

Análise de Métodos de Cálculo de Capacidade de Carga de Sapatas de seu Impacto Financeiro

Isabela Ávila Martini

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, martiniisabela@yahoo.com.br

Crysthian Purcino Bernardes Azevedo

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, purcino@etg.ufmg.br

RESUMO: O presente trabalho apresenta um estudo de alguns métodos consagrados de cálculo de capacidade de carga para fundações em sapatas. Para tanto, é feito um estudo de caso de uma obra da construtora SPL Engenharia Ltda., em Belo Horizonte (MG). A partir de dados deste empreendimento, foram realizados os cálculos necessários para desenvolver os projetos de fundações a partir de cada um dos métodos. Então, foram comparadas as áreas totais encontradas. Para a maior e a menor área, foram produzidos os projetos de fundação e, posteriormente, foi realizado um levantamento de insumos e serviços inerentes à execução deles. Por fim, foi feita uma análise dos custos e sua variação, dando início a uma discussão sobre os impactos da escolha do método da capacidade de carga.

PALAVRAS-CHAVE: Fundações Rasas, Capacidade de Carga, Métodos de Cálculo de Sapatas, Análise de Custos.

1 INTRODUÇÃO

Fundações superficiais são aquelas em que a carga da estrutura é transmitida ao solo através de tensões distribuídas na base dos elementos de fundação. O elemento denominado sapata é um exemplo de fundação superficial. De acordo com a NBR 6122:2010, as sapatas são elementos constituídos de concreto armado, dimensionados de modo que as tensões de tração nele resultantes sejam resistidas pelo emprego de armadura especialmente disposta para esse fim.

Para dimensionar adequadamente as fundações de uma obra civil, os projetistas utilizam investigações geotécnicas, sendo a mais usual a Sondagem de Simples Reconhecimento. Através desse estudo, é possível estimar a capacidade de carga do terreno. Para tanto, existem diversos métodos de cálculo disponíveis.

O uso de diferentes métodos de cálculo infere em diferentes resultados, que impactam

no projeto final, tornando a fundação mais ou menos onerosa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Sondagem de simples reconhecimento (SPT)

Para elaborar um projeto de fundações, é necessário conhecer o solo local. No Brasil, a investigação geotécnica mais comumente usada para fins de fundação é o “Standart Penetration Test” – SPT.

De acordo com a NBR 6484:2001, SPT é o ensaio através do qual se determina o índice de resistência à penetração (N). Essa determinação é feita a partir de perfuração do solo e cravação dinâmica de um amostrador-padrão. Os parâmetros determinados pelo ensaio são: tipo de solo, obtenção do índice de resistência à penetração (N) e posição do lençol freático.

2.2 Classificação de sapatas

Sapatas podem ser classificadas de acordo com o número de cargas que recebem. Sapatas que recebem carga de apenas um pilar são chamadas sapatas isoladas. As sapatas que recebem cargas de dois ou mais pilares são denominadas associadas. Já as sapatas que recebem cargas de pilares alinhados ou paredes estruturais são chamadas de sapatas corridas.

2.3 Definição da Cota de Assentamento

Uma das primeiras etapas na execução de um projeto de fundações é definir a cota de assentamento do elemento de fundação. Berberian (2015) cita os seguintes critérios, que devem ser seguidos para determinar a cota de assentamento de sapatas:

- O assentamento deve ser feito sobre solo resistente. Considera-se que solos resistentes são aqueles com valores de N superiores a 20, sendo admitidos valores próximos a 15 em algumas situações;

- O terreno em profundidade menor que duas vezes o valor de B , a partir da cota da base também deve ser resistente;

- É recomendável que o assentamento seja feito em cota superior ao lençol freático. Em algumas situações, é admissível que se escave abaixo do lençol freático. Se isso for feito, será necessário o uso de bombas submersíveis, o que encarece o processo construtivo;

- O solo deve ser preferencialmente coesivo. Pode-se escavar em areia pura, se houver escoramento para garantir estabilidade.

2.4 Metodologia Construtiva

De acordo com Alonso (1983), a execução de sapatas deve seguir os seguintes passos:

- Escavação em talude até a cota de apoio. Deve existir uma folga de cinquenta centímetros entre o pé do talude e a sapata. A inclinação do talude deve variar entre 1:1 e 1:3 sendo que quanto mais resistente o solo for, mais vertical o talude pode ser.

- Lançar uma camada de cinco centímetros de espessura de concreto magro, executar a forma do rodapé da sapata e colocar a armação e ferros

de arranque do pilar.

- Realizar a concretagem da peça. A base superior da sapata deve possuir uma folga de dois centímetros para cada lado do pilar.

- Retirar a forma do rodapé e colocar a forma e a armação do pilar.

- Após a desforma do pilar, reaterrar o entorno da sapata.

2.5 Capacidade de Carga em Sapatas

Segundo a NBR 6122:2010, a determinação da tensão admissível ou tensão resistente de projeto pode ser feita a partir de prova de carga sobre placa, métodos teóricos ou métodos semi-empíricos. Porém, a NBR 6122:2010 não especifica quais os métodos recomendados para tais cálculos de determinação.

Berberian (2015) sugere alguns métodos teóricos e semi-empíricos para essa avaliação de capacidade de carga. Esses métodos relacionam fatores como N e tipos de solo, sugerindo formas de se encontrar a tensão admissível (σ_a).

Para os valores de N a serem aplicados, alonerian recomenda utilizar o valor médio de N numa camada de espessura em torno de 1,5 a 2 vezes o menor lado da base, partindo da cota de assentamento. Esse valor médio será denominado N_{72} .

Os métodos de cálculo de capacidade de carga 1 a 10 foram calculados segundo Berberian (2015) e o método 11, conforme Alonso (1983). Os fatores de forma necessários para calcular o método 11 foram obtidos segundo Azevedo (2011) Esses métodos estão apresentados na Tabela 1.

2.6 Dimensionamento Geométrico de Sapatas

Após obter a tensão admissível de projeto, pode-se dimensionar a sapata. Segundo Alonso (1983), a área de uma sapata pode ser obtida pela Equação 1:

$$A_s = Q / \sigma_a \quad (1)$$

Sendo:

A_s : área da sapata, em cm^2

Q : carga aplicada na sapata, em kg

σ_a : carga admissível para o terreno, em kg/cm^2 .

Outro fator de dimensionamento é a altura t' , que compreende a distância do fim do cobrimento da armação até o fim do tronco de pirâmide da sapata.

Segundo Alonso (1983), t' pode ser calculado com auxílio da Equação 2.

$$t' \geq \left[\begin{array}{l} \frac{a - a_0}{4} \\ \frac{b - b_0}{4} \\ 1,44 \sqrt{\frac{Q}{0,85 \frac{f_{ck}}{1,96}}} \end{array} \right] \quad (2)$$

Sendo:

Q: carga aplicada na sapata, em kN.

f_{ck} a resistência do concreto usado na sapata, em Kpa.

a_0 e b_0 as dimensões do pilar, em centímetros.

a e b as dimensões da sapata, em centímetros.

Tabela 1: Relação de Métodos Estudados

Método	Descrição
1	Recomendações da Norma Brasileira NBR 6122:1996 (Alterada por Berberian)
2	Recomendações da Norma DIN 1054 (Alemã)
3	Recomendações de Berberian (2010) – Aplicável a todos os solos
4	Albieiro e Cintra (1996) – Aplicável a qualquer solo
5	Recomendações de Terzaghi e Peck (1962) – Solos arenosos
6	Recomendações de Parry (1977) – Solos arenosos
7	Recomendações de Milton Vargas (1960) – Aplicável a todos os tipos de solo

3 ESTUDO DE CASO

No presente trabalho, foi feito o estudo da fundação do bloco comercial do empreendimento Bella Toscana, localizado na

Avenida Tancredo Neves em Belo Horizonte (MG) e executado pela SPL Engenharia Ltda.

O empreendimento Bella Toscana é composto por uma torre residencial com 18 pavimentos e 60 apartamentos de padrão alto e um bloco comercial anexo. Para este trabalho será considerado apenas o bloco comercial, já que somente nele a fundação executada foi em sapatas.

O bloco comercial é composto por dezoito lojas distribuídas em dois pavimentos. A finalização da obra se deu em julho de 2015.

A estrutura é composta de 48 pilares, sendo que a carga neles varia de 33,0 a 127,0 tf. O critério de escolha do furo de sondagem para cada pilar foi de proximidade. Para estes pilares, foram calculadas quatro sapatas associadas (atendendo dois pilares cada) e quarenta sapatas simples.

3.1 Análise dos Boletins de Sondagem

Os principais dados de entrada dos métodos apresentados são o chamado N_{72} e o tipo de solo sobre o qual as sapatas serão assentadas. Essas informações podem ser obtidas a partir da análise dos boletins de sondagem disponibilizados pela SPL Engenharia. A partir dessas informações pode-se calcular o valor de N_{72} com base nas recomendações de Berberian (2015). Para o furo 1, N_{72} é igual a 28. Para o furo 2, N_{72} é igual a 35.

3.2 Cálculo das Sapatas

Foram calculadas as áreas necessárias aos elementos de fundação segundo cada método apresentado. Devido à proximidade entre alguns pilares, haverá sapatas associadas dimensionadas para atender a dois deles.

Segundo Alonso (1983), a sapata mais econômica para atender a pilares quadrados será quadrada, portanto, utilizou-se essa configuração. Para as sapatas associadas, essa configuração não é a mais adequada, porém, este mesmo critério foi adotado visando maior facilidade de execução e cálculos. Para facilitar o procedimento executivo, as dimensões adotadas de todas as sapatas são múltiplas de 10 centímetros.

3.3 Análise dos Resultados dos Métodos

A Tabela 2 sintetiza os resultados obtidos.

Tabela 2: Área das sapatas calculadas para cada método.

Método	Descrição	Área Total (m²)
1	Recomendações da Norma Brasileira NBR 6122:1996 (Alterada por Berberian)	134,19
2	Recomendações da Norma DIN 1054	134,19
3	Recomendações de Berberian (2010)	55,38
4	Albieiro e Cintra (1996)	65,11
5	Recomendações de Terzaghi e Peck (1962) – Solos arenosos	106,04
6	Recomendações de Parry (1977)	107,28
7	Recomendações de Milton Vargas (1960)	77,62
8	Recomendações de Teixeira (1996)	78,14
9	Recomendações de Terzaghi e Peck (1962) – Solos argilosos e arenosos	123,56
10	Recomendações de Victor de Mello (1975)	73,78
11	Teoria de Terzaghi	100,90

A Tabela 3 mostra que a solução com menor metragem quadrada total foi encontrada a partir do Método 3 (Recomendações de Berberian). Já as soluções encontradas pelos Métodos 1 e 2 (Recomendações da Norma Brasileira NBR 6122:1996 alterada por Berberian e Recomendações da Norma DIN 1054), foram as que obtiveram maiores valores totais.

Assim, visando uma análise de desvio de custo de acordo com a solução escolhida, foi feito o projeto de fundações, o levantamento de quantidades e o cálculo de custo apenas dos métodos 1 e 3.

3.4 Determinação de Custos

A partir dos dados disponibilizados pela SPL Engenharia Ltda., gerou-se a Tabela 3, que apresenta os custos unitários dos materiais utilizados para a execução de sapatas.

Tabela 3: Relação de Preços Unitários

Serviço/Material	Unid.	Preço Unitário
Aço CA50	kg	R\$ 3,28
Corte e dobra de aço	kg	R\$ 1,75
Execução de forma	m²	R\$ 84,00
Concreto bombeado 15 Mpa	m³	R\$ 195,00
Concreto magro rodado em obra	m³	R\$ 270,00
Escavação (sem transporte)	m³	R\$ 5,95
Transporte de terra	m³	R\$ 14,00
Compactação de aterro	m³	R\$ 8,25

Assim, foi possível determinar os custos totais dos métodos 1 e 3. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4: Custos do Método 1.

Serviço / Material	Un.	Preço Unit. (R\$)	Quant.	Custo (R\$)
Aço CA50	kg	3,28	3170,08	10.397,85
Corte e dobra de aço	kg	1,75	3170,08	5.547,63
Execução de forma	m²	84,00	122,08	10.254,72
Concreto bombeado	m³	195,00	63,40	12.363,30
Concreto magro	m³	270,00	16,54	4.465,67
Escavação (sem transporte)	m³	5,95	1506,19	8.961,83
Transporte de terra	m³	14,00	79,94	1.119,17
Compactação de aterro	m³	8,25	1426,25	11.766,56
Total				64.876,72

4 CONCLUSÃO

A partir da análise dos resultados obtidos pelos métodos de cálculo de capacidade de carga para fundações em sapatas apresentados nesse trabalho, foi possível verificar primeiramente que há grande variabilidade de resultados. A menor área total encontrada (Método 3) foi quase duas vezes e meia menor que a maior área total (Métodos 1 e 2). Os resultados estão distribuídos conforme a Figura 1.

Analisando os aspectos econômicos verificados, foi possível concluir que o impacto da escolha do método de cálculo de capacidade de carga pode ser bastante significativo. O projeto com execução mais onerosa apresentou custos quase duas vezes superiores do que o

mais barato.

Vale ressaltar que a escolha por um dos métodos também trará impactos para a segurança. Portanto, projetistas de fundações devem conhecê-los profundamente para ponderar entre os fatores custo e segurança, visando escolher métodos de sua confiança.

Além disso, cabe lembrar que o engenheiro responsável não deve se prender apenas aos cálculos aqui apresentados. É fundamental fazer uso de todo conhecimento e experiência adquirida acerca de fatores como: existência de peculiaridades regionais, possível ineficiência das investigações geotécnicas realizadas, finalidades de ocupação e uso da edificação, entre outros.

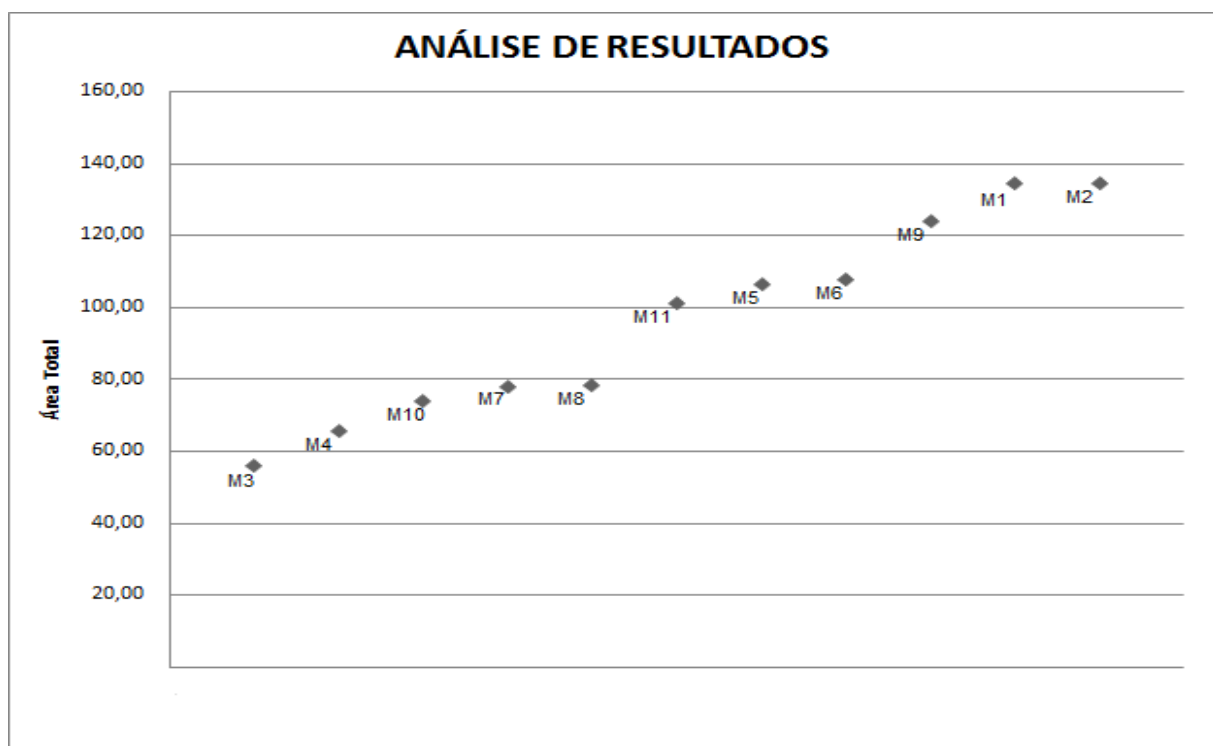


Figura 1: Análise dos resultados.

5 BIBLIOGRAFIA

- Alonso, Urbano Rodriguez. *Previsão e controle das fundações* – São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122:2010** – Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484:2010** – Solo – Sondagem de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.

Azevedo, Crysthian Purcino Bernardes. *Projeto de Fundações Baseado em Confiabilidade*. Tese de Doutorado. UFMG, 2011.

Berberian, Dickran. *Engenharia de Fundações* 2ª Ed. Brasília: INFRASOLO, 2015. 467 p.