

Disposições Normativas

CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS

RECICLAGEM DE PAVIMENTOS



Instituto de Infra-Estruturas
Rodoviárias IP

Construção e Reabilitação de Pavimentos Reciclagem de Pavimentos

DOCUMENTO BASE

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS E CONSTRUTIVAS PARA PROJECTOS DE CONSTRUÇÃO OU REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS RECICLAGEM DE PAVIMENTOS

ÍNDICE DE CAPÍTULOS

1.	OBJECTIVOS E CAMPO DE APLICAÇÃO	3
2.	TIPOS DE RECICLAGEM	3
3.	RAZÕES DA ESCOLHA DA SOLUÇÃO DA RECICLAGEM	3
4.	RECICLAGEM <i>IN SITU</i> A FRIO COM EMULSÃO BETUMINOSA	6
5.	RECICLAGEM EM CENTRAL A QUENTE DE CAMADAS DE MISTURAS BETUMINOSAS ENVELHECIDAS	6
5.1.	SUORTE LEGISLATIVO	8
5.2.	CENTRAIS E PROCESSOS DE FABRICO	10
5.2.1.	<i>Centrais Betuminosas Descontínuas</i>	10
5.2.2.	<i>Centrais Betuminosas Contínuas</i>	13
5.2.3.	ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS PARA CADERNO DE ENCARGOS	16
5.2.4.	<i>Percentagem de MBF a utilizar na MBR</i>	18
5.2.5.	<i>Características da mistura betuminosa MBR</i>	19
5.2.6.	<i>Ligante betuminoso do material betuminoso a reciclar</i>	20
5.2.7.	<i>Agregado do material betuminoso a reciclar</i>	21
5.2.8.	<i>Tipo e composição da mistura</i>	21
5.2.9.	<i>Equipamento necessário para a execução das obras</i>	22
5.2.10.	<i>Execução das obras</i>	23
5.2.11.	<i>Controlo da qualidade</i>	24
5.2.12.	<i>Controlo de execução</i>	25
5.2.13.	<i>Trecho experimental</i>	26
5.2.14.	6.10 - Especificações da camada terminada	26
5.2.15.	<i>Critérios de aceitação ou rejeição</i>	26
5.2.16.	REFERÊNCIAS	27
6.	RECICLAGEM EM CENTRAL SEMI-QUENTE DE CAMADAS DE MISTURAS BETUMINOSAS	28
6.1.	ESTUDOS DE LABORATÓRIO	28
6.1.1.	MATERIAL FRESADO	28
6.2.	LIGANTE BETUMINOSO	28
6.3.	MISTURAS BETUMINOSAS RECICLADAS	28
6.4.	OUTROS ENSAIOS	29
6.4.1.	<i>Resistência à compressão diametral</i>	29
6.4.2.	<i>Ensaio de pista</i>	29
6.4.3.	<i>Ensaio de fadiga</i>	29
6.5.	RECICLAGEM <i>IN SITU</i> A FRIO COM CIMENTO DE CAMADAS DE PAVIMENTOS	30
6.6.	MATERIAIS	30
6.6.1.	<i>Cimento</i>	30
6.6.2.	<i>Materiais a reciclar in situ</i>	31
6.6.3.	<i>Água</i>	32
6.6.4.	<i>Agregados novos de adição</i>	32

6.6.5. Aditivos	32
6.6.6. Tipo e composição da mistura reciclada.....	33
6.7. EQUIPAMENTOS A UTILIZAR.....	34
6.7.1. Equipamento de reciclagem	34
6.7.2. Equipamento de compactação	35
6.8. MÉTODO CONSTRUTIVO	35
6.8.1. Preparação da superfície existente.....	35
6.8.2. Fresagem da parte do pavimento a reciclar e adição dos novos materiais 35	
6.8.3. Mistura	36
6.8.4. Incorporação de agregados novos	36
6.8.5. Compactação.....	36
6.8.6. Acabamento da superfície	37
6.8.7. Juntas de trabalho e interfaces com caixas de visita.....	38
6.8.8. Tratamento de cura e protecção superficial.....	39
6.8.9. Limitações de execução	39
6.9. ESTUDOS, INSPECÇÕES E ENSAIOS.....	39
6.9.1. Estudos laboratoriais prévios.....	39
6.9.2. Trechos experimentais	42
6.9.3. Controlo da execução	44
Espessura da camada tratada	46
Grau de compactação	46
Resistência mecânica	46
Módulo de deformabilidade EV2	46
Regularidade da camada executada in situ.....	47
6.9.4. Normas dos métodos de ensaio referenciadas	47
6.10. CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO E REJEIÇÃO.....	48
6.10.1. Definição de lote.....	48
6.10.2. Grau de compactação.....	48
6.10.3. Resistência mecânica	49
6.10.4. Espessura da camada tratada	49
6.10.5. Regularidade.....	49
6.11. CRITÉRIO DE MEDIÇÃO.....	49

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS E CONSTRUTIVAS PARA PROJECTOS DE CONSTRUÇÃO OU REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS RECICLAGEM DE PAVIMENTOS

1. OBJECTIVOS E CAMPO DE APLICAÇÃO

O objectivo da presente Disposição Técnica é o de estabelecer as Especificações Técnicas e Construtivas para Projectos de Construção ou Reabilitação de Pavimentos para cumprimento harmonizado por todas as concessionárias de estradas.

A elaboração de especificações técnicas de materiais e de processos construtivos para inclusão nos actuais cadernos de encargos de execução e manutenção de infra-estruturas dos diversos donos de obra nacionais, permite dotar as empreitadas nacionais de construção nova ou as de conservação de critérios uniformes.

2. TIPOS DE RECICLAGEM

Nas empreitadas nacionais podem ser utilizados os seguintes tipos de reciclagem:

- a) Reciclagem em central a quente de camadas de misturas betuminosas envelhecidas;
- b) Reciclagem em central semi-quente de camadas de misturas betuminosas;
- c) Reciclagem *in situ* a quente com betume espuma;
- d) Reciclagem *in situ* a frio com emulsão betuminosa;
- e) Reciclagem *in situ* a frio com cimento de camadas de pavimentos.

3. RAZÕES DA ESCOLHA DA SOLUÇÃO DA RECICLAGEM

São bem conhecidas e evidentes as vantagens da técnica da reciclagem do ponto de vista de protecção do meio ambiente e ecológicas, em virtude de uma menor necessidade de extracção de materiais granulares em pedreiras ou seixeiros (actividades extractivas, impacto visual, destruição dos ecossistemas), uma menor ou nenhuma necessidade de levar os materiais existentes degradados a vazadouros, um menor consumo de energia, entre outras.

Com efeito, em muitas regiões do país é já escassa a existência de materiais granulares de qualidade adequada para utilização em misturas betuminosas, o que faz com que seja necessário utilizar materiais de proveniência distante do local da obra, com o conseqüente sobrecusto.

Para além destas vantagens de conservação de recursos, energéticas e económicas, existem diversas vantagens técnicas, como sejam:

- a) uniformizar e melhorar as características estruturais e de regularidade, sem a incorporação, ou pouca incorporação, de novos materiais, mantendo ou modificando ligeiramente a rasante;
- b) correcção do perfil longitudinal ou transversal da estrada, o qual se encontra na maioria das vezes irregular, dado tratar-se, geralmente, de pavimentos deteriorados no final da sua vida útil;
- c) permitir a reabilitação estrutural em faixas individualizadas, principalmente em vias com mais de uma faixa por sentido, nas quais as degradações mais importantes são visíveis na faixa do tráfego pesado;
- d) permitir a colocação da camada de reforço sobre uma plataforma não deteriorada, e portanto sem fendas, conseguindo-se, assim, um maior período de “vida” em serviço;
- e) remoção das fendas existentes no pavimento, eliminando assim o fenómeno de reflexão de fendas, existente no caso do reforço efectuado sobre misturas betuminosas fendilhadas;
- f) permitir as operações construtivas, sem fechar a estrada à circulação de tráfego, nas faixas adjacentes.

As obras de reciclagem efectuadas em Portugal nos últimos anos (técnicas a frio *in situ*), tiveram ainda em conta as desvantagens associadas aos processos tradicionais, como sejam:

- a execução de uma fresagem das misturas betuminosas mais degradadas e o transporte destas a vazadouro, seguida da execução de um reforço com novas misturas betuminosas, o que implica um consumo superior de materiais e de energia.

Mesmo sendo a reciclagem *in situ* a frio completada quase sempre por um reforço de misturas betuminosas, cuja espessura mínima normal é de 5 a 6 cm, consoante o tipo e volume de tráfego, esta técnica supõe sempre uma economia de materiais, relativamente à solução convencional anteriormente descrita.

Outras vantagens associadas são:

- uma menor necessidade de transporte de materiais de pavimentação, quer entre o local de obtenção das matérias-primas e o estaleiro da obra, quer entre este e o local da obra. A diminuição da circulação dos camiões de obra pela rede de estradas, muitas vezes com as cargas acima da carga máxima legal, apresenta vantagens não só do ponto de vista económico, mas também pelo facto de evitar a deterioração dos pavimentos por onde circulam;
- a manutenção da cota da rasante da estrada no caso de travessias de zonas urbanas, cruzamentos, estruturas de passeios, zonas de *gabarit* limitado como túneis e passagens inferiores a viadutos, entre outras;

- a rapidez de execução associada aos novos equipamentos de reciclagem, espalhamento e pavimentação disponíveis, e a possibilidade de ir abrindo rapidamente à circulação as zonas tratadas, sem a formação de desníveis laterais entre faixas, que nas soluções tradicionais ocorrem, principalmente quando as espessuras de fresagem ou reforço são apreciáveis. Este aspecto é muito importante do ponto de vista da segurança de circulação, nomeadamente em estradas com tráfego importante ou de faixas estreitas.

- a utilização da técnica conduz a uma eliminação das fendas existentes e a uma homogeneização das características dos materiais, que anteriormente apresentavam um comportamento mecânico diferenciado, conduzindo assim a um correcto dimensionamento do reforço e a uma correcta gestão da manutenção desse pavimento.

No caso da reciclagem a quente em central implica um custo adicional, no que respeita ao transporte dos materiais, mas é compensado pela melhor precisão na dosificação e selecção dos componentes e nas características de resistência dos materiais.

O caso mais geral, na rede de estradas do país, é a existência de estradas cujos pavimentos sofreram ao longo dos anos variadas operações de enchimentos, saneamentos, tratamentos superficiais, reforços, etc, de espessuras e materiais muito diversos. Por outro lado, a superfície do pavimento apresenta vários tipos e estágios de degradação, tais como ondulações, deformações, fendas, exsudação do betume, etc.

A técnica de reciclagem apresenta as seguintes vantagens:

- A reciclagem afigura-se uma técnica interessante para o tratamento de pavimentos com problemas de fendilhamento, irregularidades ou outro tipo de patologias.

- É uma solução económica, relativamente às soluções tradicionais de reforço do pavimento.

- Apresenta vantagens do ponto de vista ecológico e de protecção do meio ambiente, ao não ser necessário recorrer a vazadouros e à extracção de agregados novos, e no caso da reciclagem a frio não aplicar calor às misturas betuminosas do pavimento (consumo de energia e emissão de voláteis).

No entanto, afigura-se que devem ser melhorados os seguintes aspectos:

- Definição dos estudos e ensaios de formulação e de controlo das características dos materiais;

- Conhecimento do comportamento dos materiais reciclados e a sua evolução no tempo (características resistentes e previsões de durabilidade).

Em resumo, considera-se que a técnica de reciclagem é uma tecnologia muito interessante e com um futuro muito promissor pelo que devem continuar as experiências e as investigações para melhorar as características dos materiais, dos

equipamentos, e o tipo do controlo de execução das obras, de modo a assegurar a qualidade final exigida.

A reciclagem, é assim, mais uma opção de reabilitação de pavimentos degradados, e não deve reciclar-se simplesmente porque é um cenário ecológico, mas sim, porque é tecnicamente adequado e dela derivam vantagens económicas, tanto para as empresas como para as administrações. O possível interesse da reciclagem deve ser analisada, caso a caso, ponderando cuidadosamente as distintas possibilidades.

4. RECICLAGEM *IN SITU* A FRIO COM EMULSÃO BETUMINOSA

A reciclagem *in situ* a frio, a primeira técnica a ser utilizada no nosso país, consiste essencialmente em fresar o pavimento existente numa espessura pré-determinada, com o objectivo, de no mesmo sítio, misturar o material resultante com um ou vários ligantes, sem aquecimento, colocá-lo e compactá-lo, assegurando a espessura desejada para a camada. O material da construção inicial, degradado, é então reciclado e processado formando uma nova camada do pavimento de resistência mecânica melhorada.

Os ligantes utilizados podem ser a emulsão betuminosa ou o cimento. No caso da reciclagem a frio com emulsão betuminosa é muitas vezes adicionado o cimento e/ou a cal, em percentagens da ordem de 1 a 2%, de modo a facilitar ou acelerar a rotura da emulsão, reduzir a sensibilidade à água, especialmente com materiais argilosos ou contaminados, corrigir a granulometria ou aumentar a coesão do material resultante. Este tipo de reciclagem, o qual emprega os dois tipos de ligantes (betuminosos e hidráulicos) é muitas vezes designado por reciclagem mista a frio.

As espessuras das camadas interessadas na reciclagem são geralmente de 12 a 15 cm, com valores máximos de 20 cm. O tratamento em espessuras menores, 5 a 6 cm é possível em muitos casos, não com o objectivo de melhorar directamente a capacidade de suporte do pavimento, mas para efeitos, por exemplo, de impermeabilização do pavimento, ou outra.

Como limitação desta técnica é de referir a sensibilidade deste processo a factores, tais como, o teor em humidade e a granulometria dos agregados, e climáticos. Por outro lado, pretende-se que o material reciclado tenha características de camada de base, pelo que não podem ser utilizados como camada de desgaste.

5. RECICLAGEM EM CENTRAL A QUENTE DE CAMADAS DE MISTURAS BETUMINOSAS ENVELHECIDAS

A reciclagem *in situ* a quente, muitas vezes designada termoregeneração, termoreperfilagem ou termoreciclagem, envolve um trem de equipamentos, em que um deles está munido de painéis radiantes, que no local elevam a temperatura da superfície do pavimento, facilitando, assim, a desagregação

do material superficial, por uma fresadora. O material depois de solto, é então misturado com um betume mole ou um agente rejuvenescedor. A técnica pode levar-se a cabo com a incorporação, ou não, de novos agregados, realizando a operação de mistura com o mesmo trem de equipamento.

Trata-se de uma boa técnica para correcção, por exemplo, de anomalias superficiais, ficando, no entanto, a regeneração do ligante betuminoso muito limitada, pela oxidação a que o betume envelhecido é sujeito, devido à passagem dos painéis radiantes. Outra limitação desta técnica é a espessura a regenerar, uma vez que, para se conseguirem temperaturas suficientes em espessuras mais elevadas, conduz a um aquecimento excessivo da superfície. As espessuras máximas recomendadas são geralmente da ordem de 6 ou 7 cm.

Como a termoregeneração e a adição de agentes rejuvenescedores, altamente contaminantes, poderá ter efeitos negativos, em termos ambientais e de segurança, actualmente as experiências vão no sentido da regeneração em central ou *in situ*, mas utilizando centrais móveis. Os ligantes utilizados nestes casos são betumes modificados com polímeros, de alta concentração. O ligante betuminoso modificado é capaz de regenerar o betume envelhecido oxidado, contido no pavimento a reciclar, e de dotar a nova mistura betuminosa de elevadas propriedades mecânicas e excelente comportamento ao longo do tempo. Este tipo de reciclagem, denominada mista, consiste na fresagem a frio do material do pavimento, e posterior mistura, de 100% do material a reciclar, numa central móvel que segue junto ao equipamento de fresagem. Nestes casos a espessura da camada a reciclar não deverá exceder os 12 cm (15 cm como valor absoluto).

A reciclagem em central fixa, por métodos convencionais, envolve sempre técnicas de fresagem, de transporte do material fresado, de armazenamento e de produção a quente de misturas betuminosas. Pode, assim, ser utilizado como processo de regeneração de pavimentos ou de aproveitamento de materiais fresados obtidos noutros trechos de estrada. Nestes casos as percentagens de materiais a reciclar que entram na composição das misturas betuminosas não ultrapassam os 40 a 50% e os betumes utilizados são geralmente betumes menos duros.

Actualmente, o grande desenvolvimento no campo da tecnologia de centrais betuminosas e no aparecimento de novos tambores misturadores impulsionaram bastante esta técnica e permitem a utilização de maiores percentagens de material a reciclar.

A reciclagem a quente *in situ* não tem tido grande implementação em Portugal, em virtude do elevado custo dos equipamentos associados. Pelo contrário, as técnicas a frio têm tido um maior desenvolvimento, dado

utilizarem equipamentos simples e de possível utilização noutros processos construtivos, como sejam as estabilizações da fundação dos pavimentos com cimento e/ou cal.

Estão-se nesta altura a desenvolver estudos e experiências, nas quais se utiliza na reciclagem in situ a espuma de betume ou betume expandido ao injectar-se uma pequena quantidade de água fria ao betume quente. As propriedades físicas do betume alteram-se temporariamente, aumentando consideravelmente o seu volume (10 a 20 vezes) durante um curto período de tempo. Este processo produz uma diminuição importante da viscosidade do betume o que torna possível o envolvimento de agregados frios e até húmidos, agregados ou areias naturais e mesmo argilas de baixa plasticidade.

5.1. SUPORTE LEGISLATIVO

O documento intitulado “Directivas Ambientais sobre as Melhores Técnicas Disponíveis (BAT) para a Produção de Misturas Betuminosas” elaborado pela EAPA [4], contém resumidamente a evolução da legislação em matéria de ambiente na Comunidade Europeia, até ao actual 5º Programa de Acção Ambiental, no que se refere à produção de misturas betuminosas. O documento BAT (*Best Available Techniques*, na terminologia inglesa) refere as tecnologias de redução do impacte ambiental que sejam “razoáveis, económicas e eficazes na prática”.

O Quinto Programa de Acção Ambiental, intitulado “*Towards Sustainability*”, publicado pela Comunidade Europeia em 1992, expõe a abordagem ambiental exigida pela indústria e outros sectores, afastando-se da filosofia “obrigatoriedade e fiscalização” utilizada nas directivas precedentes, para uma outra baseada em instrumentos de mercado, incluindo incentivos fiscais e económicos, reforçando o conceito de “subsidiaridade” em assuntos ambientais.

Esta nova abordagem foi complementada por reforços posteriores dos aspectos ambientais, reflectida no Acto Único Europeu através do Tratado de Maastricht da União Europeia.

Ao referir-se à indústria de fabrico, o Quinto Programa de Acção estipulava que “um dos principais objectivos da política industrial da Comunidade é o da criação de uma estrutura e de condições propícias a um sector industrial forte, inovador e competitivo, assegurando, portanto, a competitividade e sustentabilidade das indústrias europeias num panorama global do mercado”.

Este Programa de Acção definia a sua abordagem, compreendendo os seguintes elementos:

- intensificação do diálogo com a indústria;

- desenvolvimento de processos de gestão e de controlo de produção, incluindo um sistema de licenciamento ligado a disposições integradas de prevenção e controlo da poluição, auditoria ambiental, avaliação e contabilização efectivas do ambiente, utilização da melhor tecnologia disponível e introdução de sistemas de preçários com base no mercado, para consumo e recurso de fontes naturais;

encorajamento de acordos voluntários e outras formas de auto-regulamentação”.

Esta abordagem tomou forma através de um certo número de Directivas e Regulamentos, entre as quais, a “*Directiva Integrada sobre Prevenção e Controlo da Poluição (IPC)*”, a “*Regulamentação sobre Gestão e Auditoria Ecológica*”, a “*Regulamentação sobre o Rótulo Ecológico - Eco*”, a “*Directiva do Acesso à Informação*”, as “*Propostas de Responsabilização Ambiental*” e o “*Catálogo Europeu sobre Resíduos*”.

A directiva IPC tem como objectivos específicos minimizar ou prevenir a poluição, em lugar de a transferir simplesmente de um meio para outro, realçar o desenvolvimento de processos e de equipamentos para a reduzir, evitar requisitos administrativos contraditórios e harmonizar os limites de emissões para a atmosfera.

A regulamentação comunitária sobre Gestão e Auditoria Ecológica (1836/93), pretende encorajar as empresas industriais a estabelecer e implementar sistemas de protecção ambiental. Esta Regulamentação foi adoptada pela Comissão em 1993, sendo a participação no esquema de gestão e auditoria ecológica, aberta a qualquer empresa que desenvolva uma actividade industrial e voluntária.

A regulamentação sobre um plano de concessão do rótulo Ecológico Comunitário foi adoptada pela Comunidade Europeia em 1992, não estando, no entanto, incluídos os produtos betuminosos. “Esta regulamentação visa providenciar aos consumidores europeus, informação mais vasta sobre o impacte ambiental dos produtos, em todos os estágios do seu “ciclo de vida”, ou seja durante a sua “vida útil”. Como consequência, é expectável o encorajamento dos fabricantes para produzirem bens que causem o menor impacte possível ao ambiente.

A Directiva sobre a Liberdade de Acesso à Informação em matéria de ambiente foi adoptada pela Comunidade Europeia em 1990.

A Comunidade Europeia publicou, em 1991, uma proposta de adenda à Directiva sobre Responsabilidade Civil por Danos causados pelos Resíduos. A Comunidade Europeia publicou ainda um “Relatório Verde”, em 1992, com propostas visando harmonizar a responsabilidade em matéria de ambiente em todos os Estados Membros.

O termo “resíduo” está definido na directiva comunitária 75/442, e respectiva adenda 91/156, como “qualquer substância ou objecto das categorias mencionadas no Anexo 1, que o seu proprietário abandone, ou pretenda, ou seja obrigado a abandonar”. No referido Anexo 1 é definida uma lista de resíduos, designada como Catálogo Europeu de Resíduos (EWC - abreviatura da designação em língua inglesa *European Waste Catalogue*). Nesta lista, tal como está actualmente proposta, os resíduos de misturas betuminosas não são considerados perigosos.

A directiva 75/442 é destinada a todos os Estados Membros, o que significa que os Estados Membros são obrigados a tomar medidas apropriadas para encorajar a prevenção ou a redução da produção de resíduos, o processo de os tornar inofensivos, para recuperar o resíduo através de reciclagem, reutilização,

regeneração ou qualquer outro processo, ou a utilizar os resíduos como fonte de energia.

5.2. CENTRAIS E PROCESSOS DE FABRICO

As centrais de produção a quente de misturas betuminosas encontram-se divididas em centrais contínuas ou de tambor secador misturador e em centrais descontínuas (por amassadura). Nas centrais contínuas ou de tambor secador misturador o processo de mistura desenvolve-se no mesmo tambor que procede ao aquecimento e secagem dos agregados, enquanto nas centrais descontínuas ocorre numa unidade específica de mistura, denominado misturador.

Não se pretende fazer neste artigo uma descrição da configuração e modo de operação dos dois tipos mas realçar a forma de dispositivos que possam conter para incluir o processo de reciclagem das misturas betuminosas retiradas de pavimentos antigos.

Os diagramas que estão incluídos neste capítulo devem ser considerados como esquemáticos e foram extraídos da publicação [4], e referem-se aos tipos de centrais de fabrico mais comuns e conhecidas, as quais têm sido desenvolvidas devido a considerações sobre reciclagem.

5.2.1. Centrais Betuminosas Descontínuas

No caso das centrais descontínuas as técnicas de reciclagem incluem os métodos a frio, a quente, bem como o *Recyclelean* (reciclagem limpa). Todos estes métodos implicam que o material a reciclar tenha que ser britado e crivado para as dimensões adequadas, antes de qualquer processamento posterior.

Nos métodos a frio, a introdução das misturas betuminosas a reciclar (RAP - da designação em língua inglesa *reclaimed asphalt pavement*), é feita quer na altura da descarga do secador para o elevador de agregados quentes, sendo o material aquecido pelo contacto com os novos agregados sobreaquecidos antes de entrar para o misturador, figura 2., quer directamente para o misturador. No misturador é adicionado à mistura a quantidade adequada de betume novo, de acordo com as propriedades pretendidas para a mistura betuminosa.

É importante evitar aquecimentos excessivos dos novos constituintes adicionados. Os métodos a frio implicam percentagens de reciclagem de 10 a 30%, dependendo do teor em água dos materiais a reciclar, da qualidade da mistura betuminosa fresada, em relação à especificação imposta para a nova mistura betuminosa, e das limitações técnicas do processo em virtude das temperaturas máximas permitidas.

O emprego do método a quente implica que o material a reciclar seja pré-aquecido, figura 3, o que normalmente é efectuado utilizando um outro secador suplementar em paralelo (tambor *tandem*). O material a reciclar é pesado, aquecido e seco no segundo tambor, sendo depois transferido para o misturador através de um silo pré-doseador.

Central Betuminosa Descontínua (Método RAP a Frio)

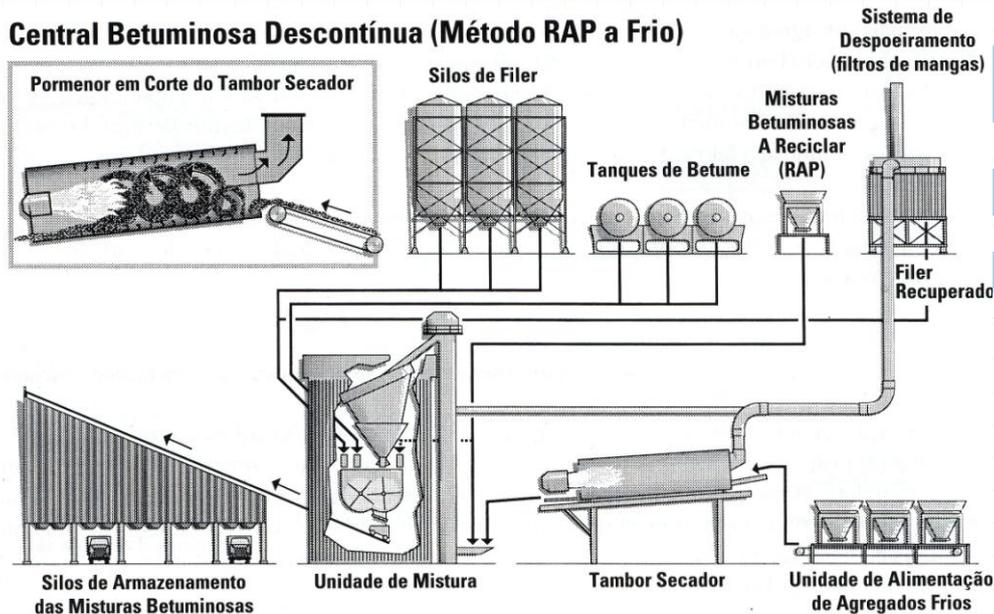


Figura 2 - Central betuminosa descontínua com o dispositivo de reciclagem pelo método a frio (Fonte: EAPA [4])

Central Betuminosa Descontínua (Método RAP a Quente)

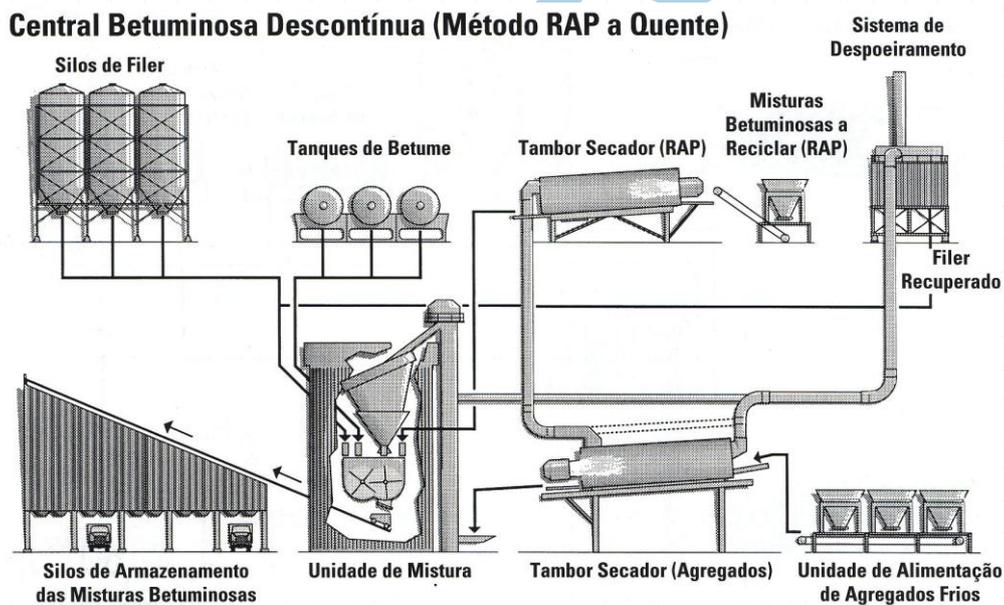


Figura 3 - Central betuminosa descontínua com o dispositivo de reciclagem, pelo método a quente (Fonte: EAPA [4])

Os agregados novos, a incorporar, são sobreaquecidos no primeiro tambor e transferidos para o misturador. Os gases quentes da combustão provenientes do tambor de reciclagem são dirigidos, quer directamente para o tambor secador de materiais novos, como ar secundário, junto do queimador, quer para o sistema de despoeiramento. As percentagens usuais de reciclagem no método a quente são de 30 a 70%. O limite percentual superior é determinado pelas exigências especificadas para a mistura betuminosa em relação às propriedades da mistura betuminosa antiga a reciclar.

Outra variante da reciclagem a quente, em centrais descontínuas, é o sistema “*Recycleclean*”, figura 4. Neste sistema, os agregados a incorporar e o material a reciclar são introduzidos no mesmo tambor, mas em duas zonas diferentes. O aquecimento da mistura a reciclar é efectuado atrás da chama, assegurando que este material não sofra sobreaquecimento. Este método permite taxas de reciclagem até 35%.

Central Betuminosa Descontínua (Método de Reciclagem *Recycleclean*)

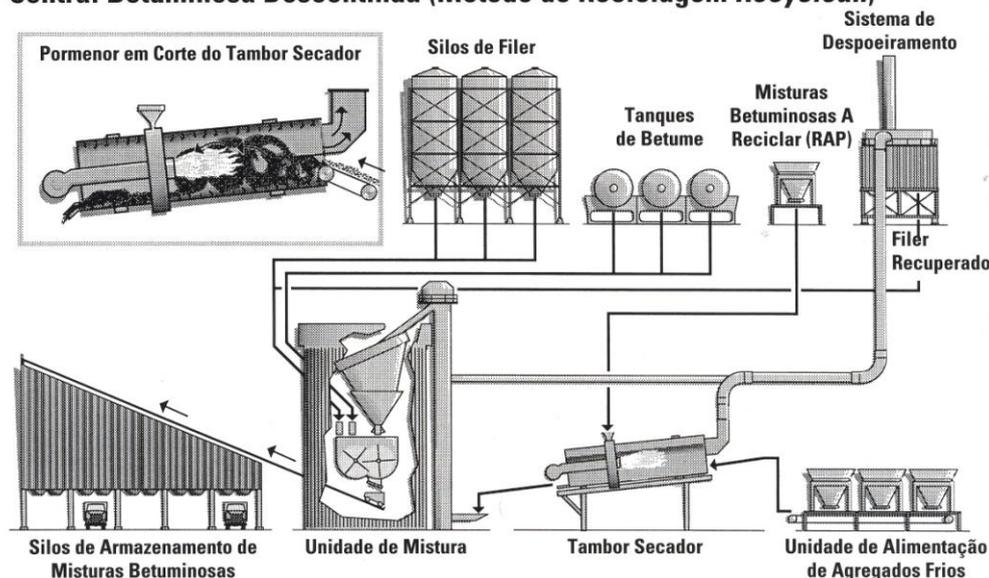


Figura 4- Central betuminosa descontínua com o dispositivo de reciclagem, pelo método *Recycleclean* (Fonte: EAPA [4])

Existe, ainda, outro tipo de centrais descontínuas, denominadas *central de torre*, (princípio de armazenamento intermédio de agregados aquecidos), nas quais o processo de secagem constitui uma parte distinta de todo o processo e pode mesmo ser efectuado, até certo ponto, independente do processo de mistura, figura 5. Em vez de entrar no misturador, logo após serem aquecidos e secos, os agregados são transportados para silos aquecidos apropriados, que se encontram localizados por cima da unidade de mistura, de acordo com a sua fracção granulométrica, para armazenamento intermédio. Quando uma certa fórmula é escolhida, os agregados são enviados para as básculas e são posteriormente dirigidos para o misturador. Esta concepção especial de central permite um fornecimento rápido de misturas betuminosas de composições diferentes, passando rapidamente de um tipo de mistura betuminosa a outro.

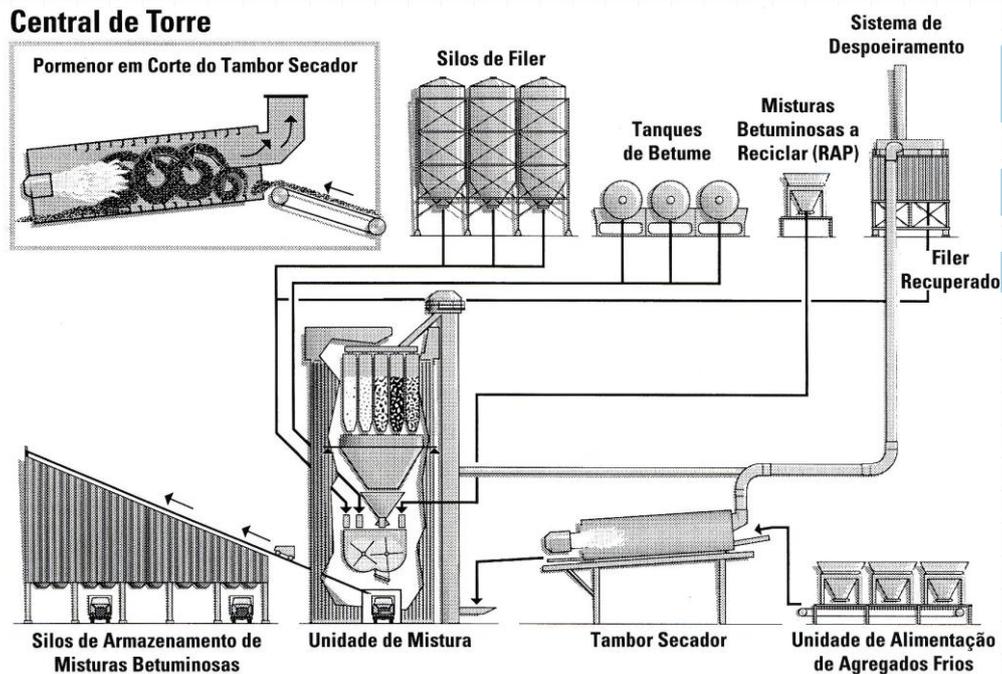


Figura 5- Central betuminosa descontínua com o dispositivo de reciclagem, denominadas centrais de torre (Fonte: EAPA [4])

5.2.2. Centrais Betuminosas Contínuas

No caso das centrais betuminosas contínuas, é possível identificar três métodos diferentes de aquecimento do material a reciclar antes de se adicionar o betume, como sejam o aquecimento por chama directa, o aquecimento por chama indirecta e por contacto com os agregados sobreaquecidos.

Actualmente, a concepção mais utilizada de centrais contínuas utilizam ambos os princípios de aquecimento por chama directa e por contacto com os agregados sobreaquecidos. Neste tipo de centrais contínuas, de tambor secador misturador, denominado de *alimentação separada*, as misturas betuminosas a reciclar são, após processamento, introduzidas na zona central do tambor, figura 6. Após esta operação o material betuminoso é então duplamente aquecido quer pelo contacto com os agregados a incorporar sobreaquecidos, quer pelos gases de combustão quentes.

Centrais Betuminosas Contínuas (RAP)

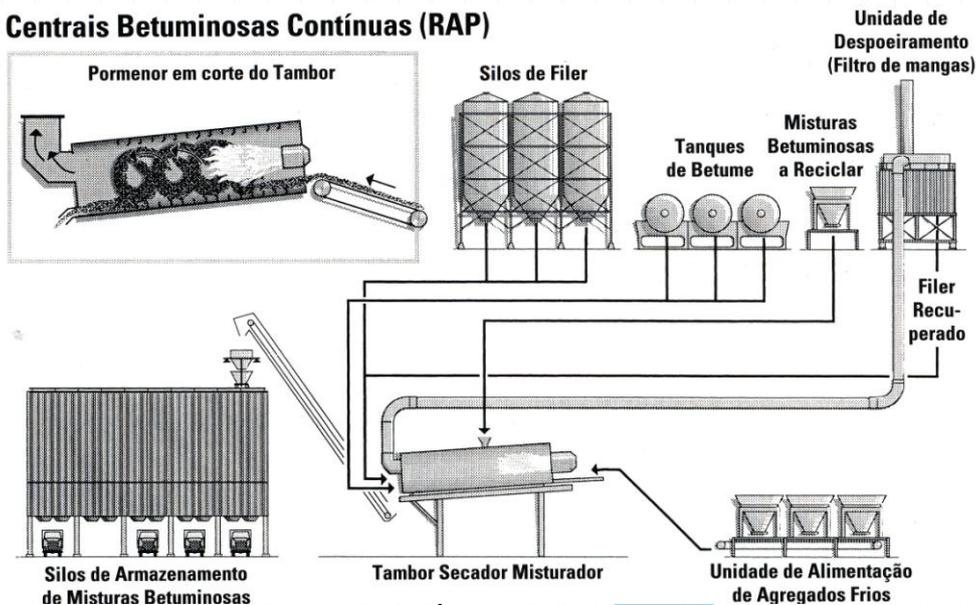


Figura 6 - Central betuminosa contínua com o dispositivo de reciclagem, pelo método da alimentação separada (Fonte: EAPA [4])

Centrais Betuminosas Contínuas de Duplo Tambor

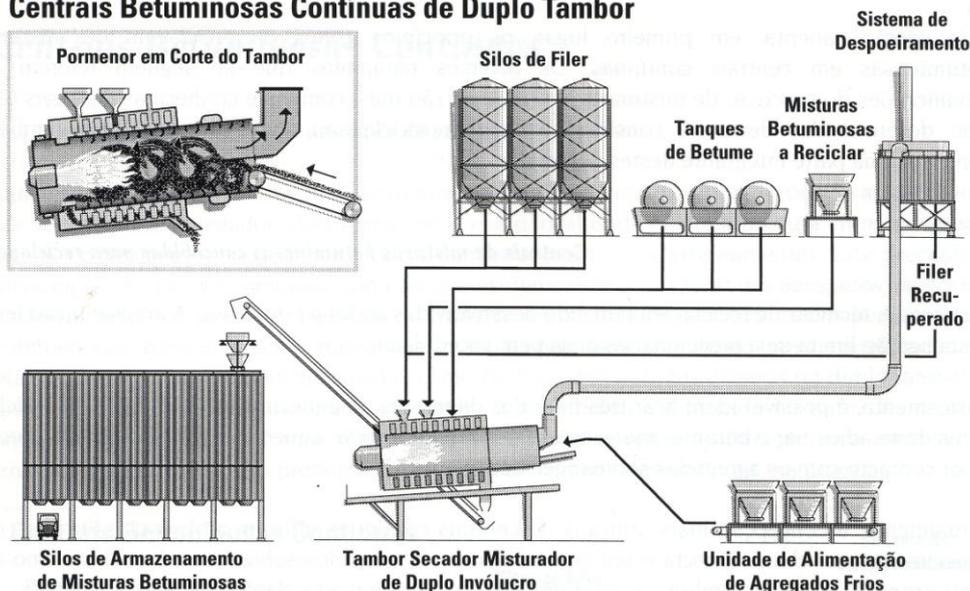


Figura 7 - Central betuminosa contínua com o dispositivo de reciclagem, pelo método de duplo tambor (Fonte: EAPA [4])

Um outro método utilizado é o do tambor secador misturador de duplo invólucro, figura 7. O sistema consiste num tambor rotativo tradicional de fluxos contracorrente, envolvido por um tambor exterior fixo. O material a reciclar é introduzido no tambor exterior, exterior ao fluxo de gás quente. Os novos materiais a incorporar são secos e sobreaquecidos no tambor interior. Em seguida, estes são introduzidos no tambor exterior, caindo através de aberturas existentes no tambor interior. Os agregados novos a incorporar deslocam-se, então, na direcção oposta para serem misturados ao material a reciclar e ao betume injectado. Assim, a operação de mistura efectua-se no espaço compreendido entre os dois tambores, por pás de forno montadas na parede exterior do tambor interior.

Tal como no processo sem reciclagem, existem ainda os misturadores de fluxos contracorrente que diferem das centrais tradicionais de fluxo paralelo, devido ao facto de o sentido do fluxo dos gases de combustão quentes ser contrário ao sentido de deslocação dos agregados, figura 8. O princípio de fluxos opostos permite reduzir a temperatura dos gases quentes e melhora o desempenho do ponto de vista ambiental, através de um aquecimento menos intenso das misturas betuminosas recicladas.

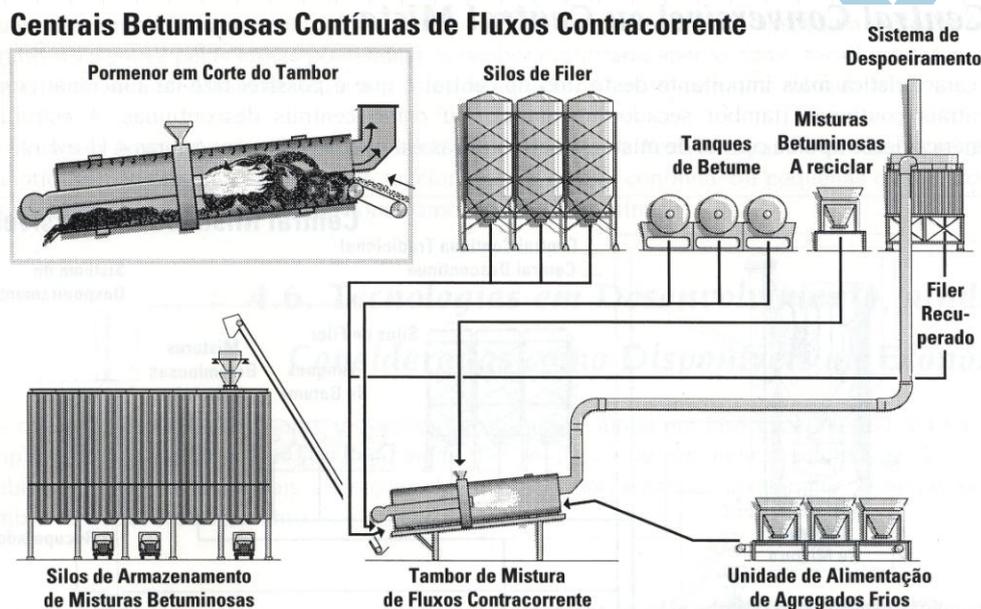


Figura 8 - Central betuminosa contínua de fluxos contracorrente com o dispositivo de reciclagem (Fonte: EAPA [4])

Os agregados a incorporar são introduzidos numa das extremidades do tambor (a oposta ao queimador) e o material a reciclar entra na zona central do tambor. A boca do queimador está localizada no extremo de um tubo com uma extensão tal, no interior do tambor, que permite que o pré-aquecimento do material a reciclar se efectue atrás da chama, antes de entrar na zona de mistura. Em consequência, o betume e o material reciclado nunca estão em contacto directo com a chama ou com os gases aquecidos. Este processo permite, em condições óptimas, taxas de reciclagem até cerca de 50%.

Existem ainda centrais contínuas móveis, nas quais o tambor secador misturador tradicional, de fluxos paralelos, está montado sobre um chassis rolante, complementado por uma pavimentadora, figura 9. O equipamento é utilizado para efectuar a reciclagem no local de obra. A mistura betuminosa existente no pavimento é fresada e colocada numa linha de fabrico, composta por uma tremonha doseadora, onde também são adicionados os agregados novos. À medida que o equipamento se desloca, a baixa velocidade, os materiais fresados são transferidos para o tambor secador misturador por um tapete elevador. No tambor efectuam-se as operações de aquecimento, de mistura e de adição do betume. A mistura betuminosa pronta é descarregada para outro tapete transportador que a leva para a

tremonha da pavimentadora. A fase final do processo envolve as operações tradicionais de pavimentação das camadas superiores. As percentagens de materiais reciclados atingem frequentemente mais de 90%.

Neste método, o ar com poeiras dentro do tambor, é emitido para o ambiente sem ser previamente purificado.

Central Móvel para Reciclagem de Misturas Betuminosas

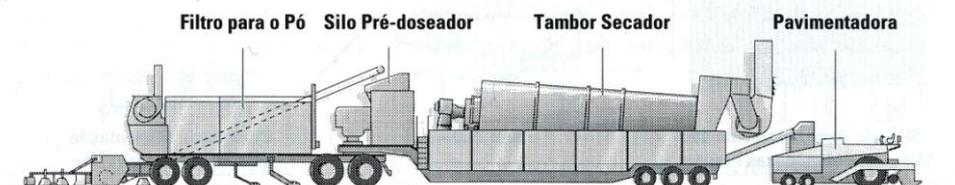


Figura 9 - Central betuminosa contínua móvel, com o dispositivo de reciclagem (Fonte: EPA [4])

Existem, ainda, outros tipos de centrais, denominadas de mistas ou conversíveis, cuja característica mais importante é a da possibilidade de funcionarem como centrais contínuas (tambor secador/misturador) ou como centrais descontínuas.

A vantagem deste tipo de central é a de se criar um sistema flexível capaz de produzir grandes quantidades de uma mistura betuminosa, quando funciona como central contínua, ou pequenas quantidades de misturas diferentes, quando funciona como central descontínua.

Nos últimos anos tem-se assistido a grandes desenvolvimentos no que respeita às tecnologias e equipamentos de fabrico de misturas betuminosas, com a preocupação de incluírem dispositivos de incorporação de materiais fresados a reciclar, como por exemplo, a incorporação de aquecimento das misturas betuminosas a reciclar, por microondas, com resultados especialmente promissores.

As misturas betuminosas a reciclar são inicialmente transferidas da unidade de alimentação de agregados frios (pré-doseadores) para o tambor secador, onde o teor em água é eliminado, tal como numa central convencional. No entanto, a temperatura de secagem é limitada a 135 °C, pois a esta temperatura não existe ainda o risco de se desenvolverem emissões gasosas. Neste tipo de reciclagem as misturas betuminosas antigas (RAP), retiradas de pavimentos em serviço, são depois introduzidas já secas no túnel de microondas, onde se atinge a temperatura final de cerca de 155 °C. A mistura desloca-se através do túnel, num tapete transportador. Por fim, adiciona-se ao material a reciclar um rejuvenescedor e o produto final é transportado para o silo de armazenamento. A utilização deste sistema de reciclagem de misturas betuminosas por microondas permite reduções acentuadas nas emissões e taxas de reciclagem de misturas betuminosas da ordem de 90 a 100%.

5.2.3. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS PARA CADERNO DE ENCARGOS

Define-se reciclagem a quente em central de camadas betuminosas como a técnica que consiste no aproveitamento do material resultante da desagregação (mediante

fresagem, ou demolição e trituração) de camadas de mistura betuminosa de pavimentos envelhecidos no fabrico das misturas betuminosas a quente definidas nas Cláusulas Técnicas Gerais do Caderno de Encargos.

Os materiais provenientes das misturas betuminosas retiradas do pavimento por fresagem deverão ser reciclados, por incorporação em algumas das novas misturas betuminosas a fabricar a quente em central.

Para efeitos da aplicação desta cláusula, uma mistura betuminosa reciclada incluirá uma proporção em massa do material betuminoso a reciclar compreendida nas percentagens da massa total da mistura, definidas na rubrica 6.1.

A reciclagem a quente far-se-á em centrais de fabrico, do tipo contínuo ou descontínuo, cumprindo as características indicadas nas Cláusulas Técnicas Gerais do Caderno de Encargos e, ainda, com dispositivos mecânicos próprios que permitam a incorporação, aquando do fabrico das novas misturas betuminosas a colocar no pavimento, de misturas betuminosas envelhecidas ou degradadas retiradas por fresagem. Denominam-se, neste caderno de encargos, as misturas betuminosas obtidas por MBR - Misturas Betuminosas Recicladas - e as misturas betuminosas fresadas por MBF.

A execução de uma mistura betuminosa reciclada a quente em central inclui as seguintes operações:

- Armazenamento do material fresado procedente de pavimentos betuminosos envelhecidos.
- Tratamento do material betuminoso a reciclar em bruto.
- Caracterização e armazenamento do material betuminoso a reciclar tratado.
- Estudo de formulação da mistura betuminosa e obtenção da fórmula de trabalho.
- Fabrico da mistura betuminosa de acordo com a fórmula de trabalho.
- Transporte da mistura betuminosa ao local de utilização.
- Preparação da superfície sobre a qual se vai espalhar a mistura betuminosa.
- Espalhamento e compactação da mistura betuminosa.

A execução de uma mistura betuminosa reciclada deverá, obrigatoriamente, ser objecto de estudo de formulação prévio em laboratório.

Não poderão incorporar MBF as misturas betuminosas de alto módulo e as misturas betuminosas de camada de desgaste delgadas, ou seja o betão betuminoso drenante e o betão betuminoso rugoso.

As MBF devem ser armazenadas em pilhas no estaleiro, em camadas horizontais, perto da central de fabrico, até serem reutilizadas nas MBR, em boas condições de preservação, tal como é feito para todos os outros componentes pétreos.

A protecção das pilhas da chuva deve ser feita para evitar a retenção de humidade. A humidade nas MBF não deve exceder 5%, de modo a que o consumo de energia para a secagem e aquecimento destes materiais não seja excessivo.

Deverá, também, ser feita a protecção de temperaturas elevadas, de modo a evitar a colagem, ou mesmo compactação, ou o envelhecimento e/ou oxidação provocado pela radiação solar.

Os aspectos construtivos relacionados com o transporte, colocação, compactação e controlo das MBR são os mesmos das outras misturas betuminosas sem MBF e indicados nas cláusulas Técnicas Gerais do Caderno de Encargos.

Antes da aplicação das MBR o Adjudicatário deve apresentar à Fiscalização um plano de trabalhos, onde indique o modo como vai realizar a separação e armazenamento das MBF, as quantidades de MBR, o modo de fabrico, os estudos de formulação e o local de aplicação.

5.2.4. Percentagem de MBF a utilizar na MBR

As misturas betuminosas envelhecidas e/ou degradadas que irão ser fresadas do pavimento deverão ser incorporadas no fabrico das novas misturas betuminosas a utilizar como preenchimento das zonas fresadas ou nos macadames betuminosos e misturas betuminosas densas tradicionais, indicadas no volume da Pavimentação, do Projecto de Execução.

Face ao volume de misturas betuminosas novas a colocar nos pavimentos, ao volume disponível de MBF e aos resultados obtidos nos estudos laboratoriais, realizados na fase do projecto de execução, as MBF podem ser utilizadas nas percentagens indicadas nos parágrafos seguintes, consoante o tipo de MBF, o tipo de MBR e o tipo de central de fabrico.

Após as operações de fresagem, e nas situações em que a camada de desgaste seja constituída por um betão betuminoso com betumes modificados a caso não se proceda à separação desta mistura betuminosa, a percentagem de reutilização deve ser limitada a 15% e apenas incorporado nos novos macadames betuminosos e novas misturas betuminosas densas, qualquer que seja o tipo de central utilizada.

No caso de centrais betuminosas com tambor secador paralelo para secagem e aquecimento das MBF, operação esta em separado e em simultâneo com a secagem e aquecimento dos novos agregados no tambor secador tradicional, poderão ser utilizadas as seguintes percentagens máximas:

- | | | |
|--|---|------|
| a) nos macadames betuminosos | - | 60% |
| b) nas misturas betuminosas densas | - | 50% |
| c) nos betões betuminosos subjacentes a camadas de desgaste delgadas | - | 40%. |

Neste caso, a temperatura de secagem e pré-aquecimento das MBF pode atingir 130°C.

No caso de centrais betuminosas sem tambor secador paralelo, mas que possibilitam a introdução das MBF no meio do tambor secador tradicional, ou na extremidade oposta à chama, onde as MBF irão ser aquecidas em conjunto com os agregados novos quentes, poderão ser utilizadas as seguintes percentagens máximas:

- | | | |
|--|---|------|
| a) nos macadames betuminosos | - | 30% |
| b) nas misturas betuminosas densas | - | 25% |
| c) nos betões betuminosos subjacentes a camadas de desgaste delgadas | - | 20%. |

No caso de centrais betuminosas descontínuas sem as facilidades indicadas anteriormente, e onde as MBF não são pré-aquecidas, mas aquecidas em contacto directo com os agregados novos quentes na amassadura, poderão ser utilizadas as seguintes percentagens máximas:

- | | | |
|--|---|------|
| a) macadames betuminosos | - | 20% |
| b) misturas betuminosas densas | - | 15% |
| c) nos betões betuminosos subjacentes a camadas de desgaste delgadas | - | 10%. |

Neste último caso as percentagens a adicionar dependerão do teor em humidade das MBF. O aquecimento dos agregados novos deve ser aumentado a uma temperatura que não exceda 275 °C. As MBF devem ser adicionadas aos agregados após passagem numa unidade de pesagem separada, o que permite a crivagem dos materiais novos sem a influência das MBF e, por outro lado, a mistura dos agregados novos com as MBF deve ser efectuada antes da adição do betume novo, de modo a evitar o endurecimento deste.

Caso se utilizem as metodologias fundamentais de formulação de misturas betuminosas, ou seja com a execução de ensaios de determinação de módulos de rigidez, resistência à fadiga e resistência às deformações permanentes, todos os valores indicados anteriormente podem ser superiores, desde que se prove que as propriedades mecânicas das misturas betuminosas consideradas no projecto de execução são atingidas. As condições de ensaio devem ser sujeitas à aprovação prévia da Fiscalização.

A realização dos ensaios fundamentais deve ser feita em Laboratórios Acreditados.

5.2.5. Características da mistura betuminosa MBR

Um dos componentes das misturas betuminosas MBR, para além do betume puro de destilação directa e das fracções novas de agregado, é a mistura betuminosa fresada, MBF, pelo que devem, também, ser conhecidas previamente as seguintes características da MBF:

- percentagem de materiais estranhos;
- percentagem de contaminantes;
- percentagem em betume;
- granulometrias da mistura de agregados;
- penetração, temperatura de anel e bola e/ou viscosidade do betume recuperado;
- quantidade de betume modificado e tipo de modificador (por exemplo polímeros).

Os resultados destes ensaios, bem como os previstos nas Clausulas Técnicas Gerais para cada um dos tipos de misturas betuminosas, deverão constar do estudo de formulação da MBR e ainda:

- O período de tempo a exigir para a mistura dos agregados novos com a MBF a reciclar e desta com o ligante betuminoso.
- A temperatura máxima e mínima e a humidade máxima do material betuminoso a reciclar na tremonha e na báscula de dosificação à entrada do

misturador (em nenhum caso será aquecido o material betuminoso a reciclar a uma temperatura superior à do ligante a adicionar).

Os tempos para a mistura a quente dos agregados e para a mistura com o ligante serão determinados em função da homogeneidade da mistura, da total desintegração dos nódulos de material betuminoso a reciclar e da incorporação do ligante, e caso se aplique, do aditivo rejuvenescedor, com o ligante do material a reciclar.

A homogeneidade das MBF deve ser avaliada não só por métodos visuais e sensoriais, mas também através dos resultados de algumas das medições a efectuar, tais como a percentagem em betume e a granulometria dos agregados.

A percentagem de materiais estranhos deve ser inferior a 1% e a percentagem de contaminantes deve ser inferior a 0,1%.

Entende-se por materiais estranhos, outros materiais que não misturas betuminosas, tais como betão de cimento, mastique betuminoso, materiais granulares de base ou de sub-base, materiais de demolição, etc. Contaminantes significa a presença de outros materiais não pétreos, tais como metais, materiais sintéticos, madeira, etc.

O material betuminoso a reciclar tratado, uma vez desagregado, deverá sempre passar todo pelo peneiro ASTM de 25 mm (1”).

Para a utilização de qualquer fracção de material betuminoso a reciclar, a granulometria dos agregados após a extracção do ligante, bem como a sua percentagem deverão cumprir, em relação aos valores especificados na fórmula de trabalho, as tolerâncias indicadas na tabela seguinte.

Características		Unidade	Tolerância
Percentagem de material passado nos peneiros ASTM	> 2 mm	% em massa do material a reciclar seco	± 5
	> 0,074 mm e 2 mm		± 3
	0,063 mm		± 1,5
Percentagem de ligante recuperado		%	± 0,4
Penetração de ligante recuperado		0,1 mm	± 4

5.2.6. Ligante betuminoso do material betuminoso a reciclar

O ligante betuminoso procedente do material betuminoso a reciclar, deverá ser susceptível de misturar-se homogeneamente com o novo ligante, e dar lugar a um produto de características similares ao betume indicado no projecto de execução.

A penetração do betume recuperado das MBR não pode apresentar um valor médio, em cinco determinações, inferior a 15×10^{-1} mm, e nenhum valor individual menor do que 10×10^{-1} mm.

Para determinar a quantidade de betume novo a utilizar na composição da MBR deve ser utilizada a seguinte fórmula:

$$\log \text{pen}_{\text{mistb}} = a \log \text{pen}_1 + b \log \text{pen}_2 \quad (1)$$

onde:

$\text{pen}_{\text{mistb}}$ - penetração calculada do betume nas misturas betuminosas MBR;

pen_1 - penetração do betume recuperado das MBF;

- pen₂** - penetração do betume novo a adicionar;
a, b - proporções em massa do betume recuperado das MBF e do betume novo a adicionar à MBR, respectivamente, sendo que a soma das duas variáveis tem de ser igual à unidade.

A penetração do betume da mistura betuminosa MBR (pen_{mistb}) deve estar compreendida entre 35 e 50×10^{-1} mm, de modo a garantir que as MBR tenham as propriedades mecânicas que foram consideradas nos cálculos, incluídos na memória descritiva e justificativa do volume da Pavimentação, que conduziram ao reforço dos pavimentos.

5.2.7. Agregado do material betuminoso a reciclar

Os agregados procedentes do material betuminoso a reciclar não deverão apresentar sinais de meteorização e deverão possuir propriedades de dureza e qualidade similares às exigidas nas Cláusulas Técnicas Gerais aos agregados novos a adicionar.

Estas propriedades deverão ser avaliadas directamente com os ensaios estabelecidos nas Cláusulas Técnicas Gerais para os agregados novos. A Fiscalização poderá aceitar como avaliação indirecta dessas propriedades os ensaios mecânicos a realizar sobre a mistura betuminosa reciclada, em particular, a resistência conservada no ensaio de imersão-compressão, que deverá ser como mínimo de setenta e cinco por cento (75%), quando avaliada de acordo com a norma de ensaio referida nas Cláusulas Técnicas Gerais.

5.2.8. Tipo e composição da mistura

A taxa total de ligante betuminoso (a de adição mais a procedente do material betuminoso a reciclar) não deverá ser inferior, expressa em proporção, em massa, sobre o total dos agregados a seco da mistura (incluindo o filer e os agregados procedentes do material betuminoso a reciclar), a cinco por cento (5%) em camadas intermédias e a quatro e meio por cento (4,5%) em camadas de base, incluídas as tolerâncias.

A percentagem de ligante a adicionar deverá ser no mínimo sessenta por cento (60%) da percentagem total de ligante da mistura reciclada.

A razão entre a estabilidade Marshall e a deformação Marshall será inferior a oito quiloNewton por milímetro (8 kN/mm).

As características finais da mistura betuminosa MBR são as mesmas das pretendidas para as misturas sem MBF, indicadas nas Cláusulas Técnicas Gerais ou Especiais, a demonstrar pelo Adjudicatário, aquando da apresentação do estudo de formulação.

Na fase de execução dos estudos de formulação em laboratório, de acordo com as metodologias indicadas nas Cláusulas Técnicas Gerais e Especiais, deve ser dada particular atenção ao aquecimento das MBF, de modo a evitar os riscos de endurecimento do betume, pelo que deve ser usado um tempo mínimo de aquecimento em estufa e a exclusão de oxigénio, e ao tempo de mistura com os agregados novos.

5.2.9. Equipamento necessário para a execução das obras

A execução das obras não deverá ter lugar sem que os estudos prévios de laboratório apontem para a viabilidade do projecto. O equipamento necessário para a execução das obras cumprirá as especificações estabelecidas nas Cláusulas Técnicas Gerais, tendo em conta as prescrições adicionais que se seguem.

Central de trituração

Quando o material betuminoso a reciclar apresentar problemas de homogeneidade ou uma dimensão excessiva proceder-se-á sua trituração e homogeneização.

Para a trituração serão utilizadas instalações de trituração que proporcionem um produto granular uniforme. No caso de existirem contaminantes do tipo metálico, a central de trituração deverá estar dotada de um dispositivo para a sua detecção e eliminação.

Central de fabrico

As centrais de fabrico devem ser capazes de permitir a adição, durante o processo de mistura a quente, do material betuminoso a reciclar, sem deterioração dos materiais. As centrais de fabrico terão de cumprir o disposto na legislação vigente em matéria ambiental.

Nas centrais de fabrico contínua com tambor secador-misturador, o sistema de dosificação deverá ser ponderal, para o material betuminoso a reciclar, e deverá ter em conta a humidade deste, para corrigir a dosificação em função dela. A central deverá dispor de um dispositivo que permita a incorporação do material betuminoso a reciclar atrás da chama, de modo a que não exista risco de contacto com ela. Os gases resultantes do aquecimento do material betuminoso a reciclar deverão ser queimados durante o processo, devendo evitar-se em qualquer momento a sua emissão para a atmosfera.

As centrais de fabrico de tambor secador-misturador, em que o fluxo de agregados coincide com o da tiragem de fumo, não serão utilizadas caso as quantidades de material betuminoso a reciclar sejam superiores a vinte e cinco por cento (25%).

De entre as centrais de fabrico contínuas de tambor secador-misturador deverão ser utilizadas preferencialmente aquelas em que o fluxo de agregados vá contra a tiragem do fumo ou as que tenham duplo tambor, que evitem a exposição directa à chama do material betuminoso a reciclar.

As centrais de fabrico descontínuas deverão estar providas de um tambor secador independente para o material betuminoso a reciclar. Os gases produzidos no seu aquecimento deverão ser recolhidos e queimados durante o processo de fabrico da mistura, evitando-se em qualquer momento a sua emissão para a atmosfera. Além disso, estas centrais deverão estar providas de silos para armazenar a quente o material betuminoso a reciclar e um sistema de dosificação ponderal do material betuminoso a reciclar.

5.2.10. Execução das obras

Serão cumpridas as especificações estabelecidas nas Cláusulas Técnicas Gerais, com as prescrições complementares que se seguem.

Armazenamento do material betuminoso a reciclar em bruto

O material betuminoso a reciclar poderá utilizar-se na mesma obra ou armazenar-se para posterior utilização noutra obra. Os materiais deverão estar cobertos e o tempo de armazenamento será reduzido ao mínimo possível para evitar que o teor em água do material betuminoso a reciclar aumente excessivamente. Quando se prevejam temperaturas superiores a trinta graus Celsius (30 °C), os stocks não deverão superar os três metros (3 m) de altura, para evitar que o material betuminoso a reciclar se aglomere.

Será examinada a descarga no stock, eliminando os materiais que à vista apresentem contaminações.

Deverá proceder-se ao registo da procedência do material betuminoso a reciclar, identificando e armazenando à parte os materiais provenientes de misturas distintas.

Tratamento do material betuminoso a reciclar bruto

O material betuminoso a reciclar bruto será tratado e misturado com vista à sua homogeneização e descontaminação.

Para isso serão triturados todos os blocos e bolas com o objectivo de que todo o material passe pelo peneiro ASTM de 25 mm (1”).

Terá de se proceder também à eliminação de qualquer contaminante, e em especial deverá ser usado um procedimento de detecção e eliminação de elementos metálicos.

Posteriormente o material deverá ser misturado até se obter um produto homogéneo, que não apresente segregações.

Caracterização e armazenamento do MBF a reciclar tratado

Uma vez tratado, o material betuminoso a reciclar, será colocado em stocks homogéneos. Para que um stock se considere homogéneo, deverão ser cumpridas as tolerâncias estabelecidas no quadro indicado no ponto 6.2.1..

Os materiais que cumpram os critérios de homogeneidade poderão ser armazenados juntos. Cada stock homogéneo será identificado e caracterizado pelos resultados dos ensaios realizados.

Os stocks de material betuminoso a reciclar tratado serão considerados como lotes isolados, evitando que se misturem e contaminem entre eles. O volume de cada um destes stocks será o suficiente para garantir, no mínimo, o trabalho de um dia ou a produção requerida se esta for menor, com o objectivo de não mudar a fórmula de trabalho e poder controlar e identificar adequadamente a mistura fabricada.

Os stocks deverão situar-se numa zona bem drenada e sobre uma superfície revestida. Caso se disponham em terreno natural, não serão utilizados os quinze centímetros (15cm) inferiores dos stocks. Estes serão formados por camadas. Deverá

vigiar-se a altura dos stocks para evitar que o material betuminoso se aglomere, especialmente com temperaturas altas, limitando-se aquela a três metros (3 m).

Os stocks deverão estar cobertos e o tempo de armazenamento será reduzido ao mínimo possível para evitar que o teor em água aumente excessivamente.

Fabrico da mistura

Os doseadores de agregados a frio e do material betuminoso a reciclar serão regulados para que se obtenha a granulometria da fórmula de trabalho; o seu caudal será ajustado à produção prevista, devendo manter-se constante a alimentação do secador de agregados e do aquecedor de material betuminoso a reciclar.

Os gases desprendidos ao aquecer o material betuminoso a reciclar deverão ser recolhidos e queimados durante o processo, evitando a sua libertação para a atmosfera.

Em centrais cujo secador não seja também misturador, se a alimentação for contínua, os agregados aquecidos e, no seu caso, classificados, serão pesados e serão transportados para o misturador, incorporando o material betuminoso a reciclar na zona de pesagem a quente à saída do secador. Se a alimentação deste for descontínua, depois de se terem introduzido os agregados no misturador, será pesado e introduzido o material betuminoso a reciclar junto do filer e, depois de um tempo de desagregação, aquecimento e mistura, será incluído o ligante, e caso se aplique, os aditivos, para cada amassadura, e será continuada a operação de mistura durante o tempo especificado na fórmula de trabalho.

Em centrais de mistura contínua com tambor secador-misturador será introduzido o material betuminoso a reciclar por detrás da chama para que não exista risco de contacto com ela.

5.2.11. Controlo da qualidade

Serão cumpridas as especificações estabelecidas nas Cláusulas Técnicas Gerais, para cada um dos tipos de misturas betuminosas, com as prescrições complementares que se seguem.

Controlo da procedência do material betuminoso a reciclar

Serão tomadas amostras de material betuminoso a reciclar tratado com o objectivo de analisar a sua homogeneidade e caracterizar os stocks.

Para isso, por cada quinhentas toneladas (500 t) de aproveitamento de material tratado, caso se vá utilizar no fabrico da mistura uma percentagem de material betuminoso reciclado inferior a vinte cinco por cento (25%), e por cada duzentas toneladas (200 t) de material tratado, caso se vá utilizar uma percentagem de material betuminoso superior a essa quantidade, serão tomadas cinco (5) amostras e de cada uma delas serão determinadas:

- Granulometria do material desagregado, segundo a NP EN 933-1.
- Percentagem de ligante, segundo a EN 12697-1.
- Granulometria dos agregados recuperados, segundo a EN 12697-2.

Para além disso, de duas (2) delas serão determinadas, após recuperação do betume, de acordo com a EN 12697-3:

- Penetração do ligante recuperado, segundo a EN 1426.
- Temperatura de amolecimento do ligante recuperado, segundo a EN 1427.
- Índice de penetração do ligante recuperado.
- Perda por desgaste na Máquina de Los Angeles do agregado recuperado.
- Massa volúmica e absorção de água do agregado recuperado.

No caso da MBR conter mais de vinte cinco por cento (25%) de MBF, em relação à massa total da mistura, serão ainda determinados:

- Ponto de fragilidade Fraass, segundo a EN 12593.
- Ductilidade.

Controlo de qualidade do material betuminoso a reciclar

Será examinado cada stock de material betuminoso a reciclar, eliminando os que não cumprirem com os limites de tolerâncias de granulometria e de percentagem de ligante estabelecidos no artigo 6.2.1..

Será vigiada a altura dos stocks e o estado de seus elementos separadores e acessos.

Para cada stock que se utilize serão realizados os seguintes ensaios:

- Pelo menos duas vezes por dia (2/d):
 - Granulometria do material desagregado.
 - Percentagem de ligante.
 - Granulometria dos agregados recuperados.
- Pelo menos uma (1) vez por semana, ou quando se mudar de procedência:
 - Penetração do ligante recuperado, segundo a EN 1426.
 - Temperatura de amolecimento do ligante recuperado.
 - Índice de penetração do ligante recuperado.
 - Massa volúmica e absorção de água do agregado recuperado.
- Pelo menos uma (1) vez por mês, ou quando se mudar de procedência:
 - Ponto de fragilidade Fraass do ligante recuperado.
 - Ductilidade do ligante recuperado.

5.2.12. Controlo de execução

Fabrico

Ao começar o fabrico e pelo menos duas vezes por dia, será determinada a humidade, segundo a EN 12697-14, da MBF, na tremonha ou tapete de carga a partir do stock e na descarga da tolva de dosificação e alimentação ao misturador.

Controlo de recepção da camada executada

Para obras com mais de setenta mil metros quadrados (70.000 m²), em que as misturas betuminosas recicladas contenham mais de vinte cinco por cento (25%) de material betuminoso a reciclar em relação à massa total da mistura, ou quando existam dúvidas razoáveis sobre a qualidade da mistura, a Fiscalização poderá exigir a determinação da resistência à tracção indirecta e a determinação do módulo resiliente, em provetes extraídos do pavimento, segundo a NLT-346, à temperatura de cinco graus Celsius (5°C), utilizando os dispositivos de carga (barras) de acordo com o artigo 2.2 da norma NLT-360, para além da determinação da baridade da mistura compactada e da espessura.

A resistência à tracção deverá ser determinada tanto a seco, directamente sobre os provetes extraídos, como em ambiente húmido, sobre provetes que tenham permanecido submersos durante vinte quatro e horas (24 h) em água à temperatura de sessenta graus Celsius (60°C).

5.2.13. Trecho experimental

Serão cumpridas as especificações estabelecidas nas Cláusulas Técnicas Gerais.

5.2.14. 6.10 - Especificações da camada terminada

Serão cumpridas as especificações estabelecidas nas Cláusulas Técnicas Gerais.

5.2.15. Critérios de aceitação ou rejeição

Serão cumpridas as especificações estabelecidas nas Cláusulas Técnicas Gerais, e as prescrições adicionais que se indicam a seguir.

A resistência média à tracção indirecta, segundo a norma NLT-346, à temperatura de cinco graus Celsius (5°C), utilizando os dispositivos de carga (barras) definidas no artigo 2.2 da norma NLT-360 para a determinação do módulo resiliente, deverá cumprir os valores indicados no quadro seguinte:

Tipo de mistura	Aceitação		Penalização	
	Seco (1) (MPa)	Húmido (2) (MPa)	Seco (1) (MPa)	Húmido (2) (MPa)
Betão betuminoso e Mistura betuminosa densa	2,5	1,9	2,1	1,6
Macadame betuminoso	2,0	1,5	1,6	1,2

(1) Directamente sobre os provetes extraídos.

(2) Sobre provetes que tenham permanecido submersos durante vinte quatro horas (24 h) em água, à temperatura de sessenta graus Celsius (60 °C).

Não mais de vinte por cento (20%) dos valores individuais da amostra deverão ser inferiores aos valores prescritos na tabela anterior para os casos de penalização.

Além disso, a resistência média dos provetes húmidos deverá ser sempre superior a setenta e cinco por cento (75%) da resistência a seco.

Se não se cumprirem os valores anteriores proceder-se-á da seguinte maneira:

- Se a resistência média a seco, ou a húmido, da mistura betuminosa for inferior ao limite de penalização, será levantada a camada de mistura betuminosa correspondente ao lote controlado mediante fresagem e será reposta à conta do Empreiteiro.
- Se a resistência média a seco, ou a húmido, estiver entre os níveis de aceitação e penalização, será aplicada uma penalização de dez por cento (10%) à camada de mistura betuminosa correspondente ao lote controlado.
- Se não cumprir a prescrição de setenta e cinco por cento (75%) de resistência conservada, ou o número de valores individuais defeituosos superar os vinte por cento (20%), aplicar-se-á uma penalização de três por cento (3%) à camada de mistura betuminosa correspondente ao lote controlado.

As técnicas de reciclagem estão a iniciar-se no nosso país e seria desejável que a reciclagem em central fosse impulsionada, de modo a conseguir-se camadas de misturas betuminosas recicladas de grande qualidade e a cumprir as directivas europeias no respeitante à minimização do impacte ambiental provocado pela extracção de novos materiais pétreos e ao armazenamento de materiais de pavimentação fresados em vazadouros.

5.2.16. REFERÊNCIAS

- [1] EAPA - “Asphalt in Figures”, EAPA (European Asphalt Pavement Association), Julho, 2002;
- [2] PIARC - “Recycling of Existing Flexible Pavements”, PIARC (World Road Association), 2001.
- [3] Juan Antonio Fernández del Campo - “Tratado de Estabilización y Reciclado de Capas de Firmes con Emulsión Asfáltica”, AEC (Asociación Española de la Carretera), 1998.
- [4] EAPA - “Directivas Ambientais sobre as Melhores Técnicas Disponíveis (BAT) para a Produção de Misturas Betuminosas”, elaborado pela EAPA, traduzido para Português pela APORBET, 1998.

6. RECICLAGEM EM CENTRAL SEMI-QUENTE DE CAMADAS DE MISTURAS BETUMINOSAS

6.1. ESTUDOS DE LABORATÓRIO

Previamente à execução do trecho experimental deve ser realizado um estudo laboratorial inicial com o material fresado seleccionado e o ligante betuminoso, de modo a conhecer as características físicas da mistura betuminosa que se pretende.

6.1.1. MATERIAL FRESADO

O estudo do material fresado realiza-se com três amostras de material, recolhidas no tapete da central, antes do material fresado entrar no tambor-secador-misturador, em períodos distintos do processo de fabrico.

Granulometrias

No caso de um estudo sobre uma mistura betuminosa reciclada a “semi-quente”, a granulometria do material fresado realiza-se depois de o aquecer em estufa a 60°C, passando pela misturadora durante 60 s, arrefecendo à temperatura ambiente.

Evolução granulométrica

Denominou-se evolução granulométrica a variação que a granulometria inicial de um material fresado apresenta depois de ser compactado à compressão simples, utilizando uma carga de 6 ton., num molde, com uma humidade de 3%. Após compactação é imediatamente desmoldado e desagregado mecanicamente, durante 60 s e a seco, até atingir uma massa constante, em estufa a 60°C.

Este ensaio ajuda a conhecer qual a granulometria efectiva de um material, formado pela mistura betuminosa fresada, que irá servir de agregado e ser envolto por ligante betuminoso, mas que à partida se encontra semi-desagregado. Sabendo a diferença entre a superfície específica anterior à nova mistura com a emulsão betuminosa (mistura betuminosa reciclada) e a que se obteria depois da mistura compactada é possível determinar de uma forma mais correcta a dosagem em ligante.

Ao considerar a curva “média 6 t” como a curva do “agregado-compactado” de partida, não se julgou necessário ter em conta a curva do agregado que se obtém depois da extracção do ligante betuminoso final.

6.2. LIGANTE BETUMINOSO)

A emulsão betuminosa que se utiliza para estes trabalhos deve corresponder a uma emulsão catiónica de rotura lenta com betume aditivado especialmente para misturas a 90°C.

6.3. MISTURAS BETUMINOSAS RECICLADAS

Com base nos estudos realizados em laboratório, relativos às densidades obtidas em obra nas misturas recicladas, e nas densidades que se obtém em laboratório à compressão simples com 17 ton. de carga, optau-se por uma maior aproximação à

realidade aplicando cargas inferiores, tendo sido obtidas densidades similares às de obra aplicando 6 ton. de carga.

Esta conclusão está comprovada por estudos de outros laboratórios onde podemos destacar o estudo realizado no Laboratório de La Escuela de Caminos, UPC (Universidad Politécnica de Cataluña) por D. Félix Pérez Jiménez, Professor Catedrático de Caminos.

6.4. OUTROS ENSAIOS

Para se dispor de mais dados que permitam avaliar melhor este tipo de mistura quanto à coesão, deformação plástica e fadiga, realizaram-se os seguintes ensaios laboratoriais:

- Resistência à compressão diametral (ensaio brasileiro) NLT-346
- Resistência à deformação plástica mediante a pista de ensaio de laboratório NLT-173
- Ensaio de fadiga NLT-350

Foram ainda realizados ensaios de carga com deflectómetro de impacto sobre os materiais colocados no trecho experimental e medidas as deflexões do pavimento resultantes da aplicação de uma força de 65 kN.

Os resultados que de seguida se apresentam, não deverão ser tomados como definitivos, pois são os primeiros que se realizam a uma mistura reciclada “semi-quente” e convém serem verificados com mais amostras e mais vezes, ajustando algumas variáveis que podem melhorar a reprodutibilidade dos mesmos.

6.4.1. Resistência à compressão diametral

Para obter dados de coesão da mistura betuminosa reciclada realizam-se ensaios sobre os provetes de laboratório, moldados com o compactador Marshall.

6.4.2. Ensaio de pista

Para conhecer o comportamento da mistura betuminosa reciclada à acção provocada pelos rodados dos veículos pesados, são realizados sobre provetes extraídos do pavimento dois ensaios de pista, que determinam a resistência á deformação plástica.

6.4.3. Ensaio de fadiga

O comportamento à fadiga da mistura betuminosa reciclada, depois de ter sido submetida aos ciclos de ensaio indicados na norma utilizada, deve mostrar uma resistência equivalente à de uma mistura betuminosa densa a quente.

6.5. RECICLAGEM IN SITU A FRIO COM CIMENTO DE CAMADAS DE PAVIMENTOS

Esta secção diz respeito às especificações técnicas para os materiais e processos construtivos para a realização de reciclagem a frio *in situ* com cimento nos locais indicados nos desenhos de projecto, em conformidade com os pressupostos do projecto e as prescrições referidas nos capítulos seguintes.

Define-se como reciclagem a frio *in situ* com cimento de um pavimento, a técnica utilizada para a execução de uma mistura convenientemente espalhada e compactada, composta por material fresado do pavimento já existente, cimento, água e eventualmente aditivos e agregados de empréstimo.

No caso da empreitada em apreço o pavimento existente é constituído por camadas em misturas betuminosas e camadas de materiais granulares diversos.

O processo de execução compreende as seguintes operações:

- g) Estudo prévio dos materiais;
- h) Estudo da mistura e obtenção da fórmula de trabalho para cada trecho com características diferentes;
- i) Fresagem da parte do pavimento a reciclar;
- j) Incorporação, caso seja necessário, de agregados novos;
- k) Incorporação do cimento, água e, eventualmente, aditivos;
- l) Mistura e espalhamento;
- m) Compactação e acabamento;
- n) Cura e, caso seja necessário, aplicação de rega de protecção.

Em todo o processo de reciclagem devem ser observadas, com rigor, as disposições legais em vigor, no que respeita o ambiente, segurança e saúde, armazenamento e transporte dos materiais de construção.

6.6. MATERIAIS

6.6.1. Cimento

O cimento a utilizar deve cumprir as Normas Europeias e Portuguesas aplicáveis em vigor.

O cimento a utilizar na reciclagem de pavimentos a frio *in situ*, salvo justificação em contrário, deverá ser um cimento com elevadas percentagens de adições activas, tais como as pozolanas naturais ou artificiais (cinzas volantes). Entre os cimentos recomendáveis estão os pozolânicos, do tipo CEM IV, cimento Portland com adições, CEM II, os de alto forno, CEM III, e os compostos, CEM V.

Devem ser utilizados cimentos de classes de resistência média (da classe 32.5 da Norma europeia NP EN 197-1:2001 e NP EN 197-1:2001/A 1:2005 (Ed. 1), “Cimento. Parte 1: Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos correntes”.

Cimentos de classe superior (42,5) só devem ser utilizados sob condições especiais, tais como utilização da técnica de reciclagem a baixas temperaturas.

Cimentos de classes de resistência baixa conduzem a teores em cimento mais elevados (3 a 6%).

Não poderão ser usados cimentos com aluminato de cálcio, nem misturas de cimento com adições que não tenham sido efectuadas em fábricas produtoras de cimento.

O fornecimento do material à obra deve ser sempre acompanhado de boletim de ensaio que caracterize o lote de fabrico.

Deve ainda verificar-se o respeito pelo estipulado no Decreto-Lei n.º 139/96 de 16 de Agosto, nomeadamente no n.º 1 do artigo 1º, em caso de fabrico nacional, ou quando sejam importados de países não pertencentes à União Europeia ou subscritores do Acordo sobre o Espaço Económico Europeu (AEEE), ou nos n.º 3 ou n.º 4 do mesmo artigo, conforme for o caso, quando importados de países pertencentes à União Europeia ou subscritores do AEEE.

6.6.2. Materiais a reciclar *in situ*

O material a reciclar do pavimento existente será constituído por partículas revestidas ou não por ligantes betuminosos envelhecidos ou por cimento, resultante de uma adequada desagregação por fresagem, na profundidade estabelecida no projecto de execução.

A espessura das camadas em misturas betuminosas a tratar não deve ultrapassar 1/3 da espessura global, a qual deve ser a suficiente para possibilitar a reciclagem numa profundidade que garanta, após compactação, a espessura mínima, indicada no projecto de execução.

O projecto de execução determinará se existem zonas do pavimento que não são adequadas à reciclagem, ou seja aquelas cujos materiais existentes não devem reutilizar-se. Nestes casos os materiais serão removidos e transportados a vazadouros aprovados. Poderá ser também aprovada a reutilização de materiais fresados provenientes de outras localidades distintas da que está a ser intervencionada.

As camadas granulares não tratadas do pavimento existente deverão ser de materiais britados provenientes de rochas não evolutivas e as suas partículas devem ser limpas, duras, pouco alteráveis sob a acção dos agentes climatéricos, com qualidade relativamente uniforme e isentas de material orgânico, argilas ou de quaisquer outros produtos resultantes de contaminação a partir do seu leito ou da superfície.

O material a reciclar deverá apresentar as seguintes características mínimas:

- a) Dimensão do agregado, máxima 80 mm;
- b) Percentagem de material passado no peneiro de 4 mm,
mínima 30 %;
- c) Resistência à fragmentação
Coeficiente de Los Angeles, máximo 40 %;
- d) Índice de plasticidade, máximo 15 %;

- e) Limite de liquidez, máximo 35 %;
- f) Equivalente de areia da fracção 0/2 mm, mínimo 40 % ⁽¹⁾;
- g) Valor de azul de metileno da fracção 0/2 mm, máximo 2,5 ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ – Os finos do agregado não devem ser prejudiciais, devendo satisfazer pelo menos um dos dois critérios: equivalente de areia ou azul de metileno.

A granulometria do material a reciclar, depois de ter sido submetido à acção da “recicladora”, deve apresentar continuidade aceitável e enquadrar-se nominalmente entre as dimensões 0/25 mm e 0/50 mm. Caso tal não se verifique, deverá incorporar-se material granular adequado ou excluir-se o inadequado.

6.6.3. Água

A água a utilizar não deve conter óleos, ácidos, matéria orgânica ou outros produtos prejudiciais aos fins em vista. Deverá ainda obedecer ao que está previsto na legislação em vigor, tendo em atenção o fim a que se destina e, nomeadamente, satisfazer a Especificação LNEC E 372 – “Água de amassadura para betões – Características e verificação da conformidade”.

A verificação da conformidade, da água disponível para utilização, com aquela Especificação, deve verificar-se antes do início da produção da mistura reciclada com cimento e depois disso sazonalmente, pelo menos duas a quatro vezes por ano e sempre que se suspeitar da inconstância da sua qualidade.

6.6.4. Agregados novos de adição

Caso seja necessário adicionar agregados novos, para correcção granulométrica ou para nivelamento da plataforma, as suas características devem cumprir as especificações do caderno de encargos tipo da empreitada para os materiais das camadas de base, em agregado de granulometria extensa.

A granulometria e proporção deverão ser as indicadas pelo estudo de formulação, para que a granulometria da mistura de materiais a reciclar seja a mais contínua possível.

6.6.5. Aditivos

Caso haja necessidade de utilizar aditivos, para melhorar a trabalhabilidade ou as características da mistura reciclada, o tipo e quantidade deverão ser justificados no estudo de formulação.

Poderá ser autorizado o emprego de retardadores do tempo de presa para ampliar a trabalhabilidade do material, consoante as condições atmosféricas.

É obrigatório o recurso a retardadores de presa, se a temperatura ambiente durante a execução da reciclagem for igual ou superior a 30 °C.

Neste caso é obrigatória a execução prévia de ensaios para comprovar o seu eficaz funcionamento.

6.6.6. Tipo e composição da mistura reciclada

O estudo de formulação definirá o tipo e composição da mistura reciclada, cuja percentagem mínima em cimento e características finais deverão cumprir o indicado neste parágrafo.

A resistência mínima à tracção por compressão diametral deverá procurar cumprir o pressuposto tido em conta no projecto de execução para o dimensionamento do pavimento.

A percentagem de cimento, em relação à massa total da mistura reciclada seca, será obtida a partir de estudos de formulação laboratorial, para que sejam obtidas as seguintes características mínimas, em provetes moldados em laboratório:

- a) Percentagem em cimento relativamente à massa total em seco de materiais a reciclar, mínima3,5 %
- b) Resistência à compressão simples aos 7 dias, mínima 3,5 MPa;
- c) Resistência à tracção aos 7 dias, em ensaio de compressão diametral, mínima 0,4 MPa;
- d) Resistência à compressão simples aos 28 dias, mínima 4,0 MPa;
- e) Resistência à tracção aos 28 dias, em ensaio de compressão diametral, mínima 0,7 MPa;
- f) Resistência à compressão simples aos 90 dias, mínima 8,5 MPa;
- g) Resistência à tracção aos 90 dias, em ensaio de compressão diametral, mínima 1,2 MPa.

Os provetes para determinação das resistências à compressão e à tracção indirecta serão fabricados com martelo vibrador, de acordo com a EN 13286-4 - "Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 4: Test methods for laboratory reference density and water content - Vibrating hammer", com a energia de compactação de forma a obter 97% da baridade máxima obtida no ensaio Proctor modificado.

Os ensaios de compressão simples serão realizados de acordo com a EN 13286-41: "Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 41: Test methods for the determination of the compressive strength of hydraulically bound mixtures" e os ensaios de compressão diametral de acordo com a EN 13286-42: "Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 42: Test method for the determination of the indirect tensile strength of hydraulically bound mixtures".

O teor de água da mistura reciclada será fixado laboratorialmente de tal forma que as resistências obtidas sejam as mais elevadas, sem todavia ser inferior, em mais de 1%, ao teor óptimo obtido no ensaio Proctor modificado sobre a mistura reciclada. Como ordem de grandeza, o teor de água andarà entre os 4% e os 6%, quando da compactação.

O período de trabalhabilidade determinado de acordo com a EN 13286-45: "Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 45: Test method for the determination of

workability period of hydraulically bound mixtures”, à temperatura média ambiente, durante a execução da reciclagem, deve ser:

- a) Período de trabalhabilidade sem tráfego a circular construção em largura completa, mínimo 120 minutos;
- b) Período de trabalhabilidade sem tráfego a circular construção por faixas, mínimo 180 minutos;
- c) Período de trabalhabilidade com tráfego a circular, mínimo 240 minutos.

6.7. EQUIPAMENTOS A UTILIZAR

Os equipamentos a utilizar devem estar de acordo com a legislação em vigor, em matéria de ambiente, segurança e saúde.

Os equipamentos a utilizar serão os aprovados após a execução do trecho experimental.

Os equipamentos a utilizar para a fresagem e reciclagem serão dispositivos mecânicos. Estes poderão ser dispositivos independentes, que realizem em separado as operações de fresagem, de dosificação e distribuição do cimento e da água, de mistura, de espalhamento e de compactação, ou dispositivos que realizem duas ou mais destas operações simultaneamente, excepto a de compactação.

Quando a superfície a tratar for superior a 70.000 m² ou a categoria de tráfego pesado seja superior a classe T4, deverão ser utilizados dispositivos que integrem numa só máquina as operações de fresagem, de dosificação e distribuição do cimento, de mistura e de espalhamento.

6.7.1. Equipamento de reciclagem

A reciclagem *in situ* com cimento deverá ser efectuada por uma “recicladora” com potência para tratar uma espessura de 0,30 m numa única passagem e dotada de tambor com características adequadas ao tipo de trabalho previsto (reciclagem com cimento, em espessura significativa), produzindo um material homogéneo com a granulometria pretendida, bem como de dispositivos de guiamento que lhe permitam, mediante apoio topográfico, a consecução do nível de regularidade especificado e garantir que a espessura mínima a tratar preconizada no projecto (após compactação) se concretize. É extremamente importante a garantia da espessura final prevista no projecto.

O equipamento de fresagem terá de possuir um dispositivo que impeça o arrancamento de blocos, proporcionando uma escarificação homogénea e regular.

À “recicladora” será acoplado uma unidade móvel de armazenamento de água, cimento e de aditivos, dotada de misturador para o fabrico da leitada de água e cimento que será depois bombeada para os bicos de aspersão existentes junto ao rotor da “recicladora”.

6.7.2. Equipamento de compactação

Os equipamentos de compactação deverão assegurar uma compacidade adequada e homogénea da camada em mistura reciclada em toda a sua espessura, sem produzir roturas do material nem ondulações.

Os equipamentos de compactação deverão ser auto-propulsionados, serem dotados de inversores de sentido de deslocação suaves e dotados de dispositivos para os manter húmidos, caso seja necessário.

A composição do trem de compactadores deverá ser definida no trecho experimental e deverá ser composta, pelo menos, por um cilindro vibrador com carga estática por unidade de comprimento de geratriz vibrante superior a 30 kN/m, capaz de alcançar uma massa de pelo menos 15 t, com amplitudes e frequências de vibração adequadas, e por um cilindro de pneus, capaz de alcançar uma massa de pelo menos 35 t e uma carga por roda de 5 t, com uma pressão de enchimento dos pneus de pelo menos 0,8 MPa.

6.8. MÉTODO CONSTRUTIVO

6.8.1. Preparação da superfície existente

Antes do início do processo de reciclagem, a superfície a tratar deverá ser preparada, procedendo-se para tal às seguintes operações:

- a) Limpeza e remoção de materiais estranhos existentes em toda a largura do pavimento;
- b) Tratamento e/ou eliminação de zonas muito contaminadas que possam não cumprir as especificações mínimas para serem recicladas;
- c) Nivelamento da plataforma, recorrendo para tal a agregado de granulometria extensa, de forma a conseguir os perfis longitudinal e transversal previstos, ou a fracções de agregados de adição para correcção granulométrica do material a reciclar, nos casos em que seja necessário.

6.8.2. Fresagem da parte do pavimento a reciclar e adição dos novos materiais

A fresagem será realizada com o equipamento e método aprovado pela Fiscalização após a execução dos trechos experimentais.

Em cada trecho homogéneo, para garantia de uma profundidade de fresagem uniforme, deverá ser mantida a velocidade constante de deslocação e da rotação do rotor de fresagem. Devem ser evitadas paragens e quando tal for imprescindível, deverá cortar-se de imediato o fornecimento de cimento e água para evitar sobreexposições ou encharcamentos.

A distribuição do cimento, da água e dos aditivos será feita uniformemente com a dosificação fixada na fórmula de trabalho. A distribuição do cimento será realizada em forma de leitada e directamente no misturador do dispositivo de reciclagem.

6.8.3. Mistura

Imediatamente após o espalhamento do cimento deverá proceder-se à sua mistura com o material fresado.

Deverão tomar-se as precauções adequadas para evitar o tratamento de qualquer zona da superfície do pavimento em que se observe encharcamento da camada a reciclar.

A dispersão do cimento na mistura deverá ser homogénea, facilmente reconhecida pela sua cor uniforme e ausência de torrões de cimento. Todo o cimento deverá ser misturado com o material fresado antes de ter decorrido uma hora desde a sua aplicação.

O equipamento de reciclagem deverá estar munido dos dispositivos necessários para garantir uma mistura homogénea em toda a largura e profundidade do tratamento. Deverá parar-se o processo e realizar as correcções adequadas sempre que se detectem segregações, partículas desrevestidas ou diferenças na percentagem de cimento ou água, em qualquer parte da superfície reciclada.

Quando a largura da superfície a tratar seja superior à do equipamento de trabalho, a reciclagem executar-se-á por faixas paralelas com sobreposição de 0,15 a 0,30 m, para não deixar materiais não tratados nas zonas limites. Nestas sobreposições deverão adoptar-se as medidas necessárias para evitar sobredosagens quer de cimento, quer de água.

Caso se utilizem dois equipamentos de reciclagem em paralelo, deverá adoptar-se a mesma precaução, no que respeita as larguras de trabalho; o desfasamento entre as duas máquinas deverá ser a menor possível, de modo que ao compactar-se em toda a largura não se produzam juntas longitudinais no interior da faixa.

A execução por faixas deverá ser adequadamente planeada para permitir a circulação do tráfego, caso seja necessário, dando a máxima relevância às condições de segurança de circulação e de pessoal.

Delimitar-se-á cuidadosamente as bermas ou zonas adjacentes à faixa de circulação, de modo a evitar que os respectivos materiais se misturem com os materiais a reciclar.

6.8.4. Incorporação de agregados novos

Caso seja necessária a adição de agregados novos ao material a reciclar, este será incorporado mediante a sua colocação numa camada de espessura adequada sobre a superfície existente, antes da fresagem, como se referiu em 4.1.c).

6.8.5. Compactação

A compactação deverá realizar-se imediatamente após a execução da mistura, para evitar percas de humidade e permitir o seu acabamento dentro do prazo de trabalhabilidade do material.

Caso tal não aconteça, a mistura não poderá permanecer mais de meia hora sem que se inicie o processo de compactação e de acabamento.

A determinação do número de passagens e composição dos cilindros deverá ser efectuada no trecho experimental.

A título informativo refere-se ser corrente um número de passagens do cilindro vibrador entre 6 e 10 (só sendo aumentado se a experiência demonstrar que não tem efeitos contraproducentes). Caso seja necessário utilizar uma moto-niveladora, as duas primeiras passagens do cilindro serão feitas estaticamente, numa primeira fase, antes da operação de regularização efectuada pela moto-niveladora, e após a regularização procede-se às restantes passagens do cilindro.

A compactação executar-se-á longitudinalmente de forma contínua e sistemática, até se atingir o grau de compactação pretendido. Se a reciclagem se realizar por faixas paralelas os cilindros deverão sobrepor-se na faixa adjacente em pelo menos 0,15 m. Se forem utilizados dois equipamentos de reciclagem em paralelo compactar-se-á toda a largura abrangida pelas duas máquinas.

Os cilindros deverão levar a sua roda motriz do lado mais próximo do equipamento de reciclagem, as mudanças de direcção far-se-ão sobre a camada já compactada. Os cilindros deverão estar sempre limpos e se necessário húmidos.

A compactação iniciar-se-á pelo bordo mais baixo da faixa que está a ser tratada, prosseguindo até ao bordo mais elevado, sobrepondo-se as passagens sucessivas. Durante a compactação deverá dispor-se de equipamento capaz de espalhamento de água em forma de neblina sobre a superfície reciclada a fim de evitar secagens superficiais prematuras.

Em qualquer secção transversal a compactação de uma faixa deverá estar concluída antes de terminar o período de trabalhabilidade da faixa adjacente compactada previamente.

Em zonas inacessíveis aos equipamentos de compactação deverão utilizar-se outro tipo de compactadores apropriados, placas ou rolos vibratórios, para se atingir resultados semelhantes aos obtidos com os compactadores correntes aprovados.

6.8.6. Acabamento da superfície

Uma vez terminada a compactação não é permitida a execução de sobreessuras. No caso de se obterem espessuras inferiores não será permitida a construção de camadas delgadas.

No entanto, e sempre dentro do período de trabalhabilidade, poderá proceder-se a um nivelamento com moto-niveladora ou escarificação, procedendo-se em seguida ao varrimento do material excedentário, humedificação e recompactação da área corrigida.

Salvo justificação em contrário, o acabamento deverá ser efectuada com cilindros de rolo liso sem vibração.

Os excessos laterais sem compactação adequada serão removidos, excepto se formarem parte do talude exterior da plataforma.

6.8.7. Juntas de trabalho e interfaces com caixas de visita

As juntas de trabalho ocorrerão sempre que o processo construtivo se interrompa (paragem da “recicladora”) independentemente do período de trabalhabilidade. Os trabalhos deverão ser programados para que não ocorram mais do que duas paragens (tidas como inevitáveis) em cada dia de trabalho, para cada faixa a reciclar.

Entre duas faixas paralelas adjacentes executar-se-á uma junta longitudinal sempre que as operações a efectuar ultrapassem o período de trabalhabilidade da mistura.

As juntas longitudinais entre a zona reciclada e o pavimento existente ou as bermas não poderão coincidir com os alinhamentos das rodéiras do tráfego pesado.

A largura das faixas longitudinais será fixada de modo a executar-se o menor número possível de juntas e se consiga a maior continuidade de tratamento, tendo em conta a largura da secção, a eventual manutenção da circulação de tráfego e as características do equipamento empregue.

Executar-se-ão juntas transversais de trabalho sempre que o processo construtivo se interrompa por um prazo superior ao período de trabalhabilidade da mistura.

No caso de estarem presentes na área da faixa de rodagem caixas de visita de infra-estruturas, ou bocas-de-incêndio ou quaisquer outros obstáculos similares, deverá o Adjudicatário demolir cuidadosamente o pavimento circundante numa área da ordem de $1,0 \times 1,0 \text{ m}^2$, com recurso a martelos pneumáticos caso seja necessário, até uma cota inferior, em 0,05 m, relativamente à que se pretenda atingir com o procedimento de reciclagem *in situ*. Depois disso demolirá os topos das caixas de visita e rebaixará as bocas-de-incêndio até à mesma cota, colocando sobre ele(a)s uma chapa de aço de espessura adequada e com área igual à da demolição previamente efectuada. Seguidamente preencher-se-ão as cavidades assim constituídas com um material de granulometria extensa próximo em características ao que estiver a ser reciclado, após o que se poderá iniciar o processo de reciclagem *in situ*, por estarem reunidas condições para que a “recicladora” opere em contínuo.

Após a passagem da “recicladora” e concluídas as operações de compactação (logo que possível, a fim de que o início do processo de presa não possa dificultar a tarefa) levantar-se-á todo o material que se tenha colocado sobre as referidas chapas de aço, reconstruindo-se oportunamente os topos das caixas de visita e/ou subindo as bocas-de-incêndio para a cota tida por conveniente (poderá não ser a definitiva, caso o Adjudicatário entenda programar os seus trabalhos de forma a que decorra um tempo significativo antes da colocação de todas as camadas de recobrimento da mistura reciclada *in situ*).

Logo que seja possível deve regularizar-se o fundo da cavidade com um “material britado 0/5 mm”, para constituir leito corrente até à cota que deveria ter sido atingida com o processo de reciclagem, aplicando-se em seguida material tratado com cimento nos moldes já descritos.

6.8.8. Tratamento de cura e protecção superficial

Após terminadas as operações de compactação e acabamento e sempre antes de um período de 3 horas, proceder-se-á à aplicação de um tratamento de cura.

O tratamento de cura é realizado com uma emulsão betuminosa, definida no projecto de pavimentação, à taxa de 0,5 kg/m² de betume residual.

A superfície a tratar deve ser mantida húmida até ao momento de aplicação do tratamento, que deve ser feito tão cedo quanto possível, logo após a compactação.

A Fiscalização poderá aceitar, no entanto, que o tratamento de cura apenas seja feito duas vezes por dia, nas quatro horas após o final da compactação, caso as condições climáticas o permitam e sob condição de se manter a superfície húmida.

Caso se preveja a circulação de qualquer tipo de tráfego directamente sobre a camada tratada, deve ainda ser espalhada uma gravilha 3/6 à taxa de 4 a 6 litros/m², compactada com um cilindro de pneus, e previamente à abertura ao tráfego deverá ser varrido o material solto. O tratamento de cura deve ser mantido e, se necessário, aplicado novamente até à execução da camada seguinte.

Não poderá circular qualquer tipo de tráfego sobre a superfície tratada antes de se produzir a rotura da emulsão betuminosa de cura.

A circulação de veículos de obra sobre a camada deve ser restringida e será interdita durante

7 dias após construção. Caso, posteriormente, a camada seja frequentemente circulada pelo tráfego de obra, cuja carga seja compatível com a sua capacidade estrutural, a situação será analisada em conjunto com o Projectista, de forma a ser apresentada uma solução à Fiscalização.

Antes da aplicação da camada sobrejacente, dever-se-á remover o tratamento de cura que se apresenta desligado da camada, usando-se para o efeito vassouras mecânicas.

6.8.9. Limitações de execução

A reciclagem *in situ* com cimento só pode ser executada quando a temperatura ambiente, à sombra, for superior a 5 °C, inferior a 35 °C e não se preveja a formação de gelo. Caso haja o risco de ocorrência de chuvadas durante o período dos trabalhos, estes deverão ser imediatamente suspensos e será aplicado o tratamento de cura preconizado.

6.9. ESTUDOS, INSPECÇÕES E ENSAIOS

6.9.1. Estudos laboratoriais prévios

Antes do início dos trabalhos deverá ser realizada uma inspecção da superfície para comprovação dos dados do projecto de execução e deverá ser efectuado um zonamento em subtrechos homogéneos, para efeitos de amostragem e de execução dos trechos experimentais.

Tomar-se-ão amostras representativas dos materiais existentes nos vários subtrechos definidos no zonamento de amostragem, comprovando também a espessura dos materiais e o tipo das diferentes camadas.

Considerar-se-ão homogêneos os subtrechos de amostragem cujos resultados individuais da análise granulométrica e da baridade máxima, obtida no ensaio Proctor modificado, estejam enquadrados nas seguintes tolerâncias (em percentagem):

- Percentagem retida no peneiro de 80 mm,
em relação à massa total seca do material a reciclar 0;
- Percentagem que passa no peneiro de 4 mm,
em relação à massa total seca do material a reciclar ± 4 ;
- Baridade máxima obtida no ensaio Proctor modificado, ± 3 .

Estas características serão verificadas em amostras colhidas após passagem de uma fresadora de características similares, ou outro dispositivo, que produza uma fresagem adequada e semelhante à da máquina que vai ser empregue na execução da empreitada.

Caso não se utilize na escarificação e desagregação dos materiais, a serem submetidos aos estudos de formulação, a “recicladora” a empregar durante a execução da empreitada, a granulometria e características dos materiais deverão ser validados em fase de execução dos trechos experimentais, para que os mesmos sejam considerados efectivos.

Deverão ser estudadas as diferentes situações abrangidas pela empreitada, nomeadamente a reciclagem interessando apenas as camadas do pavimento existente, a reciclagem interessando as camadas do pavimento existente e materiais granulares, e interessando apenas materiais granulares de adição. Estas duas últimas situações correspondem à colocação de novos materiais granulares, quer em agregado britado de granulometria extensa, sobre o pavimento existente, para reperfilamento dos perfis longitudinais e transversais quer de fracções de agregados para correcção granulométrica do material a reciclar.

Os estudos laboratoriais para formulação da mistura reciclada a serem submetidos à aprovação da Fiscalização, com a antecedência de 15 ou mesmo 8 dias em relação à data de execução dos trechos experimentais, deverão apresentar:

- Curva granulométrica dos materiais resultantes da escarificação e sua definição;
- Necessidade de introduzir agregados novos para correcção granulométrica;
- Ensaio específicos dos materiais, indicados nas rubricas do capítulo 2.;
- Tipo, percentagem e características do cimento;
- Teor e tipo de aditivos, caso sejam utilizados;

- Teor de água de amassadura, que será fixado para que as resistências mecânicas sejam as mais elevadas;
- Resultados do ensaio Proctor modificado sobre a mistura reciclada;
- Resultados dos ensaios de resistência:
 - Compressão simples aos 7 e 28 dias;
 - Tração, em ensaio de compressão diametral, aos 7 e 28 dias;
- Período de trabalhabilidade – período, posterior à mistura (em laboratório), em que a presa do cimento se mantém praticamente nula, ou bastante incipiente, permitindo a compactação da mistura reciclada *in situ*.

A proporção de água de amassadura será a correspondente à humidade óptima determinada no ensaio Proctor modificado, realizado sobre a mistura de materiais a reciclar, o agregado novo, caso seja necessário, e a percentagem em cimento determinada para cada subtrecho homogêneo. Não obstante, dada a possível variação das características dos materiais existentes no pavimento, é possível que seja necessário realizar ajustes no teor de água durante a execução da obra, o que deverá ser decidido no trecho experimental.

A proporção necessária de cimento na mistura reciclada será determinada, salvo justificação em contrário, mediante ensaios de resistência à compressão simples e de compressão diametral, de modo a que se cumpram os limites especificados aos 7 e 28 dias. Serão moldados e acondicionados provetes para determinação da resistência aos 90 dias, cujos resultados serão entregues à Fiscalização posteriormente à entrega dos estudos laboratoriais, antes de decorridos 90 dias de vida dos trechos experimentais.

Os provetes, em grupos de três para cada idade, serão fabricados de acordo com a norma europeia EN 13286-4 - “Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 4: Test methods for laboratory reference density and water content - Vibrating hammer”, com a energia de compactação de forma a obter 97% da baridade máxima obtida no ensaio Proctor modificado.

Os estudos deverão indicar as características de referência para cada um dos subtrechos homogêneos e as fórmulas de estudo a utilizar nos trechos experimentais.

Deverão ser executados estudos laboratoriais para definição de fórmulas de estudo a empregar em novos trechos experimentais, cada vez que variem as características ou procedências do cimento, dos aditivos, dos materiais granulares novos, se forem necessários, e dos materiais a reciclar.

Caso variem de forma importante as condições ambientais deverão ser de novo determinados os períodos de trabalhabilidade.

As tolerâncias admissíveis em relação à fórmula de estudo serão as que se indicam a seguir, tendo em conta que em nenhum caso os valores poderão ultrapassar os limites especificados:

- Percentagem de material retido no peneiro de 80 mm, em relação à massa total seca da mistura reciclada 0;
- Percentagem de material passado nos peneiros superiores a 4 mm, em relação à massa total seca da mistura reciclada ± 6 ;
- Percentagem de material passado no peneiro de 4 mm ou inferiores, em relação à massa total seca da mistura reciclada ± 4 ;
- Percentagem de material passado no peneiro de 0,063 mm (incluindo o cimento), em relação à massa total seca da mistura reciclada $\pm 1,5$;
- Percentagem de cimento $\pm 0,3$;
- Teor de água total de compactação, em relação ao teor óptimo - 1,5/ + 0,5.

Realce-se o facto de que variações do teor de água para além das tolerâncias admitidas acarretarão uma diminuição significativa das características mecânicas da mistura *in situ*.

6.9.2. Trechos experimentais

Antes do início da execução dos trabalhos de reciclagem a frio *in situ* com cimento deverá proceder-se à realização de trechos experimentais para definição das fórmulas de trabalho e validação da metodologia de execução, conforme referido em 5.1.

O plano de realização dos trechos experimentais deverá ser previamente submetido à Fiscalização.

Para cada um dos subtrechos homogêneos de amostragem realizar-se-á um trecho experimental.

Os trechos experimentais deverão ser realizados utilizando as fórmulas de estudo, com a espessura indicada no projecto de execução, e empregando os mesmos equipamentos a serem utilizados continuamente em obra.

Os trechos experimentais deverão ter cerca de 100 m de comprimento por 3 m de largura (preferencialmente a largura de uma via).

Para além da verificação da espessura da camada, deverão ser ensaiadas as amostras necessárias para se determinar a conformidade com as condições especificadas neste Caderno de Encargos quanto à granulometria, à percentagem de cimento e eventuais aditivos, teor de água, compactidade, características mecânicas, aos 7, 28 e 90 dias, em grupos de três provetes, para cada idade, moldados em laboratório, e aos demais requisitos exigidos.

No início de cada um dos trechos experimentais proceder-se-á:

- Verificação da profundidade de fresagem;
- Ajuste da velocidade de avanço do equipamento de modo a obter a profundidade desejada, a granulometria especificada e uma mistura uniforme e homogénea;
- Determinação da granulometria do material fresado que se vai reciclar;
- Comprovação e ajuste da fórmula de estudo de forma a obter a fórmula de trabalho.

Durante a execução dos trechos experimentais serão analisados os seguintes aspectos:

- Comprovação da precisão dos sistemas de dosagem de cimento, água e eventualmente aditivos;
- Estabelecimento das relações entre teor de água e grau de compactação atingido;
- Estabelecimento das relações entre ordem e número de passagens dos compactadores e o grau de compactação atingido;
- Medição do empolamento da camada reciclada, através da diferença de espessura antes da fresagem e após compactação.

Caso os ensaios efectuados no trecho experimental revelem que da reciclagem *in situ* não se obtenham resultados que se enquadrem nas condições especificadas, deverão ser de imediato introduzidas as correcções que forem julgadas necessárias. Uma vez efectuadas as correcções, deve realizar-se um segundo trecho experimental. O processo será iterativo, repetindo-se tantas vezes quantas as que se revelarem necessárias.

Após decorridos 5, 26 e 88 dias da execução dos trechos experimentais serão extraídos dez tarolos cilíndricos, em cada uma das idades. Tais tarolos serão extraídos em locais aleatórios, distanciados entre si de cerca de 7 m no sentido longitudinal e distanciados de pelo menos 0,5 m de qualquer fenda de retracção, junta transversal ou bordo visível. Estes tarolos destinam-se aos ensaios para determinação da resistência à compressão simples e compressão diametral, depois de conservados 48 h à temperatura ambiente, em laboratório. Os resultados destes ensaios serão relacionados com os obtidos nos provetes moldados e servirão de base para comparação com os obtidos nos ensaios de avaliação da conformidade.

No final da execução dos trechos experimentais e decorridos 7, 28 e 90 dias realizar-se-ão ensaios de carga com placa, para determinação do módulo de deformabilidade EV2 *in situ*, a validar com ensaios de carga com deflectómetro de impacto.

Decorridos 90 dias da execução dos trechos experimentais realizar-se-ão ensaios de carga com deflectómetro de impacto para comprovação das características de deformabilidade tidas em conta no projecto de execução.

Os resultados obtidos no trecho experimental válido servirão para fixar a fórmula de trabalho definitiva de cada um dos subtrechos homogêneos e os valores de referência dos ensaios de avaliação da conformidade.

Os encargos com a realização dos ensaios resultantes destes trechos experimentais são da conta do Adjudicatário.

6.9.3. Controlo da execução

Avaliação da conformidade do material

Durante a execução da camada em mistura reciclada a frio in situ com cimento, o Adjudicatário deve realizar o controlo periódico dos materiais e características da mistura, para assegurar a sua conformidade com os requisitos especificados.

Para o efeito deve assegurar as frequências mínimas de inspecção e ensaio apresentadas nos quadros 1 e 2 e deve reportar à Fiscalização, com frequência semanal, os respectivos resultados.

Quadro 1 - Frequências mínimas dos ensaios a realizar sobre os materiais a reciclar

Ensaio corrente	Frequência
Granulometria dos materiais a reciclar <i>in situ</i> ou dos agregados de adição	1 por cada 1.000 m ³ ou dia de trabalho;
Equivalente de areia	1 por cada 1.000 m ³ ou dia de trabalho;
Valor de azul de metileno	1 por cada 1.000 m ³ ou dia de trabalho;
Limites de liquidez e índices de plasticidade	1 por semana, ou sempre que se altere a proveniência;
Resistência à fragmentação - Coeficiente de Los Angeles	1 por mês, ou sempre que se altere a proveniência, ou em caso de dúvida, num mínimo de 3 resultados durante a empreitada.

Quadro 2 - Frequências mínimas dos ensaios a realizar sobre a mistura reciclada

Ensaio corrente	Frequência
Espessura da camada tratada	2 por dia de trabalho;
Granulometria da mistura reciclada à saída da recicladora	1 por cada 1.000 m ³ , ou dia de trabalho;
Teor de água da mistura reciclada	2 por cada 1.000 m ³ ou dia de trabalho;
Teor de cimento	2 por cada 1.000 m ³ ou dia de trabalho;
Determinação da baridade seca <i>in situ</i> , pelo método do núcleo densímetro	7 por cada 1.000 m ³ ou dia de trabalho;
Resistência à compressão simples aos 7 dias e 28 dias em provetes moldados com a mistura reciclada à saída da recicladora	2 grupos de 3 provetes por cada 1.000 m ³ , ou por cada dia de trabalho;
Resistência à tracção, por compressão diametral aos 7 e 28 dias em provetes moldados à saída da recicladora	2 grupos de 3 provetes por cada 1.000 m ³ , ou por cada dia de trabalho;
Ensaio de carga com placa aos 7 e 28 dias	2 por cada 1.000 m ³ ;
Resistência à compressão diametral de tarolos da mistura reciclada, aos 28 dias	1 grupo de 3 carotes por cada 1.000 m ³ ;
Resistência à compressão diametral de tarolos da mistura reciclada, aos 90 dias	1 grupo de 3 carotes por cada 1.000 m ³ .

O controlo do teor de cimento será feito através dos dados de controlo da recicladora respeitantes ao fabrico e consumo da leitada de cimento.

Os tarolos são extraídos após decorridos 26 e 88 dias da execução do pavimento, em locais aleatórios, distanciados entre si de pelo menos 7 m no sentido longitudinal e de pelo menos 0,5 m de qualquer fenda de retracção, junta transversal ou bordo visível. Estes tarolos destinam-se aos ensaios para determinação de espessuras e da resistência à compressão diametral, depois de conservados 48 h à temperatura ambiente, em laboratório.

Espessura da camada tratada

A espessura da camada reciclada não deverá ser inferior à prevista no projecto de execução, em nenhum ponto, quando verificada por métodos não destrutivos (nivelamento).

Grau de compactação

A baridade seca média na espessura da camada reciclada obtida em qualquer ponto deverá ser superior a 97% da baridade máxima obtida no ensaio Proctor modificado (EN 13286-2), para a fórmula de trabalho aprovada.

Com este valor de referência fabricar-se-ão os provetes para determinação das resistências à compressão simples e à compressão diametral.

Em qualquer ponto da camada tratada, do topo à base, não poderá ocorrer um valor inferior a 95% da baridade máxima obtida no ensaio Proctor modificado.

A determinação da baridade seca e do teor de água *in situ* será feita por métodos nucleares (ASTM D-2922 e ASTM D-3017), periodicamente no decurso da obra, mas após calibração pelo método da garrafa de areia (Especificação LNEC E 204) nos trechos experimentais.

Em laboratório a determinação do teor de água poderá ser feito pelo método expedito do Speedy, calibrado pelo método da estufa (NP EN 1097-5).

Resistência mecânica

As resistências à compressão simples (EN 13286-41) e à compressão diametral (EN 13286-42) aos 7, 28 e 90 dias de provetes moldados em laboratório deverão ser superiores aos limites especificados em 2.6.

A resistência à tracção aos 90 dias, em ensaios de compressão diametral de tarolos colhidos na camada em mistura reciclada, deve ser no mínimo de 0,9 MPa.

Módulo de deformabilidade EV2

Nos trechos experimentais e durante a execução da camada reciclada na obra deve o Adjudicatário realizar ensaios de carga com placa (NLT 357), para avaliar a conformidade da camada em termos do seu módulo de deformabilidade EV2, conforme especificado em 5.3.1.

Regularidade da camada executada *in situ*

A superfície da camada deve apresentar uma textura uniforme, isenta de fendas que não as de retracção, segregações, ondulações ou material solto, com as pendentes adequadas.

A superfície terminada não pode, em qualquer ponto, apresentar diferenças superiores a 1,5 cm em relação aos perfis longitudinal e transversal estabelecidos, nem apresentar irregularidades superiores a 1 cm, no sentido longitudinal e 1,5 cm no sentido transversal, quando medidas com a régua de 3 m.

6.9.4. Normas dos métodos de ensaio referenciadas

NP 143 - Solos. Determinação dos limites de consistência

NP EN 932-1 - Ensaio das propriedades gerais dos agregados. Parte 1: Métodos de amostragem

NP EN 932-2 - Ensaio das propriedades gerais dos agregados. Parte 2: Métodos de redução de amostras laboratoriais

NP EN 932-5 - Ensaio das propriedades gerais dos agregados. Parte 5: Equipamento comum e calibração

NP EN 933-1 - Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise granulométrica. Método da peneiração

NP EN 933-2 - Ensaio para determinação das características geométricas dos agregados. Parte 2: Determinação da distribuição granulométrica. Peneiros de ensaio, dimensão nominal das aberturas

NP EN 933-3 - Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 3: Determinação da forma das partículas. Índice de achatamento

NP EN 933-5 - Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 5: Determinação da percentagem de superfícies esmagadas e partidas nos agregados grossos

NP EN 933-8 - Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 8: Determinação do teor de finos. Ensaio do equivalente de areia

NP EN 933-9 - Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 9: Determinação do teor de finos. Ensaio do azul de metileno

NP EN 1097-2 - Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 2: Métodos para a determinação da resistência à fragmentação

NP EN 1097-5 - Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 5: Determinação do teor de humidade por secagem em estufa ventilada

EN 13286-1: Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 1: Test methods for laboratory dry density and water content - Introduction, general requirements and sampling

EN 13286-2 - Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 2: Test methods for the determination of the laboratory reference density and water content - Proctor compaction

Especificação LNEC E 204 - Solos - Determinação da baridade seca "in situ" pelo método da garrafa de areia

EN 13286-4 - Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 4: Test methods for laboratory dry density and water content - Vibrating hammer

EN 13286-41 - Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 41: Test methods for the determination of the compressive strength of hydraulically bound mixtures

EN 13286-42 - Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 42: Test method for the determination of the indirect tensile strength of hydraulically bound mixtures

EN 13286-45 - Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 45: Test method for the determination of workability period of hydraulically bound mixtures

ASTM D-2922 - Test methods for density of soil and soil-aggregate in place by nuclear methods

ASTM D-3017 - Test methods for water content of soil and rock in-place by nuclear methods (shallow depth)

NLT 357 - Ensayo de placa con carga

6.10. CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO E REJEIÇÃO

6.10.1. Definição de lote

Para efeitos do critério de aceitação ou rejeição considera-se um lote que será aceite ou rejeitado, no todo, a menor das quantidades que resulte da aplicação dos 3 critérios seguintes:

- a) 500 m de execução de 2 vias ou 1.000 m de execução de 1 via;
- b) 1.000 m³ de produção da mistura reciclada;
- c) Um dia de trabalho.

6.10.2. Grau de compactação

O grau de compactação médio não deverá ser inferior ao especificado em 3.4.3. Apenas são permitidos dois resultados individuais, da amostra ensaiada por cada lote, inferiores ao exigido em mais de dois pontos percentuais.

Se o grau de compactação médio for inferior a 95%, relativamente à baridade máxima obtida no ensaio Proctor modificado, será removida a camada em mistura reciclada correspondente ao lote em análise, através de fresagem, e proceder-se-á à sua reposição com um material aprovado pela Fiscalização, a expensas do Adjudicatário.

Se o grau de compactação médio estiver compreendido entre 95% e 97%, relativamente à baridade máxima obtida no ensaio Proctor modificado, poderá ser efectuado um estudo para avaliar o comportamento do pavimento, de forma a verificar a viabilidade de não remover a camada, sujeito à aprovação da Fiscalização.

6.10.3. Resistência mecânica

A resistência à compressão e à tracção média de um lote, consoante a idade, não deverão ser inferiores ao especificado em 3.4.3.

Se a resistência à compressão e à tracção média for inferior à exigida, deverá ser efectuado um estudo para avaliar o comportamento do pavimento, de forma a verificar a viabilidade de aceitação da camada no lote, sujeito à aprovação da Fiscalização.

Caso não haja lugar à aceitação do lote, será feita a compensação da falta de resistência mecânica pelo aumento de espessura das camadas superiores, em misturas betuminosas, a expensas do Adjudicatário.

6.10.4. Espessura da camada tratada

A espessura média obtida nos tarolos retirados do pavimento não deverá ser inferior ao especificado no projecto de execução, sendo apenas permitidos dois resultados individuais, da amostra ensaiada por cada lote, inferiores em 10% ao exigido no projecto de execução.

Se a espessura média obtida for inferior à especificada anteriormente, a regularização será feita através da colocação de uma espessura adicional equivalente da camada superior, a expensas do Adjudicatário.

Se a espessura média obtida for superior à especificada anteriormente, a regularização será feita através da fresagem da sobreespessura, a expensas do Adjudicatário.

6.10.5. Regularidade

As diferenças de cota entre a superfície acabada e a estabelecida no Projecto de Execução, não poderão exceder as tolerâncias especificadas em 3.4.3..

Se as tolerâncias forem ultrapassadas, por defeito, mas não se verificarem zonas de acumulação de água, a Fiscalização poderá aprovar a regularização à custa de um aumento adicional de espessura da camada superior, a expensas do Adjudicatário.

Quando as tolerâncias forem ultrapassadas, por excesso, haverá que corrigir através de fresagem, sempre que tal não causar uma redução de espessura da camada em relação ao previsto.

6.11. CRITÉRIO DE MEDIÇÃO

Consideram-se incluídos todos os trabalhos associados ao fabrico, transporte, espalhamento e compactação da mistura reciclada com cimento, os quais serão medidos ao metro quadrado efectivamente aplicado.