

Efeito da Composição Granulométrica do Preenchimento Interno na Capacidade de Carga ao Arrancamento de Estacas Tubulares Vazadas.

Jaldah Manhães Corrêa

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Brasil,
jaldah@bol.com.br

Rodrigo Martins Reis

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Brasil,
reis@uenf.br

Fernando Saboya Albuquerque Jr.

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Brasil,
saboya@uenf.br

Sérgio Tibana

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Brasil,
tibana@uenf.br

André Luís Flor Manhães

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Brasil,
amanhaes@uenf.br

RESUMO: Estacas tubulares vazadas tem-se tornado cada vez mais populares como alternativas para as fundações. Principalmente as fundações submetidas à tração, como as de estruturas portuárias, *offshore*, torres de transmissão de energia elétrica, etc. As estacas utilizadas em estruturas portuárias e *offshore*, por exemplo, estão sujeitas às forças de arrancamento significativas devido à ação das ondas. Tal uso mostra a importância de estudos científicos para avaliar o comportamento destas fundações quando submetidas ao arrancamento. Este trabalho tem como objetivo investigar a influência da composição granulométrica em estacas com altura do preenchimento interno igual a 100% da estaca, na capacidade de carga ao arrancamento de estacas tubulares vazadas. Para isso foram realizados ensaios na centrífuga geotécnica com diferentes areias mal graduadas adquiridas do IPT e com as misturas destas areias. As misturas foram obtidas mediante um algoritmo de pesquisa operacional de otimização que permite que se obtenha a curva alvo resultante da combinação das areias graduadas com as respectivas porcentagens de cada areia mal graduada para cada mistura em função do coeficiente de uniformidade (CU) da mistura. Resultados dos ensaios de arrancamento mostraram que as estacas preenchidas com diferentes areias mal graduadas não apresentaram ganhos na capacidade de carga ao arrancamento, ou seja, variando se a granulometria das areias mal graduadas utilizadas no preenchimento interno estas resultaram em cargas bem próximas. No entanto quando as estacas foram preenchidas com as misturas de areias, estas possibilitaram ganhos de carga durante ao arrancamento para a faixa de (C.U.) ensaiada, apresentando uma tendência de comportamento linear.

PALAVRA CHAVE: Estacas Tubulares Vazadas, Preenchimento Interno, Diferentes Composições Granulométricas, Ensaios de Arrancamento.

1 INTRODUÇÃO

A utilização de estacas tubulares tem-se tornado cada vez mais comum como alternativas em soluções para as fundações. Principalmente as fundações submetidas à tração, como as de estruturas portuárias, *offshore*, etc. Estas estacas estão sujeitas às forças de arrancamento significativas devido à ação das ondas. Tal uso mostra a importância de estudos científicos para avaliar o comportamento destas fundações quando submetidas ao arrancamento.

As estacas podem ser vazadas ou de ponta fechada. As de ponta fechada apresentam comportamento semelhante às estacas convencionais. Já as estacas tubulares vazadas quando são cravadas no solo e ocorre uma obstrução deste no interior da estaca, ou seja, o nível do solo no interior da estaca é inferior ao nível externo, diz-se que houve a formação do *plug*. Os trabalhos de Reis et al. (2014) e Neves (2012) foram desenvolvidos para avaliar a influência do *plug* ou o preenchimento interno (P.I.), confeccionados artificialmente, na capacidade de carga ao arrancamento de estacas tubulares vazadas através da variação do diâmetro e da altura do *plug* até 50%, considerando estacas instaladas em areia fofa e utilizando uma centrífuga geotécnica. A ideia por trás destes ensaios foi de construir *plugs* artificiais (ou preenchimentos internos) de maneira a aumentar a capacidade de carga ao arrancamento, especialmente, para estruturas *offshore* e fundações de geradores eólicos instaladas em águas rasas, onde a areia do leito do mar ou outra areia pode ser bombeada para dentro da estaca.

No atual trabalho o objetivo é investigar a influência da composição granulométrica do preenchimento interno na capacidade de carga ao arrancamento de estacas tubulares vazadas. Os ensaios consistiram de diferentes modelos em escala reduzida onde uma estaca de cada vez é arrancada a 20g. A estaca foi cravada a 1g almejando-se a densidade relativa de 23%. Um diâmetro foi considerado para a estaca e diferentes preenchimentos interno foram confeccionados. Estes preenchimentos interno foram feitos artificialmente utilizando se areias com diferentes composições granulométricas na densidade relativa de 70%. Com os resultados

dos ensaios foi possível, para a faixa dos (C.U's.) ensaiados obter uma tendência de comportamento linear entre a capacidade de carga ao arrancamento da estaca e o coeficiente de uniformidade (C.U.).

1.1 Modelagem em Centrífuga

O protótipo é um objeto ou fenômeno em estudo que possui uma evidência real, como uma estrutura construída, onde se pretende conhecer o comportamento quando submetida a determinadas ações. Já o modelo é uma reprodução controlada do protótipo uma vez que é realizada por processos que asseguram o conhecimento e reprodução de suas características. Os modelos são empregados por serem mais fáceis de usar em laboratório, pois em geral são em escala reduzida, apesar de existirem casos em que o modelo é maior.

A relação entre a magnitude de uma grandeza no modelo e a magnitude equivalente no protótipo é denominada de fator de escala. Na Tabela 1 podem ser verificadas algumas relações escalares das grandezas físicas entre o modelo reduzido e o protótipo submetido a N vezes a aceleração da gravidade (Taylor, 1995).

Tabela 1. Fatores de escala associados à modelagem física em centrífuga (Taylor, 1995).

Parâmetro	Modelo/Protótipo.
Gravidade	N
Comprimento	$1/N$
Densidade	1
Massa	$1/N^3$
Força	$1/N^2$
Tensão	1
Deformação	1
Tempo (difusão)	$1/N^2$

2 MODELO EXPERIMENTAL

Os ensaios de arrancamento foram realizados em estacas representadas por tubos de alumínio com diâmetro externo de 50,2 mm, 30 cm de altura, cravadas uma a uma na profundidade de 27,7 cm (comprimento efetivo da estaca) em uma caixa cilíndrica de aço com diâmetro de 46,5 cm e 48 cm de altura. A Figura 1 apresenta

um desenho esquemático do ensaio. Para o arrancamento foi utilizado um atuador (pistão hidráulico) da marca Milwaukke Cylinder com curso máximo de 65 mm. Foi instalada uma célula de carga para arrancar a estaca de forma centralizada com capacidade máxima de 450 kgf. Para a aquisição do deslocamento vertical foi utilizado um transdutor de deslocamento da GEFTRAN Brasil modelo PZ34-S-250 que possui 250 mm de curso útil.

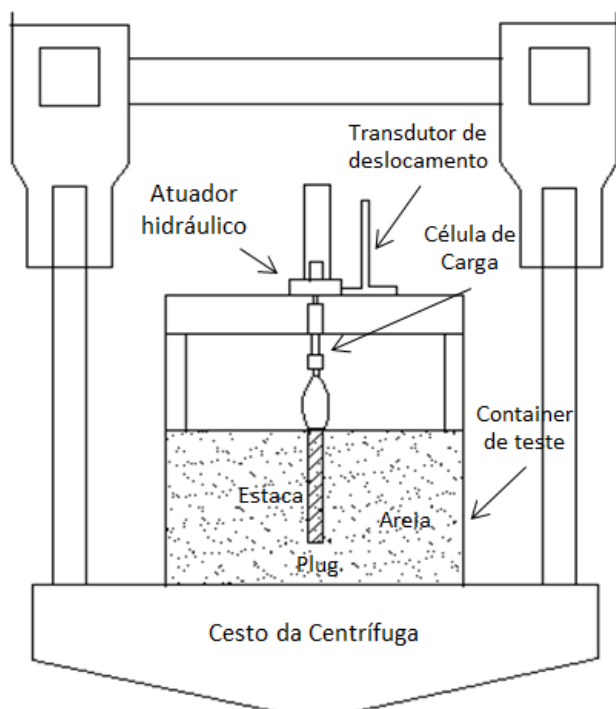


Figura 1. Desenho esquemático da montagem dos ensaios na centrífuga.

O preenchimento da estaca foi feito com areias mal graduadas e com misturas destas areias. Para a obtenção das misturas foi utilizado um algoritmo de pesquisa operacional de otimização, através de uma planilha do EXCEL elaborada por Saboya, F e Alexandre, J. (1999) para colocar em prática o método proposto por Windisch, E. J. (1996), entrando-se com os valores de porcentagem que passa do ensaio de peneiramento das areias mal graduadas na planilha pode-se encontrar a melhor combinação de proporções entre as areias mal graduadas, em que cuja curva resultante será a mais próxima da curva requerida, sendo possível obter a curva representativa e as porcentagens de cada areia contida em cada mistura em função do coeficiente de uniformidade (C.U.) almejado.

As areias utilizadas nos ensaios são normalizadas pela NBR 7214 sendo fornecidas pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica (IPT), nas granulometrias: fina (material retido na peneira nº 100 de abertura de 0,15 mm), média fina (material retido na peneira nº 50 de abertura de 0,3 mm), média grossa (material retido na peneira nº 30 de abertura de 0,6 mm) e grossa (material retido na peneira nº 16 de abertura igual a 1,2 mm).

2.1 Apresentação dos Ensaios de Arrancamento

Foi realizado um programa de ensaios no qual são descritos na Tabela 2 logo abaixo.

Tabela 2. Relação dos ensaios (E) realizados.
Código Ref. Descrição do Código de Ref.

E1-0	Plug 0%
E2-R1-0	Repetição1-Plug 0%
E3-R2-0	Repetição2-Plug 0%
E4-A100-100	Areia100 C.U.= 1,3-Plug 100%
E5-A50-100	Areia50 C.U.=1,3-Plug 100%
E6-A16-100	Areia16 C.U. =1,3-Plug 100%
E7-M1-100	Mistura 1 C.U.= 4 - Plug100%
E8-M2-100	Mistura 2 C.U. =7 - Plug100%

2.2 Procedimentos Experimentais

Primeiramente a areia foi lançada no container cilíndrico mediante uma “chuva de areia” gerada por um pluviador no qual eram feitos movimentos circulares anti-horário em espiral possibilitando uma distribuição uniforme dos grãos. O procedimento foi realizado em 7 camadas com 5 cm de altura e 11,34 kg cada uma, sempre mantendo o controle da altura de queda da chuva de areia almejando-se alcançar a densidade relativa de 23% (Figura 2). No entanto após a pluviação do container foi verificado que entre a borda do container e a superfície da areia havia uma diferença na altura de 0,8 cm. Foi feito o cálculo da densidade relativa com a massa de areia utilizada na pluviação das 7 camadas dividida pelo volume corrigido das camadas de areia, obtendo-se uma densidade relativa (D.R.) de 38,51% e $\gamma = 13,84 \text{ kN/m}^3$.



Figura 2. Pluviação do container.

Também foi realizado testes de densidade relativa após os ensaios de arrancamento com um cilindro de diâmetro de 4,73 cm e altura de 10 cm, obtendo-se a densidade relativa de 39% e $\gamma = 13,85 \text{ kN/m}^3$.

As estacas foram cravadas a 1g com o auxílio de um macaco hidráulico no qual o pistão em sua parte superior estava preso numa viga de aço. Para auxiliar a cravação foram usados blocos de champoxy. Uma guia de madeira foi utilizada para posicionamento da estaca no centro do container e também para minimizar a possibilidade de inclinação das estacas e tornar a cravação o mais vertical possível. Durante e após a cravação foi colocado o nível horizontal e vertical para a verificação da verticalidade da estaca (Figura 3).



Figura 3. Cravação da estaca.

Após a cravação, todo o sistema foi retirado e a altura de rebaixamento da areia no interior

da estaca foi medida obtendo o valor de 2,3 cm. Para a confecção do preenchimento interno na densidade relativa de 70%, toda a areia no interior da estaca foi retirada através de sucção utilizando-se um aspirador. A pluviação no interior da estaca foi feita em 10 camadas minimizando uma possível segregação no preenchimento interno, principalmente com as misturas de areia. As estacas foram preenchidas com as areias mal graduadas e com as misturas de areia: Mistura 1 de C.U.= 4(formada pela combinação de 16,19% da areia 100, 40,71% da areia 50, 35,46% da areia 30, e 7,64% da areia 16), e Mistura 2 de C.U. = 7(formada pela combinação de 22,81% da areia 100, 6,47% da areia 50, 15% da areia 30 e 55,72% da areia 16).

Após a pluviação no interior da estaca, uma viga de alumínio com o atuador e o transdutor de deslocamento vertical foi fixada ao sistema. Na base do atuador foi instalada a célula de carga. Um Cabo de aço interligava a estaca e a célula de carga (Figura 4).



Figura 4. Estaca preparada para ser arrancada.

E por último o sistema de aquisição dados foi conectado, e a centrífuga foi ligada, estando assim toda a estrutura de arrancamento montada. A gravidade foi aumentada gradativamente até atingir 20g e após isso era dado início ao arrancamento da estaca e os resultados do ensaio de força de arrancamento e deslocamento vertical da estaca eram aquisitados utilizando o *software* LabVIEW.

3 CÁLCULO ANALÍTICO

Segundo Neves (2012), foi proposto por Meyerhof (1973) um método de cálculo para determinação da carga última de estacas submetidas a esforços de tração. Através da expressão 1 é possível obter a carga líquida de arrancamento, faltando apenas acrescentar o peso próprio da estaca ao valor obtido para obtenção da carga última de tração.

$$Q_l = \left(k_u \frac{\gamma' L}{2} \tan \delta \right) A_s \quad (1)$$

Onde Q_l é a carga líquida à tração k_u é o coeficiente de empuxo do solo, γ' é o peso específico do solo, L é o comprimento da estaca, δ é o ângulo de resistência ao cisalhamento do contato solo-estaca e A_s é a área lateral da estaca. O k_u pode ser calculado tanto pelo modelo como pelo protótipo, pois seu fator de escala é igual a 1, ou seja, o k_u calculado através do modelo centrífugo é igual ao k_u calculado pelo protótipo. O k_u a partir do modelo pode ser calculado a partir da seguinte expressão:

$$k_u = \frac{2Q_{om}}{A_s \gamma'_{20g} L_m \tan \delta} \quad (2)$$

Nesta equação Q_{om} é a capacidade de carga máxima líquida ao arrancamento do modelo, obtida no ensaio centrífugo, A_s é a área lateral da estaca modelo, γ'_{20g} é o peso específico da areia multiplicado por N, que neste caso específico é 20, L_m é o comprimento da estaca modelo e δ é o ângulo de resistência ao cisalhamento do contato solo-estaca.

Já para determinar o k_u a partir do protótipo, considerando a carga obtida no ensaio centrífugo e a estaca modelo, deve ser levada em consideração a relação de escala de cada elemento. O cálculo de k_u através do protótipo segue a seguinte expressão:

$$k_u = \frac{2(Q_{om} * N^2)}{(A_s * N^2) \gamma' (L_m * N) \tan \delta} \quad (3)$$

Onde N, conforme comentado anteriormente, é o número de vezes que a gravidade é aumentada em relação à gravidade

terrestre, que neste caso específico é 20. Neste trabalho os valores de k_u 's foram calculados através de cargas obtidas no ensaio utilizando-se a expressão 2. Outro método usado para previsão de carga das estacas ensaiadas neste trabalho foi o de Grenoble (1968) que segundo Bessa (2005) envolve praticamente todos os tipos de fundação. O método tem por base uma formação de superfície de ruptura, em função do tipo do elemento de fundação. A carga última de uma estaca cilíndrica submetida a esforços verticais de tração é obtida pela expressão:

$$P_u = P_{f\phi} + P_{fc} + P_q + P_\gamma + P_f \quad (5)$$

Em que a parcela ($P_{f\phi}$) representa o termo de atrito, a parcela (P_{fc}) representa o termo de coesão, a parcela (P_q) representa o termo de sobrecarga, a parcela (P_γ) representa o termo de gravidade, a parcela (P_f) representa o peso próprio da fundação. A parcela do termo de atrito ($P_{f\phi}$) é obtida pelas seguintes relações:

$$P_{f\phi} = A_1 \cdot \gamma \cdot Z \cdot M_{\phi'} \quad (6)$$

$$M_{\phi'} = M_{\phi 0} [1 - 1/3(tg \lambda \cdot Z/R)] \quad (7)$$

$$M_{\phi 0} = \sin^2(\phi + \lambda) / 4 \cos^2 \lambda \quad (8)$$

A parcela do termo de gravidade (P_γ) é obtida pelas seguintes relações:

$$P_\gamma = A_1 \cdot \gamma \cdot Z \cdot M_\gamma \quad (9)$$

$$M_\gamma = M_{\gamma 0} [1 - 1/3(tg \lambda \cdot Z/R)] \quad (10)$$

$$M_{\gamma 0} = -1/2(tg \lambda) \quad (11)$$

Para o caso em questão as parcelas P_{fc} (termo de coesão) e P_q (termo de sobrecarga) são nulas. A previsão teórica de Grenoble (1968) foi utilizada neste trabalho para a comparação com os resultados obtidos no ensaio de arrancamento para estacas sem preenchimento.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Após o arrancamento da estaca a altura do preenchimento interno foi medida sendo observado em todos os ensaios que o deslocamento para baixo do preenchimento

interno era igual ao deslocamento para cima das estacas. Sendo assim o atrito foi gerado durante o arrancamento da estaca, uma vez que o preenchimento interno não ficou preso à parede da estaca durante o arrancamento ocorrendo assim um escorregamento. Portanto, a expressão “preenchimento interno” é mais adequada do que “plug”. (Figura 5).

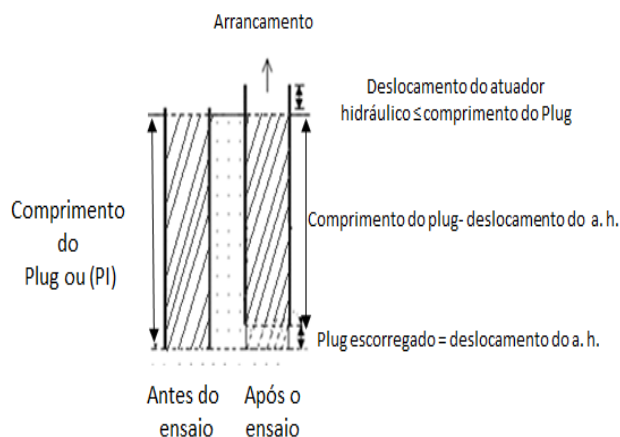


Figura 5. Mecanismo de escorregamento do preenchimento interno.

Nos gráficos de arrancamento e nas tabelas com as cargas apresentadas neste trabalho os valores das cargas de pico e residual estão incluindo o peso da estaca em voo que é de 41,92 N. Porém, para a obtenção dos K_u 's foi utilizada a carga líquida de pico, sendo descontado o peso da estaca.

O peso específico utilizado na formulação de Meyerhof para obtenção do K_u foi de 13,84 kN/m³ (vide item 2.2) referente ao obtido através do cálculo com o volume corrigido.

É importante mencionar que após todos os ensaios de arrancamento foram feitos testes de densidade relativa com o cilindro e verificado que a densidade era sempre de 39% comprovando a repetibilidade na pluviação dos containers.

4.1 Resultados Experimentais

Os gráficos da Figura 6 e a Tabela 2 mostram a repetibilidade dos ensaios com estacas sem preenchimento interno, visto que os valores de carga estão bem próximos.

Ao observarmos o gráfico da Figura 6, podemos constatar que a repetibilidade dos ensaios com estacas sem preenchimento interno é comprovada pelo seu comportamento

praticamente idêntico e ao repararmos na Tabela 2 pode ser verificado que tanto as cargas de pico quanto às cargas residuais de ensaios diferentes estão bem próximas. O objetivo da repetibilidade destes ensaios foi para verificar e aferir a metodologia mais adequada de pluviação, cravação e arrancamento das estacas.

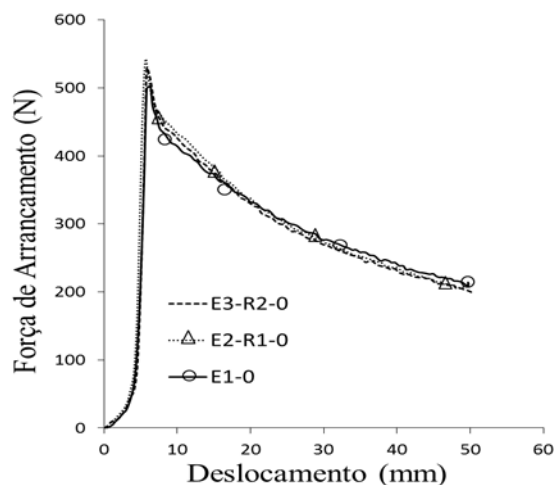


Figura 6. Curvas de arrancamento de estacas sem preenchimento interno.

Tabela 2. Resultados da Carga de pico e residual de estacas sem preenchimento interno.

Código Ref.	Carga de Pico (N)	Carga Residual (N)
E1-0	502,73	214,20
E2-R1-0	541,45	204,64
E3-R2-0	528,16	202,17

Pela formulação de Grenoble (1968) foi calculada a capacidade de carga total das estacas sem preenchimento (incluindo o peso da estaca a 20 g) para efeito de comparação com os resultados das estacas sem preenchimento obtido no ensaio de arrancamento. Foram obtidos através de Grenoble conforme citado no item 2.2 para o γ (gama) calculado após a pluviação, encontrando-se o valor de 508,23N e para o γ (gama) calculado após o teste de densidade com o cilindro, encontrando-se o valor de 508,57N. Os valores de pico encontrados através do ensaio de arrancamento (Tabela 2) e por Grenoble estão bem próximos o que confirma e comprova a confiabilidade dos resultados provenientes dos ensaios de arrancamento.

Ao analisarmos a Figura 7 e a Tabela 3 percebemos que os resultados obtidos nas estacas com preenchimento interno de 100% com as areias 100, 50 e 16 mal graduadas não influenciaram se comparadas entre si. Porém ao analisarmos as curvas dos ensaios E7-M1-100 e E8-M2-100 referente às misturas, constatamos um ganho devido a uma maior mobilização de resistência durante o arrancamento atribuído à composição granulométrica das misturas do preenchimento interno na capacidade de carga ao arrancamento das estacas.

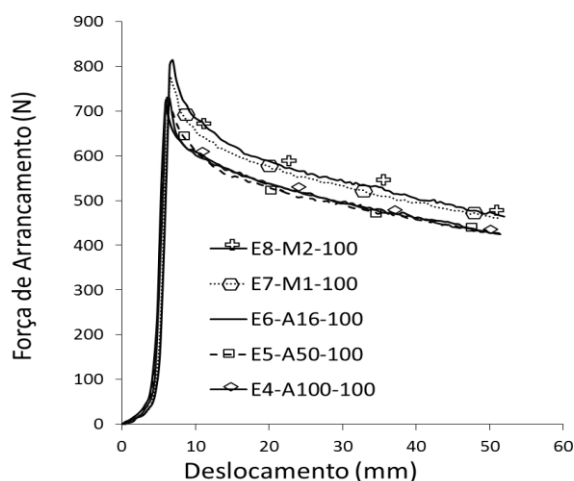


Figura 7. Curvas de arrancamento com estacas com preenchimento interno de 100%.

Tabela 3. Resultados da Carga de pico e residual de estacas com preenchimento interno de 75% e 100%.

Código Ref.	Carga de Pico (N)	Carga Residual (N)
E4-A100-100	730,38	427,97
E5-A50-100	733,31	424,63
E6-A16-100	719,78	426,89
E7-M1-100	775,53	460,25
E8-M2-100	813,73	463,96

Na Figura 8 é apresentada a envoltória de carga líquida de pico em função do coeficiente de uniformidade (C.U.), e verificamos o acréscimo de carga na mobilização da estaca com das misturas nos ensaios E7-M1-100 e E8-M2-100.

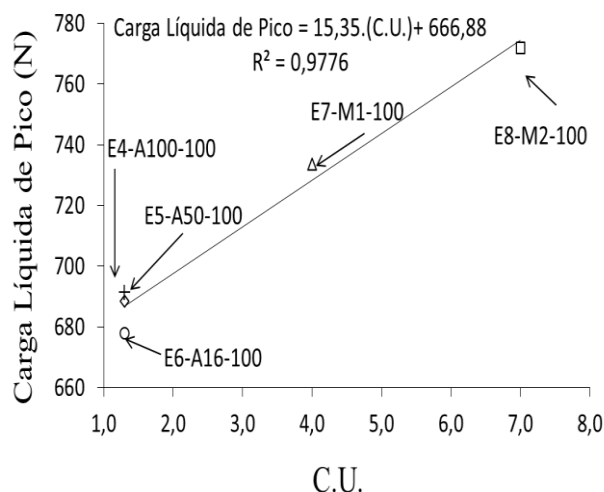


Figura 8. Acréscimo de carga em função do Coeficiente de Uniformidade (C.U.).

4.2 Resultados Analíticos

Os ângulos de contato entre solo e estaca ($\delta = 25,17^\circ$) e de atrito do solo ($\phi = 36^\circ$) foram determinados através de ensaios de cisalhamento direto utilizando o solo na densidade relativa de 39%. No ensaio de cisalhamento direto para determinação do ângulo de contato entre solo e estaca foi utilizada uma placa lisa feita do mesmo material das estacas usadas como modelo.

A Figura 9 mostra que independente da granulometria da areia mal graduada utilizada para o preenchimento interno à 100% da estaca o K_u não variou, mas as estacas preenchidas com as misturas nos ensaios E7-M1-100 e E8-M2-100 respectivamente apresentando um coeficiente de uniformidade (C.U.) de 4 e 7 possibilitaram aumentos do K_u .

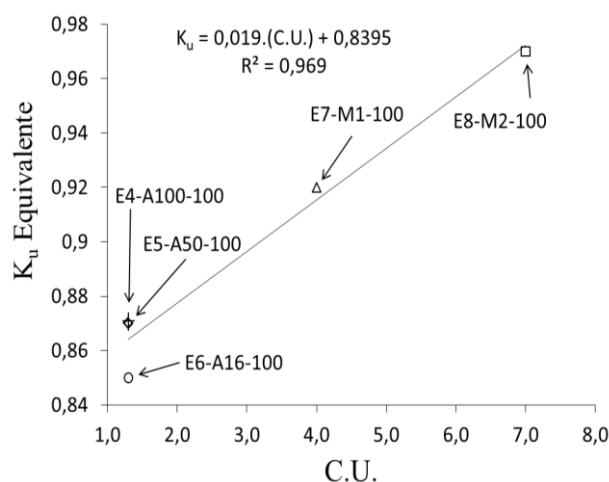


Figura 9. K_u Equivalente em função da variação do Coeficiente de Uniformidade (C.U.).

Este acréscimo se deve ao fato das misturas apresentarem um (C.U.) superior aos das areias mal graduadas. Meyerhof (1973) propôs uma estimativa teórica de variação do K_u com o ângulo de atrito do solo ϕ , para estacas de modelo enterrado. Ele verificou que para estacas sem preenchimento interno e $\phi = 36^\circ$, o valor de K_u era de 1,8 que é maior do que o obtido neste trabalho, que é cerca de 0,59 para estacas sem preenchimento.

Na Tabela 4 são apresentados os valores dos K_u 's equivalentes e normalizados para cada ensaio. Na Figura 10. Pode ser observado que a variação do K_u normalizado em função do coeficiente de uniformidade (C.U.) da composição granulométrica pode ser representada por uma função linear.

Tabela 4. K_u equivalente e normalizado para cada ensaio.

Código Ref.	K_u Equivalente	K_u^* Normalizado
E1-0	0,58	1
E2-R1-0	0,63	1,08
E3-R2-0	0,61	1,05
E4-A100-100	0,87	1,50
E5-A50-100	0,87	1,50
E6-A16-100	0,85	1,46
E7-M1-100	0,92	1,59
E8-M2-100	0,97	1,70

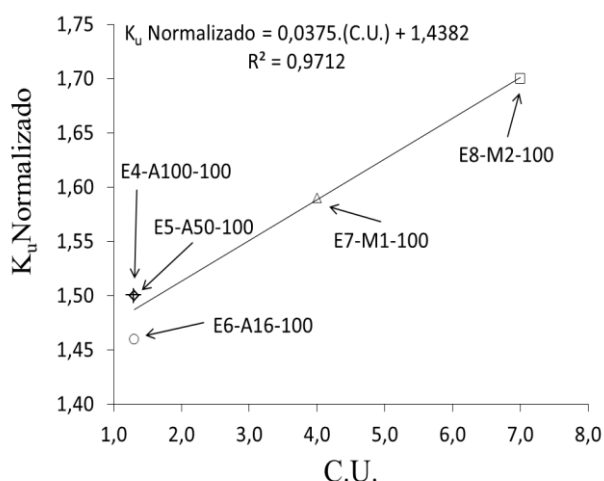


Figura 10. K_u Normalizado em função da variação do Preenchimento Interno (PI).

O K_u normalizado é definido ao dividir o K_u equivalente pelo K_u da estaca sem preenchimento.

5 CONCLUSÃO

Pode se concluir mediante os resultados apresentados que as estacas com a composição granulométrica das areias mal graduadas não apresentaram ganhos de resistência comparada com as estacas preenchidas com as misturas.

Isso se deve ao fato de que as misturas obtidas através do algoritmo de otimização apresentaram uma composição granulométrica que possibilitou obter coeficientes de uniformidade (C.U.) superiores aos das areias mal graduadas. Diante dos resultados podemos afirmar que houve a influência da composição granulométrica no preenchimento interno na capacidade de carga ao arrancamento das estacas preenchidas com as misturas e que para a faixa de (C.U.) ensaiados (1,3 à 7) esta influência assume uma tendência linear.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio da FAPERJ e a UENF pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Bessa, A.O. (2005). *Avaliação da Resistência Lateral em Estacas Escavadas com Tradados Submetidos à Tração*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil, p. 153.
- Meyerhof, G.G. (1973). *Uplift Resistance of inclined Anchors and Piles*. 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering; Proc., Moscow, 2, p.167-172.
- Neves, D.P. (2012). *Estudos do Comportamento de Estacas Tubulares vazadas Submetidas ao Arrancamento através de Ensaio em Centrífuga Geotécnica*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil, p.91.
- Reis, R.M.; Saboya, F.; Neves, D.P.; Tibana, S.; Manhães, A. F.; Pereira, A.C.S. (2014). *Plugging Effect on Uplift Capacity of Pipe Piles Installed In Loose Sand*. 8th International Conference on Physical modeling in Geotechnics, Perth, Australia, Vol.2, p.14-17.
- Saboya, F.Jr. e Alexandre, J (1999). *Algoritmo para Misturas Combinadas de Solos na Confecção de Peças Cerâmicas Vermelhas*. Cerâmica, Campos dos Goytacazes, Vol.45.296, Ano XLV, p. 181-183.
- Taylor, R. N. (1995). *Geotechnical Centrifuge Technology*. London: Blakie Academic e Professional.