

AGRADECIMENTOS

Ao meu professor e orientador, Professor Doutor Silvino Dias Capitão, pela sua grande disponibilidade, competências e conhecimentos transmitidos, pelos esclarecimentos de dúvidas, pela grandiosa ajuda e orientação.

À Assistente Social do ISEC, Dra. Sofia Braga, pelos conselhos, incentivos, e por todos os apoios que me foram concedidos.

À Assistente Social do ISEC no ano de 2009, Dra. Patrícia Almeida, à Dona Libânia, à Dra. Adriana Pinto, e aos colaboradores dos serviços académicos pelo tratamento que recebi quando cheguei ao ISEC.

A todos aqueles que foram / são professores, funcionários, colegas e amigos do Departamento de Engenharia Civil, pela vossa contribuição para que pudesse chegar a este patamar.

Aos colaboradores do Gabinete de Gestão de Sistema Informático do ISEC pelos apoios dados de carácter informático.

Aos meus familiares, mesmo estando todos em São Tomé, e aos amigos que têm torcido para o meu sucesso.

RESUMO

As infraestruturas rodoviárias desempenham um papel fundamental no desenvolvimento socioeconómico de um país. Constituem um dos principais meios através dos quais se desenvolve o fluxo das pessoas e mercadorias, sendo vital ter aquelas infraestruturas em bom estado de conservação.

Uma parcela significativa das infraestruturas rodoviárias é constituída por estradas de baixo volumes de tráfego (EBVT). Os seus pavimentos são formados por camadas relativamente delgadas, uma vez que o número de pesados que os solicitam é relativamente baixo (por vezes da ordem dos 1×10^6 eixos-padrão – EP). Em alguns países tropicais, como é o caso de São Tomé e Príncipe, praticamente todas as redes rodoviárias são constituídas por EBVT. Nestes casos, juntam-se dificuldades de investimento na construção e conservação das tais redes, e condições climáticas específicas, as quais contribuem fortemente para a degradação das estradas.

Além disso, os próprios materiais disponíveis não têm geralmente características adequadas para serem utilizados nos pavimentos rodoviários devido à sua grande suscetibilidade à água, e baixa resistência, entre outros aspetos. Os fatores mencionados levam a que os pavimentos rodoviários naquelas regiões acabem por entrar em ruína de forma prematura.

Embora estejam disponíveis nos países europeus, por exemplo, técnicas construtivas e respetivas normas, procedimentos de conceção e dimensionamento, estes normalmente não servem para serem aplicados nas zonas tropicais, onde o clima e as características dos materiais são bastante diferentes.

Este trabalho é feito com o intuito de reunir e analisar informações sobre as técnicas de construção e conservação de pavimentos, as estruturas de pavimentos que têm sido utilizadas em alguns países de clima tropical, de modo a servir de base à elaboração de um documento que reúna as técnicas e os métodos mais comuns, suscetíveis de serem utilizados na conceção e conservação de pavimentos da rede rodoviária de São Tomé e Príncipe.

As propostas de estruturas de pavimentos que são apresentadas consideram, por um lado, os materiais e as técnicas disponíveis no território e, por outro lado, as condições particulares de serviço em São Tomé e Príncipe. Além disso, uma vez que a qualidade dos materiais afeta fortemente a duração do tempo de vida útil dos pavimentos, é dada alguma ênfase aos tipos de materiais e às suas propriedades, assim como ao tratamento de materiais naturais com vista ao seu emprego nos pavimentos.

Uma vez que o clima de São Tomé e Príncipe se caracteriza por uma elevada precipitação anual, são também abordadas algumas questões sobre a drenagem, porquanto se verifica que as

deficientes condições de drenagem constituem uma das principais causas para o colapso das estruturas dos pavimentos.

Palavras-Chave

Conceção e manutenção de pavimentos, estradas de baixo tráfego, pavimentamos selados, pavimento não selado, solo tratado.

ABSTRACT

Road infrastructure plays a key-role in the socio-economic development of a country. These are one of the principal means by which the flows of people and goods are developed. Therefore, it is vital to ensure that those infrastructures are in good condition.

A great part of road infrastructures is composed by low volume traffic roads (LVTR). The structure of these roads is formed by thin layers, since the number of heavy vehicles loading them is relatively low (sometimes about 1×10^6 equivalent standard axle loads – EP). In some tropical countries, such as Sao Tome and Principe for example, almost all the road infrastructure is formed by LVTR. In these situations, there are also difficulties related with investment in construction and maintenance of those road networks, as well as specific climatic conditions, which strongly contribute to the degradation of roads.

Besides that, the available materials do not have the adequate characteristics to be used in road pavements due to their great sensitivity to water and low strength, amongst other aspects. The reasons mentioned above contribute to the premature ruin of those road pavements.

Although the standards and road construction techniques are available in the European countries, for example, they are not applicable in tropical countries where the climatic and the characteristics of materials are quite different.

This document is made with the aim of gather and analyse information about the construction and maintenance techniques of pavements and the pavement structures that have been used in some countries with tropical climate, with the aim of supporting the development of a document that gather the techniques and the most common methods, which could be also applied in design, construction and maintenance of the road network of Sao Tome and Principe.

The proposals for pavement structures presented in the document consider, on the one hand, the materials and techniques available in the territory and, on the other hand, the particular conditions of service in Sao Tome and Principe. Moreover, since the quality of materials strongly influence the pavements lifespan, some emphasis is given to materials and their properties, as well as to the treatment of natural materials with the aim of using them in pavements.

Since the climate of Sao Tome and Principe is characterized by high annual precipitation, some drainage issues are also addressed because poor drainage conditions are found to be one of the main causes for the collapse of pavement structures.

Key-Words

Design and maintenance of pavement, low traffic roads, stabilized materials, sealed pavements, unsealed pavement.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
ÍNDICE GERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABELAS	xvii
SIMBOLOGIAS E ABREVIATURAS	xxi
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos e Metodologia de Trabalho.....	2
1.3 Organização do Trabalho	2
2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS PAVIMENTOS DE EBVT	5
2.1 Considerações Iniciais.....	5
2.2 Classificação das Estradas.....	6

2.3	Padrões Geométricos	7
2.4	Fatores Ambientais e Técnico-Económicos	7
2.5	Interferência com o Ambiente e a Sustentabilidade dos Projetos	8
2.6	Clima	13
2.7	Materiais	15
2.7.1	Considerações gerais	15
2.7.2	Camada de sub-base	16
2.7.3	Camada da base (Cook et al, 2001).....	18
2.7.4	Seleção e uso dos materiais não padronizados.....	18
2.7.5	Tratamento dos Materiais - Seleção do Método (Cook et al, 2001).....	22
2.8	Drenagem.....	27
2.8.1	Presença da humidade	28
2.8.2	Desvio de água dos pavimentos	28
2.8.3	Controlo das humidades durante a construção do pavimento (Austroads, 2003)	29
2.9	Considerações finais	30

3 CONCEÇÃO DE PAVIMENTOS DE EBVT E ESCOLHA DE ESTRUTURAS APLICÁVEIS ÀS CONDIÇÕES DE S. TOMÉ E PRÍNCIPE.....33

3.1	Considerações Iniciais	33
3.2	Condicionantes Climáticas de São Tomé e Príncipe	38
3.3	Tráfego.....	39
3.3.1	MACOPAV (JAE, 1995)	39
3.3.2	Etapas de quantificação do tráfego.....	41
3.4	Estruturas de Pavimentos Propostas por Diferentes Manuais Desenvolvidos para Regiões Tropicais.....	49
3.4.1	Considerações iniciais	49
3.4.2	TRL/SADC (Gourley et al, 1999)	49
3.4.3	SATCC-1998 (SATCC, 1998)	51
3.4.4	Manual da Etiópia (ERA, 2011).....	57
3.4.5	Manual do Chile (Guillermo et al, 2002)	60
3.4.6	Manual de Moçambique (ANE, 2014)	66
3.5	Comparação das Estruturas dos Diversos Manuais	68
3.6	Adequação dos Métodos às Condições Locais.....	76
3.7	Seleção das Estruturas Mais Adequadas para as Condições Existentes em São Tomé.	76
3.8	Método empírico-mecanicista Sul-africano.....	90
3.8.1	Caracterização dos materiais	91
3.8.2	Análise estrutural.....	93
3.8.3	Previsão da vida útil do pavimento	95

3.8.4	Comparação dos valores obtidos pelo método empírico-mecanicista com os valores das soluções dos manuais selecionados	102
3.8.5	Soluções propostas pelo SAMDM para os níveis de tráfego considerados no estudo.....	108
3.9	Considerações Finais.....	112

4 CONSERVAÇÃO DOS PAVIMENTOS E ORGÃOS DE DRENAGEM

115

4.1	Enquadramento Geral.....	115
4.2	Avaliação dos Pavimentos	116
4.2.1	Avaliação Funcional (Mota, 2009)	117
4.2.2	Avaliação Estrutural (Mota, 2009)	118
4.3	Defeitos ou anomalias mais frequentes – Pavimentos de revestimento superficial ligado	120
4.4	Defeitos ou anomalias mais frequentes – Pavimentos de revestimento superficial não ligado	124
4.4.1	Secção transversal imprópria	124
4.4.2	Drenagem inadequada.....	125
4.4.3	Ondulações (Corrugações).....	125
4.4.4	Excesso de Poeira	127
4.4.5	Covas	127
4.4.6	Rodeiras	129
4.4.7	Perda de Agregados.....	129
4.5	Manutenção e Reabilitação	129
4.5.1	Tipos de Manutenção	130
4.5.2	Atividades Características e Consequências da Ausência da Manutenção	131
4.5.3	Aspectos Sobre a Deterioração dos Pavimentos.....	133
4.5.4	O Desafio da Tarefa da Manutenção	134
4.6	Reparações dos defeitos ou anomalias – Revestimento superficial ligado	135
4.7	Reparação dos defeitos ou anomalias – Revestimento superficial não ligado (Fattori, 2007)	141
4.7.1	Secção Transversal Imprópria.....	141
4.7.2	Ondulações	141
4.7.3	Excesso de Poeira.....	141
4.7.4	Covas.....	142
4.7.5	Rodeiras.....	142
4.7.6	Perda de Agregados.....	142
4.8	Considerações Finais.....	143

5	CONCLUSÕES GERAIS E TRABALHOS FUTUROS.....	145
5.1	Síntese do trabalho e conclusões	145
5.2	Prosseguimento de Trabalhos Futuros.....	147
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	149
	ANEXO I. Avaliação do Impacte Ambiental	153
	Anexo I.1 Relatório de Declaração de Impacte Ambiental	154
	ANEXO II. Informação Climática	155
	Anexo II. 1 As regiões de Clima Equatorial (Slideshare)	156
	Anexo II.2 As regiões de Clima Tropical (Slideshare).....	157
	ANEXO III. Materiais (não padronizados)	159
	Anexo III.1 Material de elevada plasticidade	160
	Anexo III.2 Materiais mal graduados	161
	Anexo III.3 Materiais de formatos inadequados.....	162
	Anexo III.4 Materiais de fraca resistência	163
	Anexo III.5 Revisão dos materiais de fraca durabilidade	164
	Anexo III.6 Exemplos de utilização de materiais não padronizados em pavimentos selados de baixo volume de tráfego.....	165
	Anexo III.7 Tipos e abreviaturas dos materiais	167
	Anexo III.8 Preparação das fundações	168
	Anexo III.9 Medidas para utilização do cimento e cal no melhoramento das características dos materiais	169
	Anexo III.9.1 Uso do cimento nos pavimentos rodoviários (Austroads, 2014)	170
	ANEXO IV. Tipos de revestimentos superficiais betuminosos (ANE, 2014)	173
	Anexo IV.1 Revestimento Superficial	173

Anexo IV.2 Cape Seal.....	174
Anexo IV.3 Otta seal.....	174
Anexo IV.4 Mistura betuminosa à frio	174
Anexo IV.5 Lama asfáltica (Slurry seal).....	174
Anexo IV.6 <i>Sand Seal</i>	174
Anexo IV.7 Vida útil dos revestimentos	175
ANEXO V. Tráfego, Fatores a considerar	176
ANEXO VI. Tipologia de estruturas previstas no catálogo de SATCC .	177
ANEXO VII. Método do Penetrómetro Dinâmico (Jorge, 2014)	178
Anexo VII.1. Número DCP (DN)	178
Anexo VII.2 Número estrutural DCP.....	179
Anexo VII.3 Procedimento de Projeto pelo método do DCP (ANE, 2014)	179
ANEXO VIII. SAMDM, algumas considerações	186

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Manutenção periódica (esquerda); Regravilhação (direita) (SATCC, 2003).....	10
Figura 2.2 Levantamento de poeiras em estradas não pavimentadas (esquerda); Estradas de superfície áspera (direita) (SATCC, 2003).....	10
Figura 2.3 Quantidade substancial de matérias extraídas anualmente (esquerda); Empoçamento e má drenagem (direita) (SATCC, 2003)	13
Figura 2.4 Layout esquemático das valas de desvio e valetas laterais de água (ANE, 2014) ..	29
Figura 3.1- Rede Viária de São Tomé – zona norte (fonte: INAE).....	34
Figura 3.2 Rede Viária de São Tomé – zona central (fonte: INAE)	35
Figura 3.3 Rede Viária de São Tomé – zona sul (fonte: INAE).....	36
Figura 3.4 Consequências do mau estado de conservação das vias em STP.....	37
Figura 3.5 Temperatura e precipitação total média mensal em São Tomé (Climate-Data, 2013)	38
Figura 3.6 Procedimento para determinar a ação do tráfego de projeto (MTPW, 2013)	41
Figura 3.7 Vida útil estrutural do pavimento (MTPW, 2013).....	42
Figura 3.8 Desenvolvimento do tráfego de uma estrada cujo pavimento é melhorado (Jorge, 2014).....	45
Figura 3.9 Zonas de contagens, São Tomé (adaptado INAE)	48
Figura 3.10 Estrutura do processo de análise estrutural e configuração do eixo-padrão (Guillermo et al, 2002)	61
Figura 3.11 Esquema de apoio à escolha das classes de fundação.....	69
Figura 3.12 Estruturas de pavimentos para classe de fundação S2 definida	70
Figura 3.13 Estruturas de pavimentos para classe de fundação S2 definida (continuação)	71
Figura 3.14 Estruturas de pavimentos para classe de fundação S3 definida	72
Figura 3.15 Estruturas de pavimentos para classe de fundação S3 definida (continuação)	73
Figura 3.16 Estruturas de pavimentos para classe de fundação S4 definida	74
Figura 3.17 Estruturas de pavimentos para classe de fundação S4 definida (continuação)	75
Figura 3.18 Países cujos manuais propõem estruturas mais económicas (adaptado Educolorir, 2018).....	77
Figura 3.19 Gráfico comparativo das temperaturas médias mensais	78
Figura 3.20 Gráfico comparativo da precipitação médias mensais	79
Figura 3.21 Gráfico representativo das diferentes opções de estruturas S2	84
Figura 3.22 Gráfico representativo das diferentes opções de estruturas S2 (Continuação)	85
Figura 3.23 Gráfico representativo das diferentes opções de estruturas S3	86
Figura 3.24 Gráfico representativo das diferentes opções de estruturas S3 (Continuação)	87
Figura 3.25 Gráfico representativo das diferentes opções de estruturas S4	88

Figura 3.26 Gráfico representativo das diferentes opções de estruturas S4 (Continuação).....	89
Figura 3.27 Diagrama para os procedimentos do método empírico-mecanicista (Theyse et al., 1996)	90
Figura 3.28 Modelo linear elástico (esquerda) e círculo de Mohr (direita) com representação de tensões numa camada de sub-base granular (Theyse et al., 1996).....	94
Figura 3.29 Ajustamento ao círculo de Mohr devido ao ajuste da tensão principal menor de tração (Theyse et al., 1996).....	94
Figura 3.30 Fator de transferência de fendas causadas por fadiga para camadas superficiais betuminosas delgadas (Theyse et al., 1996).....	95
Figura 3.31 Shift factor para a propagação de fendas nas camadas betuminosas (Theyse et al., 1996)	96
Figura 3.32 Fator de transferência para a fadiga de materiais tratados com cimento (Theyse et al., 1996)	96
Figura 3.33 Função de transferência para o esmagamento em material ligeiramente tratado com cimento (Theyse et al., 1996).....	97
Figura 3.34 Função de transferência para materiais granulares (Theyse et al., 1996).....	99
Figura 3.35 Função de transferência de deformações na camada de fundação (Theyse et al., 1996)	100
Figura 3.36 Comportamento de camada tratada com cimento ao longo do tempo (Theyse et al., 1996)	101
Figura 3.37 Cálculo do tempo de vida útil para estruturas de pavimento com camadas tratadas com cimento (Theyse et al., 1996).....	102
Figura 3.38 Comparação dos níveis admissíveis repetições de carga obtidos pelos manuais e pelo SAMDM para diferentes condições de fundação e classes de tráfego consideradas	106
Figura 3.39 Comparação do número admissível de repetições de carga do eixo-padrão apresentadas pelos manuais e pelo SAMDM após alteração das espessuras.....	112
Figura 4.1 Padrão das despesas com a infraestrutura rodoviária (SATCC, 2003).....	116
Figura 4.2 Esquema da Viga Benkelman (Mota, 2009).....	120
Figura 4.3 Desagregação e desgaste superficial de um pavimento (DER/SP, 2012).....	121
Figura 4.4 Exsudação na camada superficial de um pavimento (DER/SP, 2012)	122
Figura 4.5 Fendas interligadas (esquerda) e fendas isoladas (direita) (DER/SP, 2012)	122
Figura 4.6 Deformação permanente num pavimento (DER/SP, 2012).....	123
Figura 4.7 Danificação de pavimento causado por agravamento da rotura do bordo (DER/SP, 2012).	123
Figura 4.8 Cova num pavimento rodoviário (DER/SP, 2012).....	124
Figura 4.9 Secção transversal Imprópria (Fattori, 2007)	125
Figura 4.10 Drenagem inadequada (Fattori, 2007)	125
Figura 4.12 Pavimento não selado, ondulações (Fattori, 2007).....	126
Figura 4.11 Processo de formação de ondulações (SADT, 1990)	126
Figura 4.13 Excesso de poeiras (Portal de Alto Jatibocas, 2018).....	127
Figura 4.14 Covas cobertas de água (Fattori, 2007)	128
Figura 4.15 Rodeiras em pavimento não selado (Fattori, 2007).....	129

Figura 4.16 Corte das relvas/silvas, atividade de manutenção de rotina (SATCC, 2003)	132
Figura 4.17 Evolução típica da qualidade dos pavimentos com o passar do tempo (SATCC, 2003).....	134
Figura 4.18 Correção da exsudação, espalhamento e varrimento da areia (DER/SP, 2012)..	136
Figura 4.19 Fases de selagem das fissuras no pavimento (DER/SP, 2012).	136
Figura 4.20 Etapas de reparação de covas no pavimento (DER/SP, 2012).....	137
Figura 4.21 Fenômeno de movimento de solo por bombagem (DER/SP, 2012).	139
Figura 4.22 Sequência de execução de tratamentos superficiais (DER/SP, 2012).....	140
Figura II.1 Zonas climáticas (Gourgel M., 2012).....	155
Figura II.2 Agrupamento das zonas climáticas (Slideshare, 2018).....	156
Figura II.3 Clima tropical húmido (A) e seco (B) (Slideshare, 2018).....	157
Figura III.1 Espessura mínima necessária para inibir a reflexão do fendilhamento.....	170
Figura III.2 Combinação do material betuminoso e granular.....	171
Figura III.3 Espessura mínima de material tratado para evitar os danos de fadiga durante a construção.....	172
Figura IV.1 Exemplos de revestimentos betuminosos (ANE, 2014).....	173
Figura VII.1 Diagrama da resistência das camadas (MTPW, 2013).....	178
Figura VII.2 Perfis de resistência coletivos e perfis de resistência médio e extremos (ANE, 2014).....	181
Figura VII.3 Perfil de resistência de camada para várias classes de tráfego (ANE, 2014).....	183
Figura VII.4 Comparação dos perfis de resistência necessário e in-situ (ANE, 2014).....	184
Figura VIII.1 Fator de transferência de fendas causadas por fadiga para camadas superficiais betuminosas espedas (Theyse et al., 1996).....	187

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 Classificação de estradas (Branco et al, 2005)	6
Tabela 2.2 Fatores ambientais não controláveis (OTB, 2013).	8
Tabela 2.3 Aspetos-chaves com relação ao ambiente a considerar no âmbito de qualquer projeto (SATCC, 2003).....	9
Tabela 2.4 Características gerais determinadas para materiais granulares (Marques, 2006)	16
Tabela 2.5 Guia para a granulometria dos materiais de sub-base (Cook et al, 2001)	17
Tabela 2.6 Guia para as características recomendadas para os materiais de sub-base face à presença de água (Cook et al, 2001).....	17
Tabela 2.7 Guia para a granulometria recomendada para materiais granulares naturais a utilizar em camadas de base (Cook et al, 2001)	18
Tabela 2.8 Guia de seleção do método de estabilização (Cook et al, 2001)	23
Tabela 2.9 Declive vs intervalo máximo entre as valas de desvio e valetas laterais (ANE, 2014)	29
Tabela 3.1 Resumo da extensão de estradas (em km) em São Tomé no ano de 2015 (fonte: INAE)	33
Tabela 3.2 Precipitação e temperaturas médias mensais em S. tomé (Climate-Data, 2017)....	39
Tabela 3.3 Percentagem do tráfego na via mais solicitada (JAE, 1995)	40
Tabela 3.4 Guia para seleção da vida útil de um projeto (MTPW, 2013).....	42
Tabela 3.5 Fatores para a distribuição do carregamento do tráfego (ANE, 2014).....	46
Tabela 3.6 Classes de tráfego na via mais solicitada para o projeto de pavimentação (ANE, 2014).....	47
Tabela 3.7 Tráfego médio diário de pesados em São Tomé no ano de 2011 na Estrada Nacional (fonte: INAE).....	47
Tabela 3.8 Classes das fundações (adaptado Gourley et al, 1999).....	50
Tabela 3.9 Classes de tráfego (adaptado de Gourley et al, 1999)	50
Tabela 3.10 Estruturas de pavimento de base e sub-base granulares (adaptado de Gourley et al, 1999).....	51
Tabela 3.11 Fator de agressividade sobre o pavimento (SATCC, 1998)	52
Tabela 3.12 Classes de tráfego (adaptado SATCC, 1998)	53
Tabela 3.13 Classificação da classe de fundação (adaptado SATCC, 1998)	53
Tabela 3.14 Reclassificação de condições climáticas para regiões nominalmente húmidas (SATCC, 1998).....	54
Tabela 3.15 Estrutura de pavimento de base e sub-base granular (adaptado SATCC, 1998) ..	55

Tabela 3.16 Estrutura de pavimento de base e sub-base solo/cimento (adaptado SATCC, 1998)	56
Tabela 3.17 Estrutura de pavimento de base e sub-base solo/cimento (adaptado SATCC, 1998)	57
Tabela 3.18 Classificação dos terrenos (ERA, 2011)	58
Tabela 3.19 Classes de tráfego (ERA, 2011)	59
Tabela 3.20 Classes de fundação (ERA, 2011)	59
Tabela 3.21 Estruturas de pavimentos de base e sub-base granular (ERA, 2011)	60
Tabela 3.22 Propriedades da camada flexível (Guillermo et al, 2002)	62
Tabela 3.23 Propriedades dos materiais granulares (Guillermo et al, 2002)	63
Tabela 3.24 Qualidade da sub-base estabilizada com cimento (Guillermo et al, 2002)	63
Tabela 3.25 Classe de tráfego (Guillermo et al, 2002)	64
Tabela 3.26 Classes de fundação (Guillermo et al, 2002)	65
Tabela 3.27 Estruturas de pavimentos (Guillermo et al, 2002)	65
Tabela 3.28 Estrutura de pavimento de base e sub-base granular (adaptado ANE, 2014)	67
Tabela 3.29 Estrutura de pavimento de base e sub-base granular (adaptado ANE, 2014)	67
Tabela 3.30 Estruturas de pavimentos de base estabilizada com cimento (ou cal) (ANE, 2014)	68
Tabela 3.31 Esquema utilizado para fazer a correspondência das classes de tráfego	69
Tabela 3.32 Comparação resumida das características climáticas dos países considerados na análise	80
Tabela 3.33 Número equivalente de eixo-padrão por localidade	82
Tabela 3.34 Módulo de deformabilidade para camadas betuminosas (Theyse et al., 1996)	91
Tabela 3.35 Valores dos módulos de elasticidade (MPa) sugeridas para materiais tratados com cimento (Theyse et al., 1996)	92
Tabela 3.36 Gama sugerida dos módulos de elasticidade (MPa) dos materiais granulares (Theyse et al., 1996)	93
Tabela 3.37 Valores sugeridos para σ_b e UCS para camadas de materiais tratados com cimento (adaptado Theyse et al., 1996)	97
Tabela 3.38 Valores propostos para C_{term} e σ_{term} para materiais granulares (Theyse et al., 1996)	99
Tabela 3.39 Soluções estruturais apresentadas pelos manuais da SATCC e TRL/SADC	103
Tabela 3.40 Resultados dos cálculos com base no SAMDM	105
Tabela 3.41 Comparação dos climas	107
Tabela 3.42 Soluções estruturais obtidas pela aplicação do SAMDM, Nível A	108
Tabela 3.43 Soluções estruturais obtidas pela aplicação do SAMDM, Nível D	109
Tabela 3.44 Resultado da alteração das camadas, nível A	109
Tabela 3.45 Resultado da alteração das camadas, nível A (continuação)	110
Tabela 3.46 Resultado da alteração das camadas, nível D	111
Tabela 4.1 Atividades de manutenção (SATCC, 2003)	131
Tabela 4.2 Problemas, consequências e soluções de manutenção (SATCC, 2003)	132
Tabela 4.3 Problemas, consequências e soluções de manutenção (continuação) (SATCC, 2003)	133

Tabela III.1 Materiais de elevada plasticidade – aspetos principais (Cook et al, 2001).....	160
Tabela III.2 Materiais mal graduados – aspetos principais (Cook et al, 2001).....	161
Tabela III.3 Materiais de formatos inadequada – aspetos principais (Cook et al, 2001).....	162
Tabela III.4 Materiais de fraca resistência – aspetos principais (Cook et al, 2001).....	163
Tabela III.5 Revisão dos materiais de fraca durabilidade (Cook et al, 2001).....	164
Tabela III.6 Exemplos de utilização de materiais não padronizados em pavimentos selados de baixo volume de tráfego (Cook et al, 2001).....	165
Tabela III.6 (continuação) Exemplos de utilização de materiais não padronizados em pavimentos selados de baixo volume de tráfego.....	166
Tabela III.7 Tipos e abreviaturas dos materiais de pavimento utilizados em estradas pavimentadas e não pavimentadas (ERA, 2011).....	167
Tabela III.8 Preparação das fundações (Gourley et al, 1999).....	168
Tabela III.9 Medidas para o melhoramento à base de cimento/cal (Cook et al, 2001).....	169
Tabela III.10 (continuação) Materiais para melhoramento à base de cimento/cal.....	170
Tabela IV.1 Vida útil dos revestimentos superficiais (ANE, 2014).....	175
Tabela V.1 Fatores a considerar no tráfego de projeto (SATCC, 1998).....	176
Tabela VI.1 Tipologia de estruturas previstas no catálogo de Moçambique (SATCC, 1998)..	177
Tabela VII.1 Frequência de ensaios DCP (ANE, 2014).....	179
Tabela VII.2 Percentis da taxa de penetração do DCP (ANE, 2014).....	181
Tabela VII.3 Gráfico de projeto com base no DCP para diferentes classes de tráfego (ANE, 2014).....	182
Tabela VIII.1 Características dos materiais granulares apresentados no SAMDM (adaptado Theyse et al, 1996).....	186

SIMBOLOGIAS E ABREVIATURAS

$\mu\epsilon$	(Micro) extensão de tração (na base da camada betuminosa)
%	Porcentagem
€	Euro
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ACV	Aggregate crush value test
AEE	Autoridade Espanhola de Estradas
AFCAP	Africa Community Access Programme
AIA	Avaliação de impacte ambiental
ANE	Administração Nacional de Estradas (Moçambique)
AUSTROADS	Association of Australia and New Zealand Road Transport and Traffic Authorities
BS	British Standard
c	Fator de crescimento do tráfego
CBR	California Bearing Ratio
CG	Coeficiente de graduação
CNC	Compressão Não Confinada
CSIP	Council for Scientific and Industrial Research
C-term	Coesão
DCP	Dynamic Cone Penetrometer
DESA	Design Equivalent Standard Axles
DfID	Department for International Development
DTP	Distribuição de tamanho dos agregados
EBVT	Estradas de baixo volume de tráfego
EP	Eixo padrão (80 kN)
ERA	Ethiopia Roads Authority
F	Safety factor (parâmetro utilizado para obter o EP nas camadas granulares)
FACT	Fine aggregate crushing test
FF	Fração fina
Ia	Índice de alongamento (das partículas)
If	Índice de floculação (das partículas)
IP	Índice de plasticidade
IST	Instituto Superior Técnico de Lisboa
LAA	Los Angeles abrasion test
LL	Limite de liquidez
M	Milhões
MACOPAV	Manual de Conceção de Pavimentos
MG	Módulo de graduação

MR	Módulo de Resiliência
MTPW	Ministry of Transport and Public Works of Malawy
N	Norte
Ndim₈₀	Número acumulado de passagens do eixo padrão
OMC	Optimum moisture content
ORN	Overseas Roads Note
P	Peneiro
p	Período de Dimensionamento
pH	Parâmetro para indicar a acidez ou basicidade de um material
PSP	Produtos sulfatados de petróleo
RDIA	Relatório de declaração de impacte ambiental
RM	Rodovias Municipais
S	Sul
SADC	Southern African Development Community
SAMDM	South African Mechanistic Method
SATCC	Southern Africa Transport Communication Commission
STP	São Tomé e Príncipe
t	Taxa média de crescimento anual do tráfego pesado
TCIC	Teste de consumo inicial de cal
TMDAp	Tráfego médio diário anual de projeto
TRL	Transport Research Laboratory
TSD	Tratamento superficial duplo
UCS	Unconfined compressive strength
INAESTP	Instituto Nacional de Estatísticas de São Tomé e Príncipe
α	Fator de agressividade do tráfego
ϵ_v	Extensão de compressão vertical (deformação no topo da camada da fundação)
ϕ_{term}	Ângulo de atrito do material
ν	Coeficiente de Poisson
σ_1	Tensão principal maior (no ponto intermédio da camada)
σ_3	Tensão principal menor (no ponto intermédio da camada)

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

É comum verificar situações de estradas intransitáveis ou em más condições de utilização e de segurança, principalmente nas zonas rurais. Muitas destas estradas têm um reduzido volume de tráfego de pesados, sendo geralmente designadas por EBVT – estradas de baixo volume de tráfego. Por causa disso, não são consideradas vias de investimento prioritário quando se planeia a conservação da rede rodoviária. Muitas EBVT nem possuem pavimentos com uma superfície selada ou acabada com materiais ligados. No entanto, as EBVT desempenham um papel muito importante no desenvolvimento socioeconómico de um país, garantindo o transporte dos produtos agrícolas das zonas rurais até às zonas urbanas, o que é crucial para os países que baseiam as suas economias na agricultura. Além disso, aquelas estradas permitem o acesso das populações das zonas suburbanas aos serviços existentes nas zonas urbanas e garantem também a circulação dos produtos das indústrias e o seu abastecimento com matérias-primas, entre outros aspetos.

Nos países tropicais, e em vias de desenvolvimento, o cenário descrito no parágrafo anterior tende a ser ainda mais expressivo, uma vez que grande parte da rede rodoviária é formada por vias que se enquadram no conceito de EBVT. A maior parte das estradas encontram-se em mau estado porque, por um lado, existe a falta de materiais com as devidas características que permitam uma utilização satisfatória nos pavimentos rodoviários e, por outro lado, quando isso não acontece, o poder económico para se proceder à realização das obras necessárias são inexistentes. Além disso, o clima afeta fortemente os pavimentos causando uma aceleração na sua degradação.

Uma vez que as estradas são essenciais para a dinamização do fluxo de mercadorias e de pessoas, contribuindo para o desenvolvimento do território, quando não é possível dispor de materiais caros e que exigem grandes meios para o seu fabrico torna-se crucial utilizar alternativas, de modo a resolver a situação. Uma das estratégias habitualmente seguidas é a utilização de materiais locais, através da adaptação do seu uso às condições localmente existentes.

A utilização máxima de materiais locais não processados é um pilar central da filosofia de projeto das EBVT. As especificações atuais, particularmente nas zonas do mundo mais desenvolvidas, tendem a excluir o uso de muitos materiais naturais, não transformados (solos naturais, misturas de solo-cascalho e cascalho) em camadas de pavimentos, em favor de materiais britados mais caros. Esta é a abordagem padrão das especificações, a qual estabelece requisitos orientados para as estradas de alto volume de tráfego. No entanto, trabalhos recentes

têm demonstrado que os chamados materiais não padronizados podem, muitas vezes, ser usados com sucesso e de forma rentável em pavimentos de EBVT, desde que sejam tomadas precauções adequadas (Jorge, 2014).

1.2 Objetivos e Metodologia de Trabalho

A presente dissertação tem como objetivo central reunir num documento um conjunto de técnicas construtivas e de estruturas de pavimentos, desenvolvidas para EBVT, que possam ser utilizadas pelos meios técnicos de São Tomé e Príncipe no âmbito da exploração da rede rodoviária do país. Para atender às condições existentes, a descrição e a análise das técnicas de construção e de manutenção, e as estruturas de pavimentos apresentadas, consideram tendencialmente o uso de materiais locais, e as condicionantes de dimensionamento de São Tomé e Príncipe.

Os objetivos do trabalho são concretizados através da apresentação e discussão dos requisitos de qualidade para projetar, supervisionar a construção e a manutenção de pavimentos de EBVT em São Tomé e Príncipe. Assim, o documento reúne quer as estruturas de pavimentos mais indicadas para as circunstâncias das EBVT de São Tomé e Príncipe, quer uma descrição das técnicas de construção e conservação mais adaptadas àquela realidade.

A metodologia utilizada consiste, em grande medida, numa análise da literatura da especialidade relativa às EBVT, no que se refere às técnicas utilizadas, às avaliações de estruturas de pavimentos que possam ser adotadas nas práticas construtivas, aplicando as soluções preconizadas às condições concretas de São Tomé e Príncipe, ou seja, tendo em conta as características do tráfego, as condições de suporte da fundação e os materiais tipicamente disponíveis.

1.3 Organização do Trabalho

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos e sete Anexos.

Neste capítulo 1 são apresentados o tema da pesquisa, os objetivos pretendidos e as metodologias seguidas para os atingir.

No capítulo 2 é apresentada uma síntese do conhecimento relativo às características gerais dos pavimentos das estradas com baixo volume de tráfego (EBVT). Também é feita uma pequena abordagem sobre os materiais para utilização rodoviária, as características climáticas, as condições de tráfego e a drenagem.

O capítulo 3 dedica-se à conceção e dimensionamento dos pavimentos de EBVT. Partindo das propostas de diversos manuais de dimensionamento publicados em diferentes países de zonas tropicais, são apresentadas as estruturas que os diversos manuais propõem para vários cenários de projeto plausíveis para as condições de solicitação de São Tomé. Além disso, faz-se um estudo comparativo das estruturas a que se chegou pelos vários manuais utilizados com as que se obtêm pelo método empírico-mecanicista de dimensionamento Sul-Africano. Da análise

efetuada, são escolhidas dentre aquelas estruturas, as que são consideradas mais adequadas para serem aplicadas em São Tomé e Príncipe.

No capítulo 4 aborda-se a problemática da conservação dos pavimentos, sendo apresentadas as práticas de avaliação do seu estado de conservação, as patologias mais correntes e as técnicas mais comuns para a sua reparação.

O capítulo 5 sintetiza o trabalho realizado, apresenta as suas principais conclusões e propõe algumas linhas de desenvolvimento para trabalhos futuros.

No Anexo I estão algumas informações complementares do subcapítulo 2.5 do capítulo 2 relacionadas com a questão da sustentabilidade dos projetos de EBVT.

O Anexo II contém informações sobre os climas, complementando assim os assuntos descritos no subcapítulo 2.6 do capítulo 2.

O Anexo III dá a continuidade ao assunto tratado no capítulo 2.2, relacionado com os tratamentos dos vários tipos de materiais.

Alguns tipos de revestimentos superficiais são apresentados no Anexo IV, como complemento no capítulo 3.4.

O Anexo V e VI apresentam os fatores a considerar no dimensionamento de, respetivamente tráfegos e das estruturas de pavimento, baseado no SATCC 1998, indo ao encontro do tema tratado no ponto 3.4.3.

Como auxílio do capítulo 3.4.4, é feita a descrição do método DCP no Anexo VII.

E por fim, no Anexo VIII é feita a sumarização das características dos materiais considerados pelo SAMDM, relacionado com o ponto 3.8.

2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS PAVIMENTOS DE EBVT

2.1 Considerações Iniciais

A avaliação completa do papel que as estradas desempenham no desenvolvimento económico é complexa. Todavia, é amplamente aceite o facto do investimento nas infraestruturas de transporte ter uma contribuição muito importante para o desenvolvimento económico do território. No entanto, dotar o território de infraestruturas de transportes não é, por si só, suficiente para aproveitar todos os possíveis benefícios dessas intervenções. De facto, os estudos feitos destacam dois outros aspetos cruciais que devem ser considerados pelos formuladores das políticas (relacionados com as infraestruturas rodoviárias): o acesso aos meios de transporte, bem como a organização do mercado de bens e serviços de transporte (SATCC, 2003). Estes aspetos são cruciais nas zonas rurais, onde a economia se baseia na agricultura. Para que possa ser possível o transporte dos produtos e pessoas para outros pontos do país e para garantir o acesso aos serviços, é essencial garantir as condições para que se verifiquem estes fluxos de uma forma cómoda e segura (OTB, 2013).

Nas estradas de camada superficial não ligadas, estas camadas são constituídas por materiais locais, como o cascalho natural, ou mesmo apenas por solos ou argilas, necessitando de um nível de manutenção relativamente elevado, com intervenções regulares ao longo do tempo. Na maioria das vezes, há insuficiência de recursos ou de capacidade para fornecer uma boa manutenção. Consequentemente, os utilizadores acabam por ser penalizados, com acessos deficientes e/ou com custos elevados de transporte. É cada vez mais importante incentivar um maior desenvolvimento das redes rodoviárias (em muitos países ao nível nacional e em outros casos apenas ao nível regional) de uma forma acessível e sustentável, utilizando de forma eficiente os materiais locais para dotar o território de infraestruturas apropriadas (OTB, 2013).

O DfID – *Department for International Development* do Reino Unido, em conjunto com outras agências, juntaram esforços em prol de estudos e transferência de conhecimento relacionados com as infraestruturas de transportes rurais, especificamente com o objetivo de reduzir os custos e aumentar, por mais tempo, a eficácia da prestação de serviços de acesso rodoviário às comunidades rurais e urbanas periféricas. A maior parte daqueles estudos têm tido grande sucesso, resultando em abordagens inovadoras e pouco comuns que podem fornecer soluções muito mais benéficas para as EBVT, por exemplo, através da utilização de materiais alternativos para a camada superficial. Foram desenvolvidos muitos conhecimentos sobre a pavimentação, nomeadamente sobre técnicas de construção de camadas superficiais das EBVT, compatíveis com condições de recursos limitados (OTB, 2013).

2.2 Classificação das Estradas

A classificação adequada das estradas constitui o primeiro passo para promover as opções de pavimentação à base dos recursos locais, os quais podem, nesse contexto, ser avaliados e selecionados para uso apropriado. As estradas devem ser projetadas tendo em conta as funções que irão desempenhar, designadamente para servir o tráfego motorizado e não motorizado (OTB, 2013).

Além disso, tal como as outras estradas, as EBVT podem classificar-se em diferentes categorias hierárquicas de estradas, tendo em conta as funções e a capacidade de escoar o tráfego. Se a função de circulação for a principal, a EBVT poderá ter as seguintes características (Branco et al, 2005):

- Deslocações de média/grande distância em condições fluidas;
- Deslocações rápidas e seguras em vias com capacidades adequadas.

Por sua vez, as estradas que terão o acesso como principal função têm as seguintes características:

- Acesso aos espaços urbanos;
- Fácil circulação a velocidades baixas;
- Existência de estacionamento;
- Complementação com outros meios de transportes/circulação para além dos motorizados.

Na lógica de raciocínio apresentada, em resumo as estradas podem ser classificadas consoante é apresentado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 Classificação de estradas (Branco et al, 2005)

Vias estruturantes	Vias coletoras ou arteriais
	Vias distribuidoras principais
Vias locais	Vias distribuidoras locais ou secundárias
	Vias de acesso local

2.3 Padrões Geométricos

O dimensionamento geométrico tem como função assegurar os níveis mínimos de segurança e conforto aos utilizadores. O projeto geométrico estabelece, entre outros, a largura da estrada, a inclinação transversal do pavimento, a geometria da diretriz e do perfil longitudinal, entre outros. Os principais aspetos que afetam o desenho geométrico das EBVT são (OTB, 2013):

- Os custos;
- O tipo e morfologia do terreno;
- O tipo de pavimentação;
- O tráfego (volume e composição);
- A existência ou não de povoações próximas dos limites da estrada (zona aberta ou povoada);
- A segurança.

A largura da estrada é um dos aspetos mais importante da geometria, uma vez que o seu valor está diretamente relacionado com o custo de construção e da manutenção (OTB, 2013).

2.4 Fatores Ambientais e Técnico-Económicos

Uma das publicações do AFCAP *The African Community Access Programme AFCAP: Overview of AFCAP and a Vision for the Future* (Geddes, 2013), refere que o desempenho das EBVT ao longo do tempo em que estão em serviço depende em maior grau dos fatores ambientais e do fator técnico-económico do que as estradas de maior volume de tráfego. Alguns dos fatores podem ser controlados ou modificados enquanto outros não.

Dos aspetos considerados controláveis referem-se os seguintes (OTB, 2013):

- As políticas (aplicadas em cada situação e em cada país);
- As classificações;
- As normas ou padrões;
- As especificações ou regulamentos;
- Os mecanismos de financiamento;
- O ambiente “verde”.

Os aspetos não controláveis são os que se relacionam diretamente com a natureza ou com as condições locais de solicitação da infraestrutura, conforme se descreve na Tabela 2.2.

Quando se faz uma boa gestão dos fatores controláveis e não controláveis pode chegar-se a um projeto sustentável. Cada um dos fatores ambientais e técnico-económicos carece de uma apropriada avaliação, embora os níveis de detalhe requeridos variem nas diversas etapas dos projetos (OTB, 2013).

Além disso, embora os estudos indiquem que a influência relativa do tráfego nas EBVT é muito menor que a de outros parâmetros ambientais, é necessário considerar a influência do tráfego e, em particular, o risco de sobrecarga por tipo de eixo em estradas com pavimentos delgados. O tráfego tem uma grande influência no desempenho das superfícies não revestidas.

Tabela 2.2 Fatores ambientais não controláveis (OTB, 2013).

Fator	Descrição
Clima	As condições climáticas influenciam as opções de pavimento, podendo estudar-se parâmetros de projeto em condições "húmidas" ou "secas". O desempenho de uma superfície de solo compactada, por exemplo, é particularmente influenciado pela quantidade e intensidade de precipitação, bem como pelo regime de escoamento.
Hidrogeologia	Por vezes, é a interação da água com a infraestrutura ou, mais especificamente, o seu movimento no interior da estrutura da estrada e na zona adjacente a esta, que tem um impacto mais significativo sobre o desempenho de pavimentos, da terraplenagem e dos órgãos de drenagem.
Terreno	O terreno reflete a história geológica e geomorfológica. Além da sua influência sobre a geometria da estrada e dos requisitos de terraplenagem, as características do terreno também irão influenciar a disponibilidade de materiais e recursos.
Propriedades dos materiais	A natureza, as características e a localização dos materiais de construção são os principais aspetos da avaliação dos fatores ambientais. Para as EBVT, onde o uso de materiais locais é uma prioridade, a questão-chave deve ser procurar opções de projeto compatíveis com os materiais disponíveis.
Fundação	A fundação é essencialmente a estrutura de suporte para o pavimento e a avaliação do seu previsível estado em serviço é fundamental para o projeto do pavimento.

2.5 Interferência com o Ambiente e a Sustentabilidade dos Projetos

De uma forma ampla, a palavra ambiente inclui tanto o ambiente natural (flora e fauna) como o ambiente humano, nomeadamente o socioeconómico e o cultural, havendo uma grande interdependência entre eles. Por isso, devem ser considerados quatro tipos de ambientes aquando da elaboração dos projetos: o ecológico, o económico, o social e o físico (Gourley et al, 1999). Cada um deste tipo de ambiente inclui vários fatores (Tabela 2.3.) sobre os quais é necessário refletir.

Tabela 2.3 Aspectos-chaves com relação ao ambiente a considerar no âmbito de qualquer projeto (SATCC, 2003)

Ambiente ecológico	Impacte na flora e na fauna Desflorestação Perturbação do ecossistema natural Diminuição da biodiversidade Ameaças às espécies não indígenas ou em extinção Esgotamento de recurso de materiais escassos Erosão regressiva ou progressiva dos solos
Ambiente Económico	Custos capitais do projeto Custos das manutenções Custos de danos causados pelas inundações Perdas ou degradação de terrenos agrícolas ou aráveis Esterilização de terras para usos futuros Desvalorização das terras (terras de empréstimo)
Ambiente Social	Separação/recolocação das comunidades locais Destruição das antiguidades culturais Saúde e segurança (por exemplo afogamentos, no caso de crianças e animais em poças de empréstimos de terra) Impactes das construções
Ambiente Físico	Estéticos, como perdas da beleza natural e cicatrizes nas paisagens Vegetações naturais que não podem ser substituídas Poluição do ar, da água e sonora O impacte das poeiras Perturbação dos cursos de água

Apesar dos pavimentos não selados parecerem, à primeira vista, os mais económicos, porque dispensam a importação de materiais de custos elevados, que exigem maior processamento, geralmente não disponíveis, o que acaba por acontecer é exatamente o contrário. Em pouco tempo, aqueles pavimentos tornam-se desconfortáveis para se circular (a pé ou de automóvel), com o aparecimento de covas, geração de pó, lama e pequenas poças de água ao longo do pavimento, podendo tornar-se intransitáveis. Consequentemente, as populações são gravemente afetadas devido ao aumento dos custos dos transportes associados às condições extremas de circulação. Além disso, estes pavimentos exigem ser constantemente regravilhados (colocação de novas camadas de gravilhas ou cascalhos), o que exige a utilização de materiais finitos (não renováveis) e muitas vezes escassos. Na prática, muitos países não têm os recursos financeiros necessários para conservar as suas redes de estradas com cascalhos. Como se pode observar na Figura 2.1 (esquerda), a contínua perda de material granular leva a sucessivas necessidades de ações de conservação. Por isso, ocorre uma rápida perda do investimento, bem como um considerável prejuízo para as comunidades servidas por essas estradas (SATCC, 2003). A Figura 2.1 (direita) mostra também a colocação de cascalhos num pavimento com as características acima descritas.

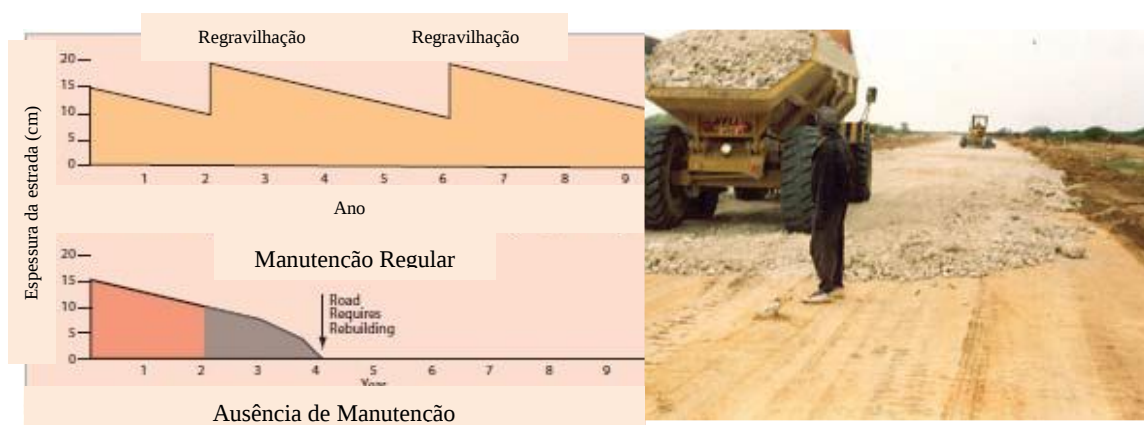


Figura 2.1 Manutenção periódica (esquerda); Regravilhação (direita) (SATCC, 2003)

Mesmo nas épocas secas, quando as condições são favoráveis para este tipo de estradas (não revestidas), ainda existe o problema de levantamento de pó associado à circulação dos veículos tal como se ilustra na Figura 2.2 (esquerda). Devido à perda de finos, estes pavimentos tornam-se muito ásperos e com condições de condução perigosa. Além disso, originam um severo desconforto para os utentes da via e acarretam custos operacionais muito elevados para os veículos, como se mostra na Figura 2.2 (direita) (SATCC, 2003).



Figura 2.2 Levantamento de poeiras em estradas não pavimentadas (esquerda); Estradas de superfície áspera (direita) (SATCC, 2003)

Pelo que se referiu, a construção dos pavimentos de camada superficial não ligadas, apesar de implicar menores custos de primeiro investimento em relação aos de superfícies seladas, a médio prazo implicam gastos muitas vezes maiores que os que resultariam da construção de pavimento de superfície ligadas.

No que se refere a pavimentos em que a sua camada superficial é construída apenas em material não ligado, como é o caso das gravilhas (ou cascalhos), há que ter em conta as questões

referentes à sustentabilidade deste tipo de projeto, conforme são descritas a seguir (SATCC, 2003):

- Questões financeiras e económicas:
 - O cascalho é uma camada de sacrifício (é sempre feita a sua reposição) e o custo de substituição é elevado;
 - Podem perder-se entre 30 a 150 mm espessura de cascalho por ano;
 - As operações de regravilhação custam cerca de € 5.000 a € 30.000 /km/ano;
 - Manutenção periódica custa à volta de 2.000€ a 3.000€/km/ano.
- Questões institucionais e de gestão:
 - Os pavimentos não ligados normalmente constituem 70% a 90% da rede rodoviária principal e maiores percentagens nas redes restantes;
 - A ausência de um pavimento com materiais adequados gera um ciclo contínuo de degradação e défice de conservação.
- Administrações das redes de estradas:
 - Têm dificuldades ao nível da logística e da capacidade técnica, e têm limitações financeiras;
 - Muitas vezes têm limitações de capacidade, quer humanas quer de recursos materiais;
 - Têm fraca capacidade para intervir nas atividades de manutenção de forma satisfatória.
- Normas e tecnologias:
 - Desperdício de resíduos (resíduos que a uma dada altura, após muita utilização, acabam);
 - Regravar requer mecanismos caros e, por vezes, ocorrem problemas operacionais, ou de suporte técnico;
- Questões sociais:
 - Perda de terras e reabilitação de zonas de empréstimos;
 - Problemas de acessos das comunidades locais durante os períodos chuvosos;
 - Geração de poeira em tempo seco, com impactes adversos para a saúde, e incómodo para os peões, os veículos e as populações locais;
 - Danos nas culturas (campos de cultivos) e nos habitats naturais.

Apesar das dificuldades associadas à construção de pavimentos com superfícies ligadas, há algumas vantagens associadas à sua utilização (SSATCC, 2003):

-
- Baixos custos de transporte (manutenção e operação dos veículos);
 - Maiores benefícios sociais relacionados com a existência de acessos mais confiáveis aos diversos serviços, como escolas e hospitais, entre outros;
 - Reduzidos impactos ambientais negativos, problemas de saúde e segurança.

De acordo ainda com a mesma fonte (SATCC, 2003), na África do Sul os empréstimos de grandes volumes de terra são de mais de 150 milhões de metros cúbicos por ano e têm potencial para causar impactos negativos ao ambiente e às populações locais. As áreas onde aqueles danos podem ser causados são as seguintes:

- Recurso material:
 - Perda permanente do recurso natural utilizado (material não renovável).
- Danos na morfologia da superfície:
 - Modificação da superfície natural de drenagem;
 - Aumento da erosão do solo e assoreamento dos cursos de águas por perturbação do solo;
 - Desestabilização das encostas.
- Ecologia:
 - Perdas de solos e florestas;
 - Deslocação de espécies e habitats;
 - Perda de potenciais terras de produtividade agrícola.
- Poluição:
 - Contaminação de águas e dos solos por derramamento de combustíveis;
 - Geração de poeiras durante as extrações, carregamentos e transportes dos materiais;
 - Aumento das poeiras geradas por veículos ao longo dos caminhos de acesso.
- Impactes sociais e ambientais:
 - Criação de condições para aparição de doenças;
 - Alteração das paisagens e interferência com a beleza natural;
 - Separação das comunidades;
 - Perdas de heranças de terra;
 - Perda de antiguidades e da herança cultural;
 - Riscos para as pessoas e animais, no que se refere a postos de teste abertos ou sem identificação;

- Riscos de segurança para as populações locais por serem expostos aos estaleiros e tráfegos pesados;
- Ruído das perfurações, detonações, tráfego e estaleiros.

A Figura 2.3 ilustra os resultados dos impactos causados à paisagem e morfologia do terreno, e à criação de condições para o aparecimento de doenças.



Figura 2.3 Quantidade substancial de matérias extraídas anualmente (esquerda); Empoçamento e má drenagem (direita) (SATCC, 2003)

Situações de impacto ambiental, como as descritas na Figura 2.3, não ocorrem só na África do Sul. A realidade descrita acontece em todas as regiões onde há grandes extrações de materiais, de forma descontrolada e frequente, e sem medidas para mitigar os impactos adversos resultantes.

A responsabilidade pela aplicação de políticas ambientais sólidas cabe aos órgãos executores, geralmente as administrações das estradas, guiadas e assistidas por unidades ambientais existentes nas estruturas das mesmas. A tendência para a criação destas unidades é positiva porquanto contribui para integrar no processo de decisão as questões ambientais (SATCC, 2003).

No exercício dessas responsabilidades, o pessoal deve ser guiado pelo abrangente objetivo de garantir que os projetos sejam concebidos e implementados de acordo com princípios sólidos que minimizam os impactos adversos e permitem aumentar os benefícios. Vários procedimentos devem ser seguidos em várias fases do ciclo do projeto, a fim de atingir estes objetivos. Estes procedimentos normalmente envolvem algum tipo de avaliação de impacto ambiental (AIA), efetuada de acordo com as orientações indicadas no Anexo I.

2.6 Clima

Um dos fatores que mais condicionam a duração da vida útil das estradas, e particularmente da EBVT, são as ações passivas, ou seja, as ações a que estão sujeitas por influência do clima e do

meio ambiente. Aqueles fatores têm um papel ainda mais importante quando se trata de infraestruturas em zonas tropicais.

As regiões equatoriais, comparativamente com as regiões mais próximas dos polos, recebem maior incidência de energia. Este diferencial é a principal origem dos fenómenos atmosféricos (vento, formação das nuvens e movimentos) que proporcionam mecanismos de transferência de calor do equador para os polos influenciando o clima (Gourgel, 2012).

Os climas distinguem-se uns dos outros sobretudo pelas características e variação da temperatura e da precipitação. Essas variações decorrem de vários fatores dos quais se destacam (Gourgel, 2012):

- A latitude:
 - Que permite identificar climas quentes, temperados e frios, de acordo com a quantidade de radiação solar recebida;
 - Que corresponde a zonas de altas pressões atmosféricas, onde os climas são secos, ou a zonas onde dominam as baixas pressões, com climas mais húmidos;
- O relevo:
 - Que influencia a temperatura, dando origem a climas mais frios quando a altitude aumenta;
 - Que para altitudes muito elevadas dá origem a zonas com ar seco e onde ocorre pouca precipitação;
- A proximidade do oceano:
 - Nas margens dos continentes, onde os ventos marítimos são dominantes, os climas tendem a ser mais amenos e chuvosos.
- Continentalidade:
 - No interior dos continentes, longe dos ventos marítimos, os climas tendem a ser secos e com elevados contrastes de temperaturas.

No Anexo II são disponibilizadas informações adicionais sobre o clima, as quais têm como objetivo mostrar que em várias regiões do globo, designadamente nas zonas tropicais, as condições climáticas são semelhantes e, por isso, é possível adotar soluções construtivas semelhantes em diferentes localizações dessas zonas, designadamente para as estruturas de pavimentos de EBVT.

Note-se que os pavimentos são estruturas que estão muito expostas às ações climáticas. Por isso, as condições ambientais são um factor importante no dimensionamento, que condiciona os trabalhos de construção e conservação dos pavimentos, e também a segurança da circulação.

2.7 Materiais

2.7.1 Considerações gerais

Os materiais a utilizar são também um aspeto muito importante para o dimensionamento de pavimentos. Trata-se dum fator de tratamento complexo devido ao caráter linear das obras rodoviárias, o que conduz a que os materiais naturais mudem de características ao longo do traçado da estrada.

Em muitos casos os materiais locais existentes não possuem propriedades adequadas para cumprir os requisitos estabelecidos para as diferentes camadas de pavimentos. Quando isto acontece, pode recorrer-se a técnicas de melhoramento de solos. As técnicas de melhoramento de solos envolvem tanto os processos naturais (mistura de materiais de granulometrias diferentes) como artificiais (emprego de materiais que interagem quimicamente com o material natural, como o cimento). Este processo tem como objetivo melhorar a resistência mecânica dos materiais, garantindo que a melhoria se mantém ao longo da vida útil do pavimento (Marques, 2006).

Geralmente, os materiais são selecionados de acordo com as suas capacidades para desempenhar uma determinada função nos pavimentos. Essa capacidade é normalmente aferida pela verificação da conformidade com as especificações. Estas são estabelecidas com o objetivo de controlar os impactos das escavações, transporte, colocação e compactação, assim como o impacto em serviço associado ao tráfego e ao ambiente (Marques, 2006).

Os requisitos indicados nas especificações são geralmente baseados em atributos mensuráveis, tal como a granulometria, a plasticidade e a resistência. Idealmente as especificações devem basear-se em resultados de estudos de desempenhos passados, devendo incorporar aspetos construtivos que garantam o seu desempenho satisfatório (Marques, 2006).

O desempenho em serviço dos materiais não ligados é amplamente determinado por seis propriedades fundamentais, indicadas na Tabela 2.4. A avaliação das características destes materiais é frequentemente feita através de ensaios laboratoriais, suplementados por ensaios de compactação para determinar as características de compactação mais adequadas para o material, as quais influenciam bastante a capacidade de suporte do material.

Tabela 2.4 Características gerais determinadas para materiais granulares (Marques, 2006)

Caraterística do Material	Descrição das Propriedades do Material	Principais Ensaios Laboratoriais Utilizados Para Avaliar as Propriedades
Tamanho das Partículas	A proporção relativa de cada fração mais grossa de argila.	Análise granulométrica (ensaio de peneiração)
Plasticidade da Fração de Finos	As caraterísticas das partículas menores do que 0,425 mm com potencial para se comportarem como material plástico/coesivo com diferentes teores de humidade.	Ensaio do limite de liquidez Ensaio do limite de plasticidade Ensaio de retração
Capacidade de Suporte de Carga do Material Compactado	A capacidade dos materiais compactados para suportar cargas impostas em condições saturadas.	Ensaio de CBR (4 dias de embebição) Ensaio triaxial (não é prático para utilizar como ensaio de especificação por exigir procedimentos complexos)
Estabilidade Volumétrica	Resposta volumétrica do material compactado ao empolamento sob imersão. Indicador de suscetibilidade dos finos à humidade.	Medição do empolamento, durante 4 dias de imersão do ensaio de CBR
Resistência e Durabilidade das Partículas	A existência de resistência individual das partículas e a sua capacidade para manter a resistência durante o tempo de vida da estrada.	Ensaio de esmagamento de agregado (<i>Aggregate Crushing Value Test</i>); Relação húmido/seco; Ensaio de fragmentação de <i>Los Angeles Aggregate Impact Value Test</i> (AIV) Ensaio de resistência ao sulfato de sódio
Forma das Partículas	A angularidade das partículas de agregado e a sua capacidade de imbricamento (interligação).	Descrição visual Ensaio do índice de lamelação Ensaio do índice de alongamento

2.7.2 Camada de sub-base

Esta exposição segue de perto a descrição feita por Cook et al (2001).

A sub-base tem uma importante função como camada secundária de distribuição de cargas no pavimento, nomeadamente:

- Possibilita a redução das tensões causadas pelas cargas do tráfego, reduzindo-as para níveis aceitáveis de capacidade resistente da fundação;
- Atua como plataforma de trabalho para a construção das camadas superiores do pavimento;
- Atua como camada de separação entre a camada de fundação e camada de base do pavimento.

Em zonas tropicais, em pavimentos ligados e com boa drenagem, prevalecem as condições de humidade não-saturada e as especificações referentes à camada da sub-base não precisam de ser tão rígidas. A seleção dos materiais da sub-base depende das funções específicas da camada num determinado pavimento e do regime de humidade previsto, tanto em serviço como durante a construção.

Uma ampla gama de granulometrias das partículas do material pode ser considerada satisfatória para a utilização de um material na camada de sub-base. Na Tabela 2.5 indicam-se os limites do fuso granulométrico geralmente considerado adequado. As características recomendadas para o material face à presença da água são as apresentadas na Tabela 2.6. Quando se prevê um elevado teor de humidade é exigido um CBR mínimo de 30%, considerando geralmente uma compactação relativa de campo com um mínimo de 95% da baridade seca máxima obtida no ensaio de compactação pesada (pilão de 4,5 kg).

Em muitas circunstâncias as exigências do material da sub-base dependem da sua capacidade para suportar o tráfego dos equipamentos de construção sem que ocorra uma excessiva deformação ou desagregação. De facto, durante a construção, as condições de carga e/ou climáticas tendem a ser severas, exigindo-se um material de sub-base de elevada qualidade. Em condições de clima húmido, a exigência principal é ditada pela necessidade de o material suportar o tráfego dos equipamentos de construção.

Tabela 2.5 Guia para a granulometria dos materiais de sub-base (Cook et al, 2001)

Abertura do peneiro (mm)	Percentagem dos Passados (%)
50	100
37,5	80 – 100
20	60 – 100
5	30 – 100
1,18	17 – 75
0,425	9 – 50
0,075	5 – 25

Tabela 2.6 Guia para as características recomendadas para os materiais de sub-base face à presença de água (Cook et al, 2001)

Clima	Limite de Liquidez	Índice de Plasticidade	Limite de Retração Linear
Tropical húmido e Tropical muito húmido	< 35	< 6	< 3
Tropical sazonalmente húmido	< 45	< 12	< 6
Árido e semiárido	< 55	< 20	< 10

2.7.3 Camada da base (Cook et al, 2001)

A camada de base é a principal camada de distribuição de cargas do pavimento. Uma vasta gama de materiais pode ser utilizada como camada de base de pavimentos, incluindo cascalhos naturais escavados, pedras extraídas britadas e peneiradas, desde que reúnam as condições específicas para serem aplicadas na camada de base. O que inclui materiais estabilizados mecanicamente ou modificados. As propriedades dos materiais naturais podem ser melhoradas através de estabilização com cimento, cal ou betume.

A adequação do uso dos materiais depende principalmente do nível do tráfego previsto e do ambiente local. Espera-se que os materiais da camada de base tenham uma granulometria, forma das partículas e resistência que proporcionem uma elevada estabilidade mecânica. Os materiais devem conter uma suficiente quantidade de finos de baixa plasticidade de modo a produzir camadas densas, com menos de 5% de vazios quando compactados.

Em geral, para materiais de base está especificado um índice de plasticidade máximo de 6 % e um requisito mínimo de CBR de 80%, após 4 dias de imersão (ou 60 % de CBR para regiões com menos de 250 mm de precipitação média anual). A Tabela 2.7 apresenta três fusos granulométricos recomendados para camada de base, aplicáveis a materiais com diferentes dimensões nominais máximas das partículas.

Tabela 2.7 Guia para a granulometria recomendada para materiais granulares naturais a utilizar em camadas de base (Cook et al, 2001)

Abertura do Peneiro (mm)	Dimensão Nominal Máxima da Partícula		
	37,5 mm	20 mm	10 mm
	Percentagem de material passado		
50	100	-	-
37,5	80 – 100	100	-
20	60 – 80	80 – 100	100
10	45 – 65	55 – 80	80 – 100
5	30 – 50	40 – 60	50 – 70
2,36	20 – 40	30 – 50	35 – 50
0,425	10 – 25	12 – 27	12 – 30
0,075	5 – 15	5 – 15	5 – 15

2.7.4 Seleção e uso dos materiais não padronizados

Os materiais são agrupados com base nas suas características geológicas e físicas, pois estes dois grupos de fatores tendem a estar inter-relacionados. Esta classificação poderá servir de ajuda no meio técnico para a utilização de mapas e referências geológicas durante os estudos para identificar e avaliar potenciais fontes de materiais de construção rodoviária.

Esta secção aborda de forma um pouco mais detalhada algumas características dos materiais que condicionam muito o seu comportamento, tais como:

- Materiais de elevada plasticidade;
- Materiais mal graduados;

- Materiais com partículas de formatos inadequados;
- Materiais de fraca resistência;
- Materiais de fraca durabilidade.

No Anexo III – Materiais (não padronizados), faz-se uma apreciação de cada um dos grupos de materiais acima mencionados e das questões de utilização associadas, nomeadamente no que se refere aos seguintes aspetos:

- Os problemas associados ao incumprimento de alguns requisitos habituais para a utilização prevista;
- Métodos de ensaio e técnicas de análises para avaliação e limitação dos problemas;
- Características das partículas que influenciam fortemente o comportamento do material;
- Estratégia de conceção do pavimento para possibilitar o emprego de materiais que não cumprem os requisitos típicos para uma determinada utilização;
- Opções de melhorias da qualidade e desempenho dos materiais.

2.7.4.1 Materiais de elevada plasticidade

A elevada plasticidade está associada principalmente à presença da argila na fração fina do material granular. A presença de finos argilosos e a exposição à água resultam num fraco desempenho do material granular.

O método mais simples de avaliação das características dos finos argilosos é a determinação dos limites de *Atterberg*. Este ensaio fornece índices para a porção de material mais fino que 0,425 mm.

Têm sido utilizados parâmetros para avaliar a relação entre a plasticidade e o teor de finos, designadamente os seguintes:

- Módulo de Plasticidade = Índice de plasticidade x % passados no peneiro de 0,425 mm;
- Produto da Plasticidade = Índice de plasticidade x % passados no peneiro de 0,075 mm;
- Produto de retração = Limite de retração x % passados no peneiro de 0,425 mm.

2.7.4.2 Materiais Mal Graduados

A granulometria do material natural, como é o caso dos cascalhos naturais, pode não cumprir os requisitos construtivos nos seguintes aspetos:

- A mistura ser muito grosseira;
- A mistura ser muito fina;
- A mistura ter falta de alguma fração (falta de partículas de dimensões intermédias).

Ao longo dos tempos, as misturas mal graduadas têm sido associadas a vários dos defeitos apresentados a seguir.

Misturas muito grosseiras:

- Estabilidade reduzida e aumento do risco de ruína por corte;
- Risco acrescido de assentamento ou deformação permanente quando sujeito às ações do tráfego;

-
- Dificuldade de compactação;
 - Bombagem de finos (no caso de entrar água para o interior das camadas do pavimento);
 - Aparecimento de covas;
 - Fraco acabamento superficial.

Demasiados finos:

- Fraca resistência de compactação e aumento do risco de deformação permanente;
- Grande potencial para o surgimento do fenómeno de capilaridade;
- Suscetibilidade à humidade.

Misturas com falta de frações intermédias:

- Dificuldade de compactação;
- Aumento do risco de assentamento ou deformação permanente quando sujeitos às ações do tráfego;
- Bombagem dos finos.

Normalmente a granulometria dos materiais é avaliada em amostras representativas submetidas a um processo de separação por gamas de dimensões. Para as areias e gravilhas são utilizados peneiros. No caso de materiais constituídos por partículas muito finas é utilizado o ensaio de sedimentação. Embora nas normas, em geral, seja indicada a utilização de peneiração seca e com lavagem. Os agregados que possuem partículas de siltes ou de argilas requerem a utilização de peneiração com lavagem, a fim de remover as partículas finas.

Normalmente são utilizados os seguintes índices para a avaliação da graduação dos materiais:

- Fração fina (FF) = Peneiro (P) 0,075/P0,425
- Coeficiente de graduação (CG) = $(P_{26,5} - P_{2,00}) \times P_{4,75} / 100$
- Módulo de graduação (MG) = $[300 - (P_{2,00} + P_{0,425} + 0,075)] / 100$
- Índice do material grosso = $(100 - P_{2,36})$
- Índice de material fino = P0,075

O parâmetro P0,425 significa percentagem do material passado no peneiro de 0,425 mm. Esta lógica de nomenclatura aplica-se de igual forma para as outras dimensões da malha dos peneiros.

Índice dos materiais rejeitados (ou índice de sobre tamanhos) é a percentagem dos materiais retidos no peneiro de 37,5 mm.

Podem ser utilizados alguns métodos com o objetivo de melhorar as características destes materiais, tais como:

- Processamento de materiais (esmagamento e ou triagem);
- Estabilização mecânica;
- Modificação à base de cimento e/ou de cal, para ajudar na resolução do problema do excesso de presença dos finos.

2.7.4.3 Materiais de Formatos Inadequados

São considerados agregados de formatos inadequados não apenas os que apresentam formatos demasiados laminados ou alongados mas também quando apresentam um formato demasiado arredondado. Embora não seja estritamente um critério de forma, a textura da superfície também é incluída no grupo dos materiais de formato inadequado, particularmente texturas lisas e polidas, se estiverem associadas a partículas demasiado arredondadas.

Os materiais de formatos inadequados podem apresentar os seguintes defeitos:

- Materiais de formatos demasiados arredondados (quando associado a texturas lisas e polidas);
- Perda de estabilidade e fraco imbricamento entre partículas;
- Dificuldade de compactação;
- Baixa densidade e elevado teor de vazios;
- Fraca estabilidade.

Materiais de formatos alongados ou laminados:

- Quebra das partículas ou o seu esmagamento (devido ao formato);
- Problemas de compactação e elevado teor de vazios.

O formato da partícula é normalmente definido pela *British Standard* (BS, 1990a) em termos do índice de lamelação (If) e de alongamento (Ia). No qual:

- If = Massa das partículas cuja dimensão média é pelo menos menor que 6/massa total;
- Ia = Massa das partículas cuja dimensão longa é maior que 1,8/massa total.

Por outro lado, podem utilizar-se alguns processos a fim de melhorar as características destes materiais, nomeadamente:

- Materiais demasiados arredondados – esmagamento do material;
- Materiais de formatos laminados ou alongados – esmagamento (procedimento modificado, como britagem de alto impacto);
- Modificação mecânica com outros materiais.

2.7.4.4 Materiais de Fraca Resistência

Os materiais podem ser considerados fora do padrão em termos de resistência. Este facto normalmente está ligado às seguintes causas:

- Defeitos inerentes à sua formação (por exemplo o xisto, alguns arenitos, algumas rochas metamórficas);
- Endurecimento fraco ou incompleto (por exemplo rochas sedimentares, materiais manufaturados e os restos);
- Efeito das intempéries.

Estes materiais (de fraca resistência) apresentam os seguintes defeitos:

- Cedência quando sujeito à compactação ou ao tráfego;
- Produção de excessivos finos;
- Resistência reduzida à compactação;
- Risco acrescido de assentamento ou de deformação permanente quando sujeito ao tráfego.

Para a avaliação destes materiais utiliza-se normalmente o ensaio de *Aggregate Impact Value* (AIV), o *Aggregate Crushing Value* (ACV) e o seu ensaio complementar de 10% *Fine Aggregate Crushing Test* (10%FACT).

No entanto, para estes ensaios requerem-se algumas adaptações por se tratar de materiais de fraca resistência, portanto não padronizados.

O ensaio de AIV avalia a capacidade de as partículas de agregado resistirem a 15 pancadas (com pesos normalizados) deixados cair de uma altura regulamentada, medindo-se a quantidade de finos produzidos que passam no peneiro de 2,36 mm.

O ensaio ACV avalia a resistência das partículas dos agregados sujeitos a um carregamento contínuo de 400 kN num período de 10 minutos e, por fim, mede-se a quantidade de finos, assim como no ensaio de AIV.

Além disso, podem utilizar-se alguns métodos a fim de melhorar as características destes materiais, através dos seguintes meios:

- Triagem dos materiais;
- Estabilização mecânica;
- Modificação à base de cal e de cimento.

2.7.4.5 Materiais de Fraca Durabilidade

A durabilidade pode ser definida como a capacidade de um material manter a sua integridade mecânica e físico-química durante o tempo de vida útil do projeto. O problema da durabilidade pode manifestar-se a curto prazo (ocorre durante a construção) ou a longo prazo (ocorre com o pavimento já em serviço). As degradações são semelhantes às dos que ocorrem nos materiais de fraca resistência.

Na prática os procedimentos da avaliação da durabilidade envolvem a avaliação do comportamento dos agregados quando sujeitos à imposição de alguma forma de degradação artificial ou de intempéries. Alguns ensaios como o de fragmentação de *Los Angeles* (LAA) englobam tanto a avaliação da resistência como da durabilidade.

Podem utilizar-se alguns métodos a fim de melhorar as características destes materiais, através dos seguintes meios:

- Triagem dos materiais;
- Estabilização mecânica;
- Modificação à base de cal e/ou cimento.

2.7.5 Tratamento dos Materiais - Seleção do Método (Cook et al, 2001)

Os principais fatores a serem considerados aquando da seleção dos métodos de tratamento mais adequados são os seguintes:

- O tipo de material a ser tratado;
- As condições climáticas do local;
- Tipo de uso proposto para o material estabilizado;
- A capacidade e experiência da equipa (mão de obra qualificada);

- A disponibilidade das instalações de construção especializada;
- A disponibilidade das instalações de ensaio para a investigação e subsequente controlo de qualidade;
- Custos relativos.

A Tabela 2.8 fornece a orientação inicial da seleção do método de tratamento adequado para os materiais naturais, baseando-se nas suas características de classificação (graduação) e plasticidade. A gama habitual da adequação para a aplicação dos vários tipos de estabilização é definida pela percentagem do material passado no peneiro de 0,075 mm e o índice de plasticidade (IP) do solo.

Tabela 2.8 Guia de seleção do método de estabilização (Cook et al, 2001)

Parâmetros	Mais de 25% Passados no Peneiro de 75 µm			Menos de 25% Passados no Peneiro de 75µm		
Índice de Plasticidade (IP)	IP≤10	10<IP<20	IP≥20	IP≤6 IP×% passados 75 µm≤60	IP≤10	IP>10
Meio de Estabilização						
Cimento e Misturas com Cimento	Sim	Sim	Talvez	Sim	Sim	Sim
Cal	Talvez	Sim	Sim	Não	Talvez	Sim
Betume	Talvez	Talvez	Não	Sim	Sim	Não
Betume/Misturas com Cimento	Sim	Talvez	Não	Sim	Sim	Talvez
Material Granular	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Talvez
Outros produtos Químicos	Não	Sim	Sim	Não	Talvez	Sim
Legenda						
Normalmente Compatível		Compatibilidade Incerta		Normalmente Não Compatível		

Os fatores climáticos podem influenciar significativamente a escolha do tipo de tratamento e a viabilidade da construção. Para além disso, em áreas muito húmidas onde o teor de humidade do material do pavimento é elevado, é importante assegurar que a resistência do material tratado é adequada em condições húmidas, e que a sua suscetibilidade à variação da humidade é baixa. As condições climáticas e o ambiente em que se encontra o pavimento também influenciam a resistência do material estabilizado à carbonatação.

Quando os materiais contêm uma quantidade considerável de material fino de elevada plasticidade, e/ou uma proporção relativamente alta de partículas fracas pode tornar-se pouco

prático, ou mesmo impossível, produzir um material satisfatório, particularmente para estradas de tráfegos elevados.

Nestas condições, estes materiais podem ser melhorados através da mistura com outros materiais de modo a resultar numa mistura de melhores características (estabilização mecânica), ou por tratamento com aditivos, tais como cimento, cal ou betume, ou ainda, por meio de produtos químicos apropriados para este objetivo (Cook et al, 2001).

Os aditivos que podem ser utilizados para o tratamento dos materiais incluem:

- Materiais granulares (estabilização mecânica);
- Cimento Portland;
- Mistura de cimento (cimento e cal, cimento e betume, entre outros);
- Cal (cal hidratada e cal viva);
- Betume (incluindo emulsões);
- Produtos químicos sintéticos;
- Cloreto e sais de sulfato.

2.7.5.1 Estabilização Mecânica (SATCC, 2003)

A estabilização mecânica é o método mais simples e, normalmente, mais barato em relação aos restantes tipos de tratamentos acima mencionados. Este método consiste na mistura de dois ou mais materiais não padronizados, por exemplo a mistura de gravilhas ou britas com areias. Este tipo de tratamento normalmente resulta nas seguintes vantagens:

- Aumento do CBR;
- Redução do índice de plasticidade (IP);
- Redução do teor ótimo de humidade (OMC);
- Melhoramento da trabalhabilidade do material.

A mistura de um material (natural) com outro é uma forma direta de melhorar as suas características de classificação (graduação) e de plasticidade.

2.7.5.2 Estabilização Química (SATCC, 2003)

O principal objetivo da estabilização química é de melhorar a adequação dos materiais não padronizados disponíveis localmente para a utilização nos pavimentos e, por conseguinte, evitar a necessidade de importação. Por sua vez, os materiais tratados passam a ter os seguintes melhoramentos:

- Aumento da resistência e estabilidade;
- Melhoramento da capacidade de distribuição de cargas;
- Aumento da resistência à erosão;
- Redução da sensibilidade à mudança do teor de humidade;
- Melhoramento da trabalhabilidade dos materiais.

E alguns métodos utilizados para o tratamento dos solos incluem:

- a. Tratamento à base de cimento;
- b. Tratamento à base de cal;
- c. Tratamento à base de outros produtos químicos.

a. Tratamento de solo com cimento

No caso de materiais granulares que exibam uma resistência de CBR (após embebição) inadequada, e ou características de plasticidade ligeiramente elevadas, as modificações com cimento Portland podem ser uma opção económica para elevar a qualidade do material aos padrões exigidos.

Podem ser usadas pequenas quantidades de cimento para reduzir a suscetibilidade à humidade, aumentar a resistência ao corte e a capacidade de suporte.

Os materiais com graduações muito finas, com fracas características de imbricamento (interligação) entre partículas normalmente não devem ser utilizados para construções de camadas de base, pois podem deteriorar-se rapidamente em serviço. É sugerido como guia, que o módulo de resiliência antes do tratamento não deve ser inferior a do que 1,75 MPa para a camada de base e 1,5 MPa para a camada de sub-base.

No Anexo III encontra-se a Tabela III.9, onde são apresentadas as recomendações concernentes aos materiais de base e sub-base modificados com cimento.

Quando se pretende o desenvolvimento significativo da resistência à tração e à compressão do material (em geral, acima de 0,8 MPa no ensaio de compressão uniaxial), não se consegue evitar o aparecimento do fendilhamento nas camadas estabilizadas com cimento, tendo este de ser considerado uma característica do material. O fendilhamento inicial pode ser causado por retração na secagem ou por efeitos térmicos, ou pelos dois fenómenos. A longo prazo, com a repetição de carregamentos, podem surgir fendas de fadiga no pavimento.

O fendilhamento deve ser controlado de modo a não ter um efeito adverso no pavimento. As fendas de retração podem ser limitadas pela utilização de procedimentos de construção e de cura apropriados que ajude a prevenir o aparecimento de fendas largas na superfície betuminosa. Com esse objetivo, aplicam-se os seguintes princípios:

- Os materiais com elevado teor de ligante estabilizador são mais suscetíveis ao fendilhamento. Assim, o teor do estabilizador deve ser o mais baixo possível e preferencialmente limitado a um máximo de 5%;
- Pode evitar-se o surgimento das fendas de reflexão na superfície do pavimento se o material estabilizado for utilizado na camada de sub-base, e na camada de base for utilizado um material não ligado (granular);
- O teor de humidade de compactação não deve ser desnecessariamente elevado. O fendilhamento é proporcional à quantidade de humidade que se perde (ao longo da secagem), portanto, quanto mais húmido o material na altura da compactação, maior será o grau de fendilhamento;
- Por norma, os materiais a tratar devem ter um índice de plasticidade (IP) abaixo de 15%;
- Limite de liquidez (LL) abaixo de 40%;

-
- Percentagem dos materiais passados no peneiro de 0,075 mm deve estar no intervalo dos 10-30%;
 - Sempre que possível, deve adiar-se a construção da camada superficial até que alguma ou maior parte do fendilhamento já tenha ocorrido. No entanto, a camada deve estar devidamente curada de forma a evitar a carbonatação;
 - A utilização de misturas de cimento (como cimento e cinzas volantes, cimento e cal, cimento e betume) pode produzir um padrão de fendas por retração menos prejudicial.

A utilização de misturas de cimento, ou cal e cinzas volantes, ou com outros materiais pozolânicos, pode ser vantajosa na estabilização à medida que aumenta o tempo de trabalho para a compactação e trabalhos de acabamentos, reduzindo a possibilidade do desenvolvimento de fendilhamento.

Se as fendas se propagarem para a camada betuminosa, deve providenciar-se uma reparação o mais rápido possível a fim de evitar que a humidade penetre no interior no pavimento. A perda da superfície selada ou a perda da sua capacidade impermeabilizante também faz com que o dióxido de carbono penetre no pavimento e provoque o processo de carbonatação na camada estabilizada.

Mais informações sobre a utilização do cimento para o melhoramento dos materiais de pavimentos rodoviários podem ser encontradas no Anexo III, ponto 9.1.

b. Tratamento de solo com cal

Geralmente, a cal é um melhor aditivo em relação ao cimento para estabilizar materiais naturais plásticos, aumentando a rigidez dos materiais mesmo com teores de cal baixo.

A cal não é em geral muito eficaz no tratamento de materiais de fraca coesão, recomendando-se, como regra, que o material tenha um IP mínimo de 10%. Embora para alguns materiais naturais, como alguns tipos de arenitos e granitos decompostos, pode exibir um ganho considerável de resistência por meio de tratamento à base de cal, mesmo que o IP seja inferior a 10%.

Os materiais tratados com a cal tornam-se menos plásticos, e mais fáceis de compactar. A estabilização com este tipo de produto, tendencialmente permite que as exigências da compactação sejam atingidas com um maior teor de humidade por baixar a curva da compactação através do aumento da componente da fase plástica na mistura.

O tratamento à base de cal é normalmente efetuado com cal hidratada ou apagada, (hidróxido de cálcio), ou cal viva (óxido de cálcio). A cal viva reage rapidamente na presença de qualquer teor de água para produzir cal hidratada com libertação de calor. A utilização de cal hidratada, por não dar origem a uma reação exotérmica tem uma utilização mais segura.

O tratamento com a cal tem um efeito imediato nas argilas, resultando na diminuição da plasticidade, embora isto varie de acordo com os minerais presentes nas argilas.

É importante que se adicione cal suficiente de modo a dar início a esta reação, o que também requer um ambiente altamente alcalino (pH maior do que 12,3). Através do teste do consumo inicial da cal (TCIC) identifica-se o teor de cal necessário para criar esta alcalinidade.

O tratamento à base de cal (ou cimento) é considerado inapropriado para o tratamento de alguns materiais, tais como:

- Materiais com grande teor de sílica, que pode resultar numa extrema reação alcali-sílica;
- Materiais que contenham minerais sulfuretos devem ser estudados devido ao efeito destrutivo – os materiais podem deteriorar e produzir ácidos que prejudicam os materiais estabilizados à base de cimento ou cal;
- Materiais com proporções elevadas de sais solúveis.

A Tabela III.9 no Anexo III faz o sumário das recomendações respeitantes aos materiais de base e sub-base modificados à base de cal.

c. Outras opções de estabilização química

Durante as últimas décadas passou a dispor-se de uma vasta gama de produtos químicos sintéticos estabilizadores. Estes podem ser utilizados como aditivos para melhorar a compactação, supressores de poeiras ou mesmo como agentes ligantes.

Os principais produtos disponíveis incluem:

- Produtos sulfatados de petróleo (PSP), também conhecidos como hidrocarbonetos de petróleo. Este é o grupo de aditivos utilizados principalmente na compactação e supressão de poeiras – produtos não ligantes. São aditivos que expulsam a água absorvida pelo solo, o que contribui para a diminuição dos vazios e melhorar a compactação.
- Sulfonatos de lignina, produtos bio, da indústria de papéis. Estes produtos podem formar fortes ligações entre as partículas do solo, e atua principalmente como produto ligante. Também pode atuar como auxiliar de compactação.

2.8 Drenagem

Outro dos aspetos fundamentais do projeto rodoviário é a drenagem. Esta consiste nas medidas tomadas para evitar que a água perturbe a utilização das estradas ou ponha em causa o seu tempo de vida útil. A água pode ser proveniente da precipitação, das interceções da estrada com linhas de água existentes ou, ainda, como resultado da existência de lençóis freáticos, cuja nível máximo se localize próximo das camadas do leito do pavimento (OTB, 2013).

O sistema de drenagem rodoviária é constituído geralmente por dois subsistemas: a drenagem superficial – relacionada com a precipitação e as interceções com as linhas de água; a drenagem de águas ascendentes – provenientes do subsolo e de roturas e falhas nas canalizações.

As deficiências na drenagem subterrânea causam maiores problemas aos pavimentos devido à sua complexidade de tratamento, enfraquecendo a capacidade de carga das camadas dos pavimentos rodoviários. Para além disso, muitas vezes só são notados em fases já muito evoluídas, causando patologias como deformações, ou mesmo, o colapso dos pavimentos.

Apesar de ser relativamente mais fácil intervir nos sistemas de drenagem superficial, quando estes não são devidamente estudados e cuidados e em casos extremos, como em alturas de muita chuva, resulta na destruição de troços de estradas.

2.8.1 Presença da humidade

Nem sempre é necessário que haja presença de grande quantidade de água para comprometer o desempenho dos pavimentos, principalmente quando se tratam de materiais naturais (não padronizados), pois tendem a ser sensíveis à humidade.

Um dos grandes desafios que os projetistas enfrentam é o de estabelecer uma estrutura de pavimento em que os efeitos prejudiciais da humidade estejam limitados e sejam aceitáveis para o nível de cargas do tráfego, a natureza dos materiais utilizados na construção e manutenção, e para o grau de risco que se pretende considerar (OTB, 2013).

É impossível garantir que as estradas se mantenham à prova de água durante a sua vida toda. Contudo, deve assegurar-se que as camadas suscetíveis de serem prejudicadas pela presença de água estejam protegidas. Para isso, deve manter-se uma boa inclinação nas camadas impermeáveis e um bom sistema de drenagem que permita que a água se escoe facilmente para fora da estrada (OTB, 2013).

Muitas vezes, é a interação da água, ou mais especificamente o seu movimento, dentro e na zona adjacente à estrada que tem um impacto global sobre o seu desempenho (Cook et al, 2001).

A principal influência da hidrologia, para além da forma como isso vai ditar a conceção da estrutura da estrada, refere-se à profundidade e à variação sazonal do nível freático. A drenagem superficial também é importante, particularmente em termos de drenagem, escoamento e características de dispersão do terreno. Se as possíveis fontes de água não são identificadas corretamente, não será possível projetar para as prováveis mudanças do estado de humidade que podem ocorrer durante a vida útil do pavimento. A existência de fontes de água deve, por conseguinte, ser investigada (Cook et al, 2001).

2.8.2 Desvio de água dos pavimentos

De modo a minimizar a erosão das valetas laterais, as águas drenadas devem ser descarregadas com a maior frequência possível, aproveitando as características do terreno para se fazerem as descargas do lado da estrada onde se encontra a valeta, a fim de se minimizar o custo das

passagens hidráulicas. Uma vala de desvio de água é utilizada para conduzir as águas aos terrenos adjacentes (onde se possa fazer a sua descarga). A Tabela 2.9 mostra os espaçamentos máximos das valas de desvio em função da inclinação e a Figura 2.4 mostra alguns *layouts* das valas de desvio de água.

Tabela 2.9 Declive vs intervalo máximo entre as valas de desvio e valetas laterais (ANE, 2014)

Inclinação das estradas (%)	12	10	8	6	4	2	<2
Intervalo máximo entre valas (m)	40	80	120	150	200	80 ¹	50 ²

Nota:

1 É preferível um máximo de 100 m mas não é essencial;

2 Com inclinações baixas há o risco de assoreamento.

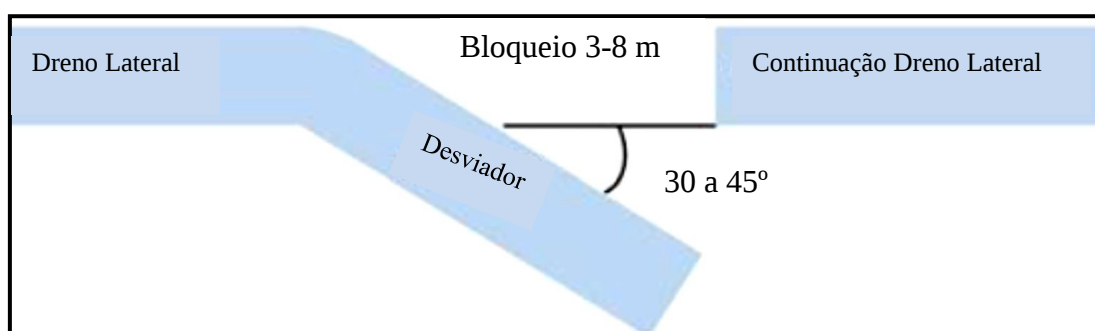


Figura 2.4 Layout esquemático das valas de desvio e valetas laterais de água (ANE, 2014)

O ângulo entre a vala de desvio e a drenagem lateral deve preferencialmente ser de 30 graus, mas nunca superior a 45 graus. A inclinação preferível da vala de desvio é de 2-5% e à medida que se desenvolve deve tornar-se gradualmente mais rasa. No final da vala é necessário se proceder à colocação de pedras para evitar erosões. Em terrenos planos, é necessário um pequeno declive de 1% ou de 0,5% para a descarga das águas, ou para evitar longos órgãos de drenagem.

2.8.3 Controlo das humidades durante a construção do pavimento (Austroads, 2003)

Conforme já mencionado, um dos fatores que contribuem fortemente para a degradação prematura dos pavimentos recém-construídos é a presença excessiva da humidade. Com o controlo do teor da humidade no pavimento durante a construção, resultará na redução do risco de degradação prematura do pavimento.

Medidas de prevenção

De modo a prevenir o aparecimento de excessiva quantidade de humidade no pavimento durante a construção, devem ser seguidas as seguintes medidas:

- Dar tempo suficiente para a superfície (camadas inferiores à betuminosa) do pavimento secar – Assegurar de que a camada de pavimento possa secar até atingir o teor de humidade especificado antes da aplicação da camada betuminosa;
- Programar os trabalhos de modo a minimizar a exposição à chuva – durante a estação chuvosa, deve construir-se secções curtas de pavimentos incluindo a camada de revestimento superficial, ao invés de construir toda a camada de sub-base, base e por fim o revestimento superficial;
- Reduzir a exposição dos materiais de pavimento armazenados à entrada de água – construir a zona de armazenamento em locais com a inclinação mínima de 5%, preferencialmente em queda cruzada;
- Minimizar o tempo em que o material não totalmente compactado é deixado na estrada – utilizar apenas a quantidade suficiente de material para cada dia de operação;
- Reduzir o teor da humidade utilizado para a compactação - construir o pavimento com o menor teor de humidade necessário para atingir a densidade especificada;
- Reduzir a quantidade de água necessária para a penetração superficial – a adição de água a um pavimento após a sua colocação deve ser suficiente para produzir uma superfície firme e coesa adequada para a aplicação do revestimento superficial;
- Colocação da camada superficial ligada o mais rápido possível – ou seja, logo que a camada anterior à superficial tenha secado e atingido o valor especificado do teor de humidade.

2.9 Considerações finais

Apesar de serem estruturas que dependem muito das condições ambientais e das características dos materiais, as estradas como meio de comunicação são essenciais para o desenvolvimento dos territórios onde se inserem.

Os países tropicais, em relação aos países fora da zona tropical, enfrentam grandes desafios, pois para além das condições ambientais desfavoráveis e dos aspetos técnico-económicos existe ainda a questão do impacto ambiental. Na construção das vias de comunicação terrestre, mais concretamente as estradas, deve haver uma boa gestão dos recursos existentes, uma vez que estes são finitos, e terem em conta os efeitos adversos que gerados durante a construção.

Além disso, para se obter estruturas capazes de responder de forma satisfatória às exigências das normas das estradas são necessários materiais de qualidade, o que na maior parte dos casos são difíceis de obter localmente. Com isso a utilização de aditivos (como o cimento e a cal) nos materiais com o objetivo de melhorar as suas características físico-químicas e a sua

trabalhabilidade é uma forma de resolver o problema de falta de materiais adequados para aplicação nas estruturas dos pavimentos.

Nas EBVT é essencial manter um bom sistema de drenagem, de modo a evitar que a água e a humidade atinjam o interior das estruturas resultando na sua degradação prematura.

3 CONCEÇÃO DE PAVIMENTOS DE EBVT E ESCOLHA DE ESTRUTURAS APLICÁVEIS ÀS CONDIÇÕES DE S. TOMÉ E PRÍNCIPE

3.1 Considerações Iniciais

São Tomé e Príncipe, como muitos dos países em vias de desenvolvimento, enfrentam dificuldades ao nível dos sistemas de transportes. Estas dificuldades vão desde a disponibilidade de recursos, condições climáticas variadas e complexas, pouco conhecimento sobre o tráfego que circula nas vias, assim como a carência de equipamentos de laboratório modernos e de tecnologias para a construção ou melhoramento dos pavimentos existentes.

A República Democrática de São Tomé e Príncipe é um país insular africano localizado no Golfo da Guiné. O seu território, com área total de 1001 km², é formado pelas Ilhas de São Tomé e do Príncipe, e vários outros ilhéus, de origem vulcânica, embora não existam vulcões ativos. Cerca de 145 km separam as duas ilhas principais.

São Tomé é uma ilha de relevos bastante acidentados. O Pico de São Tomé, com uma altitude de 2.024 m, é o ponto mais alto do país.

O clima é tropical húmido e marítimo. A temperatura média anual situa-se entre 21°C e 29°C, com mínimas de cerca de 15°C e máximas de cerca de 32°C. O País é atravessado pela Linha do Equador e pelo Meridiano de Greenwich, no Ilhéu das Rolas, a sul da Ilha de São Tomé (Climate-data, 2017).

De acordo com o Instituto Nacional de Estradas de São Tomé (INAE) em 2015, a rede nacional de estradas era constituída por 1167,752 km, dos quais 291,723 km possuíam revestimento superficial betuminoso nos pavimentos, e 18,164 km de camada superficial não ligada, conforme mostra a Tabela 3.1. As Figuras 3.1 a 3.3, elaboradas pelos Serviços de Planificação e Segmento Estratégico de São Tomé e Príncipe, apresentam o mapa das estradas existentes em São Tomé em 2015 e as suas localizações. Além disso, nas mesmas Figuras estão assinaladas as cidades desta ilha, ligadas pela rede de estradas.

Tabela 3.1 Resumo da extensão de estradas (em km) em São Tomé no ano de 2015 (fonte: INAE)

São Tomé	Tipologia				
TIPO	Asfalto	Terra	Calçada	Base	Total
NACIONAL	131,133	0	0	3,160	134,293
SECUNDÁRIA	99,676	0	0,220	0	99,896
TERCIÁRIA	0	845,851	17,944	0	863,795
URBANA	60,914	8,854	1,792,6	0	69,768
SUB-TOTAL	291,723	854,705	18,164	3,160	1 167,752

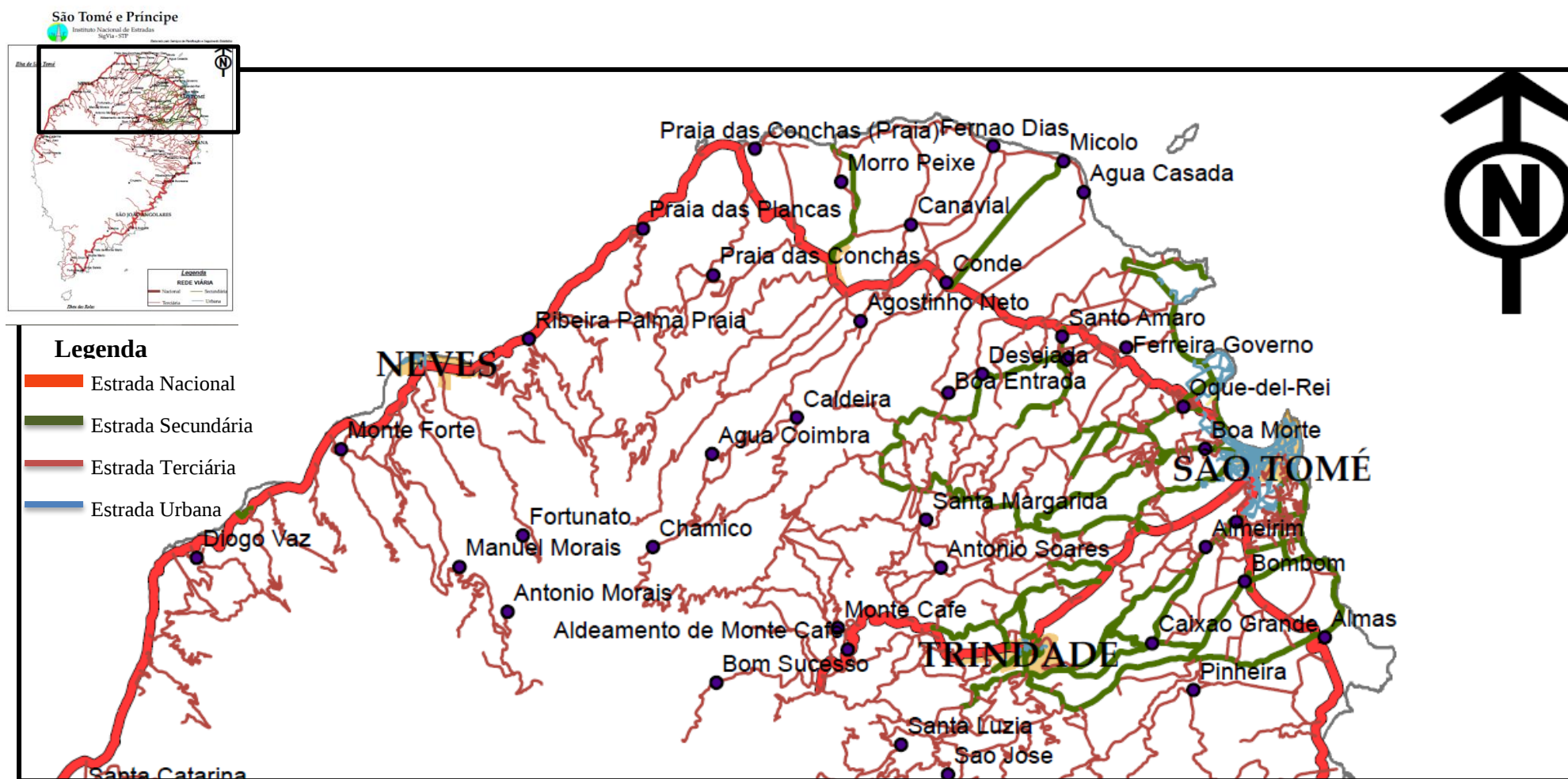


Figura 3.1- Rede Viária de São Tomé – zona norte (fonte: INAE)

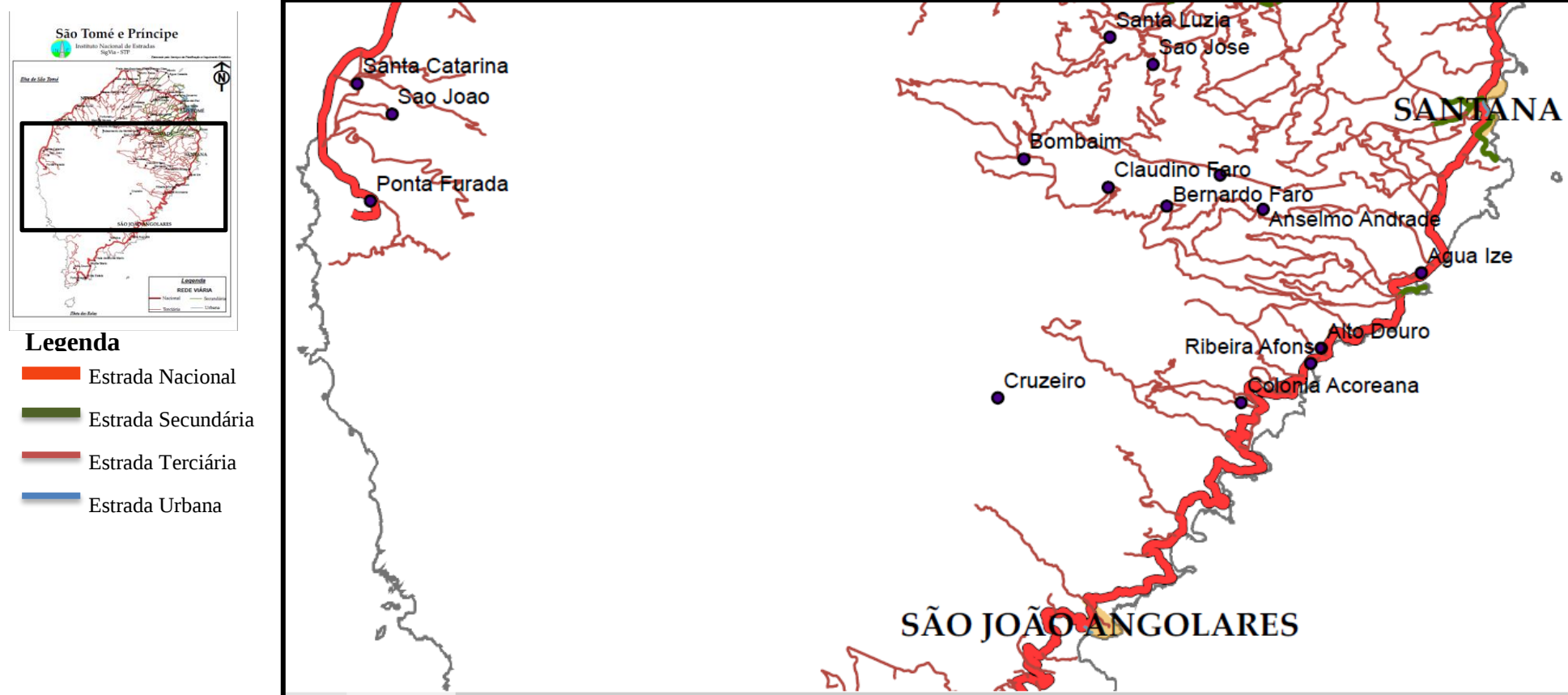


Figura 3.2 Rede Viária de São Tomé – zona central (fonte: INAE)

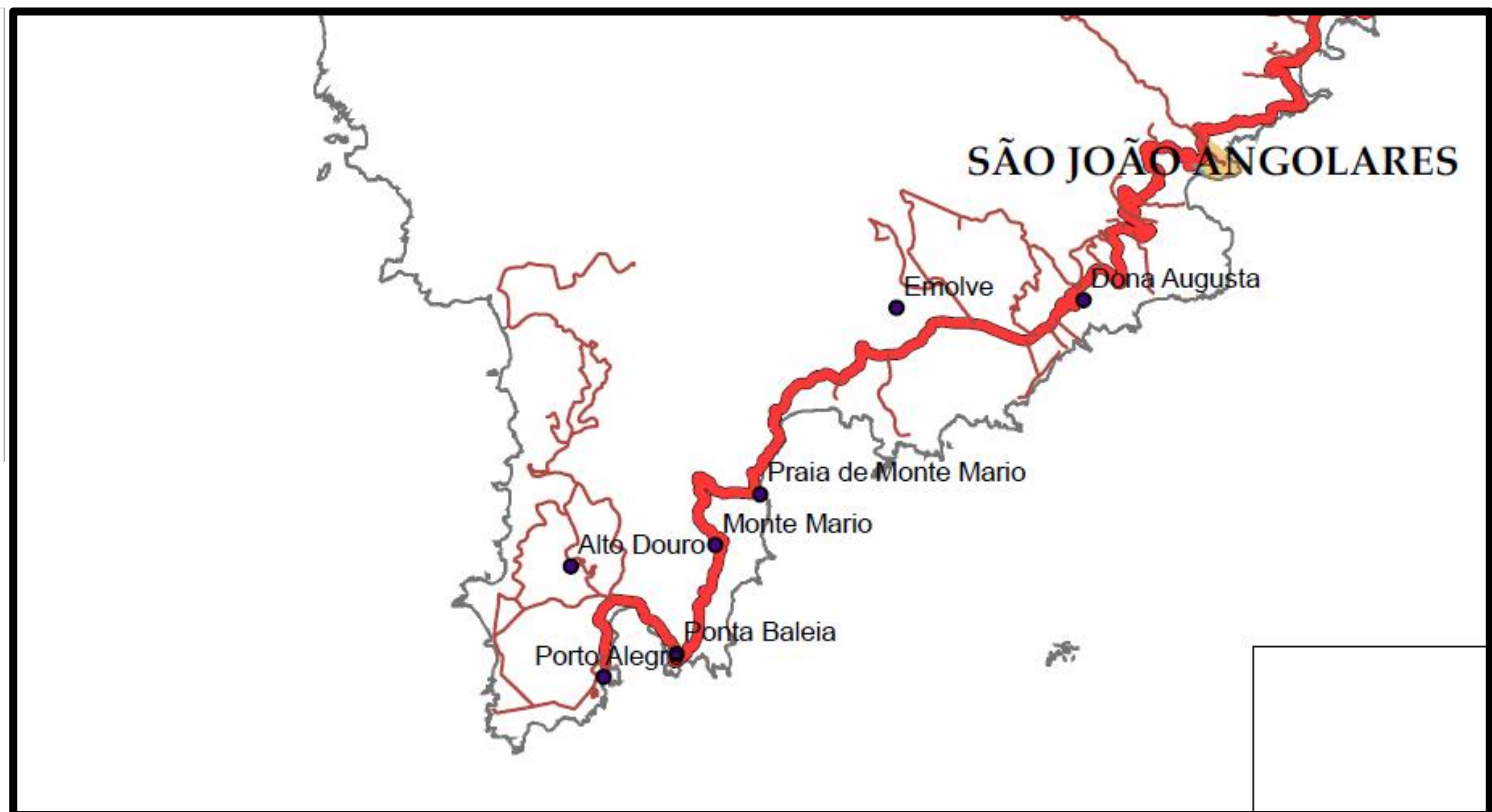
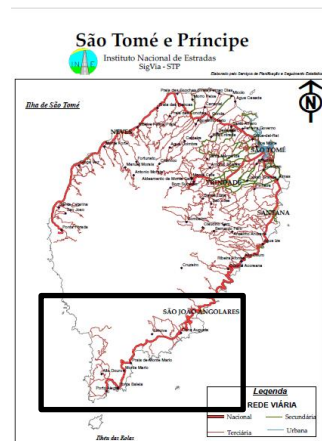


Figura 3.3 Rede Viária de São Tomé – zona sul (fonte: INAE)

As condições climáticas, a falta de conhecimentos técnicos por parte das entidades gestoras, o envelhecimento das camadas betuminosas, a falta de conhecimentos atualizados sobre as normas de construção e reabilitação, são algumas das principais causas que contribuem para o mau estado em que se encontram as estradas (AEE, 2015).

O mau estado das vias de comunicação normalmente manifesta-se através de assentamentos localizados, zonas ocas, deformações e fendas, bem como deteriorações originadas por insuficiente capacidade resistente da estrutura do pavimento. Além disso, por não haver controlo do tráfego em muitas das estradas, pode haver danos causados pela circulação de cargas acima do limite considerado nos projetos das estradas (AEE, 2015). A título de exemplo, na Figura 3.4 são apresentadas algumas fotos de uma das vias principais da ilha de São Tomé, em que devido aos fatores mencionados neste parágrafo e no anterior se encontravam num péssimo estado de conservação. As fotos apresentadas foram obtidas em 2013.



Figura 3.4 Consequências do mau estado de conservação das vias em STP

3.2 Condicionantes Climáticas de São Tomé e Príncipe

A conceção e o dimensionamento de pavimentos para a rede rodoviária de S. Tomé e Príncipe exigem a avaliação prévia das condições do clima prevalecente nas diferentes regiões, porquanto os fatores climáticos influenciam fortemente as soluções de pavimentação a adotar.

Em São Tomé existem duas estações: a estação mais seca (e fria durante as noites), correspondente aos meses de junho a setembro, e a estação de chuva (mais quente durante o dia), nos restantes meses do ano. A estação de chuva é o período no qual os pavimentos se encontram submetidos às piores condições de serviço, uma vez que a humidade e as temperaturas são geralmente mais elevadas.

Por se tratar de um território relativamente pequeno, não existem grandes diferenças de temperaturas e de precipitações entre as diferentes zonas do país. De acordo com os dados recolhidos no *site Climate-Data.ORG*, São Tomé pode caracterizar-se por uma temperatura média mensal de 25,4°C e uma precipitação total média anual de 1285 mm.

A Figura 3.5 mostra os dados mais detalhados relativos à temperatura e à precipitação típica em São Tomé ao longo de um ano.

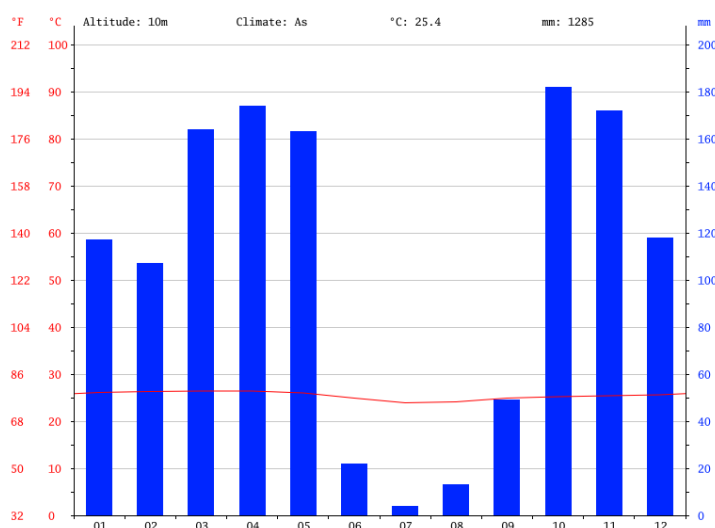


Figura 3.5 Temperatura e precipitação total média mensal em São Tomé (Climate-Data, 2013)

Como se pode observar, o mês de julho é o mais seco do ano com uma precipitação média total de 4 mm. No entanto é o mês mais fresco do ano, com uma temperatura média de 23,9°C. O mês de outubro corresponde à altura do ano de maior precipitação, com cerca de 182 mm. O mês de março é o mais quente com uma temperatura média de 26,4°C.

Verifica-se uma diferença de 178 mm entre a precipitação média total do mês mais seco e do mês mais chuvoso. As temperaturas médias mensais têm uma variação máxima de cerca de 2,5 °C durante o ano (Climate-Data, 2017). A Tabela 3.2 apresenta os valores da precipitação e as temperaturas médias mensais.

Tabela 3.2 Precipitação e temperaturas médias mensais em S. tomé (Climate-Data, 2017)

Meses	janeiro	fevereiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro	dezembro
Precipitação (mm)	117	107	164	174	163	22	4	13	49	182	172	118
Temperatura mínima °C	22,6	22,8	22,7	22,9	22,7	21,6	20,4	20,6	21,2	21,8	21,9	22,3
Temperatura máxima °C	29,7	29,8	30,2	29,9	29,3	28,2	27,5	27,6	28,7	28,7	28,9	28,9
Temperatura média °C	26,1	26,3	26,4	26,4	26	24,9	23,9	24,1	24,9	25,2	25,4	25,6

3.3 Tráfego

O tráfego é um dos parâmetros de maior importância para o dimensionamento dos pavimentos. Uma má estimativa do tráfego implica consequências negativas relativamente à capacidade de carga e durabilidade do pavimento, e ao conforto dos utentes das estradas.

A recolha de informações credíveis sobre o volume e a composição do tráfego são essenciais para diferentes aspetos do projeto de estradas, nomeadamente (Jorge, 2014):

- Projeto geométrico - o volume e a composição do tráfego, tanto motorizado como não motorizado, influenciará, entre outros aspetos, as dimensões do perfil transversal (faixa de rodagem e bermas);
- Projeto de pavimento - a deterioração dos pavimentos causada pelo tráfego resulta da magnitude e da frequência das cargas por eixo, pelo que o dimensionamento do pavimento requer informações sobre o número total de veículos que previsivelmente utilizará a estrada e as cargas por eixo;
- Segurança rodoviária - o volume, o tipo e as características do tráfego que utilizará a estrada irão influenciar o tipo de medidas de segurança rodoviária necessárias para garantir um ambiente rodoviário seguro, nomeadamente no que diz respeito à forma de acomodar os utentes mais vulneráveis da estrada, incluindo o tráfego não motorizado e pedonal.

Os danos nos pavimentos causados pelo tráfego resultam da magnitude das cargas individuais e do número de vezes que essas cargas são aplicadas, isto é, será necessário considerar não só o número total de veículos que utilizarão o pavimento como também as cargas sobre os eixos desses veículos. Os volumes de tráfego devem ser convertidos num número equivalente de cargas de um eixo-padrão ou, simplesmente, eixos-padrão (EP). Por isso, os estudos de tráfego devem distinguir os diferentes tipos de veículos.

3.3.1 MACOPAV (JAE, 1995)

Para o dimensionamento dos pavimentos rodoviários apenas é considerado o efeito do tráfego de veículos pesados. Por exemplo, o Manual de Conceção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional (JAE, 1995) considera como veículos pesados aqueles cujo peso bruto é igual ou superior a 3,5 toneladas-força.

O manual português considera, tal como é habitual para efeitos de dimensionamentos, o tráfego médio diário anual de veículos pesados no ano de abertura (TMDAp), por sentido de circulação, na via mais solicitada por esses veículos.

Como o pavimento deve assegurar a circulação do tráfego em dadas condições durante certo número de anos – período de dimensionamento – a verificação da capacidade de carga dos pavimentos é feita com base no número acumulado de veículos pesados que se prevê que venham a circular sobre o pavimento durante aquele período. O seu valor deve ser obtido a partir de informação relativa a contagens de tráfego.

Embora a circulação do tráfego pesado se faça predominantemente na via situada mais à direita, o tráfego pode repartir-se pelas diversas vias existentes num dado sentido, caso exista mais do que uma. No caso de duas ou mais vias no mesmo sentido poderão considerar-se as percentagens indicadas na Tabela 3.3 para a via mais solicitada.

Tabela 3.3 Percentagem do tráfego na via mais solicitada (JAE, 1995)

Número de vias	Via mais solicitada
2	90
3 ou mais	80

O dimensionamento dos pavimentos visa assegurar adequadas condições de circulação de tráfego durante o período de dimensionamento, minimizando a necessidade de obras de conservação nesse período. As condições de circulação envolvem os aspetos de segurança, economia e conforto que são proporcionados aos utentes.

Para os pavimentos flexíveis consideram-se geralmente períodos de dimensionamentos de 20 anos. A taxa média de crescimento anual do tráfego de pesados deve ser estabelecida tendo em consideração os diversos aspetos que condicionam a sua evolução ao longo do período de dimensionamento. O MACOPAV considera uma taxa média de crescimento que varia entre 3 e 5%. Este é um valor que depende da tendência de crescimento do número de veículos, pelo que para determinados locais o intervalo deste valor poderá ser diferente do apresentado pelo manual português.

O manual português considera um fator de agressividade para exprimir o efeito de um dado número de passagens de veículos pesados com características muito diversas. Aquele fator faz a conversão do número de passagens das diferentes tipologias de veículo pesado em eixos-padrão, sendo que este fator varia entre 2 e 5,5.

A variável que finalmente representa a ação do tráfego de pesados é o número acumulado de eixos-padrão. Este é calculado tendo em conta os valores admitidos para a taxa média de crescimento anual do tráfego e para o fator de agressividade, sendo dado através da seguinte expressão 3.1:

$$N_{80}^{dim} = 365 \times (TMDA)p \times C \times \alpha \times p \quad (3.1)$$

Em que:

N_{80}^{dim} – Número acumulado de passagens do eixo-padrão;

t – Taxa média de crescimento anual do tráfego pesado;

α - Fator de agressividade do tráfego;

p – Período de dimensionamento;

C – Fator de crescimento do tráfego que tem em conta o período de dimensionamento (p) e a taxa de crescimento (t), sendo dado equação 3.2:

$$C = \frac{(1 + t)^p - 1}{p \times t} \quad (3.2)$$

3.3.2 Etapas de quantificação do tráfego

Nesta secção são descritas as possíveis etapas do processo de previsão do tráfego para o dimensionamento do pavimento rodoviário (Figura 3.6, referido por Jorge, 2014).

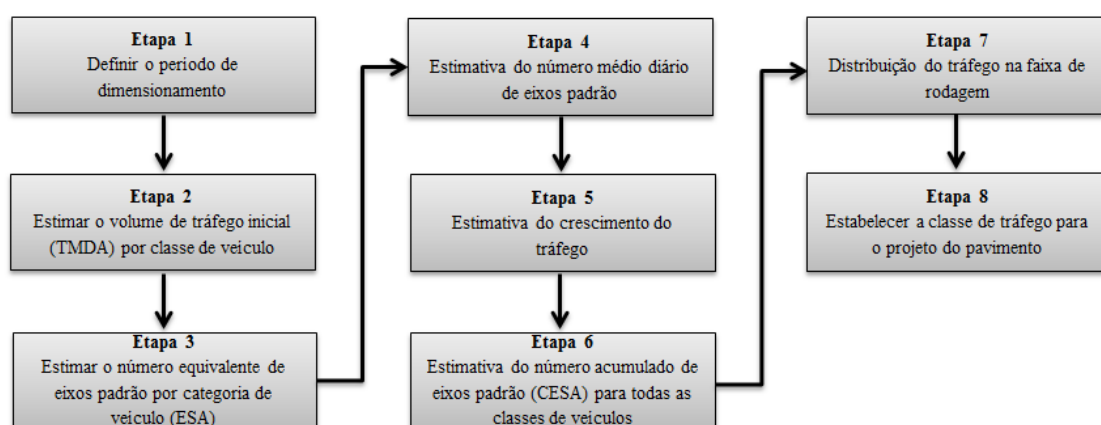


Figura 3.6 Procedimento para determinar a ação do tráfego de projeto (MTPW, 2013)

3.3.2.1 Período de dimensionamento (Etapa 1)

O número acumulado de cargas aplicadas pelo tráfego é calculado para o período de vida útil selecionado para o pavimento, servindo de base para o seu dimensionamento. Este período é definido como o intervalo de tempo, em anos, considerado apropriado para o pavimento da estrada desempenhar as suas funções adequadamente antes de atingir um estado de conservação considerado terminal, após o qual será necessário realizar operações de reabilitação ou de reconstrução significativas. A Figura 3.7 ilustra a definição do período de dimensionamento e da variação no tempo do estado de conservação (ou capacidade de serviço), até atingir um nível de serviço terminal, traduzido, por exemplo, pela qualidade proporcionada à circulação de

veículos (irregularidade superficial), ou por um índice global de qualidade que incorpora o efeito de várias patologias (MTPW, 2013).

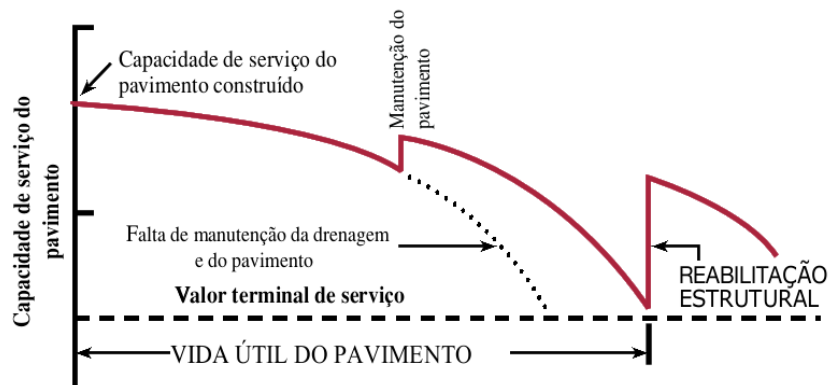


Figura 3.7 Vida útil estrutural do pavimento (MTPW, 2013)

A vida útil de um pavimento depende de alguns fatores, incluindo, em particular, a sua função. Assim, para o caso de um eixo principal rodoviário que cumpre uma função económica importante e transporta grandes volumes de tráfego, onde qualquer perturbação importante se torna dispendiosa, normalmente, o pavimento será projetado para uma vida útil mais longa do que uma estrada de menor importância que cumpre uma função principalmente de desenvolvimento primário ou social, e que é utilizada por volumes relativamente baixos de tráfego.

Os vários fatores que influenciam a escolha do período de dimensionamento incluem:

- A importância estratégica da estrada (ou seja, a sua classificação);
- Estratégias de manutenção (estradas com altos volumes de tráfego exigem longos períodos de baixa atividade de manutenção);
- Considerações de financiamento;
- O tempo previsto para a reabilitação estrutural da estrada;
- A probabilidade de que outros fatores para além do tráfego (por exemplo, uma fundação altamente reativa) causem problemas que impliquem uma grande reabilitação antes da ocorrência de danos relacionados com as cargas do tráfego.

A Tabela 3.4 fornece algumas orientações sobre a seleção de vida útil de um projeto.

Tabela 3.4 Guia para seleção da vida útil de um projeto (MTPW, 2013)

Fiabilidade dos dados de Projeto	Importância / Nível de Serviço	
	Baixo	Alto
Baixa	10 anos	10 – 15 anos
Alta	10 – 15 anos	15 – 20 anos

3.3.2.2 Estimar o volume de tráfego inicial por classe de veículo (Etapa 2)

O volume inicial do tráfego para cada classe de veículo é determinado com base em levantamentos de tráfego apropriados para estabelecer o volume de tráfego por classe, em termos de TMDA no momento de abertura da estrada. Os dois tipos mais comuns utilizados para o levantamento de tráfego em EBVT são:

- Levantamento automático do tráfego (contadores de tráfego com sensores de pesagem em movimento);
- Levantamento de tráfego manual.

O objetivo de ambos os métodos mencionados acima é essencialmente obter uma estimativa do TMDA que passa numa determinada estrada, desagregado por tipos de veículos.

Os erros na estimação do tráfego em EBVT podem ser reduzidos aplicando as seguintes regras (MTPW, 2013):

- A contagem ser feita em sete dias consecutivos;
- Em alguns dias fazer a contagem durante 24 horas, preferencialmente alguns destes dias (pelo menos um) ser um dia de semana e outro durante o fim de semana; nos outros dias deve fazer-se a contagem de 16 horas (normalmente das 06 às 22 horas) e fazer a extrapolação da contagem para 24 horas;
- Evitar a contagem nas alturas em que o trânsito cresça anormalmente; por exemplo, após o pagamento dos salários, ou nas alturas da colheita, feriados públicos ou outra ocasião qualquer em que o trânsito seja anormalmente alto ou baixo;
- Se possível, repetir os setes dias de contagem em outras alturas durante o ano.

Deve ter-se muito cuidado na escolha do local de contagem a fim de garantir uma boa estimativa do tráfego a utilizar a estrada (ANE, 2014).

3.3.2.3 Estimar o número equivalente de eixos-padrão por categoria de veículo (EP) (Etapa 3)

São necessários dados da carga dos veículos que, se espera, irão utilizar a estrada, para determinar o coeficiente médio de equivalência – EF (*Equivalence Factor*) para cada categoria de veículos. Trata-se de um parâmetro que permite transformar os veículos de cada uma das classes em eixos-padrão.

O poder que um eixo, com determinada carga, tem para induzir dano estrutural no pavimento é geralmente expresso em termos de um número equivalente de eixos-padrão. Esta simplificação reduz de forma conveniente a natureza variada das cargas do tráfego, transformando a diversidade de eixos existente num único parâmetro – o eixo-padrão (EP) – para efeitos da quantificação de danos estruturais no pavimento.

Para determinar o dano estrutural no pavimento, ou seja, a percentagem da capacidade resistente que é consumida pelo tráfego, é necessário determinar o número acumulado de eixos-padrão

que o pavimento suporta durante a sua vida útil. Isso é efetuado com base no número total de veículos pesados que previsivelmente utilizará a estrada ao longo deste período (Jorge, 2014).

A relação entre o coeficiente de equivalência de um eixo, EF , e a carga por eixo é dada pela Equação 3.3 (ERA, 2011):

$$EF = (P/8160)^n \quad (\text{cargas em kgf}) \quad (3.3)$$

$$EF = (P/80)^n \quad (\text{cargas em kN})$$

Onde:

EF - Coeficiente de equivalência de uma carga P em número de eixos padrão;

P - Carga por eixo (em kgf ou kN);

n – Expoente de dano relativo (no caso das EBVT pode adotar-se um valor de n de 4).

O valor n é influenciado por vários fatores, sendo os mais significativos o tipo de materiais utilizados na estrutura do pavimento (por exemplo, granular / granular, granular / solo estabilizado com cimento, betuminoso / solo estabilizado com cimento) e a espessura do pavimento (ERA, 2011).

3.3.2.4 Estimativa do número médio diário de eixos-padrão (Etapa 4)

A estimativa do número médio diário de eixos-padrão (DESA) é obtida a partir dos dados de tráfego obtidos na Etapa 2 e de EF calculados na Etapa 3, através da Equação 3.4 (Jorge, 2014):

$$DESA = TMDA \times EF \quad (3.4)$$

3.3.2.5 Estimativa do crescimento do tráfego (Etapa 5)

Após o estabelecimento do tráfego no ano de entrada ao serviço, é necessário estabelecer o tráfego total a considerar no dimensionamento com base nas previsões de crescimento do tráfego. Para prever esse crescimento, é necessário avaliar o tráfego nas seguintes categorias (Figura 3.8):

- Tráfego normal - Tráfego que iria passar ao longo da estrada existente mesmo sem a melhoria no pavimento da estrada;
- Tráfego desviado - Tráfego que muda de uma outra rota (ou modo de transporte) para a estrada por causa da melhoria do pavimento, mas que ainda viaja entre a mesma origem e destino;

- Tráfego gerado - Tráfego que ocorre em resposta à melhoria no pavimento da estrada.

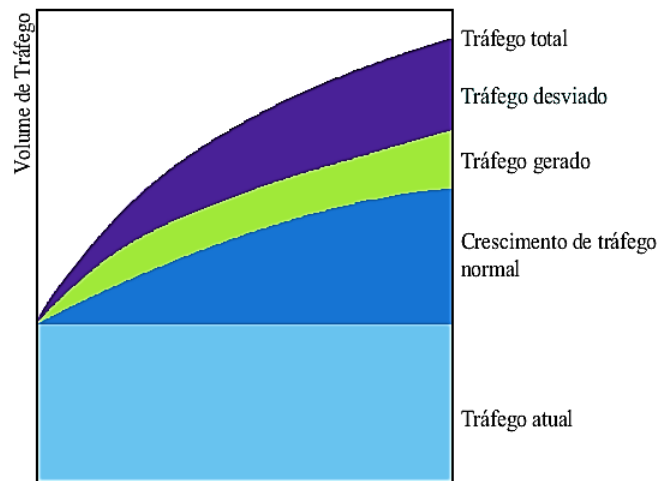


Figura 3.8 Desenvolvimento do tráfego de uma estrada cujo pavimento é melhorado (Jorge, 2014)

O TMDA, em ambos os sentidos, no primeiro ano de análise consiste no tráfego existente mais uma estimativa do tráfego esperado. Se o tráfego total for $TMDA_0$ e a taxa de crescimento anual i , então o tráfego em qualquer ano subsequente x é dado pela Equação 3.5 (Jorge, 2014):

$$TMDA_x = TMDA_0 \times \left(1 + \frac{i}{100}\right)^x \quad (3.5)$$

3.3.2.6 Estimativa do número acumulado de eixos-padrão, $T(m)$, para todas as classes de veículos no período de dimensionamento (Etapa 6)

Para o dimensionamento estrutural do pavimento a carga de tráfego acumulado de cada classe de veículo motorizado durante o período de projeto da estrada em determinado sentido, é dada pela seguinte Equação 3.6 (MTPW, 2013):

$$T(m) = 0,5 \times 365 \times TMDA(m)_0 \times \frac{\left[\left(1 + \frac{i}{100}\right)^N - 1\right]}{\frac{i}{100}} \quad (3.6)$$

Onde:

$T(m)$ – Tráfego acumulado do tráfego da classe m ;

$TMDA(m)_0$ – TMDA do tráfego da classe m no primeiro ano;

N – Período de vida útil da estrada em anos;

i – Taxa de crescimento anual do tráfego em percentagem.

O tráfego acumulado para cada classe de veículo é multiplicado pelo número médio de eixos - padrão dos veículos daquela classe para calcular o total de eixos-padrão durante o período de vida útil da estrada (ANE, 2014).

3.3.2.7 Distribuição do tráfego na faixa de rodagem (Etapa 7)

Em estradas estreitas o tráfego tende a ser mais canalizado do que as estradas mais largas. Nestes casos a carga efetiva do tráfego é maior do que aquela que se verifica nas estradas de maior largura, tal como se indica na Tabela 3.5 (ANE, 2014).

Tabela 3.5 Fatores para a distribuição do carregamento do tráfego (ANE, 2014)

Secção transversal	Largura pavimentada	Dimensionamento da carga de tráfego corrigido (EP)	Notas explicativas
Via única	< 3,5 m	Total de EP em ambos os sentidos	O padrão de condução nesta secção é muito canalizado.
	Min. 3,5 m e menor do que 4,5.m	Soma de EP em ambos os sentidos	O tráfego, em ambos os sentidos, utiliza a mesma via
	Min. 4,5 m e menor do que 6 m	80% do EP em ambos os sentidos	Para permitir a sobreposição na secção central da estrada
	6 m ou maior	Total EP no sentido de carregamento mais pesado	Minimizar a sobreposição do tráfego na secção central da estrada
Mais do que uma via em cada sentido		90% do total de EP no sentido em estudo	A maioria dos veículos utiliza uma via em cada sentido

3.3.2.8 Estabelecer a classe de tráfego para o projeto de pavimento (Etapa 8)

Para fins de dimensionamento do pavimento é necessário determinar a classe de tráfego de projeto. As classes de tráfego variam consoante o método de dimensionamento que se utiliza. A título de exemplo, apresenta-se na Tabela 3.6, as classes de tráfego de projeto adotado pelo Manual de Moçambique.

Tabela 3.6 Classes de tráfego na via mais solicitada para o projeto de pavimentação (ANE, 2014)

Classes	EP (x10⁶)
LV1	< 0,01
LV2	0,01-0,1
LV3	0,1 – 0,3
LV4	0,3 – 0,5
LV5	0,5 – 1,0

Para o caso de S. Tomé e Príncipe são apresentados na Tabela 3.7 alguns dados obtidos através do Instituto Nacional de Estradas de São Tomé e Príncipe (INAE). Na Figura 3.9 estão representadas as zonas dos pontos de contagem. Para a situação ilustrada, obteve-se os valores de TMD presentes na coluna do Total por postos (da Tabela 3.7). Estes dados permitem estimar o tráfego futuro, seguindo as fases referidas (etapa 3 em diante).

Tabela 3.7 Tráfego médio diário de pesados em São Tomé no ano de 2011 na Estrada Nacional (fonte: INAE)

Postos de Contagens	Carrinhas/ Autocarros	Caminhões	Tratores	Total por postos
Bombom	138	33	5	176
Almas	178	51	20	249
Santana	194	20	22	236
Ribeira Afonso	33	3	8	44
São João dos Angolares	109	35	22	166
Emolve	13	2	16	31
BôBô-Fôro	151	31	8	190
Água Creola	89	19	4	112
Trindade	356	20	6	382
Batepá	133	16	8	157
Monte Café	34	5	4	43

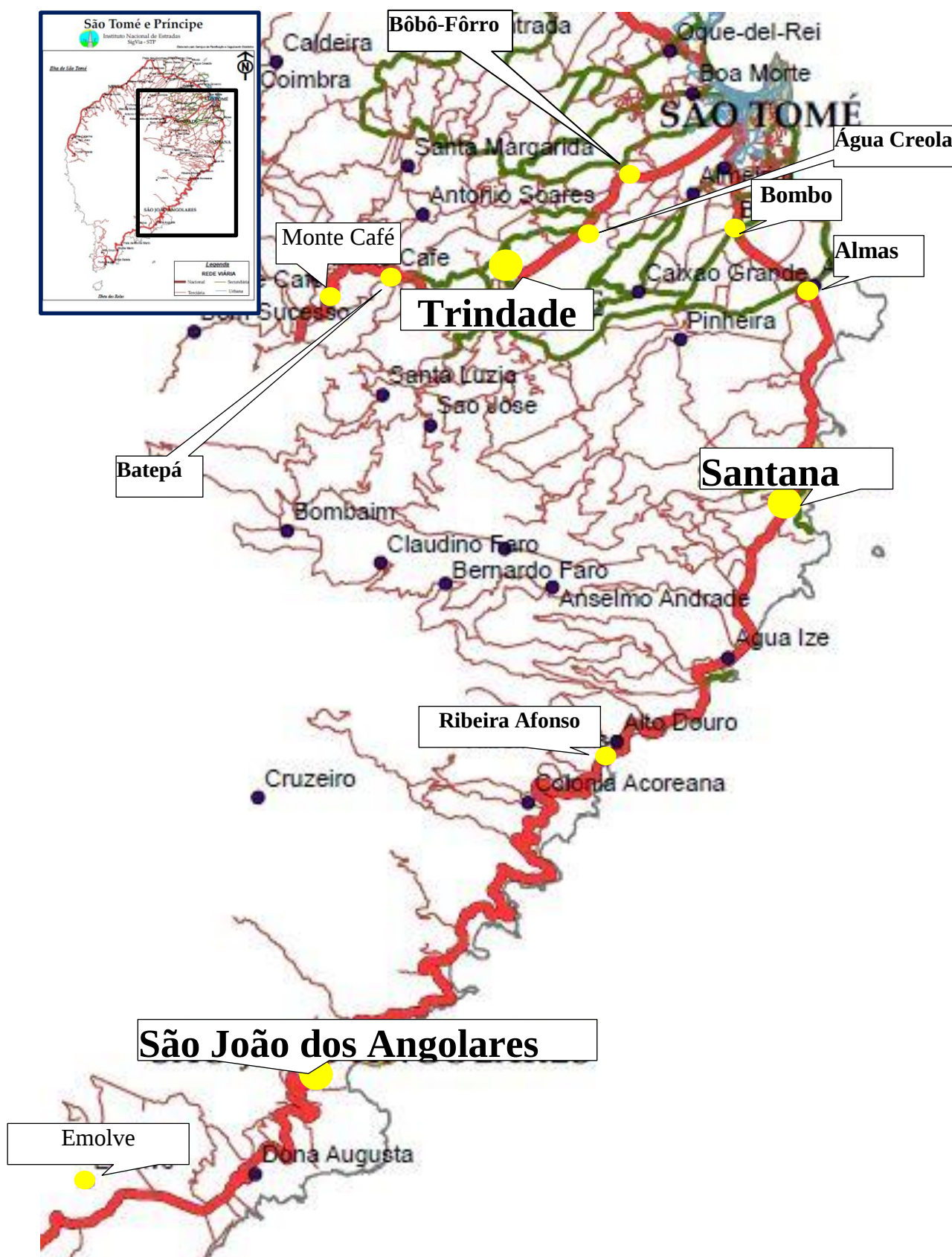


Figura 3.9 Zonas de contagens, São Tomé (adaptado INAE)

3.4 Estruturas de Pavimentos Propostas por Diferentes Manuais Desenvolvidos para Regiões Tropicais

3.4.1 Considerações iniciais

No subcapítulo 3.4 são apresentadas algumas soluções de estruturas de pavimentos propostas por vários manuais de pavimentos desenvolvidos para regiões de climas tropicais, considerando níveis de tráfego e capacidades de carga das fundações compatíveis com situações existentes em S. Tomé e Príncipe. Dos manuais utilizados são estabelecidas estruturas para regiões com condições de clima regularmente húmido e regularmente seco, com o objetivo de avaliar a possibilidade de adaptação das estruturas de pavimentos propostas às condições locais de São Tomé e Príncipe.

Devido à falta de dados fidedignos sobre a resistência de solos tipicamente disponíveis em S. Tomé, os estudos de dimensionamento de pavimentos que se apresentam referem-se a condições de fundação fracas e intermédias.

3.4.2 TRL/SADC (Gourley et al, 1999)

O manual desenvolvido pelo TRL para a zona SADC (*Southern Africa Development Community*), aplica-se a EBVT que tipicamente têm menos de 200 veículos por dia, e que ao longo de um período de 20 anos, mesmo com altas taxas de crescimento, é improvável que alcancem um número acumulado de eixos-padrão (EP) superior a um milhão. Assim, este manual fornece orientações para o dimensionamento de pavimentos para uma variedade de níveis de tráfego inferiores a um valor acumulado de 300.000 EP. Os dados utilizados na elaboração do manual foram obtidos a partir de estudos efetuados no Botswana, Malawi e Zimbabwe, abrangendo uma variedade de climas, classificados amplamente como áridos a semiáridos, sazonalmente húmidos (Jorge, 2014).

3.4.2.1 Fundações

As fundações são classificadas com base em ensaios de laboratório de determinação de CBR em amostras compactadas a 100% no compactador BS de 2,5 kg. As amostras são embebidas durante quatro dias ou até que se verifique que a amostra tenha atingido a sua capacidade máxima de absorção. São consideradas as classes constantes na Tabela 3.8 (Gouley et al, 1999).

Os materiais de fundação requerem tratamentos específicos (consoante o tipo de material) de modo a resultar em camadas de fundação satisfatórias para os pavimentos. Os tratamentos necessários para a preparação destes materiais estão listados na Tabela III.8 do Anexo III.

Tabela 3.8 Classes das fundações (adaptado Gourley et al, 1999)

Classe de Fundação	CBR de Projeto (%)	Notas
S2	3-4	Pode ser utilizado em todos os aterros que não excedam 2 m de altura
S3	5-8	Pode ser utilizado em todos os aterros
S4	9-14	Pode ser utilizado em todos os aterros
S5	15-29	Pode ser utilizado em todos os aterros e como camada de leito do pavimento; esta camada é geralmente compactada a 95% (compactação pesada)
S6	= > 30	Pode ser utilizado em todos os aterros e como camada de sub-base, se a parte superior da camada de 150 mm ou se a camada de sub-base for compactada a 95% (compactação pesada)

3.4.2.2 Tráfego

As classes de tráfego são estabelecidas na forma de intervalos para o número acumulado de EP de 80 kN, tal como se mostra no Tabela 3.9.

Tabela 3.9 Classes de tráfego (adaptado de Gourley et al, 1999)

Classe de tráfego	Intervalo de número acumulado de eixos padrão
0,01 M	< 10.000
0,05 M	10.000 a 50.000
0,1 M	50.00 a 100.000
0,3 M	100.000 a 300.000
0,5 M	300.000 a 500.000
1 M	500.000 a 1 milhão
3 M	1 milhão a 3 milhões

3.4.2.3 Condicionantes climáticas

O projeto de pavimento mais adequado depende da zona climática na qual se pretende construir. Estas zonas climáticas são caracterizadas pelo valor-N. Normalmente, o valor-N menor do que quatro corresponde a uma zona climática sazonalmente tropical e húmida. Um valor-N superior a quatro, implica ter um clima árido, semiárido, ou mesmo seco (Gourley et al, 1999).

3.4.2.4 Soluções de estruturas

Dado que pretende estudar-se o caso de países tropicais, onde o clima dominante é tendencialmente húmido, na Tabela 3.10 são apresentadas várias soluções possíveis para este tipo de clima. As espessuras das camadas são apresentadas em milímetros e, para cada caso, é indicado o valor mínimo de CBR a considerar para o material proposto (por exemplo, CBR65 significa CBR mínimo de 65%).

Tabela 3.10 Estruturas de pavimento de base e sub-base granulares (adaptado de Gourley et al, 1999)

Classe de Fundação	Classe de Tráfego (TRL/SADC granular)						
	T1 (<0,01M) EP	T2 (0,05M) EP	T3 (0,1M) EP	T4 (0,3M) EP	T5 (0,5M) EP	T6 (1M) EP	T7 (3M) EP
S2 (CBR: 3-4%)		BG120 CBR65	BG150 CBR65	BG150 CBR80	BG175 CBR80	BG200 CBR80	BG200 CBR80
	BG150 CBR45	SBG120 CBR30	SBG120 CBR30	SBG120 CBR30	SBG150 CBR30	SBG175 CBR30	SBG225 CBR30
	SBG150 CBR15	SS120 CBR15	SS120 CBR15	SS150 CBR15	SS150 CBR15	SS200 CBR15	SS200 CBR15
S3 (CBR: 5-7%)	BG120 CBR45	BG150 CBR55	BG150 CBR65	BG175 CBR65	BG200 CBR65	BG200 CBR80	BG200 CBR80
	SBG150 CBR15	SBG20 CBR30	SBG150 CBR30	SBG175 CBR30	SBG200 CBR30	SBG225 CBR30	SBG275 CBR30
S4 (CBR: 8-14%)		BG120 CBR45	BG150 CBR55	BG175 CBR65	BG200 CBR65	BG200 CBR80	BG200 CBR80
	150 Gravelha	SB120 CBR30	SBG120 CBR30	SBG120 CBR30	SBG120 CBR30	SBG150 CBR30	SBG200 CBR30

Legenda: Base Granular (BG); Sub-Base Granular (SBG); Solo Seleccionado (SS); Milhões (M); Eixo Padrão (EP)

Nas estruturas apresentadas não estão apresentadas as camadas de revestimento superficial. No entanto, todas as estruturas possuem uma camada de revestimento superficial em material betuminoso. No Anexo IV faz-se uma descrição resumida da constituição dos revestimentos superficiais betuminosos.

3.4.3 SATCC-1998 (SATCC, 1998)

O manual da SATCC (1998), *Draft Code of Practice for the Design of Road Pavements*, é um manual de dimensionamento de pavimentos rodoviários novos que inclui um catálogo de estruturas com soluções de pavimentos alternativas (de tipologias diferentes). As estruturas são dimensionadas em função do tráfego, da classe de fundação e das condições climáticas.

Os catálogos de dimensionamento da SATCC são usados para estradas com tráfego abaixo de 30 milhões de EP (Jorge, 2014).

O processo de dimensionamento neste guia desenvolve-se em cinco etapas (Jorge, 2014):

- Estimativa do tráfego acumulado esperado durante a vida do pavimento;

- Definição da resistência da fundação (solo) sobre a qual o pavimento será construído;
- Definição do clima relativo às condições de operação do pavimento (seco ou molhado);
- Determinação de aspectos práticos complementares que irão influenciar a seleção do pavimento;
- Seleção de possíveis estruturas de pavimento.

3.4.3.1 Classes de tráfego

O manual da SATCC considera a ação do tráfego traduzida em número acumulado de eixos-padrão de 80 kN. Para calcular o número de eixos-padrão, o manual da SATCC apresenta uma metodologia na qual se faz a divisão do tráfego por categoria de veículos. Para cada categoria, estabelecida em termos do intervalo de carga por eixo simples, calcula-se o tráfego total ao longo da vida útil de projeto através da Equação 3.7 (Jorge, 2014).

$$DT = \frac{T \times 365 \times \left(\left(1 + \frac{r}{100} \right)^N - 1 \right)}{\frac{r}{100}} \quad (3.7)$$

Em que:

DT – Tráfego total acumulado de projeto para cada categoria de veículos, por sentido;

T – Tráfego médio diário para cada categoria de veículos, por sentido;

r – Taxa média de crescimento anual, em percentagem;

N – Vida útil de projeto, em anos.

Após o cálculo do tráfego acumulado, calcula-se o fator de carga equivalente do tráfego sobre o pavimento através da Equação 3.3. Em relação ao fator de agressividade no pavimento (n), na Tabela 3.11 estão apresentados os valores mais recomendados.

Tabela 3.11 Fator de agressividade sobre o pavimento (SATCC, 1998)

Tipo de Base/Sub-base do Pavimento	Valor do fator de agressividade n
Granular/Granular	4
Granular/Cimento	3
Cimento/Cimento	4,5
Betuminoso/Granular	4
Betuminoso/Cimento	4

A carga real de tráfego do projeto em EP é então calculada a partir da largura da via de projeto e do tipo de estrada para finalizar as prováveis necessidades de projeto.

A Tabela V.1 do Anexo V fornece a base para a determinação do carregamento de tráfego de projeto usando os totais nominais para cada sentido, conforme determinado acima.

Conhecendo o número acumulado de eixos-padrão por categoria de veículos, determina-se o número total de eixos-padrão de todos os tipos de veículos que constitui o tráfego que irá solicitar o pavimento durante a sua vida útil e que é classificado nas classes indicadas na Tabela 3.12.

Tabela 3.12 Classes de tráfego (adaptado SATCC, 1998)

Designação da classe de tráfego	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Gama dos tráfegos ($\times 10^6$EP)	< 0,3	0,3-0,7	0,7-1,5	1,5-3	3-6	6-10	10-17	17-30

3.4.3.2 Classe de fundação

Em conjunto com a classe de tráfego, a classe de fundação é outro dado de entrada no catálogo de estruturas do manual da SATCC. A fundação é classificada em função do seu valor de CBR, seguindo o exposto na Tabela 3.13:

Tabela 3.13 Classificação da classe de fundação (adaptado SATCC, 1998)

Classes de fundação	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Valor do CBR (%)	2	3-4	5-7	8-14	15-29	≥ 30

3.4.3.3 Condições climáticas

As condições climáticas influenciam a seleção da estrutura proposta no catálogo para cada situação, mesmo para iguais condições de tráfego e fundação, pois o catálogo de estruturas do manual da SATCC prevê estruturas diferentes para situações consideradas “húmidas” e situações consideradas “secas”. As regiões designadas por “secas” caracterizam-se por uma precipitação média anual inferior a 250 mm e pela inexistência de probabilidade de aparecimento de humidade devido a situações de cheias ou de nascentes subterrâneas. É altamente improvável que regiões com precipitação média anual superior a 500 mm possam ser consideradas nominalmente secas. Todas as situações que não possam classificar-se como secas, com base nos critérios indicados anteriormente, devem ser consideradas regiões húmidas. Apesar disso, existem alguns fatores que podem ajudar a reduzir o efeito de se estar na presença de uma região húmida, nomeadamente a existência de um bom sistema de drenagem e a

previsão de uma boa manutenção do pavimento. Dependendo destes trabalhos, as condições nominalmente húmidas podem ser reclassificadas de acordo com as indicações da Tabela 3.14 (SATCC, 1998)

Tabela 3.14 Reclassificação de condições climáticas para regiões nominalmente húmidas (SATCC, 1998)

Drenagem prevista	Nível de manutenção previsto		
	Bom, programado, com problemas resolvidos atempadamente		Manutenção deficiente
Boa, bem planeada e bem executada	D		Níveis de tráfego
			Baixo (< T2) Alto (> T3)
			D W
Drenagem deficiente	Níveis de tráfego		W
	Baixo (< T2)	Alto (> T3)	
	D	W	

Legenda: D = Condições predominantemente secas (*Dry*); W = Condições predominantemente húmidas (*Wet*)

3.4.3.4 Escolha da solução de pavimento

Após a definição da classe de tráfego, da classe de fundação e das condições climáticas da região onde será construído o pavimento, tem de definir-se a tipologia de estrutura pretendida, ou seja, o tipo de materiais que constituirão as camadas do pavimento. Esta escolha será sempre condicionada pela disponibilidade e/ou adequabilidade dos materiais, mas importa referir que, de acordo com o manual, nem todos os tipos de materiais podem ser aplicados para todas as classes de tráfego. O Anexo VI apresenta as tipologias de estruturas (camada de base e camada de sub-base) previstas e tece alguns comentários relativos à sua utilização (SATCC, 1998).

Tendo em conta as condicionantes indicadas e as soluções de estruturas apresentadas pelo manual do SATCC, serão seleccionadas aquelas que respondem de forma mais aproximada às condicionantes de São Tomé, conforme se pode observar na Tabela 3.15.

Tabela 3.15 Estrutura de pavimento de base e sub-base granular (adaptado SATCC, 1998)

Classe de Fundação	Classe de Tráfego			
	T1 (< 0,3M) EP	T2 (0,7M) EP	T3 (1,5M) EP	T4 (3M) EP
S1 (CBR: 2%)			50 Revest.Sup.	50 Revest.Sup.
	BG150 CBR80	BG150 CBR80	BG175 CBR80	BG175 CBR80
	SBG175 CBR30	SBG225 CBR30	SBG200 CBR30	SBG250 CBR30
	SS300 CBR15	SS300 CBR15	SS300 CBR15	SS300 CBR15
S2 (CBR: 3-4%)			50 Revest. Sup.	50 Revest. Sup.
	BG150 CBR80	BG150 CBR80	BG175 CBR80	BG175 CBR80
	SBG150 CBR30	SBG200 CBR30	SBG175 CBR30	SBG225 CBR30
	SS200 CBR15	SS200 CBR15	SS200 CBR15	SS200 CBR15
S3 CBR: (5-7%)			50 Revest. Sup.	50 Revest. Sup.
	BG150 CBR80	BG150 CBR80	BG175 CBR80	BG175 CBR80
	SBG200 CBR30	SBG200 CBR30	SS225 CBR30	SBG275 CBR30
S4 (CBR: 8-14%)			50 Revest. Sup.	50 Revest. Sup.
	BG150 CBR80	BG150 CBR80	BG150 CBR80	BG150 CBR80
	SBG125 CBR30	SBG150 CBR30	SBG150 CBR30	SBG175 CBR30

Legenda: Base Granular (BG); Sub-Base Granular (SBG); Solo Selecionado (SS); Milhões (M); Eixo-Padrão (EP); espessuras em mm;

Nos esquemas de estruturas apresentados não estão apresentadas as camadas de revestimento superficial. No entanto, as todas as estruturas possuem uma camada de revestimento superficial em material ligado.

Nas situações em que os solos locais não reúnem as necessárias características exigidas para o seu uso em pavimentos, pode recorrer-se ao seu melhoramento com cimento ou cal, passando-se a utilizar um solo melhorado quimicamente.

Na Tabela 3.16 apresentam-se as estruturas de pavimentos obtidas pelo manual do SATCC que integram uma camada de base granular e uma sub-base melhorada com cimento.

Tabela 3.16 Estrutura de pavimento de base e sub-base solo/cimento (adaptado SATCC, 1998)

Classe de Fundação	Classe de Tráfego			
	T1 (<0,3M) EP	T2 (0,7M) EP	T3 (1,5M) EP	T4 (3M) EP
S1 (CBR: 2%)			50 Revest. Sup.	50 Revest. Sup.
	BG150 CBR80	BG150 CBR80	BG150 CBR80	BG150 CBR80
	SBS/C 150 UCS 1,5-3	SBS/C 175 UCS 1,5-3	SBS/C 175 UCS 1,5-3	SBS/C 200 UCS 1,5-3
	SS300 CBR 15	SS300 CBR 15	SS300 CBR 15	SS300 CBR 15
S2 (CBR: 3-4%)			50 Revest. Sup.	50 Revest. Sup.
	BG125 CBR80	BG150 CBR80	BG150 CBR80	BG150 CBR80
	SBS/C 150 UCS 1,5-3	SBS/C 150 UCS 1,5-3	SBS/C 175 UCS 1,5-3	SBS/C 200 UCS 1,5-3
	SS200 CBR 15	SS200 CBR 15	SS200 CBR 15	SS200 CBR 15
S3 (CBR: 5-7%)			50 Revest. Sup.	50 Revest. Sup.
	BG125 CBR80	BG125 CBR80	BG150 CBR80	BG150 CBR80
	SBS/C 150 UCS 1,5-3	SBS/C 150 UCS 1,5-3	SBS/C 150 UCS 1,5-3	SBS/C 150 UCS 1,5-3
	SS100 CBR 15	SS125 CBR 15	SS125 CBR 15	SS150 CBR 15
S4 (CBR: 8-14%)			50 Revest. Sup.	50 Revest. Sup.
	BG125 CBR80	BG150 CBR80	BG150 CBR80	BG150 CBR80
	SBS/C 150 UCS 1,5-3	SBS/C 150 UCS 1,5-3	SBS/C 150 UCS 1,5-3	SBS/C 175 UCS 1,5-3

Legenda: Base Granular (BG); Sub-Base Granular (SBG); Solo Selecionado (SS); Sub-Base Solo/Cimento (SBS/C); Resistência à compressão não confinada (UCS) em MPa, aos 7 dias; Milhões (M); Eixo-Padrão (EP).

O mesmo manual prevê também soluções de estruturas de pavimentos de base e sub-base tratadas com cimento para regiões húmidas, tal como são apresentadas na Tabela 3.17.

Tabela 3.17 Estrutura de pavimento de base e sub-base solo/cimento (adaptado SATCC, 1998)

Classe de Fundação	Classe de Tráfego			
	T1 (<0,3M) EP	T2 (0,7M) EP	T3 (1,5M) EP	T4 (3M) EP
S1 (CBR: 2%)				50 Revest. Sup.
	SBS/C 150 UCS 1,5-3	SBS/C 150 UCS 1,5-3	SBS/C 175 UCS 1,5-3	SBS/C 175 UCS 1,5-3
	SBS/C 150 UCS 0,75-1,5	SBS/C 175 UCS 0,75-1,5	SBS/C 175 UCS 0,75-1,5	SBS/C 200 UCS 0,75-1,5
	SS350 CBR 15	SS350 CBR 15	SS350 CBR 15	SS350 CBR 15
S2 (CBR: 3-4%)				50 Revest. Sup.
	SBS/C 150 UCS 1,5-3	SBS/C 150 UCS 1,5-3	SBS/C 175 UCS 1,5-3	SBS/C 175 UCS 1,5-3
	SBS/C 150 UCS 0,75-1,5	SBS/C 175 UCS 0,75-1,5	SBS/C 175 UCS 0,75-1,5	SBS/C 200 UCS 0,75-1,5
	SS225 CBR 15	SS225 CBR 15	SS225 CBR 15	SS225 CBR 15
S3 (CBR: 5-7%)				50 Revest. Sup.
	SBS/C 150 UCS 1,5-3	SBS/C 150 UCS 1,5-3	SBS/C 175 UCS 1,5-3	SBS/C 175 UCS 1,5-3
	SBS/C 150 UCS 0,75-1,5	SBS/C 150 UCS 0,75-1,5	SBS/C 150 UCS 0,75-1,5	SBS/C 175 UCS 0,75-1,5
	SS125 CBR 15	SS125 CBR 15	SS125 CBR 15	SS125 CBR 15
S4 (CBR: 8-14%)				50 Revest. Sup.
				SBS/C 150 UCS 1,5-3
	SBS/C 150 UCS 1,5-3	SBS/C 150 UCS 1,5-3	SBS/C 175 UCS 1,5-3	SBS/C 150 UCS 0,75-1,5
	SBS/C 150 UCS 0,75-1,5	SBS/C 150 UCS 0,75-1,5	SBS/C 150 UCS 0,75-1,5	SS100 CBR 15

Legenda: Base Granular (BG); Sub-Base Granular (SBG); Solo Selecionado (SS); Base Solo/Cimento (BS/C); Sub-Base Solo/Cimento (SBS/C); Unconfined Compressive Strength (UCS) em MPa aos 7 dias; M – Milhões; Eixo-Padrão (EP)

3.4.4 Manual da Etiópia (ERA, 2011)

Com o objetivo de aproveitar os recursos existentes, as experiências e informações disponíveis (a nível de técnicas de concepção de estradas), a *Ethiopia Roads Authority* (ERA) desenvolveu o seu primeiro manual nacional de projetos de estradas, direcionado especialmente para as EBVT (ERA, 2011).

Os principais fatores que determinam o dimensionamento dos pavimentos neste manual são o clima, o tipo de terreno, a demografia e o tráfego.

Neste manual é também feita uma abordagem sobre o padrão de dimensionamento geométrico dos pavimentos, também direcionados para as EBVT. Em caso de necessidade de consulta, este tema pode ser consultado no *Design Manual for Low Volume Roads Part B*, tema 4 – *Geometric Design Standards*, publicada pela Autoridade Rodoviária da Etiópia em 2011.

3.4.4.1 Clima

O parâmetro de clima que é utilizado no dimensionamento dos catálogos dos pavimentos é o Valor-N. Conforme já descrito no ponto 3.4.2.3, um Valor-N < 4 corresponde a um clima predominantemente húmido e um Valor-N > 4 significa que o clima é predominantemente seco. Este valor pode ser calculado através da Equação 3.8 (ERA, 2011).

$$N = 12 * \frac{Ej}{Pa} \quad (3.8)$$

Em que:

Ej – corresponde à evaporação durante o mês mais quente;

Pa – é a precipitação total anual.

3.4.4.2 Tipo de terreno

A classe de terreno é determinada pelo grau de inclinação do terreno, de acordo com as seguintes definições (Tabela 3.18):

Tabela 3.18 Classificação dos terrenos (ERA, 2011)

Plano	Os declives do terreno são normalmente inferiores a 3%.
Laminado	Os declives do terreno situam-se entre 3% e 25%.
Montanhoso	Os declives do terreno são normalmente superiores a 25%.
Escarpas	As escarpas possuem características geométricas que requerem padrões geométricos especiais devido os riscos envolvidos. São de inclinações geralmente superiores às acima indicadas.

3.4.4.3 Demografia

Devem ser introduzidas abordagens de projeto adequadas em áreas populosas para mitigar os efeitos da poeira e melhorar a segurança dos utilizadores da estrada (larguras adicionais de estradas, estacionamento, zonas dedicadas a paragem dos autocarros) e sistemas de drenagem apropriados (ERA, 2011).

3.4.4.4 Tráfego

Para o dimensionamento estrutural do pavimento, o TMDA é a soma do total anual do tráfego em ambos os sentidos divididos por 365. Quando se pretende uma construção nova, o tráfego pedonal pode ser utilizado para estimar o provável tráfego de veículos após a construção da estrada (ERA, 2011).

Para o dimensionamento estrutural do pavimento é necessário calcular o tráfego acumulado de cada classe de veículo motorizado durante a vida útil do projeto, através da Equação 3.6 e o número equivalente de eixo-padrão pela Equação 3.3.

As classes de tráfego consideradas pelo manual da Etiópia para pavimentos flexíveis são os apresentados na Tabela 3.19.

Tabela 3.19 Classes de tráfego (ERA, 2011)

Designação da classe	T1	T2	T3	T4	T5
Gama do tráfego $\times 10^6$ EP	< 0,01	0,01-0,1	0,1-0,3	0,3-0,5	0,5-1,0

3.4.4.5 Materiais

Os materiais da fundação são submetidos a ensaios laboratoriais de CBR em amostras compactadas a 97% de compactação relativa (ERA, 2011). As amostras são embebidas em água durante 4 horas ou até atingir o seu ponto máximo de absorção. Na inexistência de laboratórios adequados para a realização dos ensaios, pode recorrer-se a ensaios com DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) na altura do ano em que o solo se encontrar mais húmido (ERA, 2011). O método do DCP está descrito no Anexo VII.

Na Tabela 3.20 estão apresentadas as classes de fundação consideradas por este manual.

Tabela 3.20 Classes de fundação (ERA, 2011)

Designação	S2	S3	S4	S5	S6
CBR %	3-4	5-8	9-14	15-29	≥ 30

É de evitar materiais com CBR inferior a 3%, por razões técnicas e económicas, pois é um material de muito fraca capacidade de suporte. Estes materiais requerem especial tratamento antes da sua aplicação nos pavimentos. Estes tratamentos foram mencionados no ponto 2.7.5 deste trabalho. Os códigos e as características dos tipos de materiais, tanto para estradas pavimentadas como para as não pavimentadas estão descritos na Tabela III.7 do Anexo III.

3.4.4.6 Soluções de pavimentos baseados no manual da Etiópia

As estruturas de pavimentos de base e sub-base granular concebidas para as regiões húmidas, para as situações em que a largura da superfície pavimentada seja inferior a 8m, são apresentadas na Tabela 3.21.

Tabela 3.21 Estruturas de pavimentos de base e sub-base granular (ERA, 2011)

Classe de Fundação	Classe de Tráfego				
	T1 (<0,01M)EP	T2 (0,1M) EP	T3 (0,3M) EP	T4 (0,5M) EP	T5 (0,1M) EP
S2 (3-4%)		BG150 CBR65	BG150 CBR65	BG175 CBR80	BG200 CBR80
	BG150 CBR65	SBG125 CBR30	SBG150 CBR30	SBG175 CBR30	SBG175 CBR30
	SBG150 CBR15	SS130 CBR15	SS175 CBR 15	SS175 CBR15	SS200 CBR15
S3 (5-7%)		BG150 CBR65	BG150 CBR65	BG175 CBR65	BG200 CBR80
	BG125 CBR65	SBG100 CBR30	SBG150 CBR30	SBG150 CBR30	SBG150 CBR30
	SBG150 CBR15	SS100 CBR15	SS150 CBR15	SS150 CBR15	SS150 CBR15
S4 (8-14%)		BG150 CBR65	BG150 CBR65	BG175 CBR65	BG200 CBR80
	BG175 CBR45	SBG120 CBR30	SBG200 CBR30	SBG200 CBR30	SBG200 CBR30

Legenda: Base Granular (BG); Sub-Base Granular (SBG); Solo Seleccionado (SS); Milhões (M); EP – Eixo Padrão

3.4.5 Manual do Chile (Guillermo et al, 2002)

Neste manual foi utilizado para o projeto estrutural dos pavimentos o método analítico (mecanicista) de análise multicamadas.

Foram utilizados de forma conjunta os métodos analíticos da Shell e o desenvolvido pelo *Council for Scientific and Industrial Research* (CSIR) na África do Sul. Ambos os métodos utilizam os mesmos princípios para a determinação do estado de tensão da estrutura, diferindo nas equações e critérios utilizados para determinar a resistência à fadiga dos materiais. Tanto o método da *Shell* como o proposto pelo CSIR têm uma sequência de análise similar. Ambos utilizam para o dimensionamento estrutural as tensões e deformações que se originam em posições críticas da estrutura do pavimento como resultado das solicitações impostas pelo tráfego durante o período de dimensionamento.

Para a análise de fadiga dos materiais, as solicitações de tráfego são caracterizadas através de um eixo-padrão de 80 kN, uma pressão de contacto de 600 kPa e um espaçamento entre rodas de 35 cm. A Figura 3.10 apresenta os processos de análise estrutural e o esquema de eixo-padrão utilizado.

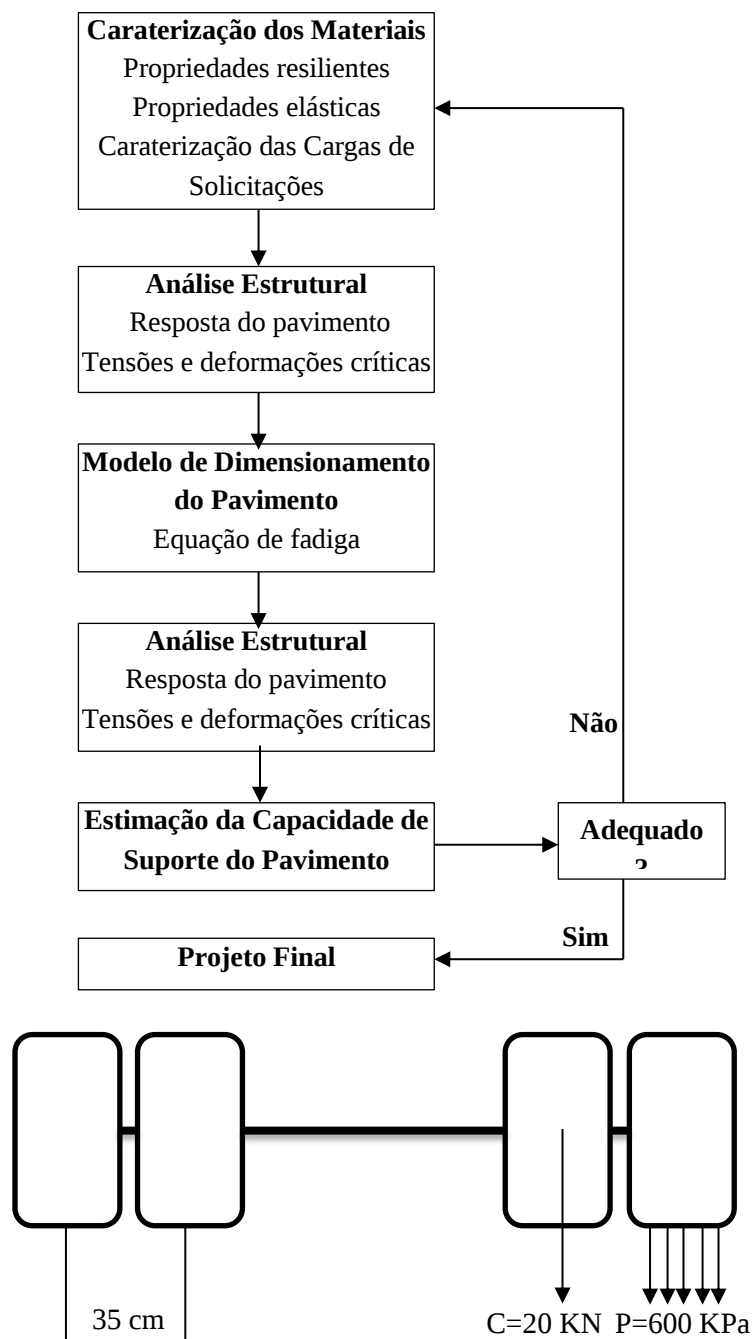


Figura 3.10 Estrutura do processo de análise estrutural e configuração do eixo-padrão (Guillermo et al, 2002)

Para a caracterização dos materiais são utilizadas as espessuras das camadas e as suas propriedades mecânicas (Módulo de Resiliência e o coeficiente de *Poisson*).

Neste guia de dimensionamento foram adotadas as equações de fadiga desenvolvidas pela CSIR (SAMDM), o qual inclui os seguintes parâmetros:

- Camada superficial betuminosa – delgada, de espessura entre 40 a 70 mm;
- Base e sub-base granular;
- Base estabilizada com betume;
- Sub-base tratada com cimento;
- Fundação granular.

3.4.5.1 Propriedades dos materiais

As propriedades dos materiais adotados por este manual são as seguintes:

- Camada flexível (superficial) – as camadas flexíveis consideradas para o projeto são em betão betuminoso aplicado a quente e base estabilizada com betume. As camadas são especificadas pelo seu módulo resiliente cujos valores são apresentados na Tabela 3.22;
- Materiais granulares – bases granulares com CBR entre 80% e 100%, e sub-bases granulares com CBR entre 40% e 50%. Para o dimensionamento estrutural, o CBR especificado é corrigido com base na espessura da camada e o CBR da fundação é obtido utilizando a fórmula *Shell*. A Tabela 3.23 mostra os valores corrigidos para o dimensionamento.
- Pavimentos com sub-base estabilizada com cimento – as estruturas propostas incluem apenas as classes de tráfego T3 e T4. Isto deve-se ao facto de não se justificar este tipo de estrutura de pavimento para classes de tráfego menores.
- A qualidade da sub-base com cimento é especificada pela sua resistência à compressão não-confinada (CNC ou UCS, em inglês), tal como se indica na Tabela 3.24.

Tabela 3.22 Propriedades da camada flexível (Guillermo et al, 2002)

Camada	Módulo Resiliente (MPa)
Betão betuminoso	5400
Base estabilizada com betume	2000

Tabela 3.23 Propriedades dos materiais granulares (Guillermo et al, 2002)

Fundação		Módulo Resiliente (MPa)				
		Granular: Base + Sub-base (mm)				
CBR (%)	Módulo (MPa)	200	250	300	350	400
3	35	76	84	91	98	104
5	50	109	120	130	140	148
7	60	130	144	156	168	178
10	75	163	180	195	209	222
15	100	217	240	261	279	297
20	115	250	276	300	321	341
30	145	315	348	350	350	350
40	170	350	350	350	350	350
50	190	350	350	350	350	350

Nota: O valor de 350 MPa foi o máximo do módulo de projeto adotado para a camada granular com base em experiências internacionais (Austrália, França, África do Sul). Os valores corrigidos para o projeto podem ser diferentes do valor mínimo definido para as bases pelas especificações técnicas.

Tabela 3.24 Qualidade da sub-base estabilizada com cimento (Guillermo et al, 2002)

Sub-base estabilizada com cimento	UCS (MPa)
Qualidade 1	0,5 – 0,75
Qualidade 2	0,75 – 1,5

3.4.5.2 Tráfego

Na semelhança dos outros manuais, este manual considera, para a determinação do número acumulado de eixos-padrão (EP), os seguintes parâmetros:

- Período de dimensionamento;
- Tráfego Médio Diário Anual (TMDA) e taxa de crescimento;
- Espectro de cargas dos veículos pesados.

Os períodos de dimensionamento considerados por este guia são de 5 e 10 anos. Se dentro deste período se exceder significativamente o número dos eixos-padrão, não é recomendada a utilização deste manual como guia para os dimensionamentos.

O método utilizado para se obter o tráfego médio diário anual é semelhante ao utilizado pela SADC. Quanto à taxa de crescimento do tráfego, foi adotado por este guia o valor de 4% nos casos normais e 7% para o caso de existirem tráfegos gerados (Guillermo et al, 2002).

A espectro de cargas permite definir a influência de cada veículo nas solicitações totais do tráfego, representadas por meio dos eixos-padrão equivalentes de 80 kN.

Para efeito de cálculo, estão definidos dois tipos de espectros (Guillermo et al, 2002):

- Os que são destinados a caminhos de tráfego leve e uma percentagem inferior a 15% de autocarros e camiões de 2 eixos, e com uma presença quase nula de veículos com mais de dois eixos. Esta estratégia está associada a estradas onde circulam veículos pesados de serviços básicos.
- Espectro associado a tráfego pesado – caso em que existe a presença de uma variedade de veículos pesados, e possuem veículos com 2 ou mais eixos. Este espectro está associado a operação de tráfegos leves, industriais e agrícolas.

Uma vez estudadas todas as etapas mencionadas acima, a definição do período de dimensionamento estrutural, o TMDA e a taxa de crescimento, e o espectro de cargas dos veículos pesados, o guia define as classes de tráfego apresentadas na Tabela 3.25.

Tabela 3.25 Classe de tráfego (Guillermo et al, 2002)

Classes de tráfegos	Eixos-Padrão x 1000
T0	0 – 150
T1	150 - 300
T2	300 – 500
T3	500 – 700
T4	700 – 1000

3.4.5.3 Solo de fundação

Este guia utiliza o CBR para a caracterização da capacidade de suporte do solo de fundação.

As estruturas de pavimento apresentadas por este manual foram dimensionadas com base num método mecanicista de multicamadas e utilizado o módulo de resiliência no dimensionamento do solo de fundação. As equações 3.9 e 3.10 mostram como foi feita a correlação destes dois parâmetros (Guillermo et al, 2002).

$$Mr = 17,6 * CBR^{0,64}(MPa) \quad 2 < CBR < 12 \quad (3.9)$$

$$Mr = 22,1 * CB^{0,55}(MPa) \quad 12 \leq CBR < 80 \quad (3.10)$$

Para a determinação da capacidade de carga do solo de fundação, este guia aconselha a utilização de DCP (tópico desenvolvido no Anexo VII ponto 1). Com isso é feita a definição das classes de solo de fundação, conforme se apresenta na Tabela 3.26. No caso de solos com um CBR inferior a 3%, para a sua aplicação no pavimento rodoviário é necessário recorrer a técnicas de melhoramentos dos solos.

Tabela 3.26 Classes de fundação (Guillermo et al, 2002)

Classes	S1	S2	S3	S4	S5	S6
CBR (%)	< 3	3 - 6	7 - 10	11 - 14	15 – 19	>20

3.4.5.4 Clima

No que se refere ao tipo de clima, este manual propõe diferentes estruturas para os diferentes tipos de climas, húmido, normal e seco. Neste trabalho foram consideradas as estruturas dimensionadas para serem aplicadas em regiões húmidas.

3.4.5.5 Estrutura

O guia de projetos do Chile apresenta duas opções de tipos de estruturas para os mesmos cenários, ou seja, para a mesma classe de tráfego e classe de fundação, conforme se representam na Tabela 3.27.

Tabela 3.27 Estruturas de pavimentos (Guillermo et al, 2002)

Classe de Fundação	Classe de Tráfego até 0,15M EP		Classe de Tráfego até 0,3M EP		Classe de Tráfego até 0,5M EP	
	Opção 1	Opção 2	Opção 1	Opção 2	Opção 1	Opção 2
S2 (CBR: 3-6%)	BG180	BG160	BG200	BG180	BG260	BG220
	CBR100	CBR100	CBR100	CBR100	CBR100	CBR100
	SBG160	SBG160	SBG200	SBG220	SBG200	SBG240
	CBR40	CBR50	CBR40	CBR50	CBR40	CBR50
	*	*	#	#	#	#
S3 (CBR: 7-10%)	BG180	BG160	BG220	BG180	BG260	BG220
	CBR100	CBR100	CBR100	CBR100	CBR100	CBR100
	SBG180	SBG200	SBG220	SBG260	SBG260	SBG300
	CBR40	CBR50	CBR40	CBR50	CBR40	CBR50
S4 (CBR: 11-14%)	BG180	BG160	BG200	BG180	BG260	BG220
	CBR100	CBR100	CBR100	CBR100	CBR100	CBR100
	SBG140	SBG160	SBG160	SBG180	SBG200	SBG240
	CBR40	CBR50	CBR40	CBR50	CBR40	CBR50

Nota (*): Deve colocar-se uma camada sob a camada de sub-base (camada de leito de pavimento com 300 mm, constituída por materiais que cumpram as especificações existentes.

(#): Deve colocar-se uma camada de leito de pavimento com 400 mm, constituída por materiais que cumpram as especificações existentes.

3.4.6 Manual de Moçambique (ANE, 2014)

O manual desenvolvido pelas autoridades moçambicanas apresenta várias soluções para os seguintes tipos de pavimentos com revestimentos superficiais:

- Com bases estabilizadas;
- Com revestimentos semiestruturais;
- Com revestimentos de elementos discretos;
- Com revestimentos estruturais.

As soluções acima referidas são idênticas às constantes no *Ethiopia Low Volume Roads Manuals* (ERA, 2011). Quer o manual Moçambicano, quer o Etíope, apresentam catálogos para diferentes pavimentos que variam consoante a classe de fundação e outros fatores, e apresentam como alternativa o Método do DCP anteriormente descrito.

A título exemplificativo, apresenta-se a metodologia a seguir para o caso de projeto de pavimentos com revestimentos superficiais (Lama asfáltica - *Slurry seal*, revestimentos superficiais simples e duplos, entre outros), apresentando-se nos Tabela 3.28 e a Tabela 3.29 os catálogos de dimensionamento. Nas referidas Tabelas, as espessuras são apresentadas em mm e não incluem o revestimento superficial betuminoso (apesar de todas as estruturas incluírem esse revestimento). O manual considera, ainda, a zona climática, da seguinte forma (Jorge, 2014):

Zona climática saturada ($N < 4$)

- Quando a largura total da camada superficial de revestimento for menor ou igual a 8 m, deve utilizar-se a Tabela 3.28. Não é feito qualquer ajuste às exigências dos materiais da base do pavimento;
- Quando a largura da camada superficial de revestimento for maior do que 8 m, deve utilizar-se a Tabela 3.29. O limite do módulo da plasticidade da camada de base pode ser aumentado em 20%;
- Quando o total da largura da camada superficial selada for menor do que 8 m e o pavimento for construído sobre um aterro com altura superior a 1,2 m, deve utilizar-se a Tabela 3.29. O limite do módulo de plasticidade da camada de base pode ser aumentado em 20%.

Se o projetista considerar que outros fatores de risco são mais elevados, por exemplo a má manutenção e/ou a qualidade de construção deficiente, deverá utilizar-se a Tabela 3.29, Opção 1.

Tabela 3.28 Estrutura de pavimento de base e sub-base granular (adaptado ANE, 2014)

CBR (%)	Classe de Tráfego (EP x 10 ⁶)				
	T1(<0,01)	T2 (0,01-0,1)	T3 (0,1-0,3)	T4 (0,3-0,5)	T5 (0,5-1,0)
S2 (3-4)	150 G65	150 G65	150 G65	175 G80	200 G80
	150G15	125 G30	150 G30	175 G30	175 G30
		150 G15	175 G15	175 G15	200 G15
S3 (5-7)	125 G65	150 G65	150 G65	175 G65	200 G80
	150 G15	100 G30	150 G30	150 G30	150 G30
		100 G15	150 G15	150 G15	150 G15
S4 (8-14)	175 G45	150 G65	150 G65	175 G65	200 G80
		120 G30	200 G30	200 G30	200 G30

Nota: Por exemplo, uma solução de [150 G65, 150 G15] significa ter uma camada de impermeabilização betuminosa (presente nas soluções para todas as classes de tráfego), uma camada de base de 150 mm de espessura de material G65 e uma camada de sub-base com 150 mm de material G15.

Tabela 3.29 Estrutura de pavimento de base e sub-base granular (adaptado ANE, 2014)

CBR (%)	Classe de Tráfego (EP x 10 ⁶)				
	T1(<0,01)	T2 (0,01-0,1)	T3 (0,1-0,3)	T4 (0,3-0,5)	T5 (0,5-1,0)
S2 (3-4)	150 G45	150 G65	150 G80	175 G80	200 G80
	150 G15	120 G30	150 G30	150 G30	175 G30
		120 G15	150 G15	150 G15	175 G15
S3 (5-7)	125 G45	150 G55	175 G65	200 G65	200 G65
	125 G15	150 G30	175 G30	200 G30	250 G30
S4 (8-14)	150 G45	150 G45	150 G55	175 G55	175 G65
		100 G30	150 G30	175 G30	200 G30

Quando a estrada está localizada perto da fronteira entre as duas zonas climáticas, deverá ser usado o menor valor *N* para reduzir os riscos. Quando o projeto está perto da fronteira entre duas classes de tráfego, e na ausência de dados mais confiáveis, deverá ser utilizada a classe mais elevada mais próxima. O método não é aplicável nos casos de fundações fracas (CBR <3%) e de solos problemáticos (Jorge, 2014).

Neste manual também são apresentadas outras alternativas de estruturas de pavimentos, como pavimentos de base estabilizada com cimento ou cal, conforme são apresentadas na Tabela 3.30.

Tabela 3.30 Estruturas de pavimentos de base estabilizada com cimento (ou cal) (ANE, 2014)

SG CBR	T2	T3	T4	T5
	0,01-0,1	0,1-0,3	0,3-0,5	0,5-1,0
S1 (2-3%)	125 CB2	150 CB2	150 CB2	175 CB2
	150 G30	150 G30	175 CB2	175 G30
	250 G15	300 G15	300 G15	300 G15
S2 (3-4%)	125 CB2	150 CB2	150 CB2	175 CB2
	125 G30	150 G30	175 G30	175 G30
	150 G15	175 G15	175 G15	200 G15
S3(5-7%)	125 CB2	150 CB2	150 CB2	175 CB2
	100 G30	125 G30	150 G30	150 G30
	100 G15	125 G15	150 G15	150 G15
S4(8-14%)	125 CB2	150 CB2	150 CB2	175 CB2
	150 G30	175 G30	200 G30	200 G30

3.5 Comparação das Estruturas dos Diversos Manuais

Foram comparadas as soluções propostas pelos diferentes manuais considerados. Para isso, elaboraram-se gráficos que ilustram as espessuras das estruturas de pavimentos propostos nos manuais acima mencionados. Essa comparação tem como objetivo facilitar a visualização das várias estruturas, tendo em conta as condicionantes que foram consideradas nos manuais para efeitos de dimensionamento, de modo a escolher dentre as estruturas apresentadas, as mais indicadas para as condições de utilização existentes em São Tomé e Príncipe.

Na Tabela 3.31 e na Figura 3.11 faz-se a correspondência entre as classes de tráfego propostas nos diferentes manuais, e que permitiu a construção de gráficos, considerando diferentes classes de tráfego e de fundação que englobam as existentes nos manuais.

Os gráficos utilizados para a comparação das estruturas de pavimento estão representados nas Figuras 3.12 a 3.17.

Tabela 3.31 Esquema utilizado para fazer a correspondência das classes de tráfego

Classes definidas	T1 (0,1x10 ⁶ EP)	T2 (0,3 x10 ⁶ EP)	T3 (0,5 x10 ⁶ EP)	T4 (0,7 x10 ⁶ EP)	T5 (1,0 x10 ⁶ EP)	T6 (1,5 x10 ⁶ EP)	T7 (3,0 x10 ⁶ EP)
Moçambique	T2	T3	T4	T5			
Chile	T0	T1	T2	-	-		
Etiópia	T2	T3	T4	T5			
SATCC-1998	T1		T2		T3		T4
TRL/SADC-1999	T2	T3	T4	T5		T6	

O mesmo procedimento foi utilizado para a definição das classes de fundação (Figura 3.11).

Classe definida (CBR)		S2			S3			S4					
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Escala (%)													
Chile		S2				S3				S4			
Restantes manuais		S2		S3			S4						

Figura 3.11 Esquema de apoio à escolha das classes de fundação

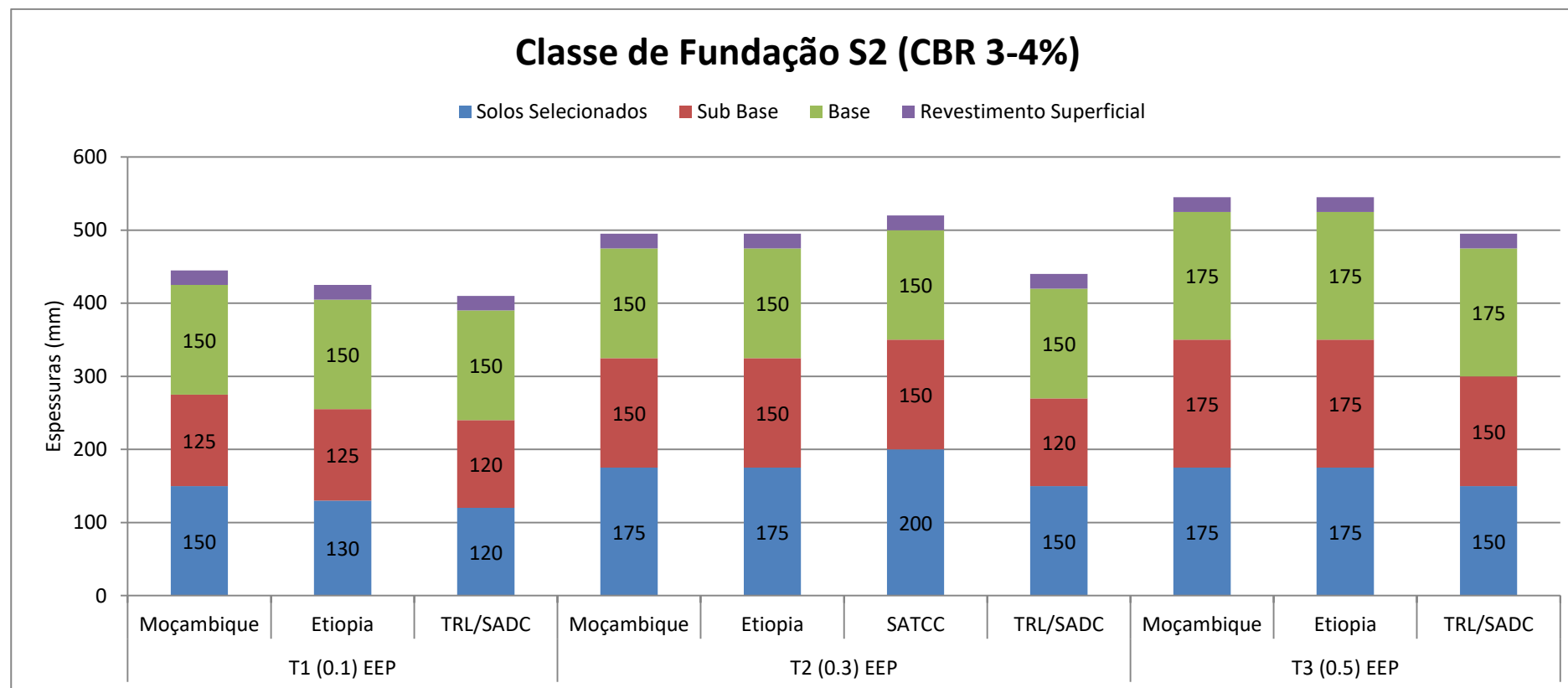


Figura 3.12 Estruturas de pavimentos para classe de fundação S2 definida

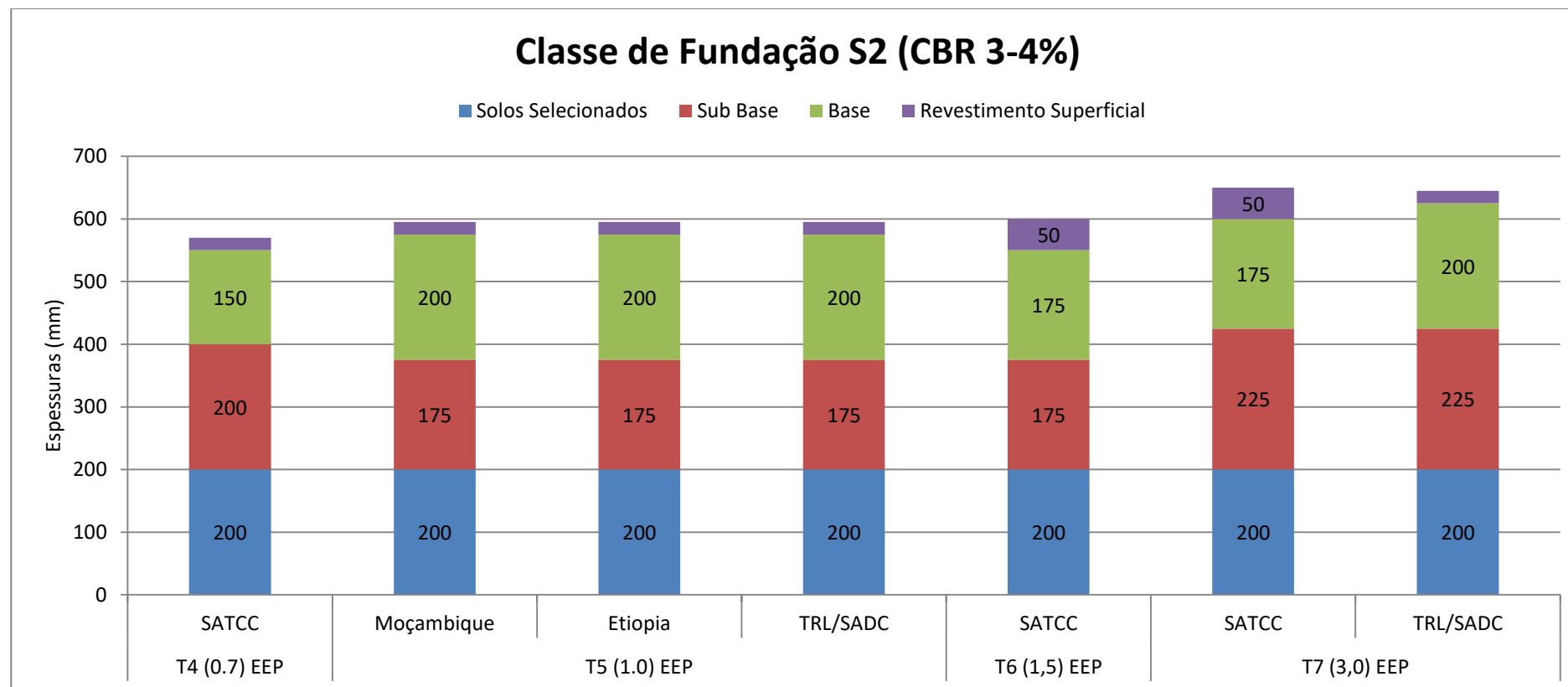


Figura 3.13 Estruturas de pavimentos para classe de fundação S2 definida (continuação)

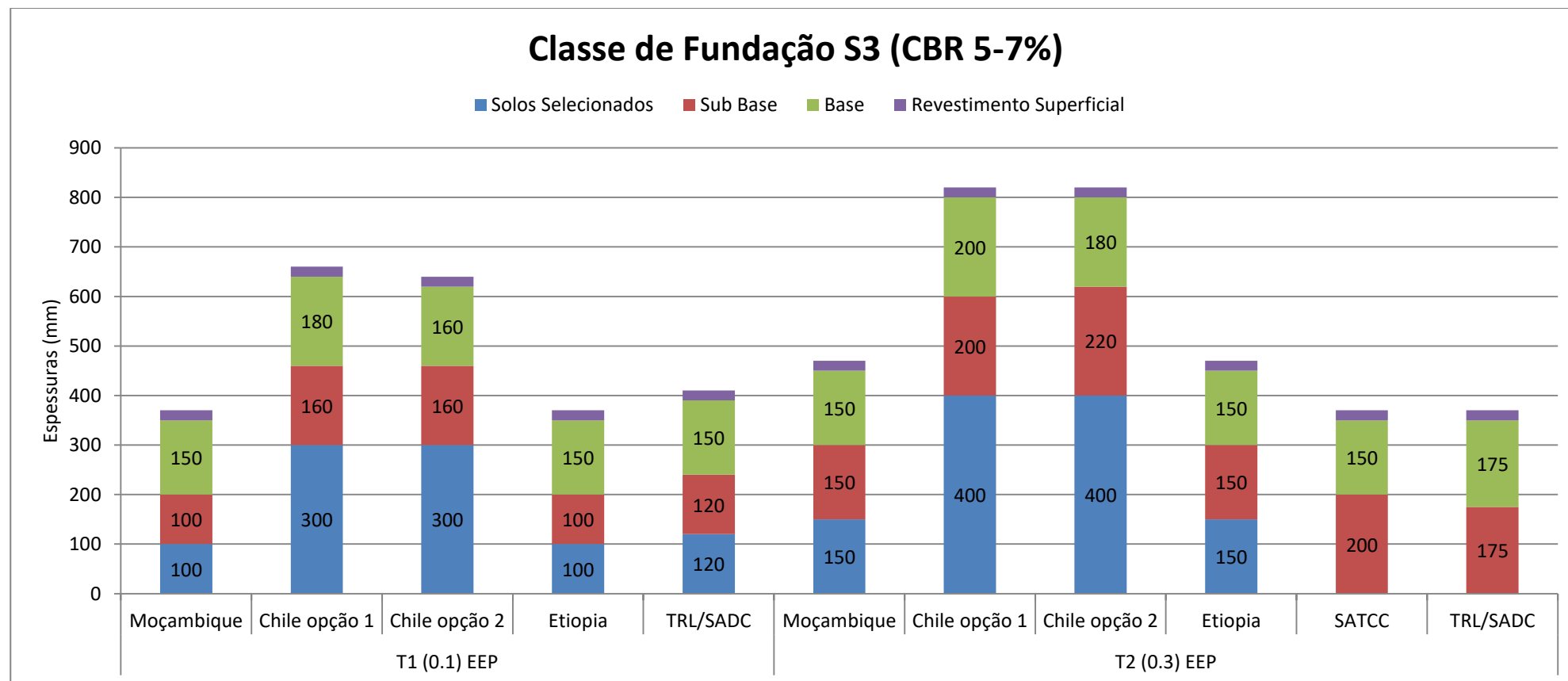


Figura 3.14 Estruturas de pavimentos para classe de fundação S3 definida

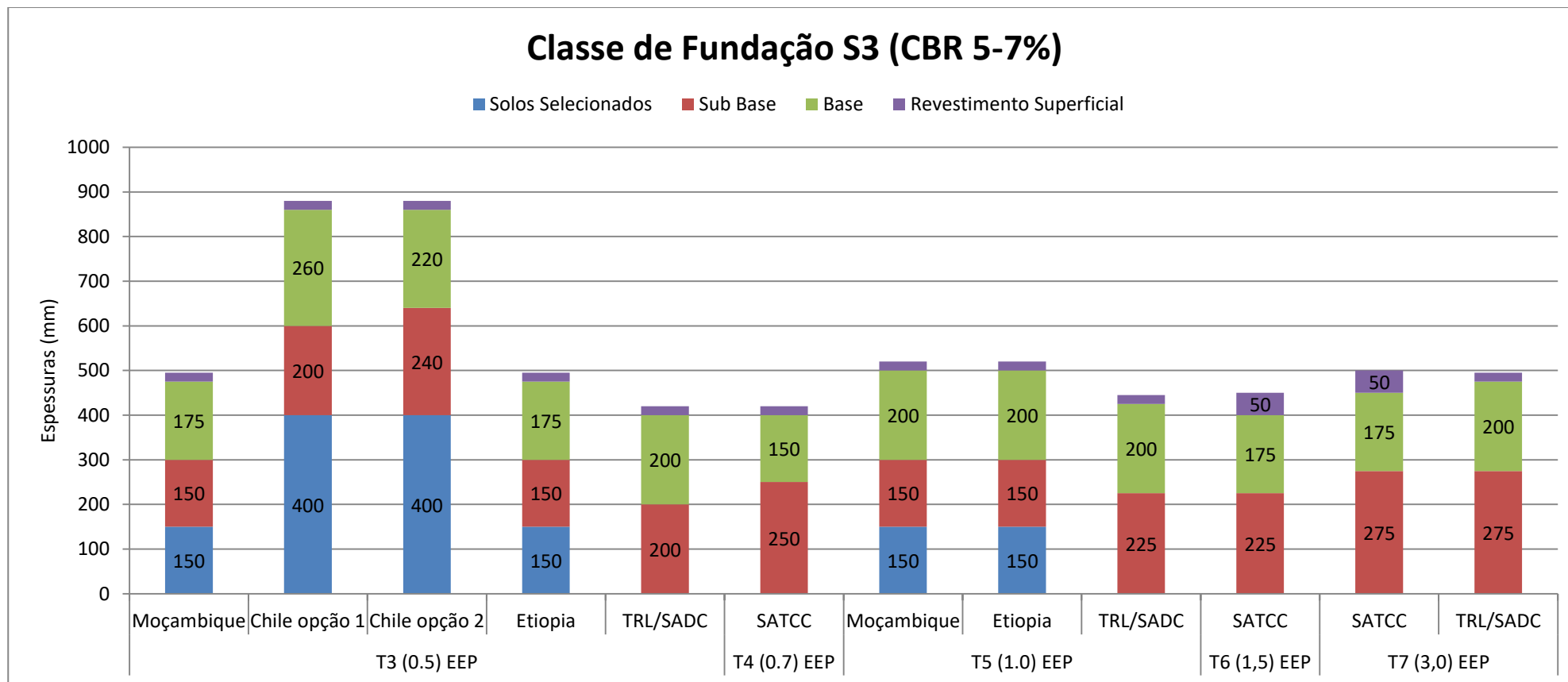


Figura 3.15 Estruturas de pavimentos para classe de fundação S3 definida (continuação)

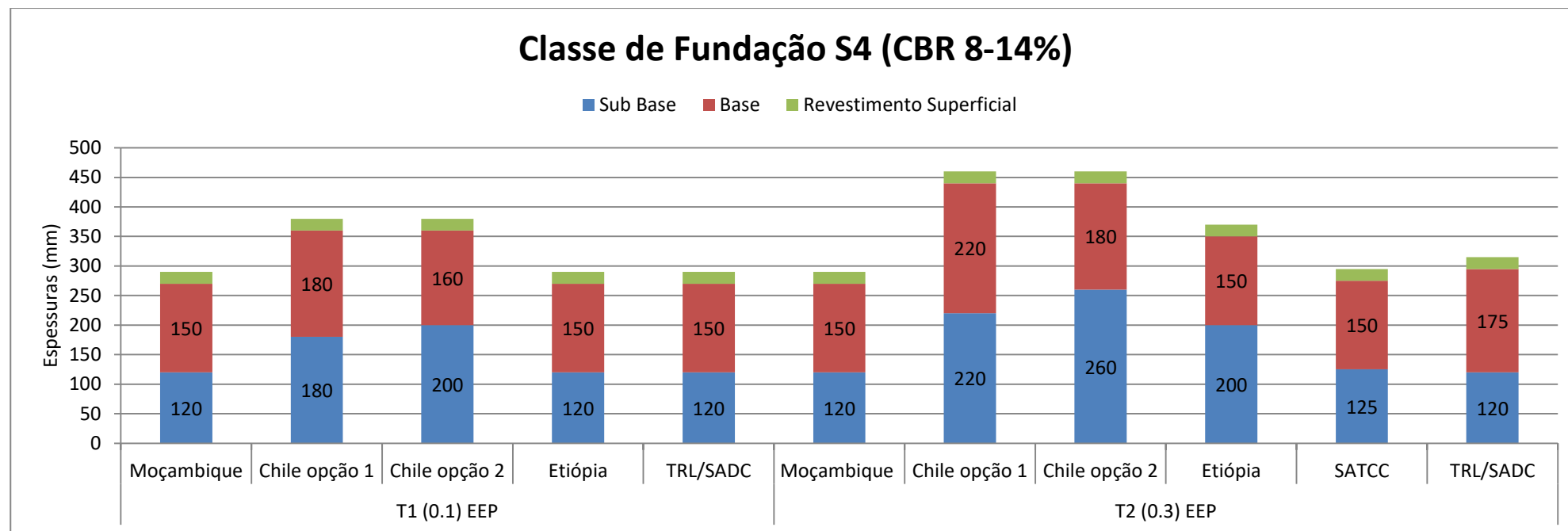


Figura 3.16 Estruturas de pavimentos para classe de fundação S4 definida

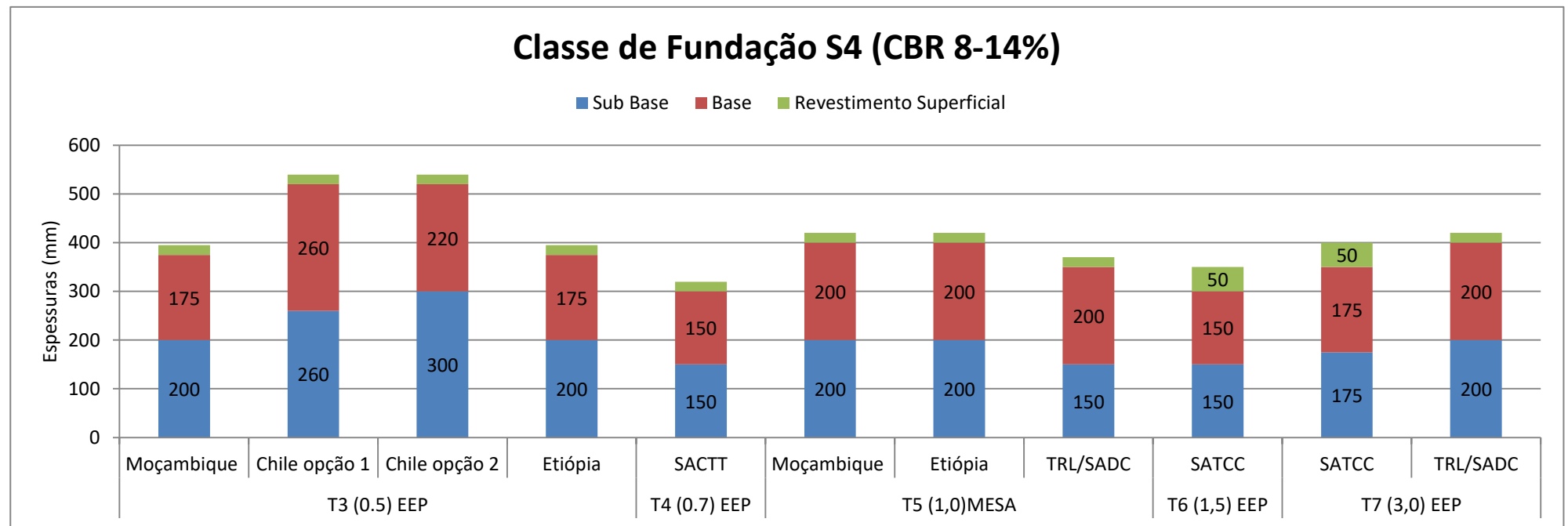


Figura 3.17 Estruturas de pavimentos para classe de fundação S4 definida (continuação)

As soluções dos materiais com cimento não podem ser comparadas com as que não envolvem este tipo de tratamento. Por exemplo, no caso do manual de Moçambique existem soluções em que a camada da estrutura de pavimento em que é aplicado o tratamento à base de cimento é a camada de base, enquanto no SATCC 1998, existem casos em que apenas a sub-base leva este tipo de tratamento. Existe um outro caso em que tanto as camadas de base como de sub-base levaram este tipo de tratamentos.

3.6 Adequação dos Métodos às Condições Locais

O dimensionamento dos pavimentos deve ser idealmente baseado na experiência e no comportamento mecânico do material e da sua estrutura. Também deve ter-se em conta as condições locais do clima, do tráfego, os materiais locais e a sua disponibilidade, incluindo outros fatores ambientais.

Segundo o SATCC 2003, deverão ser analisados os seguintes fatores para a verificação da adequação dos métodos:

- As classes de fundação: estas devem ser suficientemente estreitas, a fim de se tirar partido da gama dos materiais de fundação predominantes na região;
- As classes de tráfego: devem ser relativamente estreitas para atender incrementalmente às cargas de tráfego para dimensionamento na via de projeto até 5000.000 EP.
- Classe de materiais: deve haver um número suficiente de classes, de modo a poder considerar-se a gama completa de materiais disponíveis e suas propriedades.
- Especificação dos materiais: Estes devem ser baseados em desempenhos comprovados face ao tráfego, as classes de fundação, o tipo de revestimento superficial, as características geológicas e climáticas locais (Jorge, 2014).

3.7 Seleção das Estruturas Mais Adequadas para as Condições Existentes em São Tomé

Conforme pode observar-se nos gráficos acima, as estruturas resultantes dos manuais de Moçambique, Etiópia e do TRL/SADC são as mais económicas, uma vez que as suas estruturas de pavimento são menos espessas em comparação com os restantes manuais. A Figura 3.18 apresenta a localização destes países no mapa. No entanto, para se estar em condições de fazer uma comparação mais precisa, é necessário conhecer e comparar as condicionantes que estiveram envolvidas nos processos de cálculo destas mesmas estruturas, como é o caso do clima, e as características dos materiais utilizados nas estruturas.

Outra condicionante presente nesta seleção é o fator económico, ou seja, tratando-se de países em vias de desenvolvimento, optar por soluções de estruturas mais económicas também é um fator importante a ter em conta.

Para caracterizar as condições climáticas, a Figura 3.19 representa a comparação das temperaturas médias mensais ao longo do ano, ao passo que a Figura 3.20 mostra a comparação da precipitação dos países cujos manuais foram considerados para análise.

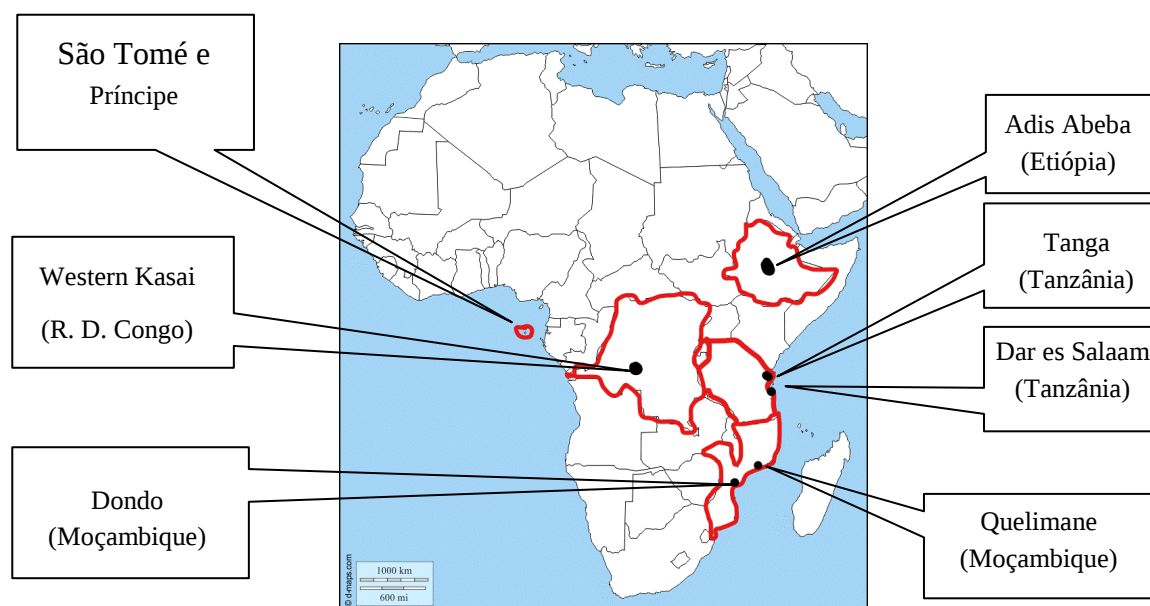


Figura 3.18 Países cujos manuais propõem estruturas mais económicas (adaptado Educolorir, 2018)

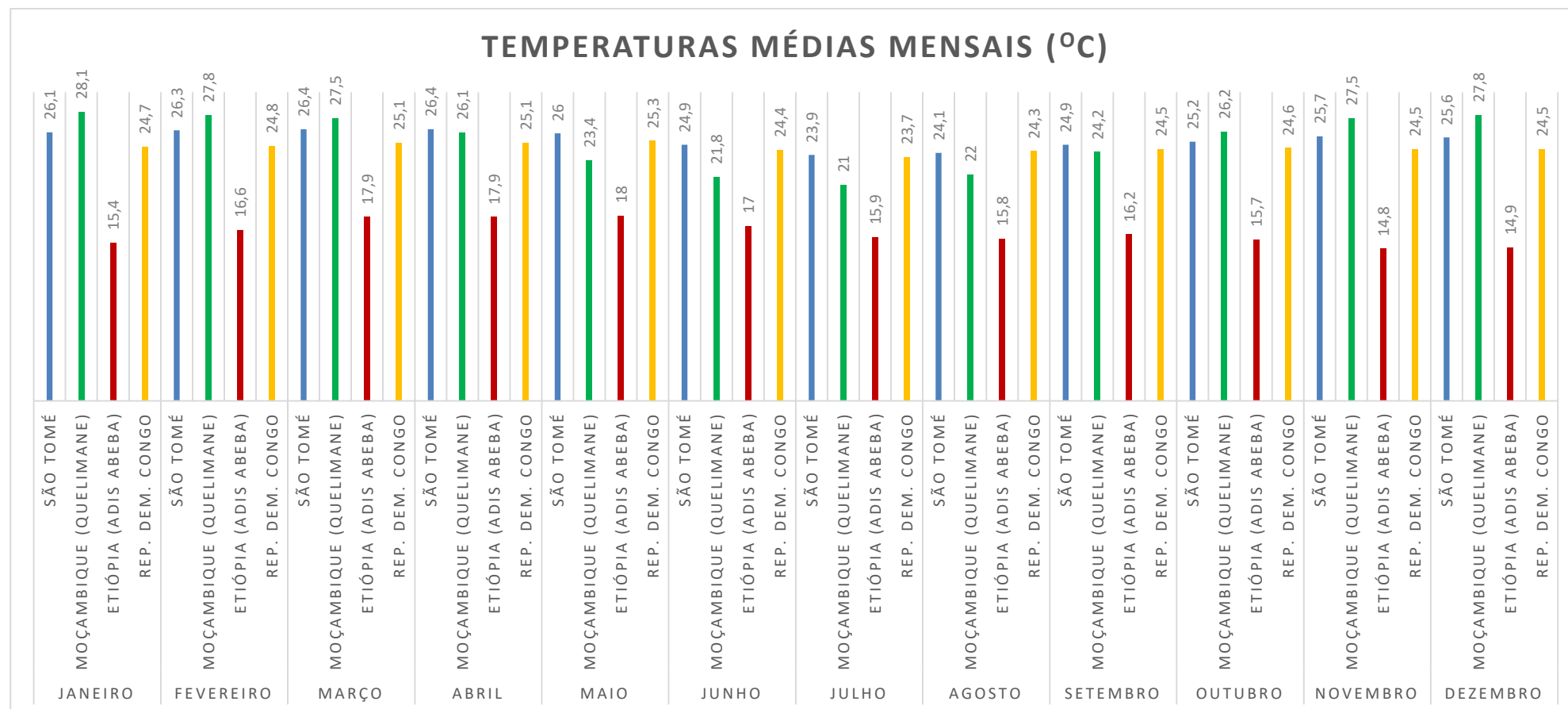


Figura 3.19 Gráfico comparativo das temperaturas médias mensais

Nota: Os países presentes no gráfico correspondem aos manuais utilizados para estes estudo, o TRL/SADC e o SATCC; foram escolhidos os países e as cidades próximas das costas para se estar em condições similares àquelas que se encontram em São Tomé, por se tratar de uma ilha.

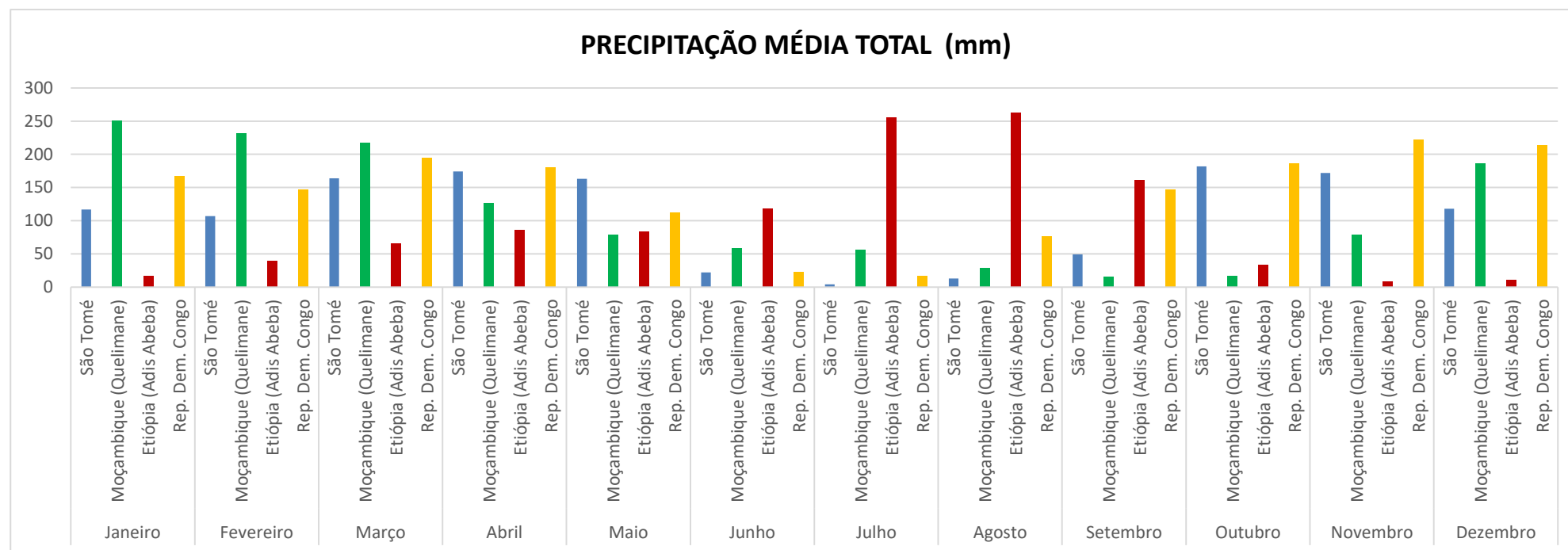


Figura 3.20 Gráfico comparativo da precipitação médias mensais

Nota: Os países presentes no gráfico correspondem aos manuais utilizados para estes estudo, o TRL/SADC e o SATCC; foram escolhidos os países e as cidades próximas das costas para se estar em condições similares àquelas que se encontram em São Tomé, por se tratar de uma ilha.

Conforme pode constatar-se através das Figuras 3.19 e 3.20, com exceção da Etiópia, os restantes países selecionados têm temperaturas e precipitações médias mensais muito próximas. No entanto, no caso da precipitação é preciso fazer uma análise mais detalhada que considere não só a precipitação anual total, mas também a variação ao longo do tempo. Note-se que grandes variações das quantidades de precipitação ao longo do tempo, e as suas respetivas durações, é um parâmetro que afeta grandemente o tempo de vida útil dos pavimentos. Assim, é necessário comparar os valores daqueles parâmetros climáticos com os de São Tomé. Para isso, fez-se a Tabela 3.32 na qual se pode verificar que as condições climáticas nos países onde se aplicam os manuais do TRL/SADC e do SATCC, e Moçambique, têm condições climáticas, em termos de temperatura e precipitação (clima húmido), semelhantes às de S. Tomé e Príncipe. Por isso, as estruturas propostas para aqueles países pelos respetivos manuais podem ser aplicadas em São Tomé.

Tabela 3.32 Comparação resumida das características climáticas dos países considerados na análise

Países/Cidades	Precipitação média anual (mm)	Época chuvosa (≥ 40 mm)	
		Duração (meses)	Quantidade média (mm)
São Tomé, S.T.P. <i>(Climate-data, julho de 2017)</i>	1285	9	1246
Quelimane, Moçambique <i>(Climate-data, julho de 2017)</i>	1346	9	1284
Dondo, Moçambique <i>(Climate-data, julho de 2017)</i>	1243	7	1110
Dar Es Salaam, Tanzânia <i>(Climate-data, julho de 2017)</i>	1089	8	997
Tanga, Tanzânia <i>(Climate-data, julho de 2017)</i>	1290	10	1233
Western Kasai, R. D. Congo <i>(Climate-data, julho de 2017)</i>	1686	10	1646

Em relação aos tipos de materiais, os que foram considerados para o dimensionamento das estruturas dos pavimentos são essencialmente materiais granulares e betuminosos. Quanto a este aspeto não existem entraves uma vez que em São Tomé existem pedreiras, onde facilmente se consegue obter estes tipos de materiais. No que se refere aos materiais betuminosos, estes são obtidos através de importações, como normalmente se tem feito.

Tendo em consideração a análise feita e as solicitações de tráfego disponíveis para a rede de S. Tomé, vão estabelecer-se as estruturas para as diferentes localizações, as quais representam suficientemente bem as condições de tráfego que podem ser encontradas em S. Tomé e Príncipe.

A Tabela 3.33 apresenta de forma sucinta os dados considerados para a determinação do valor de EP de 80 kN obtidos para cada localidade. Os valores utilizados dizem respeito a várias vias estruturantes da ilha de S. Tomé, incluindo localizações ao longo da E.N. n°2, a qual permite a circulação ao longo da linha de costa em grande parte da ilha.

Para a construção desta tabela foram utilizados os seguintes procedimentos:

1. Com os dados de tráfego fornecidos pelo INAE, apresentados na Tabela 3.7, fez-se o cálculo do TMDA para cada zona da seguinte forma:
 - Primeiro fez-se o somatório do tráfego relativo às diferentes categorias de veículos pesados considerados, por zonas;
 - O valor obtido foi dividido por dois, de modo a considerar apenas o tráfego na via de projeto, partindo-se do princípio de que são estradas de duas vias e dois sentidos. Deste modo obtém-se o TMDA para cada zona apresentada na Tabela 3.32.
2. Por falta de dados fidedignos, considerou-se uma taxa de crescimento constante de 1% ao longo do período considerado;
3. Fator de agressividade – de acordo com o Departamento de Transportes da África do Sul (*Department of Transport of South Africa*) para classes de pesados de dois eixos (o que em média representa a maior percentagem dos veículos pesados em São Tomé e Príncipe), o fator de agressividade correspondente é de cerca de 1,5 (DTSA, 1996).
4. Com estes dados passou-se ao cálculo dos eixos-padrão (EP), de acordo com a equação 3.6, e considerando um período de dimensionamento de 20 anos;
5. Por fim, foram estabelecidas as classes de tráfego conforme se apresentou no quadro 3.31.

Tabela 3.33 Número equivalente de eixo-padrão por localidade

Localidades	Pesados			Tráfego Médio Diário (TMDA)	Taxa de Crescimento anual - t (%)	Fator Agressividade (α)	Período de projeto (P)	EP	EP (x10 ⁶)	Classe de Tráfego
	Carrinhas/Autocarros	Caminhão	Trator							
Água Arroz	481	33	3	259	1	1,5	20	3122349,8	3,1	T7
Bombom	138	33	5	88	1	1,5	20	1060875,6	1,1	T6
Almas	178	51	20	125	1	1,5	20	1506925,6	1,5	T6
Santana	194	20	22	118	1	1,5	20	1422537,8	1,4	T6
Ribeira Afonso	33	3	8	22	1	1,5	20	265218,9	0,3	T2
S. João Angolares	109	35	22	83	1	1,5	20	1000598,6	1	T5
Emolve	13	2	16	16	1	1,5	20	192886,47	0,2	T2
Bôbô-Fôrro	151	31	8	95	1	1,5	20	1145263,4	1,1	T6
Água Creola	89	19	4	56	1	1,5	20	675102,66	0,7	T4
Trindade	356	20	6	191	1	1,5	20	2302582,3	2,3	T7
Batepá	133	16	8	79	1	1,5	20	952376,97	1	T5
Monte Café	34	5	4	22	1	1,5	20	265218,9	0,3	T2

Uma vez conhecidas as condições consideradas para o dimensionamento das estruturas de pavimentos indicadas nos manuais selecionados, para serem aplicadas em estruturas de pavimentos em São Tomé, são apresentadas nas Figuras 3.21 a 3.26 as diversas opções de estruturas a adotar consoante as classes de fundações e de tráfego que têm maior possibilidade de ser encontradas em S. Tomé. As estruturas dos pavimentos com camadas granulares foram selecionadas dentre as soluções apresentadas nas Figuras 3.12 a 3.17. As estruturas com camadas estabilizadas com ligantes hidráulicos (cimento e/ou cal) foram escolhidas da tabela 3.30, a qual resume as soluções propostas pelo manual Moçambicano.

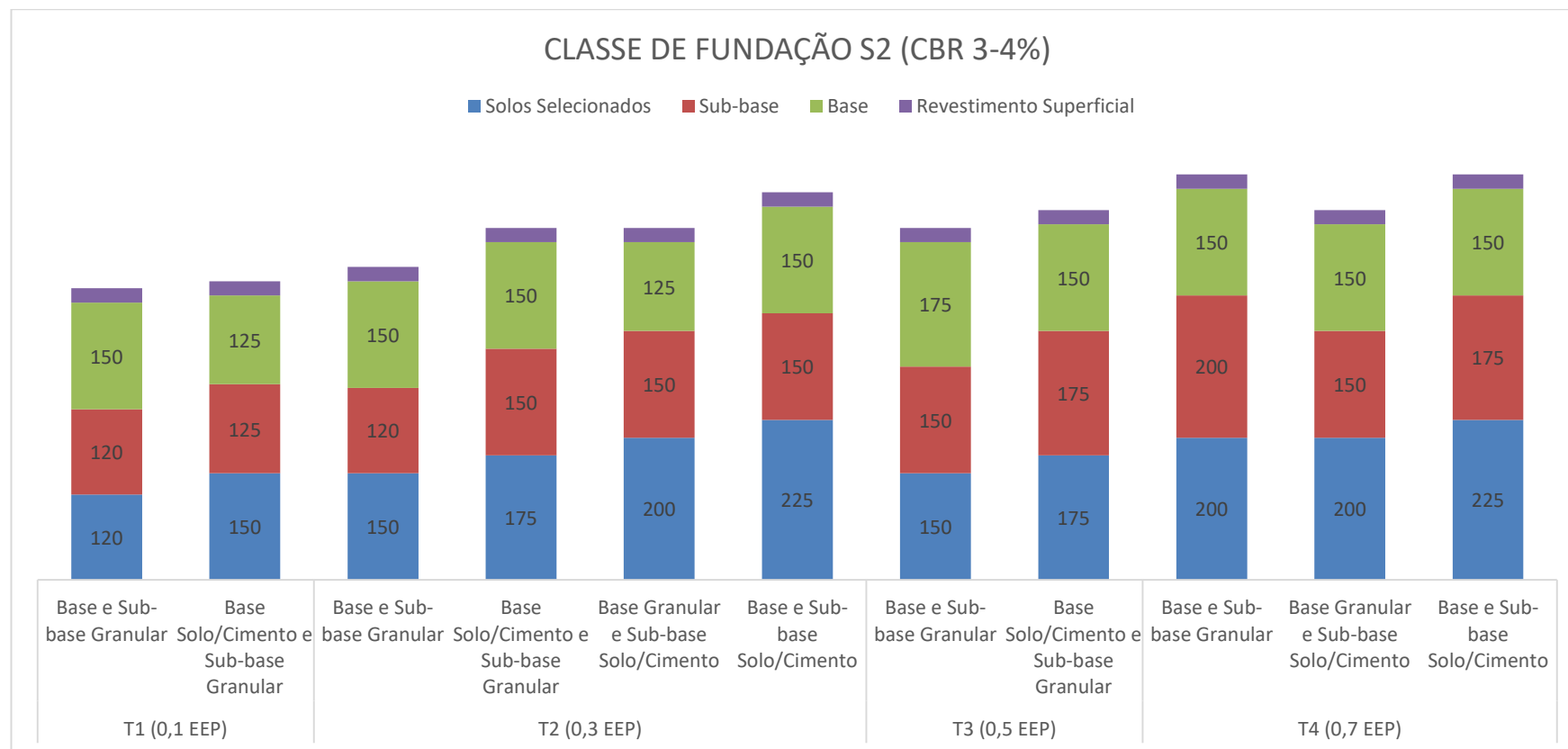


Figura 3.21 Gráfico representativo das diferentes opções de estruturas S2

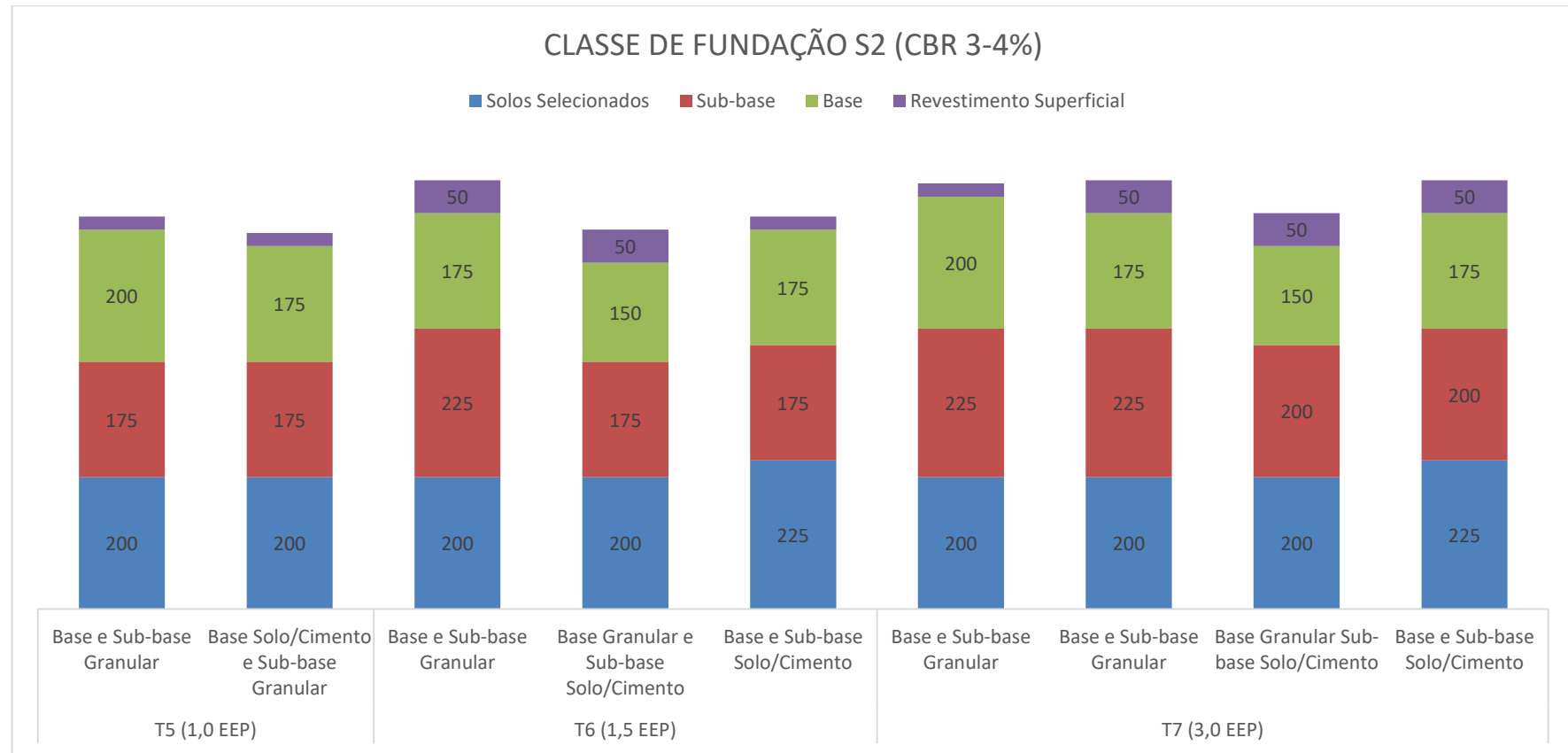


Figura 3.22 Gráfico representativo das diferentes opções de estruturas S2 (Continuação)

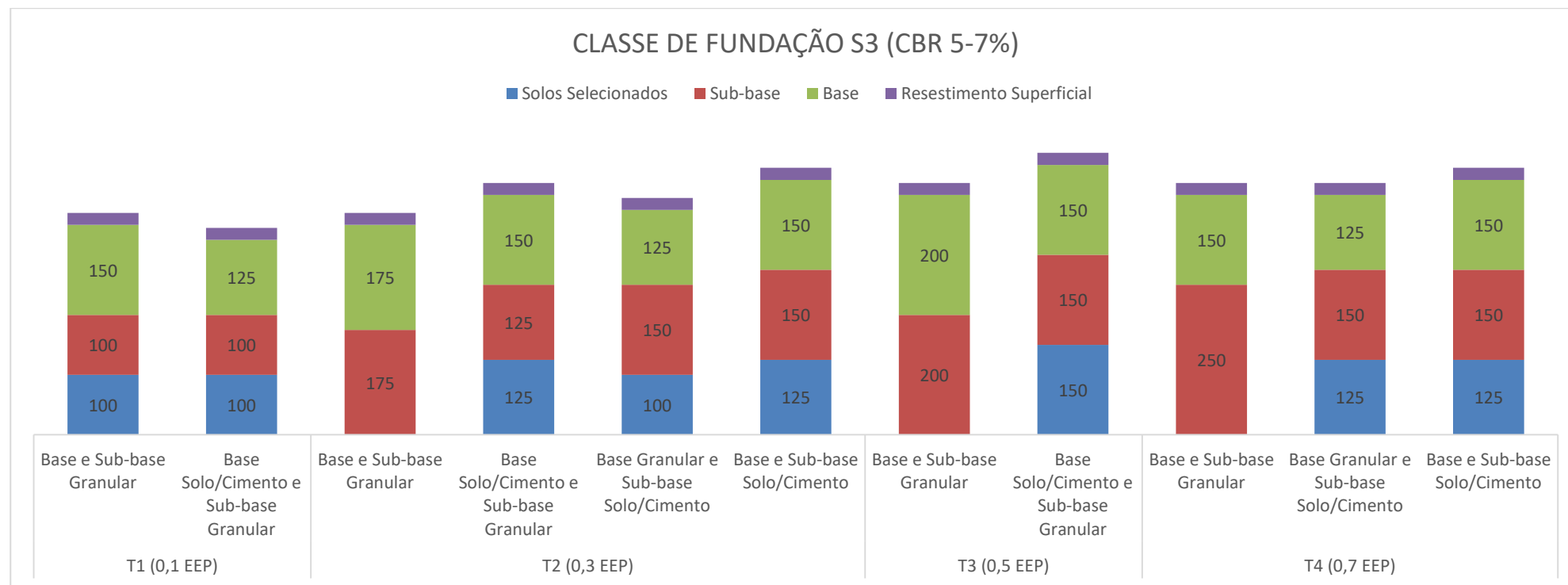


Figura 3.23 Gráfico representativo das diferentes opções de estruturas S3

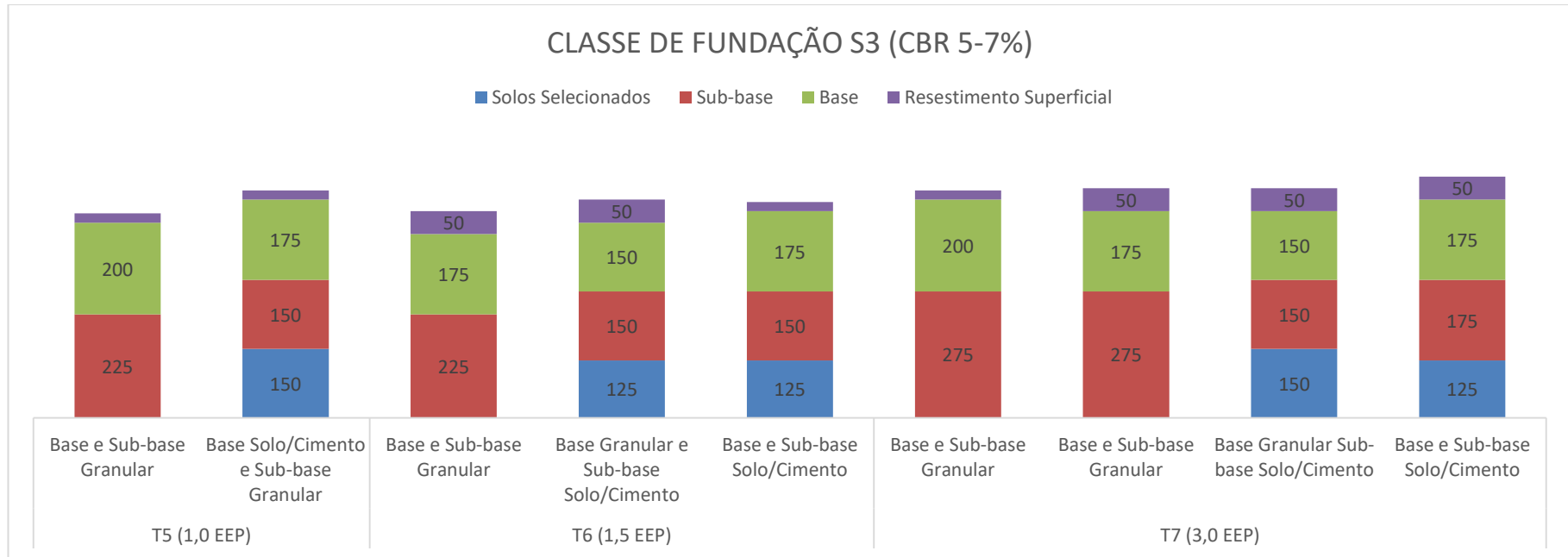


Figura 3.24 Gráfico representativo das diferentes opções de estruturas S3 (Continuação)

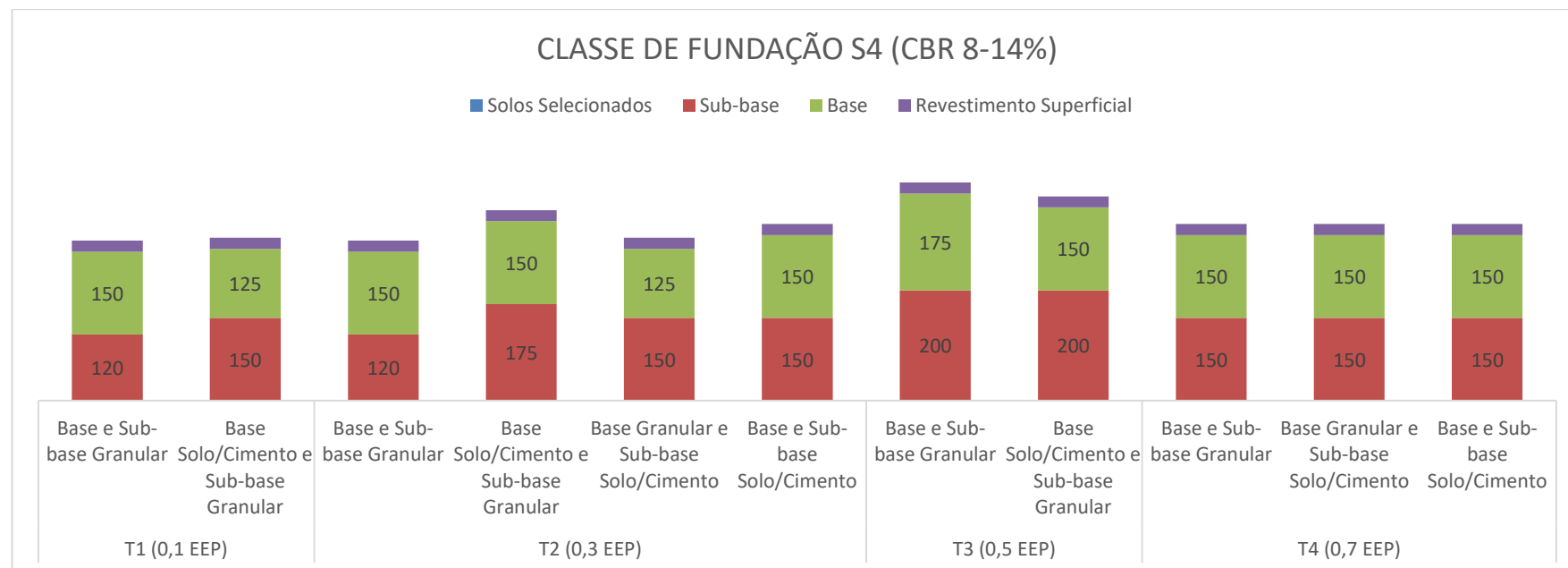


Figura 3.25 Gráfico representativo das diferentes opções de estruturas S4

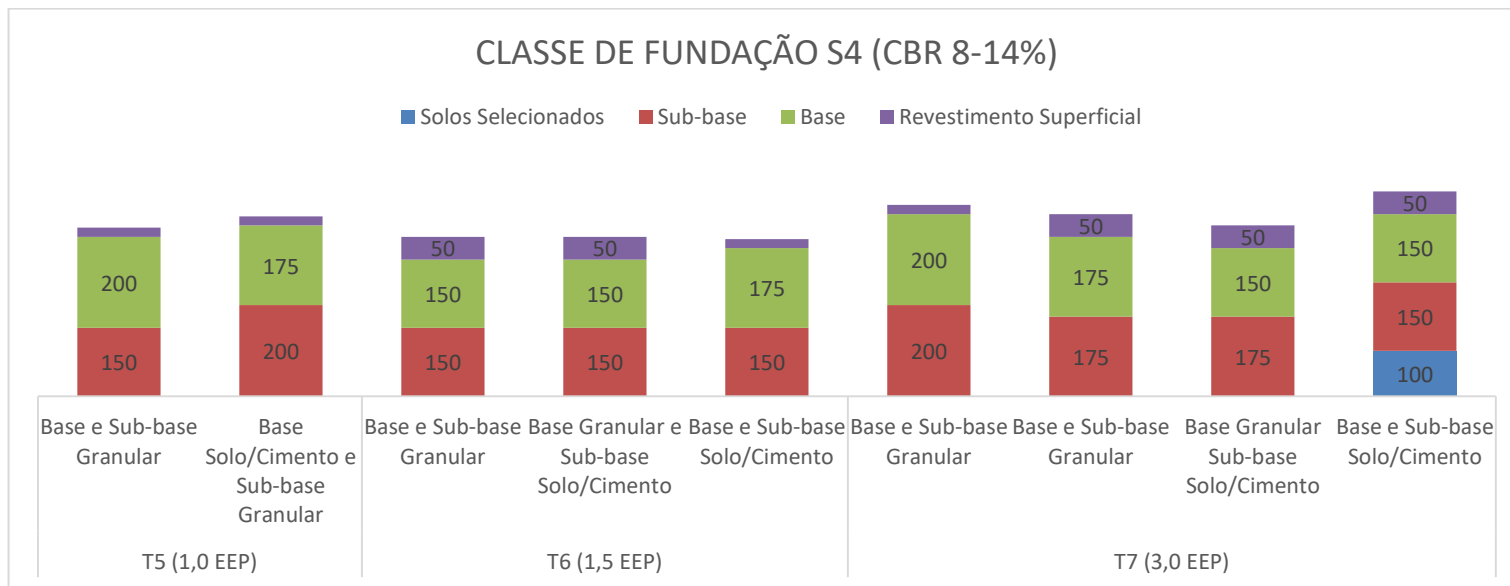


Figura 3.26 Gráfico representativo das diferentes opções de estruturas S4 (Continuação)

3.8 Método empírico-mecanicista Sul-africano

O método Sul-Africano – *South Africa Mechanistic Design Method* (SAMDM) baseia-se em estudos de campo e ensaios efetuados *in-situ*. A Figura 3.27 ilustra os procedimentos básicos necessários para aplicar este método. A síntese do método que se apresenta a seguir segue de perto o que é referido por Theyse et al. (1996).

O processo começa com a definição do carregamento e a caracterização dos materiais, incluindo a espessura e as propriedades mecânicas do material para cada camada na estrutura do pavimento. A análise estrutural normalmente envolve uma análise linear elástica, e estática do sistema de multicamada, resultando numa resposta do pavimento às condições do carregamento, expressos em termos de tensões (σ) e extensões (ϵ) nos pontos mais críticos da camada da estrutura do pavimento (Theyse et al., 1996).

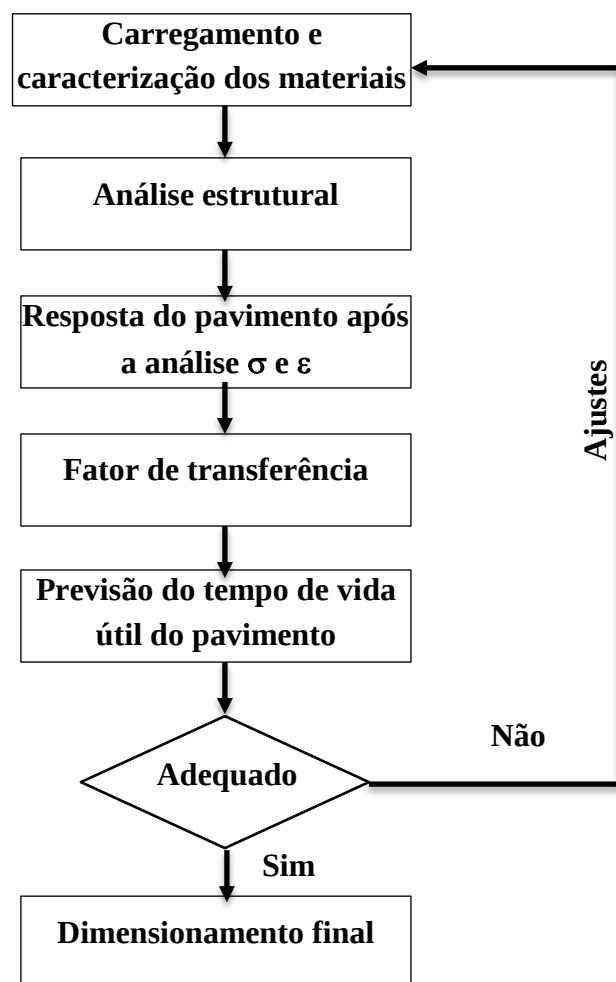


Figura 3.27 Diagrama para os procedimentos do método empírico-mecanicista (Theyse et al., 1996)

3.8.1 Caracterização dos materiais

As classificações padrão dos materiais de pavimento rodoviário encontrados na África do Sul e que foram utilizados neste estudo estão resumidas na Tabela VIII.1 do Anexo VIII. Os valores de resistência apresentados nesta tabela devem servir apenas de guia, devendo ser utilizados apenas na ausência de valores obtidos em laboratórios ou *in-situ*.

3.8.1.1 Material betuminoso

A Tabela 3.34 apresenta o módulo de deformabilidade dos materiais asfálticos sugeridos em 1993. O valor médio utilizado para o coeficiente de *Poisson* (ν) é de 0,44 ou os que forem obtidos em ensaios de laboratórios.

Tabela 3.34 Módulo de deformabilidade para camadas betuminosas (Theyse et al., 1996)

Classificação dos materiais	Profundidade (a partir da superfície) mm	Valores do módulo de deformabilidade (MPa) baseado nas condições do material e das temperaturas					
		Bom estado ou material novo		Mistura dura e seca		Estado muito fendilhado	
		20°C	40°C	20°C	40°C	20°C	40°C
Mistura descontínua	0-50	1000	200	2000	300	600	200
	50-150	2000	300	3000	400	750	300
	150-250	3000	400	4000	500	800	400
Mistura contínua	0-50	2000	300	3000	300	750	300
	50-150	4000	400	5000	600	800	400
	150-250	6000	1000	7000	1500	1000	750

3.8.1.2 Material tratado com cimento

Para os materiais tratados com cimento os valores dos seus módulos de elasticidade para as diferentes fases de comportamento da camada tratada estão apresentados na Tabela 3.35. O valor médio do coeficiente de *Poisson* é de 0,35.

Tabela 3.35 Valores dos módulos de elasticidade (MPa) sugeridas para materiais tratados com cimento (Theyse at al., 1996)

Código	UCS (MPa) para condição pré-fissurada	Código do material	Condição pré-fendilhada		Condição pós-fendilhada		
			Fase 1		Fase 2	Fase 3	
			Etapa 1: Intacto (GPa)	Etapa 2: fendas de retração (MPa)	Etapa 3: Fendilhamento associada ao tráfego (MPa)	Etapa 4: Estado equivalente ao do material granular	
						Condições secas	Condições húmidas
C1	6-12	Material britado G1, G3	6-30	2500-3000	800-1000	400-600	50-400
C2	3-6	Material britado G2, G3, Cascalhos G4	3-14	2000-2500	500-800	300-500	50-300
C3	1,5-3	Cascalhos G4, G5, G6, G7, G8	2-10	1000-2000	500-800	200-400	20-200
C4	0,75-1,5	Cascalhos G4, G5, G6, G7, G8	0,5-7	500-2000	400-600	100-300	20-200

3.8.1.3 Material granular

Os valores sugeridos dos módulos de elasticidade dos materiais granulares, incluindo os materiais da camada de fundação, podem ser encontrados na Tabela 3.36. O valor médio do coeficiente de *Poisson* é de 0.35.

Tabela 3.36 Gama sugerida dos módulos de elasticidade (MPa) dos materiais granulares (Theyse at al., 1996)

Código dos materiais	Descrição do material	Condições secas		Condições húmidas	
		Sobre a camada tratada no estado de laje	Sobre a camada granular ou equivalente	Sobre a camada tratada no estado de laje	Sobre a camada granular ou equivalente
G1	Material britado de alta qualidade	250-1000 (450)	150-600 (300)	50-250 (250)	40-200 (200)
G2	Material britado	200-800 (350)	100-350 (230)	50-250 (250)	40-200 (200)
G3	Material britado	200-800 350	100-350 (230)	50-200 (200)	40-150 (150)
G4	Cascalho (camada base)	100-600 (300)	75-350 (225)	50-200 (200)	30-150 (150)
G5	Cascalhos	50-400 (250)	40-300 (200)	30-150 (150)	20-120 (120)
G6	Cascalho (camada sub-base)	50-200 (200)	30-200 (150)	20-150 (150)	20-120 (120)
G7	Cascalho-solo	30-200		20-120	
G8	Cascalho-solo	30-180		20-90	
G9	Solo	30-140		20-70	
G10	Solo	20-90		10-45	

3.8.2 Análise estrutural

A análise estrutural é feita normalmente com o auxílio de um programa de análise estática linear elástica. O modelo de dimensionamento padrão é constituído por um carregamento de 40 kN em pneus duplos, com um espaçamento de 350 mm entre os centros das áreas carregadas e uma pressão de contacto uniforme de 520 kPa.

3.8.2.1 Material betuminoso e material tratado com cimento

Nas camadas betuminosas e com materiais tratados com cimento, a máxima tensão de tração nas suas faces inferiores são o parâmetro crítico utilizado para determinar a resistência à fadiga destes tipos de materiais. No entanto, a máxima tensão de tração não ocorre necessariamente na base das camadas. Por isso foi desenvolvida uma função de transferência para ser utilizada quando isto não acontece. Estas funções serão apresentadas mais à frente.

3.8.2.2 Material granular

Frequentemente, a análise linear elástica de pavimentos com base e sub-base granulares prevê a ocorrência de tensão de tração nas camadas granulares, resultando em quase nenhuma resistência ao corte. A Figura 3.28 representa o modelo linear elástico e o círculo de Mohr típico do estado de tensão numa camada de sub-base granular.

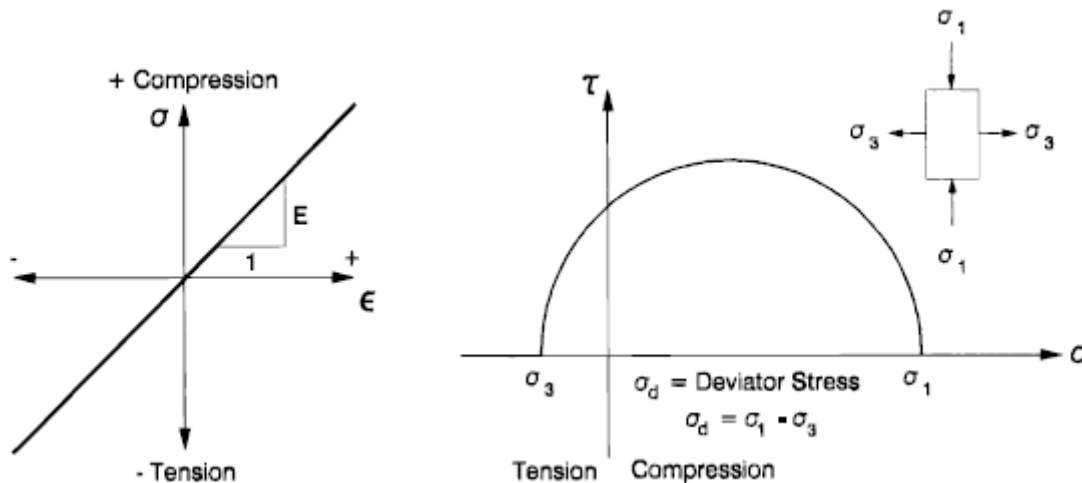


Figura 3.28 Modelo linear elástico (esquerda) e círculo de Mohr (direita) com representação de tensões numa camada de sub-base granular (Theyse at al., 1996)

Por isso, o método considera um ajuste às tensões principais maior (σ_1) e menor (σ_3), calculadas através da análise linear elástica, de modo a excluir as tensões de tração durante o cálculo do fator de segurança (F) ao corte. A tensão principal menor nos materiais granulares é igualada a zero e é feito um ajuste à tensão principal maior, mantendo a tensão deviatórica constante. Este ajuste pode ser verificado na Figura 3.29.

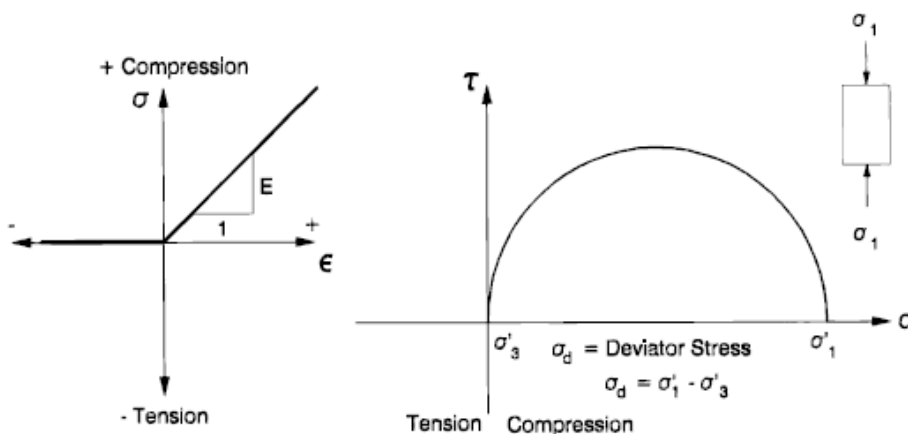


Figura 3.29 Ajustamento ao círculo de Mohr devido ao ajuste da tensão principal menor de tração (Theyse at al., 1996)

3.8.3 Previsão da vida útil do pavimento

A previsão do tempo de vida do pavimento envolve dois tipos de conceitos. O primeiro consiste na previsão individual da vida útil de cada camada do pavimento individualmente; o segundo considera a previsão da vida útil do pavimento como um todo.

3.8.3.1 Previsão da vida útil de cada camada individualmente

Os tipos básicos de materiais considerados nesta análise são os betuminosos, materiais tratados com cimento, materiais granulares e materiais de fundação. Cada material exibe um único modo de rotura relacionado com o parâmetro crítico calculado numa posição específica da estrutura do pavimento sob carregamento. O fator de transferência proporciona a relação entre o parâmetro crítico e o número de aplicação de cargas que a estrutura possa suportar sem entrar em colapso.

Material betuminoso

Os materiais betuminosos entram em rotura devido às fendas originadas pela tração na base das camadas quando sujeitos a cargas repetidas. É feita a distinção entre as estruturas com camadas superficiais delgadas, com menos de 50 mm, e com camadas betuminosas espessas, com mais de 75 mm de espessura. O fator de transferência é indicado para camadas superficiais de misturas contínuas e descontínuas, e camadas de base betuminosas com 1000 a 8000 MPa de módulo. A Figura 3.30 apresenta o fator de transferência para as fendas iniciais causadas por fadiga do material betuminoso em camadas superficiais delgadas.

A Figura 3.31 mostra o *shift factor* para converter a vida associada ao aparecimento das fendas iniciais na vida total à fadiga correspondente ao aparecimento das fendas à superfície do pavimento. Para a determinação do *shift factor* deve considerar-se a espessura total das camadas betuminosas. No caso das camadas superficiais betuminosas superiores a 75 mm, o fator de transferência de fendas iniciais causadas por fadiga encontra-se na Figura VIII.1 do Anexo VIII.

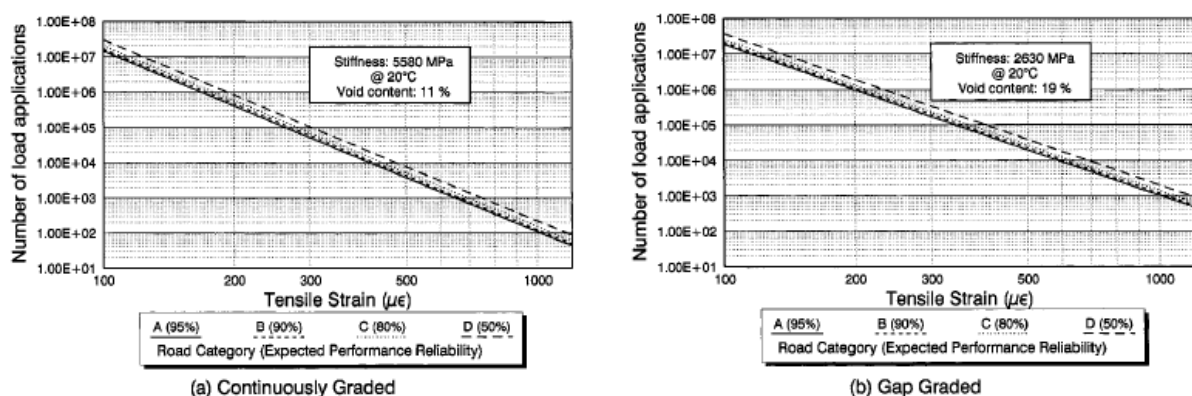


Figura 3.30 Fator de transferência de fendas causadas por fadiga para camadas superficiais betuminosas delgadas (Theyse et al., 1996)

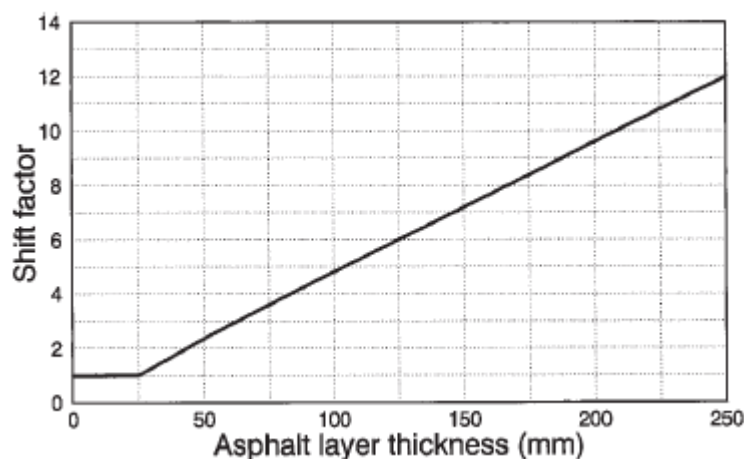


Figura 3.31 Shift factor para a propagação de fendas nas camadas betuminosas (Theyse at al., 1996)

Camada de material tratado com cimento

Os materiais tratados com cimento exibem duas formas de rotura: por fadiga e por esmagamento. Os parâmetros críticos são a máxima extensão de tração (ϵ) na base da camada relacionada com a rotura por fadiga, e a tensão de compressão vertical (σ_v) no topo da camada relacionado com a vida ao esmagamento.

O fator de transferência relativo à fadiga para este tipo de material está ilustrado na Figura 3.32. Os valores por omissão sugeridos para a extensão no momento da rotura ϵ_b ($\mu\epsilon$) e o UCS – *unconfined compressive stress* para camadas de materiais tratados com cimento são apresentados na Tabela 3.37.

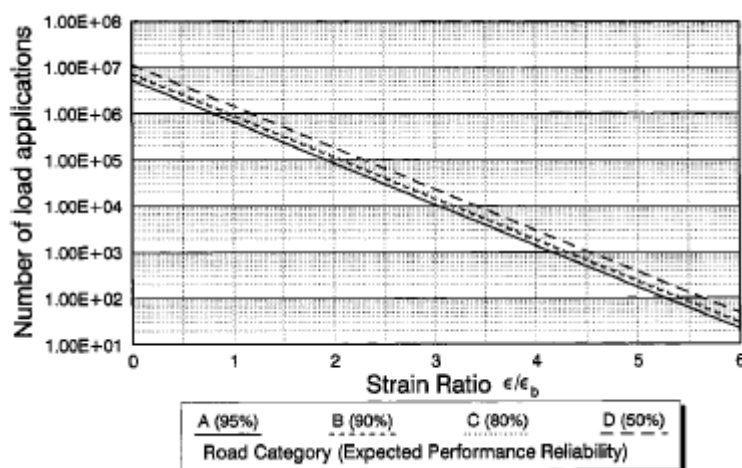


Figura 3.32 Fator de transferência para a fadiga de materiais tratados com cimento (Theyse at al., 1996)

Tabela 3.37 Valores sugeridos para ε_b e UCS para camadas de materiais tratados com cimento (adaptado Theyse et al., 1996)

Código do material	ε_b ($\mu\varepsilon$)	UCS (kPa)
C1	145	7500
C2	120	7500
C3	125	2250
C4	145	1125

Em relação à rotura por esmagamento, o fator de transferência está ilustrado na Figura 3.33. Este fator está indicado para duas condições: a) iniciação de esmagamento (N_{ci}) com deformação de 2 mm no topo da camada; b) esmagamento avançado (N_{ca}), com 10 mm de deformação.

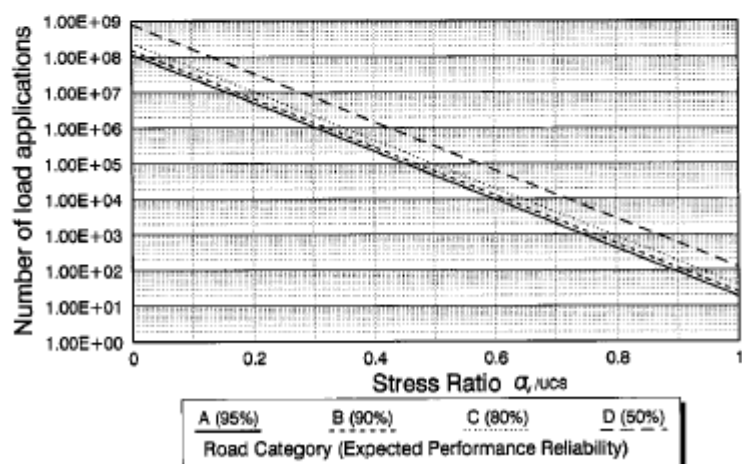
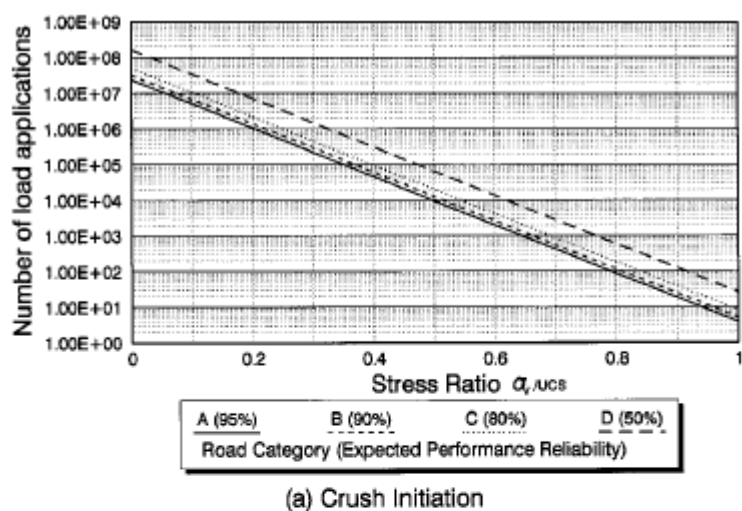


Figura 3.33 Função de transferência para o esmagamento em material ligeiramente tratado com cimento (Theyse et al., 1996)

Material granular

Os materiais granulares exibem deformações quando sujeitos a carregamentos repetidos. O *safety factor* para os materiais granulares utilizados no SAMDM é apresentado na Equação 3.11 ou 3.12.

$$F = \frac{\sigma_3 \left[K \left(\tan^2 \left(45 + \left(\frac{\phi}{2} \right) \right) - 1 \right) \right] + 2 \cdot K \cdot C \cdot \tan \left(45 + \left(\frac{\phi}{2} \right) \right)}{\sigma_1 - \sigma_3} \quad (3.11)$$

$$F = \frac{\sigma_3 \cdot \phi_{term} + C_{term}}{\sigma_1 - \sigma_3} \quad (3.12)$$

Em que:

σ_1 e σ_3 – tensões principais maior e menor, respectivamente, conforme representado no círculo de Mohr (tensão de compressão positiva e tensão de tração negativa);

C – Coesão;

ϕ - Ângulo de atrito interno;

K – Constante = 0,65 para condições saturadas; 0,8 para condições moderadamente húmidas; 0,95 para condições normais de humidade.

As tensões principais maior e menor são calculadas no ponto médio da espessura das camadas granulares. Os valores sugeridos de C_{term} e de ϕ_{term} para materiais granulares estão apresentados na Tabela 3.38.

A função de transferência que relaciona o *safety factor* com o número de cargas aplicáveis está ilustrada na Figura 3.34.

Tabela 3.38 Valores propostos para C_{term} e ϕ_{term} para materiais granulares (Theyse at al., 1996)

Código de material	Condições de humidade					
	Seco		Moderado		Húmido	
	ϕ_{term}	C_{term}	ϕ_{term}	C_{term}	ϕ_{term}	C_{term}
G1	8,61	392	7,03	282	5,44	171
G2	7,06	303	5,76	221	4,46	139
G3	6,22	261	5,08	188	3,93	115
G4	5,50	223	4,40	160	3,47	109
G5	3,60	143	3,30	115	3,17	83
G6	2,88	103	2,32	84	1,76	64
EG4	4,02	140	3,50	120	3,12	100
EG5	3,37	120	2,80	100	2,06	80
EG6	1,63	100	1,50	80	1,40	60

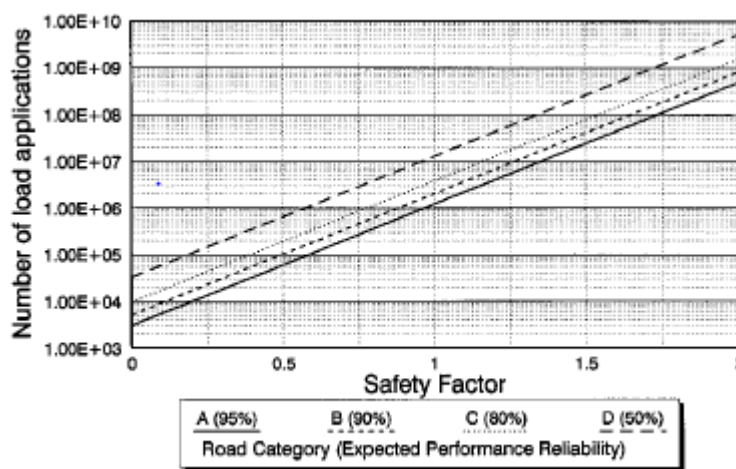
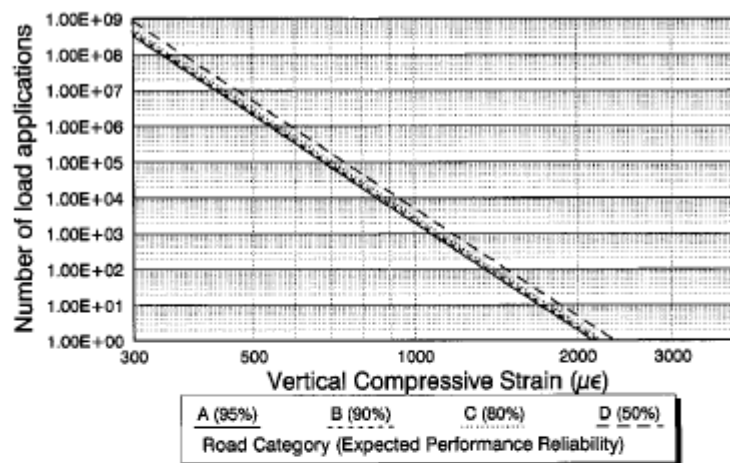


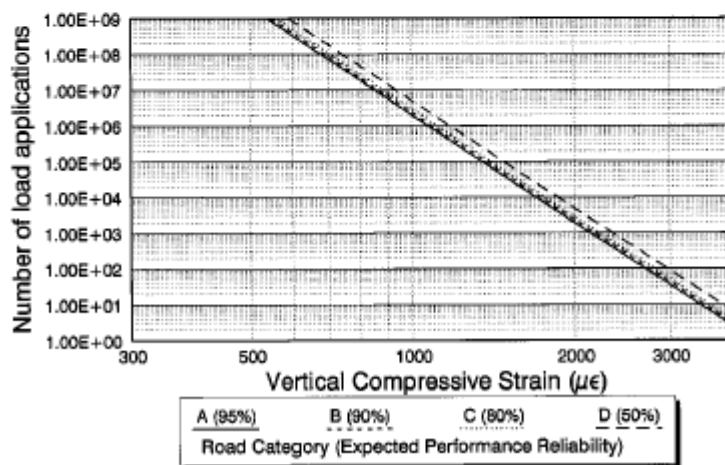
Figura 3.34 Função de transferência para materiais granulares (Theyse at al., 1996)

Materiais das fundações

A deformação permanente no topo da fundação é o mecanismo de rotura da fundação que resulta numa deformação observável à superfície do pavimento. O parâmetro crítico destes materiais é a tensão vertical de compressão (ε_v) no topo da camada. O fator de transferência é dado por duas condições terminais, um assentamento na superfície de 10 ou de 20 mm causado pela deformação da fundação. Isto pode ser observado na Figura 3.35.



(a) 10 mm Deformation



(b) 20 mm Deformation

Figura 3.35 Função de transferência de deformações na camada de fundação
(Theyse et al., 1996)

3.8.3.2 Previsão da vida útil do pavimento

Após a previsão da vida útil de cada camada da estrutura do pavimento, as previsões devem ser combinadas para todo o sistema estrutural do pavimento, de modo a prever a vida útil do pavimento. Se não houver na estrutura do pavimento camadas tratadas com cimento, a vida útil do pavimento é dada pela vida da camada que tiver a vida mais curta. No entanto, se houver na estrutura camadas tratadas com cimento deve identificar-se as diferentes fases no ciclo de vida do pavimento e, assim, calcular o tempo de vida útil do pavimento.

A Figura 3.36 ilustra o comportamento das camadas tratadas com cimento. Durante a fase de pré-fendilhamento, o módulo de elasticidade (E) é da ordem dos 3000 a 4000 MPa e, nesta fase, esta camada atua como uma laje. Este valor rapidamente decresce para a ordem dos 1500 a 2000 MPa pouco tempo depois da entrada em serviço do pavimento. Nessa fase, a camada fica dividida em vários elementos. Por fim, a camada passa a ter um comportamento semelhante ao das camadas de materiais granulares, com um valor do E da ordem de 200 a 300 MPa. A fase

de pré-fendilhamento é considerada muito curta em relação às restantes fases e, assim, não é considerada no cálculo do tempo de vida útil da camada tratada.

A situação considerada na Figura 3.37 ilustra a forma de cálculo da tensão e da extensão para cada fase de vida de camadas de materiais tratados com cimento e, conseqüentemente, o tempo de vida útil do pavimento.

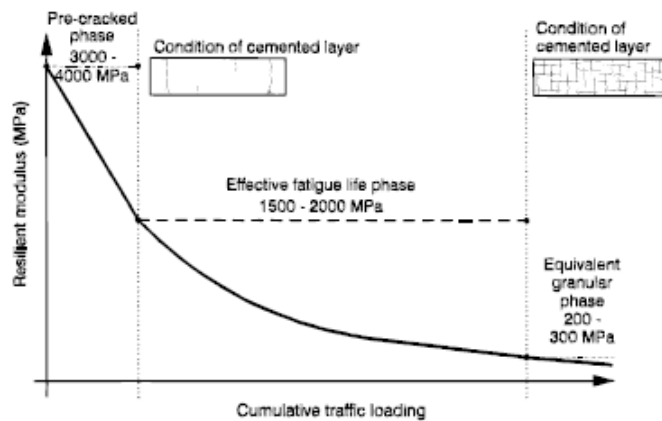


Figura 3.36 Comportamento de camada tratada com cimento ao longo do tempo
(Theyse et al., 1996)

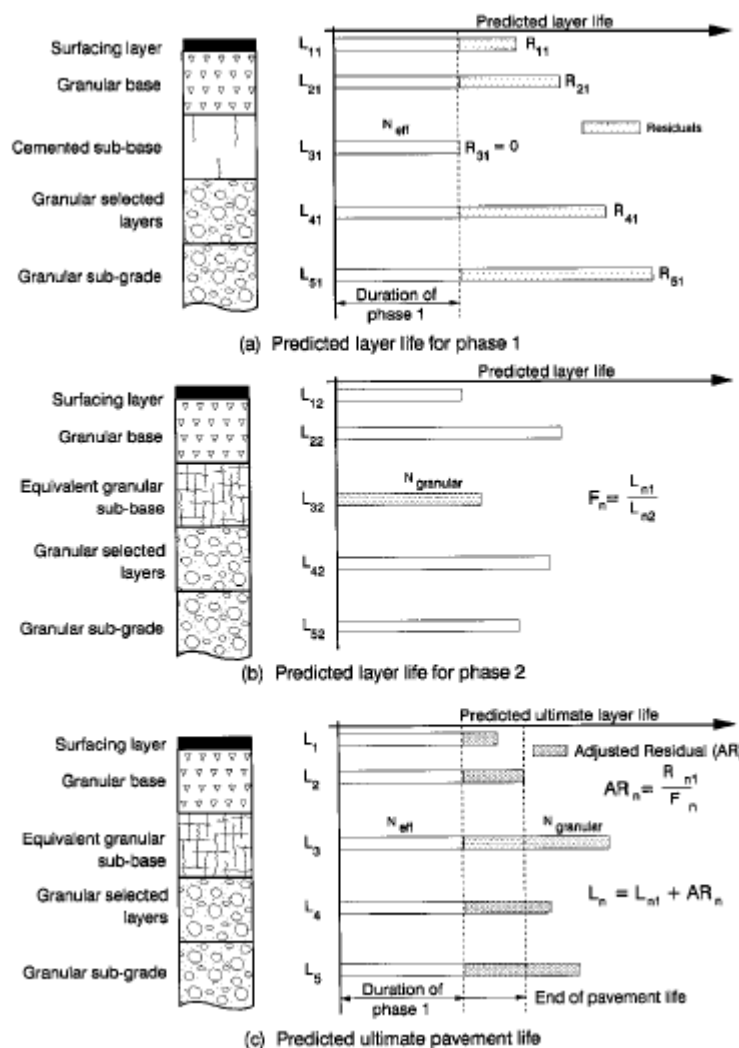


Figura 3.37 Cálculo do tempo de vida útil para estruturas de pavimento com camadas tratadas com cimento (Theyse et al., 1996)

3.8.4 Comparação dos valores obtidos pelo método empírico-mecanicista com os valores das soluções dos manuais selecionados

Pretende-se determinar pelo método empírico-mecanicista Sul-Africano os valores de vida útil de algumas estruturas selecionadas com base nos manuais considerados para regiões de clima húmido, cujas estruturas foram selecionadas para serem aplicadas em São Tomé e Príncipe.

Com base nas características dos materiais, apresentados no catálogo do TRL/SADC, determinou-se o estado de tensão e deformação com o auxílio do programa Bisar da Shell, a fim de verificar se as estruturas selecionadas dos manuais para São Tomé e Príncipe suportariam o mesmo número de repetições de carga do eixo-padrão que o previsto pelos manuais. A Tabela 3.39 apresenta algumas das soluções estruturais e as suas características propostas pelo manual, os quais irão ser testados pelo SAMDM.

Tabela 3.39 Soluções estruturais apresentadas pelos manuais da SATCC e TRL/SADC

Manual SATCC – Solução Estrutural 1 – S4 T6 (1,5x10⁶EP)			
CB50	BG150 CBR80%	SbG150 CBR30%	S4 CBR8-14%
2500 MPa	150 MPa (G4)	120 MPa (G5-G6)	70 MPa
Manual TRL/SADC – Solução Estrutural 2 – S2 T1 (0,1x10⁶EP)			
BG150 CBR65%	SbB120 CBR30%	SS120 CBR15%	S2 CBR3-4%
140 MPa (G4-G5)	120 MPa (G5-G6)	100 MPa (G7)	22MPa
Manual TRL/SADC – Solução estrutural 3 – S2 T3 (0,5x10⁶EP)			
BG175 CBR80%	SbG150 CBR30%	SS150 CBR15%	S2 CBR3-4%
150 MPa (G4)	120 MPa (G5-G6)	100 MPa (G7)	22MPa
Manual TRL/SADC – Solução Estrutural 4 – S3 T2 (0,3x10⁶EP)			
BG175 CBR65%	SbG175 CBR30%	S3 CBR5-7%	
140 MPa (G4-G5)	120 MPa (G5-G6)	36MPa	
Manual TRL/SADC – Solução Estrutural 5 – S3 T3 (0,5x10⁶EP)			
BG200 CBR65%	SbG200 CBR30%	S3 CBR5-7%	
140 MPa (G4-G5)	120 MPa (G5-G6)	36MPa	
Manual TRL/SADC – Solução Estrutural 6 – S4 T5 (1,0x10⁶EP)			
BG200 CBR80%	SbG150 CBR30%	S4 CBR8-14%	
150 MPa (G4)	120 MPa (G5-G6)	70MPa	

Legenda: CB – Camada Betuminosa; BG – Base Granular; SbG – Sub-base Granular; SS – Solo Selecionado; S – Fundação (*Subgrade*); EP – Eixos-Padrão.

Nota: As dimensões apresentadas das espessuras das camadas estão em mm.

A tabela 3.39 deve ser lida da forma que se apresenta a seguir. Por exemplo, para a solução estrutural 6: Base granular com 200 mm de espessura e um CBR de 80%, sub-base granular com 150 mm de espessura e um CBR de 30% e, por fim, fundação de classe S4 com CBR entre 8 e 14%.

Para cada estrutura de pavimento indicada na Tabela 3.39 são apresentados os valores típicos dos módulos de elasticidade (*E*) dos materiais sugeridos pelo SAMDM. Os dados indicados na Tabela 3.39 foram utilizados no programa Bisar para determinar o estado de tensão e de deformação nos pontos críticos de cada camada das estruturas de pavimentos, para uma carga de um eixo-padrão de 80 kN. Esses resultados, analisados com base nos pressupostos indicados pelo SAMDM (descritos em 3.8), permitiram chegar aos resultados presentes nas Tabela 3.40. Com isto foram determinados os números admissíveis de repetições de carga apresentados na

Figura 3.38 para um nível de confiança de 50% e de 95%, respetivamente D e A. Estes níveis de confiança estão relacionados com as categorias das estradas, ou seja, os níveis de importância das estradas, correspondendo o nível A às estradas mais importantes e o D ao menos importante.

Pegando no exemplo da solução estrutural 1, da Tabela 3.40, para a obtenção dos níveis de cargas admissíveis, foram seguidos os seguintes passos, conforme o SAMDM:

- Revestimento superficial betuminoso;
 - Com a micro extensão de tração calculada na base da camada de revestimento superficial betuminosa de $444 \mu\epsilon$, obteve-se o valor do número de repetição de carga admissível para os níveis A e D, respetivamente de $0,012 \times 10^6$ EP e $0,024 \times 10^6$, através do gráfico (a) da Figura 3.30. Após isso, através do gráfico da Figura 3.31 e tendo em conta a espessura do revestimento betuminoso de 50 mm, retirou-se o valor do *shift factor* de 2.5. Por fim, é feita a multiplicação do valor do EP obtido pelo *shift factor*, resultando assim num valor de repetição de carga final de $0,03 \times 10^6$ EP. Faz-se esta multiplicação com o objetivo de se atingir o número de carregamentos que leva ao nível máximo admissível do desenvolvimento das fissuras iniciais (obtidas do gráfico 3.30).
- Base e sub-base granular;
 - Após o cálculo das tensões no ponto intermédio da camada, e a seleção das coesões e dos ângulos de atrito (Tabela 3.38) de cada camada da estrutura do pavimento, calcula-se o *safety factor* para cada camada. Com o menor *safety factor* (entre a camada de base e sub-base) e com o auxílio do gráfico da Figura 3.34, retirou-se o valor do EP de 1×10^5 e de 1×10^6 , respetivamente para os níveis de confiança A e D.
- Fundação (Solo selecionado)
 - A micro deformação vertical de compressão (ϵ_v) foi calculada no topo da camada, obtendo-se o valor de $1220 \mu\epsilon$. Este valor foi diretamente utilizado para o cálculo do EP de 2×10^6 e 3×10^6 (respetivamente, para os níveis A e D), através do gráfico (b) da Figura 3.35. Este é o mesmo procedimento a seguir quando existem camadas de solo selecionado.
- Por fim, tendo sido calculados os EP de todas as camadas da estrutura do pavimento, foi selecionada como nível de carga admissível a do revestimento superficial betuminoso por ter um nível de repetição de carga mais baixo. O que resultou no valor para os níveis A e D, respetivamente de $0,03 \times 10^6$ e $0,06 \times 10^6$ EP, apresentados na Figura 3.38.

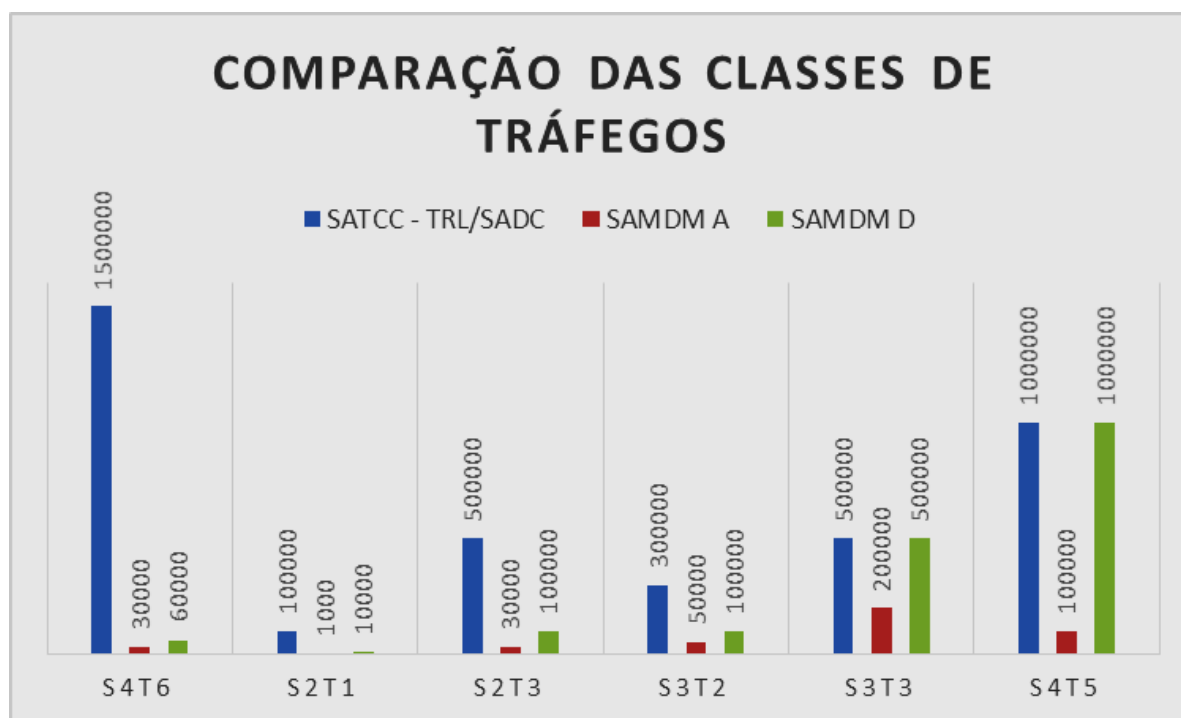
Os mesmos procedimentos foram aplicados nas restantes soluções estruturais.

Tabela 3.40 Resultados dos cálculos com base no SAMDM

Manual SATCC – Solução Estrutural 1 – S4 T6 (1,5x10 ⁶ EP)			
Camada Betuminosa	Camada de Base	Camada de Sub-base	Fundação
Extensão de tração (μϵ): 444	σ ₁ : -284; σ ₃ : -14,2 C-term: 109; ϕ-term: 3,47	σ ₁ : -91,6; σ ₃ : +1,81 C-term: 64; ϕ-term: 1,76	Tensão de compressão vertical (ε _v): 1220
Shift Factor: 2,5	Safety Factor: 0,6	Safety Factor: 1.3	
Manual TRL/SADC – Solução Estrutural 2 – S2 T1 (0,1x10 ⁶ EP)			
Camada de Base	Camada de Sub-base	Solo Selecionado	Fundação
σ ₁ : -419; σ ₃ : -134 C-term: 109; ϕ-term: 3,47	σ ₁ : -142; σ ₃ : -3,5 C-term: 64; ϕ-term: 1,76	Tensão de compressão vertical (ε _v): 955	Tensão de compressão vertical (ε _v): 1820
Safety Factor: 2	Safety Factor: 0,5		
Manual TRL/SADC – Solução estrutural 3 – S2 T3 (0,5x10 ⁶ EP)			
Camada de Base	Camada de Sub-base	Solo Selecionado	Fundação
σ ₁ : -386; σ ₃ : -104 C-term: 109; ϕ-term: 3,47	σ ₁ : -102; σ ₃ : +13,5 C-term: 64; ϕ-term: 1,76	Tensão de compressão vertical (ε _v): 1170	Tensão de compressão vertical (ε _v): 1610
Safety Factor: 1,7	Safety Factor: 0,6		
Manual TRL/SADC – Solução Estrutural 4 – S3 T2 (0,3x10 ⁶ EP)			
Camada de Base	Camada de Sub-base	Fundação	
σ ₁ : -387; σ ₃ : -94,5 C-term: 109; ϕ-term: 3,47	σ ₁ : -95,3; σ ₃ : +15,9 C-term: 64; ϕ-term: 1,76	Tensão de compressão vertical (ε _v): 1590	
Safety Factor: 1,5	Safety Factor: 0,6		
Manual TRL/SADC – Solução Estrutural 5 – S3 T3 (0,5x10 ⁶ EP)			
Camada de Base	Camada de Sub-base	Fundação	
σ ₁ : -356; σ ₃ : -71,6 C-term: 109; ϕ-term: 3,47	σ ₁ : -73,8; σ ₃ : +8,3 C-term: 64; ϕ-term: 1,76	Tensão de compressão vertical (ε _v): 1350	
Safety Factor: 1,3	Safety Factor: 0,8		
Manual TRL/SADC – Solução Estrutural 6 – S4 T5 (1x10 ⁶ EP)			
Camada de Base	Camada de Sub-base	Fundação	
σ ₁ : -358; σ ₃ : -60,8 C-term: 109; ϕ-term: 3,47	σ ₁ : -101; σ ₃ : +0,40 C-term: 64; ϕ-term: 1,76	Tensão de compressão vertical (ε _v): 1010	
Safety Factor: 1,1	Safety Factor: 0,6		

Nota: Os módulos dos materiais de fundação foram estimados considerando a multiplicação do CBR por 5 a 6. Neste caso, os valores de CBR foram multiplicados por 6, tendo-se considerado para os cálculos o valor intermédio do intervalo do CBR.

Os valores das tensões e das coesões utilizadas nos cálculos estão em kPa.



Nota: As barras a azul são as classes de tráfego apresentadas pelos manuais, Na figura mostra-se as comparações dos números admissíveis de repetições de cargas a que se pode chegar utilizando os mesmos materiais e espessuras de camadas de pavimento apresentados pelos manuais, utilizando o SAMDM.

Figura 3.38 Comparação dos níveis admissível repetições de carga obtidos pelos manuais e pelo SAMDM para diferentes condições de fundação e classes de tráfego consideradas

Conforme se pode observar na Figura 3.38, utilizando os procedimentos do SAMDM, com exceção do S3T3 e S4T5 (níveis D), as vidas úteis dos pavimentos selecionados para S. Tomé e Príncipe são inferiores às indicadas nos manuais utilizados. Os resultados obtidos não permitem concluir que as estruturas propostas para S. Tomé e Príncipe são inseguras. É possível identificar um conjunto de fatores que poderão explicar as diferenças obtidas, as quais se sintetizam a seguir:

- Características consideradas para os materiais, nomeadamente as propriedades mecânicas e as leis de comportamento dos materiais para os diferentes mecanismos de ruína;
- Condições climáticas predominantes na África do Sul e nos países considerados nos manuais;
- Os níveis de risco considerados no dimensionamento em cada caso, no método da África do Sul e nos manuais.

Considerando que as propostas de estruturas dos manuais são direcionadas às EBVT, levando em linha de conta a valorização de materiais naturais, como cascalhos, é possível que existam diferenças consideráveis nos princípios de abordagem entre os casos neles apresentados e os considerados no método empírico-mecanicista Sul-Africano, concebido para aplicação em toda

a rede do país, potencialmente com maiores exigências ao nível das características dos materiais a serem utilizados e do nível de risco envolvido no dimensionamento.

As leis de comportamento dos materiais é também um dos fatores que pode estar relacionado com as diferenças nos resultados. Nos manuais não se explicitam as leis de comportamento consideradas nem os modelos de cálculo do estado de tensão e deformação nas camadas das estruturas de pavimento. Leis diferentes conduzem a maiores ou menores vidas das estruturas dos pavimentos.

Conforme se pode observar na Tabela 3.41 para alguns países que fazem parte da SADC, como Moçambique e a República do Congo, os níveis de temperatura e de precipitação médios são maiores que os da África do Sul, embora os dados consultados para este país sejam relativos a zonas mais próximas da costa marítima. Nas regiões mais interiores do território as condições climáticas são mais secas comparativamente às regiões costeiras. Optou-se por esta estratégia devido ao facto de estarem a ser analisadas as condicionantes do dimensionamento de pavimento que podem ser aplicados em São Tomé e Príncipe, país formado por ilhas.

Da análise efetuada resulta que não parecem ser as condições climáticas da África do Sul que explicam as diferenças entre as estruturas de pavimentos obtidas pelos manuais Sul-africanos e SADC. De facto, a África do Sul apresenta um clima menos exigente para os pavimentos em serviço, pelo que, mantendo as restantes circunstâncias iguais, a capacidade de carga das estruturas obtidas pelo manual SADC deveria ser superior quando avaliada pelo manual da África de Sul, o que não se verifica em, pelo menos, quatro dos seis casos estudados.

Tabela 3.41 Comparação dos climas

África do Sul (Western Cape) <i>(Clima-Data, agosto de 2018)</i>	Temperatura média anual	16 – 20°C
	Precipitação média anual	200 – 900 mm
República Democrática do Congo (Western Kasai) <i>(Climate-data, julho de 2017)</i>	Temperatura média anual	23 – 25,5°C
	Precipitação média anual	1580 – 1885 mm
República Democrática de São Tomé e Príncipe <i>(Climate-data, julho de 2017)</i>	Temperatura média anual	19,9 – 25,5°C
	Precipitação média anual	1146 – 3237 mm
Moçambique (Nampula) <i>(Climate-data, julho de 2017)</i>	Temperatura média anual	24,1 – 25,8°C
	Precipitação média anual	787 – 1145 mm

3.8.5 Soluções propostas pelo SAMDM para os níveis de tráfego considerados no estudo

Nesta secção são apresentadas as soluções a que se chega utilizando o SAMDM para níveis de tráfego iguais aos utilizados para estabelecer, pelos manuais, as estruturas aplicáveis às condições de S. Tomé e Príncipe. Esta análise consistiu num processo iterativo de dimensionamento, ajustando sucessivamente as espessuras das camadas das estruturas até se verificar os critérios de dimensionamento para o número de eixos-padrão igual ao indicado pelos manuais para uma dada solução estrutural. As Tabelas 3.42 e 3.43 (respetivamente, para os níveis de confiança A e D) apresentam as estruturas obtidas por meio deste processo.

Tabela 3.42 Soluções estruturais obtidas pela aplicação do SAMDM, Nível A

Manual SATCC – Solução Estrutural 1 – S4 T6 (1,5x10⁶EP)			
CB150	BG200 CBR80%	SbG150 CBR30%	S4 CBR8-14%
4000 MPa	150 MPa (G4)	120 MPa (G5-G6)	70 MPa
Manual TRL/SADC – Solução Estrutural 2 – S2 T1 (0,1x10⁶EP)			
BG170 CBR65%	SbB150 CBR30%	SS150 CBR15%	S2 CBR3-4%
140 MPa (G4-G5)	120 MPa (G5-G6)	100 MPa (G7)	22MPa
Manual TRL/SADC – Solução estrutural 3 – S2 T3 (0,5x10⁶EP)			
BG200 CBR80%	SbG180 CBR30%	SS180 CBR15%	S2 CBR3-4%
150 MPa (G4)	120 MPa (G5-G6)	100 MPa (G7)	22MPa
Manual TRL/SADC – Solução Estrutural 4 – S3 T2 (0,3x10⁶EP)			
BG220 CBR65%	SbG200 CBR30%	S3 CBR5-7%	
140 MPa (G4-G5)	120 MPa (G5-G6)	36MPa	
Manual TRL/SADC – Solução Estrutural 5 – S3 T3 (0,5x10⁶EP)			
BG250 CBR65%	SbG250 CBR30%	S3 CBR5-7%	
140 MPa (G4-G5)	120 MPa (G5-G6)	36MPa	
Manual TRL/SADC – Solução Estrutural 6 – S4 T5 (1,0x10⁶EP)			
BG500 CBR80%	SbG200 CBR30%	S4 CBR8-14%	
150 MPa (G4)	120 MPa (G5-G6)	70MPa	

Tabela 3.43 Soluções estruturais obtidas pela aplicação do SAMDM, Nível D

Manual SATCC – Solução Estrutural 1 – S4 T6 (1,5x10 ⁶ EP)			
CB120	BG200 CBR80%	SbG150 CBR30%	S4 CBR8-14%
3000 MPa	150 MPa (G4)	120 MPa (G5-G6)	70 MPa
Manual TRL/SADC – Solução Estrutural 2 – S2 T1 (0,1x10 ⁶ EP)			
BG150 CBR65%	SbB150 CBR30%	SS150 CBR15%	S2 CBR3-4%
140 MPa (G4-G5)	120 MPa (G5-G6)	100 MPa (G7)	22MPa
Manual TRL/SADC – Solução estrutural 3 – S2 T3 (0,5x10 ⁶ EP)			
BG200 CBR80%	SbG180 CBR30%	SS150 CBR15%	S2 CBR3-4%
150 MPa (G4)	120 MPa (G5-G6)	100 MPa (G7)	22MPa
Manual TRL/SADC – Solução Estrutural 4 – S3 T2 (0,3x10 ⁶ EP)			
BG200 CBR65%	SbG175 CBR30%	S3 CBR5-7%	
140 MPa (G4-G5)	120 MPa (G5-G6)	36MPa	

Com as alterações nas espessuras das camadas das estruturas, apresentadas nas tabelas anteriores, chegou-se a níveis admissíveis de tráfego semelhantes aos dos manuais, conforme pode observar-se na Figura 3.39. As Tabelas 3.44 a 3.46 apresentam os valores dos parâmetros a que se chegou devido a alteração das espessuras das camadas.

Tabela 3.44 Resultado da alteração das camadas, nível A

Manual SATCC – Solução Estrutural 1 – S4 T6 (1,5x10 ⁶ EP)			
Camada Betuminosa	Camada de Base	Camada de Sub-base	Fundação
Extensão de tração (μϵ): 168	σ ₁ : -48,00; σ ₃ : +4,13 C-term: 109; ϕ-term: 3,47	σ ₁ : -28,80; σ ₃ : +5,69 C-term: 64; ϕ-term: 1,76	Tensão de compressão vertical (ε _v): 350
Shift Factor: 7,1	Safety Factor: 2,1	Safety Factor: 1,9	
Manual TRL/SADC – Solução Estrutural 2 – S2 T1 (0,1x10 ⁶ EP)			
Camada de Base	Camada de Sub-base	Solo Selecionado	Fundação
σ ₁ : -396; σ ₃ : -105 C-term: 109; ϕ-term: 3,47	σ ₁ : -117; σ ₃ : -4,99 C-term: 64; ϕ-term: 1,76	Tensão de compressão vertical (ε _v): 661	Tensão de compressão vertical (ε _v): 1400
Safety Factor: 1,6	Safety Factor: 0,7		

Tabela 3.45 Resultado da alteração das camadas, nível A (continuação)

Manual TRL/SADC – Solução estrutural 3 – S2 T3 (0,5x106 EP)			
Camada de Base	Camada de Sub-base	Solo Selecionado	Fundação
σ_1 : -358; σ_3 : -75,6 C-term: 109; ϕ -term: 3,47	σ_1 : -90; σ_3 : +1,5 C-term: 64; ϕ -term: 1,76	Tensão de compressão vertical (ε_v): 560	Tensão de compressão vertical (ε_v): 1140
Safety Factor: 1,3	Safety Factor: 0,8		
Manual TRL/SADC – Solução Estrutural 4 – S3 T2 (0,3x106 EP)			
Camada de Base	Camada de Sub-base	Fundação	
σ_1 : -333; σ_3 : -57,3 C-term: 109; ϕ -term: 3,47	σ_1 : -72,3; σ_3 : +13,8 C-term: 64; ϕ -term: 1,76	Tensão de compressão vertical (ε_v): 1290	
Safety Factor: 1,1	Safety Factor: 0,7		
Manual TRL/SADC – Solução Estrutural 5 – S3 T3 (0,5x106 EP)			
Camada de Base	Camada de Sub-base	Fundação	
σ_1 : -300; σ_3 : -40,80 C-term: 109; ϕ -term: 3,47	σ_1 : -60,10; σ_3 : +9,83 C-term: 64; ϕ -term: 1,76	Tensão de compressão vertical (ε_v): 1010	
Safety Factor: 1,0	Safety Factor: 0,9		
Manual TRL/SADC – Solução Estrutural 5 – S3 T3 (0,5x106 EP)			
Camada de Base	Camada de Sub-base	Fundação	
σ_1 : -300; σ_3 : -40,80 C-term: 109; ϕ -term: 3,47	σ_1 : -60,10; σ_3 : +9,83 C-term: 64; ϕ -term: 1,76	Tensão de compressão vertical (ε_v): 1010	
Safety Factor: 1,0	Safety Factor: 0,9		
Manual TRL/SADC – Solução Estrutural 6 – S4 T5 (1x106EP)			
Camada de Base	Camada de Sub-base	Fundação	
σ_1 : -131; σ_3 : -0,7 C-term: 109; ϕ -term: 3,47	σ_1 : -34,4; σ_3 : +5,8 C-term: 64; ϕ -term: 1,76	Tensão de compressão vertical (ε_v): 384	
Safety Factor: 0,9	Safety Factor: 1,6		

Tabela 3.46 Resultado da alteração das camadas, nível D

Manual SATCC – Solução Estrutural 1 – S4 T6 (1,5x10 ⁶ EP)			
Camada Betuminosa	Camada de Base	Camada de Sub-base	Fundação
Extensão de tração (μϵ): 249	σ ₁ : -68,60; σ ₃ : +4,95 C-term: 109; ϕ-term: 3,47	σ ₁ : -39,00; σ ₃ : +7,05 C-term: 64; ϕ-term: 1,76	Tensão de compressão vertical (ε _v): 464
Shift Factor: 5,8	Safety Factor: 1,5	Safety Factor: 1,4	
Manual TRL/SADC – Solução Estrutural 2 – S2 T1 (0,1x10 ⁶ EP)			
Camada de Base	Camada de Sub-base	Solo Selecionado	Fundação
σ ₁ : -421; σ ₃ : -130 C-term: 109; ϕ-term: 3,47	σ ₁ : -133; σ ₃ : -7,13 C-term: 64; ϕ-term: 1,76	Tensão de compressão vertical (ε _v): 699	Tensão de compressão vertical (ε _v): 1500
Safety Factor: 1,9	Safety Factor: 0,6		
Manual TRL/SADC – Solução estrutural 3 – S2 T3 (0,5x10 ⁶ EP)			
Camada de Base	Camada de Sub-base	Solo Selecionado	Fundação
σ ₁ : -357; σ ₃ : -76,7 C-term: 109; ϕ-term: 3,47	σ ₁ : -88,2; σ ₃ : +1,03 C-term: 64; ϕ-term: 1,76	Tensão de compressão vertical (ε _v): 600	Tensão de compressão vertical (ε _v): 1230
Safety Factor: 1,3	Safety Factor: 0,7		
Manual TRL/SADC – Solução Estrutural 4 – S3 T2 (0,3x10 ⁶ EP)			
Camada de Base	Camada de Sub-base		Fundação
σ ₁ : -357; σ ₃ : -71,9 C-term: 109; ϕ-term: 3,47	σ ₁ : -84,10; σ ₃ : +16,30 C-term: 64; ϕ-term: 1,76		Tensão de compressão vertical (ε _v): 1480
Safety Factor: 1,3	Safety Factor: 0,6		

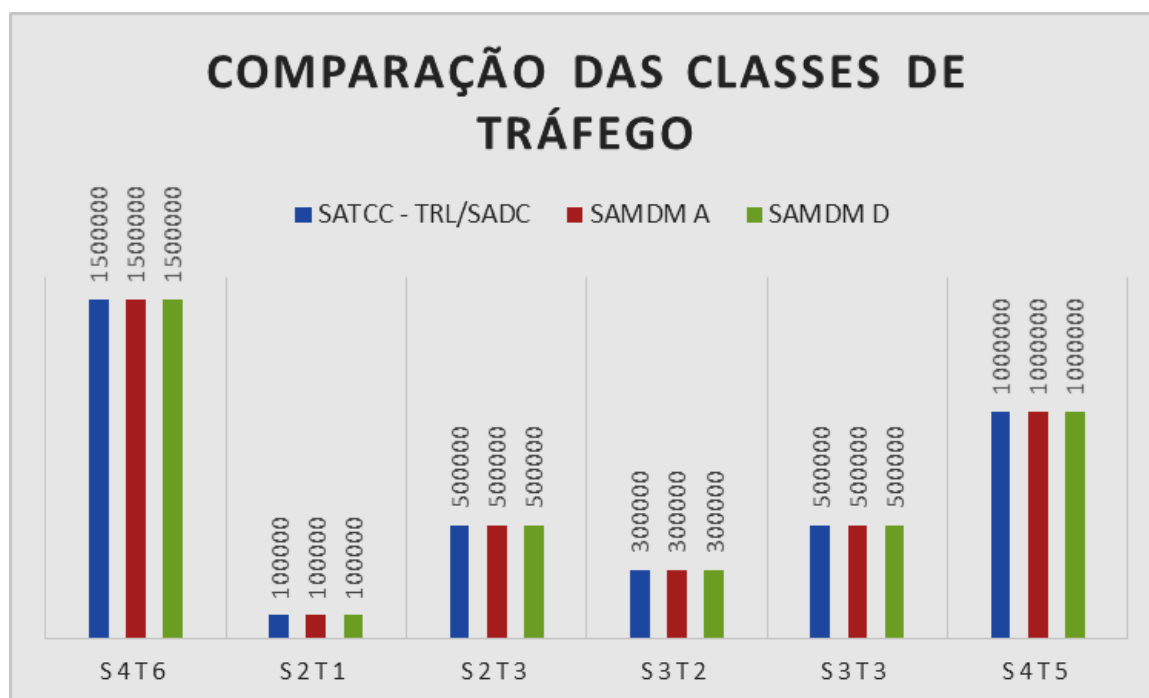


Figura 3.39 Comparação do número admissível de repetições de carga do eixo-padrão apresentadas pelos manuais e pelo SAMDM após alteração das espessuras

3.9 Considerações Finais

Neste capítulo estabeleceram-se as estruturas de pavimentos aplicáveis a situações típicas de dimensionamento para S. Tomé e Príncipe, comparando as estruturas obtidas por diferentes métodos. Para se fazer o estudo comparativo, foram pesquisados manuais de dimensionamento de estruturas de pavimentos rodoviários de vários países situados em zonas tropicais, de modo que as condições climáticas utilizadas pelos manuais fossem similares às presentes em São Tomé e Príncipe.

Assim, foram comparados diversos manuais como o TRL/SADC 1999, o SATCC, o Manual do Chile, o Manual da Etiópia e o Manual de Moçambique em termos dos climas característicos, tipos de soluções estruturais dos pavimentos e as condicionantes envolvidas em cada tipo de estruturas.

Constatou-se que os manuais em que as condições climáticas se aproximam mais das de São Tomé são os de Moçambique e do TRL/SADC, pelo que se considerou serem os mais indicados para serem aplicados em São Tomé e Príncipe.

Complementarmente, com o auxílio da ferramenta de cálculo BISAR para análise do estado das tensões e deformações nas estruturas, conhecidas as características dos materiais, aplicou-se o método empírico-mecanicista Sul-Africano (SAMDM) para as mesmas circunstâncias de solicitação consideradas nos manuais. Constatou-se que as soluções propostas pelos manuais são diferentes das que foram obtidas aplicando o método sul-africano.

Uma vez que as condições climáticas são mais desfavoráveis nos países da comunidade SADC, deduz-se que a razão para esta diferença esteja relacionada com os níveis de risco envolvidos, e com as leis de comportamento dos materiais.

4 CONSERVAÇÃO DOS PAVIMENTOS E ORGÃOS DE DRENAGEM

4.1 Enquadramento Geral

Após a construção, os pavimentos, como outro qualquer tipo de estrutura, estão sujeitos ao efeito do tempo e das solicitações. Em particular, os pavimentos são sujeitos aos efeitos ambientais e do tráfego, resultando assim na sua degradação e defeitos ao longo do tempo, o que requer intervenções de conservação. Além disso, um dos aspetos muito importantes a ter em conta, mesmo aquando da implementação dos projetos, é a questão da manutenção das estradas. Este processo que promove um maior tempo de vida útil aos pavimentos, resulta geralmente em melhor conforto aos utilizadores e menores custos globais comparativamente à ausência de ações de manutenção.

As ações de manutenção rodoviária são cruciais para a conservação das características das estradas de baixo volume de tráfego (EBVT), cujo custo é significativamente influenciado pelas decisões tomadas durante o seu planeamento, dimensionamento e construção. Sem uma manutenção adequada, as estradas degradam-se rapidamente, tornam-se perigosas e dispendiosas de utilizar e os custos são globalmente substanciais para a economia (SATCC, 2003).

Numa fase inicial do desenvolvimento rodoviário, a maior parte dos gastos referem-se aos processos construtivos. Passada esta fase, os gastos necessários para uma adequada manutenção e reabilitação tornam-se significativamente maiores do que os investimentos iniciais, conforme se pode observar na ilustração do gráfico da Figura 4.1 (SATCC, 2003). Tendo em conta este aspeto, convém ter um programa de manutenção regular, pois quanto maior for o intervalo entre as manutenções, maiores serão os gastos das futuras intervenções necessárias. Contudo, as ações de conservação devem ser feitas com base numa avaliação do estado do pavimento, o que permite decidir que tipos de meios devem ser utilizados para este fim.

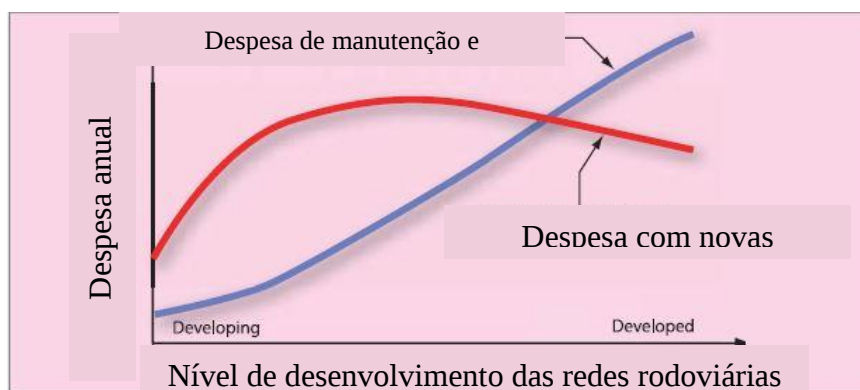


Figura 4.1 Padrão das despesas com a infraestrutura rodoviária (SATCC, 2003)

4.2 Avaliação dos Pavimentos

O objetivo fundamental da avaliação dos pavimentos é a obtenção de dados necessários para a elaboração de projetos de manutenção, reabilitação e gestão de pavimentos, além de auxiliar na previsão de vida útil de pavimentos novos (Jorge, 2014).

Na avaliação de pavimentos existentes, regra geral, são identificados quatro fatores: o estado atual de serviço, a adequação estrutural, as características da superfície ou área danificada, e a segurança (Jorge, 2014).

Por conseguinte, são consideradas duas formas de avaliação dos pavimentos: funcional e estrutural. A avaliação funcional considera o estado de serviço e desempenho do pavimento e busca avaliar fatores que refletem a visão dos utilizadores. A avaliação estrutural visa avaliar o comportamento mecânico da estrutura do pavimento (Jorge, 2014).

As características funcionais e estruturais de um pavimento devem ser avaliadas por procedimentos adequados às suas características, utilizando-se várias metodologias para o levantamento dos defeitos que surgem na superfície dos pavimentos. Vários fatores, tais como o clima, a solicitação do tráfego, as características dos materiais e processos construtivos, atuando de forma isolada ou conjunta, são as causas destes defeitos. De modo geral, estas metodologias têm os seguintes objetivos:

- Avaliar as condições de superfície do pavimento relativas ao conforto e à segurança oferecida aos utilizadores;
- Elaborar um inventário dos principais defeitos na superfície do pavimento;
- Determinar por meio de medições, os fatores que causaram os defeitos na superfície dos pavimentos;
- Descrever e caracterizar os defeitos, identificando o tipo, a severidade e a densidade.

4.2.1 Avaliação Funcional (Mota, 2009)

A avaliação funcional é descrita como uma análise preliminar e básica das características de degradação superficial e deformação do perfil do pavimento e, por conseguinte, elas traduzem as condições de conforto e segurança dos utilizadores.

Definem-se as características funcionais como sendo as manifestações de ruína constatadas na superfície do pavimento, as quais podem ser separadas em degradações superficiais e deformações permanentes. A degradação superficial pode ser qualificada de forma subjetiva, através de inspeções visuais realizadas por profissionais especialmente treinados, ou quantificada de forma objetiva através da definição dos tipos de defeitos representativos.

As deformações permanentes, traduzidas por desvios no sentido longitudinal ou transversal em relação a uma superfície de referência, ganham destaque na avaliação do uso da rodovia no que diz respeito ao conforto, segurança e impacto no custo do uso operacional dos veículos.

Vários fatores causam o aumento destes desvios ou irregularidades ao longo do tempo, entre eles estão a ação do tráfego, o meio ambiente (a temperatura, a água) e a qualidade da construção. Os esforços indesejáveis gerados nos veículos pela irregularidade longitudinal levam a uma circulação desconfortável, insegura e antieconómica. A importância da irregularidade também tem sido reconhecida como forma de controlo de construção em pavimentos novos.

Dada a sua importância na percepção de conforto dos utilizadores, vários países adotam índices de qualidade de serviço baseados exclusivamente em medições de irregularidade. A irregularidade longitudinal é, quase sempre, utilizada como fator decisivo na estimativa da vida útil do pavimento.

A avaliação do estado de serviço apoia-se num só índice para analisar qualitativamente o estado do pavimento. Este índice pode ser obtido atribuindo-se pesos aos parâmetros de estado, podendo resultar da combinação de diversos índices. Existem vários índices que se baseiam nesta metodologia, sendo um dos mais conhecidos o PSI - *Present Serviceability Index*, resultante de estudos da AASHTO, que tenta traduzir numericamente a opinião subjetiva dos utilizadores sobre o estado atual do pavimento, expressando-se a avaliação numa escala de 0 a 5, a qual varia desde muito mau até muito bom. Este índice reflete essencialmente a qualidade funcional de um pavimento e pode ser aplicado tanto a pavimentos flexíveis como a pavimentos rígidos (Jorge, 2014).

Atualmente a escala mais difundida, em vários países em desenvolvimento, para uniformizar a avaliação da irregularidade é o *International Roughness Index* (IRI). Este expressa-se em metros por quilómetro (m/km), sendo habitual utilizar gamas de valores entre 0 e 10 para pavimentos de betão betuminoso ou de tratamento superficial, e entre 0 e 24 para estradas não pavimentadas (Mota, 2009). Cada país estabelece o seu limite de aceitabilidade para o valor de IRI, considerando, para além das condições específicas, o grau de importância atribuído pelos utilizadores à irregularidade dos pavimentos.

Vários equipamentos foram desenvolvidos para medir a irregularidade. No entanto, eles diferem entre si no que toca às características, produtividade e eficiência do levantamento. A

irregularidade pode ser avaliada por medidores de perfil, tais como réguas, réguas deslizantes, medidores do tipo resposta – SMITR (sistema de medição de irregularidade rodoviária tipo resposta), mecânicos ou baseado em acelerómetros ou através de perfilómetro a laser. Apenas os equipamentos mais sofisticados permitem a determinação do IRI.

4.2.2 Avaliação Estrutural (Mota, 2009)

A avaliação estrutural de pavimento é o processo no qual se deseja obter uma série de informações quanto às características mecânicas do pavimento e da fundação, com a finalidade de prever o seu comportamento durante a sua vida útil, estando os mesmos sujeitos às solicitações do tráfego e aos efeitos do clima.

Avaliam-se características de deformabilidade e resistência do sistema por camadas através de ensaios de carga, recolha de amostras e ensaios laboratoriais. A avaliação possibilita a avaliação dos mecanismos de natureza estrutural que promovem a degradação do pavimento em função da ação do tráfego. Estes mecanismos podem ser principalmente de três tipos: fendilhamento por fadiga, reflexão das fendas ou acumulação de deformações permanentes.

O objetivo da avaliação das condições estruturais é de fornecer informações sobre o grau de degradação do pavimento produzido pelos efeitos das cargas do tráfego e em função dos estudos destas condições, permitir que seja selecionada a alternativa mais adequada de reabilitação. Os procedimentos de avaliações de estruturais de pavimento são classificados em métodos destrutivos e métodos não destrutivos.

4.2.2.1 – Métodos Destrutivos (Mota, 2009)

Nos procedimentos destrutivos são efetuadas extrações *in-situ*, através de poços de sondagem, de amostras deformadas e indeformadas, visando a determinação de características físicas dos materiais no laboratório. Podem ser identificados índices dos seguintes parâmetros: limites de *Atterberg*, granulometria, teor de humidade, tipo de material, capacidade de suporte, módulo de resiliência, parâmetros elásticos do material, entre outros. Este método também permite a verificação da espessura das camadas.

No entanto, este método apresenta algumas desvantagens como a duração de tempo necessário para a sua execução, a necessidade de retenção do tráfego e a dificuldade de reproduzir em laboratório o estado de tensão e das condições ambientais do sistema em camadas do pavimento *in-situ*. Soma-se a estes aspetos o facto do pavimento ficar descaracterizado para estudos futuros nos locais onde foram abertos os poços de sondagem.

4.2.2.2 – Métodos Não Destrutivos (Mota, 2009)

Outra forma de avaliar o comportamento estrutural do pavimento é através da utilização de ensaios não destrutivos, por meio de medições na superfície do pavimento, a partir das quais, com adequada interpretação, pode deduzir-se o comportamento estrutural do pavimento quando sujeito a um carregamento conhecido.

Uma das vantagens deste método é o facto das medições serem feitas no próprio local, medindo-se assim a resposta real da estrutura ao carregamento aplicado, sem que os materiais tenham as suas características alteradas pelos danos causados na retirada das amostras. Outra vantagem é

que as propriedades obtidas representam o comportamento médio dos materiais numa área considerável, além de que possibilita o retorno ao mesmo ponto em cada avaliação (em caso de haver necessidade de intervenções futuras). Nesta metodologia os engenheiros baseiam-se nas respostas da estrutura a uma determinada carga, para avaliar *in-situ* o comportamento mecânico do pavimento. A resposta estrutural mais facilmente mensurável é a deflexão, ou seja, o deslocamento vertical da superfície e das camadas do pavimento gerados pela aplicação de um carregamento intermitente ou transitório. Esta avaliação pode ser feita através da utilização de vários equipamento, sendo os mais utilizados os defletómetros.

O defletómetro de impacto, conhecido por FWD, é um equipamento que utiliza um impulso de carga para a medição da deflexão nos pavimentos. O princípio de funcionamento é caracterizado pela queda livre de um conjunto de pesos, de uma altura especificada, sobre um sistema que amortece e transfere a carga a uma placa circular apoiada no pavimento, causando deflexões que são automaticamente registadas por sensores (geofones) posicionados radialmente em relação ao centro da placa, na superfície do pavimento.

Este equipamento permite variações na magnitude do carregamento e da área de contacto para melhor simular os efeitos das solicitações do tráfego. O FWD é indicado para utilização em quaisquer tipos de pavimentos (Jorge, 2014).

Mota (2009) indica as vantagens, citadas por diversos autores, da utilização do equipamento FWD na medição de deflexões:

- A possibilidade de avaliar a não-linearidade no comportamento tensão-deformação das camadas do pavimento;
- Medir e registar automaticamente a distância entre os pontos de ensaio, assim como as temperaturas do ar e da superfície do pavimento.

A viga *Benkelman* é um dispositivo mecânico que mede os deslocamentos verticais de um ponto de contacto no pavimento, entre as rodas duplas de um camião, sob um eixo de carga, com uma determinada pressão de pneus e uma carga pré-estabelecida para esse eixo. Devido à simplicidade do procedimento de ensaio e ao baixo custo operacional, a utilização da viga *Benkelman* teve o seu uso bastante difundido (Jorge, 2014).

É um equipamento versátil e fácil de utilizar, no entanto é lento e trabalhoso, sendo que em alguns casos, particularmente em pavimentos com maior rigidez, os pés de suporte podem estar dentro da área de influência do carregamento, o que resulta em medidas imprecisas (Mota, 2009). A Figura 4.2 ilustra uma *Viga Benkelman*.

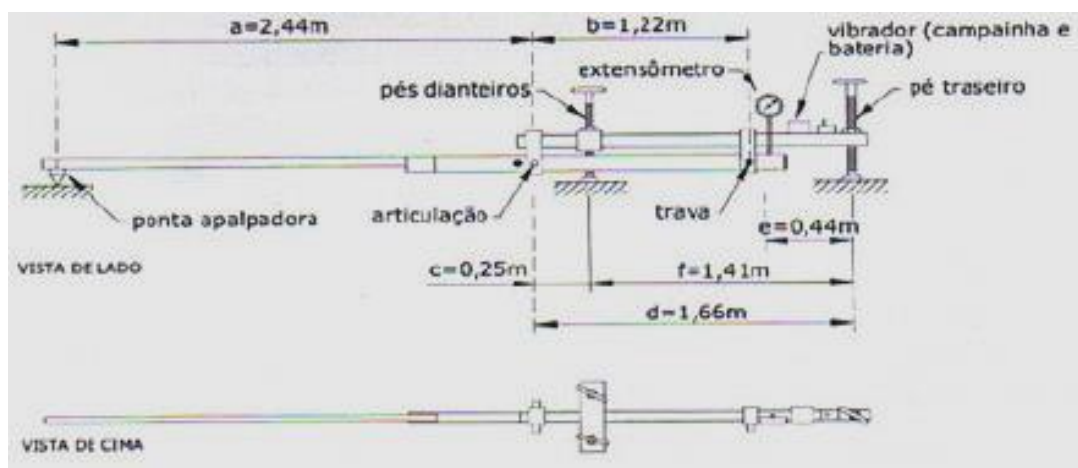


Figura 4.2 Esquema da Viga Benkelman (Mota, 2009)

4.3 Defeitos ou anomalias mais frequentes – Pavimentos de revestimento superficial ligado

As EBVT, bem como todas as outras estradas, necessitam de um tratamento efetivo e atempado de modo a manter o maior tempo possível os padrões consideráveis para uma circulação segura e confortável. Para isto a manutenção desempenha um papel fulcral em prol do cumprimento deste objetivo. Caso contrário, as estradas chegarão precocemente à ruína, resultado de anomalias e defeitos ao nível estrutural e funcional. De seguida são mencionados algumas destas anomalias ou defeitos que podem surgir nos pavimentos.

Conforme apresentado no Manual de Estradas Vicinais (DER/SP, 2012), independentemente da localização, ou causa, os defeitos devem ser corrigidos no menor intervalo de tempo possível, pois a demora pode levar ao colapso total do pavimento, além de poder tornar-se potencial foco causador de acidentes.

Ao avaliar os inconvenientes causados pelos defeitos, deve considerar-se:

- Em primeiro lugar, os riscos a que ficam sujeitos os utilizadores da via;
- E em segundo lugar, o aumento considerável dos custos de operação que recai nos utilizadores (por exemplo, em danos causados aos veículos ou o desconforto), e de recuperação do próprio pavimento.

É importante o conhecimento, da parte das autoridades competentes, das causas dos defeitos, para que possam realizar as tarefas de manutenção preventiva que evite ou minimize o surgimento dos problemas causados pelos defeitos. É necessário corrigir as causas que levam ao defeito, caso contrário estes voltarão a surgir.

A seguir são descritos os defeitos mais comuns dos pavimentos, com os inconvenientes que acarretam. São também mencionadas as suas possíveis causas e os tipos de reparação mais adequados (DER/SP, 2012).

Com o tempo e o uso, todos os pavimentos tendem a se desgastar e desagregar e, em consequência, apresentar defeitos. Os mais frequentes nas camadas superficiais são desgastes, desagregação, exsudação, fendas, deformações e covas. Os defeitos mais comuns na estrutura do pavimento são deformações, rotura do bordo, fendas e covas. A anomalia mais comum no leito de pavimento é a deformação.

4.3.1 – Desgaste da camada superficial

O desgaste corresponde ao empobrecimento progressivo das características ligantes do material betuminoso e ao polimento, pelo tráfego, dos agregados do revestimento da camada do pavimento, além da perda de finos do revestimento. Com isso, a superfície do pavimento torna-se escorregadia, principalmente quando molhada e com impregnação de lubrificantes proveniente do próprio tráfego (Figura 4.3).

4.3.2 – Desagregação

A desagregação é a perda de material pétreo (agregado e finos) da camada superficial ou de revestimento. Isto pode ocorrer em toda a superfície, mas em geral a perda de material é mais pronunciada nas rodeiras, devido à ação do tráfego. A Figura 4.3 (direita) representa a situação descrita.

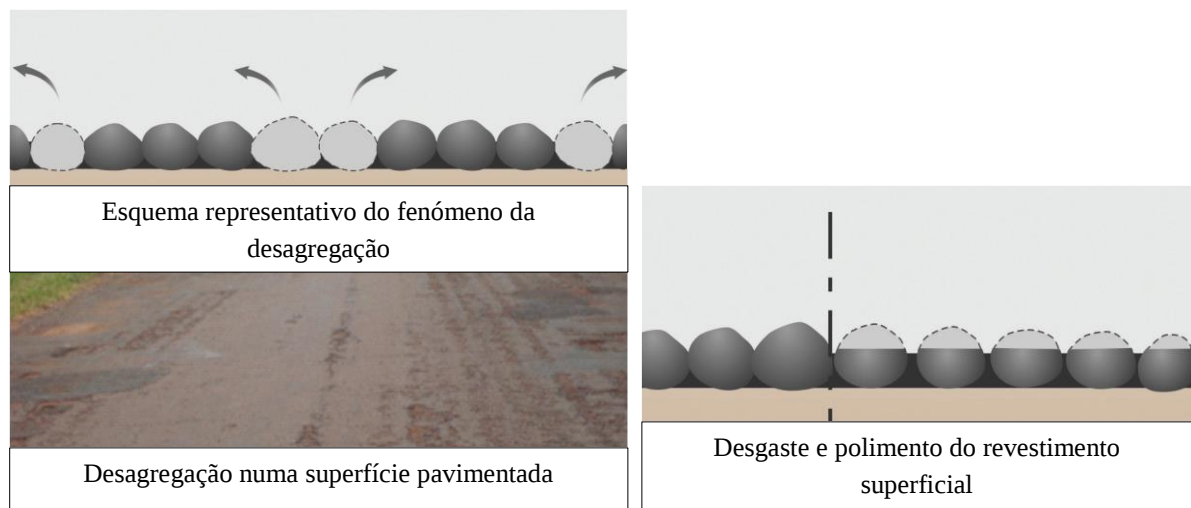


Figura 4.3 Desagregação e desgaste superficial de um pavimento (DER/SP, 2012)

As principais causas para a ocorrência de desagregação são o endurecimento do ligante devido à oxidação, a existência de uma quantidade insuficiente de ligante e a falta de adesividade do ligante ao agregado.

4.3.3 – Exsudação

A exsudação, conforme mostra a Figura 4.4, é a subida do ligante asfáltico à superfície, tornando-a escorregadia, principalmente quando molhada. Tem como causas principais o

excesso de ligante, a utilização de um ligante inadequado para as temperaturas elevadas do pavimento e a cravação dos agregados do revestimento na superfície da base.

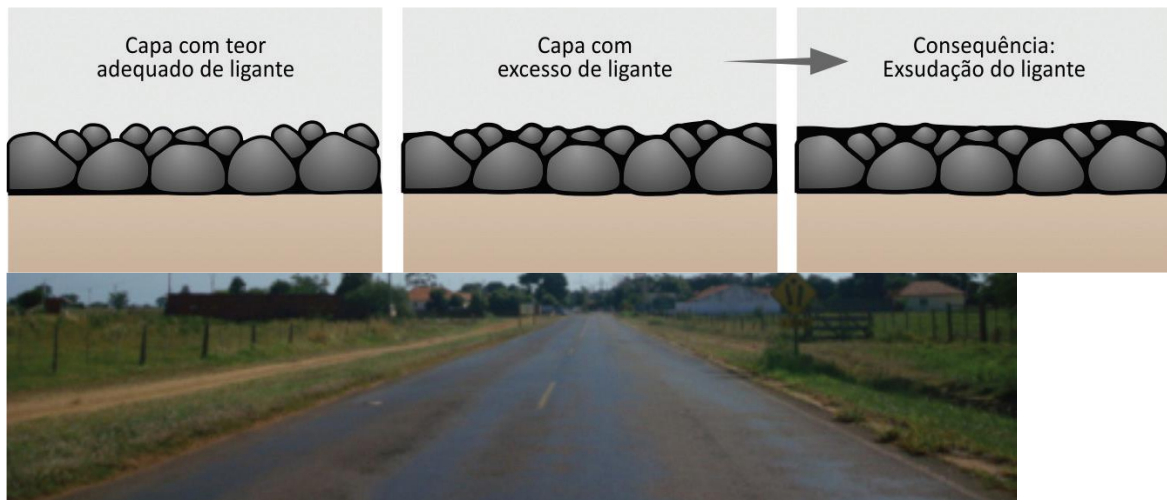


Figura 4.4 Exsudação na camada superficial de um pavimento (DER/SP, 2012)

4.3.4 Fendilhamento

As fendas são aberturas no revestimento superficial do pavimento que podem ser isoladas ou interligadas (Figura 4.5). Quando as fendas são interligadas o defeito é chamado “pele de crocodilo”. As fendas não trazem, de início, problemas ao trânsito, mas são altamente danosas para o pavimento por permitirem a penetração de água para o interior do pavimento e, conseqüentemente, provocam o seu enfraquecimento, dando origem a desagregações e covas.

As causas principais para a ocorrência de fendilhamento é a espessura insuficiente do pavimento para o tráfego circulante, as fendas por retração da camada da base e o envelhecimento do ligante betuminoso.



Figura 4.5 Fendas interligadas (esquerda) e fendas isoladas (direita) (DER/SP, 2012)

4.3.5 – Deformações permanentes

As deformações permanentes, conforme é representado na Figura 4.6, são alterações nas formas originais da superfície de rolamento, sem a rotura da mesma.



Figura 4.6 Deformação permanente num pavimento (DER/SP, 2012)

As principais causas para o desenvolvimento de deformações permanentes são a resistência insuficiente do pavimento em relação ao tráfego, a aderência insuficiente entre o revestimento superficial e a camada de base e a falta de contenção lateral, devido a bermas mal compactadas ou mal drenadas.

4.3.6 – Rotura do bordo do pavimento

A rotura do bordo é o rompimento do pavimento junto ao limite da pista. Em alguns casos pode causar acidente. A Figura 4.7 apresenta a situação descrita.



Figura 4.7 Danificação de pavimento causado por agravamento da rotura do bordo (DER/SP, 2012).

As principais causas da ocorrência de rotura do bordo são a existência de bermas mal compactadas ou mal drenadas, a ação erosiva das águas, a compactação insuficiente dos bordos e a largura insuficiente do pavimento.

4.3.7 – Covas

Covas são cavidades no pavimento, conforme se pode observar na Figura 4.8. Dependendo do seu tamanho, pode constituir causa de acidentes.



Figura 4.8 Cova num pavimento rodoviário (DER/SP, 2012).

As principais causas do aparecimento de covas são a infiltração de água, a subida de água pela ação do tráfego (bombagem) e o resultado da evolução das fendas interligadas ou da desagregação superficial.

4.4 Defeitos ou anomalias mais frequentes – Pavimentos de revestimento superficial não ligado

As chamadas estradas de terra possuem vários problemas que acabam por interferir negativamente na qualidade do serviço do pavimento (capacidade de suporte, conforto e segurança), aumentando o tempo de viagem e depreciação dos veículos. Os problemas, que são traduzidos em defeitos, são os seguintes (Fattori, 2007): secção transversal imprópria, drenagens inadequadas, corrugações, excesso de poeira, covas, rodeiras, perda de agregados, superfície pedregosa e fendilhamento.

4.4.1 Secção transversal imprópria

A superfície de rolamento de uma estrada não pavimentada deve ser projetada de tal forma que permita a drenagem eficiente das águas superficiais para os órgãos de captação e escoamento (sargetas, valetas, dissipadores de energia, etc.). Deve dar-se muita importância à sua secção transversal, tendo em conta a questão da permeabilidade da superfície do pavimento, uma vez que, não sendo selada, necessita de uma maior inclinação transversal. A Figura 4.9 apresenta o caso de uma estrada com secção transversal imprópria e a sua consequência (Fattori, 2007).

A má drenagem, como consequência da configuração imprópria da secção transversal, resulta na aceleração da deterioração superficial.



Figura 4.9 Secção transversal Imprópria (Fattori, 2007)

4.4.2 Drenagem inadequada

A drenagem inadequada ocasiona a acumulação de água na superfície do pavimento, sendo caracterizada pelo mau funcionamento dos órgãos de drenagem superficial e, muitas vezes, pela inexistência de elementos de drenagem profunda, e ainda pela falta de manutenção das obras de arte correntes (caso dos bueiros tubulares). A Figura 4.10 apresenta o exemplo de uma estrada onde existe uma drenagem deficiente das águas.



Figura 4.10 Drenagem inadequada (Fattori, 2007)

4.4.3 Ondulações (Corrugações)

As ondulações caracterizam-se por deformações posicionadas em intervalos regulares que surgem na superfície do pavimento das estradas não seladas, perpendicularmente ao sentido do fluxo do tráfego (Fattori, 2007).

As ondulações são um dos defeitos mais perturbadores das estradas não pavimentadas, causando rugosidade excessiva (constantes ressaltos) e baixa estabilidade direcional do veículo.

O processo de desenvolvimento das ondulações consiste no arranque de material superficial pelos pneus, o que origina ressaltos na superfície, seguido pela compressão e redistribuição do material da camada de desgaste na medida que as rodas voltam a ganhar contacto com o pavimento. Este processo está exemplificado na Figura 4.11. Este defeito constitui um grande problema, principalmente nas épocas de seca, causando vibrações aos veículos e desconforto aos utilizadores. A figura 4.12 mostra o exemplo de um pavimento em que ocorreu o desenvolvimento de ondulações.

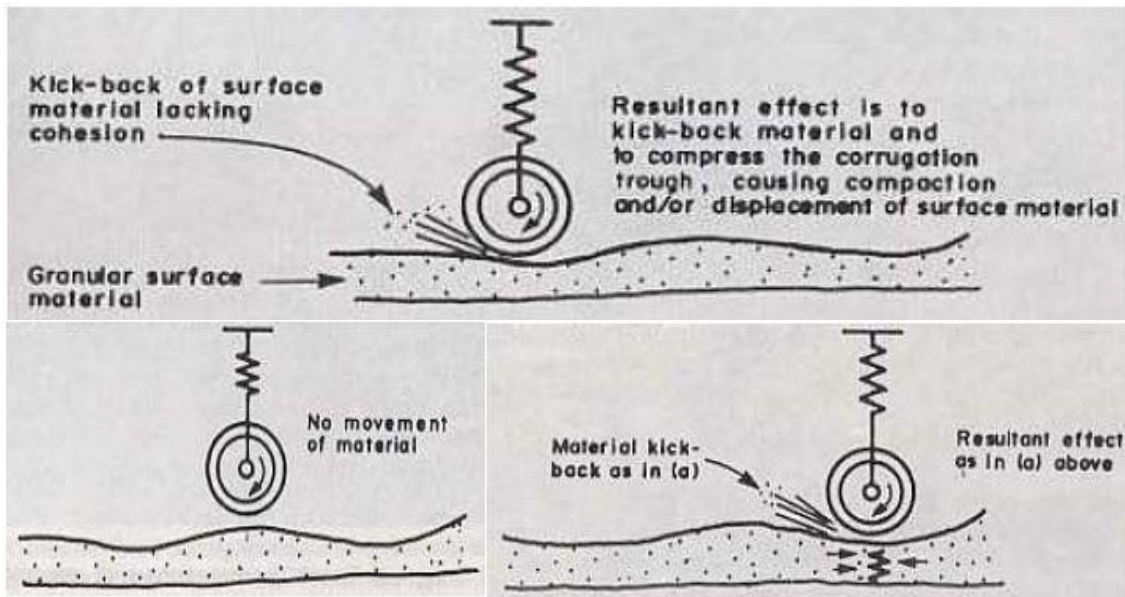


Figura 4.12 Processo de formação de ondulações (SADT, 1990)



Figura 4.11 Pavimento não selado, ondulações (Fatorri, 2007)

4.4.4 Excesso de Poeira

A poeira é o material fino libertado da superfície da estrada como consequência do movimento dos pneus dos veículos em movimento. A formação de nuvens de pó deve ser encarada como mais do que simples desconforto aos seus utilizadores, acarretando entre outros, os seguintes danos:

- Segurança – afeta significativamente a visibilidade, elevando a probabilidade da ocorrência de acidente, principalmente nas horas de ponta;
- Vegetação – causa danos às propriedades vizinhas e culturas agrícolas;
- Saúde – causa problemas de saúde às pessoas, sendo causa de alergias e outras enfermidades do género;
- Veículo – pode causar, através das partículas abrasivas em suspensão no ar, sérios prejuízos às partes móveis dos motores dos veículos, reduzindo a sua vida útil (Fattori, 2007);
- Ambiental – a produção excessiva de poeiras geralmente resulta na poluição do ar;
- Economia – a perda do material de revestimento superficial em forma de poeira resulta na mudança das propriedades das gravilhas presentes na camada de desgaste. Os materiais que inicialmente apresentavam uma plasticidade adequada, à medida que vão perdendo os finos (em forma de poeiras) podem observar-se ondulações na superfície do pavimento, como consequência da falta de plasticidade no material que constitui o revestimento superficial (SADT, 1990). A Figura 4.13 exemplifica o excesso de poeiras numa dada estrada.



Figura 4.13 Excesso de poeiras (Portal de Alto Jatibocas, 2018)

4.4.5 Covas

As covas desempenham um papel muito importante no desenvolvimento da irregularidade nas estradas não seladas e pode causar danos substanciais aos veículos se não forem tratadas. As covas podem resultar dos seguintes processos (SADT, 1990):

- Deficiente ou inapropriada drenagem e secção transversal;

-
- Alargamento dos sulcos das ondulações;
 - Camada de fundação ou revestimento superficial fracos;
 - Subsidência de tocas de animais e insetos;
 - Desintegração de partes de estradas altamente fendilhadas;
 - Fraca compactação;
 - Variabilidade do material e da humidade;
 - Ausência de partículas aglutinantes (ligantes) na composição dos materiais da camada de revestimento;
 - Deficiente composição da mistura da camada de revestimento superficial (Fattori, 2007).

Uma vez abertas as covas (independentemente da causa), a drenagem superficial é afetada. São criadas poças de água nas covas que, com a influência do tráfego, são alargadas. O alargamento ocorre através da compactação e remoldagem dos materiais enfraquecidos (no estado húmido) e remoção do material da cova por rodas e salpicos. Os materiais com fraca resistência no estado embebido são mais propensos a desenvolver covas maiores, quer em largura quer em profundidade, num curto período de tempo (SADT, 1990). A Figura 4.14 ilustra a situação de uma estrada em que as covas foram preenchidas por água.

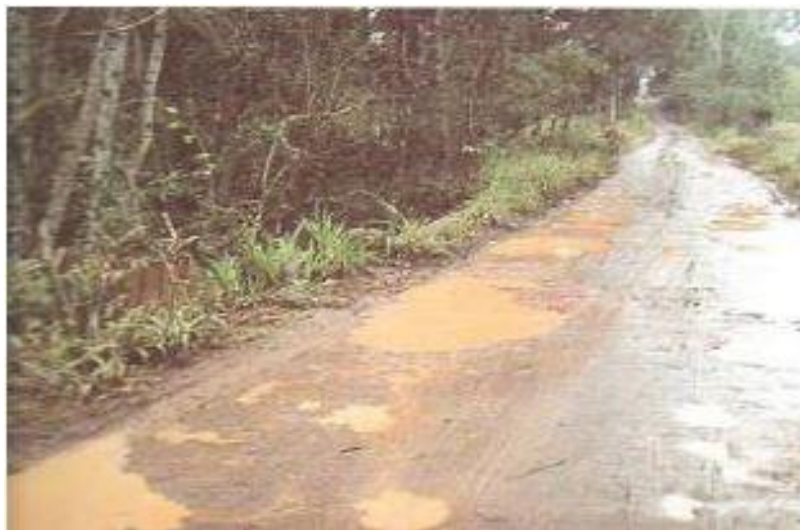


Figura 4.14 Covas cobertas de água (Fattori, 2007)

4.4.6 Rodeiras

As rodeiras são depressões transversais que se formam nas faixas de circulação dos veículos, e se desenvolvem longitudinalmente ao eixo da estrada. São originadas pela deformação permanente das camadas de fundação ou da camada de revestimento, e resultam das repetidas passagem dos veículos, particularmente quando os materiais que os constituem o pavimento possuem baixa capacidade de suporte, ou quando a drenagem superficial é insuficiente. Quando não são tratadas atempadamente, imediatamente após o seu aparecimento, as rodeiras podem tornar a estrada intransitável, principalmente nas épocas de chuva (Fattori, 2007).

As rodeiras apresentam um potencial problema na medida em que vão retendo água da chuva, o que torna o revestimento superficial mais mole e possibilita, assim, a sua deformação sob a ação do tráfego. Um exemplo deste problema é apresentado na Figura 4.15.



Figura 4.15 Rodeiras em pavimento não selado (Fattori, 2007)

4.4.7 – Perda de Agregados

A intensa passagem dos veículos sobre a superfície de rolamento das estradas não seladas provoca em muitos casos a segregação da fração grossa de agregados, processo este que leva à formação de camadas delgadas de agregados que se posicionam (mais frequentemente) nas áreas mais próximas dos bordos do pavimento. Este problema ocorre em função de várias causas, sendo a mais importante a ausência de material ligante em proporção adequada na composição da mistura.

4.5 Manutenção e Reabilitação

A manutenção consiste na gama de atividades necessárias para manter uma estrada e as estruturas associadas em condições aceitáveis para os seus utilizadores, conforme foi projetada (OTB, 2013).

A partir do momento em que a estrada é construída ou mesmo após uma intervenção, no âmbito da reabilitação, ela vai-se deteriorando devido aos efeitos ambiental e do tráfego. Deste modo, é necessária uma manutenção regular a fim de que as suas condições sejam restabelecidas e se garanta um nível de serviço dentro das condições aceitáveis. Caso não exista manutenção, as

estruturas irão continuar a degradar-se, tornando o trânsito muito difícil, desconfortável, inseguro e dispendioso para os seus utilizadores. Continuando nessas condições, poderá haver zonas intransitáveis em certas alturas do ano ou mesmo durante todo o ano (OTB, 2013).

Portanto, uma vez tendo gasto tempo, esforço e dinheiro no planeamento, projeto e construção de uma estrada, é vital garantir que todo este investimento seja preservado durante um maior número possível de anos. E isto consegue-se com uma manutenção atempada e efetiva. Tal manutenção tem três objetivos principais:

- Prolongar o tempo de vida da estrutura e adiar a altura da intervenção de reabilitação;
- Reduzir o custo de operação dos veículos na estrada;
- Ajudar a manter as estradas abertas e garantir uma maior regularidade, pontualidade e segurança dos serviços de transporte rodoviário.

O primeiro objetivo corresponde mais diretamente aos agentes responsáveis pela infraestrutura rodoviária, enquanto que o segundo está mais ligado aos utilizadores, nomeadamente os utilizadores de transportes. E o último propósito está mais virado para os habitantes locais.

4.5.1 Tipos de Manutenção

Manutenção de rotina – Este tipo de manutenção é constituída por tarefas mais ligeiras, realizadas anualmente. A maioria das tarefas pode ser executada manualmente, embora sejam necessários alguns meios mecanizados para a execução de algumas tarefas (OTB, 2013).

Manutenção periódica – Este tipo de manutenção envolve, geralmente, atividades importantes que podem ser exigidas quer em pavimentos revestidos quer em não revestidos, por exemplo de revestimento superficial em gravilhas, após um dado período de anos (por exemplo, a resselagem ou a reposição das gravilhas, respetivamente). As tarefas de manutenção periódica exigem normalmente a mobilização de equipamento e envolvem o transporte de materiais. As atividades exigiram planeamento e mobilização específica dos recursos necessários (OTB, 2013).

Manutenção de emergência – Este tipo de manutenção pretende resolver as ocorrências imprevistas que, embora não possam ser planeadas ao detalhe, devem ser orçamentadas e devem ser permitidos os mecanismos de implementação adequados (OTB, 2013).

Existe ainda uma quarta forma de levar a cabo a prática da manutenção que consiste na contratação de pessoas que habitam ao longo da estrada e que ficam responsáveis pela manutenção de rotina de uma determinada extensão de estrada. A pessoa contratada recebe uma certa quantia fixa por dia ou por mês para manter as valas de drenagem limpas, tapar as covas, cortar a vegetação e reparar pequenas erosões que apareçam nos bordos das estradas, etc. (OTB, 2013).

As estradas não seladas deterioram-se com muita facilidade, sendo assim as inspeções regulares das superfícies e da drenagem devem fazer parte da rotina do regime de manutenção. No caso das estradas pavimentadas (seladas), estas já se deterioram muito mais lentamente em

comparação com as anteriores, pelo que as inspeções anuais normalmente são suficientes para permitir uma manutenção adequada, permitindo identificar os trabalhos corretivos a serem planeados para o ano seguinte (OTB, 2013).

4.5.2 Atividades Características e Consequências da Ausência da Manutenção

As atividades de manutenção são cíclicas ou reativas, e podem ser de natureza periódica ou de rotina. As atividades cíclicas são aquelas que são efetuadas num intervalo regular. As reativas, são as que se efetuam em resposta a uma ocorrência. Por exemplo, a erosão, reparação dos órgãos de drenagem ou um defeito que excede os valores ditados pelos padrões de manutenção, como é o caso de fendas e rodeiras (SATCC, 2003).

Se alguns dos trabalhos das manutenções de rotina forem feitos no âmbito de um contrato com uma pessoa que reside próximo da estrada não haveria quase necessidade de transporte de equipamentos do local ou para o local de trabalho. Deste modo seria poupado algum dinheiro. Embora para algumas tarefas da manutenção periódica sejam necessários equipamentos específicos, como é o caso das operações de selagem, aquele método de contratação pode ser muito útil em muitas atividades (SATCC, 2003). A Figura 4.16 ilustra uma das atividades que pode ser feita através de modelos de contratação com residentes ao longo da estrada.

Tabela 4.1 Atividades de manutenção (SATCC, 2003)

Categoria dos trabalhos	Atividades de manutenção	Tipo	
		Cíclica	Reativa
Manutenção de rotina	Geral:		
	Cortar as relvas/silvas	X	
	Remoção de obstáculos		X
	Reparação dos órgãos de drenagem		X
	Limpeza/reparação das pontes	X	
	Limpeza dos órgãos de drenagem	X	
	Controlo/reparação das erosões		X
	Remarcação das marcas rodoviárias		X
	Reparação dos sinais rodoviários		X
	Pavimento:		
	Tamponamento de covas		X
	Remendo da superfície (selagem localizada)		X
Manutenção periódica	Selagem de rejuvenescimento		X
	Resselagem		X
	Espalhamento de gravilha e remodelação das bermas		X

No entanto, muitas vezes esta prática é esquecida ou ignorada. E uma simples falta de atenção no que pode ser uma simples tarefa de manutenção pode implicar problemas complexos tanto para os utilizadores, para a sociedade e mesmo influenciando até a economia nacional, tendo em conta que as estradas são os elos de ligação aos diversos tipos de setores existentes num determinado país. A Tabela 4.2 e 4.3 ilustra esta situação, os efeitos e as possíveis soluções.



Figura 4.16 Corte das relvas/silvas, atividade de manutenção de rotina (SATCC, 2003)

Tabela 4.2 Problemas, consequências e soluções de manutenção (SATCC, 2003)

Segurança Rodoviária		
Problema	Consequência	Solução
Crescimento da vegetação	Prejudica a visibilidade dos utilizadores	Garantir que os padrões de segurança sejam mantidos.
Covas	Perigoso para os motoristas	
Inundações (órgãos de drenagem obstruídos)	Redução da resistência do pavimento	Realizar inspeções de rotina de modo a identificar anomalias que conduzam à redução da segurança rodoviária.
Sujidades, inexistência ou danificação dos sinais rodoviários)	Aumenta a probabilidade da ocorrência do acidente rodoviário	
Fracas marcações nas estradas	Prejudica a integridade dos pavimentos	Recolha e análise dos dados de acidentes de modo a fornecer pistas sobre as causas e providenciar uma possível manutenção à medida
Pontes e guardas danificadas		
Bermas dos pavimentos escavados		
Custo aos utilizadores		
Problema	Consequência	Solução
Custos operacionais dos veículos	Aumento na rugosidade das superfícies fazem com que os custos operacionais dos veículos aumentem, quando os requisitos de manutenção são ignorados	Identificar, programar e controlar as operações de manutenção

Tabela 4.3 Problemas, consequências e soluções de manutenção (continuação) (SATCC, 2003)

Custo do ciclo de vida dos pavimentos		
Problema	Consequência	Solução
A viabilidade e as estratégias do projeto assumem que: - o fortalecimento regular do pavimento será realizado de modo a evitar as deteriorações; - serão tomados cuidados para lidar com as imperfeições localizadas à medida que se vão surgindo (ex.: a selagem das fendas)	As falhas no controle das deteriorações resultam numa necessidade maior de fortalecimento da estrutura, como também num aumento substancial do custo da reconstrução.	Otimizar o investimento por aplicação judiciosa das intervenções de manutenção a fim de prevenir a deterioração e preservar a integridade estrutural de cada troço da rede rodoviária.

4.5.3 Aspectos Sobre a Deterioração dos Pavimentos

Todas as estradas perdem as suas qualidades físicas e mecânicas com o passar de tempo. No entanto, as EBVT são particularmente sensíveis às condições e mudanças ambientais pelo que um controlo efetivo e atempado da sua deterioração torna-se o principal desafio para a gestão da manutenção rodoviária.

Mesmo com uma estrita adesão aos padrões mais adequados da construção, as estradas deterioram-se com as passagens dos anos. A taxa de deterioração pode variar dependendo fortemente do clima, da resistência do pavimento e das camadas subjacentes, do volume de tráfego e das cargas dos eixos. O desgaste das camadas superficiais pelo tráfego é agravado pela água da chuva e pelas mudanças de temperatura. O fendilhamento do revestimento betuminoso, juntamente com a entrada da água da chuva, muitas vezes leva ao enfraquecimento do pavimento e consequentemente à perda de características mecânicas.

A Figura 4.17 ilustra como as estradas vão perdendo as suas qualidades com o tempo e como a vida da estrada pode ser prolongada através de uma manutenção controlada (SATCC, 2003)

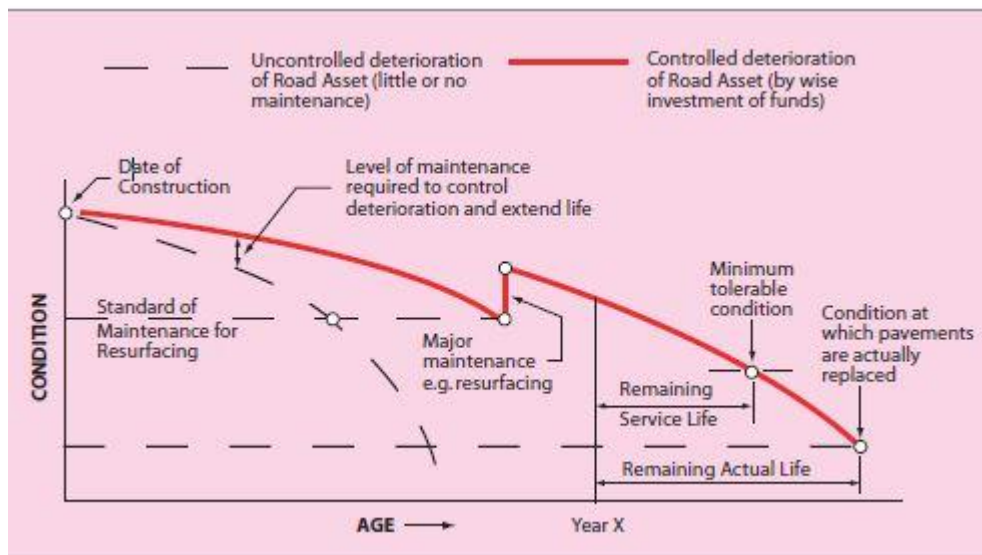


Figura 4.17 Evolução típica da qualidade dos pavimentos com o passar do tempo (SATCC, 2003)

Além disto, alguns dos aspetos próprios das EBVT também influenciam muito nas operações de manutenção. Abaixo indicam-se algumas destas características (SATCC, 2003):

- O perfil da secção transversal deforma, o que o torna mais suscetível à entrada da humidade e consequente deterioração, influenciando assim o desempenho geral da estrutura do pavimento;
- As medidas de proteção do sistema de drenagem são geralmente mínimas ou fracas, o que frequentemente leva ao aumento da erosão;
- As camadas betuminosas são muito finas e, consequentemente, sofrem fragilização progressiva, com danos à superfície que podem facilmente levar à entrada da humidade e consequente aceleração da deterioração do pavimento;
- Os materiais superficiais dos pavimentos são normalmente de natureza plástica, o que pode levar a uma considerável perda de resistência com a molhagem, e a uma degradação acelerada quando sujeitas às cargas de tráfego.

4.5.4 O Desafio da Tarefa da Manutenção

A provisão de uma adequada manutenção torna-se ainda mais complicada quando se trata de locais em que os meios financeiros são limitados. As EBVT apresentam um desafio mais exigente em relação às de elevado volume de tráfego para uma manutenção adequada. As suas características, particularmente a sua maior sensibilidade às alterações ambientais, de modo a evitar a sua rápida degradação, exigem que as manutenções sejam agendadas e realizadas mais frequentemente, em comparação com as estradas de elevado volume de tráfego (SATCC, 2003).

Historicamente, a manutenção tem sido considerada pouco atrativa pelos órgãos responsáveis pela conservação das redes rodoviárias. Como resultado, a manutenção não tem recebido a prioridade que merece e, muitas vezes, as estradas recebem uma manutenção inadequada.

Os pavimentos novos, quando é aplicada uma manutenção adequada, degradam-se lentamente e de modo quase imperceptível durante a primeira metade a dois terços da sua vida útil, ocorrendo de forma muito mais rápida após esta fase o processo da degradação. Sem uma manutenção atempada, as estruturas acabam por perder as suas qualidades e capacidades mecânicas necessárias para um bom desempenho. Como resultado, os custos de operação dos veículos e bens rapidamente aumentam. E, assim, começam os operadores dos veículos a pagarem os custos de circulação, sendo estes custos, por sua vez, são passados para o público em geral (SATCC, 2003).

Por exemplo, devido à má ou inadequada manutenção, nas zonas rurais muitas estradas tornam-se intransitáveis nas estações de chuva, tendo assim um impacto bastante negativo no escoamento dos bens locais produzidos. Para além disso, também afetam setores como a saúde, educação e outros tipos de serviço social, uma vez que o acesso a esses locais se torna crítico ou até em alguns casos impossíveis.

4.6 Reparações dos defeitos ou anomalias – Revestimento superficial ligado

Os diversos defeitos ou anomalias já referidos que se desenvolvem ao longo do tempo devem ser tratados de imediato, pois quanto mais tarde se intervier mais dispendiosas serão as respetivas intervenções, e os riscos de causar acidentes serão geralmente maiores. Assim, são apresentadas de seguida algumas medidas de correção dos defeitos mencionados.

4.6.1 – Correção da Exsudação

O espalhamento da areia com cal hidratada é um dos corretivos para a exsudação, conforme o exemplo da Figura 4.18. A sua execução é feita em duas etapas (eventualmente repetidas):

- Primeiro, o espalhamento à pá da areia seca, se possível grossa, sobre toda a área que apresenta exsudação;
- Seguidamente, a varredura da areia para se obter uma distribuição uniforme.

Nota: A correção deve ser feita em dias quentes e secos. Há casos em que será necessário remover a camada e refazê-la corretamente.

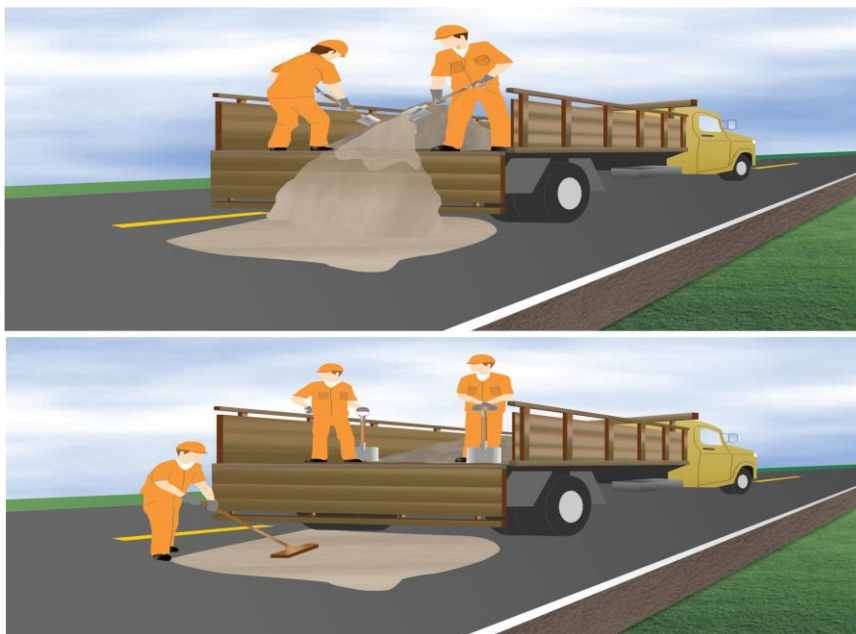


Figura 4.18 Correção da exsudação, espalhamento e varrimento da areia (DER/SP, 2012).

4.6.2 – Selagem das Fissuras

No caso de fendas isoladas, em geral, procede-se à selagem individual das fendas, preenchendo-as com um mástique betuminoso, a frio ou a quente. Quando as fendas atingem uma área considerável é necessário aplicar uma camada de selagem. Esta tarefa é feita em três fases:

- Varredura com vassouras manuais: a superfície, após a varredura, deve ser limpa e seca;
- Aplicação de ligante: a aplicação do ligante faz-se de preferência com o auxílio de um aspersor de betume (no caso de áreas com muitas fendas) ou de um regador (no caso de fendas isoladas);
- Espalhamento do agregado: utiliza-se areia, ou gravilha misturada com pó de pedra.

Toda a superfície do ligante aplicado deve ser recoberta uniformemente com o agregado, com espalhamento à pá, e a seguir submetida compactação (Figura 4.19).



Figura 4.19 Fases de selagem das fissuras no pavimento (DER/SP, 2012).

4.6.3 – Remendo de covas

Esta tarefa visa a obturação de covas. Geralmente, é executada com material misturado a frio, sendo recomendável a aplicação de misturas a quente. Esta mistura pode ser feita com antecedência e armazenado em depósito, desde que preparado com materiais adequados.

As etapas desta atividade são as seguintes:

- Marcação da área a reparar: a marcação faz-se com auxílio de giz, adotando-se, normalmente, o formato retangular, paralelo ao eixo da via;
- Remoção do material: o pavimento é recortado, deixando-se os bordos verticais; o material é retirado até se atingir uma superfície “firme” e horizontal;
- Varredura: varre-se com vassoura manual, deixando a superfície do fundo limpa e seca;
- Distribuição da rega de impregnação de ligante: o material betuminoso diluído com auxílio de um aspersor ou de um regador, na dosagem aproximada de $1,0 \text{ kg/m}^2$;
- Enchimento da cova: de modo a garantir o bom funcionamento da estrutura, as covas profundas que atingem a camada de base devem ser preenchidas com material de qualidade igual ou superior à da base do pavimento existente, até à cota da superfície da base, colocando-se em seguida a mistura betuminosa;
- Compactação do material: a compactação é executada em camadas com um rolo vibratório de pequena dimensão ou placas vibratórias e, em último caso, com maço manual. Quando se repara uma área com grande dimensão é vantajoso utilizar o compactador de rolo liso.

No caso de cavidades de pequena profundidade, a mistura betuminosa é distribuída no local e regularizada com o auxílio de um rodo em camadas de 7 cm. A superfície da última camada de material solto deve ficar entre um e dois centímetros acima da superfície do pavimento existente. A Figura 4.20 ilustra as fases de reparação de covas mencionadas.

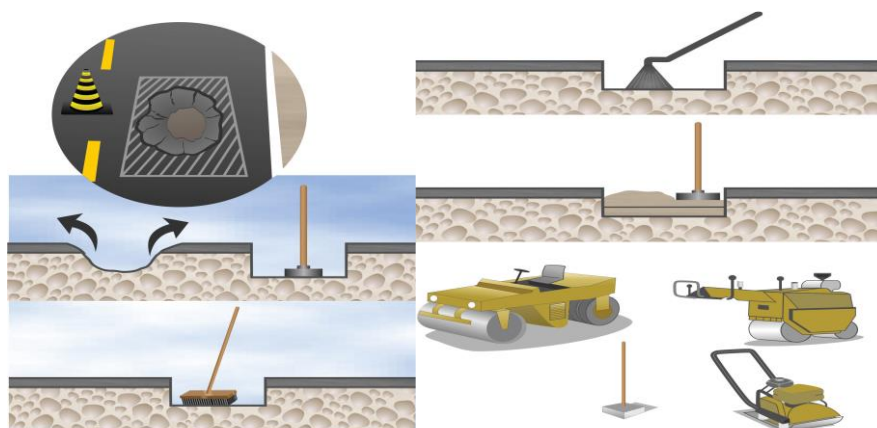


Figura 4.20 Etapas de reparação de covas no pavimento (DER/SP, 2012).

4.6.4 – Correção das Deformações Permanentes

A reparação de deformações permanentes do pavimento faz-se através da sobreposição de camadas betuminosas.

A correção da depressão compreende quatro etapas:

- Varredura: varre-se com vassoura manual, deixando a superfície limpa;
- Distribuição da rega de impregnação de ligante: a emulsão betuminosa é distribuída com auxílio de um aspersor ou de um regador na dosagem aproximada de 1,0 kg/m²;
- Enchimento da depressão: a mistura betuminosa é distribuída no local e regularizada com o auxílio de um rodo em camadas de espessura máxima de 7 cm. A superfície da última camada de material solto deve ficar entre um e dois centímetros acima da superfície do pavimento existente;
- Compactação do material: a compactação é realizada camada a camada com um rolo vibratório pequeno ou com placas vibratórias e, em último caso, com maços manuais.

4.6.5 – Trabalho de Rejuvenescimento da Superfície do Pavimento

A realização de trabalhos de conservação preventiva na superfície do pavimento tem como objetivo melhorar trechos de pavimento que se encontrem em estado regular de construção. Os principais defeitos que ocorrem nesta fase da vida útil do pavimento são:

- Fendas;
- Remendos;
- Irregularidade longitudinal ou transversal;
- Desgaste/degradação do revestimento.

Os materiais utilizados para o rejuvenescimento da camada superficial podem ser: microbetão betuminoso a quente (MBBQ), microaglomerado betuminoso a frio (MBBF), revestimento superficial duplo (TSD), e o reperfilamento com betão betuminoso a quente (BBMQ) em camadas relativamente fina (máximo de 3,00 cm).

Os trabalhos devem ser realizados impreterivelmente em dias secos e com as camadas do pavimento sem excesso de humidade. O tratamento superficial quando executado sobre bases com excesso de humidade ou saturadas pode gerar consequências tais como: movimento de solo por bombagem, fendilhamento, covas, deformações permanentes e roturas. A Figura 4.21 ilustra o que acontece no interior do pavimento quando as correções são executadas com o pavimento húmido.

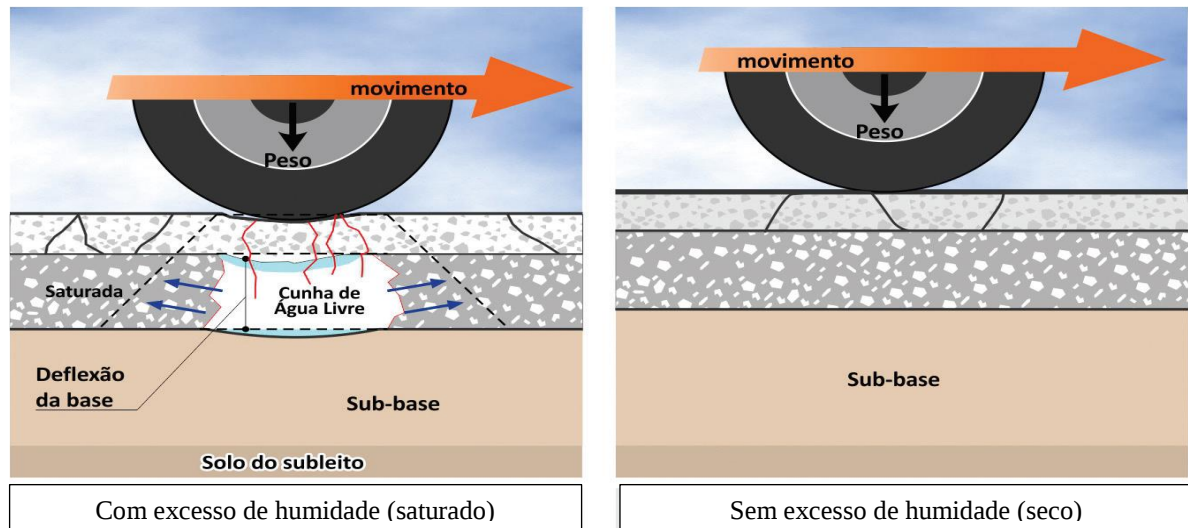


Figura 4.21 Fenómeno de movimento de solo por bombagem (DER/SP, 2012).

A Figura 4.22 apresenta a sequência de execução de tratamentos superficiais: (a) e (b) microaglomerado a frio; (c) a (e) revestimento superficial duplo (TSD).



Figura 4.22 Sequência de execução de tratamentos superficiais (DER/SP, 2012).

4.7 Reparação dos defeitos ou anomalias – Revestimento superficial não ligado (Fattori, 2007)

4.7.1 – Secção Transversal Imprópria

A secção transversal deve ser executada com as pendentes transversais da faixa de rodagem com declives da ordem dos 4% de forma a permitir um fácil e adequado escoamento das águas que se encontrem sobre a superfície. Sem este tipo de cuidado a superfície do pavimento sofrerá um processo progressivo de deterioração mesmo em caso de pequenas precipitações.

4.7.2 – Ondulações

Um material de revestimento que apresenta composição adequadamente equilibrada, contando com a presença de fração plástica que lhe confere poder de aglutinação das partículas, resiste à formação das ondulações. Portanto, a utilização de misturas com teor equilibrado da fração plástica é uma boa solução para prevenir ondulações.

Em geral, qualquer tipo de revestimento desenvolve algum nível de ondulações sob a ação do tráfego. A estratégia deverá ser a de manter uma manutenção atempada e regular.

Em condições de clima seco, basta simplesmente através de uma motoniveladora ou outros meios equivalentes, proceder à regularização do pavimento. Na presença da humidade o modo correto de intervenção deve consistir no revolvimento da superfície por meio de um leve corte em espessura da ordem de 2,5 cm de profundidade abaixo da cota inferior das depressões.

Seguidamente, o operador deve realizar a mistura e espalhamento dos materiais que foram objeto de corte. Por último, na ausência de rolos compactadores apropriados, o que seria ideal, a motoniveladora executa o trabalho de compactação.

4.7.3 – Excesso de Poeira

É muito difícil de prever a quantidade de poeira que irá gerar-se na superfície de um pavimento. No entanto, pode ter-se uma ideia da mesma conhecendo a composição do material (que é o fator que mais influencia na produção das poeiras). Aspectos como o volume de veículos, a composição do tráfego e as velocidades dos veículos, o teor de humidade do pavimento, a perda de material, a frequência de manutenção e o vento, são particularmente importantes para a avaliação do potencial de geração das poeiras.

Pode ser necessário aplicar produtos redutores de pó de modo a ligar as partículas de poeira (criação de floculação das partículas). Existe uma vasta comercialização de produtos redutores de poeira mas cada um destes deve ser testado individualmente a fim de identificar a sua adequação e rentabilidade para o material sob consideração (SADT, 1990).

Os produtos redutores de poeira mais comum são o betume, compostos inorgânicos (cloretos de magnésio e cálcio), cal, cimento, entre outros.

A aplicação de produto redutor de poeira segue as seguintes etapas:

- Escarificação da camada superficial;
- Regularização e reconformação da superfície escarificada;

-
- Aplicação do redutor de poeira pelo método de espalhamento sob alta pressão em quantidades suficientes ao efetivo controlo da formação de pó (taxas da ordem de 2,3 l/m²);
 - Dar a forma pretendida ao pavimento (correção do perfil transversal e longitudinal), proceder à compactação com o teor ótimo de humidade e restaurar o sistema de drenagem superficial (Fattori, 2007).

4.7.4 – Covas

As covas podem ser corrigidas por reparações localizadas, através da adição de materiais bem graduados e posterior compactação. Também podem ser necessários órgãos de drenagem junto destas áreas para drenar o pavimento. A reparação de covas deve ser realizada numa fase inicial de desenvolvimento, uma vez que quando estas ocorrem na superfície o processo de ruína do pavimento aumenta consideravelmente (Jorge, 2014).

4.7.5 – Rodeiras

As rodeiras podem ser corrigidas pela adição de material de revestimento com granulometria adequada. A superfície deve ser escarificada, o material deve ser misturado, reperfilando-se a superfície nos casos mais graves. Podem identificar-se três situações distintas:

- Quando o nível de severidade das rodeiras é baixo pode recorrer-se a uma simples regularização da superfície através de motoniveladora;
- A segunda situação pode envolver a regularização e conformação da pista de rolamento, envolvendo a adição de materiais para equilibrar a mistura, o seu espalhamento e posterior compactação com equipamento adequado;
- A última situação, caso de rodeiras mais profundas e quando se constate a presença de elevados níveis de humidade na camada de revestimento superficial ou na superfície da camada de base, recomenda-se uma intervenção mais radical. Isso envolve serviços de drenagem, recomposição da área afetada através da substituição de solos ou adição de materiais com posterior mistura e arejamento para compactação final no teor ótimo, e execução da camada de revestimento superficial (Fattori, 2007).

4.7.6 – Perda de Agregados

A desagregação pode ser corrigida por escarificação, com a adição de finos para melhorar a composição granulométrica da superfície. A correção da desagregação é um procedimento muito caro, uma vez que, na maioria dos casos, apenas uma pequena parte do material perdido pode ser eficientemente recuperada.

Este problema pode ser resolvido através dos seguintes procedimentos:

- Regularização pura e simples da camada superficial;
- Regularização envolvendo a adição de fração de material que se perdeu;

- Quando o nível de desagregação se mostre intensa, corte de toda a camada, adição de frações de agregados ausentes na mistura, humedecimento em teor ótimo e reconformação da superfície e compactação final.

4.8 Considerações Finais

As estruturas dos pavimentos carecem de cuidados à medida que o tempo de serviço avança. Quando não são aplicadas as devidas ações de conservação, perder-se-á rapidamente a função para a qual foram projetados os pavimentos. Deste modo é vital que mesmo na fase da sua concepção seja ponderada a questão da conservação.

A conservação dos pavimentos passa principalmente por uma manutenção atempada e efetiva. Mas para que ela seja efetiva é necessário que sejam feitas avaliações da estrutura. Assim, deve fazer-se regulamente avaliações funcionais e avaliações estruturais.

A avaliação funcional tem o objetivo de analisar as características funcionais da superfície do pavimento. São verificados aspetos relacionados com o estado da superfície do pavimento, ligados à segurança e conforto dos utilizadores. A avaliação funcional pode ser feita por inspeção visual ou por meios mecânicos mais avançados.

Já a avaliação estrutural tem um carácter mais intrusivo, visando obter informações sobre as características mecânicas do material do pavimento. Para esta análise podem ser utilizados dois tipos de métodos, os métodos destrutivos e os não destrutivos. Os destrutivos implicam a recolha de amostras para posteriores análises em laboratório. Os não destrutivos consistem na utilização de meios apropriados, como é o caso da *Viga Benkelman*, o FWD, entre outros meios, a fim de obter informações a respeito do estado dos materiais.

O capítulo abordou ainda formas de prolongar o tempo de vida útil dos pavimentos através da realização de atividades de manutenção, as quais são necessárias para manter condições aceitáveis de utilização dos pavimentos. Por último fez-se uma breve abordagem sobre os defeitos existentes nos pavimentos e as formas mais comum de os resolver.

5 CONCLUSÕES GERAIS E TRABALHOS FUTUROS

5.1 Síntese do trabalho e conclusões

Nos países com fracos recursos materiais e financeiros as soluções mais utilizadas em termos de construção de pavimentos rodoviários são as chamadas estradas de superfícies não ligadas ou as de superfícies não seladas. Este tipo de soluções, apesar de aparentemente ser mais económico, a médio prazo resulta em maiores custos e insatisfação quer dos utentes quer das autoridades responsáveis pela sua manutenção. Além disso, as ações associadas ao clima existente no local têm um grande peso na avaliação das soluções construtivas das estradas. Por exemplo, a presença da humidade nos materiais não ligados afeta muito o seu desempenho, o que é crítico para o estado de conservação dos pavimentos das EBVT quando se utilizam materiais de fraca qualidade.

Outro aspeto de grande importância prende-se com o fato de haver falta de materiais de boa qualidade para a construção de pavimentos, recorrendo-se muitas vezes a matérias-primas locais que apresentam problemas em termos de propriedades mecânicas e/ou químicas. No entanto, este tipo de obstáculos pode ser ultrapassado de forma relativamente económica, recorrendo a processos relativamente simples como, por exemplo, a mistura de materiais naturais de características complementares, de modo a obter melhores materiais no que se refere aos seus desempenhos nos pavimentos. É, também, essencial prover uma boa drenagem da água, quer superficial quer da proveniente dos níveis freáticos, de modo a evitar que a água se introduza no interior das estruturas dos pavimentos, o que afetaria negativamente o desempenho dos materiais. Estas medidas são mais onerosas na fase da construção, mas a médio-longo prazo resultam em maiores poupanças e satisfação dos utilizadores e das entidades gestoras da rede rodoviária.

Tendo por base os princípios referidos, no presente trabalho analisaram-se estruturas de pavimentos suscetíveis de serem utilizados na rede rodoviária de São Tomé e Príncipe. Para isso, recorreu-se à análise de estruturas propostas para EBVT de países situados em zonas geográficas de características climáticas similares às existentes em São Tomé e Príncipe. Observou-se que os manuais de pavimentos utilizados consideram o CBR o parâmetro chave na determinação da capacidade de carga das fundações, o que dá origem a diferentes classes consoante o catálogo de estruturas considerado. Com os manuais considerados utilizaram-se diferentes classes de fundações e de tráfego, previamente estudadas e estabelecidas, para selecionar os tipos de estruturas de pavimento mais indicadas para São Tomé e Príncipe.

Além disso, com base nas características dos materiais selecionados para serem aplicados em São Tomé e Príncipe, utilizou-se também o método empírico-mecanicista Sul-africano de dimensionamento de pavimentos. Neste caso, ao invés de utilizar simplesmente estruturas

estabelecidas num catálogo, determinaram-se, recorrendo ao programa BISAR, valores de tensões e deformações em pontos críticos das estruturas de pavimento em avaliação. Posteriormente, utilizaram-se as funções de transferência do método para verificar a segurança em relação aos mecanismos de ruína de fadiga e de deformação permanente, para a obtenção da estrutura final dos pavimentos. A aplicação do método empírico-mecanicista conduziu a resultados consideravelmente diferentes dos obtidos através dos manuais de pavimentos considerados, revelando geralmente menor capacidade de carga para as estruturas obtidas pelos manuais. É provável que o método Sul-Africano considere situações de solicitação dos pavimentos mais exigentes, tendo em conta as características da sua rede rodoviária. Considerou-se, portanto, que os resultados obtidos por aquele método não põem em causa, de forma definitiva, a aplicação das estruturas seleccionadas nos manuais utilizados para serem aplicadas em São Tomé e Príncipe.

Por fim, abordou-se a problemática da avaliação da qualidade dos pavimentos da rede e das ações de conservação a implementar para manter a qualidade de serviço. Estas atividades implicam a identificação dos defeitos ou anomalias dos pavimentos, a análise das causas potenciais e a aplicação de técnicas de conservação para solucionar os problemas encontrados.

As ações de conservação podem ser feitas de forma rotineira, periódicas e de emergência. As manutenções rotineiras são realizadas anualmente e a maior parte das atividades incluídas é realizada manualmente. Embora possa ser necessário o uso de alguns equipamentos mecânicos neste tipo de manutenção, a contratação das populações locais para a participação neste tipo de ação é uma mais-valia pois, entre outras vantagens, possibilita algumas poupanças nos custos. As periódicas envolvem ações tais como regravilhamento, tapagem de covas, selagem de fendas, entre outros. São atividades que não param por completo a utilização das estradas durante a intervenção. O período de tempo entre as intervenções varia de acordo com o grau de exigências que cada administração estabeleceu para a mesma e também com a categoria das estradas. A manutenção de emergência só é necessária em casos imprevistos que carecem de intervenção imediata.

As atividades de manutenção não são substitutas umas das outras, são antes complementares. De facto, na ausência das atividades de rotina, seria necessário aplicar ações periódicas com muito maior antecedência. Concluiu-se, portanto, que nas EBVT as ações de manutenção tem um papel crucial no desempenho das estruturas de pavimentos ao longo da sua vida útil e que a ausência daquelas ações resulta na ruína precoce das estruturas. Assim, desde a fase da conceção dos pavimentos é necessário ter bem presente a componente da conservação dos pavimentos.

Embora não tenha sido possível obter dados detalhados das características dos materiais existentes em São Tomé e Príncipe, foi possível concretizar os objetivos inicialmente estabelecidos para este trabalho, designadamente o estabelecimento de estruturas de pavimentos para as circunstâncias das EBVT de São Tomé e Príncipe, e a descrição das técnicas de construção e conservação mais adaptadas às circunstâncias locais.

5.2 Prosseguimento de Trabalhos Futuros

No âmbito deste trabalho foram surgindo algumas dificuldades na obtenção de materiais e de informações precisas e atempadas para a realização dos estudos sobre as características dos materiais de São Tomé. Deste modo, havendo novas possibilidades de realização de estudos semelhantes, seria importante fazer os estudos das características dos materiais e os recursos naturais disponíveis em São Tomé para utilização em pavimentos, discriminados por localidades do país. Além disso, reunidas as condições suficientes ao nível dos materiais, clima e tráfego, ser produzido um catálogo de pavimentos, orientado para a sua aplicação direta à realidade tecnológica do país, em que se incluam as tecnologias mais acessíveis de construção e conservação de pavimentos tendo em conta as situações económico-financeiras do país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEE (2015). *Diseño de Refuerzos en Pavimentos Flexibles Adaptando la Norma SATCC a las Condiciones de Angola*. Carreteras. Nº 202 - julho/agosto de 2015, 51-61.

Andrade, N. C., Piusseaut, E. T. (2015). Reforços Pisos de Design na Adaptação do Padrão Flexível SATCC as Condições de Angola. *Revista Técnica De la Asociación Española de la Carretera* nº. 202 julho-agosto 2015, 51-61.

ANE (2014). *Low Volume Rural Roads Manual Volume 1 - Planning and Design*. Administração Nacional de Estradas, Moçambique.

Austroroads (2003). *Control of Moisture in Pavements During Construction*. APRG Technical Note 13. Sydney Austrália.

Austroroads (2014). *Supplement to the Austroroads Guide to Pavement Technology Part 2: Pavement Structural Design*. Versão nº 4, Pavement Engineering Unit. Sydney, Austrália.

Austroroad-Supplement (2014). *Supplement to the Austroroads Guide to Pavement Technology Part 2: Pavement Structural Design*. Sydney Austrália.

Branco, F., Paulo, P., Picado Santos, L. (2005). *Rodovias Municipais*. ISBN 972-40-2648-5 Almedina, Coimbra, Portugal.

Cardno & Davies PNG Pty Ltd, (1994). *Research on coronous materials and their use in road construction*. Report submitted to PNG Government.

CCDRN (2008). *Engenharia de Tráfego: Conceitos Básicos*. Manual de Planeamento de Acessibilidade e Transporte. Região Norte, Portugal.

Clima-Data.Org, África do Sul, Western Cape. Consultado em 15 de agosto de 2018: <https://pt.climate-data.org/africa/africa-do-sul/western-cape-469/>.

Clima-Data.Org, Moçambique, Nampula. Consultado em 15 de agosto de 2018: <https://pt.climate-data.org/africa/mocambique/nampula-1711/>.

Clima-Data.Org, República Democrática de São Tomé e Príncipe. Consultado em 15 de agosto de 2018: <https://pt.climate-data.org/africa/sao-tome-and-principe/sao-tome-province-2564/>.

Clima-Data.Org, República Democrática do Congo, Western Kasai. Consultado em 15 de agosto de 2018: <https://pt.climate-data.org/africa/republica-popular-do-congo/western-kasai-1486/>.

Clima-Data.Org, Tanzânia, Dar Es Salaam. Consultado em julho 18, 2017: <https://pt.climate-data.org/location/518/>

Clima-Data.Org, Tanzânia, Tanga. Consultado em julho 18, 2017: <https://pt.climate-data.org/location/3117/>

Climate-Data.Org (2018). Clima de São Tomé. Consultado em 13 de março de 2017: <https://pt.climate-data.org/location/3633/>.

Climate-Data.Org, Congo. Consultado em julho 18, 2018: <https://pt.climate-data.org/location/513570/>

Climate-Data.Org, Etiópia. Consultado em julho 18, 2017: <https://pt.climate-data.org/location/532/>

Climate-Data.Org, Moçambique, Angoche. Consultado em julho 18, 2017: <https://pt.climate-data.org/location/52400/>

Climate-Data.Org, Moçambique, Dondo. Consultado em julho 18, 2017: <https://pt.climate-data.org/location/422428/>

Climate-Data.Org, Moçambique, Nampula. Consultado em julho 18, 2017: <https://pt.climate-data.org/location/3542/>

Climate-Data.Org, Moçambique, Quelimane. Consultado em julho 18, 2017: <https://pt.climate-data.org/location/3190/>

Cook J. R., Bishop E. C., Gourley C. S. and Elsworth N. E. (2001). *Promoting the use of marginal materials*. TRL Limited and Roughton International. PR/INT/205/2001. Department for International Development (DfID).

DER/SP (2012). *Manual Básico de Estradas e Rodovias Vicinais, Volume II Conservação*. São Paulo, Brasil.

DTSA (1996). *Structural Design of Flexible Pavement for Interurban and Rural Roads*. Technical Recommendations for Highways. TRH4, Department of Transport, PO Box 415 Pretoria 0001, Republic of South Africa

Educolorir (consultado em 15 de julho de 2018). <https://www.educolorir.com/imagem-mapa-da-frica-em-branco-i20921.html>.

ERA (2011). *Design Manual For Low Volume Roads, Part A, Part B and Part C*. Ethiopian Roads Authority, Federal Democratic Republic of Ethiopia.

Fattori, B. J. (2007). *Manual para Manutenção de Estradas com Revestimento Primário*. Trabalho de Diplomação apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil. Rio de Janeiro, Brasil.

Fookes P G & Marsh A H, (1981). *Some characteristics of construction materials in the low to moderate metamorphic grade rocks of the Lower Himalayas of East Nepal*. 2: Engineering characteristics. Proc Inst. Civil Eng., Vol 70, 139-162.

Geddes, R. (2013). The African Community Access Programme (AFCAP): Overview of AFCAP and a Vision for the Future. Presented at ARRB LVRS Symposium, Cairns Australia, November 2013. (2013 15 pp.

Gourgel, M. (2012). *A importância da Arquitetura sustentável nos países de clima tropical. Análise de casos na cidade de Lisboa*. Mário Alcino Pio Gourgel, Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

Gourley C S & Greening P A K, (1997). *Use of sub-standard laterite gravels as roadbase materials in southern Africa*. UNB International Symposium on Thin Pavements, Surface Treatments, and Unbound Roads. Proceedings of the International Symposium held at the Wu Conference Centre University of Brunswick. June 24-25.

Gourley, C., Greening, P. (1999). *Performance of Low-volume Sealed Roads: Results and Recommendations from Studies in Southern Africa*. TRL Published Report PR/OSC/167/99. Crowthorne.

Grace H & Toll D G, (1987). *Recent investigations into the use of plastic laterites as bases for bituminous surfaced low-volume roads*. 4th Int. Conf. On Low Volume Roads. Transport Res. Rec. 1106, 80-88.

Greening P A K and Rolt J R, (1997). *The use of marginal materials for road bases in the Kalahari region of southern Africa*. UNB International Symposium on Thin Pavements, Surface Treatments, and Unbound Roads. Proceedings of the International Symposium held at the Wu Conference Centre University of Brunswick. June 24-25 1997.

Guillermo, Z., Felipe, A., Álvaro V., Ernesto G., Juan A. (2002). *Guía de Diseño Estructural de Pavimentos para Caminos de Bajo Volumen de Tránsito*. Dirección de Vialidad Ministerio de Obras Públicas.

IAE (1995). Manual de concepção de pavimentos para a rede rodoviária nacional. Junta Autónoma de Estradas, Almada.

Jorge, L. (2014). *Constituição, dimensionamento e conservação de pavimentos para baixos volumes de tráfego*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Portugal.

Lionjanga A V, Toole T & Newill D, (1987). *The development of specifications for the use of calcrete in lightly trafficked roads in Botswana*. Proc. 4th Conf. on Low Volume Roads, TRB, Washington.

Marques, L. (2006). *Notas de Aula da Disciplina Pavimentação TRN 032 Versão 06.2*. Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora.

Mota (2009). *Pavimento de baixo volume de tráfego: Estudo comparativo da vida útil estimada e após abertura ao tráfego*. Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica da UFOP, Ouro Preto.

MTPW (2013). *Design Manual For Low Volume Sealed Roads*. Ministry of Transport and Public Works, Republic of Malawi.

Newill D, Robinson R & Kassaye Akilu, (1987). *Experimental use of cinder gravels on roads in Ethiopia*. 9th Reg Conf. For Africa SMFE, Nigeria.

OTB (2013). *Low Volume Rural Road Surfacing and Pavements - A Guide to Good Practice*. OTB, Civil and Geotechnical Engineering, Africa Community Access Programme (AFCAP), London.

Pinard M I & Jakalas P, (1987). *Durability aspects of chemically stabilised weathered basaltic materials for low-volume roadbase construction*. Proc. 4th Low-Volume Roads Conf, TRB Washington D C.

Portal de Alto Jatibocas (consultada em 17 de janeiro de 2018).
http://portaldealtojatibocas.blogspot.com/2015_07_19_archive.html.

SADT (1990). *The Structure Design, Construction and Maintenance of Unpaved Roads*. Technical recommendation for Highways Draft TRH 20. Committee of State Roads Authorities, South Africa.

SATCC (1998). *Code of Practice for the Design of Road Pavements (draft)*. Southern Africa Transport and Communications Commission, Maputo.

SATCC (2003). *SADC Guideline on Low-volume Sealed Roads*. Southern Africa Transport and Communications Commission.

Slideshare. (consultado em 20 de dezembro de 2017).
<https://pt.slideshare.net/profesjoaopaulo/geo/formao-vegetacional-e-climtica>

Solo e clima de Moçambique. Consultado em 18 de julho de 2017:
<http://aulasoloseclimas.blogspot.com/>.

Theyse, H., De Beer, M. & Rust, F. (1996). *Overview of South African Mechanistic Pavement Design Method*. Transportation Research Record 1539. Transportation Research Board, Washington D.C.

Woodbridge M E, Greening P A K, & Newill D, (1987). *Evaluation of weak aggregates for surface dressing on low-volume roads*. TRL UK Transport Research Record 1291.

ANEXO I. Avaliação do Impacte Ambiental

A breve descrição que se apresenta segue de perto a que é feita em (SATCC, 2003), pelo que, por simplicidade, se omite a sistemática referência àquela fonte.

A AIA é um processo que serve para melhorar a qualidade do resultado de um projeto e pode ser aplicado a qualquer fase de projeto. O processo é flexível e adaptável a qualquer circunstância. De uma forma resumida, uma AIA avalia impactes previsíveis, tanto os positivos como os negativos, e ajuda a encontrar medidas para a mitigação dos aspetos negativos, ou o estabelecimento de soluções técnicas alternativas, bem como formas de otimizar os impactes positivos, ao mesmo tempo que reduz ou limita os impactes negativos (SATCC, 2003).

As principais componentes da AIA incluem:

- Estabelecer as necessidades para o projeto;
- Identificar e quantificar o alcance total de potenciais impactes no ambiente natural e social;
- Elaborar processos de correção para evitar, mitigar e compensar os impactes (negativos);
- Refletir as medidas de correção nos documentos do projeto;
- Assegurar que as medidas corretivas são cumpridas durante a implementação do projeto.

O *output* da AIA é frequentemente formalizado através de um relatório de declaração de impacte ambiental (RDIA) que, segundo o SATCC 2003, é obrigatório para alguns países da SADC. Aquele relatório normalmente aborda os seguintes aspetos:

- Breve descrição do projeto;
- Breve descrição do ambiente existente;
- Possíveis impactes do projeto;
- Medidas de mitigação e proteção;
- Sumário e conclusão.

Anexo I.1 Relatório de Declaração de Impacte Ambiental

O RDIA deve proporcionar uma melhor compreensão das ligações entre a sociedade, o ambiente e o uso sustentável dos recursos. Para que isso seja possível existem algumas questões que fazem parte da lista de aspetos a avaliar no RDIA que são descritos abaixo.

- Desenvolvimentos consequentes:
 - O projeto irá estimular a limpeza de terras agrícolas, o desenvolvimento da indústria ou extração mineral?
 - Que medidas podem ser tomadas para mitigar os efeitos a longo prazo?
- Fatores sociais:
 - Foi feita alguma avaliação para a segurança dos veículos e dos peões?
 - As características geométricas adotadas exigem contramedidas de segurança adicional (por exemplo, programas educacionais)?
- Danos geotécnicos:
 - O projeto foi dimensionado para minimizar a possibilidade de deslizamentos de terras e outros problemas geotécnicos?
 - Foram tidas em conta as consequências da manutenção a longo prazo?
- Recursos materiais:
 - O projeto resultará no esgotamento inaceitável de recursos materiais que possam ser necessários para a manutenção subsequente ou outros projetos de construção?
 - Os locais de empréstimo de terras serão reabilitados e os seus efeitos na paisagem serão minimizados?
- Drenagem:
 - O projeto irá resultar no aumento do risco de inundação ou deslizamento de terra, tendo em conta as perturbações das condições naturais de escoamento das águas?
 - O aparecimento posterior de terras agrícolas e similares irá afetar as condições hidrológicas de tal forma que seja necessário modificar o sistema de drenagem?
 - Alguma fonte de água irá representar risco para a saúde?
- Ecologia:
 - Foram considerados os efeitos nos animais e nas plantas?
 - Foram realizadas avaliações de reconhecimento ecológico?
- Outros fatores:
 - Haverá problemas de poluição do ar, ruído e vibração, e de intrusão visual? Em caso afirmativo, o que poderá ser feito para mitigar esses efeitos?

ANEXO II. Informação Climática

Os tipos de clima em função das zonas do globo terrestre (Gourgel M., 2012)

A distribuição e diferenciação dos vários tipos de climas, apresentado na Figura II.1, dependem do modo como se distribuem os elementos climáticos e os fatores que mais os influenciam, nomeadamente a latitude, o relevo, a proximidade do oceano e a continentalidade.

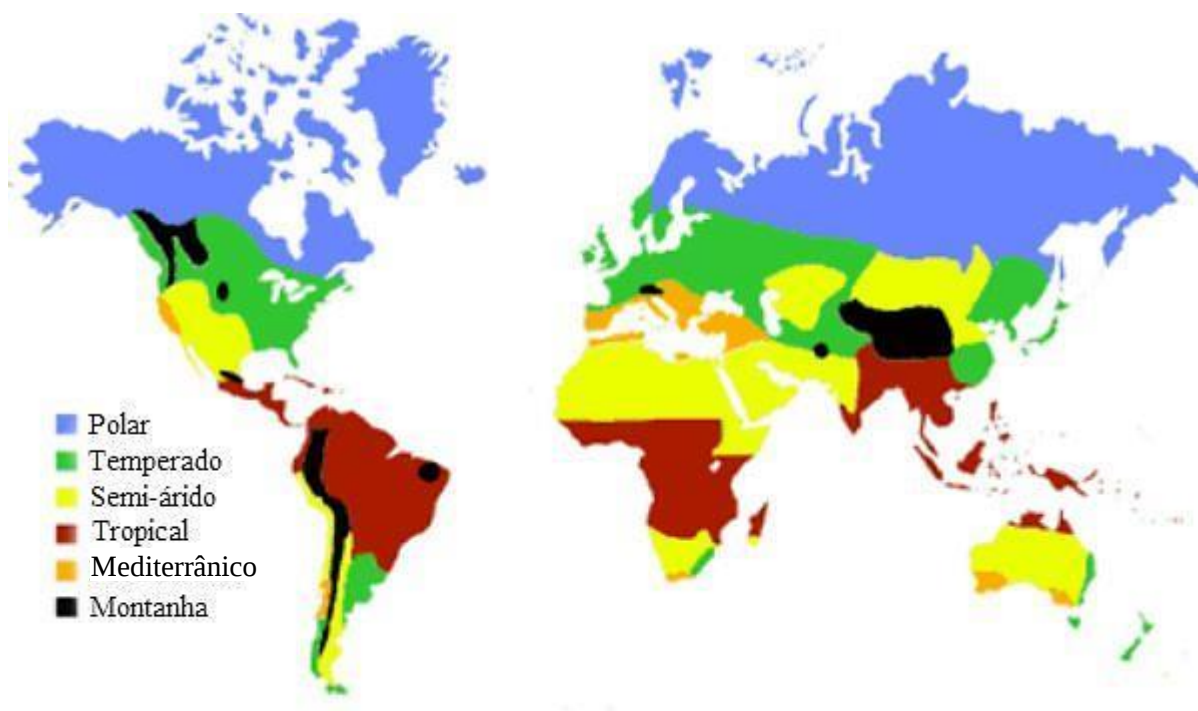


Figura II.1 Zonas climáticas (Gourgel M., 2012)

Apesar das várias diferenças regionais, pode definir-se genericamente os seguintes conjuntos climáticos e respetivos climas:

- **Zona Quente:** Clima equatorial; clima Tropical (de monção, húmido e seco) e clima desértico;
- **Zona Temperada:** Clima subtropical húmido, clima mediterrânico; clima marítimo ou oceânico e clima continental;
- **Zona Fria:** Clima continental ou subpolar, e clima polar. Os climas de altitude não acompanham a distribuição latitudinal dos climas.

Na Figura 2.5 pode-se observar as zonas climáticas referidas.

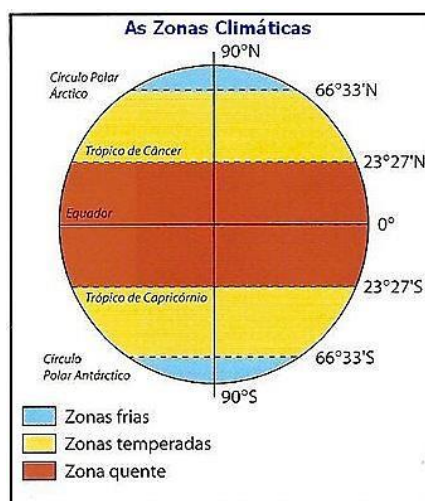


Figura II.2 Agrupamento das zonas climáticas (Slideshare, 2018)

Como o presente texto se destina a estudar EBVT em zona tropical, apresenta-se a seguir uma breve explanação das características climáticas destas regiões.

Anexo II. 1 As regiões de Clima Equatorial (Slideshare)

O Clima equatorial, como o próprio nome indica, localiza-se na faixa que envolve o Equador, limitada sensivelmente pelos paralelos 5° S e 5° N, podendo chegar, em algumas regiões, aos 10° S e 10° N. Abrange, por isso, áreas como, por exemplo, o Zaire, a bacia do Amazonas, a bacia do Congo, Madagáscar e a maior parte das ilhas situadas entre os oceanos Índico e Pacífico, na zona equatorial.

As principais características do clima equatorial são as seguintes:

- Temperaturas médias mensais elevadas e praticamente constantes ao longo do ano, geralmente superiores a 20° C. As temperaturas devem-se, por um lado, à reduzida inclinação dos raios solares e, por outro lado, ao facto da duração do dia natural e da noite ser praticamente sempre a mesma;
- As amplitudes térmicas anuais são muito reduzidas, ou seja, a diferença entre a temperatura média máxima anual e a temperatura média mínima anual, é muito reduzida, normalmente inferiores a 3° C;
- A precipitação é abundante e regular ao longo do ano, com registos superiores a 1500 mm de precipitação total. Os elevados valores de precipitação justificam-se pela presença constante de baixas pressões, as quais provocam chuvas de convecção (chuvas provocadas pela ascendência brusca à superfície de ar fortemente aquecido e húmido);

- Não existem estações (nem Verão, nem Inverno), pois todos os meses são pluviosos e quentes, isto é, não existem estações diferenciadas (apenas estação húmida), já que todos os meses do ano são muito quentes, húmidos e pluviosos.

Anexo II.2 As regiões de Clima Tropical (Slideshare)

De acordo com o site *Slideshare*, os climas tropicais localizam-se entre os Trópicos de Câncer e de Capricórnio, a seguir à faixa de Clima Equatorial, sensivelmente entre 5° e 12° de latitude Norte e Sul (clima tropical húmido), e entre 10° e 12°, ou 15° e 18° de latitude Norte e Sul (clima tropical seco).

As principais características do clima tropical são as seguintes:

- Temperaturas médias mensais muito elevadas ao longo do ano (superiores a 20° C);
- Amplitudes térmicas reduzidas, embora ligeiramente superiores às do clima equatorial;
- Chuvas abundantes concentradas em uma só época do ano (estação das chuvas);
- Existência de duas estações distintas: uma estação húmida e uma estação seca.

Na zona intertropical a precipitação diminui com o aumento da latitude e a estação seca torna-se mais longa à medida que o território fica mais afastado do Equador.

Se a estação pluviosa é mais longa do que a estação seca, o clima é tropical húmido. Se, for o contrário, a estação seca mais longa do que a estação húmida, o clima é tropical seco.

Os climas tropical húmido e tropical seco (Slideshare)

Como se referiu, o clima tropical pode ser subdividido em dois sub-climas: o tropical húmido e tropical seco (Figura II.3).

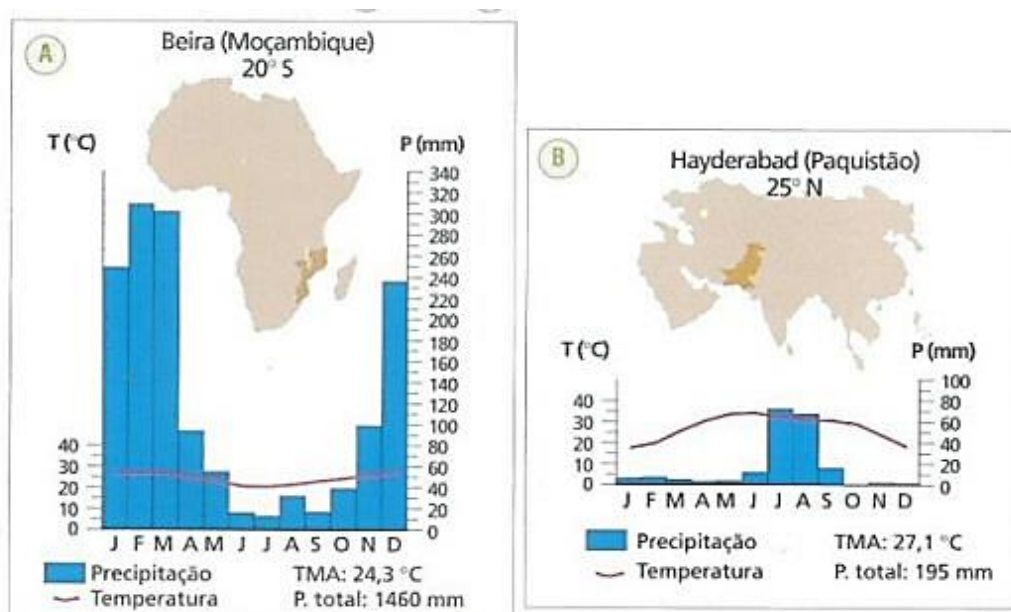


Figura II.3 Clima tropical húmido (A) e seco (B) (Slideshare, 2018)

As principais características do clima tropical húmido são as seguintes (Slideshare, 2018):

- As temperaturas médias mensais são elevadas ao longo do ano, superiores a 24°C. Embora possa ocorrer um ou dois períodos relativamente frescos, a maior parte dos meses apresenta temperaturas médias superiores aos do clima equatorial.
- As amplitudes térmicas anuais, embora maiores do que as do clima equatorial, são pouco acentuadas, tendo um valor aproximado entre 10 ° C e 12 ° C.
- A precipitação distribui-se muito irregularmente ao longo do ano, concentrando-se, na sua quase totalidade, numa só estação.

ANEXO III. **Materiais (não padronizados)**

Anexo III.1 Material de elevada plasticidade

Tabela III.1 Materiais de elevada plasticidade – aspetos principais (Cook et al, 2001)

Tipos de materiais	Problemas associados à elevada plasticidade nos materiais	Ensaio & Análises para quantificar e limitar o problema	Características particulares que influenciam o comportamento do material	Forma de conceção de pavimento de modo a acomodar finos de elevada plasticidade	Formas de melhorar a qualidade/desempenho dos materiais
◆ Cascalhos coralinos ◆ Calcretes ◆ Cascalhos lateríticos ◆ Cascalhos de quartzo ◆ Cascalhos provenientes de depósitos do rio ◆ Depósito de coluvião ◆ Areias argilosas ◆ Calcários (expostos a intempéries). ◆ Outras rochas expostas a intempéries	◆ Fraco resultado de CBR (ex.: fraca capacidade de suporte de carga) ◆ Problemas de compactação ◆ Suscetibilidade de perda de resistência com a molhagem ◆ Covas ◆ Rodeiras ◆ Fendilhamentos	◆ Ensaios correntes: Limite de liquidez (LL); Limite de plasticidade (LP); Limite de retração (LR); Atividade; Teor em humidade; Compactação e CBR; ◆ Ensaios especiais: Mineralogia; Análises químicas; Alteração do volume.	◆ Granulometria (partículas retidas no 2,00 mm + 0,425 mm + 0,075 mm/100) ◆ IP - Índice de plasticidade (LL – LP) ◆ Produto de IP x % passados no # 0,075 mm ◆ Módulo da plasticidade (IP x % passados no # 0,425 mm) ◆ Módulo de retração (LR x % passados no # 0,425 mm) ◆ Atividade da argila (IP/% partículas não inferiores a 0,02 mm) ◆ Mineralogia da argila (% minerais ativos e inativos) ◆ Permeabilidade (tempo levado para absorção de água) ◆ Relação entre compactação, Teor de humidade e CBR (sensibilidade a perda de resistência com a variação do teor de humidade)	◆ Restringir o uso de acordo com fatores climáticos ou do meio ambiente rodoviário (ter em consideração possíveis riscos de inundações ou de seca). ◆ Restringir o uso de acordo com o tipo de tráfego e de carregamento. ◆ Garantir a proteção contra a saturação do pavimento: Boa superfície betuminosa; Bermas seladas; Prevenir contra a migração da humidade; Manutenção da impermeabilidade das camadas	◆ Estabilização mecânica adequado para a base: passados no # 0,425 mm, mínimo de 15%; passados no # 0,075 mm, entre 5 e 35% IP entre 10-25%, CBR mínimo de 20% ◆ Tratamento à base de cal – adequado para sub-base: Passados no #0,425 mm, mínimo 15% Passados no #0,075 mm, máximo 40% IP entre 10-30% ◆ Tratamento à base de cimento – adequado para a base: IP máxima for de 25% Passados no #0,075 mm, entre 5 e 35% CBR mínimo de 20% ◆ Tratamento à base de cimento – adequado para a sub-base: Passados no # 0,075 mm, máximo 40% IP máximo de 30% ◆ Tratamento à base de betume – adequado para base de areias argilosas: Passados no # 0,075 mm, entre 10 e 30% LL máximo 40%, IP máximo de 15% ◆ Tratamento químico: pode ser considerado uma alternativa ao tratamento à base de cal ou cimento, no entanto a construção é mais difícil e dispendiosa

Anexo III.2 Materiais mal graduados

Tabela III.2 Materiais mal graduados – aspetos principais (Cook et al, 2001)

Tipos de materiais	Problemas associados à má graduação	Ensaio & Análises (quantificar e limitar o problema)	Características particulares que influenciam fortemente o comportamento do material	Forma de conceção de pavimento de modo a acomodar o problema da má distribuição dos agregados	Formas de melhorar a qualidade/desempenho dos materiais
Qualquer depósito de material granular natural (inclui depósitos aluvionares, sólidos residuais) Materiais fracos ou mal estabilizados (ex.: laterites, conglomerados fracos) Componentes de rochas altamente fraturadas	Demasiada percentagem de materiais grossos Problema de compactação Elevada % de vazios, resultará em pontos fracos e elevada permeabilidade Fracca capacidade de suporte (CBR) associado ao fraco imbricamento entre partículas Excesso de teor de finos Problemas de compactação Fracco imbricamento entre as partículas maiores, resultando num CBR fraco Se os finos forem plásticos o material estará propenso ao enfraquecimento com a saturação Graduação não uniforme Fracca compactação, baixa densidade & elevada permeabilidade	Ensaio <i>standards</i> : Distribuição do tamanho das partículas; Ensaio do equivalente de areia	Todos os materiais Módulo de graduação e o Coeficiente de uniformidade Coeficiente de curvatura Índice dos materiais rejeitados (% retidos no peneiro de 37,5 mm) Índice da fração grossa Índice da fração fina (% passados no peneiro de 0,075 mm) Materiais finos Proporção dos vazios Permeabilidade Nível de compactação e volume de vazios Relação entre a compactação, o teor de humidade e o CBR	Restringir o uso de acordo com fatores climáticos ou do meio ambiente rodoviário Restringir o uso de acordo com o tipo de tráfego e do carregamento. Escolha de especificações de graduação de agregados que permita obter um ótimo uso dos materiais disponíveis. Garantir a proteção do pavimento contra a saturação, se houver excesso de finos	Estabilização mecânica Mistura com materiais que melhorem as características da graduação. Triagem Remoção de materiais demasiados grosseiros, embora seja difícil a remoção de materiais finos quando estão húmidos Britagem e triagem A fim de criar uma distribuição (graduação) desejável, utilizando uma ou mais fonte de material. Tratamento a base de cal ou cimento: Normalmente adequado para melhorar o desempenho dos materiais com excesso de finos

Anexo III.3 Materiais de formatos inadequados

Tabela III.3 Materiais de formatos inadequada – aspetos principais (Cook et al, 2001)

Tipos de materiais	Problemas associados ao formato inadequado	Ensaio & Análises (quantificar e limitar o problema)	Características particulares que influenciam fortemente o comportamento do material	Forma de conceção de pavimento de modo a acomodar o problema do formato inadequado	Formas de melhorar a qualidade/desempenho dos materiais
◆ Rochas metamórficas folhadas (laminadas ou alongadas) ◆ Cascalhos e areias aluvionares (formatos muito arredondados) ◆ Areias (formatos arredondados) ◆ Conglomerados (formatos arredondados)	◆ Problema de compactação ◆ Elevada % de vazios, resultará em pontos fracos e elevada permeabilidade ◆ O CBR pode ter resultados fracos (ex.: fraca capacidade de suporte de carga) associado ao fraco imbricamento entre partículas	Ensaio padrão: ◆ Índice de flocosidade ◆ Índice de alongamento ◆ Distribuição de tamanho da partícula ◆ % Partículas esmagadas ◆ Coeficiente de esmagamento ◆ Taxa de esmagamento ◆ Média das dimensões menores (MDM) Inspeção visual	◆ Flocosidade ◆ Alongamento ◆ Valor de MDM ◆ Módulo da distribuição dos materiais (P_{2,00}mm + P_{0,425}mm + P_{0,075}mm/100). ◆ Nível de compactação	◆ Restringir o uso de acordo com fatores climáticos ou do meio ambiente rodoviário ◆ Restringir o uso de acordo com o tipo de tráfego e do carregamento.	◆ Estabilização mecânica ◆ Mistura com materiais que melhorem as características da graduação (formatos cúbicos). ◆ Britagem ◆ Melhoramento dos materiais de formatos arredondados. ◆ Britagem modificada (materiais floculados) O tipo de equipamento de britagem (quer seja triturador de maxilar ou triturador de cone) pode influenciar significativamente a proporção das partículas floculadas produzidas durante os processos. ◆ Escolha de método de compactação que irá limitar a quebra dos agregados durante a construção do pavimento.

Anexo III.4 Materiais de fraca resistência

Tabela III.4 Materiais de fraca resistência – aspetos principais (Cook et al, 2001)

Tipos de materiais	Problemas associados à fraca resistência	Ensaio & Análises (quantificar e limitar o problema)	Características particulares que influenciam fortemente o comportamento do material	Forma de conceção de pavimento de modo a acomodar o problema da fraca resistência	Formas de melhorar a qualidade/desempenh o dos materiais
◆ Rochas inerentemente fracas Margas, calcários, <i>Mudstone</i>, siltes, arenitos e tufos fracos ◆ Rochas parcialmente expostas às intempéries (todas os tipos de rochas) ◆ Cascalhos naturais fracos Alguns <i>calcretes</i> Alguns laterites Alguns <i>silcretes</i> Maior parte das escórias vulcânicas Cinzas vulcânicas e pedrapomes ◆ Alguns materiais manufacturados Tijolos fracos Alguns materiais provenientes de restos demolições	◆ Mudança das características distribuição das partículas durante a compactação. Inclui a geração de excesso de finos ◆ Dificuldade em encontrar o MDD e OMC ◆ Problemas de compactação. Dificuldade em atingir as densidades requeridas ◆ Baixa densidade irá resultar num CBR fraco	Ensaio standards: ◆ <i>Aggregate Crushing Value (ACV)</i> ◆ <i>Los Angeles Abrasion (LAA) Value</i> ◆ <i>Aggregate Impact Value (AIV)</i> ◆ <i>10 FACT</i> ◆ <i>Aggregate Pliers Test (APT)</i> ◆ <i>Aggregate Fingers Test (AFT)</i> ◆ Ensaio de absorção da água Ensaio recomendado para agregados de fraca resistência ◆ 10% FACT estado húmido e seco ◆ Procedimentos modificados de AIV	◆ Propriedades de resistência do agregado tal como determinado pelos ensaios seleccionados ◆ A durabilidade do agregado diminui em resistência dentro do tempo de engenharia ◆ Densidade do pavimento alcançável. ◆	◆ Restringir o uso de acordo com fatores climáticos – não deve ser utilizado em ambientes que poderão induzir a deterioração dos agregados. ◆ Restringir o uso de acordo com o tipo de tráfego e do carregamento.	◆ Estabilização mecânica Mistura com materiais que melhorem as características. ◆ Britagem e triagem Remoção de partículas fracas da mistura ◆ Tratamento à base de cal ou cimento ◆ Combinar os procedimentos de construção com as características dos materiais

Anexo III.5 Revisão dos materiais de fraca durabilidade

Tabela III.5 Revisão dos materiais de fraca durabilidade (Cook et al, 2001)

Tipos de materiais	Problemas associados à fraca durabilidade	Ensaio & Análises (quantificar e limitar o problema)	Caraterísticas particulares que influenciam fortemente o comportamento do material	Forma de conceção de pavimento de modo a acomodar o problema da durabilidade	Formas de melhorar a qualidade/desempenho dos materiais
◆ Tipos de rochas argilosas Margas, calcários, <i>Mudstone</i>, xisto, arenitos argilosos ◆ Rochas mal cementadas: tufo fracos, arenitos fracos ◆ Rochas parcialmente expostas às intempéries (todos os tipos) Alguns calcretes Alguns laterites Alguns silcretes Maior parte das escórias vulcânicas Cinzas vulcânicas e pedrapomes ◆ Algumas rochas ígneas Basalto <i>Dolerite</i> <i>Gabbro</i> Andesite, entre outras	◆ Decomposição dos agregados na fase de serviço ou durante os procedimentos de construção/armazenagem (afetado por fatores climáticos importantes) ◆ A decomposição pode gerar finos plásticos que são suscetíveis ao amolecimento e mudanças volumétricas nos estados húmido e seco	Ensaio <i>standards</i>: ◆ Ensaio de sulfato de Sódio ◆ Ensaio de sulfato de magnésio ◆ Ensaio de solidez ◆ LAA ◆ Ensaio de durabilidade	◆ Degradação das propriedades de engenharia durante o tempo de vida projeto do pavimento. Resultados insatisfatórios de ensaios listados na coluna 3	◆ Restringir o uso de acordo com fatores climáticos – não deve ser utilizado em ambientes que poderão induzir a deterioração dos agregados. ◆ Garantir a proteção do pavimento da saturação (humidade) Revestimento superficial com betume suficiente. Bermas impermeáveis. Impedir a migração da humidade. Boa manutenção	◆ Estabilização mecânica Mistura com materiais que irão diminuir a degradação geral do pavimento. ◆ Britagem e triagem Remoção de partículas fracas da mistura ◆ Tratamento à base de cal ou cimento – pode inibir problemas de durabilidade, mas exigirá investigações detalhadas

Anexo III.6 Exemplos de utilização de materiais não padronizados em pavimentos selados de baixo volume de tráfego

Tabela III.6 Exemplos de utilização de materiais não padronizados em pavimentos selados de baixo volume de tráfego (Cook et al, 2001)

Material & Referência	Localização	Ambiente climático	Caraterística dos materiais	Utilização	Comentário
<i>Calcrete</i> <i>Lionjanga et al (1987)</i> <i>Greening and Rolt (1997)</i>	Botswana	Semiárido	Partículas de fraca resistência Baixa resistência compactada Má graduação Elevada plasticidade	Camada base: <u>Especificação adaptada</u> , desenvolvida quer para bermas seladas e não seladas. Utilização na camada de base nas seguintes condições: 0,3x10 ⁶ EP, CBR> 35% e IP <30, se as bermas estiverem seladas	Especificações comprovadas apenas para regiões climáticas secas e semiáridas em estradas construídas sobre fundações fortes (CBR> 25%)
<i>Laterite</i> <i>Grece and Toll (1987)</i> <i>Gourley and Greening (1997)</i>	Malawi	Tropical sazonalmente húmido	Partículas de fraca resistência Baixa resistência compactada Má graduação Elevada plasticidade	Camada base: <u>Procedimentos da construção</u> modificados para permitir a circulação na camada de base por um ano na estação chuvosa antes da moldagem e selagem na estação seca seguinte. Todos os locais devem estar bem drenados e com uma coroa de pelo menos 1m.	Ensaio de sucesso em estradas principais que transportam tráfego até 1,0 x 10 ⁶ EP. Altura da coroa e provisão de boa drenagem, componente essencial do desempenho.
<i>Marga</i> <i>Woodbridge et al (1987)</i>	Belize	Tropical muito húmido	Partículas de fraca resistência Má graduação	Camada base e sub-base: construção de terraplanagem (600-750 mm de enchimento) utilizada em toda a secção devido o lençol-freático sazonalmente elevado. Devem se utilizar apenas materiais não plásticos ou muito pouco plásticos. Adoção de boa prática de manutenção o que inclui a limpeza regular dos drenos e dos das bermas não seladas	Após 20 anos de serviço, atingindo 1,4 EP, o pavimento ainda continua em boas condições, apresentando apenas pequenas rodeiras (negligenciáveis). De modo a evitar a erosão das bermas, entrada de humidade e problemas de manutenção evitáveis, deve se considerar a conceção das bermas seladas.
Basalto <i>Pinard & Jakalas (1987)</i>	Botswana	Subtropical	Material britado aprovado pelas especificações, no entanto não possui boa durabilidade em serviço	Camada base. Adição de finos (ativos) plásticos a fim de melhorar a graduação. Conceção de bermas não pavimentadas	Os finos derivados de rochas basálticas expostas às intempéries não devem ser utilizados para melhorar a graduação dos materiais São recomendados a conceção de bermas seladas

Tabela III.6 (continuação) Exemplos de utilização de materiais não padronizados em pavimentos selados de baixo volume de tráfego

Material & Referência	Localização	Ambiente climático	Caraterística dos materiais	Utilização	Comentário
Basalto <i>Pinard & Jakalas (1987)</i>	Botswana	Subtropical	Material britado aprovado pelas especificações, no entanto não possui boa durabilidade em serviço	Camada base. Adição de finos (ativos) plásticos a fim de melhorar a graduação. Conceção de bermas não pavimentadas	Os finos derivados de rochas basálticas expostas às intempéries não devem ser utilizados para melhorar a graduação dos materiais São recomendados a conceção de bermas seladas
Basalto exposto às intempéries <i>Gourley and Greening (1999)</i>	Botswana	Subtropical	Graduação fora do recomendado pela especificação; IP <12 e CBR > 55	Camada base: adoção da normal metodologia de construção. 1m de terraplanagem e bermas seladas	Bom desempenho com 0,25 x10 ⁶ EP's por mais de 14 anos
Coral <i>Cardno & Davies (1994)</i>	Papua, Nova Guiné	Tropical muito húmido	Partículas de fraca resistência Má graduação Elevada plasticidade	Camada base: Especificações modificadas baseadas no critério de elevada compactação resultando em camadas densas (máx. 150mm) Seleção do método de compactação adequado (em função da graduação e do IP)	Adequado para estradas seladas de baixo volume de tráfego apenas para os tipos de corais definidos. Corais diferentes podem implicar consulta de diferentes especificações.
Cascalhos <i>Cinder Newill et al (1987)</i>	Etiópia	Semiárido	Partículas de fraca resistência e elevada porosidade Má graduação	Camada base: Estabilização mecânica com finos de cinzas volantes e seleção do método apropriado de compactação	Bem-sucedido no ambiente de baixo volume de tráfego selado. Uma pesquisa (no ano 2000) confirmou um excelente desempenho, com pequenas deteriorações, em 20 anos de serviço e aproximadamente 3,0x10 ⁶ EP's
Xisto/Filito <i>Fookes & Marsh (1981)</i>	Nepal	Monções subtropical	Agregados de formatos inadequados	Procedimentos de processamento modificados para garantir o melhoramento dos formatos	Para as operações intensivas em mão-de-obra, as técnicas de trituração manual se revelaram eficazes para melhorar a forma geral.

Anexo III.7 Tipos e abreviaturas dos materiais

Tabela III.7 Tipos e abreviaturas dos materiais de pavimento utilizados em estradas pavimentadas e não pavimentadas (ERA, 2011)

Código	Material	Especificações abreviadas
G80	Cascalho natural	Min. CBR: 80% à 98/100% AASHTO T180 e 4 dias de imersão Max. dilatação: 02% Max. e granulometria: Max 375mm, granulometria conforme especificado. PI: < 6 ou conforme especificado (material específico).
G65	Cascalho natural	Min. CBR: 65% à 98/100% AASHTO T180 e 4 dias de imersão Max. dilatação: 0.2% Max. tamanho e granulometria: Max tamanho 37.5mm, granulometria conforme especificado. PI: < 6 ou conforme especificado (material específico)
G55	Cascalho natural	Min. CBR: 55% à 98/100% AASHTO T180 e 4 dias de imersão Max. dilatação: 0.2% Max. tamanho e granulometria: Max tamanho 37.5mm, granulometria conforme especificado. PI: < 6 ou conforme especificado (material específico)
G45	Cascalho natural	Min. CBR: 45% à 98/100% AASHTO T180 e 4 dias de imersão Max. dilatação: 0.2% Max. tamanho e granulometria: Max tamanho 37.5mm, granulometria conforme especificado. PI: < 6 ou conforme especificado (material específico)
G30	Cascalho natural	Min. CBR: 30% à 95/97% AASHTO T180 & maior teor de água esperada Max. dilatação: 1.0% 1.5% à 100% AASHTO T180 Max. tamanho e granulometria: Max tamanho 63mm ou 2/3 da altura da camada. PI: < 12 ou conforme especificado (material específico)
G25	Cascalho natural	Min. CBR: 30% à 95/97% AASHTO T180 & maior teor de água esperada Max. dilatação: 1.0% 1.5% à 100% AASHTO T180 Max. tamanho e granulometria: Max tamanho 63mm ou 2/3 da altura da camada. PI: <12 ou conforme especificado (material específico)
G15	Cascalho / Solo	Min. CBR: 15% à 93/95% AASHTO T180 & maior teor de água esperada Max. dilatação: 1.5% 1.5% à 100% AASHTO T180 Max. tamanho: 2 ou 2/3 da altura da camada. PI: < 12 ou 3GM + 10 ou conforme especificado (material específico)
G7	Cascalho / Solo	Min. CBR: 7% à 93/95% AASHTO T180 & maior teor de água esperada Max. dilatação: 1.5% à 100% AASHTO T180 Max. tamanho: 2/3 da altura da camada PI: < 12 ou 3GM + 10 ou conforme especificado (material específico)
G3	Cascalho / Solo	Min. CBR: 3% à 93/95% AASHTO T180 & maior teor de água esperada Max. tamanho: N/A Max. tamanho: 2/3 da altura da camada

Anexo III.8 Preparação das fundações

Tabela III.8 Preparação das fundações (Gourley et al, 1999)

Classe de Fundação	Tratamento indicado
S2	1-Remoção do solo superficial, escarificação e compactação do leito do pavimento até uma densidade mínima de 100% de ensaio britânico de compactação (BS) de 2,5kg ou compactação equivalente; 2-Construção da fundação e compactação a uma densidade mínima de 100% do BS de 2,5kg ou compactação equivalente.
S3 e S4	1-Remoção do solo superficial, escarificação e compactação do leito do pavimento até uma densidade mínima de 100% de ensaio britânico de compactação (BS) de 2,5kg ou compactação equivalente; 2- Construção da fundação e compactação a uma densidade mínima de 100% do BS de 2,5kg ou compactação equivalente; 3-Assegurar que o material na camada superior preenche os requisitos de dimensionamento do pavimento.
S5	1-Remoção do solo superficial, escarificação e compactação do leito do pavimento até uma densidade mínima de 100% de ensaio britânico de compactação (BS) de 2,5kg ou compactação equivalente; 2- Construção da fundação e compactação a uma densidade mínima de 100% do BS de 2,5kg ou compactação equivalente; 3-Certificar que o material na camada superior esteja em conformidade com os requisitos de projeto do pavimento e seja compacto para uma densidade mínima de 95% do ensaio BS 4,5kg ou compactação equivalente com um teor ótimo de humidade.

Anexo III.9 Medidas para utilização do cimento e cal no melhoramento das características dos materiais

Tabela III.9 Medidas para o melhoramento à base de cimento/cal (Cook et al, 2001)

	Materiais melhorados à base de cimento e cal para a camada de base Tráfego máximo de 10M EP	Materiais melhorados à base de cimento e cal para a camada de sub-base Tráfego máximo de 60M EP
1 – Características dos materiais		
Graduação	Material antes do tratamento	Material antes do tratamento
Gravilhas naturais		
Dimensão máxima	50 mm	50 mm
Passados, peneiro de 0,425 mm	Mín. 15% para tratamento com cal	Mín. 15% para tratamento com cal
Passados, peneiro de 0,075 mm	5-35%	40%
Areia siltosa e areia argilosa		
Dimensão máxima	10 mm	10 mm
Passados, peneiro de 0,425 mm	Mín. 15% para tratamento com cal	-
Passados, peneiro de 0,075 mm	Máx. 40%	Máx. 50%
Coeficiente de uniformidade	Mín. 5%	-
Índice de plasticidade	Máx. 25% Mín. 10% para tratamento com cal	Máx. 30% Mín. 10% para tratamento com cal
Módulo de plasticidade	Máx. 2000	Máx. 2500
CBR (embebido)	Mín. 20%	-
Matéria orgânica	Máx. 1%	2%
	Material antes do tratamento	Material antes do tratamento
CBR >95% modificado AASHTO após 7 dias de cura e 7 dias de imersão	Mín. 160%	Mín. 60%
Índice de plasticidade	Máx. 6%	Máx. 15%
Módulo de plasticidade (IP x % passados do peneiro de 0,425 mm)	Máx. 250	Máx. 250%
2 – Procedimentos construtivos		
Espessura da camada compactada	125 a 200 mm	100 a 200 mm
Quantidade de cimento normalmente necessária	Gravilhas com teores de plasticidade: 3 – 6% Areias argilosas: 3 – 5%	Gravilhas com teores de plasticidade: 2 – 4% Areias argilosas: 2 – 3%
Quantidade de cal hidratada normalmente necessária	4 – 6%	2 – 4%
Colocação (espalhamento)	Motoniveladora	Motoniveladora
Mistura	In situ (máquina pulverizadora)	In situ (máquina pulverizadora)

Tabela III.10 (continuação) Materiais para melhoramento à base de cimento/cal

	Materiais melhorados à base de cimento e cal para a camada de base Tráfego máximo de 10M EP	Materiais melhorados à base de cimento e cal para a camada de sub-base Tráfego máximo de 60M EP
3 – Compactação		
Baridade seca mínima	95% <i>Mod AASHTO</i>	95% <i>Mod AASHTO</i>
Teor em humidade da compactação	OMC – 2 a OMC (<i>Mod AASHTO</i>)	OMC – 2 a OMC (<i>Mod AASHTO</i>)
Tempo necessário de compactação	Cimento – 2 horas Cal – 4 horas	Cimento – 2 horas Cal – 4 horas
4 – Proteção e cura		
Tempo disponível para a colocação da proteção	Cimento – 4 horas Cal – 8 horas	Cimento – 4 horas Cal – 8 horas
Permissão de tráfego	Após 7 dias	Após 7 dias

Anexo III.9.1 Uso do cimento nos pavimentos rodoviários (Austroads, 2014)

Quando as camadas com materiais tratados com cimento são colocadas próximas da camada superficial, deve prever-se que haja uma propagação das fendas de retração geradas nos materiais com cimento para a superfície. Assim, deve avaliar-se a espessura que irá colocar-se acima das camadas com cimento. A espessura necessária do material granular ou da camada betuminosa que deve colocar-se acima da camada do material tratado para inibir a reflexão de fendas depende de vários fatores, nos quais se incluem a carga transmitida pelo tráfego, o ambiente, a quantidade e o tipo de material ligante utilizado, processo de cura, características aparentes dos materiais, condições da construção e a capacidade de suporte da fundação.

A espessura mínima do material betuminoso (de graduação densa) necessária para inibir a reflexão deste tipo de fendilhamento está ilustrada na Figura III.1.

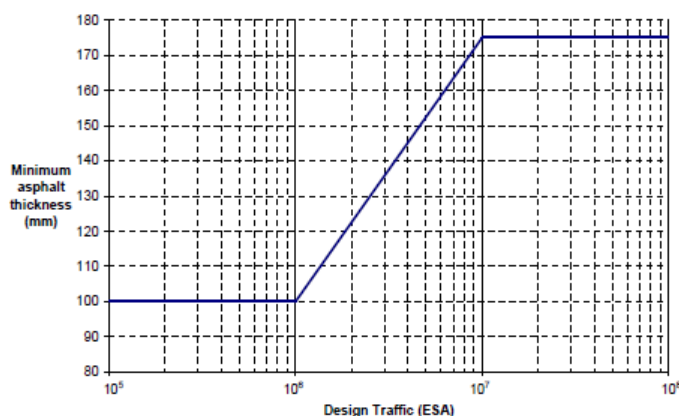


Figura III.1 Espessura mínima necessária para inibir a reflexão do fendilhamento

Os materiais granulares podem ser utilizados na camada de desgaste como material único ou em conjunto com o material betuminoso. Para isso devem seguir os seguintes critérios:

A espessura equivalente do material betuminoso = $(0,75 \times \text{a espessura do material granular utilizado na camada superficial}) + (\text{espessura da camada superficial betuminosa})$.

A Figura III.2 ilustra a combinação das espessuras de material betuminoso e de material granular que correspondem a 175 mm de mistura betuminosa densa.

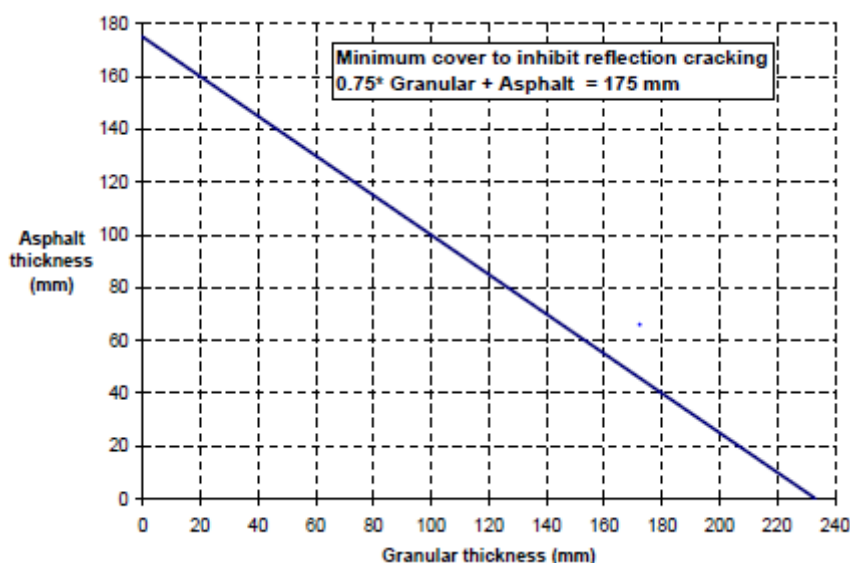


Figura III.2 Combinação do material betuminoso e granular

Anexo III.9.1.1 Compactação (única camada tratada)

A realização da compactação especificada para os materiais tratados é essencial para o desenvolvimento do módulo de resiliência e das características de fadiga do material assumido no projeto. A face inferior das camadas tratadas é a zona mais crítica, pois é a zona na qual ocorre a máxima tensão de tração. Este requisito, de atingir um grau de compactação especificado, limita a espessura máxima da camada quando se trata destes tipos de materiais. Para a construção de novos pavimentos, a espessura máxima da camada é de 200 mm.

Pode ocorrer danos por fadiga em camadas de materiais tratados como consequência da atuação do tráfego, a menos que sejam suficientemente espessas e que sejam adequadamente suportadas pelos materiais da camada inferior. A espessura mínima do material tratado necessário para evitar danos por fadiga causado pelo tráfego durante a fase de construção pode ser vista no gráfico da Figura III.3, e depende da resistência do material da camada inferior (debaixo da camada de material tratado) na altura da construção. Para espessuras inferiores às indicadas no

gráfico da Figura III.3, os danos de fadiga durante a construção precisam de ser considerados na avaliação dos danos causados pela fadiga do material durante a fase de utilização.

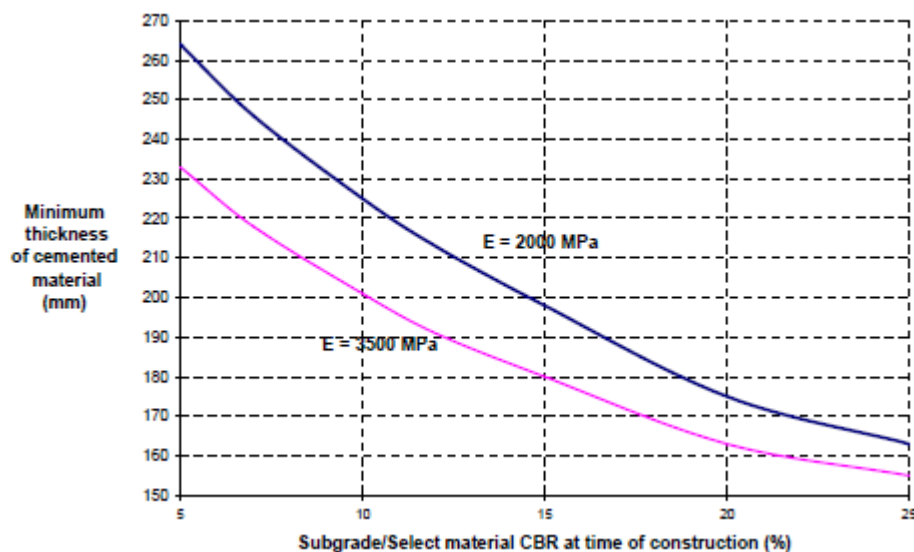


Figura III.3 Espessura mínima de material tratado para evitar os danos de fadiga durante a construção

Anexo III.9.1.2 Compactação (múltiplas camada tratada)

Quando a espessura das camadas dos materiais tratados (de pavimentos novos) excedem o máximo da espessura especificada para materiais de camada singular, deve proceder-se à construção de multicamadas. O máximo e o mínimo para este tipo de pavimento são de 175 mm e 125 mm, respetivamente. Assim, a espessura total para duas camadas pode variar entre 250 mm e 350 mm. Para o efeito do cálculo mecanicista, e de modo a considerar que as camadas estejam totalmente ligadas, o número das camadas não deve ser superior a dois.

Na construção de multicamadas tratadas, as camadas projetadas para serem totalmente ligadas precisam de se comportar estruturalmente como uma estrutura singular, caso contrário é necessário modelar duas camadas não ligadas entre si.

As fendas de retração que se propagam para as camadas superiores, promovem o caminho de entrada para a humidade, a qual pode causar a desunião das interfaces das camadas no interior do pavimento e/ou causar o enfraquecimento da camada da fundação. Deste modo, é essencial que ambas as camadas da multicamada sejam contruídas no mesmo dia, não apenas para se conseguir a efetiva ligação química entre as camadas, mas também para se garantir que as fendas de retração sejam contínuas nas duas camadas (colocação da segunda camada com o material ainda fresco poderá acomodar os movimentos resultantes da retração da primeira camada). A demora entre começar a colocação das sucessivas camadas não deve ser superior a 6 horas.

ANEXO IV. Tipos de revestimentos superficiais betuminosos (ANE, 2014)

Os principais tipos de revestimentos betuminosos delgados normalmente utilizados em EBVT e que apresentam um custo relativamente baixo são os seguintes:

- Revestimentos Superficiais Simples ou Duplo (*Single Surface Dressing* ou *Double Surface Dressing*);
- *Cape Seal*;
- *Otta Seal*;
- Misturas betuminosas a frio (*Cold Mix Asphalt*);
- Lama asfáltica (*Slurry seal*);
- *Sand Seal*.

Estes revestimentos betuminosos são mostrados na Figura IV.1 e descritos abaixo.

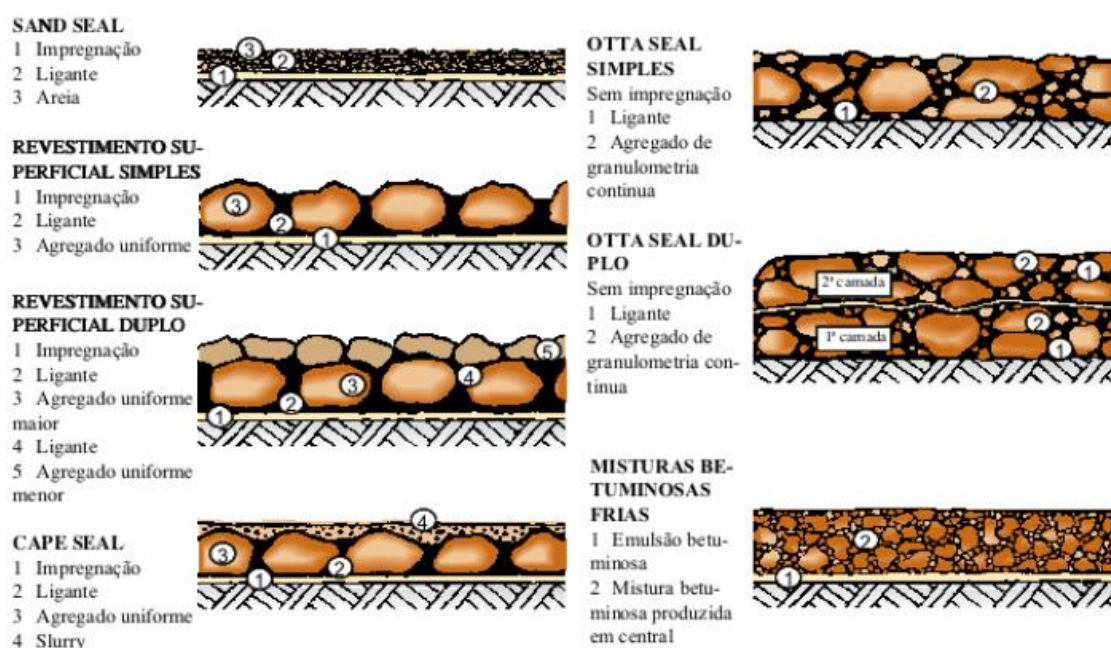


Figura IV.1 Exemplos de revestimentos betuminosos (ANE, 2014)

Anexo IV.1 Revestimento Superficial

Este revestimento não-estrutural (simples ou duplo) consiste numa pulverização de ligante betuminoso, seguida da aplicação de uma camada de agregado (gravilha). O aglutinante confere impermeabilidade ao pavimento impedindo a entrada de água para a estrutura do pavimento a partir da superfície, enquanto a gravilha protege o filme de ligante dos danos causados pelos pneus dos veículos.

Anexo IV.2 Cape Seal

É constituído por uma única camada de agregado com 13 milímetros ou 19 milímetros de dimensão nominal, penetrada com aglutinante betuminoso, e coberta com uma lama asfáltica. Se for utilizada uma camada de agregado com 19 milímetros, a mistura é aplicada em duas camadas. A função da lama asfáltica é de proporcionar um enchimento denso para melhorar a estabilidade da camada de agregados grossos de granulometria uniforme. Os agregados graúdos são colocados de forma a fornecer a textura necessária para garantir resistência à derrapagem.

Anexo IV.3 Otta seal

Este revestimento betuminoso obtém-se pela pulverização, *in-situ*, com ligante betuminoso de baixa viscosidade sobre uma camada de agregado de granulometria contínua de cascalho natural ou agregado britado, com ou sem posterior aplicação de areia (ensaibramento). Este tipo de revestimento distingue-se dos revestimentos superficiais que utilizam agregado britado de dimensão uniforme e betume relativamente duro (alta viscosidade).

Anexo IV.4 Mistura betuminosa à frio

Trata-se de uma mistura aplicada à temperatura ambiente, constituída por agregados grosseiros, similar ao do *Otta Seal*, mas que utiliza emulsão betuminosa em vez de betume quente como aglutinante. É particularmente adequado para aplicações em locais com escassos recursos, e pode ser construído inteiramente com ferramentas manuais, equipamentos simples e um rolo de condução apeada para a compactação. O comportamento depende mais da ligação conferida pelo ligante e do imbricamento entre partículas do que da resistência intrínseca dos agregados.

Devido à sua natureza porosa, a durabilidade do revestimento pode ser uma preocupação.

Anexo IV.5 Lama asfáltica (Slurry seal)

A lama asfáltica consiste numa mistura homogénea de materiais pré-misturados que compreendem agregados finos, emulsão betuminosa (aniónica ou catiónica) ou uma emulsão modificada, água e *filler* (cal ou cimento). A produção pode ser realizada em centrais de mistura ou máquinas mais sofisticadas concebidas para o efeito, que misturam e espalham a mistura. O revestimento é utilizado para tratar vários defeitos sobre uma superfície de pavimento existente, tal como reduzir a perda de gravilha e restabelecer a textura da superfície.

Anexo IV.6 Sand Seal

Este revestimento é constituído por ligante aplicado por pulverização sobre a superfície existente, seguido da aplicação de areia limpa grossa, ou pó de pedra britado. Este revestimento é utilizado em EBVT, especialmente em regiões mais secas, mas também pode ser utilizada para revestimentos de manutenção. Para a construção nova são geralmente utilizadas duas camadas, uma vez que as camadas individuais tendem a ser pouco duráveis.

Existe um período prolongado de cura, tipicamente entre 8 e 12 semanas, entre a primeira aplicação do revestimento e a segunda, de modo a assegurar a completa evaporação dos materiais voláteis.

Anexo IV.7 Vida útil dos revestimentos

A vida de um revestimento depende de uma ampla gama de fatores, como sejam a qualidade do projeto, o clima, a resistência do pavimento, a durabilidade do aglutinante, a qualidade do acabamento, a adequação da manutenção, entre outros. Em geral, os revestimentos betuminosos delgados, normalmente utilizados como medidas temporárias ou permanentes, incluem-se numa estratégia de pavimentação em fases, têm vidas úteis de serviço mais curtas (geralmente menos de 10 anos) do que revestimentos duplos ou combinados (geralmente com durações superiores a 10 anos).

A Tabela IV.1 resume algumas indicações relativas à vida útil de serviço dos diferentes tipos de tratamentos superficiais, de modo a servir de apoio para a escolha do tipo de revestimento no contexto de uma análise de custo no ciclo de vida.

Tabela IV.1 Vida útil dos revestimentos superficiais (ANE, 2014)

Tipos de Revestimentos	Média de vida útil de serviço (anos)
Revestimento delgado / estratégia faseada	
<i>Sand seal</i> simples	2-3
<i>Sand seal</i> duplo	3-6
Lama asfáltica (<i>Slurry seal</i>)	3-5
Revestimento superficial simples	6-8
Estratégia combinada de revestimento	
Revestimento superficial duplo	8-10
Mistura betuminosa a frio	8-10
<i>Otta seal</i> simples	8-10
<i>Otta seal</i> simples + <i>Sand seal</i>	10-12
<i>Cape seal</i> (13 mm + Lama asfáltica simples)	10-12
<i>Cape seal</i> (19 mm + Lama asfáltica dupla)	10-12
<i>Otta seal</i> duplo	15-18

Os valores na Tabela IV.1 foram apresentados assumindo que as manutenções de rotina e periódicas são realizadas atempadamente.

ANEXO V. Tráfego, Fatores a considerar

Tabela V.1 Fatores a considerar no tráfego de projeto (SATCC, 1998)

Tipo de Estrada	Carga de tráfego de projeto	Nota
Faixa de rodagem de via única		
Estrada pavimentada, 4,5 m ou menos de largura	Até duas vezes da soma do EP em cada sentido ⁽¹⁾	Pelo menos o tráfego total deve ser projetado, pois haverá sobreposição significativa em cada sentido. Para larguras de 3.5m ou menos, o dobro do total deve ser usado devido à canalização
Estrada pavimentada, 4,5 m a 6,0 m	80% da soma do EP em cada sentido	Para permitir uma considerável sobrecarga na secção central da estrada
Estrada pavimentada, mais de 6,0 m	Total do EP do sentido mais solicitado	Efetivamente sem sobreposição, os veículos mantêm-se nas devidas vias
Faixa de rodagem com duas vias		
Menos de 2000 veículos comerciais por dia num sentido	90% do total do EP num sentido	A maioria dos veículos pesados irá circular efetivamente numa via (predestinada para este efeito)
Mais de 2000 veículos comerciais por dia num sentido	80% do total do EP num sentido	A maioria dos veículos pesados irá circular efetivamente numa faixa, no entanto os maiores congestionamentos irão levar a mudança de via
⁽¹⁾ É judicioso utilizar o dobro do EP esperado pois normalmente nas estradas de baixo tráfego pode resultar numa pequena diferença na estrutura do pavimento		

Para vias duplas não é recomendada a variação da espessura para cada uma das vias, porque, além das questões práticas, existe a probabilidade de haver ocasiões em que haja necessidade de desviar o tráfego para a via rápida ou outra, por razões de reparação. O que poderá levar a aceleração da deterioração da via rápida, caso não sejam tidas em consideração as precauções aqui referidas (SATCC, 1998).

ANEXO VI. Tipologia de estruturas previstas no catálogo de SATCC

Tabela VI.1 Tipologia de estruturas previstas no catálogo de Moçambique (SATCC, 1998)

Catálogo	Estrutura do pavimento ¹	Comentários
D1 & W1	Base granular e sub-base granular	Normalmente base de materiais granulares naturais ou britados; pode ser um macadame se considerado apropriado e se o custo e/ou a qualidade não forem um problema.
D2 & W2	Base granular e sub-base tratada	Base: como indicado para D1 & W1. Sub-base pode incluir tratamento com cal (para classes T3, $< 0,75 \times 10^6$ eixos padrão de 80 kN) ou com emulsão betuminosa (para classe T4, até 3×10^6 eixos padrão de 80 kN)
D3 & W3	Base tratada e sub-base tratada	Normalmente base tratada com cimento; a base tratada com emulsão betuminosa é permitida na classe T3 (até $1,5 \times 10^6$ eixos padrão de 80 kN). A sub-base pode incluir tratamento com cal (para classes T3, $< 0,75 \times 10^6$ de eixos-padrão de 80 kN) ou com emulsão betuminosa (para classe T4, até 3×10^6 de eixos padrão de 80 kN)
D4 & W4	Base betuminosa e sub-base granular	Base em misturas betuminosas a quente fabricadas em central
D5 & W5	Base betuminosa e sub-base tratada	Base: como indicado para D4 & W4. A sub-base pode incluir tratamento com cal (para classes T3, $< 0,75 \times 10^6$ de eixos padrão de 80 kN) ou com emulsão betuminosa (para classe T4, até 3×10^6 de eixos padrão de 80 kN)
¹ Camada de desgaste inclui tratamentos superficiais e misturas betuminosas a quente. Materiais naturais tratados com emulsão betuminosa, com valores de betume residual até 1,5%, incluindo 1,0% de cimento Portland, têm provado na África do Sul ter um desempenho satisfatório para níveis de tráfego significativamente superiores.		

ANEXO VII. Método do Penetrômetro Dinâmico (Jorge, 2014)

Um dos métodos de dimensionamento de pavimento de EBVT aplicados na África do Sul utiliza o Penetrômetro Dinâmico – DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*), o qual foi desenvolvido para a modernização de estradas, quer com pavimentos não revestidos quer revestidos, tendo sido aplicado com sucesso em vários países africanos. O objetivo do método do DCP é conseguir um dimensionamento equilibrado que valoriza a resistência do material existente relacionado com muitos anos de compactação devida à ação do tráfego. A ênfase principal é o uso do pavimento da estrada existente sem perturbar a sua resistência, adicionando apenas o material com a qualidade e espessura necessárias para suportar o tráfego de projeto.

O método do DCP é útil quando uma estrutura do pavimento já está em serviço e deve ser reforçada ou reabilitada. Nessas condições, o método permite uma utilização significativa dos materiais e das condições *in-situ*. Ao longo dos anos e sob o tráfego, as faixas de rodagem dos pavimentos das estradas sem revestimento atingem um elevado nível de compactação da fundação, as áreas fracas localizadas tendem a tornar-se mais resistentes e a acumulação de cascalho na camada de desgaste existente poderá ser utilizada como camada de suporte para o novo pavimento revestido. Estas circunstâncias geralmente resultam na redução da necessidade de importação de grandes quantidades de material virgem (Jorge, 2011).

Anexo VII.1. Número DCP (DN)

O DCP mede a penetração por golpe nos materiais constituintes das diferentes camadas do pavimento. Esta taxa de penetração é uma função da resistência ao corte e do teor de humidade do material *in-situ* e da baridade das camadas do pavimento no momento do ensaio.

O perfil da evolução da penetração em profundidade dá uma indicação das propriedades *in-situ* dos materiais constituintes das camadas do pavimento até à profundidade de penetração, conforme é ilustrado na Figura VII.1 (MTPW, 2013).

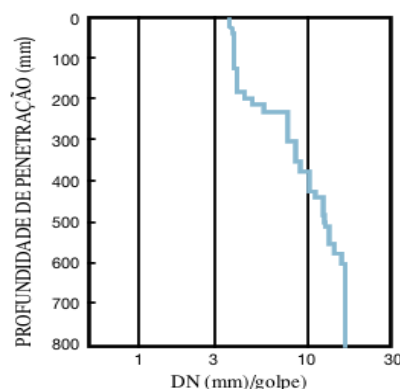


Figura VII.1 Diagrama da resistência das camadas (MTPW, 2013)

A taxa de penetração (DN em mm / golpe) é um indicador razoavelmente bom do valor de CBR (em %), nas condições prevalentes de humidade e baridade *in situ*. A correlação entre estes valores é dada pela Equação (VII.1) e é aplicável às EBVT com valores de CBR *in situ* até cerca de 150% (ANE, 2014).

$$CBR = 410 * DN^{-1.27} \quad (VII.1)$$

Anexo VII.2 Número estrutural DCP

O número estrutural DCP é o número de golpes DCP necessários para penetrar numa estrutura de pavimento ou camada. Por exemplo, o DSN800, um parâmetro que permite a comparação da capacidade de suporte de pavimentos diferentes, é o número de pancadas necessárias para penetrar no pavimento até uma profundidade de 800 mm (MTPW, 2013).

Anexo VII.3 Procedimento de Projeto pelo método do DCP (ANE, 2014)

O processo envolve a realização de uma sequência de atividades que visam determinar a estrutura adequada do pavimento, a partir de um catálogo de conceção, comparando-a com a estrutura do pavimento existente, determinada durante a campanha de DCP.

Anexo VII.3.1 Etapa 1 - Selecionar o período de dimensionamento

Descrito com mais detalhe no ponto 3.3.2.1.

Anexo VII.3.2 Etapa 2 - Determinar o tráfego de projeto e a classe de tráfego

Descrito com mais detalhe no ponto 3.3.2.8.

Anexo VII.3.3 Etapa 3 - Realizar campanha de ensaio com o DCP

Uma campanha com o DCP deve ser levada a cabo ao longo de todo o comprimento da estrada, fazendo cada ensaio até uma profundidade de, pelo menos, 800 mm. A frequência das medições com o DCP dependerá da variabilidade das condições do pavimento e do nível de confiança desejado. A frequência recomendada de ensaios deverá seguir as indicações do Tabela VII.1, com os ensaios desfasados nos dois sentidos da faixa de rodagem:

Tabela VII.1 Frequência de ensaios DCP (ANE, 2014)

Condição do pavimento existente	Frequência dos ensaios /km*
Uniforme (risco baixo)	5
Não-uniforme (risco médio)	10
Baixas/zonas deterioradas (risco alto)	15

*Assegurar que são realizados, pelo menos, 20 ensaios com o DCP por seção uniforme, de modo a fornecerem dados suficientes para análise estatística.

Anexo VII.1.3.4 Etapa 4 - Determinar o teor de humidade ao longo da extensão do pavimento

A resistência *in-situ* do material é fortemente dependente das condições de humidade e de baridade. É essencial uma estimativa da humidade *in-situ* no momento do ensaio com o DCP para comparação com o regime de humidade esperado em serviço. Para isso, devem ser analisadas, pelo menos, duas amostras por km (e no mínimo 3 em cada secção uniforme) para determinação do teor em humidade, devendo ser realizados ensaios de classificação do solo na zona exterior de passagem dos rodados, para as profundidades de 0-150, 150-300 e 300-450 mm.

Anexo VII.1.3.5 Etapa 5 - Obter valores de DN para camadas do pavimento para a toda a extensão da estrada (usando o programa do DCP)

Os resultados obtidos com o DCP em cada ponto de medição devem ser tratados (por exemplo através da folha de cálculo fornecida com o equipamento) para obter, por um lado, a média ponderada dos valores de DN (taxa de penetração em mm/golpe), para cada ponto de ensaio e a cada 150 milímetros de camada da estrutura do pavimento e, por outro lado, o valor DSN800 (número total de pancadas necessárias para atingir uma profundidade de 800 mm).

Anexo VII.1.3.6 Etapa 6 - Identificar secções uniformes (método Cusum)

Os valores de DN para cada camada de 150 milímetros, bem como os de DSN800, devem ser representados graficamente em função da distância à origem da estrada, utilizando uma técnica de soma acumulada (CUSUM) para identificar secções uniformes ao longo da estrada.

Este processo, normalmente, serve para identificar alterações nos tipos de materiais subjacentes, transições de escavação para aterro ou variações nas condições de humidade do solo.

Anexo VII.1.3.7 Etapa 7 - Ajustar os valores de DN ao teor de humidade de projeto

Os resultados do DCP devem ser ajustados para as condições de humidade consideradas para o dimensionamento. Com base na estimativa das condições de humidade *in-situ*, no momento do ensaio com o DCP (Etapa 4) deverão ser ajustados os resultados de acordo com os valores percentuais apresentados no Tabela VII.2. Pode observar-se que os dados do DCP recolhidos durante a estação seca correspondem a maiores resistências observadas (DN com valores inferiores) do que os recolhidos na estação chuvosa.

Tabela VII.2 Percentis da taxa de penetração do DCP (ANE, 2014)

Teor de humidade esperado no pavimento a longo prazo	Percentil de resistência mínima (taxa máxima de penetração – DN mm/golpe)	
	Tráfego de projeto < 0,5 milhões de EP	Tráfego de projeto 0,5-1,0 milhões de EP
Mais seco do que no momento do ensaio com o DCP	20	30
O mesmo que no momento do ensaio com o DCP	50	65
Mais húmido do que no momento do ensaio com o DCP	80	90

Anexo VII.1.3.8 Etapa 8 – Determinação do perfil de resistência da camada in-situ (LSP) para cada seção uniforme

A melhor forma de realizar esta determinação é através do programa fornecido com o DCP. As entradas para o programa são os valores de DN obtidos na Etapa 5. Com base numa análise dos valores médios para cada secção uniforme, são obtidos os perfis de resistência de cada camada, conforme exemplificado na Figura VII.2. Esta análise permite ainda a escolha dos percentis que deverão ser usados no processo de dimensionamento.

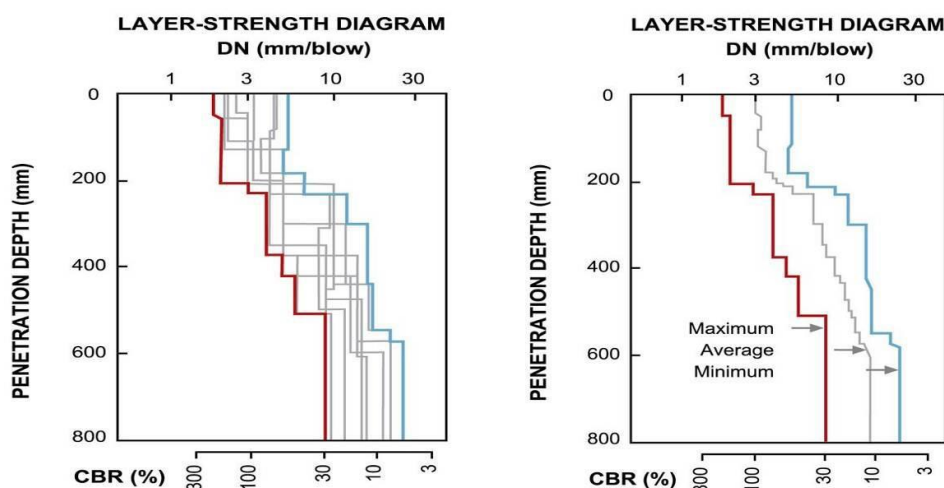


Figura VII.2 Perfis de resistência coletivos e perfis de resistência médio e extremos (ANE, 2014)

Anexo VII.1.3.9 Etapa 9 - Determinar o perfil de resistência necessária da camada (LSP) para cada seção uniforme

Para uma determinada classe de tráfego de projeto, o perfil de resistência necessária para cada camada de espessura uniforme é determinado a partir do catálogo de projeto com base no DCP (Tabela VII.3), e ilustrado na Figura VII.3 para diferentes categorias de tráfego. O catálogo de projeto considera as condições de humidade em serviço esperada a longo prazo.

Tabela VII.3 Gráfico de projeto com base no DCP para diferentes classes de tráfego (ANE, 2014)

Classe de tráfego EPx10 ⁶	LE 0,01 < 0,01	LE 0,03 0,01-0,03	LE 0,1 0,03-0,1	LE 0,3 0,1-0,3	LE 0,7 0,3-0,7	LE 1,0 0,7-1,0
0-150mm Base CR ≥ 98%	DN ≤ 8	DN ≤ 5,9	DN ≤ 4	DN ≤ 3,2	DN ≤ 2,6	DN ≤ 2,5
150-300 mm sub- base CR ≥ 95%	DN ≤ 19	DN ≤ 14	DN ≤ 9	DN ≤ 6	DN ≤ 4,6	DN ≤ 4,0
300-450 mm fundação CR ≥ 95%	DN ≤ 33	DN ≤ 25	DN ≤ 19	DN ≤ 12	DN ≤ 8	DN ≤ 6,0
450-600 mm Material in-situ	DN ≤ 40	DN ≤ 33	DN ≤ 25	DN ≤ 19	DN ≤ 14	DN ≤ 13
600-800 mm Material in-situ	DN ≤ 50	DN ≤ 40	DN ≤ 39	DN ≤ 25	DN ≤ 24	DN ≤ 23
DSN800	≥ 39	≥ 52	≥ 73	≥ 100	≥ 128	≥ 143
<i>LE – Nível de tráfego; CR – Compactação Relativa (%), referida ao Proctor modificado</i>						

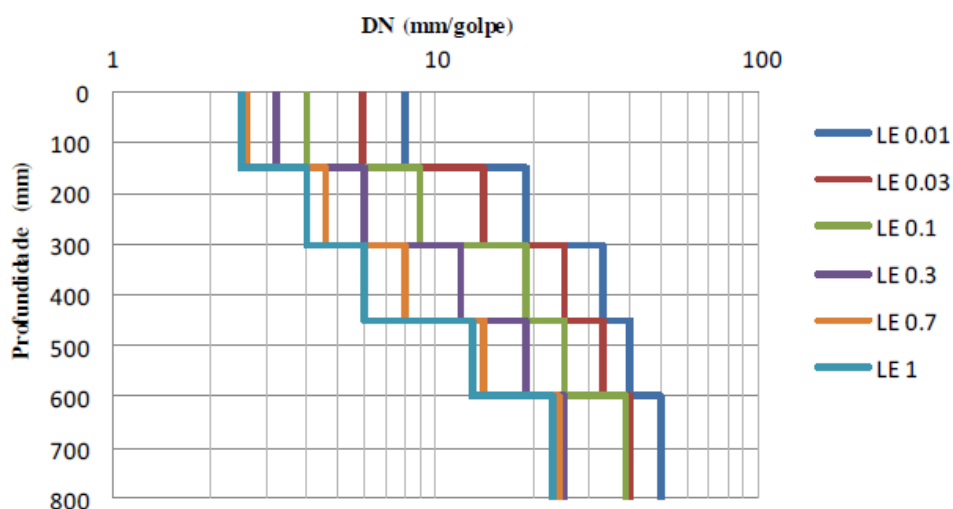


Figura VII.3 Perfil de resistência de camada para várias classes de tráfego

(ANE, 2014)

Anexo VII.1.3.10 Etapa 10 - Comparar o LSP in-situ com o LSP necessário para cada seção uniforme

A comparação do LSP existente com o necessário faz-se traçando o perfil de resistência necessária sobre o de resistência *in-situ* para cada seção uniforme (Figura VII.4). Isso permite a adequação das várias camadas do pavimento em profundidade em função do carregamento de tráfego esperado. Os pontos situados à direita do perfil de resistência necessária para uma categoria de tráfego específica indicam que o material tem uma resistência insuficiente nessa profundidade.

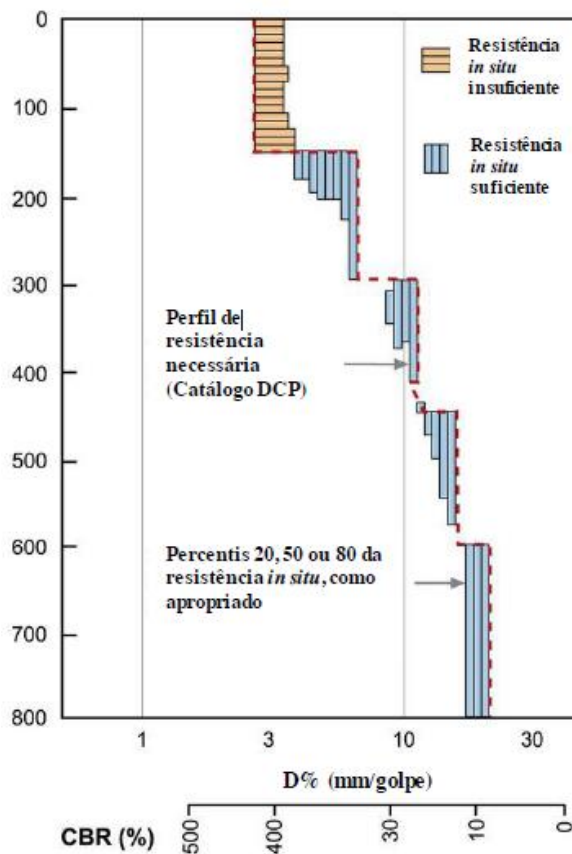


Figura VII.4 Comparação dos perfis de resistência necessário e in-situ (ANE, 2014)

Anexo VII.1.3.11 Etapa 11 - Determinar os requisitos de melhoria

Opção 1: Se o perfil de resistência *in-situ* de um pavimento existente está em conformidade com o perfil de resistência necessária indicado pelo catálogo baseado no DCP para a classe de tráfego em estudo, o pavimento apenas precisará de ser reperfilado, compactado e munido de uma camada de revestimento.

Opção 2: Se o perfil de resistência *in-situ* de um pavimento existente não está em conformidade com o perfil de resistência necessária, indicado pelo catálogo do método baseado no DCP, para a classe de tráfego em estudo, será necessário atuar nas camadas superiores do pavimento da seguinte forma:

- Refazer a camada caso apenas a baridade seja inadequada e o valor de DN necessário seja possível de obter por compactação durante a construção, para determinada baridade e teor de humidade especificado;
- Substituir a camada no caso da qualidade do material (valor de DN com uma compactação especificada durante a construção e o teor de humidade em serviço esperado) ser inadequada; será necessário colocar material de qualidade adequada para servir de apoio à(s) nova(s) camada(s) superior(es) do pavimento;

-
- Adicionar material no caso da qualidade do material (valor de DN) ser adequada mas a espessura ser insuficiente; será necessário colocar material de qualidade adequada para perfazer a espessura necessária antes da compactação.

ANEXO VIII. SAMDM, algumas considerações

Tabela VIII.1 Características dos materiais granulares apresentados no SAMDM (adaptado Theyse et al, 1996)

Código	Material	Especificações Abreviadas
G1	Material britado e triado	Denso; dimensão máx. 37,5 mm; 88% densidade relativa aparente; IP < 4,0 (mín. 6 testes)
G2	Material britado e triado	Denso; dimensão máx. 37,5 mm; 100-102% mod. ASSTO ou 85% da densidade relativa da massa; IP < 6,0 (mín. 6 testes)
G3	Material britado e triado	Denso; material britado ligado com algum solo dimensão máx. 37,5 mm; 98-100% mod. ASSTO; IP < 6,0
G4	Cascalhos nos estados encontrados na natureza	CBR >= 80%; dimensão máx. 53 mm; 98-100% mod. ASSTO; IP < 6,0; dilatação máx. 0,2 em 100% mod. AASHTO
G5	Cascalhos nos estados encontrados na natureza	CBR >= 45%; dimensão máx. 63 mm ou 2/3 da espessura da camada; IP < 10; dilatação máx. 0,5 em 100% mod. AASHTO
G6	Cascalhos nos estados encontrados na natureza	CBR >= 25%; dimensão máx. 63 mm ou 2/3 da espessura da camada; IP < 12; dilatação máx. 1,0 em 100% mod. AASHTO
G7	Cascalho-solo	CBR >= 15%; dimensão máx. 2/3 da espessura da camada; IP < 12; ou 2xGM+10; dilatação máx. 1,5 em 100% mod. AASHTO
G8	Cascalho-solo	CBR >= 10%; dimensão máx. 2/3 da espessura da camada; IP < 12; ou 2xGM+10; dilatação máx. 1,5 em 100% mod. AASHTO
G9	Cascalho-solo	CBR >= 7%; dimensão máx. 2/3 da espessura da camada; IP < 12; ou 2xGM+10; dilatação máx. 1,5 em 100% mod. AASHTO
G10	Cascalho-solo	CBR >= 3%; dimensão máx. 2/3 da espessura da camada; 90% mod. AASHTO

Nota: GM = Módulo de classificação

$$GM = \frac{P_{2,00mm} + P_{0,425mm} + P_{0,075mm}}{100} \quad (\text{VIII.1})$$

Em que por exemplo o P2.00mm indica a percentagem retida no peneiro indicado, neste caso, é a quantidade dos retidos no peneiro de 2,00mm.

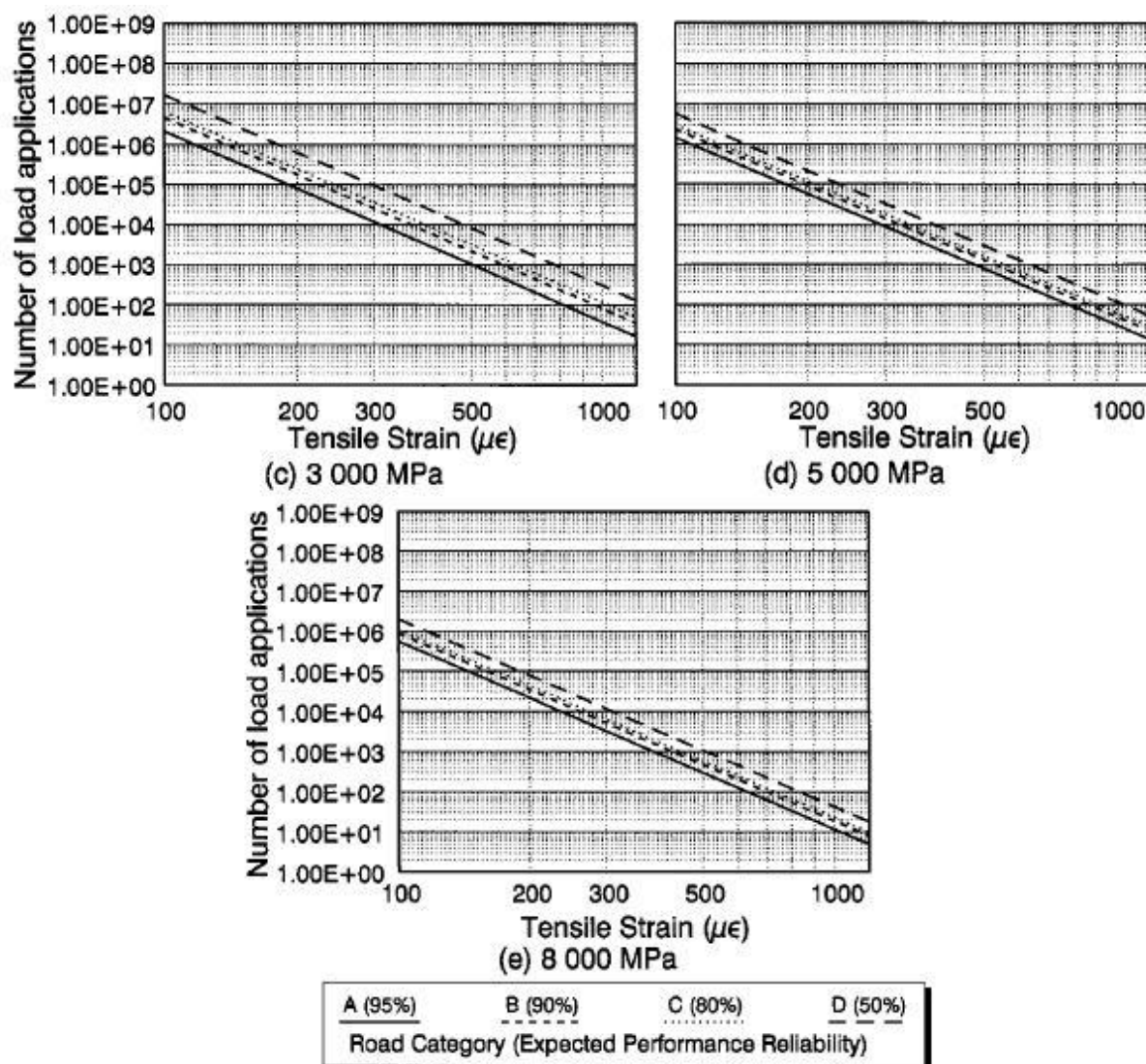


Figura VIII.1 Fator de transferência de fendas causadas por fadiga para camadas superficiais betuminosas espesas (Theyse et al., 1996)