

Aplicações de Ciência de Dados e Inteligência Artificial à Infraestrutura

Lucas Babadopulos
+ Equipe do



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ



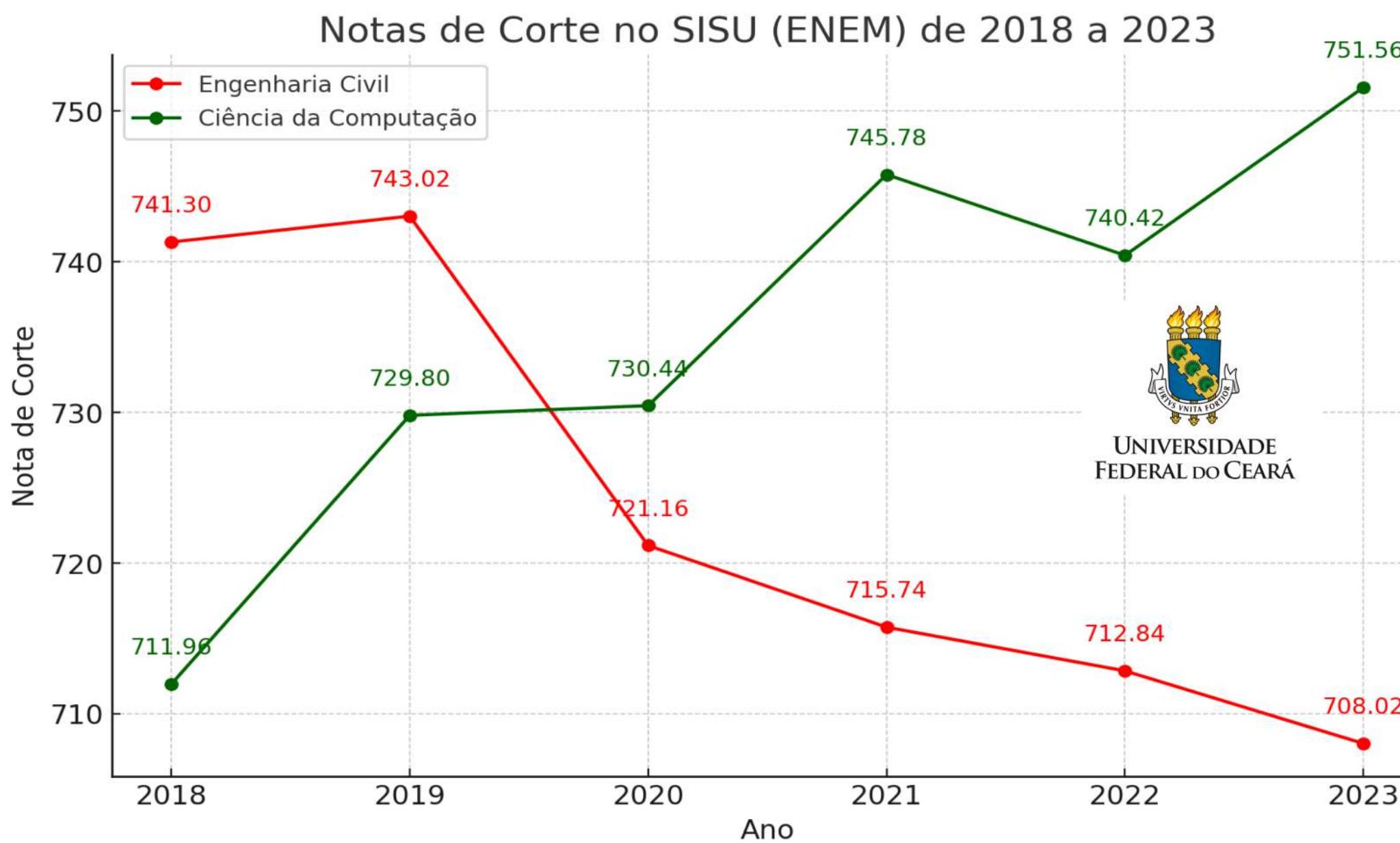
Estrutura da Apresentação

- Reflexões Iniciais e Conteúdo Preliminar
- Os mil ensaios em todos os tempos ou as dez milhões de imagens por ano
- Histórico no INCT-Infra e PC06 (Ciência de Dados)
- MIDR/Horus como exemplo de parcerias e Outras aplicações (GRiR, e-VIBE, AggregateScan, SenseAr, ...)
- Foco no MIDR/Horus
- "Futuro" pelo olhar da literatura
- "Futuro" no INCT-Infra
- Agradecimentos

Reflexões Iniciais

Eng. Civil / Infraestrutura (fim/domínio)

+ Ciência Computação (meio/ferramenta)



Notas da Engenharia Civil apresentam
tendência de queda.

Risco: vista como curso de categoria **inferior**?

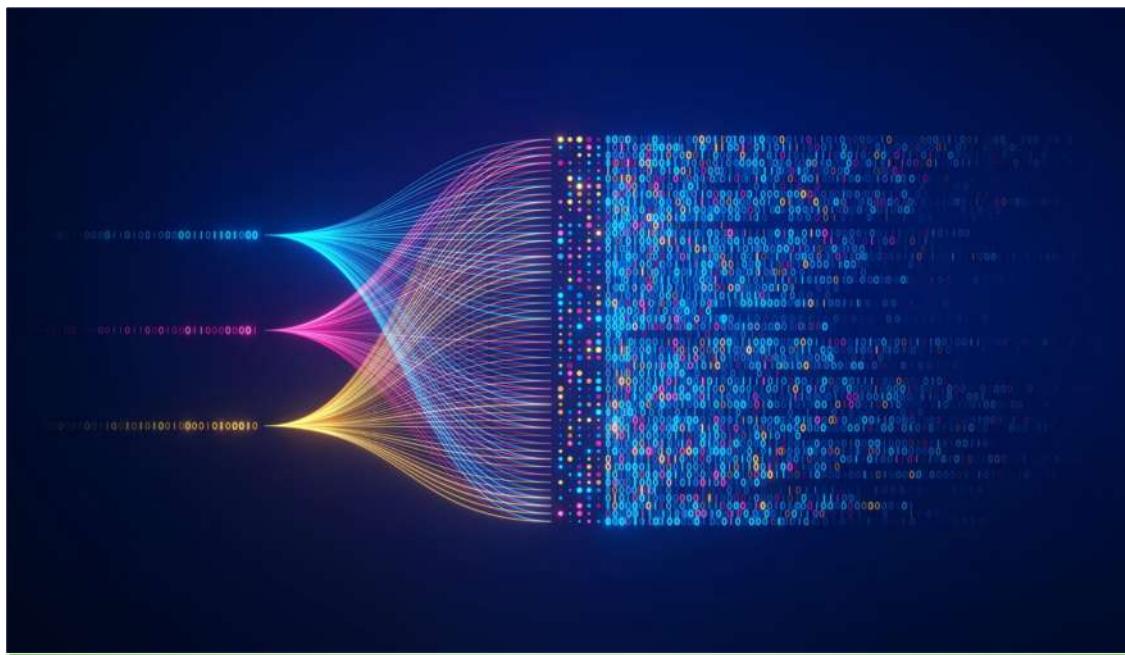
Deveríamos nos “**tecnologizar**” + ...
Aproximar + das Ciências da Computação.

Aproveitemos a onda da IA para revitalizar o
interesse e a valorização da Engenharia Civil.

Como construiremos o país sem qualificação máxima dos nossos Engenheiros?

Reflexões Iniciais

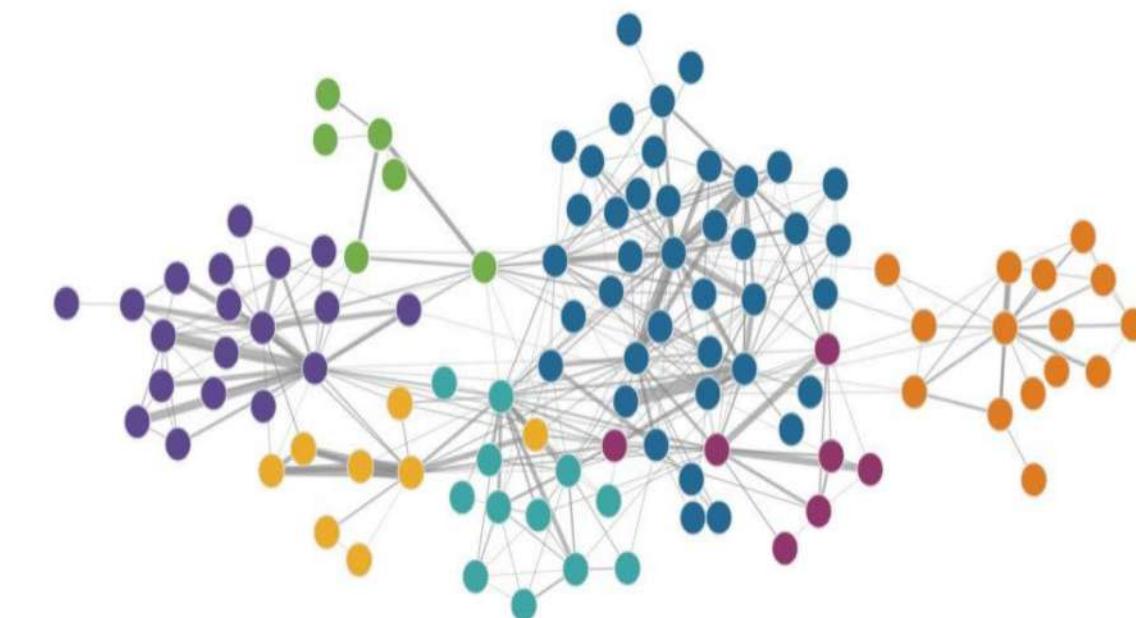
Inteligência Artificial (IA) / Ciência de Dados (CD)



ORGANIZAR E
ANALISAR **GRANDES**
QUANTIDADES DE
DADOS



AUTOMAÇÃO DE
TAREFAS



ENTENDER **RELACÕES**
COMPLEXAS ENTRE
DADOS

Como nossos órgãos e empresas, envolvidos com Engenharia, podem ganhar
eficiência em seus processos?

Reflexões Iniciais

PROPOSTA EM DISCUSSÃO

PLANO ESTRATÉGICO DE IA NO CEARÁ: criação de um Distrito de Inovação em IA no Ceará

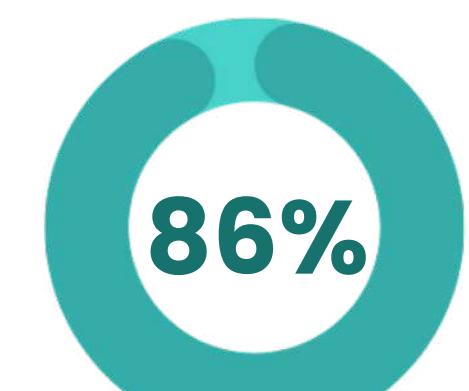
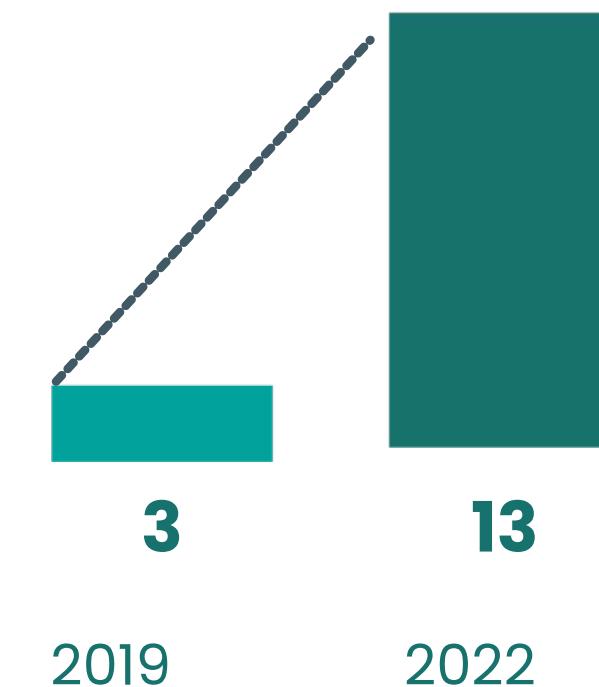


Alinhamento com:



CONTEXTO

Data Centers instalados no Ceará



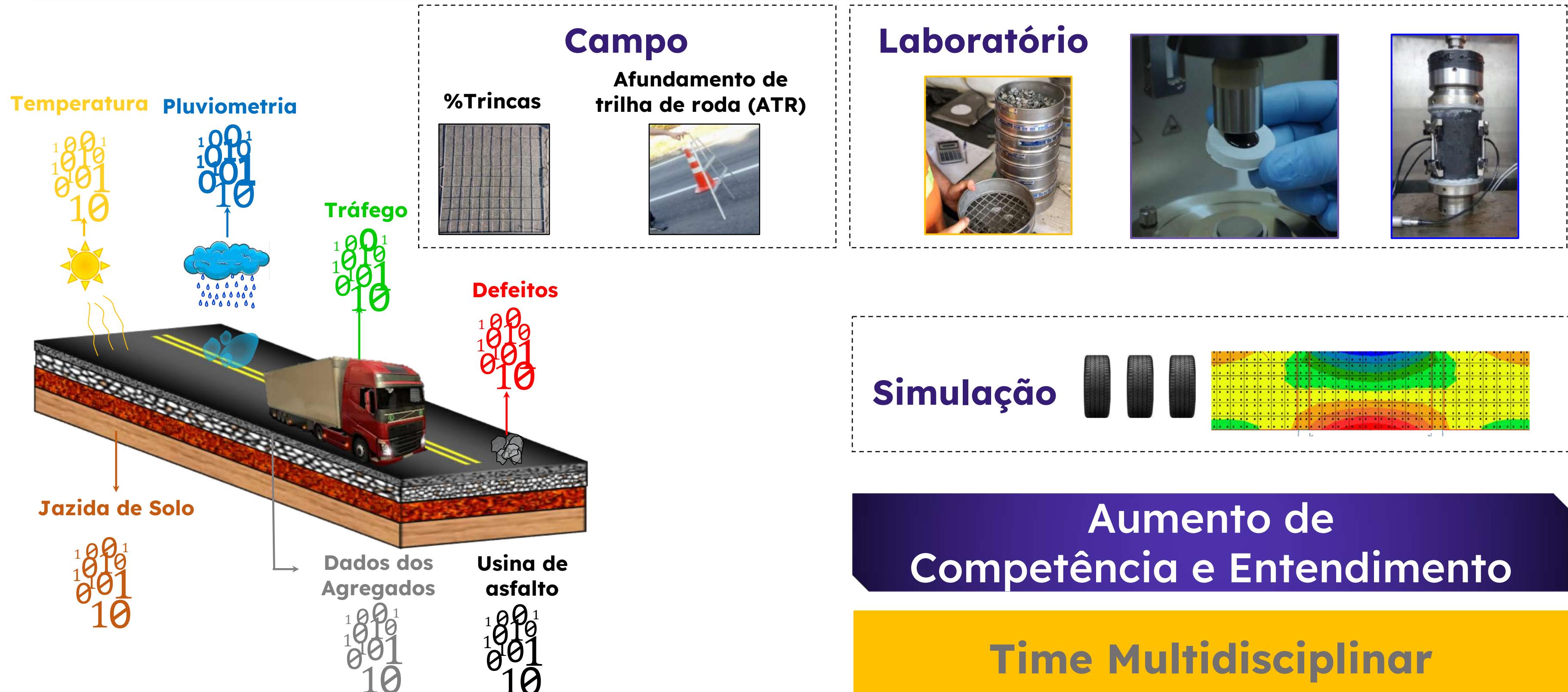
Municípios cobertos com Fibra ótica no Ceará

140 MIL KM

Cobertura de fibra ótica do Centurão Digital do Ceará

Reflexões Iniciais

IA/CD para infraestrutura rodoviária



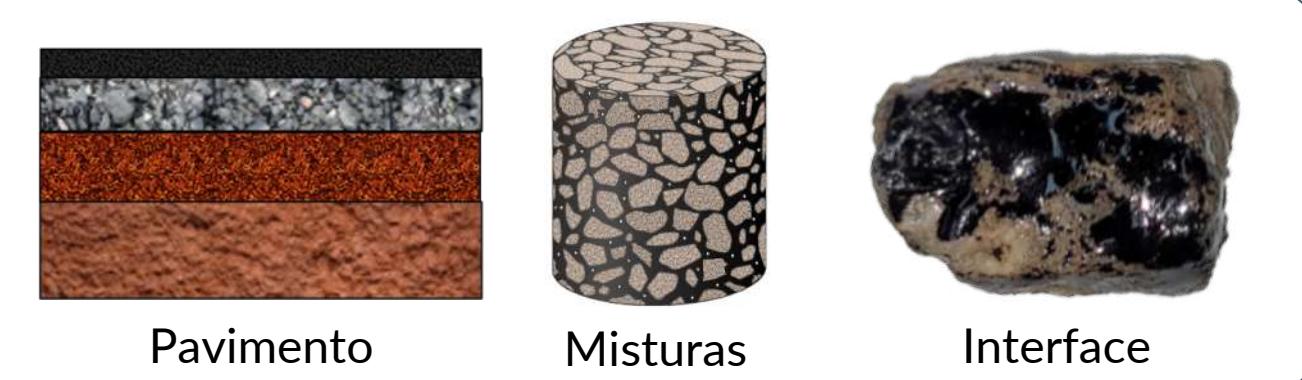
Reflexões Iniciais

Com o nossos grupos *evoluirão* com a IA? Mundo Físico & Mundo dos Dados

Escala Comum

Tamanho

Conjunto de regras (química & física)
Cinemática, Cinética, Leis de Conservação, Eq. Constitutivas



Mais Complexo

Pequena Escala



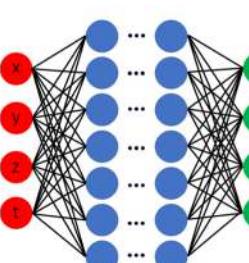
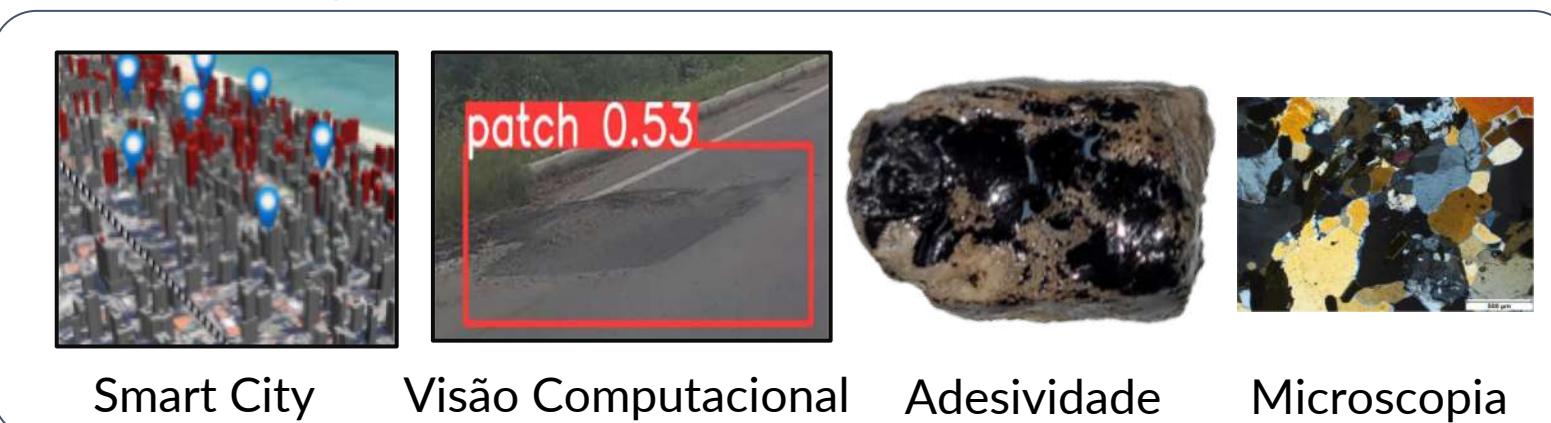
Conhecimento Físico

Novo Paradigma

Volume de Dados

Padrões emergirão do *big data*
aproximação da realidade; novo conjunto de regras descoberto ...

$$\begin{aligned} F &= \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2} & \Phi &= \int \delta \cos \alpha ds & \vec{F} &= \frac{q_1}{r} & W &= \frac{h^2 \pi R^4}{2} \\ \vec{E} &= \sum_i E_i & \psi(x) & & \frac{1}{\lambda} &= R z^2 & C &= L \\ v &= \frac{1}{t} & & & \rho &= mg & & \\ R &= \sigma T^4 & & & & & & \end{aligned}$$



Big Data (AI)

PINN
(Physics Informed Neural Networks)

Conteúdo Preliminar



Curso UFC-IPR/DNIT

***APLICAÇÕES DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA) PARA GERAÇÃO DE
DADOS PARA GERÊNCIA DE PAVIMENTOS***

— Dia 1 —



Instrutores:

- Lucas F. de A. L. Babadopoulos
- Marcelo B. de A. Veras
- João Paulo Pordeus Gomes
- Carlos David R. Melo



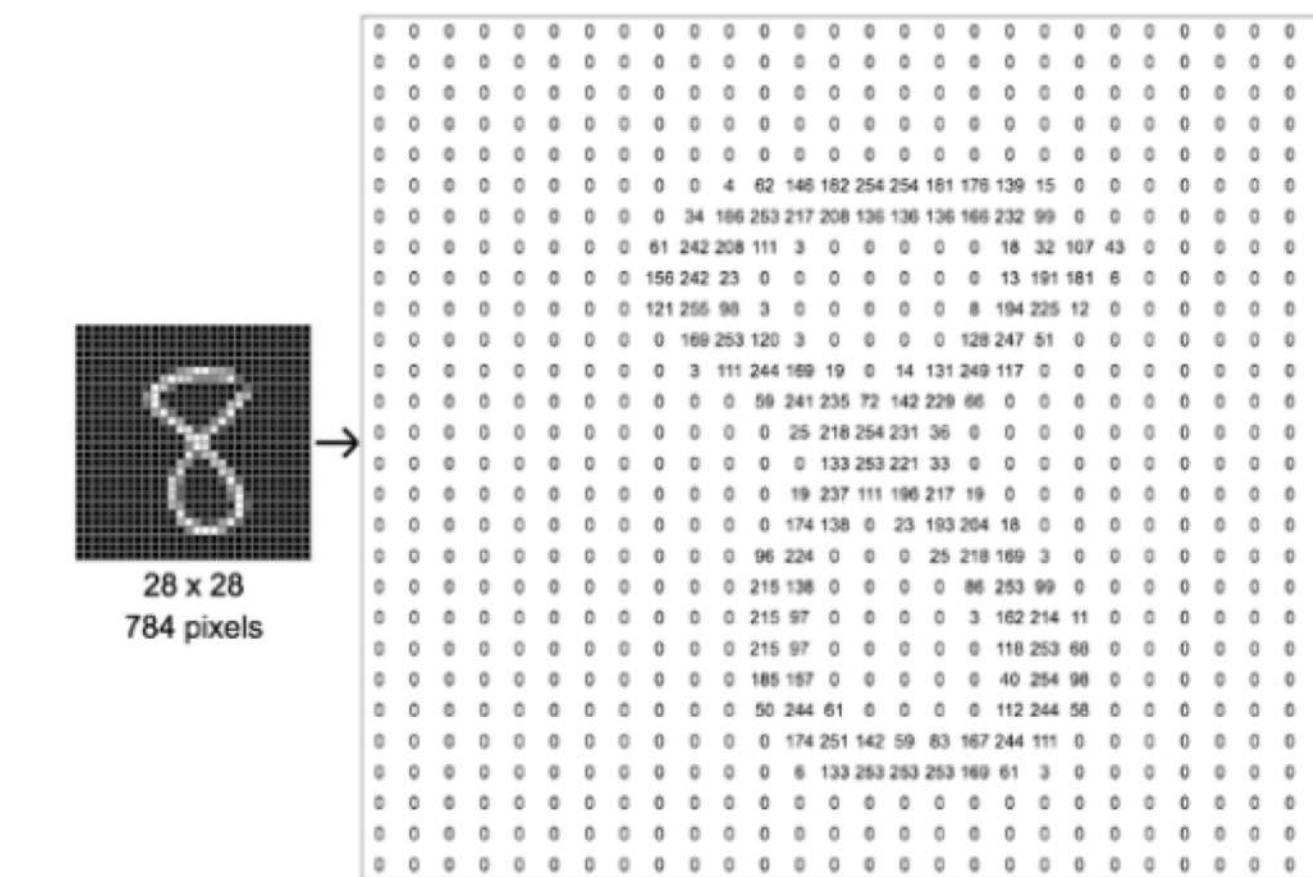
11/10/2022 e 14/10/2022

Conteúdo Preliminar

Representação dos Dados

- Computador digital
 - Quaisquer informações são representadas por números

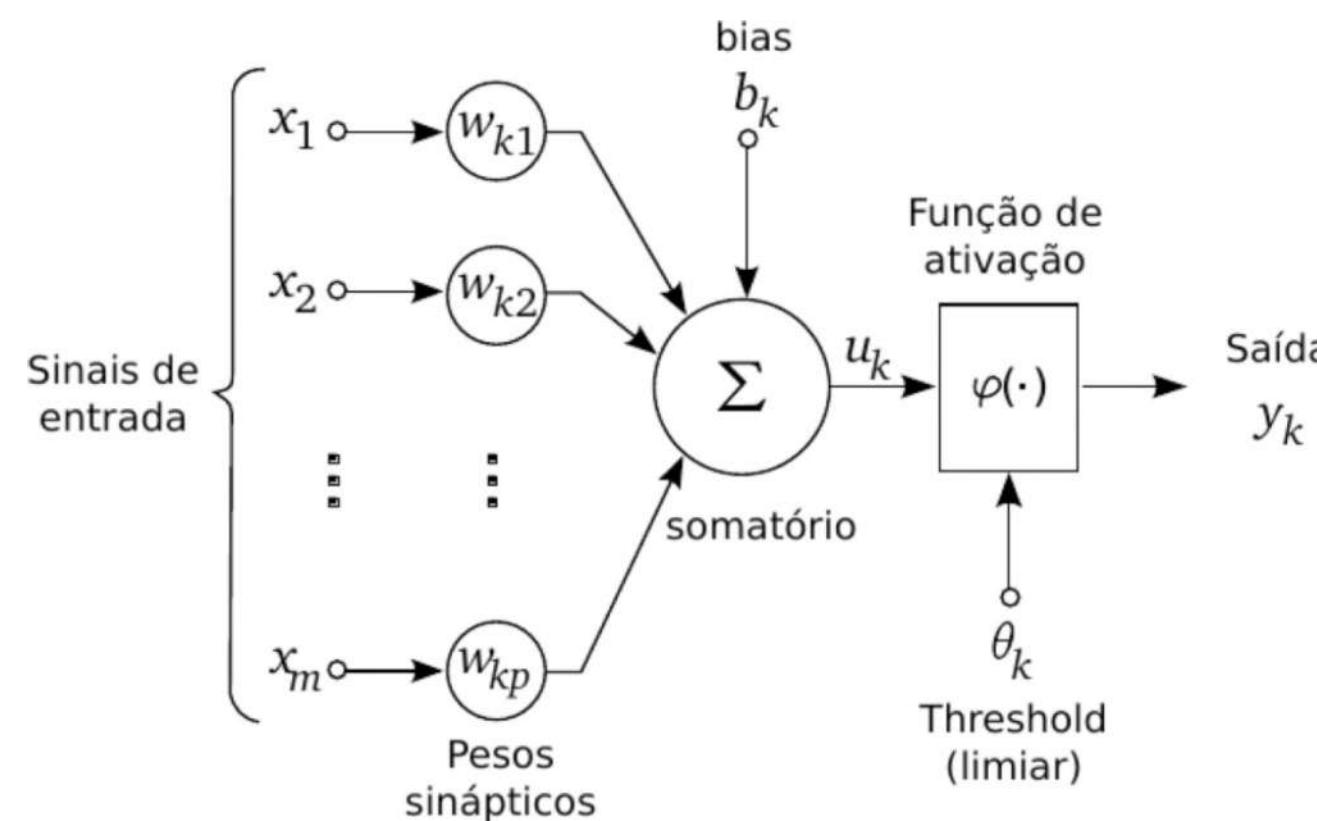
Tabela ASCII (códigos de caracteres 0 - 127)								
000	016 ►	032	048 0	064 @	080 P	096 `		112
001 ☺	017 ◀	033 !	049 1	065 A	081 Q	097 a		113
002 ☹	018 ⇧	034 "	050 2	066 B	082 R	098 b		114
003 ♥	019 !!	035 #	051 3	067 C	083 S	099 c		115
004 ♦	020 ¶	036 \$	052 4	068 D	084 T	100 d		116
005 ♣	021 §	037 %	053 5	069 E	085 U	101 e		117
006 ♠	022 ■	038 &	054 6	070 F	086 V	102 f		118
007	023 ⇤	039 '	055 7	071 G	087 W	103 g		119
008	024 ↑	040 (056 8	072 H	088 X	104 h		120
009	025 ↓	041)	057 9	073 I	089 Y	105 i		121
010	026 →	042 *	058 :	074 J	090 Z	106 j		122
011 ♂	027 ←	043 +	059 ;	075 K	091 [107 k		123
012 ♀	028 L	044 ,	060 <	076 L	092 \	108 l		124
013	029 ↔	045 -	061 =	077 M	093]	109 m		125
014 ☼	030 ▲	046 .	062 >	078 N	094 ^	110 n		126
015 ☽	031 ▼	047 /	063 ?	079 O	095 _	111 o		127



Conteúdo Preliminar

Neurônio Artificial

- Reconhecer pequenos padrões numéricos
 - Ajustes dos parâmetros do modelo

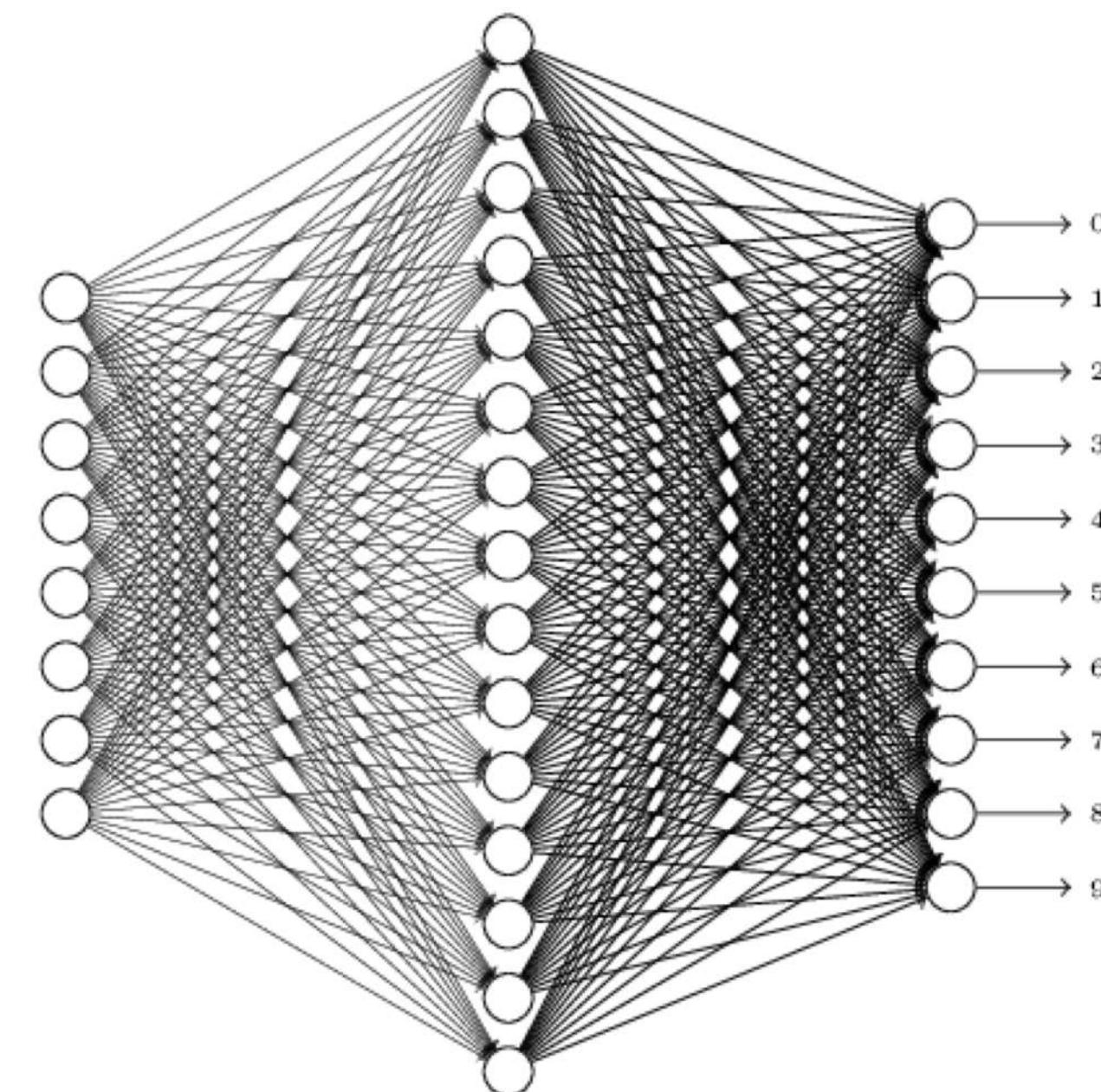


=> "treinamento" (ajuste)
no caso do aprendizado
supervisionado

Em geral, para resolver problemas
de classificação e de regressão

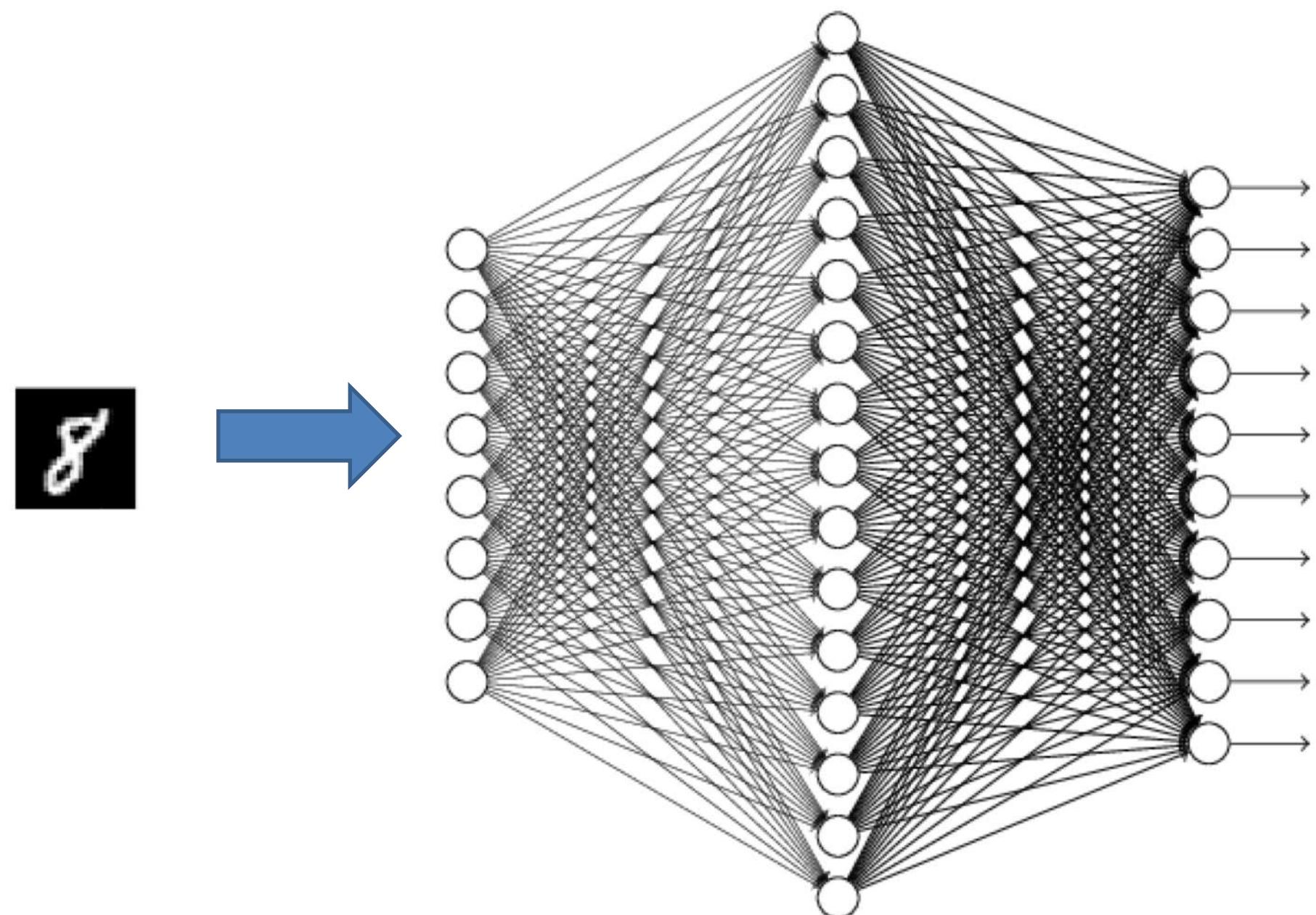
Conteúdo Preliminar

Redes Neurais



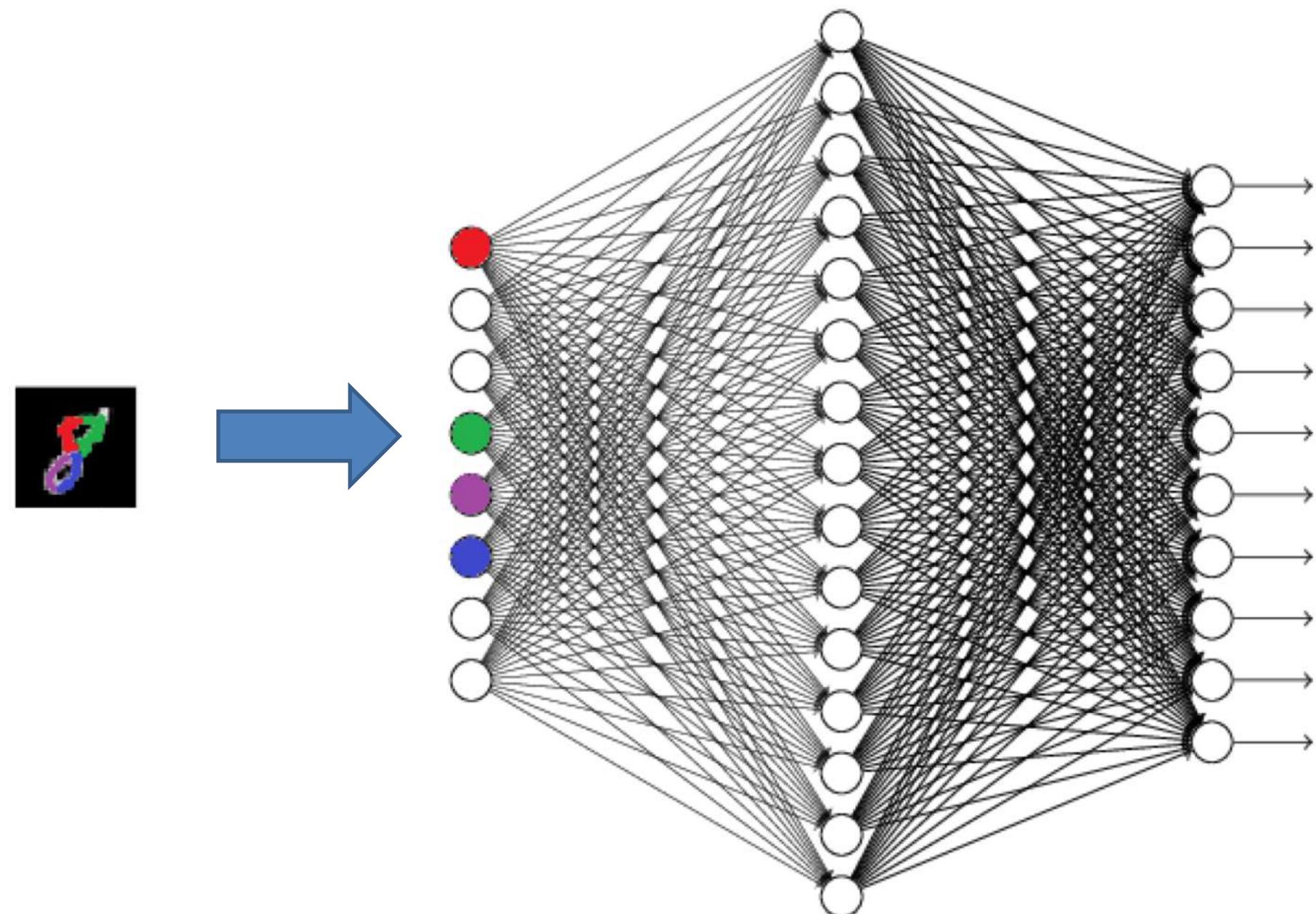
Conteúdo Preliminar

Redes Neurais



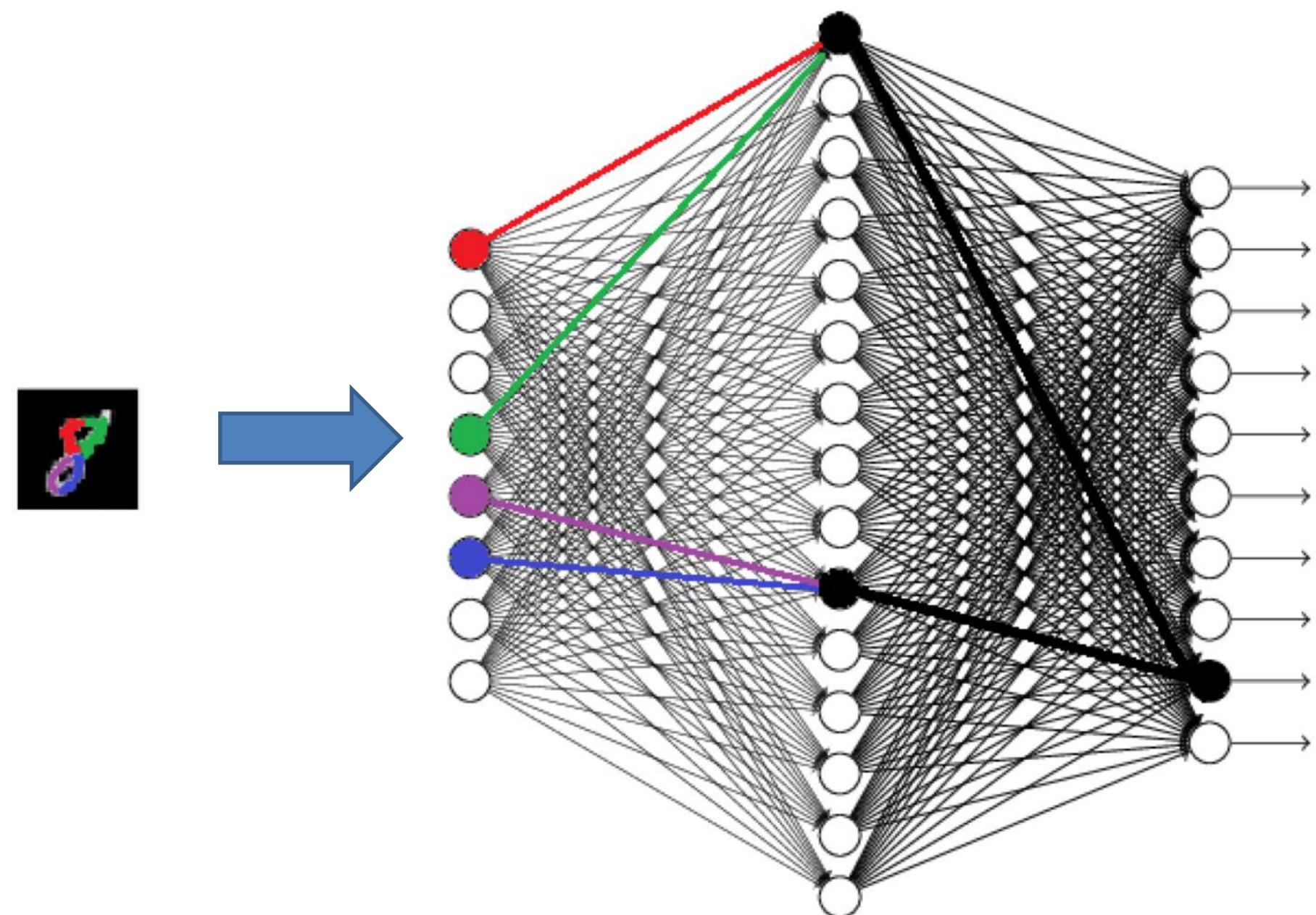
Conteúdo Preliminar

Redes Neurais



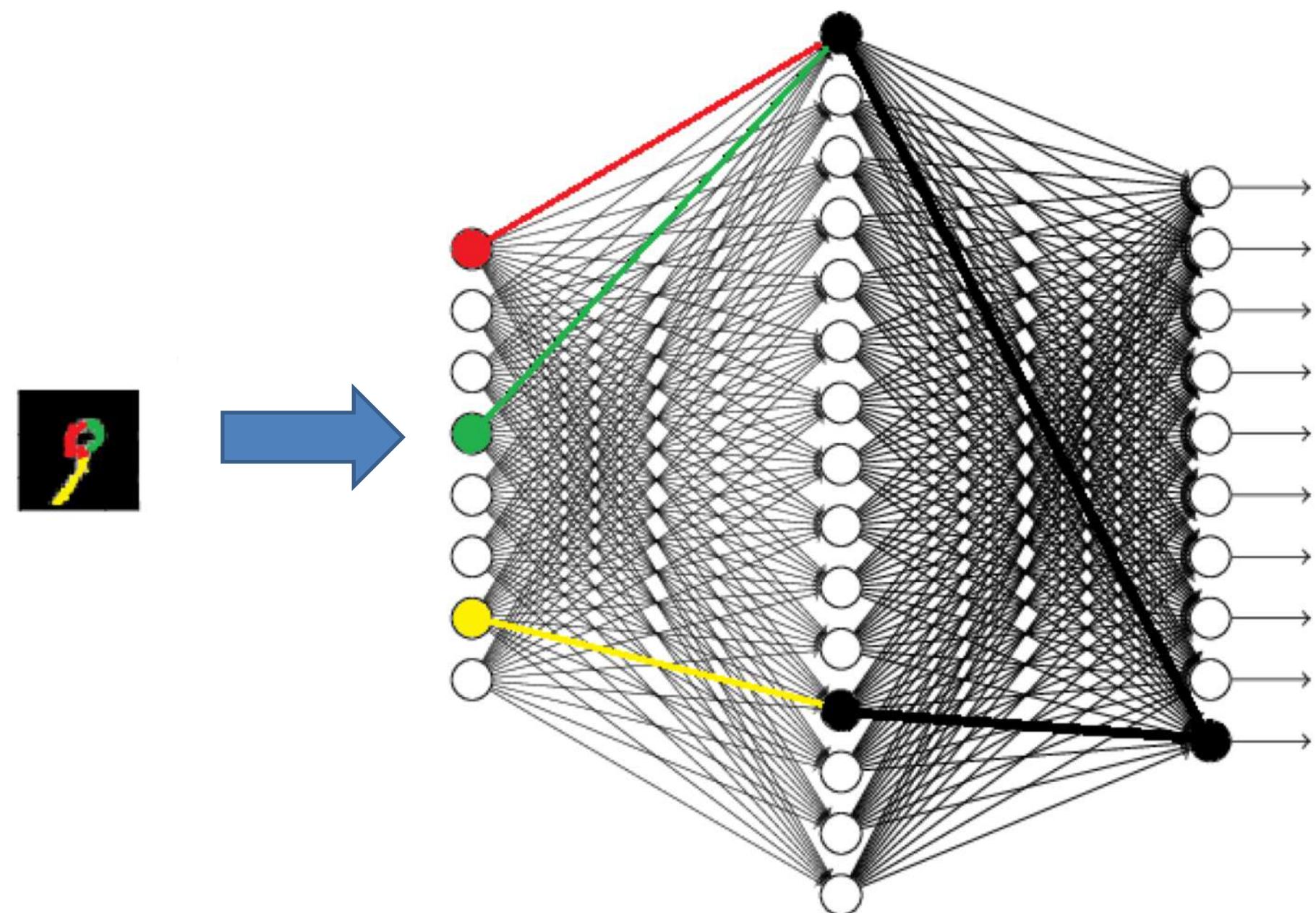
Conteúdo Preliminar

Redes Neurais



Conteúdo Preliminar

Redes Neurais



Mil ensaios vs. Dez milhões de imagens e o histórico do INCT-Infra

Rede Prévia ao INCT-Infra

vários profs. em várias instituições locais no CE

Michéle Casagrande /
Evangelista Júnior



Kamilla Vasconcelos



Cláudia Pereira



Aline do Vale



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ



INSTITUTO
FEDERAL
Ceará



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CARIRI

Lêda Lucena



Universidade Federal
de Campina Grande

Reuber Freire



Caroline de Lima



Jamilla Teixeira



UNIVERSIDADE FEDERAL
DO ESPÍRITO SANTO

Thiago Aragão



O PC06 no INCT-Infra



INCT
institutos nacionais
de ciência e tecnologia

243 INCTs ativos em diferentes áreas temáticas



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Caracterização de Materiais para Infraestrutura - INCT-Infra

1a aprovação em 2017 (chamada de 2014 - sem financiamento)

Aprovação (edital 58/2022 - financiado desde 2024 - parceria do CNPq com FUNCAP e CAPES)

PC00: GESTÃO

Jorge Soares (coord.) / Lucas Babadopoulos (vice)

+ comitê gestor Lêda Lucena (repr. NE) / Kamilla Vasconcelos (repr. SE) / Davidson Dias (repr. iniciativa privada) / Beatriz Gouveia (repr. órgão público)

PC01: BIOMATERIAIS APLICADOS A INFRAESTRUTURA

Lêda Lucena (UFCG) / Sandra Soares (UFC)

PC02: GERÊNCIA E CARACTERIZAÇÃO AVANÇADA

Reuber Freire (UFPE) / Héber Lacerda (UFC)

PC03: RECICLAGEM E SUSTENTABILIDADE

Kamilla Vasconcelos (USP) / Juceline Bastos (IFCE)

PC04: GEOMATERIAIS E COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS

Caroline Lima (UFBA) / Eduardo Cabral (UFC)

PC05: MODELAGEM ESTRUTURAL

Evandro Parente Jr (UFC) / Lícia da Costa (UFPE)

PC06: CIÊNCIA DE DADOS PARA INFRAESTRUTURA

Lucas Babadopoulos (UFC) / JP Pordeus (UFC)

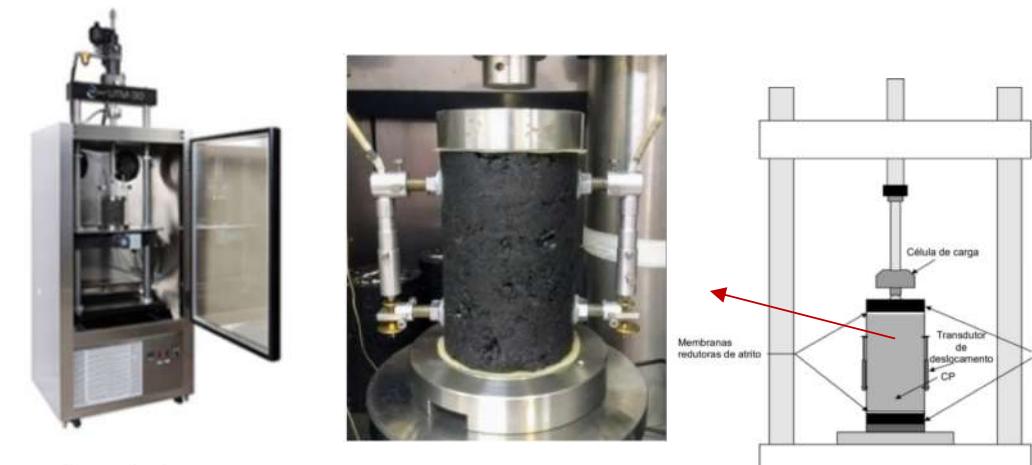
Saída para Dr. empresa de Tecnologia (chegada da Profa Lara Furtado)

Lab de *Hardware*
e *Software* para
Infraestrutura



Mil ensaios vs. Dez milhões de imagens

Detecção de objetos é um problema clássico das áreas de Aprendizado de Máquina e Visão Computacional!



PROPOSTA PRELIMINAR DE UM REPOSITÓRIO NACIONAL ABERTO DE ENSAIOS DE MISTURAS ASFÁLTICAS

Melo C.D.R.^{1,2}, Carvalho P.H.J.¹, Mariano, L.G², Babadopulos L.F.A.L.³, Parente Junior, E.³, Soares, J.B.²

VS.



Equipamento especializado



FOTOS PANORÂMICAS
CADÊNCIA: 20m

FOTOS DO PAVIMENTO
CADÊNCIA: 1m



Malha de cerca de 10 mil km (1x/ano)

Exemplos de soluções em operação fora da UFC:

Input: imagem

Output: defeito classificado

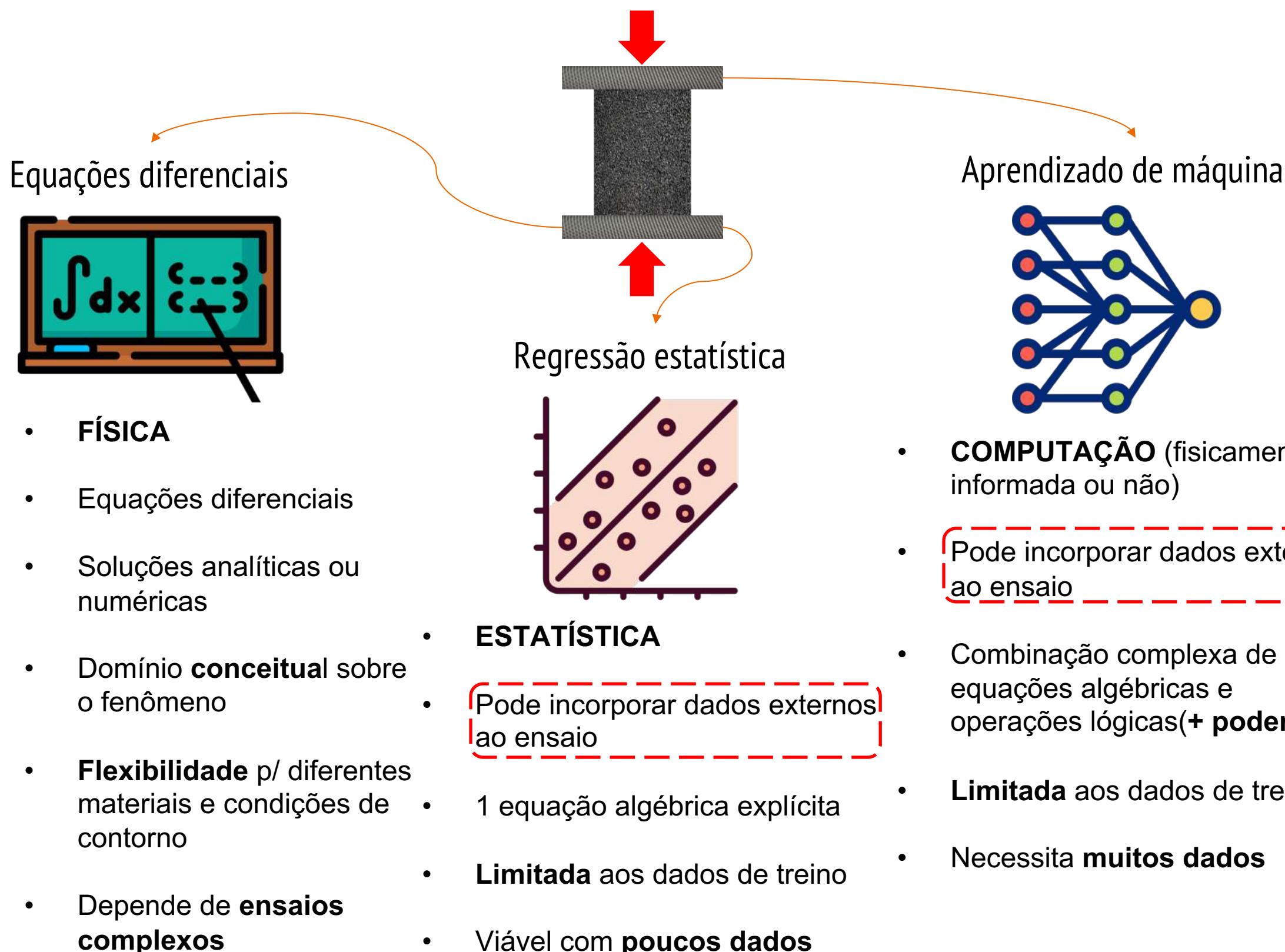


LabTrans - ICM-DNIT: UFSC

<https://www.labtrans.ufsc.br/ferramenta-e-metodologia-de-apoio-ao-levantamento-do-indice-de-condicao-de-manutencao-icm/>

Fonte: <https://www.roadbotics.com/>

Exemplo de Aplicação de IA: Deformação Permanente de misturas asfálticas



ID	Ligante	PEN	VIS	PA	P1_2	P3_8	P4	P200	TMN	Vv	TL	FN
1	AMP	54.0	1258.0	58.8	79.20	72.58	54.49	3.88	19.0	4.00	5.00	406
2	CAP	28.0	587.5	53.2	79.20	72.58	54.49	3.88	19.0	4.00	5.00	169
3	CAP	28.0	587.5	53.2	92.85	90.57	54.37	3.24	9.5	4.00	5.50	213
4	AB	69.0	1732.0	55.6	79.20	72.58	54.49	3.88	19.0	4.00	5.40	110
5	CAP	43.0	445.0	48.7	92.85	90.57	54.37	3.24	9.5	4.00	5.50	140
6	CAP	43.0	445.0	48.7	79.20	72.58	54.49	3.88	19.0	4.00	5.00	95
7	AMP	51.0	810.0	55.1	82.77	76.12	50.81	4.68	19.0	4.00	4.60	339
8	AMP	44.0	1048.7	59.6	82.77	76.12	50.81	4.68	19.0	4.90	4.50	4237
9	AMP	53.0	1229.0	60.9	82.68	64.69	46.58	4.33	19.0	4.00	4.70	3016
10	AMP	53.0	1229.0	60.9	100.00	98.12	74.65	6.44	9.5	2.20	7.30	448
11	AMP	47.0	460.0	52.6	82.68	64.69	46.58	4.33	19.0	4.00	4.60	2288
12	CAP	46.0	458.3	50.2	91.38	77.65	54.20	6.46	12.5	3.70	6.00	27
13	CAP	46.0	458.3	50.2	67.57	62.16	50.62	8.52	25.0	4.80	5.00	49
14	CAP	54.0	350.0	52.1	77.00	64.30	56.20	20.74	19.0	4.00	4.15	354
15	AMP	50.0	995.8	57.6	83.63	68.08	40.54	4.29	19.0	5.48	4.50	1685
16	AMP	50.0	995.8	57.6	83.63	68.08	40.54	4.29	19.0	4.57	4.80	1318
17	CAP	31.0	458.3	53.6	74.71	65.15	43.04	4.72	19.0	4.10	4.95	315
18	CAP	30.0	522.5	55.4	92.85	90.57	54.37	3.24	9.5	4.00	5.50	215
19	CAP	33.0	477.5	55.4	92.85	90.57	54.37	3.24	9.5	4.00	5.50	166
20	CAP	32.0	438.3	54.4	92.85	90.57	54.37	3.24	9.5	4.00	5.50	220
21	CAP	33.0	482.5	53.6	92.85	90.57	54.37	3.24	9.5	4.00	5.50	177
22	CAP	55.0	387.8	50.1	92.85	90.57	54.37	3.24	9.5	4.00	5.50	133
23	CAP	55.0	310.0	50.0	92.85	90.57	54.37	3.24	9.5	4.00	5.50	107
24	CAP	58.0	387.5	50.0	92.85	90.57	54.37	3.24	9.5	4.00	5.50	110
25	AMP	47.5	1030.0	54.1	88.50	82.90	50.00	5.40	19.0	4.22	5.50	1953
26	CAP	57.6	370.0	47.1	88.50	82.90	50.00	5.40	19.0	4.22	5.50	448
27	CAP	31.0	585.0	52.1	88.50	82.90	50.00	5.40	19.0	4.22	5.50	895

Tecnologias já Desenvolvidas / em Dev

Dashboard alimentado a partir de Fichas de Controle Tecnológico. Uma obra: 13 mil linhas (necessidade OCR).

TRL 9 – Incorporação da tecnologia

TRL 8 – Produto testado e qualificado

TRL 7 – Tecnologia validada em escala

TRL 6 – Tecnologia validada no mundo real

TRL 5 – Validação do protótipo

TRL 4 – Tecnologia validada em laboratório

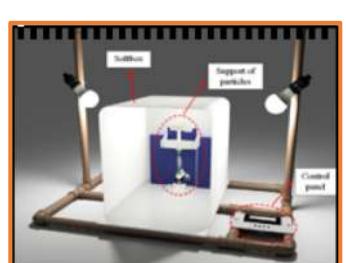
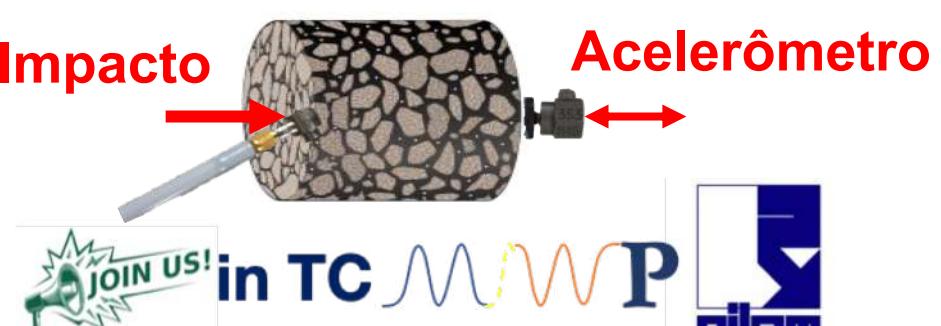
TRL 3 – Prova experimental de conceito

TRL 2 – Conceito de tecnologia e/ou aplicação formulado

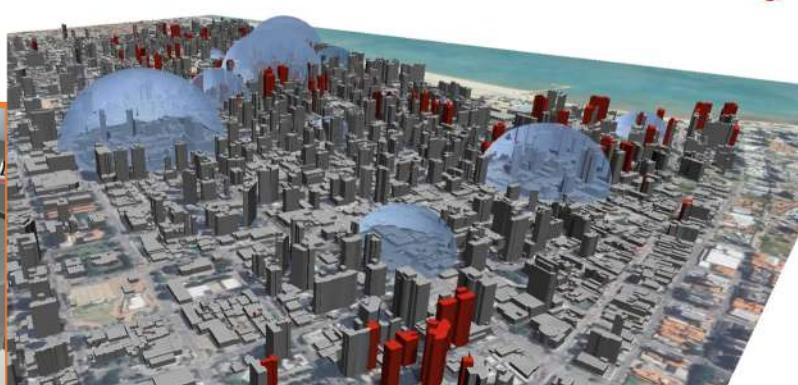
TRL 1 – Princípios básicos observados e relatados



Controle de
rigidez/qualidade



+Avaliação de tráfego com IA
+AggregateScan
+SenseAr
+...



MIDR/Horus: fruto do Cientista Chefe



Número de imagens utilizadas para treinamento da IA

Trincas: 1.942

Remendos: 5.166

Panelas: 1.175

Sinalização (warning): 4.549

Sinalização (regulamentação): 5.222

Sinalização (indicação): 2.071



HORUS

MAPA DEFETOS ANAIS

Filtros

Localização

CE

CE 151 - IGUATU - FORTALEZA

Defeitos

Tipo de defeito

Selecionar

Período

Início

Final

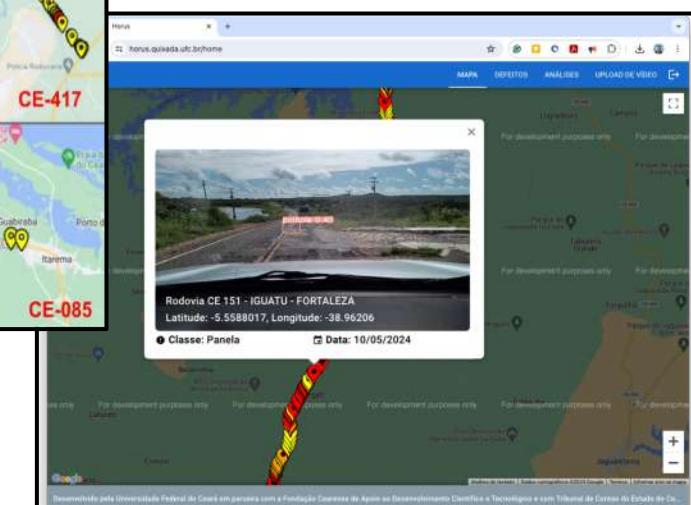
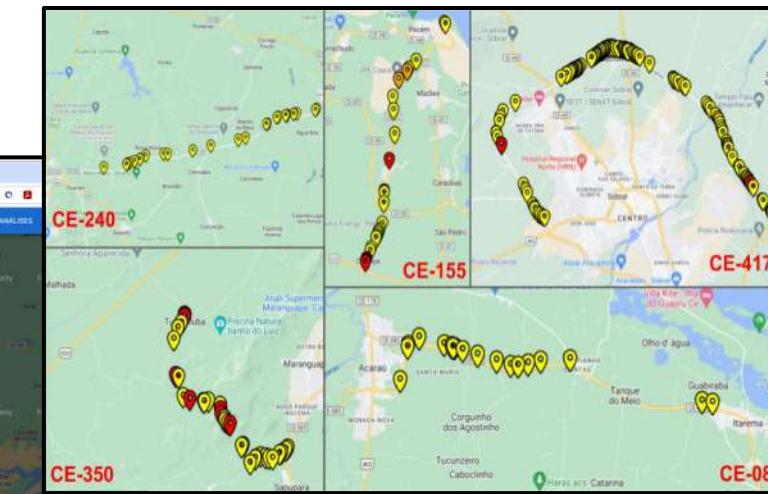
CE-240

CE-155

CE-417

CE-350

CE-085



MIDR/Horus: fruto do Cientista Chefe



Treinamento com Motoristas
(4 treinados, 2 usando atualmente)



Acompanhamento de
desempenho do sistema



Novas avaliações
a cada viagem

Missões dos motoristas do TCE => dados MIDR

MIDR/Horus: fruto do Cientista Chefe

Geração de Expectativa de Controle Comunicação

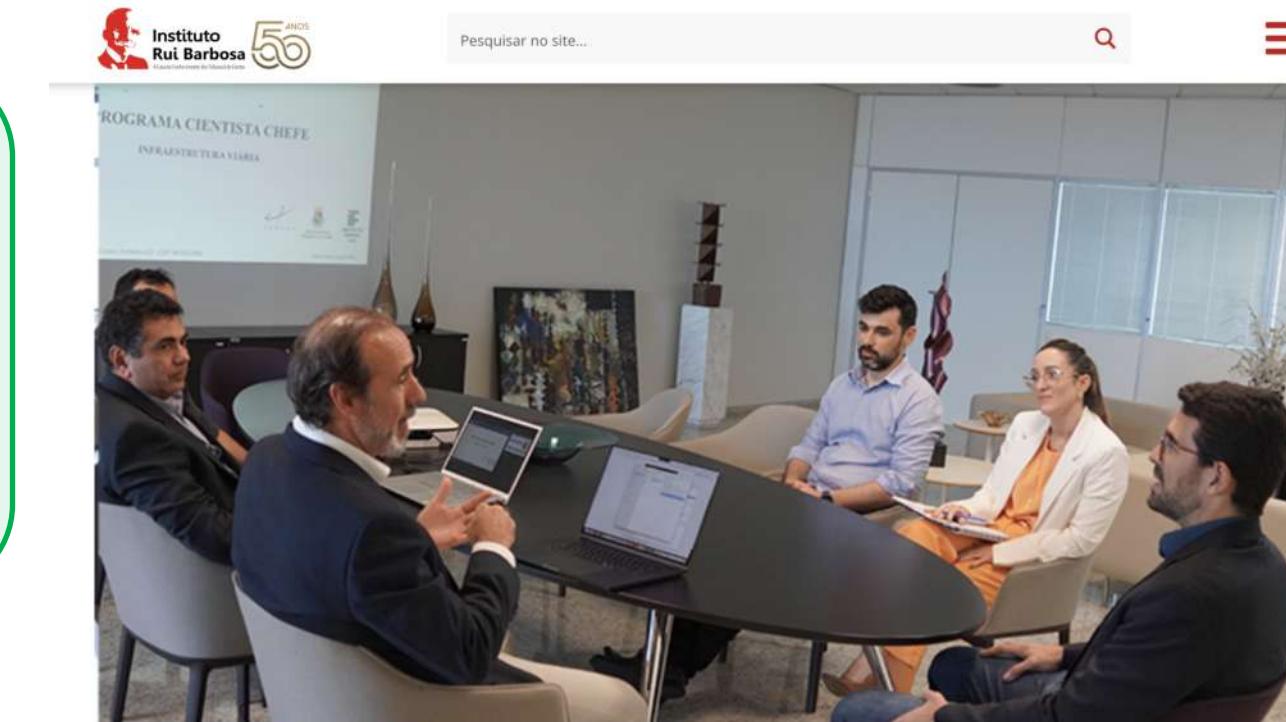
Instagram



<https://www.instagram.com/reel/C6WIJlar4gg/?igsh=MWp3YWZ2NjNpc3h1Mg%3D%3D>



Siga @inct_infra



Inteligência artificial fortalecerá fiscalização de rodovias no Ceará

21 março, 2024 @ Equipe Instituto Rui Barbosa

<https://irbcontas.org.br/inteligencia-artificial-fortalecerá-fiscalização-de-rodovias-no-ceara/>



<https://www.youtube.com/watch?v=Hyvav9rZJ7w&t=8251s>

<https://www.youtube.com/@cientistachefeinfraestrutu8584>

<https://irbcontas.org.br/evento-faz-balanco-das-acoes-do-cientista-chefe-infraestrutura-viaria-e-informa-novo-ciclo-de-atividades/>

<https://irbcontas.org.br/irb-apoia-o-lancamento-do-novo-ciclo-do-projeto-cientista-chefe-no-dia-13-de-maio/>



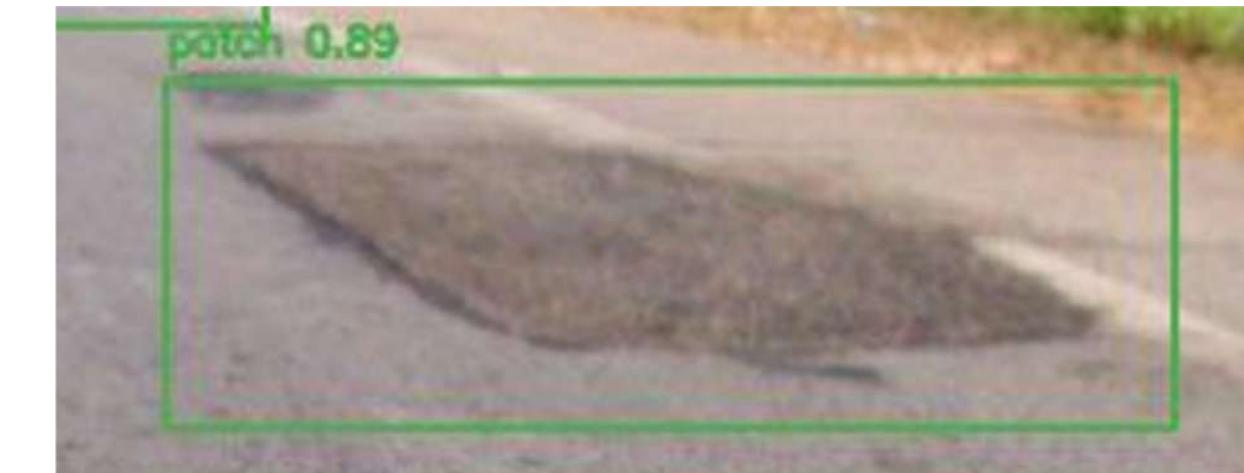
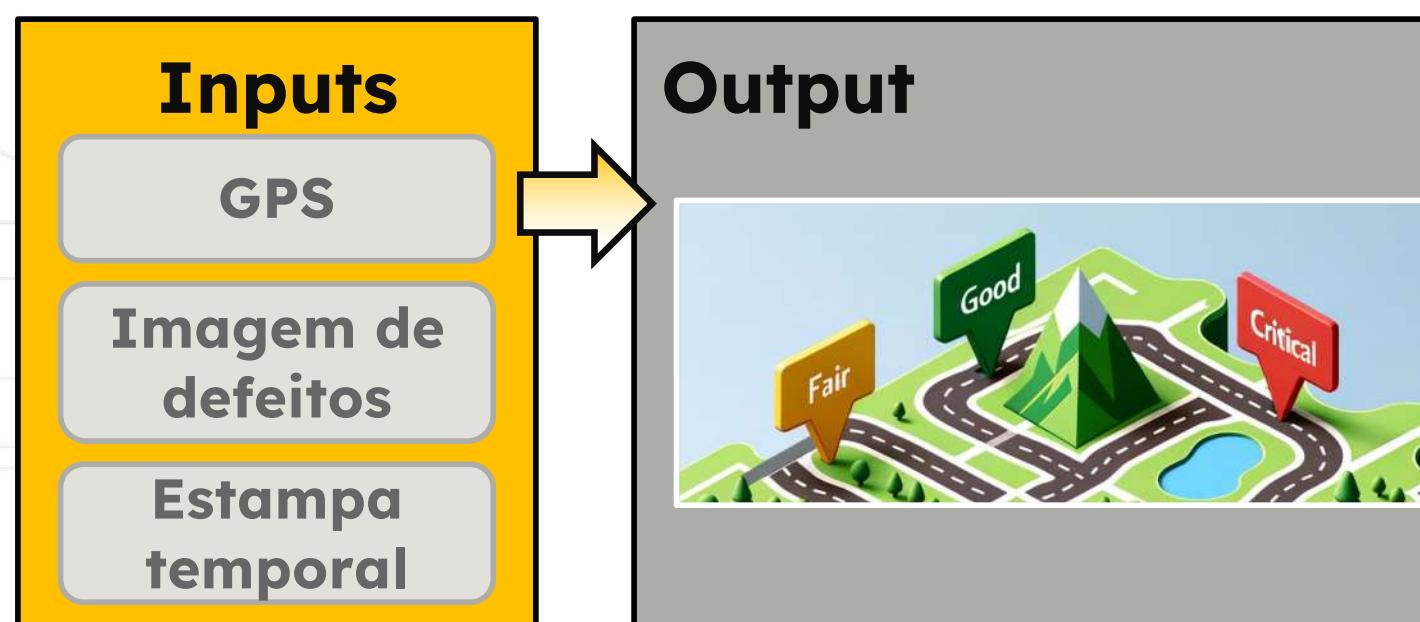
Futuro do CE: facilitação de tomadas de decisão baseada em evidência

Foco no MIDR/Horus

The background of the slide is a large, stylized graphic composed of white lines and small white squares. It features a central circular shape with a jagged, gear-like pattern inside. From this center, several white lines extend outwards, each ending in a series of small squares that form a diamond-like pattern. The overall effect is a modern, geometric representation of data or a network.

Imagens e Gerência de Pavimentos

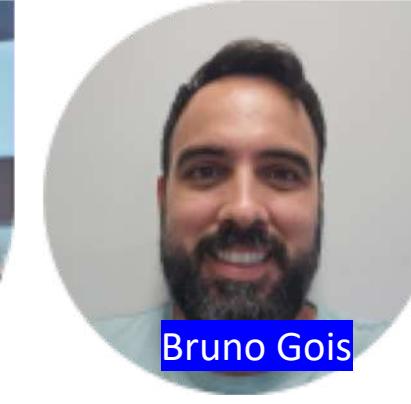
Mapeamento de defeitos em rodovias para o Tribunal de Contas do Estado do Ceará



Uso de imagens de smartphones e Inteligência Artificial para reconhecer defeitos automaticamente.

Atualmente o modelo é especializado em Trincas, Remendos e Panelas.

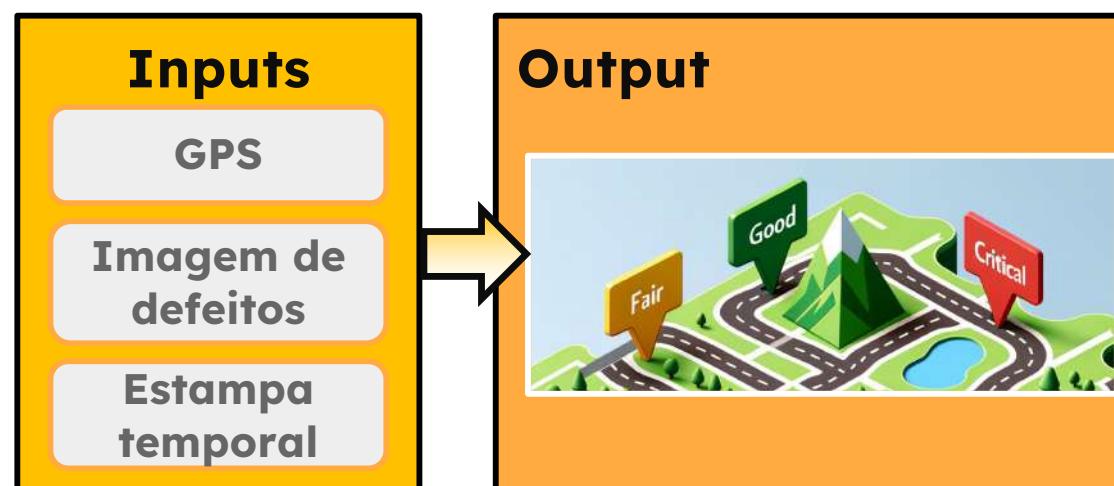
Equipe MIDR/Horus



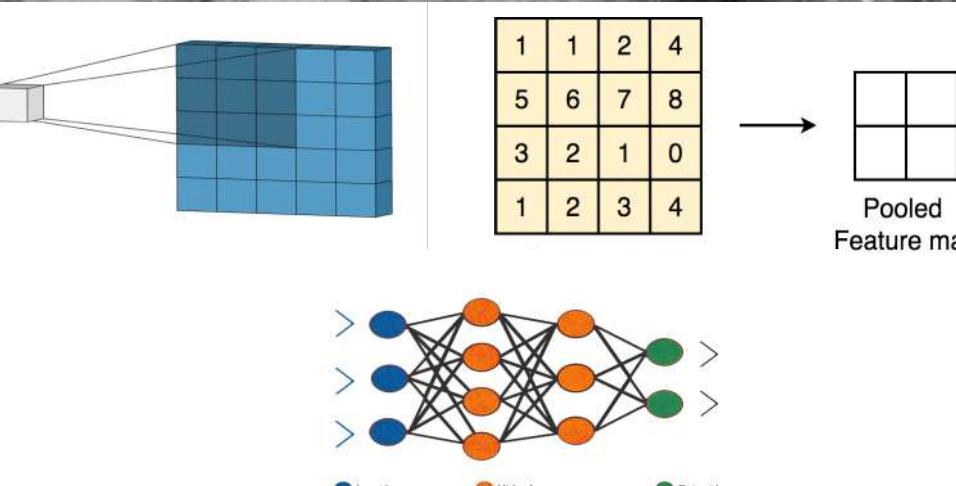
Interlocutores do TCE e de outros parceiros (*product owners*
"externos")

Detecção Automática de Defeitos

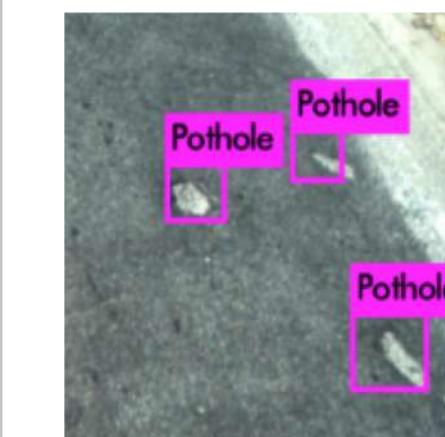
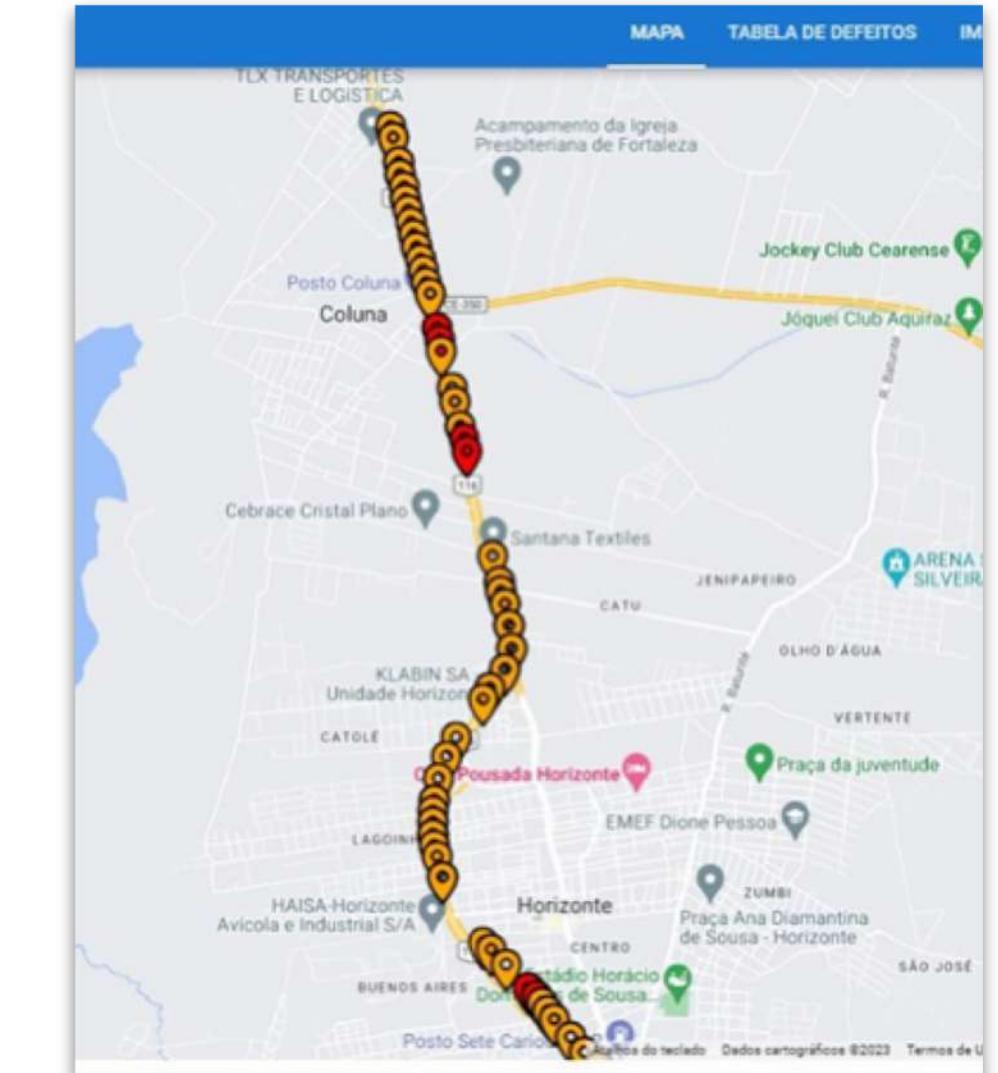
Coleta de grandes quantidades de imagens



Processamento das imagens com Deep Learning



Manejo de dados em larga escala



Heatmaps

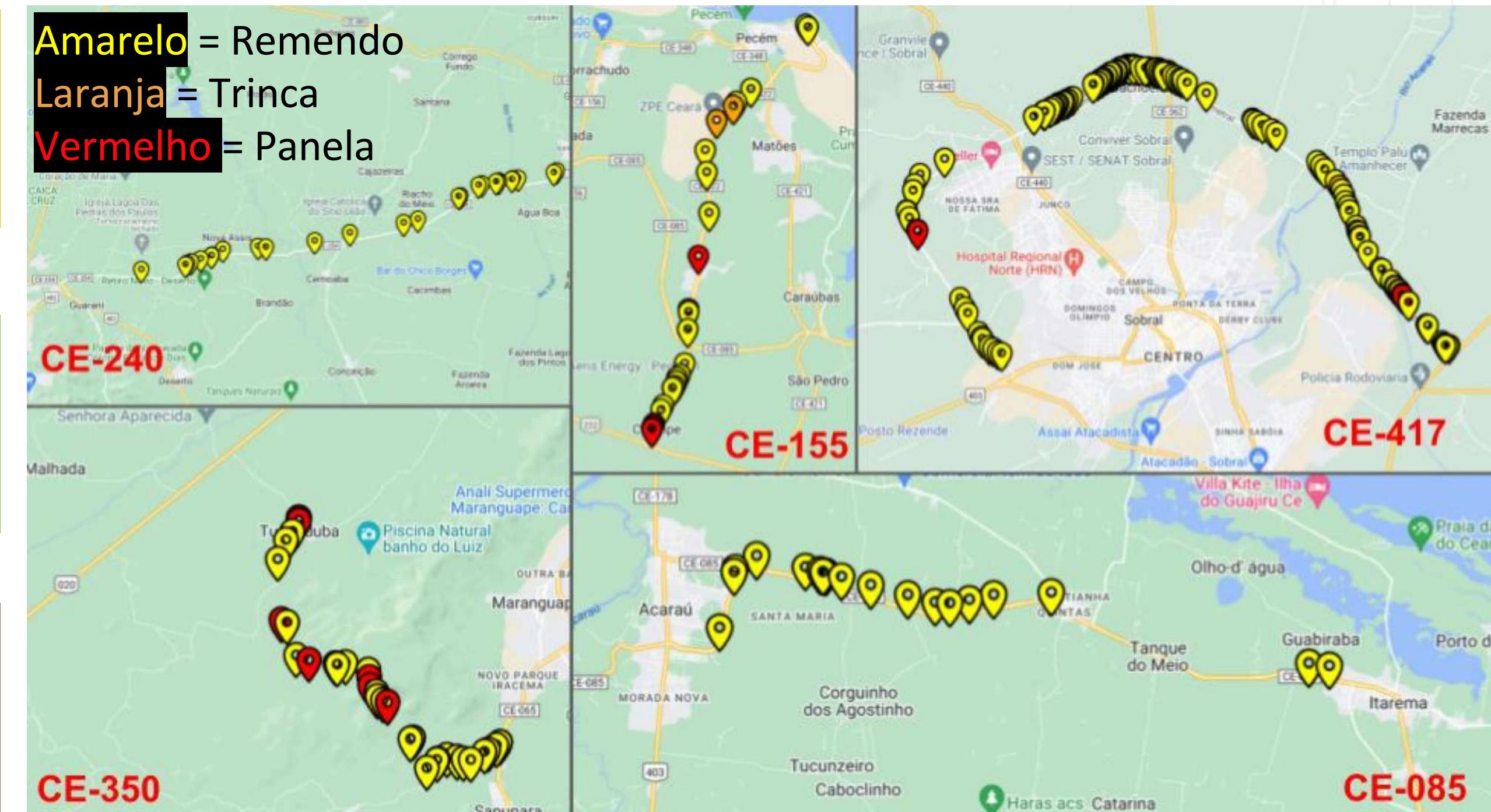
A contagem de defeitos e irregularidade são registradas



Quantidade de defeitos comparadas com a prevista em projeto

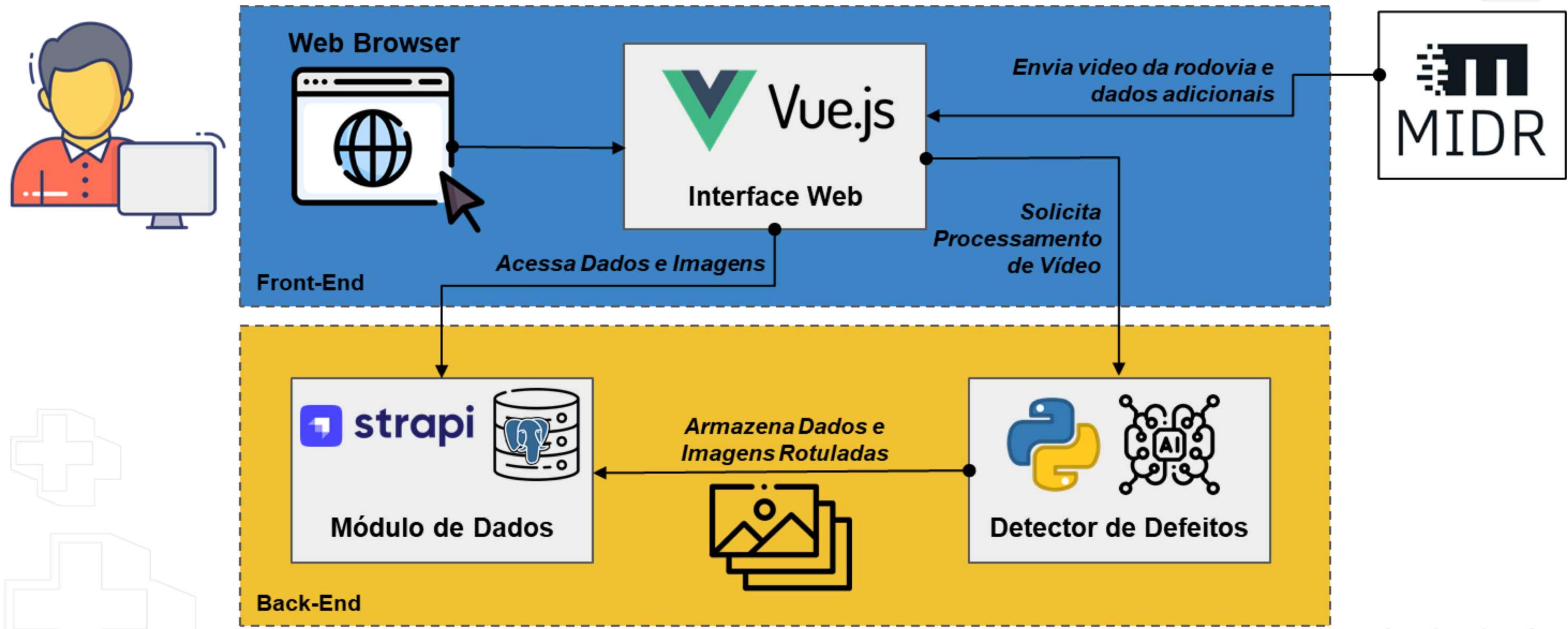


Parecer inicial sobre a qualidade das obras rodoviárias



O Sistema MIDR/Horus é uma ferramenta de baixo custo que auxilia na auditoria de obras de infraestrutura viária.

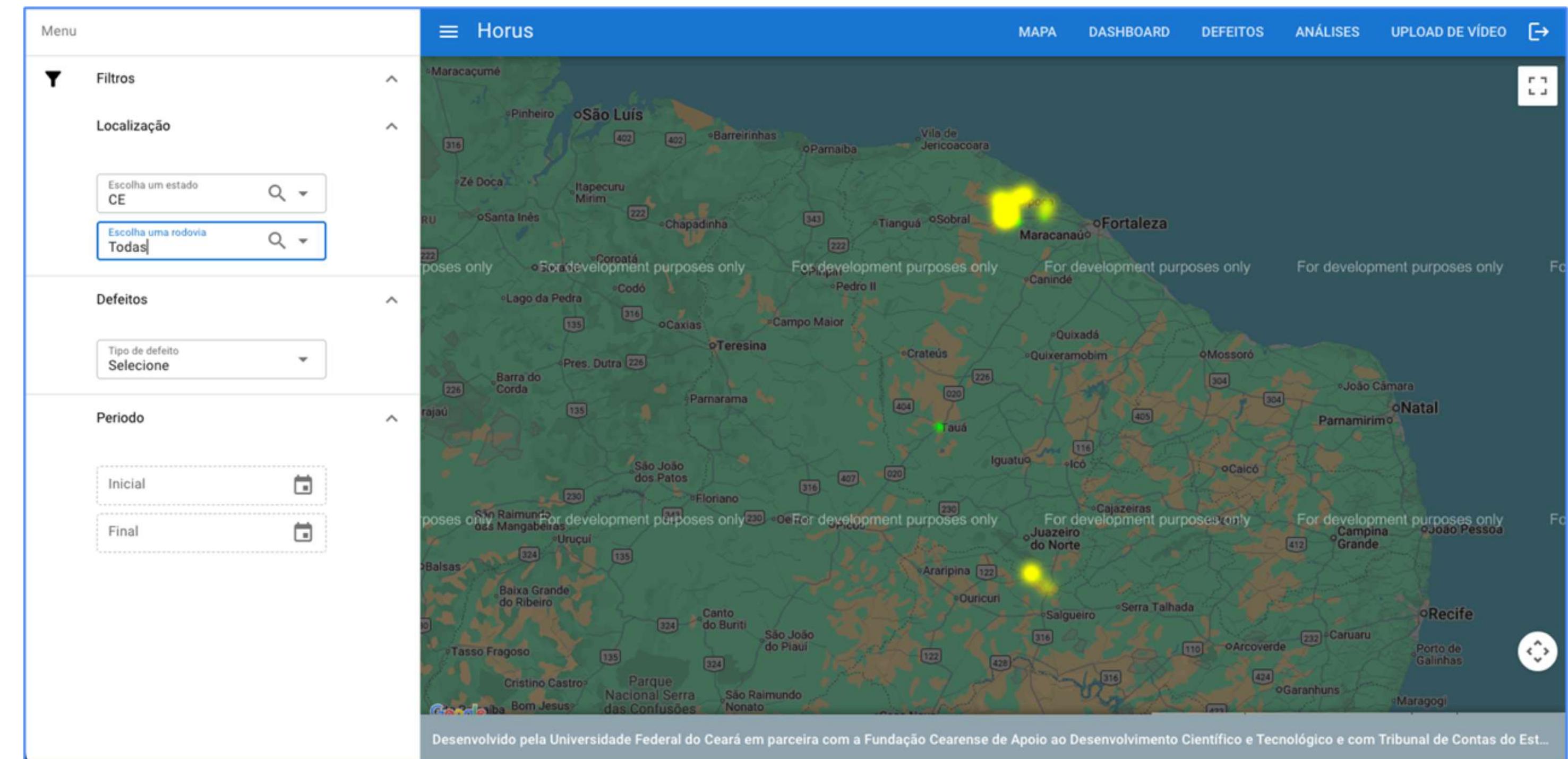
Arquitetura



Horus

Mapas Interativos

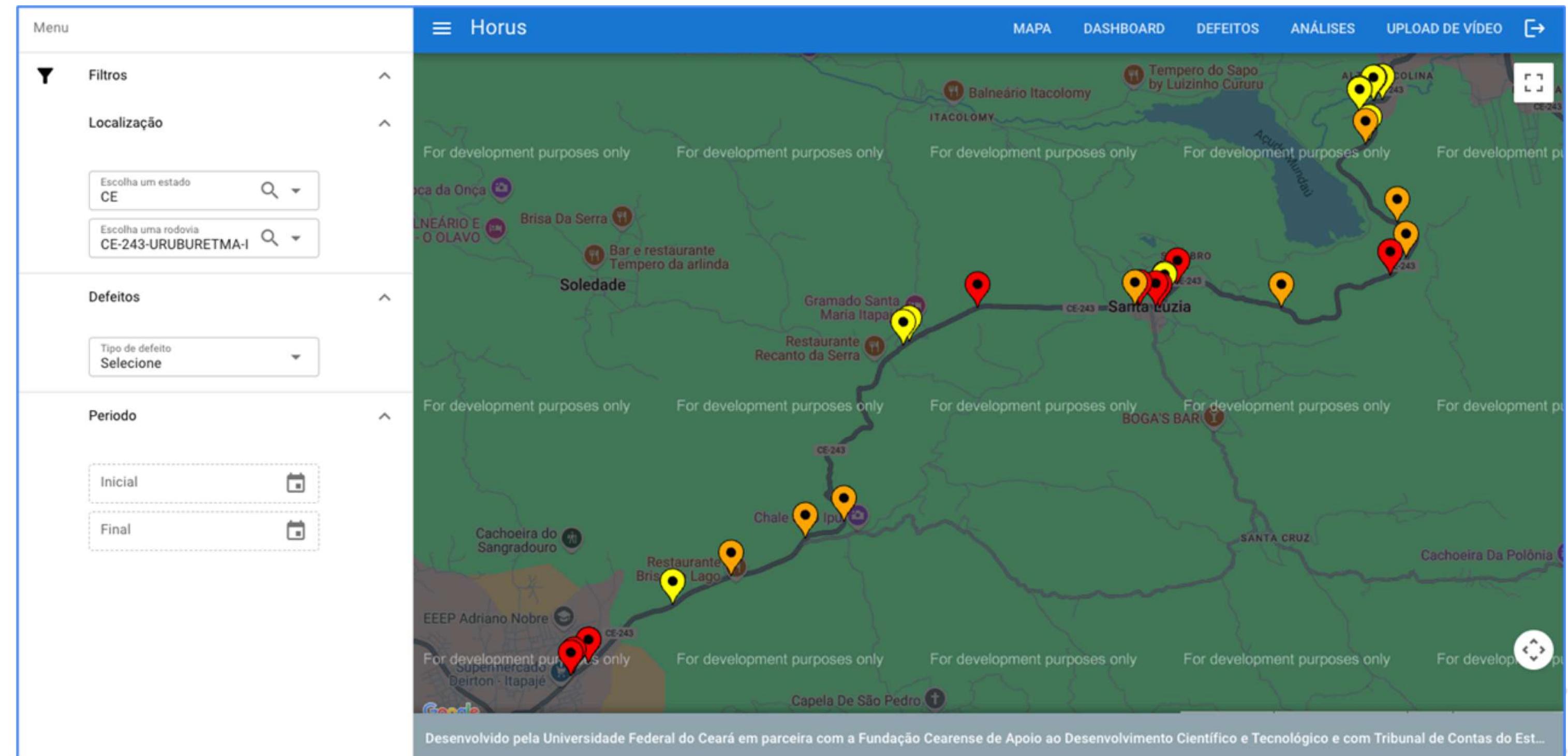
A visualização distingue o tipo de defeitos ao mostrá-los. Suporte a visualização tradicional e mapa de calor.



Horus

Visualização em Mapa

Os defeitos identificados aparecem na latitude e longitude apontada durante a análise da rodovia.



The screenshot displays the Horus application interface, specifically the 'MAPA' (Map) tab. The main area is a map showing a road route with various locations labeled, such as 'Balneário Itacolomy', 'ITACOLOMY', 'ACURU FUNDAU', 'SANTO OLÍMPIO', 'SANTO OLAVO', 'Soledade', 'Gramado Santa Maria Itapajé', 'Santa Luzia', 'BOGA'S BAR', 'SANTA CRUZ', 'Cachoeira Da Polônia', 'Chale', 'Ipu', 'Restaurante Bris Lago', 'EEEP Adriano Nobre', 'Supermercado Deirton - Itapajé', 'Capela De São Pedro', and 'Cachoeira do Sangradouro'. Numerous yellow and red location markers are placed along the road, indicating identified defects. The left sidebar contains a 'Menu' with sections for 'Filtros' (Filters), 'Localização' (Location), 'Defeitos' (Defects), and 'Periodo' (Period), each with corresponding input fields. The bottom of the map area includes a copyright notice: 'Desenvolvido pela Universidade Federal do Ceará em parceria com a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico e com Tribunal de Contas do Est...'.

Horus



Estado Atual das Vias

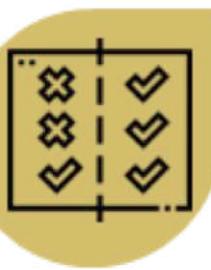
Uma vez que a via foi analisada é possível saber quantos defeitos e qual o tipo de cada defeito de forma simples.

Desenvolvido pela Universidade Federal do Ceará em parceria com a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico e com Tribunal de Contas do Estado do Ce...

Horus

Análise Comparativa*

Vias que foram analisadas mais de uma vez podem passar por um análise comparativa.



Horus MAPA DASHBOARD DEFEITOS ANÁLISES UPLOAD DE VÍDEO

Escolha u... CE Escolha u... Todas

Dashboard de rodovias

Rodovia ↑	Número de análises	Rachadura	Remendo	Panela	Defeitos totais	Ações
CE 168 - TESTE	1	0	0	5	5	
CE 390	1	4	8	3	15	
CE-243-URUBURETMA-ITAPAJÉ	2	9	11	10	30	
CE-333-CEMOABA-TURURU	2	1	10	4	15	
CE-341-CROATÁ-ENTR.CE-085	1	2	20	1	23	
CE-354 - CONTORNO DE ITAPIPOCA - PD	1	3	20	4	27	
CE-354 - CONTORNO DE ITAPIPOCA - PE	1	0	14	3	17	
CE-354 - ENTR.BR-222-SÃO JOAQUIM	1	0	3	6	9	
CE-354 - PARRA-ITAPIPOCA	1	3	5	2	10	

Rodovias por página: 10 1-9 de 9

Desenvolvido pela Universidade Federal do Ceará em parceria com a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e T...

Horus MAPA DASHBOARD DEFEITOS ANÁLISES UPLOAD DE VÍDEO

Escolha u... CE Escolha u... CE-243-U

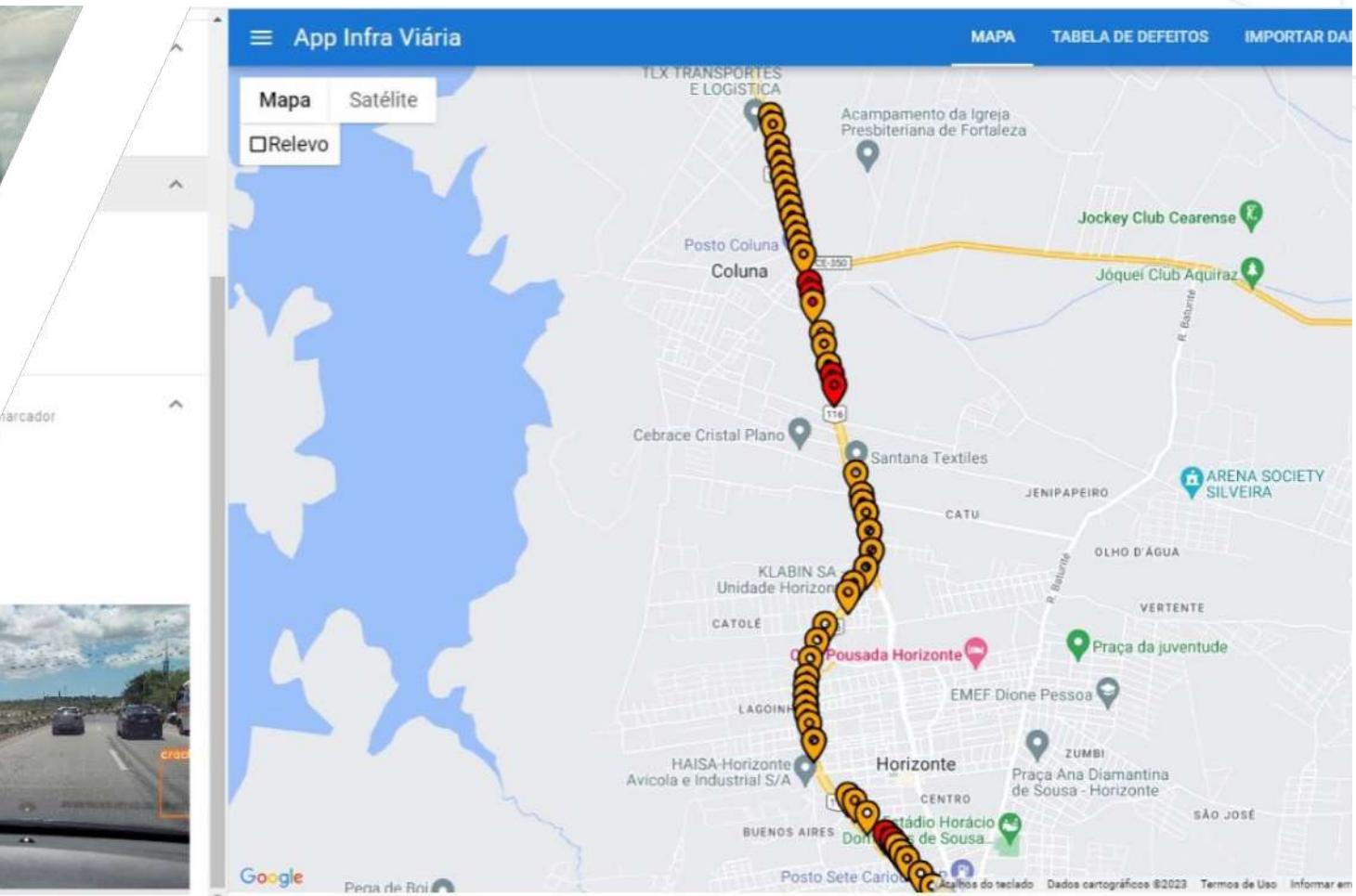
Dashboard de rodovias

Rodovia ↑	Número de análises	Rachadura	Remendo	Panela	Defeitos totais	Ações
CE-243-URUBURETMA-ITAPAJÉ	2	9	11	10	30	

Rodovias por página: 5 1-1 de 1

Desenvolvido pela Universidade Federal do Ceará em parceria com a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e T...

Métricas e Melhoria Sistêmática



Publicações científicas

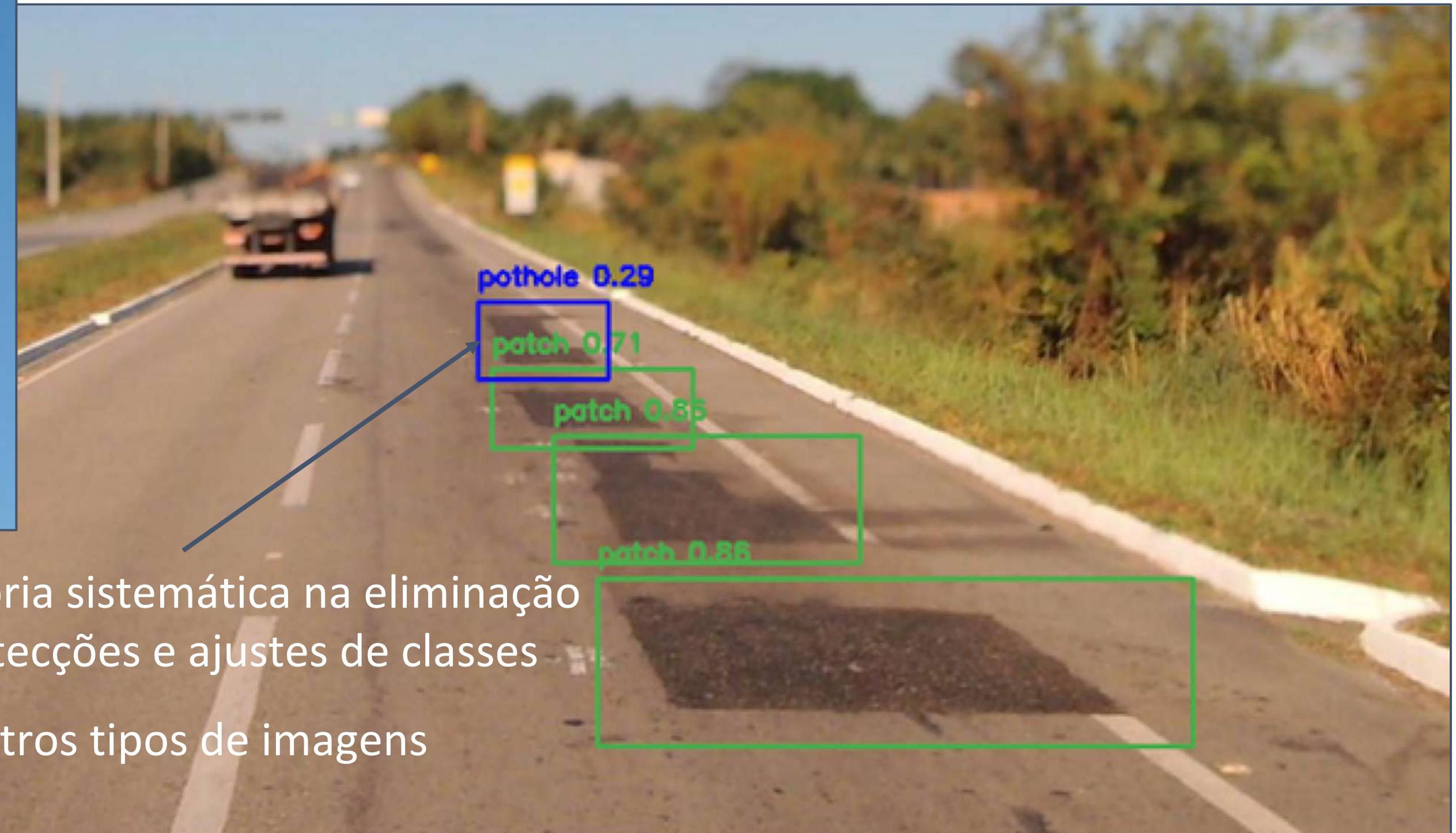
Classes	Precisão (%)	Revocação (%)	F1-Score (%)
Média	74.7	71.7	72.3



Atualizações em Curso



OBS.: Melhoria sistemática na eliminação
de falsas detecções e ajustes de classes
+ uso de outros tipos de imagens

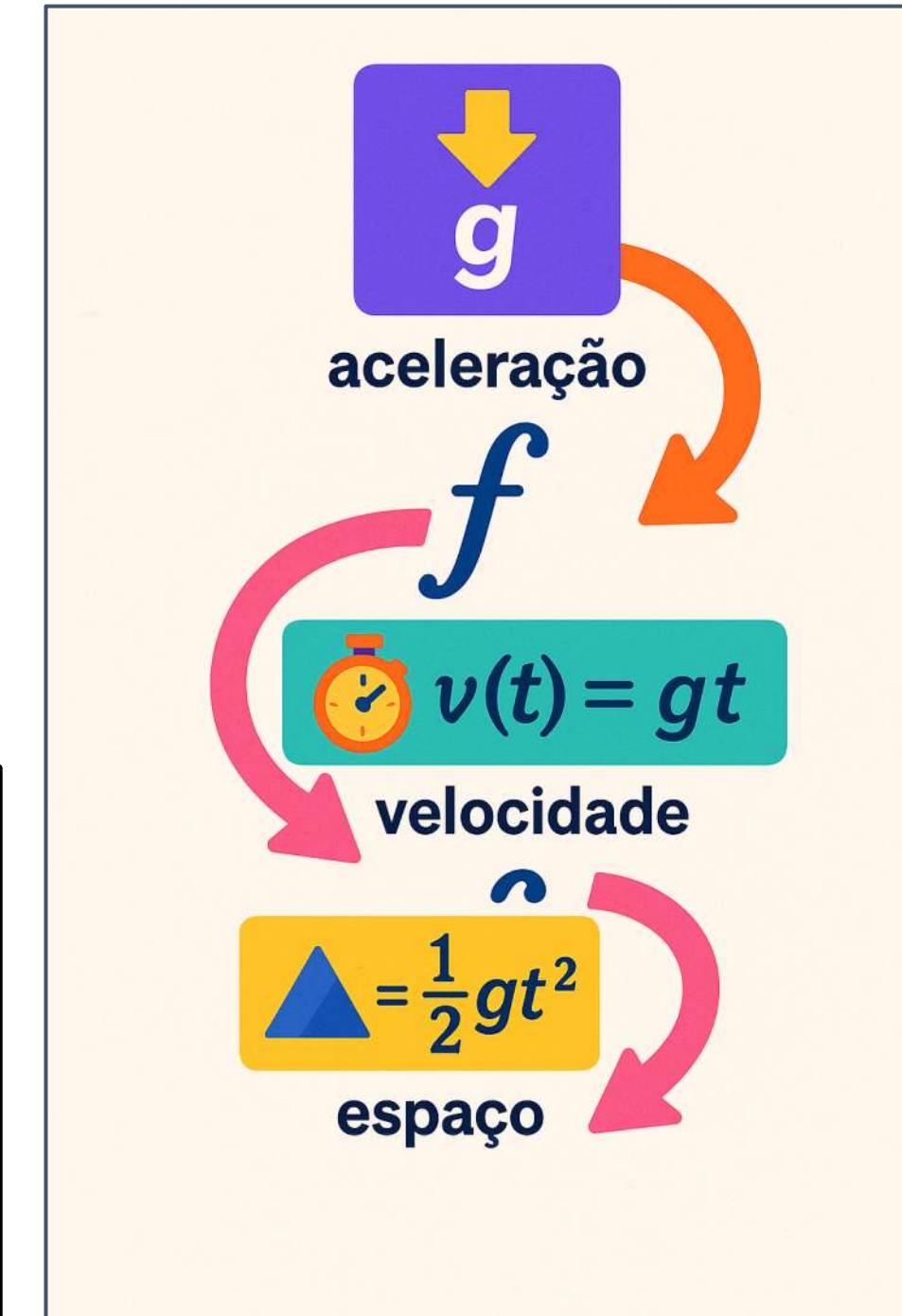
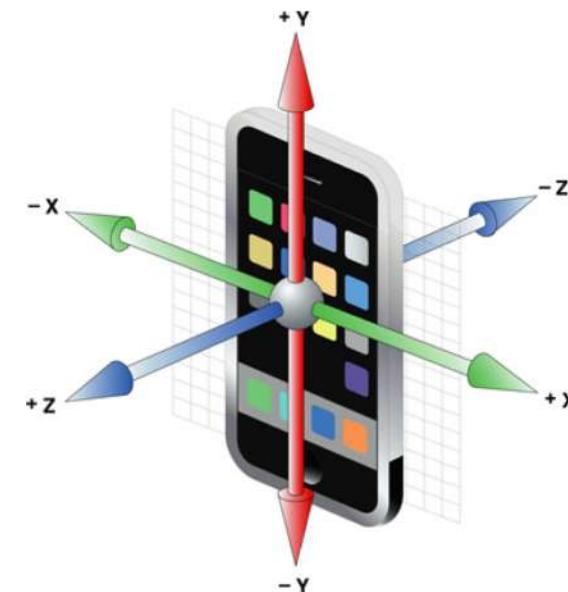


Detecções simultâneas e sinalização



Atualizações em Curso

Irregularidade longitudinal é a variação da superfície do pavimento ao longo do eixo da via, que afeta o conforto, a segurança e o desempenho dos veículos.



Uso de acelerometria e contagem de defeitos com smartphones e para prever a irregularidade longitudinal sem uso de perfilômetros.

Atualmente o modelo utiliza de ferramentas matemáticas e de regressão.

Estudo preliminar sobre irregularidade

Correlação de contagem de defeitos por meio dos índices de gravidade global (IGG) e índice de gravidade expedito (IGGE)

DNIT 006/2003 – PRO – Levantamento Visual Contínuo para avaliação da condição de superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos.

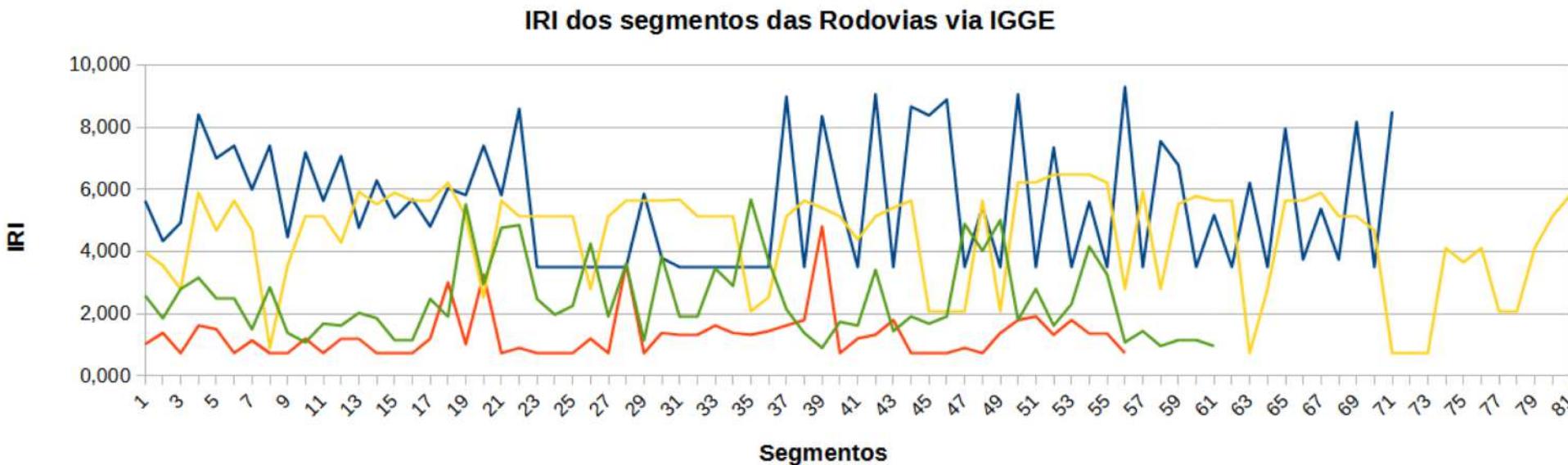
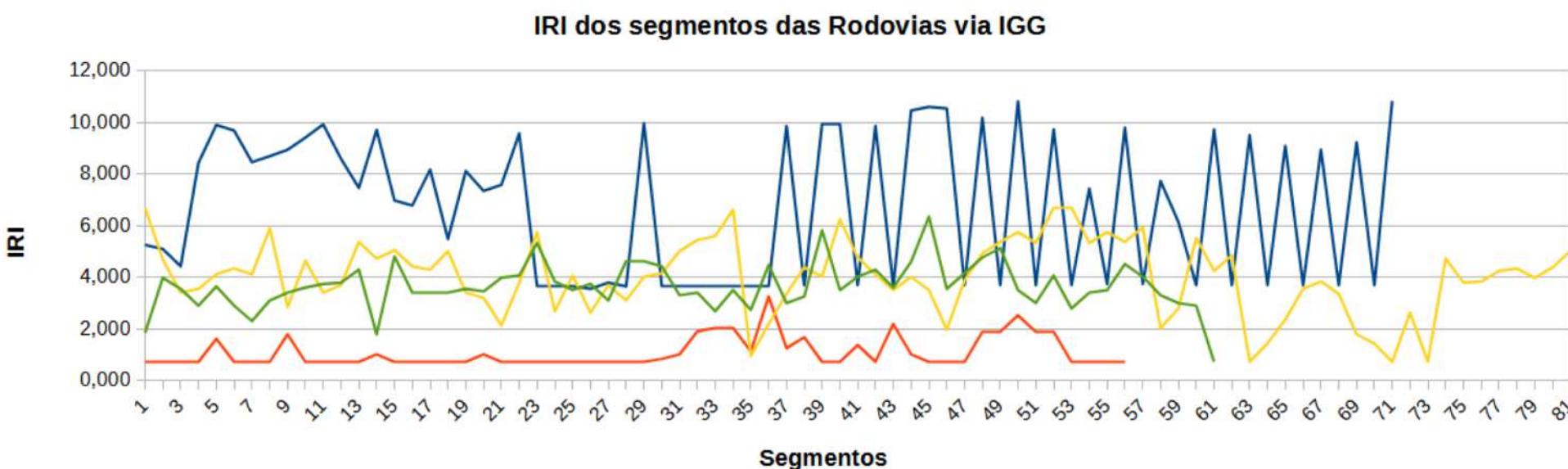
DNIT 008/2003 – PRO – Procedimento para cálculo do IGG.

DNIT 009/2003 – PRO – Procedimento para cálculo do IGGE.



Estudo preliminar sobre irregularidade

- Correlação Irregularidade x Levantamento de defeitos



Rodovia 01 – Rodovia 02 – Rodovia 03 – Rodovia 04

Resumo aprovado!

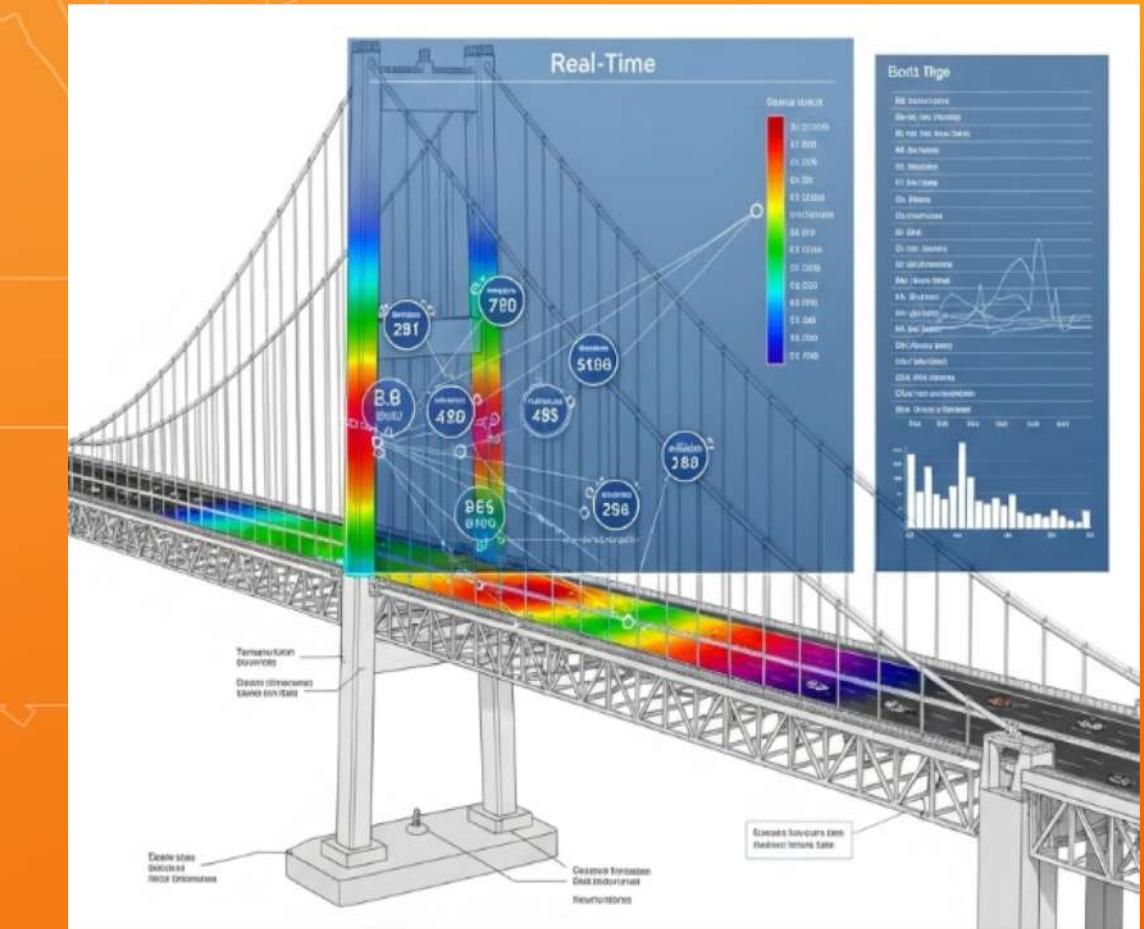
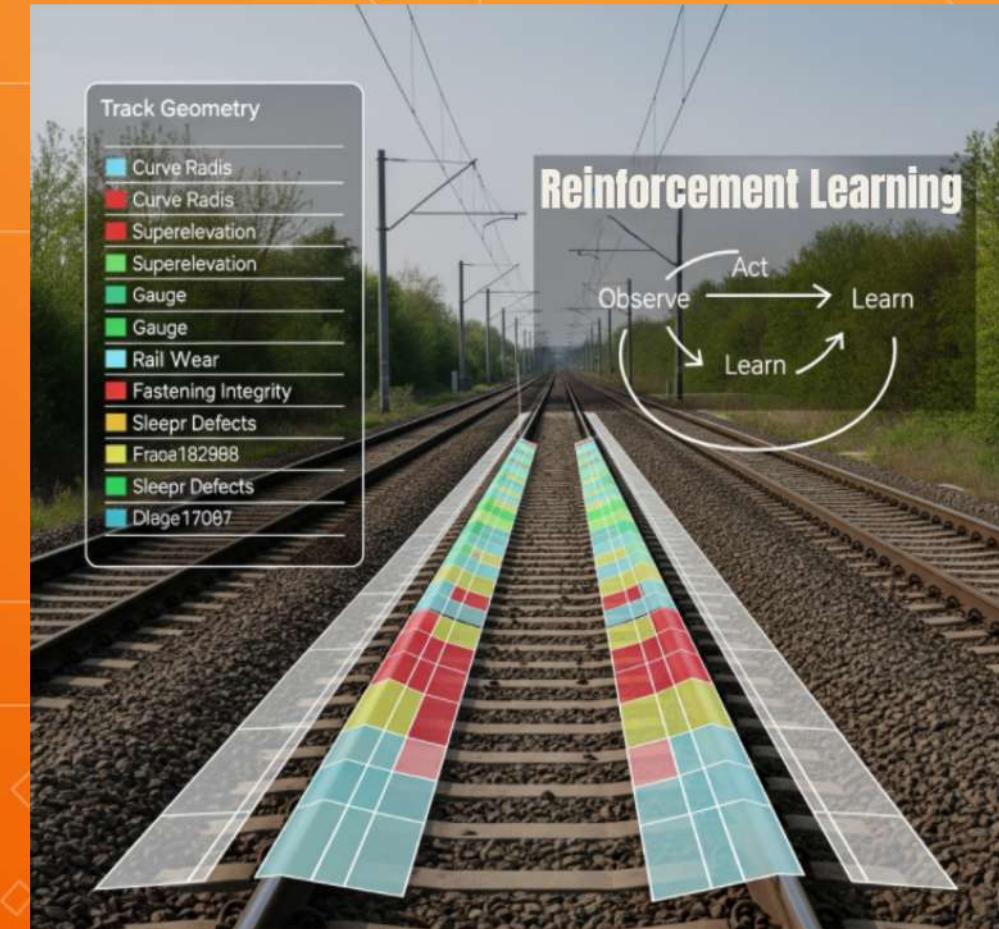


A Rodovia 01 apresenta a **pior** condição. A Rodovia 02 apresenta a **melhor**, e as Rodovias 03 e 04 apresentam condições **medianas**.

Ambos os gráficos possuem o **mesmos padrões**.

PRÓXIMOS PASSOS:
Correlacionar resultados do modelo desenvolvido com os de deslocamentos calculados a partir de acelerometria do *smartphone*

Lookahead: "Futuro" de aplicações de IA em Infraestrutura segundo a literatura



OBS.: imagens de IA geradas a partir de artigos do grupo e de outros consultados em jornais de alto impacto

Aplicação de *Large Language Models (LLMs)*

Controle e Otimização de Sinais de Trânsito (área historicamente com mais **abundância de dados**)

- Automatiza e auxilia o projeto complexo de **temporização de sinais**.
- Melhora o fluxo de tráfego, reduzindo atrasos e paradas.
- Permite **controle adaptativo** responsivo a condições em tempo real e eventos raros (veículos de emergência, incidentes).
- Aumenta a **interpretabilidade** do sistema.

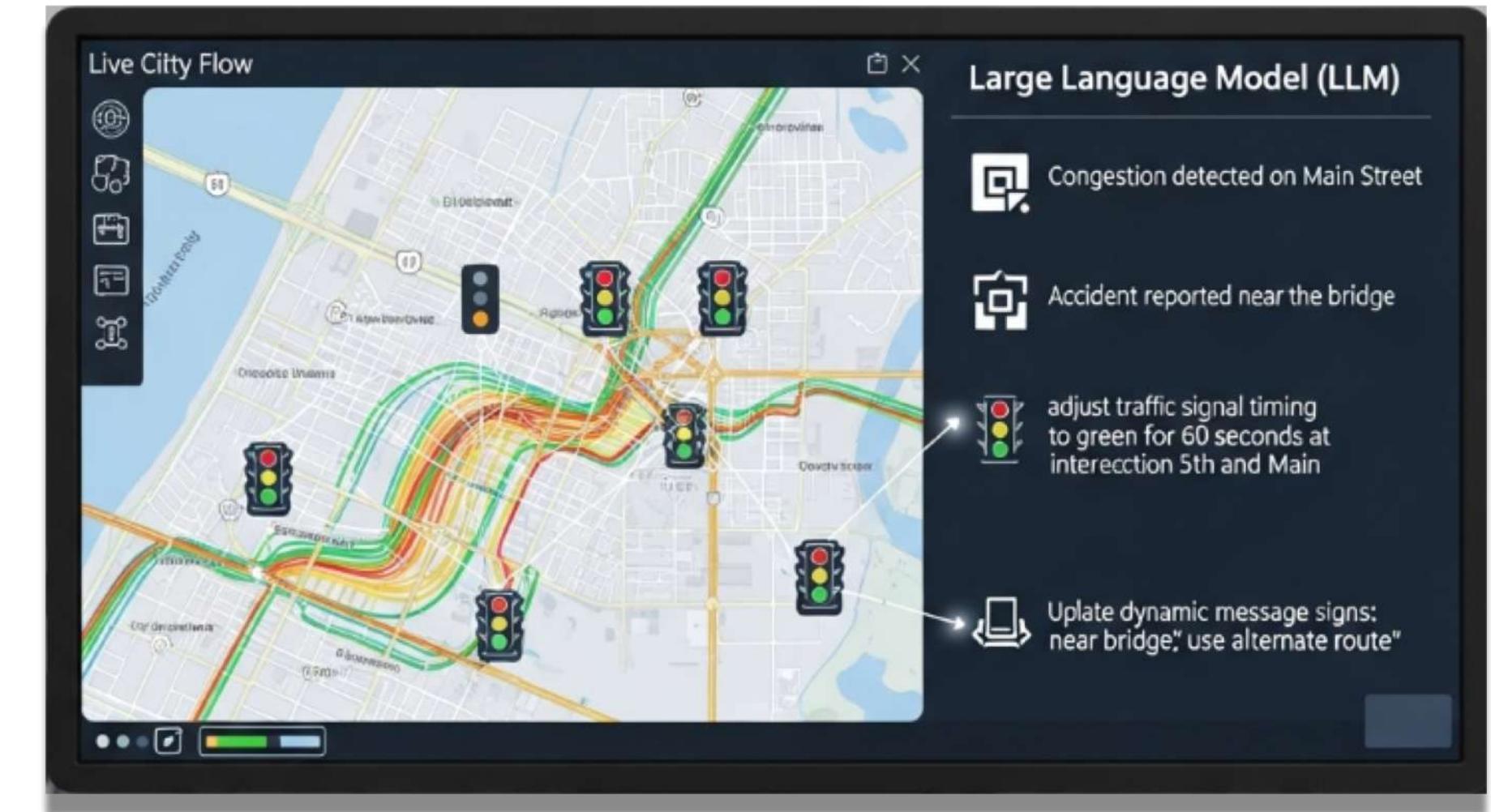


Imagen gerada por IA

JIN, KyoHoon et al. *TrafficBERT: Pre-trained model with large-scale data for long-range traffic flow forecasting*. *Expert Systems with Applications*, v. 186, p. 115738, 2021.

Physics-informed Neural Networks

- Usa **Physics-Informed Neural Networks (PINNs)** para capturar relações físicas entre perfil longitudinal de pavimento e resposta da suspensão.
- Permite calibrar previsões de **International Roughness Index (IRI)** utilizando dados de veículos conectados e ensaios de campo da **Ford Motor Company**.
- O **modelo pré-treinado com conhecimento físico** retém interpretabilidade e mantém baixa tendência e erro padrão em validações diversas.

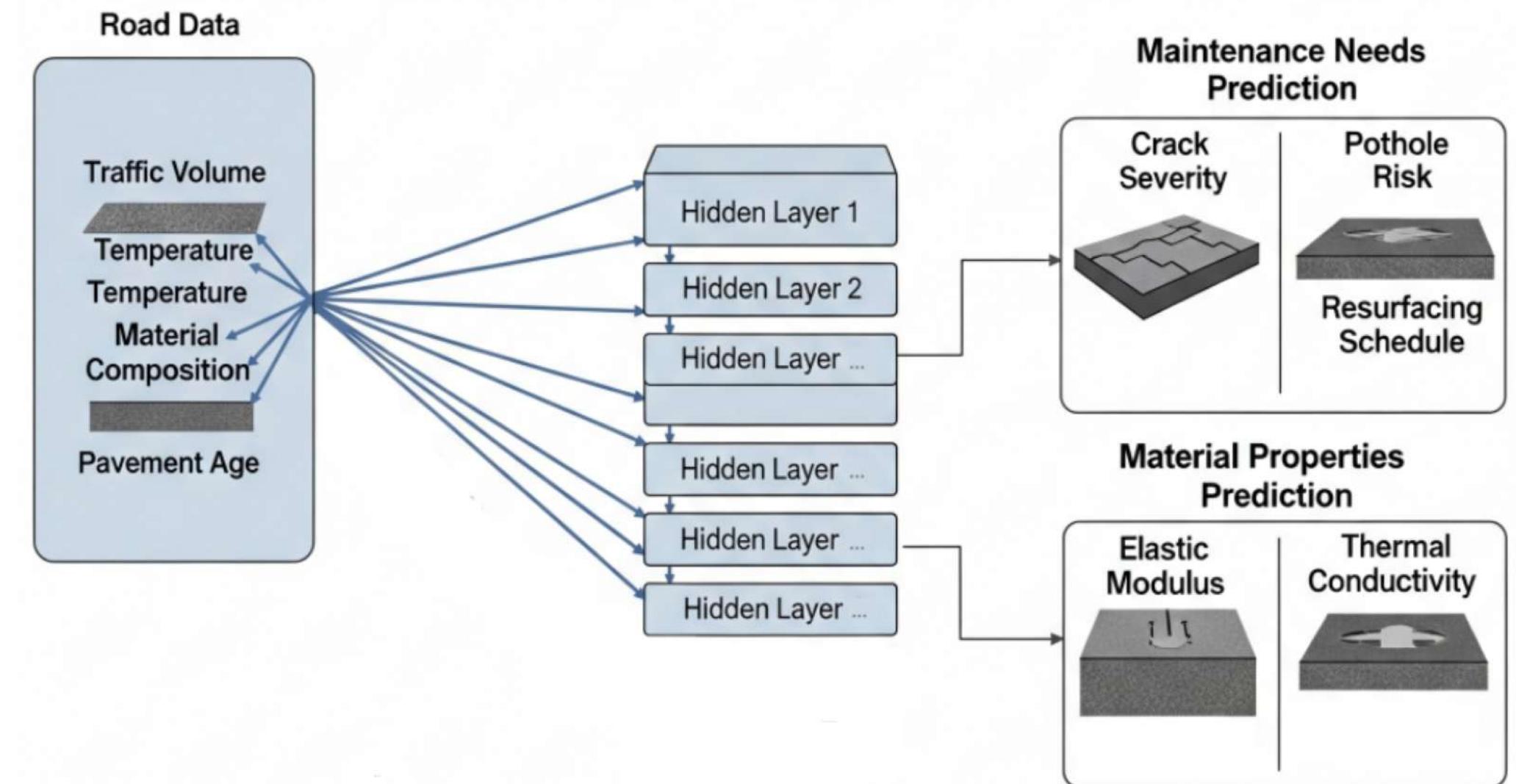


Imagen gerada por IA

Kargah-Ostadi, N., Vasylevskyi, K., Ablets, A., & Drach, A. (2024). Physics-informed neural networks to advance pavement engineering and management. *Road Materials and Pavement Design*, 25(11), 2382–2403. OBS.: PhD Penn State e 3 consultorias.

OBS.: autoria por grupo de consultoria (como em outras indústrias, talvez a tendência futura nas ferramentas seja empresas acelerarem, pela natureza "ágil" dos problemas) => **Futuras spin-offs dos laboratórios?**

Digital Twins e Reinforcement Learning

- **Manutenção** ferroviária tradicional, seja corretiva ou preventiva, é ineficiente. propõe uma nova abordagem que integra **Deep Reinforcement Learning (DRL)** e **Gêmeos Digitais (Digital Twin)** para otimizar a manutenção e aumentar sua eficiência.
- **Réplica virtual (Digital Twin)** de um trecho da ferrovia que usa dados reais de geometria dos trilhos e defeitos de componentes.
- **Agente de inteligência artificial (IA)** simula diferentes estratégias de manutenção e aprende, com base em custos e defeitos, qual é a melhor abordagem para otimizar as operações.
- Redução de 21% nas atividades de manutenção e 68% nos defeitos, demonstrando a eficácia da tecnologia.

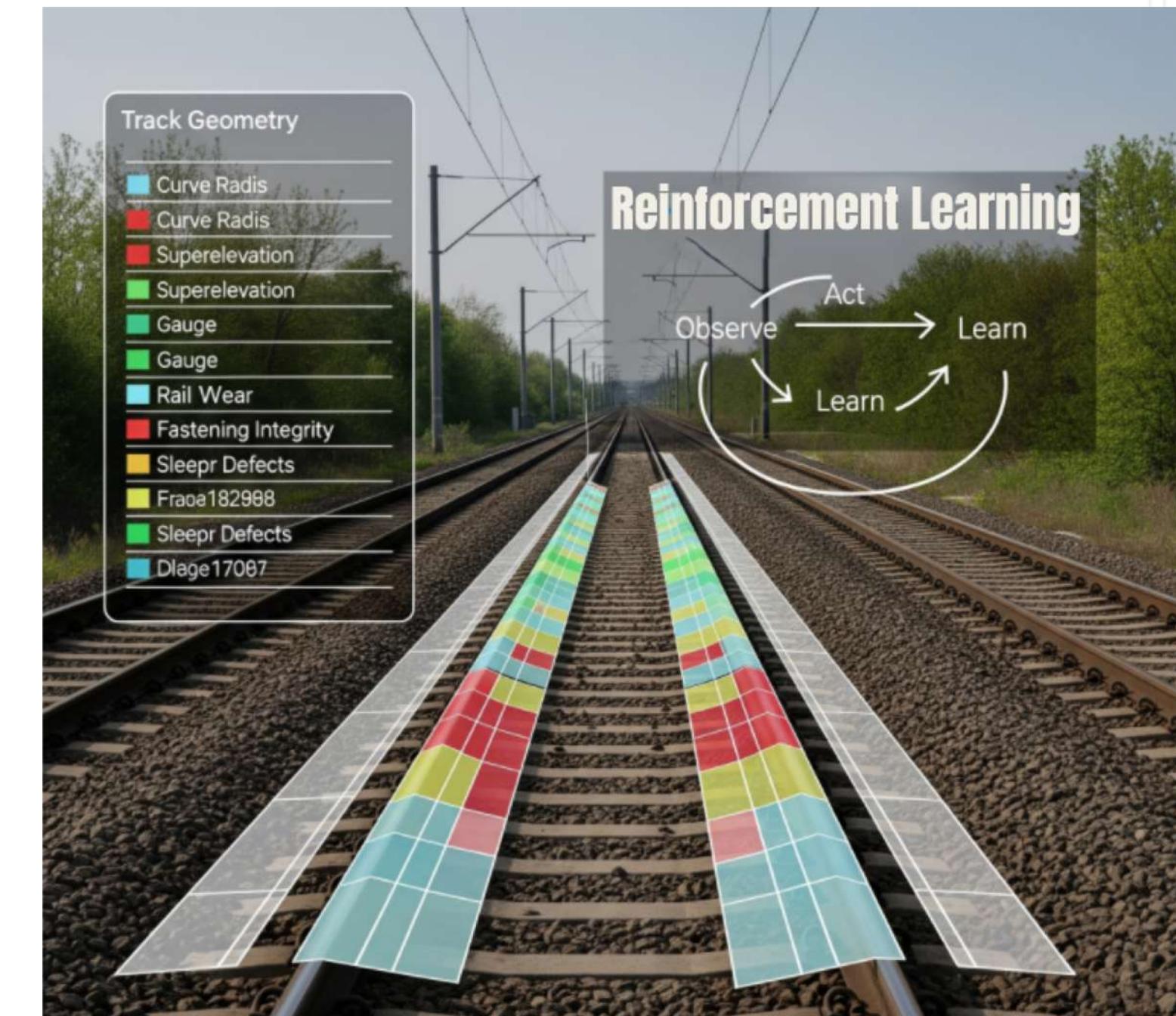


Imagen gerada por IA

SRESAKOOLCHAI, Jessada; KAEWUNRUEN, Sakdirat. **Railway infrastructure maintenance efficiency improvement using deep reinforcement learning integrated with digital twin based on track geometry and component defects**. *Scientific Reports*, v. 13, n. 1, p. 2439, 2023.

Jornal da Nature.

Monitoramento baseado em *Digital Twin*

- **Monitoramento da Estrutura:** A tecnologia cria uma **réplica virtual da ponte (Digital Twin)**, alimentada por dados de sensores reais.
- **Sensores Virtuais:** O modelo virtual usa **simulações de elementos finitos (FE)**, transformando cada ponto da réplica em um "sensor virtual". Isso permite monitorar o desempenho da ponte inteira de forma contínua.
- **Manutenção Inteligente:** A integração de tecnologias como a **modelagem 3D e Data Science** permite um monitoramento não destrutivo, resultando em maior vida útil da estrutura e menor custo de manutenção.

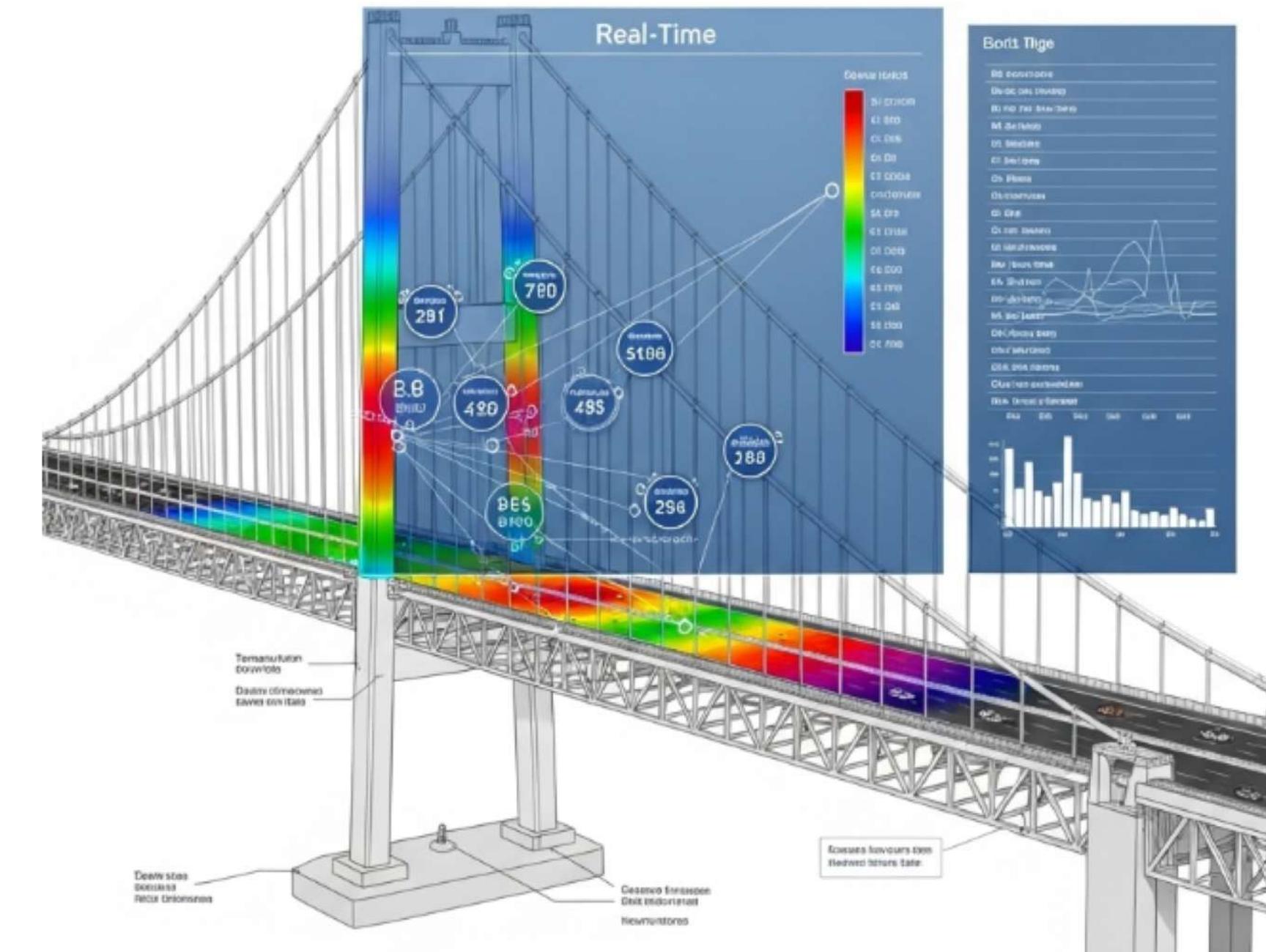


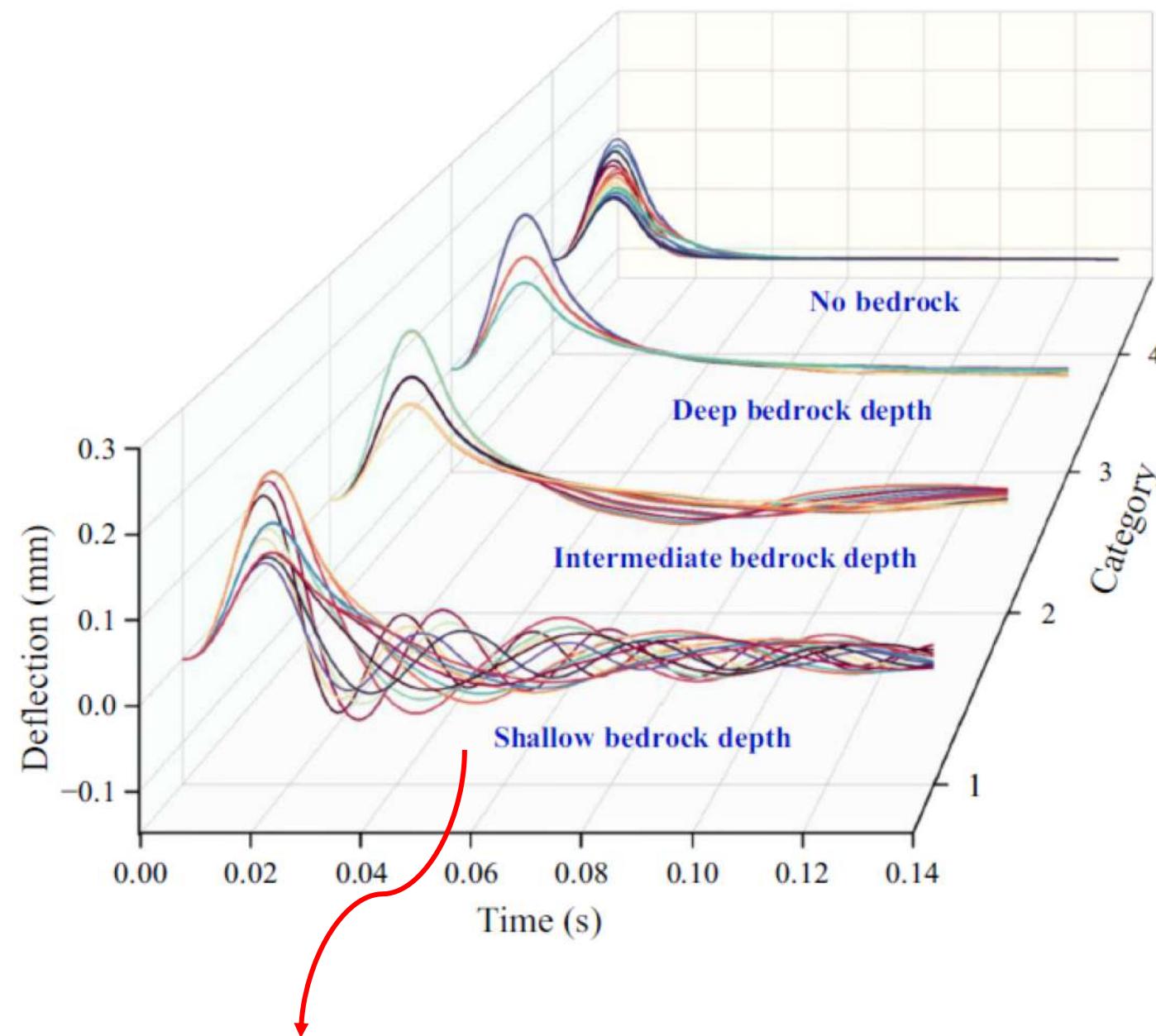
Imagen gerada por IA

LAI, Xiaonan et al. Digital twin-based non-destructive testing for structural health monitoring of bridges. Nondestructive Testing and Evaluation, v. 39, n. 1, p. 57-74, 2024.

Lookahead: "Futuro" de projetos no INCT-Infra

Detecção de Leito Rochoso em Rodovias

PROBLEMA – Leito Rochoso raso afeta ensaios deflectométricos e avaliações estruturais



INFO: Rochas rasas provocam reflexão de ondas e elevam a frequência de vibração dos sensores de deflexão

Ensaio Falling Weight Deflectometer



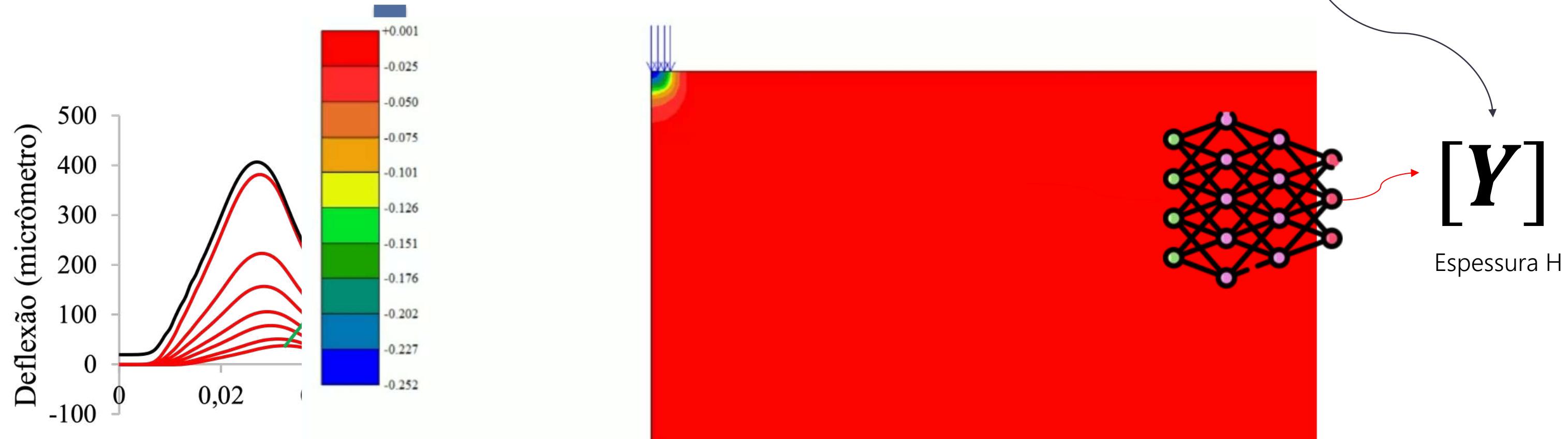
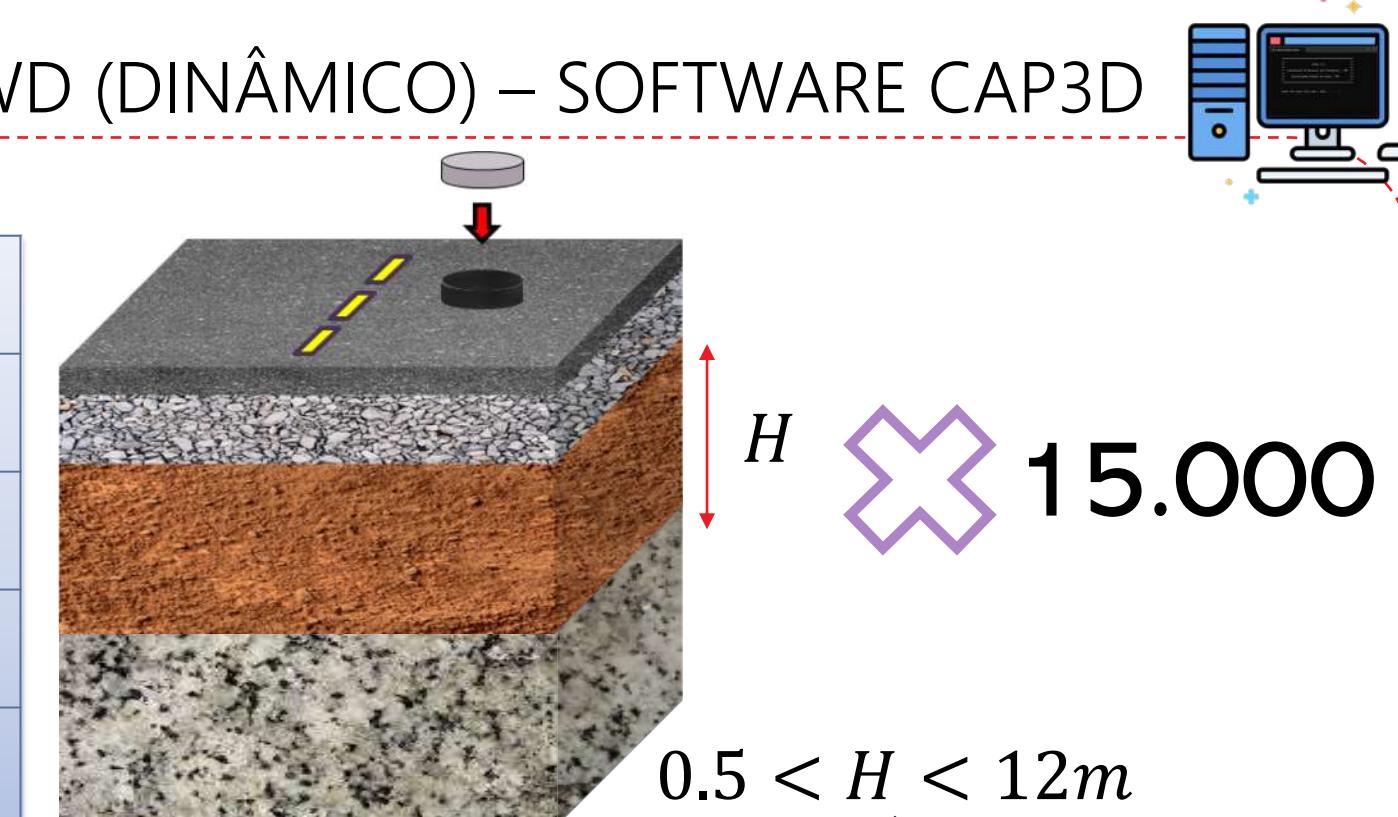
Estimação de profundidade

- Equações de regressão
(Rhode & Smith, 1991; Chen et al, 1999)
- Bancos de Dados
(Uzan, 1998)
- Machine Learning – Classificação ou Regressão (Wang et al, 2024)

Detecção de Leito Rochoso em Rodovias

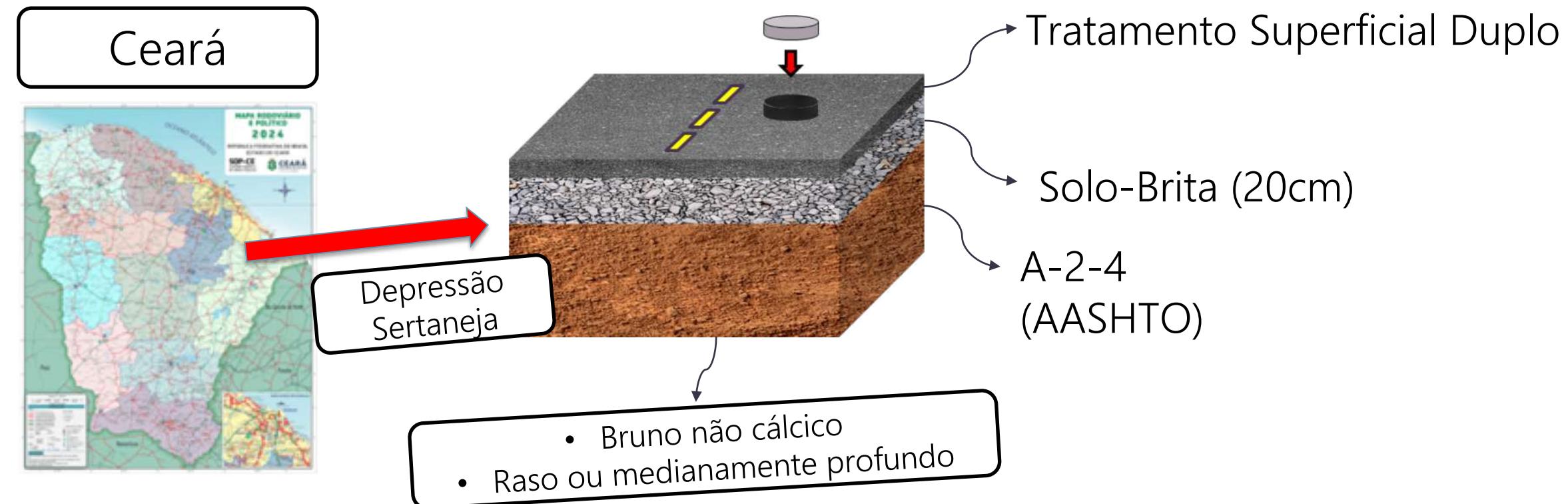
AMOSTRAGEM - SIMULAÇÃO DE ENSAIOS FWD (DINÂMICO) – SOFTWARE CAP3D

Camada	h (cm)	E (MPa)	ν	γ (kg/m^3)
Revestimento	3 a 15	500 a 6000	0,30 a 0,40	2000 a 2400
Base	10 a 20	100 a 800	0,25 a 0,40	1500 a 2000
Sub-base	10 a 20	100 a 800	0,25 a 0,40	1500 a 2000
Subleito	100 a 1200	100 a 800	0,25 a 0,40	1500 a 2000

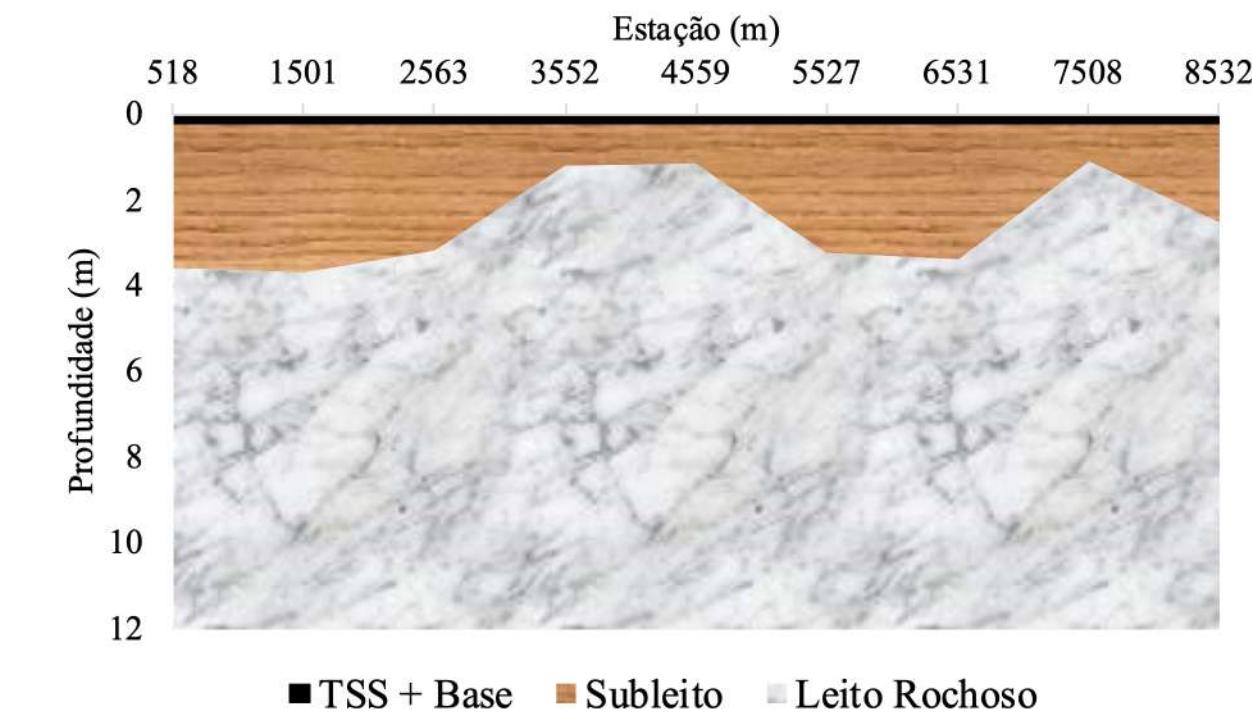
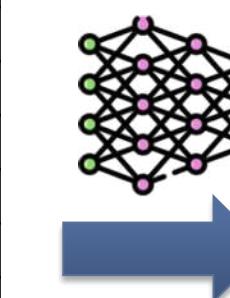


Detecção de Leito Rochoso em Rodovias

APLICAÇÃO – Estimação de profundidade de leito rochoso em rodovia cearense

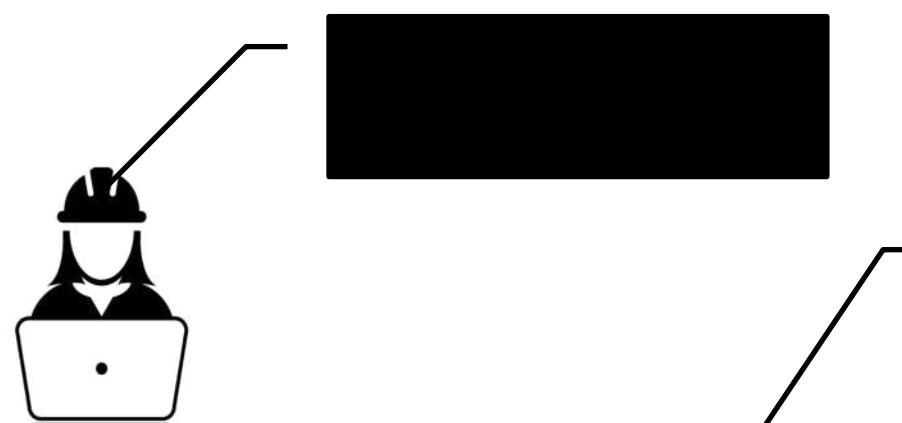


peak_load (kN)	def_bowl (1/100mm)							slope	f_FFT 6 (Hz)
	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6		
46,3	56,1	19,0	9,2	4,9	3,7	2,4	0,8	0,3	12,2
45,3	135,8	71,7	46,4	30,4	21,1	11,6	2,9	0,2	12,2
46,4	60,3	27,7	17,5	11,7	9,0	6,0	1,6	0,3	13,4
44,2	198,7	90,0	56,4	33,6	22,0	9,6	1,8	0,2	24,4
45,0	162,3	80,1	51,4	31,8	21,2	9,5	1,8	0,2	23,2
46,1	59,0	31,1	19,7	12,4	8,5	4,7	1,3	0,3	8,5
46,2	38,7	27,6	20,4	12,7	8,8	4,7	1,3	0,3	12,2
45,6	77,4	52,0	34,9	23,8	17,1	8,0	1,8	0,2	24,4
45,1	126,0	54,4	28,4	14,1	8,6	4,8	1,2	0,2	15,9
46,6	45,9	19,1	10,9	6,4	4,6	3,0	0,9	0,3	15,9



Aplicações em Parcerias Iminentes

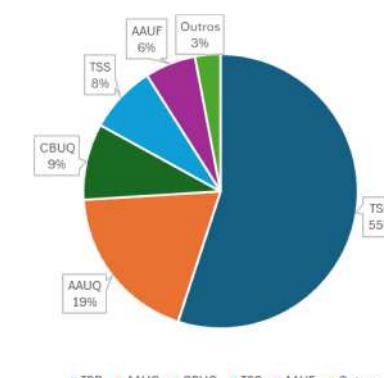
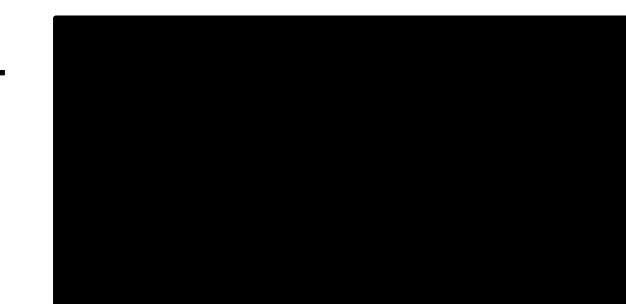
Chatbot para acesso e organização a dados em grandes volumes de documentos e relatórios; produção automatizada de novas informações



Banco de dados com projetos e relatórios para alimentação do chatbot



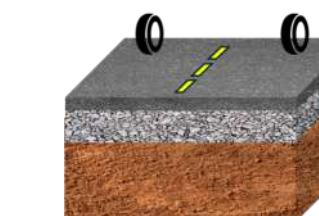
*informações meramente ilustrativas



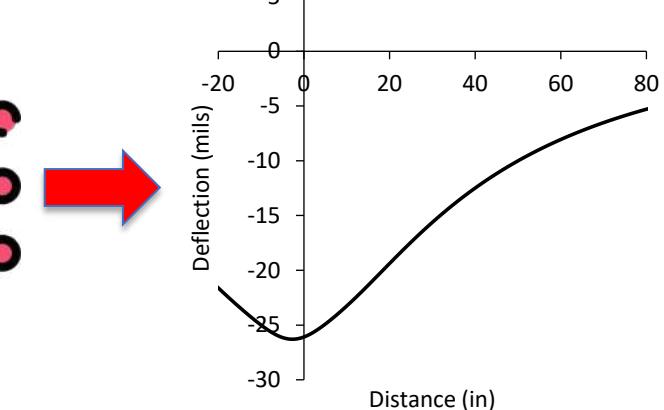
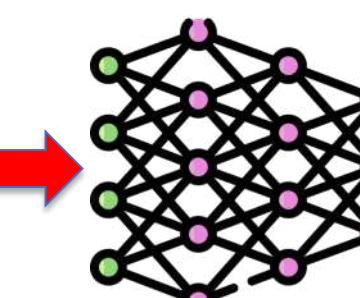
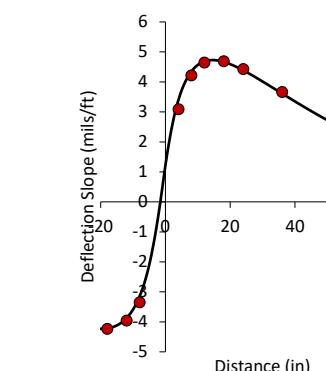
Acompanhamento de deterioração usando MIDR

Banco de dados com projetos e relatórios para alimentação do chatbot

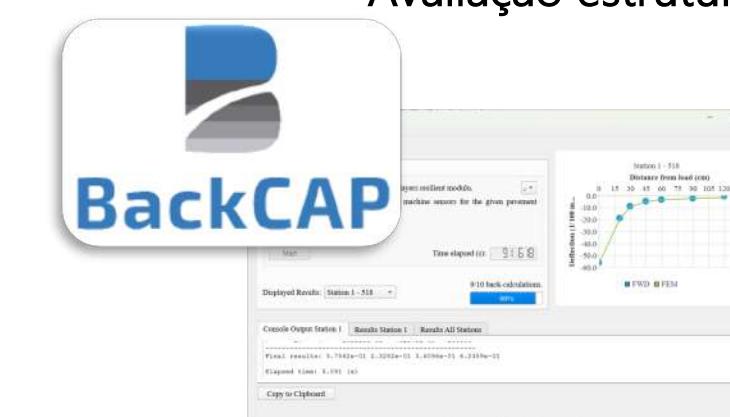
Redes Neurais Artificiais para tratamento dos resultados do *Traffic Speed Deflectometer* (TSD)



Velocidade de deflexão



Avaliação estrutural





Obrigado!

Equipe do



Siga
@inct_infra



Perguntas?