



ANÁLISE DA DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE CARGA DE ESTACAS ESCAVADAS UTILIZANDO MÉTODOS SEMI-EMPÍRICOS BRASILEIROS

Ariadny de Cássia Florenço Labanca

Carlos Henrique de Carvalho Junior

Curso: Engenharia Civil Período: 10º Área de Pesquisa: Engenharias

Resumo: Na etapa de fundações, encontrar a capacidade de resistência de uma estaca é de grande interesse, seja nos aspectos financeiros, na segurança ou no planejamento de uma estrutura. No entanto, é necessário à realização do ensaio de sondagem do solo para o conhecimento eminente das características e particularidades do terreno e a falta dessas informações geotécnicas mais completas acaba prejudicando a viabilidade do projeto. O presente trabalho tem como objetivo analisar as principais diferenças entre os métodos semi-empíricos para a estimativa da capacidade de carga na execução de estacas escavadas, tomando como referência as normas vigentes no país e as metodologias utilizadas por Aoki e Velloso, Décourt e Quaresma, e Teixeira. Mediante a isso foi possível verificar qual dos métodos apresenta maior segurança no dimensionamento e na otimização da execução de estacas escavadas em um terreno na região de Manhuaçu-Mg.

Palavras-chave: Fundação; Métodos Semi-empíricos; Solo; Capacidade de Carga.



1. INTRODUÇÃO

A fundação é um elemento estrutural muito importante para construção civil, ela é o agente responsável por transmitir os carregamentos da estrutura para o solo. Essa etapa precisa ser executada com muita atenção para que problemas sejam evitados nos processos seguintes e para que a estrutura não apresente recalques excessivos ou deformações.

Com os avanços tecnológicos e o crescente aumento das cidades, foi necessário buscar técnicas capazes de suportar o peso gradativamente maior das estruturas e que ainda assim fossem economicamente viáveis. No entanto, todo desenvolvimento de técnicas de projeto e de execução das fundações, depende do conhecimento dos mecanismos de comportamento dos solos (FALCONI et al., 2019).

Logo, a análise é essencial para a determinação do modelo de fundação a ser utilizado e pode ser feita através de ensaios laboratoriais ou por estudos de campo, como é o caso do ensaio de penetração do cone (CPC). Outro ensaio muito utilizado é o STP (Standard Penetration Test.), que consiste na perfuração de pontos distintos do terreno através de golpes.

A falta de informações geotécnicas mais completas dificulta o dimensionamento seguro e a redução de custos. Diante disso, a Associação Brasileira de Normas Técnicas — NBR 6122 (2019) indica fatores de segurança fixos para solos heterogêneos, o que evidencia ainda mais insegurança quanto as possíveis soluções na determinação da capacidade de carga. Dado que, para solos com características diferentes tem-se fatores de segurança iguais.

Os métodos teóricos e empíricos para a determinação da capacidade de ruptura são bastante difundidos na literatura técnica da engenharia de fundações. Entretanto, no Brasil há um predomínio nos processos semi-empíricos propostos por Aoki e Velloso no ano de 1975, por Décourt e Quaresma no ano de 1978 e, mais recentemente, em 1996 o método de Teixeira.

As normas técnicas brasileiras não indicam quais modelos são mais recomendados para cada região ou até mesmo para cada classificação da camada de solo e isso traz incertezas sobre qual método deve-se utilizar para a determinação da tensão de ruptura.

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise comparativa dos modelos semi-empíricos de Aoki e Velloso, Décourt e Quaresma, e Teixeira com auxílio da teoria no intuito de compreender melhor as diferenças entre as metodologias na determinação da capacidade de carga, e assim identificar qual dos métodos é a melhor solução e traz maior viabilidade e otimização no dimensionamento da execução de estacas escavadas em um terreno na região de Manhuaçu-Mg.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Fundação Profunda

Segundo a NBR 6122:2019 as fundações profundas são caracterizadas por suportar e transmitir as cargas e sobrecargas da estrutura para o solo, seja pela

resistência de ponta, pela tenacidade de fuste, ou até mesmo pela junção das duas. Elas são utilizadas quando empregar uma fundação rasa não é possível devido às condições do solo ou do carregamento elevado da estrutura.

As fundações profundas podem ser classificadas pelo material, método construtivo ou pelo modelo. O tubulão e as estacas estão inclusos nessa denominação, onde as estacas são subdivididas como Strauss, Franki, Hélice Contínua, Mega, Raiz, Pré-Moldada ou Escavada e essa categorização encontra-se melhor representada na Tabela 1 (VELLOSO E LOPES, 2011).

TABELA1 –Classificação de fundações por estacas

Tipos de Estaca		
Execução	Estacas	
De deslocamento	Grande	Madeira Pré-moldada de concreto Tubos de aço de ponta fechada Franki Micro estacas injetadas
	Pequeno	Perfis de aço Tubos de aço de ponta aberta Estacas hélice especiais
Sem deslocamento		Escavadas com revestimento metálico perdido que avança á frente da escavação Estaca raiz
De substituição		Escavadas sem revestimento ou uso de lama Strauss Estacas hélice contínua em geral

Fonte: VELLOSO E LOPES, 2011, p.182.

2.2. Fundação por Estaca Escavada

Caracterizadas pela execução com a retirada de solo, seja de forma manual ou mecanicamente e preenchidas por concreto em seguida, as estacas escavadas são muito utilizadas no Brasil por não gerar vibração, possuir a capacidade de carga elevada e por ser vantajosamente um método barato, onde o equipamento utilizado é de fácil acesso.

Entretanto, de acordo com Braga (2009), a aplicabilidade desse elemento estrutural dispõe de algumas desvantagens como seu uso limitado em razão do nível d'água ou quando o terreno apresenta solos com argila mole saturada.

Zirnberger (2017), diz que quando se trata de perfurações feitas manualmente existem limitações quanto à profundidade e quanto à verticalidade do furo que não pode ser garantida. Devido a isso, recomenda-se realizar escavação manual apenas em situações onde as cargas são menores. Já para perfurações utilizando o trado mecânico, há a possibilidade de se alcançar grande profundez.

A composição do solo é muito inconsistente por tratar-se de um elemento natural e diante disso, antes da escolha da fundação a utilizar se faz primordial um reconhecimento relevante do terreno que será trabalhado, a partir de uma análise geotécnica.

2.3. Investigação Geotécnica

Para que um projeto de fundações seja bem elaborado, segundo Sena (2016, p.14) é indispensável conhecer não só as características do terreno, como também as camadas mais profundas do solo, de acordo com a grandiosidade da estrutura que será construída.

As análises geotécnicas podem ser realizadas através dos métodos laboratoriais ou por ensaios de campo (in situ). Dentre os ensaios de campo, os que mais se destacam de acordo com De Freitas Souza e Pereira Garcia (2014) são:

- “Standard Penetration Test” (SPT);
- O “Standard Penetration Test” complementado com torque (SPT-T);
- O ensaio de penetração de cone (CPT);
- O ensaio de penetração de cone com medida das pressões neutras ou *Piezocone* (CPT-U);
- O ensaio de palheta (Vane Test).

Além disso, o autor ainda destaca o método do SPT como o mais executado no mundo, inclusive no Brasil, devido a sua praticidade.

2.4. SPT

Dentre os diferentes tipos de sondagem, um muito utilizado devido sua fácil execução e baixo custo é a prospecção de simples reconhecimento à percussão (SPT). Este método mede a resistência e o tipo de solo nas suas respectivas profundidades. Além disso, através dele é possível identificar a posição do nível d'água.

Este ensaio é exigido como requisito mínimo na investigação geotécnica preliminar na norma de projeto e execução de fundações, normatizado pela ABNT NBR 6484:2020, na qual os índices de resistência à penetração a cada metro são caracterizados por N, que são definidos pela Tabela 2.

Segundo Zirnberger (2017), a realização da sondagem à percussão consiste nos seguintes processos:

- Primeiro posiciona-se o amostrador na profundidade de 1 m;
- Efetua-se a marcação do segmento de 45 cm, divididos em três trechos iguais de 15 cm cada;
- Em seguida, o martelo é posicionado sobre a cabeça de bater para cravação de um amostrador de 50 mm de diâmetro externo através da queda de um peso de 65 kg a uma altura de 75 cm;
- O amostrador coleta as amostras a cada metro de profundidade e o devido valor do número de golpes para a penetração de 30 cm após a cravação inicial de 15 cm.

O autor ainda informa que comparações com base nos resultados dos ensaios de prospecção do solo do tipo SPT foram empregadas como embasamento para a elaboração de alguns dos métodos semi-empíricos.

TABELA 2 – Estados de compacidade e de consistência

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 compacidade 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 compacidade relativa das areias ou para a situação perante o índice de vazios críticos, definidos na Mecânica dos solos.

Fonte: ABNT, NBR 6484 (2020, p.28).

2.5. Capacidade de Carga

Sobre a capacidade de cargas em estacas, obtidas através de métodos semi-empíricos, pode-se dizer que:

“A capacidade de carga em estacas calculadas por métodos semi-empíricos é, resumidamente, o somatório da contribuição de resistência por atrito lateral no fuste de uma estaca com a resistência de ponta, onde a primeira aumenta com a profundidade, pois o somatório da contribuição por metro de profundidade e a segunda pode variar para mais ou para menos dependendo do tipo de solo em cada profundidade em que os valores são calculados em função do índice resistência à penetração do ensaio a percussão” (AGUIAR, MOREIRA e OLIVEIRA, 2014 p. 30).

Segundo Branco (2006), a capacidade de carga é a reação máxima concedida pelo solo e ela precisa atender ao estado limite ultimo (ELU) e ao estado limite de utilização (ELUt). Diante disso, as condições de ruptura, sejam elas físicas ou convencionais, devem ser verificadas.

De acordo com Cintra e Aoki (2011), a capacidade de carga se dá em razão e aumenta com o decorrer do tempo. Além disso, a cravação de estacas em solos argilosos promove diminuição da resistência que pode ser recuperada por meio desse período, ainda o valor da capacidade de carga se altera por meio do teor de umidade para solos colapsáveis.

2.6. Métodos Semi-Empíricos para a Estimativa da Capacidade de Carga

Os métodos teóricos existentes exigem grandes fatores de segurança para que os resultados obtidos se tornem válidos. Tais métodos nem sempre conseguem representar a tangível situação dos elementos de fundação a serem dimensionados. (SENA, 2016 p.12).

Já os processos semi-empíricos, conforme a ABNT NBR 6122:2019, são aqueles que relacionam resultados de ensaios com tensões admissíveis ou tensões resistentes de projeto e trazem mais segurança devido à junção da teoria com a prática. Porém, segundo De Freitas Souza e Pereira Garcia (2014, p. 10), os respectivos métodos foram desenvolvidos através de estudos de solos específicos e devido a isso ele ressalta a importância da análise numérica e crítica.

Dentre os inúmeros parâmetros para a determinação da capacidade de carga em estacas, foram estudadas neste artigo as metodologias dos brasileiros que se destacaram Aoki e Velloso, Décourt e Quaresma e Teixeira.

2.6.1. Método de Aoki e Velloso

A metodologia de Aoki-Velloso conforme Sakata (2019), foi desenvolvida por meio dos resultados dos ensaios de penetração estática (Cone) e dinâmica (SPT), mediante a utilização de um fator de conversão K, apresentado na Tabela 3 e o cálculo da capacidade de carga é efetuado mediante a Equação 1.

$$Q_{rup} = A_p \frac{K \cdot N_p}{F_1} + P \sum \frac{\alpha \cdot K \cdot N_m}{F_2} \cdot \Delta L \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: Q_{rup} = Carga de ruptura;

α = Coeficiente de relação entre a resistência de ponta e lateral;

K = Coeficiente de correlação entre o CPT e o SPT;

ΔL = Comprimento das camadas;

F_1 = Coeficiente de correção de resistência de ponta para o tipo de estaca utilizado;

F_2 = Coeficiente de correção de resistência lateral para o tipo de estaca utilizado;

P = Perímetro da estaca;

$N_m = N_{SPT}$ médio para cada comprimento da estaca;

A_p = Área da ponta da estaca;

$N_p = N_{SPT}$ próximo à ponta da estaca.

Os valores dos parâmetros, F_1 e F_2 estão representados pela tabela 3, e K e α estão descritos sucessivamente na tabela 4 a seguir:

TABELA 3 – Valores de F_1 e F_2 para o método Aoki e Velloso

Tipo de Estaca	F1	F2
Franki	2,5	5,0
Metálica	1,75	3,5
Pré-Moldada de concreto	1,75	3,5
Escavada	3,5	7

Fonte: SCHNAID e ODEBRECHT (2012, p.58).

Tabela 4 – Valores de K e α para o método Aoki e Velloso

Solo	K(Kgf/cm ²)	α (%)
Areia	10,0	1,4
Areia siltosa	8,0	2,0
Areia siltoargilosa	7,0	2,4
Areia argilossiltosa	5,0	2,8
Areia argilosa	6,0	3,0
Silte arenoso	5,5	2,2
Silte arenoargiloso	4,5	2,8
Silte	4,0	3,0
Silte argiloarenoso	2,5	3,0
Silte argiloso	2,3	3,4
Argila arenosa	3,5	2,4
Argila arenossiltosa	3,0	2,8
Argila siltoarenosa	3,3	3,0
Argila siltosa	2,2	4,0
Argila	2,0	6,0

Fonte: SCHNAID e ODEBRECHT (2012, p.58).

De acordo com Cunha (2016), os valores adotados para os coeficientes F_1 e F_2 em estacas do tipo, raiz, hélice contínua e ômega são iguais a 2 e 4 respectivamente.

2.6.2. Método de Décourt e Quaresma

Outra metodologia muito difundida e bastante utilizada foi criada por Décourt e Quaresma em 1978. A pesquisa ficou ainda mais conhecida depois de 1982, quando em Amsterdã no concurso ESCOPET II, os autores conseguiram atingir a melhor aproximação na estimativa de capacidade de carga (ZIRNBERGER, 2017).

Segundo Schnaid e Odebrecht (2012), Décourt e Quaresma partiram do mesmo princípio de Aoki e Velloso e elaboraram a Equação 2, que inicialmente foi desenvolvida apenas para estacas pré-moldadas de concreto e posteriormente estenderam-se as escavadas, em geral, as hélices contínua e as injetadas.

$$Q_{rup} = \alpha \cdot K \cdot N \cdot \alpha_p + P \cdot \beta \cdot \sum 10 \left(\frac{N_m}{3} + 1 \right) \Delta L \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: Q_{rup} = Carga de ruptura;

α = Coeficiente de resistência de ponta para o tipo de estaca utilizada;

K = Coeficiente de correlação entre a resistência de ponta e o N_{SPT} ;

ΔL = Comprimento das camadas;

P = Perímetro da estaca;

β = Coeficiente de resistência lateral para o tipo de estaca utilizado;

$N_m = N_{SPT}$ médio para cada comprimento da estaca;

A_p = Área da ponta da estaca;

$N_p = N_{SPT}$ próximo à ponta da estaca.

Os valores dos coeficientes, K , α e β estão representados pelas tabelas 5, 6 e 7 consecutivamente:

TABELA 5 -Valores do parâmetro K para o método Décourt e Quaresma

Tipo de Solo	K (KN/m ²)
Argila	120
Silte argiloso	200
Silte arenoso	250
Areia	400

Fonte: SCHNAID e ODEBRECHT (2012, p.58).

TABELA 6 -Valores do parâmetro α para o método Décourt e Quaresma

Tipo de estaca	Tipo de Solo		
	Argilas	Siltes	Areias
Cravada P.M.	1,00	1,00	1,00
Escavada	0,85	0,60	0,50
Escavada com lama	0,85	0,60	0,50
Hélice Contínua	0,30	0,30	0,30
Raiz	0,85	0,60	0,50
Injetada	1,00	1,00	1,00

Fonte: SCHNAID e ODEBRECHT (2012, p.59).

TABELA 7 -Valores do parâmetro β para o método Décourt e Quaresma

Tipo de estaca	Tipo de Solo		
	Argilas	Siltes	Areias
Cravada P.M.	1,00	1,00	1,00
Escavada	0,80	0,65	0,50
Escavada com lama	0,90	0,75	0,60
Hélice Contínua	1,00	1,00	1,00
Raiz	1,50	1,50	1,50
Injetada	3,00	3,00	3,00

Fonte: SCHNAID e ODEBRECHT (2012, p.59).

2.6.3. Método de Teixeira

No ano de 1996, Teixeira apresentou um método para o cálculo da capacidade de carga de estacas. A sua compressão foi estimada em função dos parâmetros de α (Tabela 8) e β (Tabela 9), e é expressa pela Equação 3.

$$Q_{rup} = \alpha \cdot N_p \cdot A_p + \beta \cdot N_L \cdot P \cdot L \quad (\text{Equação 3})$$

Onde: Q_{rup} = Carga de ruptura;

P = Perímetro da estaca;

L = Comprimento da estaca;

A_p = Área da ponta ou da base;

N_L = Valor médio do índice de resistência ao longo do fuste da estaca;

N_p = Valor médio obtido no intervalo de 4 diâmetros acima da ponta da estaca a 1 diâmetro abaixo.

TABELA 8 -Valores do coeficiente α para o método Teixeira

Solo (4 < N_{spt} < 40)	Tipo de estaca - α (Kpa)			
	Pré-moldada e perfil metálico	Franki	Escavada a céu aberto	Raiz
Argila siltosa	110	100	100	100
Silte argiloso	160	120	110	110
Argila arenosa	210	160	130	140
Silte arenoso	260	210	160	160
Areia argilosa	300	240	200	190

Areia siltosa	360	300	240	220
Areia	400	340	270	260
Areia com pedregulhos	440	380	310	290

Fonte: CINTRA e AOKI (2010, p.30).

TABELA 9 –Valores do coeficiente β para o método Teixeira

Tipo de estaca	β (Kpa)
Pré-moldada e perfil metálico	4
Franki	5
Escavada a céu aberto	4
Raiz	6

Fonte: CINTRA e AOKI (2010, p.30).

Segundo Velloso e Lopes (2010), o autor precisou criar exceções quanto à utilização de seu método já que os valores de α se dão em função do solo e do tipo de estaca e estão relacionados à resistência de ponta, e os de β dependem unicamente do modelo de estaca e tem relação com a resistência lateral. Um exemplo dessa ressalva são as estacas pré-moldadas de concreto, que quando o N é inferior a 3 se faz necessário adotar os valores segundo o material.

3. METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido através de uma pesquisa quantitativa, em que o método empregado busca a determinação da capacidade de carga de estacas escavadas. Já, referente aos objetivos considera-se como uma pesquisa qualitativa, porque se dá através de uma revisão preliminar da literatura.

Constituiu-se como metodologia para realizar este trabalho, inicialmente, um levantamento bibliográfico sobre os modelos de análise geotécnicas do solo, assim como as técnicas para a estimativa da capacidade de carga de estacas escavadas. Informações sobre as fundações profundas, seus processos executivos e os métodos semi-empíricos brasileiros sucederam-se através das normas brasileiras (NBR), assim como de livros e artigos técnicos que abordam o tema.

Em seguida, foi utilizada como método de análise uma planilha eletrônica elaborada através dos métodos semi-empíricos de Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma e Teixeira expostas ao público no site da Universidade Federal de Goiás. Tal planilha foi desenvolvida pelo aluno de iniciação científica, Tobias Ribeiro Ferreira e seu orientador Rodrigo Gustavo Delalibera e é mostrada na Figura 1.

FIGURA 1-Planilha para estimativa da Capacidade de Carga

SONDAGEM			N. A.	FUSTE DA ESTACA	DADOS DA ESTACA			
Profundidade (m)	N _{SPT}	Composição da Camada	0		Moldagem	Tipo	Diâmetro (cm)	Cota de apoio (m)
1		-		1	Moldada In-Loco	Escavada		0,0
2		-		2				
3		-		3				
4		-		4				
5		-		5				
6		-		6				
7		-		7				
8		-		8				
9		-		9				
10		-		10				
11		-		11				
12		-		12				
13		-		13				
14		-		14				
15		-		15				
16		-		16				
17		-		17				
18		-		18				
19		-		19				

TABELA DE AUXÍLIO P/ DIAMETROS

Método de Cálculo			
		A _{seção} (cm ²)	Perímetro (cm)
		0,00	0,00

Métodos de Cálculo

Aoki-Velloso (1975)

Décourt-Quaresma (1978)

Teixeira (1996)

Fonte: FERREIRA; DELALIBERA, 2017.

4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Para preenchimento da planilha (Figura 2) utilizou-se como base o laudo de sondagem que foi disponibilizado pela Construtora Sagre e está em anexo, e mediante a eles foi desenvolvido um estudo de fundação que pode ser aplicada ao solo. Também foi feita uma análise e definido os valores das características variáveis, como a cota de apoio e o diâmetro, para dimensionamento do projeto.

FIGURA 2 -Planilha para estimativa da Capacidade de Carga preenchida

SONDAGEM			N. A.	FUSTE DA ESTACA	DADOS DA ESTACA			
Profundidade (m)	N _{SPT}	Composição da Camada	0		Moldagem	Tipo	Diâmetro (cm)	Cota de apoio (m)
1	4	Argila arenosa		1	Moldada In-Loco	Escavada	30	10,0
2	5	Argila arenosa		2				
3	4	Argila arenosa		3				
4	10	Argila arenosa		4				
5	9	Argila arenosa		5				
6	10	Argila arenosa		6				
7	12	Argila arenosa		7				
8	18	Silte arenoso		8				
9	19	Silte arenoso		9				
10	20	Silte arenoso		10				
11	22	Silte arenoso		11				
12	23	Silte arenoso		12				
13	25	Silte arenoso		13				
14	32	Silte arenoso		14				
15	68	Silte arenoso		15				
16				16				
17				17				
18				18				
19				19				

TABELA DE AUXÍLIO P/ DIAMETROS

Método de Cálculo			
		A _{seção} (cm ²)	Perímetro (cm)
		706,86	94,25

Métodos de Cálculo

Aoki-Velloso (1975)

Décourt-Quaresma (1978)

Teixeira (1996)

Fonte: Autor, 2021.

Vale ressaltar que foi realizada uma simulação para estaca escavada, com diâmetro de 30 cm e cota de apoio de 10 m, onde a Figura 3, 4 e 5 mostra que o valor utilizado para cálculo da capacidade de resistência de ponta e de resistência lateral foi de 100% no fuste da estaca e foi aplicado o fator de segurança global 2 para os três métodos. Tais valores foram determinados sem uma análise mais profunda, apenas para realizar a simulação. A Figura 6 apresenta os resultados finais da capacidade de carga para cada método semi-empírico estudado, assim como a média dos três processos.

FIGURA 3 - Método Aoki Veloso

MÉTODO AOKI VELLOSO (1975)									
Dados do Cálculo									
Estaca	Tipo	Diâmetro (cm)	Comp. (m)	F.S (Global)					
Moldada in-loco	Escavada	30	10	2					
% Resistência de ponta		% Resistência lateral							
100		100							
RESULTADOS									
Profundidade (m)	K (kPa)	α	F1	F2	R _p na camada (kN)	R _L por metro (kN)	R _L acumulada (kN)	R Total do solo (kN)	P Adm (kN)
1	350	0,024	3	6	32,99	5,28	5,28	38,26	19,13
2	350	0,024	3	6	41,23	6,60	11,88	53,11	26,55
3	350	0,024	3	6	32,99	5,28	17,15	50,14	25,07
4	350	0,024	3	6	82,47	13,19	30,35	112,81	56,41
5	350	0,024	3	6	74,22	11,88	42,22	116,44	58,22
6	350	0,024	3	6	82,47	13,19	55,42	137,88	68,94
7	350	0,024	3	6	98,96	15,83	71,25	170,21	85,11
8	550	0,022	3	6	233,26	34,21	105,46	338,73	169,36
9	550	0,022	3	6	246,22	36,11	141,58	387,80	193,90
10	550	0,022	3	6	259,18	38,01	179,59	438,77	219,39

Fonte: Autor, 2021.

FIGURA4 - Método Decourt Quaresma

MÉTODO DECOURT QUARESMA (1978)										
DADOS PARA CÁLCULO										
Estaca	Tipo	Diâmetro (cm)	Ap (m²)	U (m)	Comprimento (m)					
Moldada in-loco	Escavada	30	0,0707	0,942	10					
AJUSTES DO MÉTODO DÉCOURT-QUARESMA										
Coef. Solo (kPa)		% Resistência de ponta (α)		% Resistência lateral (β)						
Variável de acordo com o Solo*		100		100						
RESULTADOS									Verificação	
Profundidade (m)	N _p	N _L	Coef. solo	R _p (kN)	R _L (kN)	R _L acumulada (kN)	R Total (kN)	P Adm (kN)	R/2	(R/(1,3)+(Rp/4)
1	4,50	4,00	120,00	38,17	21,99	0,00	38,17	9,54	19,09	9,54
2	4,33	4,50	120,00	36,76	23,56	0,00	36,76	9,19	18,38	9,19
3	6,33	4,33	120,00	53,72	23,04	23,04	76,76	31,15	38,38	31,15
4	7,67	5,75	120,00	65,03	27,49	50,53	115,56	55,12	57,78	55,12
5	9,67	6,40	120,00	82,00	29,53	80,06	162,05	81,03	81,03	82,08
6	10,33	7,00	120,00	87,65	31,42	111,47	199,12	99,56	99,56	107,66
7	13,33	7,71	120,00	113,10	33,66	145,13	258,23	129,12	129,12	139,92
8	16,33	8,63	250,00	288,63	36,52	181,66	470,29	211,89	235,14	211,89
9	19,00	9,33	250,00	335,76	38,75	220,40	556,16	253,48	278,08	253,48
10	20,33	9,90	250,00	359,32	40,53	260,93	620,25	290,54	310,12	290,54

Fonte: Autor, 2021.

FIGURA5 -Método Teixeira

MÉTODO TEIXEIRA (1996)									
DADOS PARA CÁLCULO									
Estaca	Tipo	Diâmetro (cm)	Ap (m²)	U (m)	Comp (m)	F. Segurança			
Moldada in-loco	Escavada	30	0,0707	0,942	10	2			
			% Resistência de ponta		% Resistência lateral				
			100		100				
RESULTADOS									
Profundidade (m)	N _p	N _L	α (kPa)	β (kPa)	R _p (kN)	R _L (kN)	R _L acumulada (kN)	R _{Total} (kN)	P _{Adm} (kN)
1	4,00	4,00	130	4	36,76	15,08	15,08	51,84	25,92
2	4,50	4,50	130	4	41,35	16,96	32,04	73,40	36,70
3	4,50	4,33	130	4	41,35	16,34	48,38	89,73	44,87
4	7,00	5,75	130	4	64,32	21,68	70,06	134,38	67,19
5	9,50	6,40	130	4	87,30	24,13	94,18	181,48	90,74
6	9,50	7,00	130	4	87,30	26,39	120,57	207,87	103,94
7	11,00	7,71	130	4	101,08	29,08	149,66	250,74	125,37
8	15,00	9,00	160	4	169,65	33,93	183,59	353,23	176,62
9	18,50	10,11	160	4	209,23	38,12	221,70	430,93	215,47
10	19,50	11,10	160	4	220,54	41,85	263,55	484,09	242,04

Fonte: Autor, 2021.

FIGURA 6 -Relatório final

RELATÓRIO FINAL				
Estaca	Tipo		Diâmetro (cm)	N.A (m)
Moldada in-loco	Escavada		30	0
Carga Admissível na cota de apoio da Estca (kN)				
Cota (m)	Aoki-Velloso	Décourt-Quaresma	Teixeira	Média
10,00	219,39	290,54	242,04	250,66

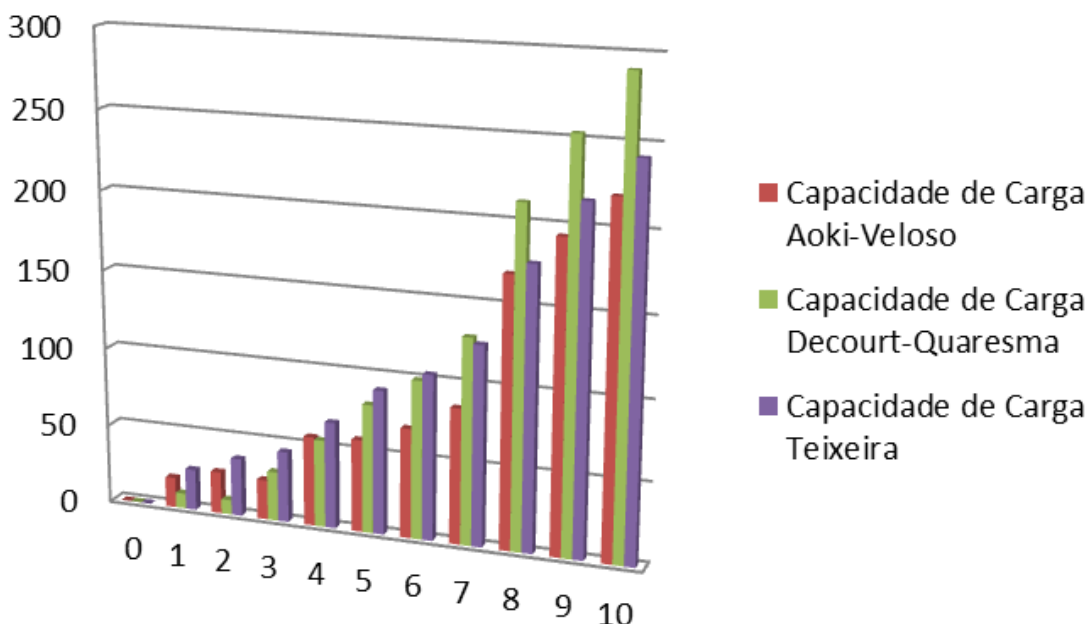
Carga Geotécnica Admissível (kN)				
Profundidade (m)	Aoki-Velloso	Décourt-Quaresma	Teixeira	Média
0	0	0	0	0
1	19,13	9,54	25,92	18,20
2	26,55	9,19	36,70	24,15
3	25,07	31,15	44,87	33,70
4	56,41	55,12	67,19	59,57
5	58,22	81,03	90,74	76,66
6	68,94	99,56	103,94	90,81
7	85,11	129,12	125,37	113,20
8	169,36	211,89	176,62	185,96
9	193,90	253,48	215,47	220,95
10	219,39	290,54	242,04	250,66

Fonte: Autor, 2021.

Foram comparados e estão apresentados abaixo os valores encontrados para cargas resistentes previstas pelos métodos semi-empíricos de Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1978) e Teixeira (1996).

A Figura 7 apresenta um gráfico com os comparativos dos resultados obtidos pelo cálculo da capacidade de carga para cada método, mostram que dentre as três simulações, a primeira de Aoki Velloso apresentou menores valores comparados com a de Décourt Quaresma e a de Teixeira.

FIGURA 7 –Valores da capacidade de carga pelos métodos semi-empíricos



Fonte: Autor, 2021.

Analisando os resultados apresentados pelo gráfico da Figura 7, pode-se identificar que o processo proposto por Décourt-Quaresma apresentou capacidade de carga 10% maior que o de Aoki-Velloso e 7% maior que o de Teixeira. Tal acontecimento pode ser explicado pelo fato de o método Décourt-Quaresma levar em consideração um valor elevado de atrito lateral que é acumulado ao longo da profundidade.

Comparando-se ainda as cargas de ruptura obtidas, pôde-se perceber que a variação apresentou-se, consideravelmente menor pelo método de Aoki-Velloso (1975) do que pelo método de Décourt-Quaresma (1978) e Teixeira (1996). O fator que contribuiu diretamente para essa diferença é a maneira em que consiste a determinação das parcelas de carga transmitidas da fundação ao solo, feitas pela soma da resistência lateral com a resistência de ponta.

Logo, a escolha pela estaca escavada utilizando o modelo de Aoki-Velloso mostrou-se mais eficiente e devido a isso foi o método mais recomendado para esse caso em específico, conforme os dados e características do solo determinados de acordo com a sondagem na região de Manhuaçu – MG.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como foco principal a comparação dos métodos semi-empíricos brasileiros para a determinação da capacidade de carga de estacas escavadas, de modo a identificar qual deles é o mais viável para execução em um terreno na cidade de Manhuaçu — MG.

Diante a análise dos resultados, conclui-se que dentre os três métodos ponderados, o de Aoki e Velloso é a escolha mais factível para a execução das estacas escavadas na região, pois apresentou melhores correlações quanto à capacidade de carga e mostrou-se mais econômico quanto à estrutura, já que uma

mesma estaca possui diferentes cargas de rupturas.

Além disso, o método que obteve os resultados mais insatisfatórios foi o de Décourt e Quaresma que apresentou sua capacidade de carga 10% maior comparado ao de Aoki e Velloso e 7% maior que o de Teixeira, e devido a isso, é o menos recomendado particularmente para essa situação.

É importante lembrar que as diferenças que os métodos apresentaram entre si, substanciam a ideia de que a exatidão de cada técnica está ligada diretamente às características do local e a escolha da fundação a se utilizar.

Sendo assim, o resultado desse estudo não pode ser generalizado, e se faz necessário compreender que embora a NBR 6122: 2019 da ABNT apresente recomendações sobre estacas, elas não são completas e podem trazer riscos para o profissional responsável, já que ela não traz detalhes de quais métodos semi-empíricos são permitidos ou possuem melhor aplicabilidade de acordo com cada região.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122:2019 - **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, 2020.

BRAGA, VD de F. **Estudo dos Tipos de Fundações de edifícios de múltiplos pavimentos na Região Metropolitana de Fortaleza**. 2009.

BRANCO, Carlos José Marques da Costa. **Provas de carga dinâmica em estacas escavadas de pequeno diâmetro com ponta modificada**. 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CINTRA, José Carlos A.; AOKI, Nelson. **Fundações por estacas: projeto geotécnico**. Oficina de Textos, 2011.

CUNHA, Pedro Dias da. **Capacidade de carga em estacas de fundação: comparação entre métodos de dimensionamento e resultados de provas de carga**. 2016.

DE AGUIAR, Marcos Fábio Porto; MOREIRA, João Paulo Ramalho; DE OLIVEIRA, Francisco Heber Lacerda. **Determinação De Capacidade de Carga de Estacas Considerando a Resistência por Atrito Lateral no Amostrador SPT**. Conexões-Ciência e Tecnologia, v. 8, n. 3, 2014.

DE FREITAS SOUZA, Luiz Humberto; PEREIRA GARCIA, Laís. **REDIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÃO PROFUNDA APÓS ANÁLISE DA CARGA ADMISSÍVEL OBTIDA EM ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO (PDA)**. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 6, n. 2, p. Páginas 01-19, 2014.



FALCONI, Frederico et al. **Fundações Teoria e Prática**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

FERREIRA, Tobias Ribeiro; DELALIBERA, Rodrigo Gustavo. **Previsão da Capacidade de Carga em Fundações por Estacas**. Goiás: Universidade Federal de Goiás, 2017.

SAKATA, Luna Miwa Negri. **Avaliação de métodos semi-empíricos para estimativa da capacidade de suporte de fundações por estacas pré-moldadas de concreto**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SENA, Leonardo. **Estudo de caso sobre Projeto de Fundações por Sapatas e por Estacas**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Catarina.

SCHNAID, Fernando; ODEBRECHT, Edgar. **Ensaaios de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações**: 2ª edição. Oficina de Textos, 2012.

VELLOSO, Dirceu Alencar; LOPES, Francisco de Rezende Waldemar. **Fundações: Critérios de Projeto – Fundações Superficiais**, Nova Edição – São Paulo – 2011. Ed. Oficina de Textos.

ZIRNBERGER, Túlio Lazaneo. **Elaboração de software educacional para dimensionamento de blocos sobre estacas cilíndricas verticais por métodos semiempíricos que utilizam o SPT**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.



ANEXO A – Laudo de Sondagem do solo

SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO DO SOLO COM SPT									
NBR 6484/01									
CLIENTE: B&N ESPORTES E EMPREENDIMENTOS LTDA					SONDAGEM À PERCUSSÃO SPT 05				
OBRA: SONDAGEM À PERCUSSÃO					INÍCIO: 14/08/20 TÉRMINO: 14/08/20				
LOCAL: RUA WALDEMAR ALVES DUTRA - PONTE DA ALDEIA - MANHUAÇU - MG					COTA: 643,80 COORD. N: E:				
GRÁFICO SPT	PROFUNDIDADE	ENSAIO DE PENETRAÇÃO (GOLPES/PENET.)	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO	INTERPRETAÇÃO GEOLOGICA	PERFIL GEOLOGICO	PROFUNDIDADE DA CAMADA (m)	AMOSTRADOR:	NÍVEL D'ÁGUA	AVANÇO
							Ø INTERNO = 34,9 mm PESO: 65 Kg Ø EXTERNO = 50,8 mm ALTURA DE QUEDA: 75 cm		
			SPT				DESCRIÇÃO DO MATERIAL		
10 20 30 40	1,00	2/15 2/15 2/15	4		00				TC
	2,00	2/15 3/15 2/15	5		01				1,00
	3,00	2/15 2/15 2/15	4		02				
	4,00	3/15 5/15 5/15	10		03		ARGILA-ARENOSA, COR MARROM, MOLE A RIJO		
	5,00	4/15 4/15 5/15	9		04				
	6,00	4/15 5/15 5/15	10		05				
	7,00	5/15 6/15 6/15	12		06				
	8,00	6/15 7/15 11/15	18		07	7,45			
	9,00	7/15 8/15 11/15	19		08				
	10,00	8/15 8/15 12/15	20		09				
	11,00	9/15 10/15 12/15	22		10				
	12,00	10/15 10/15 13/15	23		11		SILTE-ARENOSO, COR MARROM AVERMELHADO, MEDIANAMENTE COMPACTO A MUITO COMPACTO		
	13,00	10/15 11/15 14/15	25		12				
	14,00	12/15 14/15 18/15	32		13				
	15,00	19/15 23/15 45/15	68		14				
	16,00	50/0 - -	-		15	15,90	IMPENETRÁVEL AO TRÉPANO DE LAVAGEM		15,90
OBS.: LEGENDAS: 30 cm INICIAIS - 30 cm FINAIS - TRADO CAVADEIRA - TC - TRADO HELICOIDAL - TH - CIRCULAÇÃO DE ÁGUA - CA - REVESTIMENTO ATERRO - A - SOLO ALUVIONAR - SA - SOLO COLUVIONAR - SC - SOLO FLUVIAL - SF - SOLO MARINHO - SM - SOLO RESIDUAL - SR									
			DATA:	TRABALHO N°:	FOLHA:	ANÁLISE:			
			18/08/20	43 / 2020					
			ESCALA:	DESENHISTA:	SONDADOR:	CARLOS HENRIQUE CARVALHO JÚNIOR			
			1/100	CARLOS HENRIQUE CARVALHO JÚNIOR	ROBSON PEREIRA PELLUDO				