

A EXPERIÊNCIA PORTUGUESA NA RECICLAGEM DE PAVIMENTOS “IN SITU” A FRIO COM EMULSÃO BETUMINOSA

COLD IN PLACE RECYCLING PAVEMENTS WITH BITUMINOUS EMULSIONS: THE PORTUGUESE EXPERIENCE

Batista, F. A., *LNEC, Lisboa, Portugal, xana@lnec.pt*

Antunes, M. L., *LNEC, Lisboa, Portugal, mlantunes@lnec.pt*

Lopes, M. G., *ISEL, Lisboa, Portugal, gloopes@dec.isel.ipl.pt*

Nunes, G., *CM Cascais, Lisboa, Portugal, nunes.gabriela@netcabo.pt*

RESUMO

Sob a acção do tráfego e dos agentes atmosféricos os pavimentos vão-se degradando, atingindo, por vezes, estados de degradação tais que conduzem à necessidade da sua reabilitação estrutural. A consciencialização da necessidade do emprego de técnicas de construção que, não só possibilitem uma reabilitação adequada, mas que também sejam económica e ambientalmente aceitáveis, tem conduzido à substituição das técnicas de reabilitação convencionais por outras, como seja a reciclagem dos materiais fresados dos pavimentos. A reciclagem *in situ* a frio é uma dessas técnicas. Neste artigo faz-se um balanço da experiência adquirida ao longo de 15 anos de aplicação desta técnica em Portugal e apresentam-se recomendações relativamente à sua utilização.

ABSTRACT

At the end of the service-lifetime of a road, when the damaged pavement can not anymore fulfil its purpose of a comfortable carrier of traffic, the road pavement must be rehabilitated. As we become more conscious of the need for construction techniques that not only rehabilitate to acceptable standards but are also environmentally acceptable, recycling techniques of asphalt pavements have proven to be an attractive alternative to conventional techniques of pavements reinforcement. Cold in place recycling is now an accepted road rehabilitation process in many countries. In this article a general overview of all the experience gained in Portugal in this field until nowadays is made, and the most important conclusions from this experience are presented.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo da sua vida útil, os pavimentos rodoviários estão sujeitos a diversas acções que conduzem a alterações nas suas características superficiais e estruturais, estando entre os principais responsáveis pelo desenvolvimento da degradação nos pavimentos flexíveis, o tráfego pesado e a acção dos agentes atmosféricos.

Para a conservação e reabilitação da rede viária existem diversas alternativas possíveis, devendo-se adoptar, para cada caso, a melhor solução em termos técnicos e económicos. Uma das alternativas, que tem sido tradicionalmente usada é a execução de camadas de reforço que, sucessivamente elevam o perfil do pavimento e rebaixam as valetas e bermas com os problemas daí decorrentes. Por outro lado, quando se adopta uma solução tradicional de reforço do pavimento, é frequente ser necessário fresar as camadas fendilhadas existentes, de modo a eliminar o risco de propagação de fendas para as camadas novas superiores. O material fresado

resultante desta operação é normalmente transportado a vazadouro contribuindo para um aumento da geração de resíduos.

As limitações orçamentais associadas às restrições impostas pela legislação ambiental para construção e reabilitação rodoviária estão entre os factores que mais têm estimulado o desenvolvimento e a aplicação de novas tecnologias como a reciclagem de pavimentos. Actualmente, existem diversas técnicas de reciclagem dos materiais fresados do pavimento, que se podem distinguir, por exemplo, quanto à localização dos trabalhos de reciclagem (“in situ” ou em central), quanto ao ligante utilizado (betume, emulsão betuminosa, cimento, etc.), e conseqüentemente, quanto à temperatura de fabrico da mistura reciclada (a quente, semi-quente e a frio). Entre essas técnicas a de reciclagem “in situ” a frio é bastante interessante do ponto de vista económico e ambiental já que uma parte importante dos materiais utilizados no fabrico da mistura reciclada provêm do próprio pavimento a reabilitar, o que proporciona uma redução significativa do emprego de novos materiais e evita o depósito em vazadouro dos materiais fresados, sendo ainda, energeticamente compensatória pelo facto da mistura reciclada, ser fabricada e aplicada à temperatura ambiente e de minimizar as distâncias de transporte de materiais (Batista, 2004).

Neste artigo faz-se um balanço da experiência adquirida ao longo de 15 anos de aplicação em Portugal da técnica de reciclagem de pavimentos a frio “in situ” com emulsão betuminosa, procurando-se avaliar as suas vantagens e limitações e apresentar recomendações relativamente à sua utilização.

2. OBRAS DE RECICLAGEM DE PAVIMENTOS A FRIO “IN SITU” COM EMULSÃO BETUMINOSA REALIZADAS EM PORTUGAL

Segundo Sullivan (1996) e Nicholls (1996) a reciclagem de pavimentos flexíveis iniciou-se no início dos anos 30, em Singapura e na Índia. No entanto só a partir do embargo do petróleo em 1973, com o conseqüente aumento do seu custo e do custo da construção rodoviária se notou maior interesse pela reciclagem de pavimentos ao nível mundial, pois até então a reciclagem era economicamente inviável, por o custo de remover e reciclar o pavimento ser maior do que o de utilizar material novo (Roberts et al., 1996). O desenvolvimento das máquinas de reciclagem (proporcionando uma maior quantidade de material fresado em muito menos tempo) e das emulsões conduziu ao desenvolvimento desta técnica, cuja relação custo-benefício é tanto mais atractiva, quanto maior é a escassez de agregados nas proximidades das vias a reabilitar.

Nos Estados Unidos, já na década de 90, cerca de 33% dos materiais betuminosos fresados eram utilizados para reciclagem (Sullivan, 1996). Na Península Ibérica, esta técnica está presente desde os anos oitenta (Dueñas et al., 2008). Em Portugal, a reciclagem de pavimentos a frio “in situ” foi iniciada em 1993, com a obra de reabilitação do troço do pavimento da EN12 (Batista, 2004). Estima-se que até 2004, tenham sido reciclados cerca de 1 900 000 m² de pavimento (Martinho et al, 2004), 43% dos quais com recurso à técnica da reciclagem a frio com emulsão betuminosa (Pereira e Picado-Santos, 2006).

No Quadro 1 (Nunes, 2009) apresenta-se um resumo das principais obras de reciclagem “in situ” a frio com emulsão betuminosa, efectuadas até hoje no nosso país, fazendo-se referência nomeadamente à sua localização, data de realização, estrutura do pavimento existente e respectivas patologias, extensão tratada, estrutura do pavimento reabilitado, profundidade de intervenção e formulação da mistura reciclada.

Quadro 1 - Resumo das obras de reciclagem "in situ" a frio com emulsão betuminosa executada em Portugal

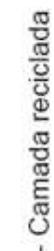
Obra	Data	Localização (km) Extensão	Patologias existentes	Estrutura do pavimento existente	Estrutura do novo pavimento	Espessura das camadas (cm)	Profundidade de reciclagem	Fórmula de trabalho
EN 12 - Circunvalação Porto	<u>1992/1993</u>	<u>0+000</u> <u>13+200</u> 13,2 km	<ul style="list-style-type: none"> Fendilhamento tipo "pele de crocodilo"; Deformações permanentes; Covas. 	<ul style="list-style-type: none"> Pavimento flexível com características muito heterogêneas; Betão betuminoso (5 a 25 cm) sobre bases granulares de (≥ 12 cm). 	<ul style="list-style-type: none"> Camada de desgaste em betão betuminoso (5 cm); Camada reciclada a frio (20 cm). 		Reciclagem a frio "in situ" até 20 cm de profundidade.	Para 100% de material reciclado; • 5% emulsão - Emulsão "Telco-grava" ECL2-Reliuv (Repsol); • 2% água; • 2% cimento
EN 222- Rêgua/Ponte das Bateiras	<u>1995</u>	<u>134+800</u> <u>149+000</u> 14,2 km	<ul style="list-style-type: none"> Fendilhamento tipo "pele de crocodilo"; Deformações longitudinais e transversais; Covas com perda de material. 		<ul style="list-style-type: none"> Camada de desgaste em betão betuminoso (4 cm); Camada de regularização em base tratada com emulsão (10 cm); Camada reciclada a frio (20 cm) 		Reciclagem a frio "in situ" até 20 cm de profundidade.	Para 100% de material reciclado; • 5% emulsão - Emulsão "Telco-grava" ECL2-Reliuv (Repsol); • 3,2% água; • 2% cimento
EN 108- Porto/Entre- os-Rios	<u>1997/1998</u>	<u>0+000</u> <u>38+700</u> 38,7 km	<ul style="list-style-type: none"> Fendilhamento tipo pele de crocodilo; Deformações permanentes. 	<ul style="list-style-type: none"> Pavimento flexível; Camadas de betão betuminoso; Base em macadame hidráulico. 	<ul style="list-style-type: none"> Camada de desgaste em betão betuminoso (5 cm); Camada de desgaste em mistura betuminosa densa (6 cm); Camada reciclada a frio (15 cm). 		Reciclagem a frio "in situ" até 15 cm de profundidade.	Para 100% de material reciclado; • 3,7% emulsão - Emulsão "Telco-grava" ECL2-Reliuv (Repsol); • 3,3% água; • 1,6% cimento



- Camada de desgaste



- Camada de regularização



- Camada reciclada

Quadro 1 - Resumo das obras de reciclagem "in situ" a frio com emulsão betuminosa executadas em Portugal (cont.)

Obra	Data	Localização (km) Extensão	Patologias existentes	Estrutura do pavimento existente	Estrutura do novo pavimento	Espessura das camadas (cm)	Profundidade de reciclagem	Fórmula de trabalho
EN 260 - Serpa/Vila Verde de Ficalho	1998	58+000 48+200 17,8 km	<ul style="list-style-type: none"> Fendilhamento e desagregação da camada de desgaste. 	<ul style="list-style-type: none"> Flexível; Revestimento superficial em betão betuminoso; Macadame hidráulico ou tout-venant 	<ul style="list-style-type: none"> Camada de desgaste em micro-aglomerado betuminoso a frio (3 cm); Camada de regularização em macadame betuminoso a frio (6-10 cm); Camada reciclada a frio (12 cm). 		Reciclagem a frio "in situ" até 12cm de profundidade.	Para 100% de material reciclado; • 5% emulsão - Emulsão ECL2-GRAVAMUL (Probita); • 10% pó de pedra; • 1 a 2% cal hidráulica.
EN 254 - Aguiar/Viana do Alentejo	1998	74+500 81+500 7,0 km	<ul style="list-style-type: none"> Fendilhamento; Deformações permanentes; Covas com perda de material. 	<ul style="list-style-type: none"> Revestimento superficial duplo em betão betuminoso (4 cm) Camada de regularização em macadame hidráulico (10 cm) Entrocamento 	<ul style="list-style-type: none"> Camada de desgaste betão betuminoso (4 cm); Camada de regularização em mistura betuminosa densa (3 cm); Camada reciclada a frio (10 cm). 		Reciclagem a frio "in situ" até 10 cm de profundidade.	Para 100% de material reciclado; • 4,5% emulsão - Emulsão ECL2-Reliuv(Repsol); • 3% água; • 1,5% cimento. • Material correctivo ABOE
IP 2 - Barragem do Fratel/ EN118	2002/2003	152+000 163+000 11,0 km	<ul style="list-style-type: none"> Fendilhamento tipo "pele de crocodilo". 	<ul style="list-style-type: none"> Camada de desgaste em betão betuminoso (4 cm) Camada de regularização em mistura betuminosa densa (12 cm) ABGE (30 cm) 	<ul style="list-style-type: none"> Camada de desgaste em micro betão betuminoso rugoso (3 cm); Regularização macadame betuminoso (7 cm); Camada reciclada a frio 15 cm. 		Reciclagem a frio "in situ" até 15 cm de profundidade.	Para 100% de material reciclado; • 3% emulsão - Emulsão ECL2-Reliuv(Repsol); • 2,8% água.

 - Camada de desgaste
  - Camada de regularização
  - Camada reciclada

Quadro 1- Resumo das obras de reciclagem "in situ" a frio com emulsão betuminosa executadas em Portugal (cont.)

Obra	Data	Localização (km) Extensão	Patologias	Estrutura do pavimento existente	Estrutura do novo pavimento	Espessura das camadas (cm)	Profundidade de reciclagem	Fórmula de trabalho
EN114-Montemor-o-Novo/Évora	2003-2004	$\frac{178+000}{170+000}$ 8,0 km	<ul style="list-style-type: none"> Fendilhamento tipo "pele de crocodilo". Deformações permanentes. 	<ul style="list-style-type: none"> Beirão betuminoso e mistura betuminosa densa(14 cm); ABGE(30 cm); Solos arenosilicosos/sabros graníticos. 	<ul style="list-style-type: none"> Camada de desgaste microbetão betuminoso rugoso (3 cm); Camada de macadame betuminoso (7 cm); Camada reciclada a frio (15 cm). 		Reciclagem a frio "in situ" até 15 cm de profundidade.	Para 100% de material reciclado: ♦3% emulsão - Emulsão ECL2-Rejuv (Repsol); ♦3,3% água.
EN 222- Ameias/Barragem Crestuma - Lever	2004	$\frac{1+700}{11+750}$ 10,0 km	<ul style="list-style-type: none"> Fendilhamento tipo "pele de crocodilo". 	<ul style="list-style-type: none"> Camada de desgaste em betão betuminoso (5 cm); Camada de regularização em mistura betuminosa densa (25 cm). 	<ul style="list-style-type: none"> Camada de desgaste em betão betuminoso (5 cm); Camada de regularização em macadame betuminoso (8 cm); Camada reciclada a frio (12 cm). 		Reciclagem a frio "in situ" até 12 cm de profundidade.	Para 100% de material reciclado: ♦3% emulsão - Emulsão ECL2-Rejuv (Repsol); ♦6,3% água; ♦1% cimento.
IC 12-Cana de Senhorim/ IP 3	2008	$\frac{9+800}{21+500}$ 11,7 km	<ul style="list-style-type: none"> Covas na via direita; Descolagem entre a camada de desgaste e a de regularização. 	<ul style="list-style-type: none"> Camada de desgaste em betão betuminoso (6 cm); Camada de regularização em macadame betuminoso(12 cm); Camadas de base e sub-base e ABGE (20 cm). 	<ul style="list-style-type: none"> Camada de desgaste em mistura betuminosa descontínua (6 cm); Camada reciclada a frio (15 cm). 		Reciclagem a frio "in situ" até 15 cm de profundidade.	Para 100% de material reciclado: ♦3% a 5% emulsão - Emulsão com betume (80/100); ♦0,7%cimento.



- Camada de desgaste



- Camada de regularização



- Camada reciclada

3. ANÁLISE E CONCLUSÕES SOBRE AS OBRAS DE RECICLAGEM “IN SITU” A FRIO COM EMULSÃO BETUMINOSA

Da experiência adquirida com as obras referidas no Quadro 1 pode concluir-se sobre a importância das condições atmosféricas nesta técnica de reciclagem, não só da pluviosidade (pelas suas implicações no processo de cura), mas também da temperatura por esta poder condicionar os tempos de abertura ao tráfego e de colocação das camadas sobrejacentes à camada reciclada. Por exemplo na obra do IP2, face às temperaturas mais elevadas ocorridas nos meses de Verão foi possível abrir ao tráfego 24 horas após a reciclagem e colocar as camadas sobrejacentes 2 semanas depois, isto quando, na generalidade dos casos, só é possível respectivamente 48 horas e 4 semanas após a colocação da camada reciclada.

Outra ilação a reter é que, para além das condições atmosféricas, há 3 componentes do pavimento a reabilitar que podem comprometer o sucesso dos trabalhos: (i) deficiências estruturais nas camadas inferiores à zona a reciclar, (ii) variabilidade dos materiais que compõem as camadas a reciclar e (iii) deficientes condições de drenagem do pavimento.

Neste tipo de reciclagem é de grande importância a selecção dos materiais a utilizar, principalmente pelo facto de não ser possível seleccionar os agregados, pois estes, são extraídos do pavimento a reabilitar. Logo, a emulsão, a água e outros materiais a adicionar tanto para corrigir a mistura como para melhorar as suas propriedades mecânicas, têm de ser criteriosamente seleccionados e quantificados através dos estudos de formulação da mistura. Estas misturas exigem pois, a adopção de critérios específicos no controlo de qualidade. Para além dos ensaios usuais: análise granulométrica, percentagem em betume residual e avaliação da compactidade, a avaliação da resistência mecânica e a susceptibilidade à água da camada reciclada também são factores a considerar no controlo de qualidade para este tipo de misturas recicladas a frio “in situ”.

Um dos principais aspectos construtivos que se verificou dever ser seguido com grande atenção neste tipo de obras, prende-se com o facto de haver zonas onde há sobreposição de passagens da recicladora. Tal obriga a que, nas subsequentes passagens da máquina, se tomem especiais cuidados para evitar que ocorra sobredosagem de emulsão, água e doutros materiais presentes na fórmula de trabalho. A existência de infra-estruturas no subsolo (por exemplo caixas de saneamento básico) revelou ser um factor altamente limitativo no rendimento dos trabalhos, podendo mesmo inviabilizar a utilização desta técnica (Oliveira, 2000). Constatou-se também que, antes de se iniciar este tipo de obra, a realização de um trecho experimental, assume fundamental importância para o seu sucesso, visto que é útil não só para ajustar os equipamentos e técnica de compactação como também para a confirmação da fórmula de trabalho definida nos estudos de formulação.

Foi possível constatar que genericamente (para condições atmosféricas favoráveis) no processo de cura das camadas se alcançou um do teor em água de 1% a 2% entre 2 a 4 semanas após colocação, tendo no entanto, só sido possível extrair tarolos inteiros ao fim de 6 a 8 semanas (Batista, 2004). Esta constatação é importante pois em termos práticos só é possível colocar as camadas sobrejacentes à camada reciclada, após estabilização do teor em água.

Dos estudos efectuados para avaliação das características mecânicas (com amostras do IP2), avaliou-se a evolução do módulo de deformabilidade ao longo do tempo, bem como a resistência à fadiga e resistência às deformações permanentes. Concluiu-se que estas misturas, depois de terem uma cura completa, têm um comportamento mecânico semelhante ao das misturas convencionais, com um bom desempenho, à excepção de alguns problemas pontuais relatados de desagregação superficial e rodeiras ocorridas antes da aplicação das camadas sobrejacentes.

Este tipo de técnica permite tratar de forma diferenciada as duas vias de circulação existentes, caso o nível de degradação seja muito diferente, com evidentes vantagens não só ambientais, mas também económicas e de tempo. Foi o caso da obra da EN 12, que em termos económicos comparativamente ao valor por m² da solução tradicional de execução de uma nova camada de base com características semelhantes à camada reciclada se economizou cerca de 5,5 €/m² (Gonçalves, 1994).

4. RECOMENDAÇÕES PARA A RECICLAGEM “IN SITU” A FRIO COM EMULSÃO BETUMINOSA

Relativamente a esta técnica de reciclagem não existem especificações técnicas comuns ao nível europeu ou mundial. Assim, e com o objectivo de melhorar a qualidade das obras em que se utiliza esta técnica, tendo por base a experiência portuguesa havida, complementada com especificações técnicas (DGC, 2001; DER, 2006; FHWA, 2005), procurou-se estabelecer um conjunto de recomendações que se indicam seguidamente:

Antes do início da obra

- Analisar o tipo e causas das patologias existentes no pavimento;
- Efectuar um exame visual às condições de drenagem do pavimento para garantir que são suficientes e prevenir a sua degradação;
- Verificar se os troços a reciclar são suficientemente homogéneos para a aplicação desta técnica;
- Verificar se existem estruturas próximas que possam colidir com os trabalhos a realizar;
- É fundamental que a colheita de amostras seja executada de forma a cobrir todas as possíveis variações das camadas a serem recicladas, devendo o trecho a ser reciclado ser dividido em sub-trechos homogéneos com características semelhantes;
- É necessário determinar a espessura das camadas existentes e caracterizar os materiais;
- É indispensável a execução do trecho experimental, não só para ajustar os equipamentos e a técnica de compactação e definir o número de passagens necessárias à obtenção do grau de compactação especificado, mas também para confirmar a fórmula de trabalho.

Durante a reciclagem

- Nos casos em que seja necessária a incorporação de materiais correctivos estes devem ser espalhados sobre a via a ser reciclada com emprego de equipamento próprio para esse efeito, na quantidade necessária, de forma a garantir os valores da fórmula de trabalho;
- O equipamento que debita a água, a emulsão e os aditivos, deve permitir adicionar à mistura as percentagens previstas na fórmula de trabalho correspondentes à profundidade e largura de material fresado a reciclar;
- Após cada paragem os difusores devem ser limpos;
- A reciclagem deve ser executada na extensão e espessura de corte indicada no projecto, incorporando simultaneamente o agregado adicional, quando for necessário e posteriormente a adição da emulsão betuminosa e da água, na recicladora, nas quantidades fixadas na fórmula de trabalho;
- Para o espalhamento e nivelamento da mistura deve ser usado um equipamento com dispositivos que evitem a segregação e executem um nivelamento e pré-compactação homogéneos e com o perfil desejado, mediante uma régua de espalhamento com dispositivos de nivelamento automáticos;
- Durante a execução, devem ser colhidas amostras adicionais de materiais a serem reciclados, para verificação do conteúdo em água e em betume, no sentido de se efectuarem pequenos ajustes na adição de água e emulsão, caso seja necessário.

Durante a compactação

- A compactação só deve ser iniciada 15 a 30 minutos após o espalhamento da camada reciclada para deixar “respirar” a mistura e permitir a rotura da emulsão;
- A compactação deve começar das bermas para o eixo, nos segmentos em recta, e da berma interna para a berma externa, isto é, do lado mais baixo para o mais alto, nos segmentos em curva. Os rolos compactadores devem cobrir uniformemente, em cada passagem, pelo menos metade da largura da passagem anterior;
- Não são permitidas mudanças de direcção e inversões bruscas de marcha, durante a passagem, e o estacionamento dos equipamentos sobre as zonas que tenham sido recentemente compactadas.

Na abertura ao tráfego

- Após a compactação da mistura, nenhum tráfego deve ser permitido sobre o material reciclado durante pelo menos duas horas. Após ter decorrido o tempo mínimo para abertura ao tráfego, este pode ser permitido de forma controlada, verificando-se se não há desprendimento de agregados, caso contrário o tráfego deve ser suspenso até que ocorra cura suficiente do material;
- Após abertura ao tráfego, a superfície do pavimento reciclado deve ser mantida em condições adequadas para o movimento dos veículos. Todas as partículas soltas que possam estar na superfície do pavimento devem ser varridas.

REFERÊNCIAS

- Batista, F.A. (2004). Novas Técnicas de Reabilitação de Pavimentos – Misturas Betuminosas Densas a Frio. *Tese de Doutoramento. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*, Porto, Portugal.
- DGC (2001). Pliego de Prescripciones Técnicas Generales pra Obras de Conservacion de Carreteras PG4. Reciclado In Situ com Emulsión de Capas Bituminosas. *Caderno de encargos tipo da DGC*, Espanha.
- DER (2006). Reciclagem de Pavimento Asfáltico in situ com emulsão. *Especificação Técnica Departamento de Estradas de Rodagem, Secretaria dos Transportes*, Brasil.
- Dueñas, A., Ochoa, F.L e Nunes, H. (2008). Desenvolvimento Sustentável. Reciclagem a Quente e Reciclagem a Frio. *Actas do 5º CRP – Estrada 2008*, Estoril, Portugal.
- FHWA (2005). Federal Highway Transportation e Foundation for Pavement Preservation. Cold In-Place Asphalt Recycling Application Checklist. *U.S. Department of Transportation. Publication No. FHWA-IF-06-012*, USA.
- Gonçalves, O. (1994). Solução de reciclagem “in situ” adoptada na EN12 (Circunvalação). *JAE – Direcção de Estradas do Porto*, Porto, Portugal.
- Martinho, F., Picado-Santos, L. e Pais, J. (2004). Reciclagem de Pavimentos Rodoviários – Selecção do Processo Construtivo. *Actas do 3º Congresso Rodoviário Português – Estrada 2004*, Lisboa, Portugal.
- Nicholls, C. (1996). Asphalt Surfacing – A Guide to Asphalt Surfacing and Treatments Used for the Surface Course of Road Pavements. *Transport Research Lab.*, Londres, UK.
- Nunes, G. (2009). Reciclagem de Pavimentos "in situ" a Frio com Emulsão Betuminosa – A Experiência Portuguesa. *Dissertação de Mestrado. ISEL*, Lisboa, Portugal.
- Oliveira, J. (2000). Relatório de Projecto Individual – Reciclagem de Pavimentos, Uma Técnica Alternativa de Reabilitação. *Universidade do Minho*, Guimarães, Portugal.
- Pereira, P. e Picado-Santos, L. (2006). Technical-Economical Evaluation of Pavement Recycling Alternatives. *3rd Gulf Conference on Roads (TGCR06)*, Muscat, Oman.
- Roberts, F.L., Kandhal, P.S., Brown, E.R., Lee, D.Y. e Kennedy, T.W. (1996). Hot Mix Asphalt Material, Mixture, Design, and Construction. *NAPA Education Foundation, 2ª Edição*, Lanham, Maryland, USA.
- Sullivan, J. (1996). Pav. Recycling Executive Summary and Report. *FHWA-AS-95-060*, USA.