



Instrumentação e calibração de célula de carga para uso em pavimentação

Instrumentation and calibration of load cell for paving

F. S. Bacelar^{1*}; F. S. Albuquerque²; G. N. Souza³

¹*Departamento de engenharia civil/Laboratório de topografia e transportes, Universidade Federal de Sergipe, 49100-000, Aracaju-Sergipe, Brasil*

²*Departamento de engenharia civil/Laboratório de topografia e transportes, Universidade Federal de Sergipe, 49100-000, Aracaju-Sergipe, Brasil*

³*Departamento de engenharia civil/Laboratório de topografia e transportes, Universidade Federal de Sergipe, 49100-000, Aracaju-Sergipe, Brasil*

felipebacelar1@gmail.com

(Recebido em 14 de junho de 2015; aceito em 29 de outubro de 2015)

Pavimentos são estruturas que sofrem desgaste com o tempo por conta do tráfego, ou seja, com a passagem de carga sobre a via. Os tipos de dano mais comuns aos pavimentos são aqueles causados pelo acúmulo de cargas ao longo do tempo, propiciando a fadiga em camadas cimentadas e o cisalhamento de camadas granulares. Para auxiliar na análise de tensões que resultam nesses danos, esta pesquisa propõe definir diretrizes para a confecção e calibração de células de carga para realizar instrumentação de pavimentos rodoviários. Este instrumento permite que se conheça o real estado de tensões em camadas do pavimento, assim fornecendo subsídios a definição de critérios de projeto a partir de observações em campo. Para tanto, foi realizada a calibração da célula de carga de forma estática, situação muito semelhante à utilizada em ensaios quase-estáticos (5 km/h) para obtenção de linha de influência de deflexões no pavimento. Nesta etapa também foi possível observar que a resposta elétrica da célula de carga, para uma situação com confinamento, foi o dobro em comparação a uma situação sem confinamento.

Palavras-chave: pavimentação, instrumentação, tensões principais

Over time, the traffic harms the structure of pavements due to the flow of automobiles on the road. The most common damage types to the paving are those caused by accumulation of load over time, provoking the fatigue in cemented layers and the shear of granulate layers. In order to assist the analysis of stresses that result in such damage, this research proposes to define guidelines for the confection and calibration of load cells to perform instrumentation of highways. This tool allows know the real state of stresses in the pavement layers, allowing background to define the project's criteria from field observation. Therefore, the calibration of the load cell was carried out statically, situation that is very similar to that used in quasi-static tests (5 km/h) to obtain influence line of deflections on the pavement. On this stage was also observed that the electrical response of the load cell to a confinement situation was the double compared to a situation without confinement.

Keywords: paving, instrumentation, main stress

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, um dos principais problemas de infraestrutura encontra-se no meio rodoviário. Enfrenta-se a falta de sistemática de projeto que avalie a deformabilidade da estrutura do pavimento como principal causa de dano. Com isto, a durabilidade dos pavimentos rodoviários construídos está sendo abaixo do estipulado como tempo de vida de projeto [1, 2].

A aplicação de métodos racionais de projeto e o consequente conhecimento das reais tensões atuantes no pavimento talvez sejam formas de prever como acontecem esses danos à estrutura e promover maiores subsídios para um projeto bem sucedido [1, 2, 3, 4].

O conhecimento de tensões é possível utilizando-se instrumentação em campo. A instrumentação faz uso de sensores que servem para interpretar os efeitos dos carregamentos (veículos de carga) à estrutura do pavimento (tensões, deformações etc.). Poucos estudos utilizando instrumentação em pavimentos já foram realizados no Brasil [3, 5], mas nenhum deles com uso de células de carga.

Devido às células de carga serem instrumentos de fácil montagem [6], o presente trabalho teve como objetivo definir diretrizes para a confecção e calibração de células de carga, verificando o efeito da tensão confinante nestas, para o auxílio no monitoramento de tensões verticais em camadas de solo em pavimentos.

Através da utilização de células de carga, com suas respectivas curvas de calibração, tem-se assim uma ferramenta para o auxílio do estudo das tensões, trazendo melhorias para dimensionamentos de pavimentos futuros e prolongamento da sua vida útil.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. CONFECÇÃO DAS CÉLULAS DE CARGA

2.1.1. Materiais utilizados

Para construir a célula de carga foram utilizados tubos de aço com relação entre as dimensões da altura e do diâmetro previamente determinadas pelos autores, para minimizar os erros, sendo a altura o dobro do diâmetro. O tubo de aço utilizado na pesquisa (Figura 1) tem 0,15 m de altura e 0,075 m de diâmetro.



Figura 1: Tubo de aço utilizado para confeccionar a célula de carga

Foram fabricadas duas tampas para cada tubo, para que o mesmo não ficasse aberto, assim evitando a entrada de solo ou água que alteram as características do instrumento. Tais tampas foram feitas sob medida em uma tornearia com diâmetro igual ao do tubo e espessura de 0,0025 m.

Outro material utilizado para confecção das células de carga foram os *strain gages*, que funcionam através do princípio de variação de resistência de um fio, gerando um pulso elétrico à medida que sofre deformação longitudinal de acordo com a variação do material em que está aderido, neste caso o tubo de aço. Para essa pesquisa foram usados extensômetros com resistência nominal de 120 ohms com referência PA-06-201BA-120L, da Excel Sensores.

Os *strain gages* devem ser colados sobre a superfície do tubo de aço. Para a colagem foram usados diversos produtos químicos com finalidades diferentes, porém tendo o objetivo final de

limpar a superfície do aço para que a colagem ficasse conforme o esperado e não interferisse no resultado.

De acordo com o Excel Sensores [7], os produtos que devem ser utilizados para a limpeza da superfície e colagem dos extensômetros são, entre outros:

- Lixa normal e lixa d'água para regularizar a superfície de colagem;
- Álcool isopropílico para limpar a superfície da colagem após o lixamento;
- Condicionador para retirar as pequenas oxidações existentes, melhorando a colagem dos extensômetros;
- Neutralizador para reagir com o condicionador, neutralizando sua acidez;
- Fita adesiva para o auxílio da manipulação e o posicionamento dos *strain gages* na superfície;
- Almofada de borracha de silicone, para exercer pressão uniforme na superfície de colagem do extensômetro;
- Película de teflon para evitar a aderência de outros materiais durante o processo de cura;
- Adesivo epoxy, auxiliando também na cura;
- Resina de silicone que fornece proteção mecânica e resistência à umidade ao extensômetro;
- Cabos blindados de seis vias para a formação do circuito do sensor;
- "Conector de 15 pinos" para ligar o circuito da célula de carga ao Spider 8 (sistema de aquisição de dados utilizado no estudo);
- Solda que serviu para unir os fios dos terminais de cada *strain gage* aos fios da ponte de *wheatstone*, como também foi usada para fixar os fios no conector;
- A fita isolante serviu para que não houvesse contato entre fios de ligações diferentes e não houvesse falha na medição;
- A fita de alumínio de alta resistência serviu para recobrir toda a célula de carga após as ligações e para proteger contra entrada de solo e água, além de fornecer alguma proteção mecânica.

2.1.2. Colagem dos *strain gages*

Para a colagem utilizou-se o manual de extensometria [7]. Primeiramente a superfície foi lixada com a lixa número 320, depois foi lixada com a lixa número 180. Assim, a superfície ficou mais lisa e polida e melhor para ser trabalhada. Após essa etapa foram retirados com algodão e gaze os resíduos deixados pelo lixamento.

A segunda etapa é muito semelhante à primeira, porém utiliza-se o condicionador para lixar e tirar as oxidações da superfície. Por conta disso, essa etapa é denominada de lixamento úmido. Depois que não existiu mais líquido, foram retirados novamente os resíduos deixados.

Foi realizada a demarcação para centralização dos *strain gages* com linhas feitas a lápis, sendo feitas linhas horizontais e verticais, exatamente no meio do tubo. Para que isso fosse possível utilizou-se um esquadro graduado e uma régua flexível. Na Figura 2 são apresentadas as linhas de demarcação.

Depois foi aplicado o condicionador (quimicamente ácido) na superfície, utilizando um cotonete de três a quatro vezes, sendo essa aplicação do centro para as extremidades para que não ocorresse contaminação. Depois, o restante de condicionador foi removido com gaze do centro para as extremidades novamente até a superfície ficar seca. Após essa etapa, a superfície ficou com uma camada levemente ácida, sendo neutralizada na fase seguinte.

Esta etapa é muito semelhante a anterior, porém é utilizado o neutralizador (quimicamente básico) para que a superfície se tornasse neutra. Depois, o resto de neutralizador foi removido com gaze do centro para as extremidades até a superfície ficar seca.

Depois de todas as etapas anteriores, o *strain gage* foi retirado da embalagem com uma pinça e foi colocado em uma superfície limpa. Assim, utilizou-se a fita adesiva FK-1 para aderir ao extensômetro. A fita e o extensômetro foram colocados na superfície do tubo, sem o auxílio de cola.

A fita, juntamente com o extensômetro, foi posicionada no tubo, conforme as linhas de demarcação, para que o extensômetro ficasse alinhado.

Depois de fixado no tubo, foi levantado um lado da fita adesiva juntamente com o *strain gage* para que fosse aplicado um adesivo com pincel. Depois de aplicado, foi colocada uma película de teflon com o dedo para fixar o extensômetro ao tubo.



Figura 2: Superfície lixada; Centralização para fixação do *strain gage*; Aplicação do condicionador e neutralizador; Colagem dos extensômetros

Para que os extensômetros se fixassem à superfície, a aplicação do adesivo de colagem foi seguida de um tempo de cura, a uma determinada temperatura entre 100 e 175 °C e uma pressão entre 98 a 490 kPa, aproximadamente. Para isso utilizou-se a estufa do laboratório de geotecnia e pavimentação da UFS, onde foi colocada uma presilha envolvendo os extensômetros para facilitar a colagem (Figura 3).



Figura 3: Célula de carga dentro da estufa para cura do adesivo de colagem

2.1.3. Ligações

Após a colagem, os *strain gages* foram ligados entre si por uma ponte de *wheatstone* completa, sendo cada nó da ponte ligado ao conector, e dois nós ligados em ponte. Cada fio foi ligado ao conector para que a célula pudesse se conectar ao Spider 8 (Figura 4).

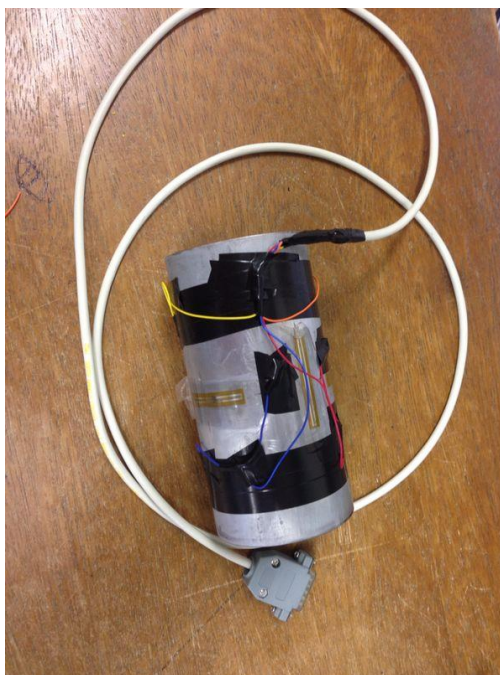


Figura 4: Célula de carga com todas as ligações prontas

2.2. SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

O sistema de aquisição de dados utilizado na pesquisa foi o Spider 8, em conjunto com o *software* Catman 4.5.

2.2.1. HBM Spider 8

Esse foi o sistema de aquisição de dados (*data logger*) utilizado na pesquisa. Segundo Alves (2007) [6], esse é um sistema eletrônico que faz medidas através de sinais elétricos de variáveis mecânicas como força, resistência e pressão. Os dados obtidos pelo sistema são armazenados em um banco de dados no computador.

É caracterizado como um sistema multicanal digital universal. Além disso, é simples e prático de usar, tendo uma rápida capacidade de leitura, contendo oito canais de entrada.

Conforme Alves (2007) [6], o HBM Spider 8 tem algumas características peculiares, tais como: registro em tempo real dos valores medidos em todos os canais; elevada taxa de amostragem a uma resolução de 16 bits; filtros digitais selecionáveis; completa cadeia calibrada de medição; facilidade para operar e configurar.

De acordo com HBM (2001) [8], esse sistema de aquisição pode se conectar a vários tipos de transdutores com princípios de funcionamento diferentes, tais como:

- Medidor de Frequência / Contador de Pulsos;
- *Strain gage* em ponte completa;
- *Strain gage* em 1/4 ponte;
- *Strain gage* em 1/2 ponte;
- *Strain gage* usando conexão de três fios;
- Transdutores Indutivos em ponte completa;
- Transdutores Indutivos em meia ponte;
- Resistências;
- Termopares;
- Potenciômetro;
- Corrente de fontes de energia DC;
- Tensão de fontes de energia DC.

A Figura 5 apresenta como todos esses transdutores podem ser ligados ao sistema de aquisição de dados, como também mostra as portas de ligação com o computador (RS-232C ou PC printer port) e porta para ligação com outros HBM Spider 8.

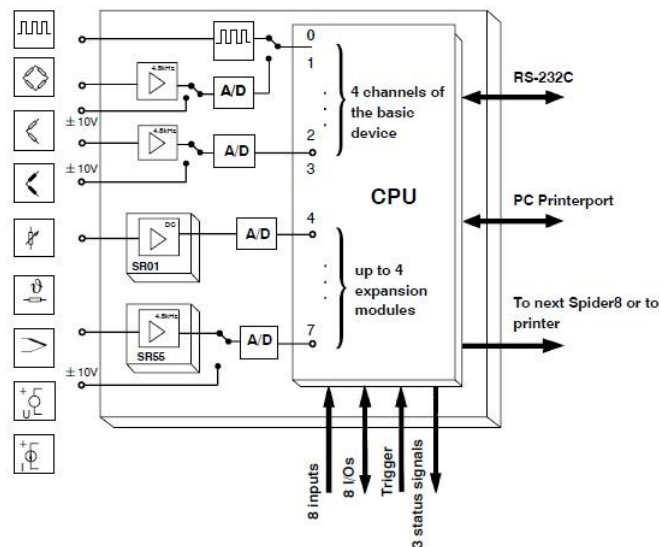


Figura 5: Estrutura de ligações do HBM Spider 8. (Fonte: HBM, 2001[4])

2.2.2. Software Catman

Esse foi o *software* utilizado como interface para sistema de aquisição do HBM Spider 8. Com esse *software* pode-se captar e visualizar dados em tempo real através dos dados obtidos no Spider 8.

Importante é a possibilidade de salvar as configurações estabelecidas em um arquivo e armazenar no computador para que possam ser utilizadas no futuro.

Após a aquisição dos dados pode-se fazer gráficos, como também os dados podem ser exportados para outros *softwares*. Por exemplo, tabelas geradas no Catman, podem ser transferidas para a plataforma do Excel®.

A porta de entrada no HBM Spider 8, para a célula de carga utilizada na pesquisa, foi a entrada 0 (zero) em ponte completa. Já a preparação inicial do *software*, refere-se à escolha do tipo de transdutor que será utilizado. Nessa pesquisa foi escolhido o “Strain Gages full bridge 120 Ohms”, com escala para contagem em “mV/V”.

2.3. CALIBRAÇÃO DAS CÉLULAS DE CARGA SEM CONFINAMENTO

Utilizou-se uma prensa MTS servo-hidráulica estática, com capacidade de 200 kN, para aplicar uma carga conhecida sobre a célula de carga (Figura 6), e, através do *software* Catman, verificou-se o sinal elétrico registrado. Com base nessa comparação, pôde-se validar a célula de carga, como também obter uma calibração inicial. Nessa calibração somente a tensão principal vertical estava atuando na célula, ou seja, a tensão confinante (existente em pavimentos) não foi levada em consideração.

Esse tipo de teste serviu para verificar se a célula de carga estava funcionando de maneira adequada, ou seja, verificou-se se o gráfico de [(mV/V) x Tensão] variou de forma crescente. Com a aplicação de carga através da prensa, o tubo de aço deveria deformar e isso foi observado em tempo real através do *software* Catman.

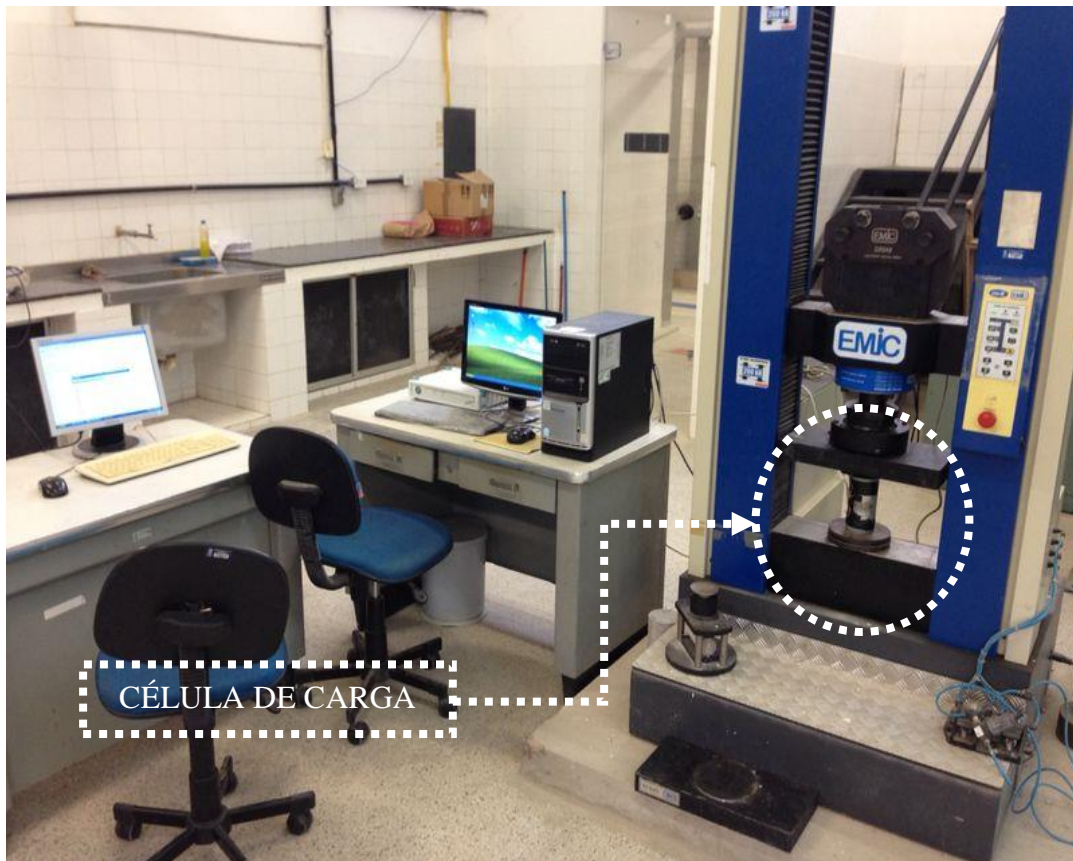


Figura 6: Prensa utilizada na calibração da célula de carga sem a tensão confinante

2.4. CALIBRAÇÃO DA CÉLULA DE CARGA COM CONFINAMENTO

A calibração da célula de carga com confinamento foi feita utilizando-se um caixote de aço preenchido totalmente com uma mistura de argila, areia e brita compondo uma mistura com 300 MPa de módulo de resiliência (MR) para simular uma camada de solo no pavimento, sendo uma espessura de 0,02 m acima e 0,02 m abaixo da célula de carga (Figura 7). Este valor de módulo de resiliência é sugerido por Bernucci *et al.* (2006) [2] para solos com características semelhantes ao utilizado. Caso fosse realizado um ensaio triaxial de cargas repetidas para a obtenção do MR dependente do estado de tensões para esta mistura de solo, certamente a acurácia desta análise poderia ser ainda maior. Contudo, o objetivo de propor a calibração da célula de carga com o efeito da tensão confinante foi de verificar se a mesma influência nos valores de pulso elétrico registrados.



Figura 7: Posicionamento da célula de carga dentro da caixa de aço

O solo, depois de compactado, utilizando-se uma mesa vibratória com a célula de carga em seu interior, recebeu a aplicação de cargas variadas na mesma prensa (Figura 8) para que o *software* Catman obtivesse os dados. Assim a calibração pôde ser feita a partir das cargas aplicadas conhecidas e dos dados obtidos pelo *software*.

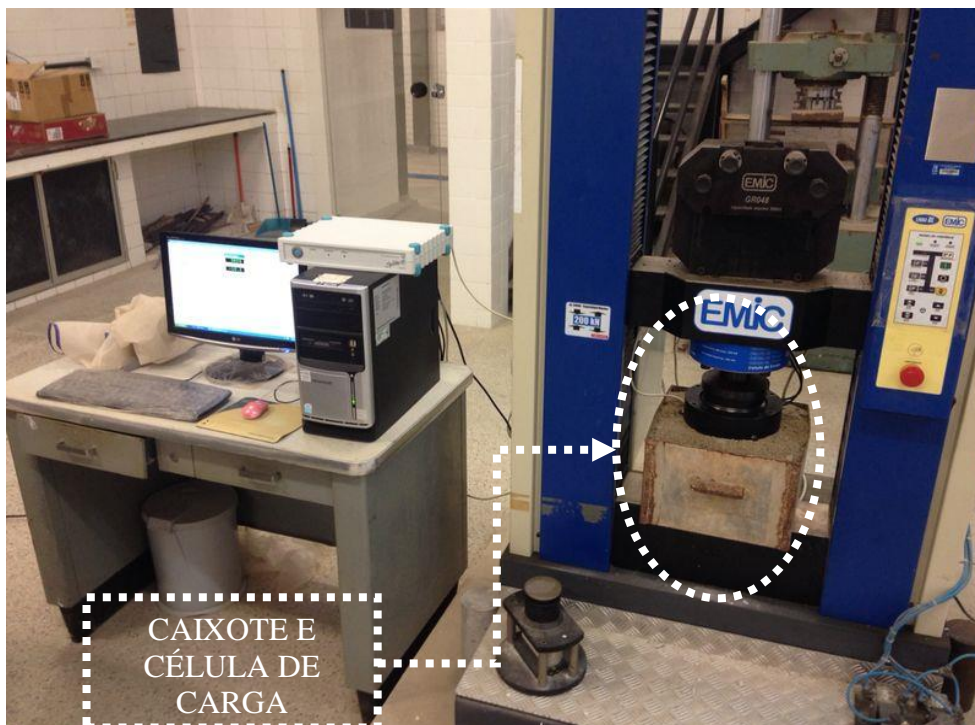


Figura 8: Calibração da célula de carga com a tensão confinante

Com o *software* obteve-se um gráfico de $[(mV/V) \times \text{Tensão}]$. Porém, essa não era a tensão vertical real, necessitando do *software* EverStress 5.0 para fazer essa análise, pois a tensão aplicada pela prensa dissipou-se na coluna de solo.

2.4.1. EverStress 5.0 do EverSeries

Este *software* de camadas finitas foi desenvolvido pelo *Washington State Departamento of Transportation* (WSDOT), sendo um dos *softwares* do pacote da EverSeries©. A partir dele foi feito o cálculo da tensão vertical atuante sobre a célula de carga e a tensão horizontal (confinante). É um programa de domínio público e é limitado a sistemas operacionais de 32 bits.

Ele é utilizado para estimar tensões, deformações e deslocamentos a partir de dados de entrada como módulo de resiliência, coeficientes de Poisson e a espessura das camadas de cada tipo de solo, como também as condições da carga aplicada. Nele pode-se processar até cinco camadas em diferentes profundidades e possibilita também avaliação de oito cargas diferentes, avaliando resultados em até 40 pontos e aplicando análises não lineares em camadas granulares.

Todos os resultados foram apresentados em forma gráfica para facilitar a comparação da célula de carga sob efeito da tensão confinante e sem confinamento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos procedimentos de calibração confirmou-se que, com o aumento da carga conhecida aplicada com a prensa, é gerada uma variação crescente de pulso elétrico sobre o circuito da célula de carga (mV/V).

Na Tabela 1 observam-se os resultados de pulso elétrico, referente à calibração da célula de carga, na prensa sem a tensão confinante, sendo registrada apenas a tensão principal vertical.

Tabela 1: Calibração da célula de carga sem tensão confinante

Tensão Vertical (kPa)	Tensão Vertical x Pulso Elétrico
	Pulso Elétrico (mV/V)
0	0
3242,85	0,00012
8294,21	0,00036
13969,20	0,00048
21951,61	0,00072
31680,16	0,00096
43279,59	0,00120
56126,27	0,00156
69846,03	0,00180
84189,41	0,00204
99405,87	0,00228
114747,05	0,00264

Na calibração da célula de carga utilizando tensão confinante foi necessário o cálculo de tensão horizontal média atuante na mesma. Para tanto, foram utilizadas as tensões calculadas por intermédio do *software* EverStress no topo e na base da lateral e na posição central do dispositivo, utilizando-se para tanto a média desses valores. A tensão vertical foi calculada apenas para o topo da célula de carga. O resumo dos dados obtidos encontra-se nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2: Calibração da célula de carga para tensão vertical com confinamento

Tensão Vertical (kPa)	Tensão Vertical x Pulso Elétrico	
	Pulso Elétrico (mV/V)	
0,00	0	
329,00	0,00012	
426,00	0,00012	
657,00	0,00024	
898,00	0,00036	
1175,00	0,00048	
1346,00	0,00048	
1397,00	0,00060	
1619,00	0,00072	
1806,00	0,00072	
1935,00	0,00084	

Tabela 3: Tensão confinante atuante na célula de carga

Tensão Horizontal (kPa)	Tensão Horizontal x Pulso Elétrico	
	Pulso Elétrico (mV/V)	
0,00	0	
52,00	0,00012	
67,00	0,00012	
104,00	0,00024	
142,00	0,00036	
186,00	0,00048	
213,00	0,00048	
221,00	0,00060	
256,00	0,00072	
286,00	0,00072	
306,00	0,00084	

Verifica-se então que ocorreu uma variação de pulso elétrico conforme a tensão foi aumentando, conforme esperado. Todos os valores de pulso elétrico, tensão vertical e tensão horizontal nas Tabelas 1 e 2 estão agindo à compressão.

Pode-se observar nas Tabelas 2 e 3 que o acréscimo de tensão muitas vezes não alterava o pulso elétrico registrado. Isto se deve à baixa sensibilidade da célula de carga para pequenas variações de tensão quando existiam tensões confinantes atuantes.

Comparando-se os resultados das Tabelas 1, 2 e 3, pôde-se observar que, para uma mesma tensão vertical atuando sobre a célula, houve o dobro de pulso elétrico registrado quando existiu uma tensão horizontal. Isso acontece porque essa tensão horizontal influenciou sobre a deformação da célula de carga. Na Figura 9 pode-se observar um gráfico comparativo da calibração da célula de carga com e sem tensão confinante.

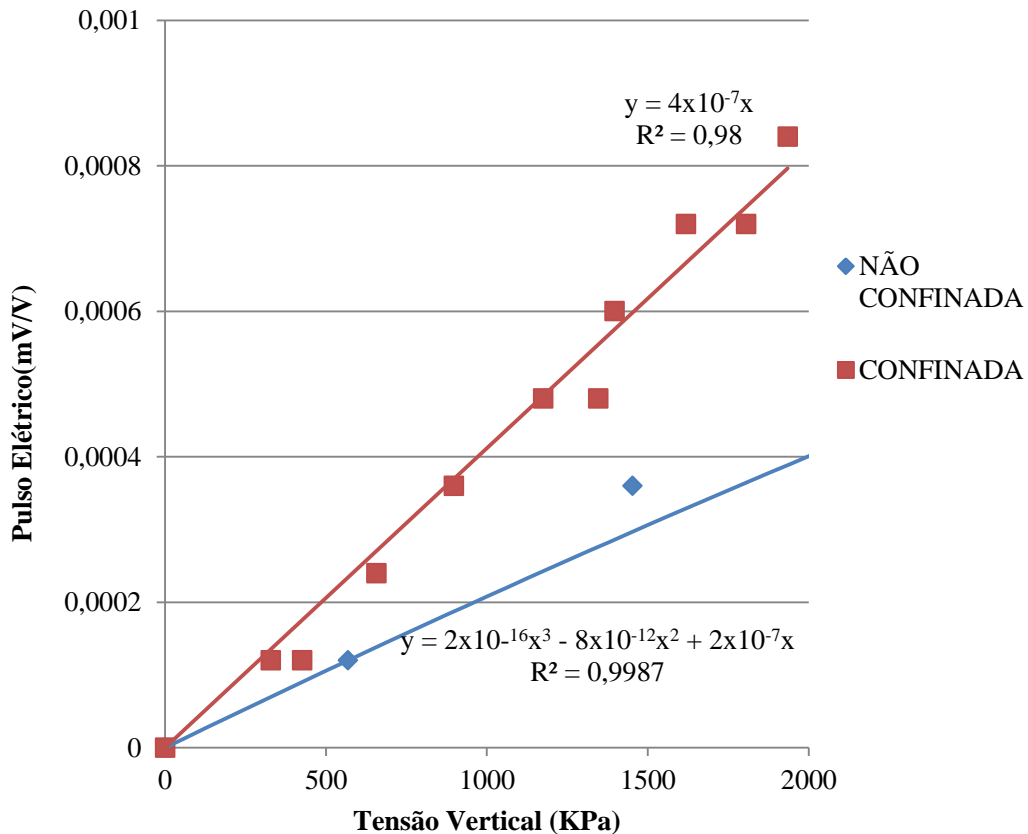


Figura 9: Gráfico comparativo entre os valores de pulso elétrico para o estado de tensão confinado e não confinado

Assim a calibração resultante da célula de carga em solo confinado com 300 MPa de módulo de resiliência gerou a variação de tensão horizontal apresentada na Figura 10. A partir do pulso elétrico, é possível também inferir a tensão confinante aproximada do sistema quando instalada em solos.

Especificamente para este estado de tensão e para a configuração da câmara de confinamento, as tensões horizontais registradas são todas de compressão. Possíveis tensões de tração para outras configurações estruturais não seriam importantes para análises de camadas de solos, mas importantes em camadas cimentadas, devendo-se prever esta situação na necessidade de analisar este tipo de material.

Devido à grande variedade de solos que podem ser utilizados em pavimentação, exigir-se-ia uma grande quantidade de calibrações, pois existiriam diversos estados de tensão. Talvez um dispositivo que isole a superfície lateral da célula contra o efeito do confinamento seja uma alternativa.

Ressalta-se, ainda, que a opção da calibração da célula de carga de forma estática foi devido à semelhança do carregamento previsto para ensaio de campo, com veículo na velocidade de 5 km/h (quase-estático). Esta mesma velocidade é utilizada na obtenção de linha de influência de deflexões em pavimentos [9], que, posteriormente, serve para retroanálises de módulos de resiliência de suas camadas. Cabe ressaltar ainda que os cálculos de tensões, deformações e deslocamentos em pavimentos são realizados considerando-se carregamentos estáticos (princípio da Teoria da Elasticidade) [1].

Portanto, a célula de carga calibrada estaticamente (caso deste estudo) não é apropriada para medições de tensões em pavimentos para veículos trafegando em velocidades elevadas.

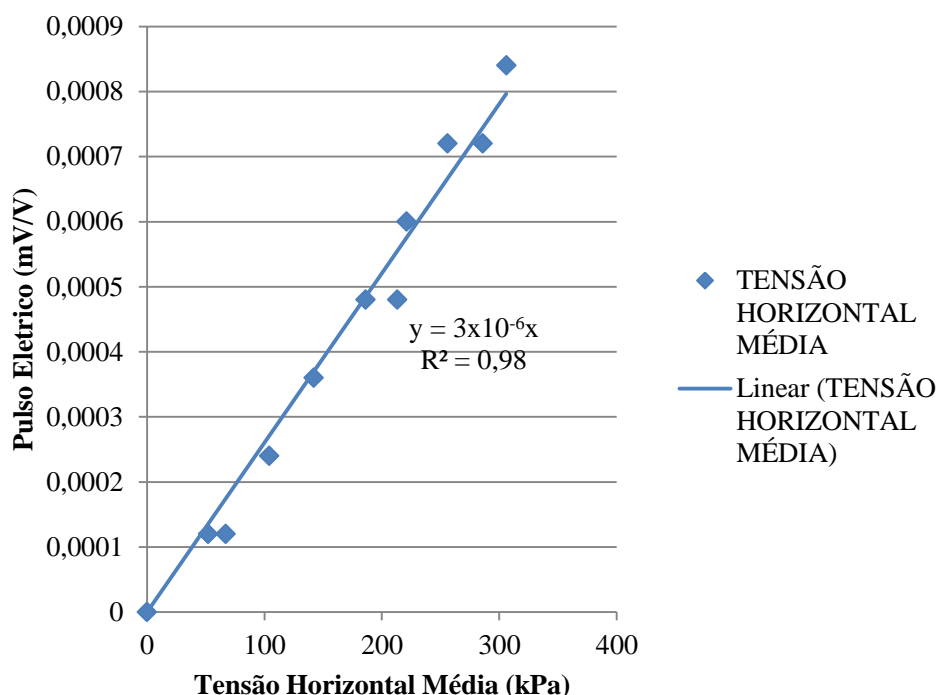


Figura 10: Curva de calibração de tensão horizontal para a célula de carga confinada em solo com MR de 300 MPa

4. CONCLUSÃO

Como analisado e verificado na pesquisa, a célula confeccionada é eficiente para a obtenção de tensões verticais sobre camadas de solo em pavimentos em seções teste, desde que a carga seja aplicada de forma quase-estática (veículo em velocidade de 5 km/h), aproximando-se à situação da calibração realizada.

Verificou-se que com um aumento na tensão vertical sobre a célula de carga, houve um aumento no pulso elétrico registrado pelo sistema de aquisição de dados, conforme esperado.

Nesta pesquisa, a comparação dos resultados das tensões verticais sobre efeito de confinamento e não confinamento foram relevantes nas magnitudes dos sinais elétricos registrados na célula de carga. Com a tensão confinante atuando sobre a célula de carga, houve o dobro de pulso elétrico para uma mesma tensão vertical, quando comparando ao teste em que não houve tensão confinante atuando. Com isso, observa-se a importância da tensão confinante para a calibração e uso da célula de carga. Isto permite afirmar que, devido à grande variabilidade de solos existentes, seria necessária a calibração para cada solo que se tenha interesse em estudar. A adição de um dispositivo envolvendo a lateral da célula de carga, eliminando o efeito da tensão confinante, constitui-se na situação considerada ideal para o processo de instrumentação em solo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Medina J, Motta LMG. Mecânica dos Pavimentos. 2. ed. Rio de Janeiro: Ed. UFRJ; 2005. 570 p.
2. Bernucci LB, Motta LMG, Ceratti, JAP, Soares, JB. Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS; 2006. 504 p.
3. Gonçalves FP. Estudo do Desempenho de Pavimentos Flexíveis a partir de Instrumentação e Ensaios Acelerados [Tese de Doutorado em Engenharia Civil]. Porto Alegre (RS): Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2002. 467 p.
4. Gonçalves FP, Ceratti JAP, Rodrigues RM, Neto LS. Estudo Experimental do Desempenho de pavimentos Flexíveis em Concreto Asfáltico: Construção e Instrumentação de Seções-teste. In: 32ª

- Reunião Anual de Pavimentação; Novembro de 2000; Brasília, DF. Rio de Janeiro: ABPv; 2000. p. 1-12.
5. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Projeto de Instrumentação para Medição de Deformação do Pavimento. Rio de Janeiro: DNIT; 2008. 62 p.
 6. Alves LP. Automação de Dados de Medidores de Deslocamento e Aceleração. [Monografia de Graduação em Engenharia de Controle e Automação]. Ouro Preto (MG): Universidade Federal de Ouro Preto; 2007. 57 p.
 7. Excel Sensores. Manual de colagem de extensômetro. São Paulo. 2p.
 8. Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM). Operating Manual for HBM Spider 8. Darmstadt (Alemanha): HBM; 2001. 132 p.
 9. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). DNIT 133/2010-ME: Pavimentação asfáltica – Delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da Viga Benkelman – Método de ensaio. Rio de Janeiro: DNIT; 2010. 8 p.