

DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO TRIAXIAL DE GRANDE PORTE PARA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE CAMADAS GRANULARES DE PAVIMENTOS

Rodrigo Malysz

Washington Peres Núñez

Adriano Virgílio Damiani Bica

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

RESUMO

Camadas granulares têm um importante papel no comportamento global de pavimentos, especialmente quando estes possuem revestimentos delgados ou não possuem revestimento. Para estabelecer métodos de projeto mais eficientes e critérios construtivos, é necessário que a resposta das camadas granulares sob a ação do tráfego seja bem compreendida e levada em consideração. Assim, com o objetivo avançar na compreensão deste comportamento, a tese em desenvolvimento descreve detalhadamente a concepção e montagem de um equipamento com capacidade de aplicação de carregamentos triaxiais estáticos, monotônicos e cíclicos em corpos de prova de 25 cm de diâmetro e 50 cm de altura. Um corpo-de-prova desta magnitude comporta agregados passantes na peneira com abertura 50 mm, possibilitando uma análise conjunta de resistência ao cisalhamento e de deformabilidade sob carregamentos cíclicos de camadas granulares de pavimentos em todas as faixas granulométricas propostas pelo extinto Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER).

ABSTRACT

Granular layers play an important role on the global behavior of pavement structures, especially when they are thinly surfaced or unsurfaced. In order to establish a more efficient design method and constructing criteria, it is necessary that the response of granular layers under traffic loads be well understood and taken into account. Thus, in order to better understand that behavior, this thesis carefully details the conception and assembly of an apparatus capable of applying monotonic triaxial load and cyclic load, on specimens with 25 cm diameter and 50 cm high. Due to the specimen size is possible carry out tests whit aggregates that passing through 2'' sieve, making possible make a combined analysis of shear strength and deformability, on pavements granular layers under cyclic loads, for all particle size ranges proposed by the late Brazilian National Road Department (DNER).

1. INTRODUÇÃO

O crescimento do tráfego em número e peso dos veículos sobrecarrega a malha viária brasileira. Aliado à falta de manutenção, este crescimento tem um papel decisivo na degradação dos pavimentos. Alguns países, como a República Sul Africana, utilizam frequentemente pavimentos com revestimentos delgados, mesmo em rodovias de tráfego elevado. Para que a estrutura apresente um bom desempenho, as camadas de base e sub-base devem ter seu comportamento muito bem caracterizado, pois têm um papel decisivo no projeto destes pavimentos.

As especificações de agregados para bases e sub-bases de pavimentos (DNER – ES 303/97) sugerem faixas granulométricas que incluem agregados passantes na peneira de 5,08 cm. Para realizar ensaios em agregados com estas dimensões é necessário utilizar corpos-de-prova com pelo menos 25 cm de diâmetro. Por isso, está sendo desenvolvida no Laboratório de Pavimentação (LAPAV) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) uma câmara triaxial de grande porte para ensaiar tais corpos-de-prova. Com o aumento nas dimensões dos corpos-de-prova, aumentam também os carregamentos aplicados na execução dos ensaios. Para tal, foram projetados: um pórtico de reação, um sistema mecânico para aplicação de carregamentos monotônicos e um sistema pneumático para aplicação do carregamento repetido. Os sistemas também permitem a aplicação de carregamentos estáticos.

Foram consultados diversos trabalhos que tratam sobre a concepção de equipamentos triaxiais no Brasil e no exterior. Entre os nacionais, destacam-se os de Martins (2001) e Ferreira (2002), que desenvolveram equipamentos capazes de aplicar trajetórias de tensões especiais de interesse à Mecânica dos Solos. Dois trabalhos internacionais, que apresentam o detalhamento da concepção de equipamentos triaxiais, foram relevantes para esta pesquisa. Lekarp e Isacson (2000) descreveram a construção de um equipamento para corpos de prova com 50 cm de diâmetro e 100 cm de altura. Skoglund *et al.* (2000) desenvolveram um equipamento capaz de aplicar pressão de confinamento cíclica e um sistema de aquisição e controle que servirá de base ao equipamento desenvolvido para a tese alvo deste comunicado.

O objetivo geral da tese é desenvolver um equipamento triaxial de grande porte e utilizá-lo na avaliação do comportamento mecânico de camadas granulares de pavimentos. São propostos os seguintes objetivos específicos: (i) construção e operacionalização do equipamento triaxial de grande porte; (ii) execução de ensaios triaxiais de carregamentos estáticos, monotônicos e cíclicos; e (iii) modificação do procedimento de análise conjunta de resistência e deformabilidade proposto por Malysz (2004).

2. DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO

O equipamento que está sendo desenvolvido permite ensaiar corpos-de-prova de 25 cm de diâmetro por 50 cm de altura. Possui uma câmara triaxial construída em acrílico, alumínio e aço inox, que possibilita aplicar o estado de tensões triaxial. Um pórtico de reação construído em alumínio e aço suporta os dispositivos de aplicação de carga. As cargas estáticas são aplicadas por um sistema composto de motor elétrico e macaco mecânico funcionando sincronizados por um sistema de polias e correias que propiciam a redução de rotação necessária à aplicação do torque requerido na velocidade desejada. Um cilindro pneumático associado a uma válvula solenóide é responsável pela aplicação dos carregamentos dinâmicos. Será utilizado um sistema de aquisição de dados da marca *Hottinger Baldwin Messtechnik* (HBM), modelo *Spider 8*, gerenciado pelo *software* HBM *Catman 4.5*. O *Spider 8* possui 8 canais de comunicação que operam na frequência de 4,8 kHz, permitindo taxas de aquisição de 1 leitura/s até 9600 leituras/s. Um soquete separado (digital I/O) oferece 8 entradas digitais e oito linhas que podem ser usadas com entradas ou saídas digitais (para controle de processos). Os ensaios serão instrumentados com dois transdutores de deslocamento do tipo “*Linear Variable Differential Transformer (LVDT)*” para a medição de deformações verticais, com curso de ± 25 mm, outro LVDT para a medição de deformações radiais, uma célula de carga com capacidade para 300 kN para medição da carga vertical em carregamentos monotônicos, uma célula de carga de 30 kN para a medição da carga vertical cíclica e dois transdutores de pressão para medição da pressão de ar comprimido.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O material a ser ensaiado é uma brita graduada, utilizada como base em pistas experimentais solicitadas por um Simulador de Tráfego em pesquisas anteriores (Núñez, 1997). Trata-se de um agregado de basalto oriundo de britagem da rocha sã. Os parâmetros de compactação e Índice de suporte Califórnia são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Características do agregado estudado

Propriedade	Valor
Peso Específico Aparente seco Máximo	24,9 kN/m ³
Umidade ótima	4,3%
Índice de Suporte Califórnia	170%

No equipamento triaxial que está sendo desenvolvido, serão realizados ensaios triaxiais convencionais adensados isotropicamente e drenados (CID). Neste tipo de ensaio, os parâmetros de resistência obtidos são o ângulo de atrito interno efetivo (ϕ') e o intercepto de coesão efetivo (c'). Será utilizada uma velocidade de deformação de 0,063%/s, semelhante à utilizada por Malysz (2004). A partir das curvas tensão-deformação é possível determinar os módulos de Young tangente e secante. Os ensaios triaxiais serão executados com as pressões confinantes de 12,5; 25; 50; 100 e 150 kPa. Serão executados ensaios em corpos-de-prova virgens (ou seja, que não sofreram carregamentos anteriores) para cada pressão confinante e também ensaios em multi-estágios de carga. Além da envoltória de ruptura, são definidas envoltórias de resistência mobilizada a partir das tensões correspondentes às deformações axiais de 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0%.

A determinação do módulo de resiliência é padronizada pelo método de ensaio DNER – ME 131/94 e pela norma TP46-94 da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO). O método de ensaio do DNER determina que sejam aplicados 20 ciclos de carga por minuto, o que resulta em uma frequência de 0,33 Hz. Já o equipamento desenvolvido aplicará 1 ciclo por segundo para se adequar a procedimentos internacionais, conforme a norma da AASHTO. A duração de aplicação da carga deverá ser de 0,1 s.

As características e procedimentos para o ensaio triaxial de deformações permanentes foram baseados na literatura internacional e a norma francesa AFNOR NF P 98-231-1, devido à inexistência de normas brasileiras sobre o assunto. Serão utilizados estados de tensões que compreendam os possíveis carregamentos em estruturas de pavimentos. Os ensaios de deformações permanentes serão realizados somente segundo o método de carregamento em multi-estágios. Neste tipo de procedimento são aplicados estados de tensões crescentes a cada estabilização de comportamento das deformações permanentes. Durante a execução dos ensaios de deformações permanentes, também serão medidos módulos de resiliência (a cada registro das deformações permanentes) correspondentes ao estado de tensões ao qual o corpo de prova será submetido.

Serão realizadas análises mecanísticas, dividindo-se camadas granulares de pavimentos em várias sub-camadas. A partir da tensão atuante em cada sub-camada, é possível determinar a deformação permanente correspondente a determinado número de ciclos de carga. O somatório dos deslocamentos em cada sub-camada resulta no afundamento de trilha de roda devido à camada granular (ATR_g). Após a determinação de um modelo da deformação permanente em função da profundidade e a divisão da camada granular em várias camadas infinitesimais, o ATR_g é definido pela integração deste modelo em função da profundidade (Equação 1). A Figura 1 apresenta um desenho esquemático da análise proposta, em um pavimento genérico.

$$ATR_g = \int_{z_i}^{z_f} a \cdot e^{bz} \cdot dz \quad (1)$$

em que	ATR_g :	afundamento de trilha de roda devido à camada granular;
	z :	profundidade a partir da face superior do revestimento;
	e :	2,7183 (base do logaritmo natural);
	a e b :	parâmetros do modelo.

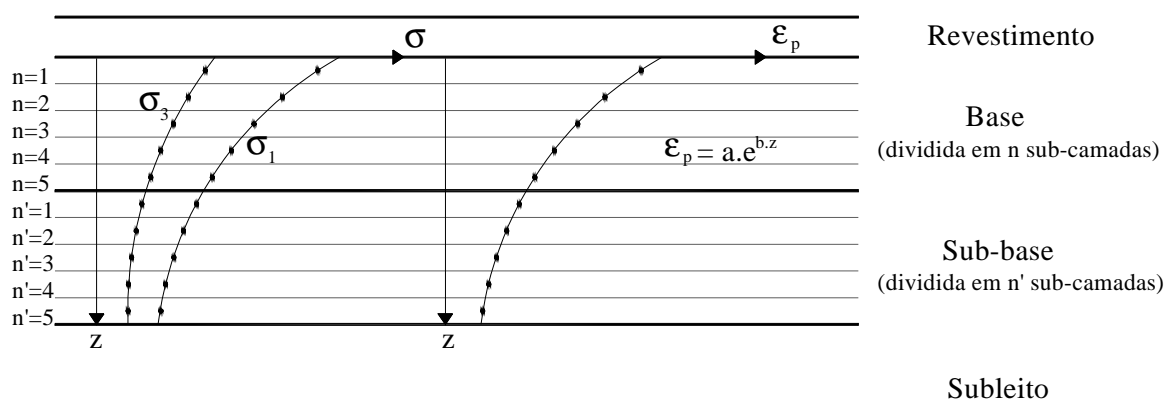


Figura 1: Esquema de distribuições de tensões e deformações nas camadas de um pavimento.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na fase atual da pesquisa o equipamento está montado, o sistema de aquisição de dados está operacional e a instrumentação foi calibrada. Resta programar um sistema de controle dos ensaios. No caso dos ensaios monotônicos, o controle será realizado por um inversor de frequência, que controlará a velocidade do ensaio. No caso dos carregamentos cíclicos, o pulso de carga será comandado pelo *Spider8*, sofrendo uma amplificação intermediária.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da CAPES, do CNPq e da FINEP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (1996) *TP46 - Standard Test Method for Determining the Resilient Modulus of Soils and Aggregate Materials*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C.
- AFNOR (1995) *NF P 98-235-1. Essais Relatifs aux Chaussées – Matériaux non Traités. Partie 1: Essai Triaxial à Chargements Répétés*. Association Française de Normalisation, Paris.
- DNER (1997) *ES 303 Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente*. Especificação de Serviço, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNER (1994) *ME 131 Solos – Determinação do Módulo de Resiliência*. Método de Ensaio, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- Ferreira, P. M. V. (2002) *Estudo do Comportamento Mecânico de um Solo Residual de Arenito da Formação Botucatu*. Tese de Doutorado. PPGE/UFRGS, Porto Alegre.
- Lekarp, F.; Isacsson, U. (2000). Development of a Large-Scale Triaxial Apparatus for Characterization of Granular Materials. *International Journal of Road Materials and Pavement Design*, v. 1 n. 2, p. 165-196.
- Malysz, R. (2004) *Comportamento Mecânico de Britas Empregadas em Pavimentação*. Dissertação de Mestrado. PPGE/UFRGS. Porto Alegre.
- Martins, F.B. (2001) *Investigação do comportamento mecânico de um solo naturalmente estruturado*. Tese de doutorado, PPGE/UFRGS, Porto Alegre.
- Núñez, W. P. (1997) *Análise experimental de pavimentos rodoviários delgados com basaltos alterados*. Tese de doutorado, PPGE/UFRGS, Porto Alegre.
- Skoglund, K. A.; Hoseth S.; Værnes E. (2000) Development of a Large Triaxial Cell Apparatus With Variable Deviatoric and Confining Stresses. *Unbound Aggregates in Road Construction, UNBAR 4*, Dawson (ed.) Balkema, Rotterdam. p. 145-152.

Rodrigo Malysz (rmalysz@ppgec.ufrgs.br)

Washington Peres Núñez (wpnunez@ppgec.ufrgs.br)

Adriano Virgílio Damiani Bica (avdbica@ppgec.ufrgs.br)

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Av. Osvaldo Aranha, 99 – 3º Andar – Porto Alegre, RS, Brasil