

MANUAL DE CONCEPÇÃO DE
PAVIMENTOS PARA A REDE
RODOVIÁRIA NACIONAL

JULHO 95

Índice

1

Introdução

Objectivo do manual
Âmbito de aplicação
Organização do manual

6

Estruturas de pavimento

Aspectos conceptuais
Espessuras das camadas betuminosas
Exemplos de utilização
Estruturas tipo

2

Tráfego

Tráfego médio diário anual de veículos pesados
Distribuição do tráfego pesado pelas vias
Período de dimensionamento
Período de análise de projecto
Taxa média de crescimento anual
Factor de agressividade
Número acumulado de eixos padrão

7

Perfis transversais

Variações de espessura
Sobrelargura das camadas

3

Condições climáticas

Influência das condições hídricas
Influência das condições térmicas

4

Fundação do pavimento

Classes de fundação
Classes de terrenos
Materiais para a camada de leito do pavimento
Constituição da plataforma

5

Materiais de pavimentação

Materiais granulares
Misturas betuminosas fabricadas a quente
Misturas com ligantes hidráulicos

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

OBJECTIVO DO MANUAL

O objectivo do presente manual é o de apoiar e orientar a concepção das estruturas de pavimentos e respectivas fundações, a adoptar na construção de novas infraestruturas rodoviárias incluídas no Plano Rodoviário Nacional.

Os materiais e os processos construtivos subjacentes à concepção e dimensionamento adoptados visam satisfazer certos requisitos específicos deste tipo de estruturas, designadamente:

- oferecer aos utentes um nível de serviço adequado, permitindo que a circulação se faça em condições de segurança, conforto e economia;
- corresponder às exigências das diferentes classes de tráfego e taxas de crescimento expectáveis;
- garantir condições adequadas de fundação para os pavimentos, permitindo, simultaneamente, que a sua construção se faça nas melhores condições, e que, após entrada em serviço, se reduza a ocorrência de deficiências e a necessidade de efectuar trabalhos de conservação onerosos;
- melhorar a qualidade dos pavimentos a construir, actuando, designadamente, nas condições de execução das obras, e na especificação de materiais e processos construtivos que tenham em conta os equipamentos actualmente disponíveis;

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

- sistematizar, tanto quanto possível, as estruturas de pavimentos - rígidos, semi-rígidos e flexíveis - que têm vindo a ser adoptadas na rede rodoviária nacional;
- permitir que a Junta Autónoma de Estradas disponha de elementos que facilitem o planeamento, a construção, a avaliação do comportamento, a conservação e a beneficiação dessas infraestruturas.

Entre as soluções de pavimentação propostas no presente manual, deve ser escolhida a mais adequada a cada caso concreto, com base em considerações técnico-económicas, ponderando, designadamente, as condições geotécnicas e climáticas, os materiais disponíveis, os prazos de execução e as exigências futuras dos pavimentos.

ÂMBITO DE APLICAÇÃO

No presente manual propõem-se *estruturas tipo* a considerar na concepção de pavimentos em novos traçados da rede rodoviária nacional. As mesmas estruturas poderão eventualmente ser adoptadas em alargamentos ou na reconstrução de pavimentos existentes, caso não existam condicionantes locais que justifiquem decisão em contrário. O manual não é aplicável ao reforço de pavimentos existentes, nem a pavimentos sobre obras de arte.

As estruturas de pavimento preconizadas no Capítulo 6 foram estabelecidas com base em pressupostos relativos ao tráfego, condições climáticas, condições de fundação e materiais de pavimentação, expressos nos Capítulos 2 a 6. Não se verificando estes pressupostos deverão ser justificadas as soluções adoptadas, respeitando, na medida do possível, a sistematização adoptada no presente manual.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Considera-se indispensável que, no projecto de execução, sejam apresentados cálculos justificativos das estruturas projectadas, com o objectivo de adaptar as estruturas propostas às condições de projecto, em particular à natureza dos materiais, às condições geotécnicas e climáticas locais e às previsões de tráfego.

A estratégia adoptada na elaboração do presente manual consistiu em dimensionar as estruturas dos pavimentos para períodos de dimensionamento de 20 a 30 anos, por forma a reduzir quanto possível a necessidade de proceder a obras de conservação importantes que, além de onerosas, dificultam as condições de circulação.

Ainda que no presente manual se adoptem **períodos de dimensionamento** de 20 a 30 anos, considera-se desejável a realização de uma **análise de custos** para um período não inferior a 40 anos (**período de análise de projecto**), por forma a comparar do ponto de vista dos **custos globais** diferentes soluções de pavimentação preconizadas.

Na estimativa dos **custos globais** devem considerar-se, além dos custos suportados pela administração na execução das obras (custo inicial+custos de conservação), os custos suportados pelos utentes, resultantes do condicionamento imposto às condições de circulação durante a execução das obras de conservação.

Os pavimentos sujeitos a tráfego muito reduzido (inferior a 50 veículos pesados por dia e por sentido de circulação), bem como os sujeitos a tráfego pesado muito intenso (superior a 2000 veículos pesados por dia e por sentido de circulação), devem ser objecto de um estudo específico.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

ORGANIZAÇÃO DO MANUAL

As estruturas propostas no presente documento foram definidas com base em métodos racionais de dimensionamento de pavimentos, recorrendo a modelos de comportamento, e também em elementos existentes resultantes da observação do comportamento de pavimentos construídos nos últimos anos.

Para definir uma estrutura de pavimento torna-se necessário dispor de dados relativos a:

- tráfego
- condições climáticas
- condições de fundação
- materiais de pavimentação

Dentro dos limites expressos no presente documento, é possível admitir diferentes condições de fundação para os pavimentos.

A utilização do presente manual, na selecção de uma estrutura de pavimento apropriada a um dado caso em estudo, compreende as seguintes etapas:

- recolha e sistematização dos dados (Capítulos 2, 3, 4 e 5)
- definição das estruturas de pavimento possíveis (Capítulos 6 e 7)

CAPÍTULO 2

TRÁFEGO

Para o dimensionamento dos pavimentos rodoviários apenas é considerado o efeito do tráfego de veículos pesados.

Considera-se veículo pesado aquele cujo peso bruto é igual ou superior a 3 tf, o que inclui uma larga gama de veículos, compreendendo autocarros e camiões com ou sem reboque ou semi-reboque. De acordo com a metodologia das contagens de tráfego efectuadas pela JAE, consideram-se veículos pesados os pertencentes às classes *F, G, H, I, J* e *K*.

Para efeitos de dimensionamento, considera-se o tráfego médio diário anual de veículos pesados no ano de abertura, por sentido de circulação, na via mais solicitada por esses veículos $(TMDA)_p$.

Como o pavimento deve assegurar a circulação do tráfego em dadas condições durante um 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 irão circular sobre o pavimento durante aquele período, considerando-se:

- o tráfego médio diário anual de veículos pesados no ano de abertura;
- o período de dimensionamento;
- a taxa média de crescimento anual de veículos pesados no período de dimensionamento;
- a distribuição do tráfego pelas vias existentes num dado sentido.

Como se verá, a partir do número acumulado de veículos pesados, determina-se o número equivalente de passagens de um eixo padrão, com base num factor de agressividade do tráfego pesado.

CAPÍTULO 2

TRÁFEGO

TRÁFEGO MÉDIO DIÁRIO ANUAL DE VEÍCULOS PESADOS

O valor do tráfego médio diário anual de veículos pesados, a considerar como dado para o dimensionamento, refere-se ao ano de abertura e à via mais solicitada. O seu valor deve ser obtido a partir de um estudo de tráfego.

Tendo em vista uma sistematização das estruturas do pavimento, o presente manual considera diversas classes para o tráfego médio diário anual de veículos pesados.

No Quadro 2.1 indicam-se as 8 classes consideradas para o tráfego médio diário anual de veículos pesados (em cada sentido e na via mais solicitada) no ano de abertura $(TMDA)_p$. A escolha destas classes baseou-se numa análise estatística do tráfego na rede rodoviária nacional, satisfazendo na sua globalidade às situações reais da procura nesta rede, e teve em consideração os intervalos utilizados para o mesmo efeito noutros países.

QUADRO 2.1 - CLASSES DE TRÁFEGO	
Classe	$(TMDA)_p$
T_7	< 50
T_6	50- 150
T_5	150- 300
T_4	300- 500
T_3	500- 800
T_2	800-1200
T_1	1200-2000
T_0	> 2000

$(TMDA)_p$ tráfego médio diário anual de veículos pesados no ano de abertura, por sentido e na via mais solicitada

CAPÍTULO 2

TRÁFEGO

DISTRIBUIÇÃO DO TRÁFEGO PESADO PELAS VIAS

A circulação do tráfego pesado, embora se faça predominantemente na via situada mais à direita, 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 no Quadro 2.2, para a via mais solicitada.

QUADRO 2.2 - PERCENTAGEM DO TRÁFEGO NA VIA MAIS SOLICITADA

Nº de vias	Via mais solicitada
2	90
3 ou mais	80

A menos que as condições de circulação assim o justifiquem, não deverão adoptar-se factores de distribuição lateral do tráfego na via mais solicitada.

Admite-se que em algumas situações, à distribuição do tráfego por vias possa corresponder a uma variação transversal da espessura do pavimento, como será referido no Capítulo 7.

CAPÍTULO 2

TRÁFEGO

PERÍODO DE DIMENSIONAMENTO. PERÍODO DE ANÁLISE DE PROJECTO

O dimensionamento de um pavimento visa assegurar adequadas condições de circulação do tráfego durante um dado período, que se designa por **período de dimensionamento**, minimizando a necessidade de obras de conservação nesse período. As condições de circulação envolvem os aspectos de segurança, economia e conforto que são proporcionados aos utentes.

Para os pavimentos flexíveis e semi-rígidos consideram-se períodos de dimensionamento de 20 anos. Para os pavimentos rígidos o período adoptado é de 30 anos (Quadro 2.3).

QUADRO 2.3 - PERÍODO DE DIMENSIONAMENTO

Tipo de pavimento	Período de dimensionamento (anos)
flexível	20
semi-rígido	20
rígido	30

Para as classes de tráfego T_5 , T_6 e T_7 , os períodos de dimensionamento podem ser inferiores aos indicados no Quadro 2.3, podendo adoptar-se um valor entre 10 e 15 anos. Para essas classes, além de períodos de dimensionamento inferiores a 20 anos, poderá ter interesse económico a adopção de uma construção faseada, ajustada à evolução do tráfego e/ou das condições de serviço.

Para comparar, em termos de custos (construção, conservação, utentes), várias soluções de pavimentação, dever-se-ão efectuar estimativas para um período de análise não inferior a 40 anos, designado por **período de análise de projecto**.

CAPÍTULO 2

TRÁFEGO

Para um dado período de análise de projecto, o custo de uma estrutura de pavimento inclui, para além das componentes relativas ao custo inicial de construção e ao custo de todos os trabalhos de conservação a realizar nesse período, a componente relativa aos custos suportados pelos utentes, em particular os que resultam da realização dos trabalhos de conservação.

TAXA MÉDIA DE CRESCIMENTO ANUAL

A avaliação da taxa de crescimento anual do tráfego pesado deve ser realizada com base em estudo específico, onde sejam ponderados os diversos aspectos condicionantes da sua evolução ao longo do período de dimensionamento.

Para as diferentes classes de tráfego, e em situações onde não se disponha de estudo específico, consideram-se taxas geométricas médias anuais de crescimento, durante o período de dimensionamento, de 3, 4 e 5%, tal como apresentado no Quadro 2.4.

Estes valores foram estabelecidos tendo em atenção a análise dos elementos relativos à evolução verificada nos últimos anos.

QUADRO 2.4 - TAXA MÉDIA DE CRESCIMENTO ANUAL

Classe de tráfego	$(TMDA)_p$	Taxa média de crescimento anual (%)
T_5, T_6	< 300	3
T_3, T_4	300 - 800	4
T_1, T_2	800 - 2000	5

$(TMDA)_p$ tráfego médio diário anual de veículos pesados no ano de abertura, por sentido e na via mais solicitada

CAPÍTULO 2

TRÁFEGO

FACTOR DE AGRESSIVIDADE

Para exprimir o efeito de um dado número acumulado de passagens de veículos pesados com características muito diversas faz-se a sua conversão em passagens equivalentes de um eixo padrão, adoptando-se, para tal, **factores de agressividade**, cujos valores são definidos no presente manual em função do tráfego médio diário anual de veículos pesados no ano de abertura, por sentido e na via mais solicitada $(TMDA)_p$.

Os factores de agressividade médios considerados resultaram da análise de valores obtidos em estações de pesagem, e tiveram em atenção a ocorrência de eixos sobrecarregados, sobretudo nos itinerários de maior volume de tráfego pesado.

A avaliação da adequação das estruturas flexíveis propostas, em termos da respectiva capacidade de carga, foi feita definindo um valor admissível para o número acumulado de eixos padrão de 80 kN. No Quadro 2.5 são indicados os factores de agressividade do tráfego considerados no caso de pavimentos flexíveis, para conversão do $(TMDA)_p$ em eixos padrão de 80 kN.

QUADRO 2.5 - FACTORES DE AGRESSIVIDADE DO TRÁFEGO

Classe de tráfego	$(TMDA)_p$	Factor de agressividade	
		eixo padrão de 80 kN	eixo padrão de 130 kN
T ₆	50 - 150	2	0,5
T ₅	150 - 300	3	0,6
T ₄	300 - 500	4	0,7
T ₃	500 - 800	4,5	0,8
T ₂	800 - 1200	5	0,9
T ₁	1200 - 2000	5,5	1,0

$(TMDA)_p$ tráfego médio diário anual de veículos pesados no ano de abertura, por sentido e na via mais solicitada

CAPÍTULO 2

TRÁFEGO

No caso das estruturas semi-rígidas a avaliação da capacidade de carga é feita em termos de um eixo padrão de 130 kN, utilizando-se, então, um factor de agressividade do tráfego pesado variando de 0,5 a 1, tal como indicado no Quadro 2.5.

NÚMERO ACUMULADO DE EIXOS PADRÃO

Tendo em conta os valores admitidos para a taxa média de crescimento anual e para o factor de agressividade, o tráfego acumulado de eixos padrão durante o período de dimensionamento, correspondente às várias classes de tráfego, é dado por:

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

em que:

N^{dim} é o número acumulado de passagens do eixo padrão

t é a taxa média de crescimento anual do tráfego pesado

α é o factor de agressividade do tráfego

p período de dimensionamento

C é o factor de crescimento do tráfego, que tem em conta o período de dimensionamento (p) e a taxa média de crescimento anual (t), sendo dado por:

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

CAPÍTULO 2

TRÁFEGO

No Quadro 2.6 apresentam-se os elementos relativos às várias classes de tráfego, com indicação do número acumulado de eixos padrão de 80 kN e de 130 kN, a considerar, respectivamente, no caso de pavimentos flexíveis ou semi-rígidos.

QUADRO 2.6 - ELEMENTOS RELATIVOS AO TRÁFEGO

Classe	$(TMDA)_p$	Taxa de crescimento médio (t)	Pavimentos flexíveis		Pavimentos semi-rígidos	
			Factor de agressividade(α)	N_{80}^{dim} (20 anos)	Factor de agressividade(α)	N_{130}^{dim} (20 anos)
T_7	< 50	e s t u d o e s p e c í f i c o				
T_6	50- 150	3	2	2×10^6	0,5	5×10^5
T_5	150- 300		3	8×10^6	0,6	2×10^6
T_4	300- 500	4	4	2×10^7	0,7	4×10^6
T_3	500- 800		4,5	4×10^7	0,8	7×10^6
T_2	800-1200	5	5	7×10^7	0,9	10^7
T_1	1200-2000		5,5	10^8	1,0	2×10^7
T_0	> 2000	e s t u d o e s p e c í f i c o				

$(TMDA)_p$ tráfego médio diário anual de veículos pesados no ano de abertura, por sentido e na via mais solicitada

N_{80}^{dim} número acumulado de eixos padrão de 80 kN

N_{130}^{dim} número acumulado de eixos padrão de 130 kN

CAPÍTULO 2

TRÁFEGO

Quando os valores a considerar para o tráfego médio diário, a taxa de crescimento, o factor de agressividade ou o período de dimensionamento forem diferentes dos adoptados (Quadro 2.6), ou quando se pretenda efectuar uma construção faseada, os valores de tráfego acumulado serão calculados de acordo com a metodologia indicada anteriormente.

Em tal situação continua a ser possível a utilização da proposta de estruturas de pavimentos apresentada no capítulo 6, sendo a classe de tráfego equivalente obtida a partir do Quadro 2.6, em função do número acumulado de eixos padrão.

CAPÍTULO 3

CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

Os pavimentos são estruturas que estão muito expostas às acções climáticas. As condições ambientais são, pois, um factor importante no dimensionamento, condicionando os trabalhos de construção e conservação dos pavimentos, e também a segurança da circulação rodoviária.

No que respeita ao dimensionamento, as condições climáticas, para além de afectarem as propriedades mecânicas dos materiais, constituem, no caso de pavimentos rígidos e semi-rígidos, uma solicitação a considerar no seu cálculo.

No presente capítulo consideram-se os factores climáticos que mais influenciam o comportamento dos pavimentos: os factores térmicos e os factores hídricos.

EFEITO DAS CONDIÇÕES HÍDRICAS

As condições hídricas afectam o estado de humidade das camadas granulares e do solo de fundação, e condicionam deste modo o seu comportamento mecânico.

No manual admite-se a existência de um adequado sistema de drenagem (superficial e interna) que permita considerar, para as camadas granulares e para o solo de fundação, um comportamento mecânico corrente.

EFEITO DAS CONDIÇÕES TÉRMICAS

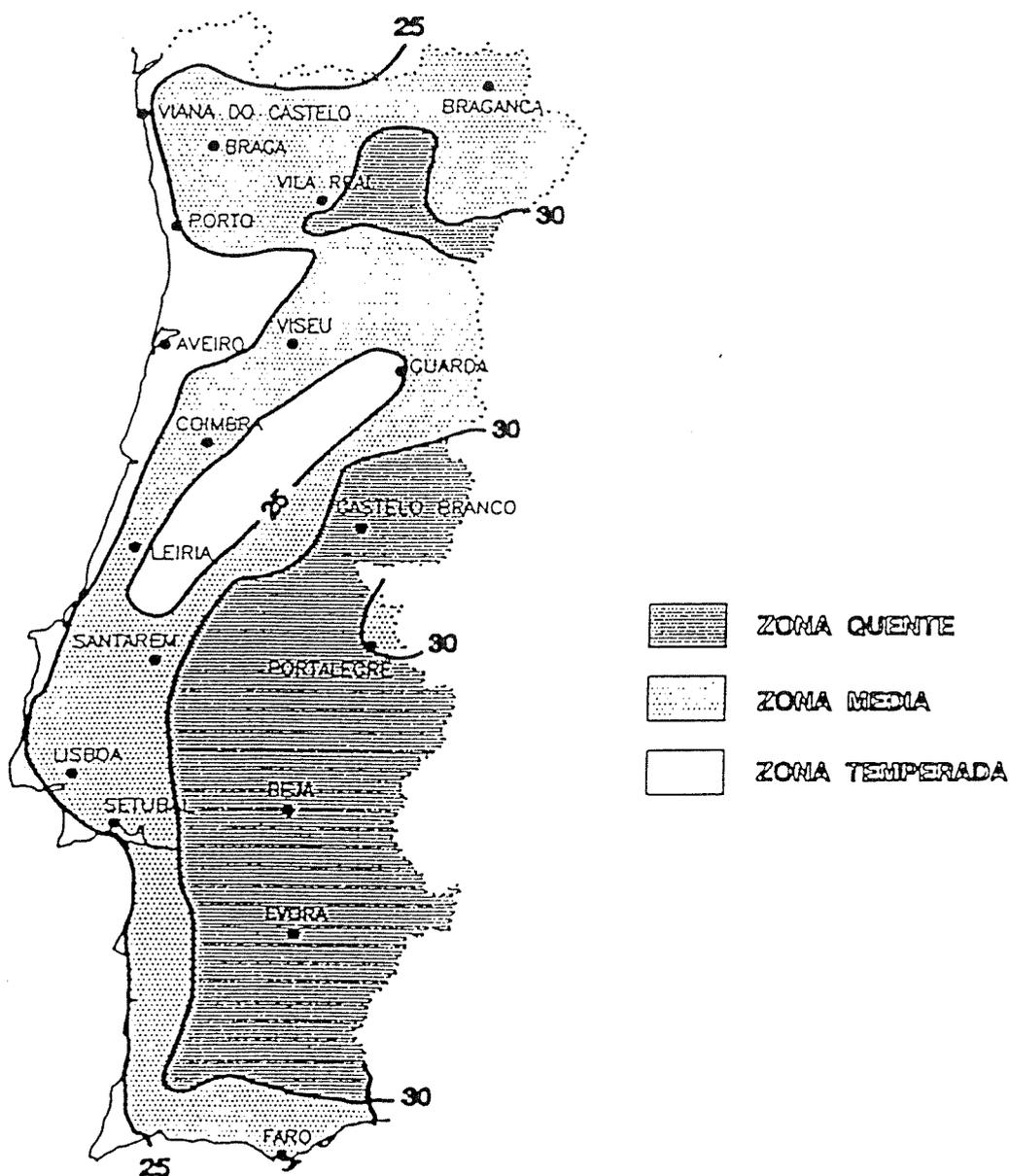
Nos pavimentos flexíveis, as condições térmicas afectam as propriedades mecânicas das misturas betuminosas. Nos pavimentos rígidos e semi-rígidos, a variação diária e anual da temperatura pode levar ao enfunamento das camadas de desgaste (pavimentos rígidos), e contribuir para a propagação de fissuras (pavimentos semi-rígidos) .

CAPÍTULO 3

CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

No manual considera-se a influência da temperatura nas propriedades das misturas betuminosas, designadamente o efeito de temperaturas elevadas na evolução das deformações permanentes resultante da acção do tráfego, tal como é indicado seguidamente.

O país é dividido em três zonas (figura 3.1), designadas por *temperada*, *média* e *quente*, em função das temperaturas máximas que ocorrem no período estival.



CAPÍTULO 3

CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

No Quadro 3.1 apresenta-se a classe de betume de destilação a empregar em misturas betuminosas a quente em cada zona climática, função do tipo de camada do pavimento e do nível de tráfego.

QUADRO 3.1 - CLASSES DE BETUME A EMPREGAR EM MISTURAS BETUMINOSAS FABRICADAS A QUENTE

a) em camadas de desgaste - 60/70

b) em camadas de regularização e de base:

		Zona térmica		
		Temperada	Média	Quente
Tráfego	T ₁	60/70	40/50	40/50
	T ₂	60/70	60/70	40/50
	T ₃	60/70	60/70	60/70
	T ₄	60/70	60/70	60/70
	T ₅	60/70	60/70	60/70
	T ₆	60/70	60/70	60/70

Para as classes de tráfego T₁, T₂ e T₃, e sempre que se verifique a existência de trechos com inclinação longitudinal superior a 5%, deverão ser utilizados betumes da classe 40/50, independentemente da zona térmica.

Para as classes de tráfego T₅ e T₆ e para as zonas térmicas temperada e média, poderão ser utilizados betumes da classe 180/200.

As classes de betume indicadas são as recomendadas em face da

CAPÍTULO 3

CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

experiência de uso de misturas betuminosas empregando betumes tradicionais.

Caso se pretenda aplicar betumes modificados com polímeros ou betumes de penetração mais reduzida, deverão ser estimados os respectivos módulos de deformabilidade e corrigidas as espessuras indicadas no Capítulo 6.

CAPÍTULO 4

FUNDAÇÃO DO PAVIMENTO

CLASSES DE FUNDAÇÃO

Considera-se **fundação do pavimento**, para além da **camada de leito do pavimento**, os terrenos subjacentes que condicionam o seu comportamento. Para efeito de dimensionamento devem analisar-se as características dos terrenos até à profundidade de 1 metro.

A superfície da camada de leito constitui a **plataforma de apoio do pavimento**.

Consideram-se quatro classes de fundação do pavimento, tal como indicado no Quadro 4.1. A sua aplicabilidade às diversas classes de tráfego define condições mínimas mais exigentes no caso das vias mais solicitadas. Para cada classe admitem-se os valores para os módulos de deformabilidade da fundação do pavimento referidos no mesmo Quadro.

QUADRO 4.1 - CLASSES DE FUNDAÇÃO

Classe de fundação	Módulo da fundação (MPa)		Classe de tráfego
	Gama	Valor de cálculo	
F ₁	> 30 a ≤ 50	30	T ₅ , T ₆
F ₂	> 50 a ≤ 80	60	T ₃ , T ₄ , T ₅ , T ₆
F ₃	> 80 a ≤ 150	100	T ₁ , T ₂ , T ₃ , T ₄ , T ₅ , T ₆
F ₄	> 150	150	T ₁ , T ₂ , T ₃ , T ₄ , T ₅ , T ₆

CAPÍTULO 4

FUNDAÇÃO DO PAVIMENTO

CLASSES DE TERRENOS

Na espessura que constitui a fundação de um dado pavimento podem existir diversos terrenos (em escavação ou em aterro), que, no caso mais usual, se podem considerar compreendidos nas 6 classes de terrenos de fundação apresentadas no Quadro 4.2.

As classes de terrenos foram estabelecidas tendo em conta os materiais usualmente encontrados, e expressas em termos do valor de CBR para as condições mais desfavoráveis previsíveis em obra e após entrada em serviço. Tendo em vista a larga experiência da utilização da *Classificação Unificada de Solos*, contida na especificação ASTM D 2487, no Quadro 4.2 é apresentada a previsível inclusão dos diversos tipos de solos daquela classificação nas classes de terrenos consideradas no presente manual.

CAPÍTULO 4

FUNDAÇÃO DO PAVIMENTO

QUADRO 4.2 - CLASSES DE TERRENOS DE FUNDAÇÃO

Classe	CBR (%)	Tipo de solo	Descrição	Reutilização		
				Aterro (corpo)	Leito	Sub-base
S ₀	< 3	OL	siltes orgânicos e siltes argilosos orgânicos de baixa plasticidade. (1)	N	N	N
		OH	argilas orgânicas de plasticidade média a elevada; siltes orgânicos. (2)	P	N	N
		CH	argilas inorgânicas de plasticidade elevada; argilas gordas. (3)	P	N	N
		MH	siltes inorgânicos; areias finas micáceas; siltes micáceos. (4)	P	N	N
S ₁	≥ 3 a < 5	OL	idem (1)	S	N	N
		OH	idem (2)	S	N	N
		CH	idem (3)	S	N	N
		MH	idem (4)	S	N	N
S ₂	≥ 5 a < 10	CH	idem (3)	S	N	N
		MH	idem (4)	S	N	N
		CL	argilas inorgânicas de plasticidade baixa a média; argilas com seixo, argilas arenosas, argilas siltosas e argilas magras.	S	N	N
		ML	siltes inorgânicos e areias muito finas; areias finas, siltosas ou argilosas; siltes argilosos de baixa plasticidade.	S	N	N
		SC	areia argilosa; areia argilosa com cascalho. (5)	S	P	N
S ₃	≥ 10 a < 20	SC	idem (5)	S	S	N
		SM	areia siltosa; areia siltosa com cascalho.	S	S	N
		SP	areias mal graduadas; areias mal graduadas com cascalho.	S	S	N
S ₄	≥ 20	SW	areias bem graduadas; areias bem graduadas com cascalho.	S	S	P
		GC	cascalho argiloso; cascalho argiloso com areia.	S	S	P
		GM-u	cascalho siltoso; cascalho siltoso com areia. (6)	S	S	P
		GP	cascalho mal graduado; cascalho mal graduado com areia. (7)	S	S	P
S ₅	≥ 40	GM-d	idem (6)	S	S	S
		GP	idem (7)	S	S	S
		GW	cascalho bem graduado; cascalho bem graduado com areia.	S	S	S

N - não admissível
P - possível
S - admissível

CAPÍTULO 4

FUNDAÇÃO DO PAVIMENTO

No Quadro 4.2 é incluída a previsível reutilização dos diversos tipos de terrenos na execução do corpo dos aterros, no leito do pavimento e em sub-base, tendo em atenção as suas características mais importantes no domínio da sua aplicabilidade em obras rodoviárias, que se apresentam no Quadro 4.3.

QUADRO 4.3 - CARACTERÍSTICAS DAS CLASSES DE TERRENOS

Tipo de solo	Permeabilidade				Compressibilidade / expansibilidade				Massa volumica aparente seca (g/cm ³)
	Imper-meavel	Má	Média	Exce-lente	Nula	Fraca	Média	Elevada	
OH	x							x	1,30-1,75
CH	x							x	1,45-1,85
MH		x	x					x	1,30-1,70
OL		x					x	x	1,45-1,70
CL	x						x		1,45-2,10
ML		x	x			x	x		1,60-2,15
SC	x	x				x	x		1,60-2,15
SM-u	x	x				x	x		1,60-2,10
SM-d		x			x				1,90-2,15
SP				x	x	x			1,70-2,15
SW				x	x	x			1,75-2,10
GC	x	x				x			2,10-2,35
GM-u	x	x				x			1,85-2,15
GM-d		x			x				2,00-2,35
GP				x	x				1,75-2,25
GW				x	x				2,00-2,25

CAPÍTULO 4

FUNDAÇÃO DO PAVIMENTO

Poderá ter-se uma ideia do potencial de expansibilidade de um dado tipo de solo através da análise do valor da relação entre o seu teor em água natural (ω_n) e o seu limite de plasticidade (ω_p), de acordo com o indicado no Quadro 4.4.

QUADRO 4.4 - POTENCIAL DE EXPANSIBILIDADE DE SOLOS

ω_n / ω_p	Potencial de expansibilidade
< 0,6	muito alto
0,6 - 0,8	alto
0,8 - 1,0	baixo
> 1,0	muito baixo

MATERIAIS PARA A CAMADA DE LEITO DE PAVIMENTO

As camadas de leito de pavimento podem ser realizadas em:

- solos arenosos seleccionados, dos grupos S_2 , S_3 e S_4 , de acordo com o indicado no Quadro 4.2 (códigos 01.4.1.1 e 01.4.3.3 das rúbricas de trabalhos rodoviários);
- seixo do grupo S_4 , de acordo com o indicado no Quadro 4.2 (códigos 01.4.1.3.1, 01.4.1.3.2, 01.4.2.1.1, 01.4.2.1.2, 01.4.3.5.1 e 01.4.3.5.2 das rúbricas de trabalhos rodoviários);
- material granular britado com características idênticas às da sub-base granular britada, de acordo com o indicado no Quadro 5.1 (códigos 01.4.1.3.5, 01.4.1.3.6, 01.4.2.1.5, 01.4.2.1.6, 01.4.3.5.5 e 01.4.3.5.6 das rúbricas de trabalhos rodoviários).
- material granular britado 0/5 mm (códigos 01.4.1.3.3, 01.4.1.3.4, 01.4.2.1.3, 01.4.2.1.4, 01.4.3.5.3 e 01.4.3.5.4 das rúbricas de trabalhos rodoviários).

CAPÍTULO 4

FUNDAÇÃO DO PAVIMENTO

Em algumas situações poderá ser considerado técnico-economicamente adequado recorrer ao tratamento *in situ* de solos, em particular para mitigação de impactes ambientais. No Quadro 4.5 apresentam-se as 2 classes de solos tratados que se consideram no presente manual (códigos 01.4.1.2 e 01.4.3.4 das rúbricas de trabalhos rodoviários).

QUADRO 4.5 - CLASSES DE SOLOS TRATADOS ⁽¹⁾

Classe de solo	Tipo de material	Características
ST ₁	solo tratado com cal	CBR imediato > 8 %
ST ₂	solo tratado com cimento (eventualmente também com cal)	CBR imediato > 15 % R _{cd} (28 dias) > 0,2 MPa (2)

R_{cd}(28 dias) resistência à tracção em compressão diametral aos 28 dias

(1) tratamento *in situ*

(2) valor que pode ser obtido em diversos casos com 1 a 2 % de cal e 4 a 6% de cimento

O *CBR imediato* é determinado em laboratório, de acordo com a especificação LNEC E-198, sem sobrecargas e sem embebição em água.

CONSTITUIÇÃO DAS PLATAFORMAS

Admite-se como necessário e vantajoso constituir sempre, na zona superior da terraplenagem, uma camada de leito do pavimento, cujas propriedades dependem do solo onde é executada, das características dos materiais nela empregues e da classe de plataforma pretendida.

Partindo da classe de terreno existente, os Quadros 4.6 e 4.7 indicam as espessuras de materiais *não ligados* ou *tratados com cal ou ligantes hidráulicos* a utilizar em leito de pavimento, para obtenção da classe de fundação pretendida.

CAPÍTULO 4

FUNDAÇÃO DO PAVIMENTO

QUADRO 4.6 - CAMADA DE LEITO EM MATERIAIS NÃO LIGADOS

		F ₁	F ₂	F ₃	F ₄
E _r (MPa) CBR (%)		>30 a ≤50	>50 a ≤80	>80 a ≤150	> 150
S ₀	< 3	estudo especial			em pedraplenos ou em aterros com materiais do tipo solo-enrocamento, com uma camada de leito do pavimento em material pétreo de espessura não inferior a 15 cm
S ₁	≥ 3 a < 5	30 S ₂ ou 20 S ₃	60 S ₃ ou 40 S ₄		
S ₂	≥ 5 a < 10	(1)	30 S ₃ ou 15 S ₄	60 S ₃ ou 30 S ₄	
S ₃	≥ 10 a < 20	—	(1)	20 S ₄	
S ₄ ; S ₅	≥ 20	—	—	(1)	

as espessuras são definidas em cm

CBR índice CBR do terreno situado sob o leito do pavimento, até à profundidade de 1 metro

E_r módulo de deformabilidade da fundação do pavimento (incluindo a camada de leito na espessura indicada no Quadro)

(1) em escavação deve ser escarificado e recompactado na profundidade necessária à garantia de uma espessura final de 30 cm bem compactada; em aterro as condições de fundação estão garantidas.

Nota: em escavação em rocha, e tendo em vista uma fundação do tipo F₁, é necessário realizar uma regularização em material pétreo devidamente compactado com cilindros de pneus, e colocar uma camada do mesmo tipo de material com a espessura mínima de 15 cm.

CAPÍTULO 4

FUNDAÇÃO DO PAVIMENTO

QUADRO 4.7 - CAMADA DE LEITO EM MATERIAIS TRATADOS COM LIGANTES HIDRÁULICOS

	E_r (MPa) CBR (%)	F_2	F_3	F_4
		>50 a ≤ 80	>80 a ≤ 150	> 150
S_0	< 3	estudo especial		
S_1	≥ 3 a < 5	40 ST_1 ou 25 ST_2	40 ST_2	—
S_2	≥ 5 a < 10	—	40 ST_1 ou 25 ST_2	40 ST_2
S_3	≥ 10 a < 20	—	—	25 ST_2
S_4	≥ 20	—	—	—

as espessuras são definidas em cm

CAPÍTULO 5

MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO

MATERIAIS GRANULARES

Incluem-se nesta designação os materiais naturais ou britados, empregues em camadas de sub-base e de base.

O comportamento das camadas constituídas por estes materiais depende, entre outros factores, das suas características intrínsecas, designadamente:

- da natureza dos agregados (petrografia, textura)
- da forma dos agregados (lamelação e alongamento)
- das propriedades físicas dos agregados (porosidade, dureza, resistência ao desgaste, alterabilidade, etc)
- da granulometria adoptada (em particular da percentagem de finos - material passado no peneiro nº 200 ASTM)
- da quantidade de elementos britados

Admite-se que em relação a estas características, se seja mais exigente nos materiais granulares britados destinados a camadas de base (BG), relativamente às situações de utilização, seja de materiais britados (SbG) ou de materiais naturais (GN e SS), em camadas de sub-base.

O comportamento mecânico das camadas, em particular o seu módulo de deformabilidade, é ainda fortemente condicionado pelas condições de estado, nomeadamente;

- a compacidade
- o teor em água
- o estado de tensão (função da estrutura de pavimento e das condições de fundação)

CAPÍTULO 5

MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO

A fim de obter um bom comportamento, interessa que em todo o processo construtivo se garanta homogeneidade das propriedades, o que inclui não só a produção dos materiais, como as operações necessárias para a sua colocação em obra (transporte e espalhamento) e a sua posterior compactação.

O facto de o comportamento das camadas constituídas por estes materiais depender muito significativamente do teor em água, leva a que as condições climáticas locais, em particular a pluviosidade, possam condicionar as propriedades de deformabilidade das camadas.

Admite-se no entanto, que através de um adequado sistema de drenagem e de impermeabilização das camadas do pavimento, seja possível limitar os efeitos desfavoráveis associados à eventual presença de água nas camadas.

A consideração de camadas constituídas por materiais recompostos em central a partir de diferentes fracções granulométricas (BGr) visa, por um lado, obter mais uniformes características granulométricas, e por outro, transportar e espalhar um material já com o teor em água necessário a uma boa compactação, em geral 4 a 6 %. O facto de a mistura da água ser feita em central contribui não só para uma maior homogeneidade, como também para reduzir a segregação dos materiais durante o transporte e espalhamento. Com o mesmo objectivo foi limitada a dimensão máxima dos agregados a 25 mm.

Para além da utilização de materiais pétreos, britados ou naturais, é admitido que as camadas granulares possam ser realizadas, tal como é tradicional, em solos seleccionados. A especificação de valores máximos de plasticidade permite limitar a sensibilidade destes materiais à água. Admite-se que as camadas de solo seleccionado possam vir a ser empregues em camadas de sub-base, em particular nos pavimentos destinados a tráfego pesado não muito elevado.

No Quadro 5.1 indica-se a tipologia adoptada para os materiais granulares empregues em camadas de pavimentos, a que se associa os códigos estabelecidos nas rúbricas de trabalhos rodoviários.

CAPÍTULO 5

MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO

QUADRO 5.1 - TIPOLOGIA ADOPTADA PARA OS MATERIAIS GRANULARES

Símbolo	Código	Principais características
BGr	03.1.2.2	material britado recomposto em central granulometria extensa dimensão máxima: 25 mm equivalente de areia mínimo: 70 % <i>Los Angeles</i> máximo: 30 % (granulometria G)
BG	03.1.2.1	material britado sem recomposição (<i>tout-venant</i>) aplicado em camada de base granulometria extensa dimensão máxima: 37,5 mm equivalente de areia mínimo: 50 % <i>Los Angeles</i> máximo: 35 % (granulometria F)
SbG	03.1.1.3	material britado sem recomposição (<i>tout-venant</i>) aplicado em camada de sub-base granulometria extensa dimensão máxima: 50 mm equivalente de areia mínimo: 50 % <i>Los Angeles</i> máximo: 40 % (granulometria B)
GN	03.1.1.2	material não britado granulometria extensa dimensão máxima: 75 mm equivalente de areia mínimo: 30 % <i>Los Angeles</i> máximo: 40 % (granulometria B)
SS	03.1.1.1	solo seleccionado índice de plasticidade ≤ 6 % limite de liquidez ≤ 25 % CBR > 10 % (grau de compact. = 95%; Proctor modificado) equivalente de areia mínimo: 25 %

CAPÍTULO 5

MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO

Para efeito de verificação do dimensionamento das estruturas constantes deste manual, foram consideradas características mecânicas aproximadas para as camadas granulares como se indica no Quadro 5.2.

QUADRO 5.2 - CARACTERÍSTICAS DE DEFORMABILIDADE DOS MATERIAIS GRANULARES

Código	Módulo de deformabilidade (E)	Coefficiente de Poisson (ν)
BGr	$\approx 2,5 \times E$ camada inferior	0,35
BG	$\approx 2 \times E$ camada inferior	0,35
SbG	$\approx 2 \times E$ camada inferior	0,35
GN	$\approx 1,5 \times E$ camada inferior	0,35
SS	$\approx 1,2 \times E$ camada inferior	0,40

MISTURAS BETUMINOSAS FABRICADAS A QUENTE

As misturas betuminosas fabricadas a quente, em central, podem ser aplicadas em camadas com características de desgaste, regularização ou base.

Nas obras de pavimentação estes materiais são empregues, essencialmente, com os seguintes objectivos:

- oferecer aos utentes uma superfície que permita a circulação em dadas condições de segurança, economia e conforto;
- conferir à estrutura do pavimento resistência às acções do tráfego;
- impermeabilizar as camadas do pavimento, limitando a entrada de água.

CAPÍTULO 5

MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO

Para que as misturas se comportem de forma adequada, durante a construção e após entrada em serviço, é necessário garantir características adequadas, designadamente no que se refere a:

- trabalhabilidade
- deformabilidade
- resistência à fadiga
- resistência à deformação permanente
- durabilidade, em particular para camadas de desgaste (resistência ao envelhecimento e à acção da água)

No caso de se destinarem a camadas de desgaste, as misturas deverão, ainda, após aplicação, obedecer a requisitos adicionais, designadamente em aspectos relacionados com atrito, rugosidade e características ópticas, essenciais à garantia de boas condições de segurança, economia e conforto, para o utilizador.

De acordo com a AIPCR as misturas betuminosas podem ser classificadas, quando à sua porosidade (V_v) em três ou quatro classes:

V_v	Classificação em 4 classes	Classificação em 3 classes
< 5%	mistura fechada	mistura densa
5 - 10%	mistura semi-fechada	
10 - 15%	mistura semi-aberta	mistura semi-densa
> 15%	mistura aberta	mistura aberta

As misturas *fechadas* e *semi-fechadas* podem ser classificadas como *densas*, podendo as *semi-abertas* também ser designadas por *semi-densas*. No presente manual, reflectindo a nossa tradição construtiva, as misturas densas são as que se utilizam geralmente: nas camadas de desgaste e de regularização

CAPÍTULO 5

MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO

empregam-se misturas fechadas, e nas camadas de base, misturas semi-fechadas e semi-abertas.

No Quadro 5.3 apresenta-se a tipologia das misturas betuminosas a quente consideradas no presente manual.

QUADRO 5.3 - TIPOLOGIA ADOPTADA PARA AS MISTURAS BETUMINOSAS FABRICADAS A QUENTE

Simbolo	Código	Principais características
MB	03.4.1.1	macadame betuminoso em camada de base dimensão máxima do agregado: 37,5 mm teor em betume: 4,0 - 4,8 % porosidade: 6 - 9 % espessura recomendável: 9 - 15 cm (min. 8 cm; max. 16 cm)
MB	03.4.2.2	macadame betuminoso em camada de regularização dimensão máxima do agregado: 25 mm teor em betume: 4,0 - 4,8 % porosidade: 8 - 10 % espessura recomendável: 8 - 12 cm
MBD	03.4.2.3	mistura betuminosa densa em camada de regularização dimensão máxima do agregado: 16 mm teor em betume: 4,8 - 5,4 % porosidade: 4 - 6 % espessura recomendável: 5 - 8 cm
BD	03.4.3.1	betão betuminoso em camada de desgaste dimensão máxima do agregado: 14 mm teor em betume: 5,2 - 5,8 % porosidade: 3 - 5 % espessura recomendável: 4 - 6 cm

CAPÍTULO 5

MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO

As características mecânicas das misturas dependem de vários factores, dos quais se destacam:

- a composição volumétrica
- o tipo de betume
- as condições de temperatura
- a velocidade de aplicação das cargas (circulação)

Através de estudos laboratoriais de formulação, ensaiam-se diferentes composições e/ou tipos de betume, tendo em vista a definição das condições de aplicação em obra. A escolha das granulometrias, tipo de betume e composição das misturas, deve ter em conta as condições de temperatura da região onde vão ser aplicadas e as velocidades de circulação dos veículos pesados que as virão a solicitar.

Para efeito de dimensionamento consideraram-se as composições que constam do Quadro 5.4.

QUADRO 5.4 - CARACTERÍSTICAS VOLUMÉTRICAS DAS MISTURAS BETUMINOSAS A QUENTE

Código	Composição volumétrica (%)		
	agregado (V_a)	betume (V_b)	vazios (V_v)
BD	84	12	4
MBD	84	11	5
MB	84	9	7

CAPÍTULO 5

MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO

Por se tratar de um manual de concepção, admitiu-se o mesmo valor para o módulo de deformabilidade dos vários tipos de camadas betuminosas (4000 MPa), correspondente a uma temperatura ponderada do ar de cerca de 17°C (condições médias em Portugal), e a uma velocidade de circulação de cerca de 60 km/h. Nestas condições a temperatura das misturas varia entre cerca de 24 e 26°C, dependendo da posição da camada. O betume considerado é da classe 60/70, admitindo-se que após entrada em serviço o valor de penetração se reduz para 65% do valor inicial. Para coeficiente de Poisson admitiu-se um valor de 0,35.

Para efeito de dimensionamento admitiu-se que a fadiga das misturas solicitadas à flexão pelos rodados dos veículos pesados, se poderia relacionar com a extensão máxima de tracção (ϵ_t) obtida nos cálculos através da seguinte relação:

$$N_{adm} = a \times \epsilon_t^b$$

em que:

N_{adm} número admissível de passagens do eixo padrão

ϵ_t valor máximo da extensão de tracção induzida pelo eixo padrão

a, b constantes que dependem da composição e propriedades da mistura que se admitiram ter os valores de:

$$a = 3 \text{ a } 3,5 \times 10^{-3}$$

$$b = -0,20$$

CAPÍTULO 5

MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO

MISTURAS COM LIGANTES HIDRÁULICOS

Consideram-se nesta rúbrica materiais com propriedades bastante diversas com aplicação em camadas de desgaste, base e sub-base de pavimentos, mas que podem globalmente ser repartidos por três grupos:

- 1) Os betões de cimento, aplicados nas camadas de desgaste de pavimentos rígidos, com ou sem armadura - estes materiais devem obedecer ao disposto no regulamento de betões de ligantes hidráulicos, sendo considerados no catálogo betões das classes B4.0F e B4.5F;
- 2) As misturas de agregados com ligantes hidráulicos, com menor dosagem de ligante, que podem ser aplicadas em camadas de base ou sub-base, sob camadas betuminosas (pavimentos semi-rígidos) ou sob as lajes de betão de cimento (pavimentos rígidos).

No caso dos pavimentos rígidos, para além de se melhorarem as condições de apoio das lajes de betão de cimento, pretende-se limitar o fenómeno de erosão das camadas de base, que pode ocorrer na zona das juntas de construção ou retracção. Admite-se que o fenómeno de erosão possa ser bastante reduzido adoptando uma dosagem mínima de ligante de 140 kg/m^3 de mistura.

No caso dos pavimentos semi-rígidos, considera-se necessário conferir às misturas aplicadas em camada de base uma resistência mínima à tracção em compressão diametral aos 28 dias, de 1 MPa, tendo em vista dotar a estrutura do pavimento de uma adequada resistência à fadiga.

A aplicação em obra deste tipo de misturas pode ser realizada utilizando cilindros compactadores ou através de agulhas vibradoras. No primeiro caso a dosagem de água pode ser estudada em laboratório pelos mesmos procedimentos utilizados nas camadas granulares, enquanto no caso dos betões vibrados, a dosagem de água é mais elevada, por forma a permitir

CAPÍTULO 5

MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO

a utilização de vibradores. A experiência de execução de camadas de betão pobre vibrado tem mostrado que, para obter adequadas características de trabalhabilidade, é necessário utilizar teores em ligante mais elevados.

A utilização de cinzas volantes, em substituição do cimento, poderá ser uma solução técnico-económica vantajosa, uma vez que aumenta a trabalhabilidade e reduz o custo.

- 3) As misturas de solo-cimento fabricadas em central, utilizadas em camada de sub-base, desde que se disponha de solos granulares com adequadas características granulométricas e de homogeneidade.

No Quadro 5.5 apresenta-se a tipologia adoptada para as misturas com ligantes hidráulicos consideradas no presente manual. Todos estes tipos de mistura têm um comportamento que depende essencialmente:

- da dosagem e do tipo do ligante
- do tipo do agregado, das suas características físicas e da sua granulometria
- da compactidade da mistura
- das condições de cura

Previamente à aplicação dos materiais em obra deve ser realizado um estudo de formulação que defina a composição da mistura, garantindo adequadas condições de compactação e satisfazendo os requisitos mínimos relativos à sua resistência.

Tendo em atenção a experiência relativa a estes materiais, foram consideradas nos cálculos realizados as características de deformabilidade indicadas no Quadro 5.6.

CAPÍTULO 5

MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO

No caso de a resistência à tracção ser avaliada em ensaios de compressão diametral, poderá admitir-se um factor de 1,5 para converter o valor obtido no que previsivelmente seria obtido em ensaio de flexão, ou seja:

$$R_f \approx 1,5 \times R_{cd}$$

em que;

R_f resistência à tracção em flexão

R_{cd} resistência à tracção em compressão diametral

CAPÍTULO 6

ESTRUTURAS DE PAVIMENTO

ASPECTOS CONCEPTUAIS

No presente capítulo propõe-se, em forma de catálogo, um conjunto de estruturas tipo a adoptar na fase de estudo prévio para os pavimentos da faixa de rodagem.

A organização deste catálogo é feita tendo por base os seguintes princípios:

- definição de estruturas tipo para pavimentos flexíveis, semi-rígidos e rígidos, tendo por base a associação de diversos tipos de materiais para as camadas constituintes;
- consideração das condições extremas mais desfavoráveis das classes de **tráfego** e de **fundação**, para a determinação das espessuras propostas, pelo que, em face das condições reais a definir em fase de projecto de execução, as soluções propostas deverão ser ajustadas;
- consideração de uma plataforma base da classe F_3 , indicando-se a correcção de espessuras para outros tipos de plataforma;
- variação das espessuras das camadas de acordo com a classe de tráfego (T_1 a T_6);

Assim, e previamente à utilização do catálogo, devem ser avaliadas, tendo por base os elementos disponíveis na fase de estudo prévio, as condições de tráfego, classe de fundação, e a disponibilidade em materiais de pavimentação, seguindo a metodologia proposta nos capítulos anteriores.

As estruturas tipo apresentadas devem ser entendidas como elementos de base para esta fase de estudo. Assim, e dada a variabilidade das condições em

CAPÍTULO 6

ESTRUTURAS DE PAVIMENTO

que os pavimentos são executados, sugere-se uma posição crítica em relação à sua aplicação, por forma a que, sempre que possível, sejam tidas em atenção, as condições locais, em particular o comportamento de pavimentos sujeitos a condições de tráfego e de fundação semelhantes.

Pelas razões atrás enunciadas, este catálogo não é aplicável em fase de **projecto de execução**. Nesta fase serão realizados os cálculos de verificação da capacidade de carga das estruturas projectadas, tendo em atenção os estudos específicos realizados no seu âmbito, designadamente os estudos de tráfego e o geológico e geotécnico. A verificação das estruturas apoiar-se-à, então:

- no valor real do tráfego de dimensionamento
- nas características mecânicas da fundação
- nas características mecânicas dos materiais de pavimentação, tendo em atenção as condições climáticas locais e os materiais efectivamente disponíveis

Em termos gerais é preferível manter a estrutura de pavimento constante em toda a largura da faixa de rodagem. Contudo, em situações particulares onde existam diferenças significativas das condições de tráfego em cada uma das vias, poderá admitir-se uma variação transversal da espessura das camadas, tal como é indicado no Capítulo 7, desde que tal opção se justifique do ponto de vista económico e construtivo.

As estruturas propostas, para as mesmas condições de tráfego e de fundação, não são rigorosamente equivalentes, devendo na selecção da estrutura mais apropriada a cada situação, ponderar-se os aspectos económicos inerentes às opções existentes.

A experiência recolhida da aplicação do presente catálogo, durante a construção do pavimento e após a sua entrada em serviço, permitirá o seu futuro

CAPÍTULO 6

ESTRUTURAS DE PAVIMENTO

ajustamento e a eventual inclusão de outras soluções que a prática revele adequadas.

Considera-se, assim, importante que os vários utilizadores e os técnicos que acompanham o projecto e a construção das obras desenvolvam uma atenta observação do comportamento das estruturas, e procedam a recolha sistemática de elementos relativos ao seu comportamento.

ESPESSURAS DAS CAMADAS BETUMINOSAS

Nas estruturas propostas para os pavimentos flexíveis e semi-rígidos, apresenta-se uma espessura total das camadas em misturas betuminosas. Para uma repartição da espessura total pelas várias camadas devem ser tidas em consideração as seguintes regras:

- 1) as espessuras máximas e mínimas das camadas são as indicadas no Capítulo 5, tal como previsto nas rúbricas de trabalhos rodoviários;
- 2) sempre que se torne necessária a colocação de três camadas betuminosas deve ser dada preferência, sempre que possível, à colocação de macadame betuminoso nas duas camadas inferiores.

CAPÍTULO 6

ESTRUTURAS DE PAVIMENTO

EXEMPLOS DE UTILIZAÇÃO

Exemplo 1

Considere-se o estudo de um pavimento para uma estrada na zona de Évora, para o qual se dispõe, na fase de estudo prévio dos seguintes dados base:

tráfego médio diário anual de veículos pesados no ano de abertura de 450;

período de dimensionamento de 20 anos;

fundação constituída por uma areia argilosa.

De acordo com o indicado no Capítulo 2, a classe de tráfego correspondente é a T_4 .

De acordo com o indicado no Capítulo 4, o terreno de fundação deverá garantir CBR superior a 5%, podendo incluir-se na classe S_2 (Quadro 4.2). Para obter uma classe de fundação F_2 será necessária (Quadro 4.6) a colocação, em leito do pavimento, de 15 cm de seixo do grupo S_4 , com CBR superior a 20 %, correspondente, nas rúbricas de trabalhos rodoviários, ao códigos 01.4.1.3.1, em aterros, e ao código 01.4.3.5.1 em escavação em solo.

Optando por uma estrutura do tipo flexível, com betão betuminoso em camada de desgaste, mistura betuminosa densa ou macadame betuminoso nas camadas de regularização e de base, e sub-base em material granular, teremos:

- 20 cm de agregado britado de granulometria extensa, em camada de sub-base, correspondente ao código 03.1.1.1.2 das rúbricas de trabalhos rodoviários.
- 25 cm de misturas betuminosas, dos quais 4 cm correspondem à correcção da classe de fundação F_3 para a classe de fundação F_2 .

CAPÍTULO 6

ESTRUTURAS DE PAVIMENTO

Entre as várias possibilidades de repartição da espessura total de misturas betuminosas pelas várias camadas, poderá optar-se pela colocação de 5 cm de betão betuminoso em camada de desgaste, correspondente ao código 03.4.3.1.2 das rúbricas de trabalhos rodoviários, pela colocação de 9 cm de macadame betuminoso em camada com características de regularização, correspondente ao código 03.4.2.2.2 das rúbricas de trabalhos rodoviários, e pela colocação de 11 cm de macadame betuminoso em camada com características de base, correspondente ao código 03.4.1.1.4 das rúbricas de trabalhos rodoviários.

Atendendo a que o pavimento em estudo se situa na zona térmica quente, mas com condições de tráfego menos intenso que a classe T_2 , poderá ser utilizado um betume de penetração 60/70 nas misturas betuminosas.

Exemplo 2

Considere-se agora o estudo de um pavimento para um trecho de estrada, perto de Viana do Castelo, destinado a utilização temporária num período de 10 anos, para o qual se prevê um tráfego médio diário anual de veículos pesados no ano de abertura de 600 com uma taxa média de crescimento anual de veículos pesados de 2%. A fundação é constituída por uma areia mal graduada.

Dado que o período de dimensionamento é diferente do previsto no Quadro 2.6, os valores do tráfego acumulado são calculados a partir das expressões propostas no Capítulo 2. Admitindo para o factor de agressividade do tráfego pesado um valor de 4, obtem-se um número acumulado de passagens do eixo padrão de 80 kN (N_{80}^{dim}) de $7,2 \times 10^6$. De acordo com o indicado no Quadro 2.6, a classe de tráfego correspondente é a T_3 .

Tendo em atenção o indicado no Quadro 4.2, o terreno de fundação deverá garantir um valor de CBR superior a 10%, a que corresponde a classe S_3 . Para se obter uma classe de fundação F_3 será necessária a colocação (Quadro 4.6), em leito de pavimento, de 20 cm de seixo do grupo S_3 , com CBR superior a 20 %, correspondente, nas rúbricas de trabalhos rodoviários, ao código

CAPÍTULO 6

ESTRUTURAS DE PAVIMENTO

01.4.1.3.1, em aterros, e ao código 01.4.3.5.1, em escavação em solo, .

Poderá optar-se por um pavimento flexível constituído por:

- 20 cm de agregado britado de granulometria extensa, em camada de sub-base, correspondente ao código 03.1.1.1.2 das rubricas de trabalhos rodoviários;
- 20 cm de agregado britado de granulometria extensa, em camada de base, correspondente ao código 03.1.2.1.2 das rubricas de trabalhos rodoviários;
- 22 cm de misturas betuminosas.

Entre as várias possibilidades de repartição da espessura total em misturas betuminosas pelas várias camadas poderá optar-se pela colocação de 6 cm de betão betuminoso em camada de desgaste, correspondente ao código 03.4.3.1.3 das rubricas de trabalhos rodoviários e pela colocação de 16 cm de macadame betuminoso em camada de base, correspondente ao código 03.4.1.1.9 das rubricas de trabalhos rodoviários.

Uma possível alternativa é a colocação de três camadas, o que permite obter uma maior regularidade da superfície do pavimento, e que evita a colocação de uma elevada espessura de macadame betuminoso, exigindo a utilização de equipamentos menos correntes. As três camadas poderiam ser constituídas por 5 cm de betão betuminoso em camada de desgaste, correspondente ao código 03.4.3.1.2 das rubricas de trabalhos rodoviários, pela colocação de 8 cm de macadame betuminoso em camada de regularização, correspondente ao código 03.4.2.2.1 das rubricas de trabalhos rodoviários, e pela colocação de 9 cm de macadame betuminoso em camada de base, correspondente ao código 03.4.1.1.2 das rubricas de trabalhos rodoviários.

Dado o trecho situar-se na zona térmica temperada a média, poderá ser utilizado um betume de penetração 60/70 nas misturas betuminosas.

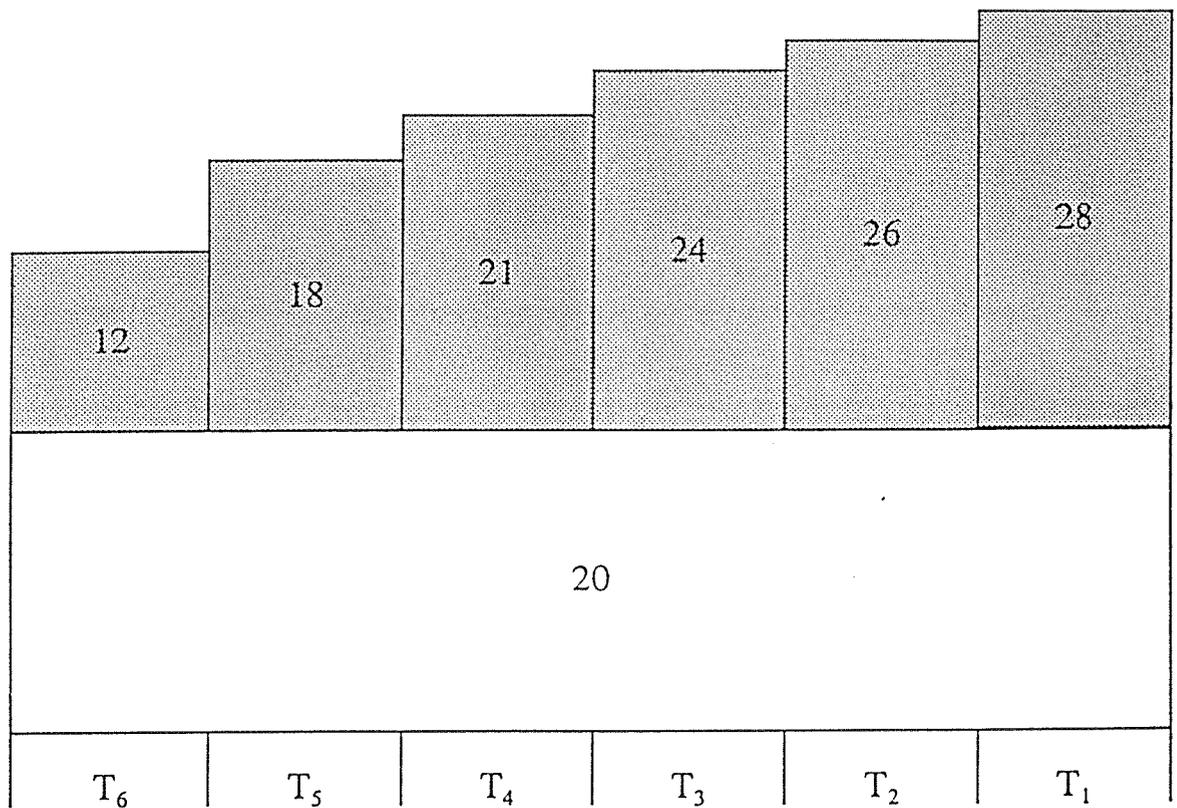
CAPITULO 6

ESTRUTURAS DE PAVIMENTO

BD
MB/MBD
SbG

PAVIMENTO FLEXÍVEL

CLASSE DE PLATAFORMA F₃



As espessuras são indicadas em cm

CORRECÇÃO DA ESPESSURA TOTAL DE MISTURAS BETUMINOSAS PARA OUTRAS CLASSES DE PLATAFORMA

F ₁	não adequado
F ₂	+ 4 cm
F ₄	- 2 cm

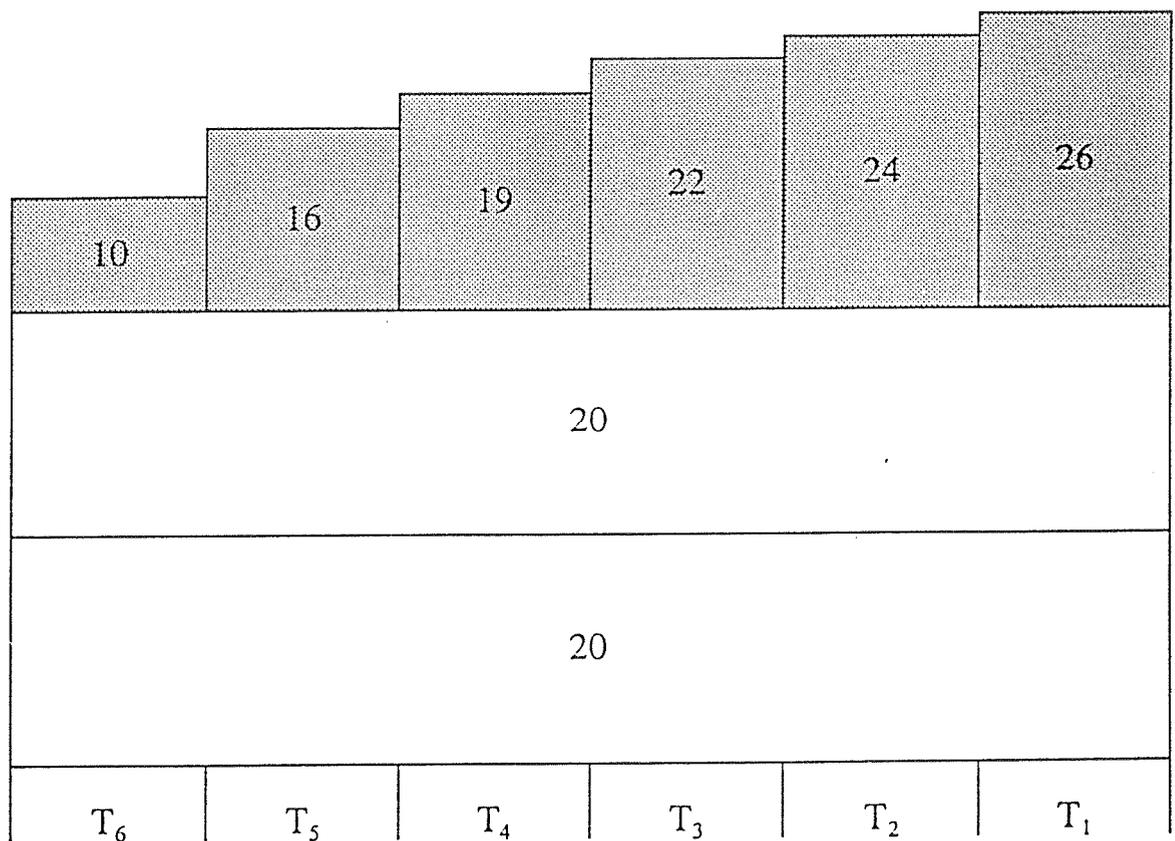
CAPITULO 6

ESTRUTURAS DE PAVIMENTO

BD
MB/MBD
BG
SbG.

PAVIMENTO FLEXÍVEL

CLASSE DE PLATAFORMA F₃



As espessuras são indicadas em cm

CORRECÇÃO DA ESPESSURA TOTAL DE MISTURAS BETUMINOSAS PARA OUTRAS CLASSES DE PLATAFORMA

F ₁	+ 5 cm (T ₅ , T ₆)
F ₂	+ 2 cm
F ₄	não adequado

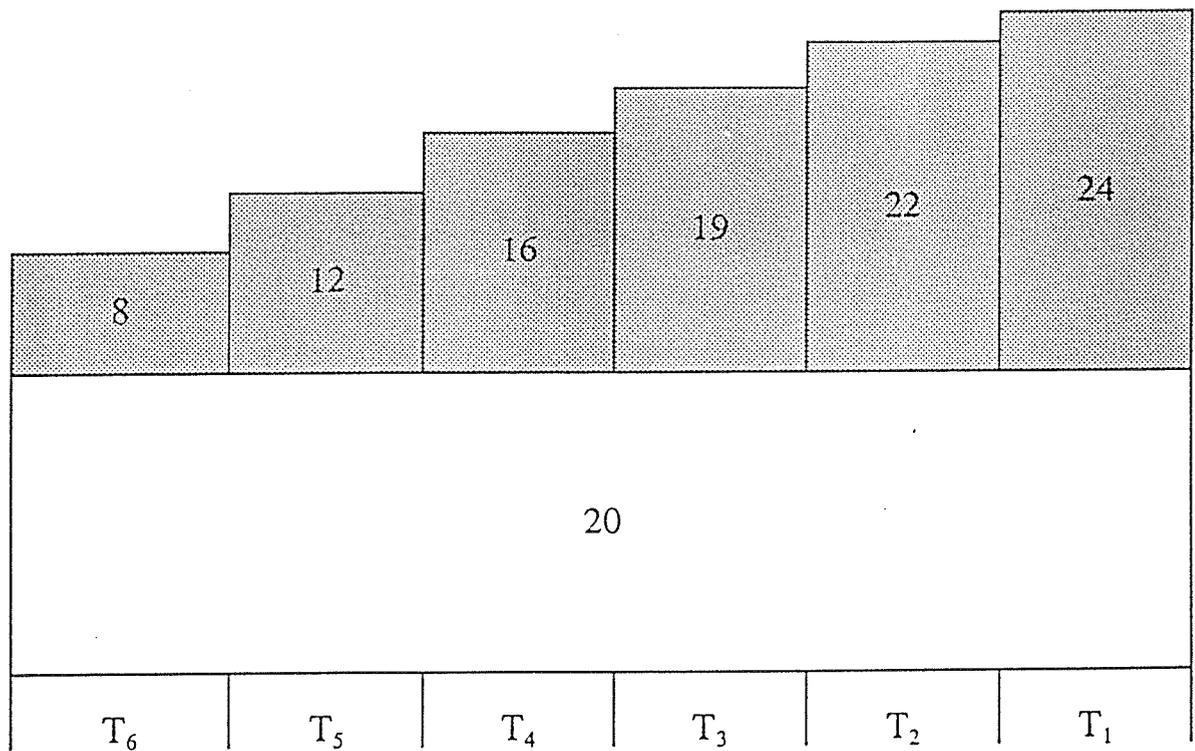
CAPITULO 6

ESTRUTURAS DE PAVIMENTO

BD
MBD/MB
Sc

PAVIMENTO FLEXÍVEL

CLASSE DE PLATAFORMA F₃



As espessuras são indicadas em cm

CORRECÇÃO DA ESPESSURA TOTAL DE MISTURAS BETUMINOSAS PARA OUTRAS CLASSES DE PLATAFORMA

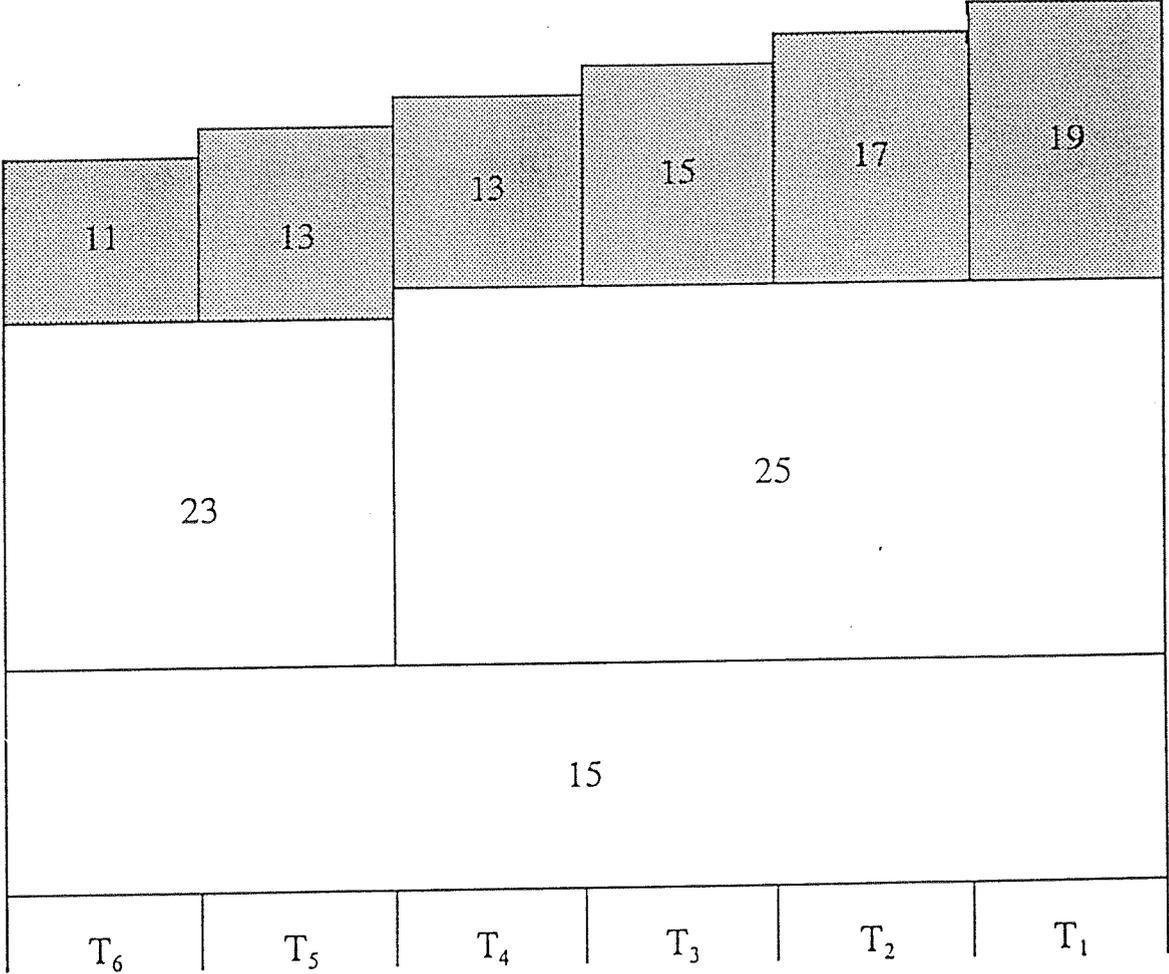
F ₁	não adequado
F ₂	+ 4 cm
F ₃	não adequado

CAPITULO 6

ESTRUTURAS DE PAVIMENTO

BD
MBD/MB
BP2
SbG

PAVIMENTO SEMI-RÍGIDO CLASSE DE PLATAFORMA F₃



As espessuras são indicadas em cm

CORRECÇÃO DE ESPESSURA DA CAMADA DE BETÃO POBRE PARA OUTRAS CLASSES DE PLATAFORMA

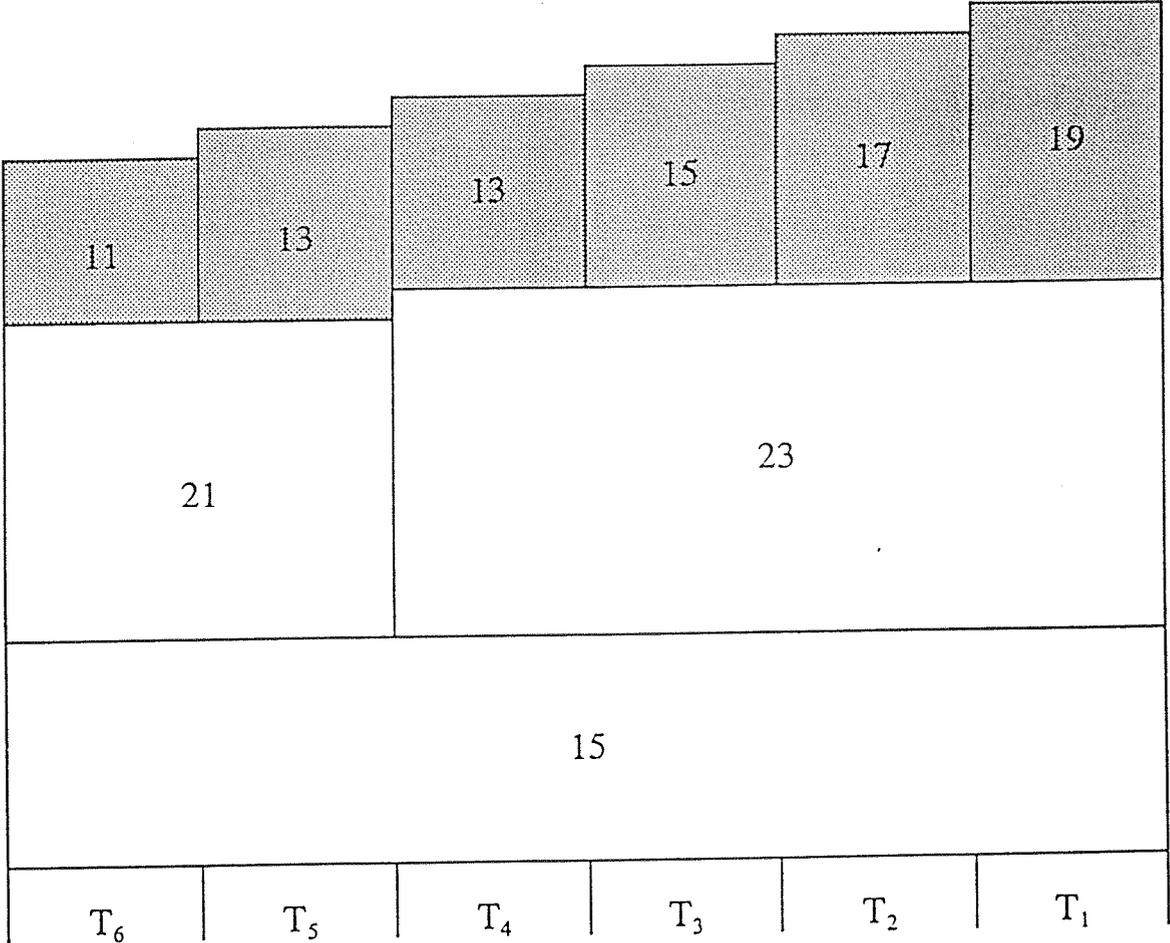
F ₁	+ 4 cm (T ₅ ; T ₆)
F ₂	+ 2 cm
F ₄	- 2 cm

CAPITULO 6

ESTRUTURAS DE PAVIMENTO

BD
MED/MB
BP2
SC

PAVIMENTO SEMI-RÍGIDO
CLASSE DE PLATAFORMA F₃



As espessuras são indicadas em cm

CORRECÇÃO DE ESPESSURA DA CAMADA DE BETÃO POBRE PARA OUTRAS CLASSES DE PLATAFORMA

F ₁	+ 4 cm (T ₅ ; T ₆)
F ₂	+ 2 cm
F ₄	- 2 cm

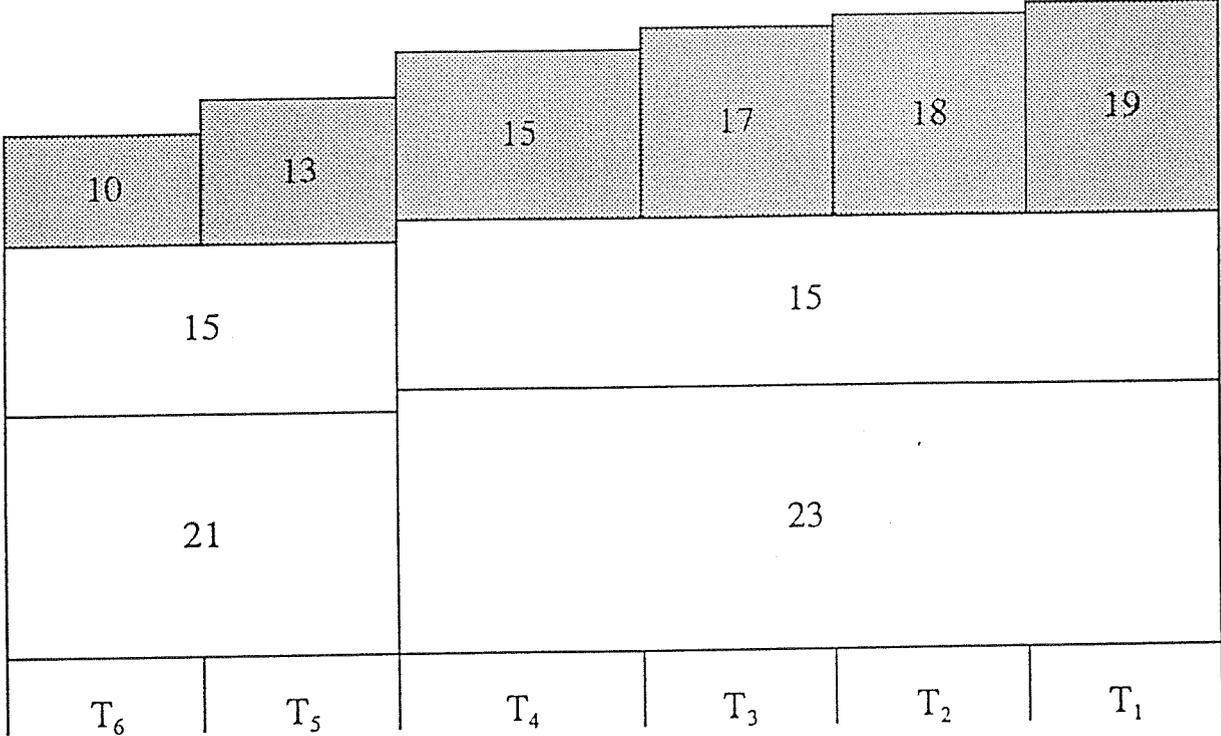
CAPITULO 6

ESTRUTURAS DE PAVIMENTO

BD
MBD/MB
MG1
BP2

PAVIMENTO SEMI-RÍGIDO INVERSO

CLASSE DE PLATAFORMA F_3



As espessuras são indicadas em cm

CORRECÇÃO DE ESPESSURA DA CAMADA DE BETÃO POBRE PARA OUTRAS CLASSES DE PLATAFORMA

F_1	+ 4 cm (T_5 ; T_6)
F_2	+ 2 cm
F_4	- 2 cm

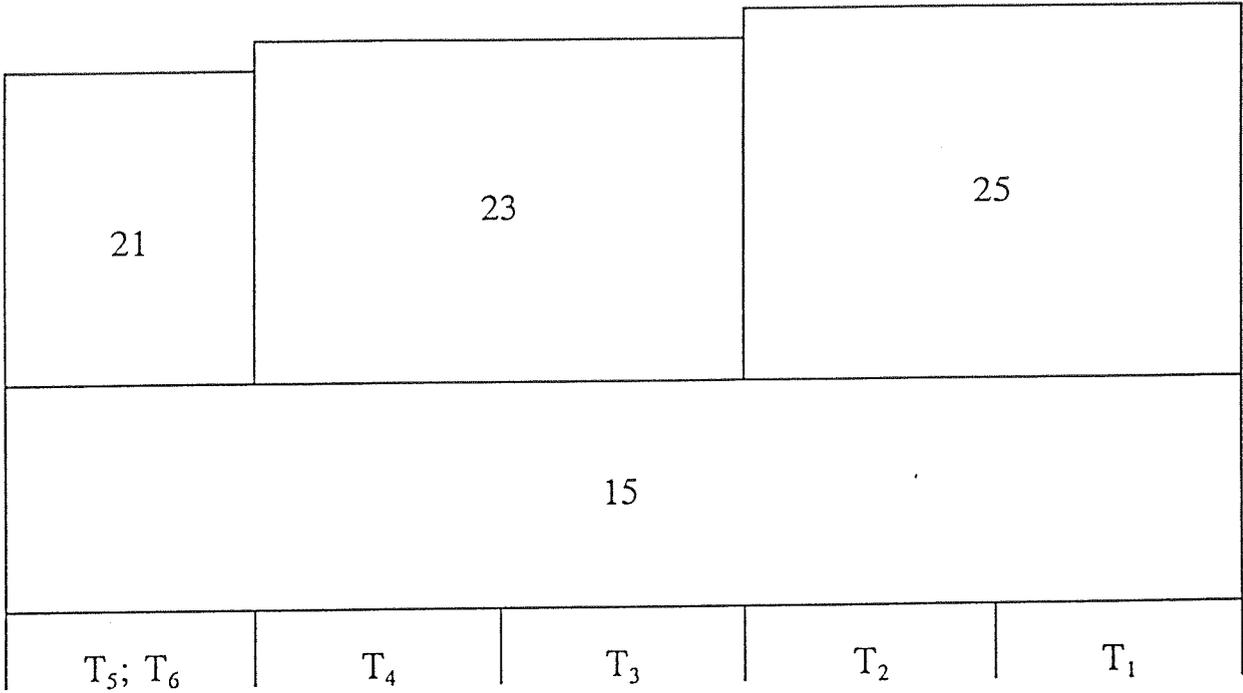
CAPITULO 6

ESTRUTURAS DE PAVIMENTO

BC
BP1

PAVIMENTO RÍGIDO COM JUNTAS COM PASSADORES (1)

CLASSE DE PLATAFORMA F_2



As espessuras são indicadas em cm

CORRECÇÃO DE ESPESSURA DA CAMADA DE BETÃO DE CIMENTO PARA OUTRAS CLASSES DE PLATAFORMA

F_1	+ 2 cm (2)
F_3	- 2 cm
F_4	- 3 cm

- (1) No caso de classes de tráfego T_4 , T_5 e T_6 poderá ponderar-se a não colocação de passadores
- (2) Esta solução apenas respeita às classes de tráfego T_5 e T_6 e inclui ainda um aumento de 5 cm na espessura da camada de betão pobre

CAPITULO 6

ESTRUTURAS DE PAVIMENTO

BAC

BP1

PAVIMENTO RÍGIDO COM BETÃO ARMADO CONTÍNUO (1)

CLASSE DE PLATAFORMA F_2

20	22	23		
15				
T ₅ ; T ₆	T ₄	T ₃	T ₂	T ₁

As espessuras são indicadas em cm

CORRECÇÃO DE ESPESSURA DA CAMADA DE BETÃO DE CIMENTO PARA OUTRAS CLASSES DE PLATAFORMA

F ₁	+ 2 cm (2)
F ₃	- 2 cm
F ₄	- 3 cm

(1) Admite-se uma taxa de armadura longitudinal de 0,6 a 0,7 %

(2) Esta solução apenas respeita às classes de tráfego T₅ e T₆ e inclui ainda um aumento de 5 cm na espessura da camada de betão pobre

CAPÍTULO 7

PERFIS TRANSVERSAIS

VARIAÇÕES DE ESPESSURA

No caso da existência de duas ou mais vias no mesmo sentido, pode ser vantajoso adotar, em perfil transversal, variações da espessura de algumas das camadas. Desse modo se poderá facilitar a compatibilização das inclinações transversais da plataforma de apoio com as inclinações da camada de desgaste.

No Quadro 7.1 indicam-se as variações de espessura admissíveis, de acordo com o tipo de pavimento e a natureza dos materiais das camadas.

QUADRO 7.1 - VARIAÇÕES TRANSVERSAIS DE ESPESSURA ADMISSÍVEIS (Δh)

Camada	Espessura mínima (cm)	Tipo de pavimento			
		Flexível	Semi-rígido Inverso	BC	BAC
BD	4	0	0	-	-
MBD	5	0	0	-	-
MB	8	$\Delta h=2\text{cm}$	0	-	-
BG/SbG	15	0	$\Delta h=2\text{cm}$	-	-
BP/AGEC	15	-	$\Delta h=2\text{cm}$	0	0
Sc	15	-	$\Delta h=2\text{cm}$	-	-
BC	20	-	-	$\Delta h=2\text{cm}$	$\Delta h=2\text{cm}$

CAPÍTULO 7

PERFIS TRANSVERSAIS

SOBRELARGURA DAS CAMADAS

Tendo em vista melhorar as condições de operação dos equipamentos em obra e dotar a estrutura de um melhor comportamento é vantajoso prever as sobrelarguras mínimas indicadas no Quadro 7.2.

QUADRO 7.2 - SOBRELARGURAS RECOMENDÁVEIS (cm)

Camada	Lado interior	Lado exterior
BD	0 ⁽¹⁾	40
MBD	0	20
MB	20	20
BP/AGEC	20 ⁽²⁾	50 ⁽³⁾
BC	50	75

(1) admite-se que a berma do lado interior é pavimentada

(2) deve adoptar-se uma sobrelargura mínima de 60 cm em pavimentos rígidos

(3) deve adoptar-se uma sobrelargura mínima de 60 cm em pavimentos rígidos