

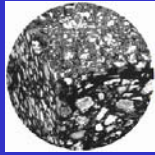
consulpav

Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.

OBSERVAÇÕES SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE MISTURAS BETUMINOSAS

Doutor Eng.º Jorge B. Sousa,
Prof. Kamil Kaloush,
Eng.º George Way

IV CONGRESSO RODOVIÁRIO PORTUGUÊS

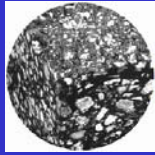


consulpav

Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.

ÚLTIMOS 12 ANOS

- SHRP - *Strategic Highway Research Program*
(terminou em 1993)
- NCHRP 9-19 - *National Cooperative Highway Research Program* (terminou em 2003)

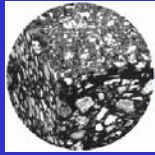


consulpav

Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.

ALGUNS DESENVOLVIMENTOS RECENTES

- Ensaio de Corte Directo
- Ensaio de Flexão por Fadiga a Quatro Pontos
- TSRST
- Giratório Superpave
- Guia de Dimensionamento de Pavimentos AASHTO de 2002
- Ensaio de Avaliação de Desempenho Directo (Ensaio Uniaxial Dinâmico por Fluência)
- Processos de Envelhecimento e Exposição a Humidade

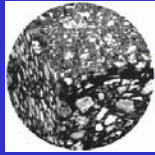


consulpav

Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.

SISTEMAS BASEADOS EM ÍNDICES DE DESEMPENHO

- Preparação da amostra
- Condicionamento da amostra prévio ou durante o ensaio
- Realização do ensaio de avaliação de desempenho no laboratório (ou no local)
- Incorporação dos resultados do ensaio num modelo ou formulação
- Correlação do modelo com o comportamento real no local



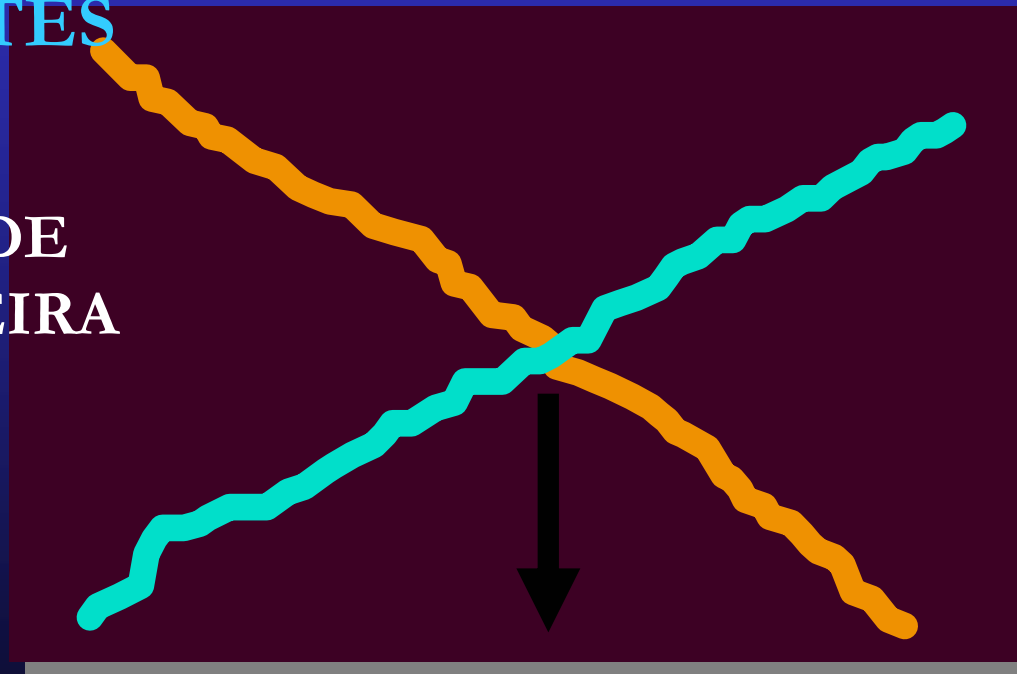
consulpav

Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.

FORMULAÇÃO DE MISTURAS BASEADA EM ÍNDICES DE DESEMPENHO

DEFORMAÇÕES
PERMANENTES

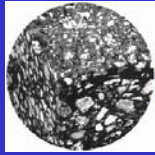
NEEP /
PROFUNDIDADE
CAVADO RODEIRA



FADIGA

NEEP /
%FENDAS

- TEOR DE BETUME +



consulpav

Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.

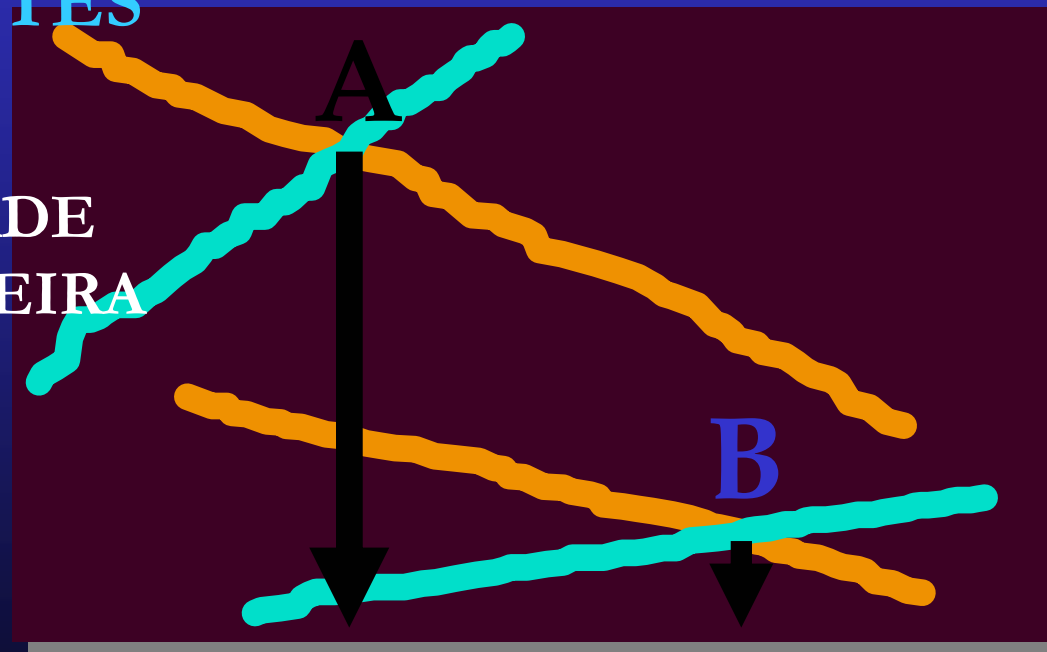
FORMULAÇÃO DE MISTURAS BASEADA EM ÍNDICES DE DESEMPENHO

DEFORMAÇÕES PERMANENTES

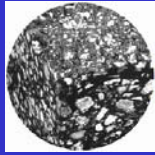
NEEP /
PROFUNDIDADE
CAVADO RODEIRA

FADIGA

NEEP /
%FENDAS



- TEOR DE BETUME +



consulpav

Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.

FORMULAÇÃO DE MISTURAS BASEADA EM ÍNDICES DE DESEMPENHO

DEFORMAÇÕES
PERMANENTES

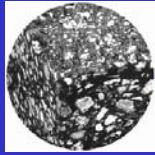
NEEP /
PROFUNDIDADE
CAVADO RODEIRA



FADIGA

NEEP /
%FENDAS

- TEOR DE BETUME +

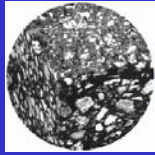


consulpav

Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.

No desenvolvimento de ensaios de avaliação de desempenho têm sido considerados os seguintes factores

- **Fiabilidade do parâmetro do ensaio, de modo a distinguir o comportamento de uma vasta gama de misturas**
- **Repetibilidade do ensaio e sensibilidade do parâmetro do ensaio a diferentes variáveis da mistura**
- **Complexidade do procedimento de ensaio**
- **Custo do equipamento e requisitos de preparação do ensaio**
- **Tempo de ensaio necessário para completar o programa de ensaio**
- **Nível técnico ou experiência requerida ao operador**



consulpav

Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.

ENSAIO	SHRP	NCHRP	OBSERVAÇÕES
Compactação Laboratorial dos Provetes	Cilindo de Rasto Liso	Giratória Superpave	NCHRP foi mandatada para usar Amostras Giratórias. O equipamento foi re-desenhado para acomodar amostras de maiores dimensões de onde as mesmas são extraídas (sondagem à rotação)
Ensaio para determinação da Rigidez das misturas	Frequências de Varrimento ao Corte a Altura Constante e a diferentes temperaturas	Ensaio de Compressão Dinâmica Uniaxial a diferentes frequências e temperaturas	

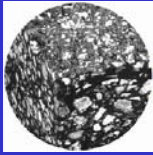
ENSAIO	SHRP	NCHRP	OBSERVAÇÕES
Ensaio para determinação das Propriedades na Fadiga das Misturas	Ensaio de Flexão Simples a Quatro Pontos	Ensaio de Flexão Simples a Quatro Pontos	Ensaio realizado a temperatura representativa do local de construção e com diferentes níveis de extensão
Ensaio para Determinação da Deformação Permanente	Ensaio Cíclico de Corte Directo a Altura Constante	Ensaio de Compressão Uniaxial por Fluência	Ensaio realizado a temperatura elevada representativa do local de construção
Ensaio para Determinar Fendilhamento a Baixas Temperaturas	TSRST	Ensaio de Tracção Indirecta por Fluência e de Resistência Mecânica / Módulo Dinâmico	

ENSAIO	SHRP	NCHRP	OBSERVAÇÕES
Método de Envelhecimento da Mistura para simular o envelhecimento em Central Betuminosa	STOA	STOA	
Método de Envelhecimento da Mistura para simular o envelhecimento em Serviço	LTOA - 85 °C durante 5 dias	Em investigação	
Degradação devida à Humidade	ECS	Em investigação	
Ensaio para determinar a Resistência à Reflexão de Fendas	Não abordado. Nenhum ensaio proposto	Modelo inserido no Guia de Dimensionamento da AASHTO de 2002. Nenhum ensaio proposto	Não abordado. Nenhum ensaio proposto

ENSAIO	SHRP	NCHRP	OBSERVAÇÕES
Método para realizar Ensaios de Controlo de Qualidade dos indicadores de desempenho relativos à deformação permanente	Carotes extraídas do local e ensaiadas ao Corte a temperatura elevada representativa	Critérios em Desenvolvimento	
Método para realizar Ensaios de Controlo de Qualidade dos indicadores de desempenho relativos à fadiga	Vigas extraídas do local e sujeitas ao Ensaio Flexural de Fadiga	Vigas extraídas do local e sujeitas ao ensaio de flexão para determinação da vida à fadiga	
Método para realizar Ensaios de Controlo de Qualidade das propriedades de rigidez	Ensaios de Corte ou Flexão em carotes ou vigas extraídas no local	Rigidez Flexural correlacionada com Rigidez Uniaxial	



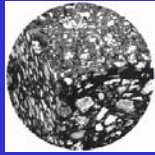
FABRICO DOS PROVETES



consulpav

Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.





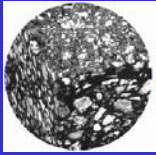
consulpav

Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.

DEFORMAÇÕES PERMANENTES – FLUXO DE CORTE PLÁSTICO A VOLUME CONSTANTE



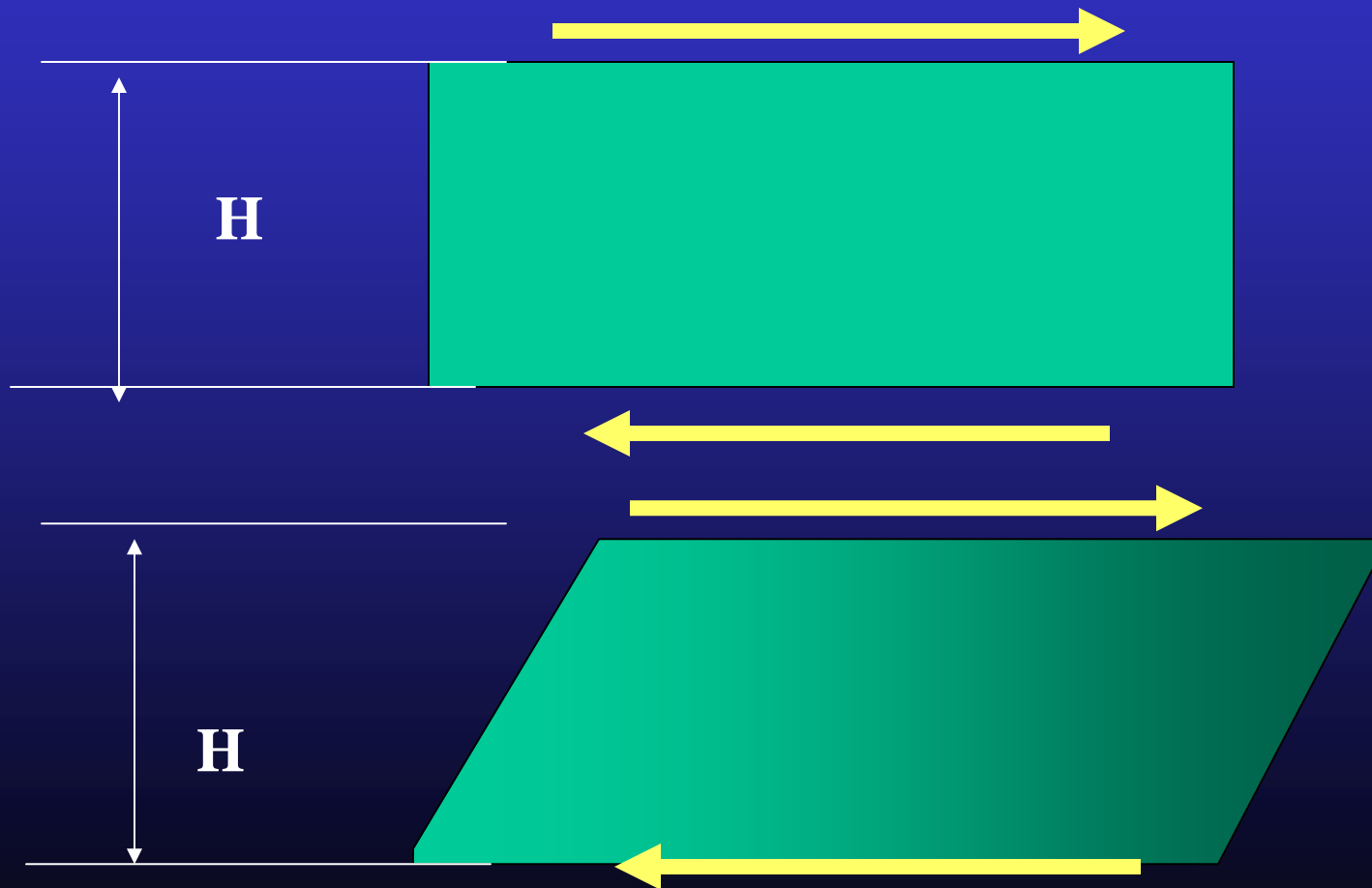
ENSAIOS DE DEFORMAÇÃO PERMANENTE

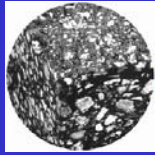


consulpav

Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.

ENSAIO CÍCLICO DE CORTE DIRECTO A ALTURA CONSTANTE



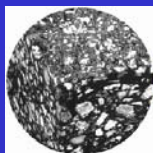


consulpav

Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.



IV CONGRESSO RODOVIÁRIO PORTUGUÊS



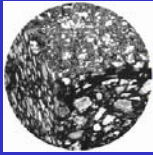
consulpav

Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.

LVDT station 3

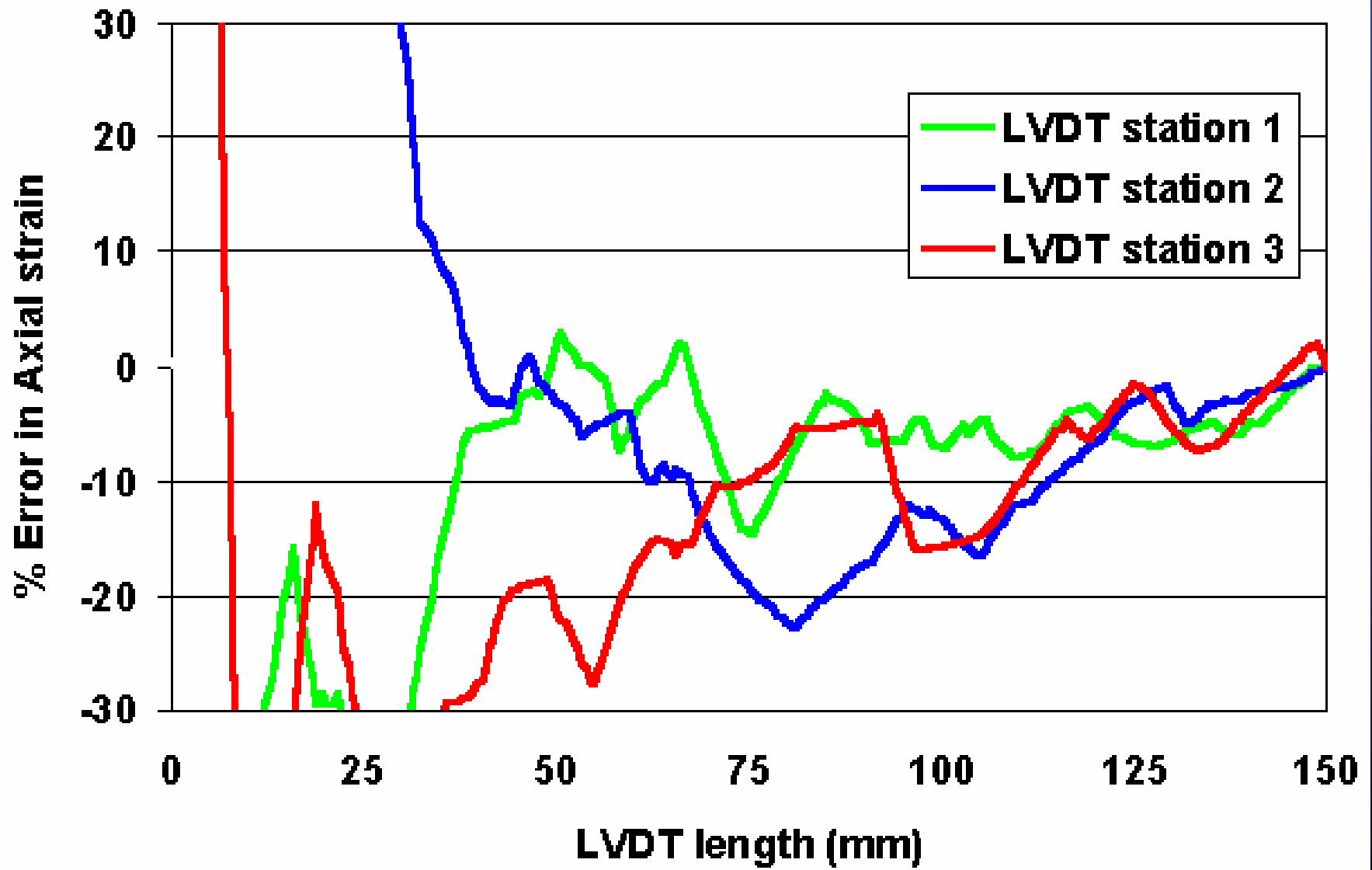
LVDT station 2

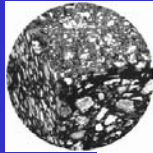
LVDT station 1



consulpav

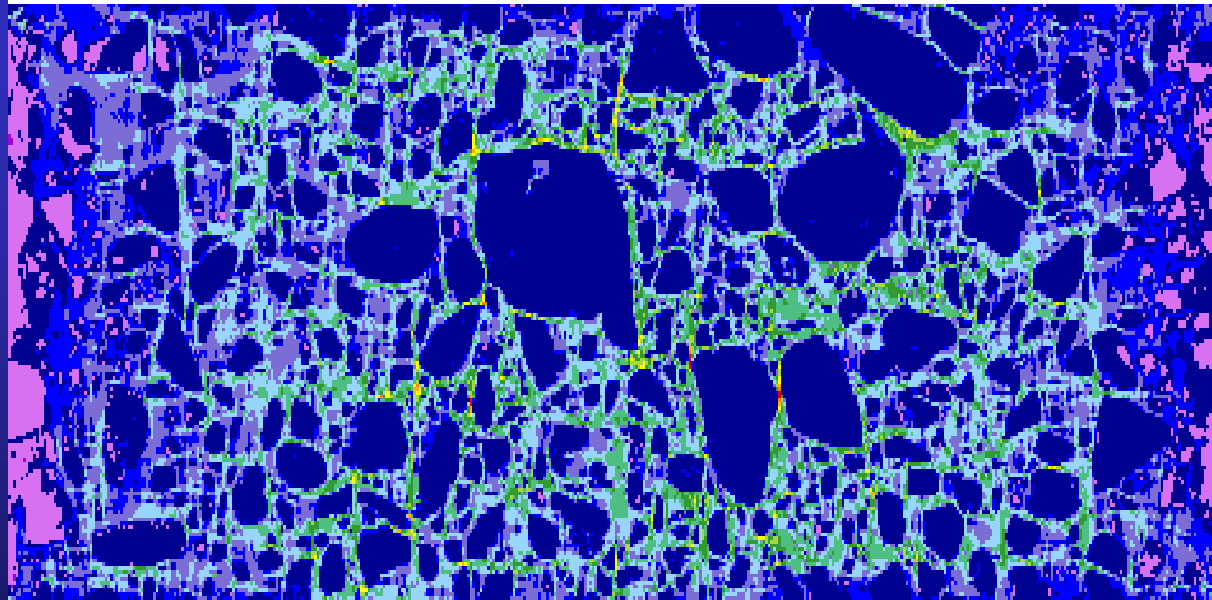
Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.





consulpav

Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.



STRAIN 12

Max value

5.397e-02

5.002e-02

4.561e-02

4.121e-02

3.68e-02

3.24e-02

2.799e-02

2.359e-02

1.918e-02

1.478e-02

1.037e-02

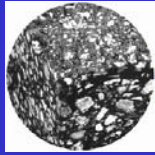
5.967e-03

1.562e-03

-2.843e-03

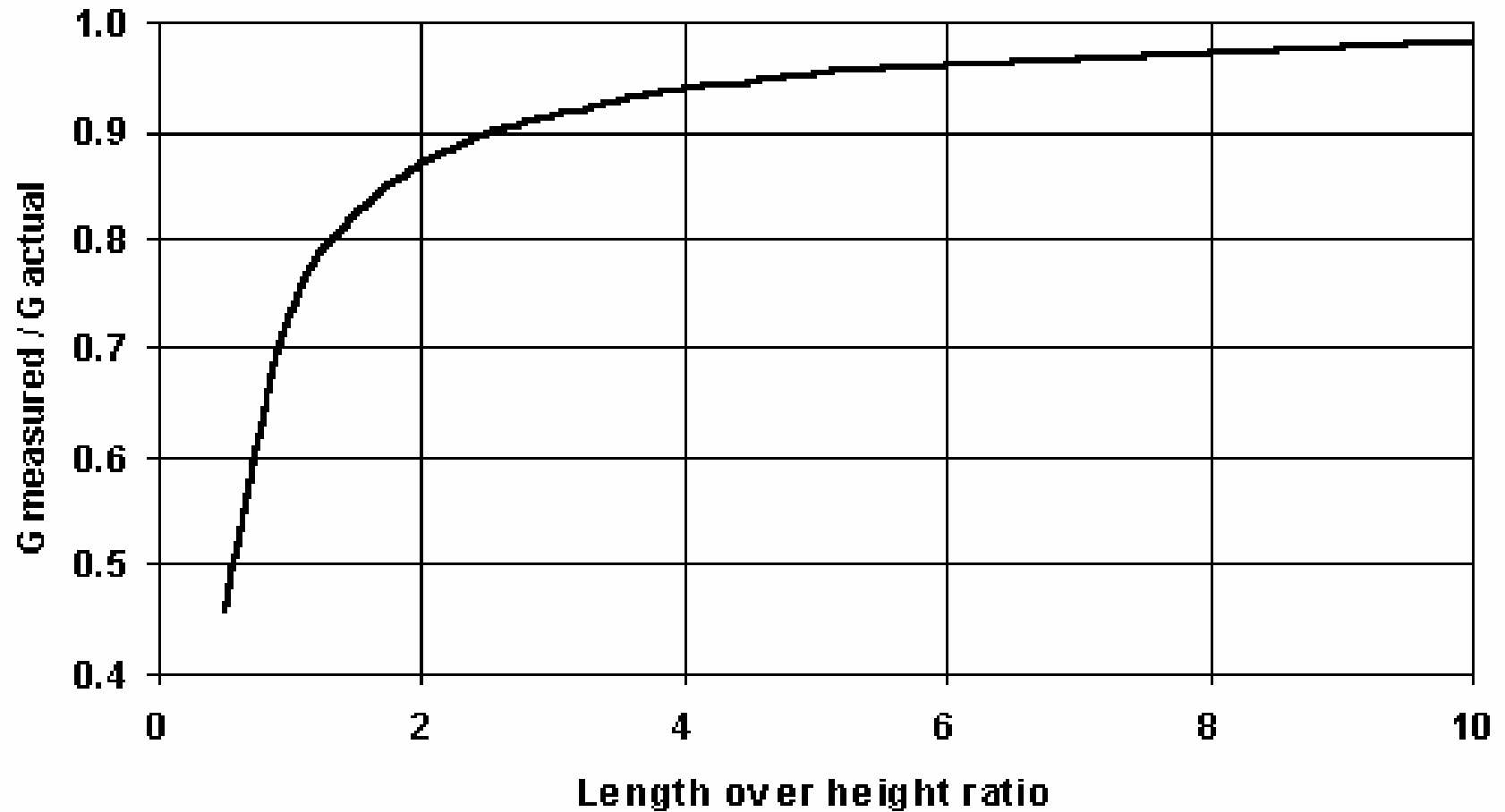
-6.793e-03

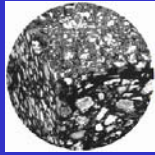
Min value



consulpav

Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.

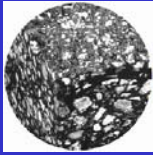




consulpav

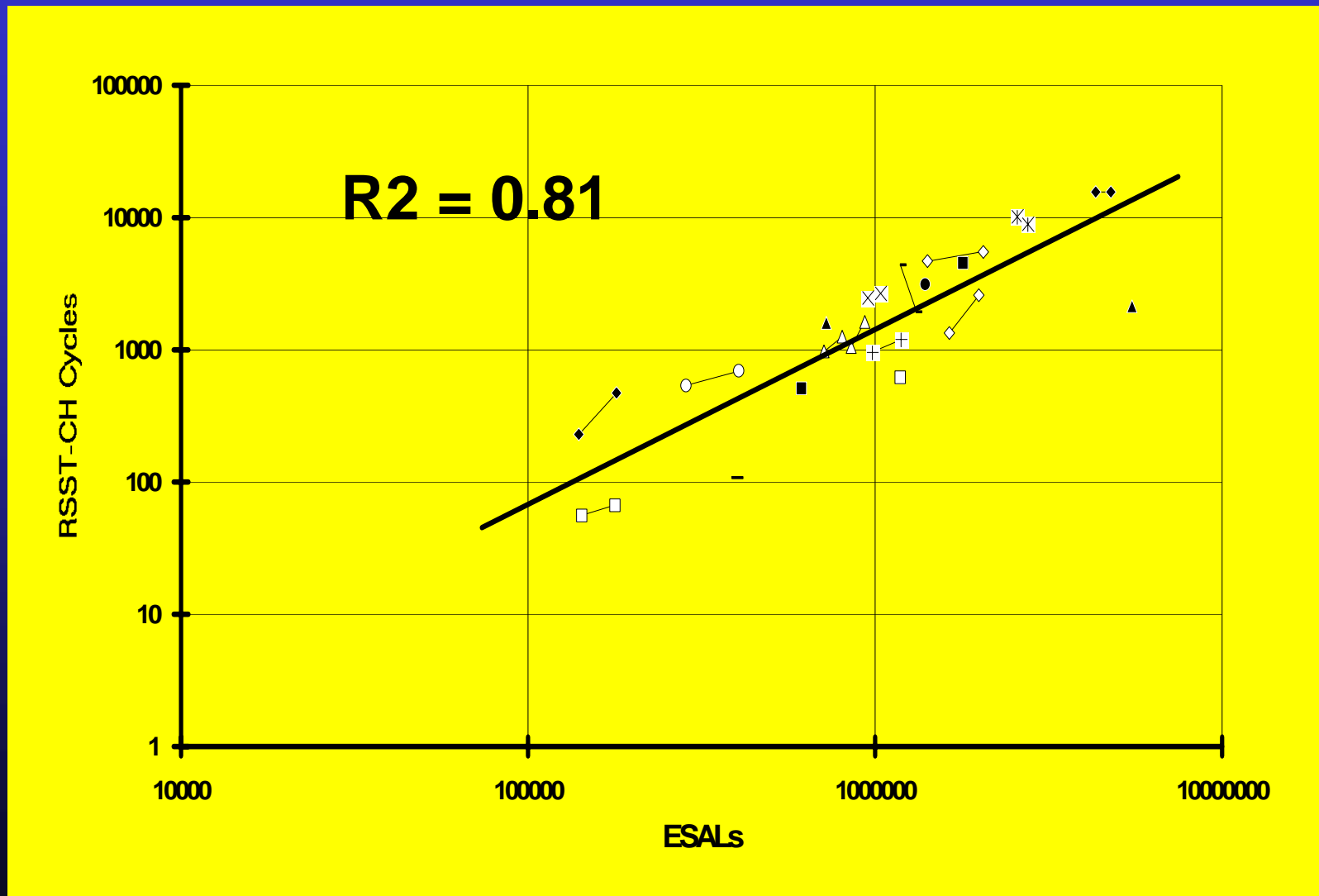
Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.

MODELOS E CORRELAÇÕES



consulpav
Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.







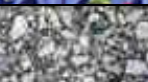
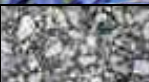
















SHRP - 1993 MODELO DE DEFORMAÇÕES PERMANENTES





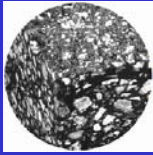
7 Asphalt Binders



											
											
CR-AZ ---- 70-22	PG 70-22 Control	Air Blown	SBS LG	CR-TB	TP	PG 70-22 + Fibers	PG 70-22	SBS 64-40	Air Blown	SBS LG	TP
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

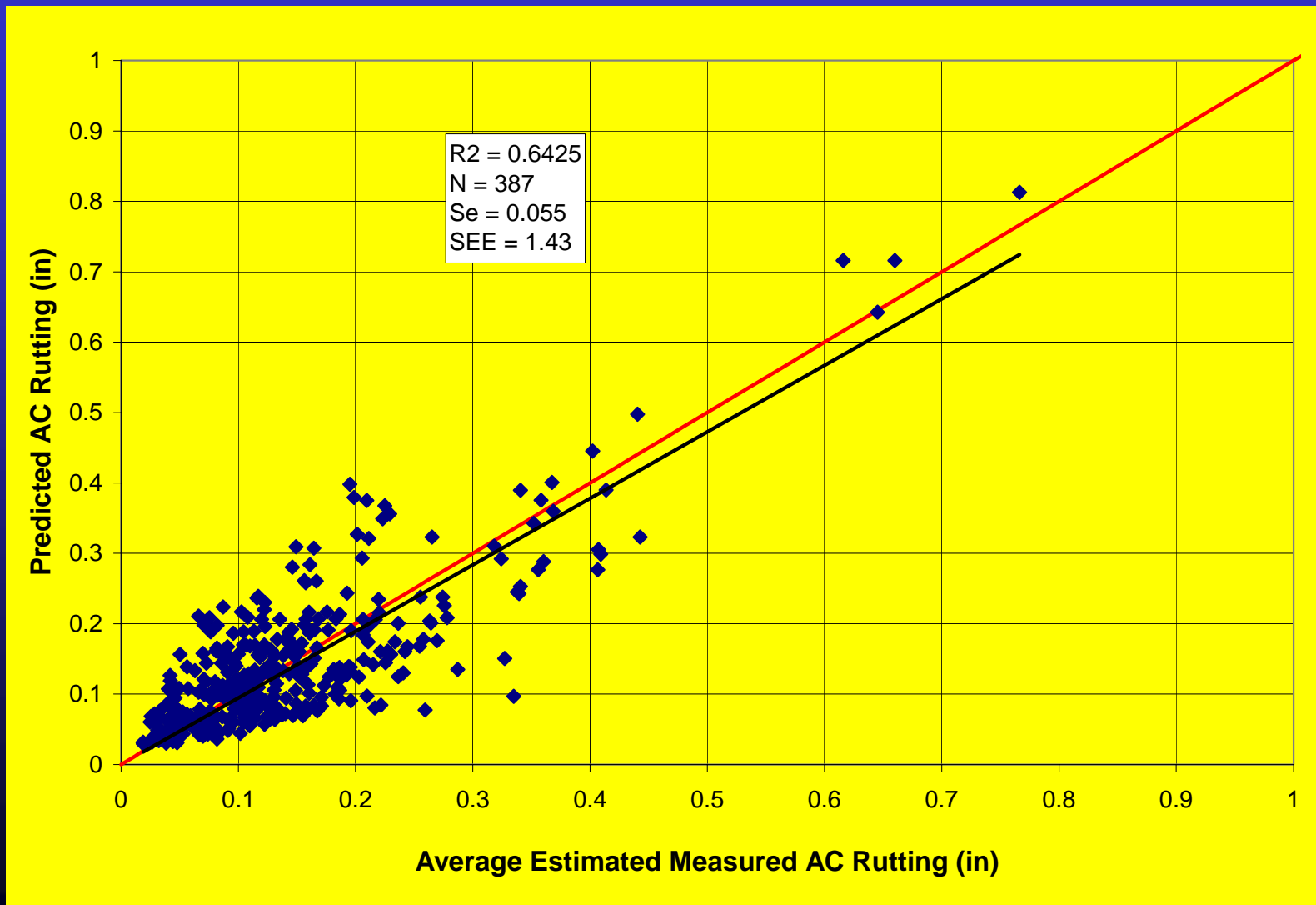
ALF 2004 - Thick Sections – 6"

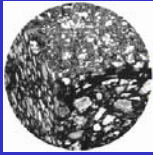
		Rut Depth in AC Layer (mm)	Slope - $\frac{\text{Log(Rut)}}{\text{Log(P)}}$	Rut Depth in AC Layer after 40,000 Passes (mm)	Strain in AC Layer after 40,000 Passes (mm/mm)	Number of Passes to get 10% strain (Passes)
Lanes 8-12 6"- Section s	French PRT Total Rut Depth (mm) at 60,000 Passes & 74° C	0.01	0.02	0.00	0.00	0.22
	Hamburg - Load App.'s (Passes) to 10mm Rut & 64° C	0.06	0.00	0.04	0.04	0.01
	Superpave SST - Cycles to 2% Strain Failure & 74° C	0.71	0.49	0.76	0.76	0.82



consulpav
Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.

AASHTO MODELO DE DEFORMAÇÃO PERMANENTE DE 2002

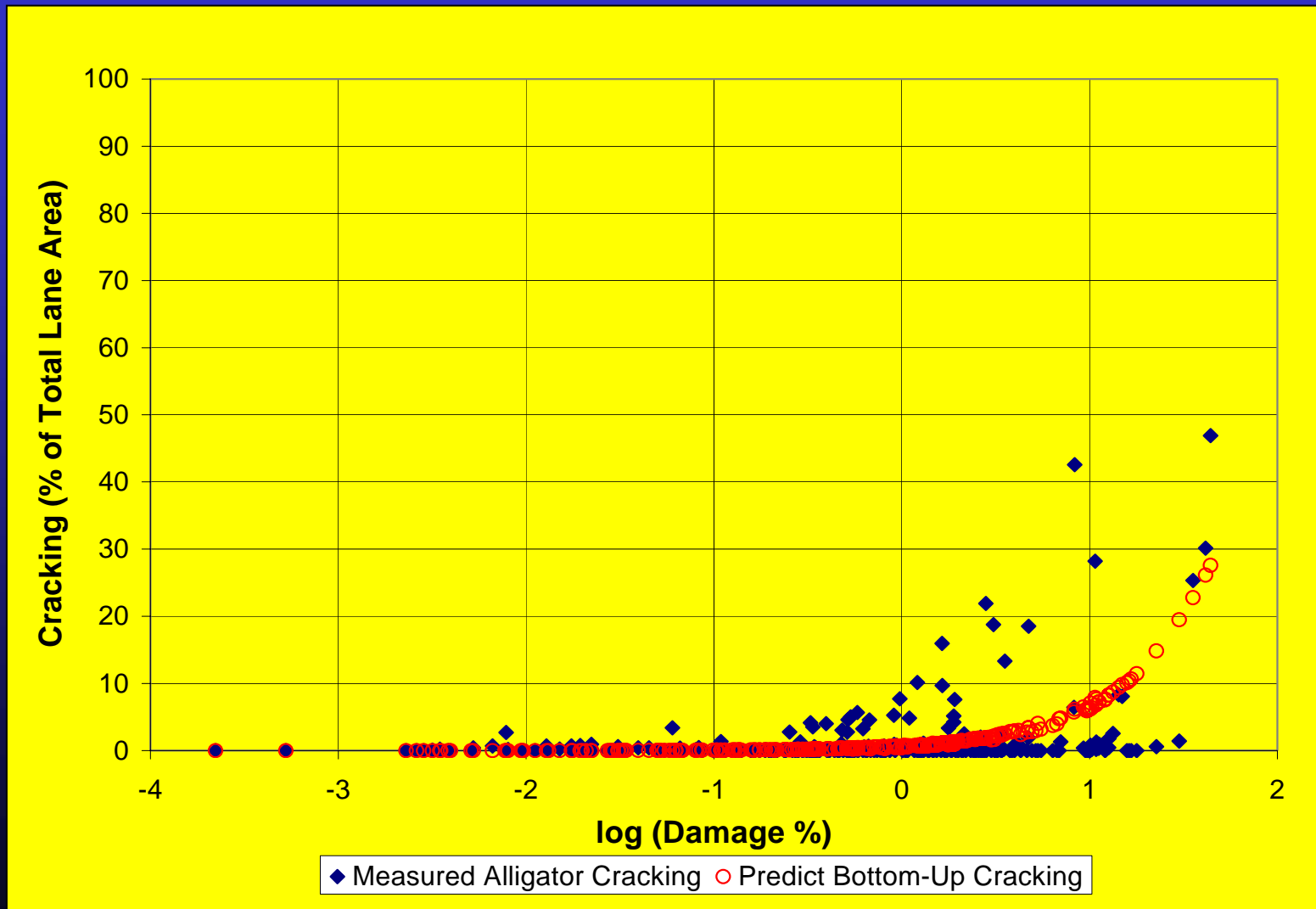


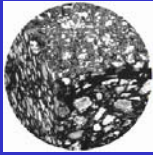


consulpav

Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.

AASHTO MODELO DE FADIGA DE 2002

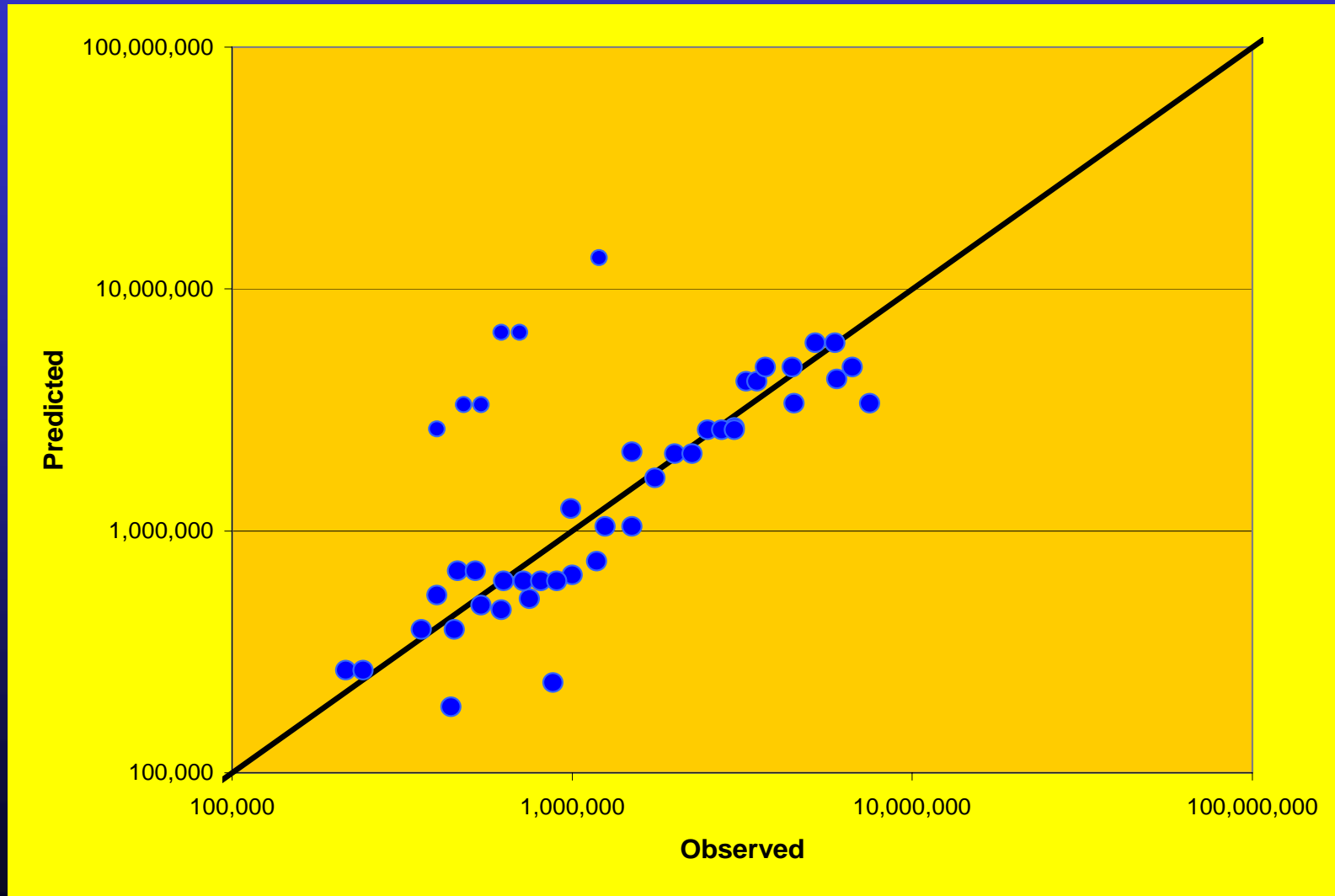


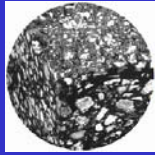


consulpav

Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.

MODELO DE REFLEXÃO DE FENDAS - RPA



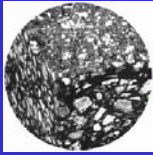


consulpav

Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.

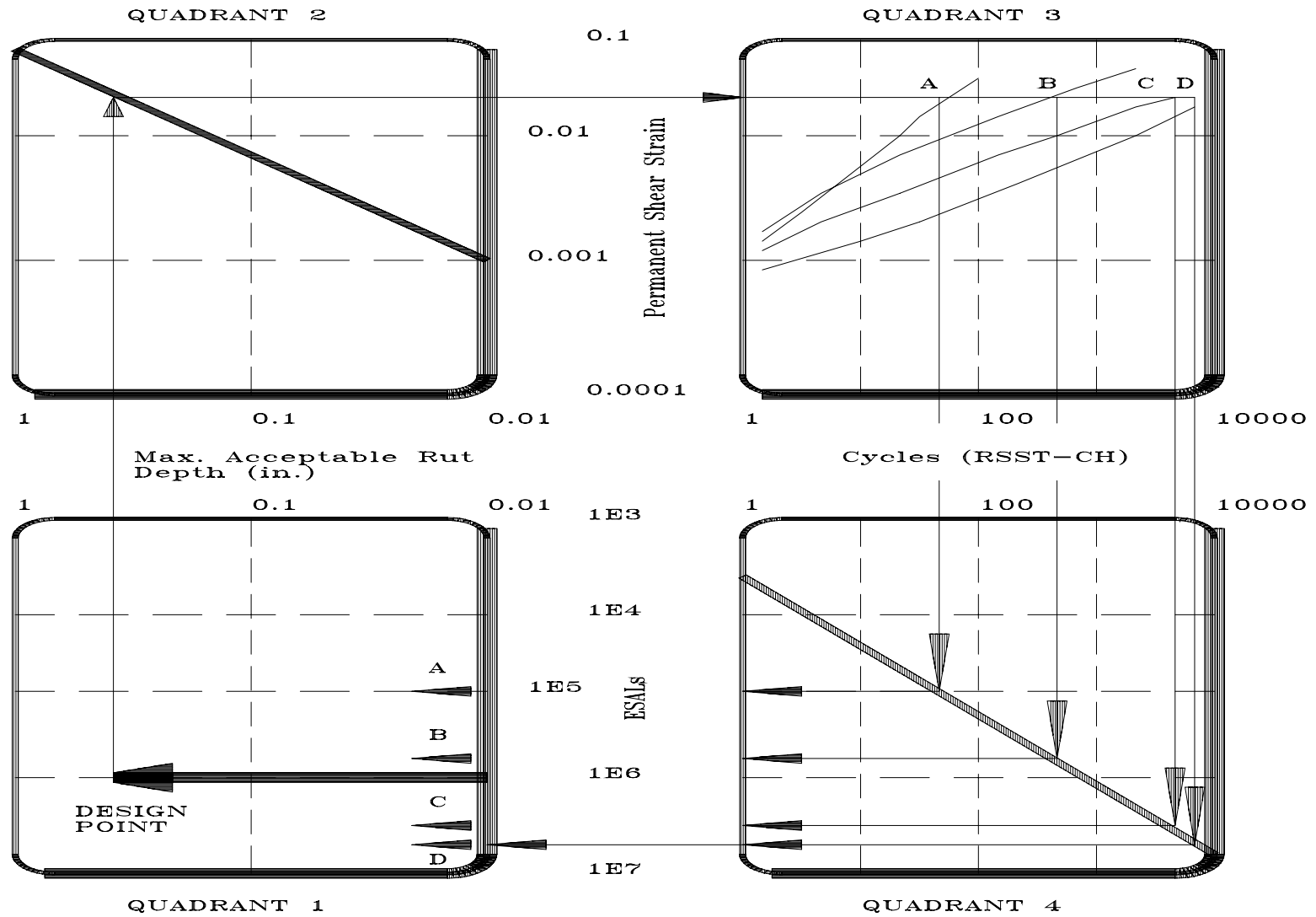
ESFORÇOS DE AVALIAÇÃO DO ARIZONA

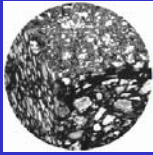
- 33 Secções-Teste projectadas com recurso ao Procedimento RSST-CH (Ensaio Cíclico de Corte Directo a Altura Constante)
 - Em algumas utilizaram-se carotes extraídas directamente do pavimento
 - Em algumas utilizaram-se cilindro de rasto liso
 - Em algumas utilizaram-se Superpave Giratório



consulpav

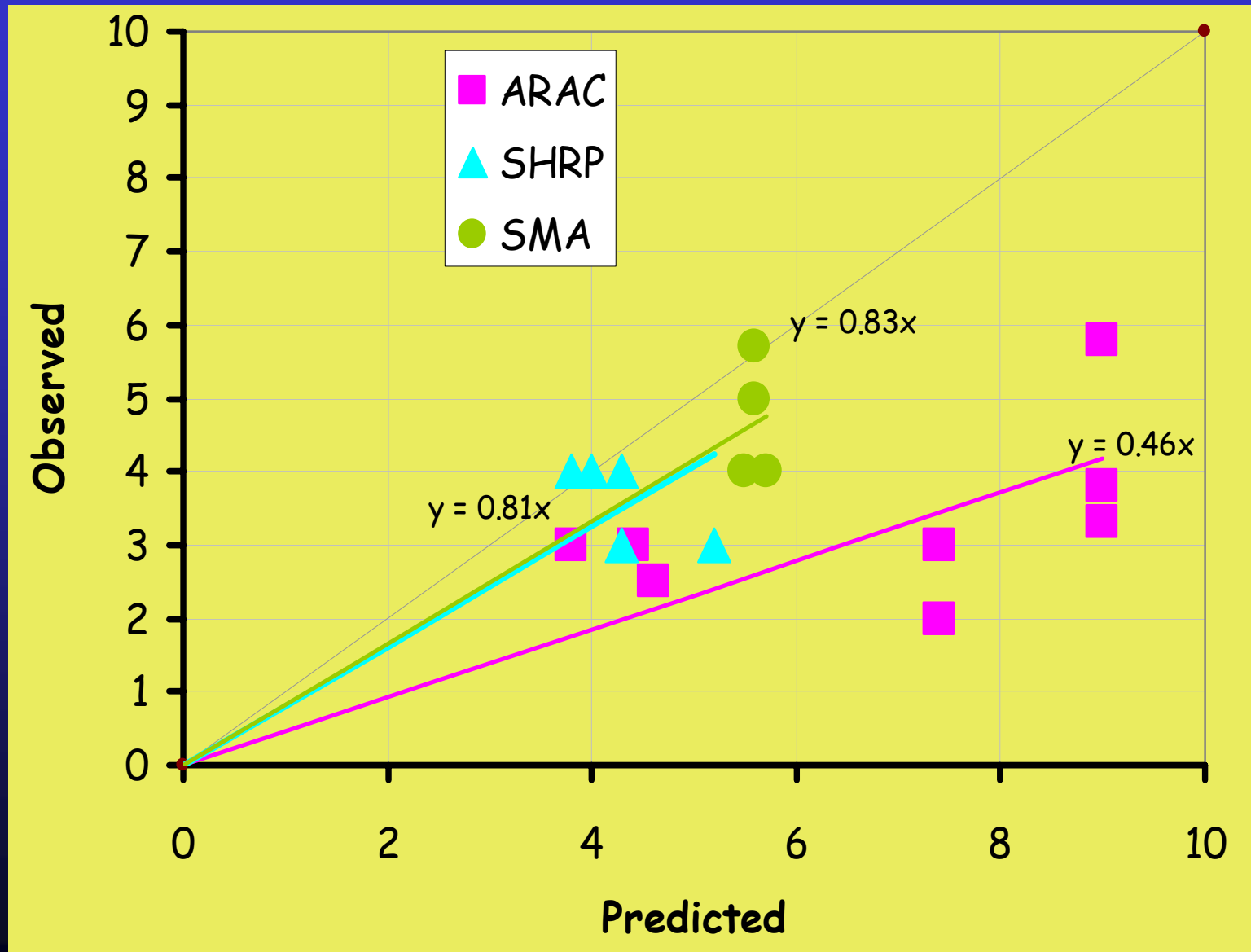
Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.

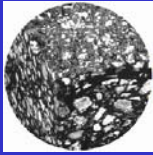




consulpav

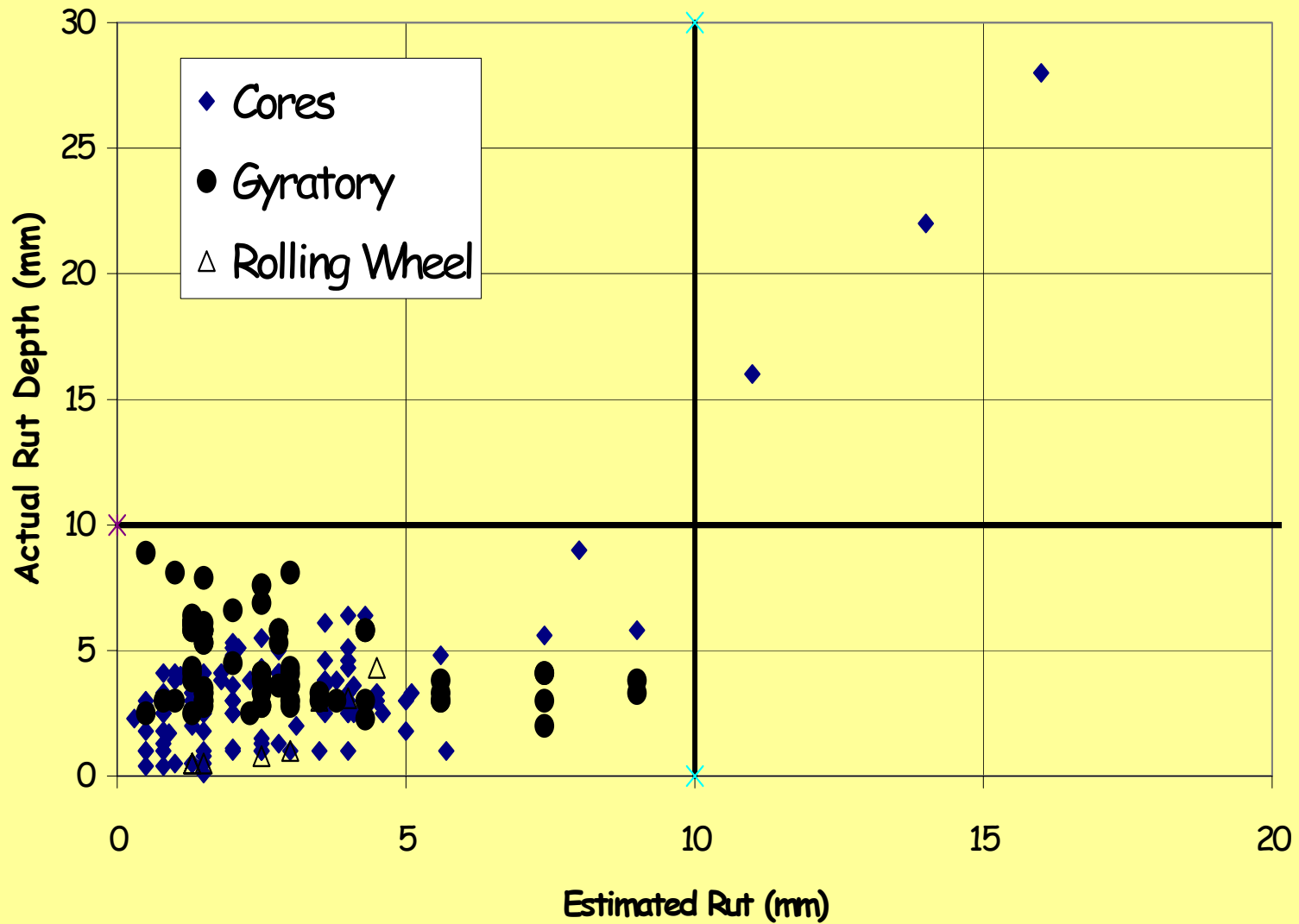
Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.

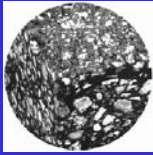




consulpav

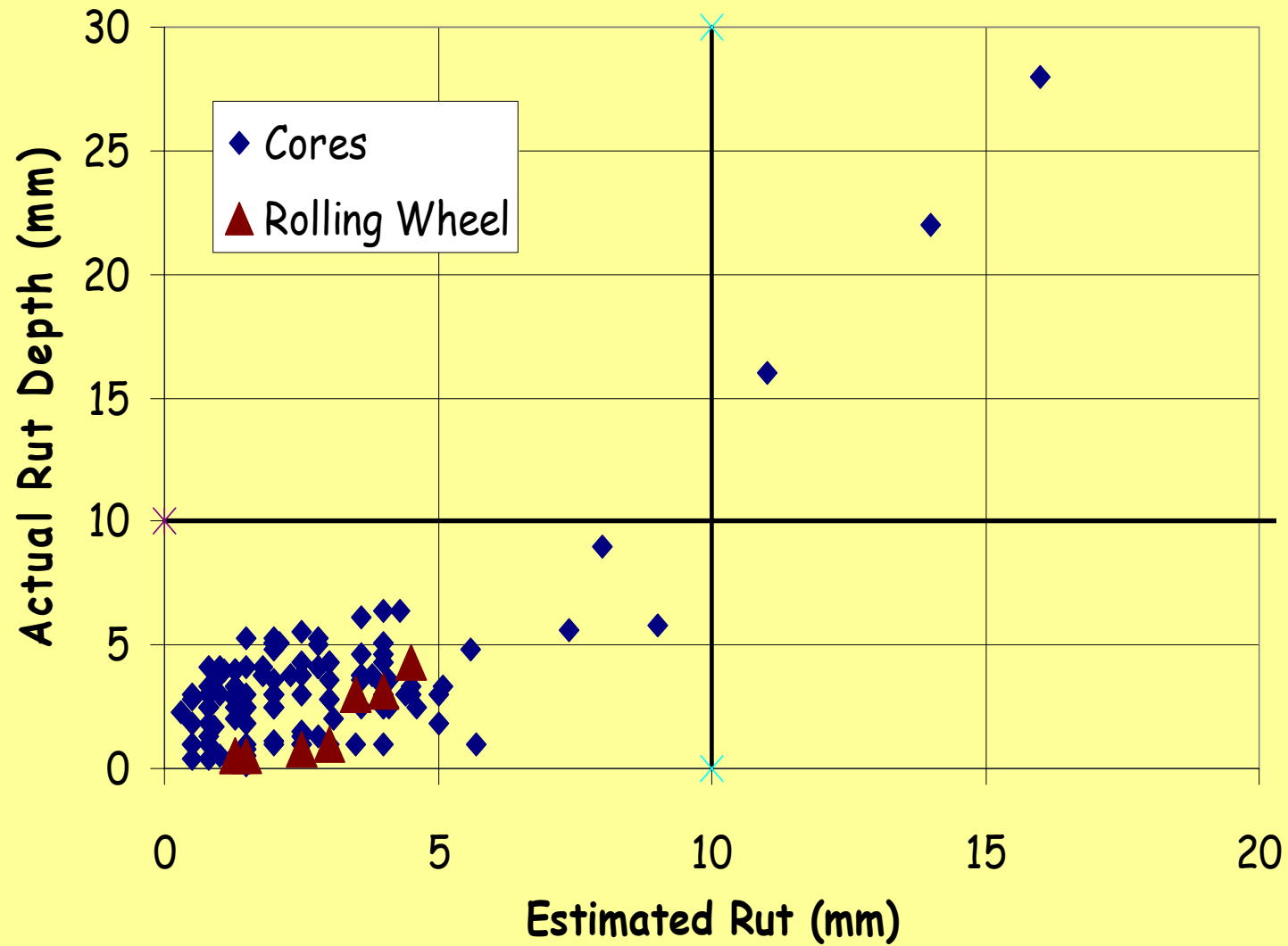
Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.

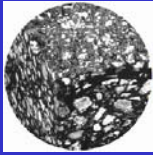




consulpav

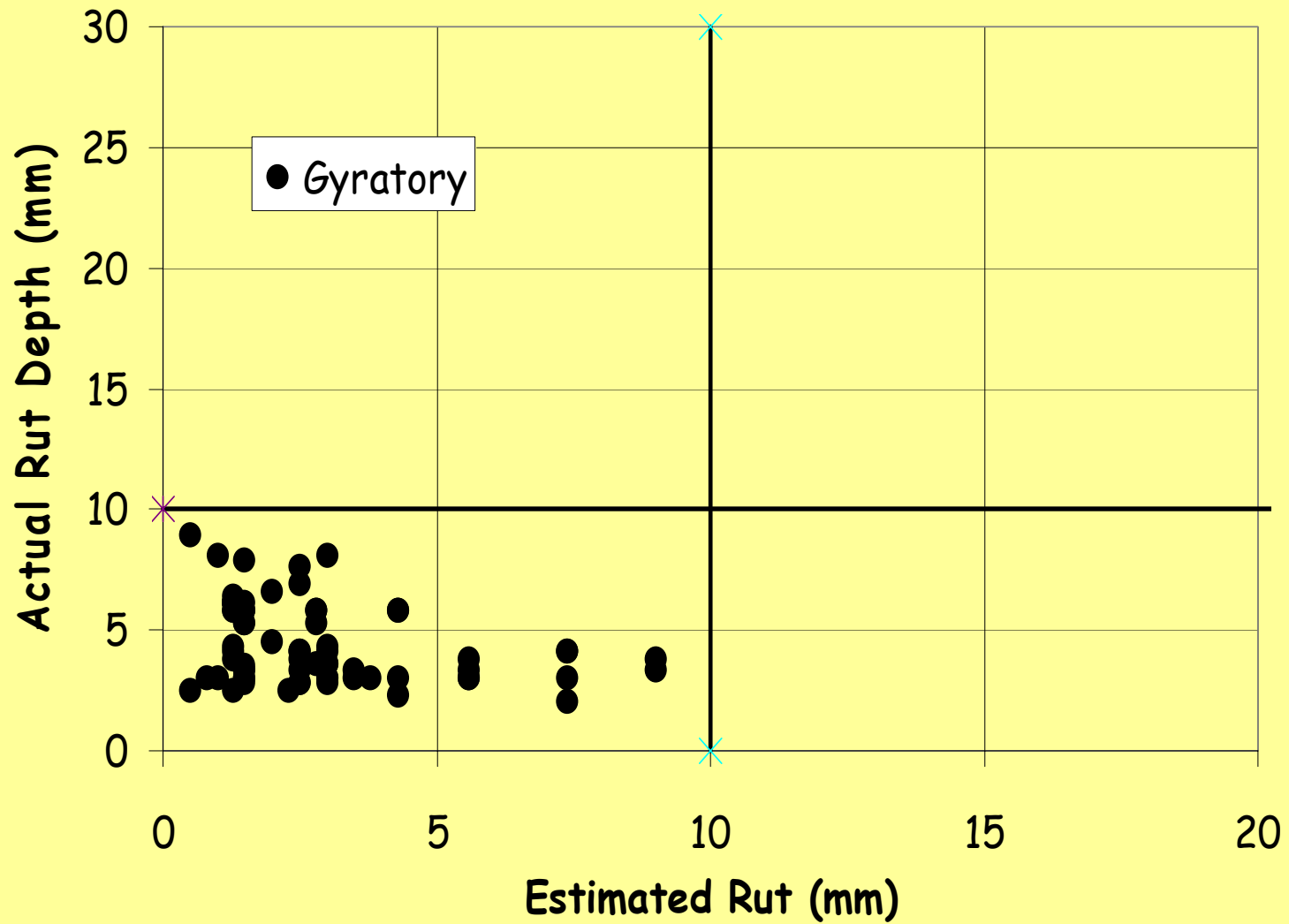
Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.

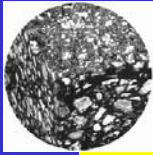




consulpav

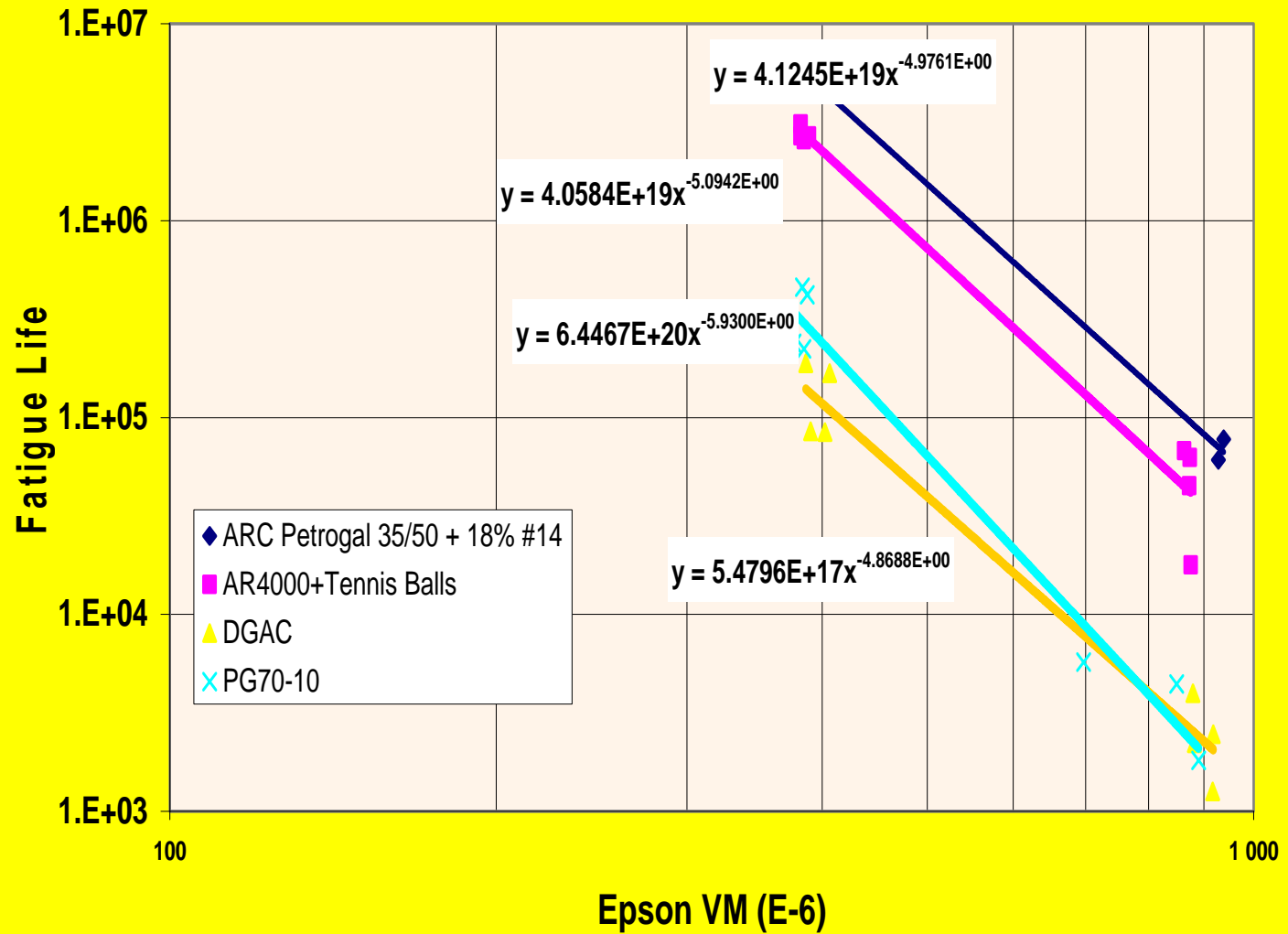
Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.

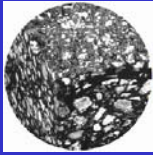




consulpav

Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.

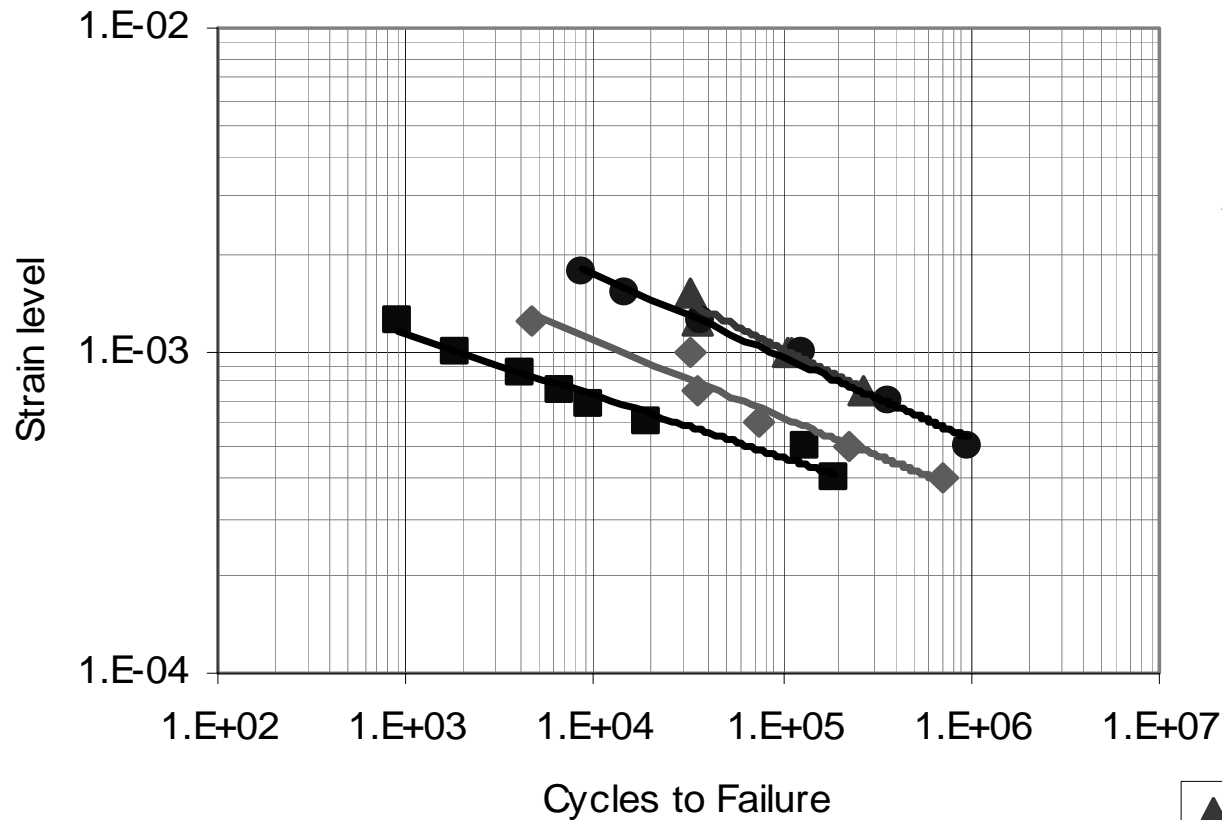




consulpav

Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.





















Fatigue Relationships at Control Strain, 70°F and at 50% of Initial Stiffness



- ALR_9.7% AV**
 $y = 0.0279x^{-0.2885}$
 $R^2 = 0.9548$
 - AR-ACFC_18% AV**
 $y = 0.0181x^{-0.2552}$
 $R^2 = 0.9827$
 - ARAC_11% AV**
 $y = 0.0096x^{-0.2381}$
 $R^2 = 0.9329$
 - SRB PG76-16_7%**
 $y = 0.0041x^{-0.1894}$
 $R^2 = 0.9618$
-
- ▲ Alberta AR
 - Arizona AR-ACFC
 - ◆ Arizona ARAC
 - SRB PG76-16

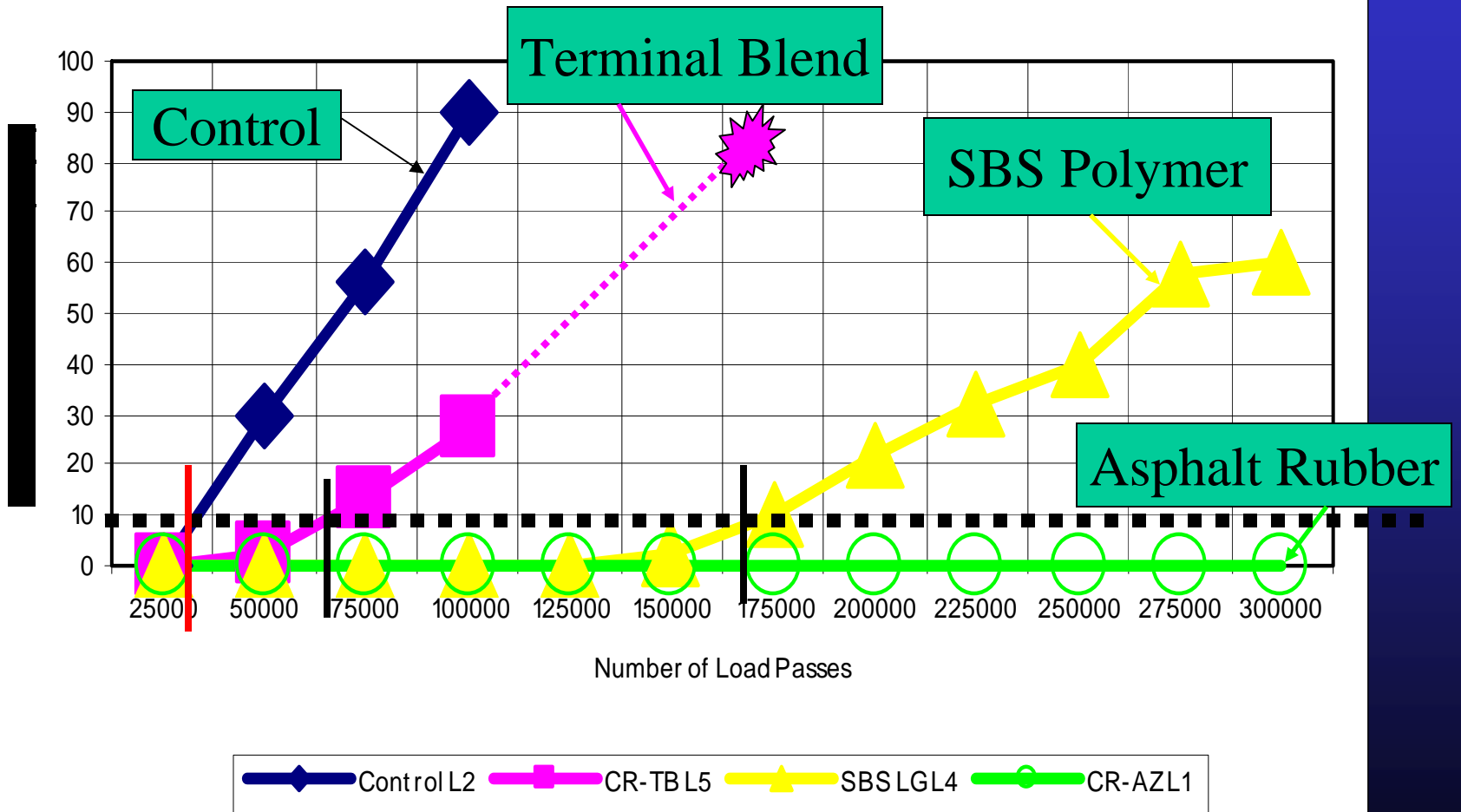
7 Asphalt Binders



											
											
CR-AZ ----- 70-22	PG 70-22 Control	Air Blown	SBS LG	CR-TB	TP	PG 70-22 + Fibers	PG 70-22	SBS 64-40	Air Blown	SBS LG	TP
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

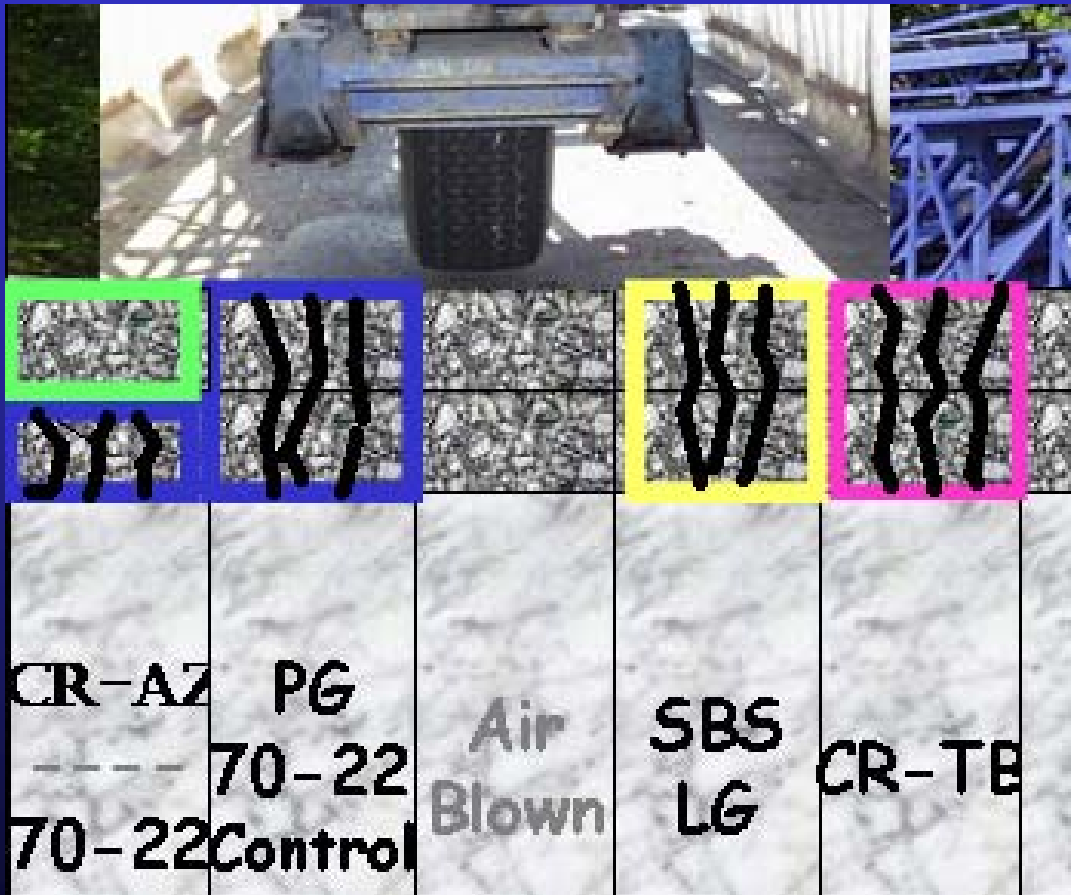
ALF Test Results 2004

TPF-5(019) Accelerated Loading Facility Status Report Jan. 2005

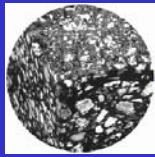


- One more new Pavement Design Criteria

- Reflective Cracking !!!!



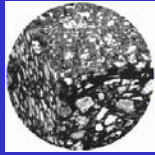
CONCLUSÕES



consulpav

Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.

- Alcançaram-se progressos bastante significativos via à caracterização de ensaios, métodos e metodologias de análise e previsão de algumas das formas de ruína do pavimento
- O conceito base da utilização de diferentes métodos de ensaio, para determinação de parâmetros chave em diferentes modelos aparenta ter sido eficaz na previsão do comportamento do pavimento
- Alguns aspectos relativos ao condicionamento das amostras, tal como envelhecimento a longo prazo e degradação devida ao teor em humidade, parecem carecer de investigação adicional
- Aparenta ser altamente improvável que todos os aspectos cruciais referentes ao comportamento de uma mistura betuminosa e ao desempenho de um pavimento, possam ser inferidos ou medidos a partir de um único ensaio “simples” de avaliação de desempenho



consulpav

Consultores e Projectistas de Pavimentos, Lda.

OBSERVAÇÕES SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE MISTURAS BETUMINOSAS

Doutor Eng.º Jorge B. Sousa,
Prof. Kamil Kaloush,
Eng.º George Way

IV CONGRESSO RODOVIÁRIO PORTUGUÊS