

# Avaliação da Resistência à Compressão Simples de Misturas de Solo e Escória de Cobre Aditivadas com Cimento Portland Aplicadas à Pavimentação

Guilherme Bravo de Oliveira Almeida

Doutorando em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil e Professor do Departamento de Arquitetura da Universidade Federal de Sergipe, Laranjeiras, Brasil, gbravo1982@gmail.com

Michéle Dal Toé Casagrande

Professora do Departamento de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, michele\_casagrande@puc-rio.br

Erinaldo Hilário Cavalcante

Professor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil, erinaldo.cavalcante@ufcg.edu.br

**RESUMO:** Este trabalho teve o objetivo de avaliar a resistência à compressão simples da mistura de solo, escória de cobre e cimento Portland. Os materiais utilizados foram: solo com características areno-argilosas, coletado no município de São Cristóvão (SE); escória de cobre, proveniente de serviços de jateamento, com teores variando de 10 a 40% em relação à massa do solo seco; e cimento do tipo CP V-ARI, com teores variando de 3 a 9% em relação à massa de solo seco e teores de 3 e 5% em relação à massa de solo e escória secos. O solo natural e as misturas de solo-escória foram submetidas aos ensaios de caracterização (análise granulométrica, limites de Atterberg e massa específica dos grãos), compactação (Proctor Intermediário) e resistência à compressão simples e as misturas de solo-escória-cimento foram submetidas aos ensaios de compactação e de resistência. O valor da resistência tomado como referência foi de 2,1 MPa. Os resultados demonstraram que a maior resistência da mistura de solo-escória ocorreu com um percentual de 30% de escória, indicando que, nessa porcentagem, as frações da escória preencheram mais efetivamente os vazios deixados pelas partículas do solo. Para a mistura de solo-cimento as maiores resistências ocorreram entre 7 e 9% do aditivo. Nas misturas com solo-escória-cimento, o teor mínimo de cimento foi de 5% para 10% de escória. No entanto, maiores resistências foram alcançadas com 30% de escória. Pode-se concluir a partir desses resultados que a escória de cobre atuou na estabilização granulométrica do solo, com uma porcentagem ideal de 30%, indicada pelo valor da maior resistência à compressão. Além disso, foi possível aumentar a massa específica aparente e reduzir o teor de cimento em aproximadamente 3% ao variar a porcentagem de escória de 10 a 40%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estabilização de Solo, Escória de Cobre, Cimento Portland, Ensaio de Laboratório

## 1 INTRODUÇÃO

O solo, como componente essencial na engenharia geotécnica, muitas vezes não

cumprir com as funções a que se destina, optando-se por abandonar o local, eliminar o solo indesejado, adaptar o projeto ou modificar as propriedades para melhorar seu

comportamento (Lambe e Withman, 1969). Essa última opção é o que se designa estabilização ou melhoramento de solo. Segundo Senço (2001) a estabilização de um solo consiste em dotá-lo de condições de resistir a deformações e ruptura durante o período em que estiver exercendo funções que exigem essas características, num pavimento ou outra obra qualquer. Os métodos existentes para a estabilização podem ser: mecânica, física e química.

As estabilização mecânica de um solo consiste num conjunto de operações mecânicas que modificam o arranjo das partículas do solo ou sua granulometria por meio da subtração ou adição de algumas frações (Cristelo, 2001). Esse método engloba diversos processos com o mesmo objetivo: diminuição da quantidade de vazios existentes no solo (Cruz, 2004). Senço (2001) explica que a distribuição de partículas diferentes é tal que os vazios deixados pelos grãos maiores são preenchidos pelos grãos médios e os vazios desses, pelos miúdos, formando uma estrutura densa com massa específica aparente superior e resultando numa maior resistência e impermeabilidade, além de exigir o menor consumo de aglomerante.

A estabilização química tem por base reações químicas que englobam um apreciável número de processos entre o solo, o agente estabilizante e a água. Little (1995) apresenta possíveis aditivos usados na estabilização mediante os resultados granulométricos e de plasticidade do solo e, segundo o autor, o cimento Portland tem uma aplicação maior quando comparado a cal e ao betume.

As reações de hidratação promovidas pelo cimento são a origem do endurecimento da mistura que, conforme Concha (1986), em solos coesivos, o cimento a hidratar-se desenvolve fortes pontes entre partículas do solo formando uma matriz que o encaixa dentro dele. Essa matriz é muito efetiva na fixação das partículas, tal que elas não podem deslizar uma em relação às outras. Assim, o cimento não só destrói a plasticidade, como ainda promove um incremento na resistência ao cisalhamento.

Como o solo é o maior componente numa mistura de solo-cimento, é natural que as características da estabilização estejam

relacionadas com o comportamento e qualidade do solo. De acordo com Ceratti (1991) qualquer solo pode ser melhorado com cimento, a exceção daqueles ricos em húmus e mica. No entanto, solos arenosos de boa graduação e com plasticidade média a baixa são mais indicados a serem estabilizados com cimento por requererem baixos teores do aditivo e solos com elevada plasticidade são problemáticos por requererem maiores teores do aditivo, além de energéticos equipamentos misturadores.

Alguns fatores podem influenciar diretamente a resistência do solo-cimento: propriedades físico-químicas do solo, grau de compactação, tipo e tempo de cura associado à temperatura, tempo entre a mistura e sua compactação, quantidade de água, homogeneização da mistura, quantidade de cimento (Marangon, 1992; Fonseca, Cruz e Consoli, 2009).

Seguindo esse contexto, o presente estudo tem o objetivo de avaliar a resistência à compressão simples de misturas de solo, escória de cobre pós-jateada e cimento Portland, diante da hipótese de que as diferentes porcentagens adicionadas de escória irá causar uma melhora na granulometria do solo, através do preenchimento dos vazios deixados pelas partículas do solo, no aumento da massa específica aparente, elevando a resistência da mistura, além de reduzir o teor do aditivo.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O solo utilizado para o estudo foi coletado no município de São Cristóvão, Estado de Sergipe, nas coordenadas geográficas Latitude 10° 58' 36" S e Longitude 37°14'16,3" W. O cimento Portland usado na estabilização foi o CP V-ARI (Cimento Portland de alta resistência inicial) e a sua escolha foi baseada na composição química, que apresenta menores adições na fabricação. Os teores do aditivo adicionados ao solo puro foram 3, 5, 7 e 9% em relação à massa de solo seco e teores de 3 e 5% do aditivo em relação à massa da mistura de solo e escória secos. A escória de cobre utilizada provém de serviços de jateamento a seco de tanques de petróleo, a qual é usada como abrasivo na preparação da superfície externa do tanque para aplicação de uma nova pintura.

## 2.1 Preparação e caracterização do solo

O solo inicialmente foi seco ao ar, destorroado, quarteado e preparado segundo a norma DNER-ME 041/94. Para a caracterização, os seguintes ensaios foram executados: densidade real (DNER-ME 093/94), análise granulométrica (DNER-ME 051/94), limites de liquidez (DNER-ME 082/94) e limite de plasticidade (DNER-ME 122/94).

## 2.2 Escória de cobre

A escória de cobre pós-jateada também seguiu a norma DNER-ME 041/94 e para sua caracterização foram executados os seguintes ensaios: densidade real (DNER-ME 194/98), análise granulométrica (DNER-ME 051/94), limites de liquidez (DNER-ME 082/94) e limite de plasticidade (DNER-ME 122/94). Os seus teores variaram de 10 a 40% em relação à massa de solo seco.

## 2.3 Compactação do solo e da mistura de solo, escória de cobre e cimento Portland

A determinação dos parâmetros de compactação seguiu a norma DNER-ME 129/94, com energia de compactação intermediária de 26 golpes por camada. Nas misturas de solo, escória de cobre e cimento seguiu a norma DNER-ME 216/94 aplicado ao método B, quando usado material que passa na peneira de 19 mm e quando parte da amostra fica retida na peneira de 4,8 mm.

Apesar de a norma DNER-ME 216/94 descrever a energia normal para solo-cimento, foi utilizada a energia intermediária, uma vez que a adição da escória de cobre modifica a granulometria do solo e, segundo a norma DNIT 139/2010 – ES, a energia mínima requerida é a intermediária.

## 2.4 Moldagem e cura dos corpos de prova

Para a moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos foi seguida a norma DNER-ME 202/94, conforme o método B, quando usado material que passa na peneira de 19 mm e quando parte da amostra fica retida na peneira de 4,8 mm. Baseado na justificativa descrita no

item anterior, a moldagem também foi realizada na energia intermediária. O período de cura dos corpos de prova foi de sete dias em câmara úmida a uma temperatura de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

Para cada ensaio da mistura de solo, escória de cobre e cimento foram moldados 3 corpos de prova.

## 2.5 Resistência à compressão simples (RCS)

Conforme descreve Fonseca, Cruz e Consoli (2009) e observado na literatura, a resistência à compressão não confinada tem sido usada para avaliar a estabilização com aditivos ou determinar fatores que influenciam a resistência da mistura solo-cimento. O ensaio é simples, rápido, confiável e barato, segundo os autores, e foi realizado seguindo a norma DNER-ME 201/94. Os corpos de prova destinados à dosagem do solo-cimento, após o período de cura de sete dias, foram submetidos à imersão em água por 4 horas. No entanto, os corpos de prova que não continham cimento Portland não foram imersos em água por se desintegrarem ao serem mergulhados. A prensa utilizada foi a Máquina Universal de Ensaio, eletrodinâmica e microprocessada DL 20000 da EMIC Equipamentos e Sistemas de Ensaio. O software para aquisição de dados foi o TESC, desenvolvido pela mesma empresa citada e acompanha a máquina de ensaio.

# 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

## 3.1 Solo puro e escória de cobre

O solo puro apresentou densidade real dos grãos de 2,687, granulometria média, segundo a AASHTO, de 28,37% de pedregulho, 49,85% de areia, 7,12% de silte e 14,66% de argila, limite de liquidez de 34%, limite de plasticidade de 18% e índice de plasticidade de 16%, caracterizando um solo areno-argiloso. A classificação segundo a TRB foi um solo do tipo A-2-6(0) e pela USCS foi SC. Do ensaio de compactação, o solo puro apresentou uma umidade ótima de 8,9% e uma massa específica aparente seca máxima de  $21,07 \text{ kN/m}^3$ . Para os ensaios de RCS, os resultados foram: 0,70; 0,90 e 0,90 MPa, com uma média igual 0,83 MPa.

A escória de cobre pós-jateada apresentou densidade real dos grãos de 3,726, granulometria média, segundo a AASHTO, de 0,06% de pedregulho, 92,32% de areia, 7,13% de silte e 0,49% de argila. Quanto aos limites, ficou determinada a não plasticidade da escória. A classificação segundo a TRB foi A-3(0) e pela USCS foi SP. O material típico do grupo A-3 é uma areia fina de praia ou de deserto, sem silte ou argila, ou possuindo pequena quantidade de silte não plástico. Para o grupo SP, os materiais podem ser classificados como cascalhos uniformes (também chamados macadames), areias uniformes, ou misturas não uniformes de material muito grosso, e areia muito fina, faltando partículas com tamanho intermediário (DNIT, 2006).

### 3.2 Misturas de solo e escória de cobre

A mistura de solo e 10% de escória apresentou densidade real dos grãos de 2,798, granulometria média, segundo a AASHTO, de 26% de pedregulho, 53,8% de areia, 6,59% de silte e 13,61% de argila, limite de liquidez de 29%, limite de plasticidade de 17% e índice de plasticidade de 12%. A classificação segundo a TRB foi um solo do tipo A-2-6(0) e pela USCS foi SC. Do ensaio de compactação, a mistura apresentou uma umidade ótima de 8,5% e uma massa específica aparente seca máxima de 21,73 kN/m<sup>3</sup>. Para os ensaios de RCS, os resultados foram: 0,90; 0,85 e 0,76 MPa, com uma média igual a 0,84 MPa.

A mistura de solo e 20% de escória apresentou densidade real dos grãos de 2,85, granulometria média, segundo a AASHTO, de 24,31% de pedregulho, 52,91% de areia, 9,78% de silte e 13% de argila, limite de liquidez de 26%, limite de plasticidade de 16% e índice de plasticidade de 10%. A classificação segundo a TRB foi um solo do tipo A-2-4(0) e pela USCS foi SC. Do ensaio de compactação, a mistura apresentou uma umidade ótima de 8,0% e uma massa específica aparente seca máxima de 22,28 kN/m<sup>3</sup>. Para os ensaios de RCS, os resultados foram: 0,87; 0,78 e 1,02 MPa, com uma média igual a 0,89 MPa.

A mistura de solo e 30% de escória apresentou densidade real dos grãos de 2,983,

granulometria média, segundo a AASHTO, de 26,78% de pedregulho, 57,78% de areia, 4,67% de silte e 10,77% de argila, limite de liquidez de 23%, limite de plasticidade de 14% e índice de plasticidade de 9%. A classificação segundo a TRB foi um solo do tipo A-2-4(0) e pela USCS foi SC. Do ensaio de compactação, a mistura apresentou uma umidade ótima de 7,7% e uma massa específica aparente seca máxima de 22,82 kN/m<sup>3</sup>. Para os ensaios de RCS, os resultados foram: 0,92; 0,91 e 1,01 MPa, com uma média igual a 0,95 MPa.

A mistura de solo e 40% de escória apresentou densidade real dos grãos de 3,046, granulometria média, segundo a AASHTO, de 22,28% de pedregulho, 62,7% de areia, 6,19% de silte e 8,84% de argila, limite de liquidez de 21%, limite de plasticidade de 13% e índice de plasticidade de 7%. A classificação segundo a TRB foi um solo do tipo A-2-4(0) e pela USCS foi SC. Do ensaio de compactação, a mistura apresentou uma umidade ótima de 7,2% e uma massa específica aparente seca máxima de 23,13 kN/m<sup>3</sup>. Para os ensaios de RCS, os resultados foram: 0,88; 0,97 e 0,70 MPa, com uma média igual 0,85 MPa.

Comparando-se a granulometria do solo puro com a das misturas, observa-se que maiores variações ocorreram com as frações areia, silte e argila, que podem ser atribuídas aos teores crescentes de escória de cobre. Na fração arenosa, os 92,32% de areia presente na escória dão uma maior contribuição, principalmente as porções média e fina. Em relação ao silte e argila, suas variações estão mais condicionadas à redução do teor de solo em favor do aumento do teor de escória, uma vez que para esta fração a escória apresenta baixa porcentagem (7,62%). Na Figura 1 estão apresentadas as curvas granulométricas do solo, da mistura solo-escória e da escória.

Observa-se uma redução nos limites de Atterberg quando o teor de escória cresce, e isso pode ser explicado pela maior porcentagem da fração areia da escória que tende a quebrar a ação plástica do solo. Devido à adição da escória de cobre, a classificação da mistura alterou de A-2-6(0) para A-2-4(0) a partir do teor de 20% de escória, porém, a classificação segundo USCS continua sendo SC.

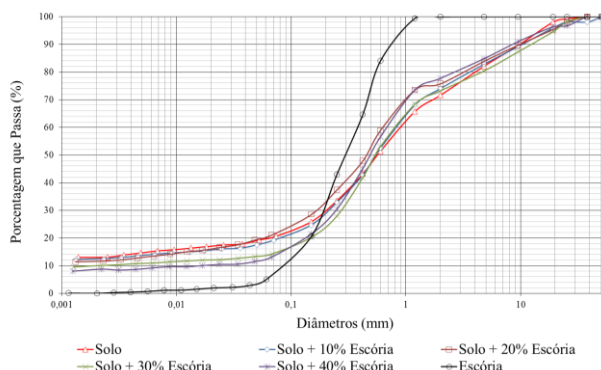


Figura 1. Curvas granulométricas do solo, das misturas solo e escória e escória.

Para os ensaios mecânicos, observa-se que o teor de umidade ótima vai reduzindo à medida que o teor de escória aumenta, pois diminui a fração que efetivamente absorveria a água da compactação. A Figura 2 mostra esta variação.

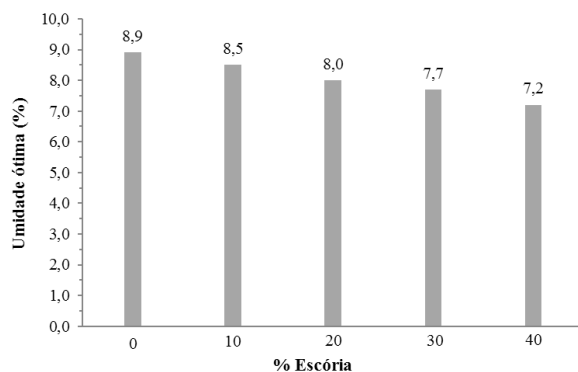


Figura 2. Umidade ótima versus porcentagem de escória.

Observa-se também, um aumento na massa específica aparente seca máxima, sendo atribuído à densidade da escória de 3,726. Para a resistência das misturas, observa-se que há um aumento até o teor de 30% atingindo uma média de 0,95 MPa, caindo para 0,85 MPa no teor de 40% de escória, conforme mostra a Figura 3.

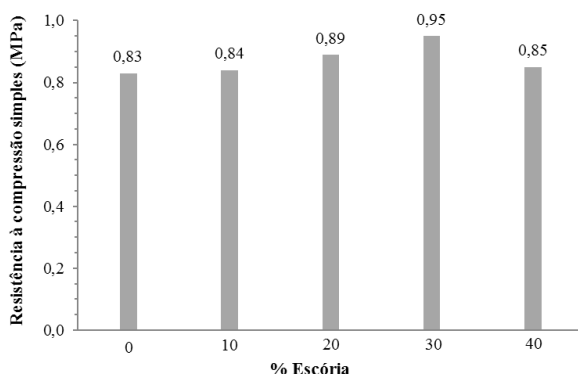


Figura 3. Resistência à compressão simples versus porcentagem de escória.

Isso indica que, das porcentagens estudadas, 30% de escória preenchem os vazios deixados pelos grãos do solo com um maior entrosamento entre eles e as partículas da escória. Supõem-se que nas misturas partir de 40% de escória a RCS tendem a diminuir devido à redução da coesão do solo, impedindo a ligação natural entre as partículas de argila.

### 3.3 Misturas de solo e cimento Portland

A Figura 4 mostra os resultados da resistência à compressão simples, após o período de cura de sete dias, para os diferentes teores de cimento adicionados ao solo.

Pode-se observar um aumento da resistência para maiores teores de cimento e a variação desse aumento é maior para teores acima de 5%, atingindo a resistência de 2,65 MPa para o teor de 9%. Essa resistência é aproximadamente 26% maior que a resistência mínima de 2,1 MPa discriminado na norma DNIT 143/2010 – ES, para utilização em base de pavimento.

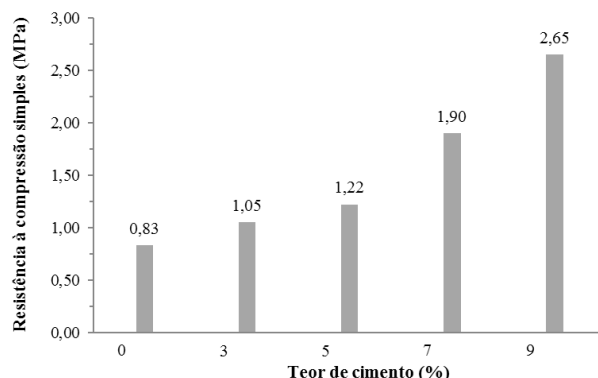


Figura 4. Resistência à compressão simples versus teor de cimento da mistura solo e cimento Portland.

Desses resultados pode-se deduzir que o teor de 8% seria suficiente para a estabilizar quimicamente este solo estudado, respeitando a resistência mínima de 2,1 MPa.

### 3.4 Misturas de solo, escória de cobre e cimento Portland

A média dos três ensaios das misturas de solo, escória de cobre nas porporções de 10, 20, 30 e 40% e cimento Portland nos teores 3 e 5% são apresentados na Tabela 1.

Com base nos valores mostrados na Tabela 1, observa-se que o maior valor obtido para a RCS do solo puro foi para a mistura com 30% de escória, ou seja, 0,95 MPa. Com a adição de cimento, nos percentuais de 3 e 5%, verifica-se que a resistência à compressão simples da mistura aumenta até se colocar 30% de escória na composição, mas diminui quando esse percentual aumenta para 40%. Disso se conclui que, fixando-se o percentual de escória, quanto maior o percentual de cimento, maior a RCS obtida.

Tabela 1. Média das resistências à compressão simples para as porcentagens de escória nos teores de cimento Portland.

| Teor de cimento (%) | Resistência à Compressão Simples (MPa) |      |      |      |      |
|---------------------|----------------------------------------|------|------|------|------|
|                     | 0%                                     | 10%  | 20%  | 30%  | 40%  |
| 0                   | 0,83                                   | 0,84 | 0,89 | 0,95 | 0,85 |
| 3                   | 1,05                                   | 1,35 | 1,49 | 1,50 | 1,27 |
| 5                   | 1,22                                   | 2,10 | 2,44 | 2,93 | 2,63 |

Cabe destacar ainda que o aumento da resistência adquirida com a elevação do percentual de escória de cobre, fixando-se o teor de cimento, não segue uma proporção direta.

Comparando-se os resultados da Tabela 1 como os da Figura 4, tomando-se como parâmetro o valor de 2,1 MPa de resistência, observa-se que é possível reduzir o consumo de cimento ao se adicionar a escória. Levando-se em conta que para o solo puro o teor de cimento estaria entre 7 e 9%, e ao se adicionar no mínimo 10% de escória, o teor do aditivo cai para 5%, confirmando a hipótese proposta de que a escória atuaria na melhoria da granulometria do solo, elevando a resistência e reduzindo o teor do aditivo. Considerando que é possível elevar o teor de escória na mistura para 40% sem que fique abaixo de 2,1 MPa. No entanto, a mistura que produziu o maior valor de resistência foi aquela com 5% de cimento e 30% de escória, levando-se a crer que essa seria a mistual ideal.

#### 4 CONCLUSÕES

Os resultados e análises observadas nesse estudo diante da hipótese apresentada permitem concluir que:

- ✓ a escória de cobre atuou na estabilização

granulométrica do solo, com uma porcentagem ideal de 30% indicada pelo valor da maior resistência à compressão;

- ✓ houve um aumento na massa específica aparente e uma redução na umidade ótima quando as porcentagens de escória aumentavam;

- ✓ o teor de cimento para a estabilização química do solo estudado está entre 7 e 9%, induzindo a um teor ótimo de 8%;

- ✓ na mistura solo-escória-cimento, o teor mínimo do aditivo foi de 5% para 10% de escória. No entanto, maiores resistências foram obtidas com 30% de escória;

- ✓ foi possível reduzir o teor de cimento em aproximadamente 3% ao variar a porcentagem de escória de 10 a 40%.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio à pesquisa de doutoramento do primeiro autor e ao laboratório GeoPav da Universidade Federal de Sergipe pelo apoio físico e técnico para realização do experimento.

#### REFERÊNCIAS

- Ceratti, J.A.P. (1991) *Estudo do comportamento a fadiga de solos estabilizados com cimento para utilização em pavimento*, Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 338 p.
- Concha, L.M.C. (1986) *Estudo da fadiga de duas misturas de solo-cimento*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 148 p.
- Cristelo, N.M.C. (2001) *Estabilização de solos residuais graníticos através da adição de cal*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho.
- Cruz, M.L.S. (2004) *Novas tecnologias da aplicação de solo-cimento*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho. 240 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADA DE RODAGEM. DNER-ME 041: solos – preparação de amostras para ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1994.
- \_\_\_\_\_. DNER-ME 051: solos – análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1994.

- \_\_\_\_\_. DNER-ME 082: solos – determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1994.
- \_\_\_\_\_. DNER-ME 093: solos – determinação da densidade real. Rio de Janeiro, 1994.
- \_\_\_\_\_. DNER-ME 122: solos-determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1994.
- \_\_\_\_\_. DNER-ME 129: solos – compactação utilizando amostras não trabalhadas. Rio de Janeiro, 1994.
- \_\_\_\_\_. DNER-ME 194 - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1998.
- \_\_\_\_\_. DNER-ME 201: solo-cimento – compressão axial de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.
- \_\_\_\_\_. DNER-ME 202: solo-cimento – moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.
- \_\_\_\_\_. DNER-ME 216: solo-cimento – determinação da relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente. Rio de Janeiro, 1994.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE - DNIT. Manual de Pavimentação. Publicação IPR – 719. 3ª ed. Rio de Janeiro, 2006. 274p.
- \_\_\_\_\_. DNIT 139/2010 – ES – Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente – Especificação de Serviço, Rio de Janeiro: IPR.
- \_\_\_\_\_. DNIT-ES 143: pavimentação – base de solo-cimento. Rio de Janeiro, 2010.
- Fonseca, A.V.; Cruz, R.C.; Consoli, N.C. (2009) Strength Properties of Sand-Cement Admixtures, *Geotech Geol Eng*, Springer, Vol. 27, p. 681-686.
- Lambe, W; Whitman, R.V. *Soil Mechanics*. John Wiley & Sons, New York, EUA, 1969. 582 p.
- Little, D.N. Handbook for stabilization of pavement subgrades and base courses with lime. 1995, 219 p. Disponível em: <[http://www.limetexas.org/publications/txt\\_567414o.pdf](http://www.limetexas.org/publications/txt_567414o.pdf)>. Acesso em 4 abr. 2014.
- Marangon, M. (1992) *Utilização de solo-cimento em uma solução alternativa de estrutura de arrimo*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 177 p.
- Senço, W. (2001) *Manual de Técnicas de Pavimentação*, 1ª ed., Pini, São Paulo, SP, Brasil, 671 p.