



UNIVERSIDADE DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO  
*CAMPUS AÇAILÂNDIA*  
CENTRO DE CIÊNCIA HUMANAS, SOCIAIS, TECNOLÓGICAS E LETRAS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL BACHARELADO

**PAULO DANIEL PIMENTEL COSTA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DO DIMENSIONAMENTO E ORÇAMENTO DE UMA  
FUNDAÇÃO PROFUNDA UTILIZANDO OS MÉTODOS AOKI-VELLOSO E  
DÉCOURT-QUARESMA**

Açailândia - MA

2024

**PAULO DANIEL PIMENTEL COSTA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DO DIMENSIONAMENTO E ORÇAMENTO DE UMA  
FUNDAÇÃO PROFUNDA UTILIZANDO OS MÉTODOS AOKI-VELLOSO E  
DÉCOURT-QUARESMA**

Artigo apresentado ao Curso Engenharia Civil Bacharelado do Centro de Ciência Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, *campus* Açailândia, como requisito para o grau de bacharelado em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Esp. Randal da Silva Gomes.

C837a

Costa, Paulo Daniel Pimentel

Análise comparativa do dimensionamento e orçamento de uma fundação profunda utilizando os métodos Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma / Paulo Daniel Pimentel Costa. – Açailândia: UEMASUL, 2024.

25 f. : il.

Artigo (Curso de Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Açailândia, MA, 2024.

Orientador: Prof. Esp. Randal da Silva Gomes.

1. Fundações. 2. Estacas. 3. Capacidade de carga. I. Título.

CDU 624.15(812.1)

**PAULO DANIEL PIMENTEL COSTA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DO DIMENSIONAMENTO E ORÇAMENTO DE UMA  
FUNDAÇÃO PROFUNDA UTILIZANDO OS MÉTODOS AOKI-VELLOSO E  
DÉCOURT-QUARESMA**

Artigo apresentado ao Curso Engenharia Civil Bacharelado do Centro de Ciência Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, *campus* Açailândia, como requisito para o grau de bacharelado em Engenharia Civil.

Aprovado em 07 / 03 / 2024

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Esp. Randal da Silva Gomes  
Especialista em MBA Projeto, Execução e Desempenho de Estruturas e Fundações - IPOG  
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

---

Prof<sup>ª</sup>. Me. Rachel de Andrade Avelar da Silva  
Mestra em Ciências dos Materiais  
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

---

Prof. Esp. Leonardo Telles de Sousa Pessoa Filho  
Especialista em Infraestrutura de Transportes e Rodovias – IPOG  
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>4</b>
<b>2. METODOLOGIA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Obra e local de estudo.....	5
2.3 Pontos de Sondagem.....	6
2.4 Laudo de Sondagem.....	6
2.5 Calculo da Capacidade de carga do Solo: Aoki-Velloso.....	7
2.6 Cálculo da capacidade de Carga do solo: Décourt-Quaresma.....	10
2.7 Carga Admissível.....	12
2.8 Modelo estrutural.....	13
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>13</b>
3.1 Processamento do cálculo pelo método Aoki-Veloso.....	15
3.2 Processamento do cálculo pelo método Décourt-Quaresma.....	16
3.3 Determinação do número de estacas.....	18
3.3.1 Comparativo entre os dois métodos.....	19
<b>4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>21</b>
<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>22</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>23</b>

*Análise comparativa do dimensionamento e orçamento de uma fundação profunda utilizando os métodos aoki-veloso e décourt-quaresma*

*Comparative analysis of the sizing and budget of a deep foundation using the aoki-veloso and décourt-quaresma methods*

**Costa, Paulo Daniel Pimentel<sup>1</sup>; Gomes, Randal da Silva<sup>2</sup>;**

<sup>1</sup> Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Açailândia/MA, Brasil. Email: pdanielcosta35@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4608-7503>

<sup>2</sup> Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Açailândia/MA, Brasil. Email: randal.gomes@hotmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6498-8650>

**Resumo:** Com o desenvolvimento da construção civil, cada vez mais as edificações necessitam de fundações mais eficientes e seguras. Para tanto, novas técnicas de estudo da resistência do solo são desenvolvidas e aprimoradas constantemente. Dentre elas, destacam-se, no Brasil, os métodos de cálculo de capacidade de carga de Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma. Ao longo desse trabalho foi utilizado esses dois métodos para fins de apontar possíveis discrepâncias nos resultados de ambos e averiguar a relevância dos impactos financeiros causados por essa provável diferença. Através dos cálculos realizados foi possível verificar que houve uma pequena disparidade nos resultados quando analisadas as estacas de forma individual e uma igualdade quando feita uma análise global da estrutura.

**Palavras-chave:** Fundações. Estacas. Capacidade de carga.

**Abstract:** With the development of the construction industry, buildings increasingly require foundations that are more efficient and secure. Therefore, new techniques for studying soil resistance are constantly developed and improved. Among them, in Brazil, the Aoki-Velloso and

Décourt-Quaresma methods for calculating load capacity stand out. Throughout this study, these two methods were used to identify possible discrepancies in their results and to investigate the relevance of the financial impacts caused by this potential difference. Through the calculations performed, it was possible to verify that there was a slight disparity in the results when analyzing individual piles and an equality when conducting a global analysis of the structure.

**Keywords:** Foundations. Piles. Battery capacity.

## 1. INTRODUÇÃO

A fundação é de extrema importância na construção civil e se caracteriza por todo o elemento estrutural responsável por receber as cargas advindas sequencialmente das lajes, vigas e pilares para a dissipação no solo (REBELO, 2008).

No processo de concepção de um projeto estrutural, em específico o de fundações, é necessário fazer o dimensionamento da estrutura utilizando métodos comprovadamente eficientes, seguros e econômicos para se chegar a um resultado que satisfaça condições do meio no qual a estrutura será implantada (SILVA JÚNIOR, 2018).

Viana (2013) afirma que há a necessidade de conhecer previamente as características da composição geotécnicas do solo que receberá uma estrutura e que, para tanto, o principal método de estudo utilizado no Brasil é o ensaio SPT – Standard Penetration Test, pois este ensaio tem custo mais baixo comparado a outros.

Para a determinação da resistência do solo, Cintra e Aoki (2010) apresenta métodos semi empíricos tais como os elaborados por Aoki e Velloso, em 1975, Décourt e Quaresma, em 1978, Teixeira, em 1996, Antunes e Cabral, em 1996, entre outros. Cintra e Aoki (2010) apresentam também métodos empíricos, que não serão foco desse estudo.

Os métodos de Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma são os mais utilizados para calcular a capacidade de carga do solo (KREMER e AMORIN, 2020). No entanto, devido a divergências nos resultados em ambos, é necessário entender qual método se mostra mais eficiente técnica e economicamente para cada caso de projeto.

É indiscutível que os dois métodos são capazes de prever se um determinado solo suporta às solicitações de carga que uma estrutura poderá aplicar sobre ele, porém, nem sempre o método que apresentou maior resistência do solo e, conseqüentemente estacas mais rasas, deve ser o mais

ideal, pois a economia no volume de materiais não está relacionada apenas ao comprimento da estaca, mas também ao seu diâmetro e quantidade.

Neste trabalho será dimensionada uma fundação profunda com base em um laudo de sondagem utilizando para tal, dois métodos de cálculo de capacidade de carga do solo: o método de Aoki-Veloso de 1975 e Décourt-Quaresma de 1978 e, por fim, realizar um comparativo técnico da capacidade de carga do solo resultante de ambos os métodos para fins de identificar possíveis diferenças e o quanto elas afetam no orçamento final da fundação.

Desse modo, este trabalho tem como objetivo de fazer uma comparação técnica entre os métodos supracitados, excepcionalmente para o caso de uma obra comercial de 4 pavimentos que será executada na cidade de imperatriz e, com isso, investigar se haverá um modelo de cálculo que resultará em uma fundação economicamente mais viável.

## **2. METODOLOGIA**

O Desenvolvimento deste trabalho baseou-se em uma revisão bibliográfica em livros e artigos disponíveis no google acadêmico relacionados às formas de determinação de capacidade de carga dos solos através das metodologias de cálculo desenvolvidas por Aoki e Veloso (1975) e Décourt e Quresma (1978).

A metodologia aplicada foi de caráter quantitativa, pois os resultados obtidos através dos cálculos foram analisados e comparados com o intuito de identificar a discrepância na robustez e impactos financeiros de uma estrutura de fundação ao utilizar os dois métodos supracitados.

### **2.1 Obra e local de estudo**

A obra utilizada como base desse estudo está localizada na cidade de Imperatriz – MA, no bairro centro, conforme destacado em azul, na figura 1. Ainda em fase de projetos, consiste em uma obra comercial de 4 pavimentos destinados a aluguel de salas para clínicas e consultórios.



*Figura 1 – Localização do terreno.*

*Fonte: Franco Engenharia (2023).*

### **2.3 Pontos de Sondagem**

Os pontos de sondagem, quantidade e locação dos furos foram determinados de acordo com a NBR 8036:1983, na qual determina a quantidade mínima de furos de acordo com o tipo e tamanho do terreno e da edificação a ser construída de forma que o número de sondagens dever apresentar, da melhor forma possível, a variação das camadas do subsolo da área investigada.

### **2.4 Laudo de Sondagem**

A investigação geotécnica foi feita pela empresa Franco Engenharia pelo processo de sondagem à percussão d'água tipo SPT (Standard Penetration Test). O laudo foi disponibilizado para os fins deste trabalho, pela empresa SETE RIO Construtora, autora dos projetos estruturais da edificação, e está representado na Figura 2.

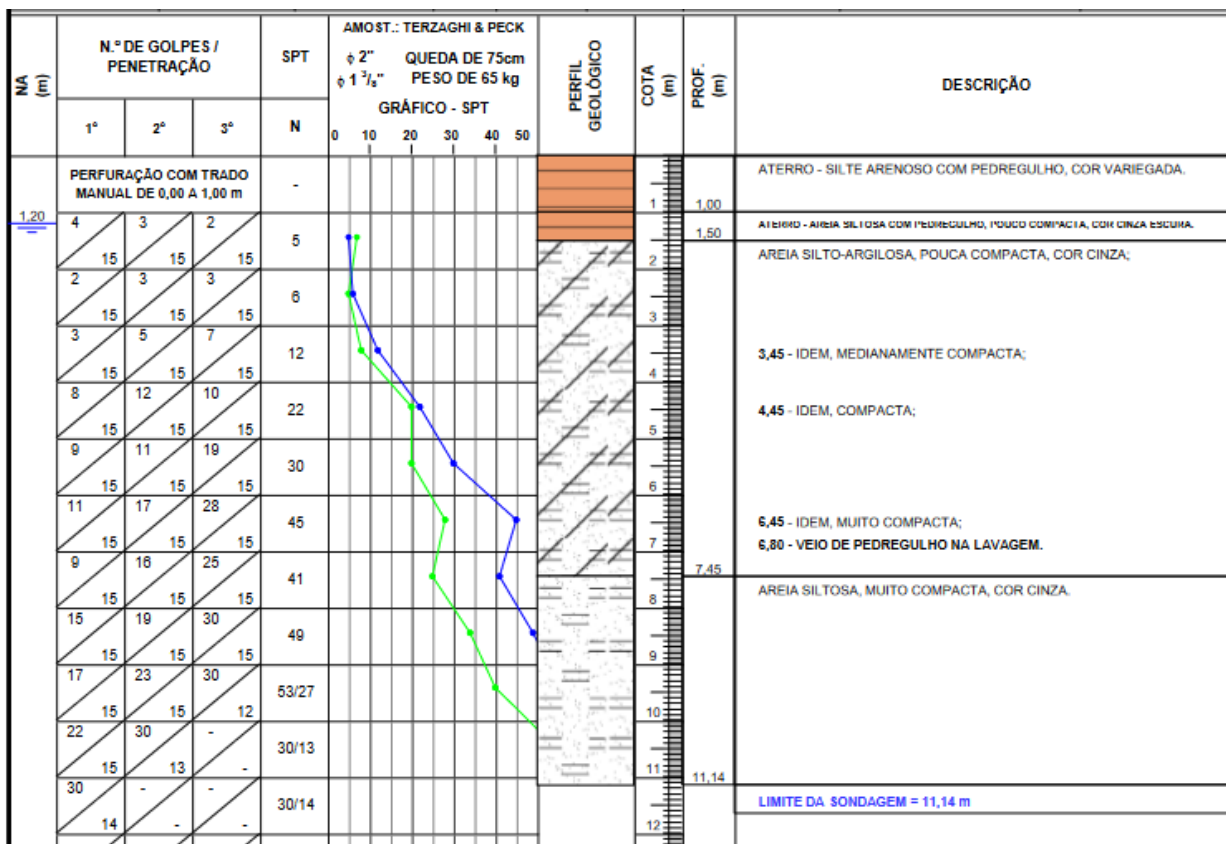


Figura 2: Laudo de Sondagem  
Fonte: Franco Engenharia e SETE RIO Construtora (2023).

## 2.5 Cálculo da Capacidade de carga do Solo: Aoki-Veloso

Para o cálculo da capacidade de carga pelo método de Aoki-Veloso, foi utilizado o software Excel através de uma planilha elaborada pelo autor desse trabalho, como mostra a Tabela 1, no qual seus parâmetros são determinados conforme Veloso e Lopes (2010) da seguinte forma:

- NSPT – De acordo com o laudo de sondagem para a camada analisada;
- Al – Corresponde à cota, em metros, da respectiva camada de solo;
- K e  $\alpha$  - São determinados de acordo com a tabela 2;
- F1 e F2 – São determinados de acordo com a tabela 3;
- Qp – Carga na ponta da estaca (Equação 1);
- FS – Fator de segurança determinado conforme a tabela 8;
- Qp adm – Carga admissível na ponta da estaca calculada pela razão entre Qp e FS;

- Ql – Carga na lateral da estaca (Equação 2);
- Ql adm – Carga admissível na lateral da estaca calculada pela razão entre Ql e FS;
- $\Sigma Ql(\text{adm})$  – Somatório de Ql das camadas superiores;
- QR – Capacidade de carga da camada determinada pela soma de Qp adm e  $\Sigma Ql(\text{adm})$ .

$$Qp = \frac{K * Np}{F1} * Ap \quad (1)$$

$$Ql = \frac{U}{F2} \sum_1^n (\alpha * K * Nl * \Delta l) \quad (2)$$

*Tabela 1 – Planilha de cálculo de capacidade de carga pelo método Aoki-Velloso.*

NSPT	AL(m)	K (kN/m <sup>2</sup> )	$\alpha$	F1	F2	Qp	FS	Qp (adm)	Ql	FS	Ql (adm)	$\Sigma Ql(\text{adm})$	QR (KN)

*Fonte: Autor (2023).*

Tabela 2 – Valores de  $K$  e  $\alpha$  determinados por Aoki e Velloso.

<b>SOLO</b>	<b>K (Mpa)</b>	<b>A (%)</b>
Areia	1,0	1,4
Areia siltosa	0,8	2,0
Areia siltoargilosa	0,7	2,4
Areia argilosa	0,6	3,0
Areia argilossiltosa	0,5	2,8
Silte	0,4	3,0
Silte arenoso	0,55	2,2
Silte arenoargiloso	0,45	2,8
Silte argiloso	0,23	3,4
Silte argiloarenoso	0,25	3,0
Argila	0,2	6,0
Argila arenosa	0,35	2,4
Argila arenossiltosa	0,3	2,8
Argila Siltosa	0,22	4,0
Argila siltoarenosa	0,33	3,0

*Fonte: Aoki e Velloso, 1975.*

Tabela 3 – Valores de F1 e F2

<b>Tido de Estaca</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>
Franki	2,5	2 F1
Metálica	1,75	2 F1
Pré-moldada	$1 + D/0,8$	2 F1
Escavada	3,0	2 F1

Raíz, Hélice, Continua e Ômega	2,0	2 F1
--------------------------------	-----	------

*Fonte: Cintra e Aoki, 2010.*

## 2.6 Cálculo da capacidade de Carga do solo: Décourt-Quaresma

De semelhante modo, para o cálculo da capacidade de carga do solo pelo método de Décourt-Quaresma, foi utilizada outra planilha do Excel utilizando os parâmetros de cálculo dessa metodologia representados na Tabela 2. Neste caso, as variáveis da planilha são determinadas de acordo com Cintra e Aoki (2010) da seguinte maneira:

- NSPT – determinado de acordo com o laudo de sondagem;
- Al – Cota, em metros, da camada analisada;
- C – Coeficiente correspondente ao tipo de solo determinado pela tabela 5;
- $\alpha$  e B – Coeficientes determinados pelas tabelas 6 e 7, respectivamente;
- N ponta – Média do NSPT entre a camada analisada, a camada acima e a camada abaixo;
- Qp – Carga na ponta da estaca calculada pela equação 3;
- FS – Fator de segurança (tabela 8);
- Qp adm – Carga admissível na ponta da estaca calculada pela razão entre Qp e FS;
- N lat – Média entre o NSPT da camada analisada e suas anteriores, no qual, nesta etapa, o NSPT deve ser menor ou igual a 15;
- Ql – Carga na lateral da estaca calculada pela equação 4;
- Ql adm – Carga admissível na lateral da estaca obtida pela razão entre Ql e FS;
- $\sum Ql$  Adm – Somatório das Ql da camada analisada e suas anteriores;
- QR – Capacidade de carga do solo calculado pela soma de Qp.adm e  $\sum Ql$ .Adm.

$$Qp = \alpha * C * Np * Ap \quad (3)$$

$$Ql = \beta * 10 * \left(\frac{Nl}{3} + 1\right) * U * L \quad (4)$$

Tabela 4 – Planilha de cálculo de capacidade de carga pelo método Décourt-Quaresma.

N spt	$\Delta L$ (m)	C (kN/m <sup>2</sup> )	$\alpha$	B	Nponta	Qp (kN)	FSp	Qp Adm	N lat	Ql (kN)	FSI	Ql Adm	$\Sigma$ Ql Adm	QR (kN)

Fonte: Autor (2023).

Tabela 5 – Valores C, coeficiente característico do solo.

Tipo de Solo	C (kPa)
Argila	120
Silte argiloso	200
Silte arenoso	250
Areia	400

Fonte: Cintra e Aoki, 2010.

Tabela 6 – Valores de  $\alpha$  por Décourt.

Tipo de Estaca					
Solo	Escavada em geral	Escavada (Bentonina)	Hélice contínua	Raíz	Injetada sob altas pressões
Argilas	0,85	0,85	0,3	0,85	1,0
Solos Intermediários	0,6	0,6	0,3	0,6	1,0
Areias	0,5	0,5	0,3	0,5	1,0

Fonte: Cintra e Aoki, 2010.

Tabela 7 – Valores de  $\beta$  por Décourt.

Solo	Tipo de Estaca				
	Escavada em geral	Escavada (Bentonina)	Hélice contínua	Raíz	Injetada sob altas pressões
Argilas	0,8	0,9	1,0	1,5	3,0
Solos Intermediários	0,65	0,75	1,0	1,5	3,0
Areias	0,5	0,6	1,0	1,5	3,0

Fonte: Cintra e Aoki, 2010.

## 2.7 Carga Admissível

Segundo a ABNT NBR 6122 (2022) a determinação das cargas admissíveis na estrutura de fundação e feita aplicando um fator de segurança à capacidade de carga do solo calculada sendo os valores desse fator variante de acordo com o tipo de fundação conforme a tabela 8.

Tabela 8 – Fator de Segurança para carga admissível.

Condição	Fator de Segurança
Capacidade de carga de Fundações superficiais	3,0
Capacidade de carga de estacas e tubulões sem prova de carga	2,0
Capacidade de carga de estacas e tubulões com prova de carga	1,6

Fonte: ABNT NBR 6122:2022

## 2.8 Modelo estrutural

O modelo estrutural desta obra foi elaborado no Software TQS versão estudante, pelo autor deste trabalho, visando a continuidade do estudo, visto que os projetos oficiais ainda estão em fase de concepção e, portanto, indisponíveis. A estrutura foi pré-dimensionada e modelada baseando-se no projeto arquitetônico como mostra a Figura 3.



*Figura 3 – Modelo Estrutural no TQS  
Fonte: Autor (2023).*

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os laudos de sondagem disponibilizados, foram desenvolvidas as tabelas 8 e 9, na qual apresentam as características do solo examinado por cada furo. Nessas tabelas é possível perceber que a profundidade máxima de investigação é de 13 metros. Em relação ao solo, percebe-se a presença predominante de areia siltosa, e areia silto-argilosa com variações de compactação para cada camada no laudo 01, de acordo com a tabela 8.

Tabela 8 – Laudo de Sondagem 01

Profundidade (m)	NSPT	Tipo de solo
2	5	Areia silto-argilosa, pouco compacta e cor cinza.
3	6	Areia silto-argilosa, medianamente compacta e cor cinza.
4	12	Areia silto-argilosa, medianamente compacta e cor cinza.
5	22	Areia silto-argilosa, compacta e cor cinza.
6	30	Areia silto-argilosa, compacta e cor cinza.
7	45	Areia silto-argilosa, muito compacta e cor cinza.
8	41	Areia siltosa, muito compacta e cor cinza.
9	49	Areia siltosa, muito compacta e cor cinza.
10	53	Areia siltosa, muito compacta e cor cinza.
11	30	Areia siltosa, muito compacta e cor cinza.
12	30	Areia siltosa, muito compacta e cor cinza.
13	30	Areia siltosa, muito compacta e cor cinza.

Fonte: Autor (2023).

O laudo de sondagem 02, representado na tabela 9, evidencia a semelhança nas características do solo em relação ao laudo 01. Isso se dá pela proximidade do local onde os furos foram alocados. No entanto, há a presença de silte argiloso entres as profundidades 4 e 6 metros, também apenas com variações na compactação de cada camada.

Tabela 9 – Laudo de Sondagem 02

Profundidade (m)	NSPT	Tipo de solo
2	3	Areia siltosa, com pedregulho, fofa e cor cinza escura
3	5	Areia siltosa, com pedregulho, fofa e cor cinza escura
4	10	Silte argilo-arenoso, mole e cor cinza
5	9	Silte argilo-arenoso, consistência média e cor cinza
6	11	Silte argilo-arenoso, consistência rija e cor cinza
7	24	Areia siltosa, medianamente compacta cor cinza
8	35	Areia siltosa, compacta e cor cinza
9	46	Areia siltosa, muito compacta e cor cinza
10	51	Areia siltosa, com pedregulho, muito compacta e cor cinza
11	56	Areia siltosa, com pedregulho, muito compacta e cor cinza
12	58	Areia siltosa, com pedregulho, muito compacta e cor cinza

13	30	Areia siltosa, com pedregulho, muito compacta e cor cinza
----	----	---

*Fonte: Autor (2023).*

### 3.1 Processamento do cálculo pelo método Aoki-Veloso

Através do tipo de solo identificado nas camadas do laudo de sondagem, foi calculado a capacidade de carga do solo utilizando a planilha de Excel com todos os parâmetros apresentados no item 2.5.

De acordo com as tabelas 3 e 2, foram inseridos na planilha os valores dos parâmetros K,  $\alpha$ , F1 e F2. Em seguida, a planilha calculou automaticamente a capacidade de carga do solo (QR) para cada metro de profundidade. Descartando o primeiro metro, conforme a tabela 10, percebe-se que o solo apresentou resistências entre 135,02 kN com aumento gradativo até atingir 1766,9 kN, para o laudo 01.

*Tabela 10 – Planilha de cálculo do método de Aoki-Veloso, laudo 01.*

NSPT	AL(m)	K (kN/m <sup>2</sup> )	$\alpha$	F1	F2	Qp	FS	Qp (adm)	Ql	FS	Ql (adm)	$\Sigma$ Ql(adm)	QR (KN)
0	1	0	0	2	4	0	2	0	0	2	0	0	0
5	0,5	800	2	2	4	251,2	2	125,6	18,84	2	9,42	9,42	135,02
5	0,5	700	2,4	2	4	219,8	2	109,9	19,782	2	9,89	19,31	129,21
6	1	700	2,4	2	4	263,76	2	131,88	47,47	2	23,73	33,15	165,03
12	1	700	2,4	2	4	527,52	2	263,76	94,95	2	47,47	66,78	330,54
22	1	700	2,4	2	4	967,12	2	483,56	174,08	2	87,040	106,35	589,91
30	1	700	2,4	2	4	1318,8	2	659,4	237,38	2	118,69	151,85	811,25
45	1	700	2,4	2	4	1978,2	2	989,1	356,07	2	178,03	329,88	1318,98
41	0,45	700	2,4	2	4	1802,36	2	901,18	145,99	2	72,99	402,88	1304,06
41	0,55	800	2	3	6	1373,227	2	686,61	113,29	2	56,64	459,52	1146,14
49	1	800	2	2	4	2461,76	2	1230,88	369,26	2	184,63	587,51	1818,39
53	1	800	2	2	4	2662,72	2	1331,36	399,40	2	199,70	787,22	2118,58
30	1	800	2	2	4	1507,2	2	753,6	226,08	2	113,04	900,26	1653,86
30	1	800	2	2	4	1507,2	2	753,6	226,08	2	113,04	1013,3	1766,9
30	1	800	2	2	4	1507,2	2	753,6	226,08	2	113,04	1013,3	1766,9

*Fonte: Autor (2023).*

No caso do laudo 02, a tabela 11 mostra que o solo apresentou resistência de 86,66 kN, na segunda camada, com aumento até décima terceira camada 2387,54 kN e uma diminuição da resistência na última camada para 1479,55.

Tabela 11 - Planilha de cálculo do método de Aoki-Veloso, laudo 02.

NSP T	AL(m )	K (kN/m <sup>2</sup> )	$\alpha$	F 1	F 2	Qp	F S	Qp (adm)	QI	F S	QI (adm)	$\Sigma$ QI(adm)	QR (KN)
0	1	0	0	2	4	0	2	0	0	2	0	0	0
3	1	800	2	2	4	150,72	2	75,36	22,608	2	11,304	11,30	86,664
5	1	800	2	2	4	251,2	2	125,6	37,68	2	18,84	30,14	155,744
10	1	250	3	2	4	157	2	78,5	35,32	2	17,6625	28,96	107,466
9	1	250	3	2	4	141,3	2	70,65	31,79	2	15,89	46,04	116,690
11	1	250	3	2	4	172,7	2	86,35	38,85	2	19,42	49,57	135,922
24	0,3	250	3	2	4	376,8	2	188,4	25,43	2	12,71	41,68	230,083
24	0,7	800	2	2	4	1205,76	2	602,88	126,60	2	63,30	104,98	707,865
35	1	800	2	2	4	1758,4	2	879,2	263,76	2	131,88	236,86	1116,06
46	0,7	800	2	2	4	2311,04	2	1155,52	242,65	2	121,32	358,19	1513,71
46	0,3	800	2	2	4	2311,04	2	1155,52	103,99	2	51,99	288,86	1444,38
51	1	800	2	2	4	2562,24	2	1281,12	384,33	2	192,16	481,03	1762,15
56	1	800	2	2	4	2813,44	2	1406,72	422,01	2	211,00	692,04	2098,76
58	1	800	2	2	4	2913,92	2	1456,96	437,08	2	218,544	910,58	2367,54
30	0,3	800	2	2	4	1507,2	2	753,6	67,82	2	33,912	725,95	1479,55

Fonte: Autor (2023).

### 3.2 Processamento do cálculo pelo método Décourt-Quaresma

De igual modo ao item 3.1, o cálculo da capacidade de carga do solo pelo método de Décourt-Quaresma foi processado no Excel utilizando os parâmetros de cálculo dessa metodologia. Nesta, os parâmetros inseridos foram  $C$ ,  $\alpha$  e  $\beta$ , ambos determinados de acordo com as tabelas 5, 6 e 7.

Os parâmetros  $N_p$  e  $N_I$  são inseridos automaticamente, pela planilha, de acordo com o  $N_{spt}$ , no qual:  $N_p$  é a média de  $N_{spt}$  das camadas anterior, atual e posterior à analisada. Ambos discriminados na tabela 11.

Tabela 11 - Planilha de cálculo do método de Décourt-Quaresma, laudo 01.

N spt	$\Delta L$ (m)	C (kN/m <sup>2</sup> )	$\alpha$	B	N p	Qp (kN)	F Sp	Qp Adm	N lat	QI (kN)	F SI	QI Adm	$\Sigma$ QI Adm	QR (kN)
5	0,5	400	0,5	1,5	3	75,40	2	37,70	5	50,27	2	25,13	25,13	62,83
5	0,5	400	0,5	1,5	4	100,53	2	50,27	5	50,27	2	25,13	25,13	75,40
6	1	400	0,5	1,5	7	175,93	2	87,96	5	50,27	2	25,13	50,27	138,23
12	1	400	0,5	1,5	13	326,73	2	163,36	7	62,83	2	31,42	81,68	245,04
22	1	400	0,5	1,5	21	527,79	2	263,89	9	75,40	2	37,70	119,38	383,27
30	1	400	0,5	1,5	32	804,25	2	402,12	10	81,68	2	40,84	160,22	562,34
45	1	400	0,5	1,5	38	955,04	2	477,52	11	87,96	2	43,98	204,20	681,73
41	0,45	400	0,5	1,5	42	1055,5	2	527,79	11	87,96	2	43,98	248,19	775,97
41	0,55	400	0,5	1,5	43	1080,7	2	540,35	12	94,25	2	47,12	295,31	835,66
49	1	400	0,5	1,5	38	955,04	2	477,52	12	94,25	2	47,12	342,43	819,95
53	1	400	0,5	1,5	38	955,04	2	477,52	13	100,53	2	50,27	392,70	870,22
30	1	400	0,5	1,5	35	879,65	2	439,82	14	106,81	2	53,41	446,11	885,93
30	1	400	0,5	1,5	30	753,98	2	376,99	15	113,10	2	56,55	502,65	879,65
30	1	400	0,5	1,5	30	753,98	2	376,99	15	113,10	2	56,55	559,20	936,19

Fonte: Autor (2023).

De acordo com a tabela 11, percebe-se uma variação crescente no valor da resistência do solo entre 62,83 kN a 936,19 kN para o laudo 01 e, conforme a tabela 12, há uma variação na resistência com o valor de 43,98 kN a 1124,7 kN para o laudo 02.

Tabela 12 - Planilha de cálculo do método de Décourt-Quaresma, laudo 02

N spt	$\Delta L$ (m)	C (kN/m <sup>2</sup> )	$\alpha$	B	Np	Qp (kN)	F Sp	Qp Adm	N lat	QI (kN)	F SI	QI Adm	$\Sigma$ QI Adm	QR (kN)
3	1	400	0,5	1,5	2	50,27	2	25,13	3	37,70	2	18,85	18,85	43,98
5	1	400	0,5	1,5	4	100,53	2	50,27	5	50,27	2	25,13	43,98	94,25
10	1	200	0,6	1,5	8	120,64	2	60,32	7	62,83	2	31,42	75,40	135,72
9	1	200	0,6	1,5	10	150,80	2	75,40	8	69,11	2	34,56	109,96	185,35
11	1	200	0,6	1,5	14	211,11	2	105,56	8	69,11	2	34,56	144,51	250,07
24	0,3	200	0,6	1,5	19	286,51	2	143,26	10	81,68	2	40,84	185,35	328,61
24	0,7	400	0,5	1,5	27	678,58	2	339,29	10	81,68	2	40,84	226,19	565,49
35	1	400	0,5	1,5	35	879,65	2	439,82	11	87,96	2	43,98	270,18	710,00
46	0,7	400	0,5	1,5	42	1055,57	2	527,79	11	87,96	2	43,98	314,16	841,95
46	0,3	400	0,5	1,5	47	1181,24	2	590,62	12	94,25	2	47,12	361,28	951,90
51	1	400	0,5	1,5	48	1206,37	2	603,19	13	100,53	2	50,27	411,15	1014,7
56	1	400	0,5	1,5	48	1206,37	2	603,19	13	100,53	2	50,27	461,81	1065,0

58	1	400	0,5	1,5	48	1206,37	2	603,19	14	106,81	2	53,41	515,22	1118,4
30	0,3	400	0,5	1,5	44	1105,84	2	552,92	15	113,10	2	56,55	571,77	1124,7

*Fonte: Autor (2023).*

### 3.3 Determinação do número de estacas

De acordo com Cintra e Aoki (2010) existem três metodologias de determinação do número de estacas para um bloco de fundação, no qual o primeiro método, que foi o utilizado neste trabalho, consiste em escolher o tipo de estaca e diâmetro e, após isso, tem-se a carga de catálogo admissível da estaca. Dessa forma, a quantidade de estacas é determinada pela razão entre a carga do pilar e a carga de catálogo da estaca.

O diâmetro adotado foi de 35 cm e o tipo de estaca foi hélice contínua. Sendo assim, a carga de catálogo corresponde à 600 kN. A tabela 13 apresenta a quantidade de estacas adota que deve ser maior ou igual ao número de estacas calculado. Portanto, para todos os blocos adotou-se duas estacas, como mostra a tabela 13.

*Tabela 13 – Cálculo do número de estacas*

Pilar	Laudo	Carga (t)	Carga de catálogo (kN)	Nº de estaca calculado	Nº de estaca adotado
P1	01	44,0	600	0,82	2
P2	01	29,73	600	0,54	2
P3	01	49,44	600	0,90	2
P4	01	42,02	600	0,77	2
P5	02	49,73	600	0,91	2
P6	02	26,62	600	0,48	2
P7	01	47,87	600	0,87	2
P8	01	87,06	600	1,59	2
P9	01	89,56	600	1,64	2
P10	02	95,18	600	1,75	2
P11	02	83,70	600	1,43	2
P12	02	44,69	600	0,81	2
P13	01	29,30	600	0,53	2
P14	01	49,98	600	0,91	2
P15	02	56,85	600	1,04	2
P16	02	22,46	600	0,41	2
P17	02	64,50	600	1,18	2
P18	02	28,53	600	0,52	2

*Fonte: Autor (2023).*

### 3.3.1 Comparativo entre os dois métodos

Através do número de estacas foi possível determinar a carga efetiva, em kN, ao dividir a carga do pilar com acréscimo de 10% pelo número de estacas. De acordo com Cintra e Aoki (2010) tal acréscimo corresponde à carga do bloco sobre a estaca.

Conforme a carga efetiva calculada, foi determinada a profundidade de assentamento da estaca fazendo a comparação dessa carga com a capacidade de carga do solo calculado pelos dois métodos. A tabela 14 mostra as cargas calculadas e a cota de assentamento de ambos os modelos de cálculo.

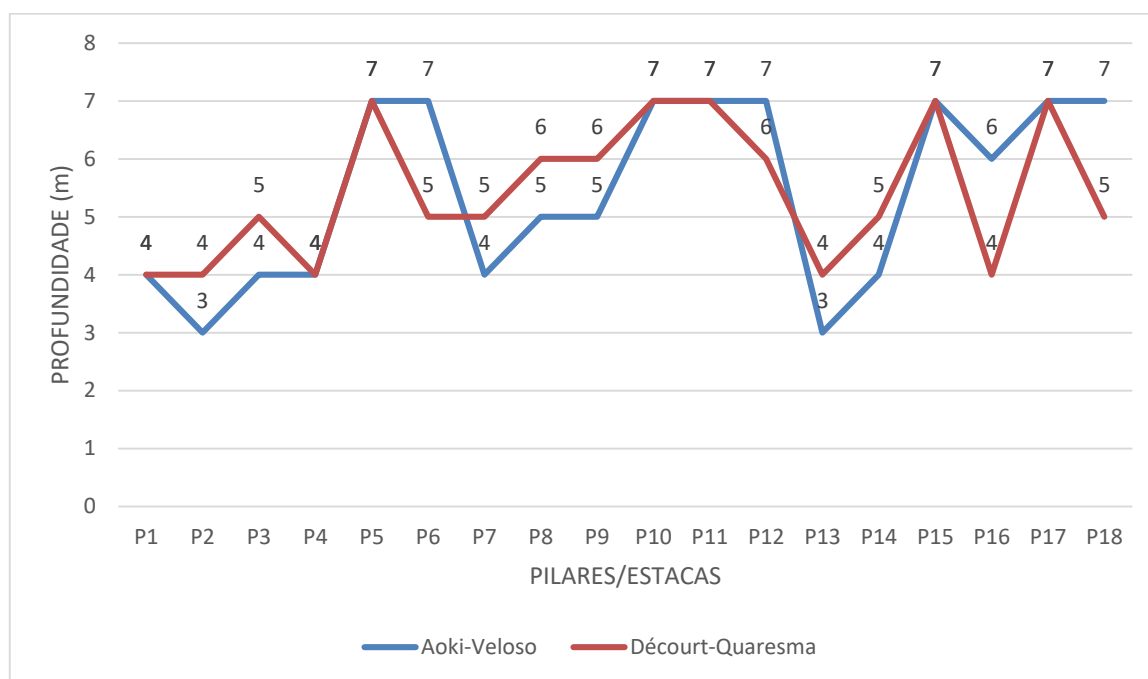
*Tabela 14 – Profundidade necessária para os dois métodos*

	<b>Carga efetiva (kn)</b>	<b>Comprimento Aoki-Veloso</b>	<b>Comprimento Décourt-quaresma</b>
P1	156,92	4 m	4 m
P2	163,51	3 m	4 m
P3	271,92	4 m	5 m
P4	231,11	4 m	4 m
P5	273,51	7 m	7 m
P6	146,41	7 m	5 m
P7	263,28	4 m	5 m
P8	478,83	5 m	6 m
P9	492,58	5 m	6 m
P10	523,49	7 m	7 m
P11	460,35	7 m	7 m
P12	245,79	7 m	6 m
P13	161,15	3 m	4 m
P14	274,89	4 m	5 m
P15	312,67	7 m	7 m
P16	123,53	6 m	4 m
P17	354,75	7 m	7 m
P18	156,91	7 m	5 m

*Fonte: Autor (2023).*

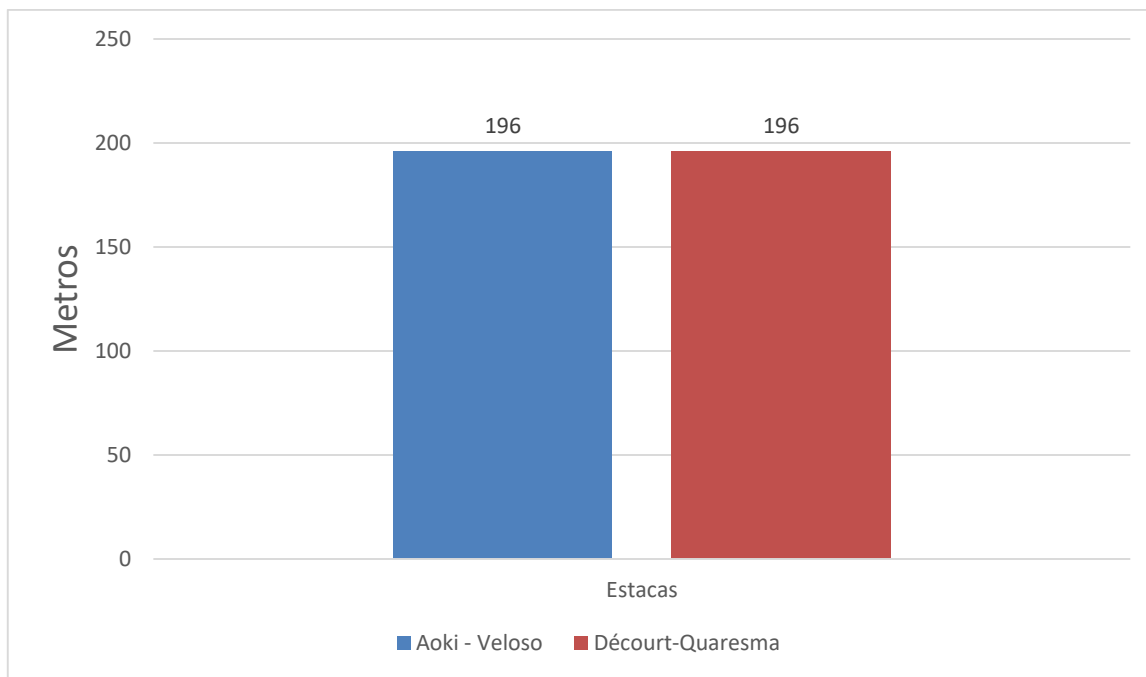
Analisando a tabela 14 e a Figura 4 percebe-se que para esse estudo de caso, o método de Décourt-Quaresma resultou em fundações predominantemente mais robustas, ou seja, é necessária uma maior profundidade de assentamento da ponta da estaca para se chegar à uma resistência de

solo adequada. Na maioria dos blocos a variação é 1 metro a mais com relação ao método de Aoki-Velloso sendo o comprimento máximo de 7 metros. Tal fato assemelha-se com o estudo feito por Kremer e Amorim (2020) e por Pagnussati e Santos (2011) pois, nestes casos, a metodologia Aoki mostrou-se mais viável.



*Figura 4 – Gráfico comparativo de profundidade de estaca pelos dois métodos estudados. Fonte: Autor (2023).*

Embora o método de cálculo de Aoki-Velloso teve resultados menos robustos, chama atenção o fato de, ao se considerar a metragem total das estacas, ou seja, a soma do comprimento de todas as estacas necessária no projeto, temos uma igualdade nos resultados, correspondente a 196 metros de estacas. Fato este evidenciado na Figura 5.



*Figura 5 – Metragem total necessária para os dois métodos.*

*Fonte: Autor (2023).*

Deste modo, em termos financeiros, o valor gasto na execução dessa fundação será o mesmo independente de qual das duas metodologia de cálculo usar, pois como a metragem total, o diâmetro e o tipo de estaca foram os mesmo, os gastos com materiais, equipamentos e mão de obra, também serão iguais.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Mediante os resultados obtidos neste estudo, foi possível comparar as metodologias de cálculos desenvolvidas por Aoki-Veloso e Décourt-Quaresma e apontar as discrepâncias entre ambas.

Em relação à robustez da estrutura, o método de Aoki-Veloso obteve o melhor desempenho pois observou-se, em mais de 50% das estacas, seu comprimento é menor com relação ao método de Decourt-Quaresma.

No entanto, quando se refere aos custos para executar a fundação, ambos os métodos obtiveram resultados iguais, visto que, com relação à totalidade e metros das estacas utilizadas em todo o projeto, houve a necessidade de 196 metros de estacas tanto para um quanto para o outro.

Dessa forma, excepcionalmente para esse estudo de caso, não houve discrepância financeira entre os métodos, pois ambos se mostraram financeiramente equivalentes.

## **AGRADECIMENTOS**

Sou grato em primeiro lugar Deus por proporcionar a oportunidade do fôlego de vida, saúde, família, amigos e muita força de vontade para enfrentar os novos desafios da minha jornada na terra.

Aos meus pais, Maria Jacira e Roberdan, pela educação, amor e por sempre me incentivar a correr atrás dos meus sonhos mesmo que as circunstâncias não sejam favoráveis.

Ao meu amor e noiva, Izzia Emanuela, pelo incentivo, por estar sempre ao meu lado, pela paciência, compreensão, pelos momentos bons em dias fartos e pelo companheirismo em dias difíceis tornando, tais, mais leves.

À minha tia Esmeralda, responsável por 50% do êxito na realização desse sonho, pois foi quem me apoiou, deu moradia, alimento, teto, tempo e acesso aos recursos de apoio aos estudos durante a minha jornada acadêmica.

Ao meu orientador Prof. Randal, que se dispôs a disponibilizar seu tempo neste trabalho, no qual é um grande e importante desafio para a conclusão do curso.

Às minhas irmãs, Angela Karina e Daniela, pelo apoio, incentivo e por acreditar na minha vitória. Aos meus cunhados, Bezaliel e Álefe, que sempre que possível se mostraram dispostos a ajudar no que tivesse ao alcance.

## REFERÊNCIAS

ABNT - TÉCNICAS. NBR 6122: **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, RJ, 2019. Disponível em: < <https://www.studocu.com/pt-br/document/universidade-nove-de-julho/elementos-estruturais-de-fundacao/nbr6122-2019-projetos-e-execucao-de-fundacoes/8948130>>. Acesso em: maio de 2023.

CINTRA, José Carlos A.; AOKI, Nelson. **Fundações por estacas**: Projeto geotécnico. Oficina de textos. São Paulo, 2010. Disponível em: < [https://www.academia.edu/36917343/Funda%C3%A7%C3%B5es\\_por\\_Estacas\\_Projeto\\_Geot%C3%A9cnico\\_Jos%C3%A9\\_Carlos\\_A\\_Cintra\\_Nelson\\_Aoki](https://www.academia.edu/36917343/Funda%C3%A7%C3%B5es_por_Estacas_Projeto_Geot%C3%A9cnico_Jos%C3%A9_Carlos_A_Cintra_Nelson_Aoki)>. Acesso em: 14 maio de 2023.

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Resende. **Fundações**: Critério de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais e fundações profundas. Oficina de textos. São Paulo, 2010. Disponível em: Acesso em:

SILVA JÚNIOR, Raimundo Paulo. **Cálculo de capacidade de carga e dimensionamento de fundações para um edifício de múltiplos pavimentos**. UFPE. Caruaru, 2018.

DANZINGER, Bernadete Ragoni.; LOPES, Francisco de Rezende e. **Fundações em Estacas** – 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022.

KREMER, Alisson Kretzer; AMORIM, Felipe. **Estudo de caso: Comparativo Técnico no uso dos modelos de cálculos Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma para fundações profundas aplicadas a um caso real**. UNISUL, 2020.

PAGNUSSATTI, Heriberto; SANTOS, Adailton Antônio. **Análise comparativa dos métodos de estimativa de capacidade de carga de fundações profundas**: Estudo de caso. UNESC, 2011.

VIANA, Cristiano Alves. **Estudo comparativo de custos de obras de fundações no setor noroeste de Brasília – DF**. UNICEUB, 2013.

Rebello, Yopanan C. P. **Fundações: guia prático de projeto, execução e dimensionamento** / Yopanan C. P. Rebello. - São Paulo: Zigurate Editora, 2008. 239 p

ABNT - TÉCNICAS. NBR 8036: **Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios**. Rio de Janeiro, RJ, 1983. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/6987432/mod\\_folder/content/0/NBR%208036.pdf?forcedownload=1](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/6987432/mod_folder/content/0/NBR%208036.pdf?forcedownload=1). Acesso em: 04 de Novembro de 2023.