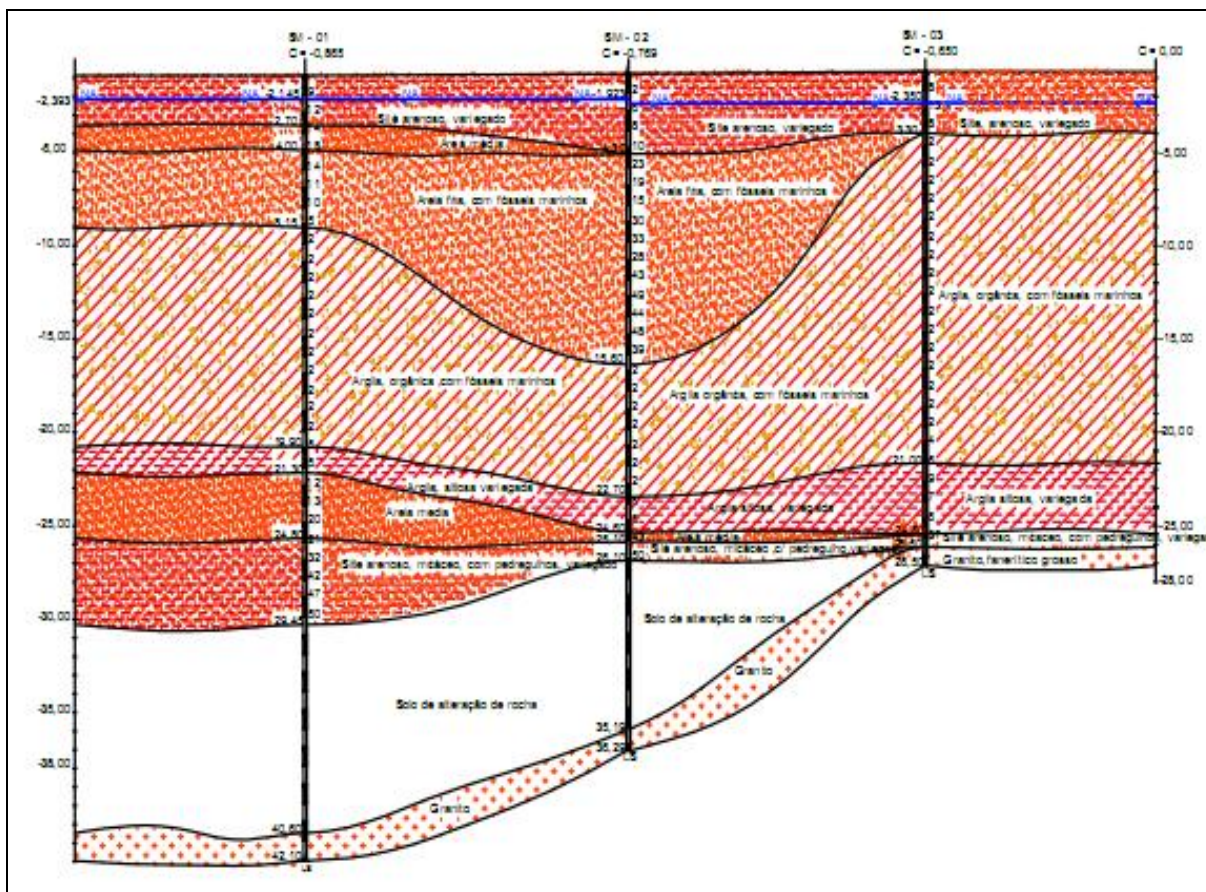
estratigráfico estimado do solo de fundação. As Figuras 3 e 4 apresentam o croqui de localização dos furos de sondagem e o perfil estratigráfico estimado, respectivamente.

Figura 3 – Croqui de locação dos furos de sondagens.



Fonte: João Manoel Cardoso

Figura 4 – Perfil estratigráfico estimado do solo objeto de estudo.



Fonte: João Manoel Cardoso

O perfil estratigráfico estimado adotado no dimensionamento, Figura 4, apresenta a classificação do solo e o NSPT, ao longo da profundidade. A estratigrafia do solo de fundação é composta por uma camada de aterro (silte arenoso e areia), que encontra-se assentada sobre um depósito marinho praial (argila orgânica), o qual apoia-se sobre uma camada de solo residual de granito (Silte arenoso intercalado com areia e solo de alteração) e abaixo desta o maciço rochoso de granito. Há de se ressaltar a presença de uma camada de transição (argila siltosa) originada da contaminação da camada de solo residual pela argila orgânica, que encontra-se em processo de consolidação. Sabe-se, que a camada de argila orgânica encontra-se em processo de adensamento.

3.3 DEFINIÇÃO DO TIPO DE FUNDAÇÃO

Devido as cargas elevadas e a presença de espessas camadas de solos moles, oscilando entre 7m e 18m, aproximadamente, descartou-se o uso de fundações rasas. Logo, para o presente caso, a adoção de fundações profundas é a solução adequada. Dentre as fundações profundas analisadas optou-se por tipos que permitam ultrapassar a camada de areia muito compacta, detectada no furo SM-02, permitindo o apoio das mesmas em camadas de alta resistência (silte arenoso, muito compacto, solo de alteração de rocha e granito) e que não estejam sujeitas a recalques. Em função disto optou-se por avaliar, técnica e economicamente, a utilização de estacas pré-moldadas de concreto centrifugadas, vazada com diâmetros de \varnothing 33 cm, estacas pré-moldadas de aço, (perfil I W 250 x 44,8), e estacas raiz \varnothing 31 cm.

3.4 DEFINIÇÃO DO INTERVALO DE CARGA

Os intervalos de cargas servem para uniformizar e otimizar o dimensionamento das fundações. No presente trabalho adotou-se 4 (quatro) intervalos de carga, cuja distribuição encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Intervalos de Cargas governados pelos furos SM-01, SM-02 e SM-03

Pilar	Furo	Carga do Pilar	Intervalo de carga	Pilar	Furo	Carga do Pilar	Intervalo de carga	Pilar	Furo	Carga do Pilar	Intervalo de carga
Nº	Nº	(kN)	(kN)	Nº	Nº	(kN)	(kN)	Nº	Nº	(kN)	(kN)
P25	SM - 01	583,10	IC - 02 789,04	P6	SM - 02	1821,40	IC - 03 2004,94	P62	SM - 03	597,66	IC - 02 789,04
P28	SM - 01	586,88		P11	SM - 02	1868,30		P48	SM - 03	598,92	
P24	SM - 01	606,34		P7	SM - 02	1871,38		P61	SM - 03	599,48	
P27	SM - 01	610,82		P10	SM - 02	1899,38		P59	SM - 03	602,84	
P26	SM - 01	621,60		P9	SM - 02	1928,64		P45	SM - 03	605,08	
P29	SM - 01	640,64		P3	SM - 02	1936,20		P53	SM - 03	611,94	
P23	SM - 01	643,72		P8	SM - 02	1956,64		P46	SM - 03	641,90	
P38	SM - 02	542,92	IC - 01 555,80	P1	SM - 02	1965,18	IC - 01 555,80	P60	SM - 03	789,04	IC - 03 2004,94
P34	SM - 02	545,72		P2	SM - 02	2003,54		P18	SM - 03	1767,22	
P39	SM - 02	555,80		P56	SM - 03	74,62		P21	SM - 03	1805,30	
P32	SM - 02	566,72	IC - 02 789,04	P55	SM - 03	401,38	IC - 01 555,80	P15	SM - 03	1843,52	IC - 04 2787,68
P30	SM - 02	568,96		P57	SM - 03	432,32		P22	SM - 03	1960,14	
P35	SM - 02	575,96		P58	SM - 03	435,54		P14	SM - 03	1961,40	
P40	SM - 02	578,90		P54	SM - 03	438,06		P17	SM - 03	2004,94	
P37	SM - 02	580,72		P42	SM - 03	554,82		P20	SM - 03	2694,72	
P31	SM - 02	584,78		P43	SM - 03	563,36		P12	SM - 03	2720,62	
P36	SM - 02	595,56		P47	SM - 03	575,68		P16	SM - 03	2727,20	
P33	SM - 02	598,92	P51	SM - 03	576,38	P13	SM - 03	2762,48			
P41	SM - 02	608,16	P44	SM - 03	578,48	P19	SM - 03	2787,68			
P5	SM - 02	1779,40	IC - 03	P52	SM - 03	583,10	IC - 02 789,04				
P4	SM - 02	1807,68	2004,94	P50	SM - 03	593,88					

Fonte: João Manoel Cardoso

3.5 DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE CARGA DAS ESTACAS

Pelo perfil estratigráfico estimado do solo de fundação, Figura 4, calculou-se a capacidade de carga das estacas pré-moldadas de concreto centrifugadas vazadas diâmetro Ø 33 cm, da estaca pré-moldada de aço tipo (Perfil I W250 x 44,8), e estaca raiz, diâmetro Ø 31 cm, através do método de dimensionamento de Aoki & Veloso (1975), descrito abaixo.

3.6 CAPACIDADE DE CARGA ESTRUTURAL DAS ESTACAS

O método de Aoki & Velloso (1975) originou-se a partir de correlações entre os resultados de ensaios de penetração estática (CPT) e dinâmica (SPT). A teoria para estimar a capacidade de carga de estacas é fundamentada no ensaio de penetração

estática, mas através da utilização do coeficiente K é possível estimar a capacidade de carga com os resultados do SPT.

A determinação da capacidade de carga de fundações profundas (Q_{ult}), através do método de Aoki & Velloso (1975) é feita através da seguinte equação:

$$Q_{ult} = \frac{A \cdot K_p \cdot N_p}{F_1} + \sum \frac{(\alpha_i \cdot K_i \cdot \Delta L_i \cdot P)}{F_2} \quad (1)$$

Onde:

Q_{ult} = Capacidade de carga última (carga de ruptura);

A = Área de ponta da estaca;

P = Perímetro da estaca;

ΔL_i = Comprimento da estaca na camada i;

N_p = N_{spt} do solo de apoio da estaca (≤ 50);

F1 = Coeficiente de correção de resistência de ponta;

F2 = Coeficiente de correção de resistência lateral;

K e α = Variáveis que dependem do tipo de solo;

N_m = N_{spt} médio na camada i (≤ 50).

A Norma Brasileira NBR 6122/2010, recomenda que a determinação da carga admissível do solo (Q_{adm}), seja feita com base num fator de segurança global (F_s) igual a 2,0.

$$Q_{adm} = \frac{Q_{ult}}{F_s} \quad (2)$$

Onde:

Q_{adm} = Capacidade de carga admissível do solo;

F_s = Fator de segurança.

3.6.1 Capacidade de carga admissível das estacas governadas pelo furo SM-01

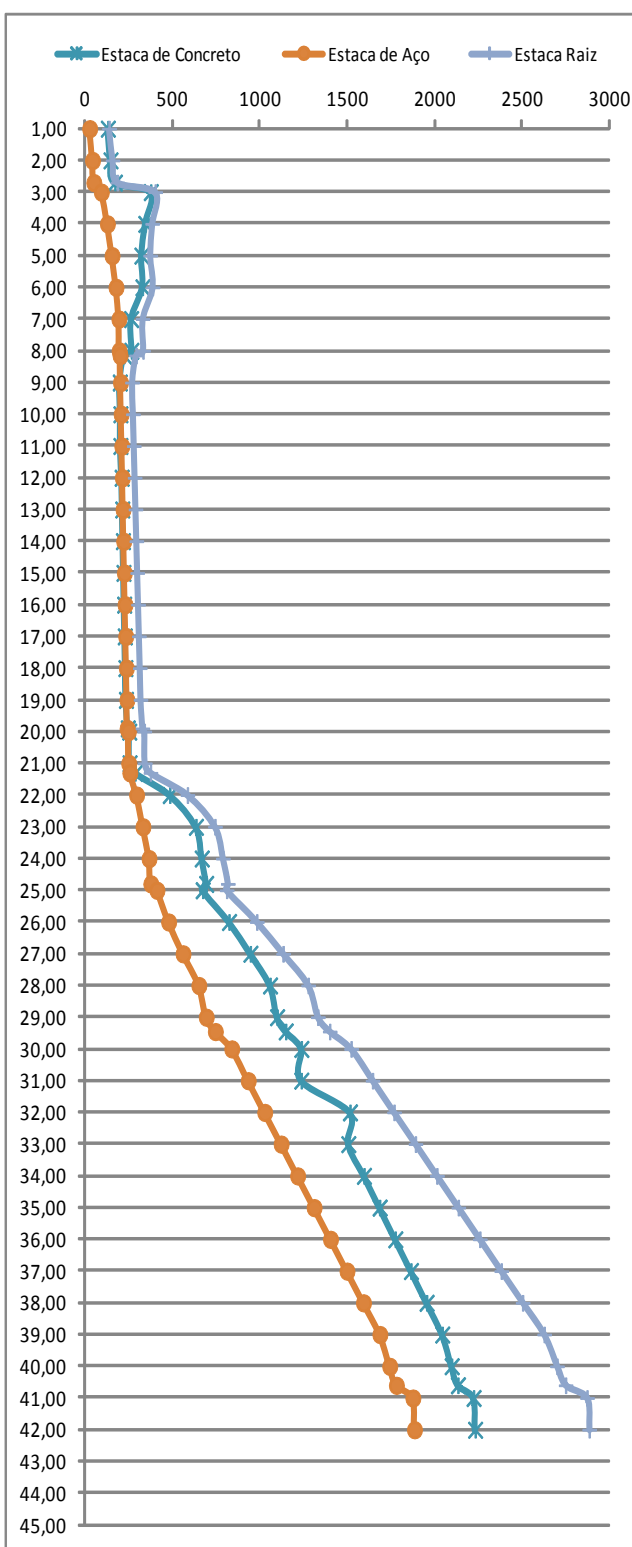
A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para a capacidade de carga admissível das estacas governadas pelo furo SM-01, ao longo da profundidade. O gráfico da Figura 5 ilustra o comportamento das cargas admissíveis ao longo da profundidade.

Tabela 2 – Capacidade de carga do solo em relação a profundidade

SM - 01		Aoki & Veloso (1975) - Q_{ADM} (kN)			
Tipo de Solo	Prof. (m)	NSPT _L	Estaca de Concreto	Estaca de Aço	Estaca Raiz
Silte Arenoso	1,00	9	129,03	24,73	135,51
Silte Arenoso	2,00	12	144,08	40,55	155,93
Silte Arenoso	2,70	12	169,35	48,63	183,64
Areia Média	3,00	14	374,57	91,28	400,09
Areia Média	4,00	18	343,47	125,81	382,61
Areia Fina	5,00	14	321,18	152,80	370,91
Areia Fina	6,00	11	326,88	175,60	385,00
Areia Fina	7,00	10	262,08	191,51	327,64
Areia Fina	8,00	5	263,64	193,15	329,77
Areia Fina	8,15	5	221,13	198,88	290,38
Argila	9,00	2	197,32	200,74	267,80
Argila	10,00	2	200,87	204,47	272,67
Argila	11,00	2	200,43	208,21	277,54
Argila	12,00	2	207,98	211,95	282,41
Argila	13,00	2	211,54	215,68	287,28
Argila	14,00	2	215,09	219,42	292,15
Argila	15,00	2	218,65	223,16	297,02
Argila	16,00	2	222,20	226,90	301,89
Argila	17,00	2	225,75	230,63	306,76
Argila	18,00	2	229,31	234,37	311,63
Argila	19,00	2	232,51	237,73	316,01
Argila	19,90	2	243,13	238,81	326,79
Argila Siltosa	20,00	5	251,35	245,78	337,41
Argila Siltosa	21,00	5	253,31	247,84	340,11
Argila Siltosa	21,30	5	284,21	254,45	372,78
Areia Média	22,00	12	483,31	292,80	584,58
Areia Média	23,00	13	633,01	329,38	741,58
Areia Média	24,00	20	666,19	364,26	787,03
Areia Média	24,80	20	691,58	374,16	815,55
Silte Arenoso	25,00	21	671,78	409,72	808,78
Silte Arenoso	26,00	32	822,49	476,49	981,68
Silte Arenoso	27,00	42	944,79	558,86	1131,97
Silte Arenoso	28,00	47	1057,25	649,36	1275,66
Silte Arenoso	29,00	50	1097,57	691,75	1330,90
Silte Arenoso	29,45	50	1146,85	743,57	1398,41
Silte arenoso (A5)	30,00	50	1236,45	837,77	1521,16
Silte arenoso (A5)	31,00	50	1236,05	931,98	1643,91
Silte arenoso (A5)	32,00	50	1514,66	1026,19	1766,66
Silte arenoso (A5)	33,00	50	1505,26	1120,39	1889,41
Silte arenoso (A5)	34,00	50	1594,86	1214,60	2012,17
Silte arenoso (A5)	35,00	50	1684,46	1308,81	2134,92
Silte arenoso (A5)	36,00	50	1774,07	1403,02	2257,67
Silte arenoso (A5)	37,00	50	1863,67	1497,22	2380,42
Silte arenoso (A5)	38,00	50	1953,27	1591,43	2503,17
Silte arenoso (A5)	39,00	50	2042,88	1685,64	2625,92
Silte arenoso (A5)	40,00	50	2096,64	1742,16	2699,57
Silte arenoso (A5)	40,60	50	2132,48	1779,84	2748,67
Granito	41,00	50	2222,08	1874,05	2871,42
Granito	42,00	50	2231,04	1883,47	2883,70

Fonte: João Manoel Cardoso

Figura 5 – Gráfico capacidade de carga das estacas em relação a profundidade



A análise do gráfico 5, demonstra que a partir dos 20 m, as estacas estarão fora da camada de solo compressível e com capacidade de carga admissível, crescente

com a profundidade. Portanto, para se aproveitar ao máximo da capacidade de carga do solo e estrutural das estacas, adotou-se os critérios constantes na Tabela 3. Na referida tabela também encontra-se a carga admissível e estrutural das estacas, bem como, a carga de trabalho.

Tabela 3 – Critério para assentamento das estacas governadas pelo furo SM-01

Tipo de Estaca	Critério de Paralisação	Profundidade (m)	Q _{Adm.} (kN)	Q _{Est.} (kN)	Q _{Trab.} (kN)
Estaca Pré-Moldada de Concreto (D = 33 cm)	NSPT ≥ 40	27	944,79	800,00	800,00
Estaca Pré-moldada de Aço Perfil I W250 x 44,8	NSPT ≥ 50	28	649,36	853,00	649,36
Estaca Raiz (D = 31 cm)	NSPT ≥ 40	27	1.131,97	1.100,00	1.100,00

Fonte: João Manoel Cardoso

3.6.2 Capacidade de carga admissível das estacas governadas pelo furo SM-02

A Tabela 5 apresenta os valores de capacidade de carga admissível obtidos para as estacas governadas pelo furo SM-02, ao longo da profundidade. O gráfico da Figura 6 apresenta o comportamento das cargas admissíveis ao longo da profundidade e demonstra que a partir dos 23 m, a capacidade de carga admissível das estacas é crescente e que as mesmas encontram-se abaixo da camada de solo compressível. Logo, para se aproveitar ao máximo da capacidade de carga do solo e estrutural das estacas, adotou-se os critérios constantes na Tabela 4. Na referida tabela, também encontra-se a carga admissível e estrutural das estacas, bem como, a carga de trabalho.

Tabela 4 – Critério para assentamento das estacas governadas pelo furo SM-02

Tipo de Estaca	Critério de Paralisação	Profundidade (m)	Q _{Adm.} (kN)	Q _{Est.} (kN)	Q _{Trab.} (kN)
Estaca Pré-Moldada de Concreto (D = 33 cm)	NSPT ≥ 40	25	1.597,25	800	800,00
Estaca Pré-moldada de Aço Perfil I W250 x 44,8	NSPT ≥ 50	26	1.116,92	853	853,00
Estaca Raiz (D = 31 cm)	NSPT ≥ 40	25	1.918,09	1.100	1.100,00

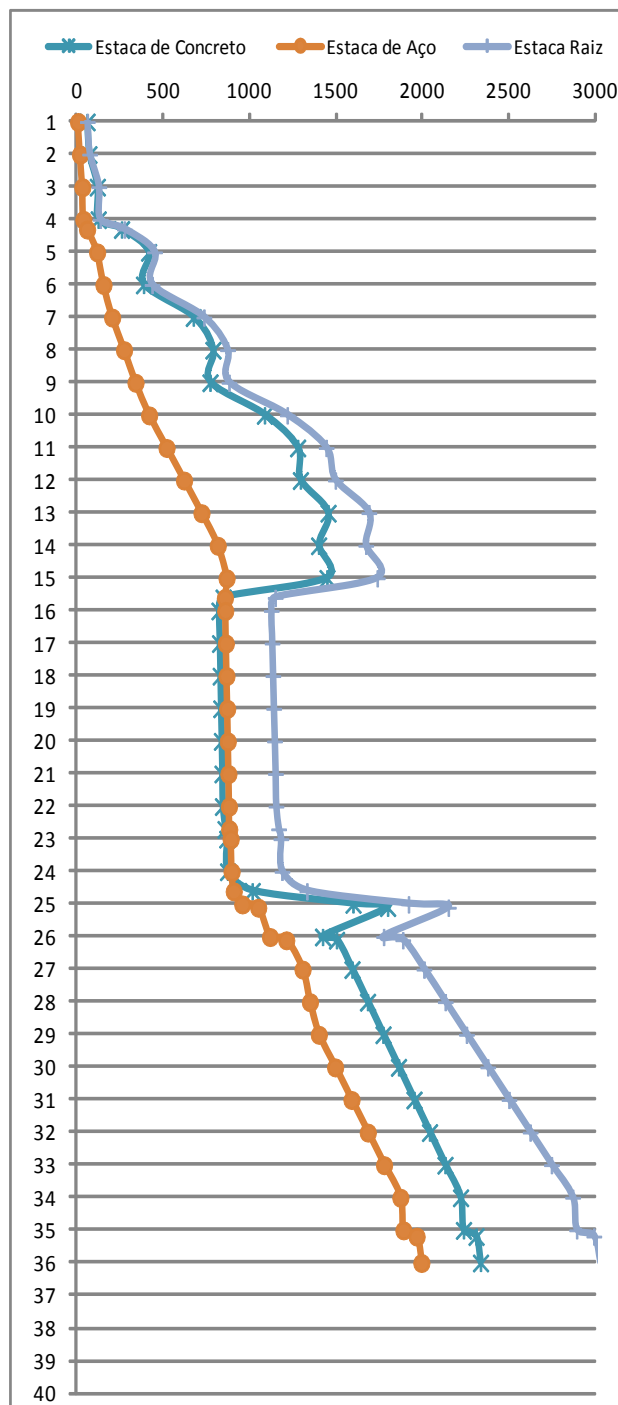
Fonte: João Manoel Cardoso

Tabela 5 – Capacidade de Carga do solo em relação a profundidade

Tipo de Solo	Prof. (m)	NSPT _L	Aoki & Veloso (1975) - Q _{ADM} (kN)		
			Estaca de Concreto	Estaca de Aço	Estaca Raiz
Silte Arenoso	1,00	2	60,03	7,65	61,52
Silte Arenoso	2,00	6	70,79	18,96	75,25
Silte Arenoso	3,00	6	119,17	32,85	128,72
Silte Arenoso	4,00	10	124,55	38,50	136,08
Silte Arenoso	4,30	10	259,40	60,11	275,92
Areia Fina	5,00	23	415,71	117,73	450,17
Areia Fina	6,00	19	386,68	154,44	435,53
Areia Fina	7,00	15	674,38	204,79	735,44
Areia Fina	8,00	30	787,90	273,73	872,12
Areia Fina	9,00	33	770,79	339,78	880,09
Areia Fina	10,00	28	1085,44	418,48	1216,93
Areia Fina	11,00	43	1277,23	519,28	1442,00
Areia Fina	12,00	49	1293,30	620,21	1495,41
Areia Fina	13,00	44	1452,96	720,84	1689,01
Areia Fina	14,00	48	1398,53	814,89	1670,97
Areia Fina	15,00	39	1447,05	865,90	1737,44
Areia Fina	15,60	39	846,47	856,35	1147,06
Argila	16,00	2	822,66	858,21	1124,49
Argila	17,00	2	826,21	861,94	1129,36
Argila	18,00	2	829,77	865,68	1134,26
Argila	19,00	2	833,32	869,42	1139,09
Argila	20,00	2	836,87	873,16	1143,96
Argila	21,00	2	840,43	876,89	1148,83
Argila	22,00	2	842,92	879,51	1152,24
Argila	22,70	2	857,67	881,57	1167,43
Argila Siltosa	23,00	6	867,54	889,93	1180,20
Argila Siltosa	24,00	6	872,23	894,87	1186,62
Argila Siltosa	24,60	6	1014,60	907,74	1330,54
Areia Média	25,00	43	1597,25	956,59	1918,09
Areia Média	25,10	43	1797,24	1049,20	2148,10
Silte Arenoso	26,00	50	1421,31	1116,92	1774,41
Silte Arenoso	26,10	50	1501,96	1211,13	1884,89
Silte arenoso (A5)	27,00	50	1591,56	1305,34	2007,64
Silte arenoso (A5)	28,00	50	1681,16	1347,73	2130,39
Silte arenoso (A5)	29,00	50	1770,76	1399,54	2253,14
Silte arenoso (A5)	30,00	50	1860,37	1493,75	2375,89
Silte arenoso (A5)	31,00	50	1949,97	1587,96	2498,65
Silte arenoso (A5)	32,00	50	2039,57	1682,16	2621,40
Silte arenoso (A5)	33,00	50	2129,18	1776,37	2744,15
Silte arenoso (A5)	34,00	50	2218,78	1870,58	2866,90
Silte arenoso (A5)	35,00	50	2235,80	1888,48	2890,22
Granito	35,19	50	2308,38	1964,79	2989,65
Granito	36,00	50	2334,37	1992,11	3025,25

Fonte: João Manoel Cardoso

Figura 6 – Gráfico capacidade de Carga das estacas em relação a profundidade



3.6.3 Capacidade de carga admissível das estacas governadas pelo furo SM-03

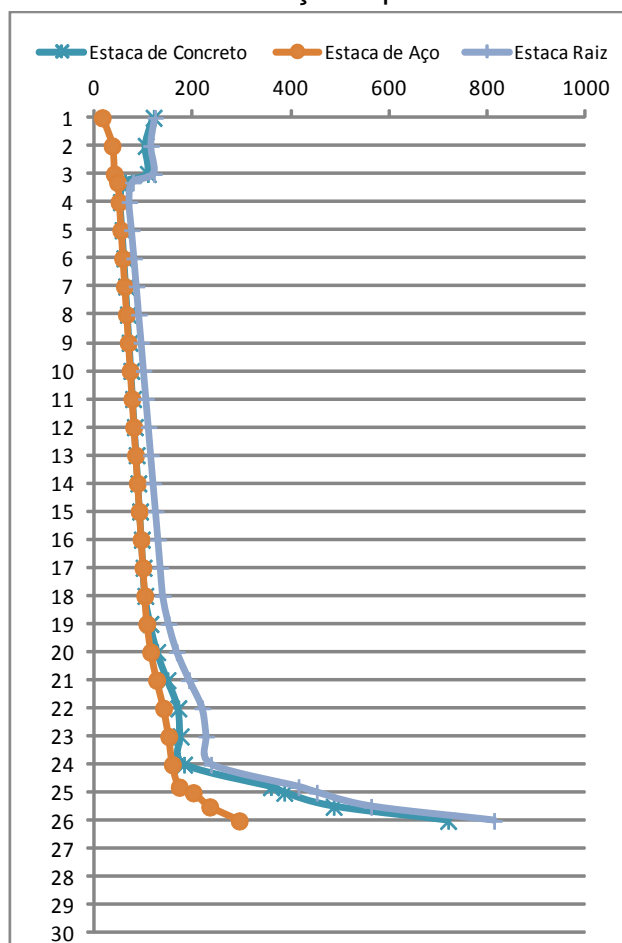
A Tabela 6 demonstra os resultados obtidos para Q_{adm} , das estacas governadas pelo furo SM-03, ao longo da profundidade. O gráfico da Figura 7 apresenta o comportamento de Q_{adm} , ao longo da profundidade.

Tabela 6 – Capacidade de Carga do solo em relação a profundidade

SM - 03		Aoki & Veloso (1975) - Q_{ADM} (kN)			
Tipo de Solo	Prof. (m)	NSPT _L	Estaca de Concreto	Estaca de Aço	Estaca Raiz
Silte Arenoso	1,00	4	120,07	15,31	123,04
Silte Arenoso	2,00	12	103,94	35,33	114,76
Silte Arenoso	3,00	8	108,24	39,85	120,65
Silte Arenoso	3,30	8	61,83	46,51	77,79
Argila	4,00	2	53,41	49,43	70,65
Argila	5,00	2	56,96	53,16	75,52
Argila	6,00	2	60,52	56,90	80,39
Argila	7,00	2	64,07	60,64	85,26
Argila	8,00	2	67,62	64,38	90,13
Argila	9,00	2	71,18	68,11	95,00
Argila	10,00	2	74,73	71,85	99,87
Argila	11,00	2	78,29	75,59	104,74
Argila	12,00	2	81,84	79,32	109,61
Argila	13,00	2	85,40	83,06	114,48
Argila	14,00	2	88,95	86,80	119,35
Argila	15,00	2	92,51	90,54	124,22
Argila	16,00	2	96,06	94,27	129,09
Argila	17,00	2	99,61	98,01	133,95
Argila	18,00	2	103,17	101,75	138,82
Argila	19,00	2	113,57	105,96	150,56
Argila	20,00	4	127,52	113,90	167,16
Argila	21,00	6	148,44	125,82	192,06
Argila Siltosa	22,00	9	170,36	140,29	218,88
Argila Siltosa	23,00	7	174,98	150,70	227,28
Argila Siltosa	24,00	6	182,02	158,09	236,92
Argila Siltosa	24,80	6	358,77	171,99	414,82
Silte Arenoso	25,00	37	385,90	200,51	451,98
Silte Arenoso	25,50	37	486,40	234,08	562,73
Granito	26,00	50	719,38	294,13	812,80

Fonte: João Manoel Cardoso

Figura 7 – Gráfico capacidade de Carga das estacas em relação a profundidade



A análise do gráfico da Figura 7 demonstra que, para se aproveitar ao máximo a capacidade de carga do solo e estrutural das estacas, deve-se apoiar os elementos de fundação profunda no topo da camada de granito. Com base nesta conclusão, definiu-se os critérios constantes na Tabela 7. Na referida tabela, também, encontra-se a carga admissível e estrutural das estacas, bem como a carga de trabalho.

Tabela 7 – Critério para assentamento das estacas governadas pelo furo SM-03

Tipo de Estaca	Critério de Paralisação	Profundidade (m)	$Q_{Adm.}$ (kN)	$Q_{Est.}$ (kN)	$Q_{Trab.}$ (kN)
Estaca Pré-Moldada de Concreto (D = 33 cm)	NSPT \geq 40	26	719,38	800,00	719,38
Estaca Pré-moldada de Aço Perfil I W 250 x 44,8	NSPT \geq 50	26	294,13	853,00	294,13
Estaca Raiz (D = 31 cm)	NSPT \geq 40	26	812,80	1.100,00	812,80

Fonte: João Manoel Cardoso

3.7 DETERMINAÇÃO DE CUSTO PARA IMPLANTAÇÃO DAS SOLUÇÕES DE FUNDAÇÕES

As Tabelas 8, 9, 10 e 11, apresentam os custos de implantação das soluções de fundação em estaca pré-moldada de concreto, estaca raiz, estaca de aço, estaca pré-moldada de concreto e estaca de aço respectivamente.

Tabela 8 – Determinação do custo de estaca pré-moldada de concreto

Ø 33 cm	Unidade	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
Mobilização Equipamento	un	1,0	5.000,00	5.000,00
Cravação	m	3.186,0	50,00	159.300,00
Solda	un	248,0	75,00	18.600,00
Estaca	m	3.186,0	96,00	305.856,00
Total Geral R\$				488.756,00

Fonte: João Manoel Cardoso

Tabela 9 – Determinação do custo de estaca raiz

Ø 31 cm	Unidade	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
Mobilização Equipamento	un	1,0	8.000,00	8.000,00
Perfuração em solo	m	2.173,0	160,00	347.680,00
Custo da Estaca (insumos)	Orçamento global dos materiais			256.351,33
Total Geral R\$				612.031,33

Fonte: João Manoel Cardoso

Tabela 10 – Determinação do custo de estaca pré-moldada de aço

Perfil I W 250 x 44,8	Unidade	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
Mobilização Equipamento	un	1,0	5.000,00	5.000,00
Cravação	m	5.358,0	50,00	267.900,00
Solda	un	410,0	145,00	59.450,00
Custo da Estaca	m	5.358,0	134,00	720.115,20
Total Geral R\$				1.052.465,20

Fonte: João Manoel Cardoso

Tabela 11 – Determinação do custo de estaca pré-moldada de concreto e de aço

Perfil I W 250 x 44,8 e Estaca Concreto	Unidade	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
Mobilização Equipamento	un	1,0	5.000,0	5.000,00
Cravação	m	3.231,0	50,00	161.550,00
Solda Estaca de Concreto	un	158,0	75,00	11.850,00
Solda Estaca de Aço	un	90,0	145,00	13.050,00
Estaca de Concreto	m	2.061,0	96,00	197.856,00
Estaca de Aço	m	1.170,0	134,40	157.248,00
Total Geral R\$			546.554,00	

Fonte: João Manoel Cardoso

A Tabela 12 apresenta análise comparativa de custo entre os tipos de fundações profundas estudadas no presente trabalho.

Tabela 12 – Resumo dos custos entre os tipos de fundação profunda analisada

TIPOS DE ESTACAS ANALISADAS			
Estacas Pré-Moldada de Concreto (D = 33 cm)	Estacas Raiz (D = 31 cm) (Materiais ou Insumos)	Estacas Metálicas Perfil I W 250 x 44,8	Estacas de Concreto (D=33cm) e Estaca Metálica Perfil I W 250 x 44,8
R\$ 488.756,00	R\$ 612.031,33	R\$ 1.052.465,20	R\$ 546.554,00

Fonte: João Manoel Cardoso

A análise dos resultados da Tabela 12 demonstra que a solução de fundação, técnica e economicamente, mais viável para o Edifício Comercial objeto deste estudo é a estaca pré-moldada de concreto centrifugada com diâmetro de 33 cm, a qual apresenta um custo de 20,14% inferior à estaca raiz e 53,56% menor que a estaca pré-moldada de aço.

4 CONCLUSÕES

No presente estudo apoiou-se todas as fundações abaixo da camada de solo compressível, numa profundidade mínima de 25 metros, com intuito de evitar recalque nas fundações e de aproveitar ao máximo a capacidade de carga do solo de fundação, bem como a capacidade estrutural das estacas.

Adotou-se como solução de fundação profunda para o Edifício Comercial objeto de estudo, estaca pré-moldada de concreto centrifugada vazada \varnothing 33 cm. Esta definição teve como base, o fato desta solução apresentar-se entre as analisadas como a mais econômica. O projeto geotécnico de fundação do Edifício Comercial ficou constituído por 124 estacas pré-moldada de concreto centrifugada vazada \varnothing 33 cm, com comprimento médio de 26,22 metros, cujo custo de implantação é de R\$488.756,00.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e execução de fundações: NBR 6122. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Sondagens de simples reconhecimento com SPT: NBR 6484. Rio de Janeiro, 2001.

JOPPERT JÚNIOR, Ivan de Oliveira. Fundações e contenções de edifícios. Pini, São Paulo, 2007.

ALONSO, URBANO RODRIGUES, Dimensionamento de fundações, São Paulo 1989.

CAPUTO, HOMERO PIPINTO. Mecânica dos Solos e Suas Aplicações. Vol. 1 Ed. Livros Técnicos. São Paulo, 1988.

CINTRA, JOSÉ CARLOS A., AOKI, NELSON, Fundações por Estacas, projetos geotécnicos, São Paulo: Oficina de Textos. 2010, 96 p.

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Departamento de Engenharia de Construção Civil PCC-2435. Tecnologia da Construção de Edifícios I, abr./1996. Revisão: ProfaMércia Barros, fev. 2003.

HACHICH, WALDEMAR, et al, fundações teoria e prática, São Paulo: Pini 1998 751p

VELLOSO, ALENCAR DIRCEU; LOPES, FRANCISCO DE RESENDE, Fundações, oficina de textos, vol 1, São Paulo, 2004.

ZANCHI, EMANUELA CARDOSO; Dimensionamento Geotécnico de Fundações, Estudo de Caso, Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC 2007, pdf.