



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACIG

**COMPARATIVO ENTRE DOIS MÉTODOS DE CÁLCULO DE TENSÃO
ADMISSÍVEL DE SOLO PARA DIMENSIONAMENTO DE SAPATAS ISOLADAS**

Lucas Ramos Leal

MANHUAÇU - MG

2019

**COMPARATIVO ENTRE DOIS MÉTODOS DE CÁLCULO DE TENSÃO
ADMISSÍVEL DE SOLO PARA DIMENSIONAMENTO DE SAPATAS ISOLADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado no Curso Superior de
Engenharia Civil do Centro Universitário
UNIFACIG, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Área de Concentração: Fundações.

Orientador: Carlos Henrique Carvalho Júnior.

RESUMO

As fundações são elementos estruturais que tem a finalidade de transmitir seguramente as cargas de uma edificação para um dado solo, sem provocar a ruptura no mesmo. Para dimensioná-las, qualquer que seja o tipo, inicialmente deve-se obter os valores de capacidade de carga do solo, e para tanto existem diversos métodos de cálculos, de acordo com as revisões bibliográficas realizadas, os quais foram destacados neste artigo: o método empírico do SPT médio e o método de Terzaghi. Neste sentido o presente artigo busca apontar as diferenças entre os métodos de cálculos de determinação de tensões admissíveis de solo. Sendo assim, a partir dos cálculos dos valores da tensão admissível de um determinado solo, embasado pelos dois métodos, bem como o dimensionamento de uma sapata isolada para cada valor de carga do solo, foram desenvolvidas a análise e comparação dos resultados, concluindo-se que o método de Terzaghi foi mais satisfatório que resultados obtidos pelo método do SPT médio.

Palavras-chave: Fundações. Tensão Admissível. Métodos.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fatores de segurança.....	9
Tabela 2: Classes de agressividade ambiental	9
Tabela 3: Cobrimento nominal	10
Tabela 4: Parâmetros médios do solo.....	11
Tabela 5: Fatores de forma	12
Tabela 6: Bitolas de aço	14
Tabela 7: Volume de concreto.....	18
Tabela 8: Número de barras de aço.....	18

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de Fundações superficiais	7
Figura 2: Perfil de uma sapata	8
Figura 3: Ábaco dos fatores de capacidade de carga	11
Figura 4: Dimensões de uma sapata.....	12
Figura 5: Demonstração da seção que resiste o momento fletor	13
Figura 6: Representação do bulbo de pressão.....	15
Figura 7: Gráfico do volume de concreto	18
Figura 8: Gráfico do número de barras	18

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
2. REFERENCIAL TEÓRICO	7
2.1. Investigação Geotécnica	7
2.2. Fundações.....	7
2.3. Métodos de Dimensionamento	10
3. METODOLOGIA.....	14
4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS	15
4.1. Tensões Admissíveis do Solo	15
4.2. Dimensionamento da Primeira Sapata	16
4.3. Dimensionamento da Segunda Sapata	17
4.4. Discussões	17
5. CONCLUSÃO.....	19
6. REFERÊNCIAS.....	20
ANEXOS	21
Anexo 1: Laudo de Sondagem SPT	21
Anexo 2: Dimensionamento da Primeira Sapata.....	22
Anexo 3: Dimensionamento da Segunda Sapata.....	23

1. INTRODUÇÃO

Fundações são elementos estruturais cuja função é transmitir as cargas de uma estrutura para um determinado solo, a fim de manter estabilidade e segurança, de modo que não cause recalques diferenciais que venham prejudicar o sistema estrutural.

Dentre os tipos de fundações usuais, para se escolher qual utilizar em determinada obra, e para dimensionar qualquer que seja o tipo escolhido, precisa-se primeiramente identificar os valores da resistência do solo em que será edificado a construção, para isso existem diversos meios de tipificar um solo, suas características e obter sua resistência.

De acordo com Décourt e Quaresma (1998), dentre os métodos conhecidos para sondagem de solo, no Brasil se destaca o ensaio SPT (Standard Penetration Test), que é o mais usual, por dar as características físicas do solo, tipo do solo, nível da água, e a resistência de penetração do solo.

Porém, segundo Velloso e Lopes (2010), no Brasil a técnica das fundações ainda não tem recebido o tratamento científico adequado, referente à realização das sondagens. Ponto esse mais evidente em cidades do interior aonde a prática em realizar sondagens para executar obras é rara.

Visto ainda, que o fator economia é grandemente interferido ao dimensionar as fundações, com as características geotécnicas se tem um melhor aproveitamento em relação da escolha da fundação com o tipo do solo. Sem a sondagem a obra tem que ser executada com um fator de segurança alto.

Para determinar a taxa da resistência de um solo, através de um laudo de sondagem, existem métodos de cálculos empíricos, semi-empíricos e racionais, métodos esses únicos e que cada um tem sua peculiaridade. O artigo abordará a comparação de dois métodos de cálculo, e apontar como esses métodos podem ser divergentes um dos outros.

A falta de sondagem, ou até mesmo do conhecimento dos possíveis métodos de cálculos, faz com que, no caso de dimensionamento de sapatas, a obtenção da tensão admissível do solo seja realizada por métodos empíricos, e por ter um fator de segurança alto acaba se tendo um certo superdimensionamento nos elementos estruturais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Investigação Geotécnica

De acordo com Décourt e Quaresma (1998) a elaboração de projetos de fundação exige um conhecimento prévio e profundo dos solos. É necessário proceder-se à identificação e classificação de cada camada que compõe o solo a ser analisado, assim como a avaliação das suas propriedades.

Entre os ensaios de campo existentes em todo o mundo, o SPT (*Standard Penetration Test*), é de longe, o mais executado na maioria dos países e no Brasil (DÉCOURT E QUARESMA, 1998).

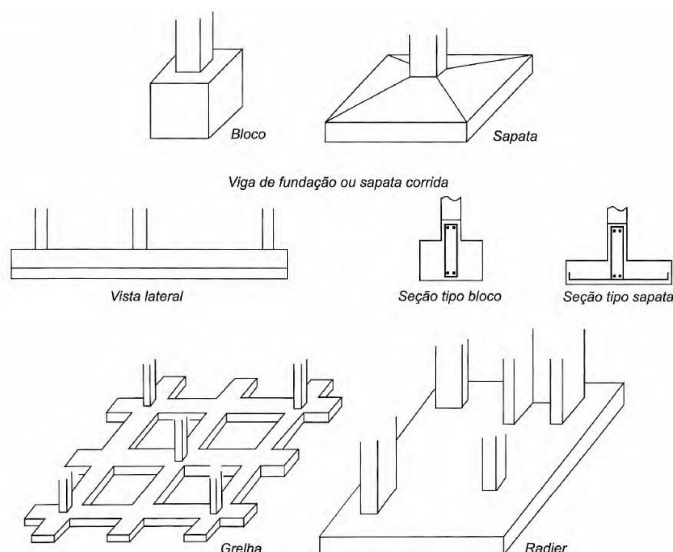
Rebello (2008, p. 28) descreve o processo do ensaio SPT como:

A sondagem é realizada por um equipamento composto de um “tripé”, que na verdade tem quatro pernas, do qual se deixa cair – de uma altura padrão de 75 cm – um peso, também padrão, de 65 kgf. O peso faz penetrar no solo um tubo de aço padronizado, que recebe o nome de amostrador Terzaghi. Esse amostrador tem 2” de diâmetro externo e 1 3/8” de diâmetro interno. O amostrador é fixado a uma haste de 1” que vai sendo emendada por rosqueamento, conforme o amostrador vai sendo aprofundado no solo. Esse amostrador é constituído de duas meias-canais, que podem ser abertas para visualização do solo retido. Várias informações são obtidas com esse tipo de sondagem: o nível da água do lençol freático, o tipo de solo e a sua resistência.

2.2. Fundações

Fundação Superficial, rasa ou direta, são elementos de fundação, aonde a carga estrutural é transmitida ao terreno pelas tensões distribuídas na base da peça de fundação, e sua profundidade de assentamento em relação ao terreno à fundação é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação. Entre os tipos de fundação superficial temos sapatas, blocos, radier, sapata associada e sapata corrida (ABNT NBR 6122:2010). Entre esses tipos de fundação destaca-se os exemplos representados na Figura 1.

Figura 1: Tipos de Fundações superficiais.



Fonte: Velloso e Lopes, 2010.

De acordo com Velloso e Lopes (2010) sapata é aquele elemento de fundação de concreto armado, dimensionado de forma que as tensões de tração resultantes sejam resistidas pela armadura especialmente para este fim, motivo este das sapatas terem menor altura que os blocos.

A ABNT NBR 6118 (2014) classifica as sapatas pela sua rigidez, podendo ser rígida ou flexível, conforme as seguintes equações.

Se $h \leq \frac{(a-a_p)}{3}$ Sapata flexível.

Se $h > \frac{(a-a_p)}{3}$ Sapata rígida.

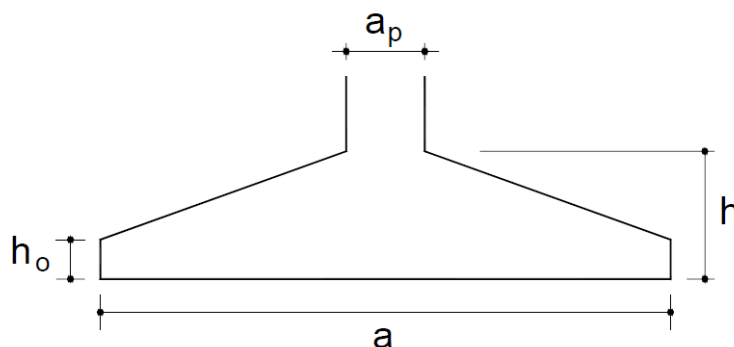
Onde:

h é a altura da sapata.

a é a dimensão da sapata em uma determinada direção.

a_p é a dimensão do pilar na mesma direção.

Figura 2: Perfil de uma sapata.



Fonte: Autor, 2019.

Sapatas rígidas têm um comportamento estrutural caracterizado por ter um trabalho à flexão nas duas direções, sendo que para cada direção, a tração na flexão seja uniformemente distribuída na largura correspondente da sapata. E no trabalho ao cisalhamento também em duas direções, apresentando uma compressão diagonal.

Sapatas flexíveis, de uso mais raro, são utilizadas para cargas pequenas, e em solos relativamente de baixa resistência. Seu comportamento estrutural se caracteriza pelo trabalho à flexão nas duas direções, não sendo possível admitir a tração na flexão uniformemente distribuída na largura da sapata. E o cisalhamento é descrito pelo fenômeno da punção.

As sapatas também podem ser classificadas por sua posição, podendo ser isoladas, corridas ou associadas, que Alva (2007) descrever e caracterizou-as conforme segue.

As sapatas isoladas são aquelas que transmitem ações de um único pilar centrado, é o tipo de sapata mais utilizado. Tais elementos estruturais podem apresentar bases quadradas, retangulares ou circulares, com altura constante ou variando linearmente entre as dimensões do pilar à extremidade da base da sapata.

Sapatas corridas são adotadas para receber ações verticais, de elementos alongados que transmitem carregamento uniformemente distribuído em uma direção, seu dimensionamento é idêntico ao de uma laje armada em uma direção.

E as sapatas associadas ou combinadas, são aquelas que transmitem as ações de dois ou mais pilares adjacentes, são utilizadas quando não se há espaço

para utilizar sapatas isoladas para cada pilar, que poderia causar superposição de suas bases ou de seus bulbos de pressões, assim emprega-se uma única sapata que recebe as cargas de vários pilares.

Segundo Silva (2018) ao dimensionar elementos de fundação é indispensável a utilização dos fatores de segurança, por conta da heterogeneidade do solo e a não exatidão dos resultados dos ensaios geotécnicos.

A ABNT NBR 6122 (2010) estabelece que a verificação da segurança pode ser feita por fator de segurança global ou por fatores de segurança parciais, devendo ser obedecidos os valores da Tabela 1.

Tabela 1: Fatores de segurança.

Métodos para determinação da resistência última	Coeficiente de minoração da resistência última	Fator de segurança global
Semi-empíricos	Valores propostos no próprio processo e no mínimo 2,15	Valores propostos no próprio processo e no mínimo 3,00
Analíticos	2,15	3,00
Semi-empíricos a ou analíticos acrescidos de duas ou mais provas de carga, necessariamente executadas na fase de projeto	1,40	2,00

Fonte: ABNT NBR 6122:2010.

Toda a base da fundação superficial que está em contato com o solo, deve ser concretado sobre um lastro de concreto não estrutural com no mínimo 5 centímetros de espessura, a ser lançado sobre toda a superfície de contato (ABNT NBR 6122:2010).

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014) a agressividade do meio ambiente se relaciona às ações físicas e químicas que atuam na estrutura de concreto. Nos projetos estruturais, a agressividade ambiental deve ser classificada de acordo com a Tabela 2, e o cobrimento das barras de aço deve ser obedecido aos critérios da Tabela 3.

Tabela 2: Classes de agressividade ambiental.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
IV	Muito Forte	Industrial	Elevado
		Respingos de maré	

Fonte: ABNT NBR 6118:2014.

Tabela 3: Cobrimento nominal.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto armado	Laje	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo	30		40	50
Concreto protendido	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

Fonte: ABNT NBR 6118:2014.

De acordo com Velloso e Lopes (2010) em circunstâncias que a escavação atingir o lençol freático, o fluxo de água para o interior da escavação deve ser controlado. Tal controle poderá ser feito por meio de rebaixamento do lençol d'água ou por um sistema de drenagem a céu aberto (em casos de solo com baixa permeabilidade).

2.3. Métodos de Dimensionamento

Para dimensionar sapatas, primeiramente deve-se estimar os valores de tensão admissível do solo, que pode ser definido como “tensão adotada em projeto que, aplicada ao terreno pela fundação superficial ou pela base de tubulão, atende com coeficientes de segurança predeterminados, aos estados-limites últimos (ruptura) e de serviço (recalques, vibrações etc.). Esta grandeza é utilizada quando se trabalha com ações em valores característicos.” (ABNT NBR 6122, 2010).

Dentre os métodos de obtenção das tensões admissíveis do solo, este artigo abordará sobre o método do SPT médio e o método de Terzaghi.

De acordo com Velloso e Lopes (2010) um dos primeiros autores a apresentar métodos de cálculos para estimar capacidade de carga de fundações superficiais foi Terzaghi em 1925 e posteriormente, em 1943, ele aprimorou suas fórmulas, dando um tratamento racional, que leva em consideração todas as características físicas do solo, conforme a seguir.

$$\sigma_{rup} = C * N_c * S_c + \frac{1}{2} * \gamma * B * N_\gamma * S_\gamma + q * N_q * S_q$$

Aonde:

σ_{rup} é a tensão de ruptura.

C é a coesão do solo.

γ é o peso específico do solo.

B é a menor dimensão da sapata.

q é a pressão efetiva na cota de apoio da sapata.

N_c , N_γ e N_q são fatores de capacidade de carga.

S_c , S_γ e S_q são fatores de forma.

Para determinação dos parâmetros do solo, dentre peso específico, ângulo de atrito efetivo e coesão efetiva, usa-se a tabela 2, a partir das características tato-visuais do solo.

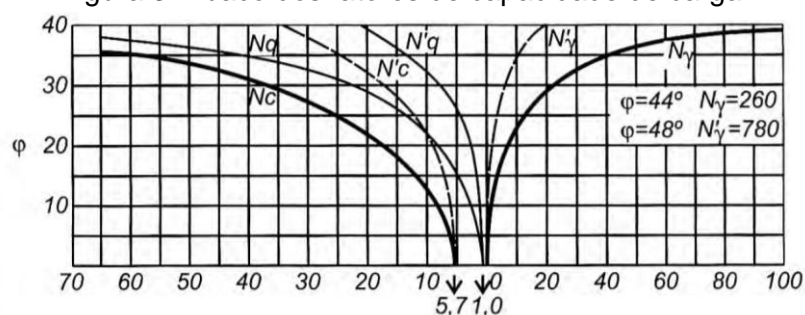
Tabela 4: Parâmetros médios do solo.

Tipo de solo	Faixa de SPT	Peso específico (g)		Ângulo atrito efetivo (f)	Coesão efetiva (tf/m ²)
		Natural (t/m ³)	Saturado (t/m ³)		
Areia pouco siltosa/pouco argilosa	0 – 4	1,7	1,8	25°	-
	5 – 8	1,8	1,9	30°	-
	9 – 18	1,9	2,0	32°	-
	19 – 41	2,0	2,1	35°	-
	> 41	2,0	2,1	38°	-
Areia média e fina muito argilosa	0 – 4	1,7	1,8	25°	0
	5 – 8	1,8	1,9	28°	0,5
	9 – 18	1,9	2,0	30°	0,75
	19 – 41	2,0	2,1	32°	1,0
Argila porosa vermelha e amarela	0 – 2	1,5	1,7	20°	0,75
	3 – 5	1,6	1,7	23°	1,5
	6 – 10	1,7	1,8	25°	3,0
	> 10	1,8	1,9	25°	3,0 a 7,0
Argila siltosa pouco arenosa (terciário)	0 – 2	1,7	1,8	20°	0,75
	3 – 5	1,8	1,9	23°	1,5
	6 – 10	1,9	1,9	24°	2,0
	11 – 19	1,9	1,9	24°	3,0
	20 – 30	2,0	2,0	25°	4,0
	> 30	2,0	2,0	25°	5,0
Argila arenosa pouco siltosa	0 – 2	1,5	1,7	15°	1,0
	3 – 5	1,7	1,8	15°	2,0
	6 – 10	1,8	1,9	18°	3,5
	11 – 19	1,9	1,9	20°	5,0
	> 20	2,0	2,0	25°	6,5
Turfa/argila orgânica	0 – 1	1,1	1,1	15°	0,5
	2 – 5	1,2	1,2	15°	1,0
Silte arenoso pouco argiloso (residual)	5 – 8	1,8	1,9	25°	1,5
	9 – 18	1,9	2,0	26°	2,0
	19 – 41	2,0	2,0	27°	3,0
	> 41	2,1	2,1	28°	5,0

Fonte: Joppert, 2007.

Em sequência, com os dados retirados da Tabela 4, os fatores de capacidade de carga e de forma são encontrados no ábaco (figura 3) e na Tabela 5:

Figura 3: Ábaco dos fatores de capacidade de carga.



Fonte: Velloso e Lopes, 2010.

Tabela 5: Fatores de forma.

Forma da fundação	Sc	Sy	Sq
Sapata quadrada	1,30	0,80	1,00
Sapata circular	1,30	0,60	1,00
Sapata retangular	1,10	0,90	1,00
Sapata corrida	1,00	1,00	1,00

Fonte: Joppert, 2007.

Para a determinação da resistência do solo em função dos dados da sondagem SPT, segundo Rebello (2008), usa-se para a média do número de golpes à profundidade de 1,5 vezes a maior largura da sapata, que será equivalente ao bulbo de pressão que exerce no solo, dividindo então por 0,05 para obter assim a tensão admissível do solo em KN/m². Nessa correlação do SPT, a formulação para a determinação da tensão admissível já considera um fator de segurança embutido (Marinho, 2019). Em seguida, a fórmula empírica para obtenção da tensão admissível do solo.

$$\sigma_s = \frac{SPT_{\text{médio}}}{0,05}$$

Para dimensionar sapata isolada quadrada, de acordo com as notas de Rebello (2008), a área da sapata é dimensionada em função da carga aplicada dos pilares e a resistência do solo.

$$A_{nec} = \frac{P}{\sigma_s}$$

Onde:

A_{nec} é a área necessária.

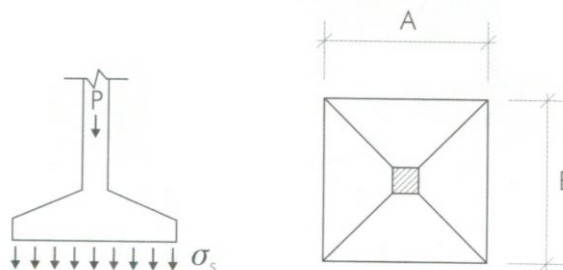
P é a carga do pilar.

σ_s é a tensão admissível do solo.

E para o pré-dimensão da sapata quadrada.

$$A = B = \sqrt{A_{nec}}$$

Figura 4: Dimensões de uma sapata.



Fonte: Rebello, 2008.

A ABNT NBR 6122 (2010) regulamenta que as sapatas isoladas não devem ter dimensões inferiores a 60 cm, e que nas divisas com terrenos vizinhos a profundidade não deve ser inferior a 1,5 metros.

Ao dimensionar sapatas, geralmente se adota para altura das sapatas, o valor mínimo de 30% do maior lado da sapata. (REBELLO, 2008).

O momento fletor, que é causado pela reação do solo pela tensão aplicada na sapata, é calculado da seguinte forma:

$$M = \frac{P}{4} * \left(\frac{A}{3} - \frac{a}{2} \right)$$

Aonde:

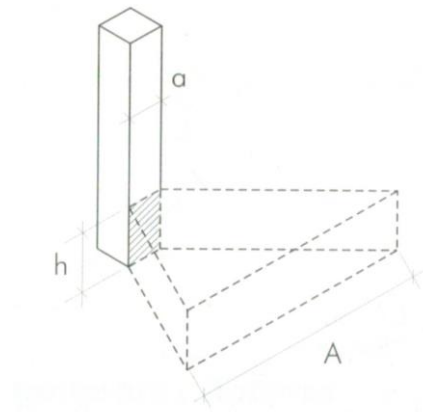
P é a carga do pilar.

A é a largura da sapata.

a é a largura do pilar.

Para calcular a armadura da sapata, se considera o momento fletor que atua na face do pilar, cuja seção resistente é demonstrada na figura 5.

Figura 5: Demonstração da seção que resiste o momento fletor.



Fonte: Rebello, 2008.

Dentre os piores casos de rompimento da sapata, está o rompimento por compressão no concreto ou por escoamento na armadura. Portanto, deve-se verificar em primeiro lugar as condições de compressão, usando a seguinte relação:

$$C = \frac{M}{b_w * d^2}$$

Aonde:

M é o momento fletor.

b_w é a largura do pilar.

d é a altura útil da seção, que é dado pela expressão. $d = h - 3cm$

E para verificar o coeficiente C, não pode ser superior ao valor de C limite, dado pela equação:

$$C_{lim} = Fck * 0,14$$

A armadura é calculada com a seguinte relação:

$$A_f = \frac{M}{Fyk * d}$$

Aonde:

A_f é a área de aço.

M é o momento fletor.

Fyk é a tensão de escoamento do aço.

d é a altura útil da seção.

Com a área necessária de aço, deve-se escolher a bitola de aço, pela Tabela 6, e verificar se a quantidade necessária supri a área calculada.

Tabela 6: Bitolas de aço.

ϕ (mm)	$A_{1\phi}$ (Cm ²)
5	0,19
6,3	0,31
8	0,50
10	0,70
12,5	1,25
16	1,98
20	2,85
25	5,05

Fonte: Rebello, 2008.

E para calcular o número de barras:

$$\text{Número de barras} = \frac{A_f}{A_{1\phi}}$$

Onde:

A_f é a área de aço necessária.

$A_{1\phi}$ é a área de uma bitola de aço.

E o espaçamento entre as barras de aço, é dado pela relação:

$$S = \frac{A}{N^{\circ}_{barras}}$$

Onde

A é a largura da sapata.

3. METODOLOGIA

O presente artigo tem como objetivo apontar as diferenças entre dois métodos de obtenção de tensões admissíveis de um determinado solo.

Este estudo de caso foi baseado na sondagem realizada no dia 28/10/2016, no lote de terreno urbano localizado na Avenida Antônio Augusto de Oliveira, Bairro Ferreira Vale, Cidade e Comarca de Lúna, Estado do Espírito Santo, que se obteve o laudo de sondagem, conforme Anexo 1.

Com o laudo de sondagem, Anexo 1, pode-se notar que é um solo heterogêneo, composto respectivamente por, uma camada de argila siltosa, média a rija, com 3 metros de profundidade, uma camada de areia compacta, com 3 metros de profundidade, uma camada silte arenoso, compacto, com 3 metros de profundidade, e na cota de 10 metros, constou um solo de alteração de rocha arenoso, muito compacto. O nível d'água foi medido em 0,50 metros.

Foi calculado os valores de tensão admissível, do solo apresentado pelo laudo de sondagem, Anexo 1, por dois métodos, o método empírico do SPT médio, que só leva em consideração os números de golpes SPT do solo, desconsiderando as demais características, entre elas o tipo do solo, seu coeficiente de atrito, coesão

e saturação. E pelo outro método que é o de Terzaghi, que é um método racional, que leva em conta todas essas características.

Para dimensionar as sapatas isoladas, foram utilizados os valores fictícios de um pilar de 20x20 cm, com uma carga axial de 300 kN e como F_{ck} do concreto de 20 Mpa.

4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

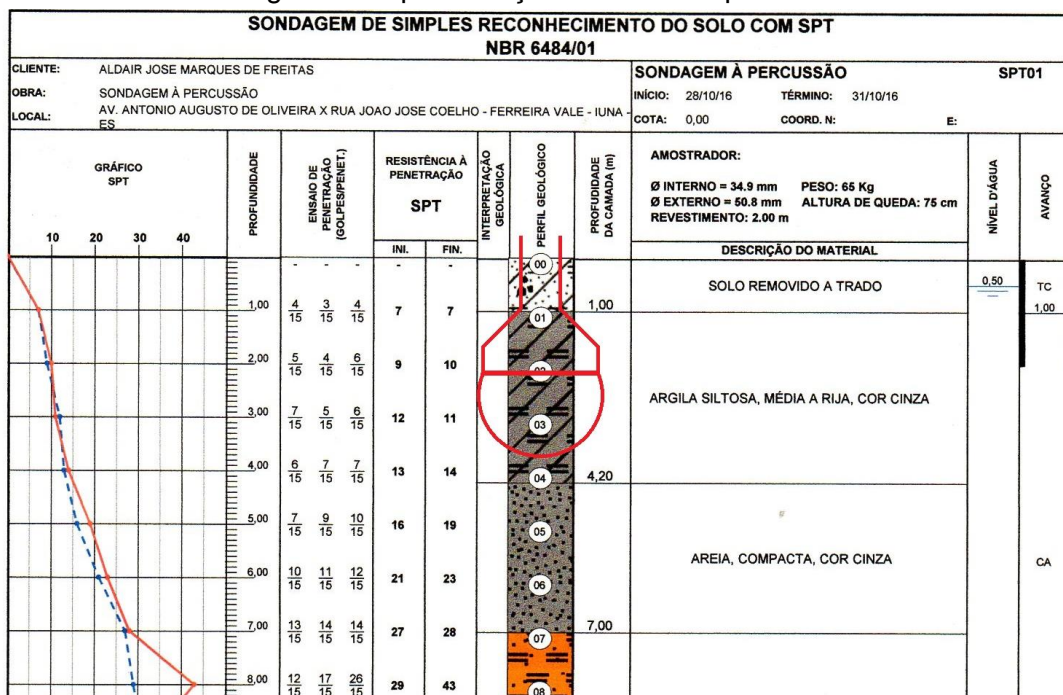
4.1. Tensões Admissíveis do Solo

Exposto os fatos, primeiro passo foi obter as tensões admissíveis do solo, primeiramente pelo método empírico do SPT médio:

De acordo com o laudo de sondagem, a sapata será assentada na cota de 2 metros de profundidade, para obter o SPT médio, primeiro identifica-se o bulbo de pressão, utilizando como pré-dimensões de uma sapata quadrada, 1,00 metro por 1,00 metro.

$$Bulbo = 1,5 * 1 \text{ metro} = 1,5 \text{ metros}$$

Figura 6: Representação do bulbo de pressão.



Calculando a tensão admissível pelo SPT médio:

$$\sigma_s = \frac{\left(\frac{10+11}{2}\right)}{0,05} = 210 \text{ kN/m}^2$$

Identificado o valor da tensão admissível no método do SPT médio, em seguida foi obtido pelo método de Terzaghi, primeiro passo é coletar os dados conforme a Tabela 4, a Figura 3 e a Tabela 5, de acordo com as características do solo no laudo de sondagem, Anexo 1, os dados coletados foram os seguintes:

$$C = 20 \text{ KgF/m}^2$$

$$\phi = 24^\circ$$

$$\begin{aligned}\gamma &= 19 \text{ KN/m}^3 \\ N_c &= 23,62 \\ N_\gamma &= 8,76 \\ N_q &= 11,64 \\ S_c &= 1,3 \\ S_\gamma &= 0,8 \\ S_q &= 1\end{aligned}$$

Aplicando na fórmula, e considerando o fator de segurança da Tabela 1:

$$\begin{aligned}\sigma_{rup} &= 20 * 23,62 * 1,3 + \frac{1}{2} * 19 * 0,6 * 8,76 * 0,8 + 38 * 11,64 * 1 \\ \sigma_{rup} &= 1.096,39 \text{ KN/m}^2 \\ \sigma_s &= \frac{1.096,39}{3} = 365,46 \text{ KN/m}^2\end{aligned}$$

4.2. Dimensionamento da Primeira Sapata

Dimensionando então a sapata quadrada, a partir da tensão admissível obtida pelo método do SPT médio.

Calcula-se primeiramente a área necessária e a pré-dimensão da sapata:

$$\begin{aligned}A_{nec} &= \frac{300}{210} = 1,43 \text{ m}^2 \\ A &= B = \sqrt{1,43} = 1,20 \text{ m}\end{aligned}$$

Adotando então a dimensão da sapata de 1,20 metros.

Em seguida, calcula-se a altura da sapata, respeitando a regra de 30% do lado da sapata e a regra da rigidez.

$$\begin{aligned}h &= 30\% \text{ de } 1,20 = 0,36 \text{ m} \\ h &> \frac{(1,20 - 0,20)}{3} = 0,33 \text{ m}\end{aligned}$$

Verificado então a sapata como rígida, adotando a altura de 0,40 metros. Calcula-se então o momento fletor.

$$M = \frac{300}{4} * \left(\frac{1,20}{3} - \frac{0,20}{2} \right) = 22,5 \text{ KN/m}^2$$

Próximo passo é verificar as condições de compressão do concreto.

$$\begin{aligned}C &= \frac{22,5}{0,2 * (0,4 - 0,03)^2} = 821,76 \text{ KN/m}^2 \\ C_{lim} &= 20.000 * 0,14 = 2.800 \text{ KN/m}^2 \\ C_{lim} &> C\end{aligned}$$

Verificado a compressão, calcula-se a área de aço necessária.

$$A_f = \frac{22,5}{25 * 0,37} = 2,43 \text{ cm}^2$$

Escolhendo a bitola de 6,3 mm, calcula-se o número de barras e seu espaçamento.

$$\text{Número de barras} = \frac{2,43}{0,31} \cong 8 \text{ barras}$$

$$S = \frac{1,20}{8} = 0,15 \text{ m}$$

Dimensionado assim a sapata de acordo com o detalhamento realizado no software AutoCAD, Anexo 2.

4.3. Dimensionamento da Segunda Sapata

Dimensionando então a sapata quadrada, com as mesmas cargas e solo, porém a partir da tensão admissível obtida pelo método de Terzaghi.

Calcula-se primeiramente a área necessária e a pré-dimensão da sapata:

$$A_{nec} = \frac{300}{365,46} = 0,91 \text{ m}^2$$

$$A = B = \sqrt{0,91} = 0,95 \text{ m}$$

Adotando então a dimensão da sapata de 0,95 metros.

Em seguida, calcula-se a altura da sapata, respeitando a regra de 30% do lado da sapata e a regra da rigidez.

$$h = 30\% \text{ de } 0,95 = 0,285 \text{ m}$$

$$h > \frac{(0,95 - 0,20)}{3} = 0,25 \text{ m}$$

Verificado então a sapata como rígida, adotando a altura de 0,40 metros. Calcula-se então o momento fletor.

$$M = \frac{300}{4} * \left(\frac{0,95}{3} - \frac{0,20}{2} \right) = 16,25 \text{ KN/m}^2$$

Próximo passo é verificar as condições de compressão do concreto.

$$C = \frac{16,25}{0,2 * (0,4 - 0,03)^2} = 593,49 \text{ KN/m}^2$$

$$C_{lim} = 20.000 * 0,14 = 2.800 \text{ KN/m}^2$$

$$C_{lim} > C$$

Verificado a compressão, calcula-se a área de aço necessária.

$$A_f = \frac{16,25}{25 * 0,37} = 1,76 \text{ cm}^2$$

Escolhendo a bitola de 6,3 mm, calcula-se o número de barras e seu espaçamento.

$$\text{Número de barras} = \frac{1,76}{0,31} \cong 6 \text{ barras}$$

$$S = \frac{0,95}{6} = 0,15 \text{ m}$$

Dimensionado assim a sapata de acordo com o detalhamento realizado no software AutoCAD, Anexo 3.

4.4. Discussões

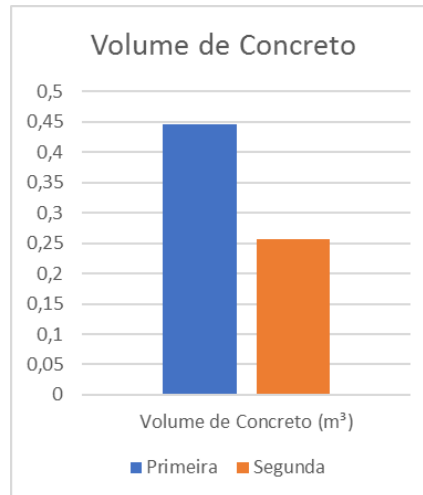
Foi calculado o volume de concreto de cada sapata, através do software AutoCAD, obtendo o volume de concreto para as duas fundações, de acordo com a Tabela 7 e o Gráfico na Figura 7:

Tabela 7: Volume de concreto.

Sapata	Volume de Concreto (m³)
Primeira (4.2)	0,446
Segunda (4.3)	0,256

Fonte: Autor, 2019.

Figura 7: Gráfico do volume de concreto.



Fonte: Autor, 2019.

É notável a diferença entre os dois métodos de cálculo, para obter a tensão admissível do solo, optando pelo segundo método, tem-se uma economia de 42,60% de concreto em relação ao primeiro método.

E a quantidade de barras de aço, de bitola ϕ 6.3, de acordo com a Tabela 8 e o Gráfico na Figura 8:

Tabela 8: Número de barras de aço.

Sapata	Número de barras de aço
Primeira (4.2)	16
Segunda (4.3)	12

Fonte: Autor, 2019.

Figura 8: Gráfico do número de barras de aço.



Fonte: Autor, 2019.

Tendo assim, uma economia de 25,00% de barras de aço.

5. CONCLUSÃO

Diante do exposto, entre os métodos existentes para obtenção de tensões admissíveis de solo, destaca-se neste artigo o método empírico do SPT médio, que para realizar seus cálculos só se leva em consideração os valores da resistência física do solo, valores esses determinados em sondagens SPT. E o outro método, de Terzaghi, este que para obter a tensão admissível de um solo, considera o tipo do solo, seu coeficiente de âtrio, módulo de elasticidade, umidade, inclusive a forma da sapata também influência em seu cálculo.

No método de Terzaghi, por exigir mais parâmetros de cálculo, ou seja, mais características e informações do solo analisado, é obtido uma segurança maior em seus resultados em relação aos métodos empíricos, dando uma maior confiabilidade aos seus valores.

De acordo com os cálculos realizados, neste caso, ao obter as tensões admissíveis do solo estudado pelo método de Terzaghi e pelo método do SPT médio, dimensionando as sapatas isoladas com essas tensões, o método de Terzaghi provou ser mais eficiente, tendo uma economia de 42,60% menos concreto, e 25,00% menos aço do que a sapata dimensionada com o valor da tensão admissível obtida pelo método do SPT médio.

Esclarecendo que, as sapatas foram dimensionadas com valores fictícios de carga estrutural e dimensão de pilar, neste caso específico obteve-se estes resultados, mas cada obra tem suas peculiaridades.

Por mais que muitas pessoas ficam receosas de fazer sondagens, por acharem caro, ou desnecessário, é notável que por mais que uma obra simples, com cargas baixas, a sondagem demonstra ter uma economia significativa, não só na escolha do tipo da fundação, mas também nos métodos de cálculos utilizados.

6. REFERÊNCIAS

ABMS/ABEF. **Fundações: Teoria e Prática**. São Paulo: Pini, 1998.

ALVA, Gerson Moacyr Sisniegas. **Projeto Estrutural de Sapatas**. 2007. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

JOPPERT JUNIOR, Ivan. **Fundações e Contensões de Edifícios**. São Paulo: Pini, 2007.

MARINHO, Filipe. **Tensão admissível: métodos de determinação**. Guia da Engenharia, 2019. Disponível em: < <https://www.guiadaengenharia.com/tensao-admissivel-metodos-determinacao/>>. Acesso em: 16 out. 2019.

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. **Fundações: Guia Prático de Projeto, Execução e Dimensionamento**. São Paulo: Zigurate Editora, 2008.

SILVA, Ezequias Gomes Costa. **Análise Comparativa dos Resultados de Dimensionamento de Sapatas Isoladas entre a Teoria de Terzaghi e o Software GEO5**. 2018. Universidade Federal Rural do Semi-Árido – Centro de Engenharias, Mossoró/RN, 2018.

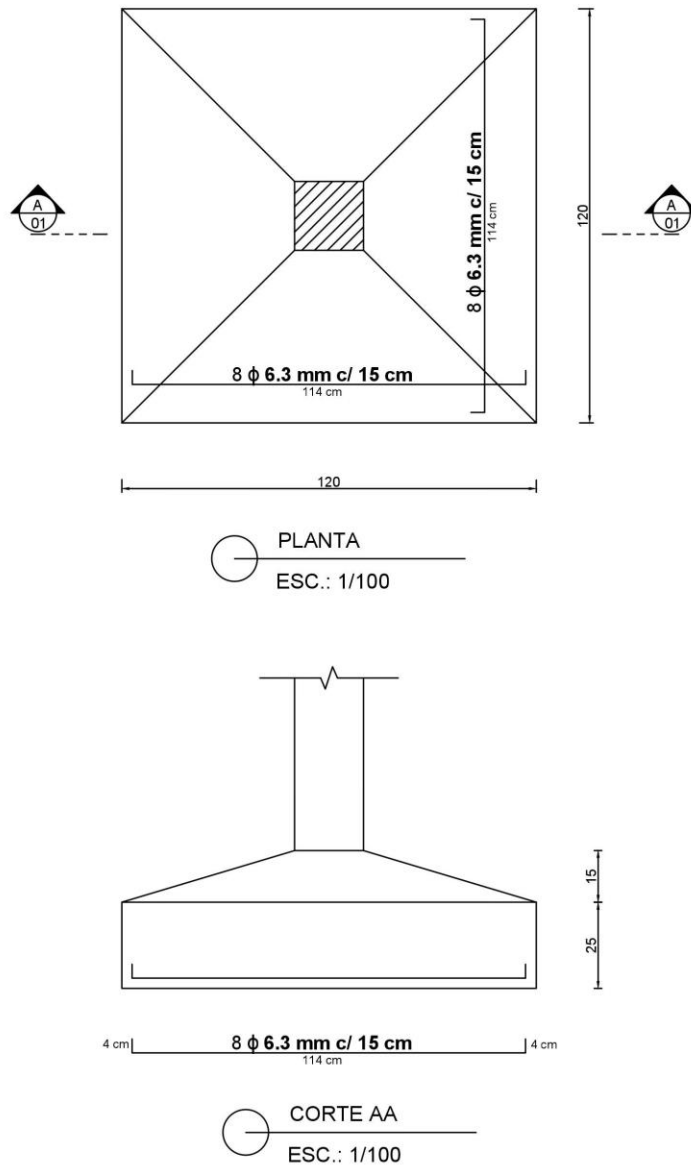
VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações: Critérios de Projeto, Investigação do Subsolo, Fundações Superficiais, Fundações Profundas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

ANEXOS

Anexo 1: Laudo de Sondagem SPT

SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO DO SOLO COM SPT											
NBR 6484/01											
CLIENTE: ALDAIR JOSE MARQUES DE FREITAS OBRA: SONDAGEM À PERCUSSÃO LOCAL: AV. ANTONIO AUGUSTO DE OLIVEIRA X RUA JOAO JOSE COELHO - FERREIRA VALE - IUNA - ES						SONDAGEM À PERCUSSÃO SPT01 INÍCIO: 28/10/16 TÉRMINO: 31/10/16 COTA: 0,00 COORD. N: E:					
GRÁFICO SPT 10 20 30 40	PROFUNDIDADE 1,00 2,00 3,00 4,00 5,00 6,00 7,00 8,00 9,00 10,00 11,00 12,00 13,00 14,00 15,00 16,00 17,00 18,00 19,00 20,00	ENSAIO DE PENETRAÇÃO (GOLPES/PMET.) 4 3 4 15 15 15 5 4 6 15 15 15 7 5 6 15 15 15 6 7 7 15 15 15 7 9 10 15 15 15 10 11 12 15 15 15 13 14 14 15 15 15 12 17 26 15 15 15 15 16 17 15 15 15 16 15 13 15 15 15	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO SPT INI. FIN.		INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10	PERFIL GEOLÓGICO 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10	PROFUNDIDADE DA CAMADA (m) 1,00 4,20 7,00 10,00 10,30	AMOSTRADOR: Ø INTERNO = 34,9 mm PESO: 65 Kg Ø EXTERNO = 50,8 mm ALTURA DE QUEDA: 75 cm REVESTIMENTO: 2,00 m		NÍVEL D'ÁGUA 0,50	AVANÇO TC 1,00 CA 10,30
			DESCRIÇÃO DO MATERIAL SOLO REMOVIDO A TRADO ARGILA SILTOSA, MÉDIA A RIJA, COR CINZA AREIA, COMPACTA, COR CINZA SILTE ARENOSO, COMPACTO A MUITO COMPACTO, COR VARIEGADA SOLO DE ALTERAÇÃO DE ROCHA ARENOSO, COMPACTO A MUITO COMPACTO, COR VARIEGADA IMPENETRÁVEL AO AMOSTRADOR								
NOTA: Furo paralisado conforme descrito no item 6.4.1 da norma NBR6484:2001 - Solo - Sondagem de Simples Reconhecimento com SPT.											
OBS.:											
LEGENDAS: 30 cm INICIAIS 30 cm FINAIS TRADO CAVADEIRA - TC TRADO HELICOIDAL - TH CIRCULAÇÃO DE ÁGUA - CA REVESTIMENTO				DATA: 09/11/16 TRABALHO N°: 107/2016 FOLHA: 03 ESCALA: 1/100 DESENHISTA: JESSICA GOMES SONDADOR: LUIZ CARLOS SABINO CARLOS HENRIQUE CARVALHO JÚNIOR							

Anexo 2: Dimensionamento da Primeira Sapata

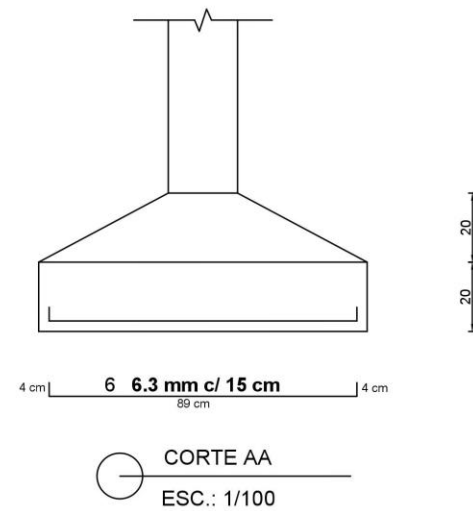
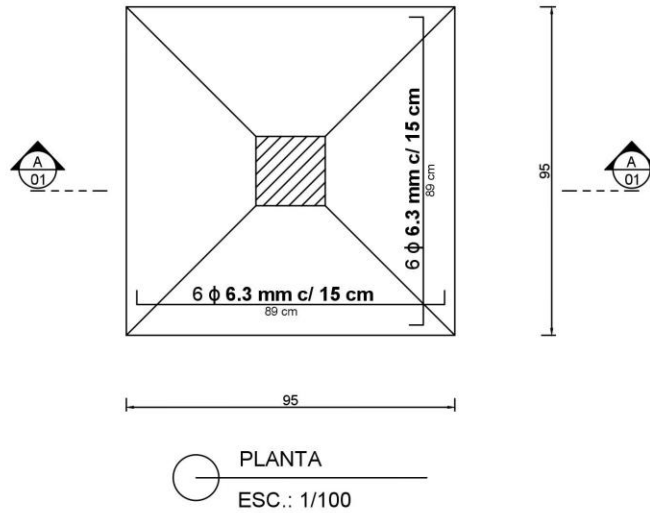


DETALHAMENTO - PRIMEIRA SAPATA

CONTEÚDO:	ESCALA:	FOLHA:
PLANTA CORTE AA	1/100	01/01

AUTOR:
LUCAS RAMOS LEAL

Anexo 3: Dimensionamento da Segunda Sapata



DETALHAMENTO - SEGUNDA SAPATA

CONTEÚDO:	ESCALA:	FOLHA:
PLANTA CORTE AA	1/100	01/01

AUTOR:
LUCAS RAMOS LEAL