



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL



ALEX SANDRO AMÂNCIO SILVA

MÉTODOS PARA PREVISÃO DA CAPACIDADE DE CARGA E DO RECALQUE EM
FUNDAÇÃO ESTAQUEADA

UBERLÂNDIA
2023

ALEX SANDRO AMÂNCIO SILVA

MÉTODOS PARA PREVISÃO DA CAPACIDADE DE CARGA E DO RECALQUE EM
FUNDAÇÃO ESTAQUEADA

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Jean Rodrigo Garcia

UBERLÂNDIA
2023

ALEX SANDRO AMÂNCIO SILVA

**MÉTODOS PARA PREVISÃO DA CAPACIDADE DE CARGA E DO RECALQUE
EM FUNDAÇÃO ESTAQUEADA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Civil da Universidade
Federal de Uberlândia, como requisito parcial
para a obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil.

Prof. Dr. Jean Rodrigo Garcia
Presidente da Banca – Orientador

Eng. Alisson Filmiano Andrade Lopes
UFU – Membro Interno

MSc. Eng^a Gabriela França Azevedo
Membro externo – UnB

Alex Sandro Amâncio Silva
Orientando

UBERLÂNDIA
2023

AGRADECIMENTOS

A Deus, por não me deixar desistir e me dar forças para seguir nessa caminhada em direção aos meus sonhos.

Aos meus pais, que sempre me apoiaram em minhas decisões e me deram todo suporte necessário para traçar os meus objetivos.

Aos meus amigos e colegas de trabalho que de alguma forma fizeram parte dessa trajetória, me acompanhando e dando apoio nos momentos necessários.

A Universidade Federal de Uberlândia, por me proporcionar um ensino de qualidade e gratuito.

Ao professor Jean Rodrigo Garcia, por todo conhecimento e orientação transmitido tanto nesse trabalho quanto ao longo da graduação.

MÉTODOS PARA PREVISÃO DA CAPACIDADE DE CARGA E DO RECALQUE EM FUNDAÇÃO ESTAQUEADA

Alex Sandro Amâncio Silva¹
Jean Rodrigo Garcia²

RESUMO: A técnica de radier estaqueado vem sendo empregada em diversos projetos de engenharia. As construções que utilizam essa técnica, fundações rasas e profundas trabalhando em cooperação, em vez do projeto convencional de grupo de estacas, garantem maior eficiência e segurança, bem como minimizam os problemas geotécnicos nos solos devido à falhas relacionadas ao projeto de fundações. O dimensionamento adequado de fundações está relacionado à previsão da capacidade de carga e do recalque diante das solicitações às quais a estrutura estará sujeita. Nesse contexto, este artigo analisa o desempenho de alguns métodos utilizados para determinar a capacidade de carga e o recalque de uma fundação estaqueada composta por nove estacas. Esse estudo tem como base os resultados de um ensaio de prova de carga estática e lenta à compressão axial realizado em uma estaca isolada. Os resultados das análises realizadas demonstram que o método que leva em consideração a contribuição do contato do radier com o solo, compartilhando as tensões com as estacas, acaba proporcionando ao radier uma maior capacidade de carga e uniformização de recalques. Isso, por sua vez, eleva a capacidade de carga do sistema como um todo. Consequentemente, a capacidade de carga geral do sistema é aumentada. Portanto, ao se projetar fundações em grupo de estacas, é fundamental levar em consideração as características individuais das estacas, assim como a interação entre o radier e o solo. Esse método específico oferece benefícios substanciais ao garantir um sistema de fundação estável, seguro e 24% mais eficiente comparado aos métodos tradicionais, além de reduzir os impactos econômicos e ambientais na sociedade.

Palavras-chaves: métodos semiempíricos; contato bloco-solo; grupo de estacas; radier estaqueado.

ABSTRACT: The technique of piled raft foundation has been employed in various engineering projects. Constructions that utilize this technique, combining shallow and deep foundations in cooperation instead of the conventional group pile design, ensure greater efficiency and safety while minimizing geotechnical issues in soils due to foundation design flaws. Adequate foundation design is related to predicting the bearing capacity and settlement under the anticipated structural demands. In this context, this article examines the performance of some methods used to determine the bearing capacity and settlement of a piled raft foundation composed of nine piles. This study is based on the results of a static and slow axial compression load test conducted on a single pile. The results of the conducted analyses demonstrate that the method that takes into account the contribution of the raft-soil contact, sharing the stresses with the piles, ultimately provides the raft with greater bearing capacity and uniform settlement. Consequently, the overall bearing capacity of the system is increased. Therefore, when designing pile group foundations, it is essential to consider the individual characteristics of the piles, as well as the interaction between the raft and the soil. This specific method offers substantial benefits by ensuring a stable, safe, and 24% more efficient compared to traditional methods, while also reducing the economic and environmental impacts on society.

Keywords: forecasting methods; pile cap soil contact; pile group; piled raft.

¹Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Uberlândia. E-mail: alex.sandro.04@ufu.br

²Professor da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia. E-mail: jean.garcia@ufu.br

1 INTRODUÇÃO

Diversos projetos de engenharia são desenvolvidos para satisfazer o desempenho de estabilidade e segurança requeridos. Muitas das incertezas que pairam durante a concepção do sistema estrutural passam pelos elementos de fundação, uma vez que estes interagem com o maciço de solo ou rocha, materiais esses criados pela natureza. Assim, em muitos casos é necessário o emprego de fundações profundas que buscam camadas mais resistentes de solo para garantir o desempenho das fundações e da própria estrutura.

As fundações estacadas são fundações mistas compostas por um elemento horizontal (radier, bloco ou sapata) e outro vertical (estacas) surge como uma alternativa em relação ao projeto convencional (grupo de estacas), uma vez que este último não considera o contato do bloco de coroamento com o terreno em que se apoia para o cálculo do número de estacas necessário. Segundo Albuquerque e Garcia (2020), mesmo em solos com baixa capacidade de suporte, o efeito de contato bloco-solo pode assumir proporções interessantes que poderiam otimizar as fundações de uma estrutura, se considerados no cálculo da capacidade de carga e recalques.

Alguns métodos tem sido utilizados para o cálculo da capacidade de carga e recalque de fundações em grupo seja através da eficiência do grupo como os métodos de Feld e Converse Labarre, ou considerando o efeito de grupo, que leva ao confinamento do solo mobilizado entre as estacas, como o método do pilar equivalente.

A NBR 6122:2019 define recalque como o movimento vertical descendente de um elemento estrutural, que pode ser responsável por causar danos estruturais devido ao rebaixamento irregular das partes da edificação. Portanto é importante considerar o efeito do recalque nas análises e projetos de fundações. O recalque em grupo pode ser analisado a partir de diversas metodologias entre elas destacam-se as de Fleming et al. (1985) apud Velloso e Lopes (2010). Com a busca por soluções que garantem maior durabilidade, segurança, menor quantidade de volume de concreto utilizado, menos mão de obra e uma eficiência maior, as fundações do tipo radier estacado surgem com o intuito de utilizar técnicas economicamente interessantes em projetos geotécnicos, onde parte da carga é absorvida pelo próprio elemento superficial em contato com o solo, diminuindo a carga sobre as estacas. Logo, métodos de estimar capacidade de carga e recalque em radier estacado têm se tornado comuns, como o Método PDR de autoria Poulos e Davis (1980) e Randolph (1994), onde os autores a partir de diversas formulações conseguem prever a curva carga-recalque tri linear das fundações. Nesse contexto, este trabalho visa analisar os métodos e realizar uma análise da relevância do contato bloco-solo quando considerado no dimensionamento.

2 MÉTODOS DE CÁLCULOS

2.1 Estaca Isolada

A capacidade de carga e o recalque de uma estaca isolada podem ser obtidos por diversos métodos existentes na literatura, sejam eles teóricos, semiempíricos ou prova de carga. Segundo a norma ABNT NBR 6122:2019 para a determinação da capacidade de carga de uma estaca isolada que é uma grandeza que fornece a carga admissível relacionando o atrito lateral e a resistência de ponta da estaca, devem ser considerados os fatores de segurança predeterminados aos estados limites últimos (ruptura) e de serviço (recalques, vibrações etc.), que pode ser feita pela Equação (1) que relaciona o peso (w) e as duas parcelas de resistência: atrito lateral (R_L), entre o solo e o fuste da estaca e a resistência de ponta (R_P) na base da estaca.

$$R = R_p + R_L + w \quad \text{Equação (1)}$$

Entre os métodos de estimar a capacidade de carga da estaca isolada, os mais comuns são os que utilizam os parâmetros obtidos empiricamente em ensaios *in situ*, como os métodos de Aoki e Velloso (1975) e Décourt e Quaresma (1978), sendo esses utilizados no presente trabalho juntamente com a carga de ruptura da prova de carga, carga essa que produz um recalque de 10% do diâmetro da estaca, 30 mm.

Segundo Cintra e Aoki (2010) a aplicação de uma carga P na cabeça de uma estaca provocará um encurtamento elástico (ρ_e) da própria estaca, como peça estrutural submetida a compressão e deformações verticais de compressão dos estratos de solo subjacente à base da estaca até o indeslocável, o que resulta um recalque devido ao solo (ρ_s) da base. Assim, considerando esses dois efeitos é possível estimar o deslocamento total (ρ) vertical, que a estaca sofrerá a partir da Equação (2):

$$\rho = \rho_e + \rho_s \quad \text{Equação (2)}$$

Contudo para o presente trabalho foi considerado como recalque da estaca isolada o valor obtido a partir da prova de carga feita por Garcia (2019) na cidade de Araguari, sendo esse referente a 10% do diâmetro da estaca, aplicado a um coeficiente de segurança global ($FS = 2$). Concomitantemente foi definido mais dois valores de recalque, sendo esses, os recalques referentes as cargas admissíveis obtidas via método de Aoki e Velloso (1975) e Décourt e Quaresma (1978), porém retirados diretamente da prova de carga de Garcia (2019), o que acarreta em valores reais, permitindo assim, resultados mais confiáveis com um menor grau de incerteza.

2.2 Grupo de estacas

De acordo com Cintra e Aoki (2010) quando as estacas estão próximas há uma interação entre elas através do solo que as mobiliza, que torna a capacidade de carga e o recalque diferente daquele elemento isolado. Velloso e Lopes (2010) enfatizam que a eficiência é inerente ao processo executivo de uma estaca e ao tipo de solo. Afirmam ainda, que o efeito de grupo é um processo de interação entre as diversas estacas ou tubulões constituintes de uma fundação quando transmitem ao solo as cargas que lhes são aplicadas e pode ser benéfico ou prejudicial, pois a eficiência de um grupo de estacas tende a aumentar com o espaçamento entre elas até o máximo de 3 vezes o diâmetro, sendo que para valores maiores, a capacidade de carga do conjunto começa a se estabilizar. Para o cálculo da capacidade de carga de um grupo, métodos que se baseiam na eficiência do grupo podem ser utilizados, como o método de Converse-Labarre, método de Feld e o artifício do pilar equivalente.

2.2.1 Método de Converse-Labarre

O método de Converse-Labarre (1968) propõem que a partir de parâmetros como o número de estacas, diâmetro e o espaçamento entre elas, a eficiência do grupo seja calculada pela Equação (3). Portanto a capacidade de carga é dada pelo produto da capacidade de carga de uma estaca isolada pelo número de estacas no grupo e pela eficiência.

$$\eta = 1 - \alpha \cdot \frac{(n - 1) \cdot m + (m - 1) \cdot n}{90 \cdot m \cdot n} \quad \text{Equação (3)}$$

Em que: $\alpha = \arctg(\phi/s)$; m é o número de linhas; n é o número de colunas; s é o espaçamento entre estacas de diâmetro ϕ .

2.2.2 Método de Feld

O método proposto por Feld (1943) analisa a eficiência do grupo de estacas reduzindo a 1/16 a capacidade de carga de cada estaca, para cada estaca perpendicularmente a ela, conforme a Equação (4). De forma análoga ao método de Converse-Labarre a capacidade de carga é dada pelo produto da capacidade de carga de uma estaca isolada pelo número de estacas no grupo e pela eficiência.

$$\eta_{total} = \frac{n_1 \cdot e_1 + n_2 \cdot e_2 + \dots + n_m \cdot e_m}{n_1 \cdot n_2 + \dots + n_m} = \left| \frac{\sum_1^m n_i \cdot e_i}{\sum_1^m n_i} \right| \quad \text{Equação (4)}$$

Em que: e é a eficiência de cada interação e n é a quantidade de estacas.

2.2.3 Método do pilar equivalente

O método proposto por Poulos e Davis (1980) apud Randolph (1994) para estimativa de capacidade de carga de grupo de estacas, consiste na transformação do grupo de estacas em uma estaca equivalente, em que é considerado a região do solo em que as estacas estão inseridas como uma continuação equivalente, com uma área equivalente à área do grupo de estacas (Figura 1).

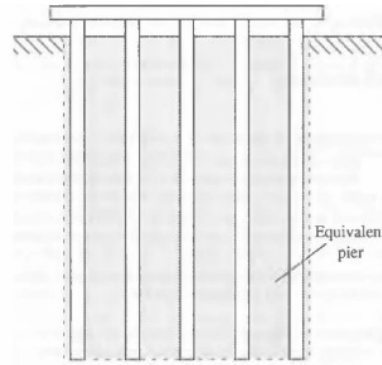


Figura 1. Aproximação de pilar equivalente (Randolph, 1994).

Segundo Randolph (1994) o diâmetro do pilar equivalente é dado pela Equação (5):

$$d_{eq} = \sqrt{\frac{4}{\pi} A_g} \quad \text{Equação (5)}$$

onde: d_{eq} é o diâmetro do pilar equivalente e A_g é a área equivalente do grupo.

A capacidade de carga do grupo, pode ser estimada pela Equação (6), dada por Terzaghi e Peck (1948) apud Poulos e Davis (1980):

$$P_B = B_r \cdot L_r \cdot c \cdot N_c + 2 \cdot (B_r + L_r) \cdot L \cdot \bar{c} \quad \text{Equação (6)}$$

Sendo que: B_r e L_r são as dimensões da seção do bloco ou “pilar equivalente”; c é a coesão na base do bloco; L é a profundidade das estacas; N_c é o fator de capacidade suporte correspondente à profundidade L e \bar{c} é a coesão média ao longo da profundidade L .

Para obter uma estimativa acerca da capacidade de carga final do grupo Equação (7), Whitaker (1957) sugeriu a seguinte relação empírica Poulos e Davis (1980):

$$\frac{1}{P_u^2} = \frac{1}{n^2 \cdot P_1^2} + \frac{1}{P_B} \quad \text{Equação (7)}$$

Em que: P_u é a capacidade de carga final do grupo; P_1 é a capacidade de carga final de uma estaca isolada; n é o número de estacas no grupo;

Para se obter a eficiência do grupo Equação (8) em porcentagem basta reescrever a equação acima:

$$\frac{1}{\eta^2} = 1 + \frac{n^2 \cdot P_1^2}{P_B^2} \quad \text{Equação (8)}$$

Onde η é a eficiência do grupo.

2.3 Recalque

O cálculo dos recalques é um dos requisitos para a realização de um projeto de fundação adequado. Alguns autores (Iwamoto, 2000; Velloso e Lopes, 2010) citam que metodologias para estimar recalques foram feitas através de ensaios em modelo reduzido e realizadas para condições particulares, portanto deve-se tomar bastante cuidado ao se utilizar, pois, em determinadas aplicações, os resultados são bem diferentes. Para estimar o recalque do grupo de estacas em qualquer tipo de solo, pode-se utilizar a Equação (9) de Fleming et al. (1985) apud Velloso e Lopes (2010):

$$\rho_G = \rho_{isolada} \cdot R_s \quad R_s \cong n^w \quad \text{Equação (9)}$$

Onde n é o número de estacas; w o expoente, que varia de 0,4 e 0,6. O valor de 0,5 vem sendo utilizado.

2.4 Radier Estaqueado

O uso da técnica radier estaqueado vem se tornando uma alternativa bastante eficaz para analisar a interação da fundação levando em consideração o contato bloco-solo. Visto que este contato exerce significativas mudanças no comportamento das fundações profundas, onde as tensões normais sobre o solo subjacente à fundação alteram a forma como as tensões cisalhantes se desenvolvem, ou seja, há uma mudança no compartilhamento de carga entre os elementos superficial e profundo, podendo melhorar o desempenho dessa fundação quanto ao recalque e a capacidade de carga, dependendo das condições de instalação, geometria e resistência do solo. Nesse sentido, métodos de previsão de capacidade de carga e recalque em radier estaqueados vem sendo estudado por alguns autores, como Albuquerque e Garcia (2020) e (Lima e Cortopassi (2020). Um desses é o método PDR (Poulos, Davis e Randolph), que com uma metodologia simples de estimativa de compartilhamento de carga entre radier e estacas, considerando o modelo tri linear descreve o comportamento da curva carga - recalque de um radier estaqueado (Figura 2).

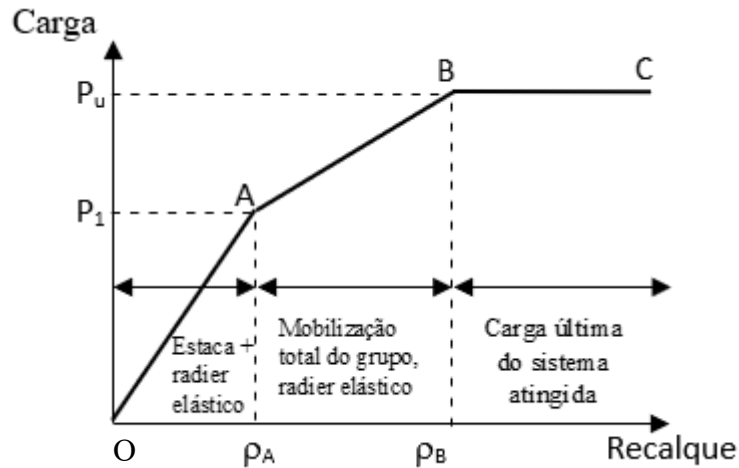


Figura 2. Curva carga vs recalque (adaptado de Poulos, 2016).

Nesse método os estágios de carregamento da fundação estacada são divididos em três trechos, sendo elas:

- Trecho OA, antes da total mobilização das estacas, onde o recalque é estimado pela Equação (10) e só o grupo de estacas trabalha.

$$\rho = \frac{P_1}{K_{pr}} \quad \text{Equação (10)}$$

Em que: ρ o recalque do radier estacado; P_1 a carga total que corresponde a total mobilização do grupo de estacas; K_{pr} a rigidez do radier estacado.

- Trecho AB, em que após a mobilização total do grupo de estacas, assume-se que toda a carga excedente ao valor “ P_1 ” seria absorvida pelo radier e, portanto, o recalque pode ser calculado pela Equação (11):

$$\rho = \frac{P_1}{K_{pr}} + \frac{(P_u - P_1)}{K_r} \quad \text{Equação (11)}$$

Em que: P_u é a carga total atuante no radier estacado; P_1 a carga total que corresponde ao momento de total mobilização do conjunto de estacas.

A carga P_1 pode ser calculada pela Equação (12) abaixo:

$$P_1 = \frac{P_{up}}{1 - X} \quad \text{Equação (12)}$$

Em que: X é a proporção de carga transferida pelo radier; P_{up} a capacidade de carga última do grupo de estacas.

- Trecho BC que corresponderia a ruptura completa do sistema de fundação.

3 CASO DE ESTUDO

O objeto de estudo deste trabalho é uma fundação de nove estacas que foi analisada usando parâmetros reais obtidos a partir da prova de carga e da sondagem de simples reconhecimento do solo com SPT de Garcia (2019), na nova sede do Corpo de Bombeiros em Araguari (Figura 3a). Para a análise dos métodos de previsão de capacidade de carga e recalque em fundação estacada, foi considerado uma estaca isolada de 30 cm de diâmetro e 8 m de comprimento.

Com base nessa prova de carga estática e lenta à compressão axial realizada na estaca isolada, foram estimadas a capacidade de carga e recalque para a fundação por grupo de estacas (Figura 3b) e a fundação por radier estacado (Figura 3c). O cálculo considerou um radier de dimensões 4,5 m × 4,5 m × 0,3 m como elemento superficial e nove estacas de 8 m de comprimento, com diâmetro de 30cm, espaçadas em 1,5 m entre si.

O solo dessa região é homogêneo e composto por um solo de argila porosa vermelha, com N_{SPT} médio de 6, coeficiente de Poisson ($\nu = 0,3$). Na sondagem de simples reconhecimento do solo com SPT a perfuração foi paralisada na profundidade de 15,45m e não foi encontrado lençol freático (NA).

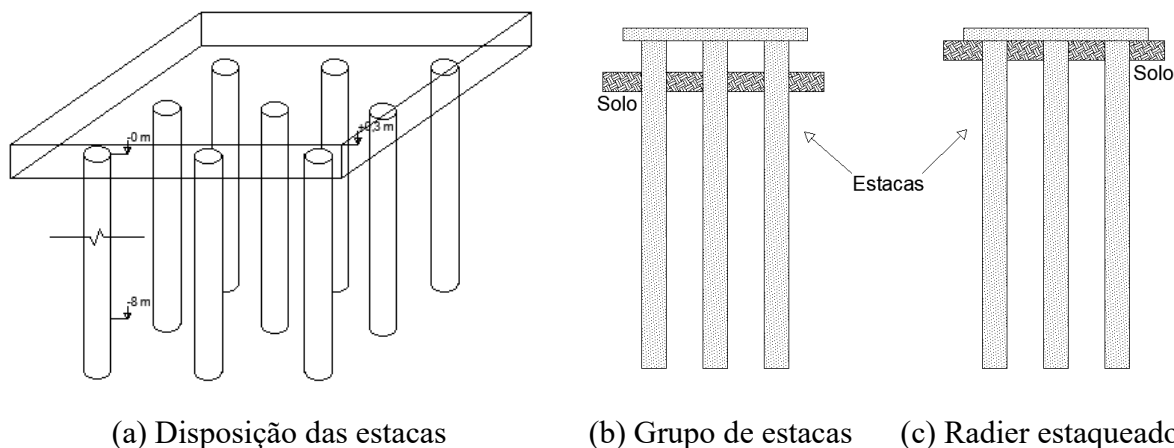


Figura 3. Geometria da fundação estacada (O autor, 2023)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o objetivo de comparar os métodos de previsão de capacidade de carga e recalque em projetos de grupo de estacas e em radier estacado, foram realizadas previsões da capacidade de carga da estaca isolada utilizando os métodos semiempíricos propostos por Aoki e Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978) para validar a precisão dos métodos em relação aos resultados obtidos na prova de carga. A Tabela 1 apresenta os valores obtidos.

Tabela 1. Capacidade de carga admissível de uma estaca isolada

	Prova de Carga	Aoki-Velloso	Décourt-Quaresma
Capacidade de carga da ponta	-	28 kN	34 kN
Capacidade de carga lateral	-	60 kN	141 kN
Capacidade de carga total	200	88 kN	175 kN
Capacidade de carga admissível	100 kN	44 kN	117 kN
Fator de segurança	F.S global = 2	F.S global = 2	F.S lateral = 1,3 F.S ponta = 4

A Figura 4 ilustra comparações entre os valores estimados da capacidade de carga da estaca isolada a partir dos métodos semiempíricos utilizados, com o valor da prova de carga, e demonstra qual a média entre os três valores.

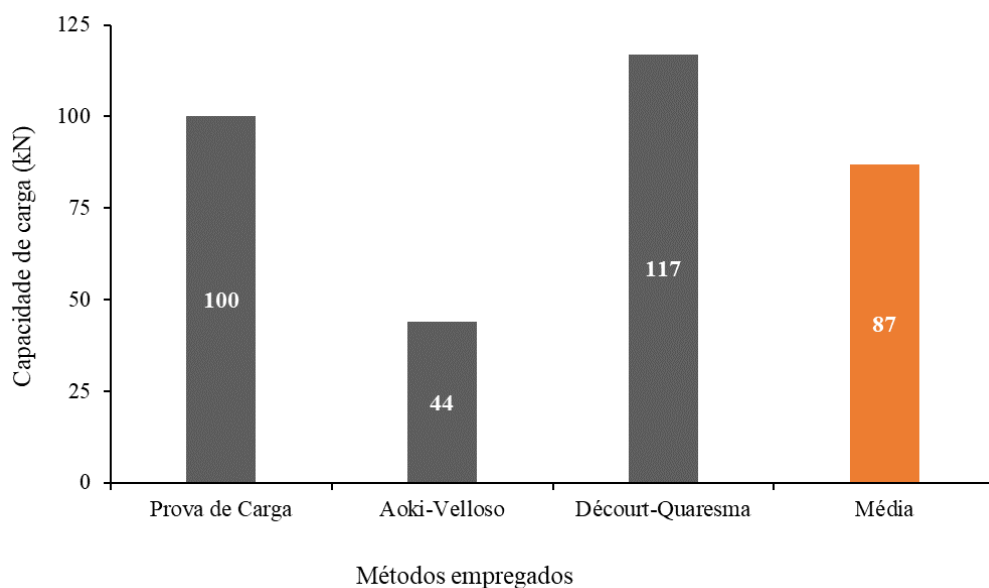


Figura 4. Capacidade de carga admissível da estaca isolada

Pode-se observar que o método de Aoki e Velloso (1975) é o mais conservador, resultando em uma capacidade de carga de apenas 44 kN. Por outro lado, o método de Décourt e Quaresma (1978) apresentou um valor de 117 kN, o qual é até mesmo superior ao valor obtido na prova de carga (100 kN).

Para estimar a capacidade de carga do grupo foram considerados os três valores mencionados anteriormente afim de analisar o comportamento dos métodos. Para essa análise foram utilizados os métodos do Pilar Equivalente (Poulos e Davis), Feld e Converse Labarre.

De acordo com os métodos utilizados e a análise da Figura 5 que compara os valores de capacidade de carga do grupo obtidos por diferentes métodos, é possível determinar quais métodos são mais conservadores e quais são menos conservadores.

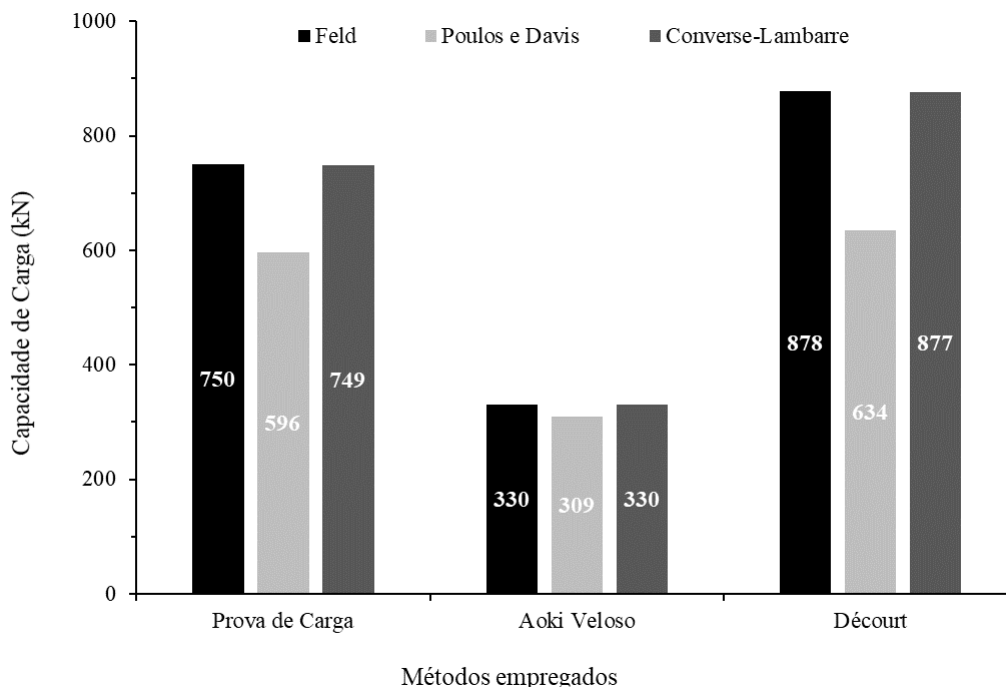


Figura 5. Capacidade de carga admissível do grupo

Ao se considerar o efeito de grupo é comum observar que a capacidade de carga do grupo é menor que a soma das capacidades de carga das estacas isoladas (900kN). Nos resultados obtidos, os três métodos apresentaram bom desempenho. Por exemplo, para a carga admissível obtida via prova de carga o método de Poulos e Davis (1980) resultou em uma capacidade de carga de 596 kN, enquanto o método de Feld obteve uma capacidade de carga de 750 kN e o método Converse Labarre apresentou uma capacidade de carga ligeiramente menor, chegando a 749 kN. Dentre os métodos mencionados o de Poulos e Davis (1980) mostrou-se mais conservador, apresentando valores ligeiramente discrepantes em relação aos outros, enquanto Converse Labarre e Feld obtiveram valores bastante semelhantes, inclusive iguais em alguns casos.

A eficiência do é calculada considerando os métodos de Feld e Converse Labarre para determinar a capacidade de carga do conjunto, enquanto no método de Poulos e Davis (1980) a eficiência do grupo é calculada posteriormente após o cálculo da capacidade de carga do grupo. Os resultados da eficiência do grupo podem ser observados na Figura 6.

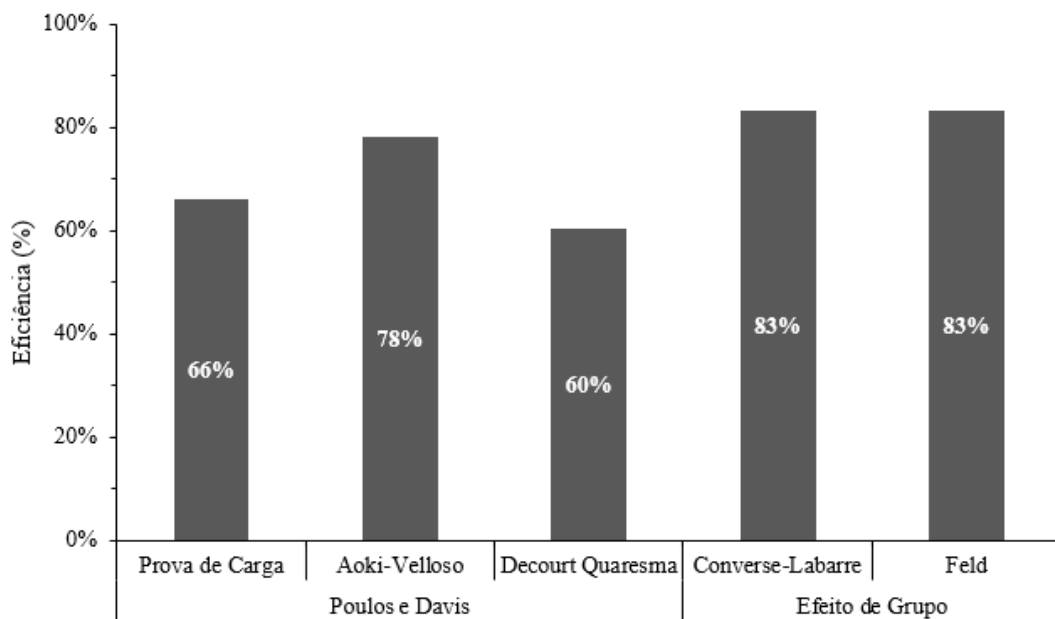


Figura 6. Eficiência do grupo

Os métodos de Feld e Converse Labarre apresentaram a maior eficiência, alcançando 83%. Ambos os métodos mostraram eficiências idênticas, resultando em valores de capacidade de carga do grupo bastante próximos ou até mesmo iguais. Diferentemente do método de Poulos e Davis (1980), esses métodos não dependem do valor de capacidade de carga da estaca isolada, considerando apenas a interação entre as estacas.

No que diz respeito à previsão de recalque, para estaca isolada, além do valor convencional para 10% ϕ da estaca, foram considerados os resultados da prova de carga relacionados à capacidade de carga obtida pelos métodos semiempíricos. E para o grupo de estacas foi calculado o recalque do grupo a partir da metodologia de Fleming et al. (1985). A Figura 7 mostra as estimativas de recalque para a estaca isolada e para o grupo de nove estacas.

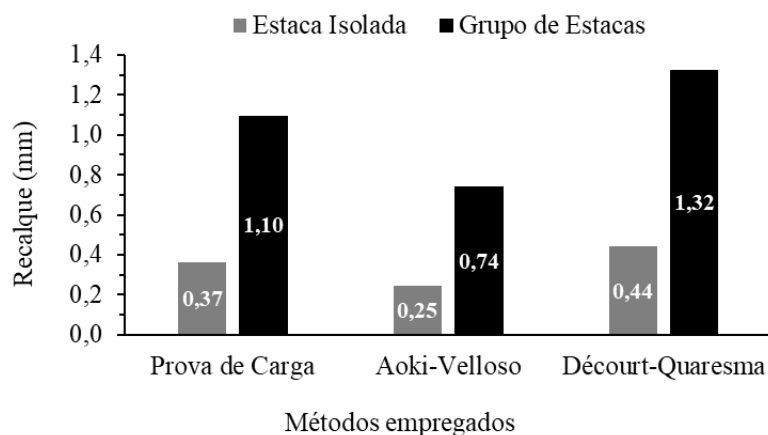


Figura 7. Recalque para estaca isolada e grupo por diferentes métodos

O resultado para a estaca isolada é satisfatório, pois indica que o recalque para a estaca individual é mínimo, mesmo quando são consideradas as cargas admissíveis determinadas pelos métodos semiempíricos. Os valores baixos de deslocamentos se justificam pelo fato de serem resultados reais, retirados diretamente da prova de carga para as cargas admissíveis, seja a convencional ou a encontrada pelos métodos semiempíricos. Em seguida, foi calculado o recalque para grupo de estacas utilizando o método de Fleming et al. (1985). Os valores obtidos para o recalque variam de 0,74 mm até 1,32 mm, indicando que o recalque para o grupo de estacas é baixo.

Durante as análises foi observado que ao trabalhar com valores de recalque da estaca isolada próximos aos recalques referentes a carga última, os deslocamentos verticais provocados pelo grupo apresentariam valores maiores que os encontrados na análise. Contudo, foi considerado os valores calculados considerando os fatores de segurança, pois na prática são esses os resultados usados para fins de cálculos em projetos. Por outro lado, o método PDR usado para prever a curva vs recalque de um radier estaqueado, demonstrou um bom ajuste e apresentou valores plausíveis de carga e recalque, conforme ilustrado na Figura 8.

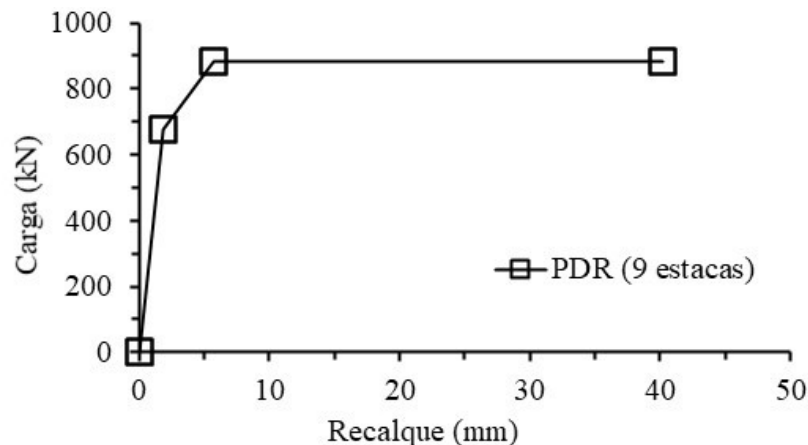


Figura 8. Curva carga vs recalque pelo Método PDR

O método resultou em uma capacidade de carga de 908 kN, um valor em média 23% maior que o da capacidade de carga do grupo estaqueado, independente da metodologia aplicada. E forneceu a distribuição vertical entre as estacas e o radier, com as estacas responsáveis por absorver 77% das tensões e o radier por 23%.

5 CONCLUSÃO

Com base nas análises realizadas, foram apresentados resultados das previsões de capacidade de carga e de recalque de uma fundação por nove estacas. Para a previsão da capacidade de carga de estacas isoladas foram utilizados métodos de Aoki e Velloso (1975) e Décourt e Quaresma (1978), com valores de 44 kN e 117 kN, respectivamente. Além disso, foi considerada a carga admissível encontrada na prova de carga (100 kN), por representar o valor real e estar próximo da média.

Na previsão da capacidade de carga em grupos utilizando da carga admissível obtida pela prova de carga, o método de Poulos e Davis (1980) chegou a um valor de 596 kN, valor esse mais baixo quando comparados aos valores obtidos pelos métodos de Feld (750 kN) e Converse Labare (749 kN), que consideram a eficiência do grupo.

O método de Poulos e Davis (1980) apresentou uma eficiência média de 68% enquanto os métodos de Feld e Converse Labarre apresentaram valores mais elevados, em torno de 83%.

Em relação ao recalque, a prova de carga da estaca isolada permitiu obter valores de 0,37 mm, 0,25mm e 0,44 mm para as cargas admissível de 100 kN, 44 kN e 117 kN respectivamente. Para a previsão de recalque do grupo foi aplicado o método Fleming et al. (1985) com o valor de recalque da estaca isolada obtido na prova de carga. Com base no recalque obtido pela prova de carga o deslocamento da estaca isolada foi de 0,37 mm, enquanto para o grupo estaqueado com nove estacas o recalque foi de 1,10mm, valor esse que tende a crescer de forma exponencial com o aumento do recalque da estaca isolada.

O método PDR, quando comparado aos métodos tradicionais para grupos de estacas, mostrou-se 24% mais eficiente e evidenciou os benefícios de considerar o contato bloco-solo no dimensionamento. Isso aumenta a capacidade de carga final, permitindo que o radier compartilhe a transferência de carga com as estacas para o solo, resultando em uma menor carga sobre as estacas. Isso implica em menor quantidade de estacas, diâmetros e comprimentos menores, conseqüentemente redução de concreto, mão de obra e aço, o que resulta em menos problemas relacionados a todo esse processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122 - Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ALBUQUERQUE, P. J. R.; GARCIA, J. R. **Engenharia de Fundações**. 1. ed. Rio De Janeiro: 2020.

AOKI, N.; VELLOSO, D. D. A. **An approximate method to estimate the bearing capacity of piles**. V Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Buenos Aires, Argentina, 1975.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. **Fundações por estacas: projeto geotécnico**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, p. 1-61, 2010.

DÉCOURT, L.; QUARESMA, A. R. Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT. **VI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações**, p. 45-53, 1978.

GARCIA, J. R.; DE ALBUQUERQUE, P. J. R. **Analysis of the contribution of the blocksoil contact in piled foundations**. Latin American Journal of Solids and Structures, v. 16, n. 6, p. 1–22, 2019.

GARCIA, J. R. **Relatório de ensaio**. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, MG, p. 1-19, 2019. PROCESSO SEI: 23117.011407/2019-79.

IWAMOTO, R. K. **Alguns aspectos dos efeitos da interação solo-estrutura em edifícios de múltiplos andares com fundação profunda**. Dissertação de mestrado da EESC da USP, São Carlos, SP, 2000.

POULOS, H. G. (2016). **Tall building foundations: design methods and applications**. Innovative Infrastructure Solutions, 1(1), 10. <https://doi.org/10.1007/s41062-016-0010-2>

POULOS, H. G., & DAVIS, E. H. (1980). **Pile Foundation Analysis and Design**. Rainbom-Bridge Book Co. <https://books.google.com.br/books?id=bqVIPgAACAAJ>

RANDOLPH, M. F. (1994). Design Methods for pile groups and pile rafts. **XIII International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering**, 61–82.

TERZAGHI, K.; PECK, R. B. **Soil Mechanics in Engineering Practice**. John Wiley and Sons, New York, 1948.

VELLOSO, D. D. A.; LOPES, F. D. R. **Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 1-568, 2010.

WHITAKER, T. **Experiments with Model Piles in Groups**. Geot, v. 7, p. 147-167, 1957. (LIMA; CORTOPASSI, 2020)