

Distribuição de Cargas Durante Ensaio de Recebimento em Tirantes de Cortina de Estacas Espaçadas em Areia

Alex Micael Dantas de Sousa

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, alexmichael@hotmail.com

Yuri Daniel Jatobá da Costa

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, ydjcosta@ct.ufrn.br

Fabiana Alves dos Santos

DNIT / RN, Natal, Brasil, fabiana_civil@hotmail.com

Luiz Augusto da Silva Florêncio

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, luiz.engh@gmail.com

RESUMO: Estruturas de contenção executadas em cortina de estacas escavadas, justapostas e estabilizadas por linhas de tirantes têm se tornado frequentes em construções residenciais. Entretanto, as técnicas que regem o dimensionamento desses tirantes ainda são bastante empíricas e requerem estudos de otimização do seu dimensionamento. Desta forma, objetivou-se nesta pesquisa realizar um estudo de caso acerca do desempenho geotécnico de um tirante através de sua instrumentação com extensômetros de resistência elétrica, verificando a distribuição de carga ao longo do trecho ancorado deste no ensaio de recebimento. O tirante foi executado em solo arenoso típico da cidade de Natal/RN, de notória importância no sentido de criar um acervo técnico sobre o desempenho dessas estruturas nas condições de projeto e execução estudadas. A partir deste estudo verificou-se que a distribuição de cargas ao longo do trecho ancorado do tirante possui comportamento exponencial, e que mais de 80% da carga do tirante foi dissipada na metade inicial do bulbo ancorado.

PALAVRAS-CHAVE: Tirante, Instrumentação, Carga, Extensômetro.

1 INTRODUÇÃO

Tirantes são peças especialmente montadas tendo como componente principal um ou mais elementos resistentes à tração, que são introduzidos no terreno por perfuração própria, nas quais, por meio de injeção de calda de cimento (ou outro aglutinante), forma um bulbo de ancoragem que é ligado à estrutura através do elemento resistente à tração e da cabeça do tirante (NBR 5629, 2006).

O uso de tirantes em estruturas de contenção é uma técnica já bastante consolidada na literatura e na prática de obras, alicerçada pelos excelentes resultados obtidos nos mais variados tipos de solos, inclusive os predominantemente

arenosos. Entretanto, ainda é notório o empirismo no dimensionamento dessas estruturas, o qual pode conduzir a condições inseguras ou antieconômicas na estabilização de maciços de solo.

Uma forma de reavaliar o comportamento de tirantes buscando-se o aprimoramento de seu projeto e de sua execução é através do monitoramento das cargas solicitantes ao longo das fases executivas e de sua vida útil.

O uso da extensometria já é uma técnica consagrada para avaliação da distribuição de cargas nas mais variadas estruturas, como no caso de estacas de fundações (Fellenius, 2001). Outra linha de pesquisa que têm se desenvolvido é a representação de distribuição

de cargas em grampos passivos (Feijó *et al.*, 2002).

Além do aferir o desempenho dos tirantes a partir da sua instalação, como citado acima, pretende-se realizar um acompanhamento contínuo destes elementos para verificar possíveis alterações que podem ocorrer em seu comportamento com o passar do tempo. O conhecimento da distribuição de carga ao longo dos tirantes pode conduzir ao dimensionamento mais eficaz do comprimento do trecho ancorado, bem como da sua bitola.

Desta maneira, propõe-se analisar a distribuição de cargas em tirantes ao longo do trecho ancorado através de uma instrumentação geotécnica destes pelo método da extensometria, à qual permite aferir a distribuição de carga ao longo do trecho ancorado dos tirantes no solo pela deformação de resistores (*strain gages*) acoplados às barras.

2 METODOLOGIA

2.1 Descrição da Estrutura de CONTENÇÃO

Este estudo foi aplicado a uma estrutura de contenção realizada para a construção de um edifício residencial multifamiliar em Natal/RN, no qual previa-se a utilização do subsolo como estacionamento. Trata-se de uma cortina de estacas espaçadas, com uma linha de tirantes.

O paramento de estacas foi executado por escavação à seco com trado mecânico de 300 mm de diâmetro. As estacas possuem, em sua maioria, comprimento de 8 m, espaçadas entre si de 400 mm entre eixos, sendo concretadas com concreto de 20 MPa. As estacas são armadas longitudinalmente com 6 barras de 12,5 mm de diâmetro e transversalmente com barras de 6,3 mm de diâmetro espaçadas a cada 150 mm. As estacas de maior comprimento, 12 m, são referentes aos trechos de apoio dos pilares do estacionamento.

A Figura 1 apresenta uma vista frontal da configuração da cortina em análise e o posicionamento do tirante instrumentado.

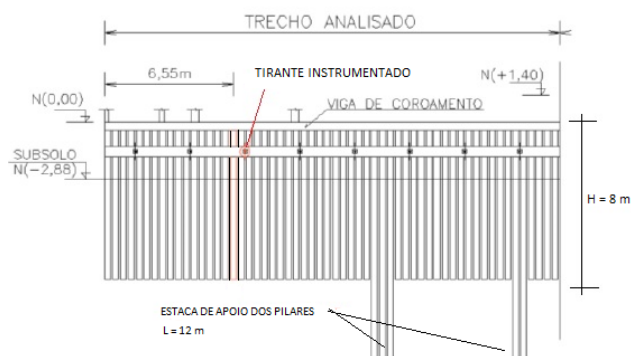


Figura 1. Configuração do Trecho de Cortina Instrumentado.

Os elementos resistentes à tração dos tirantes foram projetados em monobarras de 32 mm de diâmetro, possuindo todos comprimento de 10 m, sendo 6 m de comprimento livre e 4 m referente ao trecho ancorado. Os tirantes de mesma linha estão espaçados entre si de 2,80 m, inclinados de 30° em relação a horizontal.

Em projeto foram especificadas cargas de trabalho de 220 KN e carga de incorporação no valor de 180 KN. A Tabela 1 apresenta as características mecânicas das barras de tirante utilizadas. Apresenta-se ainda a sequência de cargas dos ensaios de recebimento tipo D aplicados aos tirantes (NBR 5629,2006) na Tabela 2.

Tabela 1. Características das Barras Utilizada.

Diâmetro (mm)	32
Tensão de escoamento (KN/m ²)	500.000
Tensão de ruptura (KN/m ²)	550.000
Carga de escoamento (KN)	400
Carga de ruptura (KN)	440
Módulo de elasticidade (KN/m ²)	210.000.000
Área de seção transversal (mm ²)	804

Tabela 2. Sequência de cargas aplicadas no ensaio de recebimento.

Ensaio de Recebimento					
Carregamento		Descarregamento		Recarregamento	
Carga (KN)		Carga (KN)		Carga (KN)	
F0	38,5	1,2 x Ft	264	F0	38,5
0,3 x Ft	66	1,0 x Ft	220	0,3 x Ft	66
0,6 x Ft	132	0,8 x Ft	176	0,6 x Ft	132
0,8 x Ft	176	0,6 x Ft	132	0,8 x Ft	176
1,0 x Ft	220	0,3 x Ft	66	1,0 x Ft	220
1,2 x Ft	264	F0	38,5	-	-

Onde:

F_0 = carga inicial do ensaio de recebimento.

F_t = carga de trabalho prevista.

2.2 Descrição da Execução da Cortina Instrumentada

A seção da cortina é ilustrada na Figura 2. Na primeira etapa foram executadas as estacas de modo que coincidissem seu topo com o nível do terreno. Na segunda etapa foi executado um corte de 2,88 m à frente da contenção para, em seguida, executar a laje do primeiro pavimento (terceira etapa) que se apoiava na viga de coroamento da contenção. Por fim, foram executados e incorporados os tirantes previstos em projeto.

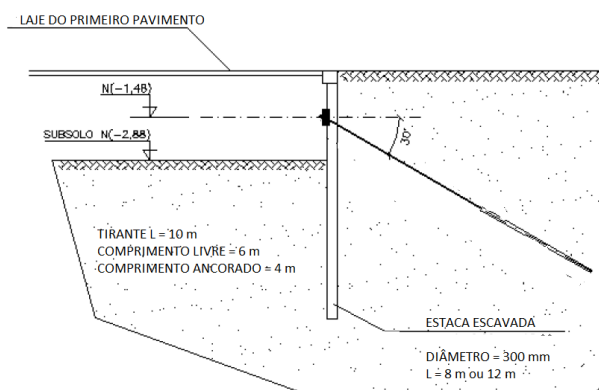


Figura 2. Seção da Cortina Instrumentada.

2.3 Características do Subsolo

Uma vez que o desempenho da estrutura de contenção está intimamente relacionado às condições de contorno em que se executam tais sistemas, é de suma importância a caracterização do solo circundante, o que foi possível através de sondagens padronizadas de simples reconhecimento (SPT) e ensaios de laboratório.

A Figura 3 ilustra a estratigrafia do terreno para o trecho de contenção estudado. Nas sondagens não foi identificada a presença do lençol freático. O subsolo é composto por três camadas distintas de solo, sendo a primeira de uma areia fina e média, fofa, que se estende até o nível de -3,6 m. A segunda camada é composta por uma areia de granulometria

semelhante, mas com traços de argila e de compactidade mais compacta, estendendo-se até o nível de -11 m. A camada posterior é composta por uma areia argilosa compacta à muito compacta.

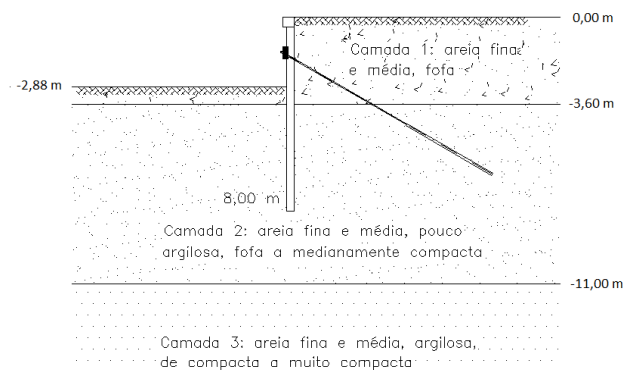


Figura 3. Estratigrafia do Terreno.

Na Tabela 3, a seguir, são apresentadas as frações granulométricas constituintes das camadas 1 e 2, obtidas pelos ensaios de granulometria, da qual pode-se mesurar a predominância da fração arenosa no solo, mas também notar a presença de argila. De acordo com o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), a camada 1 é classificada como areia mal graduada com argila (SP-SC), enquanto que a camada 2 é classificada como areia argilosa (SC).

Tabela 3. Frações Constituintes das Camadas dos Solos.

	Camada 1	Camada 2
Argila	8,18%	17,47%
Silte	0,34%	1,00 %
Areia Fina	18,79%	24,03%
Areia Média	64,23%	52,52%
Areia Grossa	8,46%	4,98%

2.4 Instrumentação dos Tirantes

A instrumentação de tirantes permitiu aferir o desempenho destes em termos de distribuição de cargas ao longo do trecho ancorado durante os ensaios de recebimento e após a incorporação.

Para instrumentação do tirante foram utilizados extensômetros de resistência elétrica (*strain gages*), capazes de medir a deformação específica das barras quando carregadas através

da variação da resistência elétrica provocada pelo alongamento dos resistores.

Foram utilizadas três barras instrumentadas com extensômetros ao longo do trecho ancorado do tirante, como ilustrado na Figura 4.

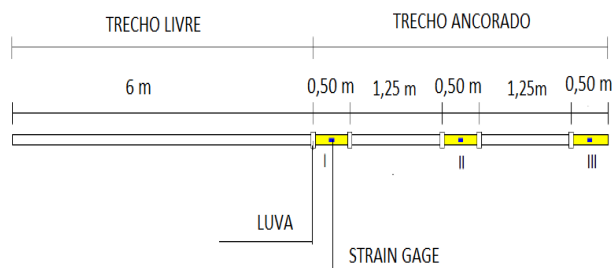


Figura 4. Configuração do Tirante Instrumentado.

Maiores detalhes sobre a preparação das barras instrumentadas podem ser obtidos em Santos (2013). Os dados foram coletados através de aquisitor de dados SPIDER 8, de fabricação da HBM.

3 RESULTADOS E ANÁLISE

3.1 Comportamento do tirante instrumentado

A Figura 5 ilustra o gráfico de carga versus deslocamento da cabeça do tirante, resultante do ensaio de recebimento realizado. O deslocamento (d) total medido foi de 11,49 mm, apresentando deslocamento permanente (dp) 3,49 mm. Desse modo pôde-se inferir que o deslocamento elástico (de) foi de 8 mm.

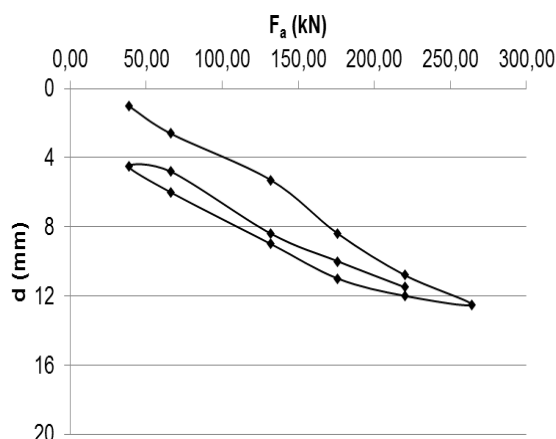


Figura 5. Curva Carga Aplicada Versus Deslocamento da Cabeça do Tirante.

A partir dos dados de deslocamento obtidos no ensaio de recebimento pôde-se traçar os gráficos particionados de deslocamentos permanentes e elásticos, ilustrados na Figura 6, da qual pode-se aferir que de acordo com a NBR 5626 (2006) que os deslocamentos são aceitáveis.

O comprimento livre efetivo do tirante foi calculado de acordo com a Eq. (1) e o resultado foi 5,99 m, valor praticamente coincidente com o comprimento livre executado.

$$L_{L,efetivo} = \frac{\Delta d_e EA}{\Delta F} \quad (1)$$

Onde:

$L_{L,efetivo}$ = Comprimento livre efetivo;

Δd_e = deslocamento elástico da cabeça do tirante para a carga máxima;

E = Módulo de elasticidade do tirante;

A = área da seção transversal da barra de tirante;

ΔF = Diferença de carga entre a carga inicial e a carga máxima do ensaio.

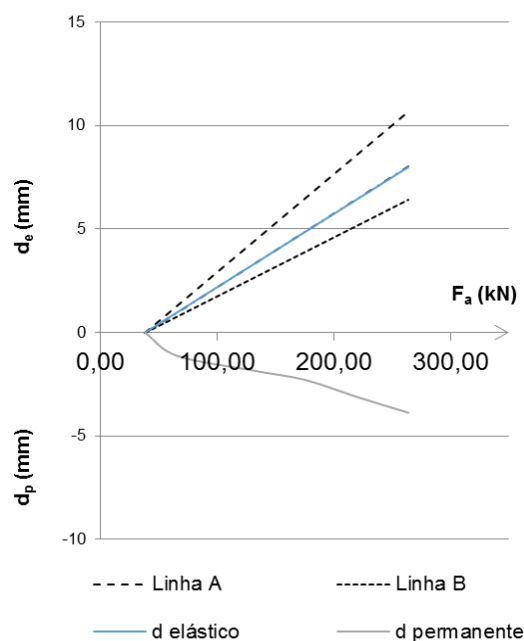


Figura 6. Gráfico Particionado de Deslocamentos Permanentes e Elásticos.

A distribuição de carga de tração medida ao longo do bulbo do tirante para diferentes níveis de carga no ensaio de recebimento, nas fases de

carregamento, descarregamento e recarregamento, respectivamente, são apresentadas na Figura 7, Figura 8 e Figura 9. Nas figuras o comprimento é normalizado pelo comprimento do bulbo (L_0).

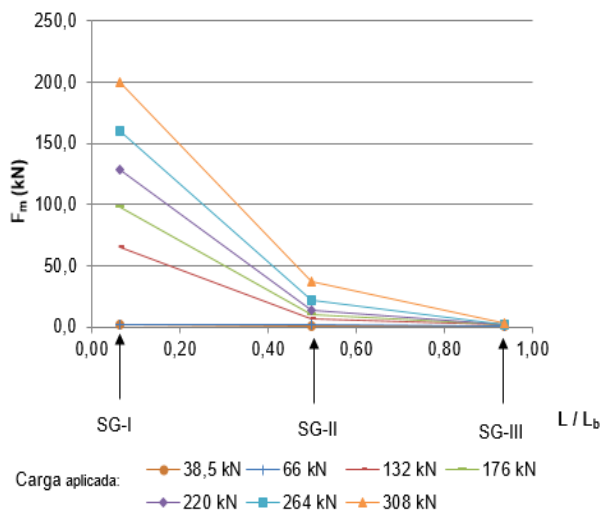


Figura 7. Distribuição de Carga ao Longo do Bulbo do Tirante Durante a Fase de Carregamento do Ensaio de Recebimento.

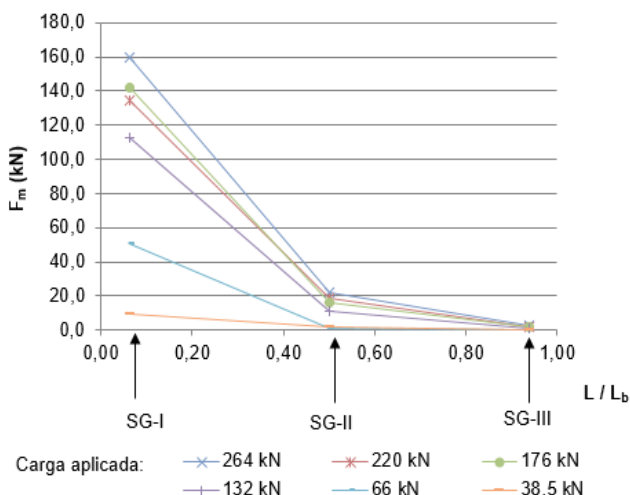


Figura 8. Distribuição de Cargas ao Longo do Bulbo do Tirante Durante a Fase de Descarregamento do Ensaio de Recebimento.

No início da fase de carregamento (Figura 7), quando foram aplicadas as cargas de 38,5 kN e 66 kN, observa-se que praticamente não houve solicitação de tração na região do bulbo. É provável que no início do ensaio o trecho livre tenha sido solicitado, devido à baixa magnitude das cargas. À medida que se aumentou a carga no ensaio, os valores de carga

medidos ao longo do bulbo também aumentaram, especialmente no primeiro ponto instrumentado (SG-I), sendo observado que quanto maior a carga aplicada, maior a transferência de carga ao bulbo. Nessa fase, a porcentagem de carga na barra SG-I variou entre 50% e 60% da carga aplicada, para cargas maiores do que 66 kN.

Na fase de descarregamento (Figura 8) as cargas medidas no primeiro ponto instrumentado do bulbo (SG-I) foram, em geral, maiores do que as observadas na primeira fase de carregamento, variando entre 60% e 85% da carga aplicada. Isso demonstra que há demora na resposta do tirante em termos de descarga.

Na fase de recarregamento (Figura 9) observou-se o mesmo padrão visto na primeira fase de carregamento, em que quanto maior a carga aplicada, maiores as porcentagens de carga transferidas ao bulbo. Nessa fase, a porcentagem de carga na barra SG-I variou entre 43% e 67% da carga aplicada. As cargas medidas são maiores que no 1º carregamento, denotando maior absorção de carga lateral no 2º ciclo.

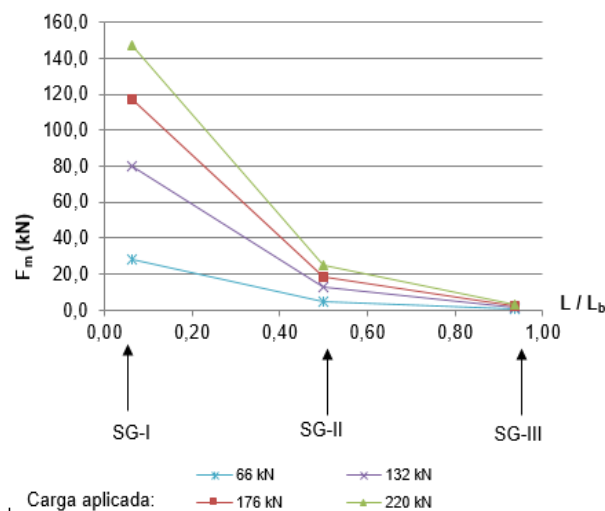


Figura 9. Distribuição de Cargas ao Longo do Bulbo do Tirante 5 Durante a Fase de Recarregamento do Ensaio de Recebimento.

A Figura 10 mostra a distribuição de carga ao longo do bulbo do tirante, para a fase de incorporação (carga de 180 kN). A linha de tendência exponencial e a equação da curva são mostradas no gráfico. Nesse gráfico, estimou-se a carga no início do bulbo igual a 100% da carga aplicada, desconsiderando desta forma a o

atrito lateral existente no trecho livre. Na Figura 10 destaca-se o grande decréscimo da carga até aproximadamente metade do comprimento do bulbo.

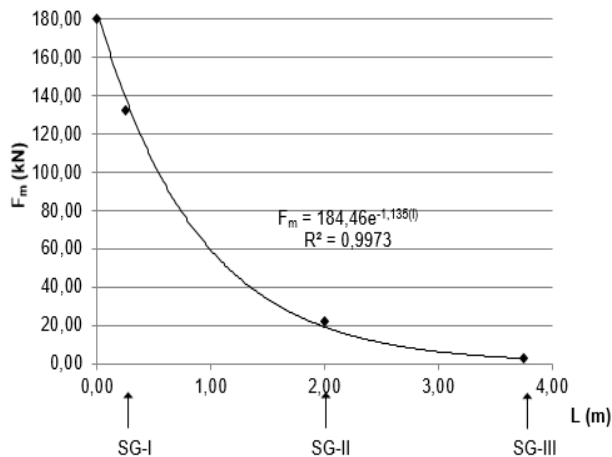


Figura 10. Distribuição de Cargas ao Longo do Bulbo do Tirante Durante a Incorporação.

A Figura 11 mostra a distribuição de atrito lateral ao longo do bulbo do tirante. Observa-se que no tirante, o atrito nos 2 últimos metros do bulbo apresentou valor menor do que o atrito desenvolvido nos dois primeiros metros do trecho ancorado.

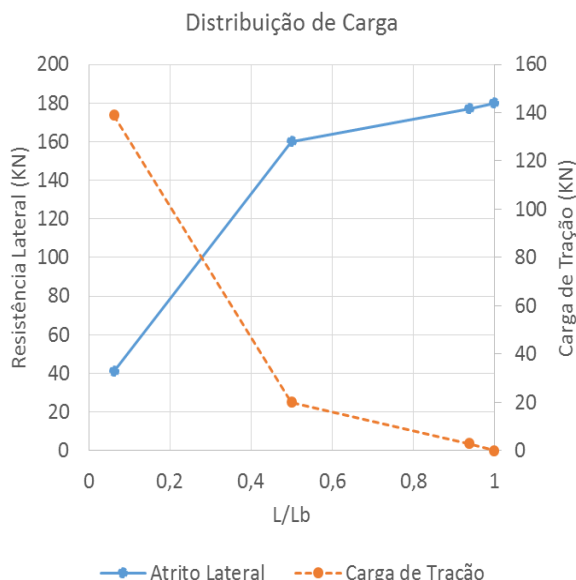


Figura 11. Atrito ao Longo do Bulbo do Tirante.

Após a incorporação do tirante, foram medidas as cargas nos três pontos instrumentados ao longo do tempo. A Figura 12 mostra os valores de carga medidos ao longo do

tempo, sendo o tempo $t=0$ correspondente ao dia da incorporação do tirante.

Para esse tirante, no momento da incorporação, após se apertar a porca e descarregar o macaco, houve uma queda imediata das cargas medidas nos pontos instrumentados. Para o ponto SG-I a queda foi de 44,6% e para o ponto SG-II foi de 56,3%.

Observa-se que até 21 dias após a incorporação do tirante, as cargas diminuíram suavemente, chegando a uma perda de carga máxima de 61,1%. A partir daí, observa-se um aumento da carga ao longo do tempo. A perda de carga total, 62 dias após a incorporação, foi de 50% da carga da incorporação, no ponto SG-I do tirante instrumentado.

A perda de carga após incorporação pode estar associada a falha executiva após aperto da porca ao final da incorporação. Quanto ao comportamento do ponto SG-II, este passou a apresentar carga negativa após certo período, o que significaria que nesta seção o tirante estaria solicitado à compressão, situação improvável na realidade física. Desta forma, pode-se dizer que após certo período a resposta dos tirantes passou a ficar comprometida por falhas na instrumentação.

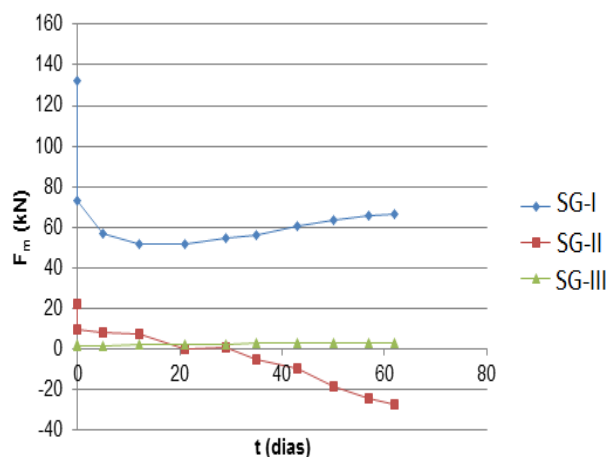


Figura 12. Medições de Carga ao Longo do Tempo no Tirante 5.

3.3 Comparação entre os valores de carga medidos e observados na literatura

A Figura 13 mostra uma comparação entre os valores de carga medidos ao longo do bulbo do tirante instrumentado e aqueles observados por

Li *et al.* (1988), Briaud e Griffin (1998) e Iten e Puzrin (2010). As cargas medidas são normalizadas pela carga aplicada na cabeça do tirante.

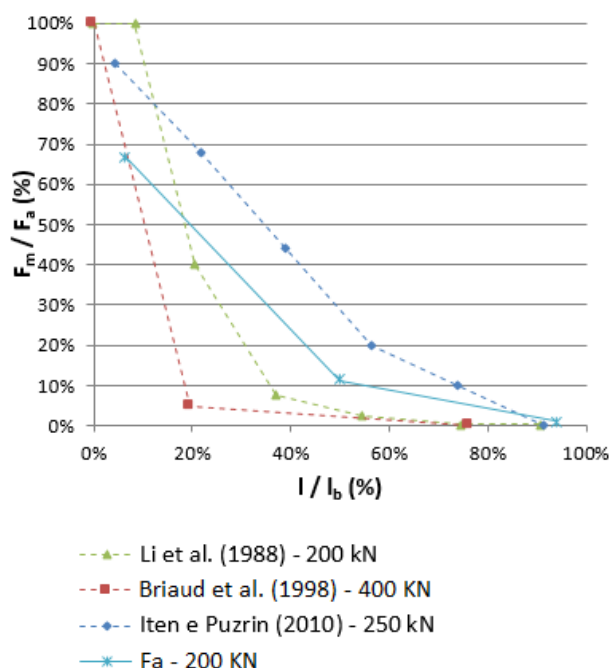


Figura 13. Comparação Entre os Resultados da Distribuição de Carga ao Longo dos Bulbos dos Tirantes 4 e 5 e os Observados na Literatura.

Para os tirantes dessa pesquisa, é mostrada a distribuição de carga nos momentos da aplicação de 220 kN (carga de trabalho), na fase de recarregamento do ensaio de recebimento. Observa-se que o tirante instrumentado nesse trabalho apresenta uma distribuição de carga intermediária entre os observados na literatura.

4 CONCLUSÕES

O tirante apresenta ligeira perda de carga ao longo do tempo, após a incorporação, e verifica-se que existe grande mobilização lateral por atrito na metade inicial do bulbo do tirante, sendo responsável pela maior mobilização do solo circundante.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro da CAPES e CNPq.

REFERÊNCIAS

- Briaud, J. L.; Griffin, A. Y.; Soto, A.; Suroor, A.; Park, H. (1998). *Long-term behavior of ground anchors and tieback walls*. Texas Transportation Institute. Report 1391-1. Texas.
- Feijó, R. L.; Erhlich, M.; Castro, J. T. P. (2002). *Extensometria de Longo Prazo em Uma Obra de Solo Grampeado*. In: Anais do XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. p. 437-446.
- Fellenius, B. H. (2001). *From strain measurements to load in an instrumented pile*. GEOTECHNICAL NEWS-VANCOUVER-, v. 19, n. 1, p. 35-38.
- Li, J.C.; Yao, H.L.; Shi, L.P.; Shy, B. I. (1988). *Behavior of Ground Anchors for Taipei Sedimentary Soils*. Proc. Second International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, St Louis, n° 6.73.
- Iten, M.; Puzrin, A.M. (2009). *Monitoring of stress distribution along a ground anchor using BOTGA*. Proc. SPIE, Vol. 7647.
- NBR 5629 (2006). *Execução de Tirantes Ancorados no Terreno*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- Santos, F. A. (2013). *Avaliação do desempenho de uma cortina de estacas espaçadas, atirantada em areia*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, Brasil, 163 p.