



Comparativo do Quantitativo de Fundações Entre Versões da NBR 6122 Anos 2010 e 2019 – Estudos de Casos

Laís Araújo Moura

Engenheira Civil, Gusmão Engenheiros Associados, Recife, Brasil, mouralais3@gmail.com

Marina Didier Pedrosa de Amorim

Engenheira Civil, Gusmão Engenheiros Associados, Recife, Brasil, marina@gusmao.eng.br

Alexandre Duarte Gusmão

Engenheiro Civil, Gusmão Engenheiros Associados, Recife, Brasil,
alexandreduartegusmao@gmail.com

Gilmar Brito Maia

Diretor de Projetos, Gusmão Engenheiros Associados, Recife, Brasil, gilmar@gusmao.eng.br

Pedro Eugênio Silva de Oliveira

Engenheiro Civil, Gusmão Engenheiros Associados, Recife, Brasil, pedro@gusmao.eng.br

RESUMO: O dimensionamento de fundações é feito respeitando e tendo como referência a ABNT NBR 6122, que diz respeito ao projeto e à execução de fundações. Em 2019, houve uma mudança na carga admissível das estacas devido às ações do vento. Essa mudança pode ser significativa em obras de grande porte e principalmente as mais esbeltas. O acréscimo da tensão admissível na carga do vento, que antes era de 30%, passou a ser de 15%, ocasionando um possível aumento na quantidade de estacas, a depender da influência do vento na estrutura. Por meio da análise de algumas obras previamente dimensionadas por uma empresa local de consultoria de geotecnia com ênfase em projetos de fundações, foi realizado um novo dimensionamento, usando a mesma solução de fundação, mas desta vez com a mudança da tensão admissível nas estacas nos cenários de vento, seguindo agora a versão de 2019. Após o dimensionamento, foi feito um estudo comparativo entre as duas soluções calculadas. Na obra de menor porte analisada, não houve acréscimo no número de estacas. Nas obras restantes, houve alteração nos quantitativos, com acréscimo de estacas de 4,3 a 4,8% e aumento de até 15,4% nos volumes de bloco.

PALAVRAS-CHAVE: Dimensionamento de fundação, ação do vento, carga admissível.

ABSTRACT: The design of foundations is done respecting and having as reference the ABNT NBR 6122, which concerns the design and execution of foundations. In 2019, there was a change in the permissible load of the piles due to the actions of the wind. This change can be significant in works whose solution is in deep foundation. The increase in permissible tension in the wind load, which was previously 30%, became 15%, causing a possible increase in the number of piles, depending on the influence of the wind on the structure. Through the analysis of some works previously sized by a local geotechnical consulting company with emphasis on foundation projects, a new dimensioning will be made, using the same foundation solution, but this time with the change of the permissible tension in the piles in the wind scenarios, following now the 2019 version. After sizing, a comparative study will be made between the two calculated solutions. For the construction work with fewest floors, there was no increasing on pile number. For the other

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.





works, there was a change on the quantity, with increases on pile number from 4,3 to 4,8% and up to 15,4% increase on block volumes.

KEYWORDS: Foundation sizing, wind action, permissible load.

1 Introdução

As fundações profundas são utilizadas quando as camadas do terreno superficial não são resistentes o suficiente para admitir toda a carga de uma edificação, mesmo que haja utilização de melhoramento de solo. Outro grande fator que solicita que a fundação utilizada seja a profunda, por meio de estacas, é quando há a presença de solos moles no subsolo.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), fundação profunda é definida como aquela que transmite a carga da superestrutura para o terreno pela base, pela superfície lateral ou pela combinação das duas.

No Brasil, a execução de fundações profundas é realizada por meio de normas brasileiras (NBR), de autoria da ABNT. Uma das normas que devem ser seguidas é a NBR 6122, que se refere ao projeto e à execução de fundações. Nessa norma, é possível encontrar informações a respeito de investigações geológicas, diferentes ações nas fundações, segurança nas fundações, fundações superficiais, profundas e desempenho das fundações.

No final de 2019, essa norma sofreu uma alteração no que diz respeito à carga do vento suportada pelas estacas utilizadas na execução de uma fundação profunda. O novo acréscimo admissível para as estacas com relação às cargas do vento caiu pela metade, ficando assim com 15%. Como resultado, haverá uma alteração nas fundações que foram e serão executadas de outubro de 2019 até o presente, e possivelmente com mais estacas a serem cravadas, a depender do porte e das cargas da edificação.

Por meio de um novo dimensionamento de algumas fundações já executadas no Grande Recife, foi permitido realizar uma comparação com os projetos prévios, que respeitavam a versão antiga da norma, e uma análise dos quantitativos e das mudanças que necessitariam ser realizadas caso o projeto ainda não tivesse sido executado.

2 A geologia do Recife

A cidade do Recife apresenta duas paisagens distintas: os morros e as planícies. Na planície, é presente uma camada de areia fofa seguida ou em alternância com outras camadas arenosas muito compactas, de argila orgânica mole, ou ainda de arenitos bem consolidados. A presença de argila orgânica mole está em cerca de 50% da planície, e frequentemente com espessuras de mais de 15 metros. Por conta disso, as fundações no Recife são direcionadas pelas características geológico-geotécnicas do subsolo, mesmo que outros fatores também influenciem nessa decisão. (GUSMÃO, 2000; PACHECO *et al*, 2000 *apud* GUSMÃO, 2005).

A presença de areias na camada superficial, de arenitos em níveis superficiais ou de camadas de fragmentos de conchas, misturados ou não a areias, faz com que seja adotada a solução de fundação superficial em diversas obras situadas no Recife, a depender do porte das edificações. Já a existência de depósitos de argila mole, como mencionado previamente, faz com que sejam adotadas fundações profundas, soluções de fundação largamente utilizadas no Recife, embora custosas e com grandes profundidades (GUSMÃO, 2005). Este tipo de fundação é determinado quando suas bases estão implantadas numa profundidade maior do que duas vezes a menor dimensão da estaca e a pelo menos 3 metros de profundidade. Ele pode ser realizado com a utilização de estacas, tubulões e caixões (VELLOSO; LOPES, 2010).

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.





3 Estruturas: o efeito do vento

A norma que rege o dimensionamento das estruturas de acordo com as interferências do vento em edificações é a NBR 6023. Esta norma dispõe de forças estáticas e dinâmicas da ação do vento para cálculo das cargas na edificação.

As forças estáticas devidas ao vento são calculadas com uma velocidade básica do vento no local da construção, determinada pela velocidade de uma rajada de vento de 3 segundos, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 metros acima do terreno, em campo aberto e plano, em seguida multiplicada por 3 coeficientes – topográfico, estático e de rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno – para que se possa obter a velocidade característica do vento. A pressão dinâmica pode ser obtida ao multiplicar o quadrado da velocidade característica por 0,613. (ABNT, 2013).

As obras que serão descritas a seguir já possuíam os esforços calculados para os cenários permanente e de vento, não sendo necessário realizar este cálculo para os pilares das estruturas.

4 Metodologia

Foram cedidos dados de uma empresa local que realiza consultorias na área geotécnica com ênfase em projeto de fundações, para que fossem feitos os comparativos, as análises e os novos dimensionamentos segundo a nova versão da norma.

O artigo é composto por quatro projetos situados na Região Metropolitana do Recife, em bairros que contêm diferentes subsolos e com portes das edificações de diferentes tamanhos, para que possa ser feita uma análise de acordo com o número de pavimentos da edificação.

Para a execução do novo dimensionamento, foi escrita, para cada obra, uma apresentação contendo alguns dados recolhidos e de extrema importância para o cálculo previamente feito pela empresa e outros relacionados à solução adotada. Os dados são: localização da obra – que é exata nos arquivos cedidos pela empresa, mas para efeitos deste artigo, será mencionado apenas o bairro da localização da edificação –, quantidade de pilares e valores de carga para cada pilar, número de pavimentos, tipo de fundação adotada, carga admissível da fundação, comprimento das estacas, quantidade de estacas, volume de concreto para estacas e blocos e peso de aço, caso haja o cálculo deste.

A etapa seguinte é referente ao recálculo das cargas admissíveis das estacas para os cenários de vento, desta vez adotando como referência a versão mais atualizada da NBR 6122 para que, por conseguinte, houvesse um novo cálculo da fundação e um novo quantitativo fosse planejado. Foi realizado o dimensionamento dos blocos para cada pilar da edificação, respeitando sempre os valores mínimos de espaçamento requeridos em norma. O redimensionamento dos blocos foi feito através de um software pertencente à empresa.

Após novos dimensionamento e estaqueamento, foram recalculados os quantitativos referentes à solução adotada para que, desta maneira, fosse possível fazer uma comparação quantitativa para cada obra.

4.1 As obras

Foram analisadas 4 obras, nomeadas de A a D. A Obra A está localizada no bairro das Graças. A edificação contém treze pilares e vinte e duas lajes, cujas cargas verticais permanentes variam de 2.690 kN a 8.020 kN. Para esta obra foram realizadas três sondagens que constataram que o terreno era majoritariamente arenoso, sendo assim adotada a solução em estacas tipo hélice contínua com 1.300 kN de carga admissível no cenário permanente. Para os cenários de vento, o

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



acréscimo na carga admissível foi de 30%, valor válido até a nova edição da norma, datada de setembro de 2019.

Após realizada a análise das maiores cargas nas estacas de acordo com o vento, foi constatado que em apenas dois pilares há uma carga maior que 1.495 kN, este sendo o novo valor admissível para esta estaca utilizada no cenário de vento, desta vez como define a NBR 6022 (2019). Desta maneira, apenas estes dois blocos sofrerão alteração no número de estacas.

A Obra B está situada no bairro da Ilha do Retiro. Essa obra engloba a construção de duas edificações, chamadas no projeto de Torre A e Torre B. As duas edificações contêm 43 lajes e 22 pilares cada. As cargas verticais permanentes da Torre A variam de 2.610 kN a 21.250 kN. As da Torre B, de 2.280 kN a 20.440 kN. Como os pilares da Torre A têm cargas maiores que os da Torre B, foi realizado o recálculo apenas da Torre A, inferindo que a diferença entre as soluções das duas versões da norma será maior para ela que as da torre B.

Foram realizadas quatorze sondagens no terreno, cinco delas sendo na projeção da lâmina da Torre A. No terreno, foi possível encontrar uma extensa camada de solo muito mole, com cerca de trinta metros de espessura. Deste modo, a estaca escolhida foi uma estaca metálica de seção variada com 56 metros de comprimento. A carga admissível para esta estaca foi de 2.200 kN, sendo o valor de 2.860 kN a carga admissível para os cenários de vento de acordo com a versão de 2010 da norma. Nesta obra, existiram 10 pilares nos quais ao menos uma estaca tinha carga superior ao novo valor admissível, 2.530 kN, desta forma necessitando de alguma alteração para se adequar à nova versão da norma.

A Obra C situa-se em Barra de Jangada, no município de Jaboatão dos Guararapes. Contempla uma torre com 39 lajes. São 19 pilares na lâmina, com cargas permanentes de valores variando entre 5.470 e 22.580 kN. A solução foi projetada em estacas tipo hélice contínua com comprimentos de 28,50 metros para as estacas, com diâmetros de 800 e 700 mm e cargas admissíveis de 3.200 e 2.400 kN, respectivamente.

Para os novos valores de 3.680 kN e 2.760 kN, respectivamente, houve 9 pilares cujas estacas tinham carga solicitante maior, necessitando, desta maneira, de um recálculo dos blocos para estes pilares.

A Obra D está localizada no bairro de Boa Viagem e consiste em duas torres. Foram realizadas onze sondagens, das quais quatro foram locadas na torre A. A partir da análise destas sondagens, foi possível perceber a presença de duas camadas de solo mole, a primeira de quatro metros de espessura e a segunda com 12 metros de espessura, fazendo com que a solução escolhida fosse de três tipos de estacas metálicas com seção variável e 42 metros de comprimento.

Deste modo, foi criada uma Tabela mostrando o que era necessário de ser feito nas 4 obras previamente descritas, a fim de que os esforços nas estacas estivessem abaixo dos valores admissíveis para as novas condições da norma. A Tabela 1 é mostrada a seguir.

Tabela 1. Resumo do cálculo necessário nas obras analisadas (continua)

OBRA	ESTACAS	BLOCOS PARA RECÁLCULO	QUANTIDADE
A	HÉLICE CONTÍNUA	P5, P13	2
B	METÁLICAS	PA2, PA7, PA8, PA10, PA11, PA12, PA14, PA15, PA19, PA22	10
C	HÉLICE CONTÍNUA	P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P11, P13+P14, P15+P18+P19, P17	11

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



Tabela 1. Resumo do cálculo necessário nas obras analisadas (continuação)

D	METÁLICAS	PA1, PA2, PA3, PA10, PA11, PA12, PA13, PA14, PA17	9
---	-----------	------------------------------------------------------	---

5. Resultados obtidos

A partir do cálculo pelo método de Nöckentved, que permite que sejam calculadas as ações das estacas em um estaqueamento simétrico, foram realizados os devidos recálculos para todos os pilares mencionados previamente, de modo que o valor da carga nas estacas não ultrapassasse o novo limite determinado pelo acréscimo de 15% à carga admissível.

Para os pilares da Obra A, foi concluído que o bloco do pilar P5 necessitaria apenas de uma nova configuração, enquanto que o pilar P13 necessitaria de um aumento no espaçamento em Y, resultando na manutenção do número de estacas. Abaixo, na Figura 1, é possível ver as duas soluções calculadas para a obra A.

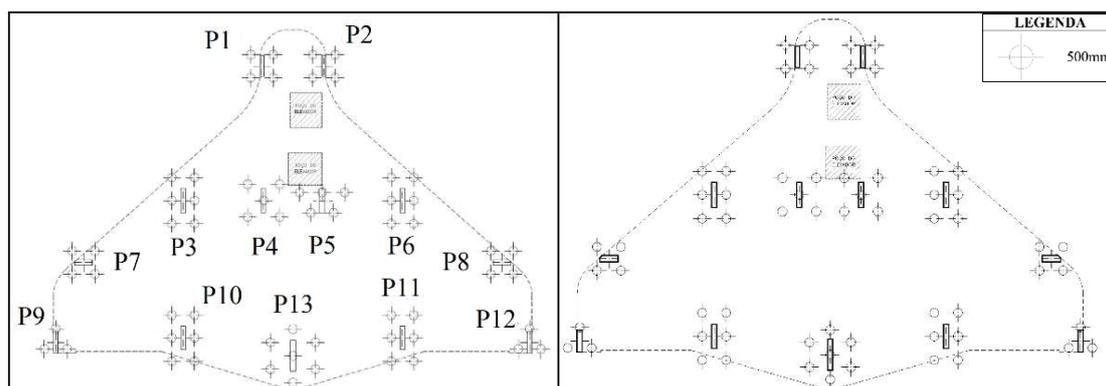


Figura 1. Soluções para o estaqueamento da Obra A de acordo com as duas versões da obra.

Na Tabela 2, é possível ver os quantitativos para os dois estaqueamentos calculados para esta obra.

Tabela 2. Resumo das soluções conforme as duas versões da NBR 6122

ANO VERSÃO NBR 6122	NÚMERO DE ESTACAS	PERFURAÇÃO (m)	VOLUME DE CONCRETO (ESTACAS) (m ³)	VOLUME DE CONCRETO (BLOCOS) (m ³)
2010	63	1.260	322	68
2019	63	1.260	322	68

Para os pilares da Obra B, foi necessário o acréscimo de uma estaca nos blocos dos pilares PA2, PA7, PA11, PA14, PA15, PA19 e, para os pilares PA8, PA10, PA12 e PA22, a alteração na configuração ou no espaçamento das estacas foi suficiente para que as cargas estivessem dentro dos valores admissíveis. A seguir, na Figura 2, é possível ver os dois estaqueamentos calculados seguindo as duas versões da norma.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



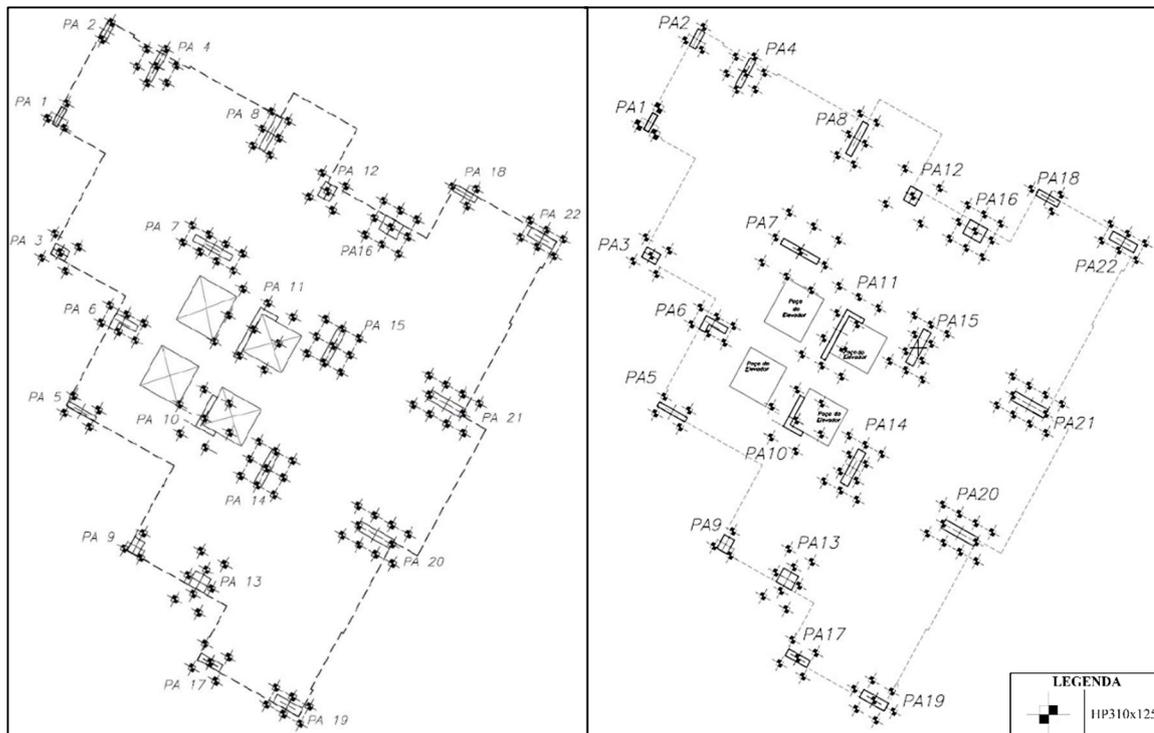


Figura 2. Estaqueamentos realizados segundo as versões de 2010 e 2019 da NBR 6122.

Abaixo, na Tabela 3, é possível ver os quantitativos para os dois estaqueamentos da obra B.

Tabela 3. Resumo das soluções conforme as duas versões da NBR 6122

ANO VERSÃO NBR 6122	NÚMERO DE ESTACAS	PERFURAÇÃO (m)	PESO DE AÇO (ESTACAS) (kg)	VOLUME DE CONCRETO (BLOCOS) (m³)
2010	140	7.840	800.240	117
2019	146	8.176	834.536	135

Para os pilares da Obra C, foi necessária uma alteração de tamanho de estacas, bem como de configuração de blocos em alguns dos pilares que necessitavam de mudanças. A seguir, na Figura 3, é possível ver o desenho dos dois estaqueamentos calculados.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



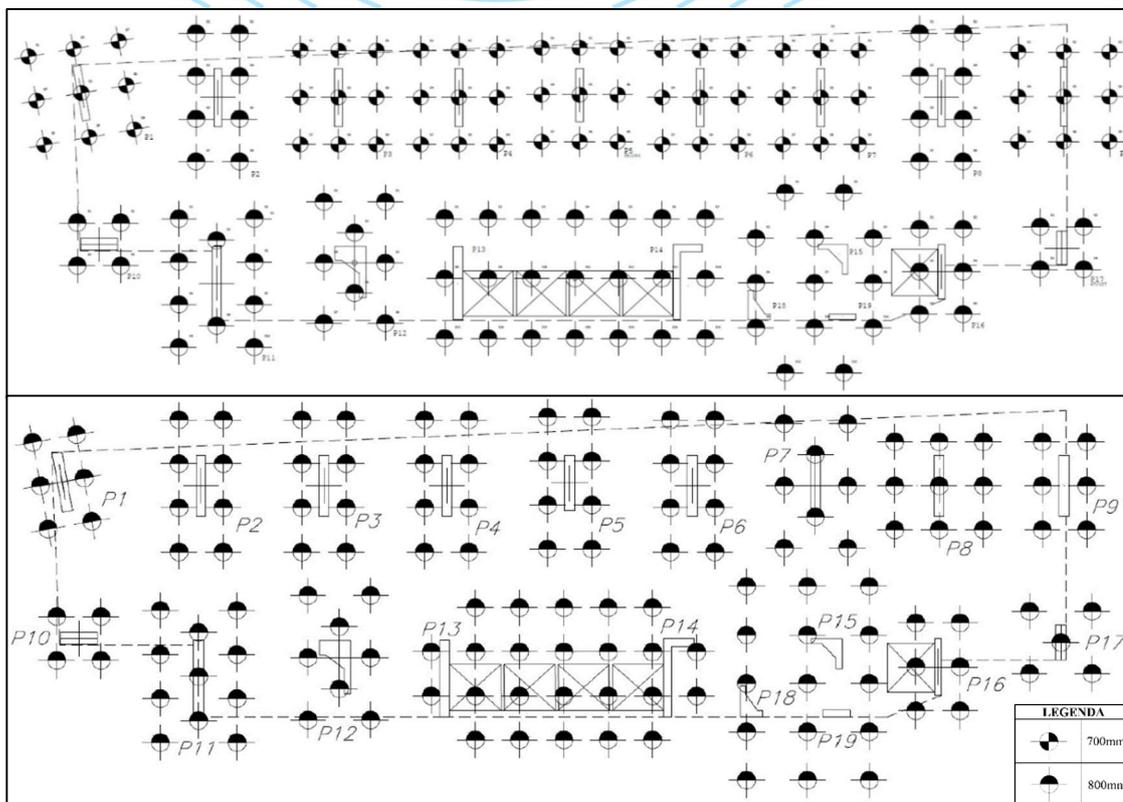


Figura 3. Estaqueamentos da Obra C de acordo com as normas

Na Tabela 4, disposta a seguir, é possível ter o comparativo entre as duas soluções.

Tabela 4. Comparativo de quantitativos das duas soluções para a Obra C

ANO VERSÃO NBR 6122	DIÂMETRO (mm)	NÚMERO DE ESTACAS	PERFURAÇÃO (m)	VOLUME DE CONCRETO (ESTACAS) (m ³)	VOLUME DE CONCRETO (BLOCOS) (m ³)
2010	700	63	4.075,50	2.390	965
2019	800	80	4.047	2.644	989

Como nesta obra houve uma alteração de diâmetro das estacas, não foi clara a mudança de quantitativos referentes ao número de estacas, visto que este diminuiu. Ao realizar a análise dos outros quantitativos, é possível verificar o aumento do volume de concreto tanto para as estacas quanto para os blocos de coroamento.

Assim como na Obra C, a Obra D sofreu alteração de tipo de estaca, como pode ser visto a seguir, na Figura 4. Mesmo com essas alterações, foi evidente o aumento nos quantitativos da obra, conforme visto abaixo, na Tabela 5.

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda



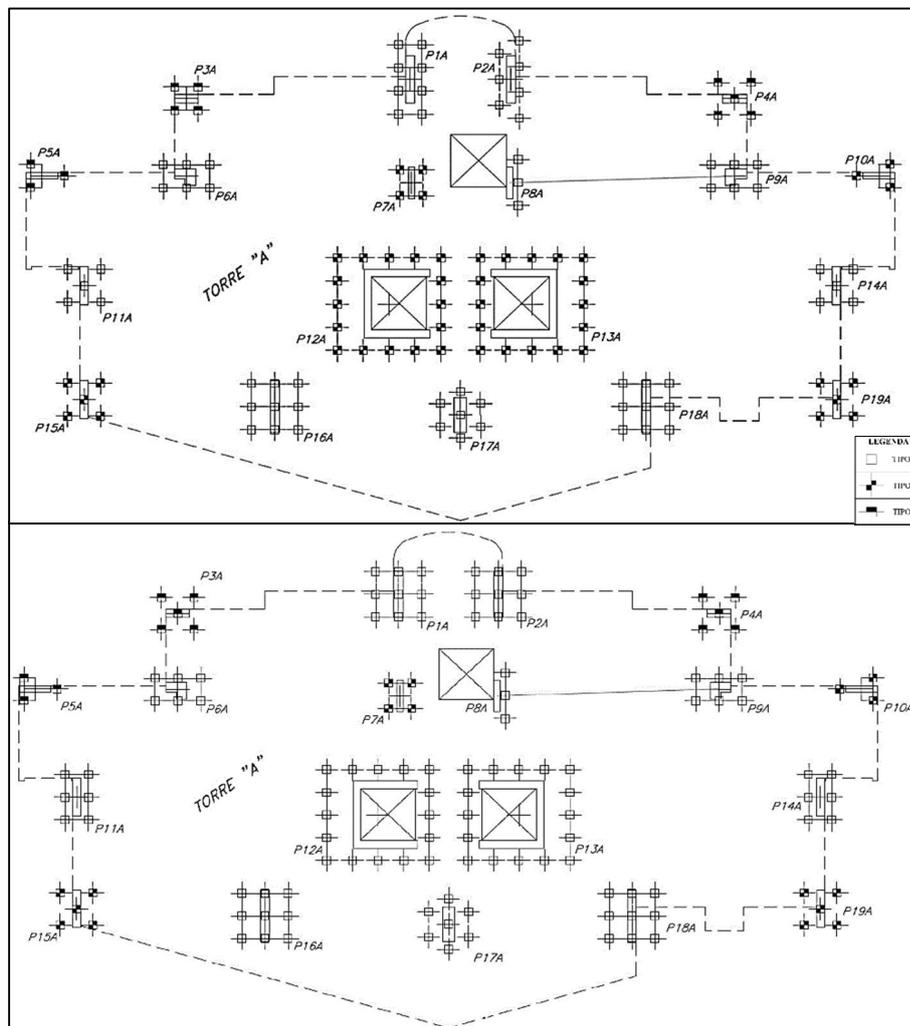


Figura 4. Dimensionamentos da obra D

Tabela 5. Quantitativos da Obra D de acordo com as duas versões da NBR 6122

ANO VERSÃO NBR 6122	TIPO	NÚMERO DE ESTACAS	CRAVAÇÃO TOTAL (m)	PESO DE AÇO (ESTACAS) (kg)	VOLUME DE CONCRETO (BLOCOS) (m³)
2010	A	65			
	B	46	5.262	517.194	80
	C	15			
2019	A	77			
	B	42	5.518	546.018	85
	C	13			

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



6. Conclusões

Após a análise dos resultados, foi possível ver que não há um padrão de acréscimo resultante da diminuição da nova carga admissível, o que já era esperado, visto que cada obra é única, singular e depende também de fatores ambientais para ser dimensionada.

Ao analisar as obras que envolveram fundação em estacas em hélice contínua, não houve um padrão. Para a Obra A, não houve acréscimo nenhum, visto que as cargas das estacas primeiramente dimensionadas não chegavam tão perto do limite indicado por norma. Para a Obra C, foram necessárias várias alterações, desde os diâmetros das estacas até a configuração dos blocos. Houve um acréscimo de volume de concreto, o que encareceria a obra. O fato de ter apenas um diâmetro diminui o custo de aluguel de equipamentos de diferentes diâmetros, mas também pode acontecer do aluguel necessitar ser mais longo, visto que apenas uma máquina estaria executando toda a fundação, o que não traria economia no orçamento da sua execução.

Para os dimensionamentos que envolveram estacas metálicas, não houve uma discrepância entre os aumentos. Ambas as obras contaram com aumentos em torno de 5%, porém pôde ser visto que a diferença entre os volumes de concreto para os blocos não foi tão similar. Isto se dá pelo fato de ter havido aumento de espaçamento nos blocos da Obra B, enquanto no da Obra D não foi necessário. A respeito do maquinário, a mesma máquina executa todos os tipos de estacas metálicas envolvidas nestes dimensionamentos, então não haveria economia por diminuição de maquinário.

Ao analisar a Tabela 6, disposta a seguir, é possível ver que todas as obras tiveram um acréscimo de volume de concreto dos blocos, as obras em estacas metálicas tiveram um acréscimo no peso de estacas e a Obra C, mesmo com decréscimo de número final de estacas, teve aumento no volume de concreto, o que é verificado ao perceber que todas as estacas agora têm diâmetro maior que algumas estacas na solução anterior.

Tabela 6. Mudanças, em porcentagem, das quatro obras analisadas

OBRA	MUDANÇAS (%)				
	Nº ESTACAS	PERFURAÇÃO / CRAVAÇÃO	VOLUME DE CONCRETO (ESTACAS)	PESO DE AÇO (ESTACAS)	VOLUME DE CONCRETO (BLOCOS)
OBRA A	0,00	0	0	-	0,19
OBRA B	4,29	4,29	-	4,29	15,39
OBRA C	-0,70	-0,7	10,65	-	2,49
OBRA D	4,76	4,87	-	5,57	6,25

AGRADECIMENTOS

À empresa Gusmão Engenheiros Associados pela cessão dos materiais de obras utilizados na construção do presente artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010). NBR 6122: *Projeto e Execução de Fundações*. Rio de Janeiro.

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.





Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR 6122: *Projeto e Execução de Fundações*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013). NBR 6123: *Forças devidas ao vento em edificações*. Rio de Janeiro.

Gusmão, A. D., Gusmão Filho, J., OLIVEIRA, J. T. R., MAIA, G. B. (2005) *Geotecnia no Nordeste*. Recife, Editora Universitária UFPE.

Gusmão Filho, J. A., GUSMÃO, A.D. (2000) Compaction piles for building foundation. *International Conference on Geotechnical and Geological Engineering*. Melbourne, Austrália.

Nökkentved, C. *apud* Caputo, H. P. *Mecânica dos Solos e Suas Aplicações*. Livros Técnicos e Científicos S.A. vol. 2.

Pacheco, J. L., Gusmão, A. D., GUSMÃO FILHO, J. A., Amorim Jr, W. M. (2000). Recalque de edifícios em depósitos de conchas. *IV Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia*. São Paulo, Brasil. vol. 1. Pp 227-237.

Velloso, D. A., Lopes, F. R. (2010) *Fundações: Critérios de Projeto, Investigação do Subsolo, Fundações Superficiais, Fundações Profundas*. São Paulo, Oficina de Textos.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.

