

Dimensionamento Geotécnico de Estacas Raiz para Diferentes Sondagens SPT de um Prédio Público

Marcus Mendonça Sinhoroto
Graduando, UFJF, Juiz de Fora, Brasil, marcus_sinhoroto@hotmail.com

Cátia de Paula Martins
Professora, UFJF, Juiz de Fora, Brasil, catia.martins@ufjf.br

Márcio Marangon
Professor, UFJF, Juiz de Fora, Brasil, marcio.marangon@ufjf.br

RESUMO: Em solos de baixa resistência, é prática comum usar elementos de fundação profunda como a estaca raiz. O objetivo deste artigo é realizar o dimensionamento geotécnico de estacas raiz submetidas a testes de carga. Conduzido através de planilhas baseadas nos métodos semi-empíricos de Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978), que se correlacionam com o parâmetro de resistência obtido por meio do ensaio SPT. O projeto de fundações executado foi disponibilizado com os boletins de sondagem antes do início da obra e durante a construção. Para ambas sondagens, a comparação com as cargas de projeto indicaram que o método de Décourt-Quaresma ofereceu valores maiores de capacidade de carga em relação ao método de Aoki-Velloso. É perceptível que as cargas de projeto excedem as cargas admissíveis no método de Aoki-Velloso, e estão próximas das cargas admissíveis do método de Décourt-Quaresma. Além disso, as duas sondagens possuem baixa profundidade investigada, além de que a sondagem complementar não cumpre a norma que faz referência no que diz respeito ao critério de parada. Como conclusão, recomenda-se a investigação do subsolo para maiores profundidades, respeitando a norma do ensaio SPT. Há grande divergência entre os resultados dos métodos, reforçando a importância de garantir a segurança estrutural.

PALAVRAS-CHAVE: Fundações, Estaca Raiz, Dimensionamento, Geotécnico

ABSTRACT: In low-strength soils, it is common practice to use deep foundation elements such as the root pile. The objective of this article is to carry out the geotechnical design of root piles subjected to load tests. Conducted through spreadsheets based on the semi-empirical methods of Aoki-Velloso (1975) and Décourt-Quaresma (1978), which correlate with the resistance parameter obtained through the SPT test. The executed foundation project was made available with the survey reports before the start of work and during construction. For both surveys, comparison with design loads indicated that the Décourt-Quaresma method offered higher load capacity values compared to the Aoki-Velloso method. It is noticeable that the design loads exceed the allowable loads in the Aoki-Velloso method, and are close to the allowable loads in the Décourt-Quaresma method. Furthermore, the two surveys have a low depth investigated, and the additional survey does not comply with the referenced standard with regard to the stopping criterion. In conclusion, it is recommended to investigate the subsoil to greater depths, respecting the SPT test standard. There is great divergence between the results of the methods, reinforcing the importance of ensuring structural safety.

KEYWORDS: Foundations, Root Pile, Dimensioning, Geotechnical

1 INTRODUÇÃO

As fundações são elementos estruturais que transmitem cargas advindas de uma edificação para um terreno, sendo agrupadas em fundações profundas e fundações superficiais (Cintra, Aoki e Albiero, 2011). Destaca-se que a investigação do subsolo é a causa mais frequente dos problemas em fundações (Milititsky, Consoli e Schnaid, 2015).

A NBR 6122 da ABNT (2022) define que deve ser feita uma campanha de investigação geotécnica preliminar para qualquer edificação, que consiste em obter estratigrafia e classificação dos solos, posição do nível d'água e medida do índice de resistência a penetração (N_{SPT}) de acordo com a norma ABNT NBR 6484,

através de, no mínimo, sondagens à percussão (SPT). A NBR 6484 da ABNT (2020) especifica o método de sondagens de simples reconhecimento de solos, através de ensaios *Standard Penetration Test* (SPT) com sistema de execução manual e mecanizado, ambos com objetivo de obter as informações do tipo de solo, profundidades de ocorrência, posição do nível d'água, e índice de resistência a penetração (N ou N_{SPT}).

A estaca raiz é um tipo de fundação profunda que, de acordo com NBR 6122 da ABNT (2022), é caracterizada pela perfuração rotativa ou rotopercussiva e por uso de revestimento integral dado por tubos metálicos, com armadura de aço em todo seu comprimento, e preenchimento de argamassa de cimento e areia. Devido às suas vantagens, é fortemente usada em solos de baixa capacidade de carga, sendo que a escolha pelo tipo de fundação requer uma ampla análise da estrutura e do solo que lhe dará suporte.

Cintra e Aoki (2010) afirmam que, muitas vezes, as formulações teóricas para previsão de capacidade de carga não são confiáveis. Por isso, muitos autores criaram métodos baseados em correlações empíricas com resultados *in situ* relacionados com provas de carga, alguns muito utilizados em escritórios de projetos de fundação, como o método de Aoki-Velloso (1975) e o método de Décourt-Quaresma (1978).

Neste contexto, o estudo e dimensionamento das fundações profundas do tipo estaca raiz, em um Prédio Público, bem como a análise comparativa entre sondagens realizadas no local antes (primitiva) e após início da obra (complementar), se justificam pela necessidade de se obter os resultados de capacidade de carga para as estacas sujeitas à prova de carga, uma vez que o dimensionamento deverá fornecer valores de resistências que devem atender às cargas de projeto. Além disso, têm-se como objetivo geral destacar aspectos relevantes nas duas sondagens e nos dimensionamentos para cada uma.

2 METODOLOGIA

O presente trabalho refere-se a uma obra de fundações de um Prédio Público localizado no centro da cidade de Juiz de Fora, na Zona da Mata de Minas Gerais, e o terreno em questão está situado em região de baixada, com topografia plana.

Com isso, visando seu objetivo, teve-se inicialmente como procedimento metodológico a análise dos boletins de sondagens SPT realizadas no local da obra de um Prédio Público, primitiva (antes) e complementar (durante a construção), bem como o levantamento de informações à respeito da locação dos pilares e das fundações, planta de cargas e projeto de fundações executado. Na sequência, realizou-se o dimensionamento de fundações em estacas raiz utilizando os métodos semi-empíricos de Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978). O cálculo da capacidade de carga admissível foi realizado aplicando-se um fator de segurança global igual a 2. Destaca-se que os boletins de sondagem utilizados para o dimensionamento de estacas raiz encontram-se apontados no tópico 3.

Por fim, discorreu-se sobre a interpretação dos boletins e procedeu-se a comparação dos resultados do dimensionamento entre os métodos para as duas sondagens (primitiva e complementar). E, ainda, para a sondagem primitiva, comparou-se os métodos em relação ao projeto de fundações executado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Dimensionamento de estacas raiz com os métodos semi-empíricos (sondagem SPT primitiva)

Os resultados do dimensionamento para cada estaca, pelo método de Aoki-Velloso, estão apresentados na Tabela 1. Ressalta-se que todas as estacas possuem 410 mm de diâmetro.

Estaca	Carga de projeto (tf)	Profundidade Executada (m)	Resistência de atrito lateral (tf)	Resistência de Ponta (tf)	Resistência última (tf)	Capacidade de carga admissível (tf)
PA18D	99,71	17,50	85,11	45,53	130,64	65,32
PA30D	108,71	17,40	84,36	45,53	129,89	64,95
PA40B	83,00	17,00	81,34	45,53	126,87	63,44
PA46F	92,67	17,50	85,11	45,53	130,64	65,32
PA61A	113,00	17,00	92,26	45,53	137,79	68,90
PA63A	85,00	16,80	90,75	45,53	136,28	68,14
PA69A	90,00	15,75	82,82	45,53	128,35	64,18
PA21A	95,50	17,00	81,34	45,53	126,87	63,44
PA29D	80,40	17,40	84,36	45,53	129,89	64,95
PA45D	99,50	15,95	73,41	45,53	118,94	59,47
PB32B	99,50	15,50	74,67	39,46	114,13	57,07
PB38D	94,00	-	-	-	-	-
PB39A	98,00	17,00	75,37	45,53	120,90	60,45
PB44C	92,00	17,00	75,37	45,53	120,90	60,45
PB6E5	72,80	15,40	64,29	45,53	109,82	54,91
PB11D	98,63	15,50	65,05	45,53	110,58	55,29
PB12A	94,11	15,50	65,05	45,53	110,58	55,29
PB13A	98,00	13,90	52,97	45,53	98,50	49,25
PB18A	100,71	15,50	65,05	45,53	110,58	55,29
PB19D	98,38	15,50	74,67	39,46	114,13	57,07
PA49E	105,00	16,45	88,11	45,53	133,64	66,82

Tabela 1. Resultados do dimensionamento por Aoki-Velloso.

Com base nos resultados obtidos e apresentados na Tabela 1, pode-se inferir que as cargas de projeto apresentam grande divergência com as cargas admissíveis advindas do dimensionamento, tanto que existem diferenças maiores que 40 tf para oito estacas (PA30D, PA45D, PB32B, PB11D, PB12A, PB13A, PB18A e PB19D).

Além disso, quatorze estacas apresentam diferença maior que 30 tf entre a carga de projeto e a carga admissível (PA18D, PA30D, PA61A, PA21A, PA45D, PB32B, PB39A, PB44C, PB11D, PB12A, PB13A, PB18A, PB19D e PA49E), ou seja, mais da metade da amostra. Ademais, têm-se um valor máximo de diferença relativa entre a carga de projeto e a carga admissível por Aoki-Velloso igual a 50 %, aproximadamente.

Assim, para o método de Aoki-Velloso, nenhuma das estacas em questão seria aprovada (carga de projeto maior que carga admissível), sendo necessário reforço, aumentando o comprimento da estaca ou adicionando mais estacas para diminuir a carga de trabalho.

Além disso, percebe-se uma grande diferença entre os valores de resistência de atrito lateral e os de resistência de ponta. Nesse caso, os valores de resistência de atrito lateral são aproximadamente o dobro das resistências de ponta para cada estaca. Isso acontece porque boa parte do comprimento das estacas está localizado em material de solo resistente, de alteração de rocha (silte argiloso), e o atrito lateral é acumulativo, fazendo com que as parcelas de comprimento da estaca que estão em solo resistente ofereçam elevados valores de resistência para o somatório final do atrito lateral. Somado a isso, o silte argiloso tem um dos maiores valores de coeficiente α , usado unicamente no cálculo da resistência de atrito lateral. Já o valor do coeficiente K, para silte argiloso, usado no cálculo da resistência de ponta unitária é um dos menores.

Já os resultados do dimensionamento para cada estaca, pelo método de Décourt-Quaresma, estão apresentados na Tabela 2.

Diante dos resultados apresentados na Tabela 1 pode-se concluir que o método de Décourt-Quaresma apresenta valores de capacidade de carga admissíveis próximos das cargas de projeto das estacas, com quatro estacas apresentando diferença maior que 30 tf entre a carga de projeto e a capacidade de carga admissível, essas são: PA40B, PA46F, PA63A e PA29D.

Estaca	Carga de projeto (tf)	Profundidade Executada (m)	Resistência de atrito lateral (tf)	Resistência de Ponta (tf)	Resistência última (tf)	Capacidade de carga admissível (tf)
PA18D	99,71	17,50	221,80	28,50	250,30	125,1
PA30D	108,71	17,40	220,50	28,50	249,00	124,5
PA40B	83,00	17,00	205,70	28,50	234,20	117,1
PA46F	92,67	17,50	221,80	28,50	250,30	125,1
PA61A	113,00	17,00	218,90	28,50	247,40	123,7
PA63A	85,00	16,80	206,20	28,50	234,70	117,3
PA69A	90,00	15,75	193,40	28,50	221,90	110,9
PA21A	95,50	17,00	205,70	28,50	234,20	117,1
PA29D	80,40	17,40	220,50	28,50	249,00	124,5
PA45D	99,50	15,95	182,60	28,50	211,10	105,6
PB32B	99,50	15,50	174,60	26,90	201,50	100,8
PB38D	94,00	-	-	-	-	-
PB39A	98,00	17,00	200,60	28,50	229,10	114,6
PB44C	92,00	17,00	200,60	28,50	229,10	114,6
PB6E5	72,80	15,40	175,60	28,50	204,10	102,1
PB11D	98,63	15,50	176,70	28,50	205,20	102,6
PB12A	94,11	15,50	176,70	28,50	205,20	102,6
PB13A	98,00	13,90	135,70	28,50	164,20	82,1
PB18A	100,71	15,50	176,70	28,50	205,20	102,6
PB19D	98,38	15,50	174,60	26,90	201,50	100,8
PA49E	105,00	16,45	201,90	28,50	230,40	115,2

Tabela 2. Resultados do dimensionamento por Décourt-Quaresma.

Os valores de resistência de atrito lateral têm muito mais influência na capacidade de carga final do que os valores de resistência de ponta nesse método. Isso acontece devido ao fato de que grande parte do comprimento da estaca desenvolve atrito lateral em solo de alta resistência (solo de alteração de rocha).

Neste caso, apenas a estaca PB13A não atende a solicitação de projeto. Isso acontece, pois, essa estaca tem comprimento curto se comparado com as demais, desenvolvendo um valor menor de mobilização do atrito lateral, sendo necessário reforço para a mesma. As demais estacas apresentaram resultados de capacidade de carga que atendem a solicitação.

3.1.1 Método de Aoki-Velloso versus método de Décourt-Quaresma

Para realizar a comparação entre os métodos semi-empíricos de Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma são apresentados gráficos, compilados na Figura 1, que demonstram a evolução da capacidade de carga de ruptura para os mesmos.

A partir da Figura 1, é possível tecer algumas considerações acerca dos métodos e das estacas. Uma dessas é que no método de Aoki-Velloso, as estacas PB6E5, PB11D, PB12A, PB13A, PB18A, PB38D, PB39A e PB44C são as únicas que não apresentam valores elevados de capacidade de carga em torno de 8 a 10 metros de profundidade. Tais valores são percebidos através de picos nos gráficos, isso acontece devido a presença de pedregulho (material altamente resistente) constatado nessa profundidade apenas em alguns boletins de sondagens, fazendo com que a capacidade de carga de ponta seja elevada, e, conseqüentemente, têm-se um elevado valor de capacidade de carga total.

Abaixo do pedregulho situam-se as camadas de silte argiloso, justificando o pico de resistência nos gráficos com a queda no valor da resistência total. Já que, apesar de ser um material com altos valores de N_{SPT} , o pedregulho foi tratado como areia no dimensionamento, e tem valor elevado de coeficiente K, utilizado no cálculo da capacidade de carga de ponta, resultando assim, em valores de capacidade de carga de ponta relativamente maiores dos que os valores encontrados nas camadas de silte argiloso.

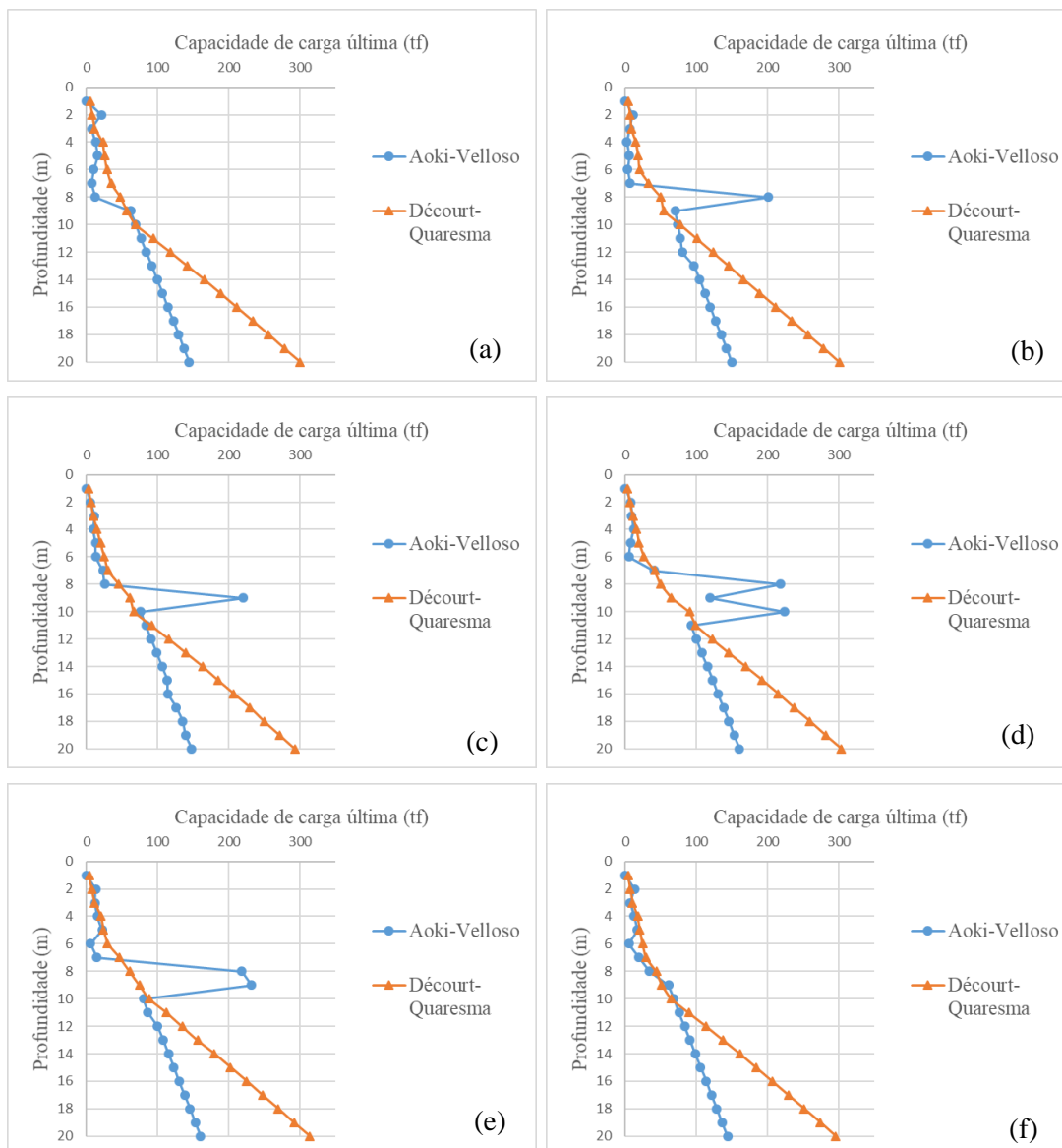


Figura 1. Capacidade de carga ao longo da profundidade para as estacas a partir dos boletins de sondagem SPT correspondentes: (a) SM-05: PB6E5, PB11D, PB12A, PB13A e PB18A; (b) SM-06: PA18D, PA30D, PA40B, PA46F, PA21A, PA29D e PA45D; (c) SM-08: PB32B e PB19D; (d) SM-10: PA63A e PA49E; (e) SM-12: PA61A e PA69A; (f) SM-13: PB38D, PB39A e PB44C.

Percebe-se também que o método de Aoki-Velloso apresenta um cálculo de resistência de ponta dependente diretamente do SPT na ponta, enquanto Décourt-Quaresma necessita de 3 valores de N_{SPT} para ser realizado. Entretanto, para esse estudo, a consideração do método de Décourt-Quaresma de calcular um valor médio de N_{SPT} para a ponta não se fez tão eficaz, pois as estacas estão assentes em materiais com elevada resistência, e a média dos valores de N_{SPT} , será, conseqüentemente, um valor alto também.

Em maiores profundidades, os dois métodos apresentam uma evolução crescente nos valores de capacidade de carga devido ao atrito lateral que é acumulativo. Porém, o método de Décourt-Quaresma teve resultados maiores de capacidade de carga em maiores profundidades, e geralmente, os métodos se aproximam nos resultados em camadas mais próximas da superfície.

Portanto, é notável que, para as profundidades em que as estacas foram dimensionadas, os valores de capacidade de carga são consideravelmente maiores no método de Décourt-Quaresma, sendo que essa diferença está, principalmente, na parcela de resistência por atrito lateral. Também foi visto que, esse mesmo método apresenta maior proximidade entre os valores de capacidade de carga admissível e as cargas de projeto para cada estaca.

Infere-se então que, ao comparar as estacas entre si, as quais possuem mesmo diâmetro, observa-se que os valores de capacidade de carga nas profundidades de projeto são bastante similares, o que mostra a semelhança entre os boletins de sondagem utilizados no cálculo. Porém, ao comparar um método com o outro, é perceptível a diferença, especialmente na parcela do atrito lateral para esse caso estudado.

3.2 Dimensionamento de estacas raiz com os métodos semi-empíricos (sondagem SPT complementar)

A Tabela 3 mostra os resultados das capacidades de cargas últimas calculadas a partir da sondagem SPT complementar para os dois métodos. É notável que os valores obtidos por Décourt-Quaresma são maiores que os resultados obtidos por Aoki-Velloso, bem como verificado no dimensionamento com a sondagem primitiva.

Estaca	Aoki-Velloso			Décourt-Quaresma		
	Resistência de ponta (tf)	Resistência de atrito lateral (tf)	Resistência última (tf)	Resistência de ponta (tf)	Resistência de atrito lateral (tf)	Resistência última (tf)
PA18D	65,32	97,64	162,96	33,65	214,73	248,38
PA30D	65,32	99,54	164,86	33,65	220,51	254,16
PA40B	65,32	92,62	157,94	33,65	205,73	239,38
PA46F	65,32	100,50	165,82	33,65	221,77	255,42
PA61A	65,32	100,24	165,56	33,65	213,75	247,40
PA63A	65,32	98,32	163,64	33,65	211,23	244,88
PA69A	65,32	86,26	151,58	33,65	185,39	219,04
PA21A	65,32	102,94	168,26	33,65	220,31	253,96
PA29D	65,32	94,82	160,14	33,65	199,37	233,02
PA45D	65,32	85,68	151,00	33,65	182,61	216,26
PB32B	65,32	86,62	151,94	33,65	177,29	210,94
PB38D	-	-	-	-	-	-
PB39A	65,32	100,96	166,28	33,65	216,67	250,32
PB44C	65,32	100,96	166,28	33,65	216,67	250,32
PB6E5	65,32	99,02	164,34	33,65	210,45	244,10
PB11D	65,32	99,96	165,28	33,65	211,83	245,48
PB12A	65,32	76,50	141,82	33,65	152,73	186,38
PB13A	65,32	61,20	126,52	33,65	108,19	141,84
PB18A	65,32	79,02	144,34	33,65	162,71	196,36
PB19D	65,32	79,02	144,34	33,65	162,71	196,36
PA49E	65,32	90,46	155,78	33,65	199,07	232,72

Tabela 3. Capacidades de cargas últimas com sondagem complementar.

Infere-se da Tabela 3 que para esse caso, as maiores diferenças entre métodos estão nos valores de atrito lateral, bem como ocorreu no dimensionamento para a sondagem primitiva. Fato justificável pelas estacas possuírem longo comprimento em regiões de solo com elevada resistência, desenvolvendo muito atrito lateral ao longo do fuste. Já a resistência de ponta, esta apresenta também valor significativo de diferença, mas ainda assim o atrito lateral é predominante e isso reflete na capacidade de carga das estacas, atingindo média de 35,70 tf de diferença entre a capacidade de carga de Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma.

3.3 Sondagem SPT primitiva e complementar: comparações

Na sondagem complementar foi observado apenas dois horizontes de solo, ambos argilosos (aterro de argila e argila silto pouco arenosa), na sondagem primitiva verificou-se mais horizontes, com presença de aterro de argila pouco arenosa, areia argilosa, argila, pedregulho e o horizonte final constituído de solo de alteração de granulometria silte argiloso. Atrilado a isso, está o fato de que a sondagem complementar apresenta pequena profundidade de investigação, em torno de oito metros pelo que mostra os perfis. Já a

sondagem primitiva apresenta investigação mais profunda, cerca de quinze metros investigados nos furos, com exceção do furo SM-08 que excedeu os trinta metros de investigação.

Portanto, através dos perfis estratigráficos é possível inferir que a sondagem primitiva oferece mais informações do subsolo do que a complementar, com maior divisão de horizontes e mais profundidades investigadas. Mas ainda assim, a sondagem primitiva é insuficiente para o dimensionamento geotécnico, pois deveria ter avançado em maiores profundidades na maioria dos furos de sondagem, o que obriga ao projetista a adoção de certas considerações para prosseguir o dimensionamento nas camadas mais profundas, onde está faltando informação.

Na sondagem primitiva realizada em 2016, tendo como referência a norma ABNT NBR 6484 (2001) é citado que o ensaio SPT foi paralisado a pedido do cliente em profundidade relativamente baixa, em média de 15,84 m de profundidade investigada. Exceto o furo SM-08, o único que obteve investigação satisfatória. A norma cita que a paralização do ensaio deve obedecer a critérios mencionados em seu tópico 6.4. Porém, quando é citado no boletim de sondagem que a parada foi a pedido do cliente, a empresa se retira da responsabilidade de cumprimento da norma para tal critério.

A sondagem complementar cita alguns critérios para a paralização do ensaio e faz referência a norma ABNT NBR 6484 (2001) uma vez que foi feita em 2017. Assim, para o furo SP-01 é citado que o ensaio foi paralisado devido ao critério de impenetrável ao amostrador, fazendo referência ao tópico 6.4.1 da ABNT NBR 6484 (2001). Ao analisar as condições descritas neste tópico, é perceptível que nenhuma dessas é atendida, pois não é apresentado o número de tentativas de golpes em metros sucessivos para se chegar a essa conclusão. Esse descumprimento à norma também é cometido nos furos SP-03, SP-04, SP-06, SP-07 e SP-08. Para os demais boletins de sondagens utilizados nesta pesquisa, foi observado nota à respeito do critério de impenetrável ao trépano de lavagem, fazendo referência ao tópico 6.4.3.3 da ABNT NBR 6484 (2001). No boletim do furo SP-02 não é apresentado com clareza se a paralização da sondagem atende aos requisitos do tópico 6.3.12 da NBR 6484 (2001). Dessa forma, não deveria então ter sido apresentado uma paralização de impenetrável ao trépano de lavagem, visto que o tópico 6.4.3.3 não se aplica sem que seja cumprido o tópico 6.3.12. Sendo este, um descumprimento à norma, que é repetido nos furos SP-02, SP-07A, SP-10, SP-11 e SP-12.

No que confere aos dimensionamentos geotécnicos realizados cujos resultados estão mostrados nas Tabelas 1, 2 e 3, faz-se também uma comparação entre os resultados da sondagem primitiva e a complementar para os métodos de Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma.

Em relação ao método de Aoki-Velloso, é possível perceber que há semelhança entre as sondagens, pois é notável a pouca variação nos valores calculados para a capacidade de carga (Tabela 1 e 3). Percebe-se isso devido a algumas semelhanças como valores baixos de N_{SPT} nas camadas superficiais, e solo mais resistente em camadas mais profundas apontados pelas duas sondagens, sendo a maior diferença encontrada igual a aproximadamente 55 tf, em duas estacas (PB6E5 e PB11D).

A sondagem complementar apresenta um último horizonte de solo como sendo de argila silto arenosa, tal material oferece, para o método de Aoki-Velloso, maior valor de parâmetro K do que o silte argiloso apontado na sondagem primitiva nessa profundidade. Enquanto que o valor de α é quase o mesmo para os dois solos, por isso com a sondagem complementar se obteve maiores valores de resistência. Portanto, infere-se que os resultados do dimensionamento são bastante similares entre as duas sondagens para o método de Aoki-Velloso, mesmo que as mesmas apresentem divergência em outros aspectos.

Para o método de Décourt-Quaresma, verificou-se que a sondagem complementar apresentou valores maiores de resistência de ponta comparada à primitiva, conforme mostram as Tabelas 2 e 3. Isso ocorreu visto que a sondagem complementar apresenta material argiloso nas cotas de assentamento da estaca, tendo assim maior valor de coeficiente α comparado ao silte argiloso encontrado na sondagem primitiva. Ressalta-se que a diferença máxima encontrada entre os dimensionamentos foi igual a 40 tf (PB6E5 e PB11D), aproximadamente.

Por fim, ainda que as sondagens primitiva e complementar difiram em alguns aspectos, em termos de dimensionamento geotécnico apresentam resultados bastante similares. Mostram-se limitadas com pouca profundidade investigada visto que as estacas chegam a valores maiores que 17,00 m de profundidade executada.

4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos e discussões, tem-se as seguintes conclusões:

- As planilhas de cálculos da capacidade de carga adaptadas para estacas do tipo raiz para os métodos de Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma se apresentaram como satisfatórias ferramentas computacionais.
- Apesar da existência das formulações e da ajuda de planilhas de cálculo, um projeto de fundações engloba diversos fatores, como a necessidade de adoção de critérios de projeto e interpretações de dados a partir de análise geotécnica do contexto da obra.
- No dimensionamento, os valores obtidos de capacidade de carga no método de Décourt-Quaresma foram consideravelmente superiores aos valores obtidos pelo método de Aoki-Velloso para as duas sondagens. Isso acontece porque as estacas deste estudo possuem longo comprimento, e a forma de calcular o atrito lateral é diferente entre os dois métodos, considerando a metodologia de Décourt-Quaresma maior parcela de resistência por atrito lateral para estacas do tipo raiz.
- A comparação entre o dimensionamento autoral e o dimensionamento do projetista de fundações produziu reflexões. O projetista apresentou comprimentos de estacas menores do que os comprimentos necessários obtidos no método de Aoki-Velloso. Porém, nesse caso, devido à grande discrepância entre os resultados dos dois métodos de cálculo (Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma), destaca-se o fato de fazer considerações a favor da segurança. Um exemplo disso pode ser atribuir o valor máximo de N_{SPT} a adotar em cada análise.
- Na comparação entre as sondagens, estas forneceram resultados de capacidade de carga similares para os dois métodos, o que indica semelhança entre essas. Isto pode estar associado ao fato das sondagens terem sido realizadas pela mesma empresa.
- Comparando aspectos entre as sondagens, é perceptível a falta de informações relevantes nas duas sondagens, como, por exemplo, o fato de que as profundidades investigadas são relativamente baixas, especialmente na sondagem complementar. Além de que, essa sondagem, não obedeceu a norma que faz referência no que diz respeito ao critério de paralização. Isso descarta a ideia de que essa seria uma contraprova diante da sondagem primitiva.

Por fim, é importante destacar que a maior confiabilidade nos resultados se deve à calibração dos diversos fatores dos métodos semi-empíricos para cada região. Para fins de complementação deste trabalho, fica como sugestão um estudo comparativo entre resultados de dimensionamento com aqueles de provas de carga, para ilustrar o quanto as resistências de cálculo se aproximam dos valores reais, bem como um possível estudo de reforço para essas estacas. Mais que isso, apresenta-se também uma proposta de dimensionamento das mesmas estacas deste estudo através da Metodologia de Cabral (1986), que possui foco em estacas do tipo raiz.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Juiz de Fora e a todos que colaboraram para a concretização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8036: *Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios*. Rio de Janeiro. 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484: *Solo – Sondagem de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio*. Rio de Janeiro. 2020.
- Cintra, J. C. A.; Aoki, N.; Albiero, J. H. *Fundações diretas: projeto geotécnico*. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 136 p.
- MILITITSKY, J.; CONSOLI, N. C.; SCHNAID, F. *Patologia das fundações*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 256 p.