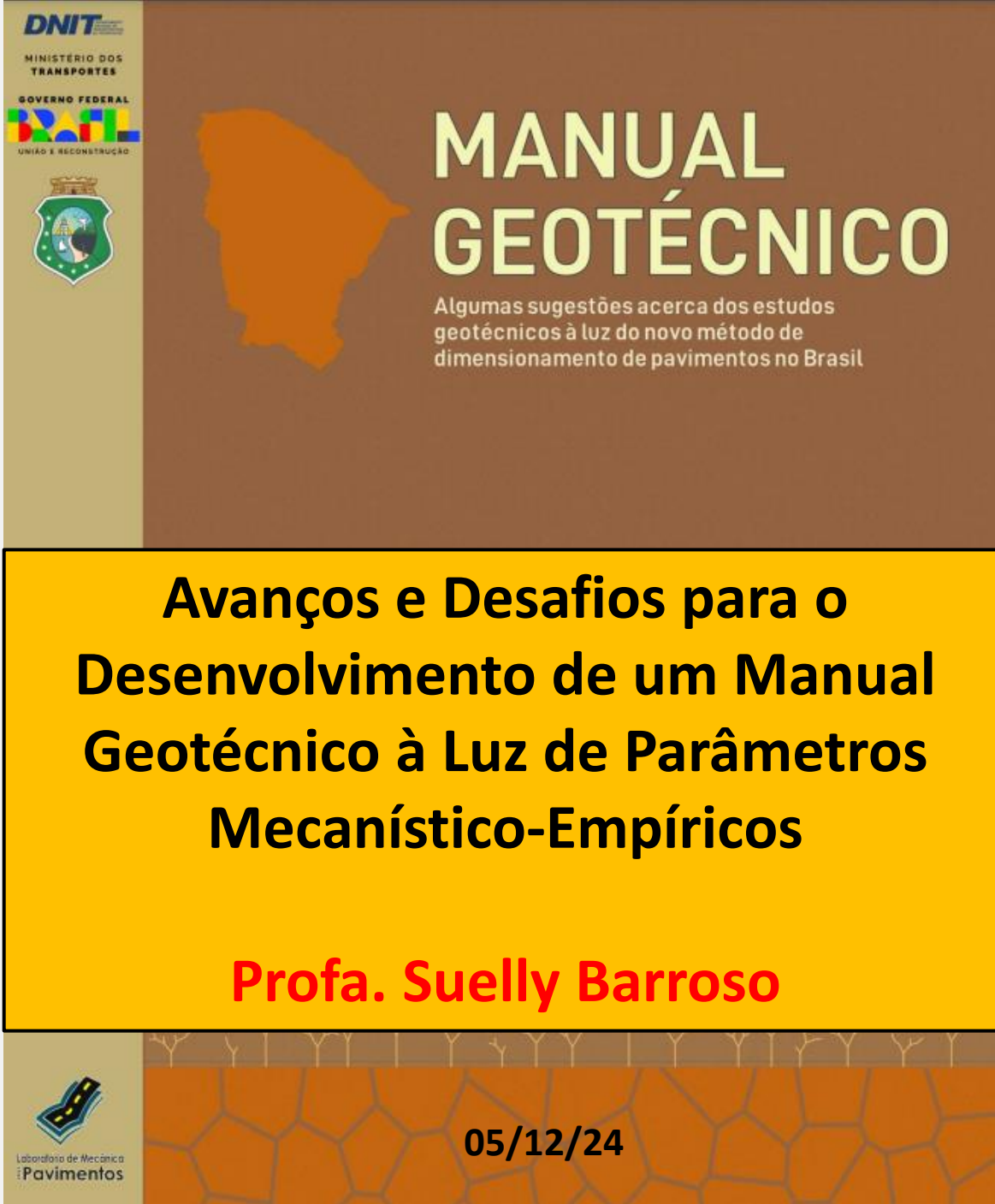


**DNIT**

**SUBPROJETO 2 - PLATAFORMA  
INTEGRADA DE ESTRUTURAÇÃO E  
ANÁLISE DE DADOS COM USO DE  
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**



**MANUAL  
GEOTÉCNICO**

Algumas sugestões acerca dos estudos  
geotécnicos à luz do novo método de  
dimensionamento de pavimentos no Brasil

**Avanços e Desafios para o  
Desenvolvimento de um Manual  
Geotécnico à Luz de Parâmetros  
Mecanístico-Empíricos**

**Profa. Suelly Barroso**

05/12/24



# SUMÁRIO

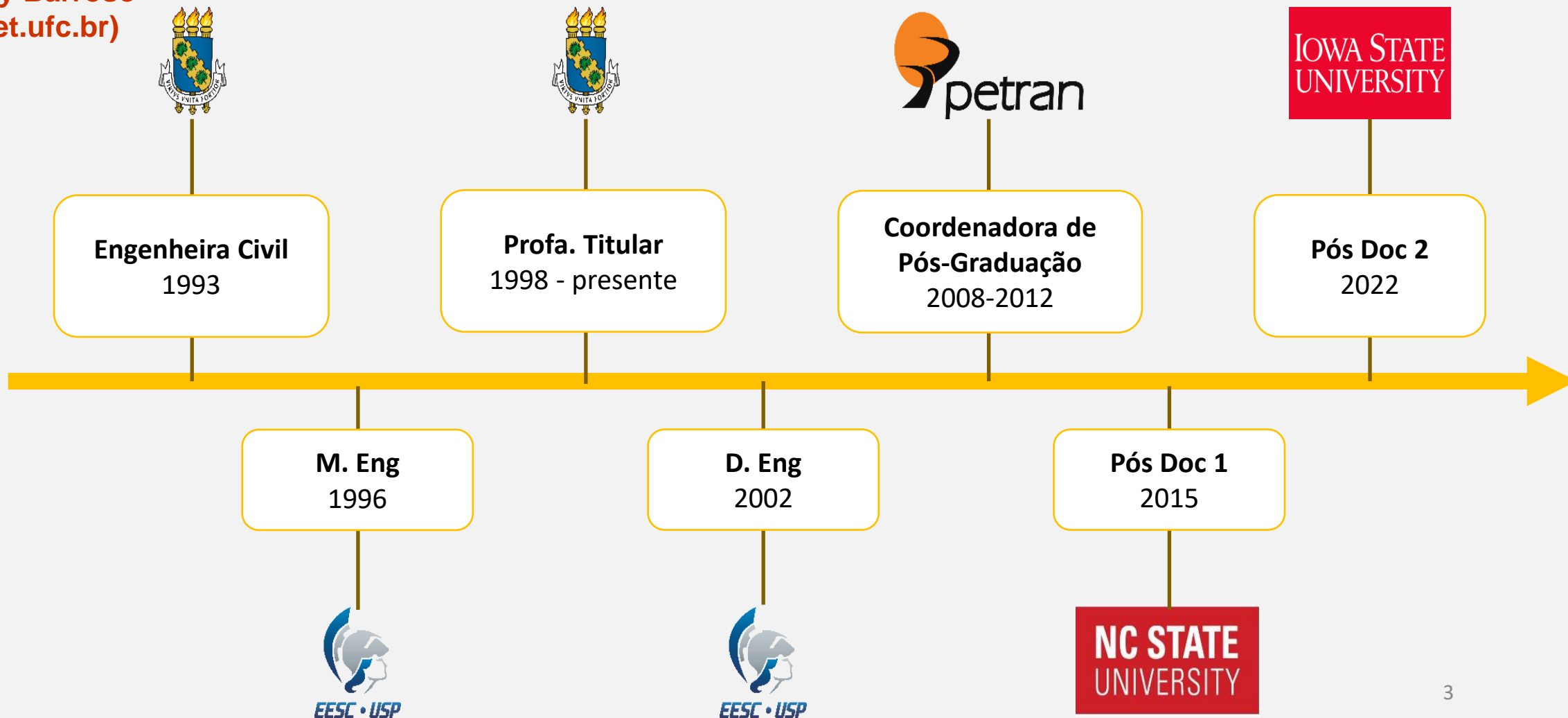
- 1** Considerações Iniciais (Apresentação, Grupo, Laboratório)
- 2** Avanços do Subprojeto 02 para Estruturação de Dados Geotécnicos
- 3** Estudos Geotécnicos Para Projetos de Pavimentos
- 4** Desafios para o Desenvolvimento de um Manual Geotécnico
- 5** Manual Geotécnico Preliminar Mecanístico-Empírico
- 6** Considerações Finais



# Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes

## Laboratório de Mecânica dos Pavimentos/CT Asfalto

**Profa. Suelly Barroso**  
(suelly@det.ufc.br)



## CT ASFALTO/LMP/UFC



Cerca de 50 pessoas (professores, doutores, mestres, engenheiros, químicos, físicos, etc)

# CT ASFALTO/LABORATÓRIO DE SOLOS



# GRUPO DE PESQUISA DO PETRAN



## Manager



Assis

## Technician

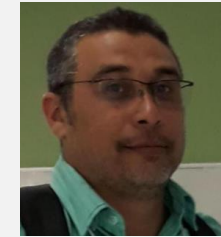


Ricardo



## PhD (03)

## Researcher (02)



Edson



Bruno



Webert



Mateus Brito



Nobre

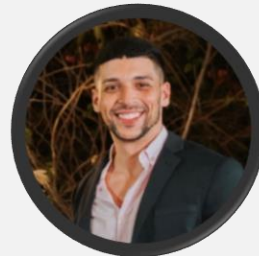
## Master (06)



Joyce



Adriano Júnior



Samuel



Mateus Marcial



Igor



Rosa

# SUMÁRIO

- 1 Considerações Iniciais (Apresentação, Grupo, Laboratório)
- 2 **Avanços do Subprojeto 02 para Estruturação de Dados Geotécnicos**
- 3 Estudos Geotécnicos Para Projetos de Pavimentos
- 4 Desafios para o Desenvolvimento de um Manual Geotécnico
- 5 Manual Geotécnico Preliminar Mecanístico-Empírico
- 6 Considerações Finais

Manual  
Geotécnico

Mapas  
Temáticos

Capacitação  
DNIT  
(5)

Banco de  
Dados

Modelos  
Neurais

## SUBPROJETO 2 - PLATAFORMA INTEGRADA DE ESTRUTURAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS COM USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

### EQUIPE

Jorge Barbosa Soares (Coordenador Geral)  
**Suely Helena de Araújo Barroso** (Coordenadora)

Antônio Júnior Alves Ribeiro (Professor IFCE/Pesquisador)  
Carla Beatriz Costa de Araújo (Professora UFC/Pesquisadora)  
Sarah Denise Vasconcelos (Professora/UNIFOR)  
Adriano Jorge Sombra Júnior (Mestrando/UFC)  
Francisco de Assis Franco Vieira (Graduando/UFC)  
Mateus Marcial Magalhães Cavalcante (Mestrando/UFC)  
Joyce Fernandes Frutuôso (Mestrando/UFC)  
Rosa Angélica Saldanha Magalhães Angelim (Mestrando/UFC)  
Amanda Maria Gomes Sales Silvestre (Bolsista de IC/IFCE)  
Matheus Jesus Ribeiro Araújo (Mestrando/UFC) Samuel José  
Celestino de Oliveira (Mestrando/UFC)

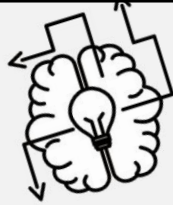
Wendel Silva Cabral (Professor UFERSA/Pesquisador)  
Antônia Fabiana Marques Almeida (Doutoranda/UFC)  
Mateus Silva Brito (Doutorando/UFC)  
Igor de Sousa Vieira (Graduando/UFC)  
José Wémenson Rabelo Chaves (Doutorando/UFC) Francisco  
Carlos Henrique Pio de Oliveira (Doutorando/UFC)  
Mariana Gonçalves da Silva (Bolsista de IC/IFCE)  
Yhasmim Vitória Vanderlei Dias (Graduanda IFCE)  
Flávio Santos Sousa Costa (Graduando IFCE)  
José Alex Duarte Rodrigues (Graduando IFCE)

# SUBPROJETO 2

**OBJETIVO:** Construir uma plataforma digital para geração de modelos e mapas temáticos para tomada de decisão dos gestores do DNIT.



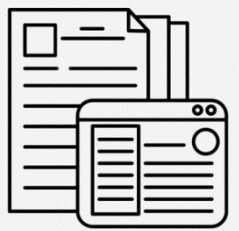
Dados



Processamento

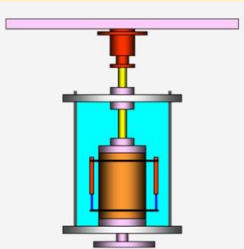
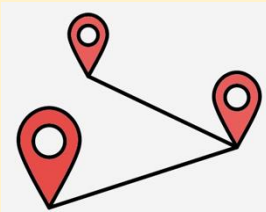


Resultados

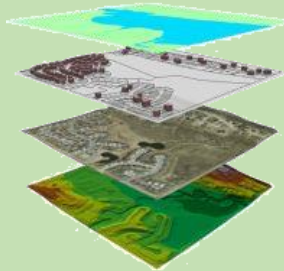


Literatura +  
Projetos

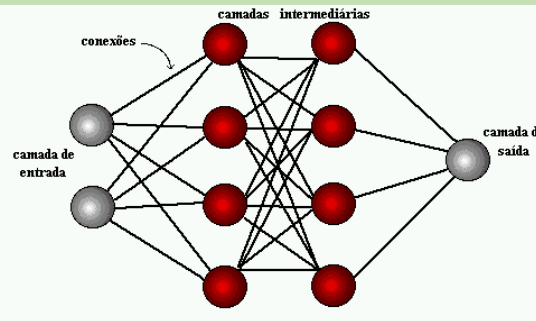
Coleta de  
amostras



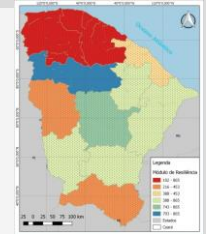
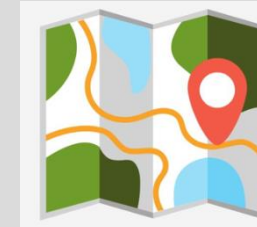
Ensaios



Tabulação  
dos Dados



IA



MAPAS/BD

$$MR = 1658,09 - 340,08x\gamma_d + 3,72xCBR - 7,93x\#_{10} - 0,32x\#_{40} - 1,43x\#_{200}$$

MODELOS



MANUAL  
GEOTÉCNICO/  
CURSOS

CARACTERIZAÇÃO CONVENCIONAL						
LIMITES DE CONSISTÊNCIA			COMPACTAÇÃO			
LL	LP	IP	ENERGIA NORMAL		ENERGIA INTERM.	
			Hót (%)	MEASmáx (g/cm³)	Hót (%)	MEASmáx (g/cm³)

# Dados Geotécnicos Existentes nos projetos (TRB e CBR) e Coordenadas



COLETA BEBERIBE (DO 01)  
LATITUDE: -4.30508853  
LONGITUDE: -38.01299438

# ENTREGA 1 - Banco de Dados Geotécnico Preliminar - Método

Rodovias

BR-020

Acesso

Acessar  
Projeto

Bancos de  
dados de  
estudos  
geotécnicos



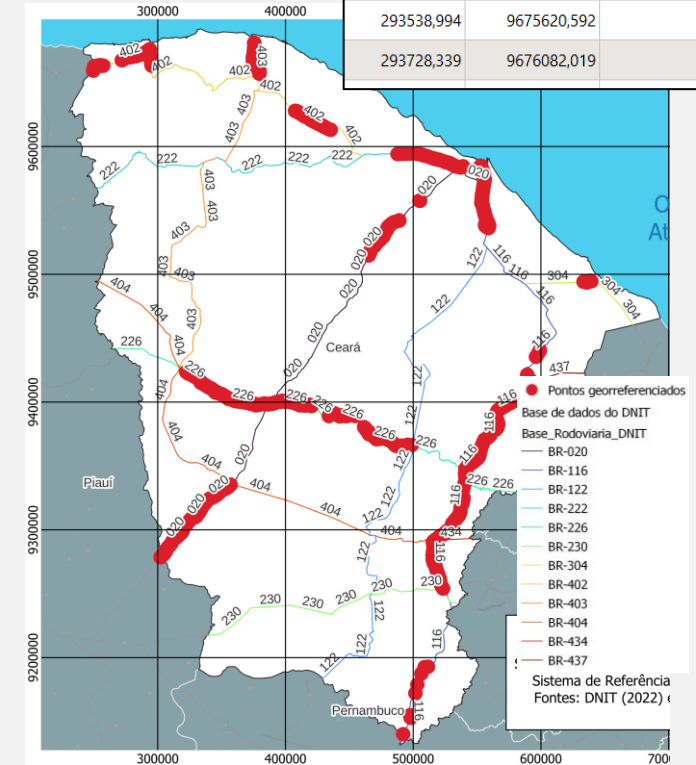
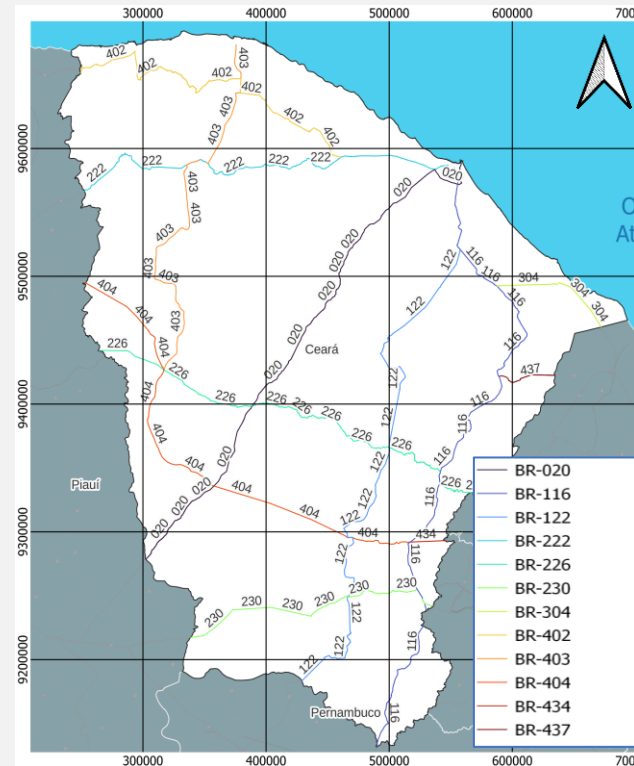
Sistemas de  
informações  
geográficas



Bancos de  
dados  
geotécnicos  
georreferen-  
ciados

Coordenada X	Coordenada Y	ISC (%)	AASHTO
426632,214	9617430,398	7	A-1-a
577134,645	9399951,733	7	A-1-a
438822,732	9390676,27	8	A-1-a
566494	9381824	8	A-1-a
293468,76	9675433,331	10	A-1-a
293763,153	9676173,221	10	A-1-a
576794,829	9399740,731	11	A-1-a
581919,167	9401916,651	12	A-1-a
293538,994	9675620,592	13	A-1-a
293728,339	9676082,019	13	A-1-a

FURO Nº	09	10	11	12	13	14	15	16	17
PROFUNDIDADE (m)	DE	0,30	0,35	0,40	0,25	0,35	0,38	0,25	0,30
	ATE	0,90	0,95	0,90	0,85	0,95	0,98	0,85	0,90
REGISTRO Nº	45	50	55	60	65	70	75	80	85
GRANULOMETRIA % PASSANDO	2"	100	100	100	100	100	100	100	100
	1"	100	95	100	100	100	100	100	90
	3/8"	80	86	100	71	98	97	98	68
	Nº 4	73	68	91	60	95	92	93	55
	Nº 10	65	62	76	52	90	87	71	42
	Nº 40	48	50	55	25	65	62	39	22
L L	Nº 200	32	31	21	6	26	21	26	16
		30	26	NL	NL	NL	23	25	26
I P		14	11	NP	NP	NP	10	11	10
I G		1	0	0	0	0	0	0	0
EA									
GRUPO H R B		A-2-6	A-2-6	A-2-4	A-2-4	A-2-4	A-2-4	A-2-6	A-2-4
FAIXA									
LOS ANGELES									
GOLPES	hót	9,6	9,7	9,4	9,6	10,1	8,5	9,8	9,1
	γsmáx	2,00	2,03	2,00	2,06	2,12	2,15	2,00	2,01
	EXPANSÃO	0,76	0,59	0,00	0,00	0,00	0,56	0,59	0,56
	ISC	6	15	20	24	24	18	24	10
IS									
UNIDADE NATURAL									
QUADRO-RESUMO		SUBLEITO							
		TABELA 02							
Reddvio: BR-222		DATA: MAR/90	DES.	VISTO.	GEONORTE				
Trecho: VIADUTO DE ACESSO A BR-020		ESC:	APROV.						
Subtrecho: INTERSEÇÃO COM A CE-225		D A E R		T-319-1/89					



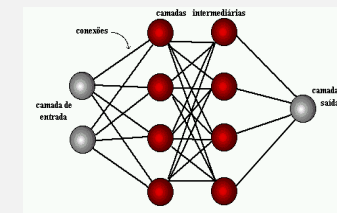
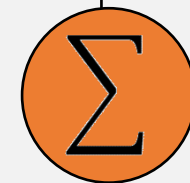
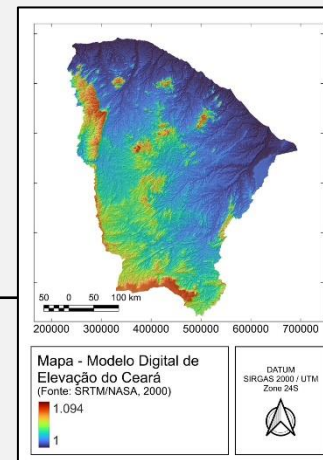
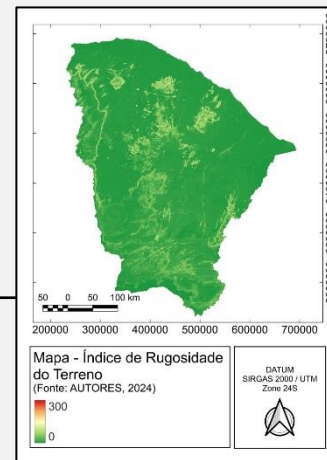
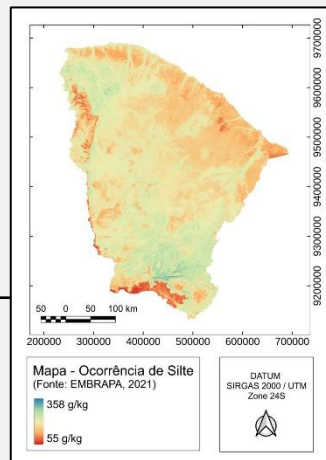
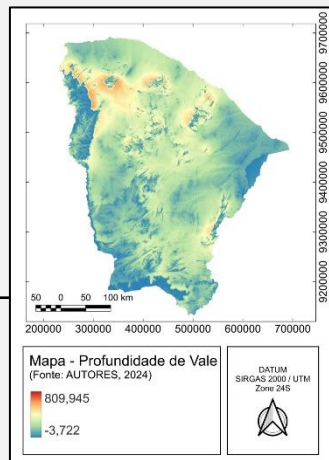
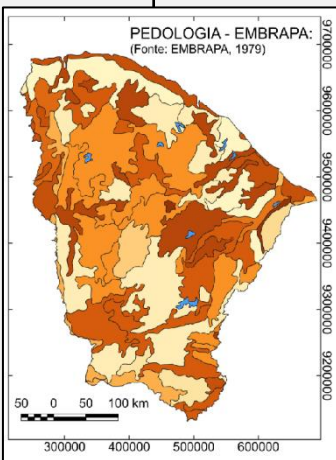
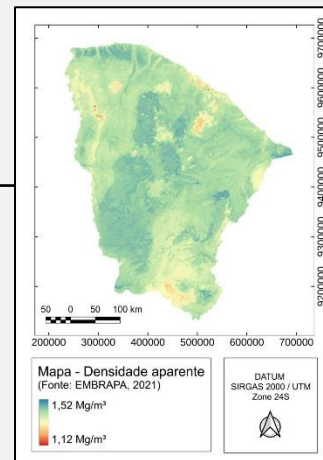
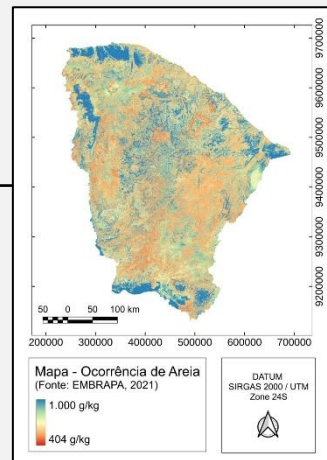
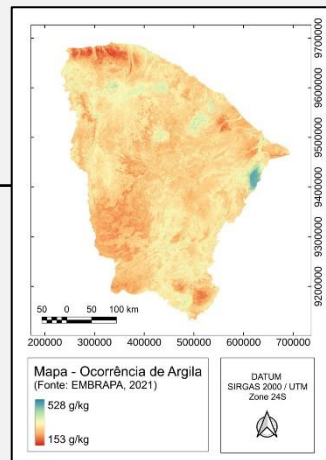
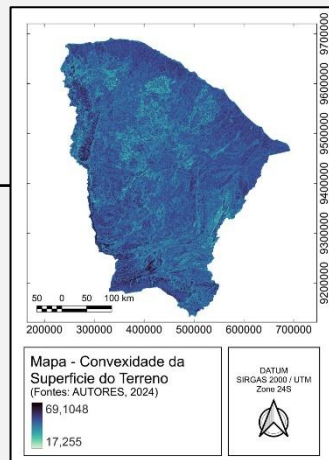
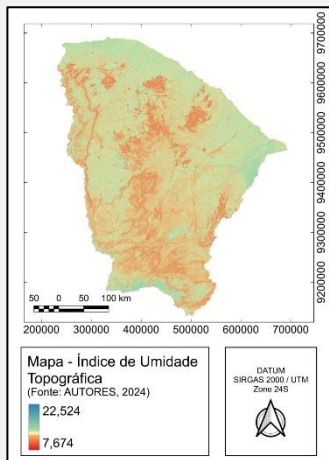
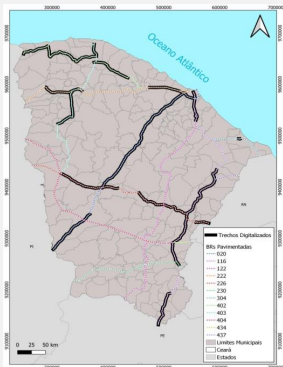
**47 projetos (DNIT - Federais)**  
**22 projetos (SOP/CE - Estaduais)**

**Base Rodoviária Georreferenciada**  
**(9446 amostras – 6359 GEO + 3087)**

**Banco de Dados**  
**Georreferenciado**

# ENTREGA 2 - MAPAS TEMÁTICOS PRELIMINARES

Dados Geotécnicos Existentes  
nos projetos (AASHTO e CBR) e Coordenadas  
Geográficas



MR

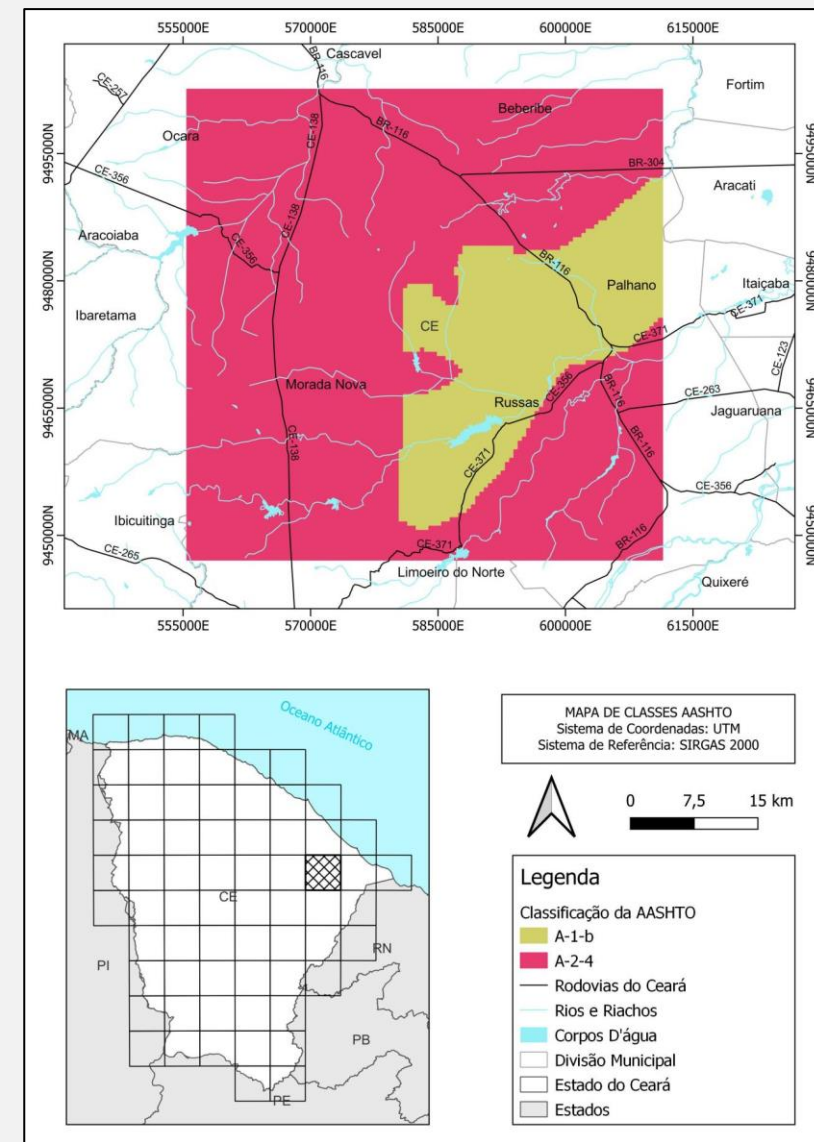
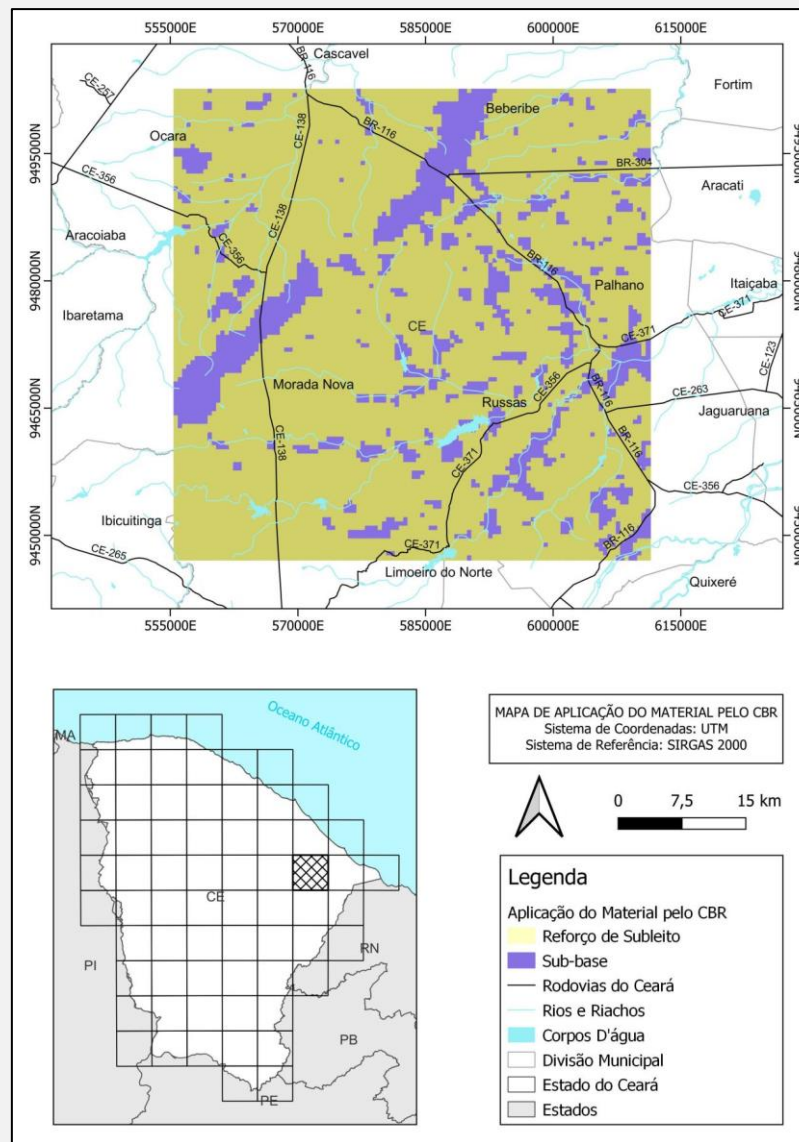
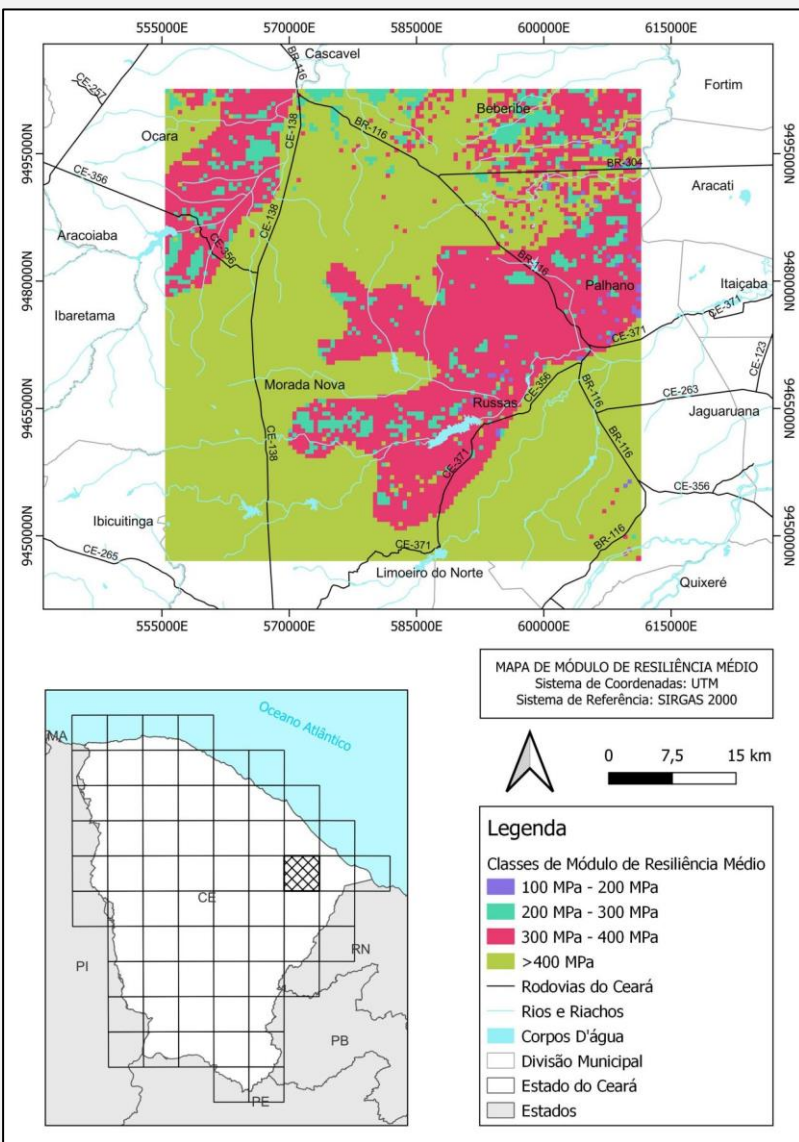
CBR

Class  
AASHTO

Variáveis Independentes

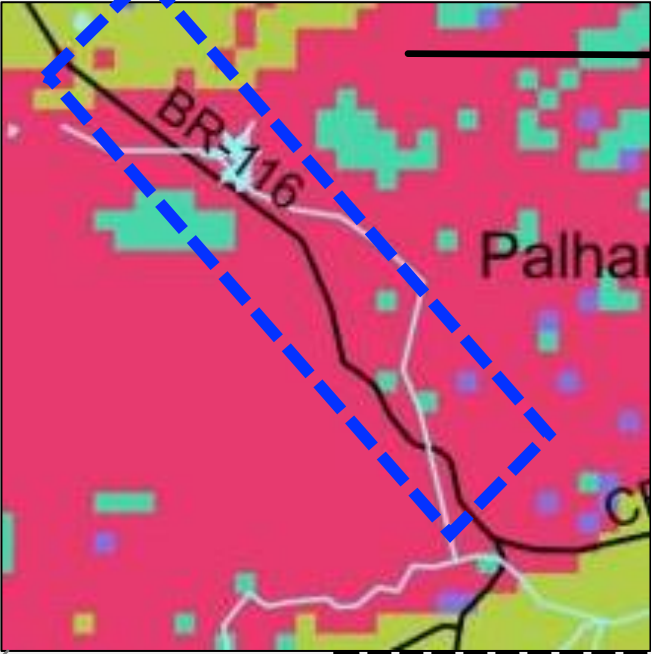
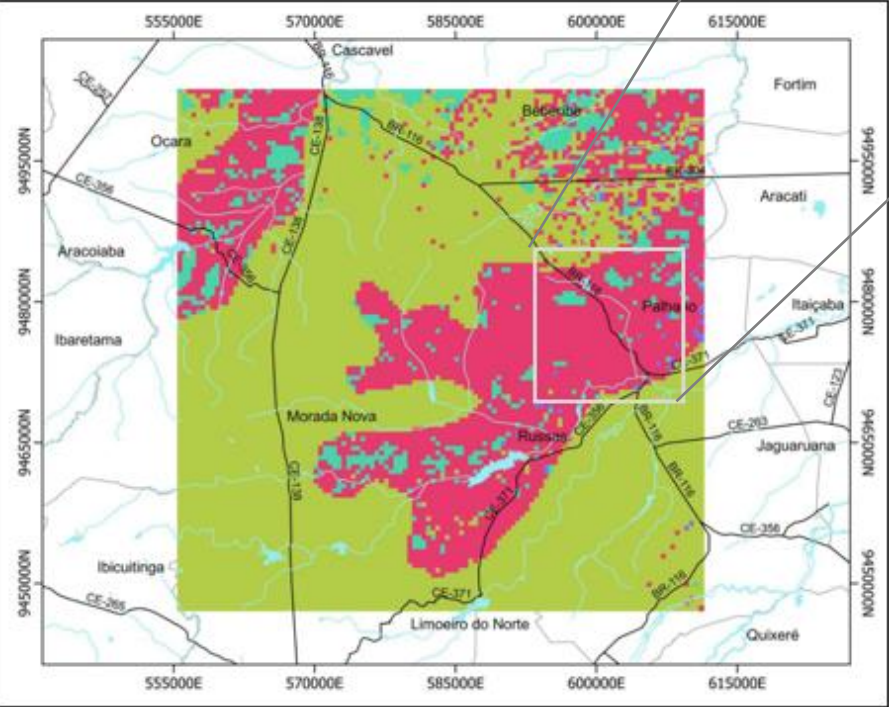
Variáveis  
Modeladas

# ENTREGA 2 - MAPAS TEMÁTICOS PRELIMINARES

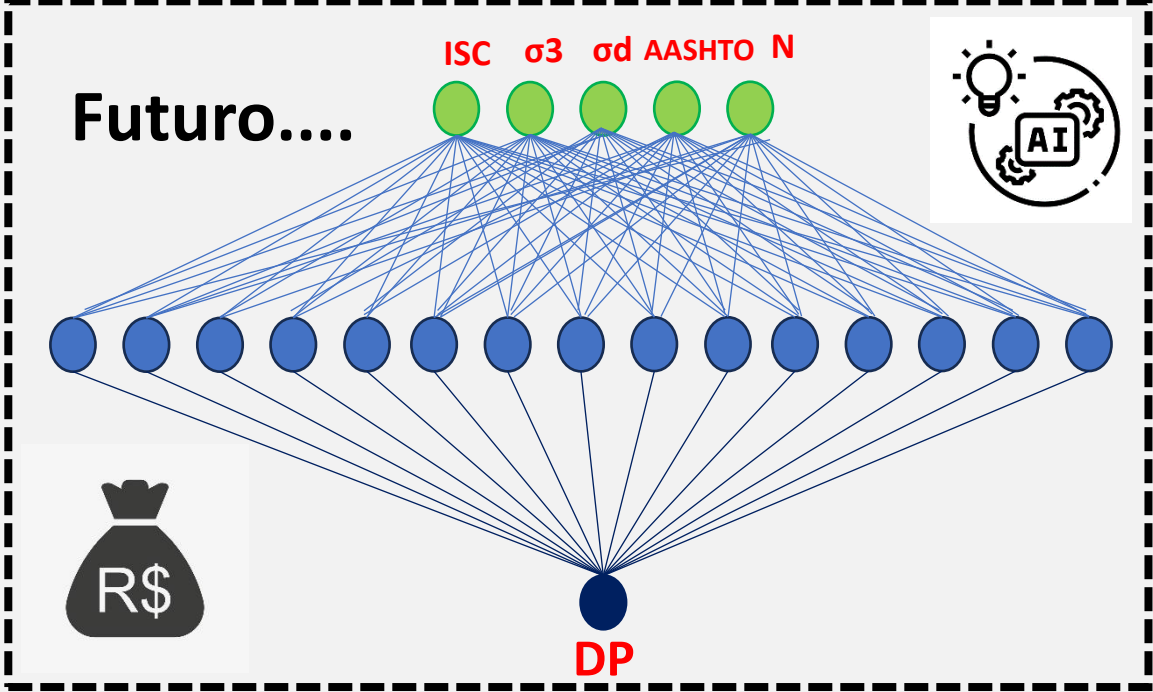


# APLICAÇÕES DA ENTREGA 2 - MAPAS TEMÁTICOS PRELIMINARES

Teste do Modelo no MeDiNa  
Tráfego de Sistema Arterial (Alto Volume)

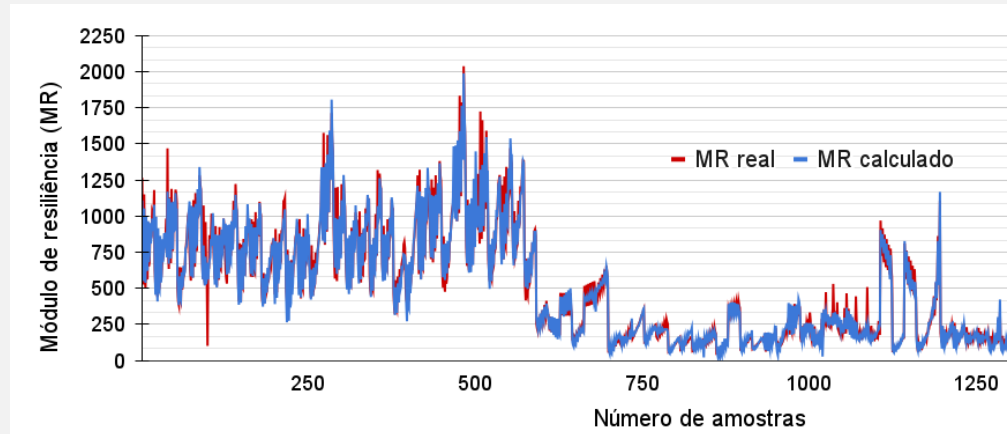
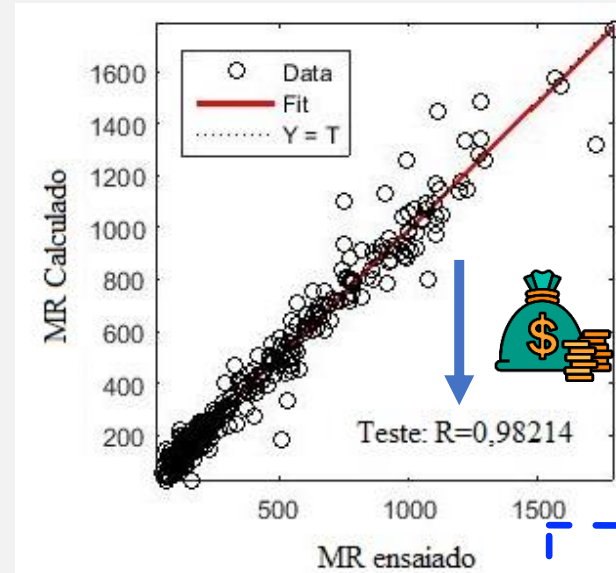
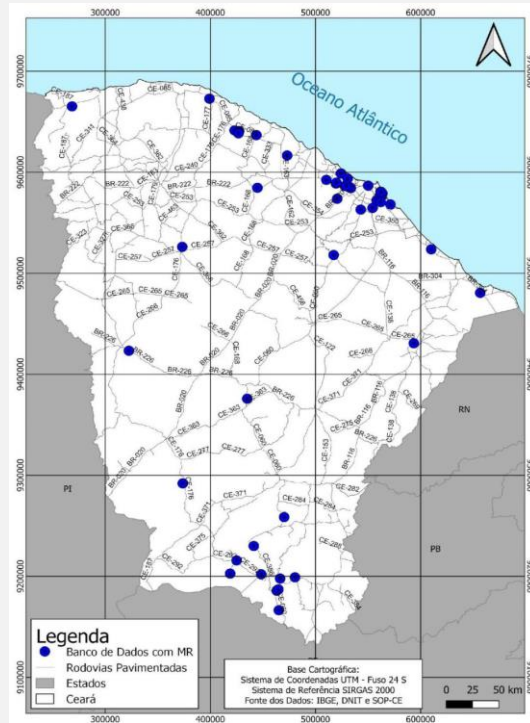


Subleito = 300 MPa



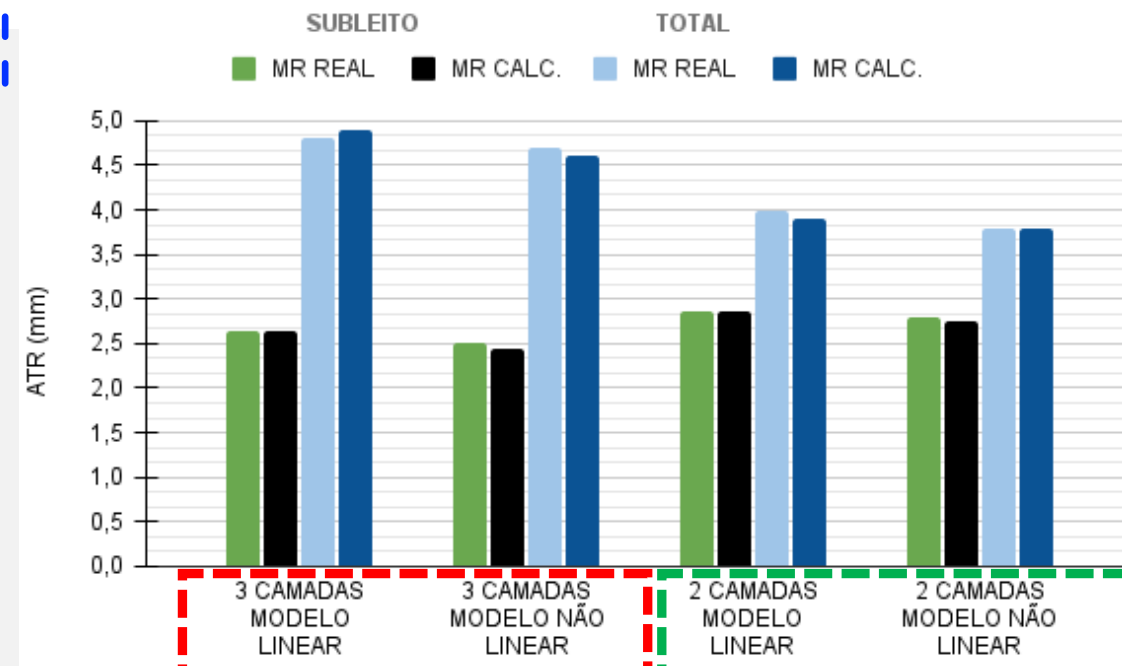
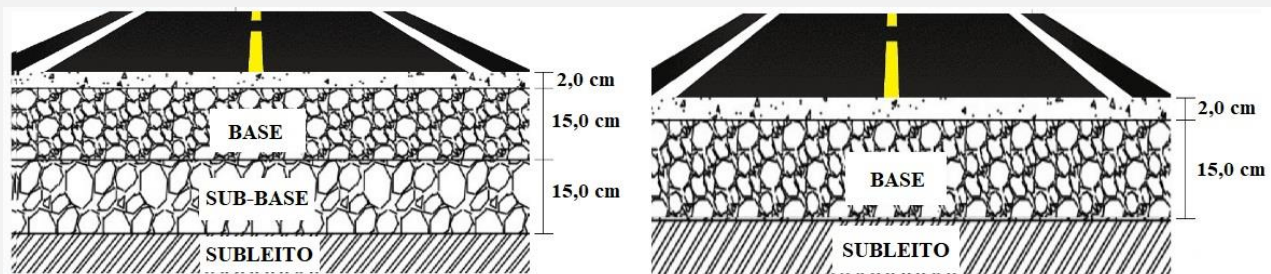
# Entrega 3 - Elaboração de Modelos Desenvolvidos com IA

$$MR = f(\text{hot}; IP; \#25,4; \#9,5; \#4,76; \#2,0; \#0,42; \#0,074)$$

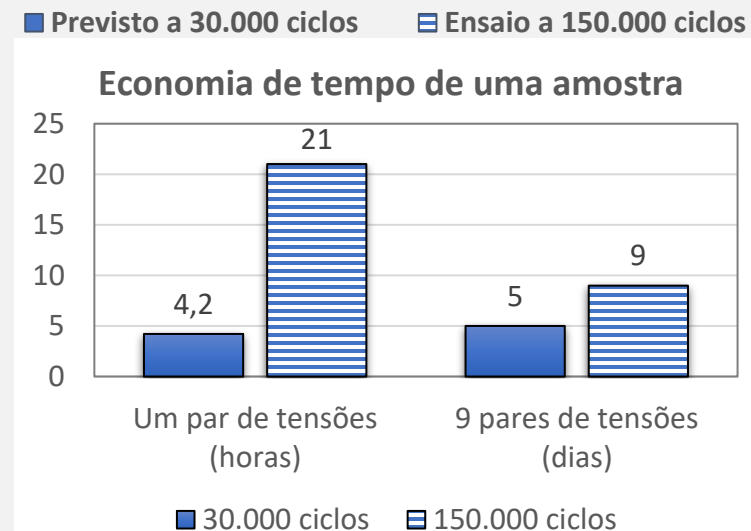
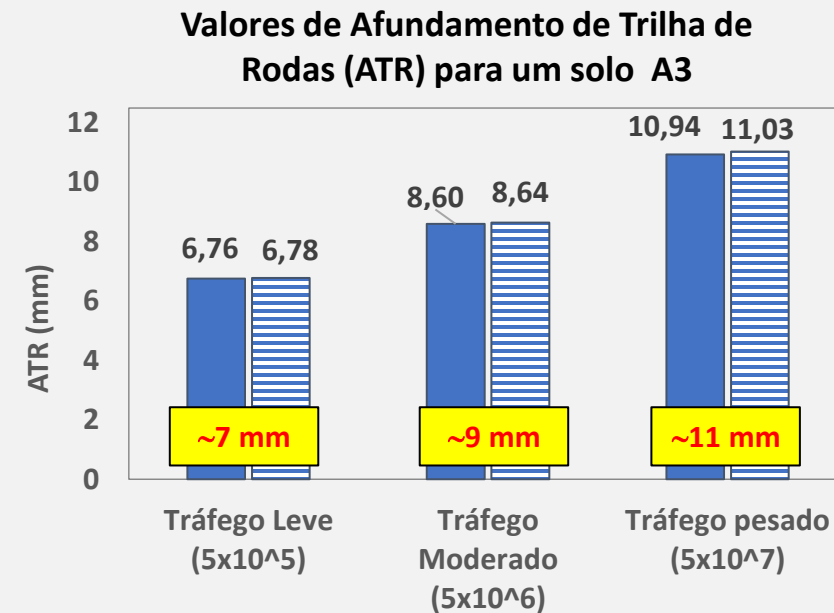
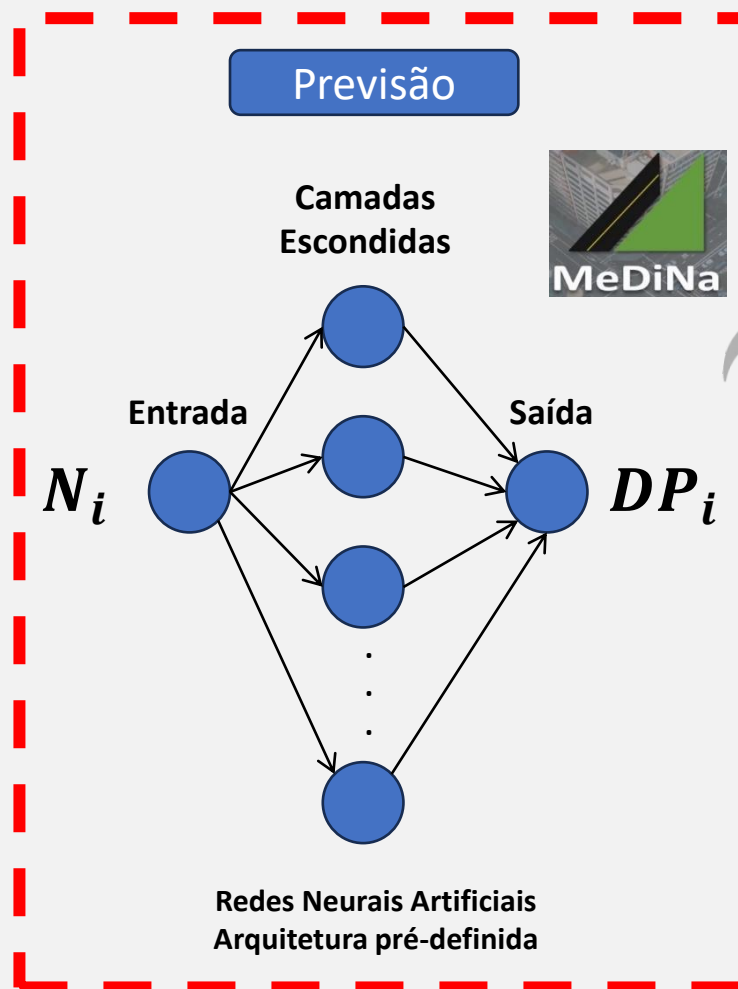
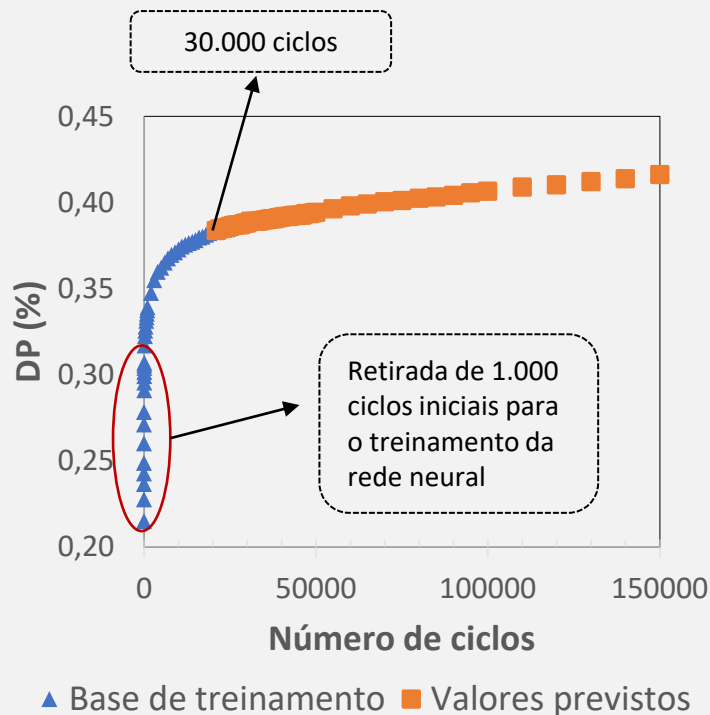


**Teste do Modelo no MeDiNa**  
**Tráfego de Sistema Local (RBVT)**

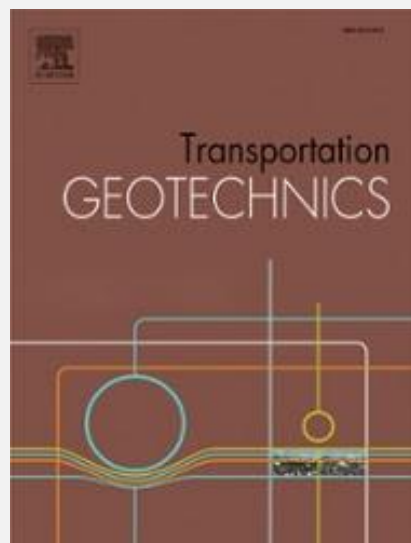
**RBVT - ATR medido nas camadas granulares**



# Modelos de IA para Redução do Tempo do Ensaio de DP



Redução do custo do ensaio?  
Redução do tempo de ensaio? 9 dias para 5 dias?

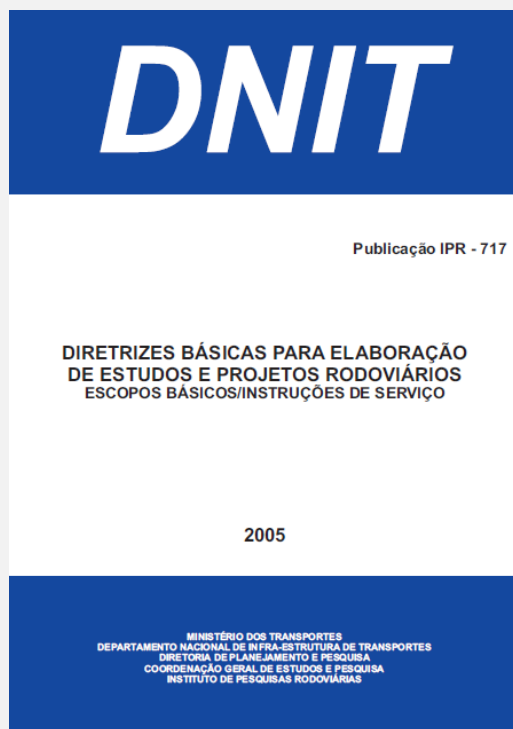


# SUMÁRIO

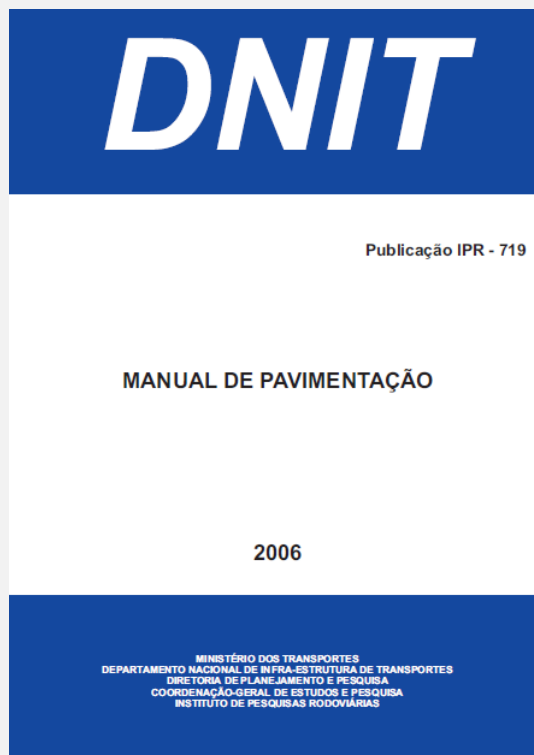
- 1 Considerações Iniciais (Apresentação, Grupo, Laboratório)
- 2 Avanços do Subprojeto 02 para Estruturação de Dados Geotécnicos
- 3 Estudos Geotécnicos Para Projetos de Pavimentos**
- 4 Desafios para o Desenvolvimento de um Manual Geotécnico
- 5 Manual Geotécnico Preliminar Mecanístico-Empírico
- 6 Considerações Finais

# Estudos Geotécnicos para Projetos de Dimensionamento de Pavimentos

- Para a implantação de uma obra viária, há necessidade de se fazer levantamentos geotécnicos que forneçam subsídios para a execução da terraplenagem, estudos de drenagem e **projetos de dimensionamento de pavimentos**.
  - **Estudos Geotécnicos**
    - Estudos do Subleito e Estudos de Ocorrências de Materiais para Pavimentação.



**Estudos Geotécnicos  
(Anexo B6. IS-206)**



**Projeto de Pavimentação (Subitem 4.3)  
Estudos Geotécnicos (Subitem 4.3.1)**

**NOTA INFORMATIVA**

**Referência:** Instrução de Serviço – IS-247: Estudos para Elaboração de Projetos de Implantação usando o Método de Dimensionamento Nacional – MeDiNa

As Instruções de Serviços (ISs), que indicam as fases e os procedimentos adotados na elaboração dos estudos e projetos de engenharia rodoviária do DNIT, são apresentadas na *Publicação IPR-726: Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários – Escopos Básicos / Instruções de Serviço (DNIT, 2006)*.

Com a implementação do novo método de dimensionamento nacional (MeDiNa), avaliou-se que as atualizações a serem realizadas na Publicação IPR-726 (DNIT, 2006) refletiriam em um extenso cronograma, o que afetaria a aplicação imediata do referido método na Autarquia.

Dessa forma, optou-se pela elaboração de uma Instrução de Serviço particular, para definir aspectos considerados essenciais à adoção do novo método de dimensionamento. O objetivo da referida Instrução é definir e especificar os estudos a serem realizados, visando a implementação do MeDiNa.

De forma geral, baseando-se nas Instruções vigentes, procurou-se alterar ou acrescentar pontos que devem ser utilizados em projetos de implantação rodoviária sob a ótica do método MeDiNa. Para pontos comuns, não relacionados ao método, devem ser verificadas as Instruções de Serviço vigentes, referentes a projetos de pavimentação conforme Publicação IPR-726 (DNIT, 2006), especialmente as relacionadas abaixo:

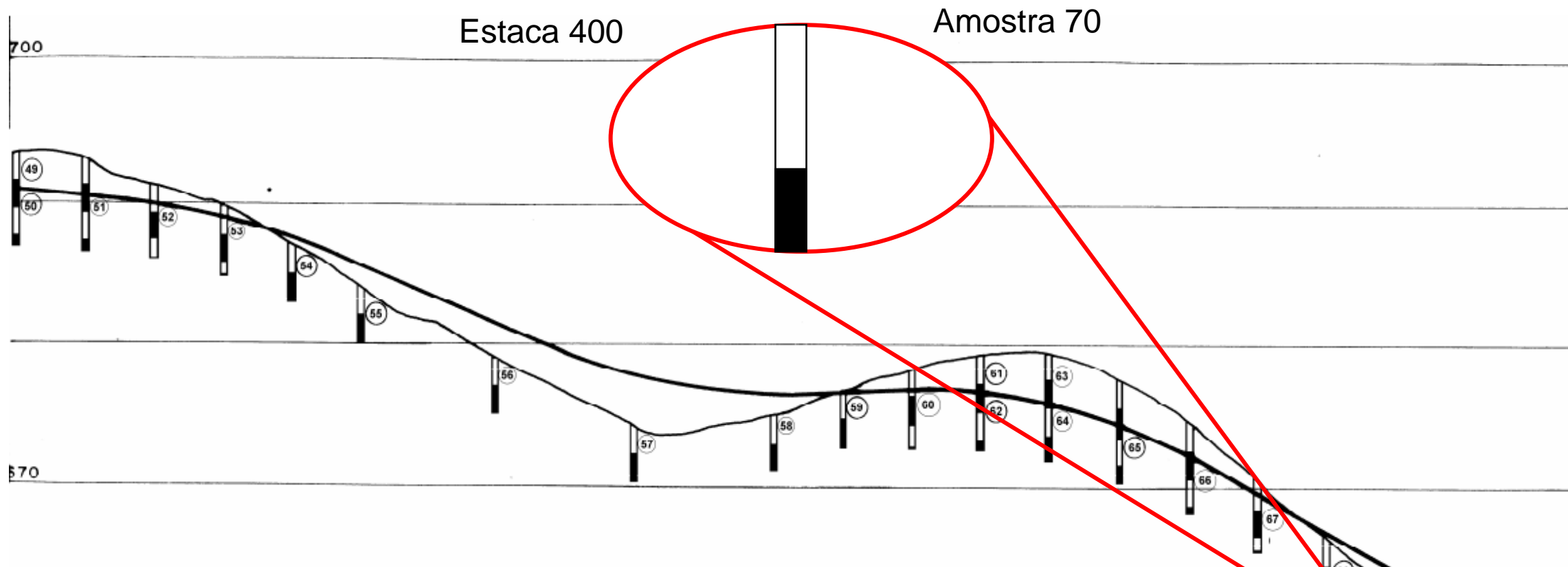
- IS-202: Estudos Geológicos;
- IS-206: Estudos Geotécnicos;
- IS-211: Projeto de Pavimentação (Pavimentos Flexíveis).

Em relação aos **normativos referenciados** na IS-247, alerta-se para adoção, pelos projetistas, **sempre da versão mais atualizada de cada documento**.

**IS 247**

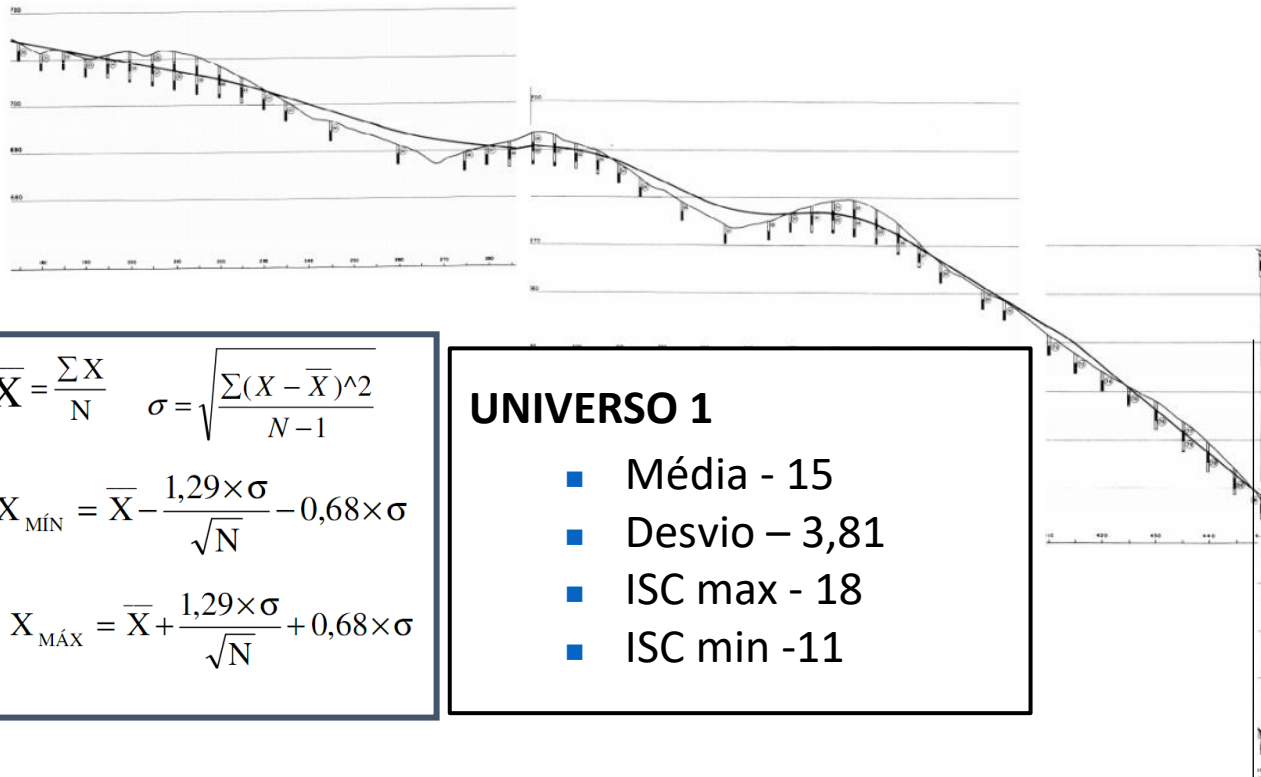


# Estudos Geotécnicos para Projetos de Dimensionamento de Pavimentos Empíricos



LOCALIZAÇÃO			GRANULOMETRIA			ÍNDICES FÍSICOS		CLASSE HRB	CBR (%)	Exp. (%)
ESTACA	PROF. (m)	AMOSTRA	2	0,42	0,074	LL	IP			
400	0,2-0,8	70	100	100	97	47	13	A-7-5	16	0,9

# Estudos Geotécnicos para Projetos de Dimensionamento de Pavimentos Empíricos



$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{N-1}}$$

$$X_{\text{MÍN}} = \bar{X} - \frac{1,29 \times \sigma}{\sqrt{N}} - 0,68 \times \sigma$$

$$X_{\text{MÁX}} = \bar{X} + \frac{1,29 \times \sigma}{\sqrt{N}} + 0,68 \times \sigma$$

## UNIVERSO 1

- Média - 15
- Desvio - 3,81
- ISC max - 18
- ISC min - 11

Predominam solos argilosos

ISC de projeto = 16%

**UNIVERSO 1**

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES (35 % ou menos passando na peneira n.º 200)							MATERIAIS SILTOSOS E ARGILOSOS (mais de 35% passando na peneira de nº200)			
GRUPOS	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Porcentagem que passa nas peneiras de abertura nominal igual a											
2,00 mm	50 máx	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,42 mm	30 máx	50 máx	51 mín	-	-	-	-	-	-	-	-
0,074 mm	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín
Características da fração que passa na peneira de abertura nominal igual a 0,42 mm											
Limite de liquidez (%)	-	-	-	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice de Plasticidade (%)	6 máx	6 máx	NP	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Índice de Grupo (IG)	0	0	0	0	0	< 4	< 4	< 8	< 12	< 16	< 20
Materiais predominantes	Pedra britada, pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia siltosa ou argilosa				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Regular a mau			

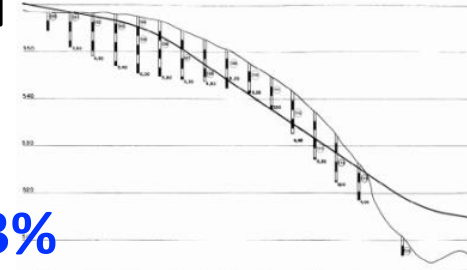
## UNIVERSO 2

- Média - 32
- Desvio - 3,20
- ISC max - 35
- ISC min - 28

Predominam solos siltosos

ISC de projeto = 33%

**UNIVERSO 2**



# Estudos Geotécnicos - Atualizações para o Uso do Método Medina – IS 247

## NOTA INFORMATIVA

**Referência: Instrução de Serviço – IS-247: Estudos para Elaboração de Projetos de Implantação usando o Método de Dimensionamento Nacional – MeDiNa**

As Instruções de Serviços (ISs), que indicam as fases e os procedimentos adotados na elaboração dos estudos e projetos de engenharia rodoviária do DNIT, são apresentadas na *Publicação IPR-726: Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários – Escopos Básicos / Instruções de Serviço (DNIT, 2006)*.

Com a implementação do novo método de dimensionamento nacional (MeDiNa), avaliou-se que as atualizações a serem realizadas na Publicação IPR-726 (DNIT, 2006) refletiriam em um extenso cronograma, o que afetaria a aplicação imediata do referido método na Autarquia.

Dessa forma, optou-se pela elaboração de uma Instrução de Serviço particular, para definir aspectos considerados essenciais à adoção do novo método de dimensionamento. O objetivo da referida Instrução é definir e especificar os estudos a serem realizados, visando a implementação do MeDiNa.

De forma geral, baseando-se nas Instruções vigentes, procurou-se alterar ou acrescentar pontos que devem ser utilizados em projetos de implantação rodoviária sob a ótica do método MeDiNa. Para pontos comuns, não relacionados ao método, devem ser verificadas as Instruções de Serviço vigentes, referentes a projetos de pavimentação conforme Publicação IPR-726 (DNIT, 2006), especialmente as relacionadas abaixo:

- IS-202: Estudos Geológicos;
- IS-206: Estudos Geotécnicos;
- IS-211: Projeto de Pavimentação (Pavimentos Flexíveis).

Em relação **aos normativos referenciados** na IS-247, alerta-se para adoção, pelos projetistas, **sempre da versão mais atualizada de cada documento**.

### 3.1.1.1 ENSAIOS DO SUBLEITO

As amostras coletadas em cada furo, nos diversos horizontes, serão submetidas aos seguintes ensaios, de acordo com a classificação de solos que melhor se adequa a região.

Classificação da AASHTO:

- Granulometria (DNER-ME 080/94);
- Limite de Liquidez (DNER-ME 122/94);
- Limite de Plasticidade (DNER-ME 082/94).

Classificação MCT:

- Perda de massa por imersão (DNER-ME 256/94);
- Mini-MCV (DNER-ME 258/94).

Após a caracterização, serão realizados os seguintes ensaios:

- Compactação (DNIT 164/2013-ME);



IS-247: Instrução de Serviço – Estudos para elaboração de projetos de implantação usando o Método de Dimensionamento Nacional - MeDiNa

- Índice de Suporte Califórnia (CBR);
- Expansão (DNIT 172/2016-ME);
- Módulo de Resiliência (MR) (DNIT 134/2018-ME);
- Os segmentos homogêneos serão definidos através do coeficiente de variação máximo de 20 % ( $CV = \sigma/\bar{X}$ ) considerando a média obtida nos 18 pares de tensão em cada ensaio de Módulo de Resiliência (MR). Em 10 % do número de amostras utilizadas nos segmentos homogêneos para ensaios de MR deverão ser executados ensaios de Deformação Permanente (DP) sendo no mínimo 3 amostras (DNIT 179/2018-IE).

Os ensaios de MR e DP poderão ser dispensados para materiais que compõem o aterro da rodovia a serem utilizados em profundidade superior à 2,0 m em relação à camada de regularização do subleito.

Após a execução dos ensaios deverá ser apresentado um perfil geotécnico com a classificação dos solos utilizada, identificando os pontos das sondagens realizadas no projeto geométrico, a fim de avaliar a potencial variabilidade das condições dos solos.

### 3.1.2 ESTUDO DE EMPRÉSTIMOS E OCORRÊNCIAS DE MATERIAIS

Nas ocorrências julgadas aproveitáveis pelos estudos geológico-pedológicos, geotécnicos e pela inspeção de campo, serão feitos os seguintes serviços:

- a) Cinco a dez furos de sondagem georreferenciados na periferia e na parte central da área delimitada, convenientemente localizados, até a profundidade necessária ou compatível com os métodos de extração adotados. Em cada furo de sondagem e para cada camada pedológica (se houver variação no material, ao longo da profundidade do furo), será coletada uma amostra suficiente para a realização dos ensaios, de acordo com a classificação de solos que melhor se adequa à região:

Classificação da AASHTO:

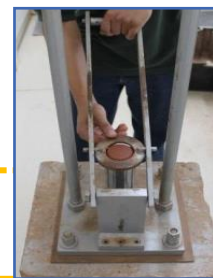
- Granulometria (DNER-ME 080/94);
- Limite de Liquidez (DNER-ME 122/94);
- Limite de Plasticidade (DNER-ME 082/94);
- Equivalente de Areia (DNER-ME 054/97).

Classificação MCT:

- Perda de massa por imersão (DNER-ME 256/94);
- Mini-MCV (DNER-ME 258/94).

Após a caracterização, serão realizados os seguintes ensaios:

- Compactação (DNIT 164/2013-ME);
- Índice de Suporte Califórnia (CBR) e Expansão (DNIT 172/2016-ME);
- Módulo de Resiliência (DNIT 134/2018-ME);

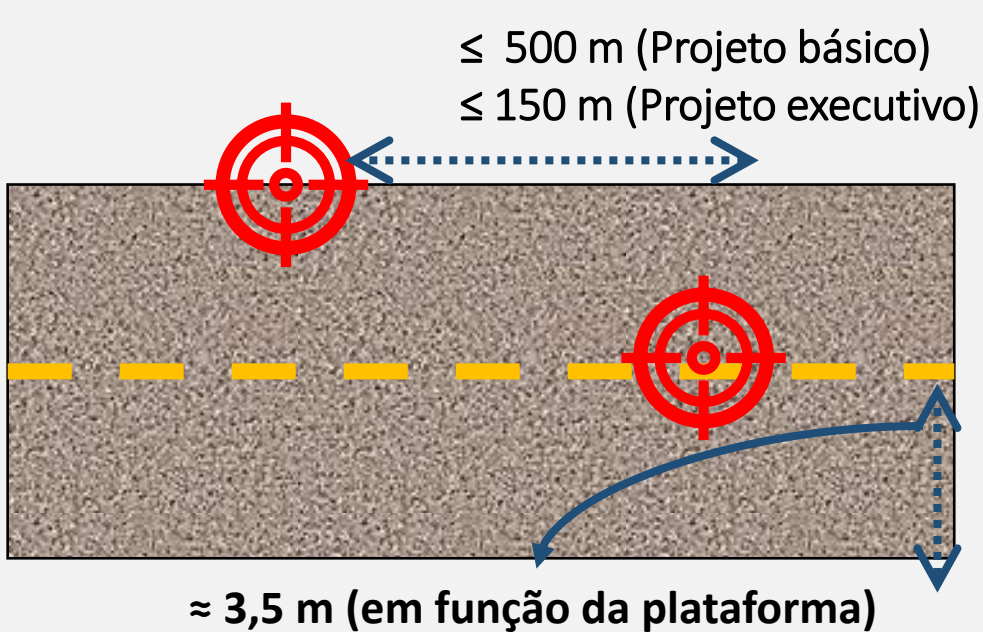


IS-247: Instrução de Serviço – Estudos para elaboração de projetos de implantação usando o Método de Dimensionamento Nacional - MeDiNa

- Considerando os furos de sondagem que apresentem valores de MR com coeficiente de variação  $\leq 20$ , executar ao menos 1 ensaio de Deformação Permanente (DNIT 179/2018-IE).

# Estudos Geotécnicos (IS 247)

## Amostragem e Ensaios



50 m

50 m


Deverá ser verificada qual a mais adequada classificação de solos (MCT ou AASHTO)



Compactação



Índice de Suporte Califórnia



Expansão



Módulo de Resiliência



Deformação Permanente

**SUBLEITO:** Realizado em 10% do número de amostras utilizadas nos segmentos homogêneos para ensaios de MR ( $CV \leq 20\%$ ) deverão ser executados ensaios de DP sendo no **mínimo 3 amostras**

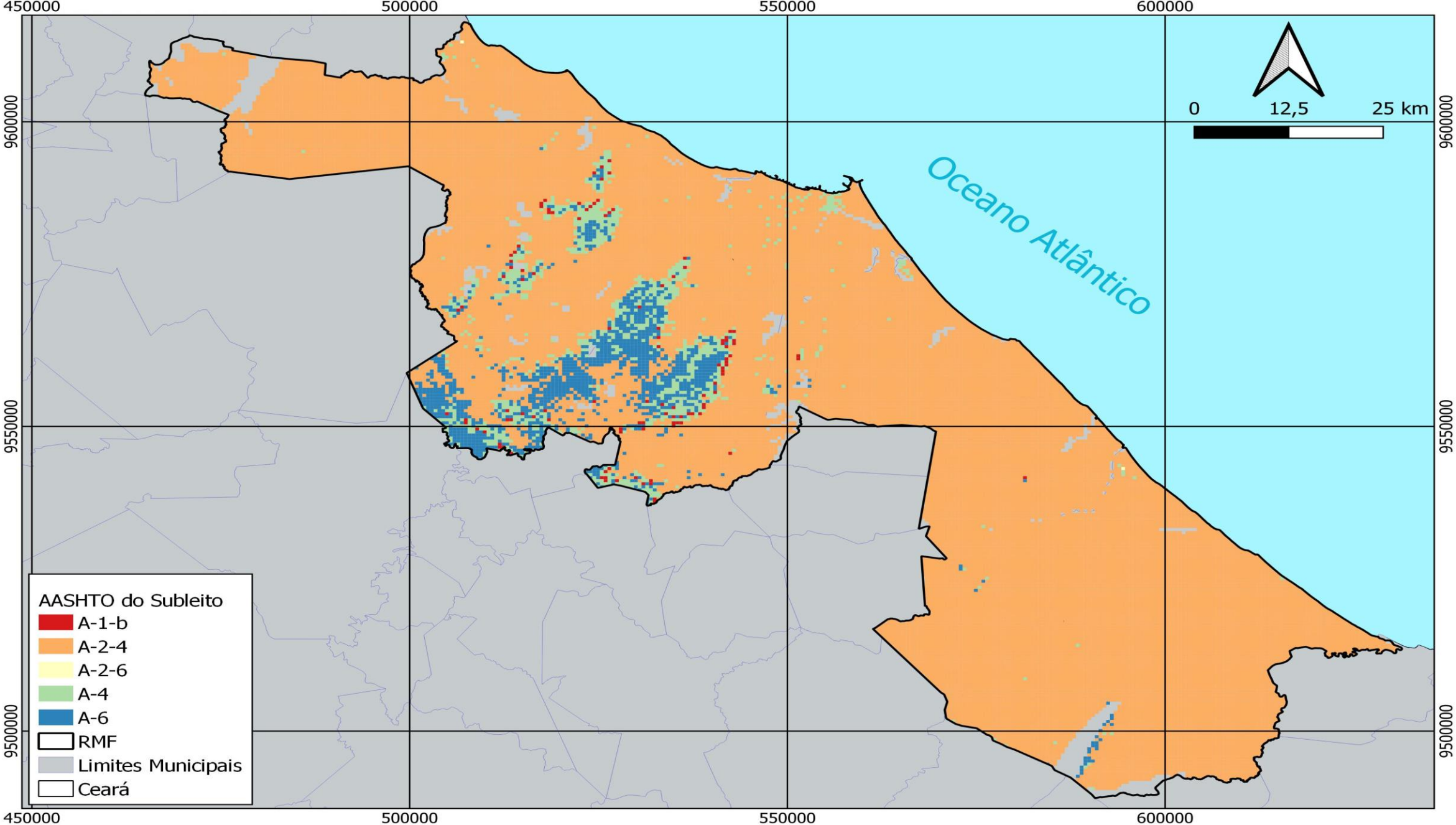
**EMPRÉSTIMOS:** no mínimo 1 ensaio de DP

# SUMÁRIO

- 1 Considerações Iniciais (Apresentação, Grupo, Laboratório)
- 2 Avanços do Subprojeto 02 para Estruturação de Dados Geotécnicos
- 3 Estudos Geotécnicos Para Projetos de Pavimentos
- 4 Desafios para o Desenvolvimento de um Manual Geotécnico**
- 5 Manual Geotécnico Preliminar Mecanístico-Empírico
- 6 Considerações Finais



# Desafios para o Desenvolvimento de um Manual Geotécnico à Luz de Parâmetros Mecânico-Empíricos



# Desafios para o Desenvolvimento de um Manual Geotécnico à Luz de Parâmetros Mecanístico-Empíricos

## Como Incluir os Parâmetros de Rigidez em um Possível Mapeamento Geotécnico Rodoviário?

- A inclusão de parâmetros de rigidez para realização do dimensionamento mecanístico-empírico traz à tona **questionamentos sobre como deverão ser realizados os estudos geotécnicos em nível de projeto básico ou executivo.**
- **Algumas Dificuldades**
  - Quantidade insuficiente de equipamentos no Brasil para a realização dos ensaios de MR e DP.
  - Limitação de escolha de um valor único para o MR e DP em razão do mesmo ser determinado a partir de um modelo geralmente não linear.

$$MR = K_1 \cdot \sigma_3^{k2} \cdot \sigma_d^{k3}$$

$$\epsilon_p^{esp} = \psi_1 \cdot \sigma_3 \psi^2 \cdot \sigma_d \psi^3 \cdot N \psi^4$$

- Tempo necessário para a realização dos ensaios de DP conforme a atual norma publicada pelo DNIT.

✓ Cerca de 9 a 18 dias

## Método CBR



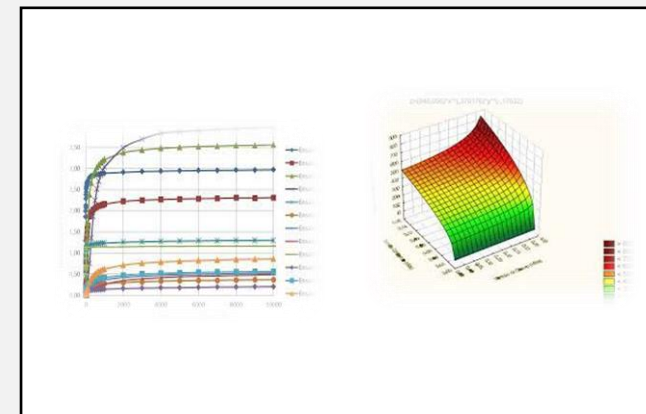
Aproximadamente  
**R\$ 1.000,00**



## Método MeDiNa



-MR ~= **R\$ 2.000,00** (1 a 3 horas)  
-DP ~= **R\$ 10.000,00** (9 a 18 dias)



## Como Incluir os Parâmetros de Rigidez em um Possível Mapeamento Geotécnico Rodoviário?

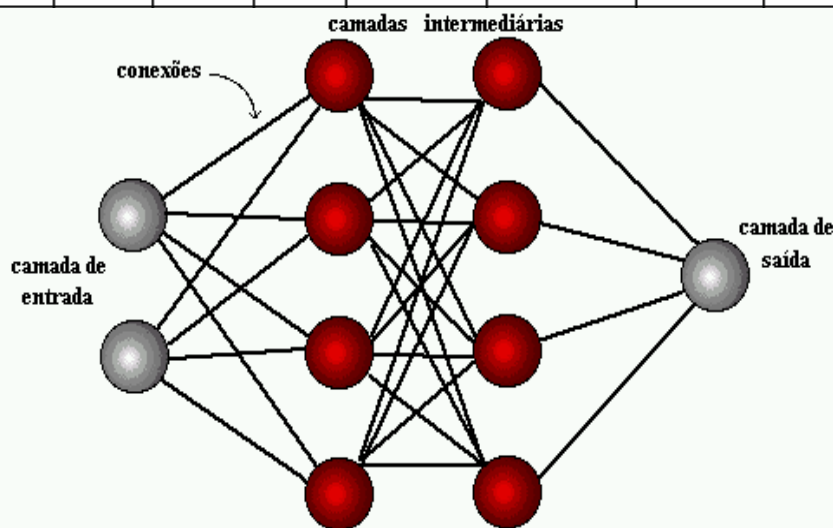
- **Algumas Sugestões**

- Continuação da realização da caracterização dos materiais por meio de ensaios granulométricos, de índices físicos, compactação, **bem como a inclusão dos parâmetros da classificação MCT (Miniatura, Compactado, Tropical) e a determinação do MR e DP.**
- Redução do tempo para realização dos ensaios de DP.
  - ✓ **10h de ensaio versus 9/18 dias??? Redução de ciclos para 30.000?**
  - ✓ **Aumento da frequência? Uso de IA? Novos protocolos?**
- Para que a **redução da quantidade dos furos** seja possível, **é importante que se invista na elaboração de mapas geotécnicos**
- **Todas as coletas** devem ser obrigatoriamente **georreferenciadas** para que se possa ter um banco de dados futuro onde se possam extrair padrões de comportamento (modelos) usando-se ferramentais de IA.

# Desafios para o Desenvolvimento de um Manual Geotécnico à Luz de Parâmetros Mecânico-Empíricos

✓ Levantamento de dados de parâmetros de rigidez para criação de banco de dados

AMOSTRAS	OT (%)	DEN (g/cm3)	CBR (%)	EXP (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	25,4 (#1")	9,5 (#3/8")	4,76 (#4)	2 (#1)	0,42 (#40)	0,074 (#20)	AASHTO	$\sigma_3$	$\sigma_d$	MR
1	8	2,16	73	0	0	0	0	88	57	53	49	26	8	A-1-a	0,021	0,021	1265,000
2	8	2,16	73	0	0	0	0	88	57	53	49	26	8	A-1-a	0,021	0,041	674,000
3	8	2,16	73	0	0	0	0	88	57	53	49	26	8	A-1-a	0,021	0,062	526,000
4	8	2,16	73	0	0	0	0	88	57	53	49	26	8	A-1-a	0,034	0,034	1150,000
5	8	2,16	73	0	0	0	0	88	57	53	49	26	8	A-1-a	0,034	0,069	555,000
6	8	2,16	73	0	0	0	0	88	57	53	49	26	8	A-1-a	0,034	0,103	504,000
7	8	2,16	73	0	0	0	0	88	57	53	49	26	8	A-1-a	0,051	0,051	972,000
8	8	2,16	73	0	0	0	0	88	57	53	49	26	8	A-1-a	0,051	0,103	566,000
9	8	2,16	73	0	0	0	0	88	57	53	49	26	8	A-1-a	0,051	0,155	569,000
10	8	2,16	73	0	0	0	0	88	57	53	49	26	8	A-1-a	0,069	0,069	957,000
11	8	2,16	73	0	0	0	0	88	57	53	49	26	8	A-1-a	0,069	0,137	652,000
12	8	2,16	73	0								26	8	A-1-a	0,069	0,206	679,000
13	8	2,16	73	0								26	8	A-1-a	0,103	0,103	891,000
14	8	2,16	73	0								26	8	A-1-a	0,103	0,206	842,000
15	8	2,16	73	0								26	8	A-1-a	0,103	0,309	859,000
16	8	2,16	73	0								26	8	A-1-a	0,137	0,137	1028,000
17	8	2,16	73	0								26	8	A-1-a	0,137	0,275	1009,000
18	8	2,16	73	0								26	8	A-1-a	0,137	0,412	988,000
19	8,3	2,15	64	0								28	11	A-1-a	0,021	0,021	1180,000
20	8,3	2,15	64	0								28	11	A-1-a	0,021	0,041	625,000
21	8,3	2,15	64	0								28	11	A-1-a	0,021	0,062	509,000
22	8,3	2,15	64	0								28	11	A-1-a	0,034	0,034	904,000
23	8,3	2,15	64	0								28	11	A-1-a	0,034	0,069	484,000
24	8,3	2,15	64	0								28	11	A-1-a	0,034	0,103	440,000
25	8,3	2,15	64	0								28	11	A-1-a	0,051	0,051	721,000
26	8,3	2,15	64	0								28	11	A-1-a	0,051	0,103	482,000



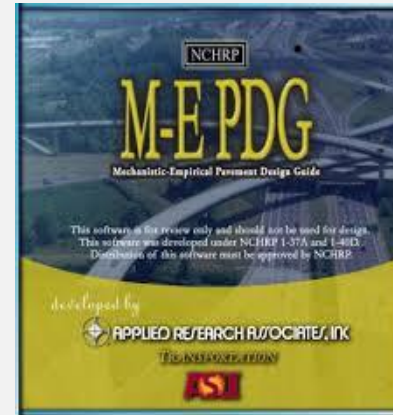
# Desafios para o Desenvolvimento de um Manual Geotécnico à Luz de Parâmetros Mecanístico-Empíricos

- ✓ Métodos modernos de dimensionamento adotam relações entre PI de solos e CBR/MR/DP



The screenshot shows the I-PAVE software interface. It has a top navigation bar with 'NEW' and 'REHAB' buttons. Below it are tabs for 'INPUT', 'FLEXIBLE', 'RIGID', 'SOIL DATA', 'TRAFFIC', 'PRINT', and 'CONTACT'. The 'INPUT' tab is active. It contains sections for 'Project Details' (Project Name, Location, County, Pavement Design Period), 'Structure' (Stone Base Thickness, Subgrade Stabilization Depth, Subgrade Type), and 'ESAL Calculation' (Total Number of Lanes, Roadway Classification, Annual Average Daily Traffic, Percent of Trucks, Design Lane Traffic, Growth Rate).

$$M_r (psi) = 1155 + 555R$$



$$MR = 6,37 + 0,034\% \text{ CLAY} + 0,45 \times PI - 0,0038\% \text{ SILT} - 0,244 \text{ CLASS}$$

- ✓ Carência de modelos de predição de MR e DP para o Brasil;



The screenshot shows a software interface for soil parameters. It has a list of input fields on the left: 'Tensão confinante MPa' (0,02), 'Tensão desvio MPa' (0,02), 'Densidade seca' (1,6), 'Limite de liquidez' (26), 'Limite de plasticidade' (18), 'Umidade otm' (10,5), 'Porcentagem passante na peneira N 10' (70,5), 'Porcentagem passante na peneira N 200' (30,5), and 'Expansão' (0,5). On the right, there is a 'Prever MR' button. The background features logos for 'petran', 'UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ', and 'DNIT DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES'.

$$MR (MPa) = 1658,09 - 340,08 \times y_d + 3,72 \times CBR - 7,93 \times \#10 - 0,32 \times \#40 - 1,43 \times \#200$$

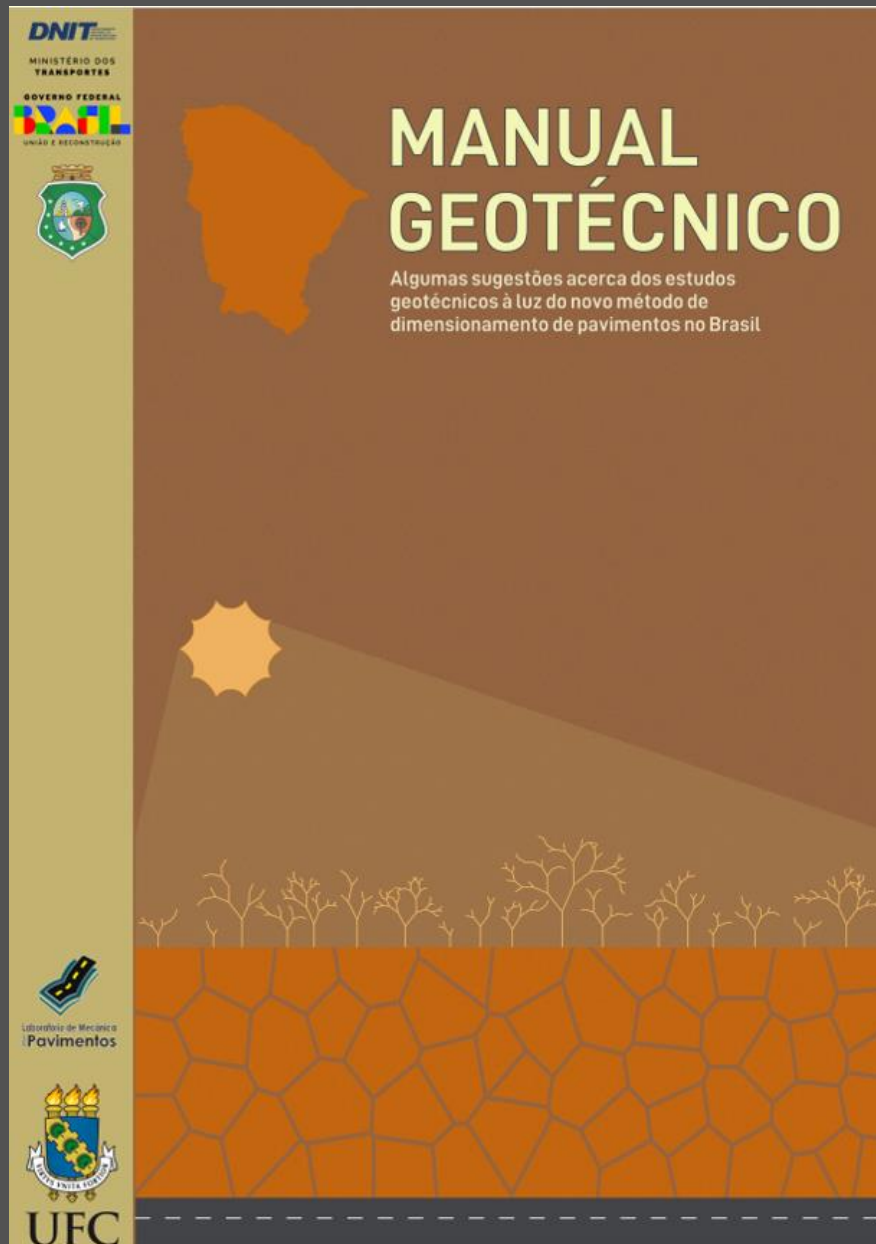
$$M_R = 97,18 + 8,24CBR$$

Fonte: DNIT (2022) - Relatório Plataforma Integrada de Estruturação e Análise de Dados com Uso de Inteligência Artificial

# SUMÁRIO

- 1 Considerações Iniciais (Apresentação, Grupo, Laboratório)
- 2 Avanços do Subprojeto 02 para Estruturação de Dados Geotécnicos
- 3 Estudos Geotécnicos Para Projetos de Pavimentos
- 4 Desafios para o Desenvolvimento de um Manual Geotécnico
- 5 Manual Geotécnico Preliminar Mecanístico-Empírico**
- 6 Considerações Finais

# Manual Geotécnico Preliminar



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO/RECOMENDAÇÕES GERAIS .....	6
2. CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE ESTUDO GEOTÉCNICO .....	9
3. ESTUDOS GEOTÉCNICOS.....	12
<b>3.1. Nível 3 – Categoria de Risco Baixo.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2. Nível 2 – Categoria de Risco Intermediário.....</b>	<b>15</b>
3.2.1. Estudos de Subleito .....	15
3.2.2. Estudos de Disponibilidade de Materiais .....	17
<b>3.3. Nível 1 – Categoria de Risco Alto.....</b>	<b>18</b>
3.3.1. Estudos de Subleito .....	18
3.3.2. Estudos de Disponibilidade de Materiais .....	20
4. PROPOSTAS DE SIMPLIFICAÇÕES PARA OBTENÇÃO DE MR E DP .....	22
4.1. Modelos de Inteligência Artificial.....	22
4.1.1. Módulo de Resiliência .....	22
4.1.2. Deformação Permanente.....	23
4.2. Propostas de Modificação nos Ensaios de Laboratório.....	23
4.2.1. Ensaio de MR .....	23
4.2.2. Ensaio de DP .....	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	24

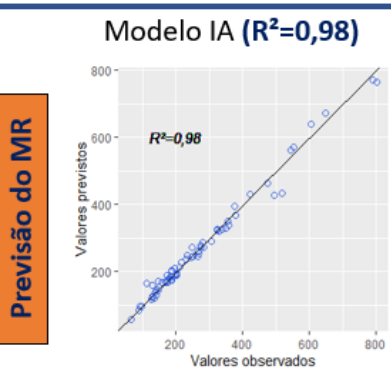
# INTRODUÇÃO

## Integração de Dados

Combinação de dados para análise abrangente

## Inteligência Artificial

Uso de IA para previsão de propriedades geotécnicas



## Novas Metodologias

Implementação de abordagens inovadoras para eficiência

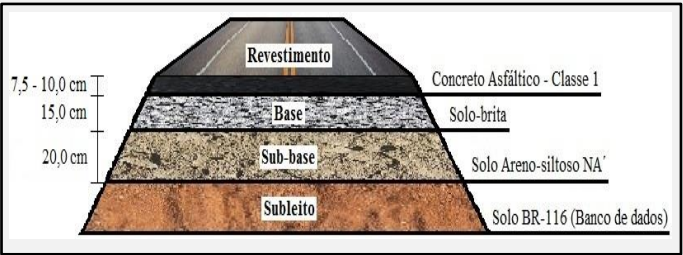
## Análise de Risco

Avaliação de riscos potenciais para definição dos estudos geotécnicos


## Ensaio Geotécnicos

Realização de ensaios para determinar as propriedades do solo

Tráfego	Tipo de Via	PROJETO EXECUTIVO				PROJETO BÁSICO				ESTUDO DE VIABILIDADE			
		Caracterização Geológico - Geotécnica				Caracterização Geológico - Geotécnica				Caracterização Geológico - Geotécnica			
		3	3	2	1	3	3	2	1	3	3	2	1
Muito Pesado	2	15	15	14	13	10	10	9	8	6	6	5	4
	1	14	14	13	12	9	9	8	7	5	5	4	3
	0	13	13	12	11	8	8	7	6	4	4	3	2
Pesado	2	14	14	13	12	9	9	8	7	5	5	4	3
	1	13	13	12	11	8	8	7	6	4	4	3	2
	0	12	12	11	10	7	7	6	5	3	3	2	1
Médio	2	13	13	12	11	8	8	7	6	4	4	3	2
	1	12	12	11	10	7	7	6	5	3	3	2	1
	0	11	11	10	9	6	6	5	4	2	2	1	0
Leve	2	12	12	11	10	7	7	6	5	3	3	2	1
	1	11	11	10	9	6	6	5	4	2	2	1	0
	0	10	10	9	8	5	5	4	3	1	1	0	-1
Muito Leve	2	11	11	10	9	6	6	5	4	2	2	1	0
	1	10	10	9	8	5	5	4	3	1	1	0	-1
	0	9	9	8	7	4	4	3	2	0	0	-1	-2



# CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE ESTUDO GEOTÉCNICO

**Categoria de Risco** 

Tráfego (RT)

Tipos de Vias (RV)

Características Geotécnicas (RGG)

Etapa do Projeto (REP)



 **Níveis de Estudo**

Nível 1

Nível 2

Nível 3

Níveis dos Estudos	Nível 3	Nível 2	Nível 1
Categorias de Riscos	Baixo	Médio	Alto

$$CR = RT + RV + RGG + 2 \times REP$$

CR	Categoria de Risco	Nível
(4 - 12)	Baixo	3
(13 - 18)	Intermediário	2
(19-24)	Alto	1

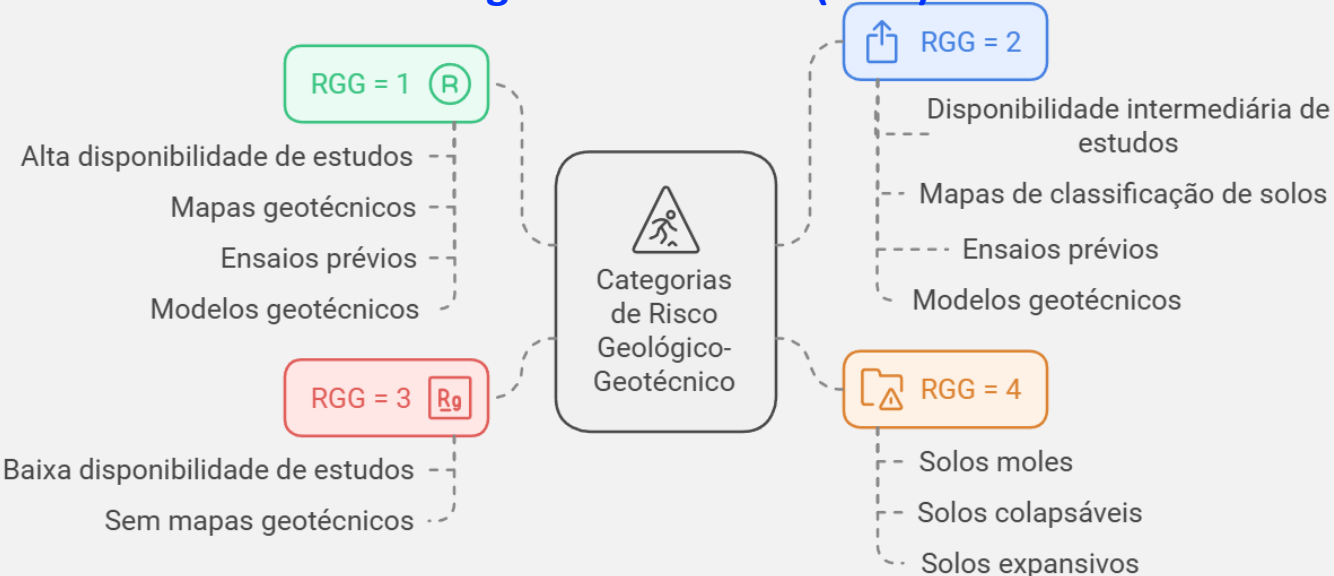
Tráfego		Vias		Geologia/Geotecnia		Projeto	
Tipo	RT	Tipo	RV	Tipo	RGG	Tipo	REP
Muito Pesado ( $N > 5 \times 10^7$ )	5	Arterial	3	Mal caracterizadas	4	Projeto Executivo	6
Pesado ( $10^7 < N \leq 5 \times 10^7$ )	4	Coletora	2	Problemas geotécnicos	3	Projeto Básico	3
Médio ( $5 \times 10^6 < N \leq 10^7$ )	3	Local	1	Caracterização intermediária	2	Estudo de Viabilidade (EVTA)	1
Leve ( $10^6 < N \leq 5 \times 10^6$ )	2	-	-	Bem caracterizadas	1	-	-
Muito Leve ( $N \leq 10^6$ )	1	-	-	-	-	-	-

# CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE ESTUDO GEOTÉCNICO

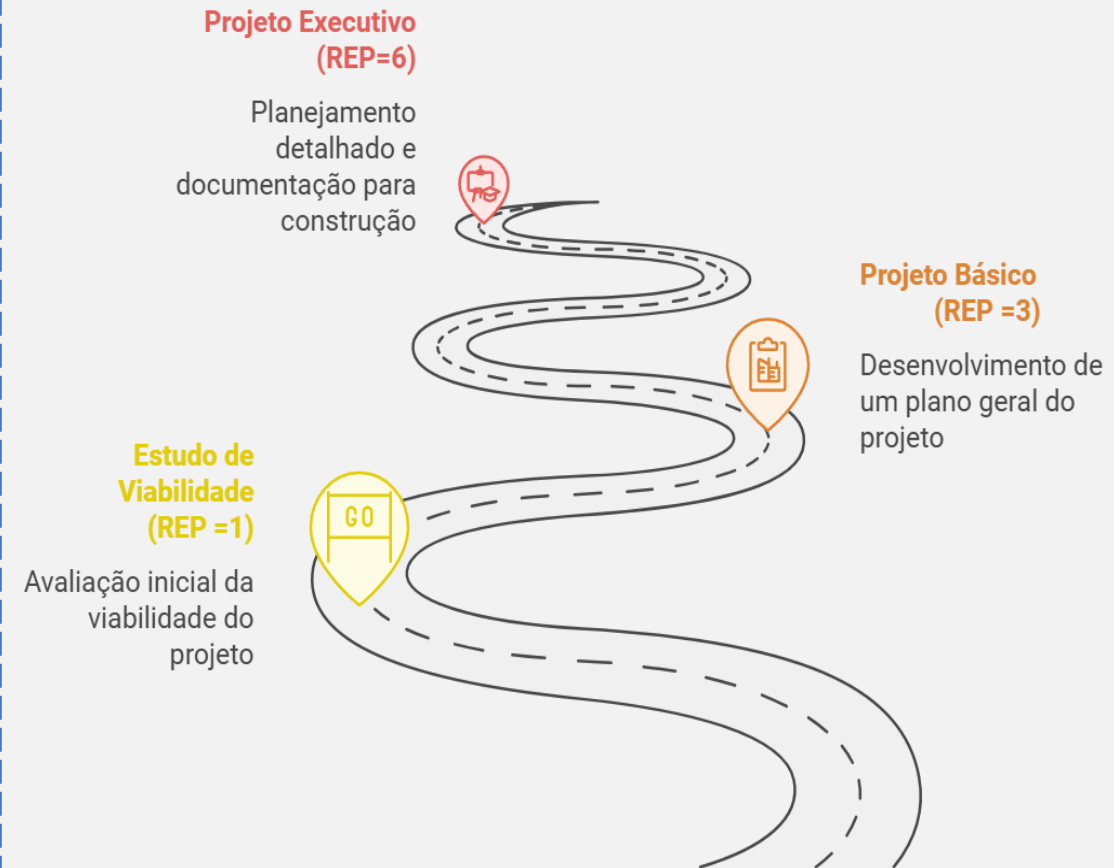
## Risco do Tipo de Via (RV)

Sistema	Áreas Urbanas	Áreas Rurais
<b>Arterial</b> RV = 3	Sistema Arterial Principal Sistema Arterial Secundário	Sistema Arterial Principal Sistema Arterial Primário Sistema Arterial Secundário
<b>Coletor</b> RV = 2	Sistema Coletor	Sistema Coletor Primário Sistema Coletor Secundário
<b>Local</b> RV = 1	Sistema Local	Sistema Local

## Risco Geológico-Geotécnico (RGG)



## Risco da Etapa de Projeto (REP)



# CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE ESTUDO GEOTÉCNICO

Tráfego <sup>1</sup>	Tipo de Via	PROJETO EXECUTIVO				PROJETO BÁSICO				ESTUDO DE VIABILIDADE			
		Caracterização Geológico – Geotécnica				Caracterização Geológico – Geotécnica				Caracterização Geológico - Geotécnica			
		4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
Muito Pesado	3	24	23	22	21	18	17	16	15	13	12	11	10
	2	23	22	21	20	17	16	15	14	12	11	10	9
	1	22	21	20	19	16	15	14	13	11	10	9	8
Pesado	3	23	22	21	20	17	16	15	14	12	11	10	9
	2	22	21	20	19	16	15	14	13	11	10	9	8
	1	21	20	19	18	15	14	13	12	10	9	8	7
Médio	3	22	21	20	19	16	15	14	13	11	10	9	8
	2	21	20	19	18	15	14	13	12	10	9	8	7
	1	20	19	18	17	14	13	12	11	9	8	7	6
Leve	3	21	20	19	18	15	14	13	12	10	9	8	7
	2	20	19	18	17	14	13	12	11	9	8	7	6
	1	19	18	17	16	13	12	11	10	8	7	6	5
Muito Leve	3	20	19	18	17	14	13	12	11	9	8	7	6
	2	19	18	17	16	13	12	11	10	8	7	6	5
	1	18	17	16	15	12	11	10	9	7	6	5	4

CR	Categoria de Risco	Nível
(4 - 12)	Baixo	3
(13 - 18)	Intermediário	2
(19-24)	Alto	1

Riscos	Cores
Alto	
Intermediário	
Baixo	

**Recomendação:** Independente do CR calculado, pode-se adotar Categoria de Risco Baixa para Estudos de Viabilidade.

## EXEMPLO

- Tráfego Leve (2)
- Via Arterial (3)
- Região Mal Caracterizada (4)
- Projeto Executivo (6)
- $RT = 2 + 3 + 4 + 2 \times 6 = 21$

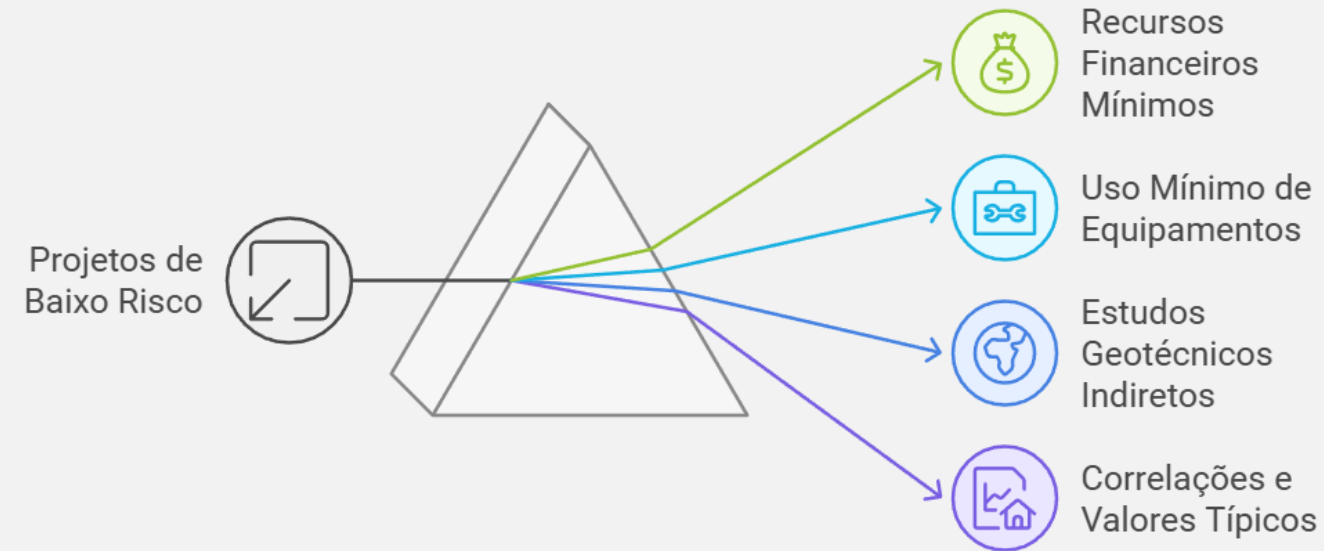
**RISCO ALTO (NÍVEL 1)**  
**(COR VERMELHA)**

# ESTUDOS GEOTÉCNICOS

## Especificações dos estudos para as categorias de risco

Categoria de Risco	Nível	Especificações	
Baixo	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilização de Mapas Geológico – Geotécnicos.</li> <li>Correlações com ensaios básicos (ex. granulometria, CBR).</li> <li>Modelos de IA.</li> </ul>	
Intermediário	2	Subleito	Disponibilidade de Materiais
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Sondagens a cada 500m no máximo.</li> <li>Ensaio de caracterização (granulometria, LL, LP, compactação, CBR, expansão e MCT quando há suspeita de solos lateríticos).</li> <li>Para cada universo amostral definido com base nos ensaios de caracterização, realizar 3 ensaios de MR e no mínimo 1 DP.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>9 furos no mínimo e no máximo 50m de distância.</li> <li>Ensaio de caracterização (granulometria, LL, LP, compactação, CBR, expansão e MCT quando há suspeita de solos lateríticos).</li> <li>Para cada universo amostral definido com base nos ensaios de caracterização, realizar 3 ensaios de MR e no mínimo 1 DP.</li> </ul>
Alto	1	Subleito	Disponibilidade de Materiais
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Sondagens a cada 150m no máximo.</li> <li>Ensaio de caracterização (granulometria, LL, LP, compactação, CBR, expansão e MCT quando há suspeita de solos lateríticos).</li> <li>Para cada universo amostral definido com base nos ensaios de caracterização, realizar 9 ensaios de MR e no mínimo 3 DP.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sondagens a cada 30m no máximo.</li> <li>Ensaio de caracterização (granulometria, LL, LP, compactação, CBR, expansão e MCT quando há suspeita de solos lateríticos).</li> <li>Para cada universo amostral definido com base nos ensaios de caracterização, realizar 9 ensaios de MR e no mínimo 3 DP.</li> </ul>

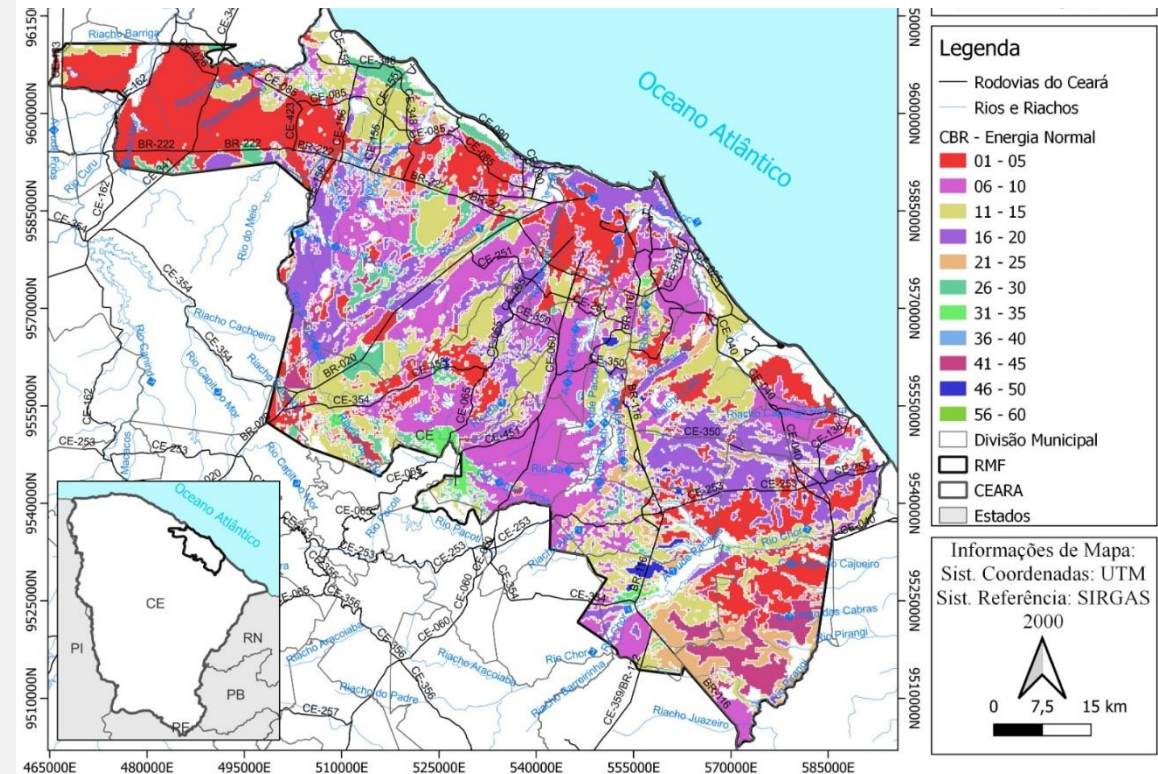
# CATEGORIA DE RISCO BAIXO – NÍVEL 3



## Valores Típicos de MR do Subleito para cada Classe AASHTO da RMF

Tipos de Subleitos	AASHTO	MR <sub>médio</sub> (MPa)	MR (MPa)	EP (%)
Granular 1 (G1)	Areia e Areia Siltosa e Argilosa (A-2-4 e A-2-6)	172	150 – 241	67
Granular 2 (G2)	Areia Fina (A-3)	119	106 – 132	40
Siltoso e Argiloso 1 (SA1)	Solos Siltosos (A-4 e A-5)	181	94 – 268	200
Siltoso e Argiloso 2 (SA2)	Solos Argilosos (A-6)	228	196 – 260	43

## Mapa de CBR Energia Normal (N) para a Região Metropolitana de Fortaleza (RMF)



## MODELO DE DP PARA RMF

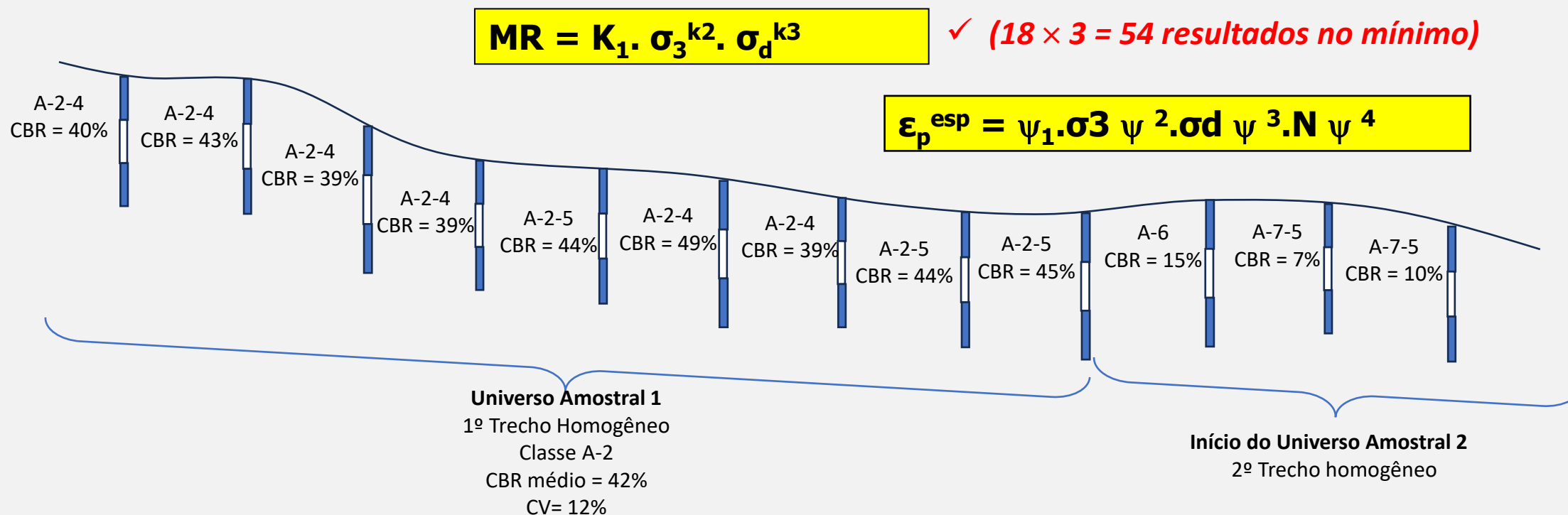
$$DP = 1,263 + 1,725D_{real} - 3,097y_{dmax} + 0,019ISC + 0,008\#40 - 0,015\#200 - 0,082AASHTO + 0,004\sigma_3 + 0,002\sigma_d \quad (R^2 = 0,68)$$

**Obs.: Modelos com correlações mais significativas estão em desenvolvimento.**

# CATEGORIA DE RISCO INTERMEDIÁRIO – NÍVEL 2

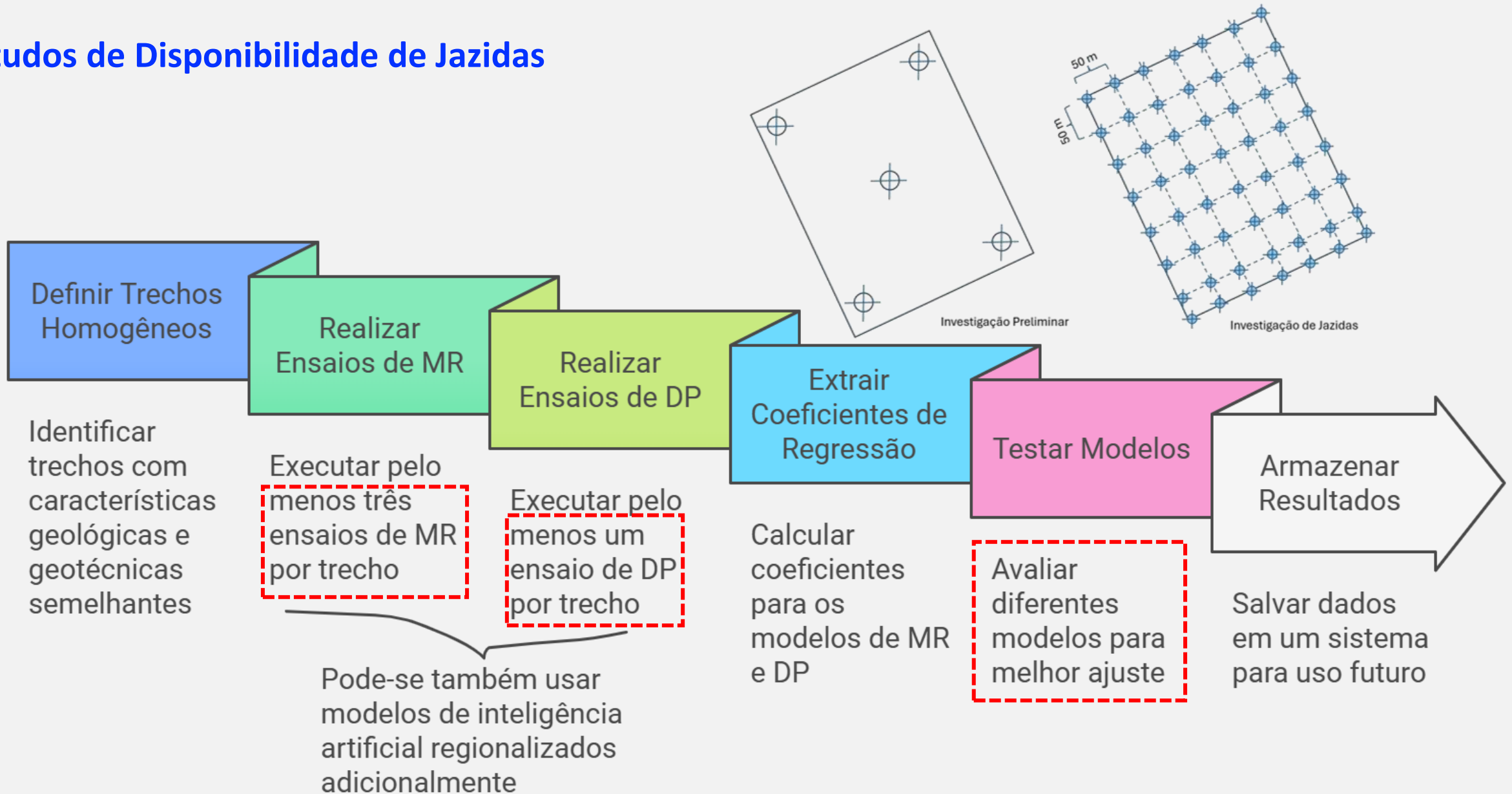
## Estudos de Subleito

- ✓ Os universos amostrais serão definidos a partir da **classificação geotécnica do material** e da **análise estatística dos valores de CBR, considerando no mínimo 9 ensaios com coeficiente de variação (CV) menor que 20%**. Ressalta-se que, caso seja elevado o CV entre esses parâmetros, o trecho deve ser dividido e analisado novamente, considerando como aceitável CV menor que 20%. **Os trechos homogêneos devem ser selecionados, adotando-se como limite 20 km conforme recomendado em DNIT (2006).**
- ✓ Para **caracterização do MR**, recomenda-se que sejam realizados no **mínimo 3 ensaios por universo amostra**
- ✓ Para o **ensaio de DP**, recomenda-se no **mínimo 1 ensaio de DP** (DNIT 179/2018-IE) por segmento homogêneo;
- ✓ Para cada trecho homogêneo, extrair os **coeficientes de regressão** do MR ( $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  e  $k_4$ ) e DP ( $\psi_1$ ,  $\psi_2$ ,  $\psi_3$  e  $\psi_4$ ).



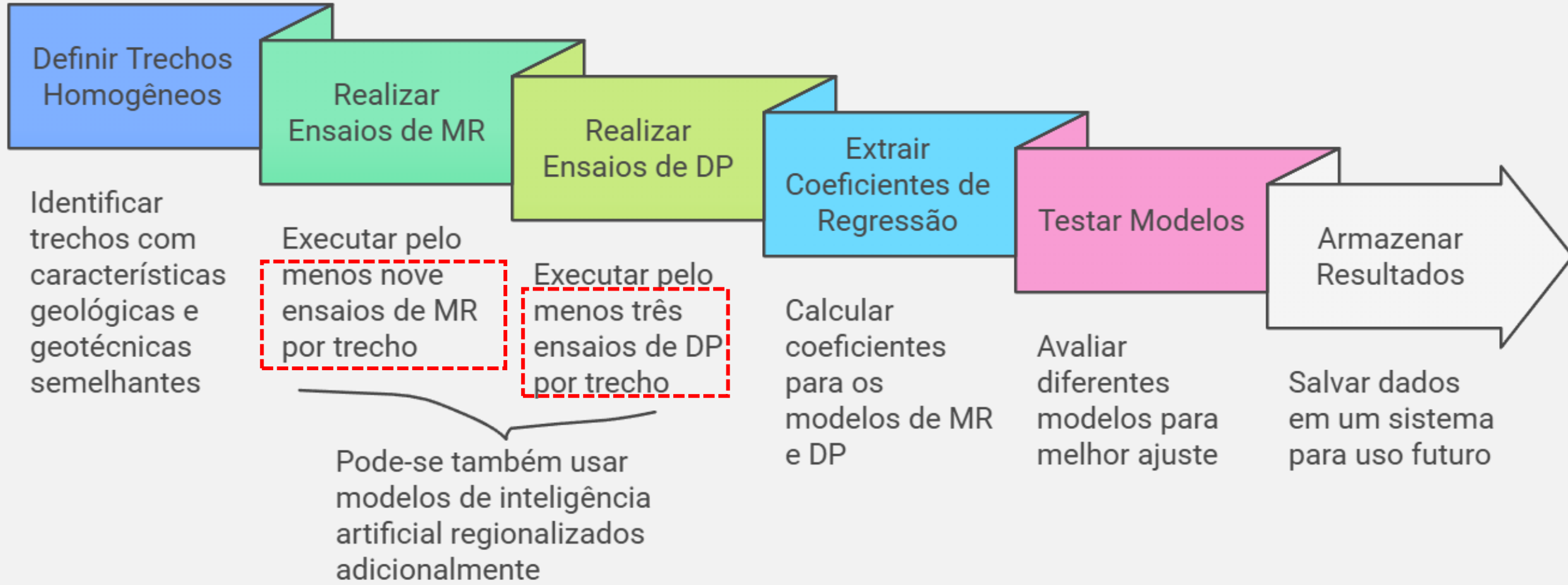
# CATEGORIA DE RISCO INTERMEDIÁRIO – NÍVEL 2

## Estudos de Disponibilidade de Jazidas



# CATEGORIA DE RISCO ALTO – NÍVEL 1

## Estudos de Disponibilidade de Jazidas



# SUMÁRIO

- 1 Considerações Iniciais (Apresentação, Grupo, Laboratório)
- 2 Avanços do Subprojeto 02 para Estruturação de Dados Geotécnicos
- 3 Estudos Geotécnicos Para Projetos de Pavimentos
- 4 Desafios para o Desenvolvimento de um Manual Geotécnico
- 5 Manual Geotécnico Preliminar Mecanístico-Empírico
- 6 Considerações Finais**

# CONSIDERAÇÕES FINAIS

- 11% dos entrevistados tem nível **ALTO** de conhecimento no método MEDINA e ensaios correspondentes
- 67% tem nível **BAIXO**

## Capacitação

### Treinamento Especializado

A exigência de treinamento especializado para conduzir e analisar ensaios.

### Impactos Econômicos

As implicações financeiras da adoção de novos métodos de teste.

### Necessidade de Correlações

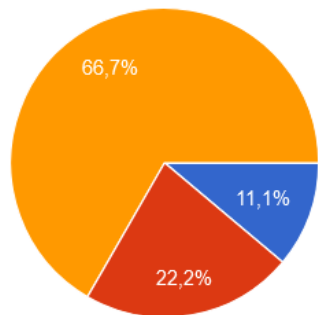
A necessidade de modelos confiáveis que liguem MR e DP a outras propriedades.

### Desafios Logísticos

As complexidades envolvidas na organização dos procedimentos de teste.

### Custos de Equipamento

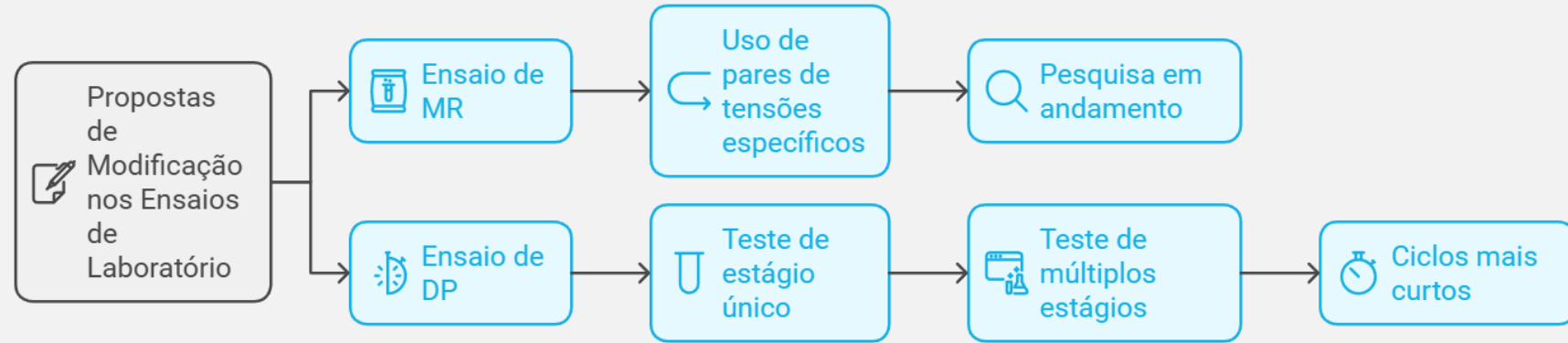
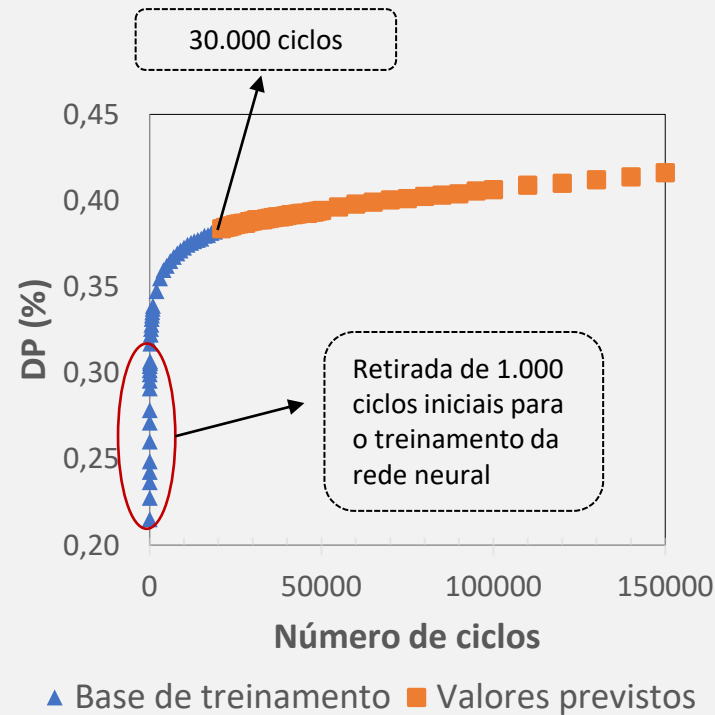
As altas despesas associadas a equipamentos de teste sofisticados.



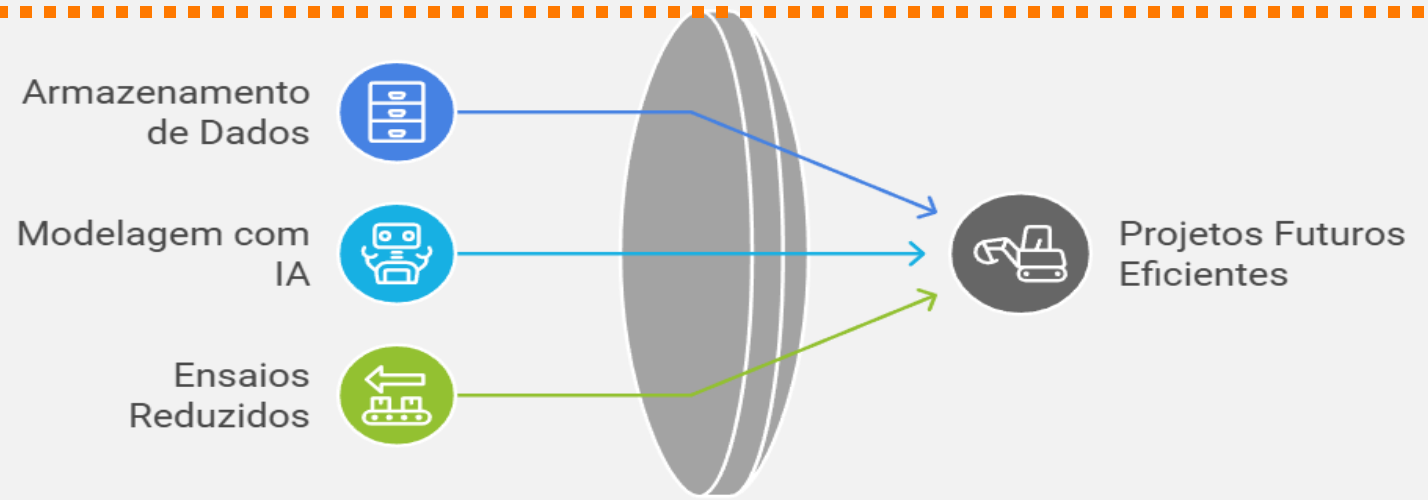
- Alto (Conheço a metodologia, sei utilizar o software de aplicação e interpretar os resultados)
- Intermediário (Conheço a metodologia, porém tenho pouco domínio do software e análise dos resultados dos ensaios e...)
- Baixo (Conheço um pouco a metodologia, mas não tenho nenhum domínio do software ou da realização d...)
- Nenhum

# CONSIDERAÇÕES FINAIS

## Propostas de Modificação nos Ensaios de Laboratório



## Importante para o FUTURO

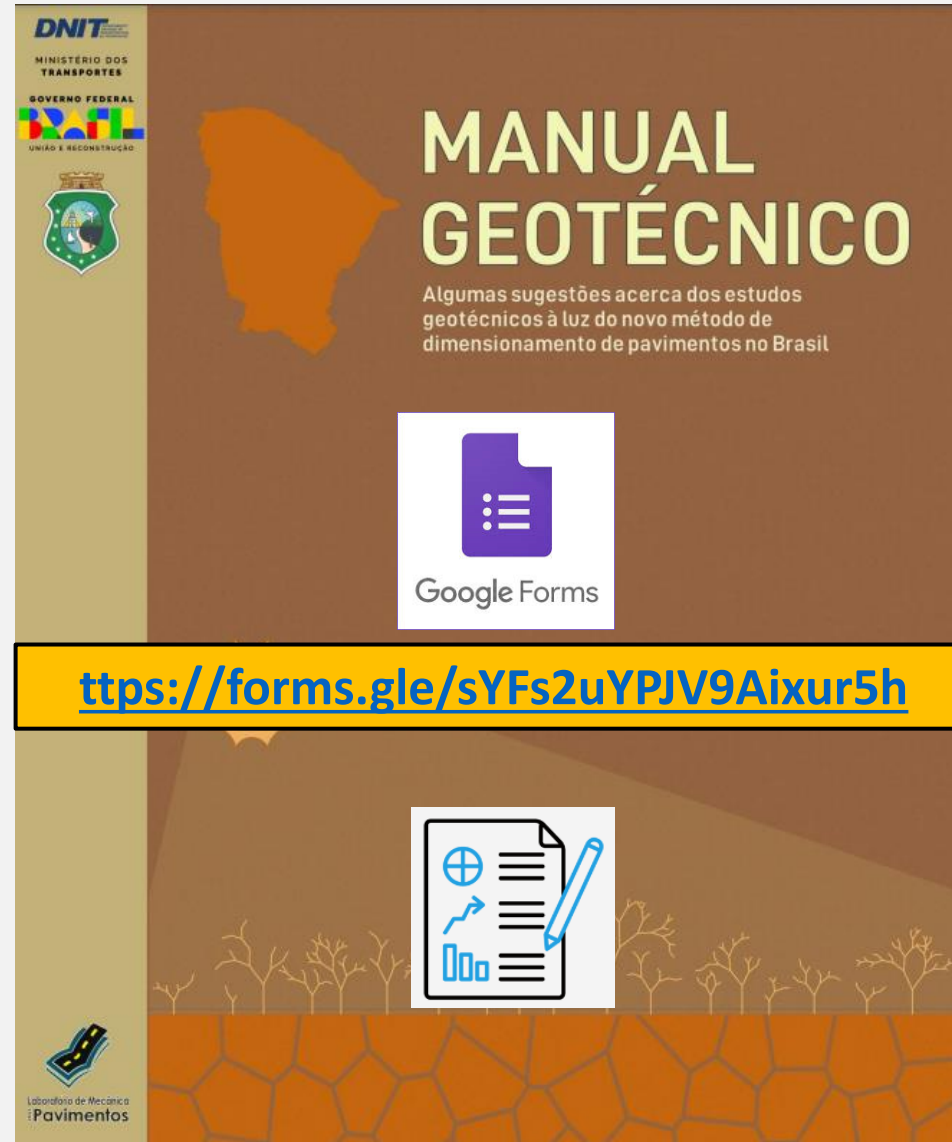


# Avanços e Desafios para o Desenvolvimento de um Manual Geotécnico à Luz de Parâmetros Mecanístico-Empíricos

Profa. Suelly Barroso (suelly@det.ufc.br)

Obrigada!!!

Perguntas?



UFC

