

ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA DE SOLO COM ADIÇÃO DE CIMENTO OU CAL COMO ALTERNATIVA DE PAVIMENTO

Cristina Lemos Goularte

Universidade Federal de Rio Grande, Rio Grande, Brasil, cl.goularte@uol.com.br

Celso Luis da Silva Pedreira

Universidade Federal de Rio Grande e Universidade Católica de Pelotas, Rio Grande, Brasil, celpedreira@uol.com.br

RESUMO: Como trabalho de graduação foi realizado um estudo de estabilização em solo-cal e solo cimento, analisando sua resistência quanto à compressão simples para três tipos diferentes de amostras previamente coletados e caracterizados. O trecho analisado foi construído na década de 60, como um dique de contenção as águas do canal São Gonçalo, em proteção a zona leste da cidade de Pelotas. Este foi construído com solo retirado da execução de um canal paralelo a via, com aproximadamente 2Km de extensão. Foi utilizado cimento Portland CPVI nas proporções de 3% , 5% e 10% e cal hidratada nas proporções de 5%, 8% e 15% em relação ao peso de solo seco, para cada tipo de material caracterizado. Para o solo analisado, a mistura solo-cimento apresentou melhor custo x benefício em relação a mistura solo-cal.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilização Química, Pavimentação, Pavimento Alternativo.

1 INTRODUÇÃO

É impossível deixar de notar o quadro de descaso e abandono das ruas e estradas brasileiras, destacando-se que a rede pavimentada e a não pavimentada nos três âmbitos, ou seja, federal, estadual e municipal conta com aproximadamente 1,89 milhão de quilômetros, e que desse total, apenas 165 mil quilômetros são pavimentados, perfazendo apenas 9% da rede total (GEIPOT, 2002). Cabe-se salientar que a parte pavimentada acaba por ser muito pequena em relação à rede total que compõem os municípios, estados e a federação.

Acrescentando ao quadro descrito, a crise econômica que o país tem enfrentado nos últimos anos e a escassez de recursos financeiros, quando se considera a totalidade de obras de pavimentação para serem recuperadas ou implantadas, torna-se necessário estudar materiais alternativos possam ser utilizados na pavimentação rodoviária, sob o ponto de vista técnico e econômico.

O solo natural constitui simultaneamente um

material complexo e variável de acordo com a sua localização, mas devido a sua universalidade e baixo custo, apresenta normalmente uma grande utilidade enquanto material de engenharia. Porém não é anormal que o solo de um determinado local não cumpra, total ou parcial, os requisitos necessários. Contudo tem-se a possibilidade alterar as propriedades do solo existente para possibilitar a sua utilização como material de engenharia.

Este trabalho de graduação enfoca a alternativa da estabilização química de solos para pavimentos rodoviários, aproveitando o material local melhorando sua capacidade resistente e reduzindo sua expansibilidade. A estratégia é minimizar o custo total comparado a uma pavimentação tradicional, possibilitando o transporte público no local com o melhoramento da infra-estrutura existente.

A pesquisa foi realizada na Estrada do Engenho, entre a rua Paulo Guilayn e a Av. São Francisco de Paula, na cidade de Pelotas, consistindo em analisar o material que compõe o pavimento existente, verificando seu

comportamento mediante uma estabilização química que poderá ser realizada com cimento ou cal, em diferentes proporções para um pavimento alternativo de baixo custo. O pavimento local existente foi originalmente modelado com solo retirado da execução de um canal paralelo a via, sendo que em alguns trechos recebeu melhoramento com uma camada superficial de reforço (saibro).

O local da pesquisa foi determinado devido processo de reestruturação de infra-estrutura expresso no projeto “Pelotas Pólo do Sul” financiado pelo Banco Mundial, onde, conforme Figura 1, a Estrada do Engenho, é um acesso secundário ao Engenho Pedro Osório,



Figura 1 – Estrada do Engenho
Fonte - Google Map

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Estabilizar um solo significa conferir-lhe a capacidade de resistir e suportar as cargas e os esforços induzidos pelo tráfego normalmente aplicados sobre o pavimento e também às ações erosivas de agentes naturais sob as condições mais adversas de solicitação consideradas no projeto.

Devido às disparidades e semelhanças nos processos e mecanismos utilizados para a estabilização de solos, adota-se a natureza da energia transmitida ao solo como um critério para a classificação dos métodos de estabilização. Desta forma podem ser citados os seguintes tipos de estabilização: mecânica, granulométrica, química, elétrica e térmica.

A Estabilização Mecânica visa dar ao solo (ou mistura de solos) a ser usado como camada do

pavimento uma condição de densidade máxima relacionada a uma energia de compactação e a uma umidade ótima. Também conhecida como estabilização por compactação. É um método que sempre é utilizado na execução das camadas do pavimento, sendo complementar a outros métodos de estabilização.

A Estabilização Granulométrica consiste da alteração das propriedades dos solos através da adição ou retirada de partículas de solo. Este método consiste, basicamente, no emprego de um material ou na mistura de dois ou mais materiais, de modo a se enquadrarem dentro de uma determinada especificação.

A Estabilização Química quando utilizada para solos granulares visa principalmente melhorar sua resistência ao cisalhamento (causado pelo atrito produzido pelos contatos das superfícies das partículas) por meio de adição de pequenas quantidades de ligantes nos pontos de contato dos grãos. Os ligantes mais utilizados são o Cimento Portland, Cal, Pozolanas, materiais betuminosos, resinas, etc.

Nos solos argilosos (coesivos) encontramos estruturas floculadas e dispersas que são mais sensíveis a presença de água, influenciando a resistência ao cisalhamento. É comum a adição de agentes químicos que provoquem a dispersão ou floculação das partículas ou uma substituição prévia de cátions inorgânicos por cátions orgânicos hidrorrepelentes seguida de uma adição de cimentos.

A Estabilização Elétrica consiste na passagem de uma corrente elétrica pelo solo a estabilizar. As descargas sucessivas de alta tensão são usadas no adensamento de solos arenosos saturados e as de baixa tensão contínua são usadas em solos argilosos empregando os fenômenos de eletromose, eletroforese e consolidação eletroquímica. Não tem sido utilizada em pavimentos.

A Estabilização Térmica é feita através do emprego da energia térmica por meio de congelamento, aquecimento ou termosose. A solução do congelamento normalmente é temporária, alterando-se a textura do solo. O aquecimento busca rearranjos na rede cristalina dos minerais constituintes do solo. A termosose é uma técnica de drenagem onde se promove a difusão de um fluido em um meio

poroso pela ação de gradientes de temperatura. Também não é utilizada em pavimentos.

2.1 Estabilização Química

Neste tipo de estabilização podem ser utilizados vários tipos de aditivos químicos. As partículas do solo são aglutinadas através de reações químicas e não físicas. A estabilização química utilizada em obras de pavimentação rodoviária recorre normalmente ao cimento, à cal, aos materiais betuminosos, às resinas e aos carbonatos.

O tratamento de solos com ligantes hidráulicos justifica-se pelas necessidades de caráter econômico e também por uma crescente preocupação ecológica. O desenvolvimento desta técnica construtiva está associado ao progresso tecnológico verificado nos últimos anos, permitindo atualmente consideráveis rendimentos e uma boa qualidade de construção.

É necessário um grande conhecimento sobre o material a ser estabilizado, visto que a presença de agentes como sulfatos, produz algumas reações, como a expansão, podendo vir a impedir a utilização do cimento como material estabilizante químico em estradas, portanto, a utilização de ensaios de laboratório, variando os quantitativos de cimento e água, com análise e interpretação dos resultados por critérios técnicos e econômicos é fator indispensável.

Quanto aos mecanismos de estabilização de solo-cal, ocorrem vários tipos de reações químicas; contudo, as mais importantes são as reações de troca catiônica, floculação e as reações pozolânicas (reações de cimentação). As reações de troca catiônica e de floculação se processam rapidamente e produzem alterações imediatas na plasticidade, e em menor escala, na resistência mecânica da mistura. Também, podem ocorrer reações pozolânicas entre o solo e a cal, dependendo das características dos solos a serem estabilizados. Essas reações resultam na formação de vários compostos de cimentação, que aumentam a resistência e a durabilidade da mistura e desenvolvem-se em longo prazo.

A estabilização pode ser do tipo melhorado com cal ou cimentado com cal, mas no Brasil

não existe metodologia para dosagem e dimensionamento de misturas. A avaliação da capacidade de suporte das misturas solo-cal pode ser feita mediante o ensaio de ISC (CBR).

Considerando a estabilização do solo com cimento, existem três diferentes tipos de misturas consideradas: mistura de solo-cimento, solo melhorado com cimento e solo-cimento plástico, sendo sua estabilização influenciada por fatores como o tipo de solo, presença de materiais nocivos ao cimento, teor de cimento, teor de umidade da mistura, operações de mistura e compactação, tempo e condição de cura e dosagem.

Após meio século de experiência brasileira utilizando a estabilização química em solos, surgiram inúmeras aplicações dentro das obras de engenharia como: Pavimentação de ruas e estradas; passeios para pedestres; quadras esportivas; revestimento de barragens; solo-trincheira; terreiros de café; obras de contenção; canalização e proteção de pontes; habitação (tijolos, blocos, paredes monolíticas, lajotas, fundações e pisos).

3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Foram coletadas do trecho analisado, seis amostras de solo, com aproximadamente 60 Kg por amostra, sendo elas coletadas a uma profundidade média de 0,70 metros. Logo após a coleta do solo, o mesmo foi levado para o Laboratório de Geotecnia da Universidade Católica de Pelotas, para execução dos ensaios de caracterização, compactação e CBR.

Os ensaios foram realizados conforme normas específicas (NBR 6508/84, NBR 7181/84 – MB 32, NBR 6459/84, NBR 7180/84, NBR 6457/86), apresentando os resultados na Figura 2 e nas Tabelas abaixo:

Tabela 1- Peso Específico

	peso específico (kN/m ³)
solo 01	26,7
solo 02	26,3
solo 03	26,4
solo 04	25,9
solo 05	26,4
solo 06	26,9

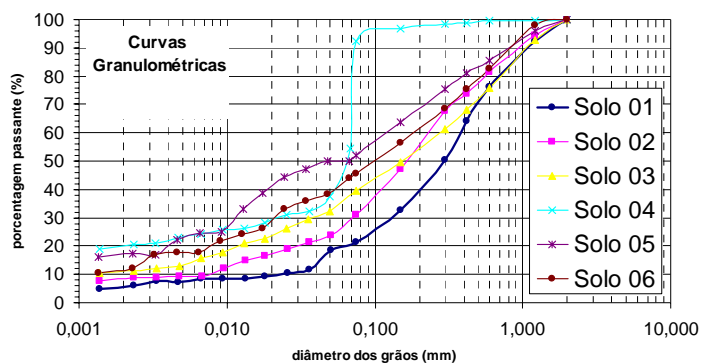


Figura 2 – Análise granulométrica

Tabela 2– Valores do ensaio de Granulometria

solo	granulometria		
	areia (%)	silte (%)	argila (%)
1	80	15	5
2	74	18	8
3	64	24	12
4	53	24	20
5	48	33	17
6	58	30	12

Tabela 3 - Limites de Consistência

solo	limites	
	LL(%)	LP (%)
1	*	*
2	*	*
3	25	14
4	47	27
5	36	23
6	24	14

Tabela 4– Ensaio de Compactação

solo	compactação	
	γ máx (kN/cm ³)	h ótimo (%)
1	2,00	8,85
2	1,98	10,40
3	2,32	9,90
4	1,56	18,00
5	1,81	14,00
6	2,00	9,50

Tabela 5 – Resultados da Caracterização

solo	classificação	
	SUCS	HRB
1	areia argilosa SM / SC	areia fina A3
2	areia argilosa SM / SC	areia fina A3
3	areia argilosa CL / SC	solo argiloso A6
4	argila pouco plástica CL	solo argiloso A7-5
5	argila pouco plástica CL	solo argiloso A6
6	areia argilosa CL / SC	solo argiloso A6

Tabela 6 – Resultados do CBR

Índice suporte califórnia - CBR			
solo	I.S.C. (%)	expansão (%)	densidade aparente seca KN/m ³
1	45	0,09	20,0
2	2	0,1	20,5
3	14	0,52	20,3
4	11	1,48	15,8
5	8	0,01	19,4
6	16	0,5	20,0

3 RESULTADOS DA PESQUISA

A pesquisa foi dividida em duas etapas, sendo os resultados finais da pesquisa obtidos aos 28 dias.

4.1 Primeira etapa

Nesta etapa foram desenvolvidos dois modelos de estabilização utilizando a experiência local, uma com cimento e outro com cal, sendo adicionadas proporções de 3% e 5% de cimento, e 5% e 8% de cal, moldados na umidade ótima de cada amostra.

Foram empregados para esta fase da pesquisa os solos 01, 04 e 06 em virtude dos demais solos analisados apresentarem comportamento semelhante aos mesmos.

As misturas de solo-cimento foram rompidas com as respectivas idades: 3, 7, 14, 21 e 28 dias, e as misturas de solo-cal com 7, 14, 21 e 28 dias.

Conforme Figura 3, os corpos de provas foram moldados em três camadas de 11 golpes, e após embalados em sacos plásticos e vedados e transportados para câmara úmida para realização da cura. Nos corpos de prova moldados com solo-cal a proteção executada para cura serviu para evitar a carbonatação.

A ruptura dos corpos de prova foi executada em uma prensa modelo DIGITAL TRITEST, com capacidade para 10kN e os resultados adquiridos através de uma célula de carga modelo KRATOS com capacidade para 1000kg. O valor de ruptura era coletado num Dataloger modelo NOVUS.

Nesta etapa não obtivemos um acréscimo de resistência com a idade, novos ensaios com outros teores foram realizados.

4.2 Segunda etapa

Em virtude dos resultados obtidos na primeira etapa, elevou-se o teor de material estabilizante para 10% de cimento e 15% de cal, com as amostras de solo 02, 03 e 05.

Pode-se salientar que como o esperado, ocorreu um acréscimo dos valores da resistência das misturas com os novos percentuais de material estabilizante (cal e cimento) e que o valor da resistência final para estabilização do solo-cimento é superior ao valor da resistência final para estabilização em solo-cal aos 28 dias (Figuras 4 e 5).



Figura 3 – Corpo-de-prova

Nas Figuras 6 a 8 são apresentados os valores da estabilização comparado ao material sem adição.

Fazendo-se uma análise econômica dos materiais estabilizantes analisados, o cimento e a cal, em função do percentual estudado para cada material em relação a um metro cúbico de solo a ser estabilizado temos que:

Cimento

10% de material estabilizante
 1m^3 de solo = $0,1\text{m}^3$ de cimento
 $0,1\text{m}^3 \times 1200\text{kg/m}^3 = 120\text{kg/m}^3$

Saco 50Kg – R\$16,50 = 0,33R\$/kg
 $120\text{kg/m}^3 \times 0,33\text{R}/\text{kg} = \text{R}\$ 39,60/\text{m}^3$

Cal

15% de material estabilizante
 1m^3 de solo = $0,15\text{m}^3$ de cal
 $0,15\text{m}^3 \times 1700\text{kg/m}^3 = 255\text{kg/m}^3$

Saco 20Kg – R\$3,20 = 0,16R\$/kg
 $255\text{kg/m}^3 \times 0,16\text{R}/\text{kg} = \text{R}\$ 40,80/\text{m}^3$

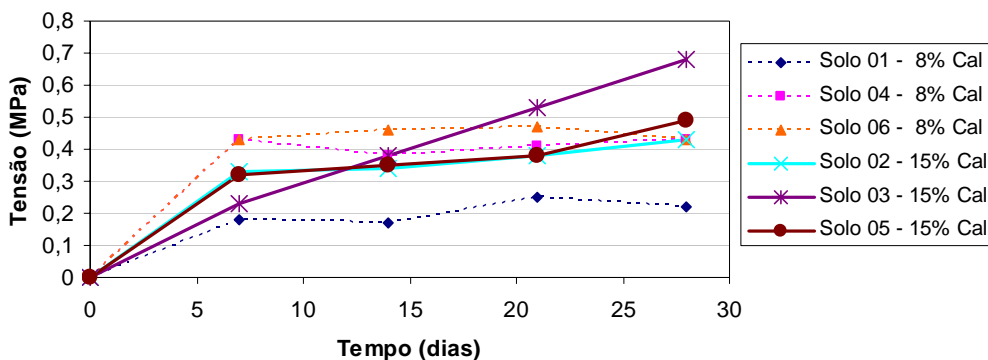


Figura 4 – Relação entre resistência X tempo das amostras com cal nos teores finais

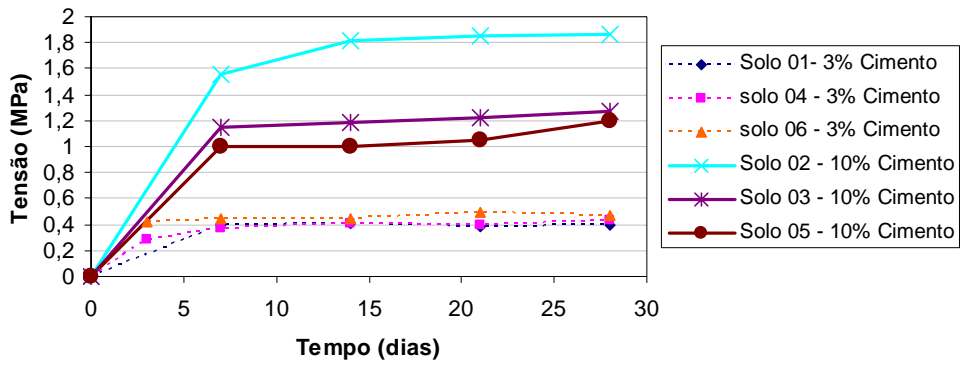


Figura 5 – Relação entre resistência X tempo das amostras com cimento nos teores finais

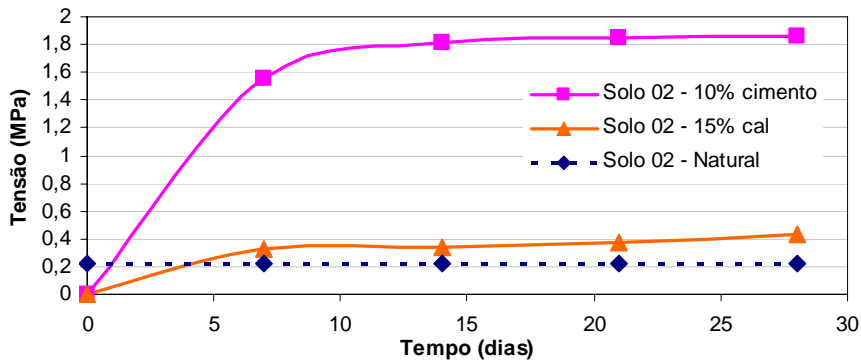


Figura 6 – Relação entre resistência X tempo do solo 2 com e sem adição

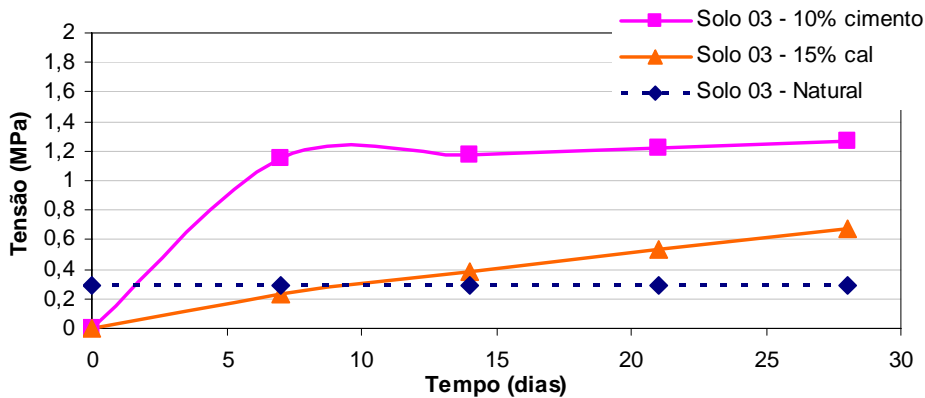


Figura 7 – Relação entre resistência X tempo do solo 3 com e sem adição

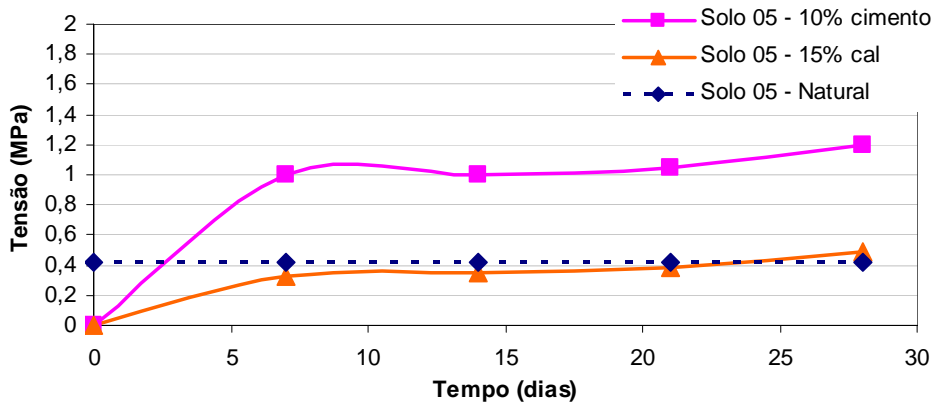


Figura 8 – Relação entre resistência X tempo do solo 5 com e sem adição

4.2.1 Análise dos resultados

Com a análise econômica apresentada pode-se verificar que mesmo com a diferença de preço entre os materiais estudados nesta pesquisa para as porcentagens finais o custo é praticamente o mesmo.

É importante salientar que o acréscimo da resistência da mistura de solo-cal prolonga-se por até um ano, conforme PEDREIRA (2000). Isto é caracterizado na análise gráfica, visto a curva de resistência da estabilização com solo-cal continuar crescente nos 28 dias, enquanto a curva da resistência na estabilização em solo-cimento apresenta uma estabilização uniforme.

Para viabilidade de execução do pavimento final, seria fundamental uma maior amostragem o que possibilitaria uma maior representatividade dos resultados, tanto para os ensaios já realizados quanto para outros com possibilidade de aplicação, por exemplo, o cone dinâmico realizado a cada 50m. Este estudo mais detalhado não foi realizado, devido ao tempo de execução necessário e recursos financeiros disponíveis.

Embora seja fundamental maior amostragem para uma representatividade dos valores encontrados, o percentual dos materiais estabilizantes que apresentaram melhores resultados, são superiores ao recomendado por diversas bibliografias, inclusive pelo manual de pavimentação do DNER.

5 CONCLUSÕES

Com a análise dos resultados obtidos em relação a primeira moldagem comparando-se os solos estabilizados com 5% e 10% de cimento foi demonstrado que em todas as amostras ocorreu um ganho médio de resistência de 100%, e já na estabilização com cal, apenas uma amostra teve seu ganho de resistência significativo com a diferença do percentual de material estabilizante de 8% para 15%.

Em função da resistência pode-se concluir que o solo 03 apresentou melhor desempenho com a cal, enquanto o solo 02 teve um melhor desempenho estabilizado com cimento.

Pela bibliografia consultada sabe-se que os solos estabilizados melhoram os problemas de

expansão, portanto a estabilização química tenderá a neutralizar a expansão apresentada nas amostras.

Conclui-se que o trabalho realizado foi de grande importância, pois além de integrar os conhecimentos teóricos obtidos durante a graduação com práticas de laboratório, projetos e orçamentos, pode-se comprovar a eficiência de bases para pavimentos estabilizadas quimicamente conforme a proposta do estudo de um pavimento alternativo.

Neste trabalho comprova-se a necessidade da continuidade de estudos realizados na área de estabilização de solos, considerando o expressivo número de estradas não pavimentadas e o custo de uma pavimentação tradicional.

REFERÊNCIAS

- Branco, F., Pereira, P., Santos, L.P. Pavimentos Rodoviários. (2006)
- D'ávila, A.L.M.- Terra, F. S. & Corral, P., Materiais Para Uso Em Vias Não-Pavimentadas.UFPEL, Curso de extensão. (2007, Novembro)
- DNER *Manual de Pavimentação* 2ed Rio de Janeiro,320p(IPR publ., 697) (1996)
- França, F. C. Estabilização química de solos para fins rodoviários: Estudo de caso com produto: “RBI Grade 81” – Dissertação de mestrado, programa de pós graduação da Universidade Federal de Viçosa – Minas Gerais. (2003)
- GEIPOT (2002) – Empresa Brasileira de Planejamento de Transporte – Sistemas de informações técnicas em transportes, 2002;
- Machado, C. C.- Lima, D. C.- Carvalho, C. A. B.- Santana, G. L.- Pereira, R. S. E Pires, J. M. M. P., Materiais alternativos para estabilização de solos para pavimentos de estradas florestais: <http://www.comciencia.br> (2008, julho)
- Marques, G.L.O. Universidade Federal de Juiz de Fora - www.dtt.ufpr.br/Pavimentacao- (2008, julho)
- Pedreira, C. L S. Uso de material de rejeito como fundação em solos compressíveis: caso de obra. Dissertação de mestrado, programa de pós graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre. (2000)
- Pinto,C.S. Curso Básico de Mecânica dos Solos – São Paulo: Oficina de Textos (2006)
- Schnaid, F. – Ensaio de Campo e suas Aplicações à Engenharia de Fundações – São Paulo. (2000)
- Senço, W. - Manual de Técnicas de Pavimentação. São Paulo – PINI (1997)