

**33ª REUNIÃO ANUAL DE  
PAVIMENTAÇÃO  
FLORIANÓPOLIS/SC**

**APLICAÇÃO DE RECICLAGEM A FRIO COM ESPUMA DE ASFALTO NA  
RESTAURAÇÃO DA BR-290 NO TRECHO ENTRE ELDORADO DO SUL E PORTO  
ALEGRE**

**Marcelo Archanjo Dama<sup>1</sup>  
Fernando Casagrande<sup>1</sup>  
Fernando Pugliero Gonçalves<sup>2</sup>  
Jorge Augusto Ceratti<sup>3</sup>**

1. Eng. Civil, Concessionária da Rodovia Osório Porto Alegre S.A.
2. Eng. Civil, Doutorando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/UFRGS
3. Professor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/UFRGS

1. Rodovia BR-290 km 77,8  
94010-970 Gravataí – RS  
fone: (051) 4891441  
e-mail: [concepa@zaz.com.br](mailto:concepa@zaz.com.br)
2. Av. Osvaldo Aranha, 99 – 3º andar  
90035-190 Porto Alegre – RS  
fone: (051) 33163590  
e-mail: [lapav@genesis.cpgec.ufrgs.br](mailto:lapav@genesis.cpgec.ufrgs.br)

# APLICAÇÃO DE RECICLAGEM A FRIO COM ESPUMA DE ASFALTO NA RESTAURAÇÃO DA BR-290 NO TRECHO ENTRE ELDORADO DO SUL E PORTO ALEGRE

## RESUMO

Desde alguns anos é utilizada no país técnica de reciclagem envolvendo a adição de espuma de asfalto ao material fresado de pavimentos. A formação da espuma ocorre quando pequenas quantidades de água são adicionadas ao asfalto quente, com conseqüente aumento de área superficial e redução de viscosidade. Nesta forma o asfalto tem facilitada sua mistura com agregado frio úmido.

O artigo descreve a utilização de reciclagem com espuma de asfalto em trecho da BR-290. São apresentados estudos desenvolvidos pela Concessionária da Rodovia Osório Porto Alegre S.A-CONCEPA e pelo Laboratório de Pavimentação da Escola de Engenharia da UFRGS-LAPAV para a elaboração do projeto de restauração e sua execução.

Foi realizada retroanálise da condição do pavimento existente e projeto de restauração por reciclagem com espuma de asfalto, que compreendeu a reciclagem de 16,0 cm de camada asfáltica existente e execução de 5,0 cm de concreto asfáltico. São apresentados também dados de dosagem da mistura reciclada, procedimentos executivos adotados e acompanhamento da execução da restauração e de evolução das características de suporte da camada reciclada logo após sua execução.

## 1 - INTRODUÇÃO

Este trabalho descreve a restauração do pavimento da Rodovia BR-290, no trecho Porto Alegre-Eldorado do Sul, utilizando-se a reciclagem do revestimento existente com espuma de asfalto. O trecho considerado é constituído por quatro faixas de tráfego, sendo duas na pista denominada norte (sentido Porto Alegre – Eldorado do Sul) e duas na pista denominada sul (sentido Eldorado do Sul – Porto Alegre). A solução adotada para a restauração da pista sul foi a reciclagem com espuma de asfalto.

## 2 - AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DO PAVIMENTO EXISTENTE

A condição de superfície do pavimento foi avaliada por meio da análise dos registros de defeitos. Sendo, para tanto, adotada a codificação da norma DNER-PRO 08/78 (Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos). A Figura 1 mostra a variação do IGG ao longo do trecho. Na Figura 2 estão representados os conceitos atribuídos aos pavimentos, de onde se observa que os segmentos abrangem todas as condições possíveis: BOM, REGULAR, MAU e PÉSSIMO.

Quanto a ocorrência de afundamentos em trilha de roda (ATR), se conclui não ser este um parâmetro crítico, haja vista a sua não incidência significativa em toda a extensão do trecho.

### 1.2 - Irregularidade de Superfície

A irregularidade longitudinal foi medida no mês de junho de 2000. A determinação do QI (*Quarter-Car Index*) foi feita através da correlação com o IRI (*International Roughness Index* - m/km):

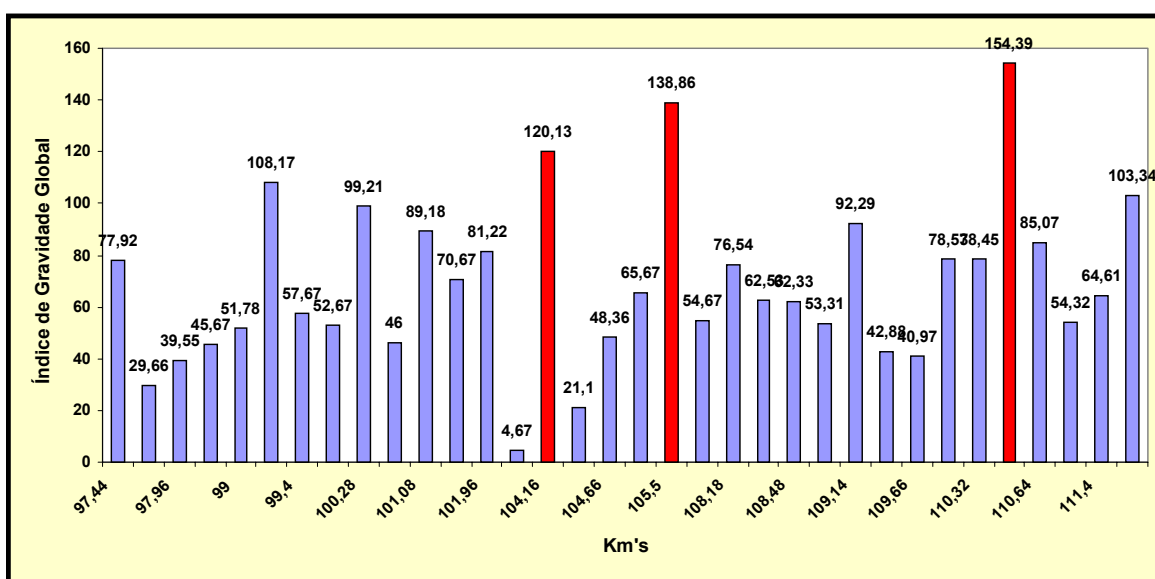
$$QI = 13 \times IRI \quad (1)$$

Na Figura 3 está representada a variação do QI ao longo do trecho em questão, de onde se conclui que a irregularidade longitudinal é, de modo geral, excelente. Para avaliação da condição funcional do pavimento, utilizou-se o critério mostrado na Tabela 1, onde a “Classe” que é ali indicada refere-se à categoria de qualidade funcional no que diz respeito ao conforto ao rolamento (irregularidade longitudinal), de acordo com a classificação da OCDE

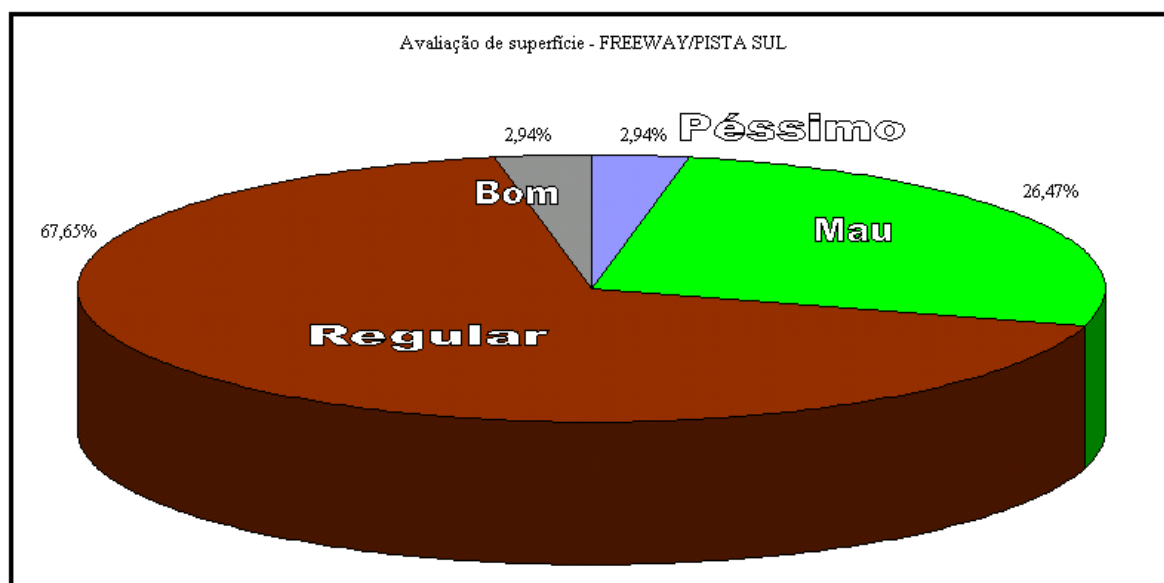
**Tabela 1 - Classificação funcional de rodovias pavimentadas**

IRI (m/km)	QI (cont/km)	v* (km/h)	Condição Funcional	Categoria OCDE
≤ 3	≤ 39	> 120	Excelente	1
> 3 e ≤ 6,5	> 39 e ≤ 84,5	100 - 120	Aceitável	2
> 6,5 e ≤ 8,5	> 84,5 e ≤ 110,5	70 - 90	Tolerável	3
> 8,5 e ≤ 10,5	> 110,5 e ≤ 136,5	50 - 60	Intolerável	4
> 10,5	> 136,5	< 50	Péssima	5

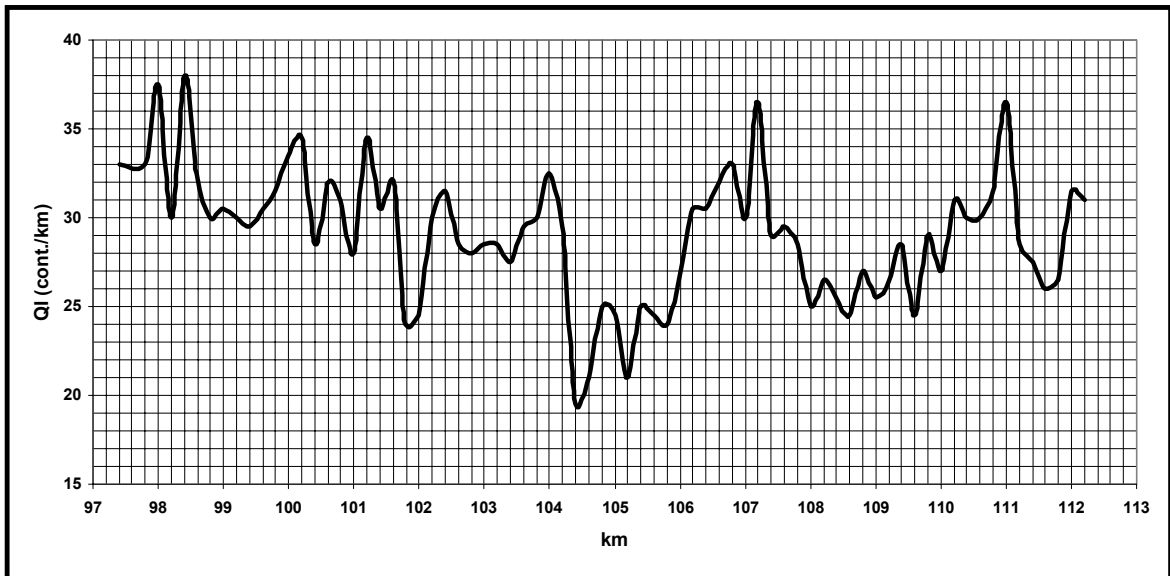
v\* = velocidade de tráfego "confortável".



**Figura 1 - Índice de gravidade global**



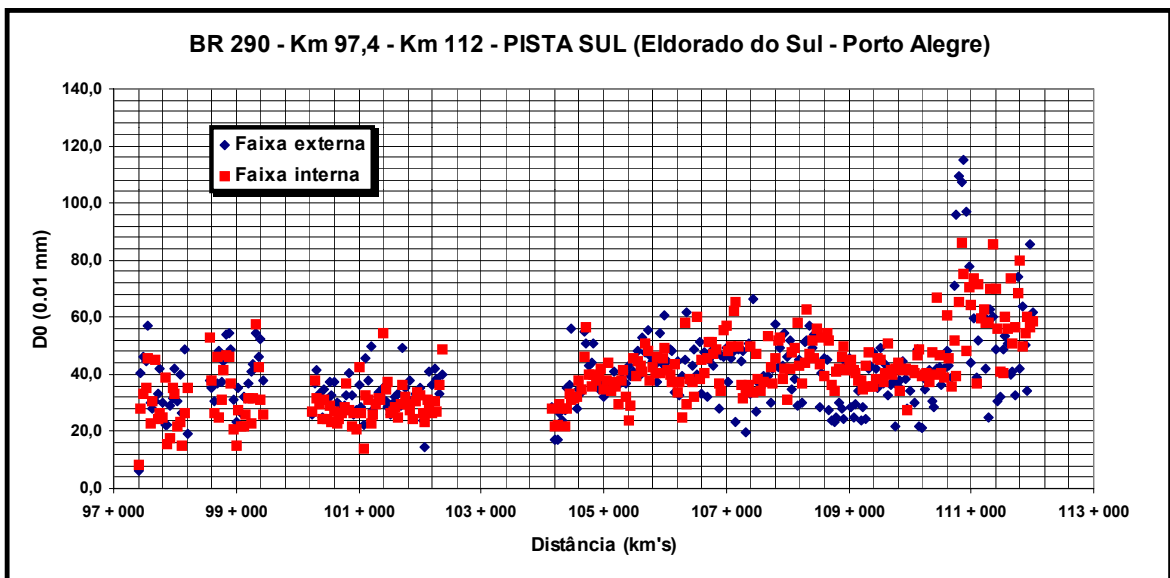
**Figura 2 - Resultado da avaliação da condição de superfície do pavimento**



**Figura 3 - Irregularidade longitudinal**

### 1.3 - Condição Estrutural

Os pavimentos foram avaliados por meio de levantamentos defletoométricos com o *Falling Weight Deflectometer* (FWD), utilizando-se um nível de carga de 40 kN. A determinação das deflexões foi efetuada de forma alternada entre as faixas de tráfego, de modo que o espaçamento entre estações de ensaio em uma mesma faixa foi de 40 metros na pista sul e de 80 metros na pista norte. Na Figura 4 estão apresentadas as deflexões máximas medidas com o FWD em ambas as faixas de tráfego.



**Figura 4 - Deflexões máximas medidas pelo FWD**

### 1.4 - Estrutura do Pavimento Existente

A estrutura do pavimento existente foi identificada por meio de poços de sondagem. Uma seção típica está ilustrada na Figura 5.

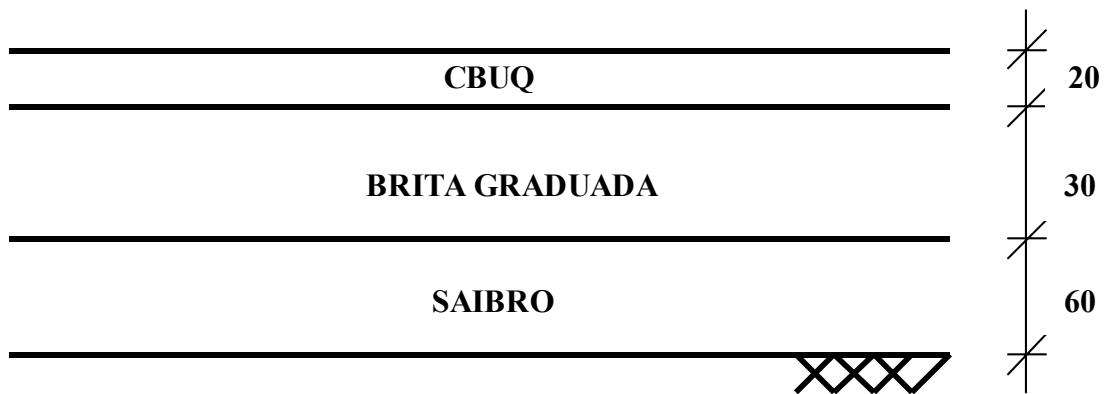


Figura 5 - Pavimento do km 105 (faixa externa/pista sul)

### 1.5 - Módulos Elásticos das Camadas

Os módulos elásticos foram determinados efetuando-se a retroanálise das bacias de deflexões medidas através do FWD, sob a carga de 40 kN. Sendo, para tanto, configurado um sistema de três camadas. Os resultados obtidos estão mostrados nas Figuras 6 e 7. Nas Figuras 8 até 10 estão mostradas as relações existentes entre os módulos elásticos das camadas e as deflexões medidas.

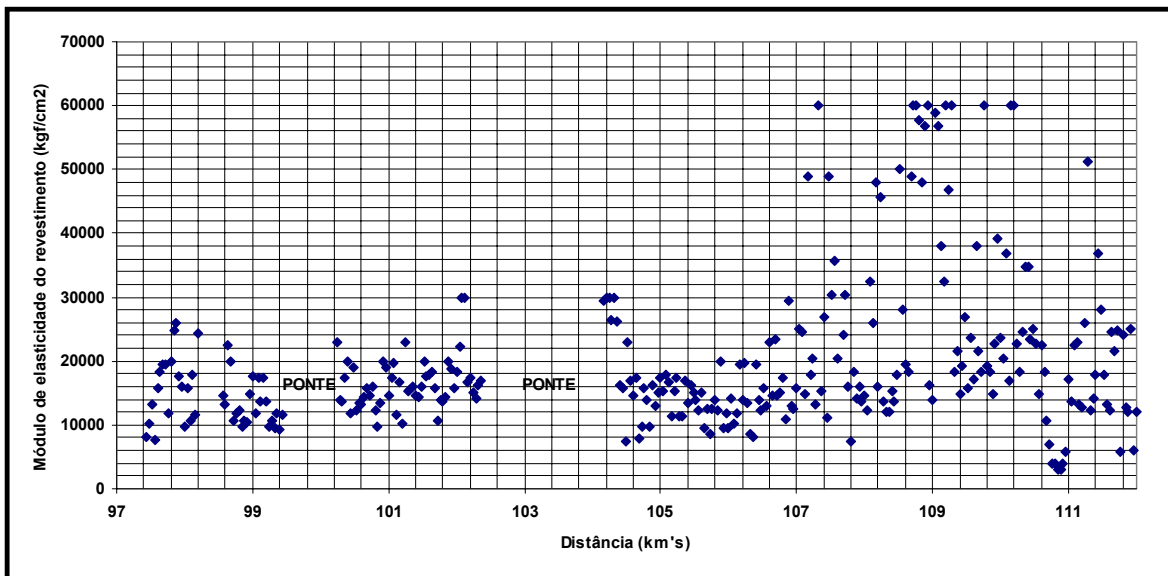


Figura 6 - Módulos de elasticidade do revestimento na pista sul/faixa externa

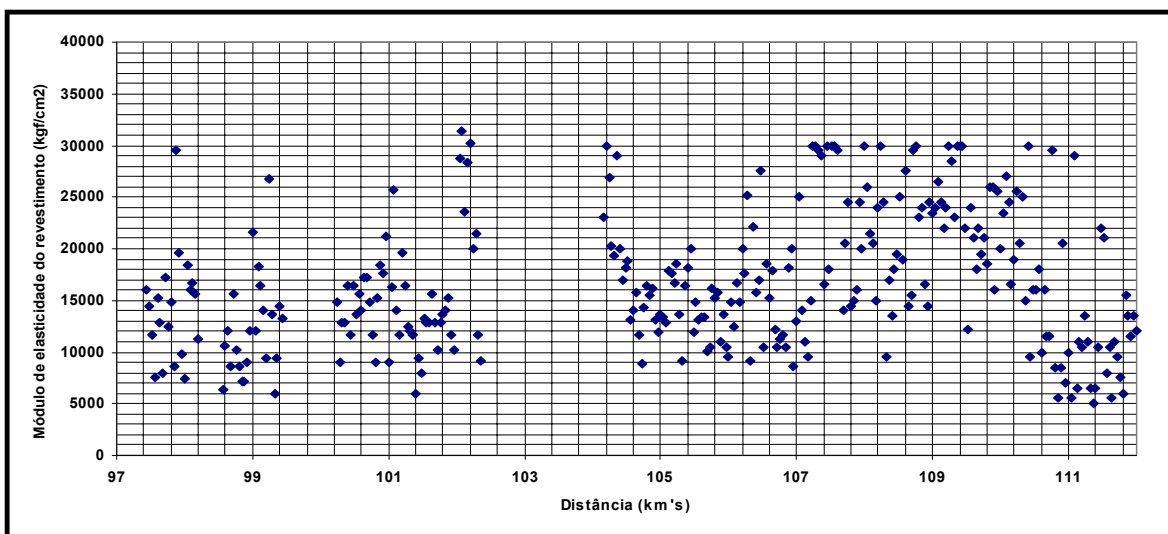


Figura 7 - Módulos de elasticidade do revestimento na pista sul/faixa interna

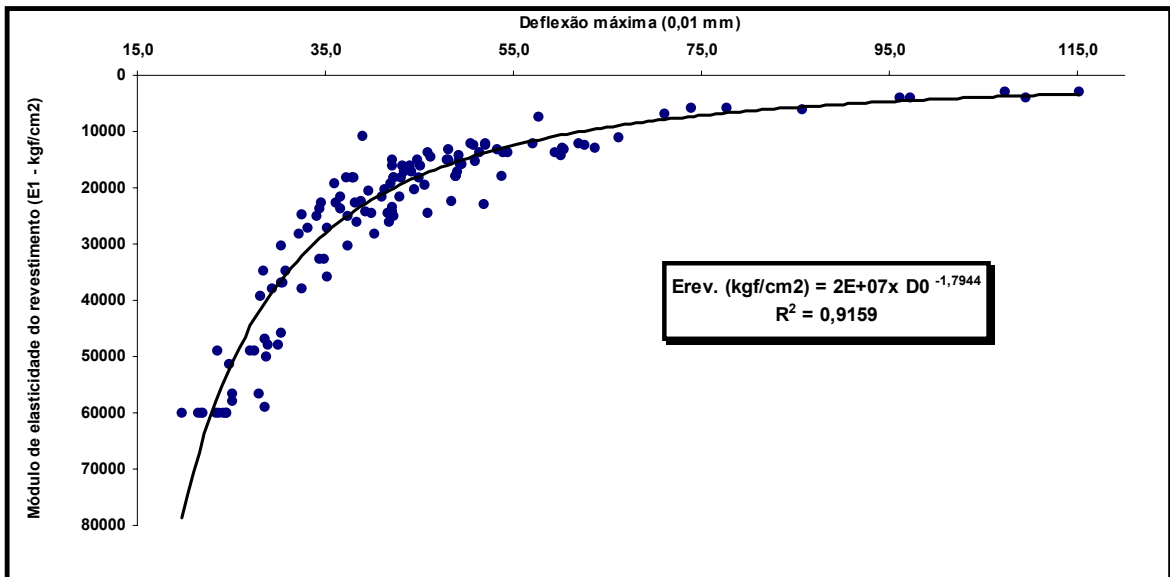


Figura 8 - Pista sul - km's 107,00 a 112,00 - Faixa externa

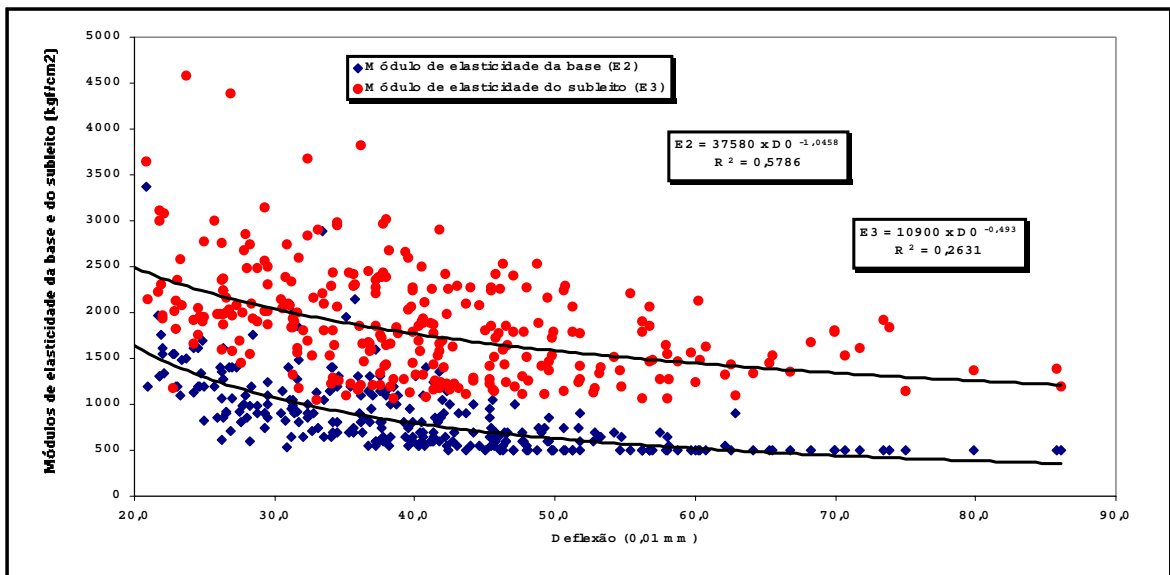


Figura 9 - Relações módulos de elasticidade da base e do subleito x deflexões na pista sul/faixa interna

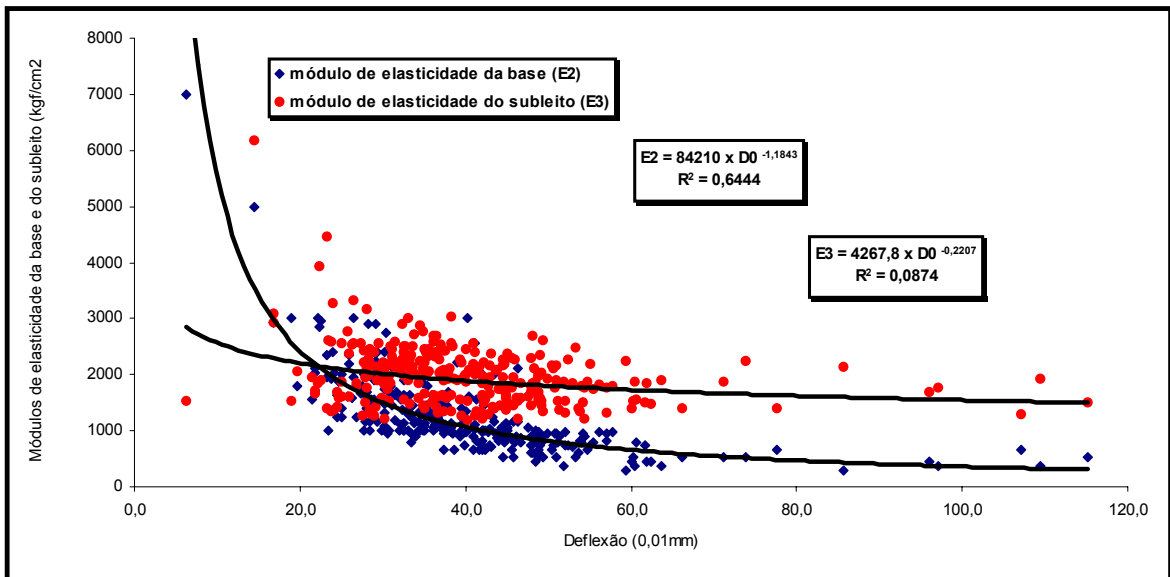


Figura 10 - Relações *módulos de elasticidade da base e do subleito x deflexões* na pista sul/faixa externa

### 3 - ESTUDOS DE TRÁFEGO

O estudo realizado pela CONCEPA no período compreendido entre os meses de novembro de 1997 e agosto de 1999 levou aos resultados mostrados nas Tabelas 4 a 6, onde aparecem os números “N” calculados de acordo com os fatores de equivalência de cargas do USACE (Método do DNER, 1981). A contagem de tráfego foi efetuada no pedágio localizado em Eldorado do Sul (Figura 11).

A partir desse estudo e de análises complementares realizadas, ficou definido que o tráfego a ser adotado deveria ser dado por  $N_p = 2,06 \times 10^8$ .

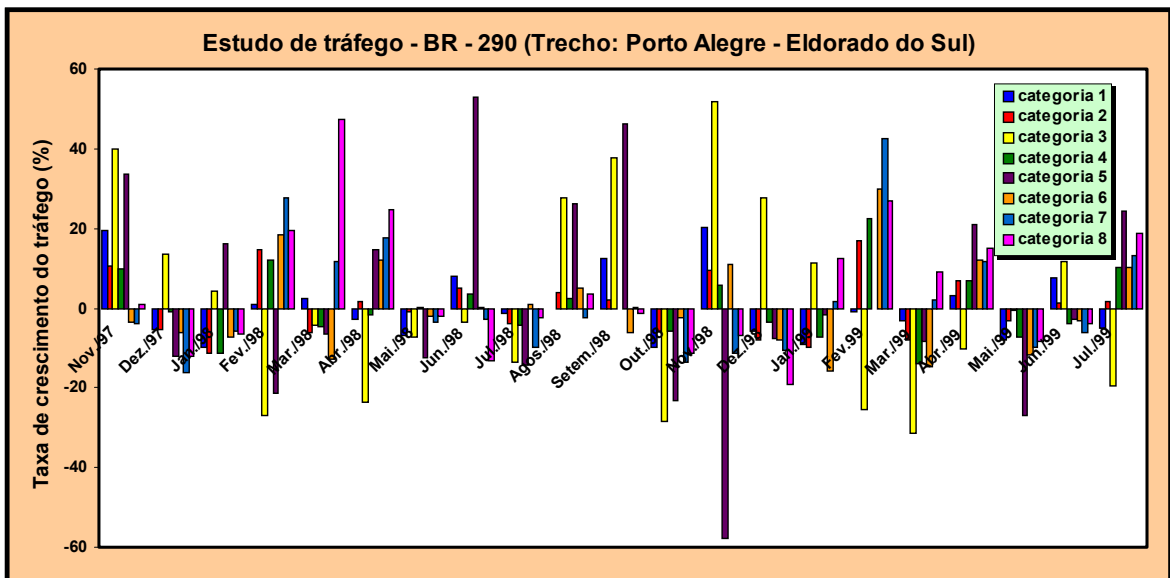


Figura 11 - Crescimento do tráfego (novembro de 1997 até julho de 1999)

### 3 - DIMENSIONAMENTO DAS ALTERNATIVAS DE RESTAURAÇÃO

Devido as elevadas espessuras das camadas asfálticas dos pavimentos existentes em ambas as pistas de tráfego e, também, em função das elevadas espessuras de recapeamento definidas através da aplicação do procedimento DNER/PRO-269/94 na pista sul, foram geradas soluções de restauração envolvendo a reciclagem do revestimento asfáltico. Para tanto, foi definido previamente que o

módulo de elasticidade da mistura asfáltica reciclada deverá atingir um valor mínimo de 25 000 kgf/cm<sup>2</sup>.

Quando das análises pelo procedimento DNER PRO-269/94, o trecho em questão teve, como solução de restauração, para todos os segmentos homogêneos estabelecidos, um recapeamento em CBUQ com espessuras elevadas. Analisando-se conjuntamente as espessuras, as condições estrutural e de superfície e o tráfego de projeto, concluiu-se que as espessuras preconizadas para restauração do pavimento não asseguram o seu desempenho em termos da ocorrência de trincamento por fadiga da nova camada de revestimento.

Desta forma, recomendou-se a adoção de medidas de restauração envolvendo a reciclagem do revestimento existente com espuma de asfalto. Definiu-se como espessura a ser reciclada 16,0 cm com a inclusão de capa de CBUQ com 5,0 cm. As soluções para a restauração do pavimento dos acostamentos foram definidas através de compatibilidade geométrica, de modo a não se permitir um desnível entre a pista e os acostamentos superior a 1 cm.

A mistura reciclada com espuma de asfalto dosada em laboratório apresentou as seguintes características:

- teor de ligante incorporado à mistura reciclada: 2,8%
- teor de filler calcáreo: 3,0%

A partir de especificações correntes para misturas recicladas com espuma, considerou-se para projeto resistência à tração indireta mínima de 1,0 kgf/cm<sup>2</sup> quando imersa e 2,0 kgf/cm<sup>2</sup> quando seca. Considerou-se ainda módulo de resiliência mínimo de 25000 kgf/cm<sup>2</sup>.

## **4 - ESTIMATIVA DO DESEMPENHO A SER OFERECIDO PELA SOLUÇÃO PROPOSTA**

### **4.1 - Justificativa do modelo utilizado**

Para efeito de estimativa do desempenho a ser oferecido pelo pavimento restaurado, foi utilizado um modelo de previsão de desempenho mecanístico-empírico. Tal modelo foi concebido com base em uma formulação que explica as leis de fadiga de concretos asfálticos observadas em laboratório e que reproduz o processo de geração de trincas na camada asfáltica que foi registrado na Pista Circular de Nantes (OCDE, 1991). O modelo foi, em seguida, calibrado de modo a reproduzir o desempenho observado em rodovias em serviço no Brasil, a fim de inserir no modelo aspectos que não puderam ser introduzidos na sua formulação teórica, tais como: variabilidade construtiva, efeito da ação combinada de cargas de eixo diferentes, intemperismo e alterações com a idade das propriedades dos materiais, efeitos das práticas construtivas, efeitos das cargas dinâmicas e variabilidade lateral da incidência das cargas de roda. O referido modelo está descrito em Rodrigues (2000).

Foram adotados os seguintes valores para os parâmetros requeridos pelo modelo:

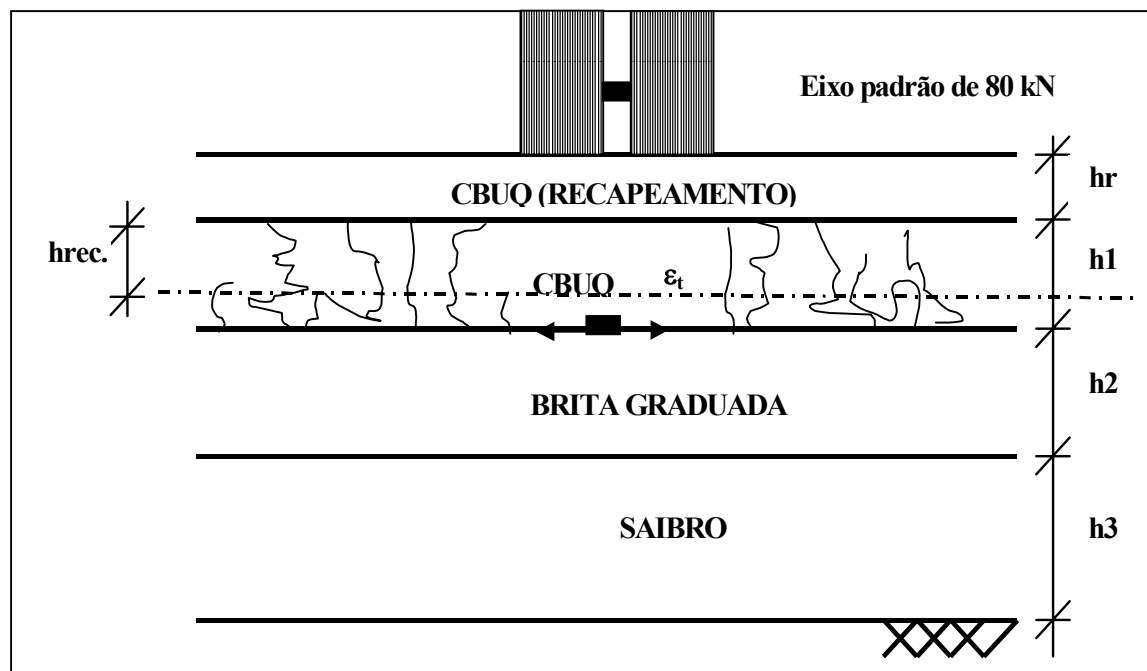
- Nível de Confiabilidade do projeto = 95 %
- Mistura asfáltica tipo CBUQ:
- Volume de vazios de ar = 4 %
- Teor de asfalto em volume = 12 %
- Tipo de asfalto: CAP20 (penetração a 25<sup>o</sup>C igual a 55)
- Diâmetro máximo de agregados = 3/4"
- Percentagem que passa na peneira #200 = 4 %
- Atendimento aos critérios de dosagem do Método Marshall
- Temperaturas médias mensais do ar ao longo do ano:
  - JAN = 23.6 °C
  - FEV = 23.9 °C
  - MAR = 23.8 °C
  - ABR = 19.7 °C



MAI	= 17.6 °C
JUN	= 12.2 °C
JUL	= 12.8 °C
AGO	= 15.0 °C
SET	= 15.0 °C
OUT	= 17.5 °C
NOV	= 19.2 °C
DEZ	= 22.3 °C

➤ A estrutura típica considerada nas análises efetuadas está apresentada na Figura 12

O tráfego de projeto é dado por  $N_{ano} = 1,64 \times 10^7$  repetições anuais do eixo padrão rodoviário de 80 kN, de acordo com os fatores de equivalência de cargas do Método do DNER (USACE), e por  $N_{ano} = 4,95 \times 10^6$  em termos dos fatores de equivalência de cargas da AASHTO.



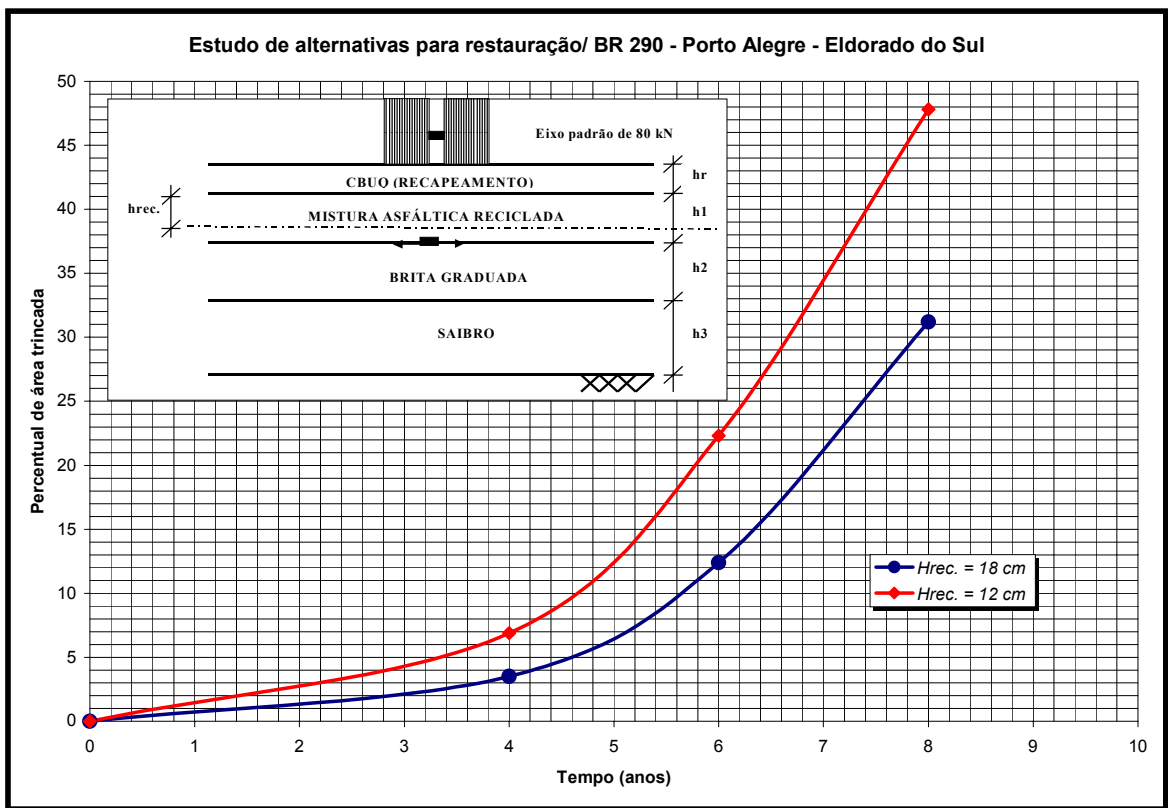
**Figura 12** - Estrutura de referência para análise mecânica das alternativas de restauração

#### 4.2 - Resultados obtidos

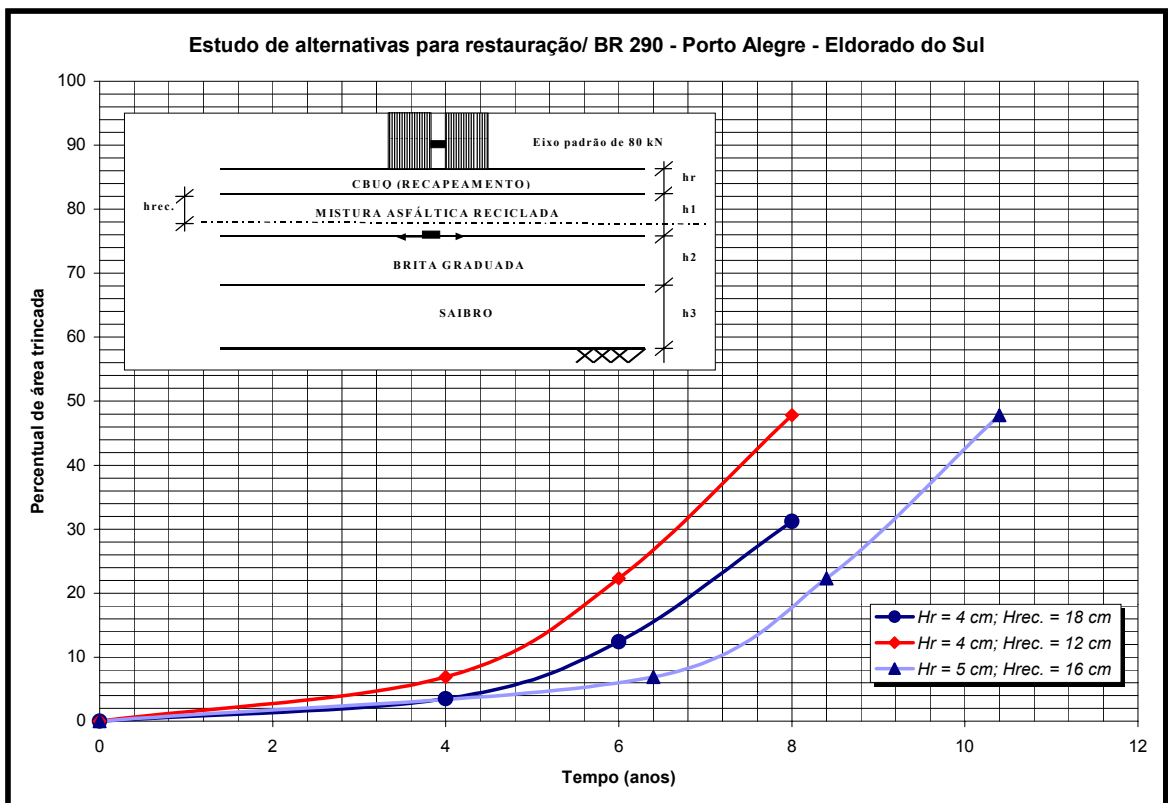
Os resultados obtidos indicam que ao se adotar as seguintes medidas de restauração envolvendo a reciclagem parcial (RC) do revestimento existente e recapeamento (RS) em CBUQ:

- Alternativa 01: Fresagem (6 cm) + RC (12 cm) + RS (4 cm)
- Alternativa 02: RC (18 cm) + RS (4 cm)
- Alternativa 03: RC (16 cm) + RS (5 cm)

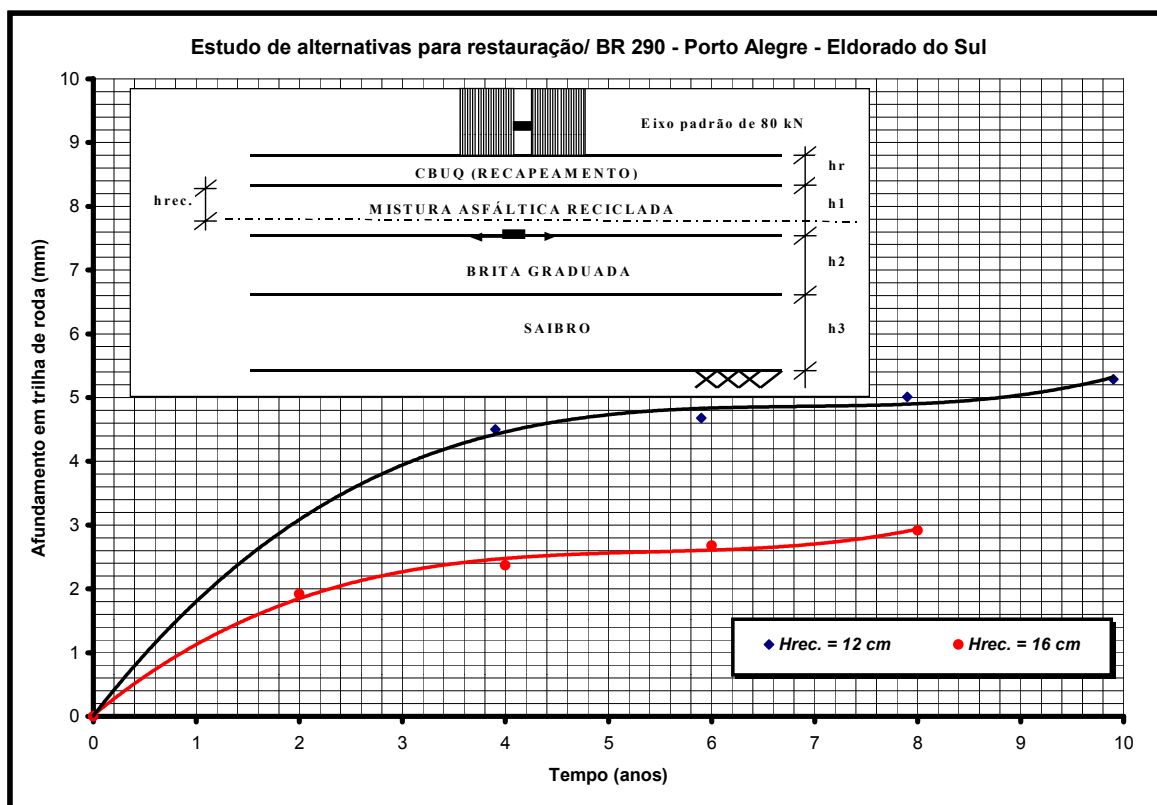
obtem-se a previsão de desempenho mostrada nas Figuras 13 até 15, na forma da evolução futura da porcentagem de área trincada (TR) e dos afundamentos em trilha de roda (ATR). Um valor de área trincada igual a 22 % corresponde à condição em que se tem as duas trilhas de roda completamente ocupadas por trincas de fadiga no padrão couro-de-crocodilo, momento em que o pavimento deve ser restaurado, a fim de evitar degradação posterior mais acentuada da estrutura devido à entrada de águas pluviais através das trincas do revestimento. A partir desta condição, também, não é mais viável o uso de práticas de conservação do tipo selagem de trincas.



**Figura 13 - Previsão da evolução do trincamento por fadiga**



**Figura 14 - Previsão da evolução do trincamento por fadiga**



**Figura 15** - Previsão da evolução da ocorrência de afundamentos em trilha de roda

## 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A restauração do pavimento foi executada nos meses de fevereiro e março do ano de 2001. Desde então, o trecho vem sendo avaliado periodicamente através da realização de ensaios deflectométricos e de investigações da presença de defeitos de superfície. O propósito de tais avaliações é a obtenção de uma melhor compreensão do comportamento estrutural da camada reciclada com espuma de asfalto.

## 6 - AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos a todas as equipes que participaram das etapas de avaliação e restauração do pavimento da rodovia BR 290 no trecho entre Eldorado do Sul e Porto Alegre.

## 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- OECD "Full-scale Pavement Tests", Road Transport Research, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, 1985a.
- Rodrigues, R.M. (2000) Performance Prediction Models for Highway and Airport Pavements in Brasil. *Final Report* FAPESP, São Paulo, SP.
- Ceratti, J. A. e Gonçalves, F. P. Relatório do projeto de engenharia de restauração rodoviária do trecho Eldorado do Sul/Porto Alegre da rodovia BR 290, agosto de 2000.