16ª RPU – Reunião de Pavimentação Urbana

Belo Horizonte/MG - BRASIL - 28 a 30 de abril de 2009
Centro de Convenções Minascentro

ESTUDO DO RESÍDUO DE QUARTZITO PARA EMPREGO EM SUB-BASE E BASE DE PAVIMENTOS

*Adson Viana Alecrim*¹; *Glauco Túlio Pessa Fabbri*²; *Liedi Bariani Bernucci*² & *Edson de Moura*²

RESUMO

O presente trabalho tem o objetivo apresentar uma alternativa para a utilização dos resíduos das minerações de quartzito em sub-bases ou bases de pavimentos flexíveis. A adoção destes resíduos deverá não só diminuir o impacto ambiental das minerações, mas também possibilitar a valorização desses materiais, principalmente, para uso na pavimentação urbana ou rodoviária. A mineração dos quartzitos para uso ornamental mostra um aproveitamento de apenas 8 a 10% do total dos desmontes, gerando volumes de resíduos de enormes proporções. A falta de disposição regular de resíduos pode causar vários problemas ambientais, destacando-se o assoreamento de mananciais. Os quartzitos estudados estão localizados na região do Sudoeste Mineiro que compreende os municípios de Alpinópolis, São José da Barra, São João Batista do Glória e Guapé. Foram estudadas misturas desses resíduos com solos de maior ocorrência da região (Latosolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo). Após a classificação e caracterização dos materiais, foram preparadas misturas agregado-solo, com granulometria descontínua, segundo proposta de Nogami e Villibor (1984 e 1995). Com essas misturas foram realizados ensaios de compactação, índice de suporte Califórnia e módulo de resiliência. As misturas estudadas foram compostas com 70%, 60 e 50% de quartzito e 30, 40 e 50% de solo, respectivamente.

¹ Adson Viana Alecrim, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: Av. Prof. Luciano Gualberto, Travessa 3, Nº 380, 05.508-970-São Paulo, SP, Brasil, adson.alecrim@poli.usp.br

² Glauco Tulio Pessa Fabbri, Escola de Engenharia de São Carlos: Av. trabalhador Sãocarlense, 400 13566-590 – São Carlos, SP, Brasil, glauco@usp.br

² Liedi Bariani Bernucci, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: Av. Prof. Luciano Gualberto, Travessa 3, Nº 380, 05.508-970-São Paulo, SP, Brasil, Liedi@usp.br

² Edson de Moura, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: Av. Prof. Luciano Gualberto, Travessa 3, Nº 380, 05.508-970-São Paulo, SP, Brasil,, edmoura@usp.br

Os resultados mostram que as misturas descontínuas podem ser empregadas como material de camada de pavimento dando um destino para estes resíduos e contribuindo para a disponibilidade e redução de custos nas obras de pavimentação em regiões próximas destas minerações.

PALAVRAS-CHAVE: Quartzitos, Estabilização Granulométrica, Utilização de Resíduos.

ABSTRACT

The purpose of this study is to test an alternative use for quartzite mining wastes in the Southwest of the State of Minas Gerais as base and sub-base layers of flexible pavements. The adoption of this alternative will not only reduce environmental impacts of quartzite mining but will also increase the value of the quartzite, mainly for road applications. The quartzites of this research came from the Southwest of the State of Minas Gerais, where are the cities Alpinópolis, São José da Barra, São João Batista do Glória and Guape. Mixtures of quartzite wastes with the most common soils in this region (ferrosol) were studied. These quartzites were characterized and aggregate-soil mixtures were prepared, using two types of aggregate gradation: a gap-graded gradation, in accordance with Nogami e Villibor (1994 and 1995), and a dense-graded gradation, in accordance with traditional stabilization criteria. Compaction, California bearing ratio and resilient modulus tests were performed. Results indicate that there is no expressive influence of the quartzite gradation on mixture mechanical properties. It was also verified that it is possible to use these dense-graded mixtures for road applications. This conclusion is valuable from the operational and environmental point of view, as it leads to a full reuse of quartzite wastes.

KEY WORDS: Quartzite, Soil Stabilization, Quartzite Wastes

INTRODUÇÃO E SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA

A exploração do quartzito nos Estados de Goiás e Minas Gerais (principais produtores de quartzito no Brasil) vem sendo desenvolvida há anos com grande produção de resíduos. Ainda atualmente, em determinadas regiões, não há uma prática de disposição e aproveitamento adequados do resíduo.

A taxa de aproveitamento do quartzito é bastante baixa e, somado a esse baixo aproveitamento, está o crescimento dessa atividade, que acarreta, ano a ano, o aumento do passivo ambiental, na mesma proporção da exploração. Um exemplo desse crescimento é que no ano de 2000 a produção de quartzito em Minas Gerais, foi de 35.417,61 toneladas e em 2001 a produção foi de 50.390,10 toneladas, correspondendo a uma alta de 42,27% (ALECRIM e FABBRI, 2004). Dados mais recentes apontam que a oferta nos dois últimos anos (2007 e 2008) passou de 90,0 milhões de toneladas em média. Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2004), a produção brasileira de quartzito em 2004 apresentou um crescimento médio de 37,6% em relação a 2003.

A exploração deste minério é normalmente direcionada à construção civil, para revestimento e ornamentação de ambientes internos e externos. Essa exploração vem provocando debates polêmicos, principalmente em relação às questões ambiental e sócio-econômica. Os profissionais da área ambiental afirmam que a exploração é predatória, devido ao baixo aproveitamento, que está entre 8 e 10%. Do ponto de vista sócio-econômico, são essas pedreiras que geram muitos empregos nas cidades, chegando, às vezes, a representar mais de um terço da economia local, o que, per si, justifica a sua manutenção (ALECRIM e FABBRI, 2004).

Assim, o objetivo desse trabalho foi estudar a possibilidade de utilização do resíduo da exploração de quartzito do sudoeste de Minas Gerais em bases e sub-bases de pavimentos flexíveis. Esse estudo desenvolveu-se em laboratório, em misturas contendo o resíduo de quartzito britado e solos de maior ocorrência na região, através de ensaios de caracterização dos materiais, compactação, CBR e módulo de resiliência. Foram estudados, basicamente, dois tipos de misturas – descontínuas e contínuas. As descontínuas seguiram as orientações descritas em Nogami e Villibor (1984 e 1995) e foram estudados teores de resíduo de quartzito variando de 50 a 70% em peso. Já as contínuas foram elaboradas segundo os preceitos convencionais de misturas estabilizadas granulometricamente, seguindo as normas vigentes. Em ambos os casos, as misturas utilizaram agregados passando integralmente na peneira de # 25 mm.

Segundo Yoder (1959), as propriedades geotécnicas de uma mistura de solo-agregado dependem, basicamente, da distribuição granulométrica, do peso específico da mistura e da geometria e resistência dos agregados. Alguns autores confirmaram a importância desses fatores, ressaltando em seus estudos a influência da distribuição granulométrica do agregado

(HOLTZ e GIBBS, 1956) e do solo da porcentagem de finos na mistura (DONAGHE e TOWNSEND, 1975) e da resistência dos agregados (BARROS, 1974 e FERREIRA, 1986).

Os quartzitos são formados, essencialmente, por grãos de quartzo (finos) fortemente unidos, compactados e duros, contendo fraturas e brilho semelhante ao do quartzo e, em geral, menos nítido. Além do quartzo, muitos quartzitos podem conter outros minerais, tais como: mica e feldspato ou ainda novos minerais formados por metamorfização. Os quartzitos são em geral brancos com algumas variações para amarelo, vermelho ou acastanhado. O aspecto dos quartzitos assemelha-se a alguns calcários, felsitos e o que os distingue é a dureza. A composição química do quartzito pode corresponder praticamente à da sílica (SiO_2), mas pode conter pequena porção de alumínio, ferro, cálcio entre outros minerais. Os quartzitos são comercialmente conhecidos como “pedra São Tomé ou mineira” e a sua aplicação pode ser em revestimentos de pisos, muros e paredes (COSTA, 1950).

Alecrim e Fabbri (2004) apresentaram um levantamento de campo, revelando que, no centro produtor Alpinópolis-MG (C.P.A), região do Sudoeste de Minas Gerais, onde há exploração de quartzito, observa-se uma baixa taxa de aproveitamento, pois as técnicas de exploração são inadequadas e não há nenhuma alternativa efetiva para o reaproveitamento dos resíduos dessa exploração. Se a esse problema for acrescentado o fato dessas “jazidas” estarem sempre localizadas nos pontos mais altos (no topo das serras), percebe-se que com esta exploração são causados graves problemas ambientais, uma vez que os resíduos da exploração podem ser transportados pelas águas de chuva para as regiões mais baixas, causando o assoreamento de mananciais, rios e talvegues.

Os quartzitos apresentam algumas características particulares como superfícies planas, antiderrapantes e homeotermas (de temperatura constante), dando a ela propriedades interessantes para serem empregadas como revestimento externo e interno da construção civil. As áreas de aplicações mais usuais são escadas, muros, fontes e entorno de piscinas. A Figura 1 demonstra exemplo típico de uso do quartzitos em área externa e a Figura 2 demonstra exemplo de uso em área interna.

Figura 1. Revestimento com quartzito amarelo em muro

Figura 2. Revestimento em piso com quartzito verde

MATERIAIS, PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS E RESULTADOS

Jazidas de quartzito e de solos

As jazidas de quartzito estudadas na pesquisa localizam-se na região Sudoeste do Estado de Minas Gerais, e pertencem ao Centro Produtor Alpinópolis, que compreende os Municípios de São José da Barra (*Br*), São João Batista do Glória (*Gr*), Guapé (*Gp*) e Alpinópolis (*Ap*). A escolha dessas jazidas se deu, principalmente, pelo fato de estarem eventualmente contribuindo para ocorrência de processos erosivos (tipo linear) próximos aos talvegues e estradas de acesso as cidades e próximo a Represa de Furnas - Rio Grande.

Os critérios que nortearam a coleta das amostras deram-se, principalmente, pelas características de aptidão para aplicação na pavimentação, segundo Nogami e Villibor (1995) e facilidade de acesso aos pontos de amostragem. Assim, foram selecionados três Latossolos Vermelho Escuro. A Figura 3 apresenta as jazidas de quartzitos, parte do mapa de unidade pedológica da região e os solos selecionados.

Figura 3. Pedologia da região do Sudoeste Mineiro, jazidas de quartzitos e solos selecionados

Para a investigação dos quartzitos foram realizados ensaios de britagem, análise granulométrica, Abrasão Los Angeles, degradação após compactação Proctor, análise petrográfica e a análise química seguindo os procedimentos adotados por Fernandes (2002). Quanto aos resultados das análises petrográfica e química é apresentado somente valores médios obtidos a luz das amostras em estudo. A Figura 4 apresenta exemplo típico das curvas granulométricas dos resíduos de quartzito.

Para a investigação dos solos foram realizados ensaios de massa específica dos sólidos, análises granulométricas por peneiramento, Limites de consistência, limite de liquidez, esse ensaio se faz necessários para as classificações USCS e HRB. A Figura 5 mostra as curvas granulométricas dos solos Aclimação, Glória e Usina B e a Tabela 1 apresenta os percentuais de cada fração (argila, silte e areia) contidas nos solos em estudo.

Figura 4. Curvas Granulométricas dos resíduos em estudo Figura 5. Curvas granulométricas dos solos estudados

Tabela 1. Composição granulométrica dos solos

Porcentagens De	S-1	S-2	S-3
Argila	40	38	29
Silte	18	20	17
Areia	42	42	54

Para os solos foram realizados ainda, ensaios de adsorção por azul de metileno segundo, proposição de Fabbri (1994), microscopia eletrônica de varredura executado na fração fina do solo (partículas inferior a 0,074 mm) com o objetivo de avaliar a laterização através da observação da microestrutura dos argilo-minerais presentes nos solos (NOGAMI e VILLIBOR, 1995 e FABBRI, 1994) e a Classificação MCT pelo DNER M 196-88 (perda de massa por imersão), ambos do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER-SP, 1991). Na Figura 6 é mostrado o ábaco do azul de metileno com a posição de cada amostra. Nesse ábaco, solos que se posicionam na área (I) normalmente apresentam comportamento tipicamente laterítico e solos quando posicionados nas áreas (II e III)

apresentam comportamento não laterítico. Os resultados dos ensaios dos quartzitos e solos estão apresentados na Tabela 2.

Figura 6. Posição dos solos no ábaco de adsorção por azul de metileno proposto por (FABBRI, 1994)

Tabela 2. Características dos quartzitos e classificação dos solos

Propriedades	Solos			Quartzitos					
	S-1	S-2	S-3	Ap	Br	Análise Petrográfica	Análise Química		
						Minerais (%)	Óxidos (%)		
Massa Específica (g/cm³)	2.74	2.77	2.70	Massa Específica (g/cm³)		Quartzo	97-98	SiO₂	98,88
Limites de Consistência						Muscovita	1-2	Al₂ O₂	0,84
LL (%)	52	45	42			Turmalina	Tr	Fe₂ O₃	0,11
LP (%)	29	33	27	2,68 2.66		Zircão	Tr	TiO₂	0,06
IP (%)	23	12	15			Magnetita	<1	MgO	0,10
Classificação				Abrasão Los Angeles		Rutilo	<1	CaO	0,01
HRB	A7 6	A7 5	A7 6						
USCS	MH	ML	ML						
MCT	LG'	LA'	LA'						
Azul de Metileno	P. at	P. at	P. at	31 28					
Mecânicas				IDp					
CBR com imersão 4 dias	30	38	22						
pd máximo (g/cm³)	1,72	1,69	1,85						
Umidade ótima (%)	19,5	19,3	16,0						
Expansão(%)	0,1	0,0	0,1	4,2 4,1					

Nota: P.at - pouco ativos; S-1 solo Glória, S-2 solo Aclimação, S-3 solo usina B, Ap - Alpinópolis, Br - São José da Barra e Tr - Traços.

Resultados dos CBR das Misturas

Para a determinação do CBR (Índice de Suporte Califórnia) e da expansão utilizou-se do método de ensaio NBR 7182 - Solo - Ensaio de Compactação CBR simultâneo da ABNT. A Tabela 3 apresenta o resumo dos principais resultados para as misturas estudadas (misturas com Brita 1 aqui denominadas “descontínuas” e misturas com o material integral da britagem (figura 4) aqui denominadas como “contínuas”). A expansão foi nula para os dois tipos de misturas.

Tabela 3. Resultados de CBR das misturas descontínuas e contínuas

Misturas Descontínuas – Brita 1											
Barra x Aclimação				Barra x Usina B				Barra x Glória			
Qt x S	CBR	pd	Hot	Qt x S	CBR	pd	Hot	Qt x S	CBR	pd	Hot
50 X 50	80	1,995	10,7	50 X 50	80	1,980	10,3	50 X 50	74	2,005	11,0
60 X 40	82	2,020	9,50	60 X 40	84	2,010	9,20	60 X 40	84	2,005	10,2
70 X 30	70	2,000	6,60	70 X 30	70	1,990	6,60	70 X 30	60	2,010	7,60

Misturas Contínuas – Material integral da britagem							
Barra x Aclimação				Barra x Glória			
Qt x S	CBR	pd	Hot	Qt x S	CBR	pd	Hot
60 X 40	84	2,060	9,50	60 X 40	82	2,052	10,40

Nota: Qt - Quatzitos, S - Solo, pd - Massa Específica Seca Máxima em g/cm³

Módulo de Resiliência (M_R)

Para a execução destes ensaios, foram empregadas misturas com os dois tipos de quartzito (brita 1 para as misturas descontínuas e o quartzito integral da britagem para as misturas contínuas). Na composição dessas misturas foram selecionados dois solos, através de sorteio, sendo eles o solo S1 – Glória e o solo S2 - Aclimação. O fluxograma apresentado na Figura 7 mostra esquema de execução das quatro primeiras misturas descontínuas. Apresenta-se na Figura 8 o fluxograma contendo os outros conjuntos de misturas com uso do quartzito integral da britagem

Figura 7. Fluxograma das misturas descontínuas e/ou material classificado como brita 1

Figura 8. Fluxograma das misturas contínuas e/ou material integral da britagem

As misturas foram divididas desta forma com o objetivo de avaliar a influência granulométrica e apresentar o modelo que melhor reproduza as propriedades mecânicas dos materiais em estudo.

Por meio dos resultados dos ensaios triaxiais cíclicos, procurou-se avaliar os modelos mais comuns e representativos para expressão do módulo de resiliência (M_R) em função do estado de tensão.

Para isso foram adotadas relações matemáticas de M_R em função da tensão confinante e do conjunto da tensão desvio e confinante, denominado modelo composto, conforme demonstrado nas equações 1 e 2.

$$M_R = K_1 \cdot \sigma_3^{K_2} \quad (1)$$

$$M_R = K_1 \cdot \sigma_3^{K_2} \cdot \sigma_d^{K_3} \quad (2)$$

onde:

M_R = módulo de resiliência, em (MPa);

σ_3 = tensão de confinamento, em (MPa);

σ_d = tensão desvio, em (MPa);

K_1 , K_2 e K_3 = parâmetros do material obtidos com o ensaio.

Adotou-se o valor do coeficiente de determinação (R^2) como critério para a medida de adequação de cada um deles na representação da variação do M_R com o estado de tensão.

Os resultados obtidos para as misturas descontínuas apresentou módulo de resiliência médio de 500 MPa; já as misturas contínuas apresentou valor médio de 650 MPa.

Tendo em vista a potencialidade de uso destes resíduos, apresenta-se uma proposição de sua utilização em estruturas de pavimentos, para duas seções-tipo, uma para baixo volume de tráfego ($N < 10^6$ repetições do eixo padrão) e uma para médio volume de tráfego, aqui considerada entre 10^6 e 5×10^6 repetições do eixo padrão de 80 kN. As seções-tipo propostas são: 5cm de Capa, 15cm de Base e 15cm de Sub-Base (primeira estrutura), para baixo volume de tráfego, e 7,5cm de Capa, 15cm de Base e 15cm de Sub-Base (segunda estrutura), para tráfego médio.

Para tal análise foi utilizado o Software Everstress 5.0, desenvolvido pelo *Departamento de Transportes do Estado de Washington (WSDOT)* – USA, com o intuito de obter as deformações na fibra inferior do revestimento (ϵ_t) e no topo do subleito (ϵ_v), para o emprego das equações de fadiga preconizadas pelo DER-SP, IP-DE-P00/001 de 2006, que prevêem a ruptura por repetição de carga produzida pelo tráfego. As equações de fadiga adotadas para as análises são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Número “N” em Função da Deformação Específica de Tração ε_t da Fibra Inferior da Camada de Concreto Asfáltico e da Deformação Específica de Compressão ε_v do Topo da Camada do Subleito

Equações		Autores	Ano	K	n
Capa	1	Pinto & Preussler – CAP 50-70	1980	$2,85 \times 10^{-7}$	3,69
Subleito	2	<i>Dormon & Metcalf</i>	1965	$6,069 \times 10^{-10}$	4,762

Em virtude das equações e dos parâmetros considerados para as estruturas (1 e 2) os resultados das análises mecanicista são apresentados na Tabelas 5.

Tabela 5. Resumo dos resultados obtidos em função dos dados adotados

Primeira Estrutura (5 - 15 - 15 cm)		Segunda Estrutura (7,5 - 15 - 15 cm)	
Equações de Fadiga		Equações de Fadiga	
N _{capa}	N _{subleito}	N _{capa}	N _{subleito}
2.41×10^6	2.17×10^7	3.82×10^6	4.78×10^7

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Como pode ser constatado na Tabela 2, os quartzitos apresentam baixa porcentagem de muscovita (material deletério), elevadas porcentagens de quartzo e sílica, resultados estes obtidos por meio das análises petrográfica e química, e perdas por abrasão relativamente baixas, aquém do máximo permitido pelo DNER (1998), que é 50%.

Na avaliação do ensaio de índice de desagregação após compactação Proctor os quartzitos (Ap e Br) apresentaram bom desempenho (IDp = 4%), abaixo do recomendado, que é um IDp ≤ 6%, segundo IPR1998.

Os resultados indicam que as misturas com 60 % de quartzito britado e 40 % de solo são as que apresentaram melhor desempenho, com CBR de 84 %; já as de pior desempenho são as com 70 % de agregado e 30 % de solo, apresentando CBR da ordem de 60%. Observou-se também que não há influência significativa da distribuição granulométrica do quartzito (integral ou brita 1) nas resistências das misturas e expansão nula. Você não apresenta resultados que permitam essa afirmação

As misturas 60 x 40 quando avaliadas através do CBR são aprovadas, pois apresentam CRB da ordem de 84% . Segundo o método de dimensionamento empírico do DNER, bases para vias com tráfego pesado ($N = 10^7$) devem apresentar $CBR \geq 80\%$ e expansão inferior a 0,5 %.

Os módulos de resiliência das misturas apresentam valores relativamente altos e seguem a mesma tendência verificada nos resultados dos ensaios de CBR, no que diz respeito à influência da granulometria. Observou-se também que os níveis de tensões desvio não têm influência significativa nos valores de módulo de resiliência e no tocante as estruturas, o número “N” obtido em função das equações de fadiga preconizadas pelo DER-DF foram satisfatórias e a segunda estrutura apresentou “N” de aproximadamente o dobro da primeira.

CONCLUSÕES

Em virtude dos resultados obtidos na fase experimental (classificação, caracterização e CBR) e análise mecanicista, conclui-se que os resíduos de quartzito têm potencial para utilização em bases e sub-bases de pavimentos, possibilitando uma eventual minimização do problema ambiental causado pela sua exploração.

Além disso, julga-se que seria interessante utilizar as misturas contínuas, pois elas apresentaram características ligeiramente superiores às das descontínuas sob o ponto de vista de aplicação em pavimentação. Isso se deve ao fato delas utilizarem o material integral da britagem, sem a necessidade de classificação e separação para possível enquadramento em curva granulométrica pré-estabelecida, o que torna o aproveitamento do resíduo de quartzito mais simples do ponto de vista operacional e, do ponto de vista ambiental, mais interessante, pois utiliza praticamente 100% do resíduo britado.

As misturas descontínuas não enquadram nas faixas granulométricas preconizadas pelo DNIT, mas o que levará a aceitação ou rejeição dessas misturas será a classe e o tráfego presente na rodovia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alecrim, A. V., e Fabbri, G. T. P. (2004). Aproveitamento de resíduos da mineração de quartzitos do Sudoeste de Minas Gerais em sub-bases e bases de pavimentos flexíveis. In: 1º Simpósio Brasileiro de Jovens Geotécnicos, 1. São Carlos, 2004. 23 e 24 de agosto de 2004. São Carlos-SP.

ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO: Departamento Nacional da Produção Mineral DNPM, Brasília, 1998-2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Ensaio de Compactação CBR simultâneo, NBR 7182. Rio de Janeiro, 1984.

Barros, C. T. (1978). Bases estabilizadas executadas com solos argilosos laterizados. 44p. Dissertação de (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1978.

Costa, J. B. (1950). Estudo e classificação das rochas por exame macroscópico. 4.ed. In: Fundação Calouste Gulbenkian. Portugal, Lisboa. P.161-184.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. Ensaio de compactação de solo – DER/SP M 13. São Paulo, 1971.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. Ensaio da Classificação MCT – DER/SP M 196-88. São Paulo, 1991.

Deschamps, E. et al. (2002). Controle ambiental na mineração de quartzito pedra São Tomé. Projeto minas ambiente. Belo Horizonte: Secrac.

Donache, R. T., e Townsend, F. C. Scalping and replacement effects on the compaction characteristics of earth-rock mixtures, soil specimen preparation for laboratory testing. ASTM, STP, 197, p. 248-277, 1975.

Fabbri, G. T. P. (1994). Caracterização da fração fina dos solos tropicais através da adsorção de azul de metileno. 197p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1994.

Fernandes, T. M. G. (2002). Caracterização petrográfica, química e tecnológica dos quartzitos do centro produtor de São Tomé das Letras no Sudoeste do Estado de Minas Gerais. 169p.

Ferreira, M. A. G. (1986). Considerações sobre misturas solo – agregado compostas por materiais tropicais para uso em pavimentação. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da USP. São Carlos.

Ferreira, M. A. G. (1986). Considerações Sobre Misturas Solo-Agregado Compostas por Materiais Tropicais para o Uso em Pavimentação. Dissertação de (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1986. Tese de (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2002.

Holtz, W. G., e Gibbs, H. J. Triaxial shear tests on pervios gravelly soils. In: Journal of the Soil Mechanics and Foudation Division, v. 82. n SM1, p 867/1-867/22, Jan, 1956.

Holtz, W. G., e Lowitz, C. A. Compaction characteristics of gravelly soils. ASTM, STP n 232, p 67-84. 1957.

Nogami, J. S.; Villibor, D. F. (1995). Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos. São Paulo. Editora Villibor. 213p.

Villibor, D. F.; Nogami, J. S. (1984). Critério para escolha de misturas descontínuas de solo laterítico – brita para bases de pavimentos. In: Reunião Anual de Pavimentação, 19, Rio de Janeiro, 1984, Anais. v. 1; p. 267-292.

Yoder, E. L. (1959). Principles of pavement desing. Lonh, honh Wiley e Sons, p. 283-298. 1959.