

# AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA DE UM TRECHO RODOVIÁRIO POR MEIO DE LEVANTAMENTOS DEFLECTOMÉTRICOS E RETROANÁLISE



**Antônio Alves Ferreira Júnior**

**Arielton Fonteles Araújo**

Tribunal de Contas do Estado do Ceará (TCE/CE)

# SUMÁRIO

- Objetivos;
- Apresentação da Obra Seleccionada;
- Metodologia;
- Resultados;
- Conclusões.

# OBJETIVOS

- Avaliar a qualidade da estrutura do pavimento por meio de ensaios defletoométricos e retroanálise;
- Verificar a conformidade entre as propriedades mecânicas das camadas do pavimento e as faixas de valores considerados admissíveis na literatura consultada;
- Avaliar a vida útil do pavimento estimada.

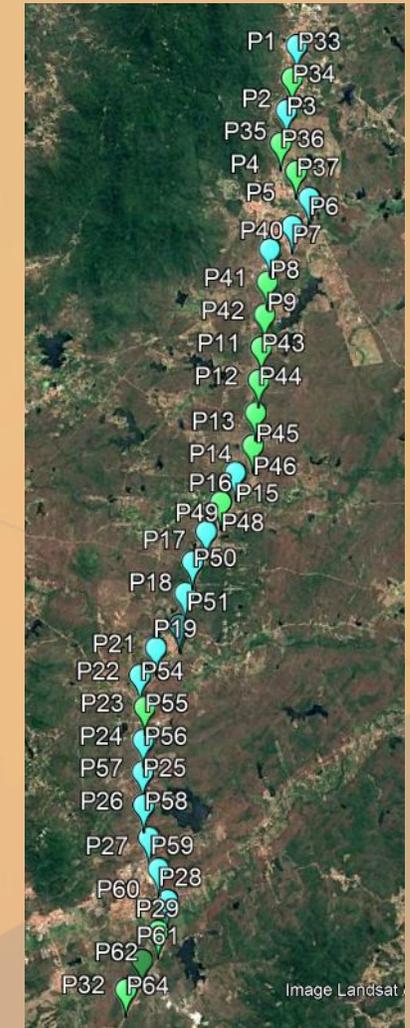
# CARACTERÍSTICAS GERAIS DA OBRA

- Rodovia em pista dupla com duas faixas de Rolamento e extensão de 37,94 km.
- Tipologia da Obra: Construção, Reconstrução e Restauração
- Custo de Execução da Obra: R\$ 82 milhões;
- Número N de Projeto:  $1,35 \times 10^7$ ;



# METODOLOGIA: Levantamento de Campo

- *FWD* com placa circular de 30 cm de diâmetro e 7 geofones;
- 32 ensaios deflectométricos a cada 1 km de pavimento na trilha de roda externa da faixa da direita de cada uma das pistas (DNER PRO 273/96 ), totalizando 64 ensaios;



# METODOLOGIA: Critério de Análise das Deflexões

- Norma Utilizada: DNER-PRO 11/79
- Deflexão máxima admissível ( $\log D_{adm} = 3,01 - 0,176 \log N$ )
- Deflexão Máxima Obtida:  $57 \times 10^{-2}$  mm;

Aceitação



$$N=10^8 \rightarrow D_{adm} = 40 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

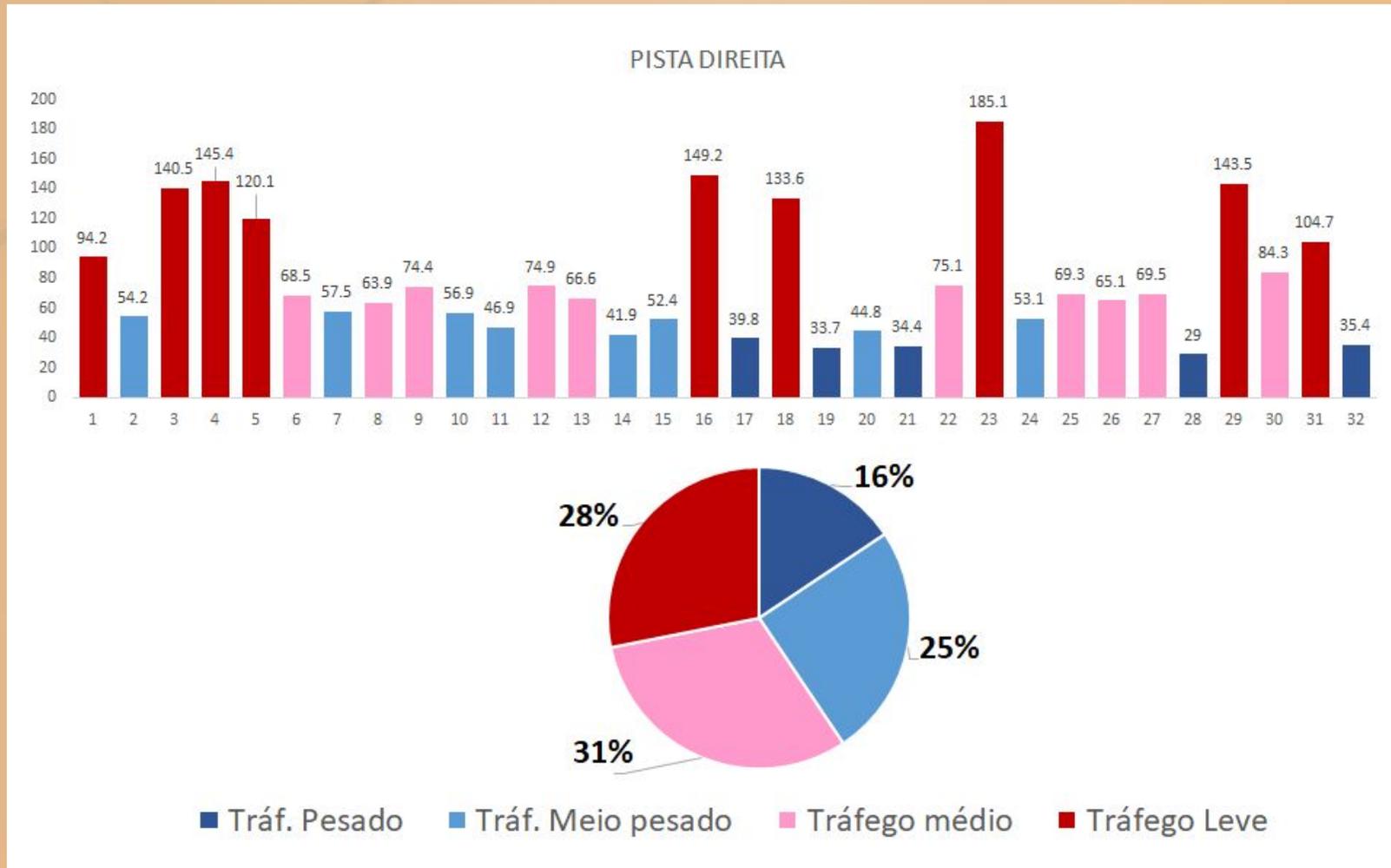
$$N=10^7 \rightarrow D_{adm} = 60 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$N=10^6 \rightarrow D_{adm} = 90 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

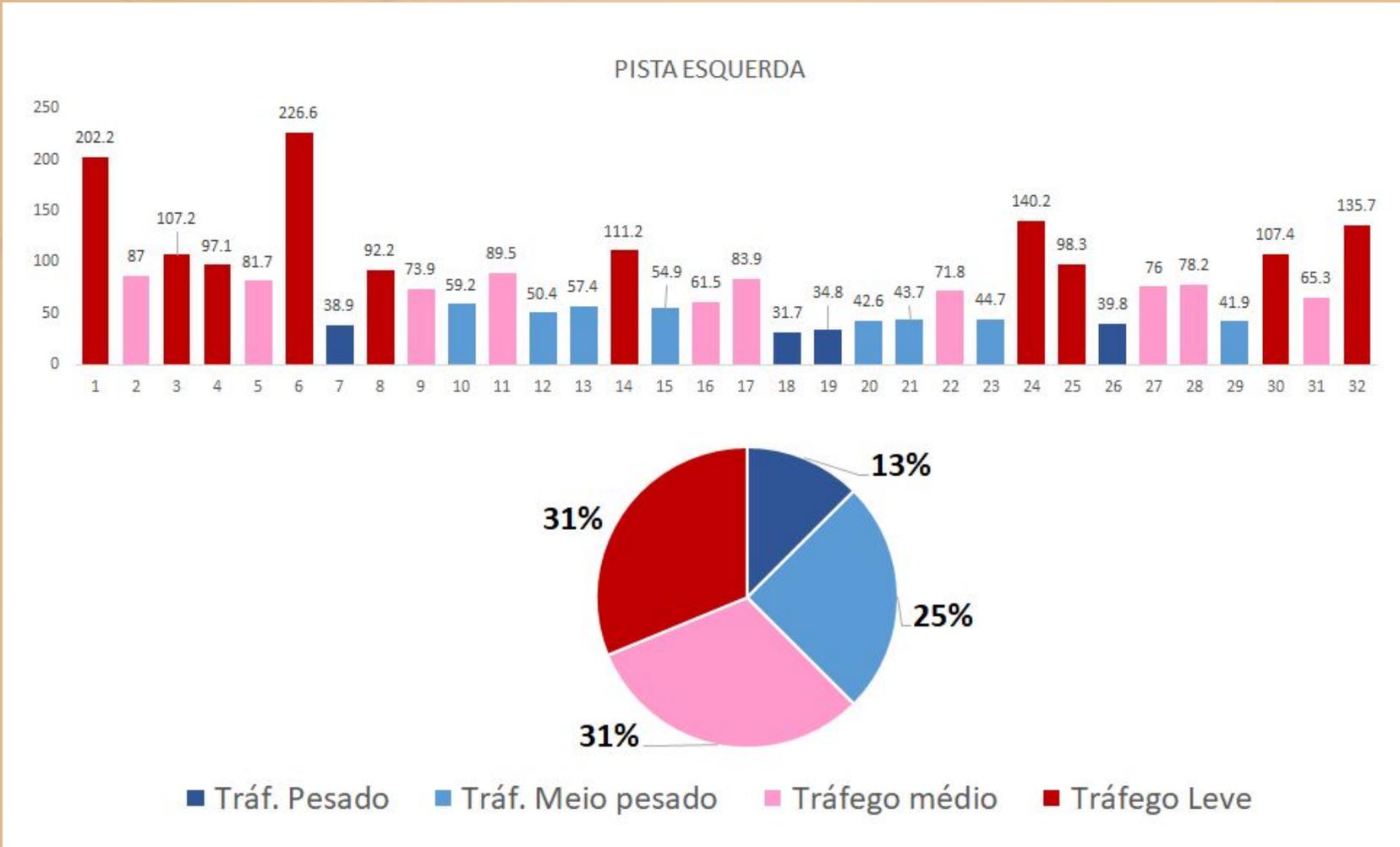
Rejeição

- Deflexão  $< 40 \times 10^{-2}$  mm – Aceito
- $40 \times 10^{-2}$  mm  $<$  Deflexão  $< 60 \times 10^{-2}$  mm – Requer atenção
- $60 \times 10^{-2}$  mm  $<$  Deflexão  $< 90 \times 10^{-2}$  mm – Pode apresentar fissuração precoce
- Deflexão  $> 90 \times 10^{-2}$  mm – pode apresentar fissuração precoce e não ser adequado para suportar nem tráfegos considerados leves.

# RESULTADOS – Deflexões Obtidas por meio do FWD

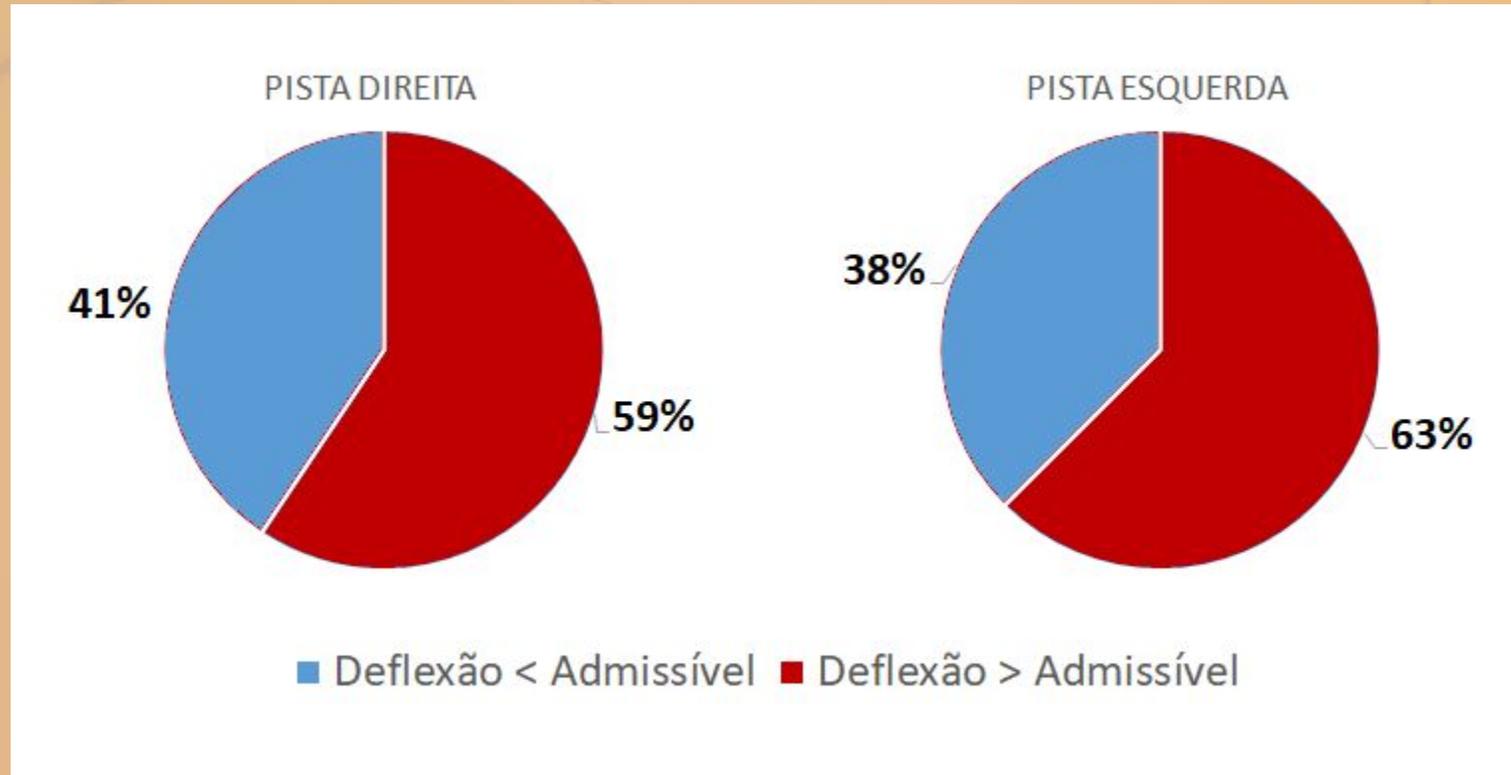


# RESULTADOS – Deflexões Obtidas por meio do FWD



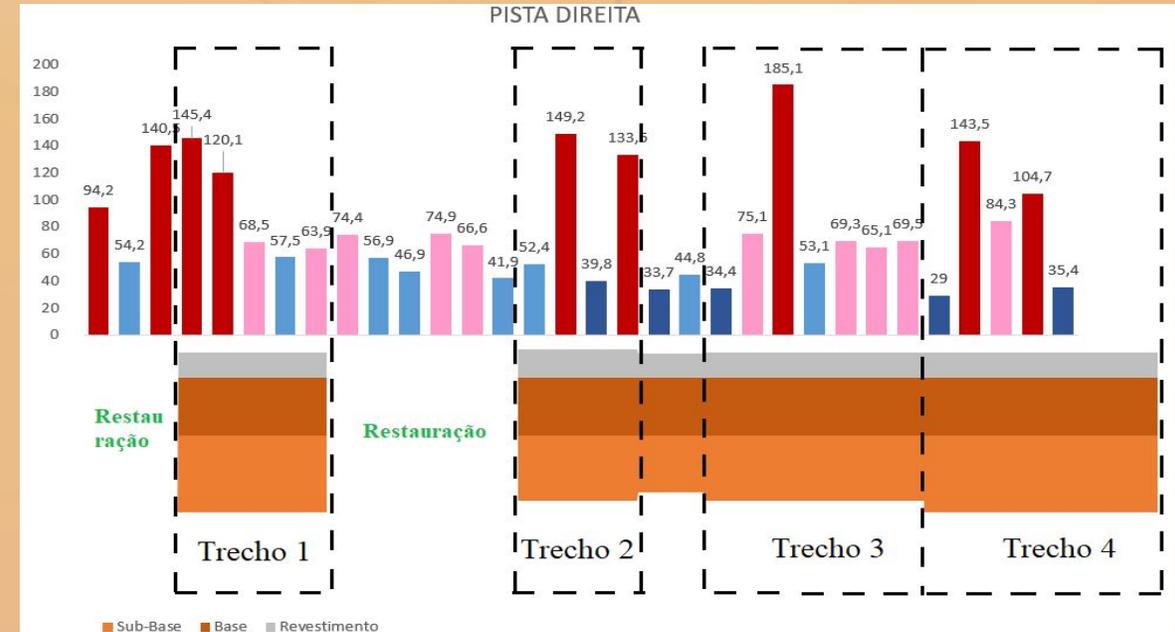
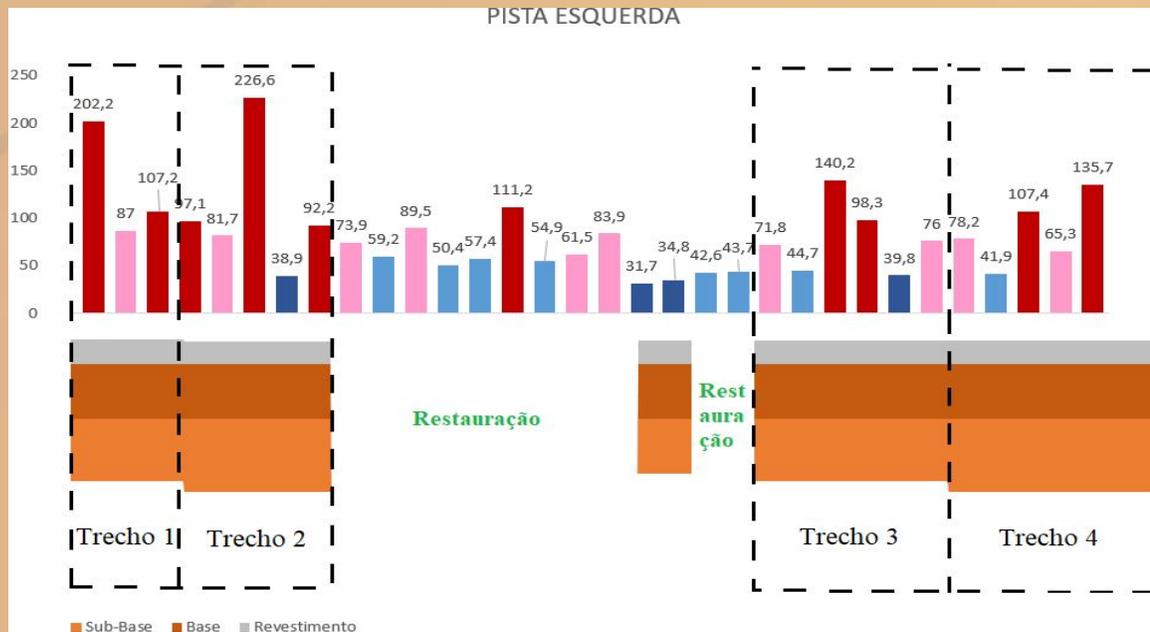
# RESULTADOS – Deflexões Obtidas por meio do FWD

- A deflexão média medida sob a aplicação da carga do trecho foi de  $80,2 \times 10^{-2}$  mm.



# METODOLOGIA - Determinação do Módulo de Elasticidade dos Materiais por Retroanálise

- Software utilizado: BackMedina
- Retroanálise realizada apenas nos trechos construídos ou reconstruídos;
- Trechos homogêneos: constância de espessura da sub-base e, no mínimo, 3 bacias de deflexão.



# METODOLOGIA - Determinação do Módulo de Elasticidade dos Materiais por Retroanálise

- Projeto: revestimento de 6,5 cm, base de 15 cm e sub-base de espessura variável por trecho;
- Dados de entrada:
  - Espessura das camadas: fichas de controle de execução e boletins de medição;
  - Condições de aderência entre as camadas: Não aderido
  - Coeficiente de Poisson: valores padrão do programa (0,35 para revestimento; 0,40 para base e sub-base e 0,45 para subleito)

BackMeDiNa v.1.2.0 (julho/2020)  
Projeto Ajuda

Modelo

BACIA	ESTACA	FADXA	TRILHA
1	Estaca: 38 + 0m	0	0
2	Estaca: 39 + 0m	0	0
3	Estaca: 40 + 0m	0	0
4	Estaca: 41 + 0m	0	0
5	Estaca: 42 + 0m	0	0

Estaca: 38 + 0m Faixa: 0 Trilha: 0 15/12/2022

CARGA (kgf): 4604,00 T AR: 36 °C  
RAIO (cm): 15 T PAV: 47 °C

SENSORES: 0 1 2 3 4 5 6 7 8

DISTÂNCIA (cm): 0 20 30 45 60 90 120  
DEFLEXÕES (µm): 782 451 283 163 107 62 44  
CALCULADAS (µm): 782 443 290 164 103 60 46  
DIFERENÇAS (µm): 0 8 -7 -1 4 2 -2  
ERRO (%): 2,8%

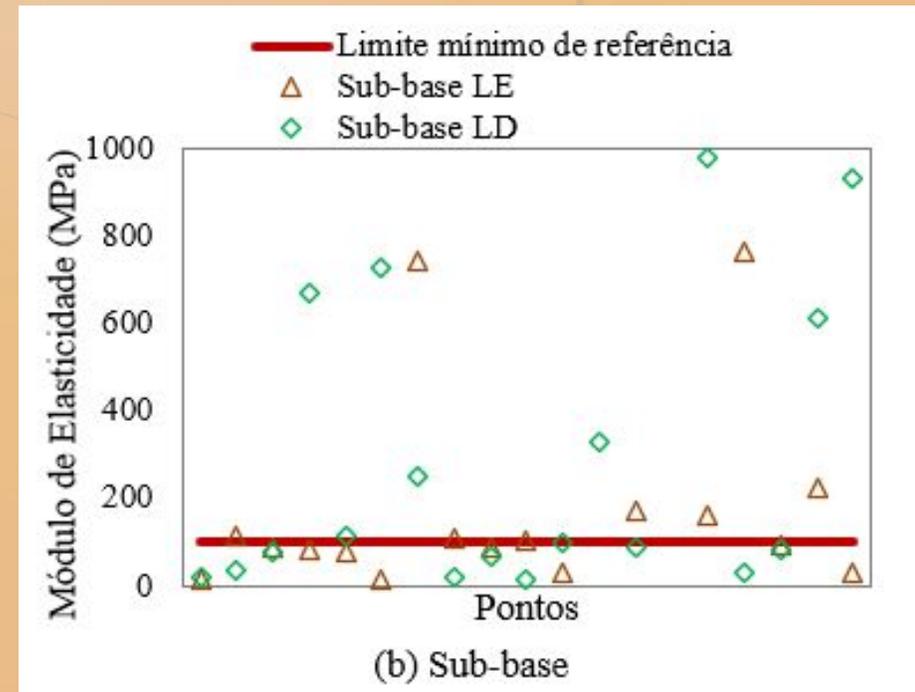
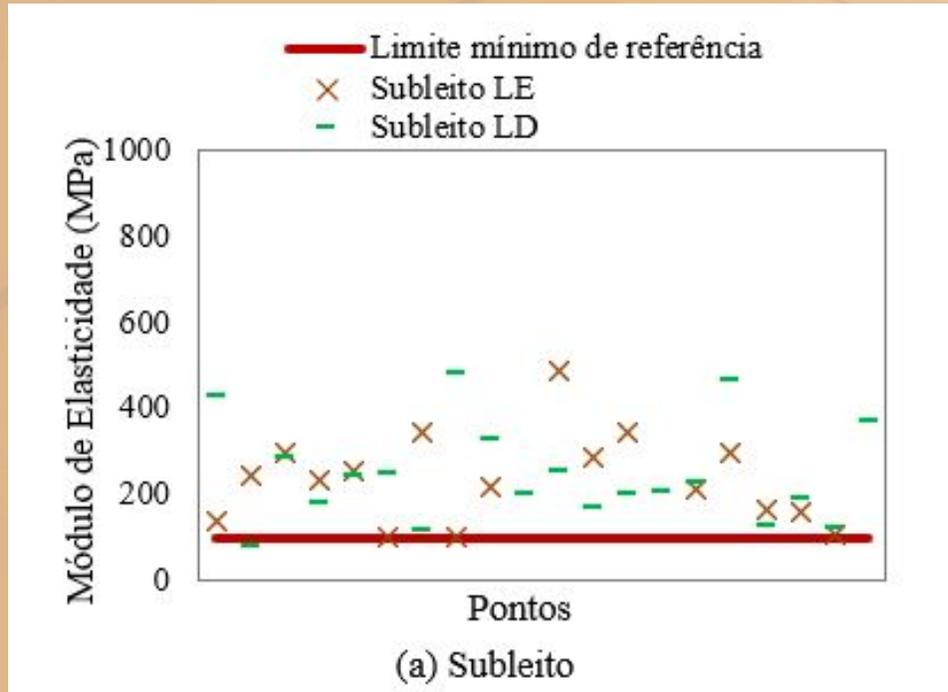
ESTRUTURA >> RETROANALISAR RETROANALISAR TODAS >>>

CAMADA	MATERIAL	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEF POISSON	ADERÊNCIA
1	Camadas Asfálticas	6,44	965	0,30	NÃO ADERIDO
2	Camadas Granulares	15,0	464	0,40	NÃO ADERIDO
3	Camadas Granulares	20,0	161	0,40	NÃO ADERIDO
4	Subleito	0	212	0,45	-

DEFLEXÕES NORMALIZADAS

distância (cm)

# RESULTADOS – Módulo de Elasticidade dos Materiais obtidos por retroanálise

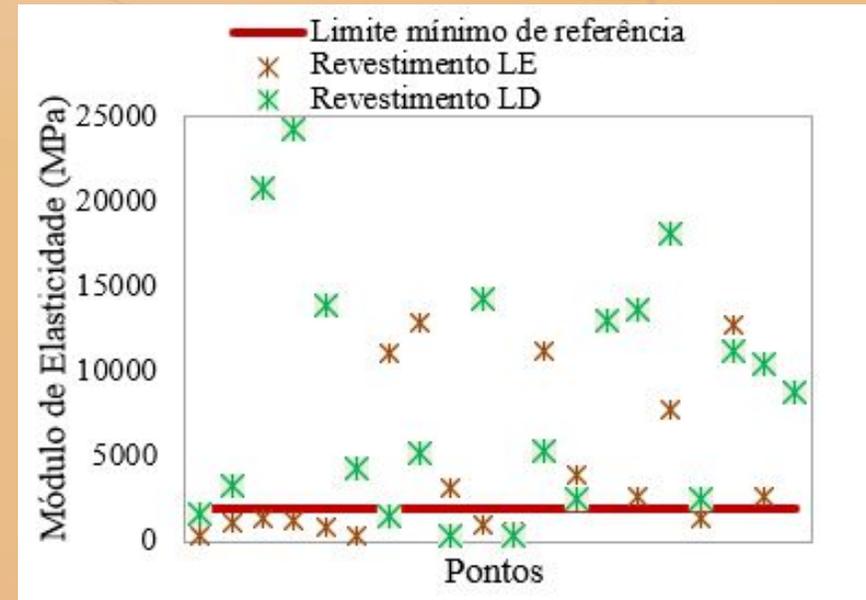
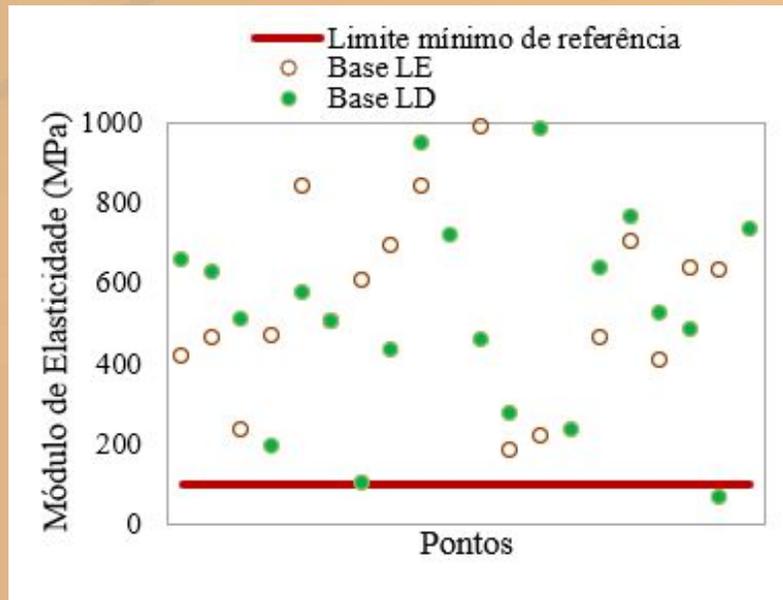


- Subleito: 5,4% dos dados apresentam valores abaixo dos mínimos indicados
- Sub-base: 51,4% dos dados apresentam valores abaixo dos mínimos indicados

# RESULTADOS – Módulo de Elasticidade dos Materiais obtidos por retroanálise

Os módulos de elasticidade da camada de revestimento corrigidos para a temperatura de referência de 25°C (Chen *et al.*, 2000)

$$E_{T_w} = \frac{E_{T_c}}{\left[ (1,8_{T_w} + 32)^{2,4462} \times (1,8_{T_c} + 32)^{-2,4462} \right]}$$



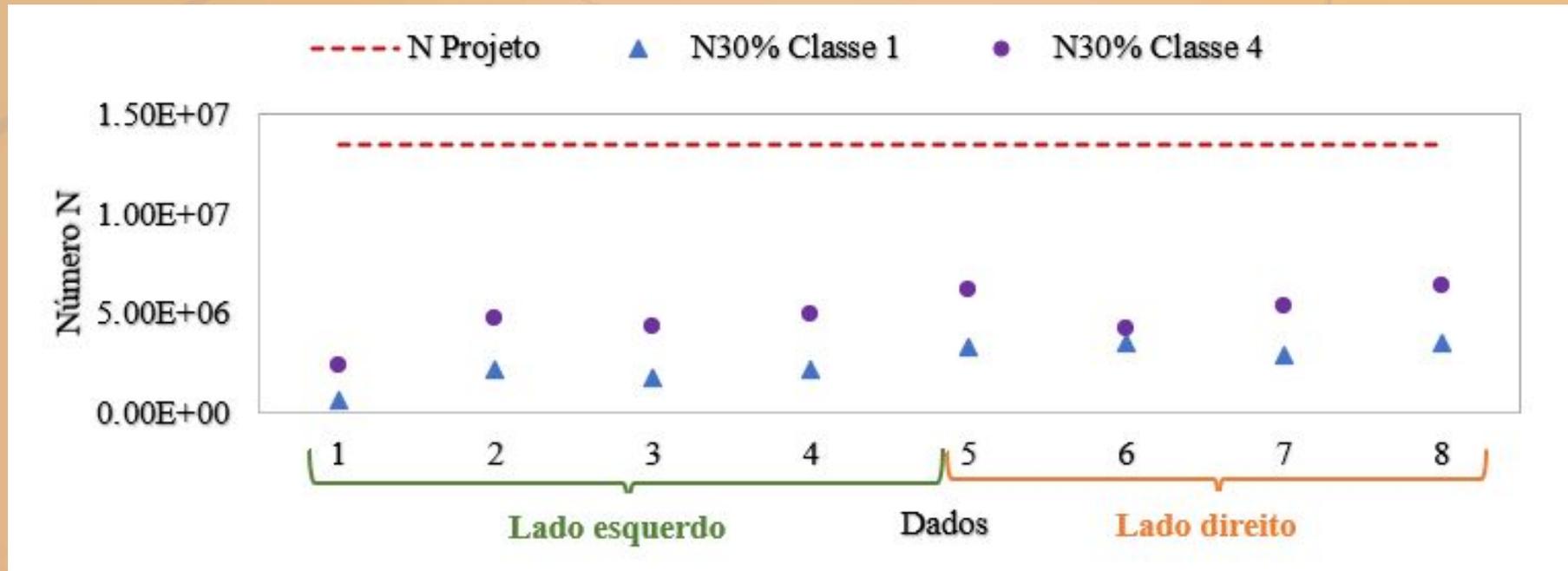
- Base: 2,7% dos dados apresentam valores abaixo dos mínimos indicados
- Revestimento: 31,6% dos dados apresentam valores abaixo dos mínimos indicados

# METODOLOGIA – Estimativa de vida útil

Dados de entrada no software MeDiNa:

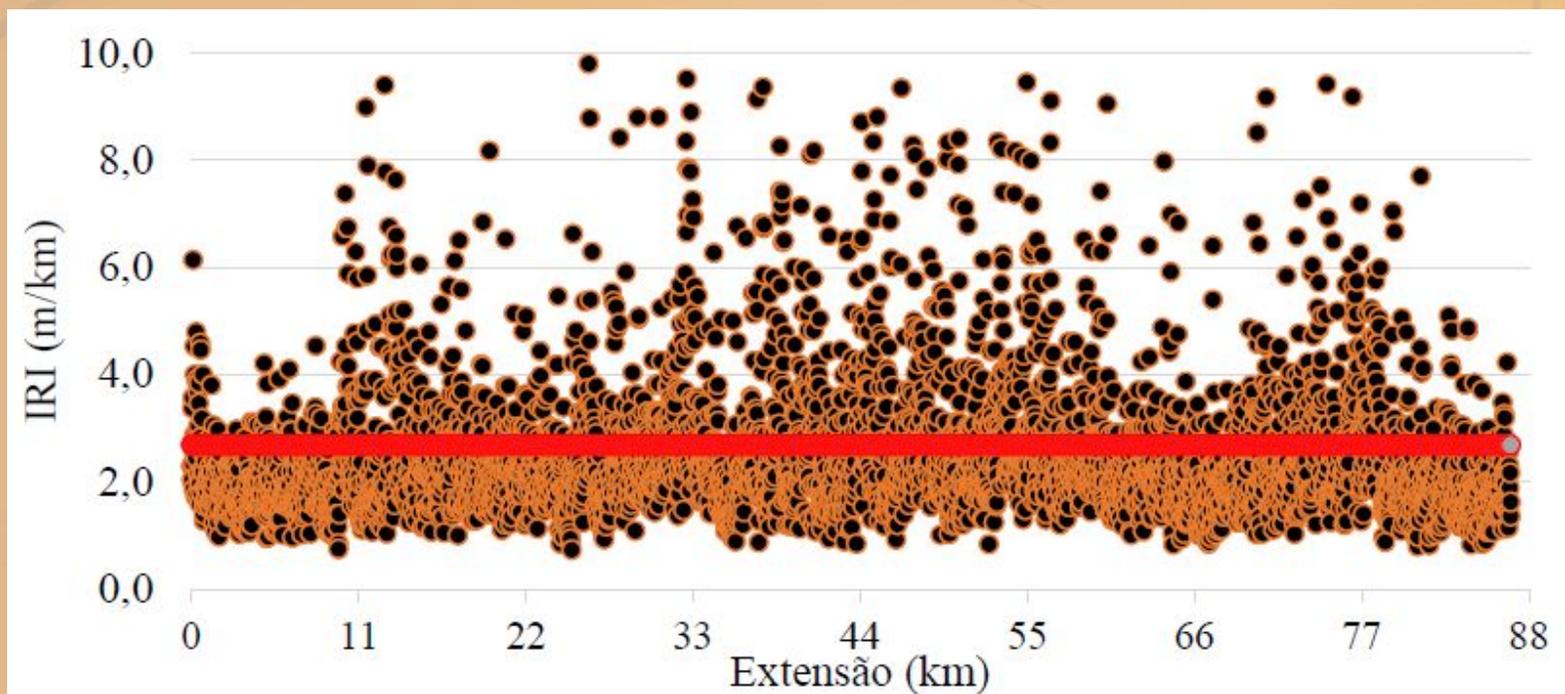
- módulos de elasticidade médios retroanalizados para cada camada de cada trecho homogêneo de cada uma das pistas;
- N de projeto de  $1,35 \times 10^7$
- Coeficiente de Poisson: valores padrão do programa
- sistema arterial principal, com nível de confiabilidade fixado em 95%,
- Fadiga: configuração padrão do programa, considerando 2 cenários de constantes de fadiga, quais sejam, misturas Classe 1 (cenário pessimista) e Classe 4 (cenário otimista)

# RESULTADOS – Estimativa de vida útil



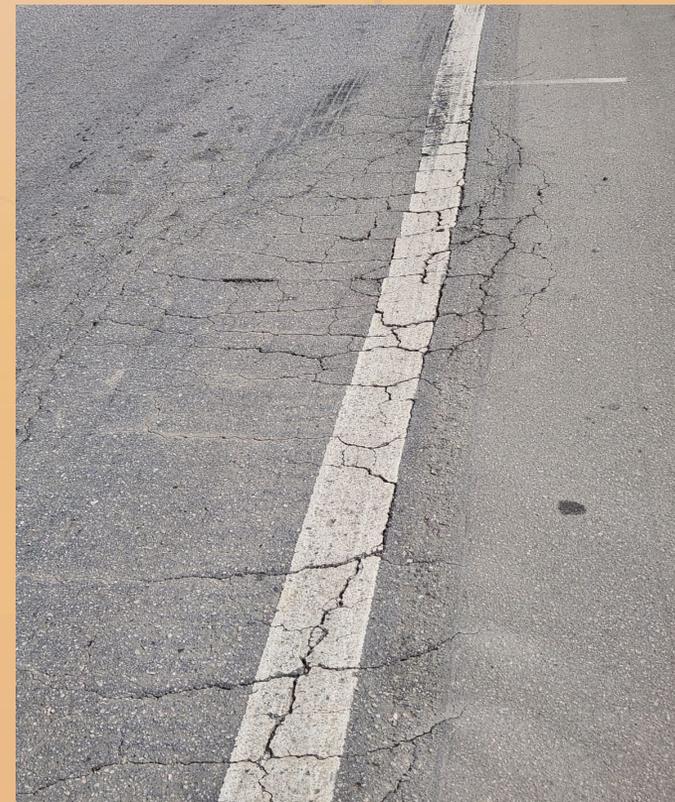
# RESULTADOS – Índice de Irregularidade Longitudinal

- Levantamento com perfilômetro a laser;
- 32% dos valores de IRI já podiam ser classificados como ‘Regular, Ruim e Péssimo’;



# RESULTADOS – Defeitos na rodovia

- Em julho de 2023, observou-se uma acentuação dos defeitos da rodovia;



# CONCLUSÕES

- A estimativa de vida útil do pavimento, com todos os valores abaixo do número N de projeto, a elevada desconformidade do IRI (32%) e os significativos defeitos precoces na via, formam um conjunto de evidências de que os trechos analisados não apresentam qualidade adequada.
- As altas deflexões obtidas são condizentes com o elevado percentual de desconformidade dos módulos de elasticidade obtidos por meio da retroanálise, notadamente para as camadas de sub-base (51,4%), e revestimento (31,6%);

# CONCLUSÕES

- Os resultados em desconformidade dos módulos de elasticidade para a camada de sub-base permite enxergar que os esforços de auditoria concomitante podem migrar para fases da obra em que essas camadas ainda estão sendo executadas;
- O ensaio deflectométrico com FWD, por ser do tipo não-destrutivo e otimizar o tempo de levantamento em campo, com boa produtividade, representa importante ferramenta de auditoria;

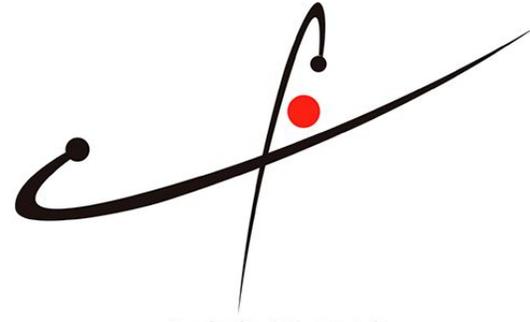
# CONCLUSÕES

- Conclui-se ainda que a avaliação da qualidade da estrutura, por meio de levantamentos deflectométricos e retroanálise, está relacionada às metas do ODS 9, centrada na melhoria da infraestrutura.
- Por fim, sugere-se que o órgão rodoviário do Estado implemente procedimentos de controle de execução e critérios de recebimento da obra por meio da análise das deflexões recuperáveis.

# AGRADECIMENTOS



UFC



Fundação Cearense de  
Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico



TRIBUNAL DE CONTAS DO  
ESTADO DO CEARÁ



Cientista  
Chefe

Infraestrutura Viária

Obrigado!