

Amanda Araújo da Costa

UNISUAM

Carine Martins dos Santos Costa

UNISUAM

Helber Pereira Taboza

UNISUAM

Rachel Cristina Santos Pires

UNISUAM

RESUMO

O estado do Rio de Janeiro é muito marcado por suas construções irregulares, em algumas situações é possível identificar claramente que as construções apresentam sérios problemas estruturais, muitas por causa da fundação mal executada. Por esse motivo este artigo tem a função de descrever a importância do estudo geotécnico mesmo em pequenas construções, exemplificar modelos de cálculos para obtenção da tensão admissível do solo, explicar a ação da carga aplicada no terreno (bulbo de pressão), apresentar os métodos para estimar os parâmetros de solo, apresentar exemplos de fundações rasas e usar a sapata para exemplificar a transferência das cargas. Objetivo é fazer o estudo de um determinado perfil de solo, com intuito de determinar sua capacidade de carga através de um método teórico e outro semiempírico. Foi utilizado um ensaio de solo existente para o desenvolvimento do estudo e criado uma sapata quadrada com dimensões aleatórias. Para o Cálculo da máxima carga que essa fundação rasa poderia receber, foi desprezado o seu peso próprio e usada a fórmula de tensão da mecânica geral. Através da análise do ensaio de SPT e com base nos resultados de tensão admissível, foi possível identificar que o solo, do perfil utilizado, apresenta baixa resistência nas camadas mais superficiais.

Palavras-Chave: Fundação; Estudo geotécnico; Sapatas; Execução; Solo.

INTRODUÇÃO

A fundação é um dos elementos mais importantes da construção, por ter a função de suportar o peso de toda estrutura e seu próprio peso. Existem diversos tipos de fundações superficiais, entre estas as principais são as sapatas, os blocos de concreto e os radiers.

A Infraestrutura tem a função de transmitir as cargas recebidas da estrutura ao solo, elas podem ser superficiais ou profundas, essa definição

vai depender do tipo de solo e do que será construído. A ABNT NBR 6122/2019 define que fundação profunda são aquelas com mais de três metros de profundidade ou que ultrapasse duas vezes sua menor dimensão, enquanto a superficial é inferior a três metros de profundidade e não ultrapassa duas vezes sua menor dimensão (ABNT, 2019).

As fundações superficiais são mais simples de serem executadas, mais baratas e rápidas que as profundas, são executadas em construções de médio e grande porte.

Para a definição da fundação é necessário um estudo geotécnico, não é possível definir o tipo de elemento que transmitirá a carga da estrutura ao solo sem conhecer o perfil do solo. É indispensável a execução das sondagens, a norma regulamentadora 6122/2019 prever uma sondagem prévia no local onde será executada a obra, esse ensaio deve ser realizado dentro dos parâmetros da ABNT NBR 6484/2001 e tem a finalidade de fornecer o detalhamento das camadas perfuradas, índices de resistência do solo e as posições dos níveis da água (VELLOSO & LOPES, 2010).

Nem sempre será possível a execução de uma fundação superficial, após a investigação geotécnica é possível que o tipo de solo encontrado torne inexecutável esse método sozinho, obedecendo aos parâmetros estipulados pelas normas brasileiras (NBR), sendo necessário associá-lo a um tipo de fundação profunda, gerando assim uma fundação mista.

É muito comum em obras pequenas o estudo de solo ser dispensado, porém isso não deve acontecer, mesmo em obras pequenas a escolha inadequada do tipo de fundação pode resultar em graves consequências. Além disso não é possível fazer uma construção de acordo com as instruções das normas brasileiras sem estudo da área. Na engenharia não existe achismo, existe análise técnica e toda construção deve ser feita com responsabilidade.

A metodologia deste estudo consiste na análise e interpretação de dados obtidos através da de pesquisa em artigos científicos, sites, normas, referências bibliográficas, para obtenção de informações que levem ao conhecimento de critérios teóricos e práticos das fundações superficiais.

Neste artigo será apresentado os tipos de fundações superficiais, suas principais características e as condições necessárias para executá-la. Será destacado as sapatas como estudo de caso, usando determinado perfil de solo para determinar a viabilidade de uso.

INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA

Solos

Existem diversas definições para a palavra solo, mas quando voltada para engenharia civil, a definição que importa é a determinada pela mecânica dos solos, conhecida na engenharia como geotecnia. De acordo com esta ciência o solo é uma massa constituída de sólidos, líquidos e gases, podem ser classificados como residuais (formados pela ação do

intemperismo nas rochas) ou transportados (solos transportados e depositados em locais diferentes da sua rocha de origem); bem graduados (possuem diversidade de granulometria em sua composição) ou mal graduado (possuem pouca diversidade de granulometria em sua composição). Buscamos através do estudo desse material entender seu comportamento mecânico, após ser submetido a uma determinada tensão, sua composição e nível d'água (FLORIANO, 2016).

Antes de desenvolver um projeto de fundação é indispensável o estudo aprofundado do solo onde a obra será executada para classificá-lo, entender o seu comportamento, resistência e granulometria. Um dos modos de classificação dos solos é quanto a sua granulometria, a ABNT NBR 6502/1995, regula a terminologia para rochas e solos de acordo com o especificado no quadro 1.

SOLO :	DIMENSÕES ENTRE:	DEFINIÇÃO:
Matacão	200 mm e 1 m	Fragmento de rocha, habitualmete arredondado por intemperismo ou abrasão
Pedregulho grosso	20 mm e 60 mm	Construídos por minerais ou partículas de rocha. Se arredondados ou semi-arredondados, são identificados como cascalho ou seixo.
Pedregulho médio	6 mm 20 mm.	
Pedregulho fino	2 mm e 6 mm	
Areia grossa	0,60 mm e 2 mm.	Solo formado por minerais ou partículas de rocha, não apresenta coesão nem plasticidade.
Areia média	0,20 mm e 0,60 mm.	
Areia Fina	0,06 mm e 0,2 mm	
Silte	0,002 mm e 0,06 mm.	Apresenta nenhuma ou baixa plasticidade e apresenta baixa resistência quando seco ao ar
Argila	menores que 0,002 mm	Solo plástico e coeso de granulação fina.

Quadro 1: Nomenclatura utilizada para tipos de rochas e solos obedecendo os parâmetros da NBR 6502

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 6502 (1995)

Classificação unificada (SUCS)

O sistema unificado de classificação dos solos surgiu através do engenheiro Arthur Casagrande e foi normatizado pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 2006). A classificação unificada tem como base de sustentação o ensaio de granulometria e possui Três parâmetros fundamentais, são estes: diâmetro efetivo, coeficiente de uniformidade (CU-distribuição dos diâmetros da partícula do solo) e coeficiente de curvatura (Cc – medida da forma e simetria da curva granulométrica). Nesse sistema cada solo dispõe de uma simbologia que representa seu nome, solo recebe duas letras, a primeira é ligada ao tipo de solo e a segunda ligada a característica granulométrica, conforme apresentado no quadro 2, como o sistema foi publicado na língua inglesa as letras correspondem a palavra em inglês (FLORIANO, 2016).

Quadro 2: Terminologia do sistema unificado

TERMINOLOGIAS DO SISTEMA UNIFICADO	
G	Pedregulho
S	Areia
M	Silte
C	Argila
O	Solo orgânico
W	Bem graduado
P	Mal graduado
H	Alta compressibilidade
L	Baixa compressibilidade
Pt	Tufas

Fonte: Adaptado de FLORIANO (2016)

Sondagem à percussão (SPT)

A sondagem tem o propósito de verificar a natureza do solo, identificar o perfil, a profundidade e extensão da camada mais resistente. É com base nas informações obtidas nesse ensaio e com a informação da carga que a estrutura terá, que é determinado e projetado o tipo de fundação (GUIMARÃES & ALCIDES, 2018).

O SPT (Standart Penetration Test) é uma sondagem à percussão regulamentado pela NBR 6484/2001. A cada metro perfurado obtemos amostra deformada, índice de resistência a penetração (N) e posição do nível d'água. A locação e quantidade de furo de sondagens são realizadas de acordo com a ABNT NBR 8036/1983.

Método de execução do SPT

Para realização do ensaio utiliza-se um tripé metálico com uma roldana de 8" no topo, que serve de guia para uma corda de sisal, que ergue um martelo de 65 Kg a uma altura de 75 cm, auxiliando no manejo da composição das hastes acopladas, conforme figura 1. A sequência do ensaio SPT é executada da seguinte forma (GUIMARÃES & ALCIDES, 2018).

- O primeiro metro escavado é desprezado, o ensaio inicia-se na cota -1;
- Inicia-se a escavação com circulação de água, utilizando um trépano de lavagem para alcançar 55 cm no terreno;
- Após a penetração por escavação, coloca-se o amostrador na ponta da haste, onde é marcado três segmentos de 15 cm contados a partir do topo do tubo de revestimento;

- A cravação inicia-se com o martelo de 60 Kg sendo levantado à uma altura de 75 cm de distância da cabeça de bater e sendo soltado em queda livre;
- É anotado quantos golpes são dados para cravar 15 cm, depois mais 15 e posteriormente os 15 finais, totalizando 45 cm. Após inicia-se o próximo metro, escavando os 55 cm e depois a cravação com as três parcelas de 15 cm, totalizando novamente os 45 cm, esse processo se repete a cada metro.

A etapa de escavação dos 55 cm pode ser realizada por qualquer técnica; a mais usual é a lavagem com circulação de água (GUIMARÃES & ALCIDES, 2018).

Final do ensaio SPT

O final da sondagem se dar em conformidade com os critérios determinados pela ABNT NBR 6484/2001, conforme descrito na tabela 01.

Tabela 1: Critérios para paralisação da sondagem à percussão (SPT)

METROS SUCESSIVOS	NÚMERO DE GOLPES	PENETRAÇÃO
3 m	30	15 cm iniciais do amostrador padrão
4 m	50	30 cm iniciais do amostrador padrão
5 m	50	45 cm iniciais do amostrador padrão

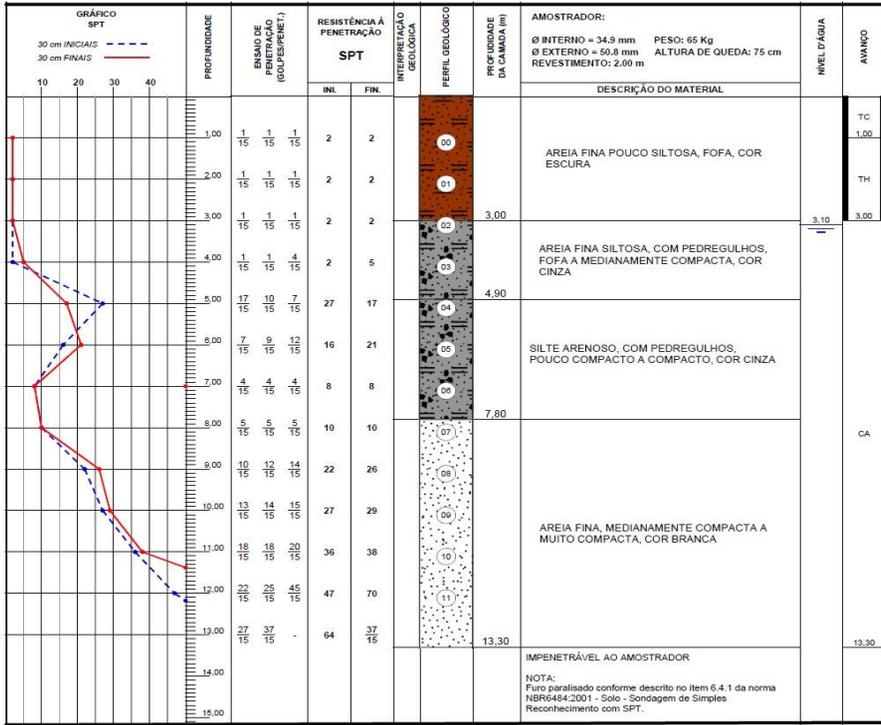
É permitido paralisação da sondagem em solos menos resistentes que os determinados acima, dependendo do tipo de obra, das cargas transmitidas às fundações e da natureza do subsolo, mas é necessária uma justificativa geotécnica.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 6484/2001

Índice de resistência a penetração

Após o ensaio elabora-se um boletim de sondagem (Figura 1) onde são classificadas as camadas do solo, estes são identificados em função do índice de resistência, conforme quadro 3. O N é a soma do número de golpes necessário para cravação dos últimos 30 cm (ABNT NBR 6484, 2001).

Figura 1: Exemplo de boletim de sondagem



Fonte: GUIA DA ENGENHARIA (2018)

Quadro 3: Estados de compactidade e de consistência (ABNT NBR 6484)

Solo	Índice de resistência à penetração N	Designação ¹⁾
Areias e siltes arenosos	≤ 4	Fofa(o)
	5 a 8	Pouco compacta(o)
	9 a 18	Medianamente compacta(o)
	19 a 40	Compacta(o)
	> 40	Muito compacta(o)
Argilas e siltes argilosos	≤ 2	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média(o)
	11 a 19	Rija(o)
	> 19	Dura (o)

¹⁾ As expressões empregadas para a classificação da compactidade das areias (fofa, compacta, etc.), referem-se à deformabilidade e resistência destes solos, sob o ponto de vista de fundações, e não devem ser confundidas com as mesmas denominações empregadas para a designação da compactidade relativa das areias ou para a situação perante o índice de vazios críticos, definidos na Mecânica dos Solos.

Fonte: ABNT (2001)

TIPOS DE FUNDAÇÃO RASAS

Do Ponto de vista estrutural as fundações diretas dividem-se em blocos, sapatas e radier. (HACHICH, 1998).

Blocos de fundação

São elementos de fundação rasa que tem a função de transferir as cargas dos pilares diretamente para o solo. Pode ser executado em concreto simples ou ciclópico, pedras e tijolos maciços. Pode ter as faces verticais, inclinadas ou escalonadas e apresentar planta de seção quadrada ou retangular (MARANGON, 2018).

De acordo com Hachich (1998), os blocos são caracterizados por uma altura relativamente grande, necessária para que trabalhem essencialmente à compressão. Em função do seu dimensionamento as tensões de tração geradas no bloco podem ser resistidas pelo material utilizado, tornando dispensável o uso de armadura.

Por não conter armadura, costumam ser peças mais robustas aos demais elementos de fundação superficial. Os blocos são utilizados apenas em edificações que solicitem pequenos esforços. De acordo com o item 7.7.1 da ABNT NBR 6122/2019, em planta, as sapatas isoladas ou blocos não podem ter dimensões inferiores a 60 cm. Em relação à profundidade mínima a ABNT NBR 6122/2019 (item 7.7.2) diz que nas divisas com terrenos vizinhos, salvo quando a fundação for assente sobre rocha, a profundidade de apoio não pode ser inferior a 1,5m. Em casos de obras cujas sapatas ou blocos tenham, em sua maioria, dimensões inferiores a 1,0m, essa profundidade mínima pode ser reduzida.

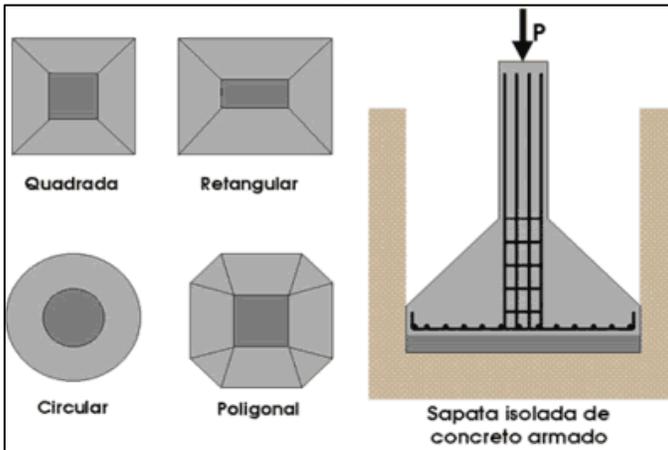
Sapatas

Ao contrário dos blocos, as sapatas são executadas em concreto armado, dimensionado de forma tal que sua armadura resista aos esforços de tração, permitindo assim que as sapatas apresentem altura menor que os blocos. As sapatas podem assumir praticamente qualquer forma em planta, sendo as mais frequentes as sapatas quadradas, retangulares e corridas (HACHICH, 1998).

Sapatas isoladas

É o tipo de sapata mais utilizada nas edificações (Figura 2). Transmite ações de um único pilar, que pode estar centrado ou excêntrico; pode ser retangular, quadrada, circular, etc. (BASTOS, 2016).

Figura 2: Sapata isolada

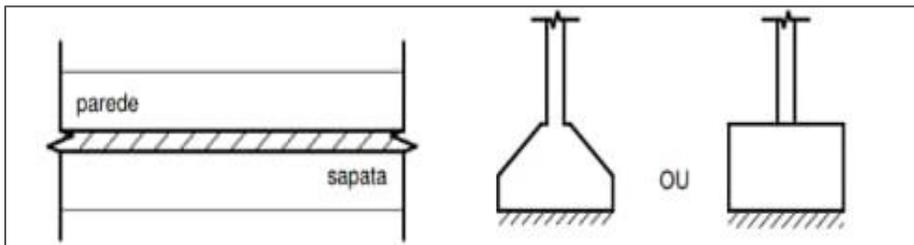


Fonte: MAXIEDUCA (2018)

Sapata corrida

A ABNT NBR 6122, define como sapata sujeita à ação de uma carga distribuída linearmente ou de três ou mais pilares ao longo de um mesmo alinhamento. Quando recebe carga distribuída linearmente a sapata corrida é uma estrutura contínua, onde as paredes da edificação são apoiadas, fazendo com que a carga da edificação seja distribuída linearmente ao solo. Seu topo pode ser retangular ou piramidal (Figura 3) (ABNT, 2019).

Figura 3: Sapata corrida



Fonte: BASTOS (2016)

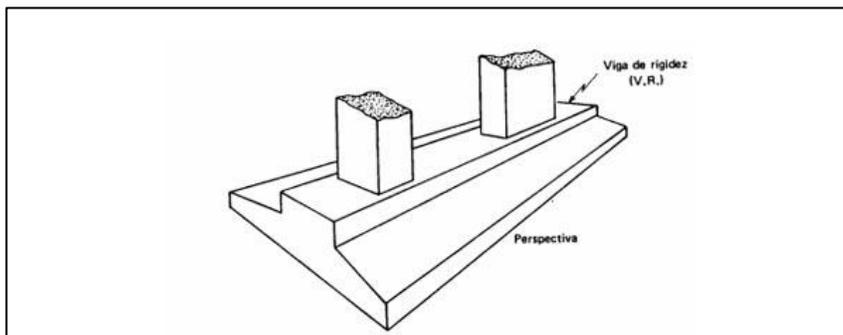
Sapata associada

Sapata comum a dois pilares; a denominação se aplica também a sapata comum a mais que dois pilares, quando não alinhados (Figura 4) (ABNT NBR 6122:2019).

A sapata associada será evitada, sempre que for possível uma solução com sapatas isoladas, mesmo a custo de se distorcer o formato lógico das sapatas. Via de regra, duas sapatas isoladas serão mais

econômicas e mais fáceis de executar do que uma sapata associada (HACHICH, 1998).

Figura 4: Sapata associada



Fonte: ESCOLA ENGENHARIA (2019)

Radier

É uma fundação rasa que se assemelha com uma grande placa de concreto, também pode-se definir como uma laje de concreto armado executada diretamente no solo, que recebe todos os pilares da edificação. Definido pela NBR 6122 como elemento de fundação rasa dotado de rigidez para receber e distribuir mais do que 70% das cargas de estrutura. (ABNT, 2019).

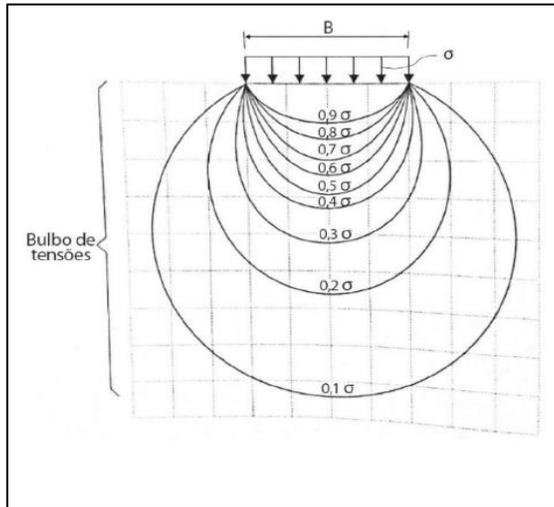
Quando a área total das sapatas for maior que a metade da área da construção, deve-se adotar o radier (VELLOSO & LOPES, 2010).

DETERMINAÇÃO DE CAPACIDADE DE CARGA EM SOLOS

Bulbo de tensões

Para avaliar o solo e projetar uma fundação é fundamental calcular sua capacidade de carga. As tensões aplicadas no solo através da base de uma sapata são distribuídas de acordo como bulbo de tensões, conforme figura 5 (PINTO, 2006).

Figura 5: Bulbo de tensões



Fonte: GUIMARAES & ALCIDES (2018)

A projeção das tensões no solo é determinada de acordo com o tipo e dimensão da sapata, conforme descrição abaixo (ENGENHARIA DIGITAL 2020):

- Sapata quadrada ou circular ($L=B$) = $2Xb$
- Sapata retangular ($L= 2xB$ a $4xB$) = $3Xb$
- Sapata corrida ($L \geq 5B$) = $4B$

Tensão admissível do solo

A capacidade de carga do solo pode ser definida como a tensão transmitida pelo elemento de fundação que provoca a ruptura ou deformação demasiada do solo onde está apoiada. A tensão da força aplicada no pilar na área da sapata que está em contato com o solo, deve ser menor que a tensão desse solo (tensão admissível do solo). Para calcular a tensão admissível (σ_a) de um solo deve-se dividir a capacidade de carga deste solo, pelo fator de segurança global FS_g (ENGENHARIA DIGITAL, 2020).

$$\sigma_a = \sigma_r \div FS_g \quad (1)$$

O fator de segurança global é estabelecido pela ABNT NBR 6122:2019, seus valores são tabelados, como apresentado na figura 6.

Figura 6: Tabela de fator de segurança.

Tabela 1 – Fundações rasas – Fatores de segurança e coeficientes de ponderação para solicitações de compressão

Métodos para determinação da resistência última	Coefficiente de ponderação da resistência última γ_m^c	Fator de segurança global FS_g
Semiempíricos ^a	Valores propostos no próprio processo e no mínimo 2,15	Valores propostos no próprio processo e no mínimo 3,00
Analíticos ^b	2,15	3,00
Semiempíricos ^a ou analíticos ^b acrescidos de duas ou mais provas de carga, necessariamente executadas na fase de projeto, conforme 7.3.1	1,40	2,00

^a Atendendo ao domínio de validade para o terreno local.
^b Sem aplicação de coeficientes de ponderação aos parâmetros de resistência do terreno.
^c Em todas as situações de $\gamma_m, \gamma_f = 1,4$ (majoração) para o esforço atuante, se disponível apenas o seu valor característico; se já fornecido o valor de cálculo, nenhum coeficiente de ponderação deve ser aplicado a ele.

Fonte: ABNT NBR 6122 (2019)

As determinações de tensões admissíveis podem ser calculadas pelos métodos teóricos (teorias de capacidade de carga) ou métodos semiempíricos que se baseiam em resultados de ensaios (ABNT NBR 6122:2019).

Métodos teóricos

Para a utilização de um método teórico é necessário que através do NSpt sejam determinados os valores do ângulo de atrito, coesão, peso específico e modo de ruptura (ENGENHARIA DIGITAL, 2020).

Modos de ruptura do solo

São 3 os modos de ruptura estabelecidos por Vesic (1975), Modo de ruptura geral, local e por punção.

Ruptura Geral

Ocorre em solos mais resistentes e em sapatas menos profundas. A ruptura é repentina, causa o tombamento da sapata e eleva o solo na superfície do terreno, ocorre em areia compacta e muito compacta, argila rijas e dura.

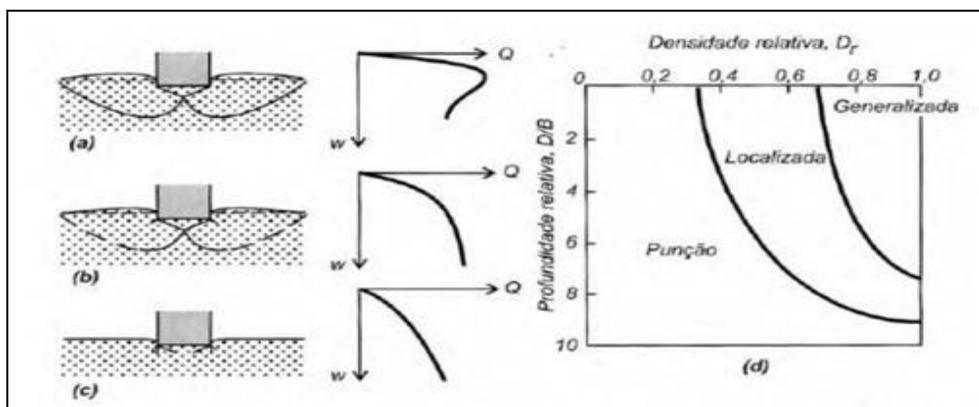
Ruptura por punçinamento

Dá-se em solos como Areia pouco compacta a fofa e argila mole a muito mole. Neste caso não ocorre o tombamento, e sim o movimento vertical da fundação.

Ruptura Local

Está entre os dois modos anteriores, acontece em solos como areia medianamente compacta e argilas médias, ocorre em sapatas mais profundas e tubulões, não causa ruptura repentina, o solo não se desloca para a superfície.

Figura 7: a) Ruptura geral; b) Ruptura local; c) Punçionamento; d) condições de ocorrência dos modos de ruptura em areia.

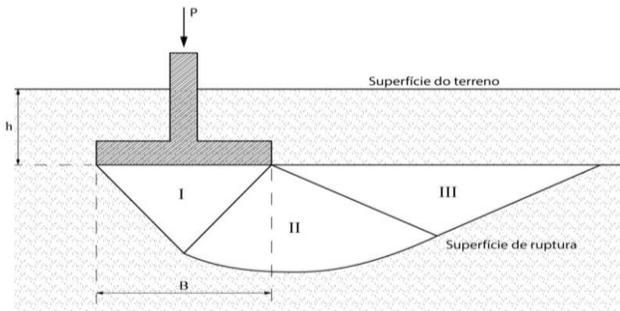


Fonte: SENA (2016)

Método de Terzaghi para Tensão admissível do solo

Terzaghi (1943), através do esquema apresentado na figura 8 supôs que uma carga aplicada sobre a fundação, em um solo qualquer, irá deformar uma cunha por punção na região I, logo abaixo do elemento de fundação, esta cunha irá causar empuxos laterais na região II que por sua vez irá levar ao deslocamento a região III, formando uma superfície de ruptura bem definida, ou seja, o solo irá romper por tensões cisalhantes nessa superfície de ruptura (região I e II).

Figura 8: Modelo de ruptura proposto por Terzaghi.



Fonte: GUIA DA ENGENHARIA (2019)

De acordo com a análise deste modelo, Terzagui (1943), considerando uma sapata corrida e ruptura geral do solo, criou a fórmula inicial para o cálculo da tensão resistente do solo. Posteriormente, através de outros estudos adaptou sua teoria, assim abrangendo sapatas isoladas em seus vários formatos e alcançando também o modo de ruptura local do solo, chegando a fórmula apresentada a seguir:

$$\sigma_r = c N_c S_c + q N_q S_q + 0,5 \gamma B N_\gamma S_\gamma \quad (2)$$

Onde:

c: Coesão do Solo;

q: tensão efetiva no solo na cota de assentamento ($q = \gamma * h$)

γ : peso específico do solo;

B: dimensão da fundação;

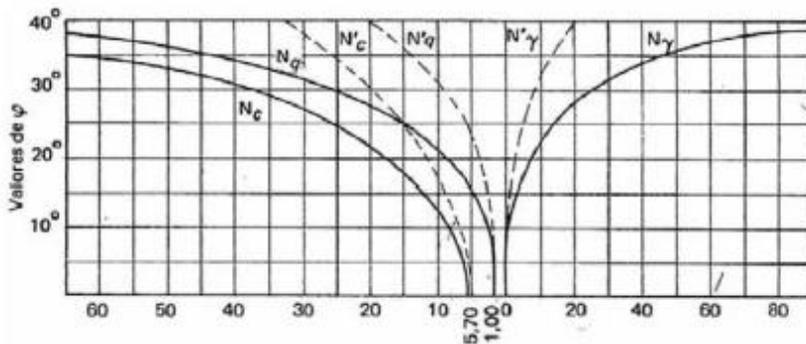
N_i : fatores de carga obtidos através do ângulo de atrito do solo na figura 8;

S_i : fatores de forma da fundação, obtidos na tabela 3.

Fatores de capacidade de carga

As parcelas N_c , N_q e N_γ são fatores de capacidade de carga. Representam, respectivamente, as contribuições de coesão, sobrecarga e peso específico. São adimensionais e dependem unicamente do ângulo de atrito do solo (ϕ). Para obter os valores dos fatores de carga, utiliza-se o ábaco da figura 9, para um solo com modo de ruptura geral, deve ser usado as curvas N_i , para solos com modo de ruptura local usa-se N'_i para leitura do ábaco (SENA, 2016).

Figura 9: Fatores de capacidade de carga.



Fonte: ENGENHARIA DIGITAL (2020)

Os coeficientes de capacidade de carga também podem ser obtidos através da tabela 2, que é uma leitura do ábaco da figura 9.

Tabela 2: Coeficientes de capacidade de carga

ϕ	RUPTURA GERAL			RUPTURA LOCAL		
	N_c	N_q	N_γ	N'_c	N'_q	N'_γ
0	5,7	1,0	0,0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8,0	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5,0	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19,0	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35,0	23,7	11,7	9,0
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8

Fonte: ENGENHARIA DIGITAL (2020)

Fatores de Forma

Os fatores de forma utilizados na formulação de Terzagui (1943), são tabelados (tabela 3), deve ser escolhido pelo formato da sapata que está sendo usada para calcular a tensão admissível do solo.

Tabela 3: Fatores de forma

Forma da fundação	Fatores de forma		
	S_c	S_γ	S_q
Corrida	1,0	1,0	1,0
Quadrada	1,3	0,8	1,0
Circular	1,3	0,6	1,0
Retangular	1,1	0,9	1,0

Fonte: ENGENHARIA DIGITAL (2020)

O fator B da equação (2) de Terzaghi (1943), se refere à medida da base da sapata, deve ser usado a menor dimensão da base da sapata em questão.

Ruptura por Puncionamento

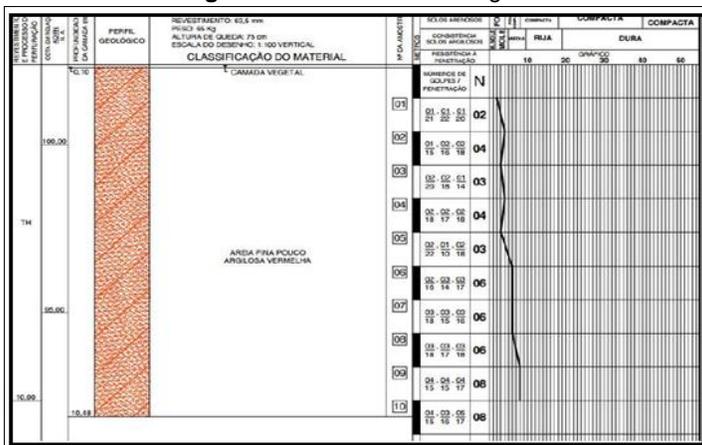
De acordo com Sena (2016), no caso de o solo apresentar ruptura por puncionamento, Terzaghi sugere utilização da fórmula para a ruptura geral, realizando uma redução empírica nos parâmetros de coesão e ângulo de atrito.

$$c^* = \frac{2}{3} c \quad (3) \quad \text{e} \quad \tan\phi^* = \frac{2}{3} \tan\phi \quad (4)$$

Parâmetros de solo

Para o cálculo de coesão, ângulo de atrito e peso específico será utilizado os dados da figura 10. Para realizar esses cálculos foi realizado uma média dos valores de SPT de mesma classificação.

Figura 10: Boletim de sondagem



Fonte: ENGENHARIA DIGITAL (2020)

Cálculo de ângulo de atrito

Para cálculo de ângulo de atrito será utilizado a fórmula de Godoy (GODOY, 1983).

$$\phi = 28^\circ + 0,4 \times N_{spt} \text{ (10)}$$

De acordo com o quadro 3, é possível classificar os solos que estão entre 1 e 5 metros como fofo, porque os resultados de N são menores ou iguais a 4.

- **Média N_{spt}**

$$\text{Média } N_{spt} = (2 + 4 + 3 + 4 + 3) \div 5$$

$$\text{Média } N_{spt} = 3,2$$

- **Cálculo do ângulo de atrito**

$$\phi = 28^\circ + 0,4 \times N_{spt}$$

$$\phi = 28^\circ + 0,4 \times 3,2$$

$$\phi = 29,28$$

Cálculo da coesão

Para cálculo de coesão será utilizado a fórmula de Berberian (ENGENHARIA DIGITAL, 2020). Vale ressaltar que o solo da figura 10 é composto predominantemente por areia, solo não coesivo, mas pelo fato de existir argila em sua composição, solo coesivo, a mistura passar a ter um índice pequeno de coesão:

$$C = N \div 0.35 \text{ KPa (11)}$$

$$C = 3,2 \div 0.35$$

$$C = 3,2 \div 0.35$$

$$C = 9,14 \text{ Kpa}$$

Peso específico

Para obtenção do peso específico do solo em questão usaremos as informações das tabelas 4 e 5, associando as informações do solo obtidas na figura 10.

Tabela 4: Peso específico de Solos arenosos

N _{spt}	Compacidade	Peso específico (KN/m ³)		
		Areia seca	Úmida	Saturada
<5	Fofa	16	18	19
5 - 8	Pouco compacta			
9 - 18	Medianamente compacta	17	19	20
19 - 40	Compacta	18	20	21
>40	Muito compacta			

Fonte: ENGENHARIA DIGITAL (2020)

Tabela 5: Areias e solos arenosos

Compacidade	γ (t/m ³)	C (t/m ³)	ϕ°	E (t/m ³)	V
Fofa	1,6	0	25-30	100 - 500	0,3 a 0,4
Pouco Compacta	1,8	0	30-35	500 - 1400	
Medianamente compacta	1,9	0	35-40	1400 - 4000	
Compacta	2,0	0	40-45	4000 - 7000	
Muito compacta	>2,0	0	>45	>7000	

Fonte: ENGENHARIA DIGITAL (2020)

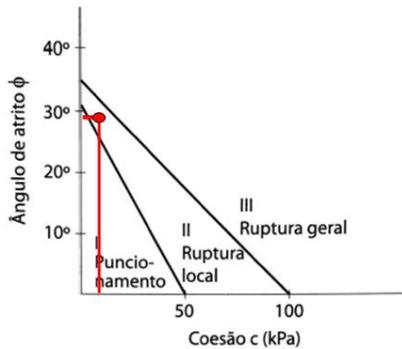
Leitura das tabelas 4 e 5: Para N_{spt} = 3,2 (média do N_{spt}, calculado no item 4.3.3.1 para a primeira camada do solo entre a cota 1 e 5m) e um solo arenoso seco, de acordo com a tabela 4 temos uma areia fofa com $\gamma = 16 \text{KN/m}^3$. Pela tabela 5 para o mesmo solo temos $\gamma = 1,6 \text{ t/m}^3$.

Cálculo da tensão admissível através do método teórico

Dados obtidos de acordo com os cálculos e tabelas anteriormente apresentados:

- Parâmetros do solo
 Φ de atrito: 29,28
c: 9,14
 γ : 16 KN/m³

- Modo de ruptura



Leitura do gráfico: ruptura local

- Fatores de carga (figura 9)

Nc: 19
 Nq: 8,2
 Nγ: 6,5

- Fatores de forma (tabela 3)

Sc: 1,3
 Sq: 1,0
 Sγ: 0,8

- Sobrecarga

$$q = \gamma \cdot h \quad (5)$$

$$q = 16 \cdot 1,45 = 23,2 \text{ KN/m}^3$$

Substituindo os dados na equação 2, temos:

$$\sigma_r = 9,14 \cdot 19 \cdot 1,3 + 23,2 \cdot 8,2 \cdot 1,0 + 0,5 \cdot 16,0 \cdot 1,3 \cdot 6,5 \cdot 0,8$$

$$\sigma_r = 225,758 + 190,24 + 54,08 = 470,08 \text{ Kpa} \cong 0,470 \text{ Mpa}$$

- Cálculo da tensão admissível σ_a :

$$\sigma_a = \frac{0,470}{3} \quad (1)$$

$$\sigma_a = 0,157 \text{ Mpa}$$

Métodos Semiempíricos

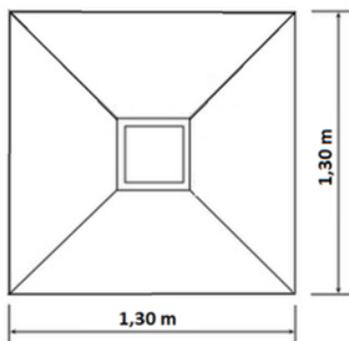
Os métodos semiempíricos são uma mistura entre os métodos teóricos e os métodos empíricos. Os métodos empíricos são associados a utilização, são baseados em ensaios anteriores e trabalham com gráficos e ábacos (ENGENHARIA DIGITAL, 2020).

Existem vários métodos semiempíricos, mas nesse trabalho vamos exemplificar o cálculo da tensão admissível utilizando o método de Teixeira que é aplicável a qualquer tipo de solo através da fórmula abaixo ((CINTRA et al., 2011).

$$\sigma_a = \frac{N_{spt} \text{ Médio}}{5} \text{ Kg/cm}^2 \quad (6)$$

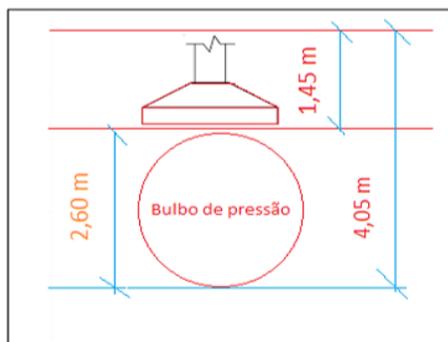
Para exemplificar esse método, será utilizado o ensaio da figura 10 e a sapata da figura 11. Será considerado uma cota de assentamento de 1,45m, conforme figura 12. Esse método é indicado para sapatas quadradas (CINTRA et al., 2011).

Figura 11: Sapata para cálculos



Fonte: Arquivo Pessoal (2010)

Figura 12: Cota de assentamento



Fonte: Arquivo Pessoal (2010)

- **Cálculo do Bulbo de tensões (Z)**

Para uma sapata quadrada a profundidade do bulbo é $2 \times B$ (CINTRA et al., 2011).

$$Z = 2 \times B \quad (7)$$

$$Z = 2 \times 1,30\text{m} = 2,60 \text{ m}$$

- **Cálculo do N médio (utilizando os dados das figuras 10)**

$$N_m = (\text{Somatório de } N_{spt}) / N^{\circ} \text{ de } N_{spt} \quad (8)$$

$$Nm = (2+4+3+4) / 4 = 3,25$$

- **Tensão admissível do solo**

$$\sigma_a = 3,25/5$$

$$\sigma_a = 0,65 \text{ Kgf/cm}^2 = 63,74 \text{ KN/m}^2 = 6,37 \text{ tf/ m}^2$$

- **Cálculo da máxima carga que essa sapata poderá receber (dados da figura 11)**

Para esse exemplo foi desconsiderado o peso próprio da sapata e utilizada a fórmula de tensão da mecânica geral (equação 9).

$$\sigma = F / A \text{ (9)}$$

$$F = \sigma \cdot A$$

$$F = 6,37 \times (1,30 \times 1,30)$$

$$F = 10,765 \text{ tf} = 107,65 \text{ KN}$$

CONCLUSÃO

Este trabalho alcançou os objetivos propostos, mesmo de forma superficial dentro da complexidade da engenharia de fundações.

Foi exemplificado cálculos dos parâmetros de solo, tensão admissível do terreno e interpretação de um ensaio de sondagem. Foi abordado de forma sucinta a descrição dos tipos de fundações superficiais.

Foi utilizada uma sapata quadrada para explicar o modo de aplicação de um método teórico e outro semiempíricos. Não foi feito o dimensionamento desta sapata, porque não é o foco do trabalho, apenas foi determinada suas dimensões de forma aleatória. Para o Cálculo da máxima carga que essa fundação rasa poderia receber foi desprezado o seu peso próprio e usada a fórmula de tensão da mecânica geral.

Os resultados obtidos através dos exemplos dados mostram que, mesmo se tratando de uma fundação superficial é necessário o estudo do solo. O perfil utilizado é de um solo de baixa resistência, e esse entendimento só foi alcançado devido ao ensaio de sondagem e do cálculo de tensão admissível do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484: Solo - **Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio.** Rio de Janeiro. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6502: **Rochas e solos**. Rio de Janeiro.1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8036: **Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios**. Rio de Janeiro. 1983.

BASTOS, P. S. S. **Sapatas de fundação**. 2016. 125f. Departamento de engenharia civil, Universidade Estadual Paulista Unesp, Bauru,2016. Disponível em:<http://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/09/sapatas.pdf&v=ed=>. Acesso em 30 de outubro de 2020.

CINTRA, J. C. A, AOKI N., ALBIERO, J. H. **Fundações diretas: projeto geotécnico**. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

ENGENHARIA DIGITAL. **Curso prático de fundações superficiais**. 2020. Disponível em: <https://www.cursosengenhariadigital.com/>. Acesso em 20 de novembro de 2020.

ESCOLA ENGENHARIA. **Sapatas de fundação**. 2019. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/sapatas-de-fundacao>. Acesso em 01 de novembro de 2020.

FLORIANO, C. F. **Mecânica dos Solos**. Porto Alegre - RS: Sagah Educação S.A, 2016

GODOY, N. S. **Estimativa da capacidade de carga de estacas a partir de resultados de penetrômetro estático**. Palestra, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, SP, 1983.

GUIA DA ENGENHARIA. **Ensaio SPT**. 2018. Disponível em: <https://www.guiadaengenharia.com/resultado-ensaio-spt/>. Acesso em 02 de novembro de 2020.

Guia da Engenharia. **Cálculo da tensão admissível do solo**. 2019. Disponível em: <https://www.guiadaengenharia.com/tensao-admissivel-metodos-determinacao/>. Acesso em 2 de novembro de 2020.

GUIMARÃES, D.; ALCIDES, E. O A. P. **Fundações**. Porto Alegre - RS: Sagah Educação S.A, 2018.

HACHICH, W. **Fundações: Teoria e prática**. São Paulo: Pini, 1998.

MAXI EDUCA. **Sapata**. 2018. Disponível em: <https://blog.maxieduca.com.br/fundacoes-construcao-civil/sapata/>. Acesso em 01 de novembro de 2020.

PINTO C. de S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

MARANGON, M. Universidade Federal de Juiz de Fora. Curso de "**Geotecnia de fundações e obras de terra**"- 1ª parte. Juiz de Fora, MG. 2018. Disponível em: <https://www.ufjf.br/nugeo/files/2017/07/GEF04-Funda%C3%A7%C3%B5es-Diretas-2018-11.pdf>. Acesso em 25 de outubro de 2020.

SENA, L. "**Estudo de caso sobre projetos de fundações por sapatas e por estacas**". Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/174031/%20TCC%20-%20Leonardo%20Sena.pdf?sequence=1>. Acesso em 20 de novembro de 2020.

TEIXEIRA, A.H. "Projeto e execução de fundações". SEFE III. São Paulo, 1996.

TERZAGHI, K. **Theoretical Soil Mechanics**. New York, John Wiley & Sons, Inc. 1943.

VELLOSO, D. A; LOPES, F. R. **Fundações: Critérios de projeto; Investigação do subsolo; Fundações Superficiais; Fundações Profundas**. São Paulo: Oficinas de textos, 2010.

VESIC, A. S. **Bearing capacity of shallow foundations**. Department of Civil Engineering, Duke University. 1975.