

Adição de Solo Cimento para Melhoria da Resistência da Camada para Maior Economia na Fundação

Eduardo de Castro Bittencourt

ITPAC – PORTO, Porto Nacional, Brasil, eduardo_bittencourt07@hotmail.com

Igor Guilherme Silva Santos

ITPAC – PORTO, Porto Nacional, Brasil, igor_eng@hotmail.com

Tertuliano Nunes da Silva Filho

ITPAC – PORTO, Porto Nacional, Brasil, tn.filho@hotmail.com

Cleber Decarli de Assis

ITPAC – PORTO, Porto Nacional, Brasil, decassis@gmail.com

RESUMO: A fundação é um dos principais elementos de uma obra, pois a mesma é responsável por transmitir as cargas da superestrutura para o solo. Tendo em vista que ela está inserida na camada de solo, o conhecimento dos parâmetros de resistência do mesmo é de fundamental importância para a projeção das dimensões da infraestrutura. Uma das metas do engenheiro civil num empreendimento é obter um projeto econômico. Diante disto, a finalidade deste trabalho é a obtenção de uma maior economia na fundação superficial com a adição de uma camada de solo cimento, resultando na melhoria dos parâmetros de resistência da mesma e conseqüentemente, maior capacidade de carga do sistema solo-sapata. Através do ensaio de cisalhamento direto, foi realizada uma comparação dos parâmetros de resistência do solo de uma amostra indeformável e do mesmo solo com adição de cimento para duas proporções, com 14 e 21 dias de cura, além de realização do ensaio de compressão axial para análise do desempenho do solo natural e com adições de cimento em duas proporções. Por fim, foi efetuado o ensaio de adensamento nos corpos de prova com aditivo para observar seus comportamentos quanto à deformação. Em seqüência foi simulada a projeção de uma fundação superficial na região central de Porto Nacional-TO, tanto com os parâmetros do solo no estado original, quanto com a adição de cimento nas duas proporções. O resultado foi uma otimização na capacidade de carga com o aditivo no solo, resultando num projeto mais econômico tendo em vista que as dimensões da fundação foram reduzidas, ocasionando a redução da área de aço na fundação.

PALAVRAS-CHAVE: Capacidade de Carga, Fundação, Solo Cimento, Solo-Sapata.

1 INTRODUÇÃO

A resistência do sistema solo-sapata é diretamente ligada aos parâmetros da camada de solo, em que as dimensões da fundação irão depender de tais fatores. Devido à natureza não homogênea do solo, muitas vezes os valores de capacidade de carga não são aceitáveis para projeto, sendo necessária a adição de algum composto para melhoria dos parâmetros da camada, para que se tenham maiores valores de capacidade de carga e maior economia na fundação (BOSZCZOWSKI et al. 2010).

Em virtude da complexidade do solo, é normal que se encontre situações em que ele não consiga atender as exigências contidas no projeto. Em regiões onde os terrenos não se adequam ao projeto, a melhoria dos mesmos resulta numa alternativa viável para o objetivo do empreendimento (BRESSANI, 1990).

Dentro deste contexto, a melhoria do solo em terrenos com características de resistência não adequadas para projeto, com adição de compostos para a melhoria do mesmo, torna-se uma alternativa viável para adequação do projeto.

Quando num empreendimento é observado que as características do solo natural não são atendidas no quesito capacidade de carga, faz-se necessária a melhoria das características do mesmo para a viabilização da obra (BOSZCZOWSKI et al. 2010).

Para Consoli (2003) a técnica de utilização de solo cimento é realizada com o intuito de obter materiais geotécnicos que sejam compatíveis para estruturas de obras civis no geral, como fundações superficiais.

A prática de adição de solo cimento é uma técnica eficaz para melhoria do solo, em que resulta no aprimoramento das características de resistência do mesmo. Ismail (2007) mostra que a adição de cimento Portland em pequenas porções é vantajosa devido à observância de melhorias no comportamento mecânico de amostras artificialmente cimentadas.

De acordo com Dupas e Pecker (1979), a melhoria dos solos devido à aplicação de cimento Portland é amplamente utilizada como uma camada de suporte para diversos empreendimentos.

O presente trabalho teve como objetivo apresentar um estudo da melhoria do solo com aplicação do cimento, para posteriormente realizar a simulação de um projeto de fundação rasa na cidade de Porto Nacional-TO, observando os benefícios econômicos na infraestrutura devido a otimização dos parâmetros de resistência da camada de solo.

2 MÉTODO DE CÁLCULO DE CAPACIDADE DE CARGA

No momento em que é aplicada uma força vertical de compressão P no topo da sapata, tensões resistentes no solo são geradas. Caso tal força aumente gradativamente, a tensão provocada resultará no surgimento de uma superfície de ruptura, e na iminência de ruptura, a carga correspondente à resistência limite do solo-sapata é denominada capacidade de carga da fundação (VELLOSO E LOPES, 2011).

2.1 Forma da Sapata

Com base em experimentos, Terzaghi e Peck (1967) criaram uma equação geral para a

obtenção da capacidade de carga do sistema, a qual considera a forma da sapata, onde B na equação (1) é o lado da fundação rasa.

$$\sigma_r = c \cdot N_c \cdot S_c + q \cdot N_q \cdot S_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma \quad (1)$$

Através da equação (1) pode-se concluir que os parâmetros de resistência agem de forma direta na obtenção da capacidade de carga do sistema. Pode-se concluir que quanto maiores tais parâmetros, maior capacidade de carga terá o sistema solo-sapata.

Para Vesic (1975) é conveniente que se use os fatores de forma através de De Beer (1967, apud Vesic, 1975), em que se considera não somente a forma da sapata, mas também o ângulo de atrito do solo, como demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1. Fatores de forma de De Beer (1967, apud Vesic, 1975).

Sapata	S_c	S_q	S_γ
Corrida	1,0	1,0	1,0
Retangular	$1+(B/L) \cdot (N_q/N_c)$	$1+(B/L) \cdot \text{tg}\theta$	$1-4 \cdot (B/L)$
Quadrada/Circular	$1+(N_q/N_c)$	$1+\text{tg}\theta$	0,60

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A fundação a ser simulada é localizada na região central de Porto Nacional, a qual abrigará futuramente uma edificação. Para o presente estudo foram efetuadas análise granulométrica, massa específica, além de ensaios de compressão axial, como a NBR-5739 (2007) preconiza, adensamento conforme a NBR-12007 (1990) e cisalhamento direto. Todos os ensaios foram realizados no laboratório do ITPAC-PORTO (Instituto Presidente Antônio Carlos).

Para obtenção do perfil do solo de tal local foi utilizada sondagem a percussão, de acordo com a NBR-6484 (2001). O aditivo usado para a obtenção do solo-cimento foi o cimento Portland composto (CPII-Z-32), nas proporções de 1:10 e 1:15. Para compactação o método utilizado foi o proctor normal, para

posteriormente curar os corpos de prova com aditivos para 14 e 21 dias.

3.1 Caracterização do Local

Segundo (Gorayeb 1996, Gorayeb et al. 2000) a cidade de Porto Nacional é formada por granulitos enderbitos, máficos, kinzigitos e raros mobilizados charnockíticos.

3.1.1 Sondagem à Percussão

A sondagem à percussão (SPT) é o método de investigação geotécnica mais difundida no Brasil, em que os resultados de resistência à penetração são usados para fins de projeto de fundação. Para esse estudo foram realizadas 3 sondagens, efetuadas até a profundidade de 7,28 metros para 2 furos, já que houve a impossibilidade de descida do trado helicoidal e do revestimento para a circulação de água. No terceiro furo a penetração atingiu a cota de 4,22 metros onde o motivo de paralisação foi o mesmo citado nos dois primeiros furos.

4 RESULTADOS

4.1 Composição Granular e Massa Específica do Solo

Como já citado, o solo designado para o estudo é oriundo de um terreno que se localiza no centro da cidade de Porto Nacional- TO. Em que o mesmo é classificado como uma argila arenosa com pedregulho, contendo massa específica real de 28.2 kN/m³. A Figura 1 representa a curva granulométrica do material.

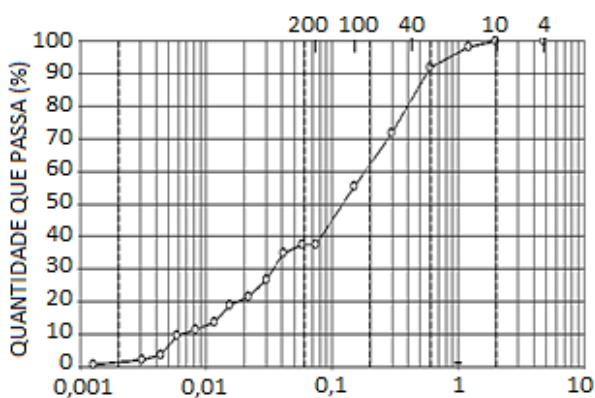


Figura 1. Distribuição granulométrica.

4.2 Ensaio de Compressão Axial

A modelagem dos corpos de prova foi efetuada de acordo com a NBR-5738 (2008), onde três corpos de prova, para o solo natural indeformado, com aditivo em proporção 1:10 e 1:15, foram submetidos a compressão axial para curas de 14 e 21 dias. Os Quadros 1 e 2 representam os resultados do ensaio para os três diferentes tipos de corpos de prova.

Quadro 1. Resultado Compressão Axial 14 dias.

COMPRESSÃO AXIAL 14 DIAS						
Tipo C.P	Proporção de Cimento	Nº C.P	Carga (tf)	Área C.P (mm ²)	Compressão (MPa)	Média (MPa)
Natural	0	1	0,66	7814,78	0,83	0,92
		2	0,78	7814,78	0,98	
		3	0,77	7814,78	0,97	
Adição de Cimento 1:15	01:15	1	0,86	7814,78	1,08	1,09
		2	0,87	7814,78	1,09	
		3	0,88	7814,78	1,1	
Adição de Cimento 1:10	01:10	1	1,74	7814,78	2,18	2,04
		2	1,46	7814,78	1,83	
		3	1,68	7814,78	2,11	

Quadro 2. Resultado Compressão Axial 21 dias.

COMPRESSÃO AXIAL 21 DIAS						
Tipo C.P	Proporção de Cimento	Nº C.P	Carga (tf)	Área C.P (mm ²)	Compressão (MPa)	Média (MPa)
Natural	0	1	0,8	7814,78	1	1,03
		2	0,91	7814,78	1,14	
		3	0,74	7814,78	0,93	
Adição de Cimento 1:15	01:15	1	0,95	7814,78	1,19	1,23
		2	1,07	7814,78	1,34	
		3	0,91	7814,78	1,14	
Adição de Cimento 1:10	01:10	1	2,04	7814,78	2,56	2,54
		2	2,06	7814,78	2,58	
		3	1,96	7814,78	2,46	

Através dos resultados do ensaio de compressão axial, pode-se concluir que houve uma grande melhoria na resistência à compressão do composto solo-cimento, em especial na proporção 1:10.

4.3 Ensaio de Adensamento

Conforme a NBR 12007 (1990) preconiza, foi realizado o ensaio de adensamento, determinando em sequência a curva de adensamento no solo no seu estado natural, a qual é representada na Figura 2.

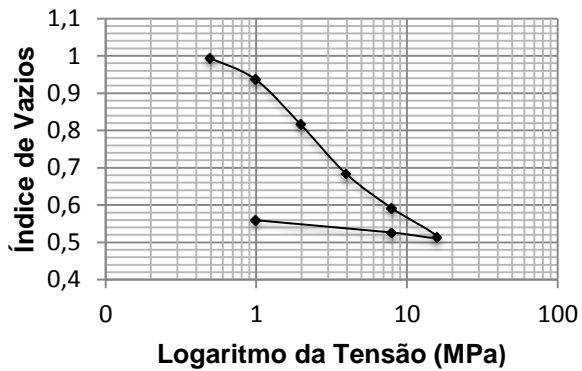


Figura 2. Curva de adensamento do solo natural.

Posteriormente, foi mensurada a tensão de pré-adensamento pelo método Pacheco e Silva, resultando no valor de 0,88 MPa, como ilustrado na Figura 3.

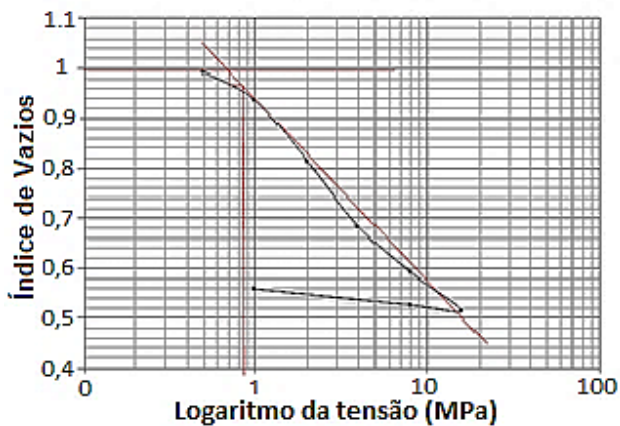


Figura 3. Tensão de pré-adensamento do solo natural.

Em seguida foi determinada a deformação do solo para as duas proporções de 1:10 e 1:15 com 14 dias de cura. Os mesmos são representados pelas Figuras 4 e 5 respectivamente.

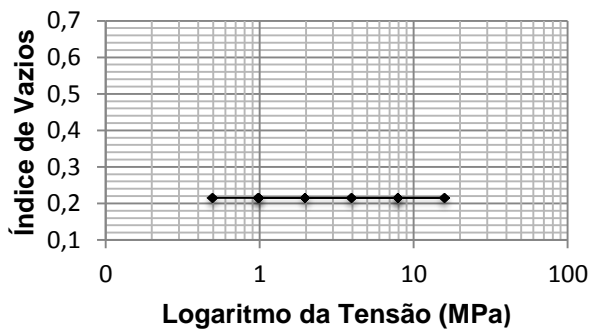


Figura 4. Deformação do solo com proporção 1:10.

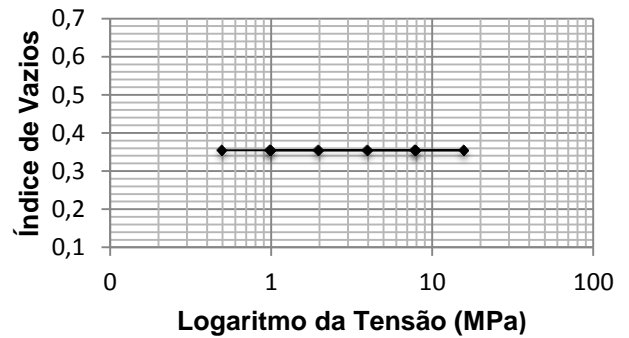


Figura 5. Deformação do solo com proporção 1:15.

Pelos resultados apresentados pôde-se inferir que não ocorreu deformação em nenhum dos corpos de prova, tendo índice de vazios constantes de 0,215 e 0,355 para as proporções de 1:10 e 1:15 respectivamente.

4.4 Ensaio de Cisalhamento Direto

Para a obtenção de pares de parâmetros de resistência da camada, foi utilizado o ensaio de cisalhamento direto não drenado, com isso, coesões e ângulos de atritos foram calculados com base em tensões totais tanto para o solo no seu estado natural, como para as duas proporções de aditivo cimentante.

A Figura 6 demonstra os valores de coesão c e ângulo de atrito ϕ da amostra indeformada, obtidos através do ensaio de cisalhamento direto.

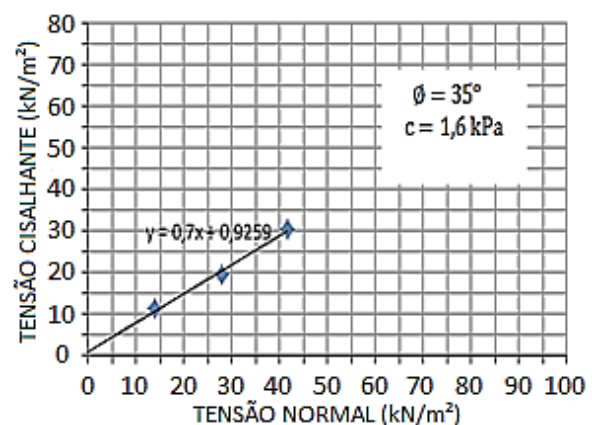


Figura 6. Tensão cisalhante \times Tensão normal para o solo natural.

Já nas Figuras 7 e 8 são demonstrados os resultados obtidos das amostras com solo

cimento em proporção de 1:15, em que as amostras tiveram 14 e 21 dias de cura.

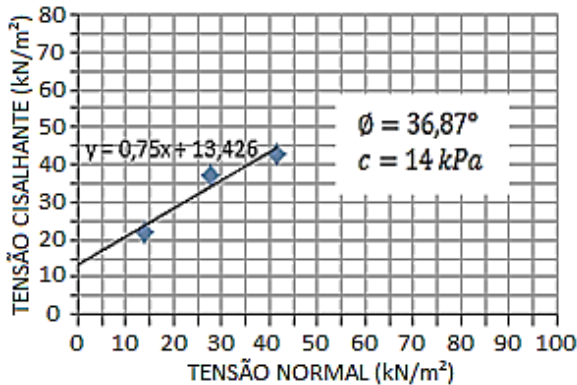


Figura 7. Tensão cisalhante x Tensão normal para o solo com proporção 1:15 com 14 dias de cura.

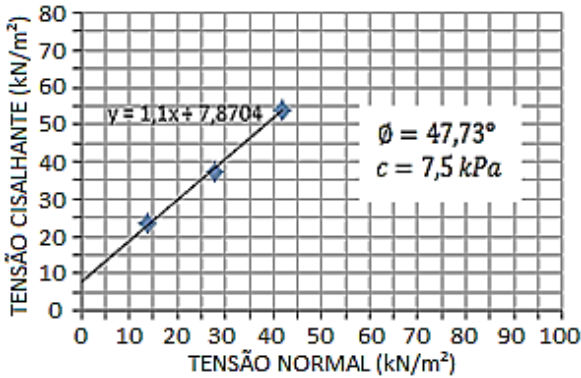


Figura 8. Tensão cisalhante x Tensão normal para o solo com proporção 1:15 com 21 dias de cura.

Para os corpos de provas com proporção de 1:10 de solo-cimento, os resultados de coesão e ângulo de atrito para cura de 14 e 21 dias são representados respectivamente pelas Figuras 9 e 10.

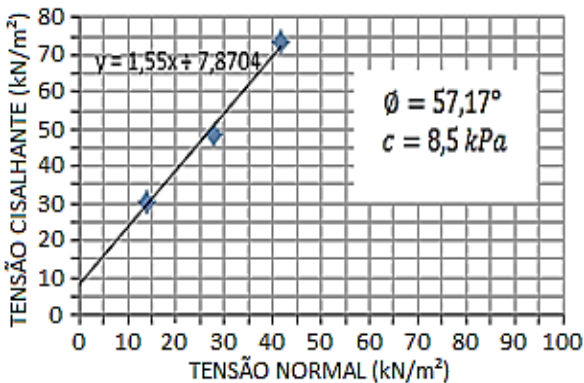


Figura 9. Tensão cisalhante x Tensão normal para o solo com proporção 1:10 com 14 dias de cura.

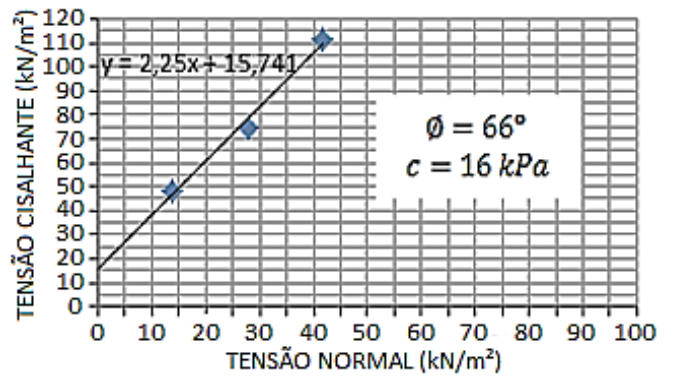


Figura 10. Tensão cisalhante x Tensão normal para solo com proporção 1:10 com 21 dias de cura.

4.5 Simulação numérica para capacidade de carga do solo

Após a obtenção dos ângulos de atrito e coesão para a amostra indeformada e com proporção de 1:10 e 1:15 de solo-cimento, ambas com 21 dias de cura, foi realizada uma simulação numérica para cálculo das tensões de ruptura para os três modelos de perfil de solo.

Para esta simulação foi considerado um pilar quadrado com dimensões de 30x30cm, sendo aplicado no mesmo uma carga P de 1000kN. A sapata foi fixada a dois metros de profundidade, além do material ter consistência dura e estabelecido na cota abaixo da sapata, com 0,5 metros de profundidade.

Primeiramente foi calculado o lado da sapata, através da carga P e tensão admissível do solo de 300kPa, sendo obtido um valor de 1,85 metros. Em seguida foi calculada a tensão de ruptura para a amostra indeformada, em que o ângulo de atrito e coesão foram respectivamente 35° e 1,6 kPa. Foi utilizada a equação proposta por Terzaghi e Peck (1967) para capacidade de carga, fatores de forma de De Beer (1967, apud Vesic, 1975) e fatores de carga de (Vesic, 1975). O valor obtido para esta amostra para capacidade de carga admissível foi 1002,2 kPa.

Posteriormente foi calculada a capacidade de carga admissível para o solo-cimento 1:10, o qual resultou no valor de 2341,1 kPa. Por último foi obtida capacidade de carga para o solo-cimento 1:15, resultando no valor de 1654,67 kPa.

Tendo os valores de todas as 3 capacidades de carga, foram redimensionadas as medidas da fundação para posterior comparação das áreas de aço de cada sapata.

Para a amostra indeformada, foi obtido 1 metro para o valor do lado da sapata, resultando numa área de aço de 6,71 cm². Para a amostra de solo-cimento 1:10 teve como 0,65 metros o lado da sapata, ocasionando numa área de aço de 4,36 cm². Por fim, para a sapata de solo-cimento 1:15, teve 0,8 metros de lado, gerando uma área de aço de 5,37 cm².

A Figura 11 abaixo demonstra os valores das bases da sapata de acordo com o tipo de solo.

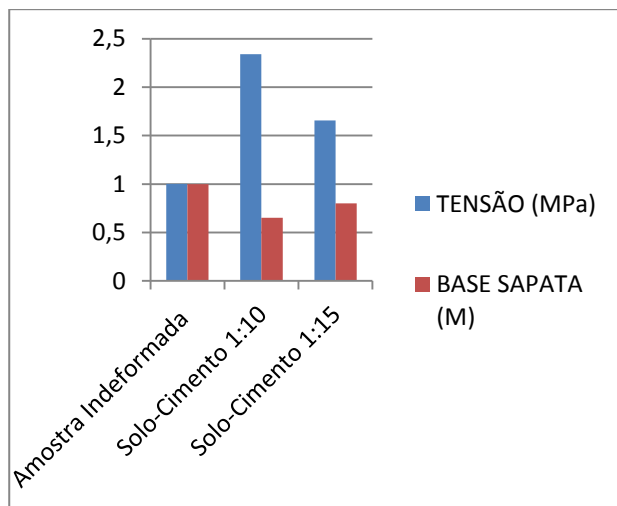


Figura 11. Tensão de ruptura x base da sapata.

5 CONCLUSÕES

A adição de cimento no solo para melhoria da capacidade de carga do solo é uma alternativa viável em termos econômicos, em situações que o solo não se adequa as condições de projeto.

Com o presente estudo, observou-se uma melhoria significativa na capacidade de carga do solo, especialmente com a proporção de solo-cimento 1:10, resultando numa redução expressiva nas dimensões da sapata, reduzindo desta forma a área de aço na fundação.

AGRADECIMENTOS

Os autores do presente trabalho agradecem o apoio do ITPAC-PORTO, que sem ele não seria possível a realização dos ensaios em laboratório, não esquecendo de citar o auxílio do amigo e professor Cleber Decarli de Assis, que sempre nos apoiou em projetos científicos.

REFERÊNCIAS

- ABNT (1990). NBR-12007. *Solo – Ensaio de adensamento unidimensional*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Rio de Janeiro.
- ABNT (2001). NBR-6484. *Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Rio de Janeiro.
- ABNT (2007). NBR-5739. *Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Rio de Janeiro.
- ABNT (2008). NBR-5738. *Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Rio de Janeiro.
- Bressani, L. A. (1990). *Experimental properties of bonded soils*. 186 f. Tese de Doutorado em Engenharia Geotécnica, Universidade de Londres. 1990.
- Boszczowski, R. B., Sanchez, P. F. e Lazarim, T. P. (2010). *Melhoramento e Tratamento de Solo Argiloso com uso de Poliuretano Rígido Para Aplicação em Reforços de Fundações*. B.Sc.Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS. 2010.
- Consoli, N.C. (2003). *Behavior of compacted soil-fly ash-carbide lime-fly ash mixtures*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental.
- Dupas, J. M e Pecker, A. (1979). *Static and dynamics Properties of Sand-cement*, Journal of Geotechnical Engineering division.
- Horayeb P.S.S. (1996). *Petrologia e evolução crustal das rochas de alto grau de Porto Nacional-TO*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Pará, 262 p.
- Horayeb P.S.S., Moura C.A.V., Barros G.R. (2000). *Pb-Pb zircon ages of the Porto Nacional high-grade metamorphic terrain, northern portion of the Goiás Massif, Central Brazil*. Rev. Bras. Geoc., 30:190-194.
- Ismail, M A. (2007). *Effect of cement type on shear behavior of cemented calcareous soil*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering.
- Terzaghi, K. e Peck, R.B. (1967). *Soil mechanics in engineering practice*. New York: John Willey e Sons.
- Velloso e Lopes. (2011). *Fundações. (critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais e fundações profundas)*. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. Volume 1.
- Vesic, A. S. (1975). *Foundation Engineering Handbook*. New York: Van Nostrand Reinhold.