

Caracterização Tecnológica de Solos para Estabilização ou Melhoramento Químico

Gissele Souza Rocha¹

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, gisselerocha@hotmail.com

Antônio Ananias de Mendonça²

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, aanias@ufmg.br

Lúcio Flávio de Souza Villar³

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, lvillar@etg.ufmg.br

Paulo César Oliveira Bacha⁴

Asperminas, Belo Horizonte, Brasil, pbacha@asperminas.com.br

Ecidinéia Pinto Soares de Mendonça⁵

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, esoares@etg.ufmg.br

RESUMO: A estabilização ou melhoramento químico dos solos é de importante relevância na engenharia geotécnica. Modifica certas características dos solos tais como, teor de umidade, resistência mecânica, durabilidade, e outras, de maneira a melhorar o seu comportamento, tornando-os capazes de responder de forma satisfatória às solicitações previstas. O objetivo geral da pesquisa foi a avaliação, em laboratório, da eficiência de solos tratados quimicamente, mediante incorporação de um produto, designado EarthZyme, com o propósito de em breve desenvolver um procedimento aplicável para construção de vias de trânsito pesado em ambientes minerários de solos tropicais. A partir das especificações do fabricante foram confeccionados corpos de prova, tratados com a solução desse agente estabilizante, para subsequente realização de ensaios: Compressão Simples e Índice Suporte Califórnia. O tratamento foi eficaz para amostras de solos com teor elevado de argila e provocou diminuição da resistência mecânica média das amostras com concentrados teores de silte. Além disso, através do ensaio CBR pode-se concluir que o produto não possui desejável eficácia para tratamento de toda variedade de solos, o que em princípio contraria os benefícios apontados pelo fabricante e, portanto, motiva continuidade das investigações.

PALAVRAS CHAVE: Estabilização de solos. Compressão Simples. Índice Suporte Califórnia.

1 INTRODUÇÃO

O solo, em seu estado natural, é um material complexo e variável, porém devido à sua abundância e baixo custo oferece grandes oportunidades de emprego na engenharia. Entretanto, é comum que o solo de uma localidade não preencha parcial ou totalmente as exigências do projeto construtivo. Assim, torna-se necessário escolher entre aceitar o material tal como ele é e desenvolver o projeto

de forma a contemplar as limitações impostas; remover o material e substituí-lo por outro de melhor qualidade; ou, alterar as propriedades do solo existente de modo a criar um novo material capaz de adequar-se de melhor forma as exigências do projeto (PINHEIRO, 2011).

Modificar as propriedades dos solos, mediante estabilização ou melhoramento, consiste na alteração de suas características existentes de maneira a otimizar o seu comportamento, tornando-os capazes de

responder de forma satisfatória às solicitações previstas. Esta é a definição assumida por Palmeira (1990) que considera que estabilizar ou reforçar um solo é utilizar de algum meio/procedimento físico ou químico com a intenção de alterar certas propriedades e condições do solo diante de diversos propósitos no âmbito da Geotecnia.

A estabilização ou melhoramento de solos, por sua vez, pode ser obtida pelo uso de várias técnicas que podem ser reunidas em dois grupos: *i)* técnicas que empregam meios físicos, como a correção da granulometria e da plasticidade, com adição ou subtração de quantidades definidas de suas frações constituintes, até que se obtenham os parâmetros estabelecidos por norma (VARGAS, 1977); *ii)* técnicas que empregam meios químicos, utilizando aditivos orgânicos ou inorgânicos como, por exemplo, materiais betuminosos e resinas (naturais e sintéticas), compostos de fósforo, silicatos de sódio, cal, cimento Portland e outros.

O foco deste trabalho é no tratamento de solos, particularmente originários de regiões minerárias, a partir de um produto químico para estabilização ou melhoramento de suas propriedades geomecânicas. Tal produto é um agente tensoativo produzido pela Cypher Environmental, comercialmente designado EarthZyme (EZ) que, conforme sua especificação técnica, oferece ganho de resistência aos solos que possuem elevado teor de argila na sua composição granulométrica.

2 METODOLOGIA

Para a concepção do projeto de estabilização de solos é importante que se faça a escolha adequada dos materiais e métodos que serão utilizados visando eficiência e economia.

Segundo Rezende e Mendonça (2014), as propriedades físicas de maior interesse do ponto de vista geotécnico no estudo de um solo são: textura, plasticidade e estrutura. A partir dessas propriedades físicas, é possível realizar a identificação satisfatória dos solos (LIMA e BUENO, 1993).

Assumindo tais considerações, a seguir são apresentadas as características das amostras de

solos estudadas, bem como os ensaios realizados.

2.1 Materiais

Para composição do grupo de materiais deste estudo foram utilizadas amostras de solos coletadas em regiões distintas, buscando aquelas que apresentassem características diferentes entre si, objetivando testes comparativos em termos de eficiência do agente químico estabilizante no tratamento das mesmas.

2.1.1 Amostras de solos

Foram utilizadas cinco amostras de solos coletadas em diferentes locais sendo que, dentre elas, duas são provenientes de atividades minerárias: Itacarambi 1, Itacarambi 2, Buritis, Calafate, Road Ore.

Para caracterização das amostras foram realizados os seguintes ensaios: granulometria conjunta; massa específica dos sólidos; limites de consistência e compactação na energia do Proctor Normal, obedecendo a suas respectivas normas técnicas.

Dentre os cinco materiais estudados, a amostra Itacarambi 1, que procede do Norte de Minas Gerais, é a que apresenta maior teor de argila em sua composição, aproximadamente 34%. De acordo com a distribuição granulométrica resultante do ensaio de Granulometria Conjunta, ABNT NBR 7181, foi possível classificá-la texturalmente como “areia argilo-siltosa”.

A amostra Calafate, coletada no Bairro Calafate (Belo Horizonte), caracteriza-se pela ocorrência de silte e areia próximos em sua composição, sendo 48% e 43% respectivamente. Trata-se de solo silte areno-argiloso.

A amostra Buritis, coletada no Bairro Buritis (Belo Horizonte), apresenta o maior teor de silte em sua composição, 85%, sendo, portanto, denominada de acordo com sua classificação granulométrica de silte areno-argiloso.

Já a amostra Road Ore, oriunda de uma jazida em Jundiá-SP, caracterizada como areia-argilosa, naturalmente pela predominância de 89% de areia em sua

composição, e apenas 12% de argila, conforme revelou a curva de distribuição granulométrica.

A única amostra analisada que apresentou significativo teor de pedregulho, 29%, e nenhum teor de argila em sua composição, foi a amostra Itacarambi 2. Trata-se de uma de areia siltosa com pedregulhos.

Com relação aos Limites de Consistência, vale ressaltar que a amostra Itacarambi 1 foi a única a apresentar Limite de Plasticidade (ABNT NBR 7180, 1984) igual a 18% - naturalmente pelo maior teor de argila em sua composição. As amostras Calafate e Buritis apresentaram Limite de Liquidez (ABNT NBR 6459, 1984), respectivamente iguais a 38% e 43%. Já, das amostras Road Ore e Itacarambi 2 não foi alcançado nenhum dos Limites de Consistência, pois possuem teores ínfimos de argila - são solos não plásticos.

2.1.2 Resina

O agente químico estabilizante utilizado no tratamento das amostras, EarthZyme fabricado pela Cypher Environmental, foi fornecido pela sua representante brasileira, Asperminas, para condução dos estudos de estabilização das amostras de solos selecionadas.

Apresentado na forma de líquido altamente concentrado, o EZ é composto de uma combinação de enzimas, eletrólitos e agentes tensoativos que, segundo o fabricante, em contato com o solo aumenta a sua resistência mecânica. Para sua aplicação não há necessidade de proteção, como o uso de luvas ou máscara, pois não contém substâncias tóxicas em sua formulação.

De acordo com o fabricante, o EarthZyme é um produto para estabilização de solos com resultados duradouros. Proporciona eficácia comprovada para o tratamento nos casos em que os solos apresentam 20% ou mais de teor de argila em sua composição. Ressalta-se, que o uso do EZ tem impacto direto na redução substancial dos custos para a manutenção de estradas de rodagem e exibe excelentes melhorias nos valores de CBR e na redução da permeabilidade que, por conseguinte, resulta uma superfície de rolamento da estrada mais durável, ainda que sob o efeito de chuvas frequentes.

2.2 Métodos

Os ensaios de Resistência à Compressão Simples (RCS) e Índice Suporte Califórnia (CBR), foram executados de acordo com as normas ABNT NBR 12770 (1984) e ABNT NBR 9895 (1984), respectivamente.

A preparação dos corpos de prova para os ensaios RCS e CBR foi a partir dos dados obtidos na fase de ensaios de caracterização. Durante todos os procedimentos de moldagem, foram seguidas as especificações fornecidas pelo fabricante, tanto para o ensaio de Resistência Compressão Simples quanto para o ensaio de Índice Suporte Califórnia.

Em razão da característica não plástica, não foi possível confeccionar corpos de prova a partir das amostras Road Ore e Itacarambi 2, pois, como dito anteriormente, tratam-se de solos com grande predominância de areia que, mesmo com a incorporação do agente estabilizante, não possibilitaram modelagem.

Para cada uma das outras três amostras (Itacarambi 1, Calafate e Buritis) foram moldados trinta corpos de prova, em molde cilíndrico com 8,87 cm de altura e 3,53 cm de diâmetro, destinados à condução dos ensaios de Resistência à Compressão Simples.

Os ensaios de Índice Suporte Califórnia foram realizados apenas para a amostra Itacarambi 1, pois foi a única que apresentou características físicas compatíveis com o produto utilizado para o tratamento, conforme será discutido subseqüentemente. Neste caso, foram confeccionados corpos de prova em duplicatas, em molde padronizado pela ABNT NBR 9895 (1984). Foram determinadas as resistências à penetração CBR do solo natural e tratado, com imersão e sem imersão em água.

Para analisar a evolução do efeito da incorporação de EZ nas amostras de solos, os corpos de prova devidamente identificados foram mantidos em cura por períodos de 7, 14, 28, 60 e 90 dias, em câmara úmida com temperatura estabilizada e uniforme de 24°C.

3 RESULTADOS

Os resultados dos ensaios de Resistência à Compressão Simples e Índice Suporte Califórnia são apresentados a seguir em forma

de gráficos. É feita também a análise dos dados das amostras tratadas e não tratadas.

3.1 Ensaios de Compressão Simples

Após o período de cura, os corpos de prova foram ensaiados sob o efeito da compressão simples, à velocidade de 0,5 mm/min. Os corpos de prova foram rompidos em duplicatas para obtenção das médias dos valores de resistência obtidos, para a plotagem dos gráficos.

Os gráficos a seguir representam a relação da resistência mecânica de cada uma das três amostras estudadas em função dos períodos de cura de 7, 14, 28, 60 e 90 dias. As curvas obtidas são correspondentes às amostras com e sem incorporação da solução do EZ, das quais foram confeccionados os corpos de prova mediante prévios resultados extraídos dos ensaios de Compactação, ABNT NBR 7182 (1984).

A amostra Itacarambi 1 foi a que revelou melhor resultado após o tratamento com a solução de EZ. Através da figura 1 é possível observar a elevação da resistência mecânica no decorrer do período de cura. A amostra não tratada, representada pela linha horizontal do gráfico, apresentou resistência média de 216,69 kPa. Com o tratamento, inicialmente nos primeiros sete dias, ocorreu 163% de aumento da resistência mecânica; quando comparada a resistência média final da amostra estabilizada, aos 90 dias de cura, o aumento foi de 545%. Seguramente o bom resultado é consequência da interação química ocorrida entre o EZ e a fração argila da amostra, que dentre as outras é a que mais se ajusta às prescrições do fabricante.

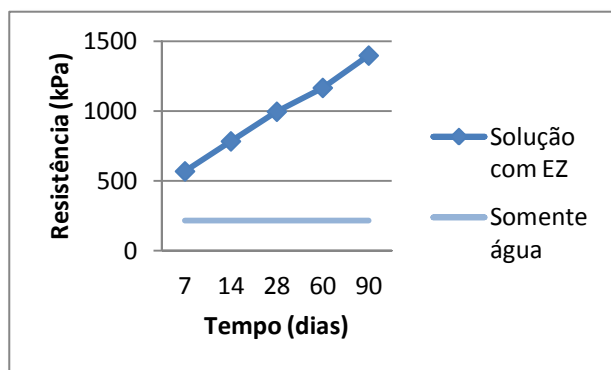


Figura 1- RCS - Amostra Itacarambi 1.

A amostra Calafate não revelou êxito tão elevado no tratamento quanto à Itacarambi 1. Observa-se pela figura 2, que decorridos os primeiros 7 dias de cura, o solo apresentou ganho de resistência mecânica média de 18% e manteve esse ganho até os 14 dias subsequentes. Porém ao final deste período, sua resistência mecânica diminuiu gradualmente cerca de 10% até aos 90 dias, ficando com resistência final menor do que a obtida inicialmente.

Entretanto, ao longo de todo período analisado o crescimento foi positivo, como pode ser observado na curva da amostra tratada, sempre acima da linha horizontal que representa a amostra não tratada.

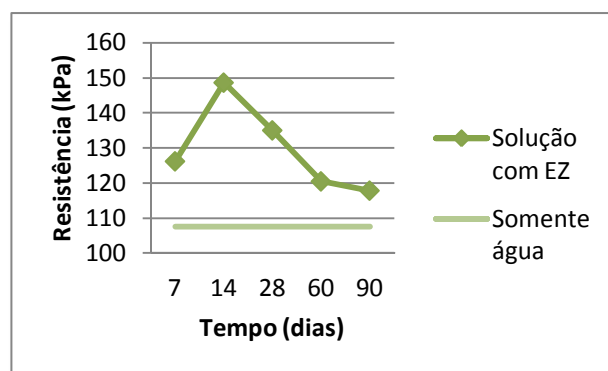


Figura 2- RCS - Amostra Calafate.

O tratamento da amostra Buritis não foi satisfatório. A amostra tratada apresentou diminuição de resistência ao longo dos períodos de cura. Ocorreu queda de aproximadamente 7% na resistência mecânica média obtida após 90 dias de tratamento conforme pode ser visto na figura 3. A curva revela que houve oscilações de crescimento e decrescimento da resistência mecânica da amostra tratada, permanecendo sempre abaixo da linha horizontal que representa a amostra sem tratamento. A resistência média da amostra não estabilizada corresponde a 83,40 kPa.

Tal redução de resistência mecânica média pode ser explicada pela composição granulométrica da amostra que apresenta em sua constituição elevado teor de silte, aproximadamente 85%. O EZ não favoreceu no tratamento da amostra Buritis com a mesma eficiência proporcionada à amostra Itacarambi 1 e, por conseguinte, não resultou benefícios.

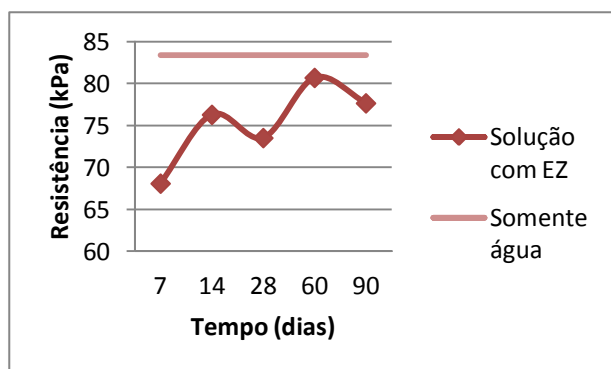


Figura 3- RCS - Amostra Buritis.

Resumidamente, através dos ensaios de Resistência à Compressão Simples realizados, revelados nos gráficos “RCS versus Período”, conclui-se que a amostra Itacarambi 1, dentre as três, como mostra a figura 4, é a que melhor reagiu melhor ao tratamento e manteve, ao longo dos períodos de cura, crescimento positivo de resistência mecânica média. Já as amostras Calafate e Buritis não revelaram o mesmo sucesso da Itacarambi 1. Por conterem teores significativos de silte em sua composição granulométrica, o agente estabilizante EZ não promoveu o efeito desejado, ou seja, elevação da resistência mecânica. Particularmente no caso da amostra Buritis, o EZ ocasionou resistências médias inferiores, ao longo do tempo, em comparação com a amostra não tratada.

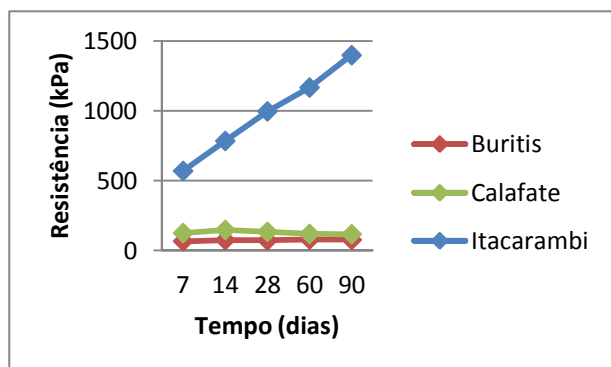


Figura 4- RCS – Buritis, Calafate e Itacarambi 1.

3.2 Ensaios de Índice Suporte Califórnia

As figuras 5 e 6 foram obtidas a partir da plotagem, no eixo das abscissas, do período de tratamentos das amostras (7, 14, 28 e 60 dias) e, no eixo das ordenadas, os correspondentes valores de CBR. A linha horizontal representa a amostra não estabilizada, ou seja, com corpo

de prova moldado sem a incorporação da solução de EZ.

A escolha da amostra Itacarambi 1 para a realização do ensaio CBR foi pelo fato da mesma apresentar os melhores resultados de eficiência no ensaio de Resistência à Compressão Simples, devido à sua composição granulométrica igual a 34% de argila. Essa composição granulométrica satisfaz o critério proposto pelo fabricante do EZ, solos com 20% ou mais de teor de argila para a eficácia no tratamento. Conforme já mencionado, os ensaios foram realizados de duas maneiras: com corpos de prova imersos e sem imersão em água.

A figura 5 revela o que aconteceu com a amostra sem imersão. Apresentou expressivo ganho de resistência à penetração ao final do período de cura de 60 dias, 462%. A amostra tratada com solução de EZ, aos 60 dias, revelou aumento do valor de CBR de aproximadamente 150%, o que sugere eficácia do tratamento para solos argilosos.

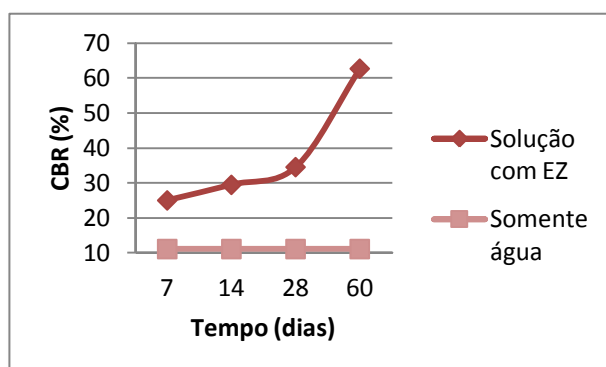


Figura 5- Ensaio CBR sem imersão dos CP's.

Para os ensaios CBR, a partir dos corpos de prova que foram submetidos à imersão em água por 72 horas, os resultados obtidos não foram satisfatórios. Houve redução do CBR equivalente a 64% para a amostra submetida a 60 dias de cura, em comparação com a amostra não tratada. Somente nos primeiros sete dias de tratamento, a resistência caiu pela metade em vista da amostra não tratada. A figura 6, permite constatar que o EZ não é eficaz em solos teoricamente saturados.

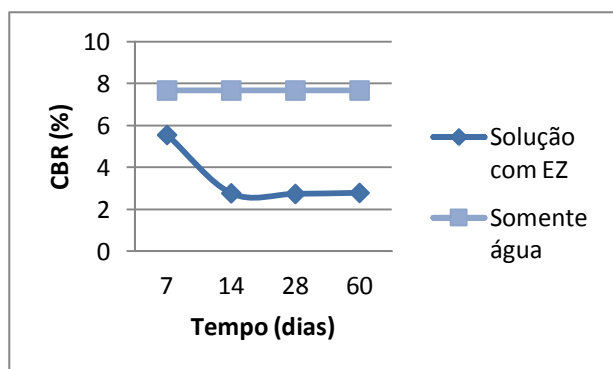


Figura 6- Ensaio CBR com expansão.

Ainda, para a amostra inundada, foi plotado o gráfico “*Expansão versus Tempo*”, conforme revela a figura 7. A expansão ocorre devido à entrada de água nas interfaces das estruturas mineralógicas das partículas argilosas ou por dissipação de pressões de sucção às quais estava submetida. Com 60 dias de tratamento, houve um aumento de aproximadamente 1225% no valor da expansão da amostra comparada com a mesma não tratada. Inicialmente, com 7 dias, ocorreu a expansibilidade mais significativa dentre os períodos de amostra tratada com solução de EZ, 262% aproximadamente.

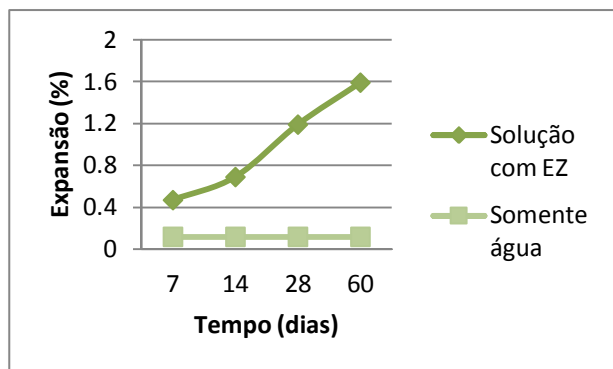


Figura 7- Expansão do ensaio CBR.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral deste estudo foi a avaliação da eficiência de um agente estabilizante químico no tratamento de solos com distribuições granulométricas distintas. Consistiu na incorporação de um agente químico em cinco amostras de solos, mediante prévio conhecimento das suas características físicas, seguida de períodos de cura referenciais e subsequente rompimento de corpos de prova

para obtenção da Resistência à Compressão Simples e do Índice Suporte Califórnia.

A partir dos resultados encontrados pode-se concluir que: **i)** a eficácia do tratamento é atribuída somente aos solos argilosos, como revelado para a amostra Itacarambi 1, com aumento de 545% em sua resistência mecânica média; **ii)** o agente estabilizante perde sua eficiência em condição inundada, conforme foi revelado a partir dos ensaios CBR; **iii)** elevados teores de silte provocam efeito reverso do produto, conforme foi observado para a amostra Buritis que perdeu 7% de sua resistência mecânica média; **iv)** promove aumento da expansibilidade CBR.

Como conclusão final desta etapa de estudos, cabe salientar que as observações preliminares conduzem à suspeita de que o EZ não promove ligações de natureza química entre as partículas de minerais argílicos, mas sim, e tão somente, ligações físicas que são fortemente influenciadas pelo potencial de sucção da fração fina dos solos. Este fato sugere a necessidade de incorporar no escopo da pesquisa em curso também investigação relacionada com a curva característica que revela a sucção mátrica da(s) amostra(s) no efeito tensoativo do EarthZyme.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: *Determinação do Limite de Liquidez*. São Paulo, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: *Determinação do Limite de Plasticidade*. São Paulo, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: *Análise Granulométrica*. São Paulo, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182: *Ensaio de Compactação*. São Paulo, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9895: *Índice de Suporte Califórnia*. São Paulo, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12770: *Solo Coesivo. Determinação da Resistência à Compressão não Confinada*. São Paulo, 1984.
- CRISTELO, N. M. C. *Estabilização de solos residuais graníticos através da adição de cal*. Guimarães, Portugal: Universidade do Minho, 2001. <http://hdl.handle.net/1822/150>.

- LIMA, D. C.; BUENO, B. S. *Estabilização de solos II: técnicas e aplicações a solos da região de Viçosa*. Viçosa, MG: UFV, 1993. 32 p. (Publicação 333).
- MENDONÇA, A. A. *Caracterização Tecnológica de Misturas Solo-Cal*. Viçosa, MG: UFV, 1998. 109 p. Dissertação – Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- PALMEIRA, E.M. *Estradas de Acesso*. Manual Técnico Geotêxtil Bidim, 1990, 30 p.
- PINHEIRO, R. *Princípios da estabilização dos solos*. In: Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Santa Maria, 2011.
- REZENDE, M. A. P.; MENDONÇA, A. A. *Considerações sobre a influência do tipo de argila sobre as propriedades da terra como material de construção*. In: Congresso de Arquitetura e Construção com Terra no Brasil, V, 2014, Viçosa, MG. Anais... Viçosa, MG: Terra Brasil, 2014, p 57-65.
- VARGAS, M. *Introdução à mecânica dos solos*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1977.