

## Estudo do Comportamento de Solo Residual Argiloso Laterítico Melhorado por Colunas de Compactação Preenchidas com Material Granular

Alexia Cindy Wagner

Bolsista PET do curso de Engenharia Civil, UNIJUÍ, Ijuí, Brasil, alexia-wagner@hotmail.com

Larissa Fernandes Sasso

Bolsista PET do curso de Engenharia Civil, UNIJUÍ, Ijuí, Brasil, larisasso08@hotmail.com

Fernanda Maria Jaskulski

Bolsista PET do curso de Engenharia Civil, UNIJUÍ, Ijuí, Brasil, fernandaj18@hotmail.com

Thalia Klein da Silva

Bolsista PET do curso de Engenharia Civil, UNIJUÍ, Ijuí, Brasil, thalia\_klein@hotmail.com

Marcos Bressan Guimarães

Não-Bolsista PET do curso de Engenharia Civil, UNIJUÍ, Ijuí, Brasil, marcosbressan77@hotmail.com

Carlos Alberto Simões Pires Wayhs

Professor Mestre do curso de Engenharia Civil, UNIJUÍ, Ijuí, Brasil, carlos.wayhs@unijui.edu.br

**RESUMO:** Diferentes alternativas de tratamento de solo surgem com a função de favorecer a utilização de fundações superficiais em terrenos de baixa resistência. O presente trabalho buscou avaliar o melhoramento de solo argiloso laterítico através da implantação de seis colunas escavadas com profundidade de 1,20m e diâmetro de 25cm, preenchidas com brita e RCC em camadas e compactadas na energia normal. Foram realizadas provas de carga em placa sobre o solo natural, entre quatro colunas preenchidas com brita espaçadas entre eixos 0,75m, sobre uma coluna preenchida com brita e sobre uma coluna preenchida com RCC, utilizando uma placa metálica de 30cm de diâmetro. A partir das curvas carga-recalque obtidas nos ensaios constatou-se que o solo entre as colunas apresentou uma melhoria na tensão admissível de 46,16% em relação ao solo natural, a coluna de brita apresentou melhoria de 41,41% e a coluna de RCC teve acréscimo de apenas 4,86%. Verificou-se também que a coluna de RCC apresentou os maiores níveis de recalque para todos os estágios de carregamento, enquanto o solo entre as colunas de brita obteve as menores deformações.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fundações Superficiais, Melhoramento de Solos, Colunas de Compactação.

**ABSTRACT:** Different soil treatment alternatives arise with the function of favoring the use of shallow foundations in low resistance grounds. The present work intended to assess the improvement of lateritic clay soil through the implantation of six excavated columns with depth of 1.20m and diameter of 25cm, filled with gravel and construction waste in layers and compacted in normal energy. Plate load tests were performed on the natural soil, on the soil between four columns filled with gravel spaced 0.75m between axes, on a column filled with gravel and on a column filled with construction waste, using a metal plate with a diameter of 30cm. With the strain-settlement curves obtained in the tests, analysed that the soil between the columns presented an improvement in the admissible strain of 46.16% in relation to the natural soil, the gravel column presented an improvement of 41.41% and the construction waste column increased only 4.86%. Also verified that the construction waste column presented the highest levels of settlements for all load stages, while the soil between the gravel columns obtained the smallest deformations.

**KEYWORDS:** Shallow Foundations, Soils Improvement, Compaction Columns.

## 1 Introdução

Segundo Consoli e Festugato (2015), o solo é um material facilmente encontrado na natureza, apresentando grande disponibilidade a um baixo custo, o que justifica sua larga utilização em obras de engenharia. Entretanto, o acelerado desenvolvimento humano aliado as suas atividades e necessidades tende a aumentar a demanda por solos que apresentem condições geotécnicas específicas, instigando a elaboração de projetos que envolvam o melhoramento de solos para atender tais solicitações (RODRIGUES, 2018).

Para Soares (2002) o crescimento dos centros urbanos tornou a busca por terrenos mais acirrada, visto que locais com características superiores são ocupados primeiro, restando áreas com solos de baixa resistência que são ineficientes para suportar fundações de grandes edificações. Nesse contexto, quando os solos não satisfazem parâmetros exigidos para determinado projeto, surge a opção de aplicação de técnicas de melhoramento de solos, a fim de melhorar suas propriedades físicas, transformando-os em novos materiais geotécnicos e capazes de resistir à estrutura proposta (THOMÉ, 1999).

Os processos de melhoria e reforço de solos consistem na aplicação de procedimentos químicos e/ou físicos com o objetivo de melhorar as propriedades mecânicas do material por meio do acréscimo da resistência do solo e redução da sua compressibilidade e permeabilidade (CASAGRANDE, 2001). Além disso, conforme Arévalos Burró (2015), a prática de melhoramento é viável na maioria das situações e proporciona mais economia que as alternativas usualmente utilizadas, como substituição do solo ou utilização de fundações profundas.

Sendo assim, a técnica de melhoramento do solo através de colunas de compactação está sendo largamente utilizada com o objetivo de reduzir a compressibilidade de solos pouco resistentes e melhorar suas propriedades geotécnicas (FREITAS, 2016). De acordo com Soares (2005) o método consiste em um procedimento de melhoria do solo, em que uma mistura de materiais como areia, cimento e brita é incorporada em diferentes terrenos através de grandes energias de compactação, proporcionando a densificação do solo das proximidades, além do aumento da resistência e redução da compressibilidade do solo, tornando viável o uso de fundações superficiais em locais que antes não permitiriam tal fundação.

O método de colunas de compactação é muito utilizado em empreendimentos de grande e médio porte, entretanto, há poucos estudos divulgados sobre o comportamento real de solos melhorados por esse método (SOARES, 2002). Tal fato demonstra que essas obras muitas vezes são executadas sem aparato científico, o que fomenta a realização de mais estudos geotécnicos a fim de esclarecer as dúvidas em relação à eficiência do método. No Brasil, a maneira mais adequada para avaliar o solo melhorado é por meio de ensaios SPT (*Standard Penetration Test*) em conjunto com provas de carga sobre placa (PASSOS, 2005).

## 2 Metodologia

### 2.1 Local

O local escolhido para realização do estudo foi na cidade de Ijuí - Rio Grande do Sul, mais especificamente no Campus da UNIJUI, conforme ilustrado na Figura 1.



Figura 1. Local da realização do estudo.

A área de ensaios localiza-se ao lado do Hospital Veterinário da UNIJUÍ e também fica próxima ao Laboratório de Engenharia Civil (LEC), facilitando o acesso aos equipamentos necessários. Esse espaço também é amplamente utilizado nas pesquisas da área geotécnica do Grupo de Pesquisa em Novos Materiais e Tecnologias para a Construção da universidade, tanto para realização de ensaios de campo, quanto para o estudo das características do solo encontrado na área.

## 2.2 Materiais

A pesquisa baseou-se na utilização de três materiais principais: o solo encontrado na área de realização da pesquisa, além de brita 1 e RCC (resíduo da construção civil) para o preenchimento das colunas executadas. De acordo com Bernardi (2013), o solo do local apresenta 94,81% de material passante na peneira nº 200 (0,075 mm), limite de liquidez igual a 65, limite de plasticidade igual a 39 e índice de plasticidade igual a 26, sendo classificado como A-7-5 pela classificação rodoviária com IG (índice de grupo) de 18, como MH - solo siltoso de alta compressibilidade - pela SUCS (Sistema Unificado de Classificação de Solos) e também como um solo argiloso laterítico pela metodologia MCT (Miniatura Compactada Tropical).

Quanto aos materiais de preenchimento, a brita 1 utilizada foi fornecida pela Pedreira Paim, localizada em Coronel Barros, 18 km da cidade de Ijuí. Já o RCC utilizado foi na forma de pedrisco, sendo proveniente de materiais misturados, com predominância de materiais cerâmicos. Esse material é fornecido pela empresa recicladora de resíduos da construção civil Resicon de Santa Rosa, cerca de 100 km de Ijuí. Em relação a granulometria, a brita 1 apresenta partículas maiores na faixa de 4 a 20 mm, enquanto o RCC possui partículas mais finas, com a maior parte entre 1 a 10 mm e também pequenas frações de areia ainda inferiores a 1 mm. A Figura 2 permite a análise visual dos três materiais envolvidos no estudo.



Figura 2. Solo, brita 1 e RCC utilizados na pesquisa.

## 2.3 Locação do Sítio

A disposição do sítio utilizado na pesquisa está demonstrada na Figura 3. Foram executadas seis colunas de 25 cm de diâmetro, sendo que cinco foram preenchidas com brita 1 e uma foi preenchida com RCC. Quatro colunas de brita 1 foram posicionadas em malha quadrada com espaçamento entre eixos de 75 cm, enquanto a outra coluna de brita 1 foi posicionada a 1,50 m do grupo a fim de possibilitar sua análise individual. A coluna de RCC também foi posicionada de forma isolada, sendo locada a 2,25 m da coluna de brita. O espaçamento definido para a malha quadrada foi tomado de maneira empírica, visto que é a primeira vez que esse tipo de melhoramento é realizado no solo da região. A premissa considerada, parte das orientações de Gusmão (2005) e Soares (2000), que indicam a utilização de malha quadrada com espaçamento de três vezes o diâmetro da estaca, considerando a execução de estacas granulares em solos arenosos, que possuem características distintas da região do presente trabalho.

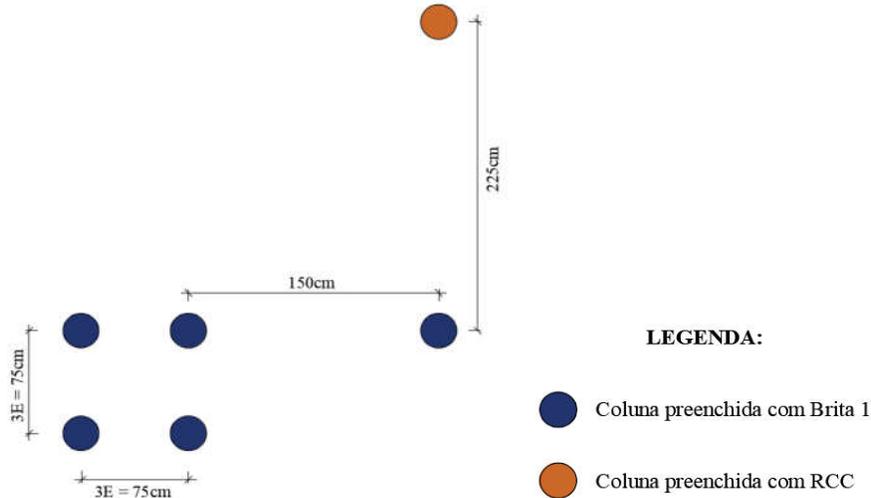


Figura 3. Disposição das colunas executadas.

## 2.4 Execução das Colunas

A profundidade definida para execução das colunas está diretamente relacionada com a distribuição de tensões no solo. Ao ser colocada sobre a coluna, a placa representa o carregamento de uma fundação superficial. Assim, como a placa a ser utilizada nos ensaios de placa possui diâmetro de 30 cm, 90% das tensões serão distribuídas numa profundidade de 60 cm, considerando uma esfera de diâmetro de duas vezes a menor dimensão da fundação (2B) de acordo com o demonstrado por Teixeira e Godoy (2016). Dessa maneira, optou-se por realizar colunas com 4B de comprimento (1,20m), o que traz maior segurança ao método de melhoramento, visto que a profundidade 4B abrange toda a carga aplicada na placa.

A compactação das colunas foi realizada a partir da energia normal e a Tabela 1 apresenta a combinação de parâmetros utilizados para atender tal energia. No cálculo foi considerado o peso do soquete metálico disponível no laboratório e também o volume da coluna (com diâmetro de 25 cm e profundidade de 1,20 m). Os outros critérios foram combinados de maneira a facilitar a execução e atender a energia necessária, chegando a definição de altura de queda do soquete de 1,00 m e cinco camadas compactadas com 28 golpes cada.

Tabela 1. Parâmetros utilizados na compactação das colunas.

Símbolo	Definição	Equação	Utilizado em campo
W	Peso do Soquete (Kg)		25,61
h	Altura de queda (cm)		100
n	Número de golpes por camada	$E_c = \frac{W \cdot h \cdot n \cdot c}{V}$	28
c	Número de camadas		5
V	Volume do molde cilíndrico (cm <sup>3</sup> )		58905
Ec	Energia de Compactação (Kg.cm/cm <sup>3</sup> )		6

As colunas de compactação foram executadas manualmente na forma de estaca escavada, pelo fato do equipamento ser mais acessível no meio acadêmico. O equipamento utilizado no trabalho refere-se a um trado de 25 cm de diâmetro acoplado a um motor elétrico, o qual era sustentado através de hastes. O mesmo era posicionado sobre o eixo de cada coluna, sendo inserido no terreno por movimento de rotação. A cada camada o solo escavado ia sendo removido e hastes auxiliares eram acopladas no trado até atingir a profundidade de 1,20m.

Ao finalizar a escavação da coluna, iniciava-se seu preenchimento e compactação em cinco camadas com auxílio do soquete. Assim, transportava-se o material do local de depósito até as proximidades da coluna e enchia-se o fuste até atingir a cota necessária para cada camada. Notou-se que a primeira camada

apresentava acomodação de 10 cm, devido ao contato com solo recentemente escavado, enquanto as demais camadas acomodavam-se apenas 5 cm após a aplicação dos 28 golpes. Dessa maneira a quantidade de material a ser adicionado em cada camada era controlado com auxílio de uma trena para garantir sua uniformidade. A Figura 4 demonstra a perfuração do terreno, remoção do solo do fuste, processo de preenchimento e também a compactação manual com o soquete realizada em cada nova camada. A sequência executiva descrita foi repetida para as seis colunas.

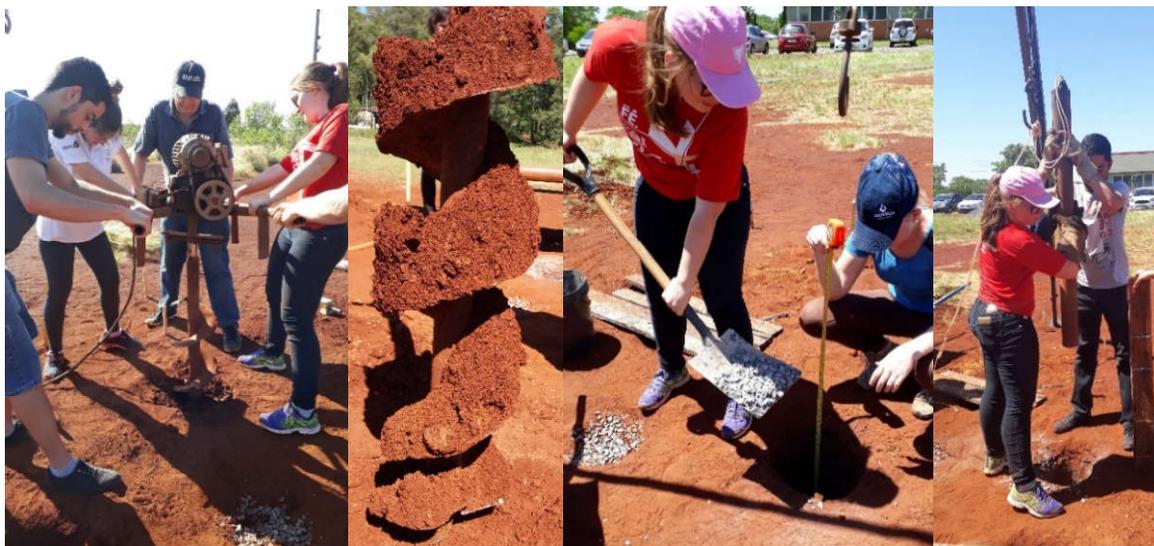


Figura 4. Preenchimento e compactação das colunas.

## 2.5 Ensaios de Placa

Os ensaios de placa foram realizados entre a malha quadrada de colunas de brita, sobre a coluna de brita e sobre a coluna de RCC, sendo também executado um ensaio no solo natural. A Tabela 2 apresenta as abreviações utilizadas para identificar cada ensaio realizado, facilitando as análises posteriores.

Tabela 2. Identificação das provas de carga realizadas.

Legenda	Local da prova de carga
ECB1	Sobre o solo entre as colunas de brita 1
SCB1	Sobre coluna de brita 1
SCRCC	Sobre coluna de RCC
SN	Sobre o solo natural

Esse tipo de ensaio demanda sistema de reação, sistema de transmissão de cargas e sistema de leitura. O sistema de reação utilizado refere-se a uma escavadeira hidráulica de 22 t, a qual foi posicionada sobre todos os locais em que houveram ensaios. O sistema de transmissão de cargas utilizado pode ser verificado na Figura 5, sendo composto por um macaco hidráulico com capacidade de 25 t (a), uma bomba hidráulica com capacidade máxima de 700 bar (b), uma placa metálica de 30 cm de diâmetro devidamente nivelada sobre o solo (c) e também discos espaçadores metálicos para compensar a diferença de nível entre a placa e o macaco hidráulico (d). O sistema de leitura também pode ser visualizado na Figura 5, sendo composto por três relógios deflectômetros com precisão de 0,01 mm e leitura máxima de 30 mm (e), os quais são distribuídos sobre a placa formando um ângulo de 120° entre si e sustentados por hastes metálicas (f) fixadas em uma régua de alumínio de três metros de comprimento (g), a qual é posicionada de maneira a não influenciar nas leituras, estando firmemente apoiada no solo.

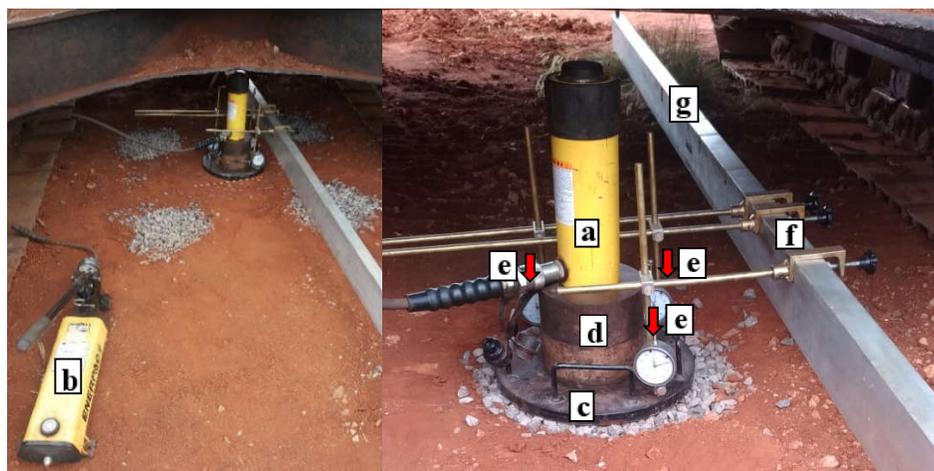


Figura 5. Equipamentos utilizados no ensaio de placa.

A execução dos quatro ensaios seguiu os critérios exigidos pela NBR 6489 (ABNT, 1984): inicia-se a aplicação de carga na placa através de estágios, em que o acréscimo de carga a cada nova aplicação seja no máximo 20 % da taxa admissível provável para o solo ensaiado; para cada estágio, os recalques precisam ser lidos imediatamente após a aplicação de carga e seguindo intervalos com tempo sucessivamente dobrado (1, 2, 4, 8, 15 minutos, etc.), considerando que somente será acrescentado novo carregamento quando houver a estabilização dos recalques, com tolerância de no máximo 5% entre as leituras sucessivas; o fim do ensaio será quando o solo apresentar um recalque de 25 mm, ou até quando atingir o dobro da taxa admitida para o solo. Dessa maneira, os ensaios foram realizados até o esgotamento das leituras nos relógios deflectômetros, sendo anotados os recalques em cada estágio de carregamento. Após o final de cada ensaio procedeu-se etapa de descarregamento, repetindo os mesmos critérios de leitura previamente descritos a fim de verificar o retorno elástico do solo em cada situação.

## 2.6 Metodologias de Cálculo

Há diferentes métodos disponíveis para determinação da tensão admissível do solo. Os métodos utilizados na presente pesquisa referem-se ao método de Alonso (2012) e Cudmani (1994), que utilizam como base os dados provenientes dos ensaios de placa. O método de Alonso (2012) adota para a tensão admissível o menor de três valores: tensão de ruptura dividida pelo fator de segurança; tensão correspondente ao recalque de 25 mm dividido pelo fator de segurança e tensão correspondente ao recalque de 10 mm. Já o método de Cudmani (1994) considera como tensão admissível a tensão correspondente ao recalque obtido da divisão do diâmetro da placa em milímetros por 30, dividida pelo fator de segurança. Para ambos os métodos, o fator de segurança considerado é igual a dois, conforme indicado para fundações superficiais pela NBR 6122 (ABNT, 2010).

## 3 Resultados

### 3.1 Ensaios de Placa

Os resultados de uma prova de carga são representados em um gráfico Tensão x Recalque (TEIXEIRA; GODOY, 2016). A partir dos recalques médios (mm) lidos em cada estágio de carregamento em campo e das tensões correspondentes aplicadas na placa (kPa) elaborou-se a curva carga-recalque para cada ensaio de placa realizado. A Figura 6 apresenta as quatro curvas obtidas, contemplando o ensaio sobre o solo natural e os três ensaios executados sobre as condições de melhoria propostas.

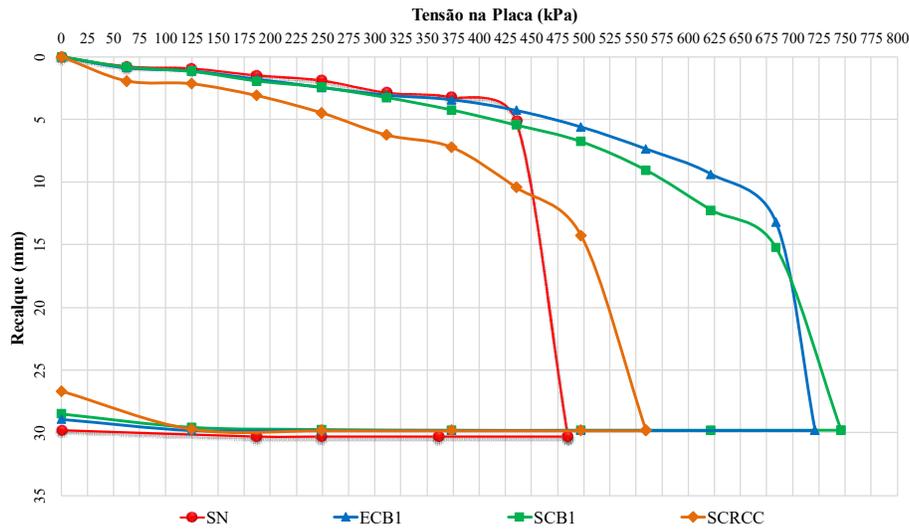


Figura 6. Curva carga-recalque dos ensaios.

### 3.2 Tensão Admissível

A tensão admissível do solo é um dos principais parâmetros no dimensionamento de fundações superficiais e os valores de tensão obtidos através dos ensaios de prova de carga em placa podem ser admitidos como reais, já que a placa simula o comportamento da fundação superficial no terreno. A partir das curvas carga x recalque obtidas é possível analisar de forma quantitativa os efeitos do melhoramento no terreno, sendo retirados os valores necessários a aplicação dos métodos de Alonso (2012) e Cudmani (1994). Dessa maneira, a Figura 7 apresenta os valores de tensão admissível real para cada local ensaiado, admitida como a média entre a tensão obtida por Alonso (2012) e a tensão obtida por Cudmani (1994).

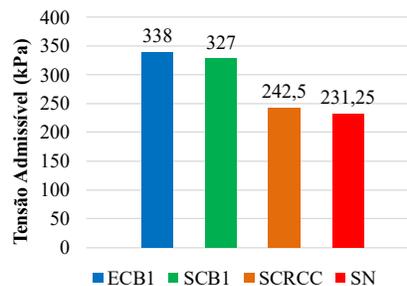


Figura 7. Tensão admissível para cada situação.

Constata-se que todos os casos de melhoramento apresentaram tensão admissível superior ao solo natural (231,25 kPa). Nota-se que a utilização de fundações assentes sobre o solo localizado entre colunas distribuídas em malha e preenchidas com brita 1 proporciona um acréscimo de 46,16% (338 kPa) na capacidade de carga do solo natural. Já a utilização de fundações estaqueadas, gera um acréscimo de 41,41% (327 kPa) de resistência para o assentamento sobre coluna preenchida com brita 1, e um aumento de 4,86% (242,5 kPa) para o assentamento sobre coluna preenchida com RCC em comparação ao natural.

### 3.3 Recalques

A ocorrência de recalques também é um fator importante no projeto de fundações, sendo que o objetivo do melhoramento de solos é aumentar a tensão admissível e ao mesmo tempo reduzir os recalques do terreno, possibilitando que construções de maior porte sejam edificadas sobre solos inicialmente menos resistentes. Dessa forma, a partir dos gráficos da Figura 6 foram encontrados os valores de recalque

correspondentes a tensão admissível obtida para cada ensaio realizado, sendo ambos os dados plotados no gráfico apresentado na Figura 8.

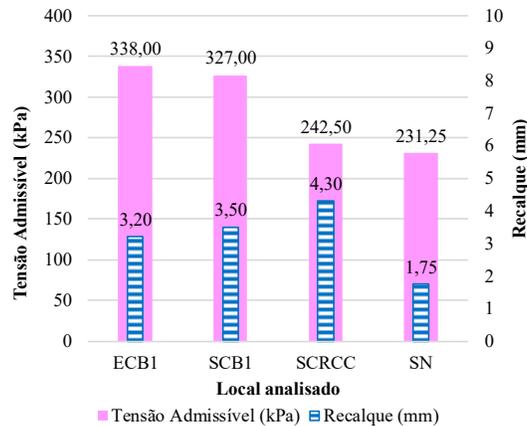


Figura 8. Recalque correspondente a tensão admissível.

Verifica-se que o solo natural apresentou menor tensão admissível e menor valor de recalque correspondente. Já entre as alternativas de melhoramento, observa-se as seguintes situações: a coluna de RCC apresenta a menor tensão admissível e o maior valor de recalque, sendo a opção menos adequada frente seu desempenho; o solo entre as colunas de brita demonstrou além do maior valor de tensão admissível, o menor valor de recalque, duas características desejáveis em um processo de melhoria; já a coluna de brita isolada também teve resultados satisfatórios, sendo que a tensão admissível foi um pouco inferior e o recalque um pouco superior aos respectivos valores do ensaio entre as colunas.

Outra análise importante é referente ao aumento da deformação do terreno com o acréscimo de tensão a partir dos valores de recalques lidos em campo e retirados dos gráficos da Figura 6. Tais dados foram organizados de forma gráfica através da Figura 9.

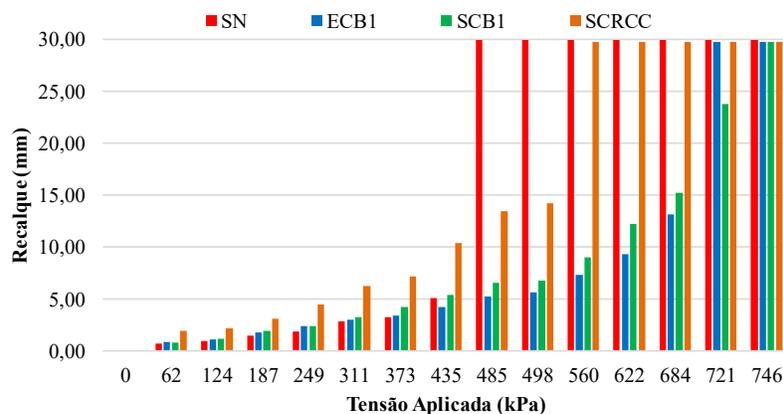


Figura 9. Aumento dos recalques com o acréscimo de tensão.

O gráfico indica que o solo natural apresenta menor deformação para carregamentos menores, porém os recalques são elevados rapidamente até a ruptura. Já o RCC apresenta-se como um material deformável pois o ensaio sobre essa coluna apresenta os maiores recalques para todos os níveis de carregamento. Para os solos melhorados com brita o aumento dos recalques apresenta-se mais suave durante aplicações de carregamentos maiores, com aumento menos acentuado nos níveis da tensão de ruptura, verificando-se que os valores de recalque para o solo entre as colunas de compactação permanecem um pouco menores em cada fase, apenas superando os valores da coluna de brita no momento da ruptura, que ocorre um pouco antes da ruptura sobre a coluna.

Outra verificação efetuada na pesquisa, refere-se a avaliação do comportamento do solo também no momento do descarregamento. Para isso foram agrupados na Tabela 3 os dados correspondentes ao recalque total e ao recalque final após a remoção da carga sobre a placa em cada ensaio. Percebe-se que o solo natural foi o que menos apresentou retorno (1,61% do recalque total), enquanto a coluna de RCC apresentou 10,53% de retorno em relação ao seu recalque total.

Tabela 3. Identificação das provas de carga realizadas.

Local	SN	ECB1	SCB1	SCRCC
Deformação após carregamento (mm)	30,30	29,80	29,81	29,82
Deformação após descarregamento (mm)	29,82	28,91	28,49	26,68
Retorno (mm)	0,49	0,89	1,32	3,14
Retorno (%)	1,61	2,98	4,42	10,53

Assim, constata-se que o retorno elástico é proporcional ao recalque ocorrido durante o carregamento, visto que a coluna com RCC apresentou os maiores níveis de deformação e obteve o maior retorno, enquanto o solo natural apresentou menores níveis de recalque iniciais e menor retorno. Quanto aos dois melhoramentos com brita, a coluna de brita apresentou retorno maior que o solo localizando entre as colunas, notando-se que ensaios sobre colunas preenchidas com material granular apresentam retorno elástico maior que ensaios realizados diretamente sobre o solo.

#### 4 Conclusão

A pesquisa demonstrou que todos os métodos de melhoramento propiciaram aumento da tensão admissível do solo, o que representa um aspecto positivo, pois o aumento dessa variável possibilita a aplicação de elementos de fundação superficial com dimensões reduzidas e de menor custo. O resultado mais favorável foi para solo situado entre as colunas preenchidas com brita 1, com um acréscimo de 1,46 vezes na capacidade de carga do terreno, o que confirma que a compactação das colunas influenciou o solo nos arredores, contribuindo com a densificação do terreno. O ensaio realizado entre as colunas de brita 1 apresentou tensão admissível maior e recalques menores que o ensaio efetuado sobre a coluna de brita 1, mesmo que o ensaio sobre a coluna de brita 1 tenha apresentado tensão de ruptura ligeiramente superior.

Também verificou-se que o material de preenchimento exerceu influência sobre o melhoramento, pois a coluna preenchida com brita melhorou em 41,41% o solo natural enquanto a coluna preenchida com RCC apresentou eficiência de 4,86%. Além disso, o preenchimento com RCC gerou a ocorrência de recalques maiores desde a primeira aplicação de carregamento em comparação aos recalques da coluna de brita.

A alteração mais notável nas curvas carga-recalque dos ensaios foi o aumento brusco de recalques no momento de ruptura para o solo natural, enquanto que no solo melhorado as curvas foram mais suaves atingindo valores de tensão maiores com recalques menores. Observou-se ainda que no último estágio do descarregamento houve uma parcela de recuperação elástica para todas as situações de melhoramento, demonstrando que o material compactado confere ao solo uma parcela de deformação elástica maior, visto que o solo natural apresentou a menor taxa de retorno.

A partir das análises constatadas, verifica-se até então, que há viabilidade na implantação do método em estudo para melhoramento de solos com características semelhantes ao aplicado nesse trabalho, surgindo como uma alternativa a ser aplicada nos solos da região em favorecimento do uso de fundações superficiais.

#### AGRADECIMENTOS

Ao MEC/SESu pela participação no Programa de Educação Tutorial e as empresas que cederam os equipamentos necessários ao desenvolvimento da pesquisa, bem como as escavadeiras hidráulicas.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, U. R. (2012) *Exercícios de fundações*. 2. Ed. São Paulo: Blucher, 2012. 204 p.

- ARÉVALOS BURRÓ, M. A. (2015) *Capacidade de carga de fundações sobre solos reforçados por colunas submetidas a solicitações inclinadas*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia/UFRGS, 159 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010). NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_ (1984). NBR 6489. *Prova de Carga Direta sobre Terreno de Fundação*. Rio de Janeiro.
- BERNARDI, C. (2013) *Estudo de misturas de solo argiloso laterítico com agregados finos para uso em pavimentos econômicos*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Departamento de Ciências Exatas e Engenharias/UNIJUÍ, 68 p.
- CASAGRANDE, M. D. T. (2001) *Estudo do comportamento de um solo reforçado com fibras de polipropileno visando o uso como base de fundações superficiais*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia/UFRGS, 109 p.
- CONSOLI, N. C.; FESTUGATO, L. (2015) Aplicações em reforço de solos: Solos reforçados com fibras. In: VERTEMATTI, J. C. (Org.). *Manual Brasileiro de Geossintéticos*. 2. Ed. São Paulo: Blucher, p. 222-231.
- CUDMANI, R. O. (1994) *Estudo do comportamento de sapatas assentes em solos residuais parcialmente saturados através de ensaios de placa*. 150 p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia/UFRGS, 150 p.
- FREITAS, M. C. (2016) *Avaliação de técnica de melhoria de solos colapsíveis por meio de colunas de solo laterítico compactado*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos/USP, 201 p.
- GUSMÃO, A. D. (2005) Melhoramento de Terrenos Arenosos. In: GUSMÃO, A. D.; GUSMÃO FILHO, J. A.; OLIVEIRA, J. T. R.; MAIA, G. B. (Org.). *Geotecnia no Nordeste*. 1. Ed. Recife: Editora Universitária UFPE, v. 1, p. 331-363.
- MITCHELL, J. K. (1970) In-place treatment of foundation soil. *Journal of Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, vol. 96, p. 73-110.
- PASSOS, P. G. O. (2005) *Melhoramento de solos arenosos com estacas de areia e brita*. Tese de Doutorado, Faculdade de Tecnologia, UnB, Brasília, 159 p.
- RODRIGUES, J. (2018) *Melhoramento do solo mole e o geoenrejecimento*. Rio de Janeiro: J. C. Rodrigues, 468 p.
- SOARES, V. B. (2000) Histórico da fundação do Condomínio Residencial Torino, com vinte pavimentos, em João Pessoa – PB. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA - SEFE, 4, 2000, São Carlos. *Anais...* São Paulo: ABEF/ABMS, v. 2, p. 451-462.
- SOARES, Wanessa C. (2005) *Análise de recalques de edifícios em solos melhorados com estacas de compactação*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos/USP, 146 p.
- SOARES, Wilson C. (2002) *Estacas de compactação para melhoria de solos*. 2002. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos/USP, 151 p.
- TEIXEIRA, A. H.; GODOY, N. S. (2016) Análise, projeto e execução de fundações rasas. In: FALCONI, F. (Org.) et al. *Fundações: teoria e prática*. 3. Ed. São Paulo: Pini, p. 225-262.
- THOMÉ, A. (1999) *Comportamento de fundações superficiais apoiadas em aterros estabilizados com resíduos industriais*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/UFRGS, 266 p.