

CAPACIDADE DE CARGA DE UM MODELO DE FUNDAÇÃO SUPERFICIAL EM SOLO ARENOSO FOFO COM REFORÇO DE GEOTÊXTIL

Eng. Lucas Amarante Constancio ^[1]
Prof. Dr. Pêrsio Leister de Almeida Barros ^[2]

RESUMO

Este trabalho visa avaliar o ganho de capacidade de carga de uma fundação superficial em areia fofa, através da inclusão de reforço de material geossintético. Para tanto, propõe-se observar o aumento da capacidade de carga do solo, com uma única camada de reforço em geotêxtil tecido, para uma fundação superficial do tipo sapata corrida. Através de um modelo reduzido que atende os critérios para atingir o estado plano de deformação, avalia-se a capacidade de carga do solo sem reforço, com reforço planar horizontal e faz-se uma nova proposta de disposição geométrica de tal elemento, buscando maior ganho de capacidade de carga e atenuação de deformações. O modelo reduzido é ensaiado no interior de um tanque que permite o acompanhamento das deformações através de sua face translúcida, além da aquisição dos dados de carga aplicada e recalque da fundação. Com a aquisição dos dados, é possível estabelecer comparações entre as diferentes situações analisadas, através da análise dos gráficos de carga-recalque. O trabalho mostra que é possível obter-se um ganho na capacidade de carga com inclusão do reforço e também que é possível chegar a capacidades de carga ainda maiores, apenas readequando a geometria do posicionamento do reforço com uma angulação do geotêxtil. Por fim, este trabalho contribui para a compreensão dos fatores envolvidos na complexa interação entre solo e reforço para fundações apoiadas sobre solos reforçados, campo este, que ainda precisa de refinamento, pesquisa, novas abordagens e contribuições.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the gain in bearing capacity of a shallow foundation on a soft sand, through the inclusion of geosynthetic reinforcement. For this, the bearing capacity of a soft sandy soil carrying a shallow strip footing, without any reinforcement, and with a single layer of reinforcement of a woven geotextile is observed. Through the use of a reduced model, which satisfy the criteria for reaching a plane strain state, the bearing capacity of the unreinforced soil, the soil reinforced with planar horizontal and the soil reinforced with a new proposed geometric arrangement seeking greater gain of bearing capacity and the attenuation on deformation are evaluated. The reduced model is placed in a tank which allows the monitoring of deformations through its translucent face, and acquisition of applied load and foundation settlement data. After the acquisition of data it is possible to make comparisons between the different situations analyzed by examining the plots of load versus settlement. The

^[1] Helix Engenharia e Geotecnia Ltda. Rua Frederico Polo, 60 – Vila Jones – Americana – SP – CEP: 13.465-771 – Fone: 19 3461 5824 – Fax: 19 3604 5478 – lucas@helix.eng.br

^[2] Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Av. Albert Einstein, 951 - Caixa Postal: 6021 - CEP: 13083-852 - Campinas - SP – Fone: 19 3521 2342 – Fax: 19 3521 2430 – persio@fec.unicamp.br

results show that it is possible to obtain a gain in capacity with the inclusion of reinforcement and that it is possible to reach even higher bearing capacity just adjusting the geometry of the reinforcement placement, providing an inclination to the geotextile sheet. Finally, this work adds to the understanding of the different factors affecting the complex iteration mechanisms involved in foundations over reinforced soils, a field that still needs refinement and research, new approaches and contributions.

PALAVRAS-CHAVE: Geotêxtil, Capacidade de Carga de Fundações, Solo Reforçado, Modelo Reduzido, Solo arenoso fofo.

INTRODUÇÃO

São características comuns dos solos as descontinuidades, grandes variações granulométricas, baixa resistência à tração/cisalhamento, grande variação de permeabilidade, elevadas deformabilidades e altos graus de erodibilidade. Devido às respectivas características, as obras de engenharia sempre procuram por áreas mais nobres, por solos homogêneos, mais resistentes, sem a presença de água, pouco deformáveis e pouco erodíveis, mesmo que isso represente um aumento de custo. Entretanto, o crescimento urbano associado ao porte das obras da engenharia moderna, restrições ambientais, prazos exíguos e demais fatores determinantes, acabam restringindo a escolha de um local adequado para a implantação do empreendimento em estudo.

Com o fator de escolha prejudicado e o agravante de que os melhores locais já abrigam construções, as áreas mais nobres passam a ser supervalorizadas. Desse modo o engenheiro necessita aprender a lidar com as situações adversas e passar a utilizar ferramentas geotécnicas para conseguir se adequar aos esforços solicitantes da obra, fazendo o uso de travamentos, inclusões e reforços dependendo das condições do maciço em estudo.

Para os solos com baixa capacidade de suporte, como o caso da areia fofo objeto desse estudo, os geossintéticos vêm desempenhando um papel fundamental, resultando em soluções mais rápidas, leves, esbeltas, confiáveis e econômicas. A fim de aumentar a capacidade de carga em fundações diretas, os geossintéticos são introduzidos no solo em uma ou mais camadas do solo da fundação.

Vertematti (2004) ressalta que o uso de geossintéticos como reforço de fundações diretas não é prática comum no Brasil, nem no âmbito internacional. Estudos (modelos numéricos, modelos reduzidos, modelos em centrifugas e modelos de verdadeira grandeza) vêm mostrando um ganho significativo de desempenho em relação às fundações diretas convencionais, mas a implementação em obras geotécnicas ainda encontra resistência no meio técnico, provavelmente pela falta de experiência prática e de casos históricos.

Segundo Vertematti (2004) e Fabrin (1999), há mais de quatro décadas os benefícios dos efeitos usando um reforço planar para aumentar a capacidade de carga de uma areia vem sendo estudado por vários pesquisadores.

Embora já estudada desde a década de 1980, as fundações apoiadas em solos com geossintéticos necessita de mais pesquisas teóricas e experimentais, tendo em vista que as metodologias de cálculo disponíveis são conservadoras e pouco realistas. O tema, portanto, trata-se de um assunto que ainda deverá ser objeto de estudos mais aprofundados em função de todas as variáveis envolvidas no processo.

Contudo ainda é um desafio ao meio técnico geotécnico e uma fonte pouco explorada de pesquisa em função de sua ampla área conceitual e teórica, além de todas as condições de contorno possíveis para investigação de resposta de comportamento.

Dessa forma, o intuito desse trabalho é apresentar e confrontar os resultados obtidos para um conjunto de situações de contorno bem definidas (solo arenoso fofo, carregamento vertical, estado plano de deformação, fundação superficial, reforço em geotêxtil tecido) e também pesquisar uma disposição geométrica de posicionamento de reforço que apresente uma reposta mais eficiente que o posicionamento horizontal planar.

MATERIAIS E MÉTODOS

Apresenta-se a metodologia de construção de um modelo em escala reduzida de uma fundação superficial no estado plano de deformação. Basicamente, propõe-se um modelo para avaliar a capacidade de carga de uma sapata corrida sobre solo arenoso fofo, com a introdução de uma única camada de reforço em geotêxtil, e parâmetros geométricos devidamente pautados por estudos consagrados discutidos no trabalho, buscando um aumento do BCR (*Bearing Capacity Ratio*) e atenuação de deformações.

$$BCR = \frac{q_R}{q_{ult}}$$

onde q_R e q_{ult} são as capacidades de carga do solo reforçado e não reforçado, respectivamente.

Propõe-se observar todo o processo de propagação de tensões, mobilização de resistência e deslocamentos, através de uma interpretação fotográfica de cada estágio de carregamento do modelo. Uma nova proposta de posicionamento do geotêxtil, diferente da planar horizontal, visando também aumentar o BCR e atenuar as deformações do sistema, encontra-se também descrita.

Os principais elementos do modelo experimental em escala reduzida são o tanque de ensaio, a sapata corrida, o sistema de carregamento, o geotêxtil e a areia. Tais elementos encontram-se descritos e devidamente apresentados a seguir.

Tanque

A sapata corrida corresponde ao estado plano de deformações. Segundo Sadoglu *et al.* (2009), existem duas condições para garantir o estado plano de deformações. A primeira impõe que a deformação longitudinal do sistema seja “zero”. Isso implica que os planos frontais e traseiros do modelo têm que ser suficientemente rígidos para garantir tal condição. A segunda condição impõe que o atrito entre o solo e as faces internas frontais e traseiras seja zero. Isso implica que as faces internas não podem oferecer nenhum atrito com o solo.

Se tais condições não podem ser respeitadas integralmente, algum critério deve ser estabelecido para que o modelo fique concebido de forma a chegar o mais próximo possível de tais condições, caso contrário os resultados experimentais não serão representativos para o caso de estado plano de deformações.

As dimensões internas do tanque para o ensaio são de 964 mm de comprimento, 202 mm de largura e 682 mm de altura. As dimensões externas são de 1000 mm de comprimento, 227 mm de largura e 700 mm de altura. A traseira, as laterais e o fundo do tanque foram executados em madeira de compensado naval de 18 mm de espessura e a parte frontal da caixa foi executada em acrílico translúcido polido de 7 mm de espessura para a observação das deformações do material de fundação e a possível superfície de ruptura.

Todo o conjunto de composição do tanque (chapas de madeira e chapa acrílica) foi parafusado, garantindo as dimensões internas e externas rigorosamente precisas. Para conferir rigidez, intertravamento das arestas da caixa e restrição de deslocamentos, cantoneiras em aço foram integradas e soldadas de forma a coroar a parte superior e inferior do tanque. As cantoneiras de abas iguais possuem altura de 38,1 mm (1 1/2”) e espessura de 3,715 mm (1/8”).

Na parte frontal da caixa pode-se observar que as cantoneiras de abas iguais foram soldadas de forma a se obter a configuração de um “T”. Conferindo ainda mais rigidez na face frontal e impedindo qualquer tipo de deslocamento, flambagem ou flexão na região das arestas do tanque, em função da menor espessura da chapa acrílica e da ordem de grandeza do carregamento aplicado.

Ainda, a meia altura do tanque foi introduzido um sistema de eliminação de possíveis flexões do material acrílico, composto por uma duas cantoneira de abas iguais com 50,8 mm (2”) de altura e 6,35 mm (1/4”) de espessura, uma na parte frontal e outra na parte traseira ligadas por um sistema de parafusos, arruelas e porcas presos com pressão.

Todas as paredes internas de madeira do tanque têm suas faces livres de qualquer saliência e acabamento interno em lâminas de fórmica polidas. A face interna acrílica teve um polimento executado mecanicamente.

Todos esses cuidados foram tomados para minimizar ao máximo qualquer tipo de atrito lateral e possíveis deformações do tanque, garantindo assim uma situação muito próxima ao estado plano de deformações.

Pode-se observar que a face translúcida exterior tem uma malha que serve de referência de escala e simetria para construção do modelo, as linhas são compostas por um eixo central de simetria (azul), linhas formando camadas de 2,5 cm (preto) e linhas guia formando camadas de 10 cm.

Todas as considerações relacionadas ao tanque de ensaio podem ser conferidas na Figura 1.



Figura 1. Disposições gerais do tanque de ensaio.

Modelo da fundação

A sapata de fundação possui: 200 mm comprimento, 100 mm largura (B) e 12,7 mm espessura, como pode ser observado na Figura 2.



Figura 2. Sapata de fundação

A espessura e o material (Alumínio) foram adotados de forma a conferir rigidez à sapata, com tal premissa atendida, a fundação pode ser enquadrada na condição rígida. A base da sapata foi preparada com uma mistura de areia da fundação e cola, conferindo a condição de fundação rugosa, e dessa forma, criando força atrito entre a base da fundação e o solo.

Na porção central da sapata foi executado um rebaixo esférico com raio compatível com uma esfera de metal, cuja finalidade é de transmitir os esforços pontualmente possibilitando giro da fundação.

Segundo Simons & Menzies (1981), a profundidade $z = 4.B$ numa sapata corrida, corresponde à propagação de 10% do bulbo de tensões da sapata. Segundo Fabrin (1999), há um consenso entre os diversos autores, de que o comprimento do geossintético deve ser de aproximadamente de $5.B$ para uma melhor eficácia do reforço. Isso justifica as medidas do tanque de ensaio se precavendo de possíveis interferências e limitações.

Areia

O material provém de cavas de extração da cidade de Americana – SP. A distribuição granulométrica do material foi obtida utilizando-se a metodologia preconizada na NBR 7181:1984 e a preparação das amostras de acordo com a NBR 6457:1986.

Tabela 1. Propriedades da areia

Características	Valor
<i>Unified Soil Classification System</i>	SP
D ₁₀	0,11 mm
D ₃₀	0,20 mm
D ₆₀	0,30 mm
Coefficiente de uniformidade (C _u)	2,73
Coefficiente de curvatura (C _c)	1,21
Índice mínimo de vazios (e _{min})	0,50
Índice máximo de vazios (e _{máx})	0,89
Índice de vazios no ensaio (e)	0,82
Peso específico relativo dos sólidos do solo (G)	2,65
Peso específico seco mínimo	14,04 kN/m ³
Peso específico seco máximo	17,69 kN/m ³
Peso específico da areia no ensaio	14,54 kN/m ³
Densidade relativa durante o ensaio (D _r)	16,67 %
Ângulo de atrito interno (ø)	30°
Classificação da areia baseada na densidade relativa	Fofa

Trata-se de uma areia predominantemente fina a média (NBR 6502:1995), sem a presença de argila, silte ou pedregulhos. O material tem o diâmetro dos grãos variando de 0,06 a 0,60 mm, uma areia mal graduada e seca. A areia passou por um processo de secagem, no qual toda sua umidade foi removida. O conteúdo de areia utilizado no ensaio foi espalhado em lonas plásticas, ficando a altura final das camadas de areia com espessura inferior a 2 cm. Esse material foi seco ao ar livre durante o período de 2 semanas e destorroado manualmente. Testes de teor de umidade foram realizados e indicaram uma umidade inferior a 0,2 %.

O ângulo de atrito da areia foi estimado através de ensaios de cisalhamento direto na densidade relativa (D_r) utilizada na moldagem do modelo (que será detalhada no Item: Considerações construtivas e processo de ensaio) de 16,67 %, resultando aproximadamente em 30°.

O γ_s do material foi obtido através do ensaio de peso específico dos sólidos (ou dos grãos), cujo resultado obtido foi de 26,52 kN/m³. Com tal resultado foram determinados os pesos específicos máximo (segundo a NBR 12004:1990) e mínimo (segundo a NBR 12051:1990) da areia, respectivamente, 17,69 e 14,04 kN/m³. O peso específico da areia nas condições de moldagem do ensaio ficou com o valor igual a 14,54 kN/m³.

Quanto aos índices de vazios, o índice máximo detectado para a amostra foi de 0,89 e o mínimo de 0,50, o valor do índice de vazios nas condições de moldagem ficou com o valor igual a 0,82.

Com base em todos os dados apresentados, fica caracterizado o solo utilizado para apoio da fundação do modelo, demais características e o resumo geral dos dados encontrados podem ser observados na Tabela 1.

Sistema de carregamento

O sistema de carregamento é composto por um macaco hidráulico acoplado a um pórtico de aço, comumente utilizado para ensaios de elementos estruturais do tipo vigas, placas e pilares. Tal pórtico encontra-se engastado a um piso estrutural reforçado, confeccionado de forma a se obter elevada rigidez em todo o entorno do sistema de carregamento, o que garante que as deformações ficarão restritas ao solo de fundação do modelo.

O tanque de areia fica apoiado no piso reforçado. Para garantir uma altura ideal aos ensaios, vigas de concreto armado de alto desempenho foram introduzidas entre o piso e o tanque.

O sistema de carregamento possui uma capacidade de carga muito superior a ordem de grandeza dos valores encontrados nos ensaios dos modelos.

A aquisição dos valores do carregamento é feita pela leitura de um anel de carga (com capacidade de 50 kN), acoplado ao pistão do macaco hidráulico através de uma peça usinada em aço. O carregamento por sua vez, é transmitido a uma haste metálica que tem sua ponta apoiada ao modelo de fundação.

Os deslocamentos da sapata de fundação são observados através de dois relógios comparadores analógicos de precisão de centésimo de milímetro, posicionados de maneira oposta na porção central da sapata de fundação. Cada relógio pode medir deslocamentos de até 30 mm, o que corresponde a um recalque de 30% da largura da fundação do modelo.

As bases magnéticas que estão afixadas em cantoneiras de abas iguais, presas ao topo metálico do tanque de ensaio, funcionam como suporte para os relógios comparadores.

O carregamento é aplicado através de estágios de cargas, a quantidade de estágios é dimensionada de forma a se conseguir uma curva carga x recalque bem definida, ou seja, os estágios são porcentagens de um carregamento de ruptura, seja a ruptura convencional ou física.

Em função do material de fundação do modelo (solo arenoso) possuir recalques predominantemente de natureza instantânea, cada estágio de carga somente é avançado quando se obtiver uma estabilização de recalques da ordem de 0,01 mm / minuto.

Geotêxtil

O geotêxtil tecido utilizado no reforço da fundação do modelo tem suas características expressas na Tabela 2.

Tabela 2. Características do reforço

Características	Valor / especificação
Tipo de geotêxtil	Tecido
Tipo de fibra	Polipropileno
Sigla	MacTex®T 200
Peso (Gramatura)	140 g/m ²
Extensão máxima	15%
Resistência à tração	24 kN/m
Resistência ao estouro	2,48 MPa
Fluxo de água	10 l/s/m ²

Considerações construtivas e processo de ensaio

Muitos procedimentos foram tomados com relação à concepção da metodologia construtiva do modelo.

A garantia da reprodutividade da porosidade (e como conseqüência da densidade relativa) do solo entre ensaios é alcançada através da definição de um procedimento de moldagem do modelo. Neste caso, optou-se pela moldagem através do procedimento de chuva de areia. Especificamente, definiu-se uma vazão constante de queda de areia através de um aparato aplicador, e calibrou-se a densidade do material como função da altura de queda da areia, medida entre o fim do dos furos do aparato e a superfície do modelo.

Para o caso do modelo em estudo optou-se por uma moldagem que gera uma densidade relativa (D_r) de 16,67%, ou seja, uma areia fofa. Tal situação faz com que a areia do modelo apresente um índice de vazios (e) igual a 0,82 e um peso específico igual a 14,54 kN/m³.

Para garantir tais características, o processo de moldagem deve seguir algumas etapas. Como a parede frontal translúcida da caixa de ensaio apresenta uma malha quadrada primária de graduação 10 cm, uma secundária de graduação 2,5 cm e as geometrias internas e externas do tanque de ensaio são controladas, é possível estabelecer o quanto de massa de areia nas condições do ensaio será necessária para preencher cada camada de 2,5 cm de altura de areia no tanque.

O processo de chuva de areia, com o aparato aplicador a uma altura de queda de 10 cm, garante as características necessárias à areia do modelo. Com o peso específico da areia e o volume da cada camada (4868,20 cm³) é possível inferir que a massa a ser moldada em cada camada é de 7077 g.

Inicialmente pesa-se a quantidade de areia necessária para confecção da meia camada com uma balança de precisão de 1g. A areia após sua pesagem é introduzida no interior do aparato. O aparato aplicador é tampado e a altura de queda é conferida através de um barbante com 10 cm de comprimento.

Em seguida, é iniciada a confecção da primeira metade da camada do modelo e o procedimento é repetido para a segunda metade da camada, com isso têm-se a primeira camada confeccionada. Ao término da construção da camada, pequenas imperfeições e variações de alturas do material são regularizadas com uma régua de tamanho igual à largura interna da caixa, dando o acabamento final para cada camada de 2,5 cm de altura, pode-se observar que a montagem atende as premissas iniciais, pois o material fica com o volume de cálculo estipulado. O procedimento é repetido até que se chegue à cota final de apoio da sapata.

Quanto ao posicionamento do reforço, optou-se, baseado na revisão bibliográfica, buscar uma configuração que otimize o BCR (*Bearing Capacity Ratio*), para uma camada única de reforço planar. Dessa forma a posição escolhida para a camada única de reforço planar foi de $u = 1/3.B$ e $l = 5.B$ (onde u é a distância entre a base da fundação à primeira camada de reforço, l é o comprimento do reforço e B a largura da fundação).

Nos ensaios com reforços, a aplicação do material geossintético de reforço ocorre nas cotas pré-determinadas com a regularização do material de fundação. O reforço é colocado sobre a areia e em seguida é reiniciado o processo de confecção até a cota de apoio da sapata.

Ao se atingir a cota da sapata é realizada a montagem do sistema de carregamento. A sapata é apoiada sobre a superfície regularizada no eixo de simetria do tanque de ensaio, uma esfera metálica é colocada no rebaixo da sapata de fundação e a haste metálica é baixada pelo macaco hidráulico até tocar a esfera metálica. A partir de então, todas as leituras iniciais são anotadas.

As leituras do sistema de carregamento são realizadas em pares de leituras de deformação (relógio esquerdo e direito) e uma leitura de carga após a estabilização dos recalques a cada estágio de carga. Para a leitura de deformação é realizada uma média entre os deslocamentos esquerdo e direito. Com os dados é montada uma curva de carga x recalque para cada situação analisada do modelo.

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

O programa de ensaios contou inicialmente com a avaliação de um modelo sem reforço (três ensaios considerados).

Posteriormente foi introduzida uma camada de reforço planar em geotêxtil no modelo (três ensaios considerados), cujas disposições construtivas e geométricas encontram-se devidamente justificadas. O posicionamento do reforço foi escolhido visando gerar a maior resposta de capacidade de carga do sistema, baseado nos resultados de trabalhos com características semelhantes.

Por fim, pesquisou-se um posicionamento geométrico diferente do reforço planar horizontal tradicional.

Com todos os dados dos casos com e sem reforço planar horizontal, buscou-se uma nova forma de disposição geométrica do reforço geossintético, na qual fosse possível aproveitar-se de artifícios que pudessem dar maior capacidade de resposta do sistema, quanto à capacidade de carga, sem que o reforço tivesse que sofrer as grandes deformações do caso planar horizontal para começar a trabalhar.

Postulou-se que se o reforço fosse posicionado com uma angulação inicial (em relação à horizontal) na zona de grande deformação abaixo da fundação (cunha de ruptura), possivelmente poderia haver uma melhoria na capacidade de carga, pois o geotêxtil não haveria de ter uma deformação tão significativa para começar a contribuir na melhoria de capacidade de carga.

Para tanto, avaliou-se quatro novas propostas (Figuras 3 e 4) de posicionamento reforço (um ensaio considerado por proposta) que podem ser executadas com abertura de vala com volume de escavação similar ao da configuração tradicional.

A primeira proposta (Figura 3) avalia o reforço com uma pequena inclinação no eixo de simetria de 16,67 cm, metade do espaçamento da distância da base da fundação a profundidade de aplicação da parte horizontal do reforço. Lembrando que a altura da parte horizontal do reforço é de 3,33 cm ($1/3 B$) e o fim da transição da inclinação do reforço se dá a 10 cm do eixo de simetria (igual à largura da sapata)

A segunda proposta (Figura 3) avalia a mesma composição anterior aplicada a uma profundidade mais próxima à superfície (2 cm).

A terceira proposta (Figura 4) guarda todas as características da segunda proposta, porém com uma inclinação mais protuberante, igual a 3,33 cm (1/3 B).

Por fim, a quarta proposta (Figura 4) avalia uma situação bastante próxima a primeira proposta, porém, com a inclinação do reforço a um mesmo valor da profundidade da parte horizontal de 3,33 cm.

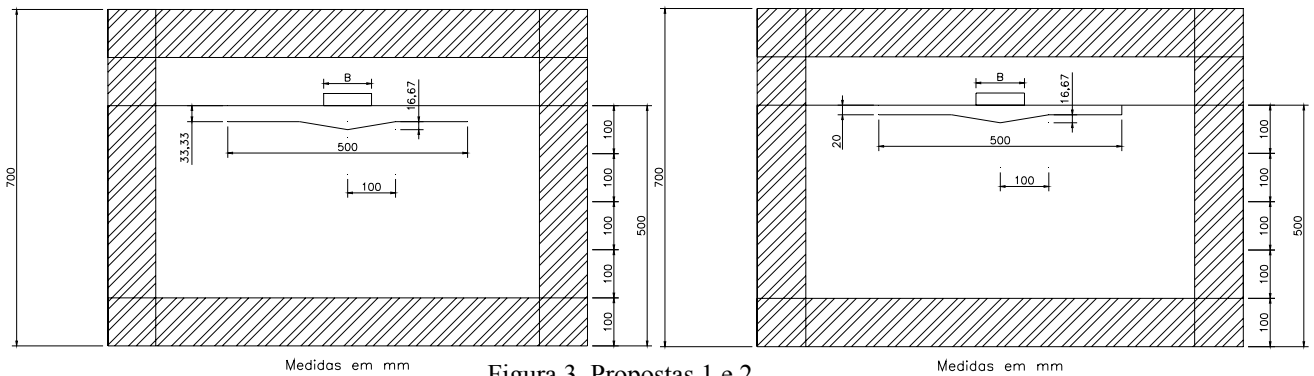


Figura 3. Propostas 1 e 2

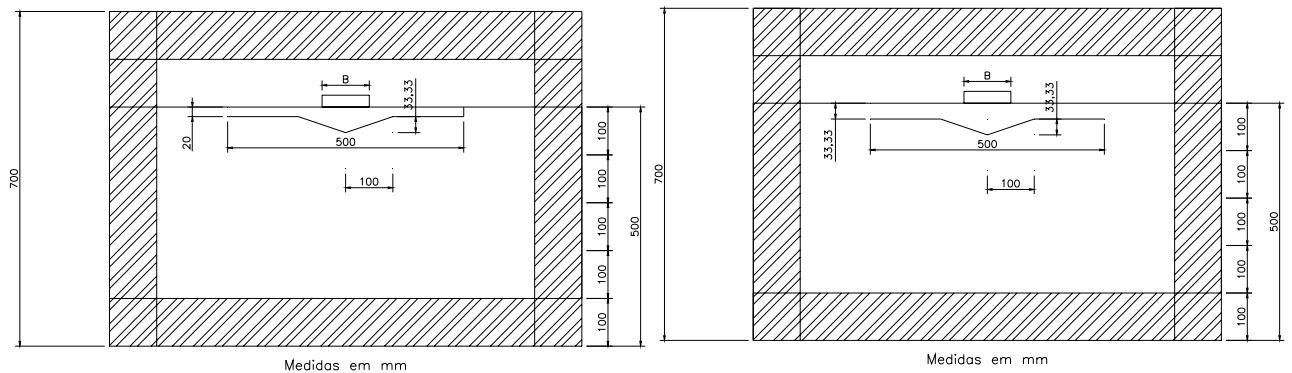


Figura 3. Propostas 3 e 4

Resumo dos resultados

Aplicando o conceito de BCR (*Bearing Capacity Ratio*), é possível estabelecer as comparações.

Tabela 2. BCR's de todas as configurações estudadas

s/B				Reforço planar
5%	10%	15%	20%	
BCR				
1,22	1,29	1,35	1,44	Reforço planar
1,23	1,33	1,40	1,53	1ª Proposta
1,12	1,23	1,34	1,47	2ª Proposta
1,52	1,48	1,57	1,74	3ª Proposta
1,79	1,71	1,82	1,98	4ª Proposta

A superposição dos gráficos de carga x recalque (Figura 04), aliada a Tabela 02, aponta uma considerável melhoria em comparação ao reforço planar horizontal.

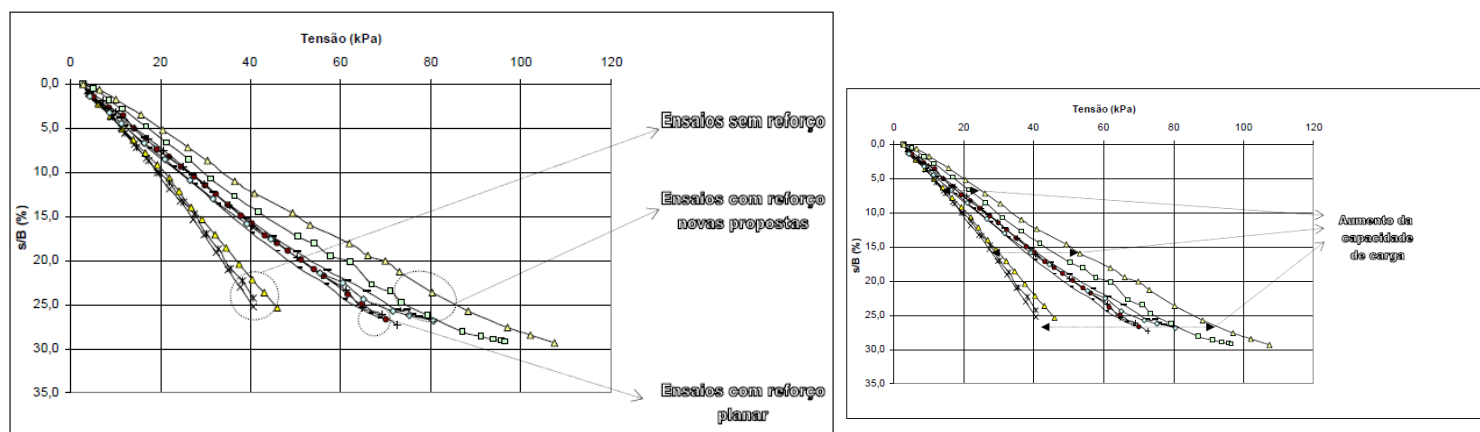


Figura 4. Superposição das curvas carga x recalque

CONCLUSÕES

O presente artigo apresentou uma investigação sobre o comportamento de uma areia fofa reforçada com uma única camada de geotêxtil. Todos os dados apresentados nesse estudo comprovam que a inclusão de reforço no solo gera um aumento na capacidade de carga e atenuação de deformações. Porém, o estudo mostra que novas disposições geométricas, podem melhorar ainda mais o ganho de capacidade de carga.

Baseado nos resultados dos estudos experimentais pode-se chegar às seguintes conclusões:

A areia fofa sofre ruptura pelo mecanismo de puncionamento para as condições com e sem reforços estudadas.

Uma angulação no posicionamento do geotêxtil gera uma melhora na resposta da capacidade de carga do sistema solo-reforço.

É possível, com volumes de escavação praticamente semelhantes e a mesma quantidade de material de reforço empregado, chegar a capacidades de carga superiores a configurações convencionais ótimas de reforço (planar horizontal) apenas com a readequação da geometria do posicionamento do reforço.

O caso de reforço planar horizontal na profundidade ótima $1/3 B$, apresentou um BCR (*Bearing Capacity Ratio*) da ordem de 1,29, para a areia em estudo ($s/B = 10\%$).

Para grandes deformações, a partir de $s/B \geq 15\%$ a melhora na capacidade de carga e atenuação de deformações fica ainda mais evidente, ou seja, o BCR (*Bearing Capacity Ratio*) fica maior com o aumento da deformação do sistema.

O BCR, para o caso com reforço não planar (quarta proposta), chegou a um valor de 1,98 para deformações (s/B) da ordem de 20%, 1,82 para deformações da ordem de 15% e a 1,71 para deformações da ordem de 10%. Tal posicionamento geométrico foi o que gerou os maiores índices de BCR do estudo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6502 - Rochas e solos, Rio de Janeiro, 1995.

_____. NBR 6457: Amostras de solo: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, Rio de Janeiro, 1986.

_____. NBR 7181: Solo: Análise granulométrica, Rio de Janeiro, 1984.

_____. NBR 12004: Solo: Determinação do índice de vazios máximo de solos não coesivos, Rio de Janeiro, 1990.

_____. NBR 12051: Solo: Determinação do índice de vazios mínimo de solos não-coesivos, Rio de Janeiro, 1990.

FABRIN, T. W. O uso de geossintéticos no reforço de fundações – aplicação ao caso de tubulações enterradas. Tese de mestrado, ITA - São José dos Campos, 219 pág., 1999.

SADOGLU, E.; CURE, E.; MOROGLU, B.; UZUNER, B. A. Ultimate loads for eccentrically loaded model shallow strip footings on geotextile-reinforced sand. *Geotextiles and Geomembranes*, Volume 27, Issue 3, June 2009, Pages 176-182, 2009.

SIMONS, N. E.; MENZIES, K. E. Introdução à Engenharia de Fundações. Tradução do inglês (edição de 1977). Rio de Janeiro: Interciência. 199p, 1981.

VERTEMATTI, J. C. Manual Brasileiro de Geossintéticos. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.