

Interpretação de Provas de Carga em Estacas Rígidas com Presença de Cargas Residuais

Bryan do Nascimento Martins

Aluno de Pós-Graduação PGCIV, UERJ, Rio de Janeiro, Brasil, bryanengcivil@gmail.com

Bernadete Ragoni Danziger

Professora Titular PGCIV/ UERJ, Rio de Janeiro, Brasil, bernadeterd@hotmail.com

Bruno Teixeira Lima

Professor Adjunto PGCIV/ UERJ, Rio de Janeiro, Brasil, brunolima.professor@gmail.com

RESUMO: As cargas residuais surgem ao longo das estacas cravadas à percussão ou prensadas, assim como em qualquer tipo de estaca submetida a carregamento prévio, como após provas de carga convencional ou ensaios de carregamento dinâmico. Embora não afetem a capacidade de carga das estacas (estado limite último), as cargas residuais alteram a transferência de carga e, portanto, o recalque para o estado limite de serviço. Desconsiderar essas cargas resulta em uma previsão de recalque maior do quando são consideradas. No caso de fundações mistas elas afetam a partição das cargas entre os diferentes elementos de fundação. Este artigo aborda dois métodos, Decourt (1991) e Massad et al. (1998), que permitem separar as parcelas da carga transferida por atrito lateral, ponta e a residual aprisionada na ponta, a partir da curva carga recalque no topo da estaca obtida em provas de carga. Os casos estudados por Decourt (1991) foram reinterpretados através do modelo matemático de Massad et al. (1998) com o objetivo de comparar ambos os métodos. Vale destacar que estas estacas apresentaram comportamento rígido. Por fim, conclui-se que a interpretação dos ensaios pelo modelo de Massad apresenta muita concordância com resultados anteriores de Decourt.

PALAVRAS-CHAVE: Carga residual, prova de carga, transferência de carga, estacas

ABSTRACT: Residual loads arise along driven or jacked piles, as well as any type of pile subjected to prior loading, such as after static or dynamic loading tests. Although residual loads do not affect the pile's load-bearing capacity (ultimate limit state), they alter load transfer and hence settlement for the serviceability limit state. Neglecting these loads results in a higher settlement prediction than observed in practice. It is noteworthy that in the case of piled raft they affect the distribution of loads among different foundation elements. This article discusses two methods, Decourt (1991) and Massad et al. (1998), which allow the separation of the portions of load transferred by side friction, tip resistance, and residual load, based on the load-settlement curve at the pile head obtained from load tests. The cases studied by Decourt (1991) were reinterpreted using the mathematical model of Massad et al. (1998) in order to compare both methods. It is worth noting that these piles exhibited rigid behavior. In conclusion, interpretation by Massad model shows significant agreement with Decourt's previous results.

KEYWORDS: Residual load, load test, load transfer, piles

1 INTRODUÇÃO

As cargas residuais ocorrem em estacas cravadas à percussão ou por prensagem e em estacas escavadas após prova de carga estática ou ensaio de carregamento dinâmico. Essas cargas não afetam a carga de ruptura, (ELU), mas sim a transferência de carga e, portanto, o estado limite de serviço, (ELS). Quando a estaca é descarregada após sofrer uma carga de compressão, o fuste tende a retornar ao seu comprimento original. O solo, ao restringir o descarregamento da estaca, mobiliza uma reação contrária ao sentido do movimento, gerando uma resistência por atrito negativo, que é equilibrada pelo atrito positivo abaixo do plano neutro e pela carga residual retida na ponta da estaca. Neste caso, a estaca encontra-se pré-comprimida, Figura 1(a).

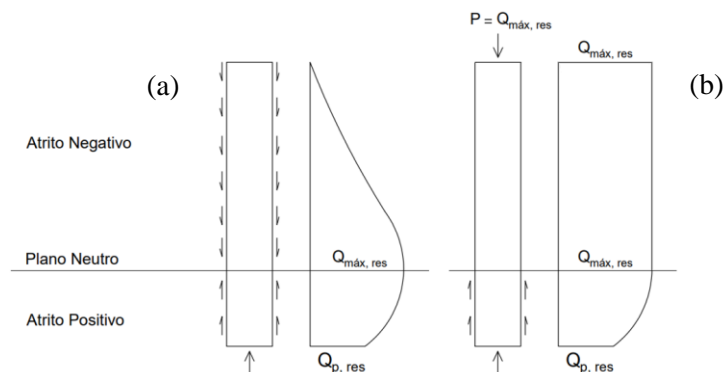


Figura 1. Estaca com presença de carga residual aprisionada em seu fuste e na ponta (DANZIGER, 2023)

Cabe destacar que o ponto neutro corresponde à profundidade em que a tensão cisalhante é nula. Acima do ponto neutro ocorre a tensão cisalhante negativa e abaixo o valor da tensão cisalhante é positiva. Embora o deslocamento relativo entre a estaca e o solo seja similar, no caso do atrito negativo o movimento do solo é descendente, enquanto no fenômeno da geração da carga residual a estaca se movimenta para cima, num movimento ascendente.

Até que a carga externa transferida pela estrutura ao topo da estaca se iguale à carga residual máxima, o atrito negativo é revertido sem que o solo abaixo do plano neutro seja carregado de forma significativa, Figura 1(b). Para este nível de carregamento no topo, o deslocamento provocado pela carga normal adicional até o plano neutro provocará, em termos gerais, apenas uma parcela de recalque elástico do material da estaca. Para cargas maiores, o atrito positivo disponível será mobilizado até o plano neutro bem como aquele atrito positivo ainda não mobilizado no trecho abaixo do plano neutro. Os recalques serão praticamente elásticos e de pequeno valor, até que a carga atuante no topo supere a residual na ponta somada ao atrito lateral total.

Para melhor ilustrar o que ocorre numa prova de carga instrumentada, Danziger (2023) destaca na Figura 2(a) a transferência de carga verdadeira na ruptura obtida quando a instrumentação é procedida com a zeragem dos instrumentos anteriormente à instalação da estaca. Neste caso, os instrumentos registram as cargas residuais geradas durante a cravação, ou num carregamento prévio, além do registro da transferência verdadeira. Na Figura 2(b), que representa os registros obtidos de instrumentos zerados antes do ensaio, a transferência de carga medida é falsa, não registrando as cargas residuais anteriores ao ensaio. A transferência falsa somada às cargas residuais é igual à transferência verdadeira.

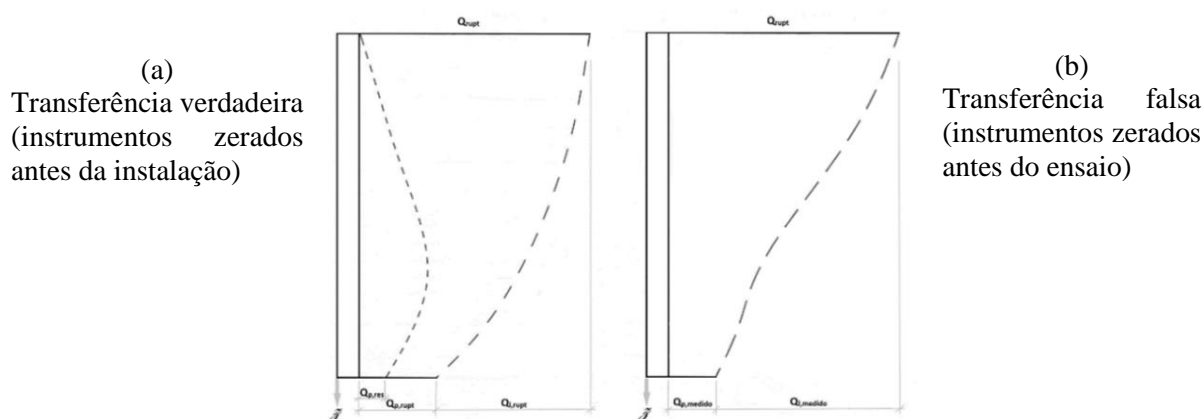


Figura 2. Transferência de carga em estacas com carga residual aprisionada (DANZIGER, 2023)

O modelo de Massad é bastante interessante, pois o autor desenvolveu uma abordagem ampla, aplicável a estacas cravadas, prensadas ou escavadas, seja em solo relativamente homogêneo ou em solos não homogêneos, com a profundidade final em uma camada de solo mais resistente. Esta metodologia é válida tanto para estacas de comportamento compressível quanto rígido. Entretanto, neste artigo, será discutida exclusivamente a simplificação do método destinado ao uso em estacas rígidas, uma vez que todas as estacas analisadas a partir do banco de dados de Decourt (1991) demonstraram essa característica.

2 MASSAD ET AL. (1998)

Massad (1992) apresentou um modelo matemático baseado nas leis de Cambefort para interpretação de prova de carga estática, incorporando as cargas residuais, quando ocorrem. O modelo foi desenvolvido para solos relativamente homogêneos e posteriormente estendido para estacas embutidas em camada mais resistente. Massad (1992) definiu o coeficiente μ para quantificar a ação da carga residual. Onde:

$$\mu = 1 + \frac{P_h}{A_{lr}} = 1 + \frac{f_{res}}{f_{max}} \quad (1)$$

A primeira Lei de Cambefort está relacionada à transferência de carga por atrito lateral unitário, considerado uniforme para toda a camada de solo homogêneo. O valor f_{max} corresponde ao máximo atrito disponível que é mobilizado para um deslocamento y_1 , enquanto f_{res} é o atrito lateral unitário negativo. Enquanto a segunda Lei de Cambefort está relacionada à transferência de carga pela ponta.

Caso não se tenha cargas residuais aprisionadas na estaca, $P_h = 0$, como num primeiro carregamento de estacas escavadas. Para estacas cravadas de ponta, a carga residual (P_h) será, no máximo, igual à carga disponível à ruptura por atrito lateral (A_{lr}), $P_h = A_{lr}$, e μ será, no máximo, igual a 2. Caso o atrito lateral seja a parcela mais relevante, μ será um valor compreendido entre 1 e 2. Massad (1992) comenta ainda que para o segundo carregamento em estacas escavadas, não se deve descartar a possibilidade de μ maior que 2.

Massad (1992) introduz o coeficiente adimensional, rigidez relativa solo x estaca (k), utilizado nas equações de seu modelo, que controla o comportamento de estacas em compressão axial, indicando se elas apresentarão comportamento compressível ou rígido. O valor de k está relacionado ao deslocamento necessário para mobilizar o atrito lateral total (y_1):

$$k = \frac{A_{lr}}{K_r y_1} \quad (2)$$

O valor da rigidez estrutural da estaca é designado por K_r :

$$K_r = \frac{ES}{h} \quad (3)$$

Onde E é o módulo de elasticidade do material da estaca, S a área de sua seção transversal, suposta constante, e h a profundidade do embutimento. O valor de K_r , no SI é dado em kN/m.

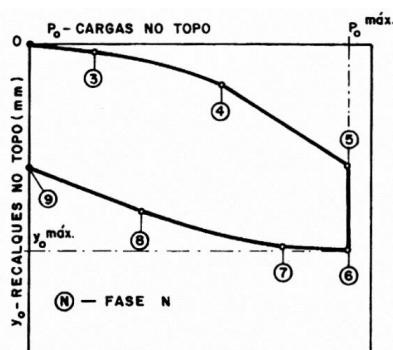


Figura 3. Curva carga recalque teórica modelada por Massad (1992)

Massad (1992), mostra através de seu modelo, que a curva carga x recalque apresenta 3 trechos, no carregamento, e 3 no descarregamento, delimitados pelos pontos da Figura 3. Admite-se que o carregamento ultrapasse o ponto 4, ou seja, todo o atrito lateral disponível foi mobilizado no carregamento. Além disso, pode existir um trecho inicial adicional no carregamento (0-2) devido à parcela de adesão. Neste exemplo, foi considerado que não há efeito de adesão na estaca.

Destaca-se que a Figura 3 completa, com todos os trechos, é válida quando a estaca é compressível ($k \geq 8$), isto é, ela precisa se deformar muito para que o atrito lateral se esgote em toda a sua profundidade. Neste caso, o trecho curvo (3-4) pode ser aproximado por uma parábola (Massad, 1992).

Cada seguimento da figura 3 determina uma etapa do ciclo de carregamento da estaca. O trecho 0-3: fase pseudo-elástica de mobilização do atrito lateral (linear); 3-4: Avanço da mobilização do atrito ao longo do fuste do topo (3) à ponta (4), para estacas flexíveis (parabólico). Não existe este trecho da curva na estaca curta, como se observa na Figura 4; 4-5: fase pseudo-elástica de mobilização da resistência de ponta; 5-6: ruptura da ponta (linear); 6-7: Pseudo-elástico, representa a volta na lei de Cambefort (redução do atrito lateral positivo) (linear); 7-8: Plena mobilização do atrito no sentido reverso (parabólico); e, por último, o trecho 8-9: associado ao rebound pleno (linear).

Por outro lado, quando a estaca é dita curta ou rígida ($k \leq 2$), o atrito lateral se esgota subitamente do topo à base da estaca. Assim, o ponto 4 se aproxima do ponto 3 de modo que o trecho curvo praticamente não se desenvolve, ou é inexistente. Portanto para estacas rígidas, o formato do gráfico carga-recalque se assemelha a duas retas, uma para o trecho 0-3 e outra para o trecho 4-5, Figura 4. Destaca-se que para o caso de valores de rigidez (k) intermediários, deve-se ter cautela ao aplicar as relações (Massad et al., 1998).

Em virtude do exposto, Massad et al. (1998) propuseram um método gráfico de simples aplicação para estacas de comportamento rígido. A Figura 4 mostra a construção gráfica para determinação da parcela de atrito com influência da carga residual no carregamento (μA_{lr}) e atrito lateral na ruptura (A_{lr}).

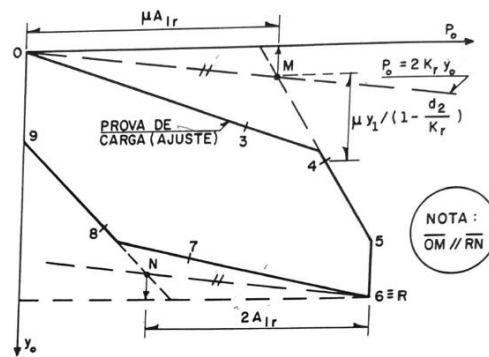


Figura 4. Construção gráfica do método das duas retas (MASSAD et al., 1998)

Seja a equação da reta do trecho (4-5):

$$P_0 = d_1 + d_2 y_0 \quad (4)$$

μA_{lr} pode ser obtido por meio da expressão:

$$\mu A_{lr} = \frac{d_1}{1 - \frac{d_2}{2K_r}} \quad (5)$$

Do mesmo modo, se a reta do trecho (0-3) for escrita pela seguinte equação:

$$P_0 = b_2 \cdot y_0 \quad (7)$$

μy_1 e k podem ser calculados pelas seguintes equações, onde primeiro deve ser obtido o valor de z iterativamente pela equação (10):

$$\mu y_1 = \frac{\mu A_{lr}}{z^2 \cdot K_r} \quad (8)$$

$$k = z^2 \quad (9)$$

$$\frac{b_2}{z \cdot K_r} = \frac{\frac{1}{K_r} \left(\frac{1}{\frac{1}{d_2} - \frac{1}{K_r}} \right)}{z} \quad (10)$$

$$1 + \frac{\frac{1}{K_r} \left(\frac{1}{\frac{1}{d_2} - \frac{1}{K_r}} \right)}{z} \cdot \tanh(z)$$

Embora Massad et al. (1998) tenham desenvolvido um ábaco para facilitar a determinação do valor de z , neste artigo ele foi calculado iterativamente através de uma planilha desenvolvida pelo primeiro autor no programa *Microsoft Excel*. Em seguida foi possível determinar os parâmetros restantes pelas equações apresentadas. Assim, resta apenas o valor de μ para ser estimado.

A curva do descarregamento ocorre de forma similar à do carregamento, seguindo um caminho inverso das relações de Cambeftort. Massad (1992) mostrou que as expressões continuam válidas, substituindo P_0 por ΔP_0 , y_0 por Δy_0 , y_1 por y_{1R} e μ por $\mu_{reb}=2$. Massad destaca que se o ponto 4 do carregamento for ultrapassado, o valor de μ_{reb} no descarregamento será igual a 2. Isso acontece porque, uma vez que o carregamento atinge o ponto 4, o atrito lateral se desenvolve em toda a profundidade da estaca, alcançando o valor f_{max} (atrito lateral unitário na ruptura) de forma positiva, ou seja, de baixo para cima. Conforme a estaca é descarregada, há uma reversão gradativa do sentido do atrito lateral.

Seja a equação da reta do trecho (8-9), onde j_1 e j_2 podem ser determinados pelo gráfico da Figura 4:

$$\Delta P_0 = j_1 + j_2 \cdot \Delta y_0 \quad (11)$$

Em seguida, deseja-se encontrar a posição do ponto N do gráfico da Figura 4, para posteriormente calcular o valor da parcela de atrito (A_{lr}). As coordenadas do ponto N e a sua relação com o valor de A_{lr} são:

$$y_{0N} = \frac{P_{0max} - 2k_r \cdot y_{0max} - j_1}{j_2 - 2k_r} \quad (12)$$

$$P_{0N} = j_2 \cdot y_{0N} + j_1 \quad (13)$$

$$\mu_{reb} \cdot A_{lr} = 2A_{lr} = P_{0max} - P_{0N} \quad (14)$$

A partir da equação acima é possível calcular o valor de A_{lr} . Uma vez que a parcela de atrito falsa, μA_{lr} , já havia sido calculada anteriormente, pode-se determinar μ e a carga residual (P_h).

3 DECOURT (1991)

Decourt (1991) observou a partir de ensaios sucessivos em várias provas de carga certa similaridade de comportamento, que ele atribuiu às cargas residuais. Estas observações o levaram a propor o método gráfico do *rebound*, capaz de separar as parcelas de atrito e ponta na ruptura, além de prever também uma estimativa da parcela da carga residual.

Ele partiu da simplificação de que as cargas disponíveis de atrito seriam iguais no carregamento à tração e à compressão. Em relação à carga de ruptura verdadeira, Figura 2, Decourt escreveu que a parcela de atrito verdadeira na ruptura seria igual a falsa subtraída da carga residual na ponta. Além disso, a carga residual seria menor ou igual a parcela de atrito lateral verdadeira na ruptura. Por último, Decourt determinou que a parcela de ponta verdadeira seria dada pela soma da carga de ponta falsa e a residual.

Decourt (1991) verificou então que o segundo carregamento de um ensaio deveria ser levado a uma carga superior ao dobro da parcela de atrito lateral falsa na ruptura. Assim, com a finalidade de obter a curva verdadeira por atrito, propôs 3 alternativas para calcular a parcela de atrito lateral verdadeira, $Q_{l, rupt}$ (V): a carga correspondente a um recalque de 10mm, Q_{10mm} ; ou a um recalque de 15mm, Q_{15mm} ; ou a última alternativa seria a carga correspondente à metade do rebound obtido no descarregamento, $Q_{rebound}/2$.

A carga correspondente ao rebound foi proposta de acordo com o método gráfico abaixo, sendo obtida no segundo carregamento do ensaio. Portanto, a carga correspondente ao rebound está relacionada ao trecho de comportamento elástico do segundo carregamento, $Q_{reb} \sim \delta_{re}$ 2^o car, que corresponderia à carga medida falsa, pois inclui o atrito positivo e o negativo residual. Isso ocorre no trecho elástico do segundo carregamento (pequenos deslocamentos, mobilização do atrito positivo).

Se a este deslocamento elástico corresponde à curva falsa, e supondo a parcela de ponta da estaca preponderante, pode-se afirmar que a parcela de atrito verdadeira na ruptura será maior ou igual a metade do rebound obtido no descarregamento, $Q_{rebound}/2$. Para Decourt (1991) uma estimativa da carga residual seria a metade do valor da carga relativa ao rebound ($Q_{rebound}/2$), já que a carga residual seria no máximo igual à parcela de atrito verdadeira. A Figura 5 ilustra o método.

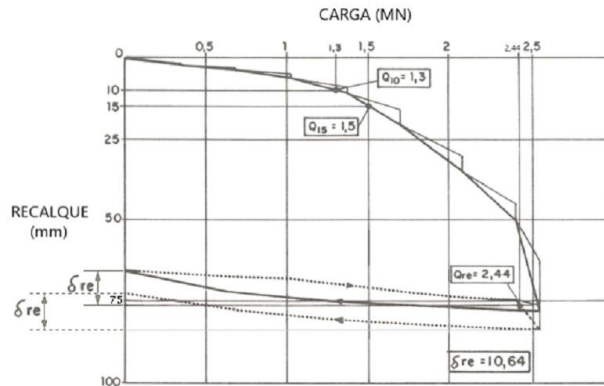


Figura 5. Método gráfico de Decourt (1991)

Os valores de Q_{10} , Q_{15} , $Q_{re}/2$, são formas alternativas de Decourt para o atrito lateral verdadeiro. Destaca-se que o Q_{re} de Decourt nada mais é do que o atrito com influência da carga residual, μA_{lr} de Massad. Sendo assim, $Q_{re}/2$ de Decourt é o mesmo que A_{lr} de Massad, para os casos em que $\mu = 2$. Dessa forma, Decourt considera que metade do valor que compõe Q_{re} é devido à parcela de carga residual (P_h de Massad) e a outra metade é o atrito lateral na ruptura verdadeiro (A_{lr}).

4 ANÁLISE DO BANCO DE DADOS

Serão reinterpretadas quatro estacas estudadas por Decourt (1991), apresentadas na Figura 6, através do modelo matemático de Massad com o objetivo de comparar os métodos. Uma vez que todos os casos indicaram comportamento rígido, os ensaios foram analisados por meio do método das duas retas de Massad et al. (1998), que foi aplicado ao segundo ciclo de carga dos ensaios, Figura 7, pois é o trecho onde Decourt estima a parcela de carga residual. A Tabela 1 mostra as características das estacas estudadas.

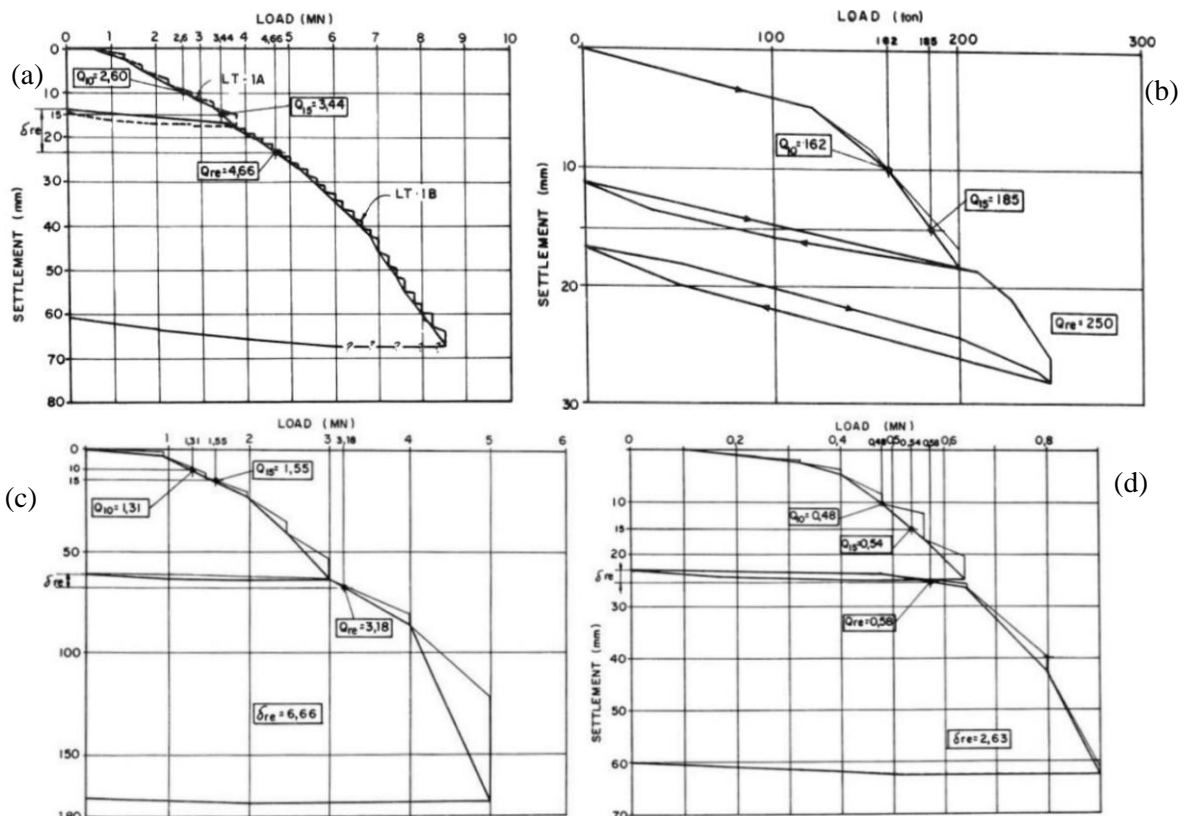


Figura 6. Método de Decourt (1991) para os ensaios das estacas Site 1(a), TE-3(b), BAR-1(c) e STR-1(d)

Tabela 1. Características das estacas

Estaca	Tipo	S (cm ²)	h (m)	E (GPa)	K _r (kN/mm)	Fonte
Site 1	Escavada de grande diâmetro	6362	11,84	26	1397	(DECOURT, 1989)
TE-3	Pré-moldada de Concreto protendido	961	21,00	35	160	(MARTIN, 1987)
BAR-1	Diafragma de Concreto	6600	7,50	24	2112	(ABEF,1989)
STR-1	Strauss	804	7,50	24	257	(ABEF,1989)

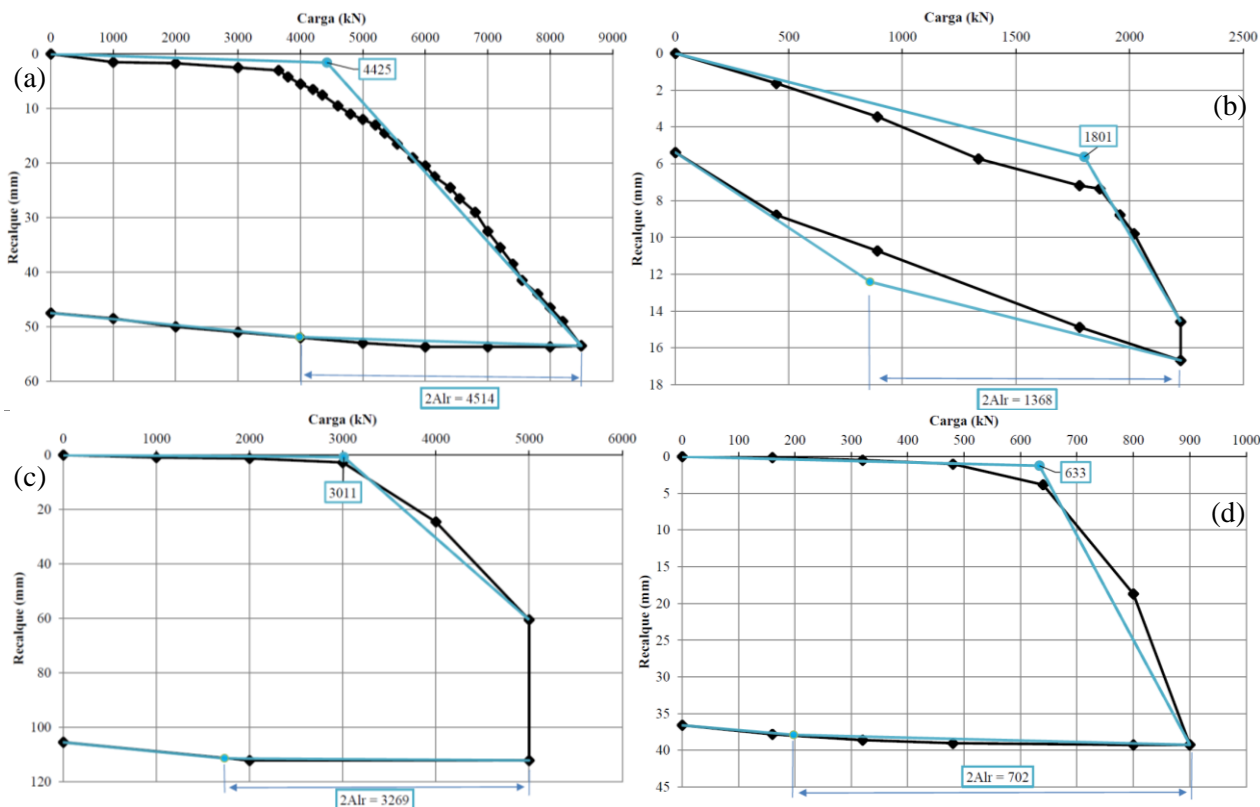


Figura 7. Método das duas retas para ao 2º ciclo de ensaio da estaca Site1(a), TE-3(b), BAR-1(c) e STR-1(d)

A Figura 7, ilustra o método de Massad et al. (1998) aplicado ao segundo ciclo de carga, transladado para a origem do gráfico para facilitar a sua aplicação. As tabelas 2 e 3 apresentam um resumo dos resultados das análises das provas de carga obtidos por ambos os métodos. Observa-se que todas as estacas analisadas apresentaram provas de carga com formatos que indicavam comportamento rígido, duas retas com pouco ou nenhum desenvolvimento do trecho curvo, sendo confirmado pelos valores de k inferiores a 2. No caso de TE-3, apesar de ter um valor de k intermediário, seu gráfico foi mais coerente com o comportamento rígido.

Tabela 2. Resultados obtidos através do método das duas retas de Massad et al. (1998)

Estaca	Carregamento				Descarregamento			P _h (kN)
	k	μA _{lr} (kN)	μy _l (mm)	μ	μ _{reb}	μ _{reb} ·A _{lr} (kN)	A _{lr} (kN)	
Site 1	1,02	4425	3,12	1,96	2	4514	2257	2167
TE-3	2,66	1801	4,22	2,63	2	1368	684	1115
BAR-1	0,68	3011	2,1	1,84	2	3269	1634	1373
STR-1	1,32	634	1,87	1,8	2	702	351	281

Tabela 3. Resultados pelo método de Decourt (1991)

Estaca	Q ₁₀ (kN)	Q ₁₅ (kN)	Q _{DQ} (kN)	Q _{re/2} (kN)	Q _{instrumentada} (kN)
Site 1	2600	3440	2280	2330	-
TE-3	1442	1647	-	>1113	1406 - 1646
BAR-1	1310	1550	1990	1590	1590
STR-1	480	540	540	>290	-

Ao comparar a carga residual de Massad (P_h) com a de Decourt (Q_{re}), pode-se concluir que os dois métodos resultaram em valores muito próximos, apresentando diferença de 0, 3, 5 e 15% entre si. Houve apenas um caso em que um dos valores alternativos de Decourt, o Q_{10} , se apresentou mais acurado em relação a estimativa de Massad, na estaca BAR-1. Embora o método de Decourt seja gráfico e, portanto, rápido, ele oferece resultados bastante semelhantes aos do método de Massad, que é mais refinado e elegante do ponto de vista conceitual. No entanto, estes são casos específicos de estacas rígidas e não se pode generalizar.

O valor de μ ficou dentro do intervalo esperado, exceto pela estaca TE-3 que excedeu o limite em 32%. Por outro lado, deve-se destacar que a obtenção dos dados da prova de carga foi realizada através da figura do artigo publicado. Portanto, a falta de acesso ao relatório completo compromete a acurácia dos dados. Além disso, a velocidade de execução do descarregamento pode influenciar o formato da curva, tornando-se aparentemente mais rígida em velocidades mais elevadas, o que pode gerar valores distorcidos de atrito verdadeiro (A_{lr}) obtidos através do descarregamento, e, conseqüentemente, μ fora do esperado.

Em relação às duas provas de carga instrumentadas, não há informações detalhadas sobre a sua execução. Portanto, não é possível ter certeza se foi medida a transferência de carga verdadeira (instrumentos zerados antes da instalação da estaca) ou a falsa (instrumentos zerados antes do ensaio). O método de Massad indica que a estaca TE-3 registrou a carga falsa (μA_{lr} , atrito lateral com influência da carga residual), enquanto a BAR-1 a verdadeira (A_{lr} , atrito lateral na ruptura).

5 CONCLUSÃO

O modelo de Massad permite uma interpretação consistente com os mecanismos de transferência de carga da estaca para o solo, sendo capaz de separar as parcelas de carga transferida por atrito lateral, ponta e a residual presa na ponta. A partir da curva carga e recalque no topo, o modelo permite a obtenção de uma informação muito rica ao projetista em termos de carga e recalque em diversos níveis da estaca.

O modelo de Massad é um modelo mais refinado e para sua aplicação é necessário apenas um ensaio com carregamento e descarregamento, podendo ser aplicado tanto a estacas rígidas como estacas flexíveis.

O método de Decourt é um método gráfico (simples e rápida aplicação), porém precisa de prova de carga com dois ou mais carregamentos consecutivos, o que dificilmente é realizado na prática. Além disso, em sua concepção, ele parece ter sido concebido apenas para estacas curtas, para os casos específicos em que μ é igual a 2. Estes são casos específicos de estaca rígida, não podendo ser estendido às demais situações.

Decourt (1991) analisou apenas casos de estacas curtas com parcela preponderante de resistência ponta, onde a carga residual máxima ocorre na ponta, ou seja, o atrito é revertido em todo o trecho do fuste. No caso de estacas longas, com atrito lateral preponderante, a carga residual máxima ocorre ao longo do fuste, e não na ponta. Portanto, há que se ter cautela no emprego do método de Decourt para estacas longas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEF (1989) Research on Foundation Engineering, São Paulo.
- Danziger, B. R. (2023) *The 2022 Pacheco Silva lecture: the influence of residual loads on pile foundation behavior*. Soils & Rocks, 46 (2).
- Decourt, L. (1991) *Thoughts concerning the interpretation of successive load tests on the same pile*. In Proceedings of the 9th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 2, pp. 585–597.
- Decourt, L. (1989) *Instrumented bored piles in residual soils*. Volume of supplementary contributions by the Brazilian Society for Soil Mechanics ICMFE, 45-48, Rio de Janeiro.
- Martin, R.E. et al (1987). *Concrete pile design in tidewater Virginia*. ASCE. JGE, Vol. 113, N° 6, 568-585.
- MASSAD F. (1992). *Sobre a Interpretação de Provas de Carga em Estacas, Considerando as Cargas Residuais de Ponta e a Reversão do Atrito Lateral*. Parte I. Revista Solos e Rochas, 15(2):103-115, S. P.
- Massad F.; Lazo, G. (1998) *Método Gráfico para Interpretar a Curva Carga-Recalque de Provas de Carga Verticais em Estacas Rígidas ou Curtas*. XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, vol III:1407-1414, Brasília, Brasil.