

# COMPORTAMENTO DE UM TRECHO EXPERIMENTAL EXECUTADO COM FILER DE PEDREIRA

Behavior of an experimental track built with soil-filler

Marta Pereira da Luz\*

Lilian Ribeiro de Rezende\*\*

Selma Simões de Castro\*\*\*

**RESUMO** – Com a finalidade de contribuir com uma solução para a problemática do acúmulo de resíduo de mineração presente na Região Metropolitana de Goiânia, este trabalho tem por objetivo avaliar a aplicação de resíduo de mineração, o filer, em pavimentação urbana. Para tanto, foi executado um trecho experimental com misturas de solo-filer na proporção de 20% de filer na sub-base e 30% na base, compactadas na energia Proctor intermediária e modificada, respectivamente. O trecho experimental foi avaliado por meio da realização dos seguintes ensaios de campo: grau de compactação, penetrômetro dinâmico de cone, prova de carga sobre placa e viga Benkelman. Os resultados obtidos na seção executada com a mistura foram comparados com os das seções executadas com cascalho e solo-brita. Pode-se concluir que o comportamento mecânico do trecho experimental executado com solo-filer adéqua-se às condições estabelecidas pelas normas vigentes de pavimentação, constituindo importante contribuição na diminuição do quantitativo deste resíduo.

**SYNOPSIS** – This study aimed to evaluate the application of quarry waste filler, in urban pavement in the hope of providing a solution to the issue of the accumulation of quarry waste in the Metropolitan Region of Goiânia. To do so, an experimental track was built with soil-filler blends in a proportion of 20% filler in the sub base and 30% in the base, compacted with intermediate and modified Proctor energy, respectively. The experimental track was evaluated through the following field tests: degree of compaction, dynamic cone penetration, loading plate and Benkelman beam. The results of these tests were compared with those obtained from a track built with gravel and soil-crushed rock. It can be concluded that the mechanical behavior of the experimental track built with soil-filler blends fulfils the conditions established by the pavement norms in force and thereby constitutes an important contribution in diminishing the quantity of this waste.

**PALAVRAS CHAVE** – Filer, pavimentação, meio ambiente.

## 1 – INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional, a demanda por recursos naturais tem crescido vertiginosamente. Isto se deve não somente ao crescimento populacional propriamente dito, mas ao aumento do consumo e do padrão que se entende como qualidade de vida que é cada vez mais exigente. Com

---

\* Mestre, Universidade Federal de Goiás, Programa de Doutorado em Ciências Ambientais, Campus Samambaia - Bloco ICB4, Caixa Postal 131, CEP.: 74001-970, Goiânia-GO, E-mail: marta.eng@ucg.br

\*\* Doutora, Professora Adjunta, Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Geotecnia e Construção Civil, E-mail: lrezende@eec.ufg.br.

\*\*\* Doutora, Professora Titular, Universidade Federal de Goiás, Programa de Doutorado em Ciências Ambientais, E-mail: selma@iesa.ufg.br.

isto, reflexos nas condições ambientais tornam-se cada vez mais evidentes. A alta concentração de pessoas nos centros urbanos potencializa esta problemática e trás como resultado graves problemas, tais como: poluição e contaminação dos solos, do ar e das águas; enchentes e deslizamentos de encostas ligados ao uso inadequado do solo (aterros, ocupação de encostas e margens de rios, etc.); disposição e tratamento inadequado de resíduos sólidos, em especial os industriais. O uso de tecnologias e de materiais mais viáveis economicamente e ecologicamente está se tornando uma necessidade para o desenvolvimento sustentável mundial (Batalione, 2007),

No que se refere à problemática causada pelo acúmulo de resíduos, alguns pesquisadores têm feito estudos para testar a viabilidade técnica de emprego destes materiais em pavimentação rodoviária, em especial em camadas de base e sub-base, por consumirem maior quantidade de material. Quando se constata a viabilidade técnica do material alternativo, pode-se contribuir para mitigar três problemáticas importantes: a primeira diz respeito à escassez de materiais granulares aceitos pelas especificações tradicionais para compor as camadas de sub-base e base de pavimentos flexíveis (Rezende, 2003); a segunda refere-se à dificuldade imposta pela Legislação Ambiental (CONAMA no10, 1990, em seu artigo I, e do decreto lei 227, UNIÃO, 1967) para a exploração de jazidas; e a terceira, e não menos importante, solucionar a problemática enfrentada por empresários quanto ao destino dado ao resíduo de processos industriais, que a cada dia se acumulam em terrenos vizinhos à empresa, gerando custos e externalidades diversas.

A compreensão do comportamento dos solos de regiões tropicais quando aplicados à pavimentação complementaram e auxiliaram na elaboração das metodologias de misturas solo-resíduo, tendo destaque nesta área os trabalhos de: Casagrande (1947), Nascimento *et al.* (1964), O'Reilly e Milard (1969), Asare-Darko (1984), Nogami *et al.* (1985), Aggarwal e Jafri (1987), Gichaga *et al.* (1987), Gidigasú *et al.* (1987), Medina e Motta (1989), Wambura *et al.* (1990), Nogami e Villibor (1994), Bernucci (1995) e Medina (1997).

Na engenharia rodoviária são muitos os projetos de pesquisa que apontam a viabilidade técnica e econômica do uso de agregados reciclados e de rejeitos, sejam eles oriundos da construção civil, indústria siderúrgica, usina termoeletrica, mineração e outras, conforme apresentados nos trabalhos de Fugimura *et al.* (1995), Silvestre *et al.* (2001), Thomé *et al.* (2002), Parente *et al.* (2003), Alecrim e Pessa (2005), Gusmão *et al.* (2005), Pereira *et al.* (2005), Pissato e Soares (2005), Oliveira *et al.* (2005a, b), Sheidl *et al.* (2005), Batalione (2007), Araújo (2008), entre outros.

Tendo em vista as experiências anteriores obtidas nesses trabalhos citados, este artigo visa propor uma alternativa de utilização para o rejeito das mineradoras de brita da Região Metropolitana de Goiânia (RMG), através da avaliação técnica do emprego de misturas solo-filer em camadas de base e sub-base de pavimentos com médio tráfego de veículos. A proposta se justifica em função do eixo Goiânia-Brasília constituir-se no terceiro mercado consumidor de produtos resultantes do processo de britagem no país. Goiânia, com uma população de cerca de 1,4 milhões de habitantes, consome atualmente aproximadamente 100000 metros cúbicos de pedra britada por mês, embora tenha potencial para consumir até 250000 metros cúbicos, segundo dados da Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para a Construção Civil (ANEPAC, 2004). Com esses números torna-se evidente a necessidade de solucionar os problemas gerados pelo acúmulo de resíduos advindos do processo de lavagem da brita, já que atualmente, dada a pouca incorporação desses resíduos em outros processos industriais, as empresas são obrigadas a manterem o material armazenado em sua área, o que acarreta uma série de inconvenientes, tais como: poluição visual, poluição atmosférica, poluição hídrica, indisposição com circunvizinhança e ocupação indevida do terreno.

Para se alcançar o objetivo da pesquisa, realizou-se a execução e o monitoramento de um trecho experimental de pavimento executado com dosagens de filer ao solo, em camadas de base e sub-base.

## 2 – MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 – Seleção dos materiais

Foi selecionado para coleta um solo situado em uma jazida localizada dentro da área das Centrais de Abastecimento de Goiás S/A (Ceasa-GO), no km 5,5 da BR-060, latitude: 16°37'29.65" S e longitude: 49°12'4.75"W, próximo ao trecho experimental. Trata-se de solo residual maduro, predominantemente argiloso e representativo das características dos solos encontrados na RMG, sendo predominantemente argiloso. Outros pesquisadores já utilizaram esse tipo de solo em seus estudos, como a pesquisa sobre a avaliação da mistura solo-entulho da construção civil, realizado por Oliveira *et al.* (2005a, 2005b) e Silva *et al.* (2005), o que favorece futuras comparações. Já o filer foi escolhido tendo-se em vista que este caracteriza o resíduo predominante nas pedreiras da RMG, que são derivados de rochas micaxísticas.

Esses materiais foram caracterizados por meio de ensaios laboratoriais e suas propriedades mecânicas determinadas por meio dos ensaios de CBR (*California Bearing Ratio*) e triaxial dinâmico. Diversas misturas solo-filer foram avaliadas, sendo que aquelas que apresentaram melhores resultados foram selecionadas para serem utilizadas na construção do trecho experimental. Neste caso, as misturas escolhidas foram a com 20% de filer compactada na energia Proctor intermediária e a com 30% de filer compactada na energia Proctor modificada.

### 2.2 – Trecho experimental

#### 2.2.1 – Dimensionamento

Com os resultados obtidos em laboratório foram definidos os materiais e as condições de aplicação dos mesmos na pista experimental. Com estes dados e conhecendo-se o tráfego atual da via (N) igual a  $5 \times 10^6$ , foi realizado o dimensionamento do pavimento utilizando-se os métodos do extinto Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), atualmente denominado de Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (DNIT).

A seção definida no dimensionamento do trecho experimental possui 3 cm de revestimento, 15 cm de base e 15 cm de sub-base. A construção desse trecho foi realizada pelo DERMU (Departamento de Estradas de Rodagem do Município de Goiânia) sob a coordenação das autoras do presente artigo e de Araújo (2008). O laboratório do DERMU também forneceu os resultados do ensaio de CBR realizados com o material do subleito, sendo que o valor adotado para o projeto foi de 9%.

Para a obtenção dos volumes de material a ser empregado na execução do trecho estudado foram realizados os cálculos descritos a seguir.

#### **Dados do Trecho Experimental Solo-filer:**

- Extensão total: 100 m;
- Revestimento: 3 cm de concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ);
- Subleito considerado com CBR médio de 9% obtido em laboratório, para o dimensionamento, segundo o método do DNIT;
- Espessura de base: 15 cm;
- Espessura da sub-base: 15 cm;
- Empolamento do material: 40%;
- Espessura total do pavimento ( $H_n$ ) = 33cm;
- Largura estimada da pista = 7m.

### Características do trecho:

- \* Base: 30% de filer, sendo a energia de compactação modificada, com CBR previsto em laboratório de 56%, e com  $\gamma_{dm\acute{a}x} = 18,75 \text{ kN/m}^3$ ,  $w_{ot} = 14,8\%$ ;
- \* Sub-base: 20% de filer, sendo a energia de compactação intermediária, com CBR previsto em laboratório de 42%, e com  $\gamma_{dm\acute{a}x} = 18,03 \text{ kN/m}^3$ ,  $w_{ot} = 16,5\%$ .

### Cálculo da massa de filer e solo para a camada de base:

$$\begin{aligned}1,875 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} &= \frac{m_{\text{solo+filer}}}{700 \times 15 \times 10000} \\ \Rightarrow m_{\text{solo+filer}} &= 196,88t \\ m_{\text{solo+filer}} \times e &= 196,88 \times 1,40 = 275,63t \\ m_{\text{solo}} &= 192,94t \\ m_{\text{filer}} &= 82,69t\end{aligned}$$

### Cálculo da massa de filer e solo para a camada de sub-base:

$$\begin{aligned}1,803 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} &= \frac{m_{\text{solo+filer}}}{700 \times 15 \times 10000} \\ \Rightarrow m_{\text{solo+filer}} &= 189,32t \\ m_{\text{solo+filer}} \times e &= 189,32 \times 1,40 = 265,05t \\ m_{\text{solo}} &= 212,04t \\ m_{\text{filer}} &= 53,01t\end{aligned}$$

Portanto, a massa total empregada nos 100 m de pista é de 404,98 t de solo e 135,70 t de filer.

### 2.2.2 – Localização

Com os dados de dimensionamento obtidos a partir dos ensaios laboratoriais, foi executado o trecho experimental de 600 m monitorados, sendo que o presente artigo analisa os 100 primeiros metros que foram executados com resíduo de micaxisto, o filer, proveniente da lavagem da brita, característico das pedreiras da RMG, como já exposto. Os 500 metros restantes foram avaliados por Araújo (2008), sendo este composto por trechos de: solo-brita, cascalho e solo-expurgo, sendo que este último foi denominado pelo autor como solo-pó de micaxisto. Os resultados de Araújo (2008) em relação aos trechos em que foram aplicados solo-brita e cascalho serão comparados com as características comportamentais do trecho executado com solo-filer.

Na Figura 1 está representada a localização da jazida de solo que compõe as camadas de base e sub-base do trecho executado, juntamente com filer. Na mesma figura ainda está a localização do trecho experimental, o qual se situa na Rua Amélia Rosa, coordenadas 16° 37' 33.58" S e 49° 11' 50.75" W, bairro Sítio de Recreio Ipê, região nordeste de Goiânia-GO.

Na Figura 2 está a representação do trecho experimental dividido de acordo com o estaqueamento. No presente trabalho foram executados ensaios de campo nas estacas 1, 2, 3, 4 e 5, durante o processo executivo (entre os meses de julho e agosto de 2007), logo após o encerramento de cada camada e após o período de chuva na região (em julho de 2008).

O trecho experimental não contou com qualquer tipo de dispositivo de drenagem, pois o DERMU, que forneceu equipamentos para a execução do trecho experimental, não possuía disponibilidade de recursos para a execução destes dispositivos até o segundo semestre do ano de 2008.



Fig. 1 – Localização do Trecho experimental e da área de empréstimo.

No entanto, há perspectivas futuras para tal feito. O projeto atentou para a execução de inclinação de 2% no sentido eixo-bordo para permitir o escoamento da água pluvial para os bordos da pista e a área permeável subsequente.

Nos resultados, o trecho de solo-filer será denominado trecho 1, o de solo-brita trecho 2 e o de cascalho laterítico trecho 3.

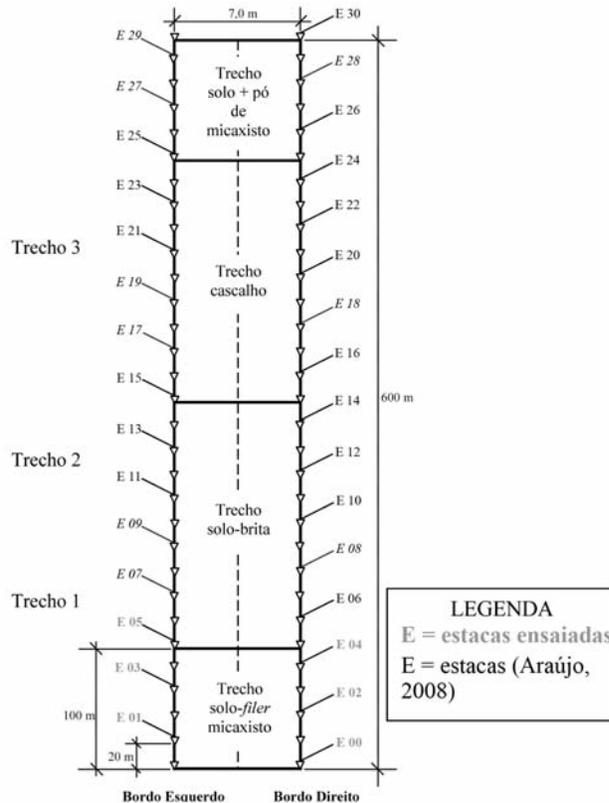
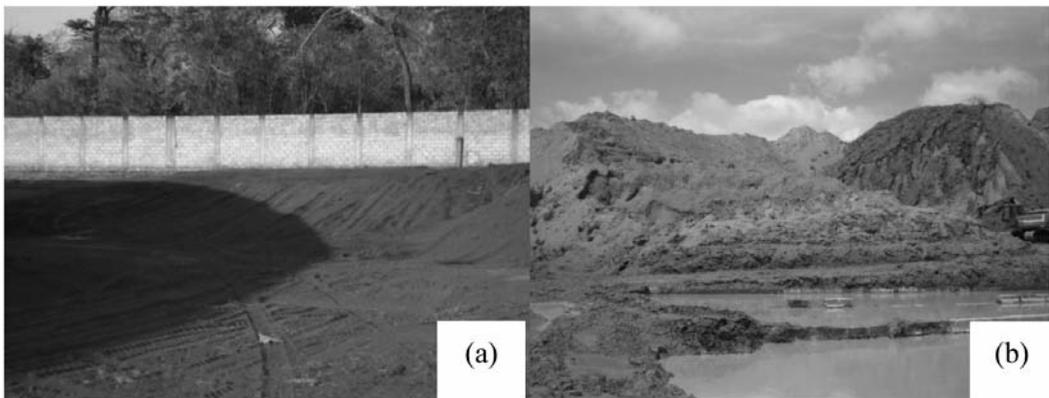


Fig. 2 – Trecho experimental em planta, localizando os sub-trechos e as estacas que foram ensaiadas em cada um deles (modificado de Araújo, 2008).

### 2.2.3 – Metodologia executiva

A execução do pavimento seguiu as etapas construtivas descritas nos tópicos seguintes:

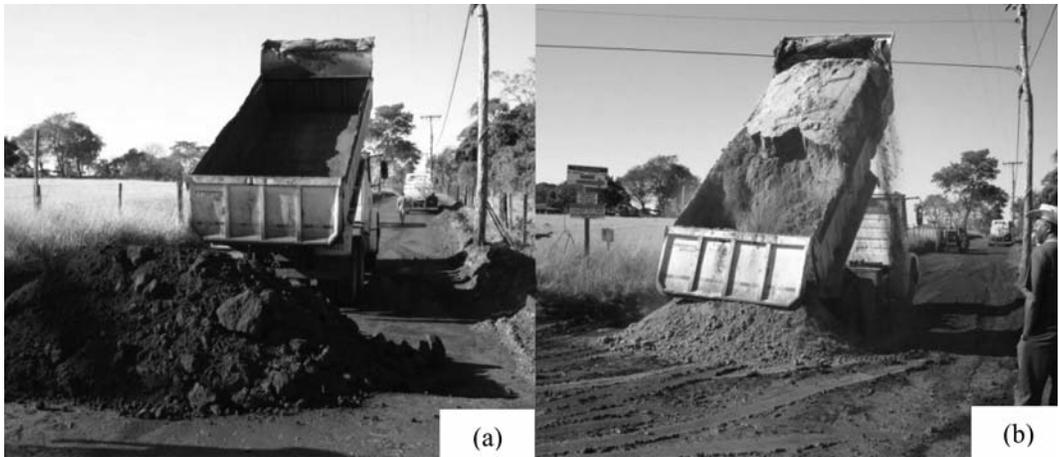
- 1ª etapa: aquisição do material (Figura 3), sendo que o filer, em função de passar por sistema de tratamento via úmida, foi seco ao ar antes da aplicação na pista;
- 2ª etapa: preparação, regularização e compactação do subleito na energia Proctor normal (Figura 4);
- 3ª etapa: execução da sub-base (Figuras 5, 6 e 7), compactada na energia Proctor intermediária, utilizando a mistura de 20% de filer e 80% de solo, em peso. Em seguida a mistura foi homogeneizada com grade de disco, e logo após foi umidecida com caminhão pipa e novamente homogeneizada com a grade. Após esse preparo a mistura foi compactada com um rolo pé-de-carneiro vibratório;
- 4ª etapa: execução da base, compactada na energia Proctor modificada, utilizando a mistura de 30% de filer e 70% de solo, em peso. (Luz *et al.*, 2008). A compactação desse material ocorreu utilizando a mesma metodologia empregada para a sub-base;
- 5ª etapa: trincamento e tratamento da base (Figura 8). Após a execução da base a mesma ficou exposta por um período de 48 horas visando o trincamento. Esse processo ocorre devido à perda de umidade da camada de solo, que é uma característica de solos argilosos. Depois do trincamento da base, foi realizado um tratamento dessa superfície por meio de um umedecimento seguido de raspagem com motoniveladora. Esse tratamento é necessário para o preenchimento das trincas. Todo esse procedimento visa um ganho de resistência da camada, conforme indica estudo de Nogami e Villibor (1994) e Rezende (2003);
- 6ª etapa: imprimação (Figura 9) da base com material betuminoso tipo CM-30, visando a impermeabilização e proteção das camadas do pavimento. A imprimação também foi empregada para conservação da umidade das camadas compactadas, de forma a evitar novos trincamentos;
- 7ª etapa: execução do revestimento no trecho com uma camada de 3 cm de Concreto Betuminoso Usinado à Quente (CBUQ), compactado com rolo de aço liso (Figura 10).



**Fig. 3** – Aquisição de material: (a) Vista da limpeza da área de empréstimo de solo; (b) Vista de local de armazenamento do resíduo estudado em pedreira representativa da RMG.



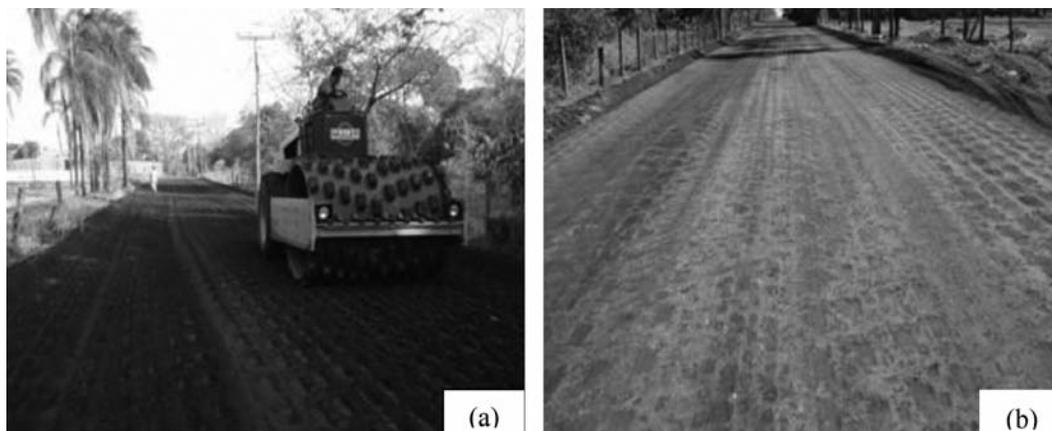
**Fig. 4** – Preparação e regularização do subleito do trecho experimental.



**Fig. 5** – Execução da sub-base e base: (a) Recepção e distribuição do solo ao longo do trecho; (b) Repartição das dosagens de 20% e 30%, em peso, do resíduo determinado em cálculo.



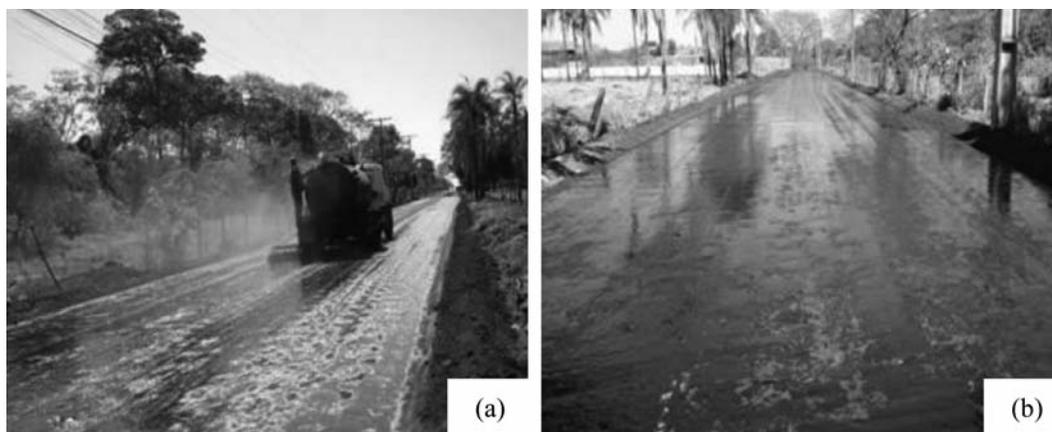
**Fig. 6** – Execução da sub-base e base: (a) Incorporação e homogeneização do resíduo estudado ao solo.



**Fig. 7** – Execução da sub-base e base: (a) Compactação da camada com o auxílio de um rolo pé-de-carneiro vibrador; (b) Aspecto da camada após a compactação (Araújo, 2008).



**Fig. 8** – Aspecto da base compactada após o trincamento.



**Fig. 9** – Imprimação: (a) Aplicação de material betuminoso (CM-30) para impermeabilização do trecho; (b) Vista da pista após término da imprimação (Araújo, 2008).



**Fig. 10** – Revestimento: (a) Aplicação de uma camada de três centímetros de revestimento do tipo CBUQ; (b) Compactação da massa asfáltica com rolo de aço liso (Araújo, 2008).

#### **2.2.4 – Ensaios de controle tecnológico do trecho experimental**

O controle tecnológico do trecho experimental foi feito em cada camada do pavimento, na etapa de execução: subleito, sub-base e base. O objetivo do controle tecnológico foi garantir que as camadas que compõem o pavimento tenham grau de compactação de  $100 \pm 0,5\%$  e umidade ótima prevista em laboratório, na energia normal para o subleito e respectivamente intermediária e modificada, para as camadas de sub-base e base.

Para o controle do grau de compactação foi realizada a determinação da densidade das camadas compactadas pelo método do frasco de areia de acordo com a metodologia da NBR 7185 (ABNT,1986).

Para a determinação da umidade nas camadas do pavimento foi utilizado o método do Speedy (DNER, 1994b).

#### **2.2.5 – Ensaios de monitoramento**

Os ensaios de monitoramento foram feitos na etapa executiva nas camadas de subleito, sub-base e base, após a compactação e estabilização da camada. Na etapa pós-executiva, os ensaios foram feitos sobre o revestimento asfáltico.

Na etapa executiva foram realizados os ensaios de prova de carga sobre placa e Penetrômetro Dinâmico de Cone (*Dynamic Cone Penetration* - DCP). Na etapa pós-executiva foram feitos os ensaios de prova de carga sobre placa e viga Benkelman. O ensaio de viga Benkelman e DCP não foram feitos nessas duas fases devido a problemas com o equipamento.

Os valores de umidade medidos no pavimento após a inclusão do revestimento asfáltico foi obtido quebrando-se esta camada, coletando-se a amostra e em laboratório foi determinada a sua umidade. No transporte das amostras houve bastante prudência no seu armazenamento para garantir que a umidade fosse mantida.

##### **2.2.5.1 – Penetrômetro dinâmico de cone (DCP)**

O DCP é um instrumento que permite realizar ensaios de penetração dinâmica em estruturas de pavimentos cujas camadas são de materiais levemente cimentados, materiais granulares ou solos. Consiste, geralmente, em uma barra de aço de 16 mm de diâmetro contendo na extremidade

um cone de aço fixo, com ângulo de 60° e 20 mm de diâmetro. Faz parte também do equipamento, um martelo de aço com peso de 8 kg, que ao deslizar por uma barra de 25 mm de diâmetro e uma altura de queda de 575 mm, introduz a barra de 16 mm juntamente com o cone no solo (Tertuliano *et al.*, 2007). Na Figura 11 estão apresentadas figura esquemática do ensaio e foto de sua realização na pista experimental.

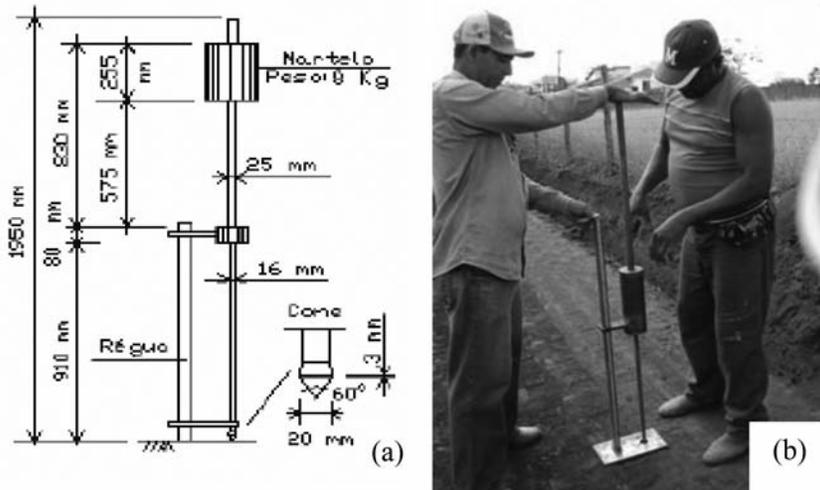


Fig. 11 – (a) Figura esquemática do ensaio de DCP (Alves, 2002). (b) Realização do ensaio Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP) (modificado de Araújo, 2008).

Na forma gráfica de apresentação do ensaio DCP, tem-se a curva que relaciona a profundidade com o número de golpes a partir da qual se determina o índice de penetração DN (Rezende, 2003). Foram realizados ensaios nos bordos e no eixo da pista. A partir desse ensaio foi possível determinar o índice de penetração (DN), em mm/golpe, a espessura das camadas em função da resistência e utilizando correlações, o valor de CBR *in loco*.

Na literatura há várias correlações para calcular o valor de CBR em função do DN. Nesta pesquisa adotou-se algumas das correlações realizadas em pavimentos brasileiros. Neste sentido, Heyn (1986 *apud* Resplandes, 2007) realizou estudos com DCP em rodovias no estado do Paraná, resultando na correlação apresentada na Equação 1:

$$CBR = 443,5 \times (DN)^{-1,3} \quad (1)$$

onde:

CBR = capacidade de suporte (%);

DN = índice de penetração obtido no ensaio com DCP (mm/golpes).

Outra correlação entre CBR e DN foi obtida no Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA) pelos pesquisadores Oliveira e Vertamatti (1997 *apud* Resplandes, 2007), estudando solos tradicionais empregados em rodovias no estado de São Paulo, chegando à Equação 2:

$$\log CBR = 2,49 - 1,057 \times (\log DN) \quad (2)$$

onde:

CBR e DN são variáveis já definidas anteriormente.

Lopes *et al.* (2007) trazem em seu trabalho uma correlação para o solo estudado nesta pesquisa, obtendo a Equação 3 descrita a seguir:

$$\log (\text{CBR}) = \log (-1,4799 \cdot \text{DN} + 39,68) \quad (3)$$

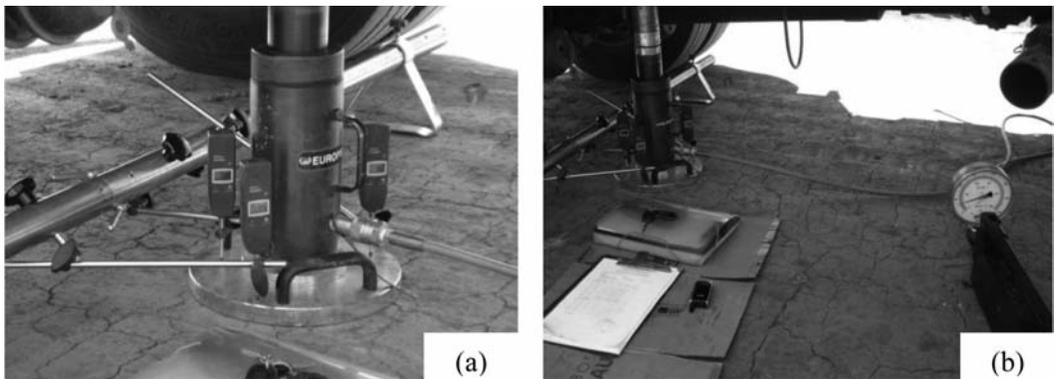
onde:

CBR e DN são variáveis já definidas neste item.

#### 2.2.5.2 – Prova de carga sobre placa

O ensaio de prova de carga sobre placa foi realizado conforme Figura 12, com equipamento composto por uma placa metálica com 25 cm de diâmetro e 2,54 cm de espessura, um caminhão carregado com 8,2 t como sistema de reação, um macaco hidráulico, no mínimo três deflectômetros com precisão de 0,01 mm instalados sobre a placa e uma viga metálica para fixação dos deflectômetros.

O ensaio foi iniciado com a montagem do macaco hidráulico sobre a placa, precedido pelo posicionamento do caminhão sobre o conjunto citado anteriormente. Em seguida foram posicionados os extensômetros fixados na placa de maneira diametralmente opostos. Após a montagem do equipamento, foi dado início a fase operacional do experimento aplicando estágios de carregamento (0; 5; 10; 20; 30; 40 e 50 kN) a cada 5 minutos. Após aplicação de todos os estágios de carregamento, foi realizado o descarregamento (40; 25; 15; 5 e 0 kN) também em estágios com tempo entre eles de 5 minutos cada. Mediante as leituras efetuadas foram obtidas a curva tensão versus deslocamento, assim como o módulo de reação para o ensaio em placa ( $k_{\text{placa}}$ ).



**Fig. 12** – Ensaio de prova de carga sobre placa: (a) Detalhe do equipamento: placa, viga e extensômetros; (b) Detalhe do equipamento: placa e macaco hidráulico.

#### 2.2.5.3 – Viga Benkelman

O ensaio da Viga Benkelman normalizado pela ME 024 (DNER, 1994a) consiste na medição das bacias de deflexões de uma camada do pavimento pelo efeito da movimentação de um veículo com carga padrão de 8,2 toneladas por eixo traseiro, conforme Figura 13. Após diversas leituras, realizadas com um extensômetro preso a uma extremidade da viga, em distâncias fixadas que vão de 25 cm até no máximo 10 metros, calcula-se as bacias de deflexões e os raios de curvaturas do pavimento analisado. Trabalhando estatisticamente, os resultados obtidos no campo associados aos coeficientes de correções climáticos, determinam-se as deformações de campo e de projeto ( $D_p$ ).

Conforme a norma PRO 011 (DNER,1979), tem-se a Equação 4:

$$\text{Log } D_{\text{adm}} = 3,01 - 0,176 \log N \quad (4)$$

Onde:

$D_{\text{adm}}$  = deformação máxima admissível do pavimento.

$N$  = número de operações do eixo padrão de 8,2 toneladas.

Para pavimentos em bom estado de conservação  $d_p \leq D_{\text{adm}}$ .

Onde:

$d_p$  = deflexão característica corrigida de projeto.

Em relação ao valor do raio de curvatura do pavimento o mesmo deverá apresentar valores superior ou no mínimo igual a 100 m, para que o pavimento esteja em boas condições de desempenho. O raio de curvatura será calculado pela Equação 5:

$$R = \frac{6250}{2 \times (D_0 - D_{25})} \quad (5)$$

Onde:

$R$  = raio de Curvatura, em metros (m);

$D_0$  = deflexão real ou verdadeira em centésimos de milímetros ( $10^{-2}$  mm);

$D_{25}$  = deflexão a 25 centímetros do ponto de prova, em centésimos de milímetros ( $10^{-2}$  mm).



**Fig. 13** – Ensaio de Viga Benkelman.

### 3 – RESULTADOS

A seguir, serão apresentados os resultados obtidos nos ensaios de campo referentes ao trecho experimental de 100 m constituído por camada de base e sub-base de solo-filer. Ao mesmo tempo em cada tópico de análise, serão confrontados os resultados obtidos por Araújo (2008) em suas análises com solo-brita (30% de solo e 30% de brita) e cascalho. As comparações são favorecidas por este autor ter trabalhado em trecho seqüente ao analisado e por ter utilizado a mesma jazida de solo em suas misturas.

Na etapa pós-executiva não foram realizadas comparações com o trabalho de Araújo (2008), pois o seu estudo objetivava apenas o controle tecnológico durante a execução do trecho.

### 3.1 – Fase executiva

#### 3.1.1 – Frasco de Areia e Speedy

Os resultados de grau de compactação (GC) e de umidade obtidos respectivamente com os ensaios de Frasco de Areia e *Speedy* estão dentro dos limites de tolerância especificados pela norma de pavimentação do DNER (1996), sendo o GC com variação de  $\pm 5\%$  e a umidade com variação de  $\pm 0,5\%$  para todo o trecho experimental.

#### 3.1.2 – DCP

Com os resultados obtidos no ensaio de DCP, logo após a execução do pavimento, pode-se observar de acordo com os valores apresentados no Quadro 1 que o subleito apresentou duas camadas, sendo uma caracterizada pela camada superficial compactada executada para receber as camadas subseqüentes, com cerca de 11 cm, e a seguinte com cerca de 22,5 cm, cujos resultados atingiram valor de DN médio de 9,2 e 23,3 mm/golpe, respectivamente.

Já para o ensaio realizado após a execução da base verifica-se a existência de três camadas de comportamento diferenciado, com espessuras médias de 14,2, 26,0 e 46,3 cm, sendo o valor de DN médio respectivamente de 11,3, 31,4 e 74,8 mm/golpe. Essas camadas correspondem à base, sub-base e ao subleito do trecho. Não houve diferenças significativas entre os resultados encontrados nos bordos e no eixo.

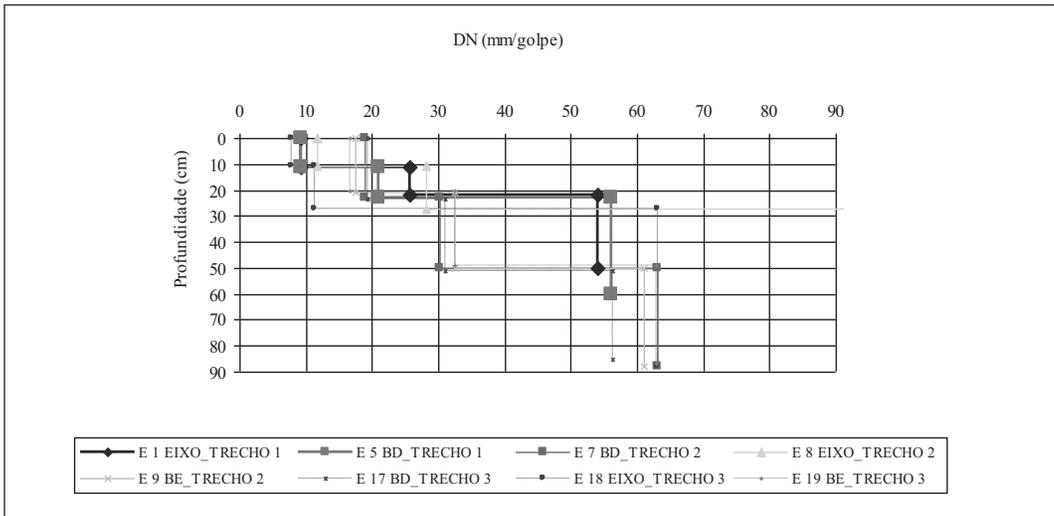
Nas Figuras 14 e 15 são apresentados o diagrama estrutural do ensaio de DCP realizado no subleito e base logo após a execução dos trechos 1, 2 e 3, sendo os resultados dos trechos 2 e 3 obtidos de Araújo (2008).

Conforme a Figura 14, em relação ao subleito para a profundidade de até 11 cm, que seria a camada compactada, verifica-se dois comportamentos distintos: algumas estacas apresentam DN próximo a 10 mm/golpe (E1 – trecho 1, E18 – trecho 3, E5 – trecho 1, E8 – trecho 2); outras já têm DN próximo de 20 mm/golpe (E7 – trecho 2, E9 – trecho 2, E17 trecho 3, E19 – trecho 3).

**Quadro 1** – Resultados de DCP obtidos no trecho 1 logo após a execução do pavimento.

Camada Ensaada	Estaca	Camada	Profundidade (cm)	Espessura (cm)	DN (mm/golpe)
SUBLEITO	E 1	1	11,0	11,0	9,2
	EIXO	2	33,0	22,0	25,6
	E 5	1	11,0	11,0	9,2
	BD	2	34,0	23,0	20,9
BASE	E 1 EIXO	1	15,0	15,0	11,5
		2	43,9	28,9	26,3
		3	87,1	43,2	72,0
	E 2 EIXO	1	14,0	14,0	11,7
		2	43,3	29,3	24,4
		3	85,8	42,5	70,8
	E 3 BE	1	14,0	14,0	10,8
		2	35,8	21,8	43,6
		3	86,5	50,7	84,5
	E 4 EIXO	1	15,0	15,0	11,5
		2	41,0	26,0	32,5
		3	87,3	46,3	77,2
	E 5 BD	1	13,0	13,0	10,8
		2	37,0	24,0	30,0
		3	85,6	48,6	69,4

Obs: BE = bordo esquerdo; BD = bordo direito; DN = índice de penetração obtido com ensaio de DCP.

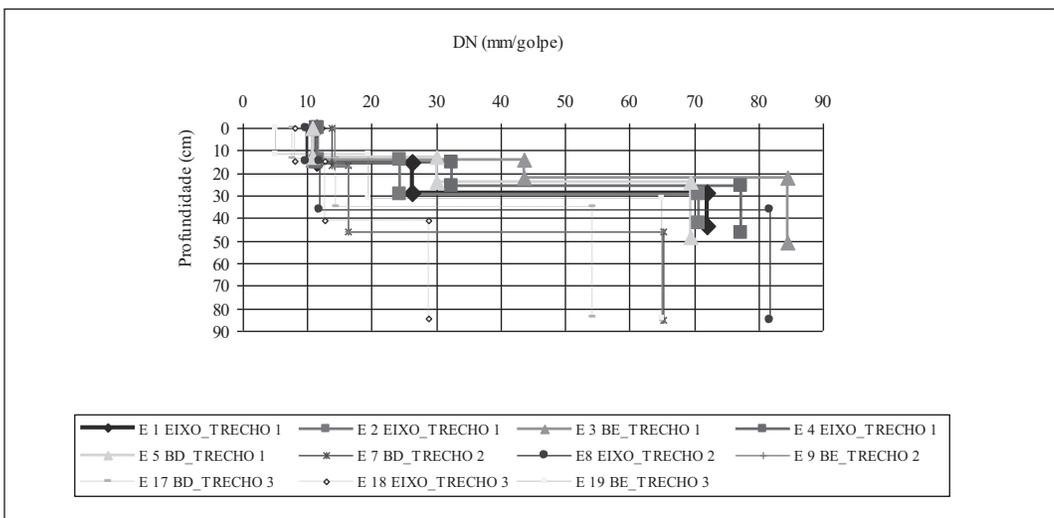


**Fig. 14** – Diagrama estrutural no ensaio de DCP após a execução do subleito.

Com base nesses resultados, observa-se que a camada superficial do subleito do trecho 1 (solo-filer) parece estar melhor compactada que a do trecho 3 (cascalho). No entanto, esta variação é pequena e talvez ela não reflita no desempenho estrutural final dos trechos.

Para maiores profundidades do subleito observa-se grande variação nos valores obtidos para DN (entre 10 e 63 mm/golpe), mostrando a existência de heterogeneidade nessa camada do terreno.

Conforme Figura 15, para o ensaio feito após a execução da base observa-se que até 15 cm de profundidade foram obtidos valores de DN variando entre 5 e 15 mm/golpe. Esta primeira camada mais resistente corresponde às bases dos trechos. Nesta etapa de ensaio, a base de cascalho laterítico apresentou melhor valor de DN quando comparada com as demais. Este resultado, de certa forma, coincide com os dados obtidos em laboratório, onde foram encontrados valores de CBR igual a 60% para o cascalho, 56% para a mistura solo-brita e 62% para a mistura solo-filer.



**Fig. 15** – Diagrama estrutural no ensaio de DCP após a execução da base.

Entre 15 e 30 cm de profundidade tem-se a camada de sub-base, sendo que os melhores valores de DN também foram obtidos para o trecho 3 (cascalho laterítico). No entanto, a sub-base do solo-filer apresentou os piores valores. Essa alteração de desempenho entre a base e a sub-base de solo-filer se deve à diferença entre a energia de compactação (modificada para a base e intermediária para a sub-base).

No Quadro 2 estão os resultados de DN e respectivos valores de CBR obtidos por correlações sugeridas por Heyn (1986 *apud* RESPLANDES, 2007), Oliveira e Vertamatti (1997 *apud* RESPLANDES, 2007) e Lopes et al. (2007). Araújo (2008) nos trechos 2 e 3 utilizou formulações elaboradas pelos mesmos autores, adaptadas a materiais mais granulares.

Os resultados de CBR obtidos por meio da correlação DN x CBR que mais se aproximaram dos obtidos em laboratório, foram estabelecidos por meio das correlações para materiais granulares de Heyn (1986 *apud* RESPLANDES, 2007) para o trecho 3. As demais correlações não se aproximaram dos valores obtidos em laboratório. Isto se deve, segundo Araújo (2008), à diferença dos materiais dos trechos analisados e os utilizados pelos autores das correlações. Para o trecho 1 não houve correlação satisfatória. Sendo assim, verifica-se a necessidade de se obter correlações específicas para os materiais utilizados.

### 3.1.3 – Prova de carga sobre placa

No Quadro 3 e nas Figuras 16 a 19 são apresentados os resultados obtidos no ensaio de prova de carga sobre placa para as camadas do trecho 1 (solo-filer), obtidos para um tempo de cinco minutos para cada carga aplicada, bem como na fase de descarregamento.

Analisando os dados encontrados, pode-se observar que para uma tensão de 560 kPa foram obtidos valores de deslocamento total ( $d_t$ )  $\leq 1,38$  mm, nas camadas de base e capa, demonstrando com isso um bom comportamento estrutural nessas camadas. Já para a camada de sub-base houve valores de  $d_t$  superiores a 3,00 mm, indicando elevada deformação. A média de todas as camadas indica, no geral, bom comportamento estrutural com  $d_t$  igual a 0,87 mm. Houve uma diminuição progressiva dos valores de uma camada para outra, como já era esperado.

Comparando-se os dados relacionados com Eixo, Bordo Direito (BD) e Bordo Esquerdo (BE) observa-se que não houve regularidade entre estes dados. Este comportamento pode ser atribuído ao fato dos ensaios terem sido realizados logo após a conclusão do trecho, antes de sua liberação para o tráfego, e também em período de seca na região. Portanto, as bordas não sofreram alterações muito diferenciadas em relação ao eixo do pavimento.

Os valores de deslocamento elástico ( $d_e$ ) diminuem gradativamente na medida em que se evolui para as camadas superiores, como era esperado, já que essas sofrem maior solicitação e no dimensionamento são previstos materiais mais resistentes para essas camadas. A média de  $d_e$  foi de 0,27 mm. Houve mudança significativa deste valor a partir na camada de base, sendo em média  $d_e$  respectivamente 0,64 mm e 0,79 mm, para as camadas do subleito e da base do pavimento.

Para o módulo de reação do ensaio em placa ( $k_{placa}$ ), observa-se uma média geral de valores na ordem de 794,43 kPa/mm, apresentando valores mais elevados para a camada de base e revestimento. Assim como na deformação elástica, o valor de  $k_{placa}$  ganhou incremento significativo na camada a partir da camada de base, sendo em média respectivamente de 256,97 kPa/mm e 1174,03 kPa/mm, respectivamente para as camadas do subleito e da base do pavimento.

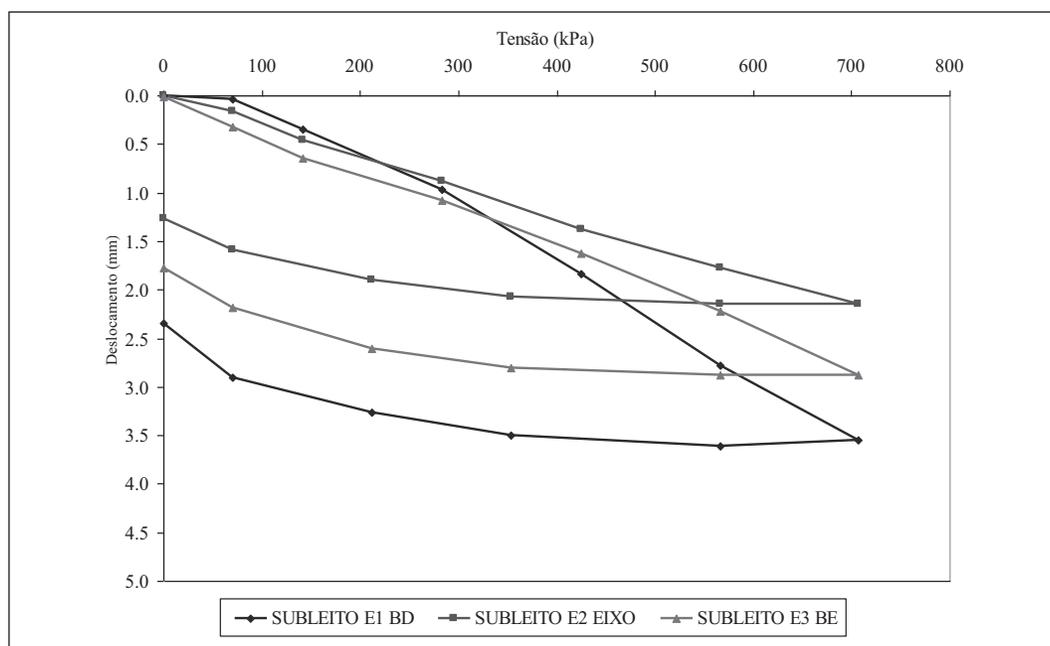
**Quadro 2** – Valores de CBR obtidos por correlação de três autores para a base e sub-base dos trechos 1, 2 e 3.

Trecho	Camada Ensaída	Estaca	Camada	DN (mm/golpe)	CBR (%)			
					Heyn	O. e V.	Lopes	
1	SUBLEITO	E 1	1	9,2	24,9	29,7	26,1	
		EIXO	2	26,6	6,6	10,1	1,9	
		E 5	1	9,2	24,9	29,7	26,1	
		BD	2	20,9	8,5	12,4	8,7	
	BASE	E 1	EIXO	1	11,5	18,5	23,3	22,6
				2	26,3	6,3	9,8	0,8
				3	72,0	1,7	3,4	–
		E 2	EIXO	1	11,7	18,2	23,0	22,4
				2	24,4	7,0	10,5	3,5
				3	70,8	1,7	3,4	–
		E 3	BE	1	10,8	20,2	25,1	23,7
				2	43,6	3,3	5,7	–
				3	84,5	1,4	2,8	–
		E 4	EIXO	1	11,5	18,5	23,3	22,6
				2	32,5	4,8	7,8	–
				3	77,2	1,6	3,1	–
		E 5	BD	1	10,8	20,0	24,9	23,6
				2	30,0	5,3	8,5	–
				3	69,4	1,8	3,5	–
		2	SUBLEITO	E 7	BD	1	18,9	9,7
	2				30,3	5,3	8,4	–
	3				63,0	2,0	3,9	–
E 8	EIXO			1	11,7	18,2	23,0	22,4
				2	28,2	5,8	9,1	–
				3	100,7	1,1	2,4	–
E 9	BE		1	17,5	10,7	15,0	13,8	
			2	32,4	4,8	7,8	–	
			3	61,0	2,1	4,0	–	
BASE	E 7		BD	1	13,8	28,5	19,2	20,1
				2	16,2	24,1	16,3	16,3
				3	65,3	5,6	3,7	2,6
	E 8		EIXO	1	9,8	41,0	27,7	31,7
				2	11,9	33,4	22,6	24,6
				3	81,7	4,4	2,9	1,9
	E 9		BE	1	14,1	28,0	18,9	19,7
			2	16,2	24,2	16,3	16,4	
			3	65,0	5,6	3,7	2,6	
3	SUBLEITO	E 17	BD	1	19,3	9,4	13,5	11,1
				2	31,1	5,1	8,2	–
				3	56,3	2,3	4,4	–
		E 18	EIXO	1	7,9	30,3	34,8	28,0
				2	11,2	19,2	24,0	23,1
				3	63,1	2,0	3,9	–
	E 19	BE	1	16,7	11,4	15,8	15,0	
			2	32,4	4,8	7,8	–	
			3	62,8	2,0	3,9	–	
	BASE	E 17	BD	1	7,6	32,0	44,7	119,4
				2	14,4	13,8	19,1	112,6
				3	54,2	2,5	3,3	98,6
		E 18	EIXO	1	6,7	37,7	52,8	120,7
				2	11,7	18,2	25,2	114,8
				3	63,3	2,0	2,7	97,0
E 19		BE	1	5,0	54,7	77,2	123,7	
			2	19,4	9,4	12,8	109,4	
			3	65,0	2,0	2,6	96,7	

**Quadro 3** – Resultados obtidos nos ensaios de prova de carga no trecho 1.

Camada	Estaca	T = 560 kPa		k <sub>placa</sub> (kPa/mm)
		d <sub>t</sub> (mm)	d <sub>e</sub> (mm)	
Subleito	E 01 BD	2,7	0,9	207,41
	E 02 EIXO	1,78	0,37	314,61
	E 03 BE	2,25	0,64	248,89
<b>Média Subleito</b>		<b>2,24</b>	<b>0,64</b>	<b>256,97</b>
Sub-base	E 01 BD	2,1	0,57	266,67
	E 02 EIXO	1,66	0,52	337,35
	E 03 BE	2,65	0,64	211,32
	E 04 EIXO	2,64	0,62	212,12
	E 05 BE	3,44	0,85	162,79
<b>Média Sub-base</b>		<b>2,50</b>	<b>0,64</b>	<b>238,05</b>
Base	E 00 + 10 EIXO	1,38	0,27	405,80
	E 01 BD	0,64	0,17	875,00
	E 02 EIXO	0,74	0,26	756,76
	E 03 BE	1,04	0,29	538,46
	E 04 EIXO	0,17	0,1	3294,12
<b>Média Base</b>		<b>0,79</b>	<b>0,22</b>	<b>1174,03</b>
Revestimento	E 00 + 10 EIXO	0,64	0,13	875,00
	E 01 BD	0,83	0,17	674,70
	E 02 EIXO	0,48	0,11	1166,67
	E 03 BE	0,93	0,16	602,15
	E 04 BD	0,3	0,09	1866,67
	E 05 BD	0,24	0,03	2333,33
<b>Média Revestimento</b>		<b>0,57</b>	<b>0,12</b>	<b>1253,09</b>
<b>MÉDIA GERAL</b>		<b>0,87</b>	<b>0,27</b>	<b>794,43</b>

Obs: E = estaca; BD = bordo direito; BE = bordo esquerdo; d<sub>t</sub> = deslocamento total; d<sub>e</sub> = deslocamento elástico; k<sub>placa</sub> = módulo de reação para o ensaio em placa.



**Fig. 16** – Curvas Tensão × Deslocamento no trecho 1 (subleito).

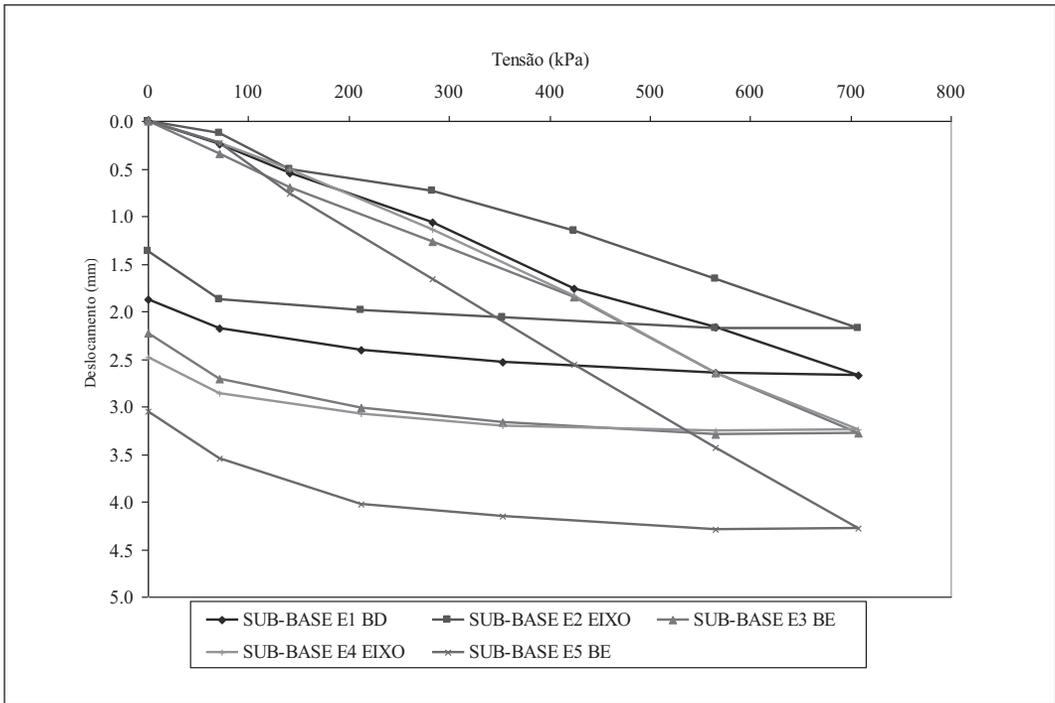


Fig. 17 – Curvas Tensão × Deslocamento no trecho 1 (sub-base).

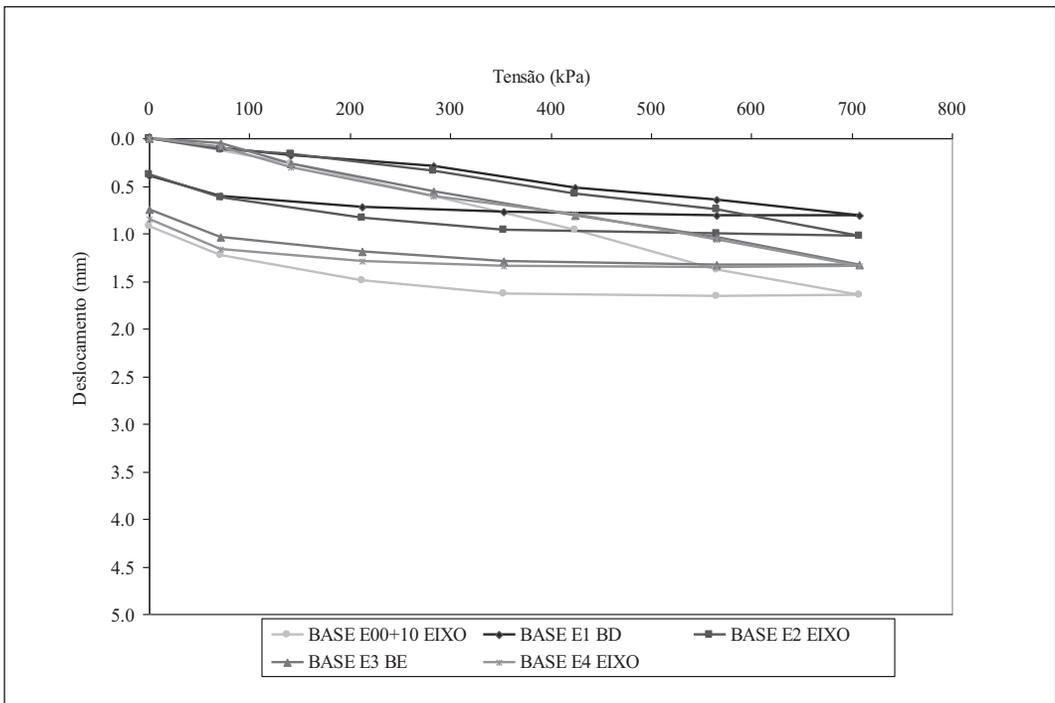
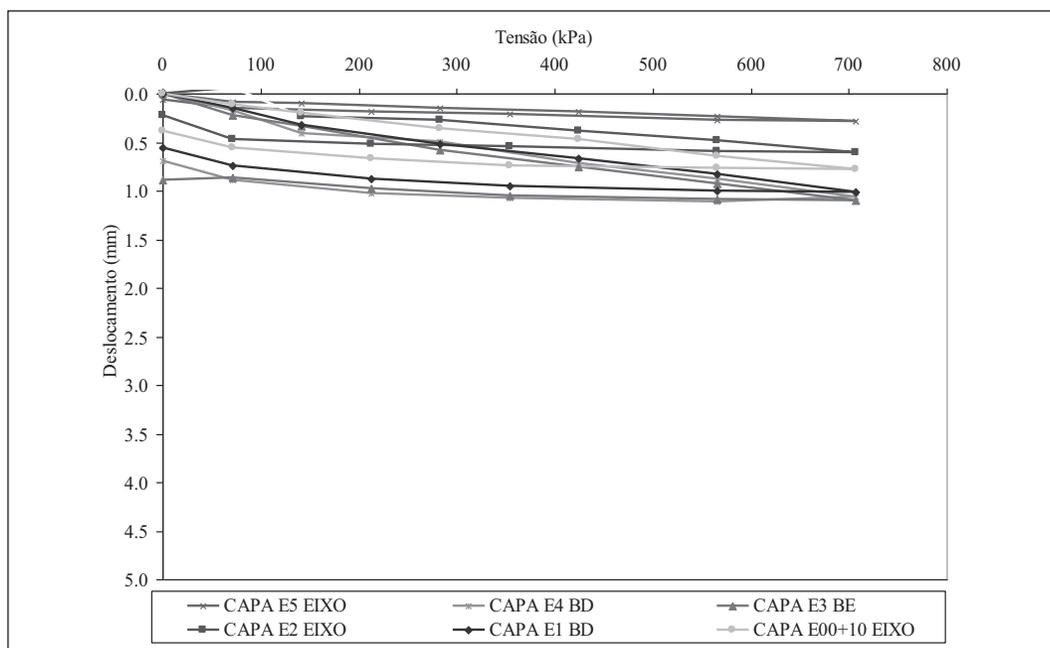


Fig. 18 – Curvas Tensão × Deslocamento no trecho 1 (base).



**Fig. 19** – Curvas Tensão × Deslocamento no trecho 1 (capa).

No Quadro 4 são apresentadas as médias dos valores obtidos por camada no ensaio de prova de carga sobre placa nos três trechos. Com os resultados obtidos pode-se observar que para a base as menores deformações ocorreram no trecho 1, sendo que a deformação total foi significativamente menor, cerca de 60%, em média. Isto pode ser explicado pela maior estabilização granulométrica do material que compõem a base do trecho 1, já que trata-se de material com maior teor de finos.

Comparando-se os valores das deformações elásticas obtidas nos três trechos, pode-se observar de acordo com o Quadro 4 que a camada do subleito interfere sobre os resultados da sub-base. Dessa forma, como o subleito dos trechos 2 e 3 apresentaram menores deformações, conseqüentemente, as sub-bases desses trechos apresentaram melhor desempenho que a do trecho 1. No entanto, para as camadas de base e revestimento, as deformações reduziram-se significativamente no trecho 1, com reduções em média superiores a 50% se comparadas com as obtidas nos trechos 2 e 3.

**Quadro 4** – Resultados da média da prova de carga sobre placa nos três trechos avaliados.

Trecho	Camada	Média		
		$d_i$ (mm)	$d_e$ (mm)	$k_{placa}$ (kPa/mm)
1	Subleito	2,24	0,64	256,97
	Sub-base	2,50	0,64	238,05
	Base	0,79	0,22	1174,03
	Revestimento	0,57	0,12	1253,09
2	Subleito	1,55	0,39	376,35
	Sub-base	1,61	0,32	357,57
	Base	1,73	0,34	361,01
	Revestimento	0,88	0,15	686,68
3	Subleito	1,22	0,28	479,35
	Sub-base	1,18	0,34	504,72
	Base	1,52	0,49	392,38
	Revestimento	0,60	0,10	982,66

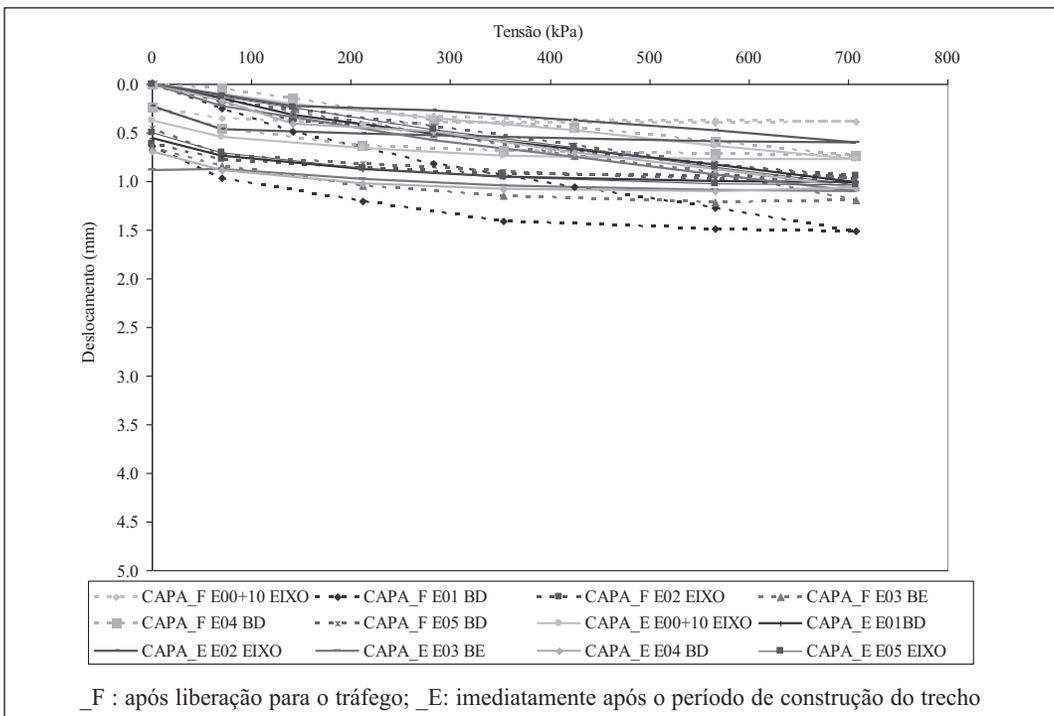
### 3.2 – Fase operação

#### 3.2.1 – Prova de carga sobre placa

No Quadro 5 e na Figura 20 são apresentados os valores obtidos do ensaio de prova de carga sobre placa apenas no trecho 1 após um ano da sua execução. Neste período foi possível solicitar o trecho experimental a condição completa de clima representativo da região, incluindo a época da estação chuvosa.

**Quadro 5** – Resultados da prova de carga sobre placa no revestimento do trecho 1 um ano após o funcionamento da pista.

Trecho	Camada	Estaca	T = 560 kPa		$k_{placa}$ (kPa/mm)
			$d_i$ (mm)	$d_e$ (mm)	
1	Revestimento após 1 ano de funcionamento do trecho experimental	E 00 + 10 EIXO	0,37	0,02	1513,51
		E 01 BD	1,27	0,22	440,94
		E 02 EIXO	0,83	0,11	674,70
		E 03 BE	0,91	0,31	615,38
		E 04 BD	0,59	0,13	949,15
		E 05 BD	0,83	0,14	674,70
<b>MÉDIA</b>			<b>0,80</b>	<b>0,16</b>	<b>811,40</b>



**Fig. 20** – Resultados do ensaio de prova de carga sobre placa no revestimento do trecho 1 logo após o período de construção e um ano depois da liberação do tráfego.

Com os resultados pode-se observar que a  $d_i$  média inicial, assim como a  $d_e$  são inferiores, respectivamente, 40% e 33% do que os valores observados durante a construção do pavimento, ou seja, após passar por solicitações climáticas e do tráfego. Este comportamento era esperado, visto

que o local não conta com dispositivo de drenagem, e a umidade observada no pavimento neste período foi cerca de 3% superior ao valor utilizado no período de execução nos bordos, e aproximadamente 0,4% superior no eixo. Este fato é reforçado pela observação neste período de maiores deformações nos bordos do trecho 1 analisado.

Mesmo nesta condição desfavorável, quanto à presença de umidade, os valores observados de deformações são considerados baixos para pavimentação. No entanto, vale ressaltar que o ideal é que se providencie dispositivo de drenagem adequado no local para evitar desgastes futuros mais sérios no pavimento, em função da presença da água da chuva, a qual caracteriza-se, por se tratar de uma área localizada no bioma Cerrado, por ser usualmente concentrada e volumosa no verão.

### 3.2.2 – Viga Benkelman

No Quadro 6 são apresentados os valores obtidos a partir do ensaio da viga Benkelman, sendo estes a deflexão real ou verdadeira no ponto de ensaio ( $D_0$ ), deflexão a 25 cm do ponto inicial de ensaio ( $D_{25}$ ), raio de curvatura (R) e o valor do produto  $R \times D_0$ , para a camada de revestimento do pavimento, no trecho 1 após um ano de funcionamento do pavimento. Nos trechos 2 e 3 não foi realizado este ensaio.

O R é um índice que indica o estado do pavimento em relação às deflexões. De acordo com o procedimento PRO 011 (DNER, 1979), valores de  $R < 100$  m sugerem a existência de problemas no pavimento e devem ser feitas determinações adicionais. A avaliação da condição em que se encontra o pavimento a partir do levantamento da bacia de deformação pode ser feita com base no produto  $R.D_0$  (Paiva e Causim, 2000). Valores de  $R.D_0 < 5500$  indicam uma possível existência de problemas no pavimento.

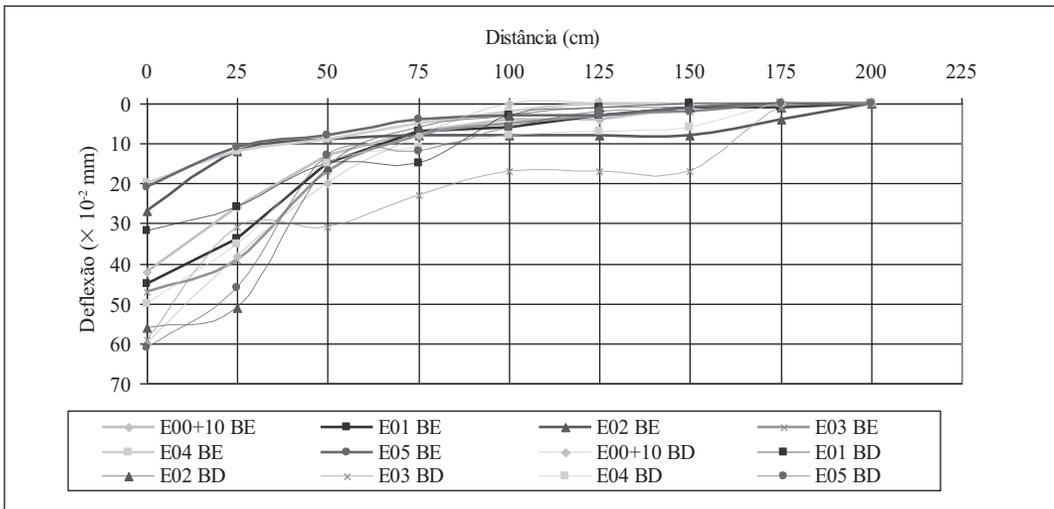
Observa-se no Quadro 6 que após um ano de funcionamento a estaca 00+10 apresentou menor valor R para ambos os bordos. Isto pode ser explicado pelo fato desta estaca estar sujeita, em função de sua localização, a maior solitação quanto à ação da água, pois neste ponto pode-se observar em campo uma inflexão com trecho de pista já existente e considerável acúmulo de água, o que é bastante agravado pela inexistência de dispositivo de drenagem. Já em relação à bacia de deformação o valor está dentro da faixa exigida pelo PRO 011 (DNER, 1979), ou seja,  $R > 100$  m.

Na estaca 3 observou-se a mesma situação descrita para a estaca 00+10. No entanto, apenas no bordo direito. Isto se justifica pelo fato de neste local haver ponto de concentração de água no período de chuva em função na inexistência de dispositivo de drenagem. Os demais pontos avaliados apresentaram valores bastante satisfatórios em relação à deflexão.

**Quadro 6** – Resultados do ensaio de viga Benkelman no trecho 1 após um ano de operação.

	Estaca	D0	D25	R	R × D0
		× 10 <sup>-2</sup> mm		m	m × 10 <sup>-2</sup> mm
BE	00 + 10	42	26	195	8203
	1	45	34	284	12784
	2	27	12	208	5625
	3	47	39	391	18359
	4	20	12	391	7813
	5	21	11	313	6563
BD	00 + 10	60	38	142	8523
	1	32	26	521	16667
	2	56	51	625	35000
	3	59	31	112	6585
	4	50	35	208	10417
	5	61	46	208	12708

Na Figura 21 são apresentadas as bacias de deslocamento no trecho 1 após um ano de funcionamento da pista experimental.



**Fig. 21** – Bacias de deslocamento do revestimento da pista experimental após 1 ano de funcionamento – Trecho 1.

#### 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Metodologicamente a aplicação de misturas solo-filer em pavimentos exige alguns cuidados, conforme destacado a seguir:

- Secar o resíduo antes de sua utilização para diminuir a discrepância entre a umidade deste material e a umidade ótima visada em campo, pois isto pode diminuir a necessidade de maior número de movimentação de máquinas e diminuição significativa das horas trabalhadas;
- Como a composição solo-filer inclui a presença de material argiloso contido na fração de 70% de solo que compõe a mistura, é prudente, segundo experiência deste trabalho e de outros pesquisadores, que se deixe o pavimento trincar. Com isto consegue-se maior estabilização do pavimento e conseqüente ganho de resistência;
- A presença de dispositivos de drenagem é fundamental para garantir a integridade e o comportamento estrutural esperado do pavimento, em todas as fases após a sua execução;

Quanto aos ensaios de campo logo após o término da execução do trecho experimental, conclui-se que:

- Os resultados obtidos pelas metodologias *Speedy* e frasco de areia mostraram que o controle tecnológico da pista na etapa de execução condissse com as condições previstas em laboratório;
- A partir do ensaio de DCP não é possível fazer previsões do valor de CBR com modelos elaborados por outros autores, isto também foi observado por Araújo (2008) nos trechos executados com cascalho e solo-brita;
- Quanto à resistência pôde-se observar no ensaio de DCP pequenas diferenças (cerca de 2%) entre o comportamento do trecho executado com cascalho laterítico e o trecho de solo-filer.

- No ensaio de prova de carga sobre placa, comparando-se os trechos solo-filer, solo-brita e cascalho laterítico, pode-se observar que o trecho 1 apresentou, logo após a construção, a melhor condição de deformação, sendo esta cerca de 23% inferior a encontrada no trecho 2 e cerca de 18% inferior a encontrada no trecho 3. O valor médio para a deformação total igual a 0,87 é considerado bom para aplicação em pavimentação;
- O resultado da deformação na camada do subleito interfere no comportamento das demais camadas do pavimento.

Quanto aos ensaios de campo logo após um ano de operação do trecho experimental, conclui-se que:

- Após um ano de funcionamento do trecho experimental, as umidades de execução do pavimento foram alteradas pela água da chuva. Isto foi agravado pela ausência de dispositivo de drenagem ao logo de todo o trecho. A variação de umidade foi de cerca de 3% superior nos bordos e aproximadamente 0,4% superior no eixo;
- O ensaio de prova de carga sobre placa mostrou deformações cerca de 40% superiores às encontradas logo após a fase de execução do pavimento. Isto se justifica pelo aumento da umidade neste período em função da ação da chuva; notou-se ainda que a influência desta umidade nos bordos teve maior destaque. A falta de confinamento nas laterais pode ser mais um fator para agravar esta deformação;
- A resposta do pavimento após um ano de execução em relação à viga Benkeman mostrou bons resultados em relação ao aparecimento da trilha de roda, com deformações dentro da faixa exigida pelo PRO 011 (DNER, 1979).

A utilização de solo-filer como camada de base e sub-base, em substituição aos materiais tradicionais apresentou respostas de comportamento mecânico adequadas para a aplicação em pavimentação, de acordo com as normas do DNER. Isto é muito interessante sob o ponto de vista ambiental, já que jazimentos naturais de cascalho para aplicação em pavimentação estão cada vez mais escassos e com implicância de impactos ambientais sem precedentes sob o ponto de vista da sustentabilidade.

Outro aspecto importante é que a utilização do filer faz com que a problemática de seu acúmulo diminua e conseqüentemente sejam mitigados os passivos de seu armazenamento

Contudo é importante destacar que se necessita de maior tempo de monitoramento do trecho experimental para se afirmar sobre a sua adequação técnica definitivamente. Deve-se ainda ressaltar que o tipo de solo utilizado na mistura é determinante para se fazer previsões em relação ao comportamento das misturas.

A dosagem estabelecida neste trabalho para a base de 30% de filer e 70% de solo na energia modificada, e para a sub-base de 20% de filer e 80% de solo na energia intermediária tem a aplicação sugerida apenas para os materiais estudados e nas condições executivas utilizadas.

## 5 – AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à Furnas Centrais Elétricas pelo auxílio na coleta dos materiais e na execução dos ensaios de laboratório. Ao Dermu/Compav – Prefeitura de Goiânia pelas máquinas e pessoal cedidos para a execução do trecho experimental. Ao Ceasa pelo apoio na concessão do material da jazida de solo.

## 8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (1986). NBR 7185. Solo – *Determinação da massa específica aparente in situ com emprego do frasco de areia*, NBR 7185, Rio de Janeiro, RJ, 7p.

- AGGARWAL, H.R.; JAFRI, R.H. (1987). *Modified material specifications for base laterites for secondary roads*. 9<sup>th</sup> Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Lagos.
- ALECRIM, A.U.; PESSA, T.G.F. (2005). *Utilização de rejeitos de quartzito em bases e sub-bases de pavimentos flexíveis*. 36<sup>a</sup> Reunião Anual de Pavimentação, ABPv, Curitiba, PR, 1: 1 – 9.
- ALVES, A.B.C. (2002). *Avaliação da Capacidade de Suporte e Controle Tecnológico de Execução da Camada Final de Terraplanagem Utilizando o Penetrômetro Dinâmico de Cone*. Dissertação de Mestrado. PPGEC/UFSC, Florianópolis - SC.
- ANEPAC (2004). *Areia & Brita*. Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil. Publicação Trimestral. 42p. São Paulo – SP.
- ARAÚJO, W.E.L. (2008). *Aproveitamento de resíduos da extração de micaxisto em pavimentos flexíveis*. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia do Meio Ambiente. Universidade Federal de Goiás. Goiânia – GO.142p.
- ASARE-DARKO, E. (1984). *The influence of high compaction on the strength and deformation characteristics of some lateritic gravel and crushed granitic rock*. Report Journal 362, Institut für Grundbau und Bodenmechanik, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Suíça.
- BERNUCCI, L.L.B (1995). *Considerações sobre o dimensionamento de pavimentos utilizando solos lateríticos para rodovias de baixo volume de tráfego*. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo-SP. 237 p.
- BATALIONE, G. (2007) *Estabilização de solos tropicais com a utilização de rejeitos finos de pedreira de uma rocha granítica*. Dissertação de Mestrado, Publicação GDM 158/07. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 172p.
- CASAGRANDE, A. (1947). *Classification and identification of soils*. American Society of Civil Engineers, p.783-810.
- DNER (1979). PRO 011. *Avaliação Estrutural de Pavimentos Flexíveis*. DNIT / DNER, Rio de Janeiro, RJ, 16p.
- DNER (1994a). ME 024 *Pavimento*. *Determinação das deflexões pela viga Benkelman*. DNIT / DNER, Rio de Janeiro, RJ, 06p.
- DNER (1994b). ME 052: *solos e agregados miúdos - determinação da umidade com emprego do "Speedy": método de ensaio*. Rio de Janeiro-RJ.
- DNER (1996). *DNER – Manual de Pavimentação*, 2<sup>a</sup> Edição, Rio de Janeiro – RJ, 320p.
- FUJIMURA, F.S.; THEODORO, W.H.; RESENDE, M.A.S. (1995). *O uso de finos de pedreira de rochas gnáissicas e graníticas em substituição às areias naturais*. 29<sup>a</sup> Reunião Anual de Pavimentação, RAPv, Cuiabá, Mato Grosso. 1: 147 – 156.
- GICHAGA, F. J.; MURUNG, P. A.; ATIBU, F. S. (1987). *Design and performance of flexible road pavements under tropical environment*. 9<sup>th</sup> Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Lagos, pp. 559-564.

- GIDIGASU, M.D.; ASANTE, S.P.K.; DOUGAN, E. (1987). *Identification of suitable nontraditional tropical and residual paving materials on relation to the environmental*. Canadian Geotechnical Journal. Vol. 24, nº 1. National Research Council of Canadá, Canadá. pp. 58-71.
- GUSMÃO, A.D.; CARNEIRO, F.P.; BARKOKÉBAS, B.; SOUZA, P.C.M. (2005). *Reutilização e reciclagem de resíduos de construção e demolição em obras geotécnicas*. 11º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. ABGE, Florianópolis, SC. pp. 203 – 211.
- LOPES, H.S.; TRALDI, M.A.B.; RIBEIRO, P.C.; AZEVEDO, R.A.R. (2007). *Estudo da correlação entre os ensaios de DCP e CBR para materiais aplicados à pavimentação*. Universidade Federal de Goiás. Escola de Engenharia Civil. Goiânia - GO. 97p.
- LUZ, M.P.; REZENDE, L.R.; CASTRO, S.S. (2008). *Aproveitamento de filer de pedreiras da região metropolitana de Goiânia em pavimentos flexíveis urbanos*. Programa de Doutorado em Ciências Ambientais. Universidade Federal de Goiás. Inédito. Goiânia - GO
- MEDINA, J. (1997). *Tropical soils and climates in pavement mechanis studies*. International Symposium on Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics. Balkema, Rotterdam, pp. 103-115.
- MEDINA, J.; MOTTA, L.(1989). *Resilient behavior of brazilian tropical soils in pavement design*. 2<sup>nd</sup> International Symposium on Pavement Evaluation and Overlay Design. Vol. 1. Associação Brasileira de Pavimentação – ABPv. pp.1-22.
- NASCIMENTO, U.; CASTRO, E.; RODRIGUES, M. (1964). *Swelling and petrification of lateritic soils*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC. Technical Paper, nº 215, Lisboa – Portugal.
- NOGAMI, J.S. *et al.* (1985). *Peculiarities of geotechnical behavior of tropical lateritic and saprolítico soils*. Progress Report. Committee on Tropical Soils of the ISSMFE. Theme 1, Topic 1.1 Preliminary Remarks. Associação Brasileira de Mecânica dos Solos – ABMS.
- NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. (1994). *A new simple method for classification of lateritic and saprolitic soils*, 7th International IAEG Congress, Portugal, p. 3391-3400.
- OLIVEIRA, J.C.; REZENDE, L.R.; GUIMARÃES, R.C.; CARVALHO, J.C. (2005a). *Varição dos Parâmetros de Compactação e CBR de Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil*. 36a Reunião Anual de Pavimentação, Curitiba - PR.
- OLIVEIRA, J.C.; REZENDE, L.R.; GUIMARÃES, R.C.; CARVALHO, J.C.; SILVA, A.L.A. (2005b). *Avaliação do desempenho de um pavimento flexível com base e sub-base de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil (entulho) no município de Goiânia*. Simpósio Internacional de Reciclagem de Pavimentos, São Paulo - SP.
- OLIVEIRA, L.E.; VERTAMATTI, E. (1997). *Análise de pavimento de baixo volume de tráfego executado com solos transicionais*. 1º Simpósio Internacional de Pavimentos de Rodovias de Baixo Volume de Tráfego, ABPv., Rio de Janeiro – RJ, 1:325 – 344.
- O'REILLY, M.P.; MILLARD, R.S. (1969). *Road materials and pavement design on tropical and sub-tropical countries*. RRL Report LR 279. Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire.
- PAIVA, C.E.L.; CAUSIM, P.B. (2000). *Estudo de avaliações das condições estruturais de um pavimento a partir de bacias de deformação*. 32ª Reunião Anual de Pavimentação, Brasília – DF, 1:297-307.

- PARENTE, E. B, BOAVISTA, A.H., SOARES, J. B. (2003). *Estudo do comportamento mecânico de misturas de solo e escória de aciaria para aplicação na construção rodoviária na região metropolitana de Fortaleza*. ANPET, Vol. 1. Rio de Janeiro – RJ.
- PEREIRA, E.L.; RIBEIRO, L.F.M.; CAMAPUM, J.C.; CHAVES, A.K.D. (2005). *Estabilização de um latossolo do D.F. com utilização de minério de ferro*. II Seminário de Solos Tropicais do Centro-Oeste, Goiânia, GO, 1: 275 – 285.
- PISSATO, E.; SOARES, L. (2005). *Utilização de finos de pedreira em misturas de solo-cimento - Correção granulométrica de um solo argiloso*. 2º Seminário de Uso de Fração fina da Britagem, SUFFIB, São Paulo, 1: 1 – 7.
- RESPLANDES, H.M.S. (2007). *Estudo ambiental e técnico da aplicação do agregado reciclado na estruturação de pavimentos flexível*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia do Meio Ambiente – PPGEMA. Escola de Engenharia Civil. Universidade Federal de Goiás. Goiânia –GO, 210p.
- REZENDE, L. R. (2003) *Estudo do comportamento de materiais alternativos utilizados em estruturas de pavimentos flexíveis*. Tese apresentada na Universidade de Brasília. Brasília – DF, 372p.
- SHEIDL, P.R.; CORREIA, J.C. G; RIBEIRO, R.C. (2005). *Utilização de resíduos de pedreiras e serrarias de rocha ornamentais na composição do asfalto*. 2ª Seminário de Uso da Fração Fina da Britagem, SUFFIB, São Paulo, SP, 1: 1 – 6.
- SILVA, A. L. A.; GUIMARÃES, R. C.; CASTRO, C. H.; MANSO, E. A. (2005). *Using building site waste in bases and sub-bases of flexible pavements*. In: International Symposium on Pavement Recycling, 2005, São Paulo. Anais eletrônicos do International Symposium on Pavement Recycling. São Paulo (CD-ROM).
- SILVESTRE, O.B., PARREIRA, A. B., KOBAYASHI, A. R. K. (2001). *Influência do tipo de cimento na resistência e deformabilidade das misturas de fosfogesso e cimento*. ANPET, vol. 1, Rio de Janeiro – RJ.
- TERTULIANO, D.C; OLIVEIRA, E.N.; ANDRADE, E. (2007). *Aproveitamento de resíduos de britagem na pavimentação rodoviária*. Trabalho Final de Curso. Universidade Federal de Goiás. Goiânia – GO. 81p.
- THOMÉ, A., SCHNEIDER, I. A. H., ROSA, F. D.; CONSOLI, N. C. (2002). *Caracterização geotécnica de um resíduo da indústria de pedras semi-preciosas e viabilidade de seu uso em estabilização de solos*. XII COBRAMSEG: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, São Paulo – SP. 1: 229-239.
- UNIÃO (1967). Decreto Lei 227. Artigo 5º. *Classificação das jazidas de bens minerais*, Brasília, DF, 46 p.
- WAMBURA, J.H.G.; ODERA, M.S.; IKINDU, D.R. (1990). *Pavement design and construction specifications developed for low-cost, low-volume roads in Kenya*. Transportation Research Board no 1291, pp. 58-65.