

PROJETO GEOTÉCNICO DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS TIPO ESTACA RAIZ EMBUTIDAS EM ROCHA - ESTUDO DE CASO

Rafael Bernardo Roecker (1); Adailton Antônio dos Santos (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) roecker.rafael@hotmail.com; (2) adailton@unesc.net

RESUMO

O presente trabalho demonstra o dimensionamento geotécnico e estrutural, com base em estudos geotécnicos e geológicos, das fundações profundas do Residencial Santorini, localizado na Rua Padre Anchieta, s/nº, no município de Siderópolis, Estado de Santa Catarina. Com base em investigações geotécnicas, determinou-se o perfil estratigráfico estimado do solo de fundação, o qual encontra-se composto por uma camada de estéril de cobertura (blocos de rocha e pedregulhos de grande diâmetro), apoiada sobre um maciço rochoso (siltito). A heterogeneidade e falta de parâmetros geotécnicos da camada de estéril de cobertura, obrigou o embutimento das fundações no maciço rochoso. A capacidade de carga das fundações foi determinada pela aplicação do método de Cabral-Antunes (2000). Com base nas características geotécnicas do solo de fundação e no método de dimensionamento, determinou-se a utilização de estaca raiz de diâmetro de 20 cm, com comprimento médio de 10 m. Após o dimensionamento, levantou-se o custo da implantação das fundações para bloco de 02(dois) e 03(três) dormitórios, respectivamente, elaborando-se no final, o projeto geotécnico e estrutural das fundações dos referidos blocos de apartamentos.

Palavras-Chave: Investigações Geotécnicas e Geológicas, Estacas Raiz, Projeto Geotécnico de Fundações Profundas.

1 INTRODUÇÃO

Fundações são elementos estruturais, que possuem a função de absorver e transmitir os esforços da superestrutura, de forma segura, ao solo em que a mesma se apoia, garantindo a integridade ao longo de sua vida útil. Fundações mal dimensionadas podem ocasionar patologias (fissuras, trincas, etc) nas superestruturas e em casos extremos o colapso da mesma, devido a ruptura do elemento de fundação e/ou do solo de fundação. Portanto, para garantir as condições mínimas de segurança, funcionalidade e durabilidade das fundações do Residencial Santorini, objeto de estudo neste trabalho, desenvolveu-se o projeto geotécnico das fundações. Para atingir os objetivos propostos, levantou-se os dados referentes aos projetos estruturais da obra (blocos, com apartamentos de dois e três

dormitórios) e determinou-se as características geotécnicas do solo de fundação (estratigrafia e parâmetros de resistência), através de investigações geotécnicas (sondagem à percussão e mista). Estas informações fizeram-se necessárias para definição do tipo de fundação a ser adotada, bem como, para o dimensionamento geotécnico e estrutural da mesma.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento adequado deste trabalho, foi realizada, inicialmente, uma revisão bibliográfica dos métodos de dimensionamento e investigações geotécnicas (sondagem à percussão e mista), destinadas à elaboração de projeto geotécnico de fundações. Após esta revisão, foi feito um levantamento dos dados existentes sobre Residencial Santorini, tais como, projetos estruturais (plantas de carga dos blocos) e relatórios das investigações geotécnicas. De posse dos resultados das investigações, elaborou-se o perfil estratigráfico estimado do solo de fundação, o que permitiu a definição do tipo e do elemento de fundação a ser adotada para as superestruturas em questão. Definido o elemento fundação, partiu-se, na sequência, para determinação da capacidade de carga do mesmo, através do método de Cabral-Antunes (2000), que calcula a capacidade de carga de estacas embutidas em rocha. A aplicação do método foi feita por meio de planilhas eletrônicas. Por fim, e com o dimensionamento em mãos, determinou-se o custo total de implantação dos projetos geotécnicos.

2.1 LOCALIZACAO DA ÁREA OBJETO DE ESTUDO

A área destinada a implantação do Residencial Santorini (Figura 1), encontra-se situada na Rua Padre Anchieta, s/nº, bairro Tereza Cristina, no município de Siderópolis, Estado de Santa Catarina, nas coordenadas *Universal Transversa de Mercator* (UTM) Norte: 6.836.376,44 m e Este: 653.901,42 m.

Figura 01 – Localização da área objeto de estudo.



Fonte: Google Earth. Disponível em:< www.google.com.br>, 2013.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DA OBRA

O Residencial Santorini é composto por 06 (seis) blocos, com 04 (quatro) pavimentos, sendo que cada pavimento possui 04 (quatro) apartamentos, perfazendo um total de 96 (noventa e seis) residências. Cada apartamento tem uma metragem aproximada de 60 (sessenta) metros quadrados e cada um possui uma vaga de garagem descoberta. O residencial ainda possui 02 (duas) churrasqueiras coletivas e 01 (um) salão de festas. A Figura 02 mostra a vista aérea da maquete eletrônica do Residencial Santorini.

Figura 02 – Vista aérea maquete eletrônica do Residencial Santorini.



Fonte: Athena Construções LTDA (2012).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 GEOLOGIA DA ÁREA OBJETO DE ESTUDO

A área do Residencial Santorini, encontra-se situada numa região do município de Siderópolis, com ocorrência da Formação Rio Bonito. Esta Formação está subdividida em 03 (três) membros: Membro Triunfo, Membro Paraguaçu e Membro Siderópolis. White (1908) propõe a denominação de "camadas do Rio Bonito" para diferenciar o conjunto de rochas areníticas, agregadas a pelitos e camadas de carvão, entre as cidades de Lauro Müller, Guatá e São Joaquim, em Santa Catarina. Na área, objeto de estudo, a geologia é representada pelo Membro Siderópolis, que constitui o terço superior da Formação, caracterizado por uma grossa camada de arenitos, com intercalações de siltitos, folhelhos carbonosos e carvão. Apresenta, geralmente, uma laminação plano-paralela, truncada por onda cruzada cavalgante.

3.2 DETERMINAÇÃO DO PERFIL ESTRATIGRÁFICO ESTIMADO

A investigação geotécnica do solo de fundação foi realizada pela empresa Locks Sondagens e Fundações, e consistiu de 01 (um) furo de sondagem à percussão

(SP-01) e de 05 (cinco) furos de sondagem mista (SM-02, SM-03, SM-04, SM-05 e SM-06), nos quais determinou-se, sempre que possível, o NSPT. A Figura 03 demonstra a localização dos furos de sondagem.

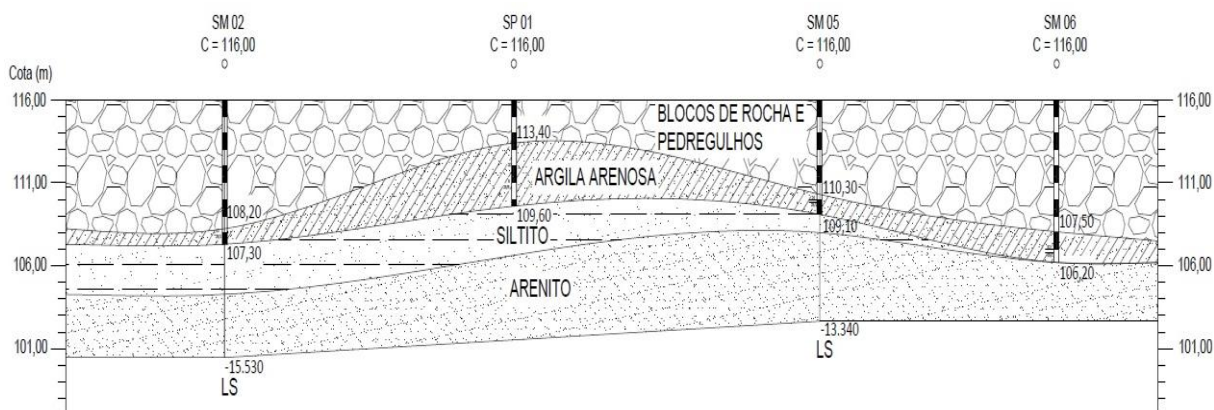
Figura 03 - Locação dos furos de sondagem.



Fonte: Locks Sondagens (2012).

Com base nos dados dos furos SP-01, SM-02, SM-05 e SM-06, elaborou-se o perfil estratigráfico estimado do solo de fundação (Figura 04).

Figura 04 – Perfil estratigráfico do solo de fundação (SP-02, SP-01, SM-05, SM-06).



Fonte: O autor.

3.3 DESCRIÇÃO DOS TESTEMUNHOS DE SONDAGEM

A descrição geológico-geotécnica dos materiais dos furos de sondagem mista executados na obra, foi realizada com base em fotografias tiradas ao longo do processo de execução. A descrição quanto à sanidade, fraturamento e recuperação dos testemunhos de sondagem, obteve-se com o auxílio do geólogo Clóvis Norberto Savi.

No furo SM-05 (116,00 m) foram executadas 05 (cinco) manobras com barrilete de 1,0m. A primeira, ficou compreendida entre as cotas 110,05 m e 109,60 m e encontrou-se fragmento de arenito muito fino, siltito cinza escuro pouco alterado (A2) e pouco fraturado (F2), segundo a classificação da ABGE (1998). A recuperação de foi de 33,64%. A segunda, entre as cotas 109,60 m e 108,00 m, encontrou-se siltito escuro pouco laminado, com níveis mais arenosos (esbranquiçados), passando para um arenito fino cinza claro, pouco alterado (A2) e sem fraturamento (F1), segundo a classificação da ABGE (1998). A recuperação foi de 98,34%. A terceira, ficou entre as cotas 108,00 m e 106,89 m, contendo arenito fino com níveis de siltito escuro laminado, intercalados, são (A1), e sem fraturamento (F1), segundo a classificação da ABGE (1998), e resultou numa recuperação de 91,80%. A quarta, compreendida entre as cotas 106,89 m e 105,30 m, que possui predominantemente arenito fino cinza claro, sem laminação, são (A1), e sem fraturamento (F1), segundo a classificação da ABGE (1998), resultou numa recuperação de 96,65%. A quinta, entre as cotas 105,30 m a 103,89 m, contendo cerca de 0,10m de siltito carbonoso passando para arenito fino são (A1), e sem fraturamento (F1), segundo a classificação da ABGE (1998), e resultou numa recuperação de 87,61%. A Figura 05 ilustra os testemunhos de sondagem do furo SM-05.

Figura 05 - Testemunhos de rocha do furo SM-05.



Fonte: Athena Construções LTDA (2012).

No furo SM-02 (116,00 m) foram executadas 02 (duas) manobras com barrilete de 1,0m. A primeira, compreendida entre as cotas 108,14 m e 105,74 m, contendo siltito cinza escuro, são (A1), laminado, com níveis mais areníticos intercalados e fraturamento praticamente ausente (F1), segundo a classificação da ABGE (1998), e com recuperação de 81,54%. A segunda, entre as cotas 105,74 m e 104,28 m, contendo siltito cinza escuro são (A1), com pouca laminação e níveis areníticos intercalados e fraturamento praticamente ausente (F1), segundo a classificação da ABGE (1998) e resultou numa recuperação de 61,23%. A Figura 06 ilustra os testemunhos de sondagem do furo SM-02.

Figura 06 - Testemunhos de rocha do furo SM-02.



Fonte: Athena Construções LTDA (2012).

As Tabelas 01 e 02, mostram o Grau de Alteração e o Grau de Fraturamento de acordo com o solo de fundação e a cota dos respectivos furos de sondagem.

Tabela 01 - Grau de Alteração do Solo, Furo SM-05.

Manobras Cota/Profundidade (m)	Tipo de Rocha	Grau de Alteração	Grau de Fraturamento
110,05 a 109,60 (5,50 a 6,40)	Siltito	A2 (pouco alterada)	F2 (pouco fraturada)
109,60 a 108,00 (6,40 a 8,00)	Siltito	A2 (pouco alterada)	F1 (maciça)
108,00 a 106,89 (8,00 a 9,11)	Arenito	A1 (sã)	F1 (maciça)
106,69 a 105,30 (9,11 a 10,70)	Arenito	A1 (sã)	F1 (maciça)
105,30 a 103,89 (10,70 a 12,11)	Arenito	A1 (sã)	F1 (maciça)

Fonte: O autor.

Tabela 02 - Grau de Alteração do Solo, Furo SM-02.

Manobras Cota/Profundidade (m)	Tipo de Rocha	Grau de Alteração	Grau de Fraturamento
108,14 a 105,74 (7,86 a 10,26)	Siltito	A1 (sã)	F1 (maciça)
105,74 a 104,28 (10,26 a 11,72)	Siltito	A1 (sã)	F1 (maciça)

Fonte: O autor.

3.4 DEFINIÇÃO DO TIPO DE FUNDAÇÃO ADOTADA

Em virtude da heterogeneidade e da falta de parâmetros geotécnicos do material que constitui a camada denominada de estéril de cobertura (blocos, matacos e pedregulhos envoltos numa matriz de solo argiloso), optou-se por apoiar as fundações dos blocos do Residencial Santorini, no maciço rochoso, mais

especificamente, na camada de siltito. Logo, a solução técnica adotada, para atingir o objetivo proposto foi a estaca raiz, uma vez que a mesma foi concebida, exatamente, para ser executada neste tipo de solo de fundação.

Segundo Joppert Júnior (2007), as estacas raiz são estacas moldadas *in loco*, executadas através de perfuratrizes rotativas e/ou percussivas, preferencialmente, utilizando revestimento ao longo de todo o furo, de modo a garantir a integridade de seu fuste. Para penetrar em materiais mais densos, como alvenarias, matacões, rocha, entre outras, podemos lançar mão de ferramentas como coroa com pastilha de *videa* e martelo de fundo de rotopercussão. A armação a ser implantada, definida pelo projetista, deve seguir até o final da estaca, podendo ser executada do tipo feixe ou gaiola. Em perfurações grandes, que necessita de emenda de barras, deve ser executado o transpasse das mesmas, quando submetida a compressão, e luvas, quando submetidas a tração. Após a colocação da armação, inicia-se a injeção da argamassa fluída, de forma que seja executada de baixo para cima, até transbordar no topo do furo, de modo que expulse todas as impurezas da perfuração.

3.5 DEFINIÇÃO DOS INTERVALOS DE CARGA

A definição do intervalo de carga dos blocos dos apartamentos com 02 (dois) e com 03 (três) dormitórios do Residencial Santorini, foi feita com base nas informações da planta de carga dos mesmos, adotando-se 04 (quatro) intervalos para cada um dos blocos. Os referidos intervalos encontram-se nas Tabelas 03 e 04, respectivamente. Os intervalos de carga tem a função de uniformizar o dimensionamento e otimizar a execução das fundações.

Tabela 03 - Intervalo de carga para bloco de 02 (dois) dormitórios.

Pilar Nº	Furo Nº	Carga do Pilar (kN)	Intervalo de Carga (kN)	Pilar Nº	Furo Nº	Carga do Pilar (kN)	Intervalo de Carga (kN)
P1	SM -02	116		P11	SM -02	384	
P4	SM -02	116		P12	SM -02	384	
P33	SM -02	117	IC - 01	P15	SM -02	388	
P36	SM -02	117	173	P16	SM -02	388	IC - 03
P31	SM -02	173		P20	SM -02	414	416
P32	SM -02	173		P23	SM -02	414	
P13	SM -02	235		P21	SM -02	416	
P18	SM -02	235		P22	SM -02	416	
P19	SM -02	236		P14	SM -02	425	
P24	SM -02	236		P17	SM -02	426	
P5	SM -02	251	IC - 02	P10	SM -02	429	
P6	SM -02	251	270	P27	SM -02	429	IC - 04
P34	SM -02	268		P30	SM -02	429	504
P35	SM -02	268		P7	SM -02	429	
P2	SM-02	270		P8	SM-02	499	
P3	SM-02	270		P28	SM-02	504	
P25	SM-02	379	IC - 03	P29	SM-02	504	
P26	SM-02	379	416	P9	SM-02	504	

Fonte: O autor.

Tabela 04 - Intervalo de carga para bloco de 03 (três) dormitórios.

Pilar N°	Furo N°	Carga do Pilar (kN)	Intervalo de Carga (kN)	Pilar N°	Furo N°	Carga do Pilar (kN)	Intervalo de Carga (kN)
P25	SM - 06	121		P11	SM - 06	287	
P32	SM - 06	121		P37	SM - 06	287	
P17	SM - 06	122		P33	SM - 06	288	
P24	SM - 06	122		P34	SM - 06	288	
P43	SM - 06	164	IC - 01	P38	SM - 06	288	
P44	SM - 06	164	176	P14	SM - 06	290	IC - 03
P5	SM - 06	164		P12	SM - 06	295	300
P6	SM - 06	164		P13	SM - 06	295	
P41	SM - 06	176		P18	SM - 06	298	
P42	SM - 06	176		P23	SM - 06	298	
P7	SM - 06	234		P26	SM - 06	299	
P8	SM - 06	234		P31	SM - 06	300	
P1	SM - 06	237		P27	SM - 06	332	
P4	SM - 06	237		P30	SM - 06	332	
P45	SM - 06	240		P19	SM - 06	339	
P46	SM - 06	240		P22	SM - 06	339	
P47	SM - 06	240	IC - 02	P15	SM - 06	445	
P48	SM - 06	240	275	P28	SM - 06	445	IC - 04
P2	SM - 06	247		P29	SM - 06	445	477
P3	SM - 06	247		P39	SM - 06	446	
P16	SM - 06	273		P10	SM - 06	447	
P35	SM - 06	275		P36	SM - 06	447	
P40	SM - 06	275		P20	SM - 06	477	
P9	SM - 06	275		P21	SM - 06	477	

Fonte: O autor.

3.6 DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE CARGA DA ESTACA RAIZ

No item 3.4, definiu-se que para as fundações do Residencial Santorini, serão adotadas estacas raiz, e que as mesmas deverão estar embutidas no maciço

rochoso (camada de siltito). Logo, adotou-se neste trabalho, o método de Cabral-Antunes (2000), para estimativa da capacidade de carga destas estacas.

3.6.1 Método de Cabral-Antunes (2000)

O método de Cabral-Antunes (2000), estabelece para sua aplicação, que a capacidade de carga de estacas embutidas em rocha, e que atravessando camadas de solo com ou sem encamisamento (para $L > 20.D$ e NSPT médio do fuste > 10) pode ser considerada como a soma da parcela da resistência por atrito lateral com a parcela de resistência de ponta. Porém, na maioria dos casos, considera-se apenas a capacidade de carga do trecho em rocha, sendo desprezada a contribuição do solo e utiliza-se um coeficiente de segurança global igual a 3,0. Além do fator da qualidade do maciço rochoso, que pode ser caracterizado por meio de ensaios de Resistência a Compressão Simples ($RCS = \sigma_c$), o método de Cabral-Antunes (2000) depende também da limpeza da ponta da estaca, onde ocorre o contato concreto-rocha. A determinação da capacidade de carga de fundações profundas (Q_R), através do método de Cabral-Antunes (2000) é realizada por meio da seguinte equação:

$$Q_R = \sigma_p \cdot A_p + \sigma_l \cdot U \quad (1)$$

Sendo:

Q_R = Carga de Ruptura;

σ_p = resistência de ponta unitária;

A_p = área de ponta da estaca;

σ_l = resistência devido ao atrito lateral;

U = perímetro embutido em rocha.

A NBR 6122/2010, estabelece que a determinação da capacidade de carga de fundações profundas admissível (Q_{adm}), seja calculada com um fator de segurança global (FS) igual a 2,0.

$$Q_{adm} = \frac{Q_R}{FS} \quad (2)$$

Para o cálculo da resistência de ponta unitária (σ_p), é proposta pelos autores Cabral e Antunes (2000) a seguinte equação:

$$\sigma_p = \beta_p \cdot \sigma_c < 0,40 \cdot f_{ck} \text{ (valor máx. = 8,0 Mpa)} \quad (3)$$

onde, β_p é uma valor adimensional de correlação, descrito na Tabela 05 e σ_c é a resistência a compressão simples da rocha, descrita na Tabela 06.

Tabela 05 - Coeficiente de correlação β_p .

TIPO DE ROCHA	β_p	
	Variação	Média
Muito alterada	0,07 a 0,13	0,10
Alterada	0,24 a 0,36	0,30
Pouco alterada a sã	0,48 a 0,60	0,54

Fonte: Cabral-Antunes (2000).

Tabela 06 - Valores indicativos de σ_c .

TIPO DE ROCHA	σ_c (Mpa)
Rochas ígneas e metamórficas(Basaltos, gnaisses e granitos	70 a 250
Rochas metamórficas foliadas (ardósias e xistos)	40 a 90
Rochas Sedimentares bem cimentadas (Arenitos, calcários e siltitos)	30 a 80

Fonte: Cabral-Antunes (2000).

Para o cálculo da resistência por atrito lateral unitária (σ_l) da estaca, são indicadas duas limitações pelos autores, que são:

$$\sigma_l = \frac{f_{ck}}{15} \text{ ou } \sigma_l = \sigma_p \cdot 0,035 \text{ (valor máx = 1,33 MPa)} \quad (4)$$

Com relação ao comprimento mínimo de embutimento da estaca (L_e) é recomendado, pelos autores, a distinção do fator multiplicador do diâmetro da estaca (D), devido a qualidade da rocha de apoio e nível de confiança da limpeza da ponta da estaca, descritos na Tabela 07:

Tabela 07 - Limpeza de estacas e qualidade da rocha de apoio

Nível de Confiança e qualidade da rocha	Fator Multiplicador
Não existe dúvidas quanto a limpeza e qualidade da rocha de apoio	$Le = 0,5 \cdot D$
Possibilidade da qualidade da rocha de apoio inferior ao encontrada no final da perfuração	$Le = 1,5 \cdot D \rightarrow \sigma_p > 30\text{MPa}$ $Le = 2,0 \cdot D \rightarrow 15\text{ MPa} < \sigma_p < 30\text{ MPa}$
Problemas com relação a limpeza e qualidade da rocha de apoio	$Le = 3,0 \cdot D \rightarrow \sigma_p > 30\text{MPa}$ $Le = 4,0 \cdot D \rightarrow 15\text{ MPa} < \sigma_p < 30\text{ MPa}$

Fonte: Cabral-Antunes (2000).

3.7.1 Resistência a Compressão Simples da Rocha

O valor adotado para resistência a compressão simples do maciço rochoso (siltito) foi considerada 14,61 MPa, valor este determinado no Estudo de Caracterização Geológico-Geotécnico de Maciço de Fundação Rochoso - Construtora Edson Damiani, realizado abril de 2011. Este valor foi considerado no dimensionamento, pelo fato de Cabral-Antunes (2000) apresentarem parâmetros de resistência a compressão simples da rocha (siltito) superiores (30 a 80 MPa), aos resultados apresentados para a região da Formação Rio Bonito, Membro Siderópolis, determinado no Estudo de Caracterização Geológico-Geotécnico de Maciço de Fundação Rochoso - Construtora Edson Damiani, realizado em abril de 2011.

Outra consideração levada em conta nos cálculos foi o pior caso possível para os embutimentos em rocha, considerando a estaca embutida apenas em siltito, que possui uma resistência a compressão menor do que os 19,33 MPa do arenito, valor determinado no Estudo de Caracterização Geológico-Geotécnico de Maciço de Fundação Rochoso - Construtora Edson Damiani, realizado em abril de 2011.

3.7.2 Utilização de Revestimento no Estéril de Cobertura

De acordo com os boletins de sondagem fornecidos, é possível notar que se faz necessário o uso de revestimento para o avanço do furo, o que caracteriza grandes descontinuidades no estéril de cobertura. Com o objetivo de precaver problemas no

momento da execução das estacas, todas elas deverão conter revestimento em PVC (policloreto de polivinila), até o encontro com a rocha, a fim de não ocorrer perda de argamassa fluída nos vazios do estéril de cobertura.

3.7.3 Profundidade de Embutimento em Rocha e Cargas

Com o auxílio de planilha eletrônica, foi determinada a capacidade de carga da estaca para profundidades de embutimento em rocha, para variações de 0,80m a 1,60m. A definição de embutimento mínimo atende o critério exigido pelo método Cabral Antunes (2000), que é o diâmetro da própria estaca multiplicado por 4,0.

Após o dimensionamento com auxílio de planilha eletrônica, para diversos diâmetros de estaca, especificou-se para o presente caso a utilização de estaca raiz com diâmetro de 20cm, embutida 1,50m em rocha. A Tabela 08 apresenta o embutimento (ΔL_e) em rocha e suas respectivas carga de ponta ($\sigma_p \cdot A_p$), carga de atrito lateral ($\sigma_l \cdot U$), carga de ruptura (Q_R), carga admissível de projeto (Q_{ADM}).

Tabela 08 - Embutimentos e Cargas.

ΔL_e (m)	$\sigma_p \cdot A_p$ (kN)	$\sigma_l \cdot U$ (kN)	Q_R (kN)	Q_{ADM} (kN)
0,80	247,85	138,79	386,64	193,32
0,90	247,85	156,14	403,99	201,99
1,00	247,85	173,49	421,34	210,67
1,10	247,85	190,84	438,69	219,34
1,20	247,85	208,19	456,04	228,02
1,30	247,85	225,54	473,38	236,69
1,40	247,85	242,89	490,73	245,37
1,50	247,85	260,24	508,08	254,04
1,60	247,85	277,59	525,43	262,72

Fonte: O autor.

A seguir, as Tabelas 09 e 10 demonstram as quantidades de estacas necessárias, para os referidos intervalos de carga, e o total de estacas para cada um dos blocos.

Tabela 09 - Quantidade de estacas por intervalo de carga para bloco de 02 dormitórios e total de estacas.

Bloco	Intervalo de Carga	Quantidade de estacas	Total de Estacas
02 dormitórios	IC 01 - 173 kN	1	66
	IC 02 - 270 kN	2	
	IC 03 - 416 kN	2	
	IC 04 - 504 kN	2	

Fonte: O autor.

Tabela 10 - Quantidade de estacas por intervalo de carga para bloco de 03 dormitórios e total de estacas.

Bloco	Intervalo de Carga	Quantidade de estacas	Total de Estacas
03 dormitórios	IC 01 - 176 kN	1	86
	IC 02 - 275 kN	2	
	IC 03 - 300 kN	2	
	IC 04 - 477 kN	2	

Fonte: O autor.

3.8 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

O dimensionamento estrutural das estacas raiz foi feito com base nos dados da Tabela 11, obtida através do Manual da SOLOTRART.

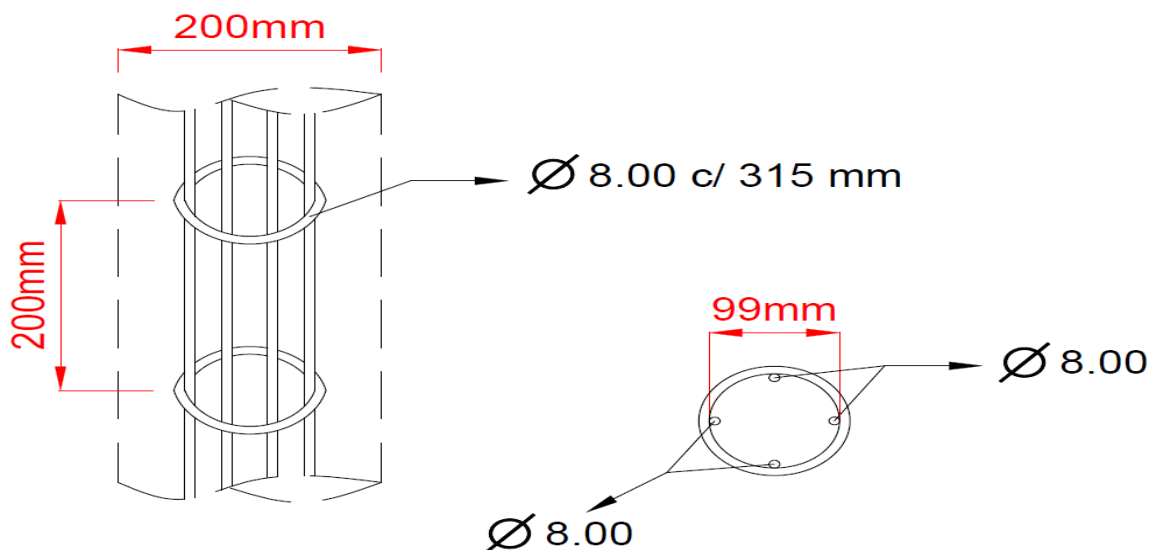
Tabela 11 - Dimensionamento estrutural da estaca raiz.

		Dimensionamento estrutural da estaca raiz (kN)								
Diâmetro da Estaca(cm)		10	12	15	16	20	25	31	41	50
Armação de Aço CA 50 (mm)										
	1 Φ 16 ou 4 Φ 8	100	100	150	150	250	400	600		
	1 Φ 25 ou 4 Φ 12,5	150	150	200	250	300	450	650		
	3 Φ 16 ou 5 Φ 12,5		200	250	250	350	500	700	1100	1600
	4 Φ 16		250	300	300	400	500	750	1150	1650
	5 Φ 16			350	350	450	550	750	1200	1700
	6 Φ 16 ou 4 Φ 20				400	500	600	800	1250	1750
	7 Φ 16 ou 5 Φ 20				450	550	650	850	1300	1800
	6 Φ 20 ou 5 Φ 22					600	750	950	1400	1900
	7 Φ 20 ou 6 Φ 22						800	1050	1500	1950
	8 Φ 20									2000
Estribos	Aço (mm)			5,0	5,0	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
	Espaçamento (cm)			20	20	20	20	20	20	20
	Diâmetro (cm)	6,7	6,7	8,3	8,3	9,9	14,0	19,0	25,0	34,0

Fonte: Solotrat 2006 (p. 48)

Para o tipo de estaca adotado é admitido dois tipos de dimensionamento estrutural: 1 Φ 16.0mm ou 4 Φ 8.0mm. Os dois atingem a mesma capacidade de carga de 250 kN, ficando a critério do projetista, a escolha do dimensionamento. Diante disto e em vista da estrutura da armação das estacas, foi adotado o dimensionamento com 4 Φ 8.0mm e por motivos econômicos, será utilizado estribos de 8.0mm que atendem com confiança a solicitação de armação. A Figura 06 ilustra o detalhamento transversal da estaca bem como sua seção longitudinal.

Figura 06 - Detalhamento transversal e seção longitudinal.



Fonte: O autor.

3.9 DETERMINAÇÃO DE CUSTO PARA A IMPLANTAÇÃO DO TIPO DE FUNDAÇÃO.

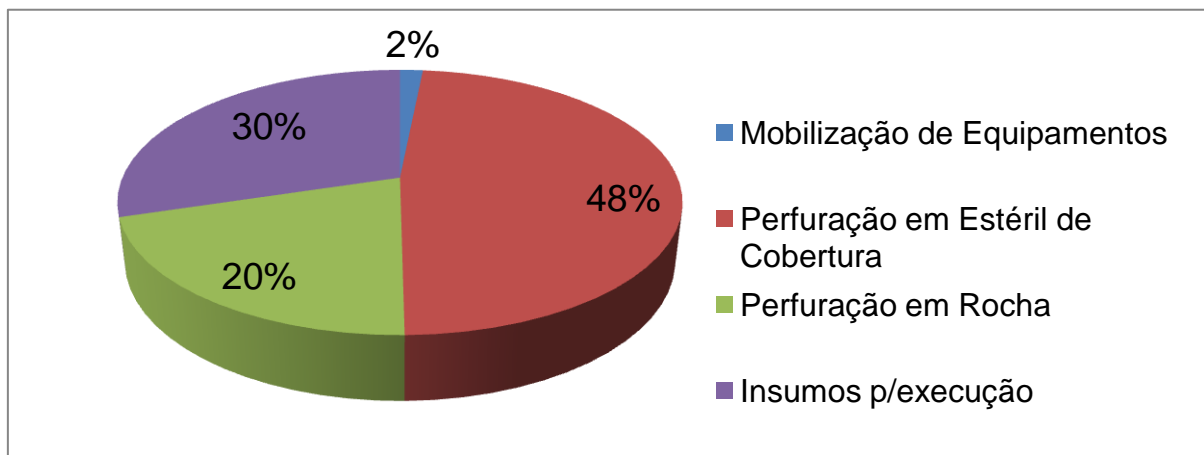
As Tabelas 12 e 13 demonstram a determinação do custo unitário para os blocos com 02 e 03 dormitórios, respectivamente. As Figuras 07 e 08 ilustram a porcentagem de influencia de cada etapa do processo executivo. Os valores referentes aos insumos e a mão de obra utilizados para a execução foram levantados a partir do relatório de Outubro de 2013 do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), para o Estado de Santa Catarina e orçamento em mercado local. Os valores referentes aos furos em estéril de cobertura e em rocha foram disponibilizados pela empresa Fundasul Engenharia Geotécnica.

Tabela 12 - Determinação de Custo para Estaca Raiz - Blocos de 02 dormitórios.

Estaca Raiz (Φ 20 cm)	Unidade	Quantidade	Valor unitário	Valor total
Furo em estéril de cobertura	m	561	R\$110,00	R\$ 61.710,00
Furo em Rocha	m	99	R\$ 265,00	R\$ 26.235,00
Mobilização do equipamento	unid.	0,167	R\$ 12.000,00	R\$ 2.000,00
			Total de perfuração	R\$ 89.945,00
Insumos + Mão de Obra (Aço CA-50, argamassa, PVC)			Total de insumos	R\$ 38.035,96
			Total Geral	R\$ 127.980,96

Fonte: O autor.

Figura 07 - Percentual no custo dos elementos para a execução da fundação do bloco 02 dormitórios.



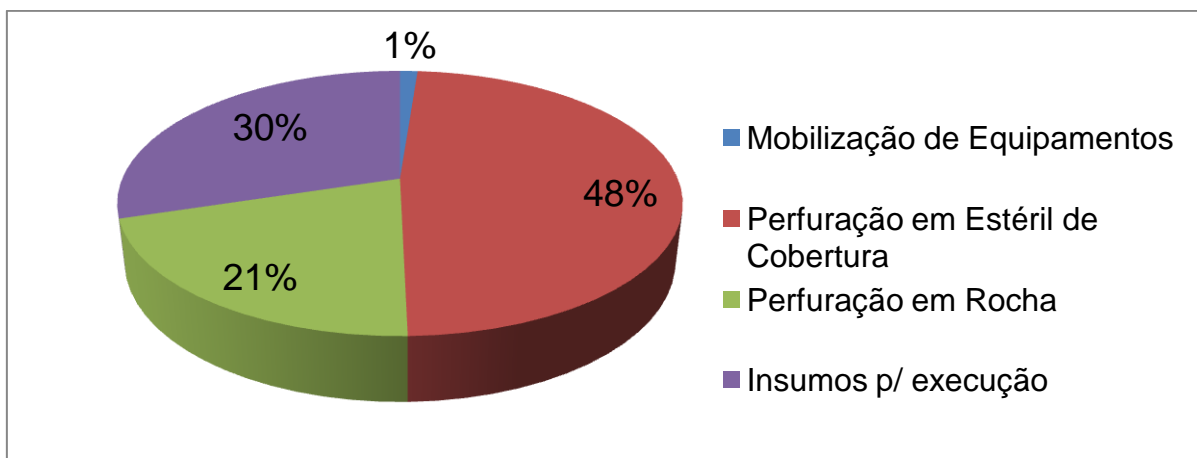
Fonte: O autor.

Tabela 13 - Determinação de Custo para Estaca Raiz - Blocos de 03 dormitórios.

Estaca Raiz (Φ 20 cm)	Unidade	Quantidade	Valor unitário	Valor total
Furo em estéril de cobertura	m	731	R\$110,00	R\$ 80.410,00
Furo em Rocha	m	129	R\$ 265,00	R\$ 34.185,00
Mobilização do equipamento	unid.	0,167	R\$ 12.000,00	R\$ 2.000,00
			Total de perfuração	R\$ 116.595,00
Insumos + Mão de Obra (Aço CA-50, argamassa, PVC)			Total de insumos	R\$ 49.432,98
			Total Geral	R\$ 166.027,98

Fonte: O autor.

Figura 08 - Percentual no custo dos elementos para a execução da fundação do bloco 03 dormitórios.



Fonte: O autor.

4 CONCLUSÕES

A fundação adotada para os blocos de apartamentos do Residencial Santorini foi estaca raiz. A mesma foi escolhida devido a necessidade de embutí-la no maciço rochoso (siltito). Já que, a heterogeneidade e falta de parâmetros geotécnicos da camada denominada de estéril de cobertura, situada acima do maciço rochoso, inviabilizava o apoio das fundações nessa camada.

No presente dimensionamento, ficou definido que as fundações do Residencial Santorini serão do tipo estacas raiz, com diâmetro de 20 cm, armadas com 4 Φ 8.00 mm, com fuste de 10 m, sendo 8,50 m em estéril de cobertura em média e 1,50m em rocha. O dimensionamento geotécnico e estrutural das fundações, teve como objetivo o aproveitamento máximo da capacidade de carga do solo de fundação e da capacidade de carga estrutural das estacas.

As fundações do bloco de apartamentos com 02 (dois) dormitórios ficaram constituídas por 66 (sessenta e seis) estacas raiz, cujo custo de implantação totalizou R\$ 127.980,96. Já, as fundações do bloco de apartamentos com 03 (três) dormitórios, encontra-se composto por um total de 86 (oitenta e seis) estacas, totalizando R\$ 166.027,98. A perfuração em estéril de cobertura, é a atividade com maior representatividade (48%), no custo total de implantação das fundações.

5 REFERENCIAS

ABGE. **Geologia de engenharia**. São Paulo:, ABGE. 586 p.

ANTUNES, W.R.; CABRAL, D.A. (2000). **Sugestão para a Determinação da Capacidade de Carga de Estacas Escavadas Embutidas em Rocha**. IV Seminário de Engenharia de Fundações Especiais - SEFE IV São Paulo, SP, Vol.1, pg. 169-173.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS - NBR 6122. **Projeto e execução de fundações**.Rio de Janeiro, 1996.

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

SINAPI. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. Disponível em:
<http://downloads.caixa.gov.br/_arquivos/sinapi/insumos_comdes_out_2013/Precos_Insumos_SC_OUT_2013_SEM_DESONERA%C7%C3O.pdf> Acesso em 18 de novembro de 2013.

WHITE, Israel Charles. **Relatório Final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil**. Rio de Janeiro, DNPM , 1988.