

**CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE
TRANSPORTES (CONINFRA 2009 - TRANSPORTATION
INFRASTRUCTURE CONFERENCE)**

29 A 31 DE JULHO DE 2009 (July 29th to 31th 2009)

São Paulo - Brasil

**METODOLOGIA PARA TESTES MECÂNICOS E TÉRMICOS EM PLACAS
DE PAVIMENTO DE CONCRETO (METHODOLOGY FOR MECHANICAL
AND THERMAL TESTS OF PLATES IN SURFACE OF CONCRETE)**



FÁBIO RAIA¹



**MIGUEL
MATTAR NETO²**

¹Universidade Presbiteriana Mackenzie, Rua da Consolação 930, CEP 1302-907, São Paulo, Brasil, raia@mackenzie.com.br.

²Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Av. Lineu Prestes 2242 - Cidade Universitária - CEP: 05508-000 - São Paulo - SP Brasil, mmattar@usp.br

RESUMO

Considerando-se a importância dos transportes na sociedade atual como elemento principal no desenvolvimento econômico e social, a abordagem de novos métodos experimentais na área de pavimentação, especificamente os testes mecânicos e térmicos, é bastante relevante. Sendo assim, é proposta uma metodologia para testes a serem realizados em laboratório que permitam acelerar ou retardar eventos climáticos e mecânicos ou a combinação de ambos, visando aplicação direta dos resultados em pistas experimentais ou pavimentos reais considerando ainda, que essa busca, venha trazer economia, no que tange ao projeto e execução do pavimento. Essa metodologia fundamenta-se na hipótese de que uma placa de pavimento em tamanho real possa ser representada por um modelo em escala e que, os resultados obtidos, possam ser utilizados em projetos de dimensionamento de pavimentos de concreto de cimento Portland (CCP). Nesse trabalho descreve-se a metodologia experimental proposta. Ela consiste em experimentos realizados em laboratório, em uma placa de CCP assentada sobre uma base de concreto compactado a rolo (CCR) e este, por sua vez, sobre um subleito artificial. Os carregamentos térmicos são impostos à placa por meio de mecanismos de aquecimento que permitem a geração de diferenciais térmicos positivos ou negativos. A ação mecânica, para testes combinados sobre a placa, consegue-se com a atuação de equipamento hidráulico adequado. Todas as ações são registradas em um sistema automático de coleta de dados que permite avaliar as respostas estruturais da placa aos carregamentos impostos. Os dados coletados podem ser confrontados com resultados analíticos ou experimentais para pavimentos reais indicando a aplicabilidade da metodologia.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimento, tensões térmicas, sensores, metodologia

03-047

CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (CONINFRA 2009 -
TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONFERENCE) - ISSN 1983-3903

29 A 31 DE JULHO DE 2009 (July 29th to 31th 2009)

**CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE
TRANSPORTES (CONINFRA 2009 - TRANSPORTATION
INFRASTRUCTURE CONFERENCE)**

29 A 31 DE JULHO DE 2009 (July 29th to 31th 2009)

São Paulo - Brasil

ABSTRACT

Considering the importance of transports in society today as the principal element in economic and social developments, the approach of new experimental methods in the area of pavement, especially mechanical and thermal testing, is very relevant. Thus, it is proposed a methodology for testing to be performed in the laboratory to accelerate or retard mechanical and climatic events or combination of both, to direct application of results in experimental roads or real pavements considering also that this search, will bring economic, concerned to the design and implementation of the pavement. This methodology is based on the hypothesis that a slab of pavement in real size can be represented by a model in scale and that the results can be used in projects to design of pavements of Portland cement concrete (PCC). This work describes the experimental methodology proposed. It consists of experiments in the laboratory, in a slab based on a CPC basis of the roller compacted concrete (RCC) and that, on a artificial subgrade. The thermal loads are imposed on the slab by means of the heating mechanisms that allow the generation of positive or negative thermal differential. The mechanical action for tests combined on the slab can be gotten by an appropriate performance of a suitable hydraulic equipment. All actions are recorded in an automated system for collecting data to valuate the response of the slab to the structural loads imposed. The collected data can be compared with experimental or analytical results to actual pavement indicating the applicability of the methodology.

KEY WORDS: *Pavement, thermal stress, sensors, methodology*

03-047

CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (CONINFRA 2009 -
TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONFERENCE) - ISSN 1983-3903

29 A 31 DE JULHO DE 2009 (July 29th to 31th 2009)

CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (*CONINFRA 2009 - TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONFERENCE*)

29 A 31 DE JULHO DE 2009 (*July 29th to 31th 2009*)

São Paulo - Brasil

INTRODUÇÃO

O estudo do pavimento, como estrutura, exibe uma característica interdisciplinar complexa, ao ponto de abrigar, ao seu redor, vários campos da Ciência. Essa abrangência inclui conhecimentos técnicos, humanos, sociais e econômicos. Indo mais além, o pavimento pode ser considerado como uma passagem para o desenvolvimento e o progresso, interligando não só fronteiras geográficas regionais como internacionais promovendo acesso ao comércio e, de forma mais ampla, à cultura.

O estado atual do projeto de pavimentos conta com uma história rica de métodos analíticos e empíricos desenvolvidos desde a década de vinte até a simulação numérica, contando com recursos computacionais dos anos noventa. Não significando, contudo, que todas as dúvidas tenham sido sanadas e que o assunto tenha chegado a uma solução final. Por outro lado, a mensuração dos fenômenos físicos, através dos processos experimentais, é a maneira mais indicada para estudar o comportamento do pavimento frente às solicitações às quais ele estará sujeito durante a sua vida. Para tanto, realiza-se a instrumentação da estrutura com sensores adequados para capturar tais fenômenos. A instrumentação em pavimentos de concreto de cimento Portland vem sendo realizada desde antes dos primeiros testes controlados na pista experimental da *American Association Of State Highway Officials* (AASHO Road Test) em Ottawa, EUA na década de cinquenta. (AASHO, 1962). Após os experimentos da AASHO, outros foram realizados no sentido de atender novas proposições e hipóteses (BALBO, 2007), (MEDINA 1997). Loulizi et al. (2006) comentam que instrumentação em pavimentos mostra-se uma importante ferramenta para monitorar o desempenho do pavimento sob diferentes condições ambientais e cargas de tráfego.

Com relação ao Brasil, segundo Silva (2001), a experiência em instrumentação é pequena e conta com alguns experimentos realizados a partir de 1979. Especificamente, em São Paulo, os trabalhos mais significativos foram realizados na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, com os trabalhos de Rodolfo (2001) e Pereira (2001).

A literatura tem mostrado que o dimensionamento do pavimento vem acompanhado de experiência feita no campo ou em pavimentos (vias ou estradas) reais instrumentados. De acordo com o trabalho de Severi (2002), a temperatura atuante sobre o pavimento provoca distorções dimensionais, alterando as características funcionais do pavimento podendo levá-lo a falha estrutural. O método de dimensionamento apregoado pelo DNIT (Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes) não leva em consideração o efeito da temperatura (BALBO, 2002). Ao passo que, a nova versão da AASHTO de 1998, considera o efeito da temperatura no projeto do pavimento (SEVERI, 2002).

O comportamento do pavimento, com relação ao carregamento térmico, aliado ao carregamento estático, poderá servir, com seus dados para os estudos da falha do pavimento sob as circunstâncias impostas. Esse aspecto é investigado por Mahboub et al. (2004), que mostraram a necessidade de acrescentar conhecimento sobre o comportamento da placa sob carregamento térmico e aqueles induzidos pela carga rodoviária. Sendo assim, no sentido de acrescentar conhecimento e contribuir com maiores informações sobre o comportamento da placa, colocando-a em um estado quiescente, isolada de interferências de fatores externos, para obtenção de dados “limpos” de tensões, deformações e temperatura, com controle absoluto sobre as condições de testes que venham a se adequar às diversas situações e condições utilizadas na construção de pavimentos, bem como,

03-047

CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (CONINFRA 2009 - TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONFERENCE) - ISSN 1983-3903

29 A 31 DE JULHO DE 2009 (*July 29th to 31th 2009*)

CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (*CONINFRA 2009 - TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONFERENCE*)

29 A 31 DE JULHO DE 2009 (*July 29th to 31th 2009*)

São Paulo - Brasil

indiretamente, apresentar uma metodologia para testes acelerados em laboratório e em placas de concreto com alternância do estado térmico, justifica-se a elaboração do presente trabalho baseado no desenvolvimento de uma metodologia para realização de testes térmicos e mecânicos sobre um elemento de pavimento construído em laboratório.

OBJETIVO

Relativo aos fatos acima expostos, o trabalho aqui proposto visa desenvolver uma metodologia para ensaios em placas de concreto de cimento Portland com a intenção de que ela venha a contribuir nos estudos das deformações e tensões atuantes.

A hipótese é que, ao invés de instrumentar um pavimento em escala real para a retirada de dados, pode-se realizar o mesmo procedimento em laboratório, onde com controle de algumas variáveis e possibilidade de repetição de testes, se possam fornecer e fortalecer respostas adequadas para o projeto de um pavimento, quando sujeito às mesmas circunstâncias.

Essa metodologia, sob o aspecto ambiental, mostra-se como uma alternativa e um complemento das pistas experimentais. Sob o aspecto econômico, o experimento pode trazer vantagens em relação às pistas experimentais reais com relação ao custo de projeto, execução, duração dos experimentos e manutenção. Sob o prisma da engenharia, destaca-se que a facilidade para a manipulação dos diversos parâmetros pode conduzir a resultados experimentais tão significativos quanto aqueles realizados em pavimentos de CCP reais.

METODOLOGIA

Para a obtenção dos dados de temperatura e deformação, foi construída uma placa de CCP, que foi instrumentada e assentada sobre uma base e um subleito formando um elemento de um pavimento real. O pavimento foi construído no interior do laboratório de ensaios mecânicos da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie e está localizado entre outros dois existentes, e por causa dessa posição, as condições ambientais tais como umidade e temperatura se mantêm com pouca variação em relação ao ambiente externo. Esse local impôs resistência às intempéries naturais, permitindo assim dar suporte aos processos experimentais e controles impostos na placa do pavimento. Esse procedimento foi necessário para possibilitar a realização de simulações contínuas e repetidas onde, as variáveis externas, temperatura e umidade, tivessem pouca influência nas operações de aquecimento da placa.

A execução do pavimento estrutura seguiu os procedimentos normais para dimensionamento desse tipo de estrutura. Ou seja, ela construída com três camadas: subleito, base (sub-base) e a placa. Onde, O subleito foi composto de poliuretano com espessura de 150,00 mm, com uma capacidade de suporte de 50,0 MPa/m. Sendo que as dimensões do pavimento ficaram limitadas ao espaço disponível para a construção. A escala de redução foi distorcida em relação a um pavimento real que possui, dependendo do terreno e da utilização, 7,0 m de comprimento, 3,8 m de largura e 0,4 m de espessura entre placa e base (PITTA, 2000). O pavimento ocupou uma área de 5,7 m² com 3,0 m de comprimento, 1,78 m de largura e 0,4 m de espessura.

03-047

CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (CONINFRA 2009 - TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONFERENCE) - ISSN 1983-3903

29 A 31 DE JULHO DE 2009 (*July 29th to 31th 2009*)

CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (CONINFRA 2009 - TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONFERENCE)

29 A 31 DE JULHO DE 2009 (July 29th to 31th 2009)

São Paulo - Brasil

A fotografia 1(a) mostra o molde do pavimento com a placa de poliuretano já ajustada. A base foi composta de concreto de cimento Portland compactado a rolo, atingindo, depois de pronta, a espessura de 100,0 mm, resistência de 6,0 MPa aos 28 dias e, no momento da concretagem, apresentou abatimento próximo de zero. A compactação foi realizada manualmente com um rolo de aço desenvolvido para essa finalidade. A fotografia 1(b) mostra a base concluída e, em detalhe, o rolo compactador (observa-se no centro do molde um espaço onde foi colocado uma célula de carga que teve a função de indicar a flexão convexa da placa durante os procedimentos de aquecimento).



Fotografia 1. (a). Aspecto do molde da placa já com a placa de poliuretano colocado e um termômetro no centro da placa para leitura da temperatura no subleito (TE14 ou TFUN). (b) Colocação da base sobre o subleito. No centro foi colocado um tubo de 120,0 mm de diâmetro para moldar o poço onde foi colocado a célula de carga.

Fonte: Acervo Próprio (2006).

A placa, não aderida à base, foi construída de concreto de cimento Portland, com a espessura de 150,0 mm e resistência de 30,0 MPa aos 28 dias, ela foi feita com cimento de classe CP-II-32 com adição de plastificante. A massa não foi vibrada para não deslocar os sensores.

O conjunto, composto por três camadas sobrepostas formou uma estrutura não monolítica, tendo como destaque o fato da placa e base não estarem aderidas.

O pavimento foi construído sobre uma laje de reação e sob uma máquina de ensaios de tração/compressão instrumentada com uma célula de carga com capacidade de até 1,5 MN. A estrutura foi construída em um molde deslizante de madeira, que serviu como isolante térmico durante os testes de aquecimento. A fotografia 2 mostra o aspecto da estrutura.



Fotografia 2. Aspecto da placa já terminada após 28 dias, tendo sob ela a laje de reação e sobre ela uma máquina hidráulica para testes de carregamento estático.

Fonte: Acervo Próprio (2008).

03-047

CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (CONINFRA 2009 - TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONFERENCE)

29 A 31 DE JULHO DE 2009 (July 29th to 31th 2009)

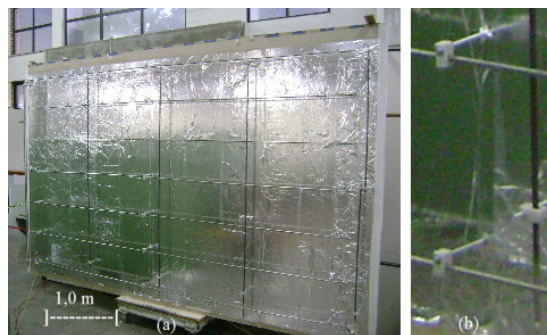
São Paulo - Brasil

Os sensores de temperatura e de deformação foram sepultados no momento da concretagem da placa. O embutimento dos sensores foi executado segundo os trabalhos realizados por Sargand e Khory (1999).

Os sensores de deformação foram construídos com *strain gages*, (também conhecidos como extensômetros elétricos de resistência – EER) foram colados em substrato de fibra de vidro, formando uma célula de carga chamada de célula de deformação ou de embutimento (CE). Essa extensometria de embutimento segue as mesmas considerações e técnicas utilizadas na extensometria de superfície.

A compensação térmica das CE foi realizada por meio de células sem função mecânica (*dummy*), também inserida dentro da placa. O condicionamento dos sinais foi realizado através do sistema da empresa Lynx Tecnologia modelo ADS 500. A geração dos diferenciais térmicos foi conseguida através da construção de um aquecedor feito em uma plataforma de madeira e placas de *drywall* (placas de gesso acartonadas) onde resistências tubulares foram fixadas. O intervalo de potência conseguida por esse “aquecedor” foi de 0,0 kW a 6,0 kW que, pode fornecer uma potência incidente de até 1100,0 W/m². Esse valor é bem coerente com aquele preconizado por Bezerra (1978 p.125), que cita o valor da contribuição solar de 1000,0 W/m² em países tropicais no verão. Para a cidade de São Paulo, no mesmo local da realização do presente trabalho, dados colhidos pela estação e coleta de dados meteorológicos da Universidade Presbiteriana Mackenzie* indicaram valores máximos de até 1000,0 W/m², durante o período em que foram realizados os testes de temperatura. A fotografia 3 mostra a plataforma revestida com papel alumínio, as resistências e o método de fixação.

Para a geração dos diferenciais térmicos, negativos ou positivos, foi construído uma espécie de trocador de calor no fundo da placa, com tubos tipo conduíte (P.V. C) que foram colocados no sentido longitudinal da placa. O desenho 1 mostra, esquematicamente, o sistema de aquecimento do fundo da placa. Com esses dois sistemas, a plataforma de aquecimento e o trocador de calor, foram possíveis a geração de múltiplos diferenciais térmicos entre o topo e o fundo da placa.



Fotografia 3. (a) Plataforma de aquecimento revestida com lâmina de alumínio; (b) detalhe dos isoladores cerâmicos utilizados na montagem dos elementos resistivos (resistências) na plataforma.

Fonte: Acervo próprio (2007).

03-047

CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (CONINFRA 2009 - TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONFERENCE) - ISSN 1983-3903

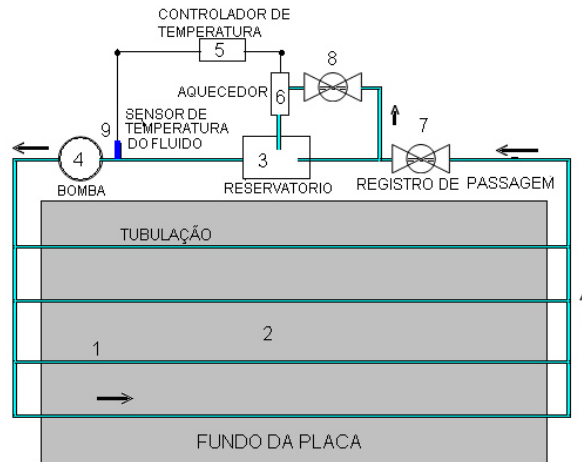
29 A 31 DE JULHO DE 2009 (July 29th to 31th 2009)

CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (CONINFRA 2009 - TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONFERENCE)

29 A 31 DE JULHO DE 2009 (July 29th to 31th 2009)

São Paulo - Brasil

O controle do aquecimento superficial da placa de concreto foi realizado por meio da atuação manual sobre um variac, que teve a função de variar a tensão elétrica sobre as resistências, possibilitando gerar curvas de aquecimento semelhantes às condições impostas pela natureza.



Desenho 1. Vista em planta do sistema de resfriamento/aquecimento no fundo da placa de CCP. (1) tubos “conduítes”, (2) fundo da placa, (3) reservatório, (4) bomba hidráulica, (5) controlador de temperatura, (6) aquecedor, (7) e (8) válvulas e (9) sensor de temperatura.

Fonte: Acervo próprio (2008).

Determinação dos diferenciais de temperatura

As taxas de aquecimento (curvas de aquecimento) utilizadas foram obtidas através da análise de trabalhos científicos, cujos estudos foram realizados em pistas experimentais e em pistas comuns. Trabalhos tais como de Severi (2002) e Poblete et al. (1988) possibilitaram a geração de dados que, através de um processo de regressão, pode-se levantar curvas de aquecimento e planejar as taxas de aquecimento.

INSTRUMENTAÇÃO DA PLACA DE CONCRETO

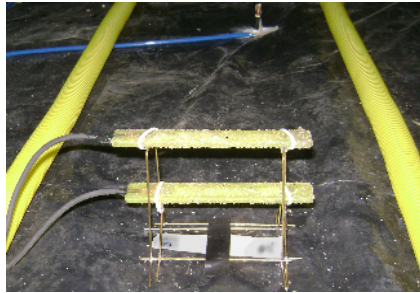
Os sensores foram depositados em lugares estratégicos e devidamente mapeados. A fotografia 4, mostra em primeiro plano como foram fixadas as células de embutimento, em segundo plano como foram fixados os termômetros e a tubulação utilizada para geração de diferenciais térmicos do fundo para o topo da placa. A fotografia 5 detalha a colocação da célula de carga.

Ao todo foram embutidos quinze sensores de deformação e quatorze de temperatura longo da espessura da placa. Os desenhos 2 e 3, mostram, através de cortes transversais e longitudinais, o posicionamento de cada sensor cortes na placa. O fundo da placa foi tomado como referência inicial para localização dos sensores.

CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (CONINFRA 2009 - TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONFERENCE)

29 A 31 DE JULHO DE 2009 (July 29th to 31th 2009)

São Paulo - Brasil

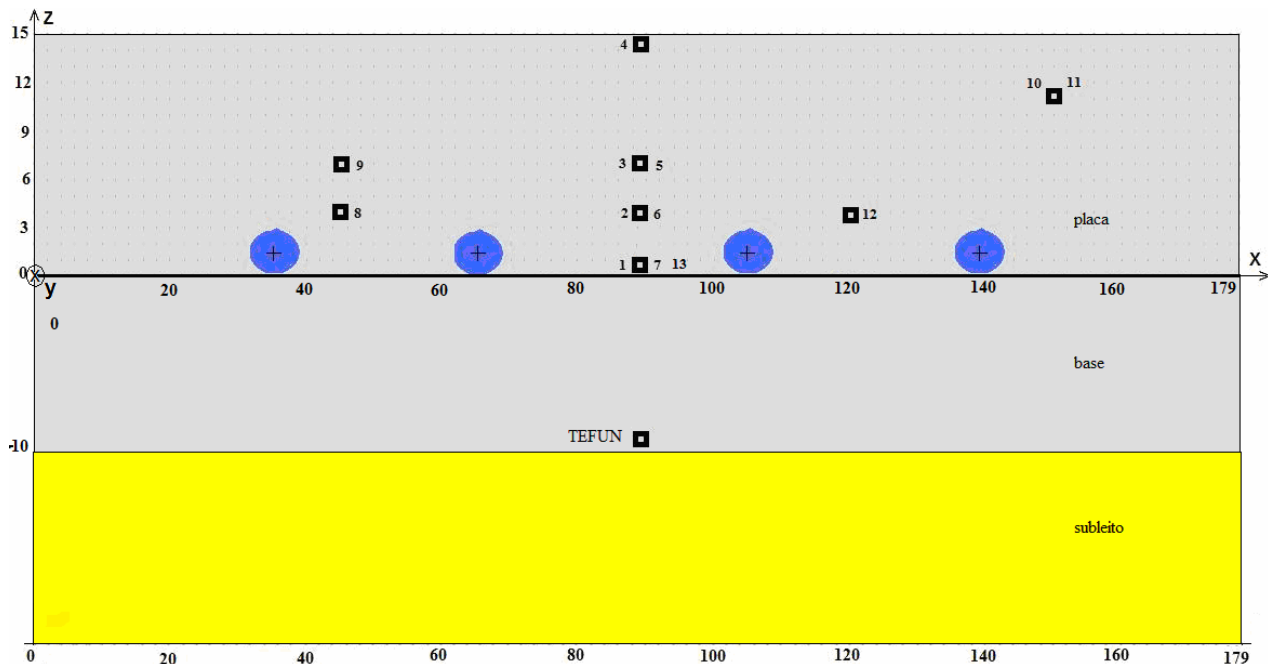


Fotografia 4. Detalhe de um conjunto termômetro e célula de deformação presos no cavalete.
Fonte: Acervo Próprio (2007)



Fotografia 5 (a) célula de carga com base magnética para fixação no piso da laje de reação, (b) base com a cavidade de abrigo (poço) da célula de carga, (c) célula de carga posicionada dentro da cavidade.

Fonte: acervo próprio (2008).



Desenho 2. Corte transversal da placa, no plano (xoz), indicando a posição dos termômetros. Todas as medidas estão em centímetros.

Fonte: Acervo próprio (2008).

As ligações dos sensores de deformação (células de embutimento) foram dispostas de tal forma a compensar os efeitos da temperatura, onde, segundo Karl (1989), a relação da tensão aplicada na ponte de Wheatstone é tal que:

03-047

CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (CONINFRA 2009 - TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONFERENCE)

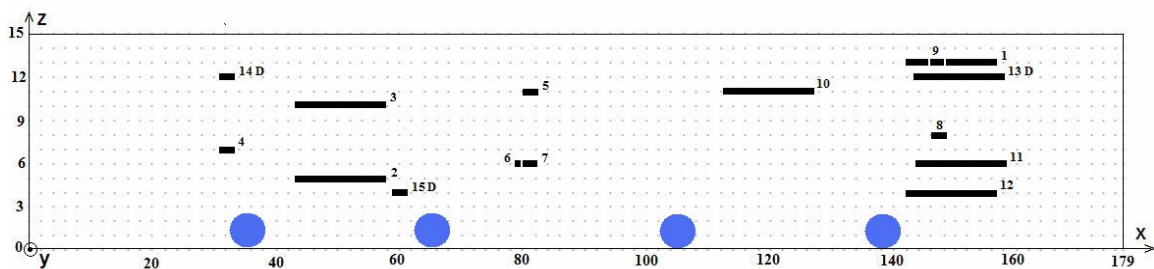
29 A 31 DE JULHO DE 2009 (July 29th to 31th 2009)

São Paulo - Brasil

$$\frac{V_0}{V} = \frac{K}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4) \quad (01)$$

Sendo ε_n a representação da deformação em cada braço da ponte, $n=1,2,3,4$.

Com a colocação das células *dummy* (CIT) em alturas distintas ao longo da espessura da placa, qualquer CE pode ser configurada em 1/2 ponte, pois os efeitos da temperatura, que se faziam presentes, foram eliminados matematicamente, pois a curva de resposta das células *dummy* com relação à influência da temperatura é conhecida. Para evitar interferências eletromagnéticas oriundas do ambiente, todo o sistema foi aterrado adequadamente. Todos os testes foram realizados com intervalos que variaram entre 24 a 72 horas entre eles. Nesse tempo, buscava-se a estabilidade térmica entre pavimento e ambiente. Por observação, verificou-se que o sistema de aquisição necessitava de pelo menos duas horas de estabilização antes do início das experiências. Em períodos de 24 horas, com temperatura ambiente estável (pouca variação em torno de 1,0 °C até 2,0 °C), a formação em 1/4 de ponte apresentou variação de até $\pm 5,0 \mu s$.

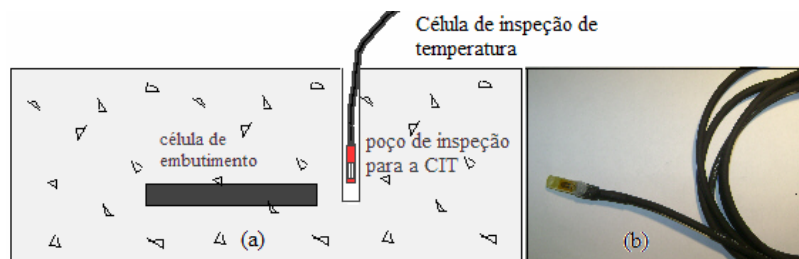


Desenho 3. Corte transversal da placa, no plano (xoz), indicando a posição das células de embutimento. Todas as medidas estão em centímetros.

Fonte: Acervo próprio (2008).

A formação em 1/2 ponte foi realizada com células *dummy* colocadas ao lado das células aderidas e foram chamadas de células de inspeção de temperatura (CIT).

Como ilustração, o desenho 4a mostra um corte transversal da placa indicando como a CIT foi colocada próxima a CE. Ainda no desenho 4b, em detalhe, está ilustrado o aspecto de uma CIT utilizada nos testes.



Desenho 4. (a) Ilustração da técnica proposta para formação de células em meia ponte, utilizando a CIT. (b) aspecto da célula de inserção de temperatura CIT.

03-047

CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (CONINFRA 2009 - TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONFERENCE)

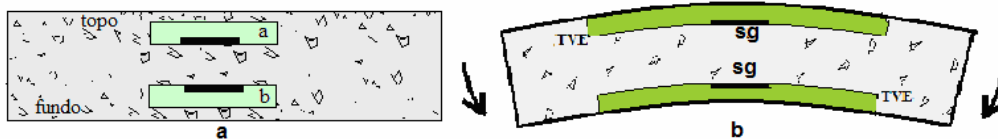
29 A 31 DE JULHO DE 2009 (July 29th to 31th 2009)

São Paulo - Brasil

Fonte: acervo próprio (2008).

Posição das células na placa e interpretação dos sinais

A análise das leituras provenientes das células de embutimento foi interpretada segundo o seu posicionamento relativo dentro da placa. Sendo assim, a ligação no barramento do sistema de dados foi feita de modo a indicar sinais positivos como efeito das flexões causadas com o carregamento térmico de topo superior ao fundo e, indicar com sinais negativos, flexões com temperatura de topo inferior à de fundo. Convém destacar que as ligações em ½ ponte, no barramento do sistema de aquisição, obedeceram a critérios para não influenciar nas leituras. O desenho 5(a) esquematiza, genericamente, a posição de duas células de embutimento. Quando a placa apresentar a configuração convexa, a temperatura de topo será maior que a temperatura de fundo e, nessa situação as células a e b estarão sendo flexionadas de tal maneira, que irá ocorrer a soma dos efeitos da flexão. O desenho 5(b) ilustra a descrição.



Desenho 5. (a) Posição genérica de duas células, ligadas em ponte, para ocorrer a soma dos efeitos de deformação. O traço escuro representa a posição do *extensômetro* dentro da célula de embutimento. (b) Situação estilizada quando a placa sofrer um diferencial de temperatura T_{topo} maior que T_{fundo} . Essa situação foi escolhida para as análises dos sinais adquiridos.

Fonte: Acervo próprio (2008).

SIMULAÇÃO DAS TAXAS DE TEMPERATURA

A distribuição da temperatura no interior da placa foi considerada, por hipótese, constante em seis posições distintas ao longo da espessura do pavimento, essas posições foram chamadas de níveis. Tomando como referência o desenho 3, os níveis foram definidos como: N-10, N0, N4, N7, N11 e N15. Sendo que, o nível N-10 tem como termômetro o TFUN, sendo aquele localizado no topo do subleito ou fundo da base (vide fotografia 1a). O N0 (nível zero) tem como termômetros TE1, TE7, TE13. O N4 tem como termômetros TE2, TE6, TE8, TE12. O N7 tem como termômetros TE3, TE5, TE9. O N11 tem como termômetros o TE10 e TE11 e o N15 tem como termômetro o TE4. A localização dos níveis foi tomada em relação ao fundo da placa com origem no canto esquerdo (desenho3). Significando que, N-10 está 10,0 cm abaixo do fundo da placa, N0 está no nível 0,0 cm a partir do fundo, N4 está a 4,0 cm do fundo para o topo, N7 está a 7,0 cm do fundo, N11 está a 11,0 cm do fundo e N15 está no topo a 1,0 cm da superfície ou 14,0 cm do fundo.

Sob vários aspectos, a simulação dos processos de aquecimento, realizados em laboratório exigiram uma comparação com dados obtidos em situações reais. Para tanto, foi utilizado o trabalho de Severi (2002), onde foram analisadas várias situações climáticas as quais o pavimento ficou submetido. Por uma questão prática, foram escolhidas duas situações para a realização das correlações. A primeira referiu-se a um dia quente e ensolarado e a segunda, refere-se a uma múltipla inversão, assim chamada pela autora, como um dia de sol, que inverteu para uma chuva intensa, porém breve.

03-047

CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (CONINFRA 2009 - TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONFERENCE) - ISSN 1983-3903

29 A 31 DE JULHO DE 2009 (July 29th to 31th 2009)

CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (CONINFRA 2009 - TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONFERENCE)

29 A 31 DE JULHO DE 2009 (July 29th to 31th 2009)

São Paulo - Brasil

Tabela 1. Dados obtidos do gráfico 5

Horário (h)	Temperatura de topo (°C)	Temperatura de fundo (°C)
8:00	24,27	28,18
10:00	33,01	28,48
11:00	33,33	28,85
12:00	36,20	29,29
13:00	38,70	30,02
14:00	40,02	30,83
15:00	40,06	31,71
16:00	41,12	32,67

1ª situação - dia quente ensolarado.

A tabela 1 exibe os dados obtidos por Severi (2002) em relação a um dia ensolarado, onde foram medidas as temperaturas do topo e do fundo da placa.

Os dados foram extraídos do gráfico 1 e mostraram uma taxa de aquecimento de 1,7°C/h que foi utilizada para nortear o aquecimento da placa.

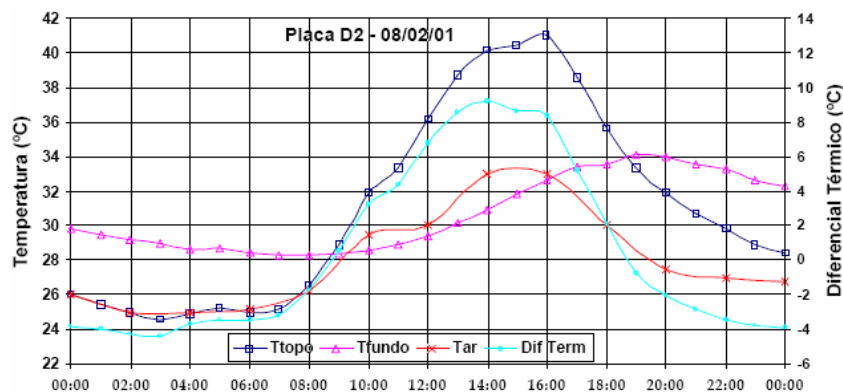


Gráfico 1. Comportamento da temperatura em um dia ensolarado.

Fonte: Severi (2002) – modificado.(2009).

CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (CONINFRA 2009 - TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONFERENCE)

29 A 31 DE JULHO DE 2009 (July 29th to 31th 2009)

São Paulo - Brasil

simulação dia ensolarado N0-N15 vs tempo

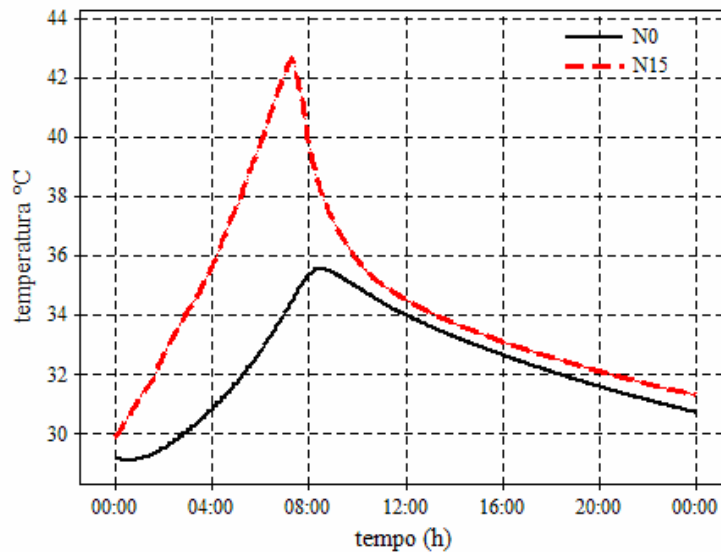


Gráfico 2. Simulação de um dia ensolarado, segundo o gráfico 4 Severi (2002).

Fonte: Acervo próprio (2009).

O gráfico 2 mostra o resultado obtido do aquecimento da placa com a mesma taxa obtida no trabalho de Severi (2002).

Outra situação foi em torno da discussão da não linearidade da temperatura ao longo da espessura da placa. Para tanto, ela foi aquecida por nove horas e meia e deixada resfriar até completar um ciclo de vinte e quatro horas. O gráfico 3 mostra o comportamento temporal da temperatura ao longo da espessura da placa durante esse período e, no gráfico 4 pode ser visto o estado térmico da placa ao longo da espessura durante a fase de aquecimento.

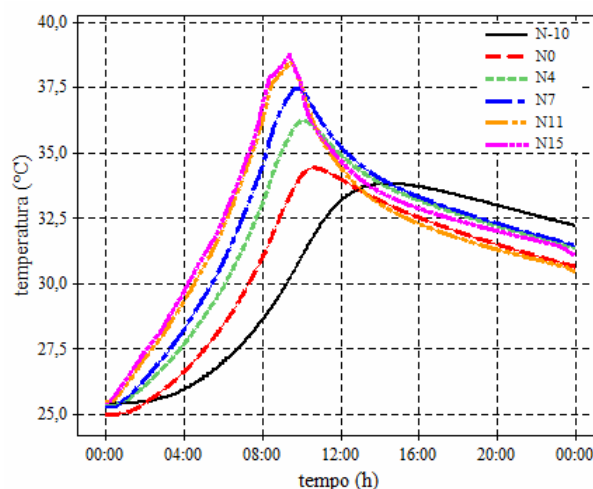


Gráfico 3. Aspecto temporal da temperatura durante um ciclo de vinte e quatro horas, simulação de um ciclo diário com taxa de aquecimento em torno de 1,0°C/h.

Fonte: Acervo próprio 2009

03-047

CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (CONINFRA 2009 - TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONFERENCE)

29 A 31 DE JULHO DE 2009 (July 29th to 31th 2009)

São Paulo - Brasil

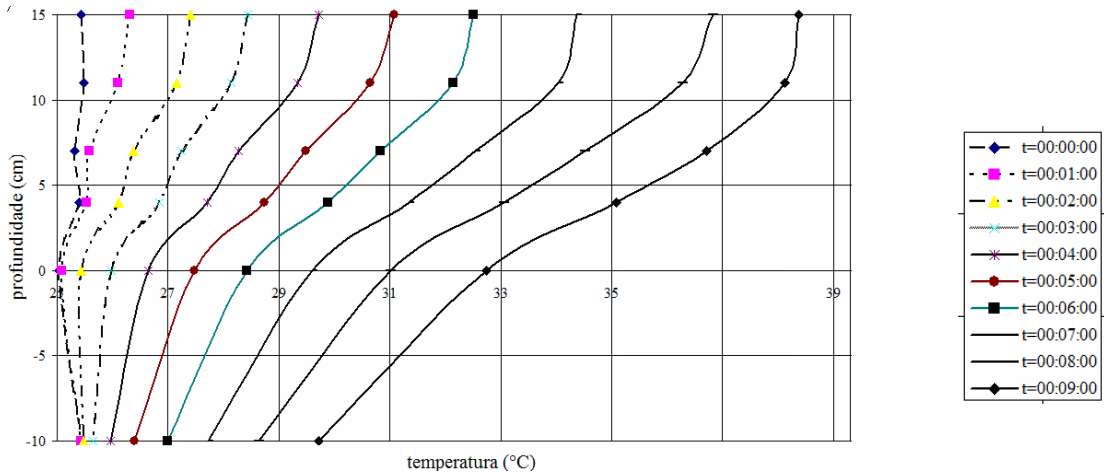


Gráfico 4. Estado térmico da placa em pontos distintos ao longo da profundidade da estrutura e nos instantes que foram colhidos.

Fonte: Acervo próprio 2009.

2ª situação - ocorrência de múltipla inversão de temperatura.

Para essa situação não foi realizada uma correlação, mas sim, uma comparação entre o fenômeno natural e o produzido em laboratório.

O gráfico 5 apresenta o comportamento da placa obtido por Severi (2002), em relação a um dia ensolarado com breve chuva no meio da tarde. As medidas referem-se as temperaturas do topo e do fundo da placa.

Para simular essa situação, a placa foi colocada para ser aquecida por um período de cinco horas, com taxa de 1,5°C por hora. Quando a temperatura da placa atingiu o valor de 37,0°C, a plataforma de aquecimento foi erguida e, então gradativamente, a placa foi sendo molhada, uniformemente, por toda extensão com um total de quinze litros de água. Essa quantidade de água simulou uma chuva de verão de pouca duração (dez minutos) com precipitação** de 3,0 mm. O fenômeno pode ser visualizado pelo gráfico 6.

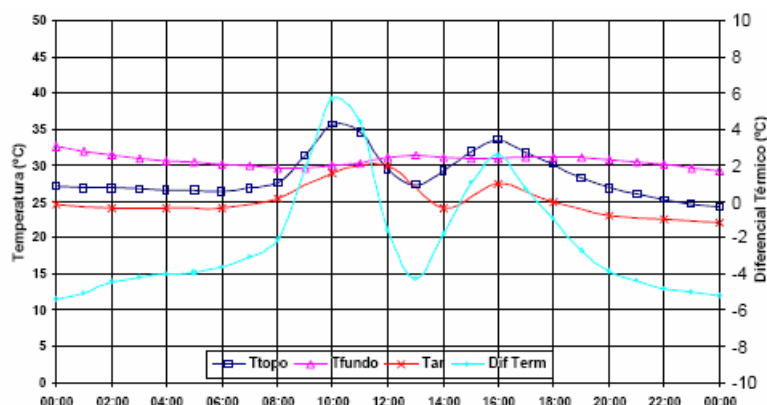


Gráfico 5. Dia quente com chuva no período.

Fonte: Severi (2002)

03-047

CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (CONINFRA 2009 - TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONFERENCE)

29 A 31 DE JULHO DE 2009 (July 29th to 31th 2009)

São Paulo - Brasil

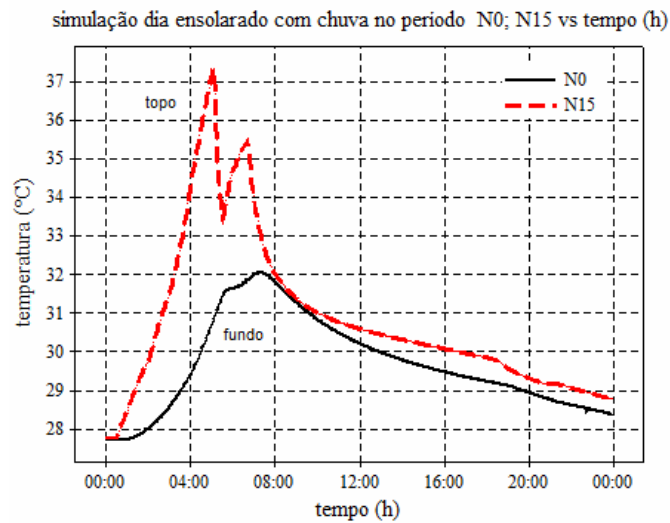


Gráfico 6. Simulação em laboratório de um dia quente com chuva no período.

Fonte: Acervo próprio (2009).

O comportamento da placa em um dia quente com precipitação após período de aquecimento, foi simulado, e o resultado do estado térmico da placa está representado no gráfico 7.

No gráfico 8 verifica-se uma manobra para a realização de ciclos contínuos com taxas de aquecimento semelhantes ou não. A metodologia ainda permitiu que simulações de aquecimento ou resfriamento de fundo de placa.

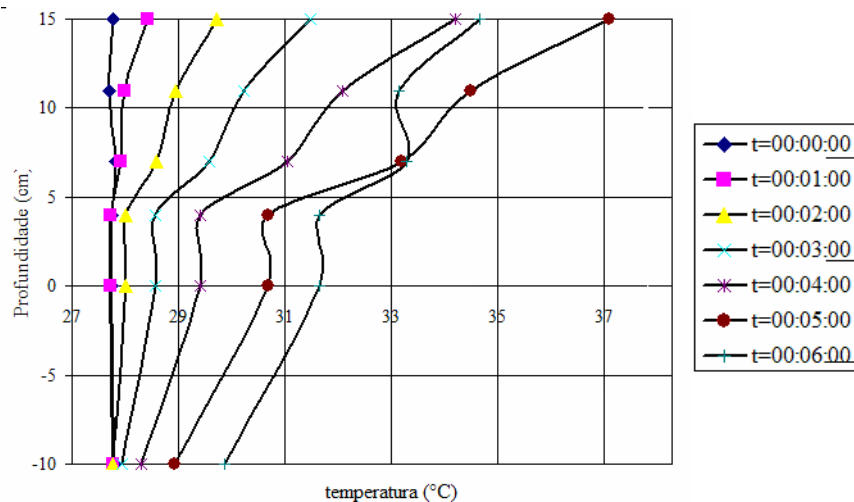


Gráfico 7. Estado térmico da placa após simulação de chuva durante um período de aquecimento.

Fonte: Acervo próprio 2009.

03-047

CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (CONINFRA 2009 - TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONFERENCE)

29 A 31 DE JULHO DE 2009 (July 29th to 31th 2009)

São Paulo - Brasil

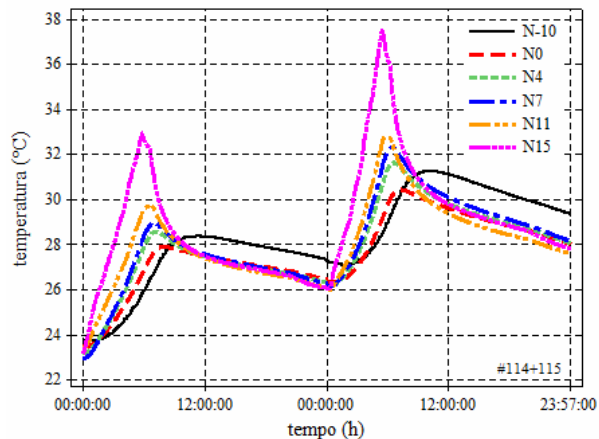


Gráfico 8. Simulação de ciclos contínuos com o sistema de aquecimento.

Fonte: Acervo próprio 2009.

COMENTÁRIOS SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DO PROCESSO DE AQUECIMENTO

O instrumental desenvolvido possibilitou realizar a geração de diversas situações térmicas que ocorrem no ambiente, salvo aquelas relativas às restrições de controle da umidade. A simulação para um dia ensolarado, gráficos 2 e 3, mostrou-se bastante adequada tanto na fase de crescimento da taxa de temperatura, como na fase de resfriamento, mesmo a placa estando dentro do laboratório. Com relação à segunda situação, inversão térmica de um dia de sol para chuva, gráficos 6 e 7, a metodologia mostra que possui recursos capazes de produzir efeito complexo como ocorrido no campo. A questão da não linearidade da temperatura ao longo da espessura pode ser verificada quando do aquecimento da placa por padrões descritos e por aquele da inversão térmica. Os gráficos 4 e 7 mostram o comportamento da temperatura evidenciando o aspecto não linear e produzindo um resultado aceitável para os estudos de deformação. O gráfico 8 mostra outro resultado que a metodologia produziu, que é a geração de ciclos contínuos. Pode-se observar um trecho linear de aproximadamente doze horas entre o resfriamento de um ciclo e aquecimento de outro. Isso é uma confirmação da consideração feita por Severi (2002, p158) que observa um trecho semelhante em um período de dez horas que vai das vinte horas até seis horas. Entre um ciclo e outro.

MEDIDAS DAS DEFORMAÇÕES DEVIDO AO AQUECIMENTO DA PLACA

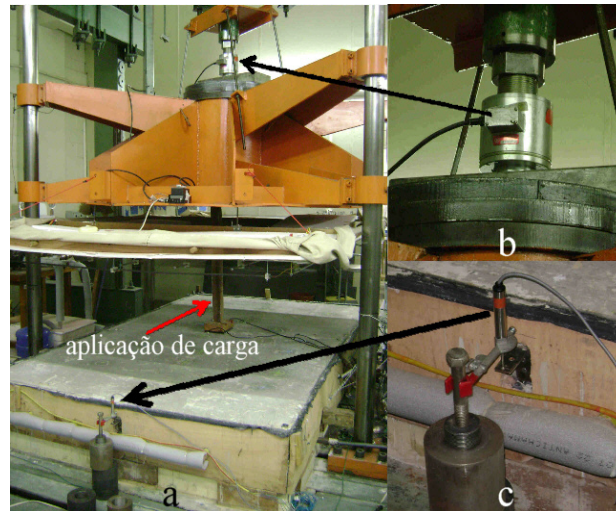
Os dados das deformações devido às condições térmicas da placa foram obtidos, inicialmente com os sensores, CE9 para informações no sentido longitudinal e CE10 para informações no sentido transversal (desenho 3). Para carregamentos estáticos foi utilizada uma máquina hidráulica com acionamento e controle manual, fotografia 6a. A força aplicada sobre a placa foi de tal forma a produzir uma pressão de 0,548 MPa (5,60 kgf/cm²) e foi conseguido através de um apoio retangular de 279,0 cm² feito com um bloco de madeira e um elastômero. Os carregamentos foram realizados com uma velocidade de $1,0 \pm 0,2$ mm/s e o valor da força foi de $15289,2 \pm 0,3$ N (1563,3 \pm 0,3 kgf). Para as medidas de deslocamento, a placa foi monitorada por um sensor de deslocamento como mostrado, em detalhe, na fotografia 6c.

03-047

CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (CONINFRA 2009 - TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONFERENCE)

29 A 31 DE JULHO DE 2009 (July 29th to 31th 2009)

São Paulo - Brasil



Fotografia 6. Detalhe da aplicação de carga no centro da placa (a), e célula de carga para medição da força aplicada (b) medição do deslocamento vertical da placa (c).

Fonte acervo próprio (2009).

Comportamento da placa sob carregamento estático e térmico

O comportamento da placa e dos sensores embutidos foi registrado graficamente e, por meio de correlação via modelo de regressão se estabeleceu uma referência sobre a interpretação das leituras durante os procedimentos de aquecimento. Vários ciclos de carregamentos foram realizados e os resultados estão mostrados e brevemente comentados.

1^a Situação: Carregamento estático no centro da placa.

O gráfico 9 mostra a correlação entre o carregamento estático, efetuado no centro da placa, pelo deslocamento ocorrido no vértice da placa. Os valores negativos no eixo das abscissas indicam que a placa está se deslocando para baixo, no sentido da laje de reação.

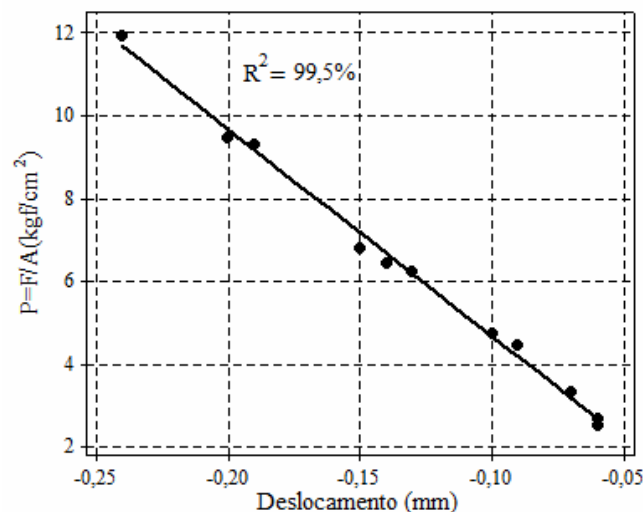


Gráfico 9. Comportamento da placa quando solicitada na região central.

03-047

CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (CONINFRA 2009 - TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONFERENCE)

29 A 31 DE JULHO DE 2009 (July 29th to 31th 2009)

São Paulo - Brasil

Fonte: Acervo Próprio (2009).

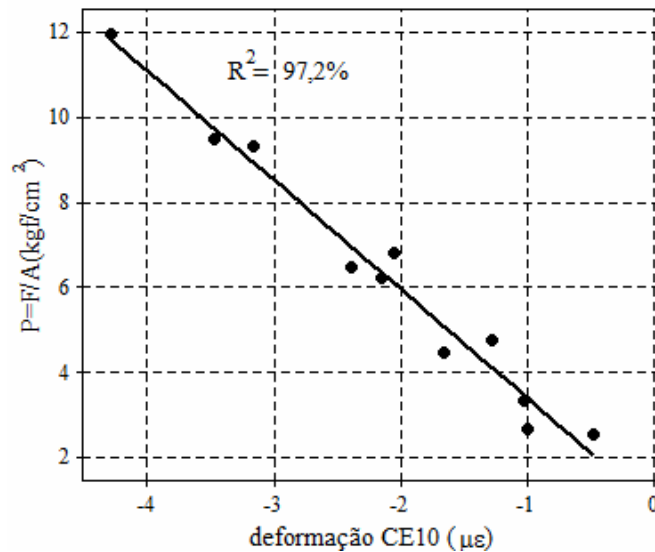


Gráfico 10. Comportamento da célula de embutimento e da placa mediante a aplicação do carregamento.

Fonte: Acervo Próprio (2009).

O gráfico 10 mostra a correlação entre um carregamento estático, efetuado no centro da placa, pela deformação ocorrida na célula de embutimento CE10. Os valores negativos indicam que esse sensor está apresentado uma sensibilidade acentuada para compressão.

2ª Situação: Aquecimento superficial da placa

Para esse teste, dentre as possíveis taxas de aquecimento, foi selecionada a taxa de 1,6°C/h. A medida do deslocamento foi realizada no mesmo vértice dos testes anteriores através do sensor potenciométrico. A dependência térmica do deslocamento em função da temperatura pode ser vista no gráfico 11.

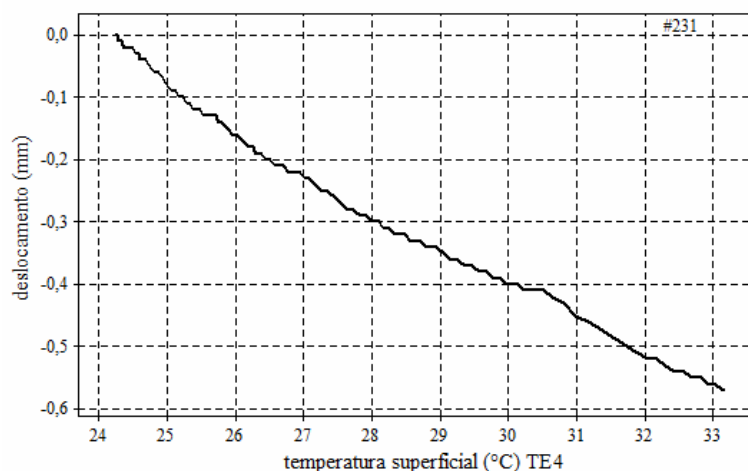


Gráfico 11. Deslocamento em função da temperatura superficial

Fonte: Acervo Próprio (2009).

03-047

CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (CONINFRA 2009 - TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONFERENCE)

29 A 31 DE JULHO DE 2009 (July 29th to 31th 2009)

São Paulo - Brasil

3ª Situação: Aquecimento superficial – (empenamento da placa).

Com diferentes taxas de aquecimento e diferentes temperaturas iniciais, o transdutor (célula de carga, fotografia 6a) colocado sob a placa indicou um alívio de carregamento, mostrando que a placa apresentava uma tendência de levantar, semelhante a um empenamento. O gráfico 12 mostra o comportamento da célula de carga quando a placa foi aquecida a uma taxa de 1,3°C/h. Para uma observação mais ampla, o gráfico 13 mostra a subida e o decaimento da temperatura nas dez primeiras horas de teste.

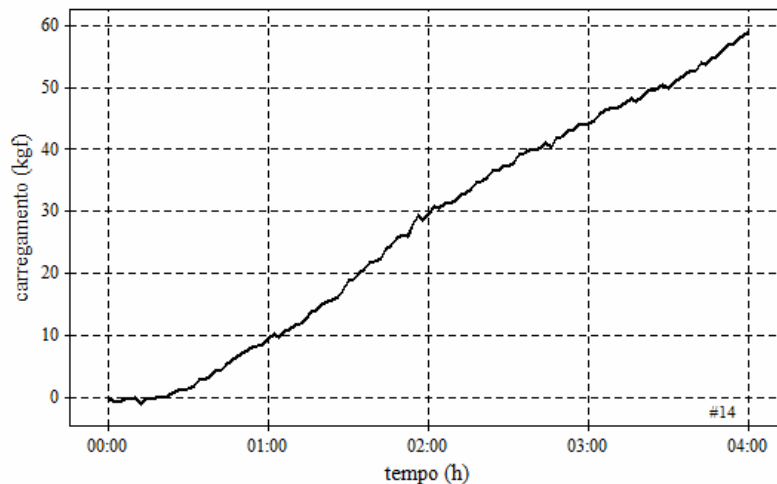


Gráfico 12. Tendência da placa em sofrer um encurvamento convexo.

Fonte: Acervo Próprio (2009).

No eixo das ordenadas encontra-se a indicação da célula de carga conforme ocorre o aumento da temperatura. Os valores positivos indicam que a célula está sendo solicitada por uma tração. No eixo das abscissas é mostrado o tempo absoluto em que ocorreu a experiência.

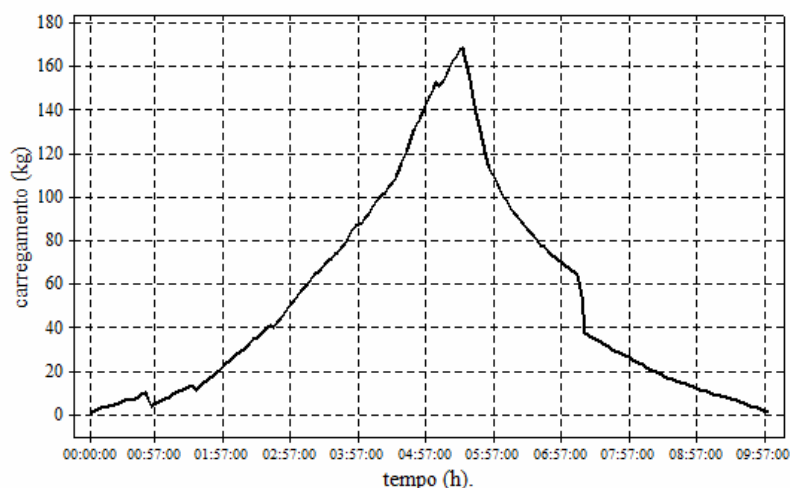


Gráfico 13. Célula de carga, colocada no centro pavimento e ligada somente com a placa, indica uma tendência desta se separar do apoio (base). Resultado após dez horas de ensaio.

Fonte: Acervo próprio (2009).

03-047

CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (CONINFRA 2009 - TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONFERENCE)

29 A 31 DE JULHO DE 2009 (July 29th to 31th 2009)

São Paulo - Brasil

O empenamento da placa também pode ser verificado através das células de embutimento. Especificamente, o gráfico 14 mostra a deformação do pavimento quando em regime transitório de temperatura em três níveis distintos. No caso as células CE7, CE8 e CE12, todas em ½ ponte, indicam deformações da placa, quando o encurvamento dá-se no sentido convexo T_{topo} maior que T_{fundo} . A interpretação das curvas indica que tal empenamento ocorre como previsto e as intensidades variam de acordo com a posição da geométrica da célula.

Os valores das ordenadas devem ser interpretados segundo a ligação dos sensores nos braços positivo e negativo da ponte de Wheatstone, interna ao equipamento de aquisição. Substituindo os valores na equação (1) e simplificando se apresenta em (6) o resultado final que é traduzido em microstrain. Observa-se que essa expressão apresenta valores relativos negativos que concordam com aqueles mostrados no eixo das ordenadas no gráfico 18.

De acordo com a expressão (1) e levando em consideração que

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_f + \varepsilon_n + \varepsilon_t \Leftrightarrow \varepsilon_1 = \varepsilon_t, \text{ não está sujeito a esforço mecânico.} \quad (2)$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_f + \varepsilon_n + \varepsilon_t \quad (3)$$

$$\varepsilon_3 = \varepsilon_4 = 0 \text{ (valores fixos)} \quad (4)$$

$$\frac{V_0}{V} = \frac{K}{4} [(\varepsilon_t) - (\varepsilon_f + \varepsilon_n + \varepsilon_t) + (0) - (0)] \quad (5)$$

$$\frac{V_0}{V} = \frac{K}{4} [-(\varepsilon_f + \varepsilon_n)] \quad (6)$$

A de se considerar que as deformações apresentadas pelo gráfico 14 estão sujeitas a uma parcela da influência da temperatura atuante sobre os cabos. Esse detalhe ainda está sendo estudado.

Comentários sobre os resultados obtidos através dos sensores de deformação.

A estrutura, especificamente a placa, apresentou resposta linear quando solicitada estaticamente sob os valores impostos, isso é, até 108,2 MPa (12,0kgf/cm²) ilustrado no gráfico 9.

CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (CONINFRA 2009 - TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONFERENCE)

29 A 31 DE JULHO DE 2009 (July 29th to 31th 2009)

São Paulo - Brasil

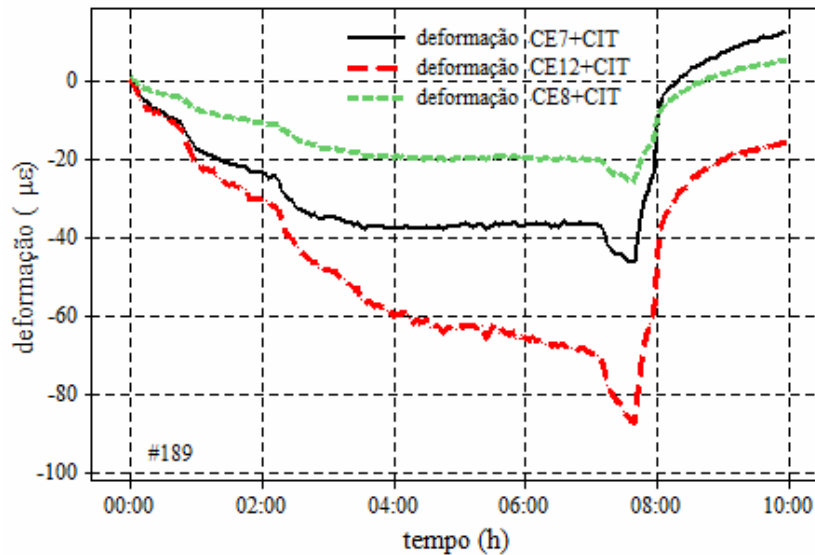


Gráfico 14. Aspecto da deformação da placa quando solicitada por aquecimento superficial.

Fonte: acervo próprio (2009).

Essa linearidade é uma resposta da fundação, ou seja, base e subleito, esse com maior contribuição. Dessa forma se pode imaginar que a consideração dada ao subleito, sobre obedecer à lei de Hooke e ser considerada uma fundação tipo Winkler, é plausível e, implica que quando os processos numéricos forem utilizados para comparação, o modelamento, sobre o pavimento repousar sobre um líquido denso (colchão de molas) é razoável e com boas chances de sucesso na comparação dos resultados.

A linearidade também é acusada pelas células de embutimento, cuja resposta pode ser vista no gráfico 10 onde, tal comportamento é ilustrado. Nesse ponto faz-se uma ressalva para a possível correção nesses valores. A confirmação do movimento da placa quando sujeita a solicitações no centro e borda é também mostrado pela indicação do sensor potenciométrico. O gráfico 11 mostra a linearidade da resposta frente a esses carregamentos. No entanto, em situações de aquecimento de topo ou de fundo, o sensor responde de forma não muito linear. Os gráficos 11 e 12 indicam como varia o deslocamento em função do tempo e da temperatura

Uma informação importante é dada pela célula de carga colocada no centro pavimento, ela mostra que a placa apresenta uma tendência a se levantar da base, é como estivesse sendo puxada pelo seu centro de gravidade. Não obstante, não se pode afirmar que ela perde o contato com a base. O gráfico 12 mostra a evolução do deslocamento em função do tempo. Outro aspecto importante do comportamento do pavimento, em relação à célula de carga, é a observação da evolução da placa durante o processo de aquecimento e resfriamento (gráfico 13). Observa-se a não linearidade na fase de resfriamento que é concordante com a teoria de processos térmicos.

A respeito da resposta das células de embutimento, o gráfico 14 indica como a placa se comporta mediante as taxas de aquecimento de 1,0°C/h. Outra observação é que, aparentemente, após um valor de temperatura, a placa deixa de apresentar deformações crescentes, o trecho plano entre 4h00min e 6h00min horas dá essa indicação. Porém, se a temperatura aumentar as deformações também irão aumentar.

CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (*CONINFRA 2009 - TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONFERENCE*)

29 A 31 DE JULHO DE 2009 (*July 29th to 31th 2009*)

São Paulo - Brasil

COMENTÁRIOS FINAIS

Através da metodologia desenvolvida, foi possível representar adequadamente as intempéries que ocorrem no cotidiano, tanto na fase de aquecimento como resfriamento. Isso possibilitou o registro de deformações e verificação do funcionamento dos sensores de embutimento e de temperatura. Os pré-resultados mostram que o ensaio da placa em laboratório é possível e retrata os resultados de pistas experimentais e reais. As respostas dos sensores de deformação foram adequadas e mostraram-se sensíveis ao ponto de perceberem solicitações mecânicas e térmicas, combinadas ou não. A possibilidade na repetição de testes térmicos é um diferencial que esse estudo propiciou, tendo em vista os resultados apresentados. No entanto, a observação da não linearidade da temperatura nos remete a pensar em uma massa auto-compensante de concreto, com a adição de compósitos, capaz de compensar o efeito do empenamento. Outro resultado que o experimento propiciou, foi a verificação da rápida resposta que a placa apresenta quando ocorrem variações de temperatura em sua superfície e seus efeitos nas fibras internas. Outras observações, que não aparecem no objetivo principal, também foram realizadas e servem para justificar a realização do presente trabalho. São elas: baixo custo na construção do pavimento, tendo em vista que foi construído apenas um elemento de um pavimento ao invés de um pavimento real ou uma pista experimental, possibilidade de realização de ciclos contínuos de aquecimento, redução de custos operacionais, tais como transporte, aluguel de máquinas e segurança caso o estudo seja em pista real e distante do local de análise. Devido à facilidade de se manobrar o pavimento, existe a possibilidade da troca dos elementos estruturais inferiores para estudos específicos. Além disso, outros testes podem ser realizados que não, necessariamente façam parte daqueles apresentados pela natureza, tais como ciclos rápidos de aquecimento ou acelerados. As deficiências do presente estudo, tais como falta de controle da umidade e falta de controle na taxa de aquecimento ou resfriamento no fundo do pavimento são as primeiras sugestões a serem dadas como continuidade desse trabalho. As análises de tensão não foram realizadas devido a problemas ocorridos com as células de embutimento preparadas para essa finalidade. Para tanto, está sendo preparado um novo procedimento para atender essa exigência. A interferência da temperatura nos cabos das células de embutimento é um problema não descrito na literatura e está sendo contornado com outra metodologia

REFERÊNCIAS

AASHO Road Test Report 5, Pavement research, Ed. The Highway Research Board, NAS-NRC Division of Engineering and Industrial Research Special Report 61E. Publicação n. 954, 1962.

BALBO, J. T. **Tensões oriundas de empenamento térmico da placas de ccp.** Curso de especialização para projetista de pavimento de concreto, ABCP, 2002.

_____. **Pavimentação Asfáltica, materiais, projeto e restauração.** Ed. Oficina de Textos, São Paulo, 2007.

BEZERRA, M. A. **Aplicações térmicas da energia solar.** Ed. Universitária, UFPB, Paraíba, João Pessoa, p 25, 1979.

KARL, H. **An introduction to measurements using strain gages.** Ed. Hottinger Baldwin, Darmstadt, Alemanha, 1989.

03-047

CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (CONINFRA 2009 - TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONFERENCE) - ISSN 1983-3903

29 A 31 DE JULHO DE 2009 (*July 29th to 31th 2009*)

**CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE
TRANSPORTES (CONINFRA 2009 - TRANSPORTATION
INFRASTRUCTURE CONFERENCE)**

29 A 31 DE JULHO DE 2009 (*July 29th to 31th 2009*)

São Paulo - Brasil

LOULIZI, A, AL-QADI, L. I., E ESEFI, M. **Difference between *in situ* pavement measure and calculated stress and strains.** Journal of Transportation Engineering, ACSE, v 132, Jul, 2006.

MAHBOUB, K. C., LIU, Y., ALLEN, D. L. **Evaluation of temperature responses in concrete pavement.** Journal of Transportation Engineering, v.130, n.3, may, 2004.

MEDINA, J. **Mecânica dos pavimentos**, ed. UFRJ, Rio de Janeiro, 1997.

PITTA, M. R. **Estado-da-arte dos pavimentos de concreto na América Latina.** in: Simpósio Internacional de manutenção e restauração de pavimentos e controle tecnológico, CD-ROM, 2000 [s.l.] .

PEREIRA, D. S. **Estudo de gradientes térmicos e deformações em whitetopping ultradelgado.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), 2001, 107f, Escola Politécnica, Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo.

POPLETE, M., SALSILLI, R., VALENZUELA, R., BULL, A., SPRATZ, P. **Evaluation of thermal deformations in undoweled pcc pavement slabs.** Transportation Research Record, n 1207, 1988.

RODOLFO, M. P. **Análise de tensões em pavimentos de concreto com base cimentada e sujeitos a gradiente térmicos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), 2001, 203f, Escola Politécnica, Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, 2001.

SARGAND. M. S., KHOURY. I. S. **Sensor installation in rigid pavement.** Experimental Techniques, v. 23, n.3, may-jun. 1999.

SEVERI, A. A. **Estudo dos gradientes térmicos em pavimentos de concreto de cimento Portland no ambiente tropical.** 2002, 256f, Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola Politécnica, Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, 2002.

SILVA, P, D, E, A. **Estudo do reforço de concreto de cimento portland (whitetopping) na pista circular experimental do instituto de pesquisas rodoviárias.** 2001, 358f, Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

NOTAS

* A antena fornece dados via Internet e pode ser acessada através da URL:
<http://engmecanica.mackenzie.com.br>

** 1,0 mm de chuva em relação a 1,0 m² equivale a 1,0 L.

Fonte: Brasil, Ministério da Agricultura e Abastecimento, Agritempo, Sistema de monitoramento agrometeorológico. Disponível em:

<http://www.agritempo.gov.br/modules.php?name=Encyclopedia&op=content&tid=127>.

Acesso em 6/03/09

03-047

CONINFRA 2009 – CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (CONINFRA 2009 -
TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE CONFERENCE) - ISSN 1983-3903

29 A 31 DE JULHO DE 2009 (*July 29th to 31th 2009*)