

Estudo Do Comportamento Mecânico De Solos Residuais Estabilizados com Cinza Volante e Resíduo Mineral

Silva, Bruno Milhomem

Universidade Federal de São João Del-Rei, Ouro Branco, Brasil, brunomilhomemsilva@gmail.com

Ayupe, Gabriella Souza

Universidade Federal de São João Del-Rei, Ouro Branco, Brasil, gabriella.ayupe@outlook.com

Tresse, Thiago Schettino

Universidade Federal de São João Del-Rei, Ouro Branco, Brasil, thiagoschettino@hotmail.com

Rodrigues, Klaus Henrique de Paula

Universidade Federal de São João Del-Rei, Ouro Branco, Brasil, klaus@ufsj.edu.br

Pitanga, Heraldo Nunes

Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, heraldo.pitanga@ufv.br

RESUMO: A pesquisa teve como principal objetivo reaproveitar os resíduos industriais que são comumente descartados no meio ambiente enquanto melhoradores das propriedades de engenharia de solos compactados. Para isso, analisou-se o emprego de resíduos industriais (fíler mineral e cinza volante) na estabilização físico-química de um solo localizado na cidade de Ouro Branco, visando ao emprego dos materiais resultantes em obras rodoviárias. O fíler mineral utilizado na pesquisa constitui um dos resíduos resultantes do processo de fabricação de argamassas industrializadas. As cinzas volantes constituem resíduos do processo de fabricação do aço. As misturas do tipo solo-fíler mineral-cinza volante investigadas no presente estudo foram constituídas por percentagens de 0%, 10%, 20% e 30% de resíduos, em termos de massa seca total da mistura, e foram submetidas a ensaios de compactação, resistência a compressão não-confinada e Índice de Suporte Califórnia. Os resultados de compressão simples comprovaram que as quantidades de mistura nas percentagens de 20% e 30% garantiram maior resistência ao solo residual compactado, ao passo que a porcentagem de 10% diminuiu a resistência do mesmo. Diferentemente da melhoria ocorrida nos ensaios de compressão simples, a mistura solo-fíler mineral-cinza volante provocou pequenas diminuições nos índices de CBR ao se fazer a comparação com o solo sem mistura. Para esse solo, todos os sistemas investigados apresentaram valores de expansibilidade CBR menor do que um.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilização de solos, Cinza volante, Fíler mineral, Propriedades mecânicas.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações gerais

O termo "estabilização do solo" corresponde a qualquer processo, natural ou artificial, pelo qual um solo, sob o efeito de cargas aplicadas,

se torna mais resistente à deformação e ao deslocamento, do que o solo original. Tais processos consistem em modificar as características do sistema solo-água-ar com a finalidade de se obter propriedades de longa duração compatíveis com uma aplicação particular (HOUBEN E GUILLAUD, 1994).

Para Baptista (1978), estabilizar um solo é, de um modo geral, utilizar um processo qualquer de natureza física, físico-química ou mecânica, de maneira a tornar esse solo estável para os limites de sua utilização, fazendo com que esta estabilidade permaneça sob ações de cargas exteriores e ações climáticas variáveis. Para esse autor, o processo de estabilização de um solo envolve propriedades de resistência do solo e a suplementação necessária desta resistência para um determinado uso, em termos mecânicos, físicos, físico-químicos e químicos.

Na construção de estradas, os terrenos existentes no local apresentam, frequentemente, características que não satisfazem às especificações exigidas. A substituição desses materiais por outros convenientes ou a correção dos materiais existentes de modo a conferir-lhes as características necessárias é realizada por meio de um método adequado de estabilização de solos. Muitas vezes, a escolha do método depende de fatores, entre eles o de ordem econômica (CASTRO, 1969).

Segundo Guimarães (2002), a estabilização de solos pode ser obtida por várias técnicas, podendo ser reunidas em dois grandes grupos, correspondendo o primeiro grupo ao das estabilizações que empregam meios mecânicos, como correção da granulometria e da plasticidade através da incorporação ou retirada de determinadas quantidades de frações constituintes do solo, até a obtenção de parâmetros estabelecidos por normas. O segundo grande grupo engloba as estabilizações que empregam meios químicos, utilizando de aditivos orgânicos ou inorgânicos, como a cal, o cimento Portland, silicatos de sódio, materiais betuminosos, resinas, compostos de fósforo e outros.

1.2 Estabilização Mecânica

No que concerne ao primeiro grande grupo de técnicas de estabilização, segundo Gondim (2008), são considerados métodos de estabilização mecânica os procedimentos que alteram apenas o arranjo das partículas do solo ou a granulometria deste. A referida autora menciona, ainda, que dentre os métodos existentes se sobressaem a compactação e a

estabilização granulométrica.

A correção granulométrica é feita quando se deseja, por algum motivo específico, alterar a distribuição das partículas do solo. Segundo Barbosa *et al.* (2002), o teor de cada fração granulométrica do solo é relevante. Segundo Pinto (2008), neste tipo de estabilização, as propriedades do solo são modificadas, alterando-se a sua textura.

O princípio da estabilização granulométrica consiste no emprego de um material ou na mistura de dois ou mais materiais que se enquadrem dentro de uma determinada especificação, de tal forma que resulte em uma mistura na qual a resistência seja garantida pelo contato entre os grãos das partículas maiores e os vazios sejam preenchidos pelos grãos das partículas mais finas, de maneira a propiciar uma menor permeabilidade e uma maior densidade (GONDIM, 2008).

Baptista (1978) destaca que a estabilização granulométrica de um solo visa obter determinadas condições granulométricas, propriedades físicas e propriedades de resistência apropriadas. Ainda segundo este autor, a estabilização mecânica através da correção granulométrica consiste no emprego de um material ou na mistura de dois ou mais materiais que se enquadrem dentro de determinada especificação.

A estabilização mecânica através da compactação, por sua vez, é entendida como a ação mecânica imposta ao solo quando submetido a um esforço de compressão, provocando a redução do seu índice de vazios, decorrente da expulsão de ar contido em seu meio (TRINDADE, 2008).

A finalidade da compactação é elevar a densidade do solo, aumentando ao mesmo tempo a sua resistência. Para que a compactação atinja melhores resultados, solos que possuam grãos de variados tamanhos e com uma pequena quantidade de argila são preferíveis. Os autores afirmam ainda que as melhores técnicas de construção com solo são aquelas nas quais a compactação é utilizada, mas, para resultados ainda melhores, tal técnica pode ser combinada com a adição de um aglutinante ou um impermeabilizante.

Little (1995) relata que, frequentemente, os

solos utilizados em obras de pavimentação requerem uma estabilidade mecânica adicional, a fim de propiciar a estes uma maior durabilidade. No processo de compactação do solo, as partículas são forçadas a agruparem-se mais estreitamente, aumentando a densidade de um solo pelo acúmulo das partículas, reduzindo o seu volume de ar e permanecendo inalterado o seu volume de água (CRAIG, 1980). Pressupõe-se que a redução do volume de vazios do solo relaciona-se com um ganho de resistência mecânica (LIMA *et al.*, 1993).

Para Baptista (1978), alguns fatores exercem influência na compactação, como a natureza do solo e sua compactabilidade, a natureza do esforço de compactação e o teor de umidade para o qual o solo é compactado e, aliado a esses fatores, a temperatura do solo, a manipulação do solo e o tempo de cura. Os solos, quando bem compactados em um teor de umidade ótimo, possuem capacidade de suporte de cargas satisfatória, porém se tornam instáveis quando seu teor de umidade é alterado.

1.3 Estabilização Química

O segundo grande grupo de métodos de estabilização de solos corresponde à estabilização química, na qual, segundo Fang (1991), tanto as interações químicas, quanto as físico-químicas e físicas, podem ocorrer no processo de estabilização. A estabilização química inclui aqueles métodos nos quais um ou mais compostos são adicionados ao solo com o objetivo de estabilizá-lo. Dentre as técnicas de estabilização química, citam-se a do solo-cimento, a do solo-cal, a do solo-betume, a do solo-resina, a estabilização com cinzas volantes ("*fly ash*") e escórias de alto forno ("*blast furnace slag*"), a estabilização com o emprego de sais (cloretos, ácido fosfórico), lignina, silicatos de sódio ("*water glass*"), aluminatos de cálcio, sulfatos de potássio, óxidos de ferro, cinzas pozolânicas de turfas e restos de atividade agrícola (palha de arroz, casca de amendoim, bagaço de cana-de-açúcar, etc.), além de materiais vegetais (partículas de madeira, sobras de papel, polpa de celulose, etc.).

Segundo McCarthy (1977), a estabilização

química refere-se ao procedimento no qual um material cimentante ou qualquer material químico é adicionado ao solo natural para melhorar suas propriedades de engenharia. Quando um material ou combinação de materiais com estabilidade mecânica adequada não pode ser obtido, então pode ser aconselhável considerar a estabilização através de adição de cimento, cal ou aditivos ou tratamentos especiais (INGLES e MELTCAFL, 1972).

Lambe e Michaels (1954) citam três mecanismos essenciais para um estabilizante químico modificar as propriedades físicas do solo: (i) a destruição da água adsorvida e eliminação das cargas superficiais do solo, tornando, assim, as partículas hidrofóbicas. Estes compostos podem ser chamados de agentes impermeabilizantes, como o betume; (ii) o aumento da característica eletronegativa da superfície da partícula ou da espessura da membrana da água, aumentando, assim, a repulsão interpartículas, sendo tais compostos usualmente conhecidos como dispersantes, como, por exemplo, a soda cáustica; e (iii) a eliminação das forças de repulsão eletrostática, ou atuação como moléculas-ponte entre as partículas, facilitando a coesão interparticular. Tais compostos podem ser classificados como agentes agregantes ou floculantes, como a cal.

A estabilização com cal é o método comumente aplicado em solos que contém uma significativa fração argila. Os resultados da estabilização variam dependendo da natureza dos minerais de argila e são melhores sob alta concentração de silicatos de alumínio, sílica e hidróxido de ferro (NGOWI, 1997). O cálcio, principal componente da cal, ataca quimicamente parte das argilas e até mesmo o próprio quartzo, resultando na formação de silicatos e aluminatos hidratados de cálcio, de notável capacidade cimentante pozolânica (GUIMARÃES, 2002).

Guimarães (2002) cita que a opção por um ou por outro método de estabilização (mecânica ou com a inserção de aditivos químicos) é influenciada por uma série de fatores, entre os quais se destacam os econômicos, a própria finalidade da obra, as características dos materiais e as propriedades do solo que devem

ser corrigidas. Esse autor relata ainda que os solos das regiões tropicais úmidas, particularmente, recebem tratamentos deficientes sobre seus problemas devido às significativas diferenças entre suas propriedades e comportamento, exigindo um número maior de estudos e pesquisas para se chegar aos procedimentos mais apropriados.

1.4 Justificativa Para a Pesquisa

A eventual indisponibilidade de jazidas naturais de solos que, na condição compactada, possam apresentar propriedades de engenharia compatíveis com as especificações mínimas de projetos de engenharia, tais como os rodoviários, impõe, à Engenharia Civil, a busca por soluções alternativas a esta limitação, dentre as quais a combinação da estabilização granulométrica com a estabilização química desses solos se apresenta como uma das opções.

Essa opção pode se tornar ainda mais atrativa caso esteja associada à possibilidade de aproveitamento de resíduos como matéria-prima a ser empregada no processo de correção do solo original, visto que, neste caso, a perspectiva de viabilidade técnica do material resultante (solo estabilizado) pode estar atrelada à perspectiva de viabilidade ambiental (substituição parcial do solo por resíduos). Assim, justifica-se um programa experimental de ensaios destinado a avaliar a viabilidade técnico-ambiental relacionada ao aproveitamento de resíduos industriais, visando ao seu emprego em misturas com solos destinados à aplicação em obras rodoviárias regionais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho teve como principal objetivo estudar a viabilidade técnico-ambiental de emprego de resíduos industriais (fíler mineral e cinza volante) na estabilização físico-química de solos regionais, visando ao emprego dos materiais resultantes em obras rodoviárias.

2.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos relacionados ao objetivo geral, citam-se:

- i. Caracterização geotécnica de solos regionais e de misturas solo-fíler mineral-cinza volante;
- ii. Caracterização do comportamento mecânico dos solos e das misturas solo-fíler mineral-cinza volante na condição compactada;
- iii. Comparação dos respectivos desempenhos de engenharia dos solos e das misturas solo-fíler mineral-cinza volante compactados por meio de parâmetros exigíveis em projetos rodoviários convencionais;
- iv. Criação de um banco de dados geotécnicos relacionados ao aproveitamento de resíduos industriais na melhoria de solos para fins de engenharia rodoviária.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

3.1.1 Solos

Os solos utilizados foram coletados em talude de corte na estrada vicinal que faz a ligação entre a Estrada Real (Ouro Branco – Ouro Preto) e o distrito de Cristais, no município de Ouro Branco-MG. As amostras deformadas, oriundas de jazidas de solos residuais, foram coletadas conforme os procedimentos constantes na norma PRO 003 (DNER, 1994a).

3.1.2 Fíler Mineral

O fíler mineral utilizado na pesquisa constitui um dos resíduos resultantes do processo de fabricação de argamassas industrializadas produzidas por uma empresa regional do setor da construção civil. Amostras desse resíduo foram coletadas no pátio de estocagem da empresa, conforme os procedimentos constantes na norma PRO 003 (DNER, 1994a). Supõe-se que esse resíduo seja eficiente na estabilização física dos solos estudados.

3.1.3 Cinza Volante

A cinza volante utilizada na pesquisa e fornecida pela fábrica de cimento Pozosul, localizada no município de Capivari de Baixo-SC, apresenta características similares às cinzas volantes geradas em unidades siderúrgicas, tais como as existentes na região do Alto Paraopeba-MG, as quais, nesse contexto, constituem resíduos do processo de fabricação do aço. Supõe-se que esse resíduo seja eficiente na estabilização físico-química dos solos estudados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização Geotécnica

Apresentam-se, na Tabela 1 a massa específica aparente seca máxima (ρ_{dmax}) e a umidade ótima (Wot) correspondente ao respectivo ponto de ótimo derivado da curva de compactação do solo, na energia do Proctor Normal.

Na Tabela 2, apresentam-se os resultados das classificações USCS (*Unified Soil Classification System*) e TRB (*Transportation Research Board System*) desse solo, os quais enquadram o solo, respectivamente, nas classes MH (silte elástico arenoso) e A-7-5 (material fino), ambas julgadas tecnicamente deficientes para fins de emprego em engenharia civil.

Na Tabela 3, apresentam-se os dados resultantes dos ensaios de granulometria conjunta, limites de Atterberg e peso específico dos grãos sólidos do solo realizados sobre o solo residual empregado na pesquisa. Trata-se de um solo silto-areno-argiloso, predominantemente constituído pela fração silte e com uma limitada percentagem de fração argila em sua composição granulométrica.

Tabela 1. Parâmetros de ótimo do solo pesquisado para a energia Proctor Normal.

ρ_{dmax} (g/cm ³)	Wot (%)
1,48	27,5

Tabela 2. Classificação do solo pesquisado segundo os sistemas USCS e TRB.

USCS	MH
TRB	A-7-5

Tabela 3. Resultados dos ensaios geotécnicos: granulometria, limites de Atterberg e peso específico dos grãos sólidos do solo.

Propriedades analisadas (Caracterização geotécnica)		Magnitude
Frações granulométricas (%)	Argila ($\phi \leq 0,002$ mm)	4
	Silte ($0,002 < \phi \leq 0,06$ mm)	61
	Areia fina ($0,06 < \phi \leq 0,2$ mm)	22
	Areia média ($0,2 < \phi \leq 0,6$ mm)	12
	Areia grossa ($0,6 < \phi \leq 2$ mm)	0
	Pedregulho ($\phi > 2$ mm)	1
Limites de Atterberg (%)	LL	59
	LP	38
	IP	21
Peso específico (kN/m ³)	γ_s	28,65

4.2 Resultados dos Ensaios de Compactação

A tabela 4 apresenta um comparativo entre os resultados obtidos nos ensaios de compactação realizados sobre os materiais pesquisados, mostrando que à medida que a porcentagem de resíduos na mistura solo-filer mineral-cinza volante aumenta, a massa específica aparente seca máxima também aumenta. A umidade ótima, por sua vez, tendeu a uma redução com o incremento da percentagem de resíduos.

Tabela 4. Resultados dos parâmetros de ótimo obtidos nos ensaios de compactação.

Porcentagem de resíduos na mistura solo-filer mineral-cinza volante	Umidade ótima (%)	Massa específica aparente seca máxima (g/cm ³)
0%	27,5	1,48
10%	27,6	1,49
20%	26,4	1,51
30%	25,7	1,53

4.3 Resultados de Ensaio de Compressão Simples

Os valores obtidos para a resistência à compressão simples (RCS), para corpos de prova compactados na energia do Proctor Normal, segundo as condições consideradas nessa pesquisa, estão representados nas tabelas 5, 6, 7 e 8. A tabela 9 mostra a comparação entre os valores obtidos nos ensaios, com destaque para a mistura constituída por 20% com o maior valor de RCS média.

Tabela 5. Resistência à compressão simples do solo com 0% de resíduos.

Corpo de Prova	RCS (kPa)	RCS média (kPa)	Desvio Padrão
1	170,0		
2	188,2	182,2	7,8
3	184,3		

Tabela 6. Resistência à compressão simples do solo com 10% de resíduos.

Corpo de Prova	RCS (kPa)	RCS média (kPa)	Desvio Padrão
1	110,4		
2	112,4	107,3	5,86
3	99,1		

Tabela 7. Resistência à compressão simples do solo com 20% de resíduos.

Corpo de Prova	RCS (kPa)	RCS média (kPa)	Desvio Padrão
1	259,3		
2	207,7	232,5	21,12
3	230,4		

Tabela 8. Resistência à compressão simples do solo com 30% de resíduos.

Corpo de Prova	RCS (kPa)	RCS média (kPa)	Desvio Padrão
1	213,6		
2	208,8	200,9	14,74
3	180,2		

Tabela 9. Resultados obtidos nos ensaios de compressão.

Porcentagem de resíduos na mistura solo-filer mineral-cinza volante	RCS média (kPa)
0%	182,2
10%	107,3
20%	232,5
30%	200,9

4.4 Resultados de Ensaio de Índice de Suporte Califórnia

Os valores obtidos para a expansão e o Índice de Suporte Califórnia (CBR) para o solo compactado na energia do Proctor Normal, seguindo as misturas de solo-filer mineral-cinza volante para 0%, 10%, 20% e 30% de resíduos estão representados nas tabelas 10 e 11.

Tabela 10. Resultados obtidos no ensaio de Índice de Suporte Califórnia.

Porcentagem de resíduos na mistura solo-filer mineral-cinza volante	CBR médio(%)
0%	9
10%	5
20%	6
30%	5

Tabela 11. Resultados da expansão média do CBR.

Porcentagem de resíduos na mistura solo-filer mineral-cinza volante	Expansão média(%)
0%	0,37
10%	0,12
20%	0,25
30%	0,77

5 CONCLUSÕES

Considerando-se os resultados obtidos no presente programa de pesquisa, observou-se que:

1. Ao analisar os resultados de compressão simples, observou-se que as quantidades de mistura nas percentagens de 20% e 30% garantiram maior resistência ao solo compactado, ao passo que a porcentagem de 10% diminuiu a resistência do mesmo.

2. Diferentemente da melhoria ocorrida nos ensaios de compressão simples, a mistura solo-filer mineral-cinza volante provocou diminuições nos índices de CBR ao se fazer a comparação com o solo sem mistura. Para esse solo, todos os sistemas investigados apresentaram valores de expansibilidade CBR menores do que a unidade.

Eventualmente, as misturas pesquisadas poderiam ser empregadas como reforço de subleitos cujo CBR < 5%.

AGRADECIMENTOS

Aos professores e técnicos da UFSJ envolvidos no desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6457: Amostra de solo: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986. 9p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6459: Solo, Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984b. 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6508: Solo, Determinação da Massa Específica Aparente. Rio de Janeiro, 1984d. 8p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7180: Solo, Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1984c. 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7181 : Análise Granulométrica, Solos, Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1984a. 15p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Solo: ensaio de compactação – Procedimento, NBR 7182/86. Rio de Janeiro: 1986. 10p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Solo: índice de suporte califórnia – Método de ensaio, NBR 9895/87. Rio de Janeiro: 1987. 14p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Solo-cimento – Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos. NBR 12025 – MB 3361/1990. Rio de Janeiro: 1990. 2p.
- BAPTISTA, Cyro de Freitas Nogueira. Pavimentação: Tomo I: ensaios fundamentais para pavimentação, dimensionamento dos pavimentos flexíveis. 3. Ed. Porto Alegre: Globo, 1978. 253p.
- BARBOSA, N. P.; MATTONE, R.; MESBAH, A., 2002. Blocos de Concreto de Terra: Uma Opção Interessante Para a Sustentabilidade da Construção. Biblioteca SEBRAE Online. Disponível em <[http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/bds.nsf/AE6EC233B84C285B03256F940051465F/\\$File/NT000A3516.pdf](http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/bds.nsf/AE6EC233B84C285B03256F940051465F/$File/NT000A3516.pdf)>. Acessado em 18 de Junho de 2013.
- CASTRO, E. Estudos relativos à estabilização de solo com cal. Rio de Janeiro: Instituto de pesquisas Rodoviárias, 1969. 76p. (Publicação 347)
- CRAIG, R. F. Soil mechanics. 2. Ed. New York, Van Nostrand Reinholds Company, 1980. 318p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. PRO 003: Coleta de amostras deformadas de solos. Rio de Janeiro, 1994b. 4p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURAS DE TRANSPORTES - DNIT. Pavimentos Flexíveis: Concreto Asfáltico: especificação de serviço: DNIT 031/2006-ES. Rio de Janeiro, 2006.
- FANG, H. S. 1991. Foundation engineering handbook. Van Nostrand Reinhold, New York. 923 p.
- GONDIM, L. M. (2008) Estudo Experimental de Misturas Solo-Emulsão Aplicado às Rodovias do Agropólo do Baixo Jaguaribe/Estado do Ceará. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 213 fl.
- GUIMARÃES, J. E. P. 2002. A cal: fundamentos e aplicações na engenharia civil. Associação Brasileira dos Produtores de Cal, São Paulo. 341 p.
- GUIMARÃES, J. E. P. 2002. A cal: fundamentos e aplicações na engenharia civil. Associação Brasileira dos Produtores de Cal, São Paulo. 341 p.
- HOUBEN, H. & H. GUILLAUD. 1994. Earth construction: a comprehensive guide. Intermediate Technology Publications, London. 362 p.
- INGLES, O. G.; METCALF, J.B. Soil stabilization: principles and practice. Sydney: Butterworths, 1972, 374p.
- LAMBE, T.W.; MICHAELS, A. Altering soil properties with chemicals. Chem. Eng. N., [S.l.ç, v32, n. 6, p. 488-492, 1954.
- LIMA, D. C.; BUENO, B. S.; SILVA, C. H. C. Estabilização dos solos II: técnicas e aplicações a solos da microrregião de Viçosa. Viçosa, MG, MG: UFV, 1993. 32 p. (publicação, 333).
- LITTLE, D. N. (1995). Stabilization of Pavement Subgrades and Base Courses with Lime, Published by Kendall/Hunt Publishing Company.
- McCARTY, D.F.P.E. Essential of soil mechanics and foundations. Virgínia, Reston Publishing Company, 1977. 505p.
- NGOWI, A. B. 1997. Improving the traditional earth construction: a case study of Botswana. Construction and Building Materials, 11 (1): 1-7.
- PINTO, A.R.A.G., 2008. Fibras de Carauá e Sisal como Reforço em Matrizes de Solo. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, PUC-Rio, Brasil, 103p.
- TRINDADE, T.P.; et. al. Compactação de solos: fundamentos teóricos e práticos. Viçosa: Editora UFV, 2008. 95 p.