

UTILIZAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO EM BASE DE PAVIMENTO

RIBEIRO, Fabrício¹; **REZENDE, Lilian Ribeiro de**²

Palavras-Chave: Entulho, Reciclagem, Ensaios de campo, Retroanálise.

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos de construção são hoje um dos maiores problemas enfrentados pelos municípios brasileiros, pois o descarte clandestino desses materiais vem ocasionando a perda de qualidade ambiental dos espaços urbanos e a reciclagem parece ser a alternativa mais eficiente para combater a degradação. O aproveitamento do entulho na engenharia civil pode representar economia, durabilidade e preservação ambiental, visto que a destinação de alguns resíduos degrada o meio ambiente.

A forma mais simples de reciclagem do entulho é a sua utilização em pavimentação, na forma de brita corrida ou ainda em misturas do resíduo com solo, tendo as seguintes vantagens:

- É a forma de reciclagem que exige menor utilização de tecnologia o que implica menor custo do processo;
- Permite a utilização de todos os componentes minerais do entulho (tijolos, argamassas, materiais cerâmicos, areia, pedras, etc.), sem a necessidade de separação de nenhum deles;
- Economia de energia no processo de moagem do entulho (em relação à sua utilização em argamassas).

Já existem em Goiânia dois trechos de pavimentos executados nos anos de 2003 e 2004 onde o entulho foi aplicado em suas bases e sub-base. Esses trechos foram construídos pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Município (DERMU) na administração 2001-2004. O primeiro tem aproximadamente 100 m de extensão, dá acesso aos compradores na central de abastecimento (CEASA) e foi executado com controle tecnológico rigoroso na aplicação do entulho na base e sub-base do pavimento. O segundo trecho é constituído apenas por revestimento e uma camada de base, teve controle tecnológico mais simples durante sua execução, apresenta extensão de 140m e será objeto de estudo deste projeto. Para a execução do segundo trecho foram adotados parâmetros e metodologias definidos com base na experiência do primeiro trecho.

O objetivo geral dessa pesquisa é avaliar o comportamento estrutural de uma via onde na sua base foi utilizado entulho reciclado. Para tanto, as características da via executada foram investigadas através de ensaios de campo e os resultados obtidos foram tratados no programa SIGMA/W (GEOSLOPE, 1995).

2. METODOLOGIA

Através de informações obtidas no DERMU, foi confirmada a existência em Goiânia de dois trechos onde a pavimentação foi executada com entulho em sua base. A primeira pista foi executada no acesso lateral do Centro de Abastecimento de Alimentos (CEASA) e a segunda numa via urbana do Setor Recanto das Minas Gerais.

O trecho adotado para este estudo localiza-se na Rua SR-68, setor Recanto das Minas Gerais, em frente à quadra 93. É composto por uma camada de base que foi executada com entulho britado e classificado em granulometrias diferentes, sendo dosados nas seguintes dimensões: menor que 19mm (brita nº 2), menor que 9,5mm (brita nº 1), menor que 4,8mm (brita nº 0) e solo local, na proporção de 25% em volume de cada material. O trecho em questão foi concluído no final de outubro de 2004. Sua estrutura é composta de 15 cm de base e 3 cm de revestimento em CBUQ (Figura 1a). A via executada com entulho em sua base tem 8 m de largura e 140 m de extensão (Figura 1b). O tráfego existente na pista é pequeno.

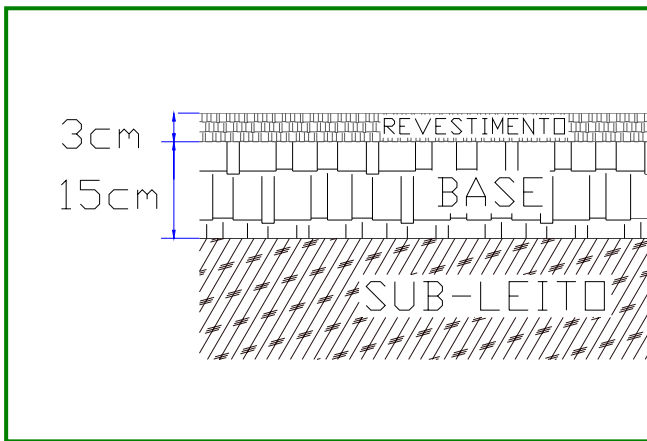


Figura 1 – Pavimento executado com entulho na rua SR-68, Setor Recanto das Minas Gerais, Goiânia-GO: (a) Camadas; (b) Vista geral (Set/2006).

Para atingir os objetivos do trabalho, foram realizados ensaios de campo para determinar parâmetros estruturais (prova de carga sobre a placa e viga Benkelman) em dois períodos diferentes. Com os dados obtidos nos ensaios de prova de carga e viga foram realizadas retroanálises para determinação dos módulos da estrutura do pavimento.

O ensaio de prova de carga sobre placa consiste em simular as condições de carregamento do pavimento e analisar o seu comportamento. É caracterizado por identificar pequenos recalques, representados pela curva de tensão x deslocamento.

Com a viga Benkelman é realizado um ensaio não destrutivo com finalidade de determinar a bacia de deflexão, o Raio de curvatura (R) e as deflexões (D) obtidas em campo, sendo D_0 a deflexão máxima. Se forem obtidos valores de $R < 100$ ou $R \times D_0 < 5.500$, significa que a via apresenta problemas estruturais (PAIVA; CAUSSIN, 2004).

Foram marcadas estacas a cada 20 m ao longo da pista partindo de uma referência zero. O ensaio com a viga Benkelman foi realizado em duas épocas (abril/2005 e Fevereiro/2006) e em todas as estacas demarcadas. Já os ensaios de prova de carga foram realizados em três pontos (nos meses de abril/2005 e janeiro/2006), sendo um no centro da via e os outros dois a 0,5m dos bordos da via (Figura 2).

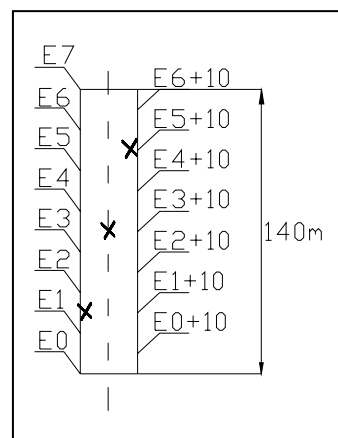


Figura 2 – Via com estacas e locais dos ensaios realizados

3. RESULTADOS

Em abril de 2005, foi realizada a primeira etapa de ensaios de campo, em janeiro de 2006 foi realizada a segunda etapa. Os ensaios realizados foram:

- Viga Benkelman;
- Prova de Carga sobre Placa.

Além desses ensaios, foram determinados também, os módulos por retroanálises. Os dados obtidos estão apresentados a seguir.

3.1. Viga Benkelman

Os ensaios de determinação das deflexões utilizando a viga Benkelman foram realizados sobre o revestimento, nos bordos direito e esquerdo, nas trilhas de roda externas, distanciados de 20 em 20 metros. Esses ensaios foram realizados utilizando uma viga com relação a/b de 2:1, sendo a= 2,44 m e b= 1,22 m. Na Figura 3 tem-se as bacias de deslocamento médias obtidas para as duas etapas de ensaio.

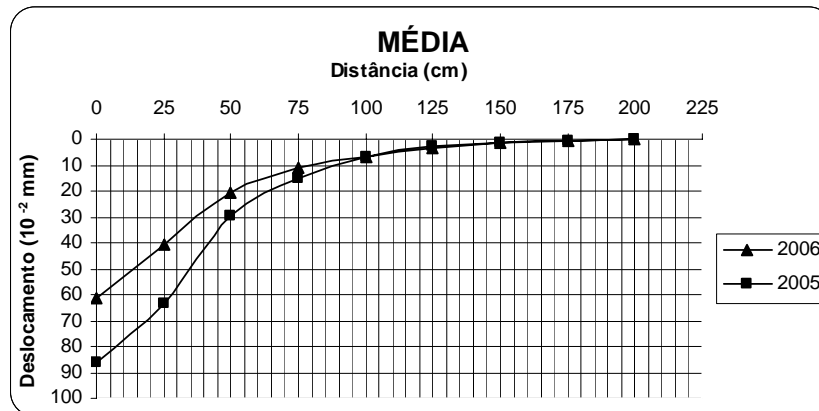


Figura 3 – Bacias de deslocamento médias em abril/2005 e janeiro/2006

3.2. Prova de Carga Sobre Placa

Foram executadas três provas de carga rápida, sendo uma em cada uma das seguintes estacas: E1+10, E3+10 e E5+10. Os ensaios foram realizados utilizando placa circular de 25 cm de diâmetro, célula de carga de capacidade de 50 t, um macaco hidráulico capacidade 15 t, uma leitora eletrônica e demais acessórios. A carga máxima adotada para os ensaios foi de 4 t, sendo aplicada em incrementos de 200 kg, por meio de um caminhão carregado com 8,2 t no eixo traseiro. Por meio de quatro extensômetros (fixados numa haste através de quadro bases magnéticas), foram realizadas leituras de deslocamento imediatamente e 5 minutos após a aplicação de cada incremento de carga. Na Tabela 1 estão apresentados os dados obtidos no ensaio de prova de carga para os diferentes períodos. Para a tensão de 560 kPa, que corresponde à tensão utilizada no dimensionamento de pavimentos, obteve-se o deslocamento total (d_t) e o deslocamento elástico (d_e).

Tabela 1 – Resultados obtidos nos ensaios de prova de carga sobre placa

ESTACA	T = 560 kPa (abril/2005)		T = 560 kPa (janeiro/2006)	
	d_t (mm)	d_e (mm)	d_t (mm)	d_e (mm)
E1 + 10	1,20	0,74	1,16	0,70
E3 + 10	0,60	0,20	0,60	0,42
E5 + 10	1,70	0,90	1,20	0,78

Observa-se que houve aumento dos deslocamentos medidos no ensaio de um período para outro, sendo que essa variação foi mais significativa para as estacas localizadas nos bordos do pavimento (E1+10 e E5+10). Para o ensaio realizado no eixo, o comportamento foi melhor.

3.3. Retroanálises

Com os dados obtidos nos ensaios de viga Benkelman e prova de carga sobre placa é possível determinar os módulos de elasticidade da estrutura do pavimento realizando procedimentos de retroanálise.

Para tanto foi utilizado o programa SIGMA/W que analisa a relação tensão x deformação por meio de elementos finitos. Fixando a carga medida em cada ensaio e o coeficiente de Poisson em função do tipo de material de cada camada, os valores dos módulos elásticos foram adotados como dados de entrada no programa e alterados até os deslocamentos

obtidos nas análises numéricas fossem coincidentes com os valores obtidos no campo. Ressalta-se ainda que foram realizadas análises do tipo elástica linear na situação axissimétrica e sem considerar a anisotropia das camadas.

Os coeficientes de Poisson considerados para as camadas de subleito, base e revestimento foram fixados em função do tipo de material utilizado: para o subleito (solo fino) adotou-se 0,40, para a base de entulho 0,35 e para o revestimento em CBUQ 0,33. Com base nos dados de ensaios realizados no trecho experimental com o Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP) apresentados por Ribeiro e Rezende [5], verificou-se que o subleito tem duas camadas de resistência diferentes. Essa constatação deve ser considerada nas retroanálises. Assim, foram consideradas a camada denominada Subleito 1 para a mais superficial e mais resistente e a camada Subleito 2 para a mais profunda e menos resistente. Nas análises, optou-se ainda por fixar o valor do módulo do revestimento em 2.000 MPa. Os resultados obtidos estão representados a seguir.

3.3.1. Prova de Carga sobre a Placa

Neste caso, foram determinados dois tipos de módulos: o módulo de deformabilidade (E_t), encontrados com valores do deslocamento total (d_t) para a tensão de 560 kPa, e o módulo de elasticidade (E_e), calculado com os valores do deslocamento elástico (d_e) para 560 kPa. Nas Tabelas 2 e 3 tem-se os resultados obtidos.

Tabela 2 – Valores dos módulos obtidos nas retroanálises (abril/2005)

ESTACA	$E_{\text{Subleito 2}}$		$E_{\text{Subleito 1}}$		E_{Base}		$E_{\text{Revestimento}}$	
	E_t (MPa)	E_e (MPa)	E_t (MPa)	E_e (MPa)	E_t (MPa)	E_e (MPa)	E_t (MPa)	E_e (MPa)
E1 + 10	20	30	50	70	130	350	2.000	2.000
E3 + 10	50	140	80	250	210	850		
E5 + 10	20	30	30	70	110	410		

Tabela 3 – Valores dos módulos obtidos nas retroanálises (janeiro/2006)

ESTACA	$E_{\text{Subleito 2}}$		$E_{\text{Subleito 1}}$		E_{Base}		$E_{\text{Revestimento}}$	
	E_t (MPa)	E_e (MPa)	E_t (MPa)	E_e (MPa)	E_t (MPa)	E_e (MPa)	E_t (MPa)	E_e (MPa)
E1 + 10	20	30	50	80	190	460	2.000	2.000
E3 + 10	50	70	80	120	300	480		
E5 + 10	20	30	50	80	230	430		

Em abril/2005, os módulos totais variaram de 20 a 80 MPa e os da base de 110 a 210 MPa. Já os módulos elásticos variaram entre 30 e 250 MPa para o subleito e 350 a 850 para a base. Em janeiro/2006, os módulos totais variaram de 20 a 80 MPa e os da base de 190 a 230 MPa. Para os módulos elásticos foram obtidos valores entre 30 e 120 MPa para o subleito e entre 430 e 480 MPa para a base.

3.3.2. Viga Benkelman

A partir das bacias de deslocamento médias determinadas nos ensaios, foram selecionados os valores de D_0 para realizar as retroanálises. Assim, obteve-se apenas um valor de módulo para cada camada. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores dos módulos retroanalizados dos ensaios de viga Benkelman

Período	$E_{\text{Subleito 2}}$ (MPa)	$E_{\text{Subleito 1}}$ (MPa)	E_{Base} (MPa)	$E_{\text{Revestimento}}$ (MPa)
abril/2005	30	80	450	2.000
janeiro/2006	60	90	470	2.000

4. CONCLUSÕES

Com os dados obtidos neste artigo pode-se afirmar que:

- Todos os ensaios realizados na pista experimental mostram resultados satisfatórios com relação ao desempenho da pista, comprovando a viabilidade técnica inicial da utilização de entulho reciclado em base de pavimentos de vias urbanas;
- É possível observar diferenças entre os ensaios realizados em abril/2005 e janeiro/2006. Isto mostra a variação do comportamento do pavimento ao longo do tempo que ocorre devido às interferências climáticas e do tráfego;
- Com todos os parâmetros obtidos é possível observar maior resistência dos materiais no eixo (ou no centro) da pista quando comparado com os bordos (ou início e fim) do trecho. Isto pode estar relacionado com compactação inadequada no processo construtivo ou na falta de sistema de drenagem na pista que em abril/2005 era inexistente;
- Nas retroanálises foram obtidos valores de módulos que comprovam a aplicação do agregado reciclado em base de pavimentos;

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GEOSLOPE. Sigma/W version 3 – User's Guide. Geo-Slope International Ltd, Cagary, Alberta, Canadá, 1995, 390p.

PAIVA, C. E. L.; CAUSSIN, P. B. – Estudo de avaliações das condições estruturais de um pavimento a partir de bacias de deformação. 32ª Reunião Anual de Pavimento, ABPv, Brasília, 2004. 1: 197-307

RIBEIRO, F.; REZENDE, L.R. – Avaliação do comportamento estrutural de uma via com entulho em sua base. 13ª Reunião de Pavimentação Urbana/AL, 2006. nº 13

¹ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente, Escola de Engenharia Civil/UFG, fabriciofaw@ibestvip.com.br

² Orientadora/Escola de Engenharia Civil/UFG, lrezende@eec.ufg.br