

5

Misturas betuminosas a quente

Em Portugal, o termo mistura betuminosa a quente aplica-se a grande parte das misturas betuminosas utilizadas em obras de pavimentação, desde as argamassas betuminosas, fabricadas apenas com agregados finos, filler e betume, até aos macadames betuminosos, nos quais os agregados grossos têm um papel preponderante no comportamento da mistura.

No CE EP, (JAE, 1998), bem como no Manual de Concepção de Pavimentos (JAE, 1995) utilizam-se diversos tipos de designações para as misturas betuminosas a quente, em função do tipo de aplicação - misturas betuminosas para camadas de base, de regularização ou de desgaste – do tipo de betume utilizado – por exemplo, Misturas de Alto Módulo - ou do tipo de granulometria dos agregados e baridade daí resultante – por exemplo, Betão Betuminoso Drenante, Mistura Betuminosa Densa ou Macadame Betuminoso.

Constata-se que, nas normas Europeias relativas a materiais de pavimentação recentemente publicadas, das quais se apresenta uma listagem em anexo, a grande maioria das misturas betuminosas a quente aplicadas actualmente em Portugal é englobada na designação Betão Betuminoso (“Asphalt Concrete”). Muito embora se considere que a terminologia a adoptar virá a ser alterada, em conformidade com as referidas normas Europeias, tendo em atenção de que as especificações actualmente em vigor ainda assentam essencialmente no Caderno de Encargos da ex-JAE (versão de 1998), neste Capítulo utilizam-se as designações consagradas nesse documento. Os principais tipos de misturas betuminosas contemplados no CE EP e respectivas aplicações apresentam-se em seguida.

Principais tipos de misturas betuminosas a quente aplicadas em Portugal

Camada	Tipo de misturas		Observações
Base	MB (0/37,5)	Macadame Betuminoso, fuso B	Aplicada em espessuras entre 10 e 15 cm (a)
	MB (0/25)	Macadame Betuminoso, fuso A	Aplicada em espessuras entre 7 e 12 cm
	MAM	Mistura de Alto Módulo	Aplicada em espessuras entre 7 e 12 cm
Regularização	MB (0/25)	Macadame Betuminoso, fuso A	Aplicada em espessuras entre 6 e 12 cm
	MBD	Mistura Betuminosa Densa	Aplicada em espessuras entre 6 e 8 cm; recomendada apenas para tráfego T6 e T7
	MAM	Mistura de Alto Módulo	Aplicada em espessuras entre 7 e 12 cm
	AB	Argamassa Betuminosa	Aplicada em pequenas espessuras, eventualmente variáveis
	BBs	Betão Betuminoso subjacente ao desgaste	Aplicada em espessuras entre 4 e 6 cm
Desgaste ^(b)	BB	Betão Betuminoso em camada de desgaste	Aplicada em espessuras entre 4 e 6 cm
	BBR	Betão Betuminoso Rugoso	Aplicada em espessuras entre 3,5 e 5 cm
	MBBR	Micro Betão Betuminoso Rugoso	Aplicada em espessuras entre 2,5 e 3,5 cm
	BBD	Betão Betuminoso Drenante	Aplicada em espessuras de 4 cm

(a) Devido à elevada dimensão máxima do agregado, a utilização deste tipo de mistura pode conduzir a situações de segregação de materiais e conseqüente heterogeneidade da camada.

(b) No CE EP estão contemplados outros tipos de misturas betuminosas para camadas de desgaste, tais como Argamassa Betuminosa ou Mistura Betuminosa de Alto Módulo. Estas misturas não se referem neste Manual por não serem utilizadas, na prática, em Portugal. Por outro lado, são de utilização cada vez mais frequente em camadas de desgaste as Misturas Betuminosas Abertas (MBA) ou Rugosas (MBR) utilizando Betumes modificados com Borracha (BB), que não estão incluídas no CE EP.

5.1. Materiais

5.1.1. Agregados e fileres

Por serem as partículas que constituem o esqueleto mineral das misturas betuminosas, os agregados devem ser resistentes à fragmentação e ao desgaste eventualmente produzido pelo tráfego. Por esta razão, estes agregados devem ser provenientes da britagem de rochas duras, não alteráveis, ter uma boa forma e ser resistentes à rotura e à degradação induzidas pelo efeito de abrasão e de fragmentação do tráfego, resistência esta que é avaliada através do ensaio de Los Angeles (resistência à fragmentação).

Para além disso, no caso de serem empregues em camadas de desgaste, as partículas dos agregados devem ter uma elevada resistência ao polimento, o que é avaliado através do respectivo coeficiente de polimento acelerado.

Os agregados finos devem ser não plásticos e devem ser provenientes da britagem de rochas de boa qualidade, com elevada resistência à fragmentação no ensaio de Los Angeles.

Como filer deve ser utilizado filer comercial e / ou filer recuperado, proveniente da britagem dos agregados, por forma a dispor-se de partículas não hidrófilas, que se misturem bem com o betume, para obter um bom mástique. Para alcançar este objectivo, as partículas de filer devem ser finas e não plásticas.

Nos quadros seguintes apresentam-se as principais exigências a satisfazer pelos agregados a empregar em misturas betuminosas, de acordo com o actual CE EP, bem como pelo filer comercial a adicionar a estas misturas.

Especificações para agregados a empregar em misturas betuminosas a quente (JAE 1998) (*)

Camada	Base			Regularização				Desgaste		
	MB 0/37,5	MAM	MB 0/25	MBD	MAM	AB	BBs	BB	BBR	BBD MBBR
Tipo de mistura	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 60	≥ 60	≥ 60
	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 0,8	0,8	≤ 0,8	0,8	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 0,8
Qualidade dos finos	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	≤ 30	≤ 30	≤ 30	≤ 30	30	≤ 30	30	≤ 25	≤ 15	≤ 15
Propriedades geométricas	≤ 30	≤ 30	≤ 30	≤ 30	30	≤ 30	30	≤ 25	≤ 15	≤ 15
	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 3	3	-	2	≤ 2	≤ 2	≤ 2
Propriedades físicas	≤ 40 (A)	≤ 40 (A)	≤ 40 (A)	≤ 35 (B)	35 (B)	≤ 35 (B)	35 (B)	≤ 20 ^c (B)	≤ 20 ^d (B)	≤ 20 ^d (B)
	-	-	-	-	-	-	-	≥ 0,50	≥ 0,50	≥ 0,50
Filler	-	-	-	-	e	-	e	f	f	_g

(*) As especificações do actual CE - EP estão ainda estabelecidas em função de propriedades determinadas com base em especificações LNEC, normas ASTM ou outras. Em Anexo apresenta-se a correspondência entre estas especificações e normas e as Normas Europeias.

Relativamente ao quadro anterior, observa-se o seguinte:

- (a) Mistura de agregados sem adição de filler.
- (b) Caso se utilizem seixos britados, as partículas devem ter, pelo menos 3 faces de fractura e um coeficiente de redução 4D.
- (c) 30% em granitos.
- (d) 26% em granitos.
- (e) Caso o agregado seja granítico, deve utilizar-se, no mínimo 3% de filler comercial ou 1,5%, se for utilizada cal hidráulica.
- (f) Caso o agregado seja granítico, deve utilizar-se, no mínimo 3% de filler comercial ou 2%, se for utilizada cal hidráulica.
- (g) O mínimo passa a 1% se for utilizada cal hidráulica; se o agregado for granítico, não é permitida a utilização de qualquer quantidade de filler recuperado.

Especificações para filler comercial a empregar em misturas betuminosas a quente (JAE 1998) (*)

Composição		Pó calcário, cimento ou cal hidráulica (apagada)
Granulometria	Abertura dos peneiros (mm)	Percentagem acumulada de material que passa
	0,425 mm (nº 40)	
	0,180 mm (nº 80)	95 - 100
	0,075 mm (nº 200)	75 - 100
IP (não aplicável a cimento ou cal hidráulica)		< 4

(*) As especificações do actual CE - EP estabelecem apenas exigências em termos de granulometria e limpeza, determinadas com base em especificações LNEC, normas ASTM ou outras. No entanto, existem outras propriedades importantes relacionadas com o poder rigidificante do filler, que estão contempladas nas novas Normas Europeias (EN). Em Anexo apresenta-se uma lista das referidas EN.

5.1.2. Ligantes betuminosos

5.1.2.1. Betumes de pavimentação

O ligante betuminoso é um componente essencial da mistura betuminosa, uma vez que liga os agregados e fornece coesão e estabilidade à mistura.

O ligante betuminoso possui qualidades e características que o diferenciam significativamente dos outros agentes coesivos utilizados em pavimentação, como por exemplo os ligantes hidráulicos. Enquanto que as misturas com ligantes hidráulicos possuem elevada rigidez e resistência, os ligantes betuminosos proporcionam ligações tenazes e flexíveis aos materiais com eles tratados. Este aspecto deve-se à resposta visco-elástica do betume, cujo comportamento varia com a velocidade de aplicação das cargas, o que lhe permite comportar-se como um material flexível, com baixo módulo de rigidez e muito deformável, que se adapta às deformações e assentamentos das camadas do pavimento e que absorve as tensões devidas à retracção térmica das camadas do pavimento e da fundação, sem se fendilhar, ao mesmo tempo que se comporta como um material estável e tenaz, com elevado módulo e resposta elástica, quando submetido às acções do tráfego.

Uma vez que o comportamento do betume varia com a temperatura, é necessário empregar, em cada caso e para cada mistura, ligantes betuminosos compatíveis com a gama de temperaturas a que estará sujeita a mistura betuminosa quando integrada no pavimento. Quando esta temperatura alcança valores próximos da temperatura de anel e bola do betume (ponto de amolecimento), a mistura pode perder a sua estabilidade. Em oposição, quando a temperatura do pavimento desce para valores inferiores ao ponto de fragilidade do betume, a mistura betuminosa torna-se frágil e fendilha facilmente.

Em Portugal, nas misturas betuminosas a quente fabricadas em central utilizam-se habitualmente 3 tipos de betume de pavimentação, cujas propriedades se adaptam às necessidades inerentes a cada tipo de mistura, às condições climáticas e aos tipos de pavimentos em que esta é aplicada: os betumes de classe de penetração 35/50 e 50/70, para misturas “tradicionais”, e os betumes de classe 10/20, para Misturas de Alto Módulo.

No quadro seguinte resumem-se as características estabelecidas na Especificação LNEC E 80 (LNEC, 1997) para betumes de pavimentação, que contemplam 8 classes de penetração, incluindo as três classes a que se fez referência anteriormente. Neste quadro pode-se observar que os principais parâmetros que caracterizam os diferentes tipos de betumes são basicamente a penetração a 25°C e o ponto de amolecimento, antes e depois do envelhecimento, bem como a viscosidade cinemática.

Os projectos de Norma Europeia existentes à data da publicação da E 80 passaram, entretanto a Normas Europeias (EN), que se identificam no Quadro. Futuramente, será obrigatória a aplicação das normas EN 12591 e EN 13924, que estabelece o quadro de propriedades a satisfazer pelos betumes de pavimentação.

Especificações para betumes de pavimentação (LNEC, 1997)

Propriedades [condições de ensaio]	Métodos de ensaio		Tipos de betumes e exigências de conformidade									
	Min	Máx	10/20	20/30	35/50	50/70	70/100	100/150	160/220	250/300		
Penetração (0,1 mm) [25°C; 100g; 5s]	EN 1426 [ASTM D 5]	Min Máx	10 20	20 30	35 50	50 70	70 100	100 150	160 220	250 330		
	EN 1427 [ASTM D 36]	Min Máx	63 76	55 63	50 58	46 54	43 51	39 47	35 43	30 38		
Temperatura de amolecimento (°C)	EN 12595 [ASTM D 2170]	Min	1000	530	370	295	230	175	135	100		
	EN 12592 [ASTM D 2042, modificada]	Min	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0		
Solubilidade em tolueno ou xileno (%)	EN 22592 [ASTM D 92]	Min	250	240	240	230	230	230	220	220		
	RTFOT:	Máx	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,8	1,0	1,0		
Resistência ao endurecimento [RTFOT ou TFOT]	EN 12607-1 [ASTM D2872]	Min	60	55	53	50	46	43	37	35		
	ou TFOT: EN 12607-2 [ASTM D1754]	Min	65	57	52	48	45	41	37	32		
Aumento da temperatura de amolecimento (°C)	^b	Máx	8	10	11	11	11	12	12	12		

(a) p.o. - penetração do betume original

(b) Obtido por diferença entre a temperatura de amolecimento antes e depois do envelhecimento

5.1.2.2. Betumes modificados

Os betumes asfálticos podem ser modificados através da adição de polímeros, borracha, asfaltos naturais, ou outros tipos de compostos, obtendo-se betumes com propriedades melhoradas, que proporcionam uma maior coesão e tenacidade à mistura betuminosa, uma melhor resistência à fadiga e uma melhor resistência às deformações permanentes.

Estes aditivos têm como finalidade diminuir a susceptibilidade térmica dos betumes, aumentar a sua viscosidade a altas temperaturas para evitar problemas com deformações plásticas, diminuir a sua fragilidade a baixas temperaturas, aumentar a sua coesão e flexibilidade e, em suma, permitir a sua aplicação com êxito numa gama de temperaturas maior que a correspondente aos betumes tradicionais.

De acordo com as melhorias produzidas e tendo em conta as suas possíveis aplicações, foi estabelecido um conjunto de betumes modificados, cujas características e aplicações se indicam em seguida.

Betumes modificados com polímeros

De entre os betumes modificados, os mais utilizados são os betumes modificados com polímero, quer a partir de plastómeros, que melhoram as propriedades do ligante a altas temperaturas de utilização, como a partir de elastómeros, que produzem melhorias a altas e a baixas temperaturas, conferindo para além disso, elasticidade e coesão ao betume.

A obtenção destes produtos pode realizar-se por mistura física, mediante a simples dispersão do polímero no ligante, ou através de reacção química do polímero com os componentes do betume, obtendo-se, neste caso, ligantes mais estáveis e com propriedades melhoradas. Os betumes modificados com polímeros comercializados pela CEPESA são modificados por reacção química, indicando-se em seguida as principais vantagens de cada produto:

Styrelf Newplast – são betumes modificados de baixa penetração, que proporcionam à mistura um módulo elevado e uma maior resistência à fadiga que os betumes duros convencionais. São adequados para misturas de alto módulo aplicadas em pavimentos destinados a tráfego muito pesado e com condicionantes especiais.

Styrelf 13/40 – betumes de penetração 35/50, com um elevado ponto de amolecimento e consistência a 60°C. São adequados para melhorar a estabilidade e a resistência às deformações plásticas das misturas convencionais. A sua utilização é especialmente recomendada em zonas muito quentes.

Styrelf 13/60, 14/60 e 15/60 – betumes com penetração 50/70, e com diversos graus de modificação. A sua elevada tenacidade e recuperação elástica, confere uma elevada coesão a misturas descontínuas e abertas, como por exemplo o betão betuminoso drenante, o betão betuminoso rugoso ou o micro-betão betuminoso rugoso. São igualmente apropriados para melhorar a resistência às deformações de todos os tipos de misturas.

Styrelf AAF e MAF – betumes de maior penetração, nos quais se modificou a elasticidade e tenacidade, relativamente aos betumes tradicionais. São empregues em misturas e em regas especiais ou como betume base, tal como alguns dos anteriores, para o fabrico de emulsões.

Todos os betumes modificados com polímeros comercializados pela CEPISA pertencem à gama Styrelf e são obtidos por reacção química entre o ligante e os polímeros do tipo elastómero.

Os betumes modificados com polímeros não estão contemplados na especificação LNEC E 80, estando, no entanto, estabelecidas no CE EP as principais características que estes devem apresentar, tendo em vista a sua aplicação em betão betuminoso drenante (BBD), ou em betão betuminoso e rugoso (BBR) micro betão betuminoso rugoso (MBBR) características estas que se resumem no quadro seguinte. Adiante, estes betumes modificados serão designados abreviadamente por BM-BBD e BM-BBR. Nesta última designação estão incluídos quer os betumes a utilizar em MBBR, quer os betumes a utilizar em BBR. A Norma Europeia EN 14023, cuja aplicação virá a ser obrigatória, estabelece o quadro de propriedades a utilizar com vista à caracterização dos betumes modificados.

Características especificadas no CE EP para betumes modificados a aplicar em misturas betuminosas para camadas de desgaste (JAE, 1998)

Propriedade	Métodos de ensaio		Tipo de Betume Modificado	
			BM-BBD	BM-BBR
Penetração (0,1 mm) [25°C; 100g; 5s]	EN 1426 [ASTM D 5]	Mín Máx	55 70	55 100
Temperatura de amolecimento (°C)	EN 1427 [ASTM D 36]	Mín	55	60
Ponto de fragilidade de Frass (°C)	EN 12593	Máx	-10	-10
Intervalo de plasticidade (°C)	EN 1427 EN 12593	Mín	65	70
Viscosidade (cst) [135°C]	ASTM D 2170	Mín	850	850
Estabilidade ao armazenamento [diferença na temperatura de amolecimento] (°C)	EN 13399 EN 1427	Máx	5	5
Recuperação elástica (%) [25°C]	EN 13398	Mín	25	50

Tendo em atenção as características apresentadas no quadro anterior, e face às propriedades dos diversos betumes modificados com polímeros comercializados pela CEPESA, pode-se concluir que os betumes dos tipos Styrelf 13/60, 14/60 e 15/60 são adequados para betão betuminoso drenante, betão betuminoso rugoso e para micro-betão betuminoso rugoso.

5.1.2.3. Betumes modificados com borracha

O comportamento dos betumes também pode ser modificado mediante a adição in situ ou em fábrica de borracha moída obtida a partir da trituração de pneus fora de uso. Obtêm-se assim betumes modificados melhorados e betumes de alta viscosidade cujas propriedades podem ainda ser optimizadas mediante a adição de polímeros.

Os betumes modificados com borracha empregam-se em misturas betuminosas a quente, conduzindo a misturas com características reológicas e funcionais melhoradas, com maior resistência ao envelhecimento, às deformações permanentes e ao fendilhamento por fadiga, que permitem reduzir o ruído de rolamento. Em Portugal, as misturas com betume modificado com borracha têm sido aplicadas essencialmente em camadas de desgaste e, nalguns casos, em camadas subjacentes a estas.

Distinguem-se basicamente três famílias de betumes modificados com borracha (BB): os betumes de alta percentagem de borracha (superior a 18%, em relação à massa total de ligante), BBA, os de média percentagem de borracha (entre 8 e 15%), BBM, e os betumes designados como de baixa percentagem de borracha (inferior a 8%), BBB.

Encontra-se em preparação, por parte de um grupo de trabalho da Comissão Técnica “Ligantes Betuminosos” (CT 153), uma norma relativa aos betumes modificados com borracha, que contempla dois tipos de betumes de cada uma das famílias anteriormente referidas. As principais características de cada um destes tipos de betumes, resumem-se no quadro seguinte.

Características dos betumes modificados com borracha

Propriedade	Método de ensaio	Betumes modificados com borracha (BB)							
		BBB 35/50	BBB 50/70	BBM 35/50	BBM 50/70	BBA 15/30	BBA 20/35		
Penetração (0,1 mm) [25°C; 100g; 5s]	EN 1426	Min	35	50	35	50	15	20	
		Máx	50	70	50	70	30	35	
Temperatura de amolecimento (°C)	EN 1427	Min	58	53	65	58	68	65	
Ponto de fragilidade de Frass (°C)	EN 12593	Máx	-5	-8	-8	-10	-4(a)	-8(a)	
Viscosidade cinemática (mm ² /s) [135°C]	EN 12595	Min	370	295	-	-	-	-	
Viscosidade (mPa.s)[175°C]	EN 13302	Min	-	-	310	150	2500	2500	
		Máx	-	-	-	-	4500	4500	
Resistência ao endurecimento [RTFOT; 163°C]	EN 12607-1	Δm (%)	Máx	1,0	1,0	0,8	1,0	0,8	
		% p.o.	Min	65	60	70	65	60	60
		ΔT_{ab} (°C)	Min	-4	-5	-4	-5	-	-
Estabilidade ao arma-zenamento	EN 13399	Máx	+8	+10	+8	+10	12	12	
		Máx	5	5	5	5	-	-	
Recuperação elástica (%) [A] 20cm; 25°C]	EN 13389	Máx	10	10	8	10	-	-	
		Min	10	10	15	20	-	-	
Recuperação elástica (%) [A] 10cm; 25°C]		Min	-	-	-	-	75	75	

Δm Variação de massa

% p.o. Variação de penetração: percentagem relativa à penetração original

ΔT_{ab} Variação na temperatura de anel e bola

Dpen Diferença no valor da penetração (0,1 mm)

DT_{ab} Diferença no valor da temperatura de amolecimento (°C)

(a) Valor indicativo

5.1.2.4. Outros betumes modificados

Para além dos betumes modificados referidos anteriormente, cuja aplicação já é relativamente corrente em Portugal, existe uma gama de produtos em desenvolvimento cujas características se apresentam neste Manual, como é o caso dos betume “multigrado” ou o dos betumes de baixa viscosidade para misturas temperadas.

Betumes Multigraduado

Os betumes multigraduados são betumes especiais fabricados pela CEPESA que apresentam características de temperatura de amolecimento e de resistência ao envelhecimento superiores aos betumes convencionais com a mesma penetração, o que os situa numa posição intermédia entre os betumes convencionais e os betumes modificados com polímeros, permitindo a sua aplicação em diversas zonas climáticas, com excelentes prestações.

Características dos betume Multigraduado

Propriedade	Unidade	Método de ensaio	Betume multigrado	
Ensaio sobre o betume original				
Penetração [25°C; 100g; 5s]	0,1 mm	EN 1426	35 – 50	
Índice de Penetração	-		>1,5	
Temperatura de amolecimento	°C	EN 1427	62 – 71	
Ponto de fragilidade Fraass	°C	EN 12593	< -12	
Estabilidade ao armazenamento	D T _{AB}	°C	EN 13399; EN 1427	5
	D P _{en}	0,1mm	EN 13399; EN 1426	8
Solubilidade	%	EN 12592	> 99,5	
Teor em água	%		< 0,2	
Ponto de inflamação em vaso aberto	°C		235	
Densidade relativa [25°C]	-		1,0	
Propriedades após TFOT		EN 12607-2		
Variação de massa	%	-	< 1,0	
Penetração retida	% p.o.	EN 1426	> 70	
Variação da temp. amolecimento	°C	EN 1427	-4 a +8	

5.2. Misturas betuminosas para camadas de base

5.2.1. Aspectos gerais

As misturas betuminosas para camadas de base têm essencialmente uma função estrutural, absorvendo as tensões induzidas pelas acções do tráfego e transmitindo-as de forma atenuada à fundação. Devem ser resistentes à fadiga, à propagação de fendas e à acção da água.

O CE EP inclui três tipos de misturas betuminosas para aplicação em camadas de base: os macadames betuminosos 0/25 (fuso A) e 0/37,5 (fuso B) e a Mistura de Alto Módulo.

Os fusos granulométricos especificados para cada um destes tipos de misturas apresentam-se em seguida.

Misturas betuminosas a quente para camadas de base: fusos granulométricos (JAE 1998)

Abertura dos peneiros	Percentagem acumulada de material que passa		
	Camadas de base		
	MB (0/37,5)	MB (0/25)	MAM
37,5 mm	100	-	-
25,0 mm	87 - 100	100	100
19,0 mm	68 - 92	95 - 100	90 - 100
12,5 mm	60 - 80	60 - 91	70 - 90
9,5 mm	50 - 70	51 - 71	60 - 80
4,75 mm	37 - 53	36 - 51	44 - 62
2,36 mm	-	-	30 - 44
2,00 mm	26 - 41	26 - 41	-
0,850 mm	17 - 32	17 - 32	16 - 30
0,425 mm	11 - 25	11 - 25	10 - 21
0,180 mm	5 - 17	5 - 17	7 - 14
0,075 mm	2 - 8	2 - 8	6 - 10

De acordo com as recomendações do Manual de Concepção de Pavimentos, para as classes de tráfego mais elevadas e para as zonas térmicas correspondentes a temperaturas mais elevadas, devem utilizar-se betumes mais duros nas camadas de base e regularização. No entanto, na altura da publicação do Manual de Concepção, os tipos de betume utilizados não eram os mesmos que os utilizados presentemente. No quadro seguinte apresentam-se recomendações relativas aos tipos de betumes a utilizar em camadas de base, tendo em atenção o princípio de que nas situações em condições mais desfavoráveis do ponto de vista do tráfego e / ou das acções climáticas, devem ser utilizados betumes mais duros e ainda, tendo em consideração a prática actual em Portugal.

Para além dos betumes indicados no quadro, podem ainda utilizar-se betumes modificados quando se pretende dispor de misturas com desempenho melhorado, de acordo com o exposto em 5.1.2.

Misturas betuminosas para camadas de base: recomendações relativas aos betumes de pavimentação a utilizar

Zona climática	Mistura	Classe de tráfego		
		T1 ou superior	T2	T3, T4, T5, T6
Quente	MB	35/50	35/50	35/50 50/70
	MAM	10/20	10/20	10/20
Média	MB	35/50	35/50 50/70	35/50 50/70
	MAM	10/20	10/20	10/20
Temperada	MB	35/50 50/70	35/50 50/70	35/50 50/70
	MAM	10/20	10/20	10/20

Com excepção do Macadame Betuminoso 0/37,5 (fuso B), as misturas betuminosas para camadas de base são formuladas com recurso ao método Marshall. No caso do Macadame Betuminoso 0/37,5, a formulação da mistura é realizada essencialmente com base na execução de trechos experimentais.

As misturas betuminosas devem ser estáveis e, ao mesmo tempo, flexíveis, pelo que não são recomendáveis, devido à sua propensão para se tornarem frágeis, as misturas com estabilidade (Marshall) muito alta e reduzida deformação.

No que se refere ao conteúdo de ligante e de filer, também devem ser respeitados os limites estabelecidos, sendo também recomendável que as proporções relativas destes dois elementos se mantenham dentro de certos limites. A proporção entre filer e betume pode variar em função de determinadas características do filer, como por exemplo o índice de vazios Rigden, o aumento da temperatura de anel e bola^(*).

As características especificadas no CE EP para as misturas para camadas de base apresentam-se no quadro seguinte.

() No conjunto de EN presentemente em vigor relativas a agregados e fileres, estão incluídas normas de ensaio para a determinação destas características que se listam em anexo.*

Misturas betuminosas a quente para camadas de base: características das misturas (JAE 1998)

Propriedades		MB (0/37,5)		MB (0/25)	MAM
		(a)	(b)		
Características Marshall	Nº de pancadas	-	75	75	75
	Força de rotura (kN)	-	8 -15	8 -15	≥ 16
	Deformação máxima (mm)	-	4	4	4
	VMA mínimo (%)	-	13	13	13
	Porosidade (%)	4 – 8 ^(c)	4 - 6	4 – 6	2 – 6
Percentagem de betume mínima (%)		4,3	-	-	5,3
Relação filer / betume (%) ^(d)		1,1 -1,5	1,1 – 1,5	1,1 – 1,5	1,3 – 1,5
Resistência à acção da água	IRC mínimo (%)	-	70	70	70

(a) Casos em que a percentagem de material que passa no peneiro de 25 mm é inferior a 100%

(b) Casos em que a percentagem de material que passa no peneiro de 25 mm é 100%

(c) Valor obtido no trecho experimental

(d) Estas relações podem não ser adequadas quando se utilizam certos tipos de fileres como a cal, podendo dar lugar a misturas com excesso de filer. É pois conveniente realizar a dosificação dos diferentes tipos de fileres recorrendo a características volumétricas.

Fabrico e aplicação em obra

Uma vez definida a composição da mistura betuminosa através do estudo laboratorial, deve ser efectuada a sua transposição para a central de fabrico da mistura. Durante o fabrico e aplicação devem ser observadas as tolerâncias apresentadas em seguida, relativamente aos valores de referência obtidos no estudo.

Misturas betuminosas para camadas de base: tolerâncias de fabrico (JAE 1998)

Desvios máximos em relação aos valores de referência		MB ou MAM (D > 16mm)
Percentagem de material que passa no peneiro de abertura	0,075 mm	± 2%
	0,180 mm	± 3%
	2,0 mm	± 4%
	4,75 mm ou superior	± 5%
Percentagem de betume		± 0,3%

Para se conseguir uma adequada regularidade e compactação a mistura deve ser espalhada e compactada a temperaturas adequadas. Esta temperatura deve ser controlada de acordo com as características da mistura e, para além disso, deve-se zelar para que durante a compactação não se produzam ondulações da superfície (temperaturas muito elevadas), nem fendilhamento (temperaturas muito baixas).

A selecção criteriosa de um ou vários tipos de equipamentos de compactação facilita a obtenção da compacidade e da regularidade exigidas. Os cilindros vibradores e cilindros de pneus permitem obter elevadas compacidades, tanto á superfície, como na base das camadas. Os cilindros de rasto liso realizam o acabamento final da mistura, melhorando a sua regularidade superficial.

As especificações do CE EP relativas á compactação e acabamento da superfície apresentam-se em seguida. Estas especificações aplicam-se nos casos em que a camada de base é a segunda camada subjacente à de desgaste ou inferior. Caso a camada de base seja a primeira camada subjacente à de desgaste, aplicam-se os valores estipulados na secção seguinte (camadas de regularização).

Misturas betuminosas a quente para camadas de base: compactação e acabamento da superfície (JAE 1998)

Propriedade		Segunda camada subjacente à de desgaste ou inferior	
		Especificação	% mínima de valores que cumprem
Espessura da camada (e)		$\geq e(\text{projecto})$	95% ^(a)
Compactação Relativa (%) ^(b)		≥ 97	95%
Irregularidade da superfície	Régua de 3m, transversal (mm)	≤ 10	100%
	Régua de 3 m, longitudinal (mm)	≤ 8	100%
	IRI (m/km) ^(c)	$\leq 3,5$	50%
		$\leq 5,0$	80%
$\leq 6,5$		100%	
Diferença de cota em relação ao perfil projectado (mm)		≤ 15	100%

(a) Admite-se uma tolerância máxima de ± 20 mm para os valores de espessuras que não cumprem

(b) Toma-se como referência a baridade Marshall ou a obtida no trecho experimental, nos casos em que o método Marshall não é aplicável

(c) Valores recomendados, com vista a obter uma boa regularidade final da camada de desgaste.

5.2.2. Aspectos particulares relativos a Misturas de Alto Módulo

A camada de base tem uma grande influência no comportamento estrutural do pavimento, sendo a ruína por fendilhamento à fadiga um dos mecanismos de degradação mais frequentes em pavimentos flexíveis. A resistência à fadiga e a rigidez das misturas aplicadas na camada de base têm uma grande influência naquele mecanismo. A utilização de ligantes modificados de baixa penetração (do tipo dos BM-1 referido em 5.1.2.2), que aumentem a rigidez e a resistência à fadiga da mistura betuminosa, permite reduzir significativamente a espessura da camada de base.

Para além das características apresentadas em 5.2.1, em alguns projectos é adoptado um requisito adicional para as Misturas de Alto Módulo (MAM) referente ao seu módulo dinâmico obtido em ensaios de carga repetida, sendo habitual exigir valores da ordem de 10 000 MPa para temperaturas de ensaio de 20°C.

As Misturas de Alto Módulo devem ser fabricadas com conteúdos de ligante relativamente elevados (da ordem de 5,5%, e sempre superiores a 5,3%, de acordo com o exposto na secção anterior), para evitar problemas de fragilidade. Quanto à porosidade, podem-se admitir valores inferiores ao limite mínimo admissível para as misturas tradicionais, uma vez que, devido à elevada viscosidade do betume, não é expectável que a mistura tenha problemas de estabilidade. No entanto, a sua resistência às deformações permanentes pode sempre ser avaliada em ensaios de pista em laboratório.

5.3. Misturas betuminosas para camadas de regularização

5.3.1. Aspectos gerais

As misturas betuminosas para camadas de regularização, colocadas entre as camadas de base e de desgaste, devem contribuir para garantir uma boa regularidade superficial do pavimento e impermeabilizar as camadas inferiores. Devem pois ser pouco permeáveis e, simultaneamente, ter uma boa resistência às deformações permanentes.

O CE EP inclui cinco tipos de misturas betuminosas para aplicação em camadas de regularização: o macadame betuminoso 0/25 (fuso A), a Mistura Betuminosa Densa, a Mistura de Alto Módulo, a Argamassa Betuminosa e o Betão Betuminoso subjacente a camada de desgaste.

Os fusos granulométricos especificados para cada um destes tipos de misturas apresentam-se em seguida.

Misturas betuminosas a quente para camadas de regularização: fusos granulométricos (JAE 1998)

Abertura dos peneiros	Porcentagem acumulada de material que passa				
	Camadas de regularização				
	MB (0/25)	MBD	MAM	AB	BBs
25,0 mm	100	100	-	-	-
19,0 mm	95 - 100	85 - 100	100	-	-
16,0 mm	-	-	90 - 100	-	100
12,5 mm	60 - 91	73 - 87	80 - 95	-	80 - 90
9,5 mm	51 - 71	-	62 - 82	100	66 - 82
4,75 mm	36 - 51	45 - 60	42 - 60	95 - 100	45 - 65
2,36 mm	-	-	30 - 44	-	-
2,00 mm	26 - 41	32 - 46	-	70 - 85	30 - 42
0,850 mm	17 - 32	-	16 - 30	-	-
0,425 mm	11 - 25	16 - 27	10 - 21	25 - 40	12 - 20
0,180 mm	5 - 17	9 - 18	7 - 14	12 - 20	8 - 15
0,075 mm	2 - 8	5 - 10	6 - 10	7 - 10	5 - 10

Podem-se aplicar recomendações idênticas às apresentadas para camadas de base relativamente aos betumes a empregar nas misturas betuminosas para camadas de regularização. No entanto, mesmo para tráfegos menos intensos (T3 ou inferior), poder-se-á ter necessidade de recorrer preferencialmente a betumes da classe 35/50, uma vez que a garantia de um bom comportamento à deformação permanente é essencial para as camadas de regularização, dado que estas se situam mais próximas da superfície. No caso da argamassa betuminosa, o CE EP prevê, quer a utilização de betumes tradicionais quer a utilização de betumes modificados. Para os restantes tipos de misturas, embora tal não seja explicitamente contemplado no CE EP, o uso de betumes modificados pode trazer melhorias significativas ao desempenho das misturas.

A metodologia de formulação das misturas betuminosas para camadas de regularização é semelhante à utilizada nas misturas para camadas de base, já anteriormente resumida. As características especificadas no CE EP para as misturas aplicadas em camadas de regularização apresentam-se no quadro da página seguinte.

Misturas betuminosas a quente para camadas de regularização: características das misturas (JAE 1998)

Propriedades		MB (0/25)	MBD	MAM	AB	BBs
Características Marshall	Nº de pancadas	75	75	75	50	75
	Força de rotura (kN)	8 - 15	8 - 15	≥ 16	≥ 6	8 - 15
	Deformação máxima (mm)	4	4	4	5	4
	VMA mínimo (%)	13	13	14	15	14
	Porosidade (%)	4 - 6	3 - 6	2 - 6	3 - 6	4 - 6
Percentagem de betume mínima (%)		-	-	5,3	-	-
Relação filer / betume (%) ^(a)		1,1 - 1,5	1,1 - 1,5	1,3 - 1,5	-	1,1 - 1,5
Resistência à acção da água	IRC mínimo (%)	70	75	75	-	75

(a) Estas relações podem não ser adequadas quando se utilizam certos tipos de fileres como a cal, podendo dar lugar a misturas com excesso de filer. É pois conveniente realizar a dosificação dos diferentes tipos de fileres recorrendo a características volumétricas.

Embora tal não seja referido no CE EP, em Portugal é frequente avaliar a resistência à deformação permanente das misturas betuminosas aplicadas em camada de regularização através de ensaios de simulação em pista de laboratório. Estes ensaios são realizados em complemento aos estudos de formulação pelo método Marshall, especialmente quando se está em presença de pavimentos destinados a tráfego muito pesado e / ou em condições climáticas muito desfavoráveis, utilizando-se o método de ensaio preconizado na norma NLT-173, e os critérios para a classificação adoptados em Espanha. Existe já uma norma europeia (EN 12697-22) relativa à realização de ensaios de pista. Presentemente, não existe em Portugal experiência suficiente com a aplicação dessa norma, para que se possam estabelecer critérios de classificação das misturas, com base nos parâmetros estabelecidos na mesma.

Salienta-se que é muito importante assegurar que a resistência à deformação permanente das misturas betuminosas empregues em camadas de regularização é adequada, sobretudo no caso da mistura betuminosa densa, da argamassa betuminosa ou do betão betuminoso subjacente ao desgaste que, pela sua maior quantidade de mástique (finos e ligante) e pela sua eventual reduzida porosidade, podem ter maior propensão para a deformação.

Nalgumas misturas para camada de regularização (MAM e BBs) é exigido o cumprimento de uma percentagem mínima de filer comercial, no caso de os agregados serem graníticos, conforme apresentado em 5.1.1. Relativamente à relação entre as quantidades de filer e de betume observa-se que os limites estabelecidos podem variar em função de determinadas características do filer, como por exemplo o índice de vazios Rigden, ou a aumento da temperatura de anel e bola.

Fabrico e aplicação em obra

À semelhança das misturas para camadas de base, deve ser efectuada a transposição do estudo de composição para a central de fabrico da mistura. Durante o fabrico e aplicação devem ser observadas as tolerâncias apresentadas em seguida, relativamente aos valores de referência obtidos no estudo.

Misturas betuminosas para camadas de regularização: tolerâncias de fabrico (JAE 1998)

Desvios máximos em relação aos valores de referência		MB ou MBD (D > 16mm)	MAM, AB ou BBs (D ≤ 16mm)
Percentagem de material que passa no peneiro de abertura	0,075 mm	± 2%	± 1%
	0,180 mm	± 3%	± 2%
	2,0 mm	± 4%	± 3%
	4,75 mm ou superior	± 5%	± 4%
Percentagem de betume		± 0,3%	± 0,3%

As recomendações já apresentadas em 5.2 relativas à compactação e acabamento da superfície são também aplicáveis às misturas para camada de regularização, apresentando-se em seguida as especificações da EP para estas camadas.

Misturas betuminosas a quente para camadas de regularização: compactação e acabamento da superfície (JAE 1998)

Propriedade		Especificação	% mínima de valores que cumprem
Espessura da camada (e)		≥ e (projecto)	95% ^(a)
Compactação Relativa (%) ^(b)		≥ 97	95%
Irregularidade da superfície	Régua de 3m, transversal (mm)	≤ 8	100%
	Régua de 3 m, longitudinal (mm)	≤ 5	100%
	IRI (m/km) ^(c)	≤ 2,5	50%
		≤ 3,5	80%
≤ 4,5		100%	
Diferença de cota em relação ao perfil projectado (mm)		≤ 15	100%

(a) Admite-se uma tolerância máxima de ± 10 mm para os valores de espessuras que não cumprem

(b) Toma-se como referência a baridade Marshall

(c) Valores recomendados, com vista a obter uma boa regularidade final da camada de desgaste.

5.3.2. Aspectos particulares relativos a Misturas de Alto Módulo

As recomendações já apresentadas em 5.2.2 relativas à aplicação de Misturas de Alto Módulo em camadas de base aplicam-se também no que concerne à utilização deste tipo de misturas em camadas de regularização.

5.4. Misturas betuminosas para camadas de desgaste

5.4.1. Aspectos gerais

As misturas betuminosas aplicadas em camadas de desgaste desempenham funções, tanto estruturais como funcionais. No entanto, as características funcionais são preponderantes na formulação destas misturas, o que tem levado ao desenvolvimento de misturas betuminosas especiais para camadas de desgaste, tais como as misturas drenantes ou as misturas rugosas, de elevada textura e excelente comportamento em vias rápidas e em presença da água.

De entre os tipos de misturas para camadas de desgaste preconizados no CE EP, as que se aplicam na generalidade das obras em Portugal são o Betão Betuminoso, o Betão Betuminoso Drenante, o Betão Betuminoso Rugoso e o Micro-Betão Betuminoso Rugoso.

O Betão Betuminoso (BB) aplicado em camada de desgaste é uma mistura pouco permeável, resistente à acção abrasiva do tráfego, cuja macrotextura pode ser relativamente baixa, pelo que nem sempre é a mais adequada para vias com elevadas velocidades de circulação e em climas chuvosos.

O Betão Betuminoso Drenante (BBD) tem características especiais para aplicação em camada de desgaste, por forma a melhorar a segurança e comodidade da circulação. Este tipo de mistura é particularmente indicado para eliminar ou reduzir os problemas de hidroplanagem dos veículos que circulam sobre o pavimento com chuva e para reduzir o ruído de rolamento. Por outro lado, estas misturas apresentam uma menor resistência aos efeitos abrasivos do tráfego, e podem colmatar-se quando aplicadas em zonas onde não chove com frequência e se acumule sujidade.

As misturas rugosas, e em particular o Betão Betuminoso Rugoso e Micro-Betão Betuminoso Rugoso (MBBR), proporcionam uma excelente macrotextura, tendo no entanto uma maior percentagem de material fino que as misturas drenantes, pelo que têm uma maior resistência à acção abrasiva do tráfego que o BBD.

Os fusos granulométricos especificados no CE EP para cada uma das misturas anteriormente referidas apresentam-se em seguida.

Misturas betuminosas a quente para camadas de desgaste: fusos granulométricos (JAE 1998)

Abertura dos peneiros	Percentagem acumulada de material que passa			
	Camadas de desgaste			
	BB	BBR	BBD	MBBR
19,0 mm	-	100	100	-
16,0 mm	100	-	-	-
12,5 mm	80 - 88	70 - 90	80 - 100	100
9,5 mm	66 - 76	60 - 75	50 - 80	80 - 100
4,75 mm	43 - 55	32 - 42	15 - 30	30 - 42
2,00 mm	25 - 40	22 - 30	10 - 22	22 - 32
0,850 mm	-	-	6 - 13	15 - 26
0,425 mm	10 - 18	11 - 20	-	12 - 24
0,180 mm	7 - 13	-	-	9 - 18
0,075 mm	5 - 9	6 - 10	3 - 6	7 - 12

Actualmente, têm-se vindo a utilizar predominantemente betumes da classe 35/50 na execução betão betuminoso para camadas de desgaste, podendo-se também utilizar betumes 50/70, em particular para as classes de tráfego mais ligeiro e para zonas climáticas favoráveis.

Anota-se que a utilização de betumes mais duros na camada de desgaste tem como vantagem o aumento da resistência à deformação permanente, mas pode contribuir para uma maior fragilidade da mistura, com eventual redução da resistência ao fendilhamento com origem à superfície. A utilização de betumes modificados nas misturas para camadas de desgaste é uma alternativa que permite minimizar esses problemas. No caso do Betão Betuminoso Drenante do Betão Betuminoso Rugoso, ou do Micro-Betão Betuminoso Rugoso, o uso de betumes modificados com polímeros obedecendo às características apresentadas em 5.1.2.2 é obrigatória.

À semelhança das misturas para camadas de base e de desgaste, o Betão Betuminoso para camada de desgaste é formulado com recurso ao método Marshall. Quanto ao Betão Betuminoso Drenante ao Betão Betuminoso Rugoso, e ao Micro-Betão Betuminoso Rugoso, é utilizado o compactador Marshall para o fabrico de provetes destinados a determinar características de resistência, tais como a resistência à acção da água ou a perda por desgaste no ensaio Cântabro. As restantes características são determinadas com recurso à execução de trechos experimentais.

As características a exibir pelos vários tipos de misturas empregues em camadas de desgaste, de acordo com o CE EP (JAE 1998), apresentam-se no Quadro seguinte.

Misturas betuminosas a quente para camadas de desgaste: características das misturas (JAE 1998)

Propriedades		BB	BBR	BBD	MBBR
Características Marshall	Nº de pancadas	75	75	50	50
	Força de rotura (kN)	8 - 15	≥ 8	-	-
	Deformação máxima (mm)	4	4	-	-
	VMA mínimo (%)	14	14	-	-
	Porosidade (%)	4 - 6	3 - 5	-	-
Porosidade [trecho experimental] (%)		-	-	22 - 30	3 - 6
Percentagem de betume mínima (%)		-	5	4	5
Relação filer / betume (%) ^(a)		1,1 - 1,5	-	-	-
Resistência à acção da água	IRC mínimo (%)	75	80	80	80
Perda por desgaste no ensaio Cântabro, máxima (%)		-	-	25	-

(a) Esta relação pode não ser adequada quando se utilizam certos tipos de fileres como a cal, podendo dar lugar a misturas com excesso de filer. É pois conveniente realizar a dosificação dos diferentes tipos de fileres recorrendo a características volumétricas.

No que se refere ao conteúdo de ligante e de filer, devem ser respeitados os limites estabelecidos, sendo obrigatória a utilização de determinadas percentagens de filer comercial, de acordo com o apresentado em 5.1.1. É também recomendável que as proporções relativas de betume e de filer se mantenham dentro de certos limites, que podem variar em função de determinadas características do filer, como por exemplo o índice de vazios Rígidon, ou a aumento da temperatura de anel e bola.

Fabrico e aplicação em obra

Uma vez definida a composição da mistura betuminosa através do estudo laboratorial, deve ser efectuada a sua transposição para a central de fabrico da mistura. Durante o fabrico e aplicação devem ser observadas as tolerâncias apresentadas em seguida, relativamente aos valores de referência obtidos no estudo.

Misturas betuminosas para camadas de desgaste: tolerâncias de fabrico (JAE 1998)

Desvios máximos em relação aos valores de referência		BB, BBR,BBD ou MBBR (D ≤ 16 mm)
Percentagem de material que passa no peneiro de abertura	0,075 mm	± 1%
	0,180 mm	± 2%
	2,0 mm	± 3%
	4,75 mm ou superior	± 4%
Percentagem de betume		± 0,3%

Para o espalhamento e compactação do betão betuminoso tradicional, devem-se seguir as recomendações já apresentadas em 5.2 a propósito das misturas aplicadas em camadas de base. As recomendações específicas para o Betão Betuminoso Drenante, Betão Betuminoso Rugoso e o Micro-Betão Betuminoso Rugoso apresentam-se nas secções seguintes.

As especificações do CE EP relativas á compactação e acabamento da superfície apresentam-se em seguida.

Misturas betuminosas a quente para camadas de desgaste: requisitos gerais para a compactação e acabamento da superfície (JAE 1998)

Propriedade		Especificação	% mínima de valores que cumprem
Espessura da camada (e)		≥ e (projecto)	95%(a)
Compactação Relativa (%) ^(b)		≥ 97	95%
Irregularidade da superfície	Régua de 3m, transversal (mm)	≤ 5	100%
	Régua de 3m, longitudinal (mm)	≤ 3	100%
	IRI (m/km)	≤ 1,5	50%
		≤ 2,5	80%
		≤ 3,0	100%
Diferença de cota em relação ao perfil projectado (mm)		≤ 15	100%

(a) Admite-se uma tolerância máxima de ± 5 mm para os valores de espessuras que não cumprem

(b) Não aplicável ao BBD e ao MBBR. Para o BB toma-se como referência a baridade Marshall.

Misturas betuminosas a quente para camadas de desgaste. requisitos relacionados com as características anti-derrapantes (JAE 1998)

Propriedade		BB	BBR	BBD	MBBR
Drenagem superficial	Profundidade de textura (mm)	> 0,6	> 1,0	> 1,2	> 1,0
	Permeabilidade [LCS]	-	-	10 – 30 s	-
Coeficiente de atrito	Em contínuo [SCRIM, 50 km/h]	> 0,4			
	Pontual [Pêndulo Britânico, 500 / 500 m]	0,55			

5.4.2. Aspectos particulares relativos ao Betão Betuminoso Drenante

As misturas drenantes só devem ser aplicadas em estradas inseridas em zonas onde não haja ocorrência de neve ou formação de gelo, que tenham um regime de pluviosidade razoavelmente constante, que facilite a sua limpeza, cujos acessos estejam pavimentados e destinados a tráfegos relativamente elevados. Estas misturas não se aplicam sobre tabuleiros de obras de arte que não estejam devidamente impermeabilizados e, em qualquer caso, devem prever-se sistemas específicos de captação e eliminação da água infiltrada através do pavimento.

Em Portugal, o Betão Betuminoso Drenante é geralmente aplicado numa espessura constante de 4 cm.

Para melhorar a eficácia das misturas drenantes e reduzir o problema da sua colmatção, podem utilizar-se também sistemas com dupla camada drenante, que consistem em aplicar primeiro uma camada com agregado mais grosso, de dimensão máxima entre 12 e 20 mm, que proporciona vazios de maior tamanho e mais difíceis de colmatar pelas poeiras, seguida de uma camada superficial de agregado mais fino, de dimensão máxima entre 8 e 10 mm, com o objectivo de proporcionar um maior conforto ao utente, reduzir o ruído e com capacidade para evacuar a água.

A formulação das misturas drenantes é efectuada através da porosidade, verificada em trecho experimental, da resistência conservada e da limitação da perda por desgaste no ensaio Cântabro, de acordo com os limites apresentados em 5.4.1. Devem ser ainda respeitadas as percentagens mínimas de ligante modificado, também apresentada em 5.4.1 e de filer comercial, apresentada em 5.1.1.

As misturas drenantes são facilmente compactáveis, recorrendo-se a cilindros de rasto liso estáticos, que permitem atingir uma excelente regularidade. Embora não seja necessária uma elevada energia de compactação a compactação deve ser realizada de forma adequada, caso contrário produziria-se uma rápida desagregação da mistura.

5.4.3. Aspectos particulares relativos ao Micro-Betão Betuminoso Rugoso

Os betões betuminosos rugosos proporcionam camadas de desgaste com uma excelente macrotextura, melhorando a segurança da circulação com chuva e com pavimento molhado, reduzindo também o ruído. Este tipo de misturas é geralmente aplicado em estradas e auto-estradas destinadas a tráfegos relativamente elevados. Em Portugal, o Micro-Betão Betuminoso Rugoso é aplicado em espessuras de 2,5 a 3,5 cm. e o Betão Betuminoso Rugoso em espessuras um pouco superiores.

A formulação do Betão Betuminoso Rugoso é efectuada através da porosidade, verificada em trecho experimental, e da resistência conservada, de acordo com os limites apresentados em 5.4.1. Devem ser ainda respeitadas as percentagens mínimas de ligante modificado, também apresentada em 5.4.1 e de filler comercial, apresentada em 5.1.1.

Este tipo de misturas é relativamente fácil de compactar, não requerendo equipamentos de compactação muito pesados. A sua compactação realiza-se basicamente recorrendo a cilindros de rasto liso sem vibração mas, dada a sua pequena espessura, é difícil controlar a compactação obtida. Assim, e para assegurar uma boa compactação, é muito importante controlar o modo de execução, em particular a temperatura de compactação e o número de passagens.