

Estudo da Capacidade de Carga e Recalque dos Solos Residuais do Noroeste do Rio Grande do Sul

Bruna Vogt Bär
UNIJUÍ, Ijuí, Brasil, bruna.vogt@outlook.com

Hugo Henzel Steinner
UNIJUÍ, Ijuí, Brasil, hugo_steinner@hotmail.com

Luciana Machado Cardoso
UNIJUÍ, Ijuí, Brasil, luucianacardoso@hotmail.com

Felipe Feron Kirschner
UNIJUÍ, Ijuí, Brasil, kirschnerfelipe@gmail.com

Carlos Alberto Simões Pires Wayhs
UNIJUÍ, Ijuí, Brasil, engcaw@gmail.com

Cesar Alberto Ruver
UFRGS, Porto Alegre, Brasil, cesar.ruver@gmail.com

RESUMO: Este artigo apresenta o estudo da capacidade de carga e dos recalques de solos residuais do noroeste do estado do Rio Grande do Sul a partir da realização de ensaios de carregamento em placas. O comportamento carga-recalque de estruturas de fundações superficiais pode ser representado por curvas tensão-recalque obtidas como resultados dos ensaios de carregamento de placa. Esses ensaios de placa, por sua vez, regidos pela NBR 6489/1984, , são excelentes para determinação das características de carga x deformação do subsolo. Desta forma, para este trabalho, foram executados cinco ensaios de placa nas cidades de Coronel Barros, Ijuí e Santa Rosa, com um conjunto de placas de 48 cm e 80 cm de diâmetro, e ensaios de sondagem de simples reconhecimento com SPT. Através desses ensaios, obteve-se valores de campo das tensões admissíveis e recalques. Subsequentemente, estimou-se valores de tensões admissíveis e recalques através de metodologias de cálculo utilizadas pela engenharia de fundação, utilizando-se os valores médios de N_{SPT} obtidos através das sondagens SPT, para cada local de ensaio. Por fim, apresenta-se uma análise e comparação destas tensões, visando determinar quais metodologias de cálculo apresentaram resultados mais condizentes com os resultados obtidos dos ensaios de placa. Dos resultados e análises, concluiu-se principalmente que o limite superior da tensão admissível obtido através do método de Ruver e Consoli (2006) e pelo método de Teixeira e Godoy (1998) apresentam uma similaridade muito próxima dos valores de tensão admissível obtidos pelos ensaios de placa e que os valores de recalque apresentados pela Teoria da Elasticidade e pelo limite médio do Método de Ruver (2005) apresentam linhas praticamente iguais enquanto o solo se comporta de forma elástica (até cerca de 50 % da tensão de ruptura) para todos os casos de estudo, e estes apresentam o melhor desempenho de estimativa do recalque.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaios de Placa, Tensão admissível, Ruptura, Fundações Superficiais.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Terzaghi e Peck (1962), o passo mais importante no projeto de fundações é a determinação da tensão máxima que pode ser aplicada no solo, sem que este apresente ruptura ou recalques excessivos. Ruver (2005) argumentou que os conceitos clássicos da mecânica dos solos foram desenvolvidos a partir do estudo de solos sedimentares (areias e argilas), sendo estes conceitos utilizados para qualquer tipo de solo, independentemente do estado em que este se encontra e sua composição granulométrica. Neste sentido vêm ocorrendo muitas preocupações e dúvidas sobre a real validade dos parâmetros obtidos por estas metodologias quando aplicadas a outros tipos de solos, já que os solos residuais apresentam uma configuração geológica e histórica de formação bastante distinta dos solos sedimentares, e são constituídos por uma composição bastante variada ao invés de apresentar-se em camadas de areia ou argila.

Destas inquietações surgiu o interesse no tema, e da parceria de outro projeto do orientador Mestre Carlos Wayhs com o Doutor Cesar Alberto Ruver, ex-professor da FURG e atualmente na UFRGS, decidiu-se criar em final de maio de 2014, o projeto de pesquisa institucional denominado de “Estudo da Capacidade de Carga e Recalque de Solos Residuais do Noroeste do Rio Grande de Sul”, vinculado ao Grupo de Pesquisa em Novos Materiais e Tecnologias para a Construção, grupo este certificado no DGP (Diretório dos Grupos de Pesquisas no Brasil) do CNPQ. Como passo seguinte para consolidação desta empreitada, foram adquiridos no segundo semestre de 2014 os equipamentos necessários para a execução de ensaios de placa pela Universidade.

Sendo parte integrante deste projeto, esta pesquisa visa estudar o comportamento carga-recalque de fundações superficiais assentes em alguns solos residuais do noroeste gaúcho utilizando ensaios de carregamento sobre placas. A partir dos resultados comparam-se os valores de campo das tensões admissível e de ruptura bem como os de recalque com os

obtidos através de metodologias de cálculo. Desta forma, espera-se proporcionar aos engenheiros de fundações maior conhecimento e conseqüentemente segurança para o desenvolvimento de projetos de infraestrutura para solos semelhantes aos estudados.

2 METODOLOGIA

A metodologia desta pesquisa contempla a execução de ensaios de placa, ensaios de caracterização geotécnica e de comportamento quanto a compactação e suporte dos solos, sondagem de simples reconhecimento com SPT (Teste de Penetração Padrão) no mesmo local do ensaio de placa, análise dos resultados, estimativas tanto das tensões admissível e de ruptura como dos recalques dos solos por métodos analíticos, empíricos e semiempíricos e por último comparar estes valores com os obtidos dos ensaios de placa.

Os ensaios de placa foram realizados de acordo com o recomendado pela NBR 6489/1984 intitulada “Prova de carga direta sobre terreno de fundação”. (ABNT, 1984). Utilizou-se um conjunto de placas circulares de aço maciço, uma de 48 cm e outra de 80 cm de diâmetro. A aplicação de carga é realizada por um macaco hidráulico, cujo acionamento é feito por uma bomba hidráulica acoplada. Para leitura dos recalques são utilizados três relógios comparadores, que medem as deformações ocorridas nas placas com a aplicação de carga, com resolução de 0,01 mm, apoiados nas placas, com afastamento entre si de 120° e fixados em uma régua retangular de referência.

Segundo a NBR 6489/84, após cada incremento de carga aplicada, os recalques são lidos imediatamente em intervalos sucessivos e dobrados (1, 2, 4, 8, 15, minutos, e etc.) até que as leituras estejam estabilizadas com uma tolerância máxima de 5% de diferença do recalque total entre leituras. O ensaio deverá ser executado até, pelo menos, observar-se um recalque de 25 mm ou até atingir-se o dobro da taxa admitida pelo solo. Para a descarga são utilizados os mesmos critérios de leitura e de estabilização considerados para o carregamento.

Salienta-se que a NBR 6489/84 recomenda que se use placas com área mínima de 0,5 m², indicando que somente a placa de 80 cm atende a este requisito.

A partir de ensaios de laboratório de caracterização classificaram-se os solos pelo sistema unificado de classificação de solos, método rodoviário e MCT, além da obtenção de características de compactação e suporte do solo.

Também foram efetuados ensaios de sondagem SPT para conhecer o perfil geotécnico de cada local de ensaio e obter-se o índice de resistência a penetração do amostrador padrão, utilizado para as metodologias de cálculo empregadas. A partir dos resultados realizaram-se para cada solo diversas análises para comparar os valores tanto de tensões admissível e de ruptura como de recalque, estimados por diversos métodos teóricos, empíricos e semiempíricos.

3 RESULTADOS

A apresentação e análise da síntese dos principais resultados obtidos pela pesquisa são subdivididos e apresentados nos próximos itens a seguir.

3.1 Resultado dos Ensaio de Placa

Foram realizados cinco ensaios de carregamento em placa durante do ano de 2015, sendo um ensaio no município de Coronel Barros (placa de 48 cm), dois em Santa Rosa (placas de 48 e 80 cm) e dois em Ijuí (placas de 48 e 80 cm). Todos os locais de ensaios situam-se no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

A partir das leituras realizadas durante a execução dos ensaios de placa, traçou-se o gráfico da curva de tensão x recalque, onde apresentam-se os valores de tensão aplicados na placa (em kPa), e o recalque (média dos três relógios comparadores) resultante desta tensão aplicada (em mm).

A seguir apresentam-se os gráficos obtidos dos nossos ensaios de placa nas Figuras 01 a 05.

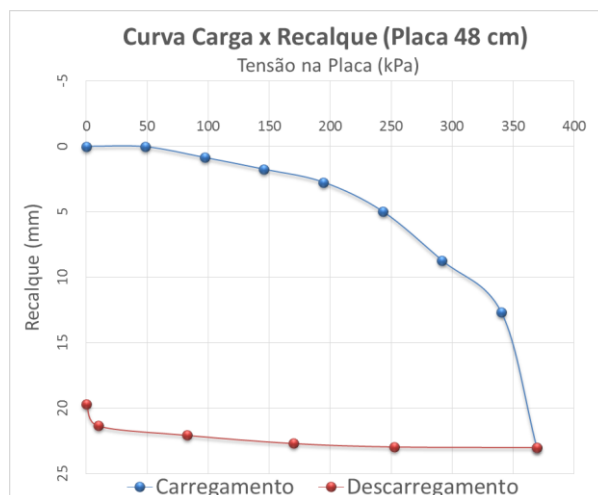


Figura 01. Curva Tensão x Recalque Coronel Barros.

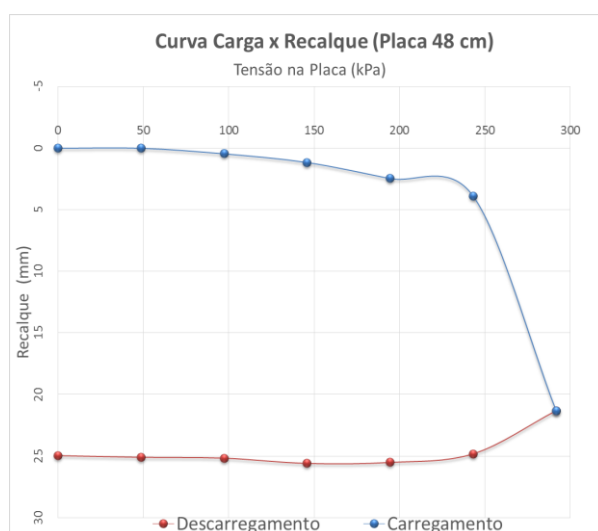


Figura 02. Curva Tensão x Recalque Ijuí – 48 cm.

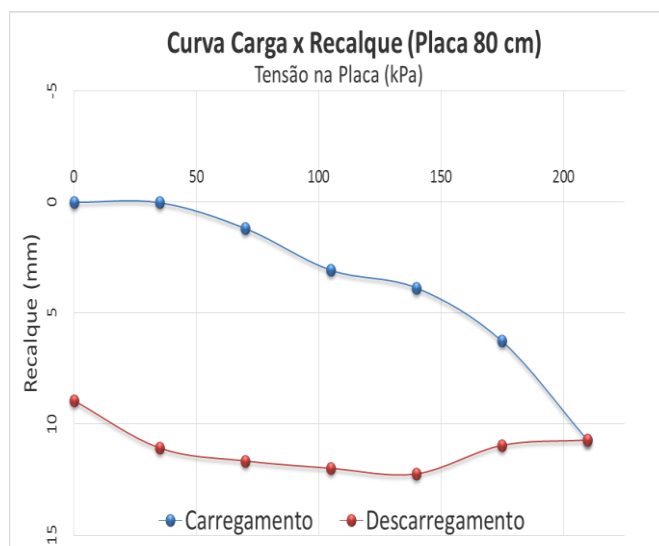


Figura 03. Curva Tensão x Recalque Ijuí – 80 cm.

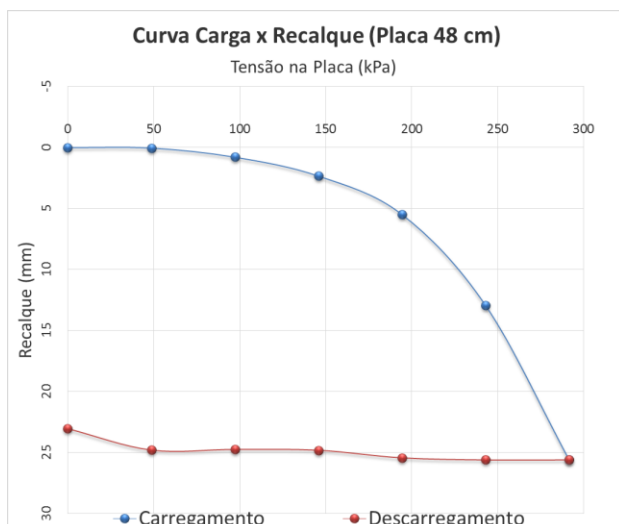


Figura 04. Curva Tensão x Recalque Santa Rosa – 48 cm.

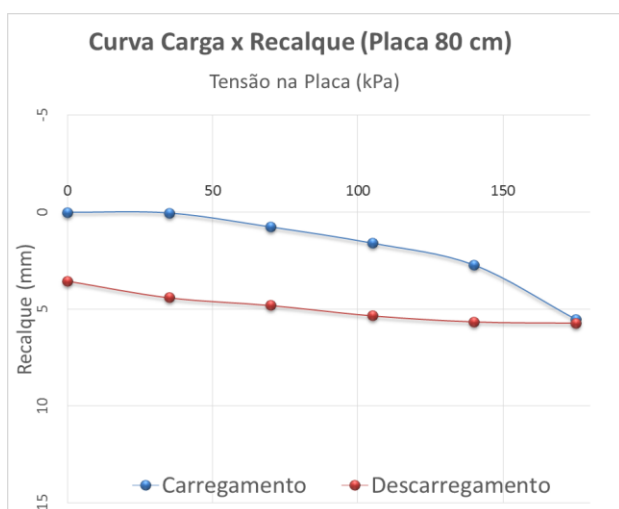


Figura 05. Curva Tensão x Recalque Santa Rosa – 80 cm.

Fez-se o uso de uma escavadeira hidráulica como sistema de reação para os ensaios, que devido seu peso estacionário (da ordem de 20 toneladas), não foi suficiente para levar o solo à ruptura durante a realização dos ensaios com a placa de 80 cm de diâmetro. Para esses casos, a NBR 6489/1984 estipula que a carga máxima alcançada deve ser mantida por um período mínimo de 12 horas antes de realizar-se o descarregamento. Entretanto, não foi possível manter os equipamentos por este período de tempo nos locais, assim, realizou-se o descarregamento da placa pouco tempo após atingir-se a carga máxima aplicada.

Para os ensaios que não apresentaram um rompimento do solo, realizou-se uma extrapolação das curvas obtidas, a fim de obter-se um provável ponto de ruptura do solo.

Para obtenção das curvas extrapoladas, primeiramente, é necessário fazer-se um adimensionamento das curvas obtidas através dos resultados dos ensaios, dividindo-se as leituras dos recalques em milímetros, pelo diâmetro das placas, também em milímetros, chegando-se assim, em um valor adimensional de recalque, podendo este ser utilizado para estimar o comportamento do recalque do solo de estudo para qualquer valor de escala desejado. Esse conceito é descrito em Cintra, Aoki e Albiero (2014). Por fim, multiplicou-se por 800 o valor das leituras adimensionalizadas obtidas para as curvas das placas de 48 cm em Ijuí e Santa Rosa, chegando-se, assim, em um provável ponto de ruptura para as placas de 80 cm. Comparou-se as curvas extrapoladas com as curvas obtidas pelos ensaios das placas de 80 cm para assegurar-se de que essas não apresentam um comportamento muito distinto entre si. Estas são apresentadas nas figuras 06 e 07 a seguir.

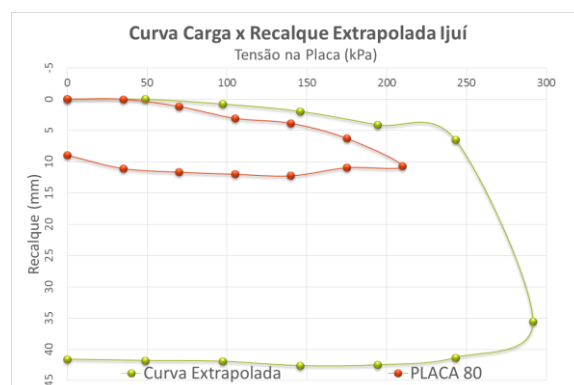


Figura 06. Curva extrapolada do Ensaio de Placa Ijuí.

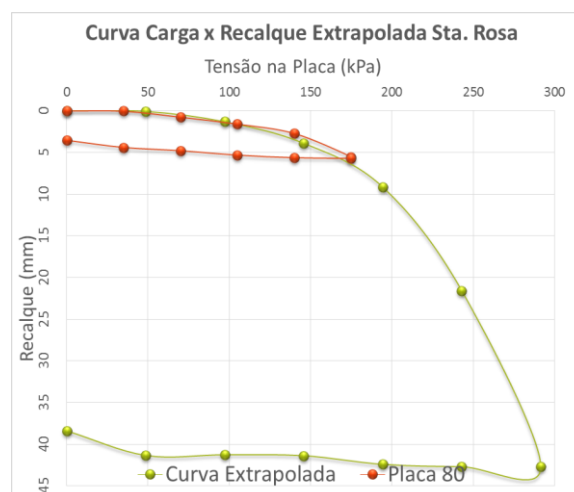


Figura 07. Curva extrapolada do Ensaio em Santa Rosa

Para estimativa da capacidade de carga através da análise das curvas-recalque obtidas nos ensaios de carregamento em placa adotou-se o critério de Alonso (2012), onde estipula-se que a tensão admissível é o menor dos três valores encontrado na condição estipulada pela equação 1 abaixo:

$$\sigma_{adm} \leq \begin{cases} \frac{\sigma_R}{2} \\ \sigma_{10} \\ \frac{\sigma_{25}}{2} \end{cases} \quad (1)$$

Analizou-se também, a curva tensão-recalque pelo critério d/30, apresentado em Cudmani (1994) apud Russi (2007).

Uma vez que não se observou uma diferença significativa dos valores de tensão obtidos através dos dois critérios utilizados, adotou-se a média aritmética destes como tensão admissível. Estes valores são apresentados no gráfico da Figura 08.

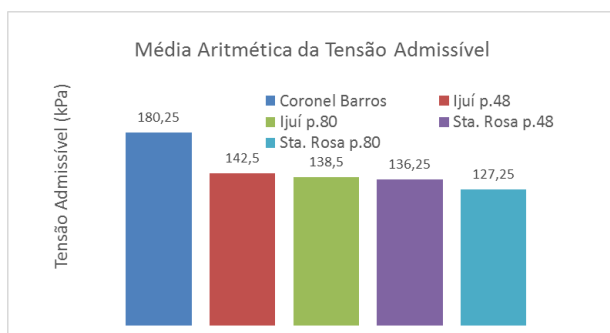


Figura 08. Média Aritmética da Tensão Admissível

3.2 Ensaios de Sondagem de Simples Reconhecimento com SPT

Foram realizados três ensaios de sondagem SPT, um para cada local de realização dos ensaios de placa.

Para a adoção do valor do índice de resistência a penetração do amostrador padrão N_{SPT} , necessária para os cálculos de tensão admissível, considerou-se um bulbo de tensões com profundidade equivalente a duas vezes o diâmetro da placa, chegando-se assim, nos valores apresentados na Tabela 01 a seguir, ressaltando que estão corrigidos para um rendimento de 60% pois no Brasil usa-se 72%.

Tabela 01. Valores de N_{SPT} Obtidos pelos Ensaios SPT.

Cidade	ϕ da placa (cm)	N_{SPT}
Coronel Barros	48	9
Ijuí	48	7
	80	7,25
Santa Rosa	48	8
	80	7,5

3.3 Cálculos de Estimativa da Capacidade de Carga

Devido à grande variedade de métodos de estimativa da capacidade de carga existentes, fez-se necessário escolher quais métodos seriam utilizados nesta pesquisa. Esses foram selecionados por terem sido estudados durante o período de graduação na disciplina de fundações, e por serem bastante divulgados na área da engenharia civil.

Foram utilizados os seguintes métodos de estimativa da capacidade de carga do solo:

- Teoria de Terzagui (1943); Método de Ruver e Consoli (2006) nos limites superior, médio e inferior; Método de Teixeira e Godoy (1998); Método de Mello (1975); e Tabela NBR 6122/1996, todos encontrados em Ruver (2005)

Para os cálculos realizados, simulou-se uma sapata circular de 48 cm de diâmetro, e uma sapata circular de 80 cm de diâmetro, para que os valores obtidos pudessem ser comparados com os valores obtidos pelos ensaios de carregamento em placa. Esses cálculos são detalhados em Vogt (2015), e os valores obtidos são apresentados nos gráficos das Figuras 09 e 10.

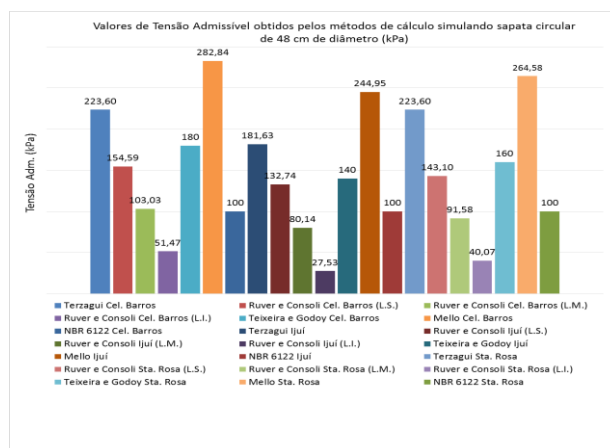


Figura 09. Valores de Tensão Admissível Obtidos pelos Métodos de Cálculo, Simulando Sapata Circular de 48 cm

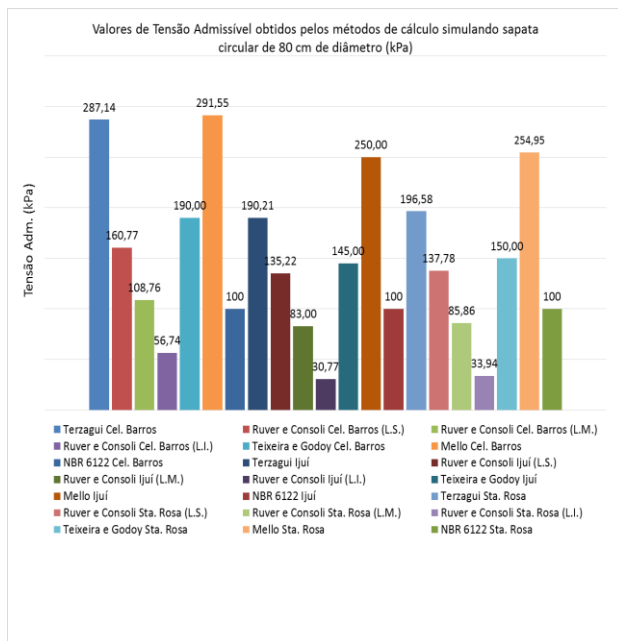


Figura 10. Valores de Tensão Admissível sapata circular de 80 cm.

3.4 Cálculo de Recalques

Para análise e comparação dos recalques estimados através de métodos de cálculo, utilizaram-se os valores dos ensaios com as placas de 48 cm de diâmetro, uma vez que estes chegaram à ruptura do solo, o que infelizmente não ocorreu nos ensaios com as placas de 80 cm.

Foram utilizados os seguintes métodos de estimativa de recalque e que podem ser encontrados em Ruver (2005), como em livros tradicionais do estudo de Fundações Superficiais:

- Teoria da Elasticidade;
- Método de Schultze e Sherif (1973);
- Método de Ruver (2005);
- Método de Burland & Burbidge (1985).

Os cálculos realizados e os resultados obtidos encontram-se detalhados em Vogt (2015).

Através da comparação dos recalques estimados pelas metodologias de cálculo com os valores obtidos através dos ensaios de placa para os três locais de estudo, gerou-se os gráficos ilustrados nas Figuras 11, 12 e 13 para as duas placas, onde apresenta-se o trecho inicial da curva de carregamento do ensaio de placa e as linhas resultantes dos métodos de cálculo utilizados.

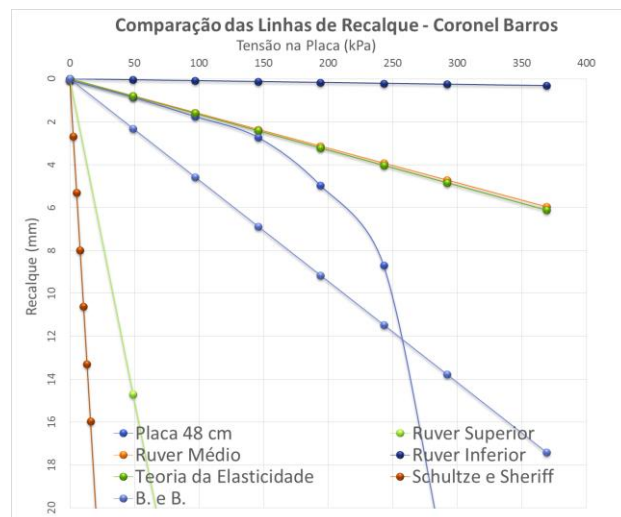


Figura 11. Comparação dos recalques - Coronel Barros.

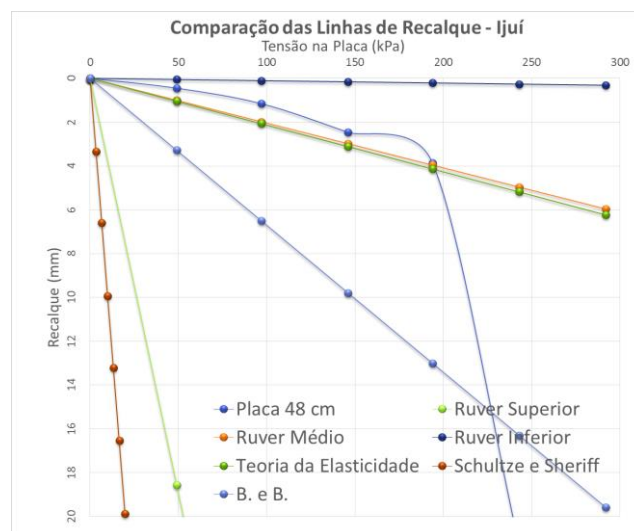


Figura 12. Comparação dos recalques - Ijuí.



Figura 13. Comparação dos recalques - Santa Rosa.

4 CONCLUSÕES

Através da análise e comparação dos resultados obtidos pelos ensaios de carregamento em placa com os resultados obtidos através das metodologias de cálculo, traçaram-se algumas conclusões, apresentadas a seguir.

Quanto aos métodos de estimativa de tensão admissível:

- O método de Terzaghi (1943) superestima a tensão admissível do solo, com um valor apresentado de 27% a 64% maior que o valor obtido através do ensaio de placa;

- O valor superior da tensão admissível obtido através do método de Ruver e Consoli (2006) apresentou uma diferença muito pequena de valores entre 2% a 14% dos valores obtidos através dos ensaios de placa, mostrando-se concordante com a faixa obtida no ensaio de placa;

- O método de Teixeira e Godoy (1998) apresentou uma diferença de valores muito pequena entre 2% a 18%, praticamente igualando a capacidade do solo para maioria dos casos.

- Já o método de Mello (1975) é o que mais se distinguiu entre os métodos de cálculo, apresentando uma superestimação da capacidade do solo em todos os casos.

- A tensão estimada pela tabela da NBR 6122/1996 apresentou um valor de tensão admissível de 100 kPa para todos os solos de estudo, subestimando a capacidade de todos os referentes solos.

Quanto aos métodos de estimativa de recalque:

- Os valores apresentados pela Teoria da Elasticidade e o limite médio do Método de Ruver (2005) apresentam linhas praticamente iguais enquanto o solo se comporta de forma elástica (até cerca de 50 % da tensão de ruptura) para todos os casos de estudo, e estes apresentam o melhor desempenho de estimação;

- O método de Burland e Burbidge (1985) é o terceiro método que mais se aproxima do recalque obtido pelos ensaios de placa, entretanto, este já não apresenta um comportamento tão satisfatório quanto os dois métodos citados anteriormente;

- As linhas apresentadas pelos valores inferiores e superiores do método de Ruver

(2005), e pelo método de Shultze e Sheriff (1973) não apresentaram um comportamento satisfatório para estimativa dos recalques apresentados nos casos estudados.

AGRADECIMENTOS

À Camillo Construções e Terraplanagens Ltda. e à prefeitura de Santa Rosa por cederem as escavadeiras hidráulicas utilizadas nos ensaios.

À FUNDERS e a MINERAG por cederem os ensaios de sondagem SPT, ao LEC (Laboratório de Engenharia Civil) pelo empréstimo de equipamentos para os ensaios e à UNIJUI pela bolsa PIBIC (Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica) da UNIJUI da primeira autora.

REFERÊNCIAS

- Alonso, Urbano Rodriguez. (2012) *Exercícios de fundações*, 2 ed., Blucher, São Paulo, 204 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1984) *NBR 6489: Prova de Carga Direta sobre Terreno de Fundação*, Rio de Janeiro, RJ, 2 p.
- _____. (2010) *NBR 6122: Projeto e Execução de Fundações*, Rio de Janeiro, RJ, 91 p.
- _____. (1996) *NBR 6122: Projeto e Execução de Fundações*, Rio de Janeiro, RJ, 33 p.
- _____. (2001) *NBR 6484: Solo – sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio*, Rio de Janeiro, RJ, 17 p.
- Cintra, José Carlos A. Aoki, Nelson. Albiero, José Henrique. (2014) *Fundações diretas: projeto geotécnico*. 2 ed. Oficina de Textos, São Paulo, SP, 140 p.
- Russi, Daniel. (2007) *Estudo do comportamento de solos traves de ensaios de placa de diferentes diâmetros*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, 149 p.
- Ruver, C. A. (2005) *Determinação do Comportamento Carga-Recalque de Sapatas em Solos Residuais a partir de Ensaio SPT*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 179 p.
- Vogt, B. Bruna. (2015) *Estudo da capacidade de carga e recalque dos solos residuais do noroeste do Rio Grande do Sul*. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 107 p.