

AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE EM MODELO REDUZIDO PARA A REALIZAÇÃO DE PROVAS DE CARGAS ESTÁTICAS EM PLACAS NO MUNICÍPIO DE CASCAVEL/PR.

YGOR TOMÉ DA SILVA^{1*}; MAYCON ANDRÉ DE ALMEIDA²

¹Discente, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel-PR, ygor.tome@hotmail.com;

²Mestre em Engenharia, Prof. Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel-PR, mayconalmeida@creapr.org.br

RESUMO: Segundo as normas, a prova de carga deve ser realizada em sua etapa inicial, antes da execução de um projeto. Sua utilização não é recomendada como meio para ver se a fundação está boa ou ruim e sim para projetar melhor e com mais segurança, com estimativas mais precisas de recalques e do comportamento do solo mediante solicitações. Esse estudo tem como o objetivo avaliar se é possível estabelecer uma relação entre os resultados de uma prova de carga em placa num sistema em miniatura, realizada em laboratório com solo compactado, com situação de campo sob mesmas condições, porém em escala real. Dessa maneira foi criado um protótipo para realização de provas de carga em placa diante as proporcionalidades menores dos equipamentos, em um solo com características superficial laterítico e colapsível, extraído do campo experimental. O estudo expôs à notoriedade de efetivar mais trabalhos na área de fundações superficiais, diminuindo as complicações quanto aos recalques, devido à falta de conhecimento da real carga admissível do solo, pois com a utilização de um possível protótipo poderemos ter compressão nos resultados, podendo gerar economia e realizar os ensaios de prova de carga, assim economizando no tempo e no aproveitamento dos materiais, sendo que haveria facilidade em executar um ensaio.

PALAVRAS-CHAVE: Prova de carga em placas. Fundações superficiais. Recalques excessivos.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Russi (2007), o dimensionamento de fundações superficiais requer que o profissional defina de forma clara e objetiva a relação da segurança da capacidade de carga e recalque a qual a estrutura está sujeita.

Segundo a ABNT NBR 6122 (2019), fundações superficiais são elementos de fundação em que a ação é transmitida predominantemente pelas pressões distribuídas sob a base da fundação, e em que a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente é

inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação, este tipo de fundação também chamada de direta ou rasa.

O solo é o elemento mais empregado na Engenharia Civil, pois é existente em todas as obras, seja como elemento de construção ou sustentação de carga. Na Região Sul do Brasil os solos superficiais dominantes são os lateríticos e colapsíveis, que geologicamente localizam-se na Bacia do Paraná e são originários do basalto. Esses solos são porosos, não saturados e podem sofrer uma significativa redução de volume quando saturados e também com ou sem aplicação de carga.

As provas de carga estáticas são um dos ensaios de campo mais importantes no cenário da engenharia de fundações. Essa expressão é simplesmente fundamentada pela segurança dos resultados e informações relacionadas à capacidade de carga e deformações, sejam dos solos e/ou do conjunto solo-elemento de fundação. As provas de carga avançam no seu desenvolvimento para proporcionar de forma mais específica às condições previstas para execução de fundações, assim aperfeiçoando a precisão, rapidez e gerando economia.

Os resultados deveram ser expostos de modo a considerar a relação do modelo de protótipo, bem como as camadas influenciadas de solo, para buscar reproduzir o comportamento da solicitação de uma fundação e a instalação de uma placa circular rígida de aço na mesma cota de projeto, e aplicação de carga, em estágios, com medida simultânea dos recalques, assim obtendo os resultados do ensaio com a curva tensão versus deslocamento. O ensaio de prova de carga em placa será realizado conforme as normas da ABNT NBR 6489 (2019).

É de grande importância o desenvolvimento dos aparatos de ensaios e a relevância da utilização em escala reduzida e às peculiaridades dos solos, esse sistema expressa resultados práticos adequados para a avaliação das propriedades reais, auxiliando na escolha dos materiais mais adequados para determinar a obra, assim diminuindo a quantidade de insumo e aumentando a produtividade.

Os avanços tecnológicos que vêm sendo obtidos na construção civil devem ser acompanhados pelo desenvolvimento e aplicação de ensaios específicos para a determinação do comportamento e capacidade de carga do solo, e desta maneira criar uma metodologia própria para a previsão do comportamento de recalques em fundações superficiais.

Nessa perspectiva, a pesquisa teve como objetivo geral avaliar se é possível estabelecer uma relação entre os resultados de uma prova de carga em miniatura realizada em

laboratório com resultados de provas de carga em placa realizadas sob mesmas condições, no Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário Assis Gurgacz.

Assim, para que o objetivo geral seja alcançado, os seguintes objetivos específicos tiveram de ser atingidos:

- Elaborar projeto para prova de carga em menor escala;
- Montagem de caixa e determinação de condições de compactação para o solo;
- Avaliar os resultados obtidos e compará-los com as provas de carga reais realizadas no CEEF, avaliando se o sistema é eficaz ou não.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Solos

Segundo Pinto (1998), os solos são constituídos a partir da decomposição de rochas por intervenções físicas e químicas. As partículas resultantes desta decomposição possuem características da composição da rocha base.

Segundo Lepsch (2016), a estrutura do solo é característica essencial porque faz com ele seja um meio poroso. Um grande número de propriedades físicas e processos biológicos e químicos são afetados pelo tipo, tamanho e grau de desenvolvimento dos agregados do solo, tais como maior ou menor permeabilidade a água, clareza de penetração das raízes e grau de aeração.

De acordo com Caputo (1988), os solos são materiais que resultam do intemperismo ou meteorização das rochas, por desintegração mecânica ou decomposição química. Por desintegração mecânica, através de agentes como água, temperatura, vento, sendo que se formam os pedregulhos e areias e até mesmo os siltes e, somente em condições especiais, as argilas.

Por decomposição química entende-se o processo em que há modificação química ou mineralógica das rochas de origem. Sendo que o principal agente a água e os mais importantes mecanismos de ataque são a oxidação, hidratação, carbonatação e os efeitos químicos da vegetação. As argilas representam o último produto do processo de decomposição.

Segundo Caputo (1988), solos residuais são os que permanecem no local da rocha de origem, observando-se uma gradual transição do solo até a rocha. Dentre os solos residuais os

solos lateríticos, os colapsíveis, os porosos e os solos sedimentares, que são os que sofrem a ação de agentes transportadores, podendo ser aluvionares quando transportados pela água, eólicos quando pelo vento, coluvionares pela ação da gravidade e os glaciais pelas geleiras.

2.1.1 Solos lateríticos

De acordo com Nogami e Villibor (1995), os solos lateríticos são solos típicos das regiões de clima tropical e subtropical descendentes do intenso intemperismo físico e químico das rochas devidos às alternâncias climáticas. No Brasil, país de clima predominante tropical, os solos lateríticos cobrem aproximadamente 70% do seu território, sendo a sua amplitude geográfica o fundamental motivo da relevância do estudo desse solo.

De acordo com Vargas (1977), a infiltração da água nas camadas superficiais causa a percolação das porções finas e óxidos de ferro para camadas mais profundas, transformando-as em mais resistentes e consequentemente autorizando que as camadas superficiais fiquem mais porosas e frágeis.

2.1.2 Solos colapsíveis

De acordo com Cintra e Aoki (2009), colapso é um fato que ocorre em certos solos porosos não saturados ao terem sua umidade aumentada, perante uma carga constante. A saturação é responsável por invalidar a sucção matricial existente os vazios do solo, reduzindo a sua resistência ao cisalhamento, levando a grandes variações de volume que são identificáveis como recalques.

Segundo Mariz (1993), é um solo sofre repentinas modificações em seu comportamento tensão-deformação, na ocasião em que é umedecido, perdendo então suas características.

2.2 Recalque

De acordo com a ABNT NBR 6122 (2019), o recalque é definido pelo deslocamento vertical descendente de um elemento estrutural. No momento em que o movimento for ascendente, designa-se levantamento, estabelecido em demonstrar o recalque com o sinal positivo. A verificação do recalque pode ser feita por prova de carga ou através de cálculo por

método consagrado, teórico ou semi-empírico, sendo as propriedades do solo obtidas em ensaios de laboratório ou *in situ*, eventualmente através de correlações e levando-se em consideração as modificações nessas propriedades, causadas pela instalação do elemento de fundação.

Segundo Milititsky (2005), recalque em fundações ocorre quando o contato entre fundação e solo se rompe, concebendo assim com que a fundação afunde mais do que o planejado. Quando acontece em toda a fundação é denominado de recalque total, quando ocorre exclusivamente em um trecho é denominado de recalque diferencial.

Ainda de acordo Milititsky (2005), os prejuízos causados por recalques podem ser separados em três grupos: visuais e estéticos (sem riscos de qualquer natureza), prejuízos comprometendo o uso e funcionalidade do prédio e prejuízos estruturais transformando em risco a segurança dos usuários.

2.3 Fundações

De acordo com a ABNT NBR 6122 (2019), as fundações são consideradas rasas no momento que D/B for menor que 2 em que, D é a cota de apoio do elemento de fundação, medida em relação à superfície do terreno, e B é a menor dimensão deste elemento.

Ainda segundo ABNT NBR 6122 (2019), são abalizadas como rasas os seguintes tipos: bloco, sapata, viga de fundação e radier, sendo que bloco é elemento de fundação superficial de concreto, dimensionado de modo que as tensões de tração nele produzidas possam ser resistidas pelo concreto, sem necessidade de armadura.

Sapata é um elemento de fundação superficial de concreto armado, dimensionado de modo que as tensões de tração nela produzidas não sejam resistidas pelo concreto, mas sim pelo emprego da armadura. (ABNT NBR 6122, 2019).

Viga de fundação é um elemento de fundação superficial comum a vários pilares, cujos centros, em planta estejam situados no mesmo alinhamento. (ABNT NBR 6122, 2019).

Radier é um elemento de fundação superficial que abrange todos os pilares da obra ou carregamentos distribuídos. (ABNT NBR 6122, 2019).

2.4 Ensaios de prova de carga em placas

Segundo Décourt e Quaresma Filho (1996), a prova de carga estática é um relevante aparato para obter a capacidade e as condições que uma fundação está sujeita, sendo que proporciona a curva tensão versus deformação, distinguindo a verdadeira grandeza, os carregamentos reais de uma construção, demonstrando a determinação da fundação a essas cargas; além disso, a aplicação desse ensaio é de grande amplitude para a avaliação dos parâmetros geotécnicos e para a segurança das fundações, assim permitindo a utilização desse tipo de fundação de maneira segura e econômica.

De acordo Milititsky (1991), a prova de carga é o melhor modo para reproduzir as condições reais da fundação, nos aspectos referentes à geometria, à técnica construtiva e ao tipo de carregamento. Assim, podem prever o comportamento do elemento de fundação, depois de ser executado na obra.

Segundo a ABNT NBR 6122 (2019), para a determinação da tensão máxima de uma fundação superficial, existem métodos clássicos como: Métodos teóricos; Prova de carga sobre placa; Métodos semi-empíricos e Métodos empíricos.

Os métodos teóricos são denominados os atributos de compressibilidade e resistência ao cisalhamento do solo e outros métodos eventualmente indispensáveis, a pressão admissível pode ser definida por meio de teoria concebida na Mecânica dos Solos, levando em conta eventuais inclinações da carga do terreno e excentricidades.

A prova de carga sobre placa é um ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR 6489 (2019), cujos resultados devem ser interpretados de modo a levar em conta as relações de comportamento entre a placa e a fundação real, bem como as características das camadas de solo influenciadas pela placa e pela fundação.

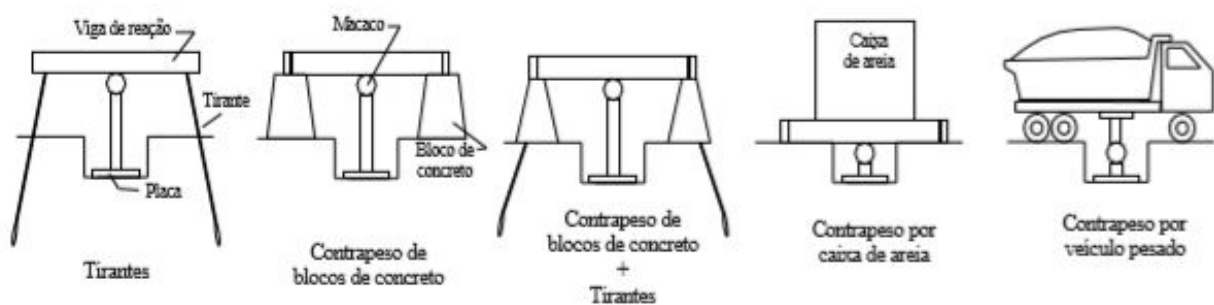
Sendo que os métodos semi-empíricos são considerados aqueles em que as essências dos materiais são bem conceituadas com base em correlações e são usadas em teorias de Mecânica dos Solos, integrada para incluir a natureza semi-empírica do método. Quando métodos semi-empíricos são usados, devem-se apresentar argumentos, apresentando a origem das correlações.

Enquanto os métodos empíricos são considerados aqueles pelos quais se advertem a uma pressão admissível com base na definição do terreno, especificação e explicação da compacidade ou consistência através de averiguação de campo e/ou laboratoriais.

Segundo Décourt e Quaresma Filho (1996), o ensaio em placa estabelece o modo mais adequado para se determinar as características deslocamento versus tensão para fundações diretas. A utilização não frequente desse ensaio se deve a obstáculos nas áreas técnica e econômica.

Segundo Mello e Teixeira (1968), o ensaio de placas consiste em um sistema que busca apresentar a atuação de uma fundação em escala quase natural. As deformações do solo abaixo das sapatas podem ser de dois tipos: compressibilidade por redução do volume, e cisalhante por mudança de forma, sendo que o recalque total é obtido pela soma das deformações. De modo que, o aspecto de maior importância se refere ao sistema de reação que pode ser variado, conforme Figura 01, que deve ser suficientemente resistente para resistir às cargas aplicadas, sem apresentar grandes deformações.

Figura 1 – Tipos de sistema de reação



Fonte: Autor (2019).

De acordo com Cudmani (1994), o ensaio de placa demonstrou ser apropriada a análise do comportamento de fundações superficiais feitos em solos residuais parcialmente saturados, a adequada análise propõe resultados para a determinação das camadas do solo, o entendimento do mecanismo de ruptura, e a previsão de propriedades do material.

Referente à Décourt (1994), o chamado efeito escala na veracidade não existe desde que ao invés de deformações absolutas sejam consideradas as deformações relativas, ou seja, as deformações reais divididas pela largura da fundação.

Segundo Vianna (2005), acontece o efeito escala se as curvas tensão versus recalque de placas e sapatas com diferentes dimensões não tenderam para uma única curva quando adimensionalizadas, assim as tensões, dividem a capacidade de carga e adimensionam os recalques sofridos.

2.5 Ensaio para compactação de solos

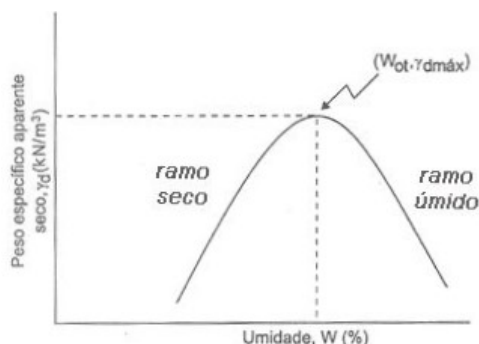
De acordo com a ABNT NBR 7182 (2016), o ensaio de Proctor Normal propõe analisar as propriedades de teor de umidade peso específico seco e energia de compactação. As informações extraídas através deste ensaio são aplicadas em execução de aterros, camadas constituídas de pavimentos, fundações, muros de arrimo, barragens, entre outros.

Segundo Carter (1990), a compactação é um método de estabilização e melhoria do solo através de processo manual ou mecânico, visando reduzir o volume de vazios do solo. A compactação tem em vista dois aspectos: aumentar a intimidade de contato entre os grãos e tornar o aterro mais homogêneo melhorando as suas características de resistência, deformabilidade e permeabilidade.

Referente à Burmister (1964), o ensaio de compactação fundamenta-se na execução de certa energia de compactação com número de golpes de um soquete sobre o solo contido em um cilindro, a massa específica decorrente em função da umidade em que o solo estiver, assim quando se compacta com umidade baixa, o atrito as partículas é muito alto e não se consegue uma significativa redução de vazios. Para umidades mais elevadas, a água provoca certo efeito de lubrificação entre as partículas, que deslizam entre si, acomodando-se num arranjo mais compacto.

Proctor (1993) desenvolveu o ensaio dinâmico para a determinação da curva de compactação, conforme Figura 2 a relação entre o peso específico seco versus o teor de umidade, sendo que no ponto de inflexão da curva determinamos o teor de umidade ótimo (w_{ot}) que retrata um solo compactado com a energia do ensaio, nesse teor de umidade ele se mostrará o peso específico aparente seco máximo.

Figura 2 – Curva de compactação



Fonte: Escola Engenharia (2013).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Tipo de estudo e local da pesquisa

Trata-se um método que tem como o objetivo avaliar se é possível estabelecer uma relação entre os resultados de uma prova de carga em placa num sistema em miniatura, realizada em laboratório com solo compactado, com situação de campo sob mesmas condições, porém em escala real.

Dessa maneira foi criado um protótipo para realização de provas de carga em placa diante as proporcionalidades menores dos equipamentos, em um solo com características superficial laterítico e colapsível, extraído do campo experimental de engenharia do Centro Universitário Assis Gurgacz (CEEF), indicado na localização exposta na Figura 3.

Figura 3 - Mapa com a localização do CEEF.



Fonte: Reinehr e Junior (2018).

O estudo foi realizado no Centro Universitário Assis Gurgacz, com sede na Avenida das Torres 500, no município de Cascavel, Estado do Paraná, denominada FAG.

Na pesquisa foram realizados ensaios de prova de carga em placa em escala menor, com o auxílio de anilhas e equipamentos de menor porte em laboratório, verificando o efeito da escala e a deformação sofrida no solo. A pesquisa se sucedeu de forma quantitativa, pois nos casos de problemas pouco conhecidos e com pesquisa de cunho exploratório, assim havendo a coleta de dados para ocorrer à comparação de informações que foram obtidos em campo por Reinehr e Junior (2018).

3.2 Caracterização da amostra

Segundo Zen e Almeida (2018), por meio de variados ensaios foram determinadas às características do solo do CEEF, a primeira camada utilizada corresponde á argila siltosa de consistência muito mole à média, representada na Tabela 1.

Tabela 1: Índices físicos do CEEF.

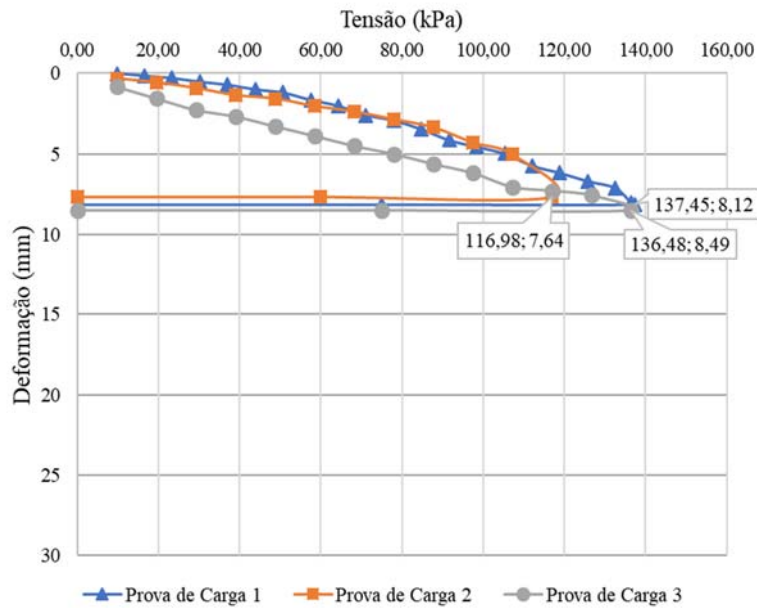
Valores médios	Camada 1 1 a 9 metros
w (%)	33
LL (%)	53
LP (%)	38
IP (%)	15
γ_d (kN/m ³)	12
γ_s (kN/m ³)	27
γ_{sat} (kN/m ³)	17
Sr (%)	55
Argila (%)	70
Silte (%)	25
Areia (%)	5
Consistência	Muito mole à média
Índice de vazios (e)	1,22

Fonte: Zen e Almeida (2018).

Outro aspecto de grande importância na região de Cascavel é a colapsibilidade do solo da primeira camada do CEEF, que influencia no comportamento das fundações quando em condições próximas à saturação e com carregamento constante perdem a resistência rapidamente, causando problemas futuros nas edificações. (ZEN E ALMEIDA, 2018).

As provas de cargas com placa realizadas em por Reinehr e Junior (2018), tiveram como objetivo avaliar a influência que a compactação exerce sobre a capacidade de carga em solo com características lateríticas e colapsíveis, obtendo os subseqüentes resultados para o primeiro ensaio de prova de carga em solo compactado levando o carregamento até 7050 kg que corresponde a 137,45 kPa de tensão e deslocamento de 8,12 mm, sendo que nos segundo e terceiro ensaios optou-se por incrementos de 500 kg, devido a rápida estabilização. Os ensaios alcançaram tensões de 116,98 kPa e 136,48 kPa, com recalque de 7.64 mm e 8.49 mm, respectivamente, como apresentados no Figura 4, pelas curvas de Tensão x Deformação.

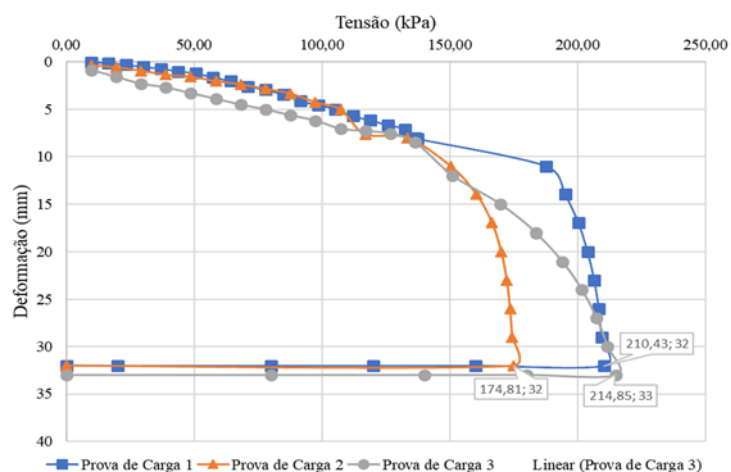
Figura 4 - Curvas de Tensão x Deformação.



Fonte: Reinehr e Junior (2018).

Segundo Reinehr e Junior (2018), o recalque foi muito pequeno durante os carregamentos e o solo não chegou a ruptura devido às limitações dos equipamentos, foi estimado, portanto a tensão de ruptura provável pelo método de Van Der Veen (1953), a fim de prolongar a curva e estimar as tensões de ruptura provável do solo nos 3 ensaios de prova de carga. O primeiro ensaio chegou a 210,43 kPa, o segundo a 174,81 kPa e o terceiro a 214,85 kPa de tensão, com deformações médias de 32 mm, representadas no Figura 5.

Figura 5 - Curva tensão versus recalque estimada pelo método de Van Der Veen.



Fonte: Reinehr e Junior (2018).

3.3 Análise dos dados

Após realizar os ensaios e obter os dados das deformações, foi avaliada a possibilidade dos dados serem utilizados em campo com a comparação dos resultados obtidos por Reinehr e Junior (2018).

De acordo Reinehr e Junior (2018), através dos ensaios pode-se observar que a compactação do solo pode aumentar a capacidade de carga, sendo assim uma boa alternativa para viabilizar a utilização de fundações rasas em solos com baixa capacidade de carga.

3.4 Elaboração de provas de carga em miniatura

A coleta do solo se deu na superfície do CEEF para a realização dos ensaios, assim podendo ser executado de maneira adequada à realização do ensaio em cada estágio, com a finalidade de medir os deslocamentos, até que se estabeleçam os critérios de estabilização formalizados pela ABNT NBR 6489 (2019).

Para a realização dos ensaios de prova de carga em placa diante da escala reduzida, foi necessário criar uma caixa para armazenar e suportar o solo compactado, feita de aço com dimensões de 35x25x25 cm (conforme Figura 6), para a compactação do mesmo foi utilizado o soquete grande, para a medição da deformação do solo foram utilizados dois relógios comparadores que são aparelhos usados para medir através da sensibilidade o deslocamento da placa com precisão, facilitando as verificações de deformações sofridas.

Figura 6 – Modelo do protótipo.



Fonte: Autor (2019)

Com a finalidade de executar o carregamento foi necessário utilizar anilhas e blocos de concreto com os pesos conhecidos para elevação de carga, quando aplicado no cilindro maciço de aço (5 cm de diâmetro e altura de 18 cm) que teve como função a transição do carregamento das anilhas e dos blocos de concreto para a placa de aço (15 cm de diâmetro e espessura de 1,5cm) utilizada para a transferência da carga recebida do maciço de aço para o solo compactado, segundo a ABNT NBR 6489 (2019) o tempo de aplicação de carga ocorreu de acordo com o critério do descarregamento, controlando elevação de carga, assim conferindo as medições de deslocamento e o acréscimo de carga aplicada nos diferentes tempos formalizados pela mesma.

3.5 Execução da compactação

O trabalho se iniciou com a retirada da amostra deformada do solo, conforme Figura 7, logo após foi feita secagem da amostra, permanecendo 24 horas em temperatura de 105° C na estufa, diante disso com uma balança foi feito a pesagem da amostra para verificar a quantidade de água que seria necessário para atingir o teor de umidade ótima.

Figura 7: Retirada do solo do CEEF e o solo separado no laboratório



Fonte: Autor (2019).

De acordo com Zen e Almeida (2018), a umidade ótima do solo foi determinada 33%, com isso tendo a massa seca de solo, ao adicionar a água com a quantidade certa para permanecer com as características de campo, podendo iniciar o ensaio de compactação.

O ensaio de compactação, conforme Figura 8, propriamente chamado de ensaio de proctor foi realizado com o solo retirado da superfície do CEEF. Foi necessário efetuar o

cálculo de energia de compactação, pois não foi o utilizado o cilindro padronizado com volume de 1000 cm³ que estabelece a ABNT NBR 6489 (2019).

Figura 8: Caixa de aço e realização da compactação.



Fonte: Autor (2019).

Diante disso, foi necessário utilizar a fórmula para o cálculo das quantidades de golpes necessários por cada camada, desta maneira a energia é em função da massa e altura de queda do soquete, do número de golpes por camada, do número de camadas compactadas e do volume de solo compactado, sendo que as demais variáveis são mantidas constantes, conforme Equação 1.

$$Ec = \frac{M \cdot H \cdot Ng \cdot Nc}{Vt} \quad (\text{Kgf/cm}^2) \quad (1)$$

Onde:

Ec = energia de compactação (kgf/cm²);

M = massa do soquete (kgf);

H = altura de queda do soquete (cm);

Ng = número de golpes por camada;

Nc = número de camadas;

Vt = Volume do cilindro (cm³).

A energia de compactação utilizada do proctor normal, de acordo com ABNT NBR 7182 (2016), é igual 6 kgf/cm², levando em consideração a utilização do soquete grande para a realização da compactação, sendo que a norma fixa as condições gerais a satisfazer a

utilização do soquete grande tem as seguintes características: Massa igual 4,536 kg e altura de queda igual 45,7 cm.

Após execução do cálculo, foi possível determinar quantidade de 123 golpes necessários para energia de compactação com o ensaio de proctor normal, que irá corresponder ao efeito de compactação com os equipamentos convencionais de campo, isso distribuído em 5 camadas.

3.6 Instrumentos e procedimentos para coleta de dados

O solo foi deixado 24 horas na estufa, após foi adicionado água para que o material chegasse à umidade ótima ($w_{ótimo}$), para a energia normal de compactação, na sequência foi compactado o solo na caixa.

Para a confirmação do peso específico aparente seco do solo compactado na caixa (γ_d), foi utilizada a Equação 2, que relacionou a massa específica natural do solo (γ_n) obtido através do método do cilindro cortante, com a umidade de compactação utilizada (w), a fim de comparar com a obtida por Reinehr e Junior (2018), para ensaios de campo, de 12,6 kN/m³.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_n}{1+w} \quad (2)$$

O ensaio de cilindro cortante pode ser verificado na Figura 09.

Figura 09: Realização do ensaio para comprovação do γ_d pelo γ_n



Fonte: Autor (2019).

Nesse contexto, pode se estabelecer os valores para a massa específica seca, deste modo foi averiguado que a compactação foi adequada e alcançou os índices almejados, conforme apontado pelos autores Reinehr e Junior (2018), e pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2: Determinação do γ_d

DETERMINAÇÃO DO γ_d (Peso específico seco)									
Cápsula	Tara cápsula (grama)	Peso solo (grama)	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Massa total (gramas)	Raio (cm)	Volume (m ³)	γ_n (kn/m ³)	γ_d (kn/m ³)
B-71	5,9	52,00	0,394	0,2215	46,10	0,197	0,0270	17,1	12,82
B-13	5,7	49,00	0,381	0,2215	43,30	0,191	0,025	17,1	12,87
B-17	5,9	51,00	0,394	0,2215	45,10	0,197	0,027	16,7	12,54

Fonte: Autor (2019).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados das Provas de Carga

Para a realização das provas de cargas no solo compactado a aplicação de carga total se deu através da aplicação de 375 kg de peso para o primeiro ensaio (PCM1) e 390 kg para o segundo ensaio (PCM2), de tal maneira que houve estabilização dos pesos para a realização dos ensaios.

Para ter resultados mais confiáveis, optou-se no trabalho em realizar 2 provas de carga em placa em miniatura, montando o protótipo, com os relógios comparadores, solo compactado, assim executando o ensaio e retirando o solo da caixa para a nova realização do ensaio.

Nos ensaios de prova de carga no solo compactado foram utilizados incrementos de carga, considerando a tensão admissível, a partir dos resultados obtidos por Reinehr e Junior (2018), com a elevação da carga utilizando dez pontos de carregamento e sempre elevando a carga com as tensões em torno de 21 kPa, aplicado outro acréscimo de tensão depois de verificada a estabilização dos recalques com tolerância máxima de 5% do recalque total entre as leituras sucessivas lidas em seus devidos tempos sempre dobrando (1,2,4,8 e 15 minutos),

conforme fixa ABNT NBR 6489 (2019), com área da placa de 0,01767 cm². Os resultados das duas provas de carga são apresentados pela Tabela 3.

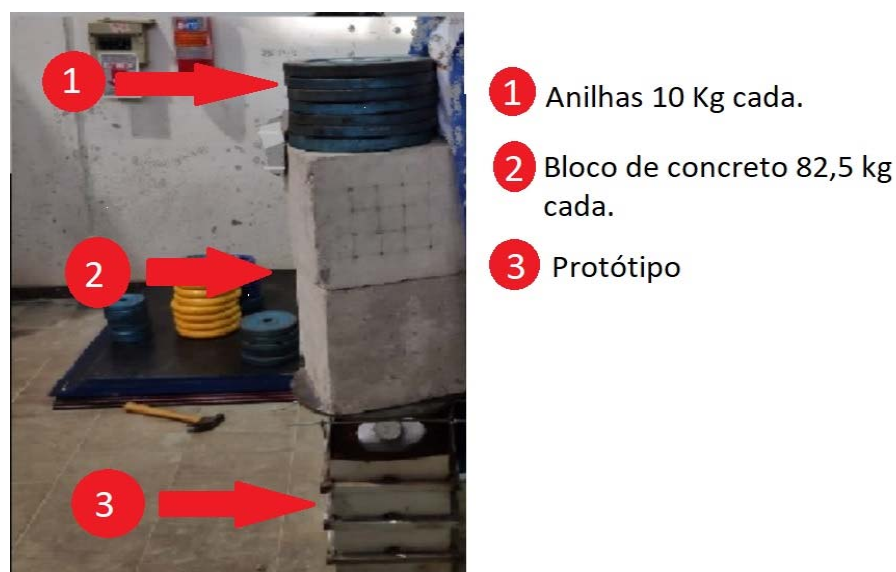
Tabela 3: Resultados dos ensaios.

Carga (kg)		Tensão (kPa)		Deslocamento (mm)	
PCM1	PCM2	PCM1	PCM2	PCM1	PCM2
0	0	0	0	0	0
35	40	19,76	22,58	0,01	0,02
70	80	39,51	45,16	0,03	0,05
110	120	62,09	67,74	0,04	0,07
135	160	76,21	90,32	0,07	0,1
180	200	101,61	112,9	0,09	0,13
210	240	118,54	135,48	0,14	0,16
240	280	135,48	158,06	0,16	0,18
290	320	163,7	180,64	0,19	0,2
335	360	189,11	203,22	0,22	0,22
375	390	211,69	220,15	0,24	0,26
187,5	195	105,84	110,08	0,21	0,24
0	0	0	0	0,19	0,21

Fonte: Autor (2019).

Resultados obtidos através da realização dos ensaios de prova de carga em miniatura, de acordo com a Figura 10, com todo o sistema estável, para a correta aplicação de carga.

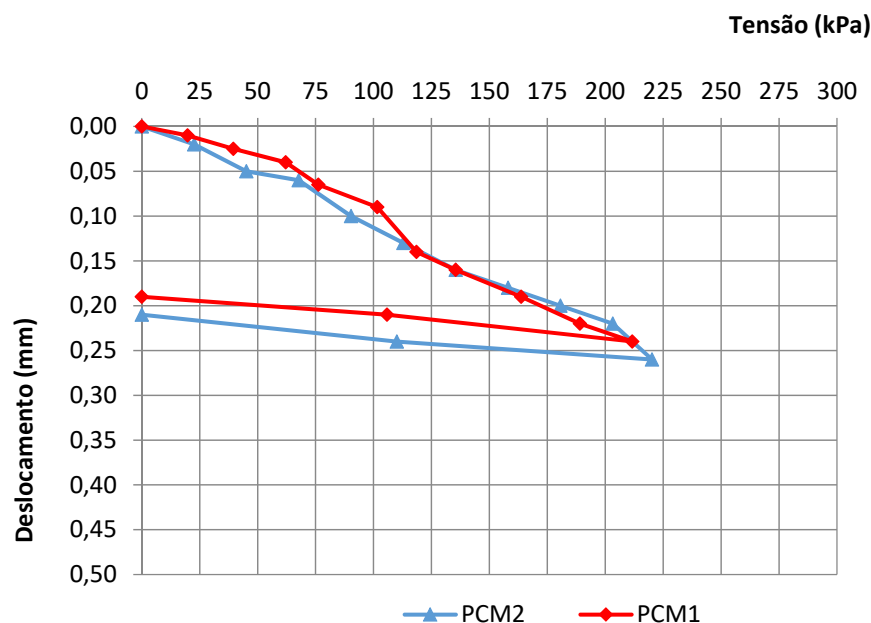
Figura 10: Execução da prova de carga e anilhas para execução do ensaio.



Fonte: Autor (2019).

Após realizar os ensaios e obter todos os dados foi possível apresentar as curvas de tensão x deslocamento, conforme Figura 11, sendo PCM1 e PCM2 as provas de carga em miniatura.

Figura 11: Curva tensão x deslocamento.



Fonte: Autor (2019).

Os valores máximos encontrados pelo protótipo foram de 0,24 e 0,26 mm, com isso, o deslocamento máximo alcançado em média foi de 0,25 mm, o que é bem baixo para os dois ensaios sendo que apresentaram resultados bem semelhantes, uma vez que houve uma boa homogeneização e compactação do solo.

4.2 Comparações com prova de carga em placa real

Como objetivo é avaliar se é possível realizar ensaios de provas de carga estáticas em menor escala no laboratório e extrapolar seus resultados para situações reais de campo com solo compactado, a partir uma regra de três utilizando a placa de 80 cm com as tensões que foram aplicadas na placa 15 cm, foi possível encontrar os deslocamentos máximos dos ensaios 1 e 2 do protótipo, conforme Tabela 7, e assim comparar com os deslocamentos encontrados em campo por Reinehr e Junior (2018).

Tabela 7: Deslocamentos em laboratório e em campo.

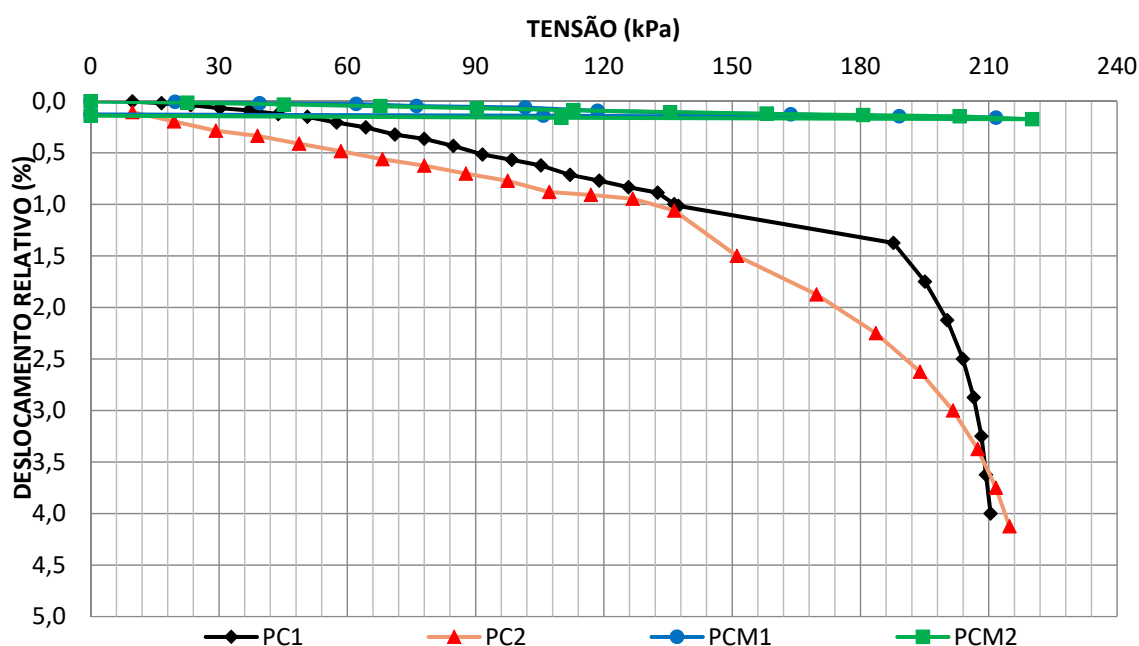
Autores	Prova de carga 1	Prova de carga 2
	Deslocamento (mm)	Deslocamento (mm)
Autor (2019)	1,28	1,39
Reinehr e Junior (2018)	32,00	32,00

Fonte: Autor (2019).

Confrontando os resultados obtidos com os ensaios, que foram norteados até a tensão de ruptura, apresentaram-se os deslocamentos variando entre 1,28 e 1,39 mm com as tensões de 211,69 e 220,15 kPa, encontrados pelo protótipo em laboratório, enquanto os resultados obtidos em campo por Reinehr e Junior (2018), com a placa de 80 cm de diâmetro foram de 7,49 e 8,49 mm com as tensões de 210,43 e 214,85 kPa.

Dessa forma, para poder comparar os ensaios, foi necessário confrontar os deslocamentos relativos das duas situações, sendo estes obtidos pela relação entre o deslocamento em campo pela dimensão da placa de ensaio. Optou-se em trabalhar utilizando o deslocamento relativo, pois o mesmo é adimensional e comparável, sendo possível a partir disto gerar curvas tensão x deslocamento para os ensaios de campo com solo compactado (PC1 e PC2) e situação de laboratório (PCM1 e PCM2), como pode ser visto na Figura 12.

Figura 12: Comparação dos resultados das provas de carga em função do deslocamento relativo



Fonte: Autor (2019).

Pode se observar pela figura que há uma baixa concordância entre os deslocamentos relativos de campo e laboratório, com a condição de laboratório apresentando menores deslocamentos relativos, possivelmente devido às condições controladas de compactação no laboratório e também devido a dimensão da caixa de compactação reduzida, que acarreta um maior confinamento do solo e consequentemente maior resistência do mesmo quando sob influência de carregamento.

A diferença média registrada de deslocamento relativo entre os 2 casos foi de 3,8% para a tensão de ruptura provável determinada em campo. Já para a tensão máxima alcançada em campo (125 kPa), essa diferença no deslocamento relativo foi de aproximadamente 0,7%, relativamente próximo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo visou avaliar se é possível estabelecer uma relação entre os resultados de uma prova de carga em miniatura realizada em laboratório com resultados de provas de carga em placa realizadas sob mesmas condições, no Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário Assis Gurgacz.

Na pesquisa foram realizados ensaios de prova de carga em placa em escala menor, com o auxílio de anilhas e equipamentos de menor porte em laboratório, verificando o efeito da escala e a deformação sofrida no solo em comparação aos resultados obtidos em campo por Reinehr e Junior (2018).

Com os resultados alcançados tornou-se capaz avaliar os deslocamentos sofridos pelo solo, através das provas de carga em miniatura 1 e 2, apresentando recalques de 1,28 e 1,39 mm, para as tensões máximas de 211,69 kPa e 220,15 kPa, respectivamente. Já a situação em campo, realizados por Reinehr e Junior (2018) para a mesma tensão, determinou-se deslocamentos estimados por Van der Veen (1953) de aproximadamente 32 mm.

Avaliando os 2 casos em função dos deslocamentos relativos, verificou-se uma baixa concordância entre os deslocamentos relativos de campo e laboratório, com a condição de laboratório apresentando menores deslocamentos relativos, possivelmente devido às condições controladas de compactação no laboratório e também devido a dimensão da caixa de compactação reduzida, que acarreta um maior confinamento do solo e consequentemente maior resistência do mesmo quando sob influência de carregamento. A diferença média registrada de deslocamento relativo entre os 2 casos foi de 3,8% para a tensão de ruptura

provável determinada em campo. Já para a tensão máxima alcançada em campo (125 kPa), essa diferença no deslocamento relativo foi de aproximadamente 0,7%, relativamente próximo.

Com isso, o estudo expôs à notoriedade de efetivar mais trabalhos na área de fundações superficiais, diminuindo as complicações quanto aos recalques, devido à falta de conhecimento da real carga admissível do solo, pois com a utilização de um possível protótipo poderemos ter compressão nos resultados, podendo gerar economia e realizar os ensaios de prova de carga, assim economizando no tempo e no aproveitamento dos materiais, sendo que haveria facilidade em executar um ensaio.

Assim por meio da realização dos ensaios notou-se que a utilização do protótipo, os resultados foram incompatíveis, com isso foi possível concluir que não obtivemos os resultados esperados, sendo que no protótipo tem que ser levado em consideração a questão da compactação, a secagem e os demais procedimentos realizado com o solo, após a finalização dos ensaios e estudos, pode se concluir que temos bases sólidas para melhorar o protótipo e futuramente ser utilizado como auxílio em laboratório.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR-7182 – **Solo – Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2016.

_____, NBR 6489 - **Prova de carga direta sobre terreno de fundação** - Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2019.

_____, NBR 6122 - **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, RJ, ABNT, 2019.

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos**. 6.ed. Rio de Janeiro, RJ, Livro técnico e científicos, 1988.

CINTRA, José Carlos A.; AOKI, Nelson. **Projeto de fundações em solos colapsíveis**. 2009.

CUDMANI, R. O. **Estudo do comportamento de sapatas assentes em solos residuais parcialmente saturados através de ensaios de placa**. Porto Alegre, RS, 1994.

DÉCOURT, L.; QUARESMA FILHO, A. R. **Estabelecimento das curvas carga–recalque de fundações através de provas de carga em mini placa.** SEFE III, p. 225-235, 1996.

GODOY, Arilda Schmidt. **Pesquisa Qualitativa - tipos fundamentais.** Revista de Administração de Empresas. São Paulo: RAE, v. 35, p. 20-29, maio/jun. 1995.

LEPSCH, Igo F. **Formação e conservação dos solos.** Oficina de textos, São Paulo, SP, 2016.

MARIZ, D. F. **Contribuição ao conhecimento do mecanismo da colapsividade de solos sesquioxídicos.** 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – RJ.

MELLO, V. F. B. de, TEIXEIRA, A. H. **Fundações e obras de terra.** São Carlos: Serviço de Publicações e encadernação da Escola de Engenharia de São Carlos, 1968.

MILITITSKY, J.; CONSOLI, N. C. E Shnaid, F. **Patologia das Fundações.** Oficina de textos, São Paulo, SP, 2005.

NOGAMI, Job Shuji; VILLIBOR, Douglas Faculd. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos.** Alegrete – RS. 1995.

RUSSI, Daniel. **Estudo do comportamento de solos traves de ensaios de placa de diferentes diâmetros.** Santa Maria. 2007. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria.

PINTO, Carlos de Souza. Propriedades dos solos. **HACHICH, Waldemar et al. Fundações: Teoria e Prática**, v. 2, São Paulo, SP, 1998.

VARGAS, Milton. **Introdução à mecânica dos solos.** Mcgraw-Hill, Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo – SP. 1977.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas.** São Paulo, SP. 2010.

VIANNA, Ana Paula Fontana. **Influência da dimensão e da sucção matricial no comportamento de fundações superficiais assente em solo arenoso não saturado.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo – SP, 2005.

ZEN e ALMEIDA. **Implantação e Caracterização geotécnica do subsolo do campo experimental do centro acadêmico da FAG em Cascavel – PR.** Cobramseg, Salvador – BA, 2018.