

ESTRATÉGIA DE PROJETO PARA A REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEL DE ESTRADAS.

CASO DE OBRA: EN4 – INTERSEÇÃO COM A EN118/PROX.DE MONTIJO (KM18+750) E INTERSEÇÃO COM A EN10/PEGÕES (KM 44+257), REABILITAÇÃO

Anabela Martins¹; Pedro Carvalho²; Eugénia Correia³; Hélder Lourenço⁴

¹ Infraestruturas de Portugal, S.A., Direção de Engenharia e Ambiente Praça da Portagem, Almada, Portugal, anabela.martinsa@infraestruturasdeportugal.pt, <http://www.infraestruturasdeportugal.pt>

² Infraestruturas de Portugal, S.A., Direção de Rede Rodoviária, Praça da Portagem Almada, Portugal

³ Infraestruturas de Portugal, S.A., Direção de Engenharia e Ambiente, Praça da Portagem, Almada, Portugal

⁴ Infraestruturas de Portugal, S.A., Direção de Rede Rodoviária, Praça da Portagem, Almada, Portugal

SUMÁRIO

Com a implementação de grande parte do Plano Rodoviário Nacional 2000 (PRN2000) concluída, a necessidade de canalizar recursos para a Reabilitação/Beneficiação da Rede Rodoviária Nacional existente torna-se uma prioridade. Neste contexto surge como grande desafio criar estratégias, a nível de projeto, de soluções de reabilitação/beneficiação do pavimento mais económicas e simultaneamente inseridas no futuro de mobilidade/transportes que passa pela sustentabilidade ambiental, nomeadamente, pelo conceito da economia circular. Neste trabalho apresenta-se a estratégia adotada no projeto de reabilitação de um troço da EN4, com soluções de elevada taxa de reutilização dos materiais existentes e garantir, simultaneamente, menor custo para a intervenção.

Palavras-chave: Reabilitação sustentável; reciclagem de pavimentos; controlo de qualidade.

1. INTRODUÇÃO

Após décadas de investimento na construção de novos troços de estradas e com a implementação de grande parte do Plano Rodoviário Nacional 2000 (PRN2000) concluída, utilizando vários modelos de financiamento na atividade, hoje os escassos recursos financeiros disponíveis são encaminhados, na sua maioria, para a Reabilitação/Conservação e Beneficiação da Rede Rodoviária Nacional existente. Neste contexto surge como um grande desafio criar estratégias, a nível de projeto, de soluções de reabilitação de pavimentos com vista a um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis, tanto a nível económico como de materiais existentes, onde conceitos como reutilizar, reaproveitar e reciclar estejam bem presentes nas soluções de reabilitação a preconizar.

Uma das melhores soluções para uma boa gestão técnica, económica e ambientalmente sustentável dos recursos materiais e inserida numa perspetiva de economia circular é a Reciclagem de Pavimentos, nomeadamente a reciclagem “in situ” com incorporação de ligante hidráulico, reutilizando a totalidade ou quase, de estruturas de pavimentação existentes, executada à temperatura ambiente (a frio).

Nesta comunicação apresenta-se o Caso de Obra: EN4- Interseção com a EN118/ proximidades de Montijo (km 19+750) e interseção com a EN10/Pegões (km 44+257) - Reabilitação, onde a estratégia de projeto foi preconizar soluções com elevada taxa de reutilização dos materiais existentes e garantir, ao mesmo tempo, um menor custo para a intervenção. Avaliam-se as vantagens/desvantagens técnicas, económicas e ambientais pela implementação da solução de reciclagem “in situ” versus uma solução tradicional (remoção de pavimento e execução de novas estruturas de pavimentação), bem como a importância do controlo laboratorial, em obra, no sucesso da solução

2. ENQUADRAMENTO

A “economia circular” apresenta-se como um modelo de produção/consumo que promove o uso sustentável dos recursos, apresentando-se como alternativa à designada “economia linear”¹. Uma das ideias-chave do conceito da “economia circular” é a ideia de ciclo fechado, com desperdício zero, onde os materiais necessários para a produção são, na quase na sua totalidade, provenientes de reciclagem de materiais e não da extração. Nessa perspetiva, a reciclagem de pavimentos enquadra-se perfeitamente neste conceito, isto porque reciclar pavimentos rodoviários flexíveis consiste em obter novas misturas com a utilização de materiais fresados e/ou removidos (misturas betuminosas com ou sem materiais não ligados) com a adição de ligante (cimento, cal, emulsão betuminosa, betume) e materiais novos para eventual correção granulométrica (Branco et al, 2006), constituindo assim um ciclo fechado do material.

A reciclagem de pavimentos tem como objetivos principais a reabilitação funcional e estrutural do pavimento degradado, o desperdício zero dos materiais (a levar a depósito definitivo), redução ao mínimo de incorporação de novos materiais, em particular de misturas betuminosas, e a utilização de resíduos da construção rodoviária, quer como agregado ou ligante. Das diferentes técnicas de reciclagem de pavimentos destaca-se a técnica de reciclagem executada no local designada “in situ”, com adição do ligante hidráulico (cimento), à temperatura ambiente (a frio), pelos seu desempenho a nível estrutural das novas camadas de pavimento, com elevada taxa de reutilização dos materiais antigos (atinge 100%), baixa incorporação de novos matérias e muito económica. Para além disso considera-se que esta técnica é adequada a estradas com uma gama muito ampla de classe de tráfego (de T6 a T0), possibilita, com eventuais correções granulométricas, a aceitação de alguma heterogeneidade de matérias existentes, quer em materiais granulares quer em misturas betuminosas, e é considerada como uma técnica das mais económicas que atualmente existem no mercado. A camada obtida através desta técnica é uma mistura de material fresado (misturas betuminosas degradadas e material granular) com o ligante hidráulico que se trata na verdade de um camada granular tratada com cimento do tipo “agregado de granulometria extensa tratado com cimento” (AGEC). Esta camada apresenta valores de resistência muito superiores aos presentes nas estruturas de pavimento antigo, deixamos de estar na presença de estruturas de pavimentação flexíveis, em fim de vida, e passamos a ter estruturas de pavimentação com alguma rigidez: estruturas semirrígidas que ganharam nova vida.

3. CASO DE ESTUDO

3.1. Características da obra

Nesta comunicação apresenta-se o Caso de Obra: EN4- Interseção com a EN118/ proximidades de Montijo (km 18+750) e interseção com a EN10/Pegões (km 44+257) - Reabilitação, troço que segundo o PRN2000 integra a concessão da IP e faz parte de Rede Complementar da Rede Rodoviária Nacional, numa extensão total de 25,5km.

O lanço desenvolve-se no sentido poente para nascente, em meio rural atravessando 3 pequenos aglomerados (Faias, Pegões Velhos (Santo Isidro de Pegões) e Pegões), caracterizado por zonas de baixo declive sem condicionalismos significativos a nível de traçado, tanto em planta como em perfil longitudinal, as exceções verificam-se na transposição de linhas de água. As ligações mais importantes são três, a saber: ao km 18+750, ligação com a EN118, ao km 42+200, ligação com o acesso à A13 e ao km 44+257, ligação com a EN10.

O perfil transversal tipo (1x2) caracteriza-se por uma faixa de rodagem de 7,00m de largura e bermas de largura variável (0,50m a 1,00m), com ou sem estruturas de pavimentação.

O volume de tráfego não é muito significativo mas tem a particularidade de apresentar uma alta percentagem de veículos pesados (acima dos 15%), o que é bastante penalizador para o pavimento. O valor de tráfego pesado para o ano de entrada em serviço (2018) e para o ano horizonte (2028) e tendo em

¹ Modelo económico de produção/consumo intensivo dos recursos naturais sem qualquer logica e sustentabilidade ambiental.

consideração as classes de tráfego definidas no Manual de Conceção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional (MACOPAV) apresenta os seguintes valores de TMDA (por sentido) e a respetiva classe.

Quadro 1: Valores de TMDA (pesados) por sentido e respetiva classe de tráfego

Trecho	Zona	2018		2028	
		TMDA/ 1 sentido	Classe Tráfego	TMDA 1 sentido	Classe Tráfego
Km 18+662 (rotunda com a EN118) / km 42+172 (entroncamento com a A33)	1	269	T4	296	T4
Km 42+172 (entroncamento com a A33) / km 44+257 (rotunda com a EN10 em Pegões)	2	527	T3	580	T3

3.2. Caracterização da Situação Existente

A Caracterização da Situação Existente (CSE), parte significativa foi elaborada pela firma projetista *Cenor, Consulting Engineers*, no âmbito do projeto de reabilitação “ EN4 – Ligação IC32 (Montijo) (km 14+800) e Entroncamento com a EN10 (Pegões) (km 44+257) ”. A CSE baseou-se nos seguintes elementos:

1. Dados fornecidos pelo Sistema de Gestão de Pavimentos da IP (SGPav);
2. Inspeção visual e catalogação das patologias feita com base no Catálogo de Degradações dos Pavimentos Rodoviários (2008, Estradas de Portugal);
3. Trabalhos de campo: medição da irregularidade longitudinal (IRI); ensaios de carga (FWD); sondagens à rotação e poços no pavimento;
4. Ensaio de laboratório sobre amostras remexidas, materiais granulares e solo de fundação, colhidas nos poços de prospeção: análise granulométrica; limites de consistência Atterberg (liquidez e plasticidade); equivalente de areia; compactação pesada (proctor modificado); determinação do CBR (para as condições ótimas de fundação e para as condições “in situ” de fundação);
5. Ensaio de laboratório sobre os materiais colhidos nas sondagens à rotação, materiais constituintes das misturas betuminosas: penetração do betume a 25.º C; temperatura de amolecimento do betume pelo método anel e bola; baridade máxima técnica da mistura betuminosa pelo método do picnómetro; percentagem de betume da mistura betuminosa; baridade aparente da mistura betuminosa e análise granulométrica da mistura de agregados na mistura betuminosa.

Relativamente aos dados de SGPav verifica-se que ocorreram intervenções em 1946, 1956, 1986, 1989, 2002 e 2010 donde resultou uma grande heterogeneidade de estruturas de pavimentação, tanto ao nível do perfil longitudinal como ao nível do perfil transversal. De uma forma sintetizada verifica-se que a faixa de rodagem mais central apresenta misturas betuminosas a quente que variam de 5cm a 20cm, misturas betuminosas aberta frio uma espessura média de 9cm e macadame hidráulico de variam entre 18cm a 30cm. Nas zonas de alargamento da faixa de rodagem, construídas nos anos 80 do século passado, observa-se uma espessura média de misturas betuminosas a quente de 20cm e material granular, em agregado britado de granulometria extensa e solos selecionados, com 30cm de espessura.

Na inspeção visual realizada concluiu-se que o pavimento existente é do tipo flexível e apresenta uma degradação severa, nalguns casos em plena ruína e pontualmente tem troços razoáveis e bons, classificado na sua globalidade com um Índice de Qualidade de Medíocre a Mau. As degradações observadas foram,

entre outras, fendilhamento (pele de crocodilo, fissuras transversais e longitudinais), cavados de rodeiras e deformações provocadas pelas raízes de árvores, defeitos de superfície e movimentação de materiais.

Relativamente à medição da irregularidade longitudinal (IRI), confrontando com os valores admissíveis estipulados no caderno de encargos Tipo Obra (CETO) da IP para pavimentos reabilitados com espessuras iguais ou inferiores a 0,10m, obtiveram-se os seguintes resultados:

Quadro 2 Valores admissíveis de IRI (m/km), calculados por troços de 100m em pavimentos reabilitados com espessura de misturas betuminosas igual ou inferior a 0,10m.

Camada		Percentagem da extensão da obra		
		50%	80%	100%
Camada de Desgaste	IRI exigido	≤ 2,0	≤ 3,0	≤ 3,5
	% De valores médios do IRI medidos (sentido crescente)	10,4	42,3	54,4
	% De valores médios do IRI medidos (sentido decrescente)	12,5	48,7	63,1

Constata-se que de acordo com as frequências dos valores de IRI obtidos, em ambos os sentidos, e a classificação segundo o CETO, o troço em questão, na sua generalidade, tem a classificação de “Mau”. Se efetuarmos uma análise estatística do IRI, por extensões de 500m e por sentido, conclui-se que próximo de 80% da extensão é classificado de “Mau”.

Relativamente à capacidade de carga instalada no pavimento, identificaram-se, com base nos resultados nos ensaios com defletómetro de impacto, 10 zonas de comportamento estrutural homogéneas, em cada sentido, que foram determinantes para a seleção dos trabalhos de campo (sondagens e poços ao pavimento).

Os trabalhos de campo consistiram na execução de 26 sondagens, com extração de tarolo, e na execução de 13 poços de prospeção. As espessuras de misturas betuminosas obtidas nas sondagens à rotação são muito heterogéneas, com valores mínimos de 0,10m e de 0,135m e valores máximos de 0,305m e de 0,295m, nos sentidos crescente e decrescente respetivamente. Os poços definiram espessuras bastante variáveis, tanto ao nível das misturas betuminosas como materiais granulares e solo de fundação. A variabilidade de espessuras das misturas betuminosas encontrada nos poços é distinta da variabilidade observada nas sondagens ao pavimento, acrescentando que a interseção das camadas de solo de fundação apresentam uma grande variabilidade de profundidades (entre 0,40m a 0,70m de profundidade).

Os ensaios de laboratório confirmam os elementos anteriores, grande heterogeneidade de materiais, envelhecimento dos mesmos, em fim de ciclo de vida, e nalgumas zonas pontuais maus solos de fundação.

Com base em toda a informação recolhida, desde inspeção visual até resultados de ensaios de campo e de laboratório, elaborou-se um zonamento do estado do pavimento existente, realçando-se que nas zonas definidas poderão pontualmente existir trechos de estado diferente do que aquele definido para a globalidade da zona, que se apresenta no quadro seguinte:

Quadro 3: Zonamento do Pavimento existente com base nos elementos obtidos na CSE

Zona	Localização		Classificação do estado do pavimento
	Km inicial	Km final	
1	18+750	22+800	Bom
2	22+899	23+700	Muito Mau
3	23+700	25+800	Muito mau
4	25+800	27+800	Bom
5	27+800	32+900	Mau a Muito Mau
6	32+900	34+150	Bom
7	34+150	37+800	Mau
8	37+800	39+050	Razoável
9	39+050	41+500	Muito Mau
10	41+500	42+700	Bom
11	42+700	44+257	Mau

Espelhando os dados em gráfico de barras (figura 1) podemos verificar que mais de 60% da extensão apresenta graves patologias, sem capacidade de carga suficiente para as solicitações e exigindo soluções de reabilitação robustas.

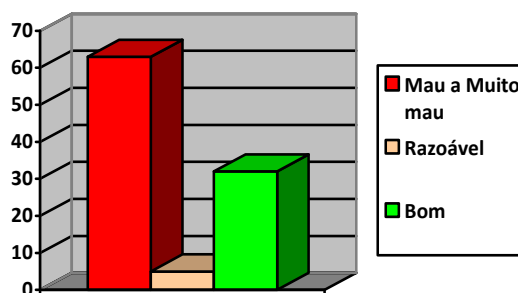


Figura 1. Estado do pavimento existente (em percentagem)

Em síntese, o troço em questão foi objeto de várias intervenções, desde a fase de construção até ao momento atual, nomeadamente ações de manutenção/conservação, reabilitações estruturais e inclusive requalificação da via com alargamento da faixa de rodagem.

3.3. Soluções de pavimentação preconizadas

Neste item descrevem-se as duas tipologias de soluções propostas, a primeira seguindo uma linha mais tradicional das soluções de reabilitação e cumprindo as regras do modelo “economia linear” e uma segunda seguindo a nova corrente da “economia circular”.

3.3.1. Soluções preconizadas seguindo o modelo de “economia linear”

Feito o diagnóstico da situação existente as propostas de intervenção no troço podem ser divididas em dois grandes grupos: soluções para zonas com capacidade carga suficiente com pequena a grave degradação, nalgumas situações com graves irregularidades, tanto a nível transversal como longitudinal;

solução para zonas sem capacidade de carga exigindo a remoção do pavimento (misturas betuminosas e matérias granulares) e reconstrução integral das estruturas de pavimentação.

No quadro seguinte descreve-se sumariamente as principais soluções propostas, omitindo por questões de relevância as soluções em pequenos trechos da plena via e trechos fora da seção corrente.

Quadro 4: Soluções preconizadas segundo o modelo “economia linear”

Propostas de Intervenção			
Situação	Solução	Estrutura de pavimentação proposta	
Pavimento com capacidade de carga e misturas betuminosas com alguma a muita degradação	Reforçar o pavimento com substituição das camadas de misturas betuminosas	0,03m AC10 surf (mBBr)	
		0,04m AC20 bin/ 35/50 (MB)	
Pavimento com capacidade de carga e misturas betuminosas com alguma a muita degradação e com irregularidade transversal e longitudinal	Reforçar/reperfilar o pavimento com substituição das camadas de misturas betuminosas	0,06m AC20 reg 35/50 (MB)	
		Pavimento existente após a fresagem das misturas betuminosas (espessura média de 0,13m)	
Pavimento sem capacidade de carga	Reconstruir o pavimento, com a substituição de todas as estruturas de pavimentação desde as camadas granulares até à camada de desgaste.	Classe de tráfego T4	
		0,03m AC10 surf (mBBr)	
		0,04m AC14 bin 35/50 (MB)	
		0,09m AC20 base 35/50 (MB)	
		0,09m AC20 base 35/50 (MB)	
		0,20m ABGE	
		Classe de tráfego T3	
		0,03m AC10 surf (mBBr)	
		0,04m AC14 bin 35/50 (MB)	
		0,10m AC32 base 35/50 (MB)	
0,11m AC32 base 35/50 (MB)			
0,20m ABGE			

Em síntese, nas zonas com capacidade carga temos soluções que implicam uma fresagem, na ordem de 0,13 m de profundidade, de misturas betuminosas envelhecidas e sua reposição, em igual espessura de 2 a 3 camadas, em misturas betuminosas novas, e nas zonas sem capacidade de carga preconiza-se a remoção do pavimento e sua reconstrução em material granular, com 0,20m de espessura, e em misturas betuminosas novas, com 0,25m a 0,28m de espessura consoante a classe de tráfego em questão. Em trechos de pequena extensão onde não é possível subir cotas altimétricas preconizam-se misturas betuminosas de Alto Módulo e nas zonas não urbanas, sem quaisquer indicações de condicionamentos

ambientais, as espessuras de misturas betuminosas são idênticas mas foram distribuídas em diferentes misturas com diferentes espessuras cada uma delas.

ii) Soluções preconizadas seguindo o modelo de economia circular

Com o objetivo de preconizar soluções de reabilitação com elevadas taxas de reutilização dos materiais fresados e presentes no pavimento existente equacionou-se a reciclagem do pavimento nas suas diferentes técnicas. A primeira abordagem passou pela reciclagem das misturas de misturas betuminosas, em toda a extensão do troço, para aplicação em técnicas de reciclagem a quente e/ou semiquente mas rapidamente foi colocada de lado face a diversos fatores, nomeadamente, a variabilidade de espessuras observadas nas sondagens, as características granulométricas e natureza litológica dos materiais utilizados nas misturas serem incompatíveis a sua utilização em camadas mais nobres do pavimento.

Tendo em atenção que mais de 60% da extensão do troço se trata de pavimento sem capacidade de carga exigindo reconstrução integral apostou-se para uma técnica de reciclagem que garanta elevada capacidade estrutural sem necessidade de remover as estruturas existentes, criar uma excelente base de pavimento homogénea de forma a garantir um excelente comportamento das camadas sobrejacentes. No quadro 5 apresenta-se as principais soluções adotadas seguindo o modelo de “economia circular”:

Quadro 5: Soluções preconizadas segundo o modelo “economia circular”

Propostas de Intervenção								
Situação	Solução	Estrutura de pavimentação proposta						
Pavimento com capacidade de carga e misturas betuminosas com alguma a muita degradação	Reforçar o pavimento com substituição das camadas de misturas betuminosas	<table border="1"> <tr> <td>0,04m</td> <td>SMA11 surf PMB 45/80-65</td> </tr> <tr> <td>0,07m/0,07m-0,09m</td> <td>AC20 reg/ 35/50 (MB)/ AC20 REG 10/20 (Alto Módulo)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Pavimento existente após a fresagem das misturas betuminosas (espessura média de 0,07m)</td> </tr> </table>	0,04m	SMA11 surf PMB 45/80-65	0,07m/0,07m-0,09m	AC20 reg/ 35/50 (MB)/ AC20 REG 10/20 (Alto Módulo)	Pavimento existente após a fresagem das misturas betuminosas (espessura média de 0,07m)	
0,04m	SMA11 surf PMB 45/80-65							
0,07m/0,07m-0,09m	AC20 reg/ 35/50 (MB)/ AC20 REG 10/20 (Alto Módulo)							
Pavimento existente após a fresagem das misturas betuminosas (espessura média de 0,07m)								
Pavimento com capacidade de carga e misturas betuminosas com alguma a muita degradação e com irregularidade transversal e longitudinal	Reforçar/reperfilar o pavimento com substituição das camadas de misturas betuminosas							
Pavimento sem capacidade de carga	Reconstruir o pavimento, com a substituição de todas as estruturas de pavimentação desde o solo de fundação até à camada de desgaste.	<p>Classe de tráfego T4</p> <table border="1"> <tr> <td>0,04m</td> <td>SMA11 surf PMB 45/80-65</td> </tr> <tr> <td>0,04m</td> <td>MBR-BBA</td> </tr> <tr> <td>0,30m</td> <td>Reciclagem “in situ” com cimento</td> </tr> </table>	0,04m	SMA11 surf PMB 45/80-65	0,04m	MBR-BBA	0,30m	Reciclagem “in situ” com cimento
0,04m	SMA11 surf PMB 45/80-65							
0,04m	MBR-BBA							
0,30m	Reciclagem “in situ” com cimento							

Com base nos valores de deflexões obtidas nos ensaios dimensionou-se a camada de mistura reciclada, com a incorporação de cimento, com 0,30m de espessura, e definiu-se que o estudo de formulação, a

elaborar em fase de construção, definirá o tipo e composição da mistura reciclada, cuja percentagem mínima em cimento, em relação *a massa total em seco do material que será reciclado, será obtida a partir de estudos de formulação laboratorial, para que sejam obtidas as seguintes características mínimas:

1. Percentagem em cimento relativamente à massa total em seco de materiais a reciclar, mínima -3,0%
2. Resistência à compressão simples aos 7 dias, mínima - 3,0MPa
3. Resistência à compressão simples aos 28 dias, mínima - 5,0MPa
4. Resistência à tração aos 28 dias, em ensaio de compressão diametral, mínima - 0,6 MPa
5. Resistência à compressão simples aos 90 dias, mínima - 8,0MPa
6. Resistência à tração aos 90 dias, em ensaio de compressão diametral, mínima - 0,8 MPa
7. Quociente entre a resistência à compressão simples com imersão aos 14 dias (R_i) e a resistência à compressão simples aos 28 dias (R_c), R_i/R_c , igual ou superior a 0,75

A mistura, depois de compactada, deve atingir um módulo superior a 3000 MPa aos 28 dias, e de 5000 MPa aos 90 dias, determinado “in situ” através de ensaios de carga com defletómetro de impacto no primeiro trecho experimental.

Uma das preocupações ao preconizar misturas com elevada rigidez como a mistura reciclada com cimento, com o efeito combinado das variações de temperatura e as ações do tráfego é o aparecimento de fissuração por retração térmica. Para evitar tal fenómeno preconiza, para além das especificações exigidas no CETO com a execução de uma pré-fissuração transversal, a aplicação de uma camada com características especiais de flexibilidade e evitar a propagação de fendas á camada de desgaste: mistura betuminosa rugosa com betumes modificados com borracha.

3.4. Controlo de qualidade da camada reciclada

De uma forma sucinta referem-se alguns dos aspetos relacionadas com a execução da camada reciclada, nomeadamente, a fórmula de trabalho, estabilização, prazo de trabalhabilidade e fissuração por retração térmica.

Um dos aspetos mais preocupantes foi a variabilidade de espessuras encontradas no pavimento o que dificultou a determinação da fórmula de trabalho, exigindo, em certas zonas, trabalhos prévios de fresagem das misturas betuminosas que não foram incorporadas na camada reciclada. Com a fresagem prévia foi possível criar uma fórmula única para a empreitada toda, onde a análise granulométrica, teor em água e percentagem de cimento se enquadravam nas especificações do projeto. Relativamente à percentagem em cimento na formulação da mistura aponta para o valor mínimo definido em projeto: 3%.

Foi realizado o trecho experimental, na via esquerda (novembro de 2017), a atestar a formulação da mistura elaborada em laboratório e verificou-se os seguintes dados: resistência à compressão simples aos 7 dias na ordem dos 4,1 MPa a 4,8 MPa, muito superior ao especificado no projeto (>3MPa), aos 14 dias e 28 dias atinge valores similares ao estipulado em projeto (na ordem dos 5 MPa). Relativamente à resistência à tração, tanto aos 7 dias como 28 dias, os valores obtidos são significativamente superiores aos estipulados em projeto, com 1,7 MPa e 2,4MPa quando é exigido 0,4MPa e 0,6MPa respetivamente para os diferentes períodos de tempo.

Nos primeiros dias de produção, em dezembro de 2017, verificou-se melhores resultados dos obtidos no trecho experimental. Esses resultados refletiram-se em todos os parâmetros aos 7 dias e 14 dias. Na generalidade das situações o ganho de resistência ocorre logo nos primeiros dias (até 7 dias) e ao fim dos 14 dias e 28 dias os valores apontam para valores mais próximos dos estipulados em projeto.

Relativamente ao controlo de compactação, no trecho experimental, obtiveram-se valores finais de 98,1% bem superiores aos 97% exigidos no CETO. Os valores obtidos consideram-se os ideais para estruturas recicladas, isto porque com menores densidades, mesmo pouco significativas, podem acarretar reduções significativas de resistência. Ao mesmo tempo foi necessário garantir que na pré-compactação os valores foram inferiores de modo a evitar perdas de humidade e garantir que a parte inferior do reciclado fique compactado.

Ao longo dos trabalhos de reciclagem, e devido á heterogeneidade das estruturas de pavimentação existente houve a necessidade de ajustar, em determinadas seções, a fórmula de trabalho mas de modo pouco significativo.

O controlo de qualidade ao longo da empreitada aponta para os seguintes resultados:

1. A resistência à compressão simples no 1º dia, aos 7 dias, aos 14 dias, aos 28 dias e aos 90 dias apontam para valores iguais ou superiores aos definidos no projeto de execução², exceto em três situações onde o valor da Rc aos 90 dias não atingiu os 8MPa ficando por 7,9MPa;
2. A resistência à tração aos 7 dias, aos 14 dias, aos 28 dias e aos 90 dias, em ensaio de compressão diametral, apresenta valores sempre superiores aos exigidos no projeto de execução;
3. O quociente entre a resistência à compressão simples com imersão aos 14 dias (Ri) e a resistência á compressão simples aos 28 dias (Rc) apresenta valores que cumprem na generalidade o estipulado no projeto.

Por fim, acrescenta-se que o tempo de cura da camada reciclada foi bastante variável ao longo dos vários meses de trabalhos mas nunca chegou ao tempo teórico definido em projeto: 7 dias o que exigiu reformulações ao planeamento dos trabalhos.

3.5. Avaliação das duas tipologias de solução

A decisão, em fase de projeto, de seguir a solução de reabilitação segundo o modelo de “economia circular” carece de validação após a sua implementação, isto porque para além da panóplia de vantagens que ao longo deste artigo se expõem e presentes em toda a documentação existente sobre esta temática urge a necessidade de avaliar as duas soluções ponderadas em fase de projeto, nas vertentes económicas, ambiental e técnica, tendo em atenção as implicações da implementação em obra da solução de reciclagem de pavimento. No quadro seguinte destacam-se os aspetos que se julgam mais importantes e condicionantes na tomada de decisão, em fase de projeto:

Quadro 6: Avaliação das duas soluções ponderadas em fase de projeto

Avaliação das Soluções			
Parâmetro		Solução A ³	Solução B ⁴
Economico ⁵		208 423,00€/km ²	100 934,00€/km
Ambientais ⁷	Misturas Betuminosas Novas	117907 t	46892 t
	Fresagem+ remoção => vazadouro	174291 t	10067 t
	% De reutilização dos materiais	0	74%
Técnicas	Equipamentos	Equipamento convencional	Equipamento específico
	Processo construtivo	Convencional	Complexo
	Rendimentos	532t/dia/ equipa 2913 m ² - 5989m ² /dia	1626m ² /dia/equipa
	Tempo de cura	0 dias	7 dias
	Controlo de Qualidade	Convencional	Muito mais exigente

² No projeto apenas está definidos valores mínimos para os 7 dias, 28 dias e 90 dias

³ Solução A= solução de reabilitação segundo o conceito de “economia linear”

⁴ Solução B= solução de reabilitação segundo o conceito de “economia circular”

⁵ Referente apenas a trabalhos da especialidade de pavimentação

⁶ Estimativa com base nos valores da proposta do adjudicatário, em fase de projeto o valor desta solução tem a estimativa de 300000,00€/km

⁷ Não foram contabilizados as quantidades de granulado de pneus usados para a execução da mistura MBR-BBA

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram apresentados os principais aspetos tidos em consideração na tomada de decisão, em fase de projeto, da solução de reabilitação mais económica, com diversas vantagens ambientais, onde se destacam o aproveitamento dos materiais envelhecidos do pavimento, eliminação e redução de produtos sobrantes a levar a vazadouro e redução do consumo de energia e emissão de vapores nocivos mas sem deixar de enumerar as exigências técnicas mais específicas e particulares, métodos construtivos mais exigentes e um controlo de qualidade mais eficaz de forma a garantir um bom desempenho do pavimento.

5. REFERÊNCIAS

1. CE (2014a). *Oportunidades para ganhos de eficiência na utilização dos recursos no setor da construção. COM (2014) 445 final* - Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões.
2. CE (2014b). *Para uma economia circular: programa para acabar com os resíduos na Europa. COM (2014) 398 final* - Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões.
3. Estradas de Portugal, S.A., *Catalogo de Degradações dos Pavimentos Rodoviários*, 2008.
4. Estradas de Portugal, SA, *Caderno de Encargos Tipo Obra*, 2014.
5. F. Branco, P. Pereira & L. P. Santos, *Pavimentos Rodoviários*, Edições Almedina, Coimbra, 2016.
6. Infraestruturas de Portugal, *Sistema de Gestão de Pavimentos*.
7. Infraestruturas de Portugal, *Projeto de reabilitação “EN4- Interseção com a EN118/ proximidades de Montijo (km 19+750) e interseção com a EN10/Pegões (km 44+257) “*; Cenor, Consulting Engineers, Lisboa, 2014.
8. INIR – Instituto de Infraestruturas Rodoviárias, IP (sem data). *Construção e Reabilitação de Pavimentos – Reciclagem de Pavimentos*. INIR, IP. Lisboa.
9. JAE, *Manual de Conceção de Pavimentos Para a Rede Rodoviária Nacional*, 1995.
10. Wirtgen GmbH (2012). *Tecnologia de Reciclagem a Frio Wirtgen*. URL: http://media.wirtgen-group.com/media/02_wirtgen/infomaterial_1/kaltrecycler/kaltrecycling_technologie/kaltrecycling_ha_ndbuch/Cold_recycling_Manual_PT.pdf