

Uso de Pavimento Reciclado como Base de Rodovias

Ronderson Queiroz Hilário

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto/MG, Brasil, rondim@gmail.com

Gilberto Fernandes

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto/MG, Brasil, gilberto@em.ufop.br

João Flavio Almeida e Silva

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto/MG, Brasil, joao_flaavio@yahoo.com.br

Igor Guilherme Santos,

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto/MG, Brasil, igs_92@hotmail.com

Pedro Henrique Moretszhon de Andrade Coutinho

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto/MG, Brasil, pedrocoutinho19@gmail.com

Leticia Mayumi Justus Sakaguti

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto/MG, Brasil, lejustus@gmail.com

Hebert da Consolação Alves

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto/MG, Brasil, hebertalvesa@yahoo.com.br

Wanessa Fernandes Damião Silva

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto/MG, Brasil, wanessafdsilva@gmail.com

Resumo: A reciclagem de materiais oriundos da atividade da engenharia é um tema que nos últimos anos vem ganhando destaque. Com uma destinação correta para esses materiais com o aproveitamento dos mesmos em obras de engenharia, estamos contribuindo para uma melhor preservação do ambiente. Pensando nisso, a técnica de reciclagem de pavimento para o uso como reforço de base para o mesmo pavimento vem ganhando mais espaço em obras de pavimentação no Brasil. Este trabalho teve como objetivo realizar um estudo técnico sobre a utilização de pavimento reciclado no reforço de camadas de base em uma rodovia do estado de Minas Gerais. O trabalho consistiu em campanhas de ensaios de laboratório com material retirado em campo pela máquina recicladora. Foram analisados o material existente de base, o material reciclado (base + revestimento + cimento) que foi utilizado como reforço, e também uma outra metodologia de reforço que é a reciclagem apenas da base com adição de cimento. O referido estudo foi desenvolvido nas seguintes etapas: análise do potencial técnico dos materiais provenientes das duas estacas que foram analisadas, realizado através de um intenso trabalho laboratorial. O estudo tem como finalidade, avaliar a viabilidade técnica de se adicionar este material na composição da estrutura do pavimento com um volume de tráfego com o $N=7,65 \times 10^6$ entre as estacas 0 a 2430 na BR-120, que liga os municípios de Alvinópolis e Visconde do Rio Branco. Com presente trabalho podemos concluir, por meio dos resultados de ensaios de laboratório que o revestimento quando misturado ao solo da base existente adicionado cimento é um excelente material para ser utilizado como base de pavimento.

PALAVRAS-CHAVE: Reforço, material reciclado, rodovia

1 INTRODUÇÃO

A crescente dificuldade de obtenção de recursos naturais relacionada à volumosa demanda de matérias primas nas obras de engenharia e o custo para transportar e destinar corretamente os resíduos gerados do setor industrial provoca a busca pela incorporação de novas tecnologias e soluções nos projetos de forma a amenizar os impactos ambientais. O reuso de subprodutos derivados do beneficiamento de pavimentos flexíveis em novos serviços se apresenta como alternativa viável na busca por soluções ambientalmente sustentáveis.

O processo de reciclagem de revestimentos para o reforço de camadas de base, hoje com uma maior aceitação nos processos de manutenção e restauração de pavimentos, tem se destacado no mercado de engenharia rodoviária, inclusive pelo desenvolvimento de equipamentos específicos para tal. Considerado como um processo tecnológico sustentável, também pode solucionar outros problemas como elevação do greide da pista, atenuar a propagação de trincas e evitar a sobrecarga excessiva sobre obras-de-arte e etc.

Assim sendo, o emprego de materiais fresados por meio da reciclagem para a estabilização e melhora de parâmetros físicos de camadas dos pavimentos vem ao encontro de possíveis alternativas que atendam as demandas econômicas e de sustentabilidade ambiental necessárias nos projetos de manutenção e restauro de rodovias.

2 Metodologia

O presente trabalho foram realizados ensaios em laboratório visando determinar as características físicas e mecânicas do material, para a obtenção de parâmetros na análise do potencial uso de material reciclado (revestimento + solo da base) com adição de cimento, no uso como reforço da camada de base dos pavimentos. As amostras utilizadas para o presente trabalho foram coletadas na BR-120 entre as cidades de Ponte Nova - MG e Teixeira – MG durante obras de manutenção do pavimento. Para a análise laboratorial o material reciclado (revestimento + base) e o teor de cimento selecionado seguiu a

solução de projeto da referida obra: revestimento remanescente após fresa inicial + base + 2% de cimento. Para a coleta do solo foram escolhidos dois locais distintos a fim de se obter uma análise mais ampla. O solo foi retirado nas estacas 241 e 420 por meio de três perfurações na pista de modo a se retirar quantidade suficiente de amostras de solo da base no estado deformado. O material reciclado foi recolhido nos mesmos locais após a passagem da fresa e do equipamento de reciclagem. Optou-se pela não adição de cimento no local, mas posteriormente em laboratório de maneira a evitar-se a hidratação prematura do cimento pela umidade natural da amostra.

2.1 Análise Granulométrica

A análise granulométrica do solo é necessária para que se conheçam as diferentes composições de tamanho dos grãos em faixas pré-estabelecidas e sua representatividade em relação à amostra, de modo a obter-se um dos parâmetros necessários a classificação do solo. A análise granulométrica do solo foi executada conforme a norma ABNT NBR 7181/1984. O ensaio para a determinação da massa específica dos sólidos, necessário aos cálculos para o ensaio de sedimentação, foi executado em concordância com a norma ABNT NBR 6508/1984.

A análise granulométrica aplicada a areias e pedregulhos se utiliza de dois parâmetros com finalidade de classificação da variação do tamanho das partículas e da distribuição granulométrica da amostra.

2.2 Índice de Grupo

O Índice de Grupo é um número inteiro utilizado na classificação dos solos, TRB – Transportation Research Board, que fornece subsídios para o dimensionamento de pavimentos.

2.3 Limites de Consistência

Os chamados de limites de consistência ou limites de Atterberg têm sua determinação feita

de modo empírico, com base em ensaios normatizados, e são utilizados como parâmetros para a classificação dos solos assim como para a determinação de propriedades de alguns solos finos.

Para a determinação do limite de liquidez do material foram utilizados os procedimentos prescritos pela ABNT NBR 6459/1984. A determinação do limite de plasticidade do material foi realizada de acordo com a norma ABNT NBR 7180.

O Índice de Plasticidade é um parâmetro físico que representa a quantidade de água necessária a ser adicionada em um solo para que este passe do estado plástico para o estado líquido.

O Índice de Plasticidade é expresso em porcentagem sendo importante para a classificação dos solos com grãos finos e a base para o Sistema Unificado de Classificação dos Solos.

2.4 Classificação de Solos

O Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) baseia-se na identificação dos solos de acordo com seu comportamento quando usado em estradas, aeroportos, aterros e fundações.

O Sistema de Classificação do AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials foi desenvolvido nos Estados Unidos da América e é baseado na granulometria e nos limites de Atterberg. Esse sistema foi proposto com a finalidade de classificar os solos para fins rodoviários e, por isso, é chamado de sistema rodoviário de classificação.

2.5 Ensaio de Compactação e Índice de Suporte Califórnia

A compactação dos solos é um método mecânico de estabilização dos solos que é obtido pela aplicação de alguma forma de energia. Sua aplicação proporciona ao solo um aumento do peso específico, diminuição do índice de vazios, permeabilidade e compressibilidade, além de incrementar a resistência ao cisalhamento, ocasionando uma maior estabilidade e consequentemente maior capacidade de suporte.

O Índice de Suporte Califórnia (CBR – California Bearing Ratio) é um ensaio utilizado para a estimativa da capacidade de suporte de um solo. Consiste em avaliar a capacidade de resistência de um corpo de prova de um solo confinado em um cilindro metálico a penetração de um pistão, em relação à mesma resistência provocada em um corpo de prova composto de brita graduada padrão, esta correlação é expressa em termos percentuais. Concomitantemente ao ensaio CBR, é usual que se verifique a expansibilidade do solo quando imerso em água por um período de pelo menos 4 dias. O ensaio de compactação do solo observou a norma ABNT NBR 7182/1986. O ensaio para a determinação do CBR do solo preconizou a norma ABNT NBR 9895/1987

2.6 Ensaio de Compressão Simples

A determinação do valor de resistência à compressão axial da mistura foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 12025/90. Os ensaios de resistência à compressão simples foram realizados com as amostras de solo da base, solo/cimento (com a proporção solo/cimento sendo estabelecida após a realização do ensaio de granulometria do solo) e material reciclado com cimento. Os corpos-de-prova foram moldados de acordo com os procedimentos sugeridos pela ABNT NBR 12024/2012 para teores definidos por norma e projeto. Procurou-se com isso, um solo estabilizado que se enquadrasse dentro dos critérios estabelecidos pelo DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes para materiais de base.

2.7 Ensaio de Triaxial Dinâmico

De acordo com Medina e Motta (2015), o módulo de resiliência (MR) de um solo é obtido por meio de uma relação entre a tensão-desvio aplicada axial e ciclicamente em um corpo de prova e a correspondente deformação específica vertical recuperável.

Os procedimentos para a realização do Ensaio Triaxial Dinâmico na determinação do Módulo de Resiliência em amostras de solos, são descritos pela norma DNIT 134/2010,

Pavimentação – Solos – Determinação do Módulo de Resiliência – Método de ensaio. O ensaio foi realizado na energia modificada.

Os valores do Módulo de Resiliência têm sido utilizados em vários projetos e estudos de pavimentos no Brasil. Como exemplo, podemos citar Franzoi (1990) apud Balbo (2015) que realizam ensaios em diversos solos no estado de São Paulo tendo apresentado valores de módulo de resiliência variando de 32 MPa a 500 MPa.

Valle e Balbo (1997) apresentam valores de MR obtidos por retro análise de superfícies deformadas com o emprego do FWD para bases graduadas em trechos de pavimentos asfálticos no estado de Santa Catarina.

Segundo Holz, os valores sugeridos de MR para base de pavimentos flexíveis, variam de 150 a 300 MPa. Já para pavimentos semirrígidos, esses valores variam de 300 a 500 MPa. Rodolfo e Balbo (1996) apresentaram uma série de modelos para cálculos de deformação específica na fibra inferior do concreto asfáltico. Para tais parâmetros, variou-se o valor do MR para base de pavimentos flexíveis utilizando brita graduada de 100 MPa a 300 MPa. Já para misturas solo-cimento, os parâmetros utilizados variam de 2.500 MPa a 7.500 MPa.

Analizando os dados do ensaio de triaxial dinâmico, podemos verificar que valores encontrados para o MR dos materiais estudados neste trabalho apresentam valores coerentes aos de outras referências. O que precisa ser feito é um estudo mais aprofundado do módulo de resiliência para diversos tipos de materiais para camadas de pavimento.

3 RESULTADOS

3.1 Análise Granulométrica

O resultado da distribuição granulométrica, e suas respectivas curvas granulométricas, para o material da base, base + cimento e material reciclado + cimento dos solos das estacas 241 e 420, estão apresentados na Tabela 1. Esta análise é feita de acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (DNIT, 2006), mesmo padrão utilizado pela ASTM - American Society for Testing and Materials. BC = Base + cimento. MRC = material reciclado adicionado cimento.

Tabela 1: Proporções dos materiais de acordo com a granulometria.

	Argila (%)	Silte (%)	Areia Fina (%)	Areia Grossa (%)	Pedregulho (%)
Base (241)	2,5	13,1	13,9	34,5	36,0
BC (241)	2,1	14,0	13,8	33,8	36,3
MRC (241)	3,2	11,0	17,5	20,8	47,5
Base (420)	5,3	9,4	12,4	29,8	43,1
BC (420)	5,8	9,0	12,0	30,7	42,5
MRC (420)	2,5	8,5	20,6	15,2	53,2

Os valores de D₁₀, D₃₀, e D₆₀ assim como os valores do Coeficiente de Uniformidade (C_u) e o Coeficiente de Curvatura (C_c) de cada material ensaiado, também calculado pela curva granulométrica, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Índices característicos das curvas granulométricas.

	D ₁₀	D ₃₀	D ₆₀	C _u	C _c
Base (241)	0,013	0,44	1,77	134,01	8,27
BC (241)	0,014	0,425	1,773	129,99	7,47
MRC (241)	0,02	0,36	3,2	160,0	2,025
Base (420)	0,09	0,533	2,31	256,67	13,66
BC (420)	0,009	0,560	2,3	264,37	15,56
MRC (420)	0,035	0,015	0,082	2,34	0,008

Outra característica que podemos obter por meio do ensaio de granulometria, é o enquadramento do material na faixa do DNIT para uso em pavimentação.

A Tabela 3 apresenta o enquadramento das amostras das estacas 241 e 420 nas respectivas faixas do DNIT.

Tabela 3: Enquadramento das amostras na faixa do DNIT.

	Faixa DNIT
Base (241)	D
BC (241)	D
MRC (241)	B
Base (420)	D
BC (420)	D
MRC (420)	B

3.2 Limites de Consistência, Índice de Grupo, Massa Específica dos Grãos

As Tabela 4 e 5 a seguir apresenta os resultados

dos ensaios dos limites de consistência dos materiais estudados em ambas as estacas, do Índice de Grupo e da Massa Específica dos Grãos.

Tabela 4: Resultado dos limites de consistência.

	Base (241)	BC (241)	MRC (241)
LL (%)	24,1	22,7	21,9
LP (%)	21,7	20,3	19,4
IP (%)	2,4	2,4	2,5
IG	0	0	0
Massa específica dos grãos (g/cm ³)	2,705	2,69	2,751
Densidade dos grãos	2,711	2,697	2,76

Tabela 5: Resultado dos limites de consistência.

	Base (420)	BC (420)	MRC (420)
LL (%)	24,1	23,5	22,3
LP (%)	23,6	21,3	20,8
IP (%)	0,5	2,2	1,5
IG	0	0	0
Massa específica dos grãos (g/cm ³)	2,718	2,718	2,752
Densidade dos grãos	2,723	2,725	2,762

3.3 Classificação de Solos

Este item classifica os solos de acordo com a classificação SUCS e TRB (AASHTO) levando em consideração resultados descritos acima (análise granulométrica, limites de consistência e o valor do IG. A Tabela 6 apresenta as classificações das misturas para ambas as estacas.

Tabela 6: Classificação dos solos.

	Base (241)	BC (241)	MRC (241)	Base (420)	BC (420)	MRC (420)
TRB	A-1-b	A-1-b	A-1-b	A-1-b	A-1-b	A-1-b
SUCS	SM	SM	SM	SM	SM	SM

3.4 Compactação e CBR

O ensaio de compactação foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 7182/1986. A

energia utilizada para a realização do ensaio de compactação foi a modificado por questão de projeto da rodovia estudada. A Tabela 7 apresenta os resultados de umidade ótima e densidade máxima seca.

Tabela 7: Resultados de umidade ótima e densidade máxima.

	Base (241)	BC (241)	MRC (241)	Base (420)	BC (420)	MRC (420)
Umidade ótima (%)	6,75	7,11	6,63	6,71	6,77	5,91
Densidade máxima seca (g/cm ³)	2,222	2,17	2,213	2,27	2,16	2,235

As tabelas 8 e 9 apresentam resultados de expansão e CBR

Tabela 8: Resultados do ensaio de CBR e Expansão.

	Base (241)	BC (241)	MRC (241)
CBR (%)	65,78	306,25	201,79
Expansão (%)	0,05	0,05	0,08

Tabela 9: Resultados do ensaio de CBR e Expansão.

	Base (420)	BC (420)	MRC (420)
CBR (%)	74,97	307,67	143,51
Expansão (%)	0,06	0,07	0,07

3.5 Compressão Simples

O ensaio de compressão simples foi realizado devido ao fato de que os valores de CBR do material reciclado e da mistura solo-cimento terem apresentado um valor acima de 100. Os corpos de prova foram moldados no cilindro de CBR à umidade ótima do material encontrado no ensaio de compactação. Os ensaios foram realizados com amostras a 0 dias, 7 dias, 14 dias e 28 dias de cura. Exceto as amostras de 0 dias, as demais foram mantidas em uma câmara úmida.

A Tabela 10 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial das amostras do material de base das estacas 241 e 420.

Tabela 10: Resultados dos ensaios de compressão simples.

	Base (241)	Base (420)
Resistência (MPa)	0,55	0,59

Os resultados dos ensaios com as amostras de solo-cimento e material reciclado, em MPa, estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Resultados dos ensaios de compressão simples.

	0 dias	7 dias	14 dias	28 dias
BC (241)	1,06	3,96	4,15	4,57
MRC (241)	1,33	1,54	1,97	2,56
BC (420)	1,28	3,17	4,48	5,1
MRC (420)	1,28	1,62	2,07	2,77

3.6 Ensaio Triaxial Dinâmico

A Tabela 12 apresenta os Módulos de Resiliência (MR) dos materiais de ambas as estacas obtidas no ensaio triaxial dinâmico para vários níveis de tensões.

Tabela 12: Resultados dos ensaios de Módulo de Resiliência.

	BC (241)	MRC (241)	Base (241)	BC (420)	MRC (420)	Base (420)
M _R médio (MPa)	1.725,7	978,5	691,0	2.340,7	1.299,7	433,4

Analisando os resultados de MR por meio do modelo composto temos as seguintes equações para o módulo de resiliência, apresentados na Tabela 13.

Tabela 13: Equações do modelo composto.

	Equação do Módulo Resiliente do modelo composto	R ²
Base (241)	$M_R = 241 \cdot \sigma_3^{0,6329} \cdot \sigma_d^{-1,4768}$	0,869
MRC (241)	$M_R = 1853 \cdot \sigma_3^{0,6758} \cdot \sigma_d^{-0,5548}$	0,867
BC (241)	$M_R = 3523 \cdot \sigma_3^{0,5412} \cdot \sigma_d^{-0,3597}$	0,713
Base (420)	$M_R = 69 \cdot \sigma_3^{0,5474} \cdot \sigma_d^{-1,4112}$	0,746
MRC (420)	$M_R = 1104 \cdot \sigma_3^{0,4859} \cdot \sigma_d^{-0,6949}$	0,895
BC (420)	$M_R = 1808 \cdot \sigma_3^{0,2970} \cdot \sigma_d^{-0,5211}$	0,691

4 CONCLUSÕES

Os resultados apresentados indicaram que a

metodologia de reciclagem de pavimento é viável e mostrou um desempenho satisfatório em âmbito laboratorial. Tal mistura melhorou seu desempenho em relação ao material de base, como podemos observar nos ensaios de granulometria, CBR, resistência à compressão uniaxial e triaxial dinâmico. Isso nos mostra que os parâmetros adquiridos com a metodologia da reciclagem a credencia seguramente como material de base de rodovia.

Também foi possível obter uma análise para o desenvolvimento sustentável, já que a reciclagem de pavimentos é uma alternativa que contribui com a redução de passivo ambiental, reutilizando o próprio pavimento na construção de um novo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Universidade Federal de Ouro Preto e o Centro Tecnológico de Geotecnia Aplicada pelo espaço para realização dos ensaios. Ao professor Geraldo Marques pela ajuda no ensaio triaxial. Ao DNIT no nome do Engenheiro Márcio Gusmão

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTOS PORTLAND. Dosagem das misturas de solo-cimento: Normas de dosagem e métodos de ensaios. 3° ed. São Paulo, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984) – Solo – Análise granulométrica: NBR 7181.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo-cimento - Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos - ABNT MB-3361/90. Rio de Janeiro, 1990.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984) – Grãos de solos que passam na peneira 4,8 mm – Determinação da massa específica: NBR 6508.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984) – Solo – Determinação do limite de liquidez: NBR 6459.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984) – Solo – Determinação do limite de plasticidade: NBR 7180.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1986) – Solo – Ensaio de Compactação: NBR 7182.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987) – Solo – Índice de Suporte

- Califórnia: NBR 9895.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2012) – Solo-cimento – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos - Procedimento: NBR 12024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2012) – Solo-cimento – Ensaio de Compressão Simples – Método de Ensaio: NBR 12025.
- BALBO, J. T. Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração. São Paulo, 2015.
- BAPTISTA, C. N. Pavimentação: Compactação dos Solos no Campo, Camadas de Base e Estabilização dos solos, 4ªed. Rio de Janeiro: Globo, 1976.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM DO PARANÁ. Pavimentação: Solo-Cimento e Solo Tratado com Cimento – DER/PR ES-P 11/05, Curitiba, 2005.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de pavimentação. Diretoria de planejamento e pesquisa. Coordenação geral de estudos e pesquisa. Instituto de pesquisas rodoviárias. 3º ed. Rio de Janeiro, 2006a.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de restauração de pavimentos asfálticos. Diretoria de planejamento e pesquisa. Coordenação geral de estudos e pesquisa. Instituto de pesquisas rodoviárias. 2º ed. Rio de Janeiro, 2006b.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Pavimentação - Base de solo melhorado com cimento - Especificação de serviço - DNIT 142/2010-ES. Rio de Janeiro, 2010.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Pavimentação - Base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço - DNIT 141/2010-ES. Rio de Janeiro, 2010.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Solos - Compactação utilizando amostras não trabalhadas - Método de ensaio - DNIT 164/2013-ME. Rio de Janeiro, 2013.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Pavimentos Flexíveis – Solos – Determinação do Módulo de Resiliência – Método de Ensaio. DNIT 134/2009 ME.
- Rodolfo, M.P.; Balbo, J.T. (1996) Análise tensional de estruturas de pavimentos flexíveis. Caderno de resumos do 4o. Simpósio de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo, vol.2, p.83, São Paulo.
- MARQUES, G. L. O. Notas de aula da disciplina pavimentação. Versão 06.2. Juiz de Fora, 2012. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2012/03/Notas-de-Aula-Prof.-Geraldo.pdf>> Acesso em: 20 jul. 2015.
- MEDINA, J., MOTTA, M. G. Mecânica dos pavimentos. 3ª Edição. 2015. Rio de Janeiro.
- SANTOS, R.B.R.; Determinação do módulo de Resiliência de materiais típicos de pavimentos através do Ensaio Triaxial Dinâmico. Trabalho final de curso da UFJF, Juiz de Fora, 2009.
- Valle, N.; Balbo, J.T. (1997) Estudo preliminar de desempenho de pavimentos com solos saprolíticos de granito em santa catarina. Anais do 1o. Simpósio Internacional sobre Rodovias de Baixo Volume de Tráfego SINBATRA, ABPv, Vol. 1, pp.381-394, Rio de Janeiro.