

JOB SHUJI NOGAMI

Prof. Dr., Escola Politécnica da USP

DOUGLAS FADUL VILLIBOR

*Engenheiro, Departamento de Estradas de Rodagem
do Estado de São Paulo (DER-SP)*

Prof. Dr., Escola de Engenharia de São Carlos da USP

Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos

São Paulo - Brasil

1995

FICHA TÉCNICA

Supervisão Geral:

engº Job Shuji Nogami
engº Douglas Fadul Villibor

Coordenação Editorial:

Editora Vilibor

Coordenação Gráfica:

Gregor Osipoff

Diagramação:

Sérgio Bichara

Digitação:

Tânia R. Soares

Desenhos:

Marcelo Tadeu Barsaglini

Revisão:

Maria Cláudia Flesh Fortes

Revisão Técnica:

engº Hugo Alves Pequeno
geól. Andréa Cristina Yida de Mattos

FICHA CATALOGRÁFICA

Nogami, Job Shuji

Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos / Job Shuji Nogami, Douglas Fadul Villibor. —
São Paulo : Vilibor, 1995.

p. 240

1. Pavimentação 2. Solos tropicais 3. Geotecnia - Estudos 4. Solo arenoso fino laterítico 5. MCT - Metodologia 6. Erosão 7. Mecânica dos solos I. Villibor, Douglas Fadul II. Título.

CDU 625.8
624.131.29
624.13
624.131.2
624.13
631.459
624.131

Índice para Catálogo Sistemático

1. Erosão : 631.459
2. Geotecnia - Estudos : 624.13
3. MCT - Metodologia : 624.13
4. Mecânica dos solos : 624.131
5. Pavimentação : 625.8
6. Solo arenoso fino laterítico : 624.131.2
7. Solos tropicais : 624.131.29

Todos Direitos Reservados sob a legislação em vigor. É proibido reproduzir este livro, no todo ou em parte, ou transmitir o seu texto sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, sendo especialmente interdita a sua reprodução em fotocópias (xerox), por gravação ou por qualquer outro sistema, em antologia, livros didáticos etc., a não ser após autorização específica e por escrito *dos Autores*. Esta autorização só é desnecessária em caso de citação nos meios técnicos.

IMPRESSO NO BRASIL

Tiragem de 1 000 exemplares



Editora Vilibor

Rua Salvador Garcia, 39 - 3º Andar - Butantã - São Paulo - SP - Brasil Tele-Fax. (011) 815 7877

Índice Analítico

PREFÁCIO	I
ÍNDICE ANALÍTICO	III
ABREVIATURAS E SIGLAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XV

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1-CONTEÚDO.....	1
1.2-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	2
1.3-ABREVIATURAS E SIGLAS.....	2
1.4-ÍNDICE REMISSIVO.....	2
1.5-FIGURAS	2
1.6-CONCEITUAÇÃO DE SOLOS E CONDIÇÕES TROPICAIS	2
1.7-CONCEITUAÇÃO DE PAVIMENTOS DE BAIXO CUSTO	2
1.8-DESENVOLVIMENTO DO USO DE SOLOS TROPICAIS EM PAVIMENTAÇÃO.....	3
1.9-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	4

CAPÍTULO 2 - PECULIARIDADES DOS SOLOS TROPICAIS

2.1-INTRODUÇÃO	5
2.2-TERMINOLOGIA BÁSICA	5
2.3-PECULIARIDADES DE OCORRÊNCIA DOS SOLOS TROPICAIS	7
2.3.1-Conceito de Ocorrência de Solos	7
2.3.2-Estrutura das Ocorrências	8
2.3.3-Peculiaridades do Horizonte e Solo Superficiais	8
2.3.3.1-Características Gerais	8

2.3.3.2-Peculiaridades dos Solos Superficiais Lateríticos	8
2.3.3.3-Linha de Seixos	9
2.3.4-Peculiaridades do Horizonte Saprólítico	11
2.3.4.1-Peculiaridades Gerais	11
2.3.4.2-Principais Tipos no Estado de São Paulo	12
2.4-PECULIARIDADES DE CONSTITUIÇÃO DOS SOLOS TROPICAIS	12
2.4.1-Importância Geotécnica da Constituição dos Grãos dos Solos	12
2.4.2-Constituição e Forma dos Grãos das Frações Areia e Pedregulho	12
2.4.2.1-Identificação dos Constituintes	12
2.4.2.2-Solos Superficiais Lateríticos	13
2.4.2.3-Solos Saprólíticos	15
2.4.3-Constituição e Forma da Fração Silte	16
2.4.3.1-Identificação dos Constituintes da Fração Areia	16
2.4.3.2-Solos Superficiais Lateríticos	16
2.4.3.3-Solos Saprólíticos	16
2.4.4-Constituição e Forma da Fração Argila	18
2.4.4.1-Identificação dos Constituintes da Fração Argila	18
2.4.4.2-Classificação Geral dos Principais Constituintes	18
2.4.4.3-Os Argilo-Minerais	18
2.4.4.4-Óxidos e Hidróxidos de Ferro e de Alumínio	19
2.4.4.5-Substâncias Orgânicas	20
2.4.4.6-Solos Superficiais Lateríticos	20
2.4.4.7-Solos Saprólíticos	21
2.5-PECULIARIDADES DE FÁBRICA DOS SOLOS TROPICAIS	21
2.5.1-Conceituação de Fábrica e de Estrutura	21
2.5.2-Tipos de Macrofábrica	21
2.5.3-Origem da Macrofábrica	24
2.5.4-Macrofábrica dos Solos Lateríticos	24
2.5.5-Macrofábrica dos Solos Saprólíticos	26
2.5.6-Microfábrica dos Solos Lateríticos	26
2.5.7-Microfábrica dos Solos Saprólíticos	27
2.6-PECULIARIDADES DAS PROPRIEDADES ÍNDICES DOS SOLOS TROPICAIS	27
2.6.1-Introdução	27
2.6.2-Limite de Liquidez e Índice de Plasticidade	27
2.6.3-Porcentagem que Passa na Peneira de 0,075 mm	28
2.6.4-Dispersão dos Resultados dos Ensaios Tradicionais	30
2.6.5-Índice de Grupo	31
2.6.6-Classificações Geotécnicas Tradicionais	31
2.6.7-Equivalente Areia	31

2.6.8-Propostas de Soluções para Solos Tropicais	32
2.6.8.1-Generalidades	32
2.6.8.2-Equivalente de Umidade de Campo	33
2.6.8.3-Expansibilidade	33
2.6.8.4-Atividade Coloidal	33
2.6.8.5-Adsorção do Azul de Metileno	33
2.6.8.6-Metodologia MCT	33
2.6.9-Justificativas Sobre Diferenças de Significado dos Índices Classificatórios Tradicionais	34
2.7-PECULIARIDADES AMBIENTAIS DOS SOLOS TROPICAIS	34
2.7.1-Generalidades	34
2.7.2-O Clima Tropical Úmido	35
2.7.3-Equilíbrio Hídrico nas Regiões Tropicais	35
2.7.3.1-Evapotranspiração e Índice de Umidade	35
2.7.3.2-Diagramas Ombrotérmicos	36
2.7.4-Congelamento, Degelo e Gradiente Térmico no Subsolo	36
2.7.5-Posição do Nível d' Água	38
2.7.6-Atividade Biológica	38
2.8-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

CAPÍTULO 3 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS

3.1-CONSIDERAÇÕES GERAIS	42
3.2-COLETA PRELIMINAR DE DADOS	42
3.2.1-Fontes de Informações	42
3.2.2-Dados Geológicos	43
3.2.2.1-Generalidades	43
3.2.2.2-Intemperismo das Rochas	43
3.2.3-Dados Pedológicos	46
3.2.3.1-Disponibilidade dos Mapas Pedológicos	46
3.2.3.2-Interpretação e Utilização de Dados Pedológicos	47
3.2.4-Dados Fitoecológicos, Climáticos, Geomorfológicos e de Capacidade de Uso de Recursos Renováveis	50
3.2.5-Dados de Aerofotos e de Sensoriamento Remoto	50
3.2.6-Dados Geotécnicos	51
3.2.6.1-Relatórios Geotécnicos	51
3.2.6.2-Mapas Geotécnicos	51
3.3-RECONHECIMENTO DE CAMPO	52
3.3.1-Utilização	52
3.3.2-Identificação Descritiva	53
3.3.3-Identificação Genética	53

3.3.4-Identificação Geotécnica	54
3.3.4.1-Dificuldades nas Regiões Tropicais	54
3.3.4.2-Propostas para Solos Tropicais	54
3.4-RECONHECIMENTO E AMOSTRAGEM SISTEMÁTICOS	56
3.4.1-Programação Geral	56
3.4.2-Poços, Trincheiras e Outras Escavações	58
3.4.3-Sondagens a Trado-Cavadeira (ou Concha)	58
3.4.4-Procedimentos Diversos	59
3.4.4.1-Generalidades	59
3.4.4.2-Métodos Geofísicos de Eletrorresistividade e Sísmicos	59
3.4.4.3-Trado Espiral Contínuo Motorizado	59
3.4.4.4-Sondagem a Percussão e Lavagem	60
3.4.4.5-Sondagem com Uso de Penetrômetros	60
3.5-ENSAIOS "IN SITU"	60
3.6-ENSAIOS DA METODOLOGIA MCT	60
3.6.1-Histórico	60
3.6.2-Ensaio de Compactação da Metodologia MCT	61
3.6.2.1-Principais Características	61
3.6.2.2-Compactação Segundo Proctor (Mini-Proctor)	64
3.6.2.3-Compactação Segundo Mini-MCV	64
a)-Considerações Gerais	64
b)-Preparo da Amostra	64
c)-Compactação	64
d)-Curvas de Compactação	65
e)-Curvas Mini-MCV ou de Deformabilidade, Coeficiente c^*	65
f)-Curva Mini-MCV x Umidade (ou S-MCV x umidade)	65
3.6.2.4-Peculiaridades de Compactação dos Solos Tropicais	65
a)-Generalidades	65
b)-Coeficiente c^*	68
c)-Coeficiente d^*	69
d)-Formas das Curvas de Compactação	69
e)-Grau de Saturação	69
f)-Efeito da Secagem e Reúso	70
g)-Umidade Ótima e Massa Específica Aparente Máxima	70
3.6.3-Capacidade de Suporte Mini-CBR	70
3.6.3.1-Generalidades	70
3.6.3.2-Ensaio CBR	70
3.6.3.3-Ensaio Mini-CBR	71
3.6.3.4-Peculiaridades dos Solos Lateríticos	72
3.6.3.5-Peculiaridades dos Solos Saprolíticos	72

3.6.3.6-Determinação Expedida do Mini-CBR	73
a)-Generalidades	73
b)-Penetração Dinâmica de Pistões de Penetração	73
c)-Penetrômetro Sul-Africano (DCP)	74
d)-Penetrômetro Cônico Estático	75
e)-Mini-CBR de Campo (ou "in situ")	76
3.6.4-Expansão e Contração	76
3.6.4.1-Generalidades	76
3.6.4.2-Determinação da Expansão	76
3.6.4.3-Peculiaridades da Expansão dos Solos Lateríticos e Saprolíticos	76
3.6.4.4-Determinação da Contração	77
3.6.4.5-Peculiaridades da Contração dos Solos Lateríticos e Saprolíticos	77
3.6.5-Infiltrabilidade	77
3.6.5.1-Generalidades	77
3.6.5.2-Execução do Ensaio	78
3.6.5.3-Peculiaridades da Infiltrabilidade dos Solos Lateríticos e Saprolíticos	80
3.6.6-Permeabilidade	80
3.6.6.1-Generalidades	80
3.6.6.2-Execução do Ensaio	80
3.6.6.3-Peculiaridades da Permeabilidade dos Solos Lateríticos e Saprolíticos	81
3.6.7-Perda de Massa por Imersão	81
3.6.7.1-Generalidades	81
3.6.7.2-Execução do Ensaio	82
3.6.7.3-Peculiaridades da Perda de Massa por Imersão dos Solos Lateríticos e Saprolíticos	82
3.6.8-Penetração da Imprimadura Betuminosa	83
3.6.8.1-Generalidades	83
3.6.8.2-Execução do Ensaio	83
3.6.8.3-Peculiaridades da Penetração da Imprimadura Betuminosa dos Solos Lateríticos e Saprolíticos	83
3.6.9-Controle de Compactação Mini-MCV e Mini-MCV-Hilf	84
3.6.9.1-Generalidades	84
3.6.9.2-Procedimento Mini-MCV de Controle da Umidade	84
3.6.9.3-Procedimento Mini-MCV-Hilf de Controle	84
3.6.9.4-Utilização em Solos Tropicais	86
3.6.10-Ensaio Diversos da Metodologia MCT e Ensaio Associados	86
3.7-CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA MCT	86
3.7.1-Generalidades	86
3.7.2-Ensaio do Procedimento Miniatura	87
3.7.3-Ensaio do Procedimento Subminiatura	88
3.7.4-Determinação do Grupo MCT	88
3.7.5-Tabela Interpretativa e Propriedades	88

3.7.6-Recomendações Quando à Utilização Rodoviária	89
3.7.7-Significado dos Coeficientes e Índice Utilizados	89
3.7.8-Peculiaridades Gerais de Ocorrência e Propriedades das Classes e dos Grupos da Classificação MCT	89
3.7.8.1-Generalidades	89
3.7.8.2-Classe L - Comportamento Laterítico	89
3.7.8.3-Classe N - Comportamento Não-Laterítico	91
3.7.8.4-Grupos da Classificação MCT	92
3.7.9-Utilização no Agrupamento de Amostras	94
3.8-ENSAIOS MINI-CBR E SUPLEMENTARES	94
3.8.1-Generalidades	94
3.8.2-Elenco de Ensaios do Procedimento	97
3.9-ENSAIOS DE RESILIÊNCIA	97
3.9.1-Generalidades	97
3.9.2-Conceituação do Módulo de Resiliência	97
3.9.3-Aparelhagem	98
3.9.4-Peculiaridades dos Solos Tropicais	99
3.9.4.1-Generalidades	99
3.9.4.2-Solos Lateríticos	99
3.9.4.3-Solos Saprolíticos	99
3.9.4.4-Relacionamento com o CBR e Mini-CBR	99
3.10-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101

CAPÍTULO 4 - GENERALIDADES SOBRE OS SOLOS-AGREGADOS TROPICAIS

4.1-INTRODUÇÃO	104
4.2-ESCOLHA DE SOLOS-AGREGADOS PARA BASES DE PAVIMENTOS	105
4.2.1-Considerações Preliminares	105
4.2.2-Limitações dos Critérios Tradicionais	105
4.2.2.1-Consideração da Granulometria	105
4.2.2.2-Consideração do Limite de Liquidez e do Índice de Plasticidade	107
4.2.2.3-Consideração da Resistência dos Grãos	109
4.2.2.4-Consideração da Presença de Areia de Mica	109
4.2.2.5-Consideração da Capacidade de Suporte (ou Resistência) e Expansão	113
4.2.2.6-Ensaio e Propriedades Diversos	113
4.3-UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA MCT NA ESCOLHA E DOSAGEM DOS SOLOS-AGREGADOS ..	114
4.3.1-Considerações Gerais	114
4.3.2-Dosagem de Misturas de Solos-Agregados Finas e Lateríticas	115
4.3.3-Dosagem de Solo-Brita de Graduação Descontínua	115
4.3.4-Dosagem de Solos-Agregados com Significativa Porcentagem de Fração Retida na Peneira de 2,00 mm	117

4.3.4.1-Considerações Preliminares	117
4.3.4.2-Procedimento Simplificado	118
4.3.4.3-Utilização da Metodologia CBR Tradicional	119
4.3.4.4-Utilização da Metodologia MCV e Associados	119
4.4-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120

CAPÍTULO 5 - BASES DE SOLO ARENOSO FINO LATERÍTICO

5.1-HISTÓRICO	122
5.2-ÁREAS DE OCORRÊNCIA DE SOLO ARENOSO FINO LATERÍTICO	123
5.2.1-Estado de São Paulo	123
5.2.2-Outros Estados	125
5.3-IDENTIFICAÇÃO E ESCOLHA DOS SAFL	125
5.3.1-Critério Genético(Geológico,Pedológico)	125
5.3.2-Critério da Metodologia MCT	125
5.3.2.1-Generalidades	125
5.3.2.2-Critério da Classificação MCT e Propriedades Mecânicas e Hidráulicas	126
5.3.3-Escolha dos Tipos	126
5.4-APLICABILIDADE DO SAFL EM BASES DE PAVIMENTOS	127
5.4.1-Generalidades	127
5.4.2-Condições Climáticas	127
5.4.3-Tráfego	128
5.4.4-Projeto Geométrico e Drenagem	128
5.4.5-Custos das Bases de SAFL	128
5.5-UTILIZAÇÃO EM PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA	130
5.5.1-Dimensionamento	130
5.5.2-Técnica Construtiva e Tipo do SAFL	131
5.5.3-Construção da Base	132
5.5.3.1-Principais Operações	132
5.5.3.2-Distribuição, Misturação, Umedecimento ou Secagem	132
5.5.3.3-Compactação	132
5.5.3.4-Secagem ou “Cura” da Base	135
5.5.3.5-Imprimadura (ou Imprimação)	137
5.5.3.6-Camada de Proteção (ou Anticrivamente)	137
5.5.4-Controle Tecnológico	137
5.5.5-Controle Geométrico	138
5.5.6-Defeitos Associados a Falhas ou Inadequações do Projeto e/ou Técnica Construtiva	138
5.5.6.1-Generalidades	138
5.5.6.2-Recalques Longitudinais	138

5.5.6.3-Ruptura da Base nas Bordas do Pavimento	141
5.5.6.4-Ondulações no Revestimento e Lamelas	141
5.5.6.5-Panelas	141
5.5.6.6-Trincas de Reflexão	141
5.5.6.7-Exsudação de Material Betuminoso no Revestimento	142
5.5.6.8-Erosões na Borda do Pavimento	142
5.5.7-Conservação	143
5.5.7.1-Generalidades	143
5.5.7.2-Custos de Conservação dos Pavimentos com Base da SAFL	143
5.5.7.3-Conceituação de Conservação e Recuperação	144
5.5.7.4-Inter-Relacionamento dos Defeitos Construtivos do Pavimento e sua Conservação ...	144
a)Considerações Preliminares	144
b)Defeitos no Revestimento	146
c)Interface Base-Revestimento	146
d)Falta de Suporte das Camadas do Pavimento	147
e)Trincas de Reflexão e Erosões da Borda	147
5.5.7.5-Utilização da Medida do Nível de Desempenho	147
a)Generalidades	147
b)Influência dos Defeitos na Medida do QI	147
5.5.7.6-Procedimentos de Conservação	148
a)Considerações Gerais	148
b)Principais Procedimentos de Conservação	149
5.5.7.7-Sugestões de Recuperação	150
5.6-UTILIZAÇÃO EM PAVIMENTAÇÃO URBANA	150
5.6.1-Dimensionamento do Pavimento	150
5.6.2-Técnica Construtiva e Defeitos Associados	152
5.6.2.1-Generalidades	152
5.6.2.2-Deformação das Bordas	152
5.6.2.3-Exsudações	154
5.6.2.4-Ondulações Provocadas pelo Deslocamento do Revestimento e da Camada Superficial da Base	154
5.6.3-Custos	155
5.7-APLICAÇÕES EM AERÓDROMOS	155
5.8-APLICAÇÕES DIVERSAS DAS BASES DE SAFL	155
5.9-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	155
 CAPÍTULO 6 - BASES DE SOLO LATERÍTICO-BRITA DESCONTÍNUA	
6.1-INTRODUÇÃO	157
6.2-BASES DE SOLO LATERÍTICO-BRITA DESCONTÍNUA, COM USO DE SOLO ARENOSO FINO LATERÍTICO (SLBD-A)	158

6.2.1-Histórico	158
6.2.2-Dosagem e Especificação	158
6.2.3-Área de Utilização	160
6.2.4-Dimensionamento	160
6.2.5-Custos	160
6.2.6-Técnica Construtiva	161
6.2.6.1-Considerações Iniciais	161
6.2.6.2-Mistura, Distribuição e Umedecimento	161
6.2.6.3-Compactação e Acabamento	162
6.2.6.4-Imprimadura e Proteção do Serviço	163
6.2.7-Controle Tecnológico	164
6.2.7.1-Brita	164
6.2.7.2-Solo	164
6.2.7.3-Mistura Solo-Brita	164
6.2.7.4-Camada Acabada	164
6.3-BASES DE SOLO BRITA DESCONTÍNUA COM USO DE ARGILA LATERÍTICA (SLBD-G)	164
6.3.1-Generalidades	164
6.3.2-Princípios Básicos e Problemas Tecnológicos	165
6.3.3-Especificação, Técnica Construtiva e Aspectos Econômicos	166
6.4-BASES DE ARGILA LATERÍTICA	166
6.4.1-Generalidades	166
6.4.2-Principais Soluções Experimentadas	167
6.5-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	168

CAPÍTULO 7 - EROÇÃO NA FAIXA MARGINAL

7.1-INTRODUÇÃO	169
7.2-FENÔMENO DA EROÇÃO HÍDRICA	170
7.2.1-Generalidades	170
7.2.2-Erodibilidade	170
a.1-Granulometria e Constituição	170
a.2-Estrutura e Macrofabrica	171
a.3-Permeabilidade e Infiltrabilidade	171
a.4-Coesão	172
7.2.3-Erosividade	172
7.2.4-Geometria da Superfície	174
7.2.5-Cobertura Vegetal	174
7.3-EROSÃO NAS BORDAS DO PAVIMENTO	174

7.3.1-Generalidades	174
7.3.2-Utilização da Classificação MCT na Caracterização dos Solos da Plataforma	174
7.3.2.1-Considerações Preliminares	174
7.3.2.2-Determinação do Grupo MCT	176
7.3.3-Dispositivos de Drenagem na Borda dos Pavimentos	176
7.3.4-Recomendações Construtivas	178
7.4-EROSÃO DE TALUDES DE CORTES	179
7.4.1-Considerações Preliminares	179
7.4.2-Fenomenologia da Erosão nos Cortes	179
7.4.3-Ensaio da Metodologia MCT	180
7.4.4-Cobertura Vegetal e Bermas	181
7.4.5-Tipos de Formas Erosivas	182
7.5-EROSÃO DAS SAIAS DE ATERROS	183
7.5.1-Generalidades	183
7.5.2-Ensaio da Metodologia MCT	184
7.5.3-Cobertura Vegetal, Bermas e Outras Providências	184
7.6-EROSÃO DAS ÁREAS MARGINAIS E VOÇOROCAS	184
7.6.1-Generalidades	184
7.6.2-Equação Universal	185
7.6.3-Voçorocas	186
7.6.3.1-Conceituação	186
7.6.3.2-Tipos	186
a)Voçorocas Arenosas	186
b)Voçorocas Siltosas	186
c)Voçorocas Argilosas	186
7.6.3.3-Controle	186
7.7-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	187
BIBLIOGRAFIA GERAL	189
ÍNDICE REMISSIVO	197