



Instrumentação e Monitoramento do Comportamento e Pavimentos Rodoviários e Ferroviários

Prof. Rafael Cerqueira Silva
Universidade de Brasília UnB



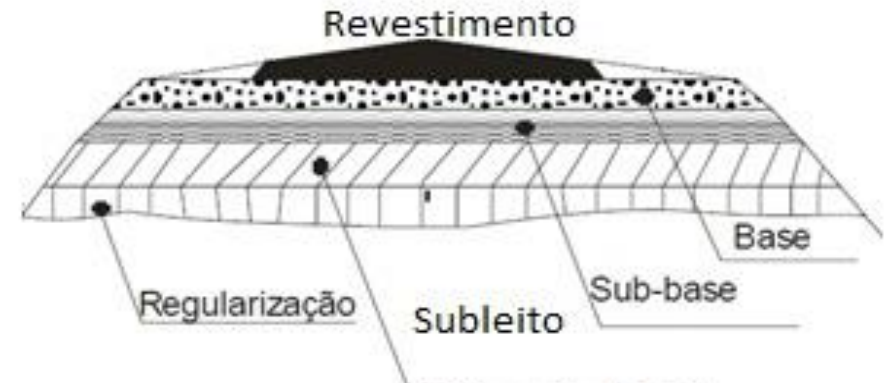
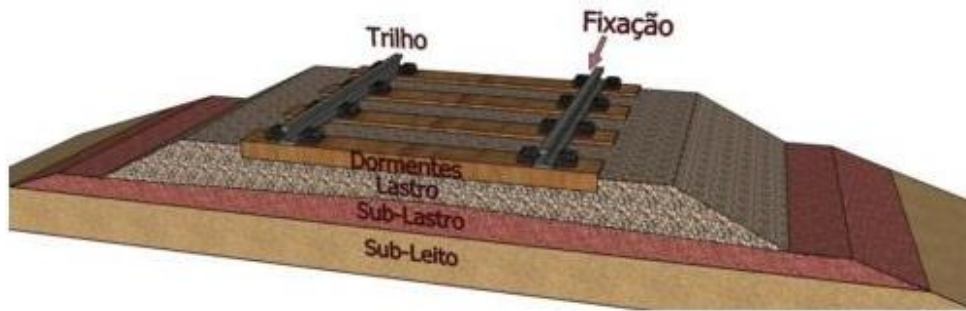
Porque Instrumentar e Monitorar Obras

Finalidade do Monitoramento

- # **Conhecer o comportamento real da obra**, medindo tensões, deformações e outras respostas às ações do tráfego, clima e água;
- # **Comparar o comportamento medido com o previsto em projeto**, permitindo verificar e validar hipóteses e modelos;
- # **Avaliar as condições de segurança e desempenho** durante a construção e ao longo da vida útil;
- # **Identificar alterações de comportamento e subsidiar tomadas de decisão**, intervenções e ações de manutenção;
- # **Aprimorar projetos, métodos construtivos e soluções de engenharia**, possibilitando otimizações e inovações;
- # **Ampliar o conhecimento dos mecanismos de comportamento**, fornecendo dados para análises, calibração de modelos e novos projetos.

Obra de Pavimento

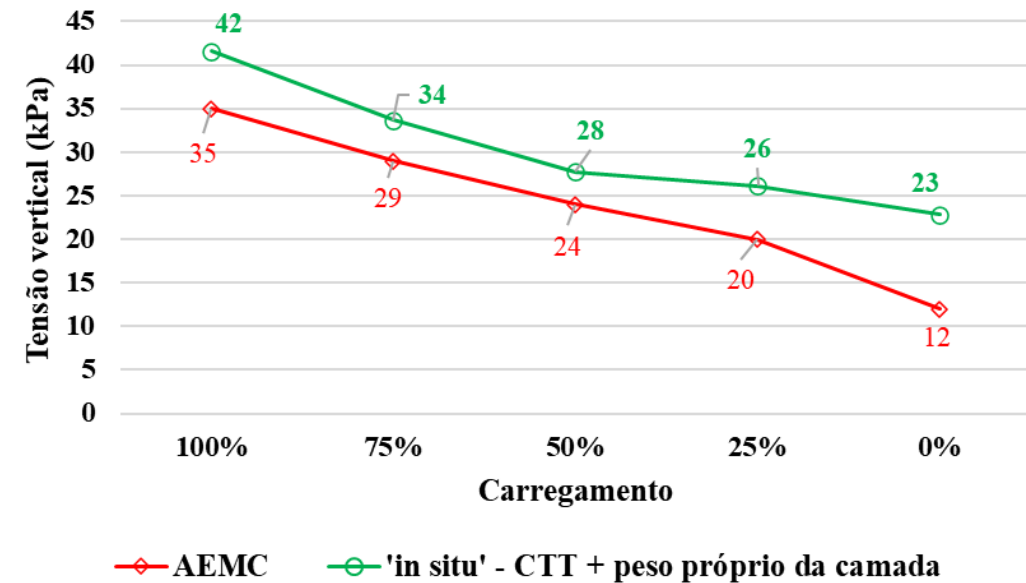
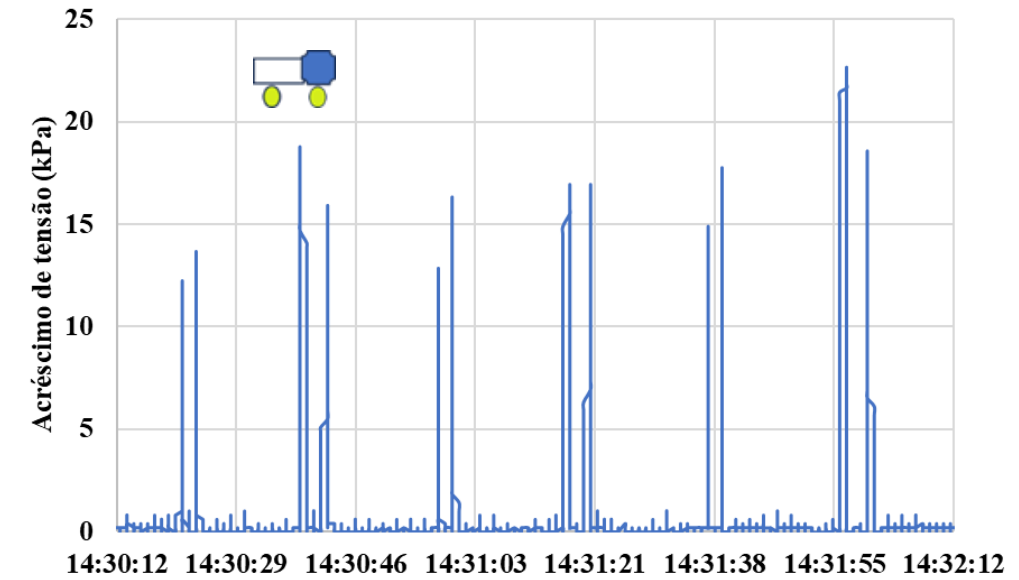
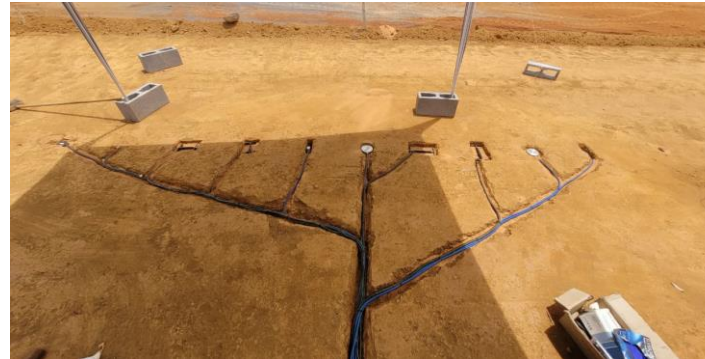
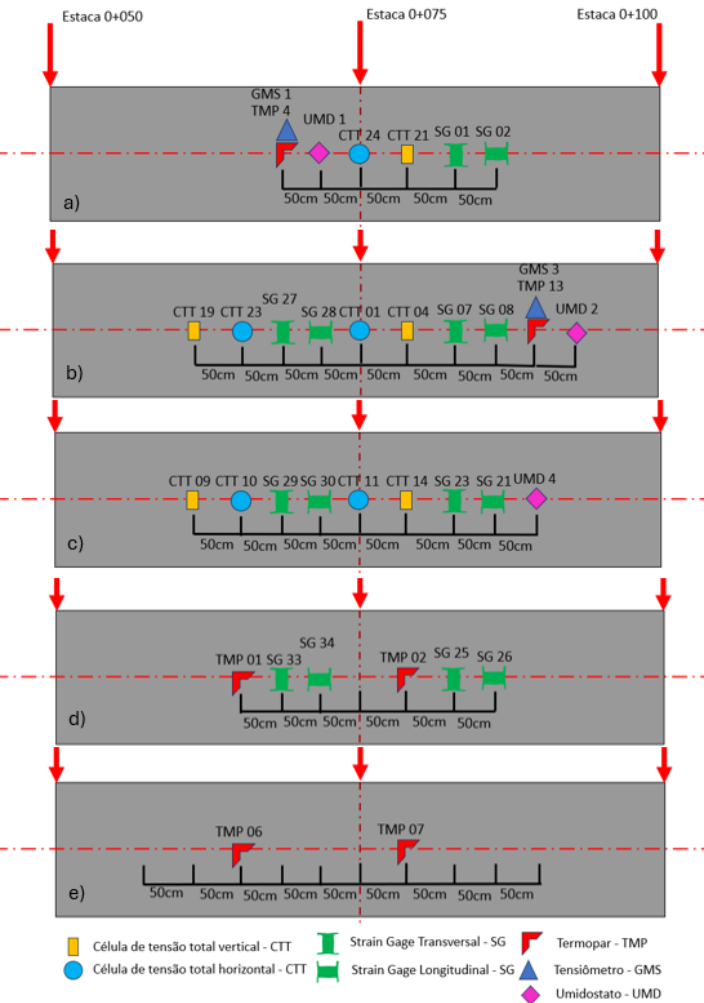
“Espessura” pequena, mas de grande extensão



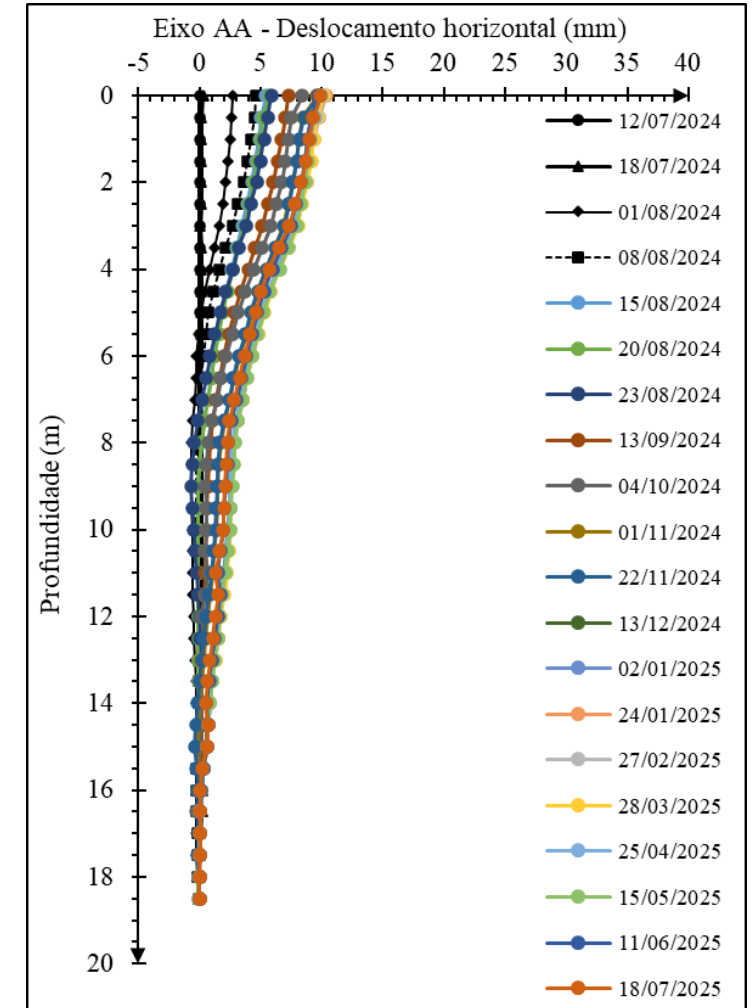
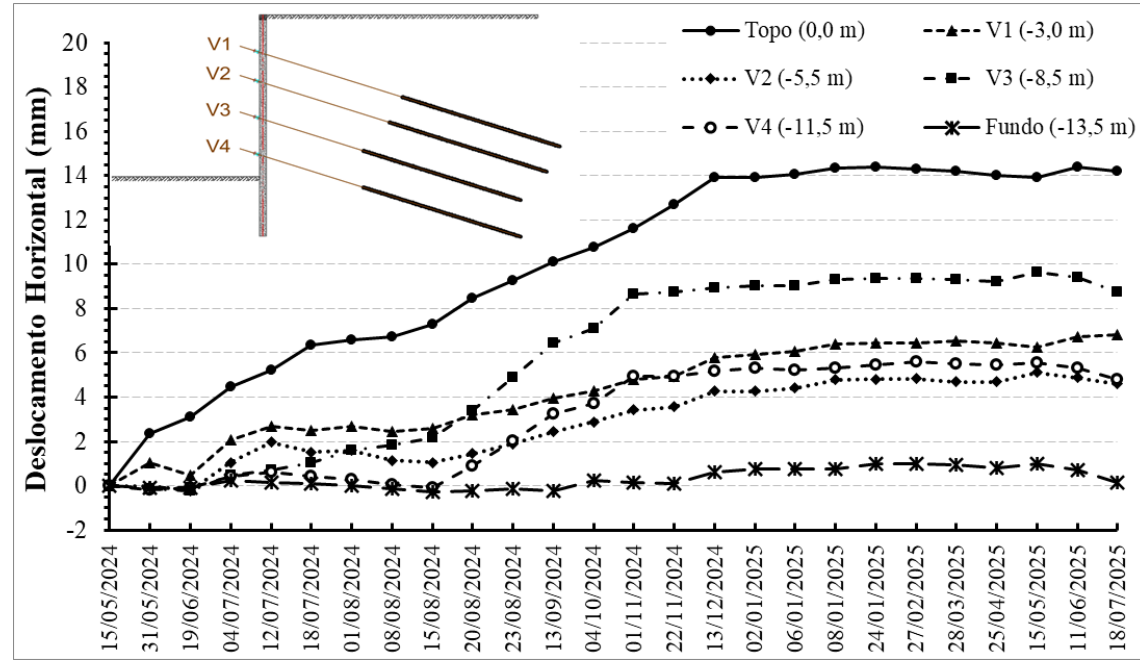
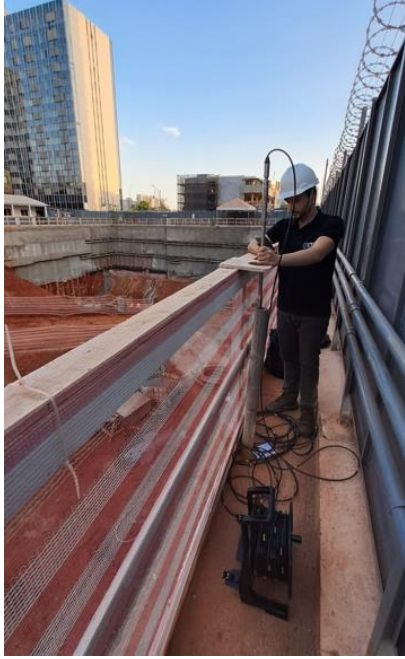
- # Maior compreensão, previsão compatível com o real desempenho, pequenas reduções, escolha de materiais adequados e qualidade de execução resultam em economia significativa

Comportamento – medido x previsto

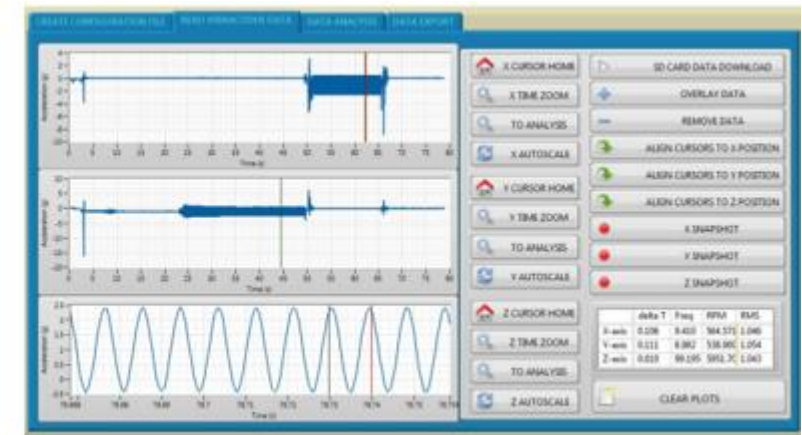
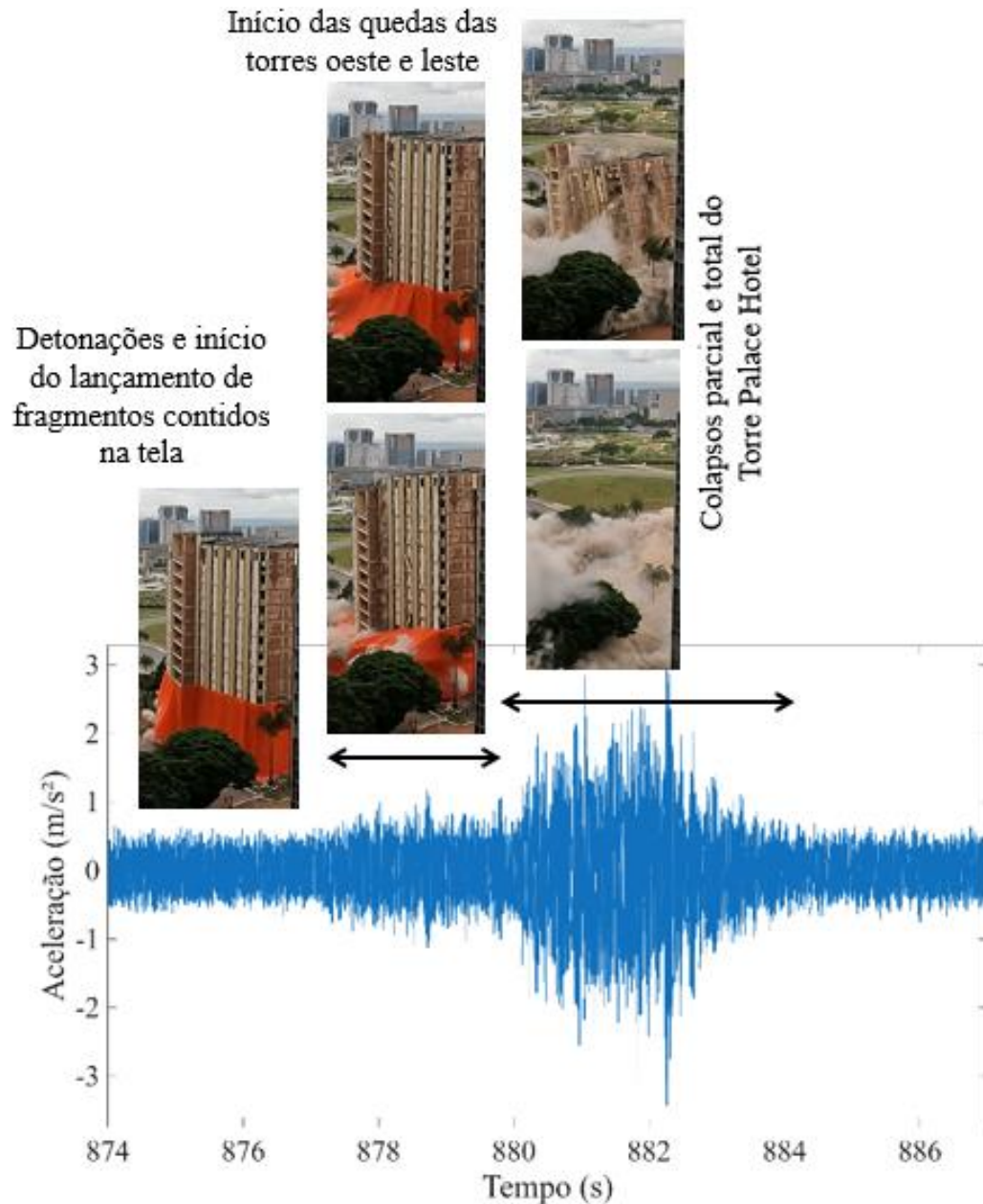
De Paula, 2025



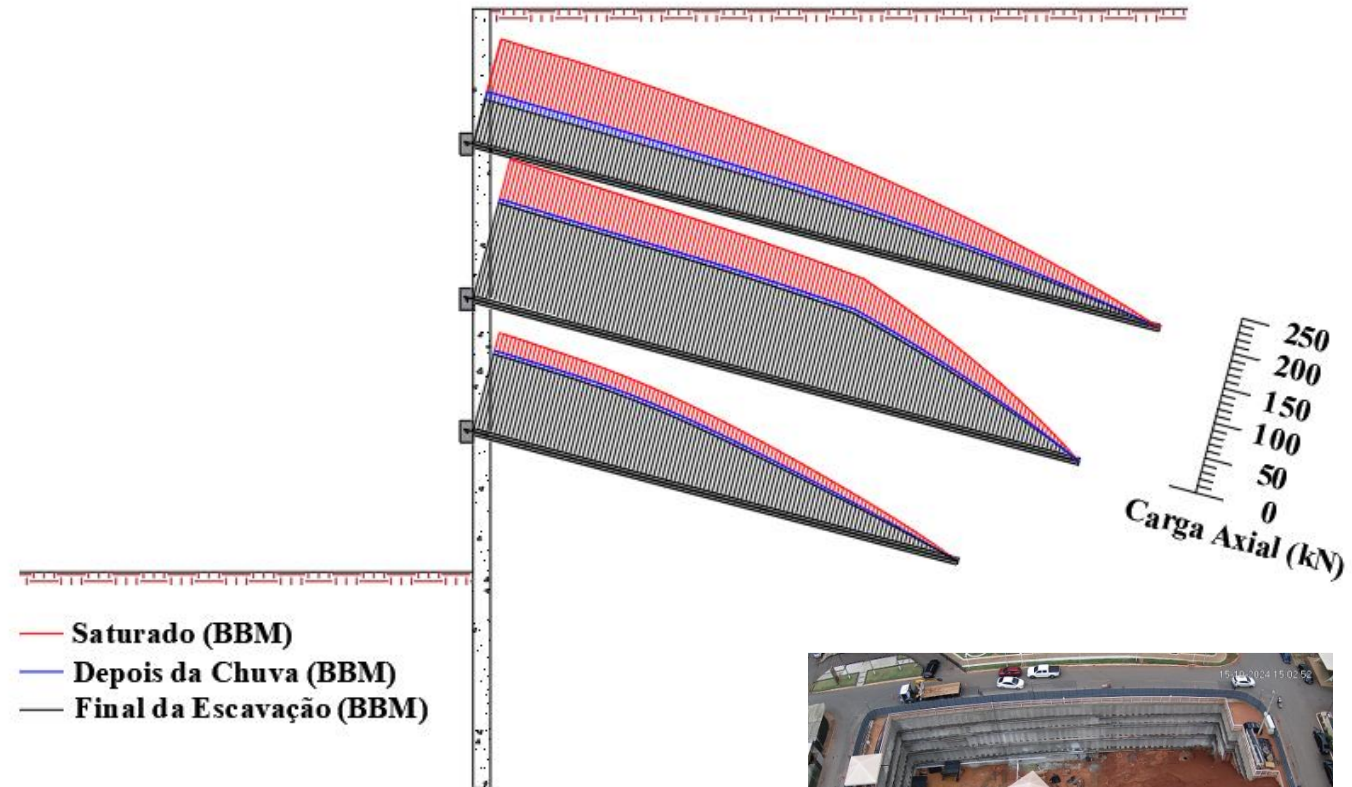
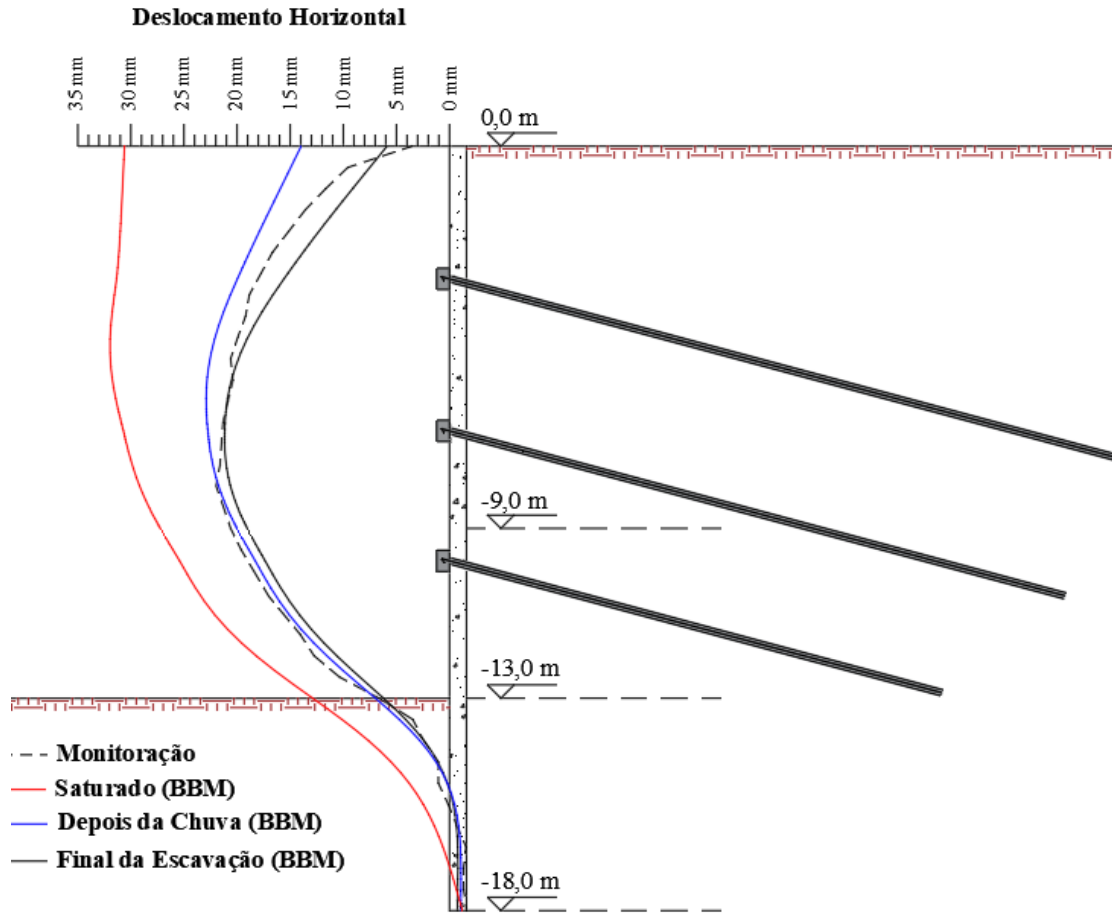
Comportamento – medido x previsto



Rastreabilidade

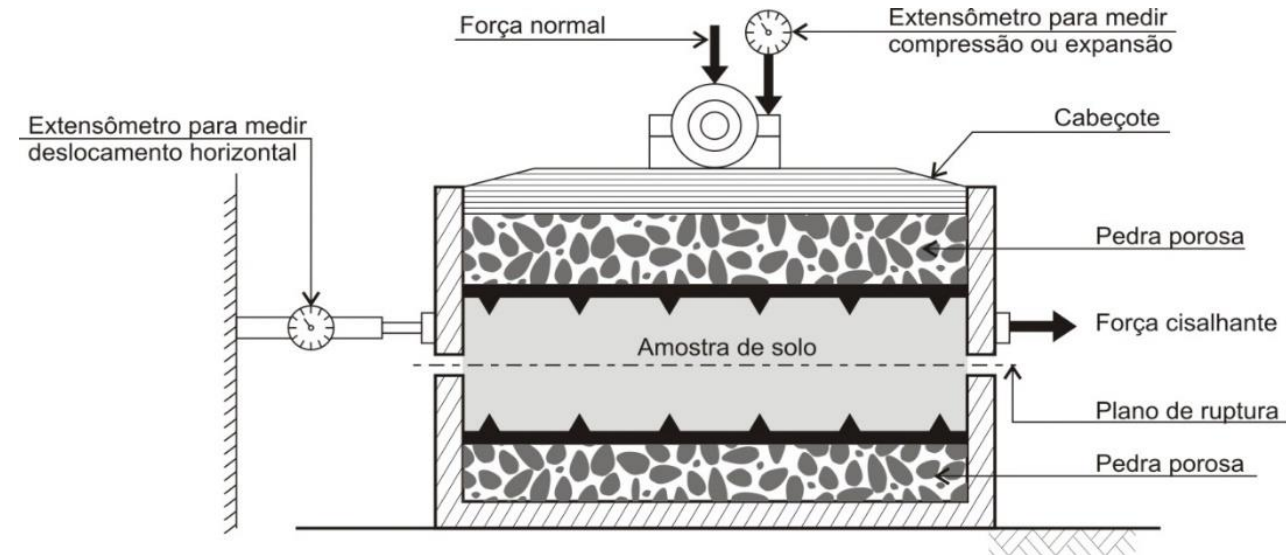
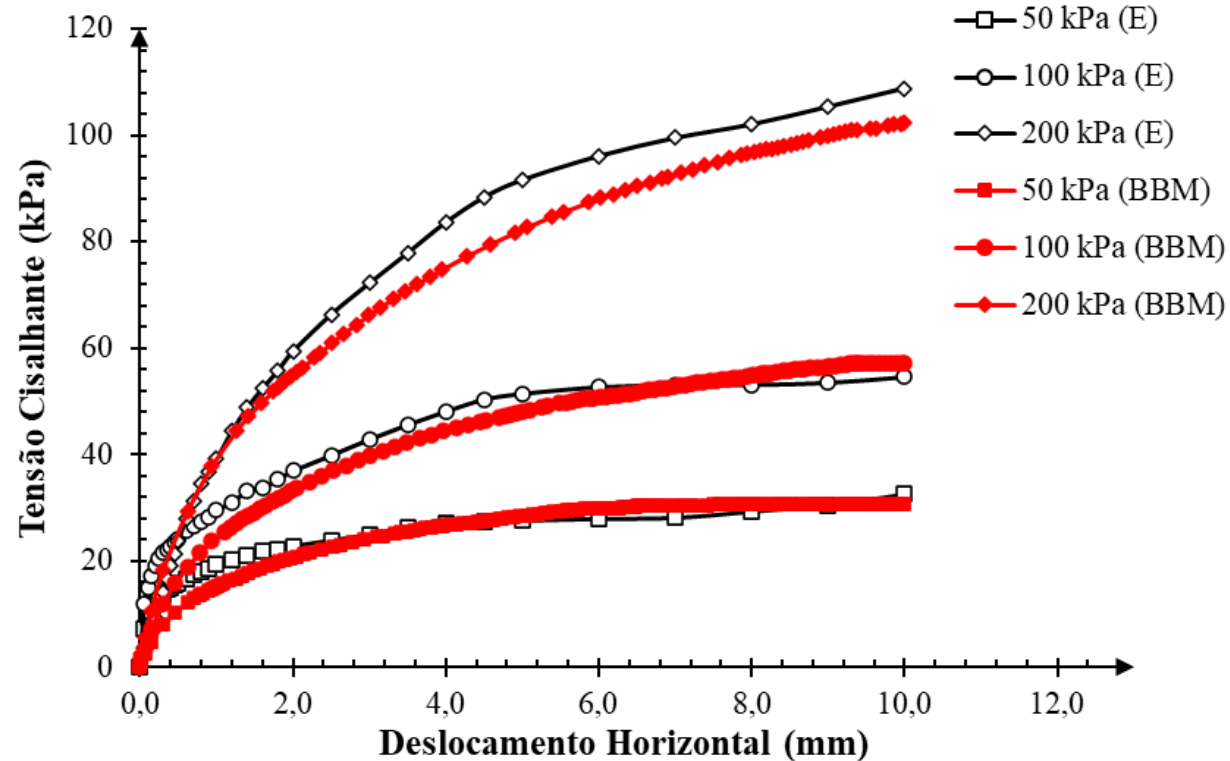


Validação de Modelo Numérico e Simulações



Escala da Instrumentação e Monitoramento

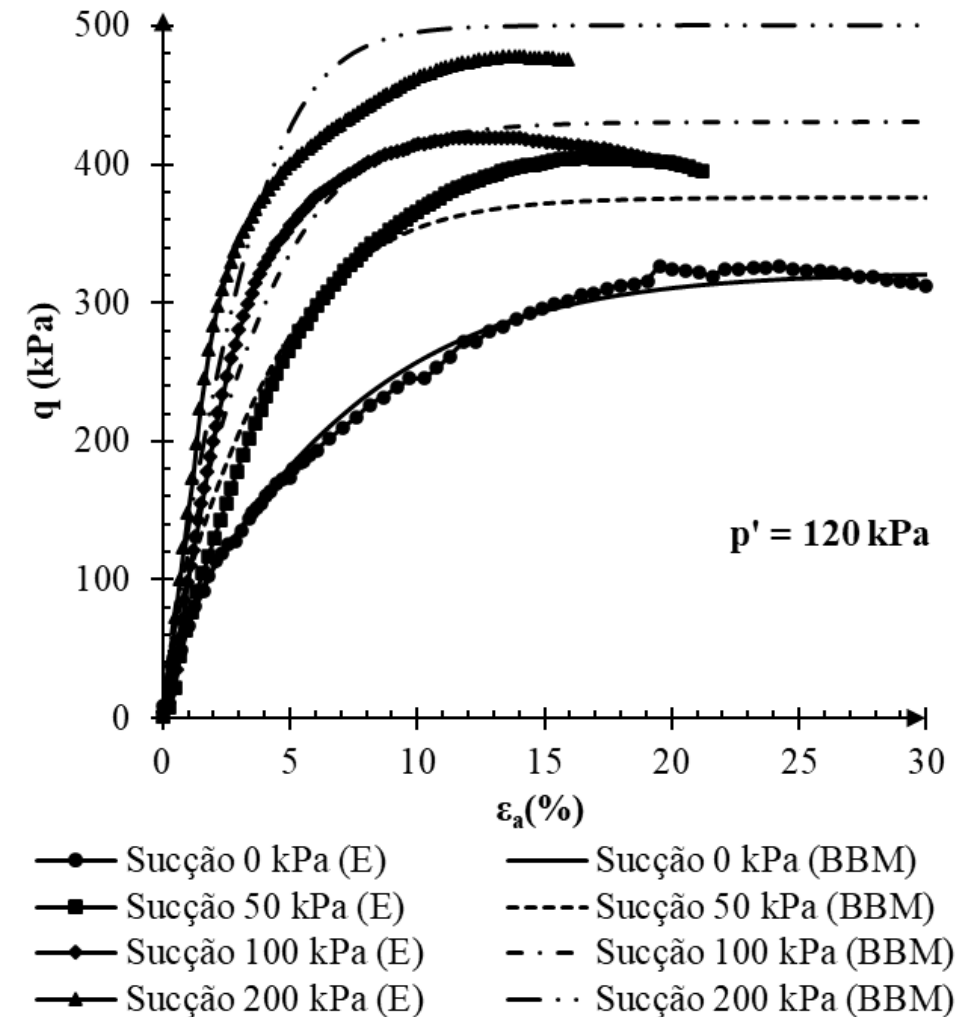
Cisalhamento Direto



Escala da Instrumentação e Monitoramento

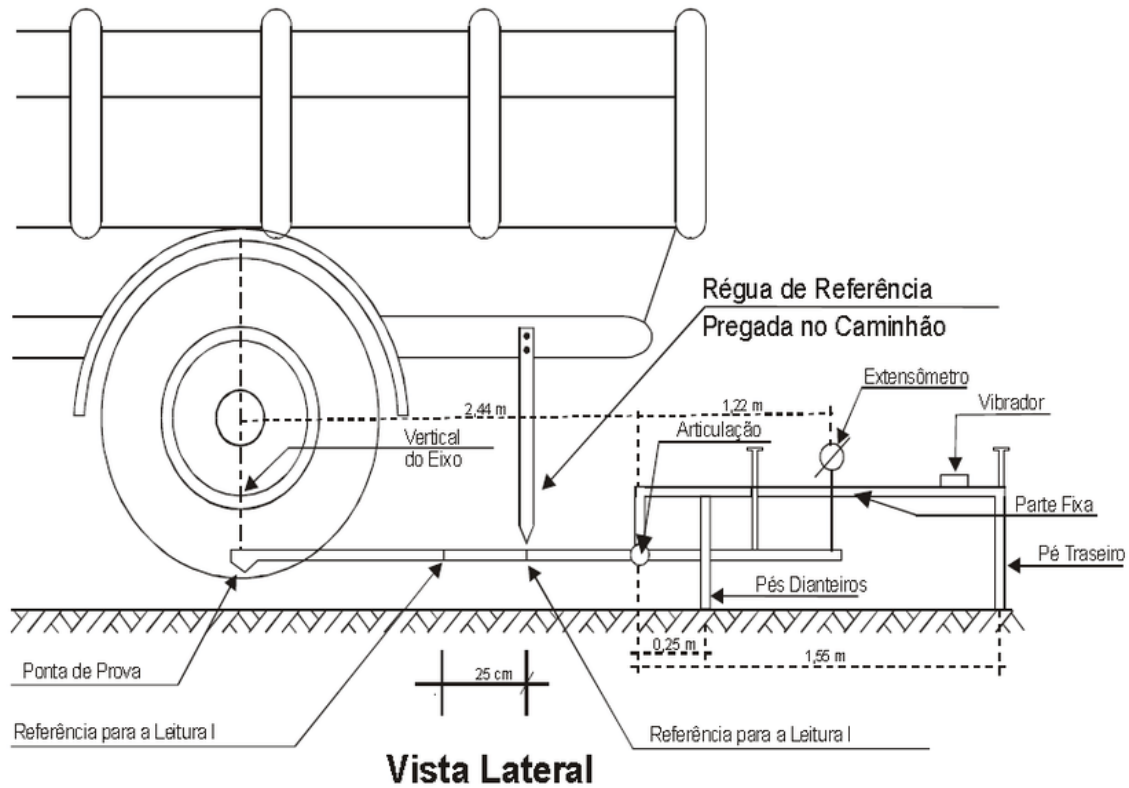


Triaxial



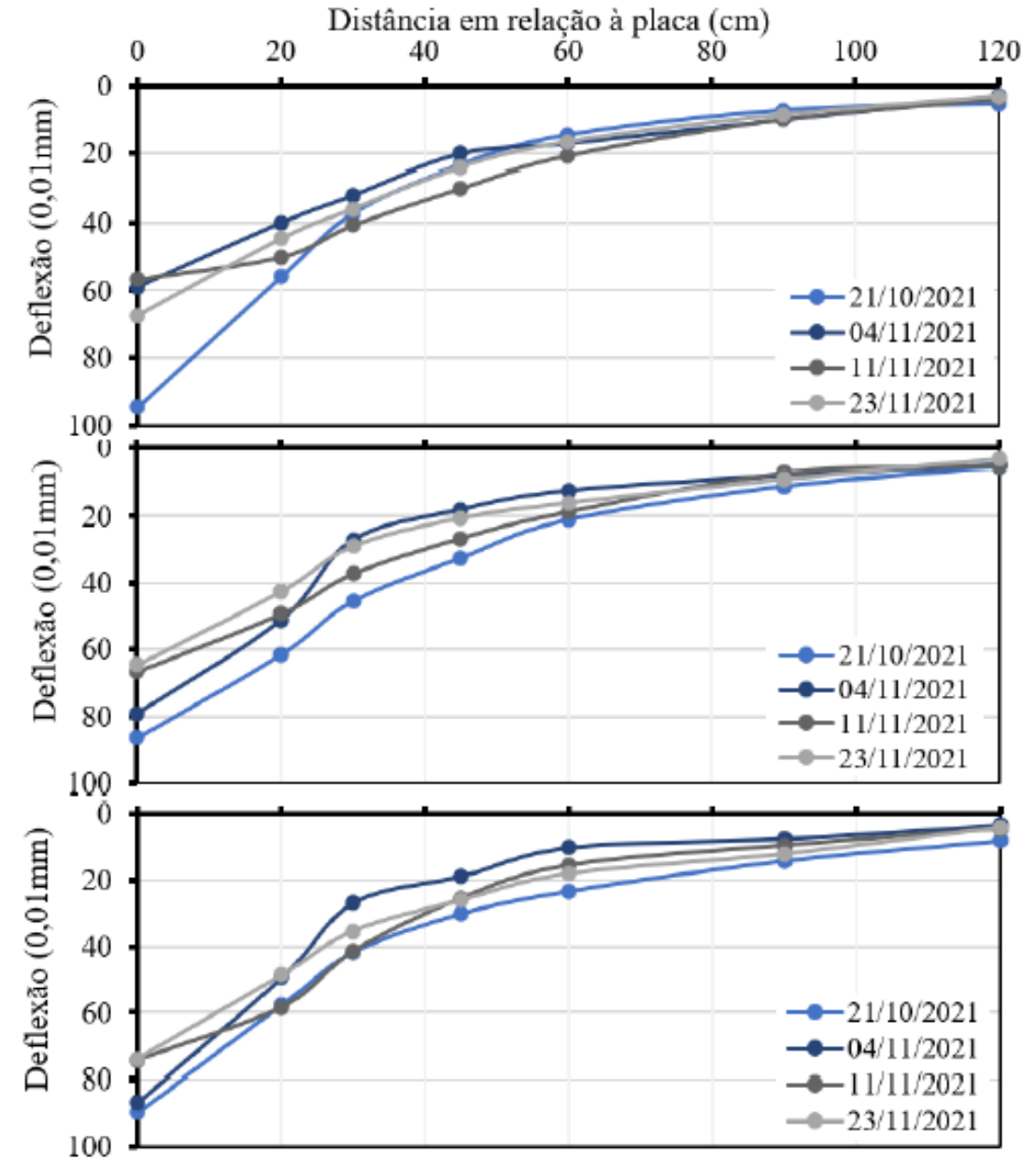
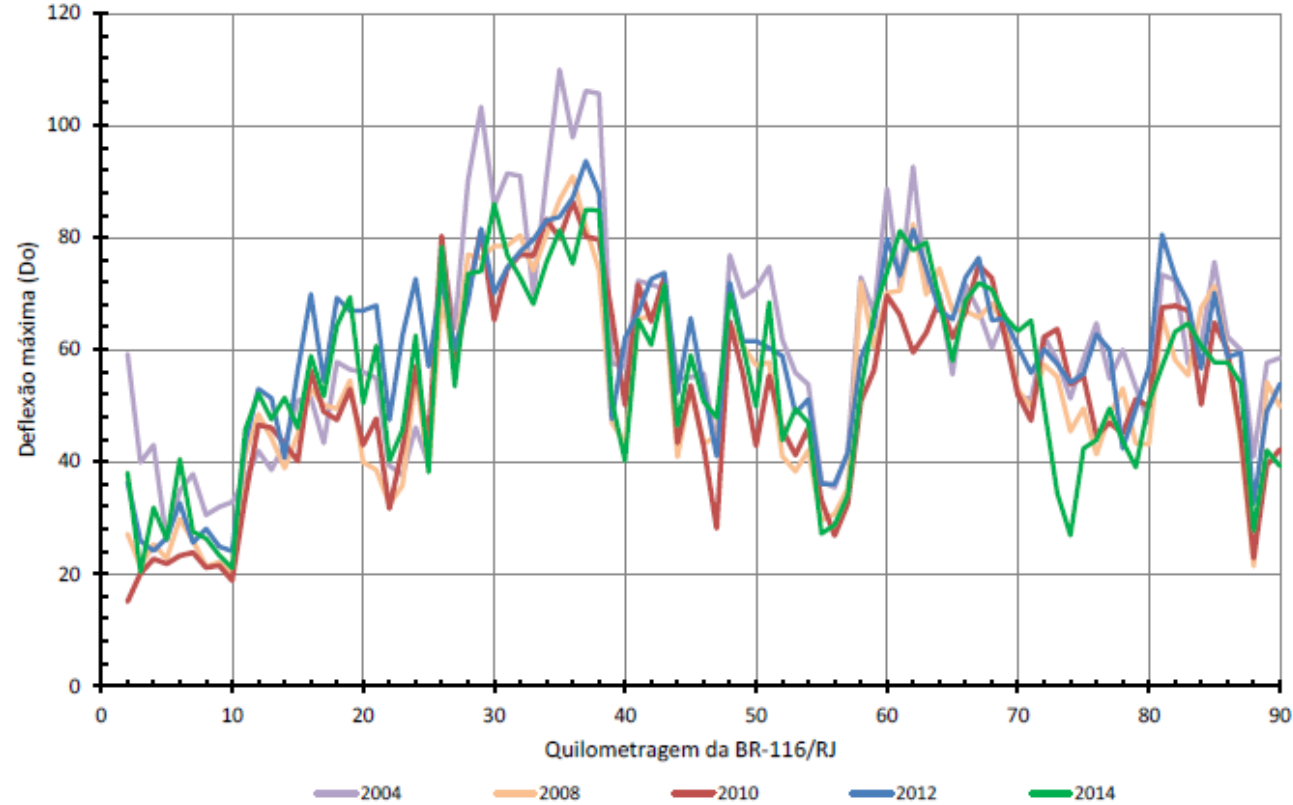
Viga Benkelman

$$d_0 = (L_i - L_f) \cdot K$$



Desempenho Estrutural

Deflexão Máxima e Bacia





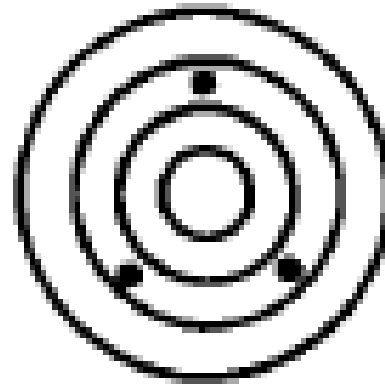
Instrumentação

Instrumentação

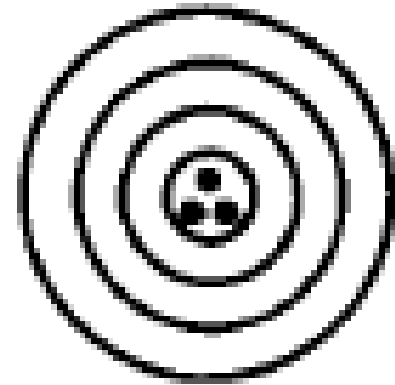
- # Instrumentar uma obra é instalar, em locais cuidadosamente escolhidos, sensores que medem diversas grandezas importantes para a estabilidade (tensões, deformações, poro pressões etc).



Preciso mas
não acurado



Não preciso mas
média acurada



Preciso e
bem acurado

Máxima da Instrumentação

- # Quem tem um instrumento não tem nenhum
- # Quem tem dois, talvez tenha um
- # Busque redundância
- # Robustez
- # Conte com Vandalismo

Regra Básica

Lei de Murphy

Causa:

se algo pode dar errado, vai acontecer

Remediação:

Nenhuma

- qualquer tentativa de remediar a situação só vai piorar

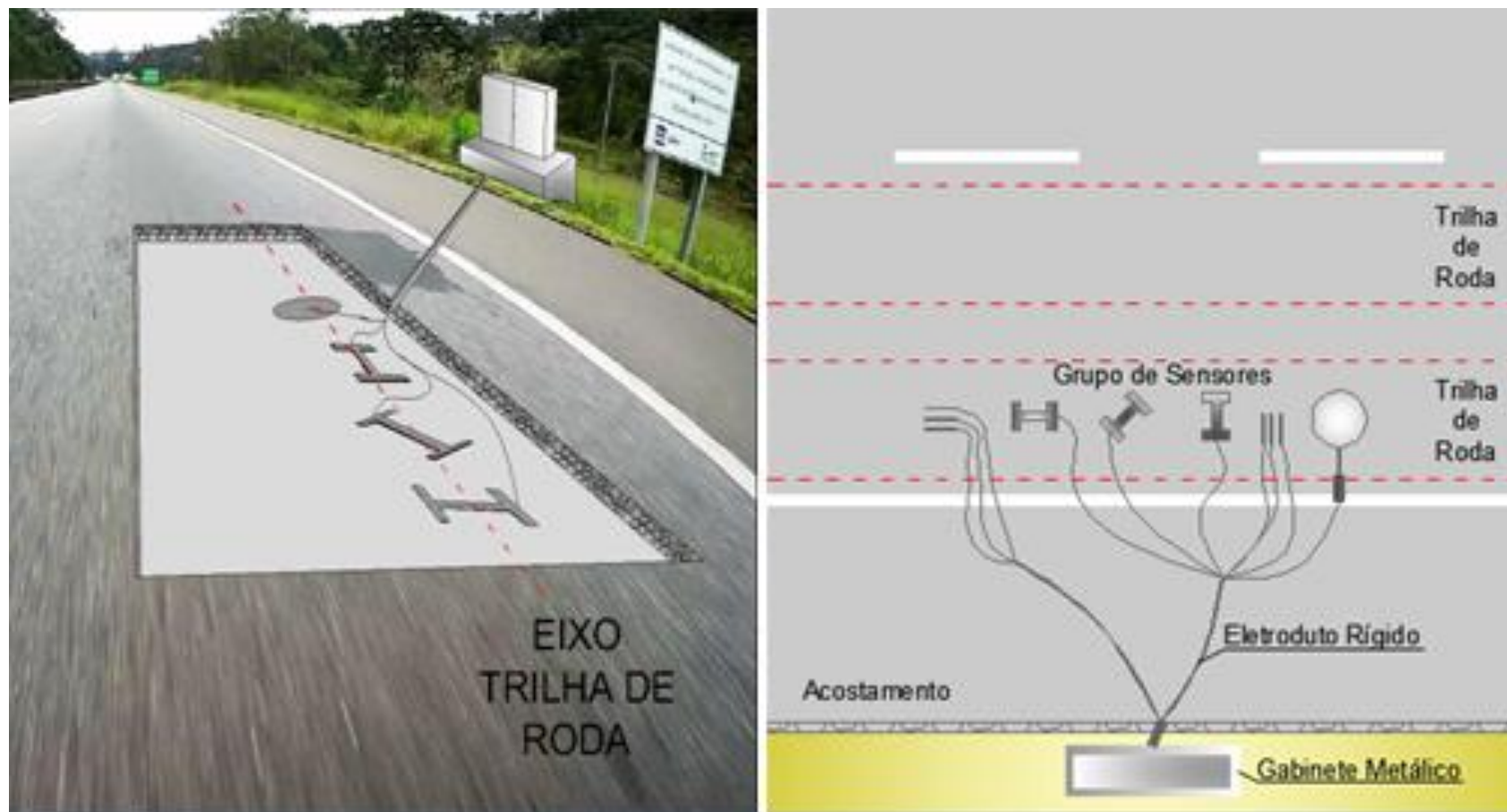


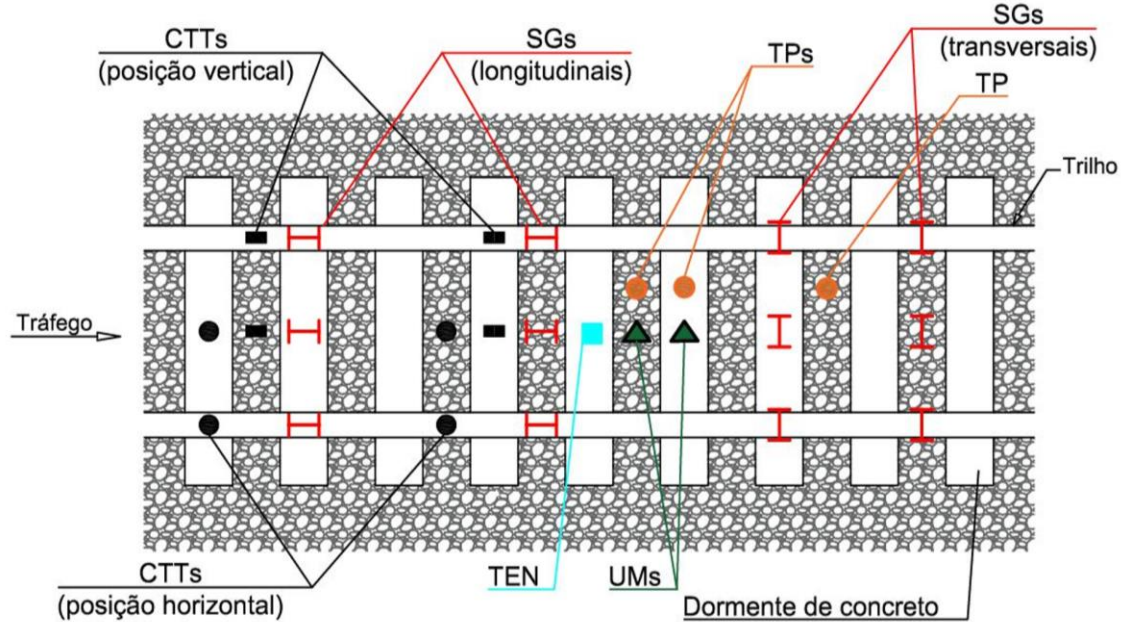
Projeto e Construção do Painel

Aquisição e Transmissão de Dados

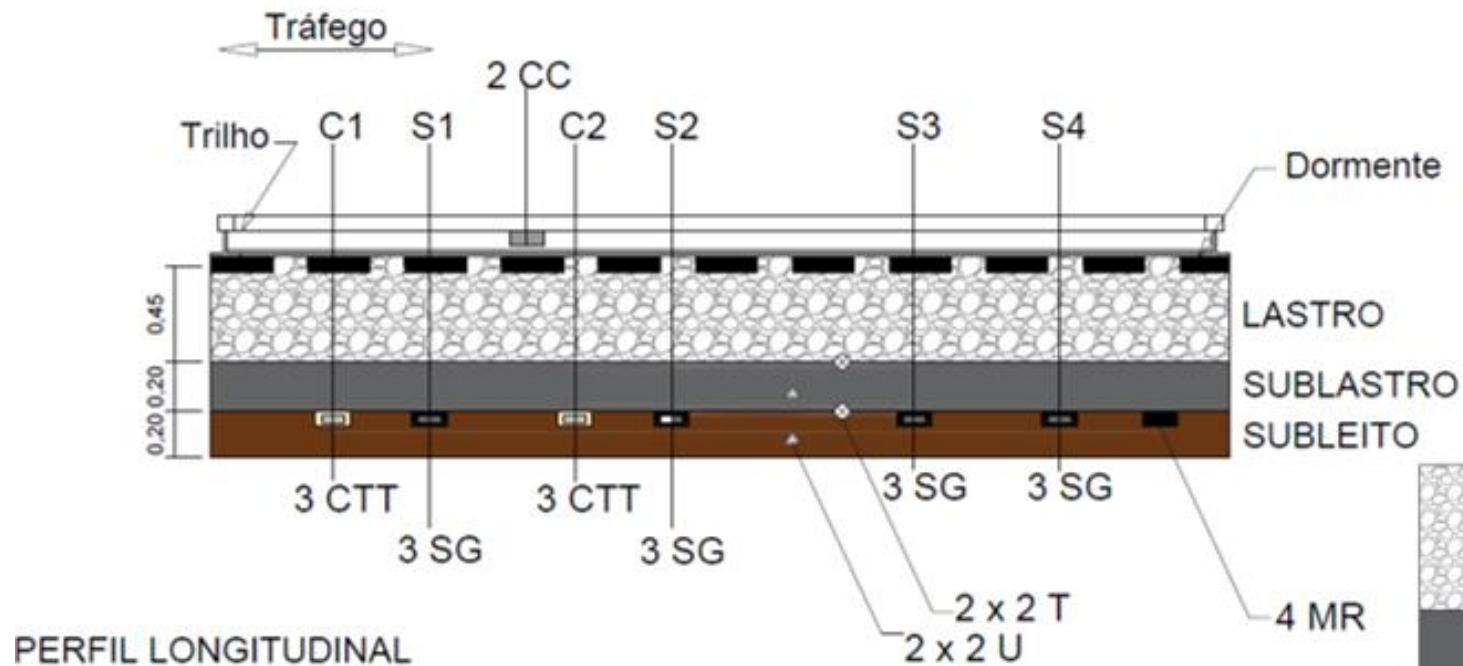


Definição e Posicionamento dos Instrumentos em função das variáveis a serem monitoradas

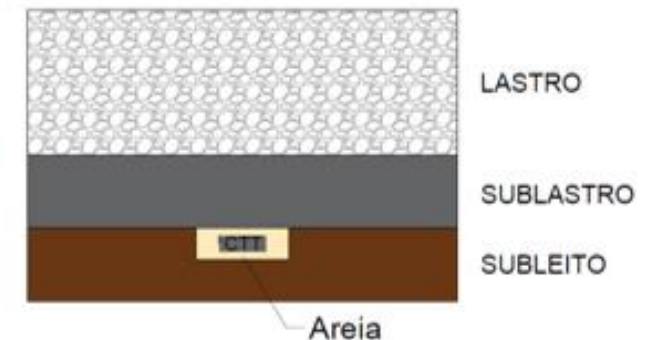




Definição e Localização dos Instrumentos



LEGENDA
CTT: Célula de Tensão Total
SG: Strain Gage
U: Umidostato
T: Termopar
CC: Célula de Carga
MR: Medidor de Recalque

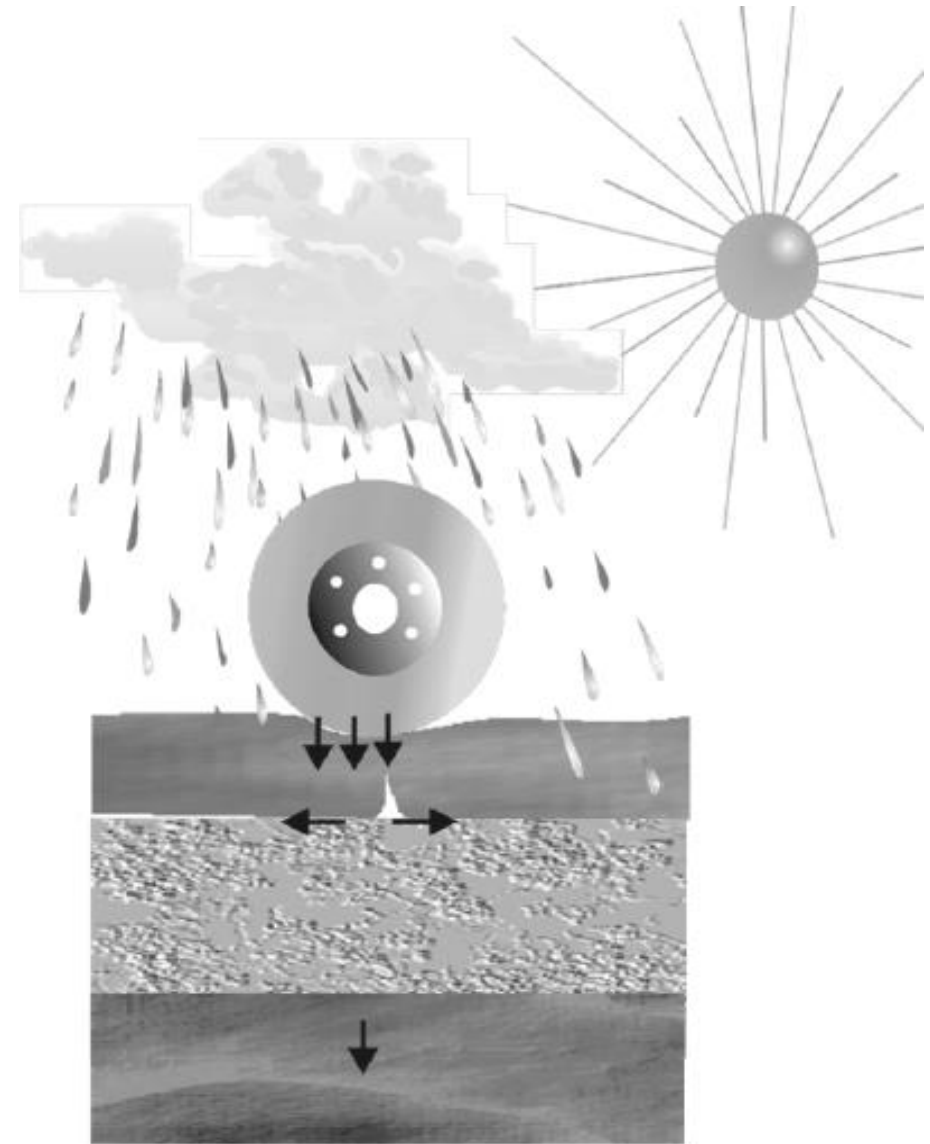




Comportamento dos Pavimentos

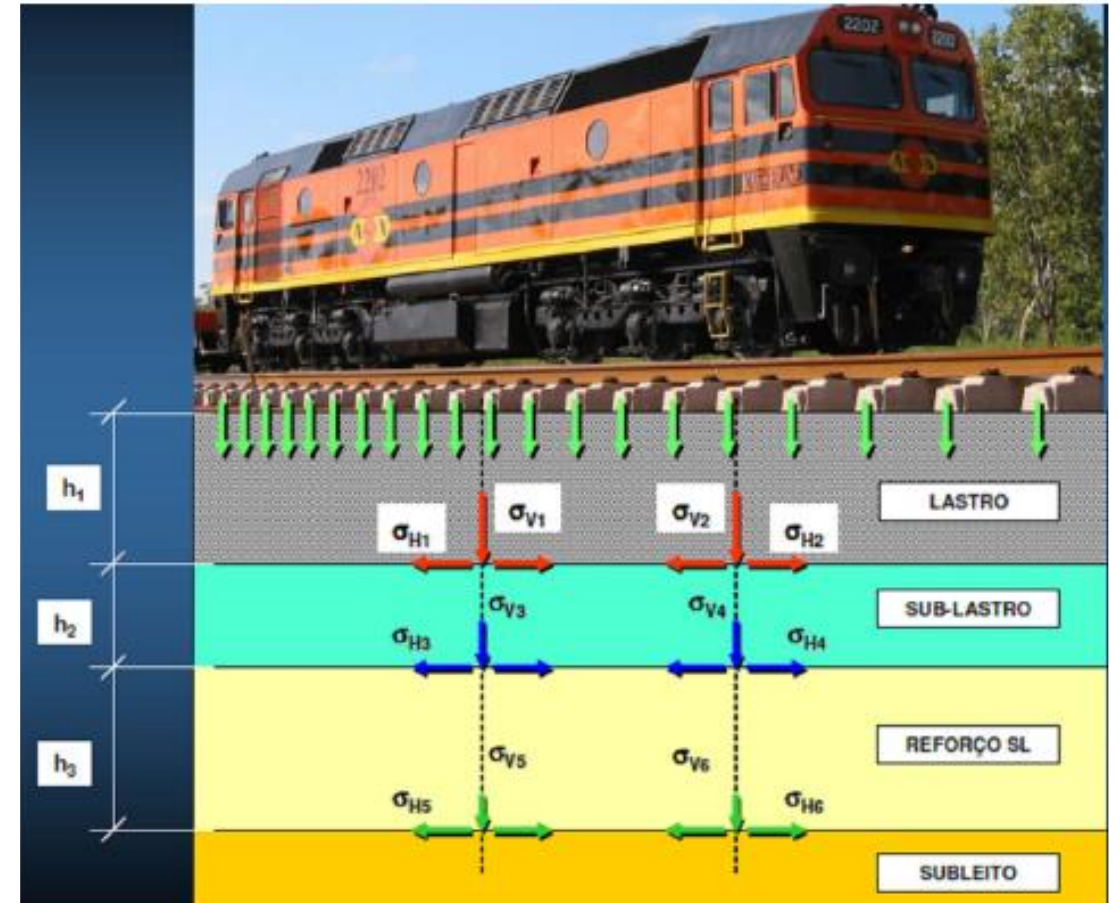
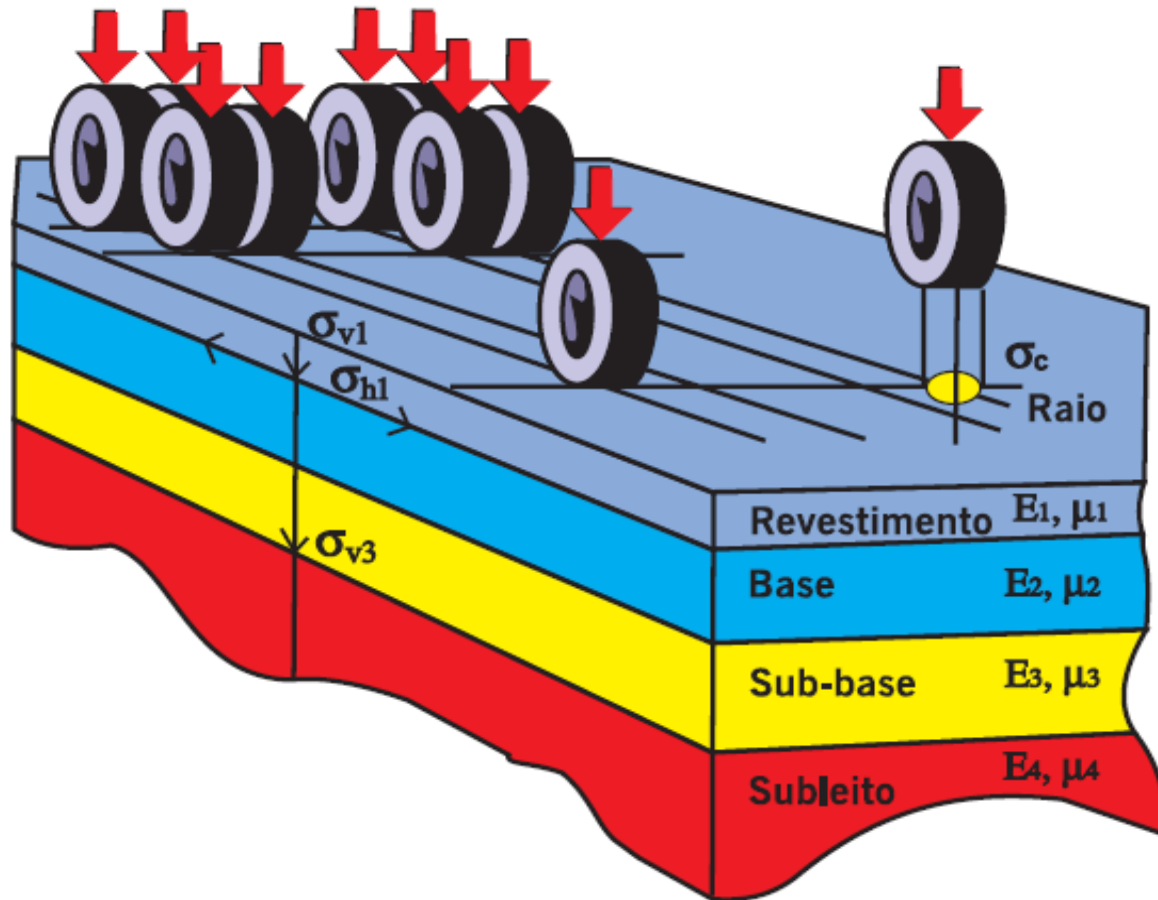
Pavimento

- # Conjunto de camadas, compostas por diferentes materiais, solicitadas pelas ações do tráfego, clima e água
- # Mobilização de tensões e deformações, que acumuladas ao longo do tempo levam o pavimento à perda de serventia



Comportamento do Pavimento

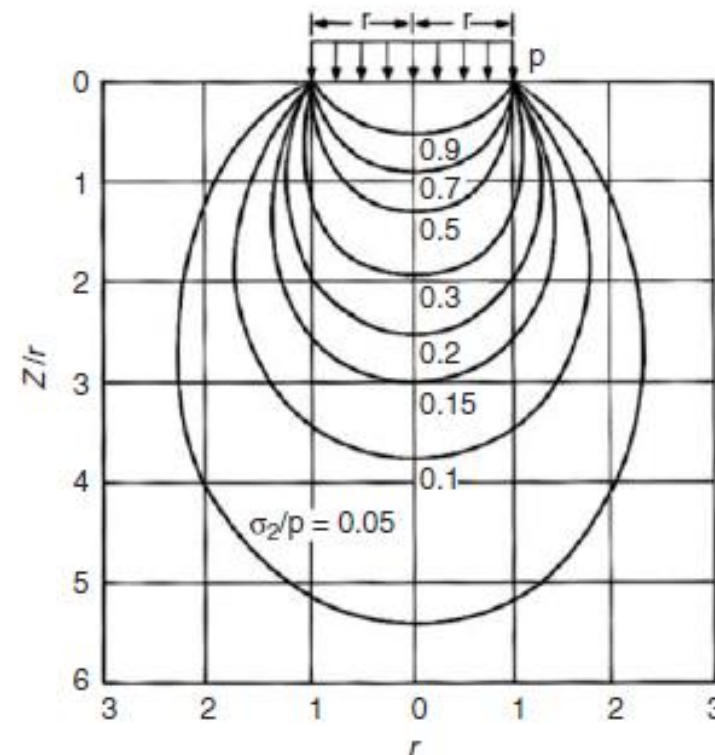
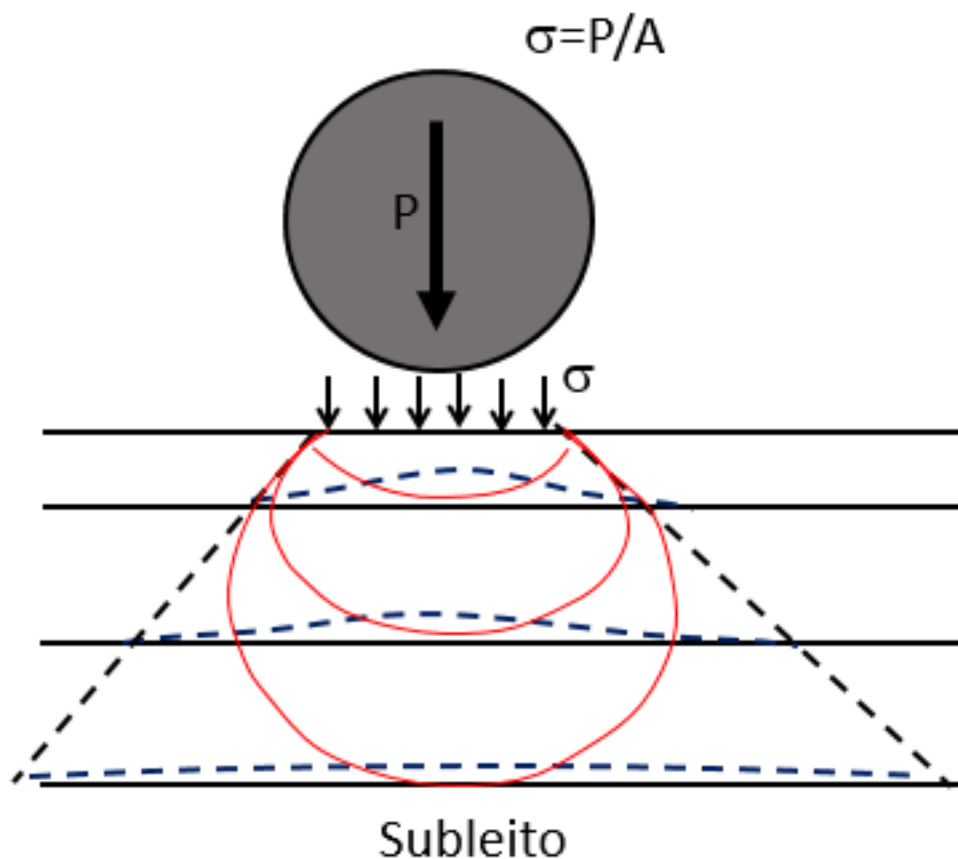
- # Dimensionamento função das Tensões e Deformações mobilizadas pelas ações do Tráfego, Drenagem e Climática ao longo do tempo



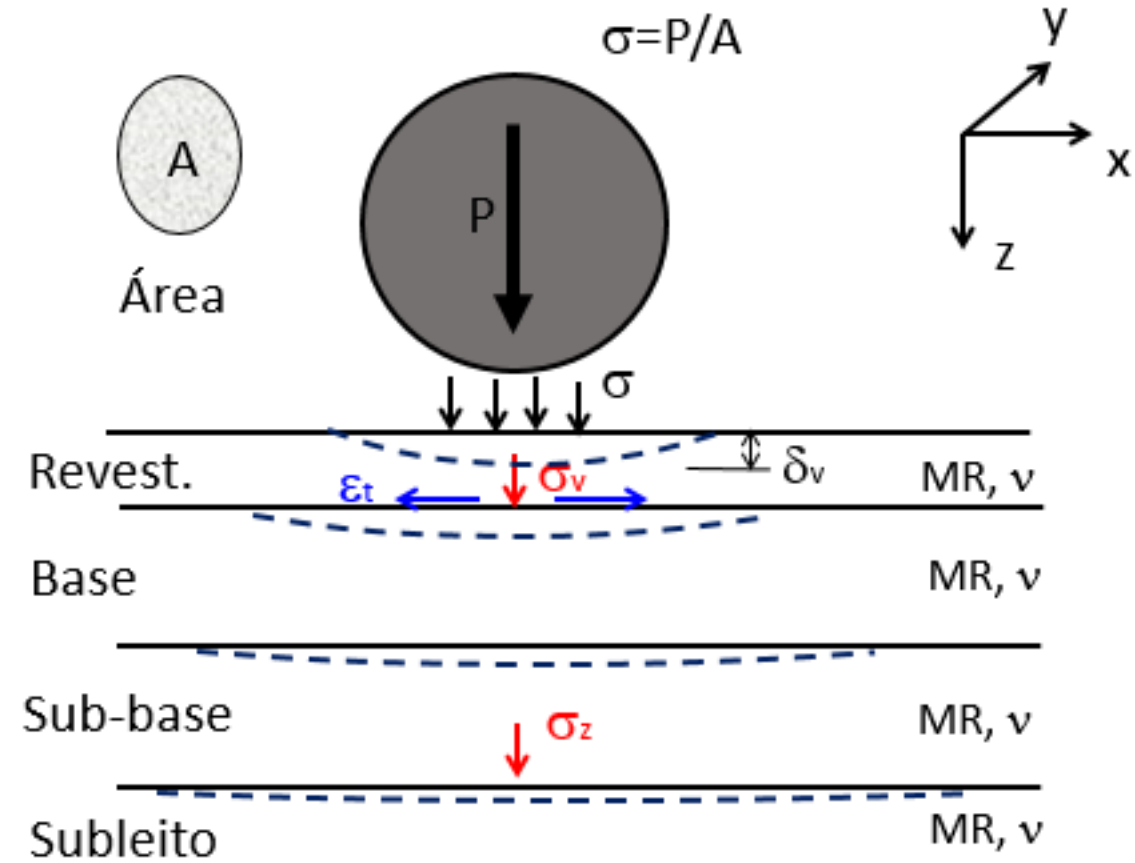
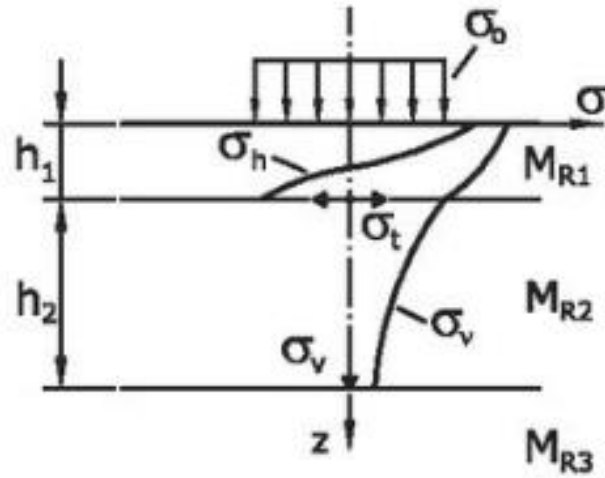
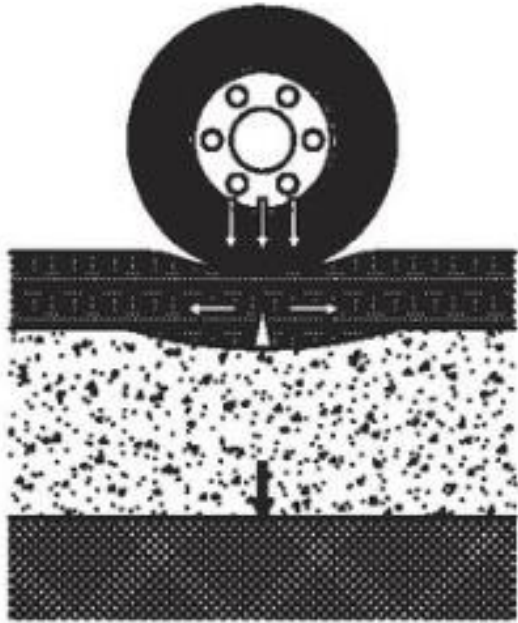
Princípio de Funcionamento

- # As cargas são transmitidas à fundação de forma aliviada e também criteriosa, impedindo a ocorrência de deformações incompatíveis com a utilização da estrutura ou mesmo rupturas na fundação.

Pressões



Análises Mecanísticas

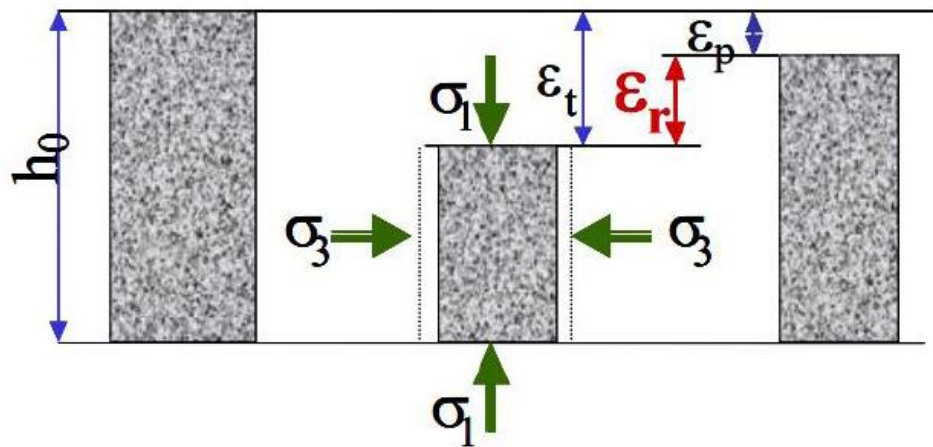
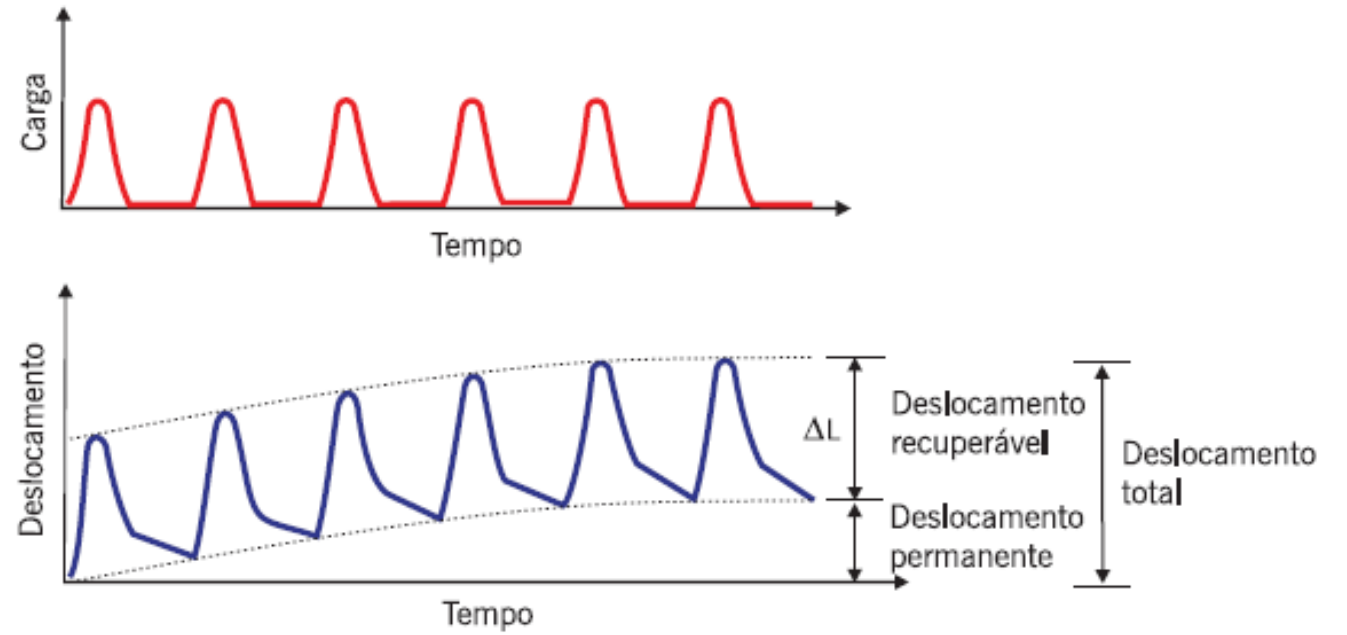
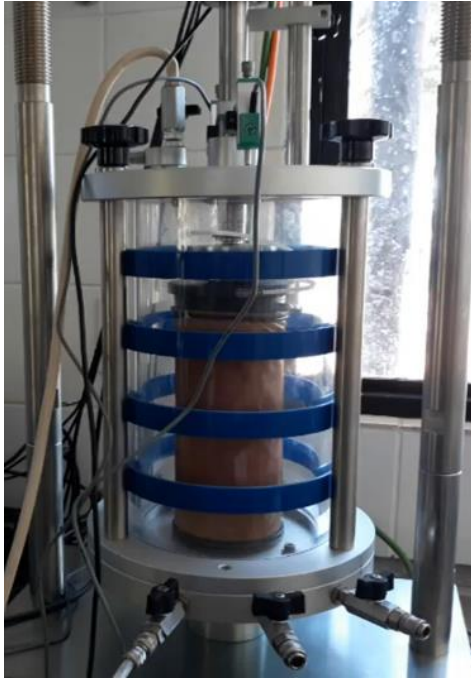


Mecanismos de Ruptura

- # Não existe ruptura súbita
- # Lenta progressão de defeitos ao longo dos anos
- # Função da repetição de deformações resilientes e do acúmulo de deformações permanentes



Deformações no Pavimento



Método Mecanístico-Empírico

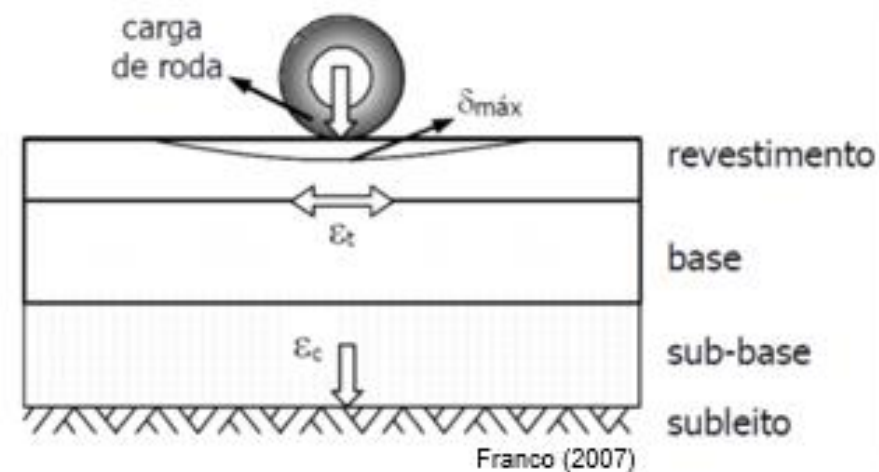
Etapa Empírica



Etapa Laboratorial



Etapa Mecanicista



Estimativa da vida útil: **Fadiga**



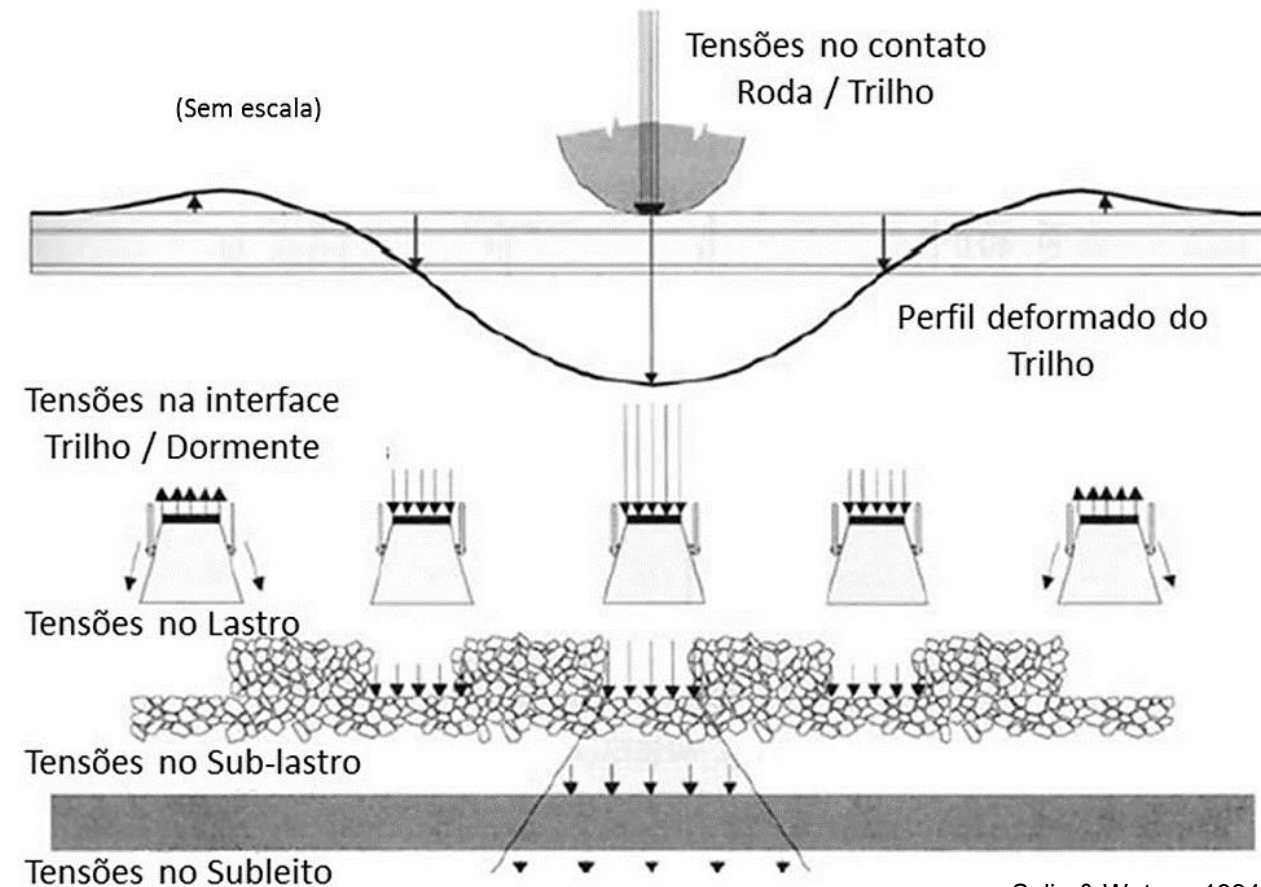
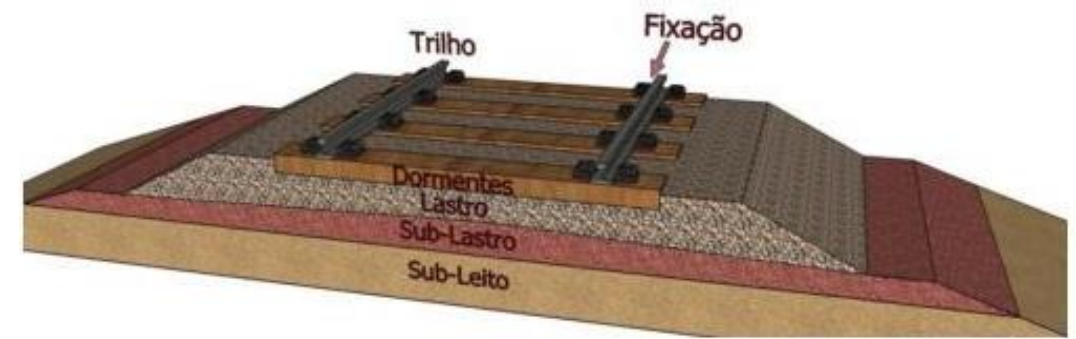
Deformação Permanente



Elementos Estruturais do Pavimento Ferroviário

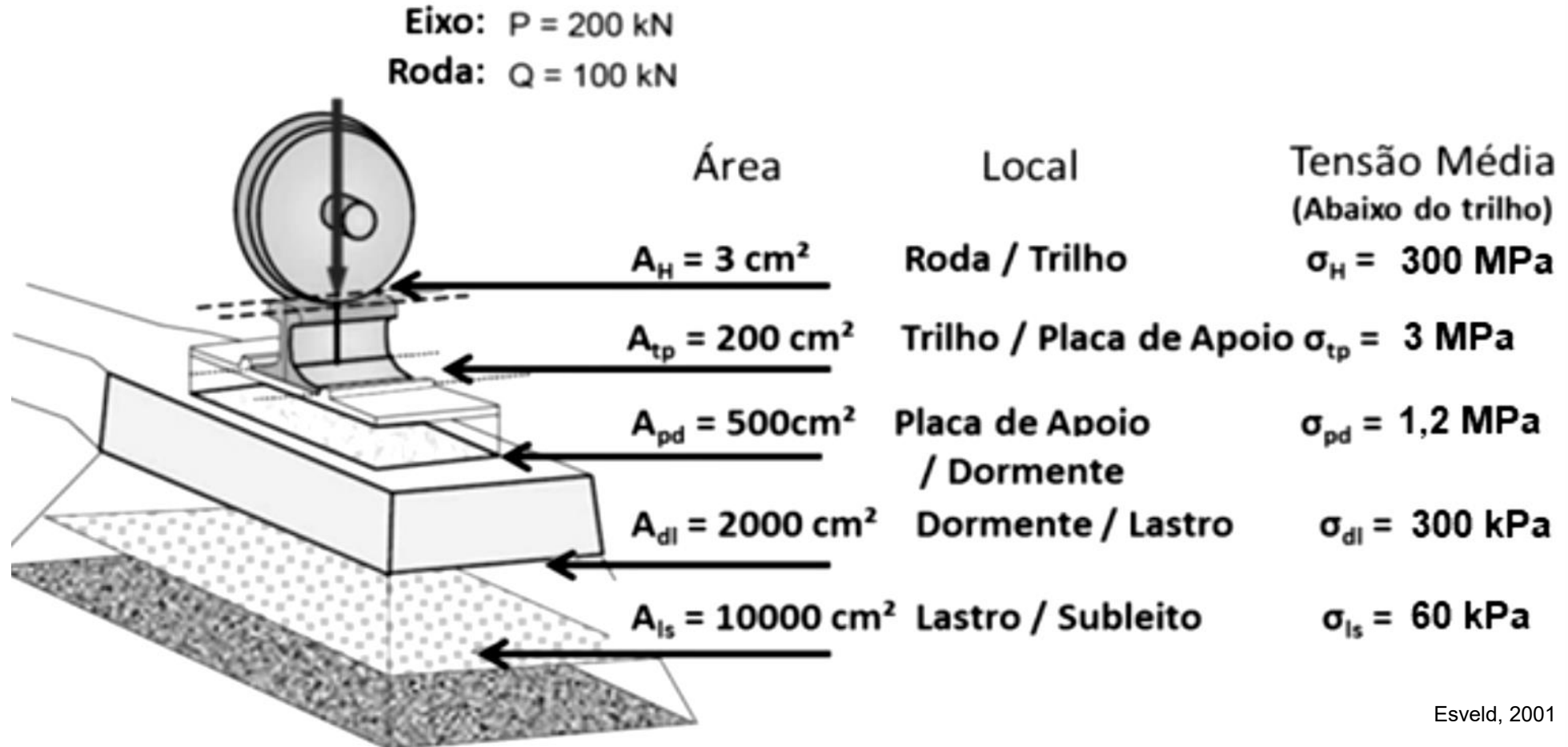
Trilhos: vigas infinitas apoiadas continuamente sobre apoios elásticos, que transmite os esforços de forma atenuada para as demais camadas do pavimento

Dormentes: elementos transversais espaçados, que fixam os trilhos (bitola), com função de receber e transmitir os esforços



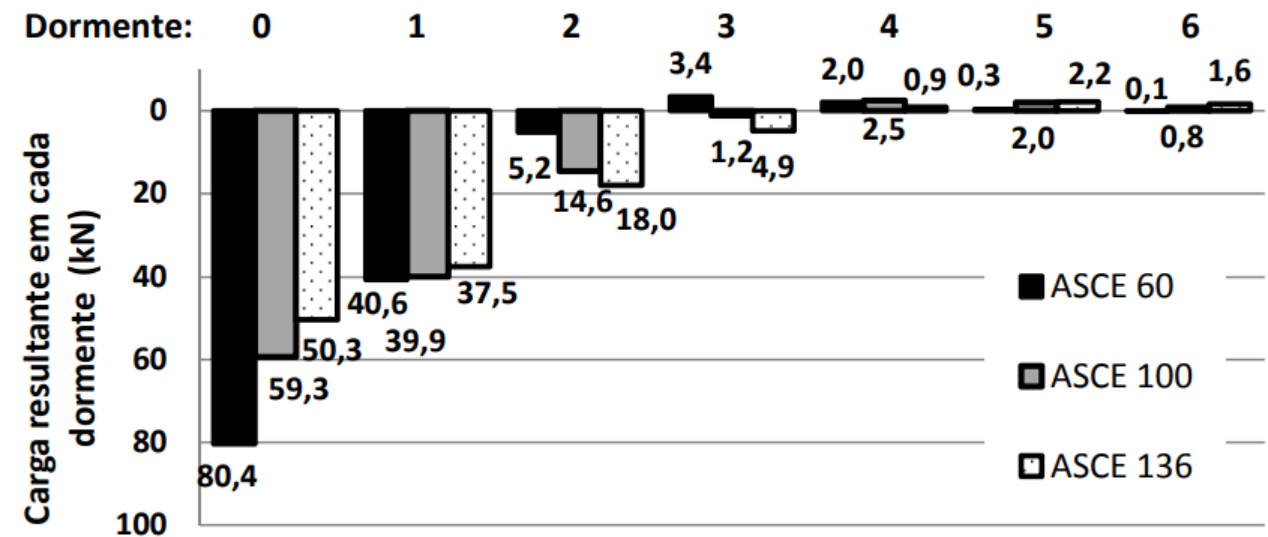
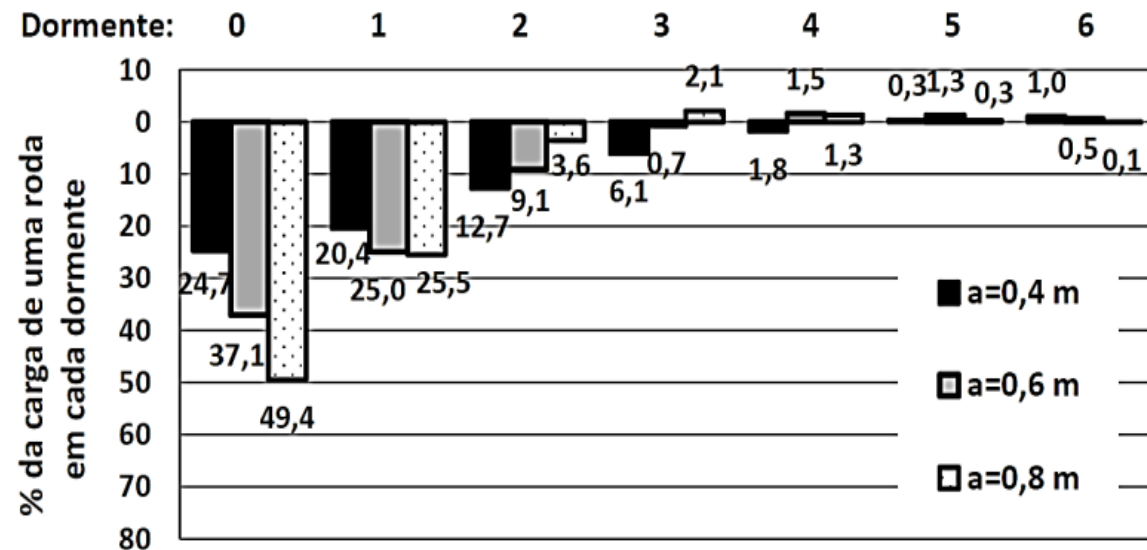
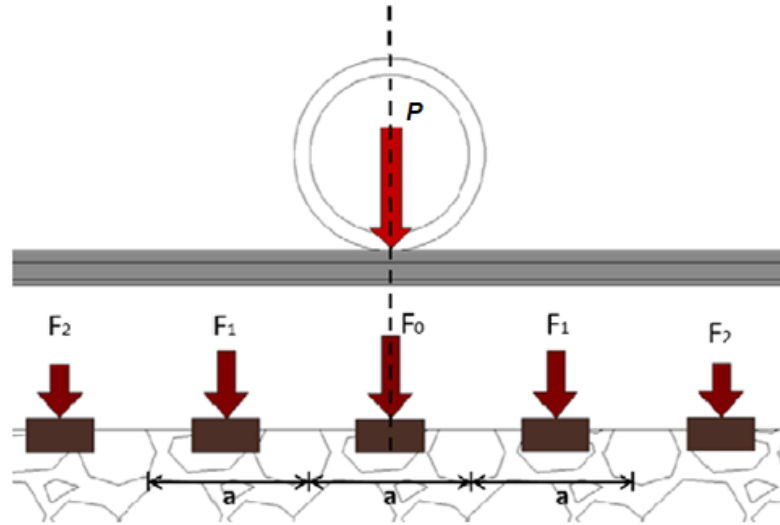
Distribuição do Carregamento

Transmissão e redistribuição das tensões entre os componentes da via



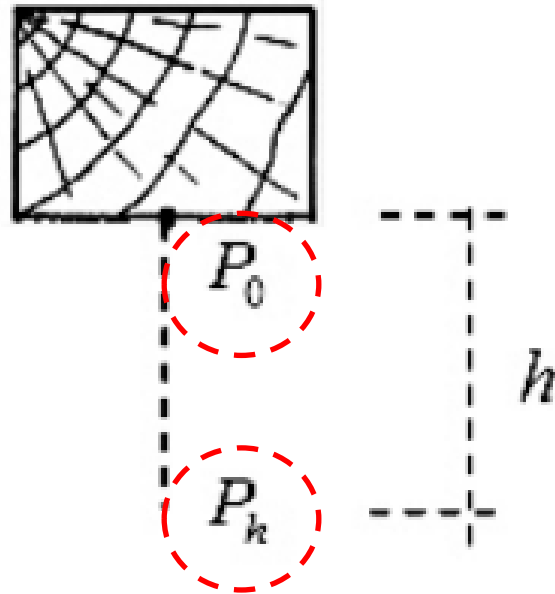
Geometria, rigidez e interação entre os elementos

Relação entre Elementos Estruturais



Importância dos Materiais Geotécnicos

- # Determinação das espessuras do lastro e sublastro (Talbot)



$$P_h = \frac{53,87}{h_l^{1,25}} P_o$$

$$P_h \leq \sigma_{adm,sublastro} \text{ (relações com CBR e MR)}$$

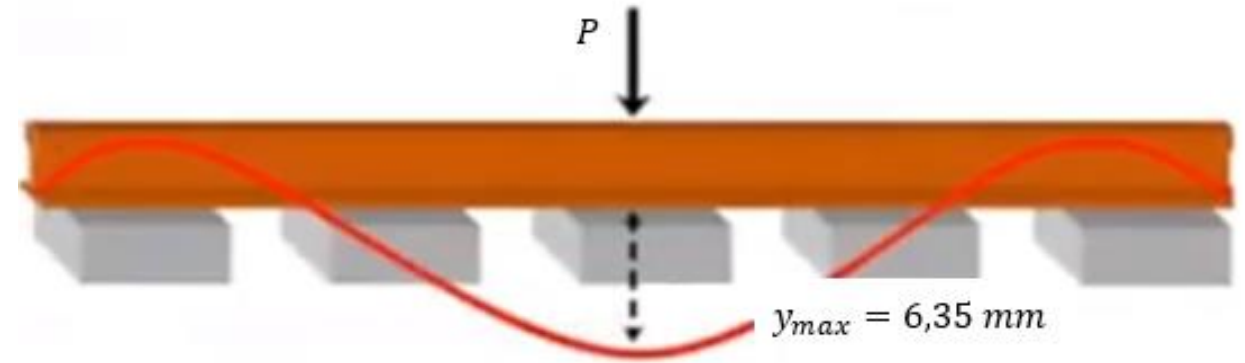
h = altura do lastro (cm).

Pela AREMA, recomenda-se que a altura mínima do lastro deve ser de 25 cm

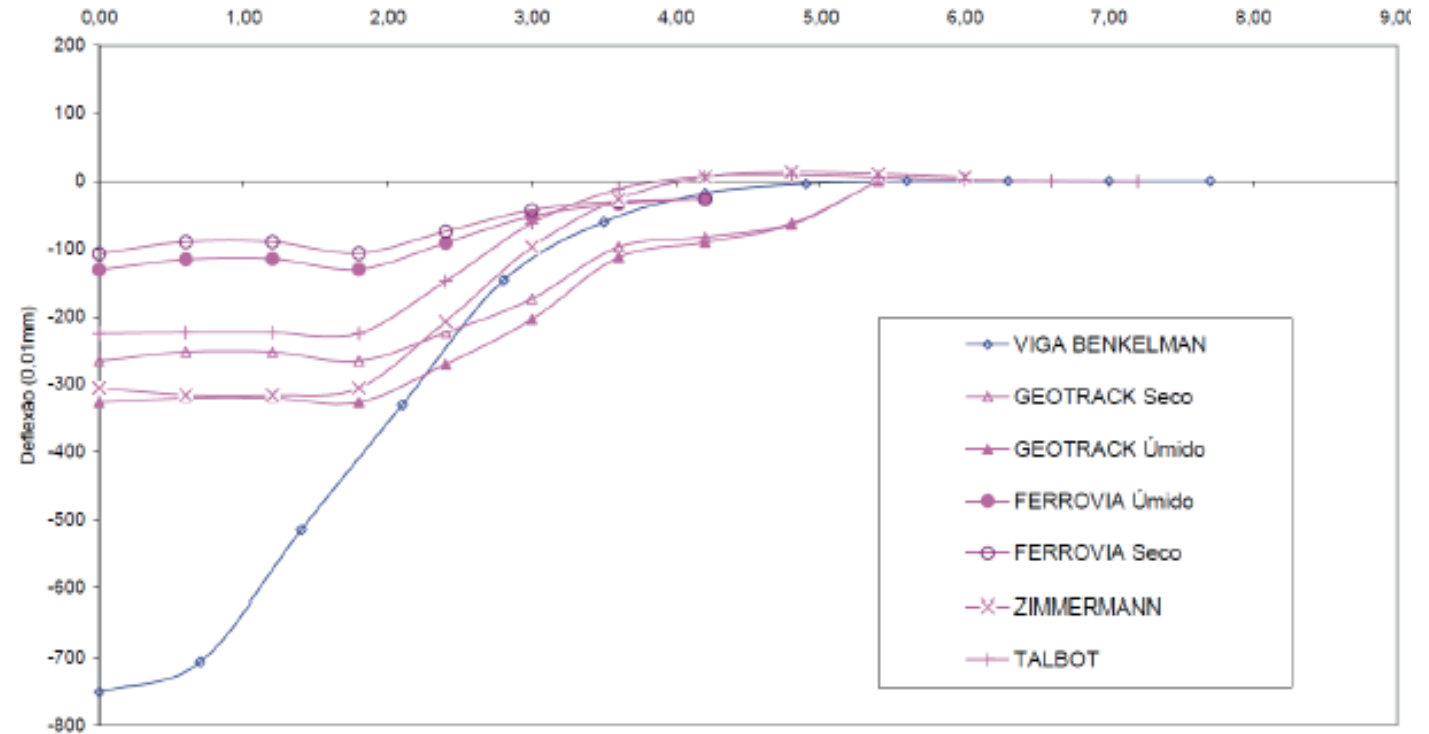
Análises Mecanísticas

Deflexão Elástica

$$y = \frac{P}{2\sqrt{2}} \sqrt[4]{\frac{a^3}{E \cdot I \cdot D^3}}$$



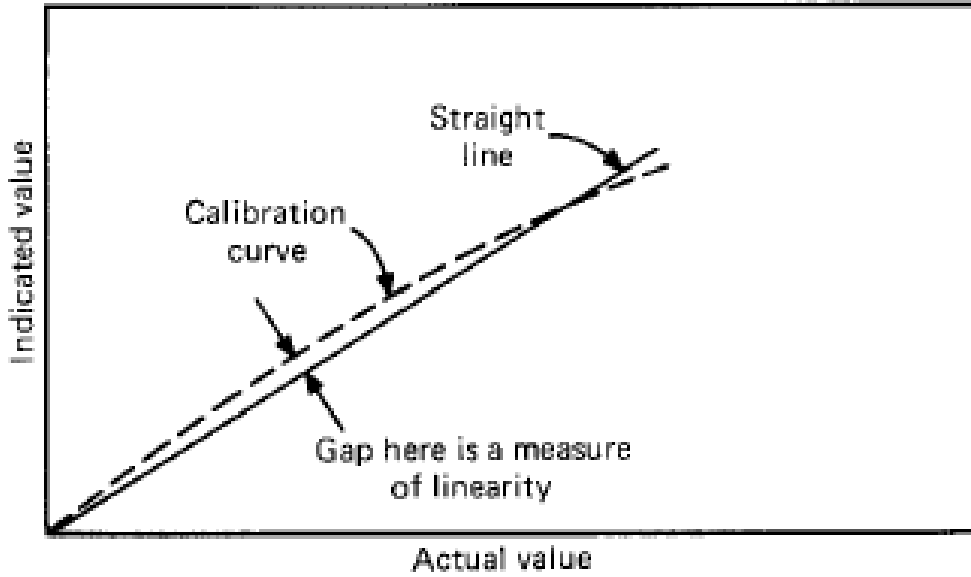
Pastana, 2020



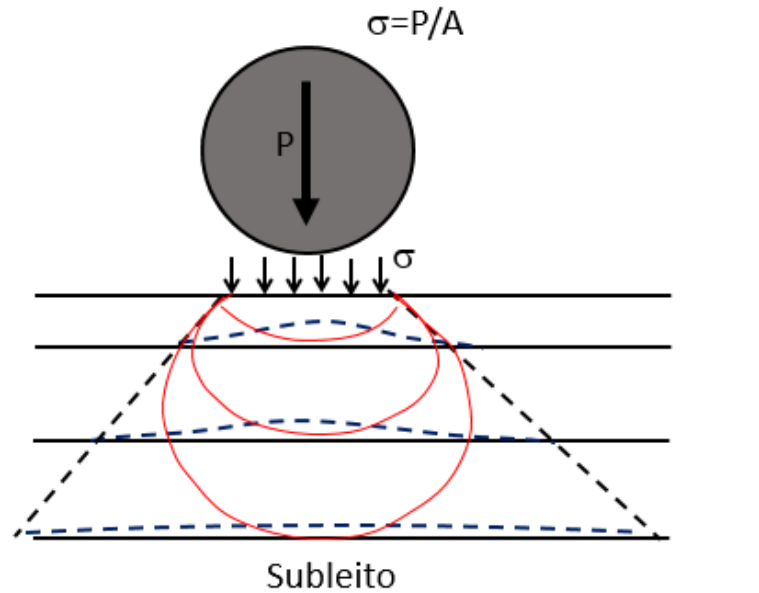


Calibração dos Instrumentos

Atividades de Calibração

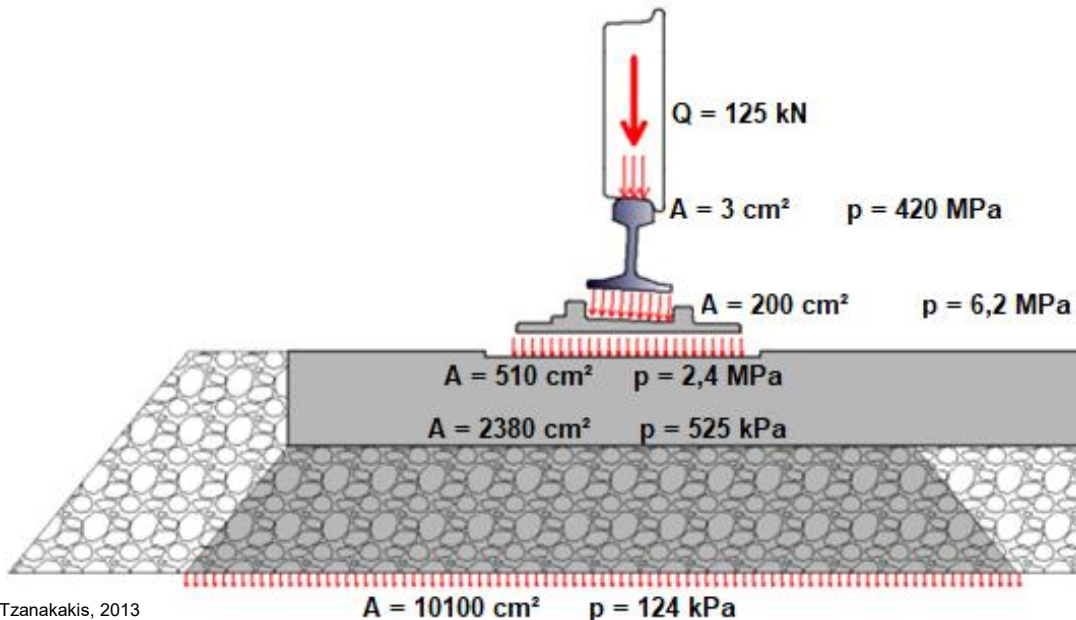


Tensões em Profundidade



Célula de Tensão Total

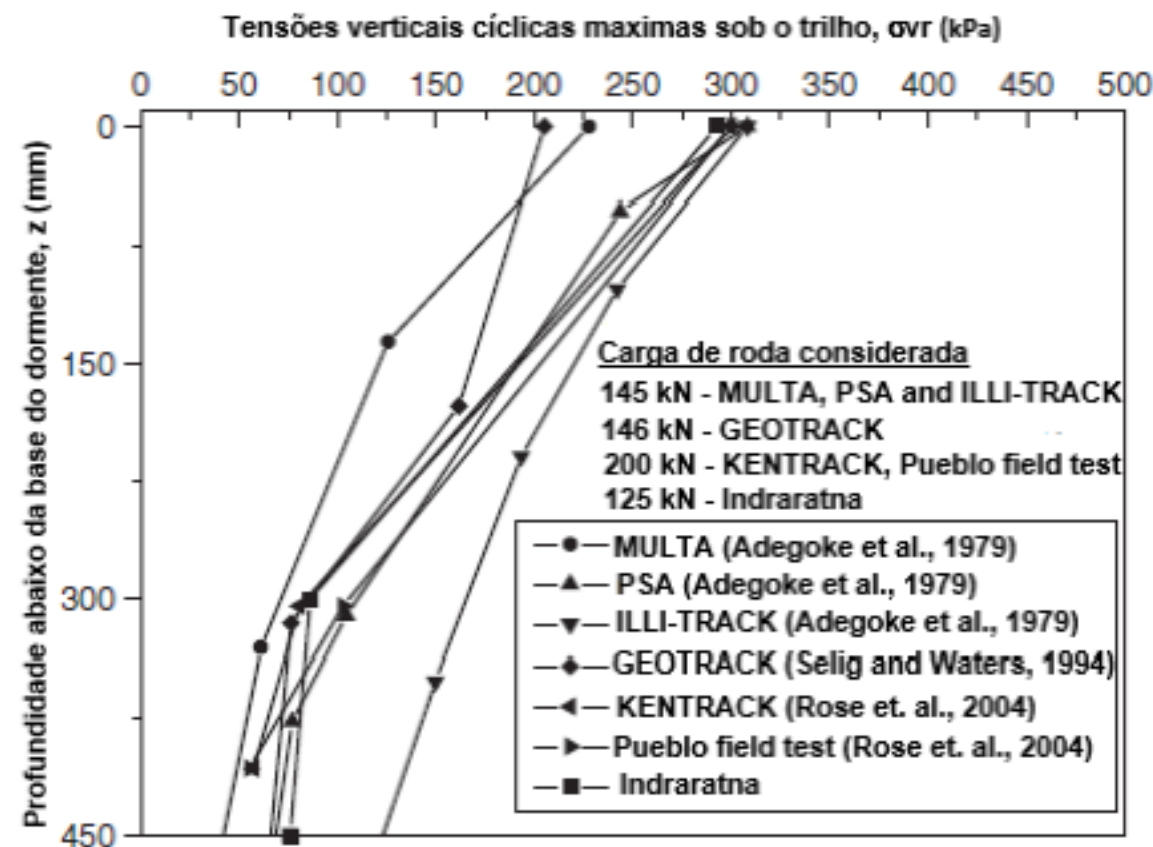
- Arqueamento: Diâmetro x Espessura
- Meio circundante (lastro, sublastro e subleito)



Níveis de Tensão (condição operacional)

Estudo	Posição da CTT	Força máx. aplicada	Tensão máx. registrada	Observações
Fattah et al. (2019)	Lastro-subleito	2 ton. (total)	~180 kPa	Lastro de 20 cm; frequência de 2 Hz
Rose et al. (2018)	Dormente-lastro	15 ton. (por roda)	~207 kPa	Velocidade de 72 km/h
Indraratna et al. (2011)	Dormente-lastro; Lastro-capping; Capping-subleito;	25 ton. (por eixo)	~375 kPa; ~125 kPa; ~75 kPa	Velocidade de 60 km/h
Costa et al. (2017)	Dormente-lastro; Desg. vs não desg.	11 ton. (por roda)	~360 kPa; ~115 kPa	Velocidade de 60 km/h
Yu et al. (2019)	Lastro-sublastro; Lastro-asfalto	25 ton. (por eixo)	~60 kPa; ~10 kPa	Frequência de 6 Hz

Mendes, 2022

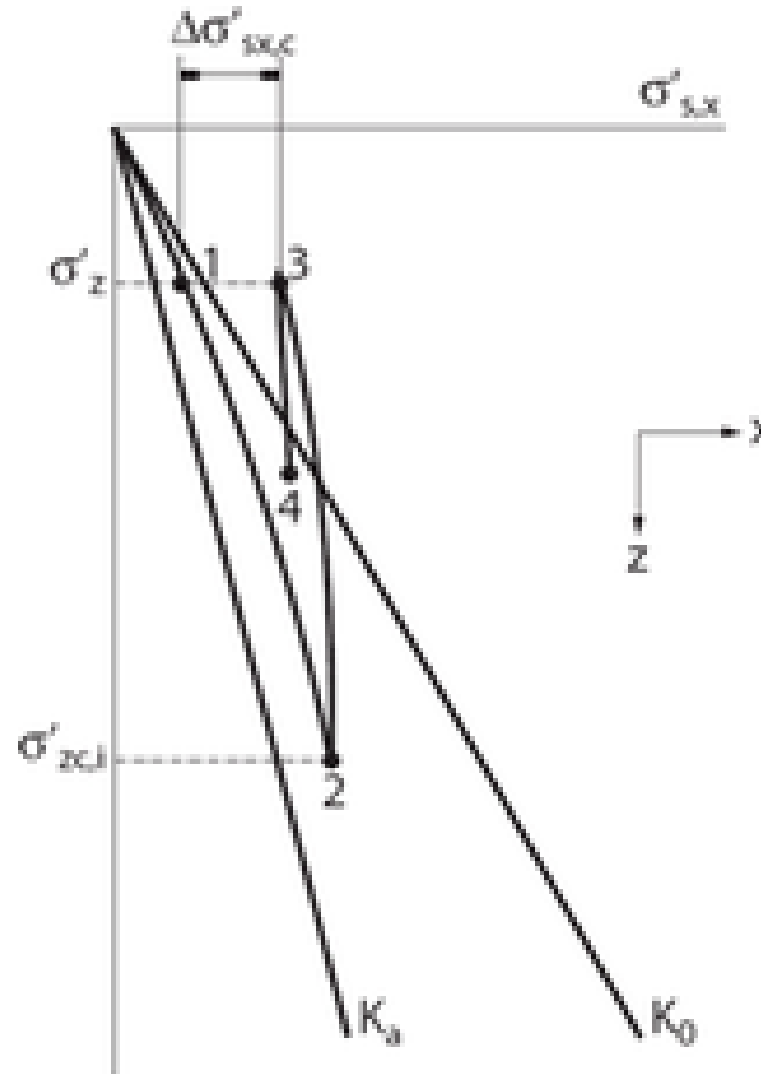


Indraratna et al., 2011

Níveis de Tensão

Etapa construtiva – maior solicitação

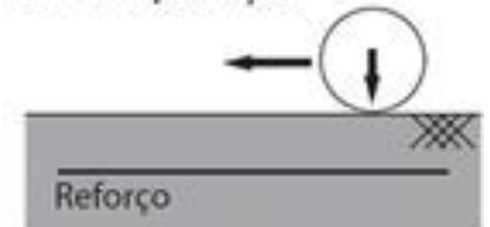
- Trajetória de tensões efetivas em um ponto no interior da massa de solo durante a construção de um aterro compactado em camadas



1 – Solo lançado



2 – Compactação



3 – Final da camada

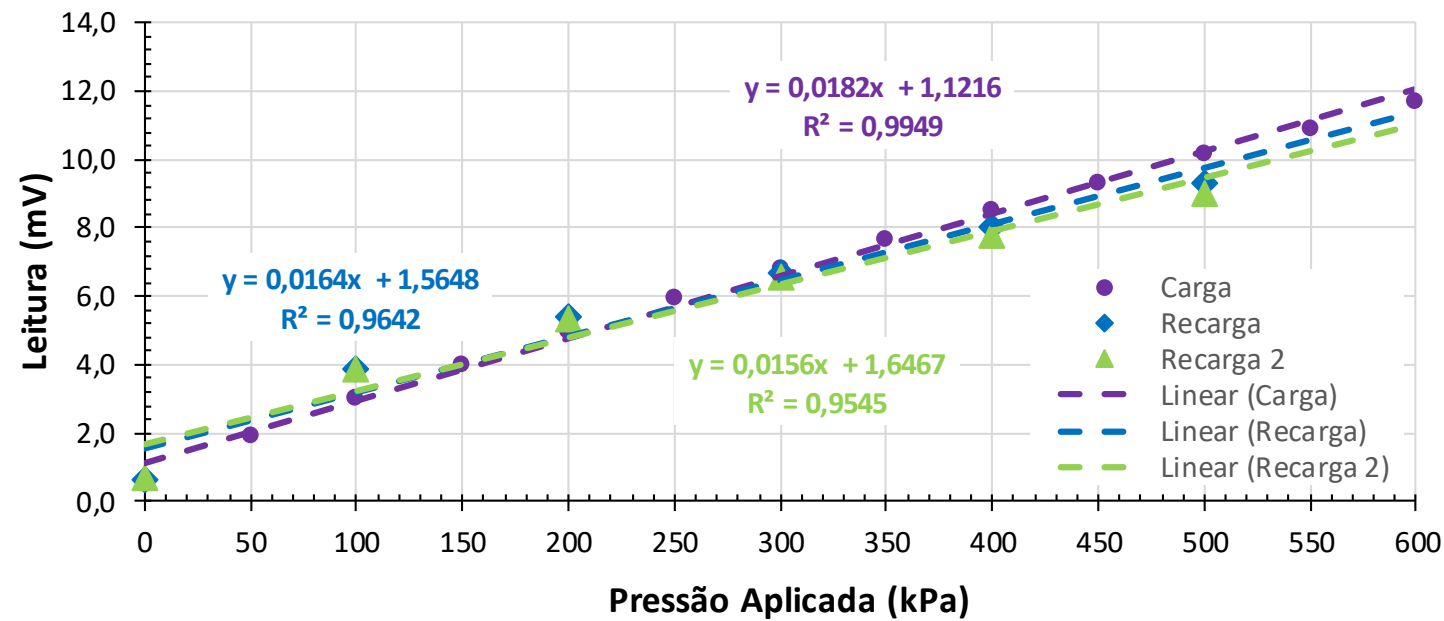


4 – Lançamento da 2ª camada



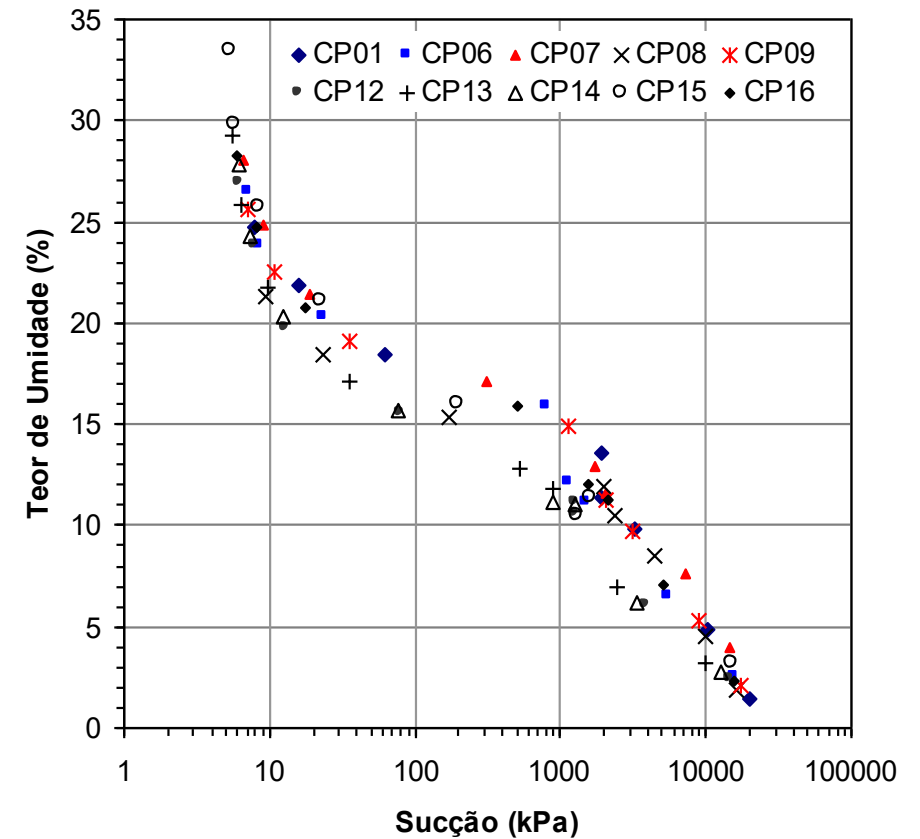
Calibração CTT

níveis de tensão e o meio circundante



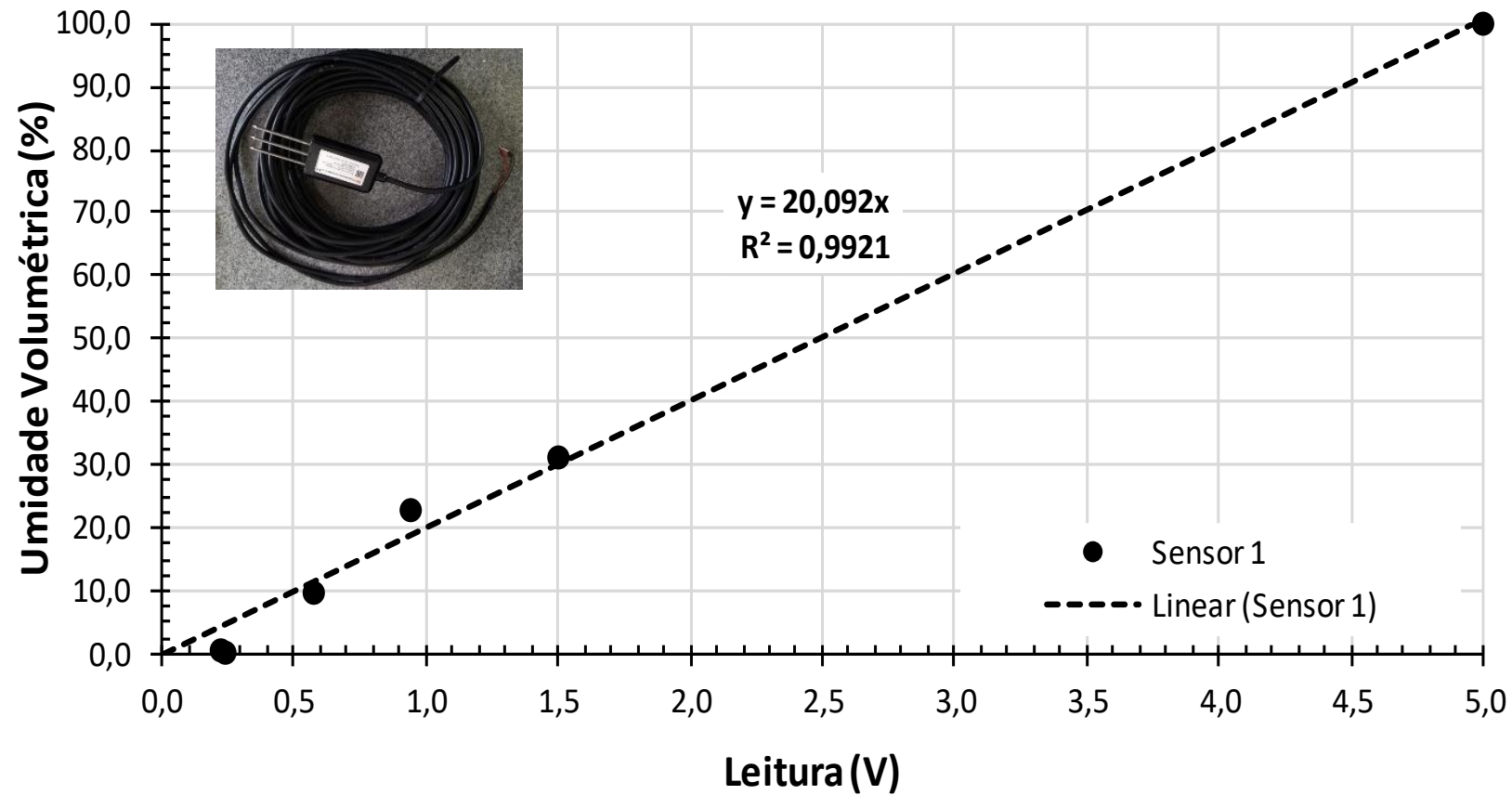
Teor de Umidade e Sucção

- Tensiômetro
- Umidostado / Ensaio Papel Filtro
- Pluviômetro

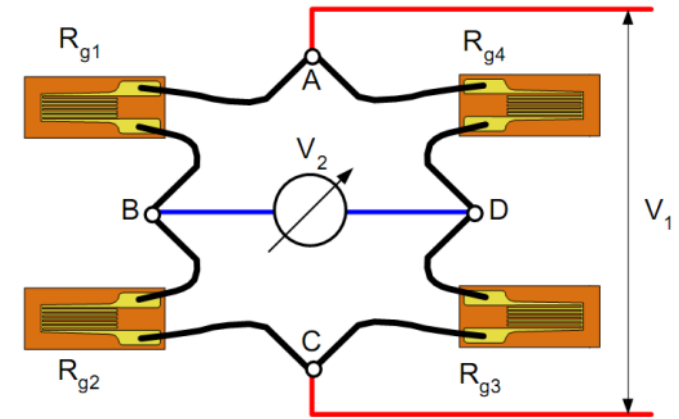
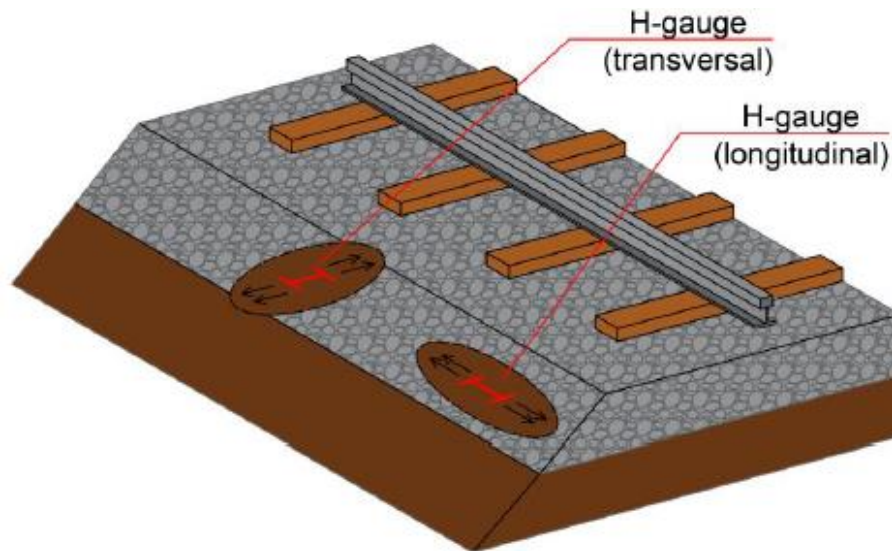
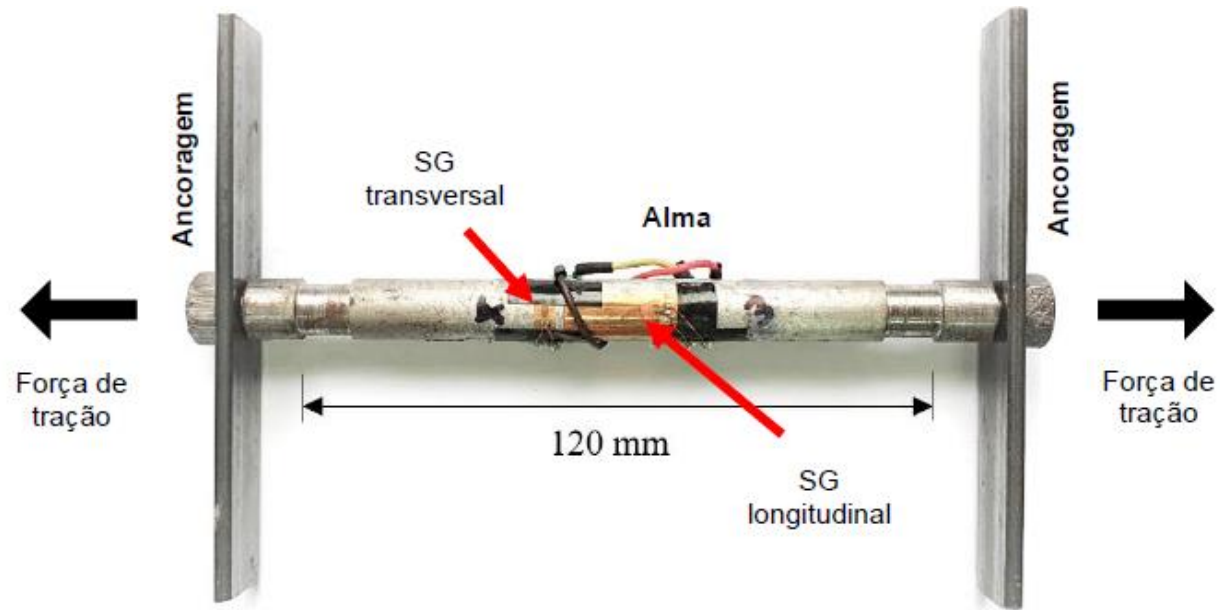


Calibração dos Umidostatos

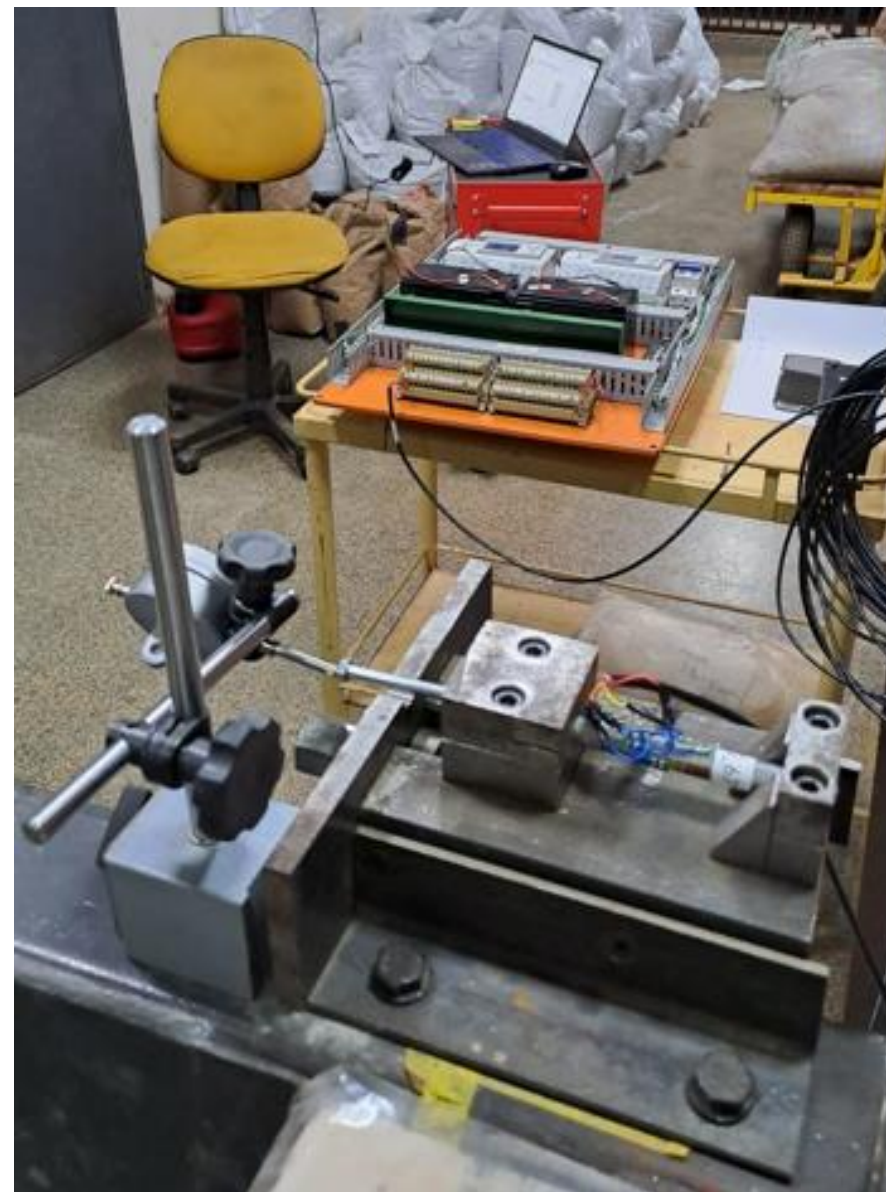
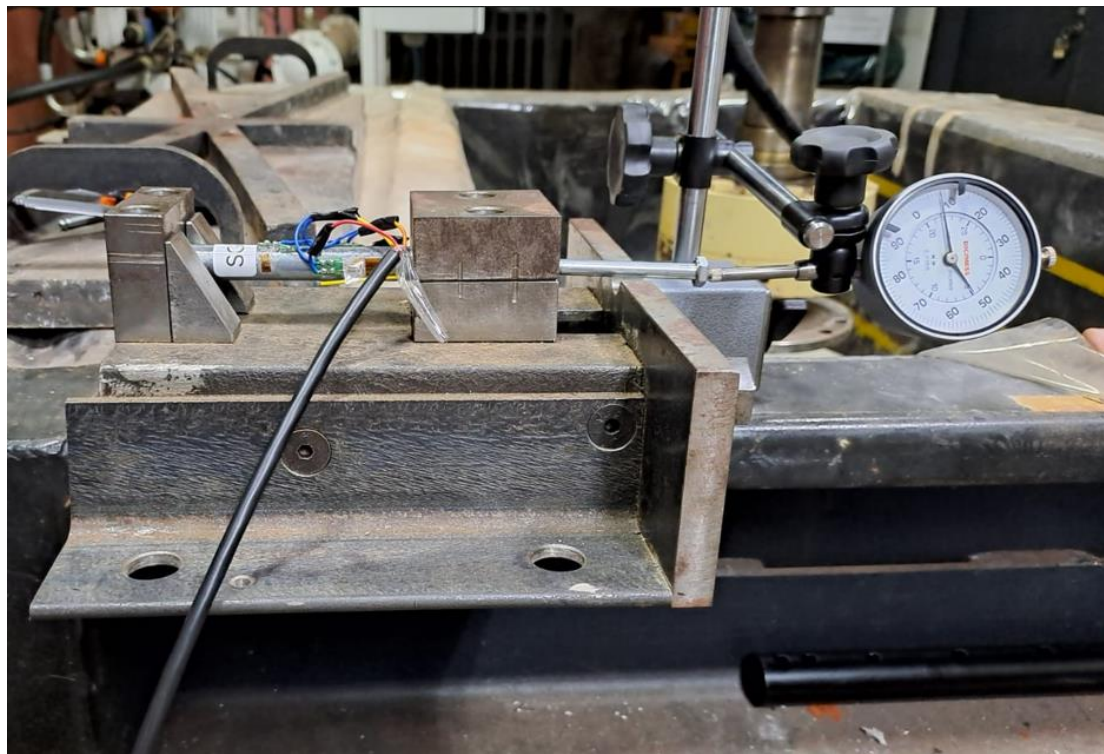
- Relação da Leitura com a Variação de Umidade do solo da camada



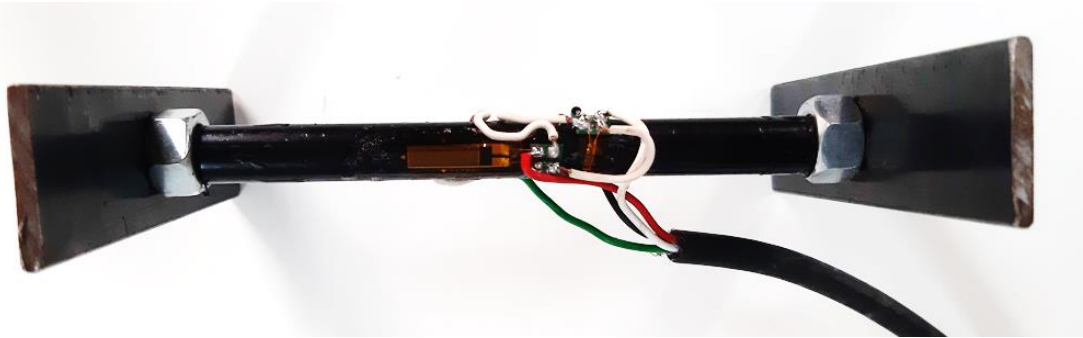
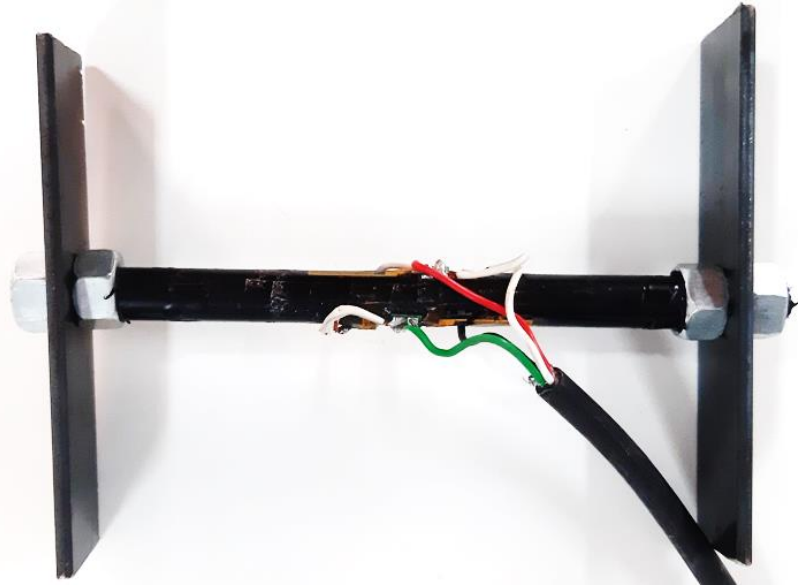
Deformações - strain gages



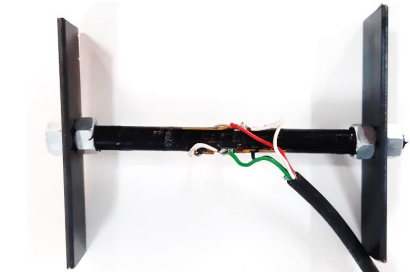
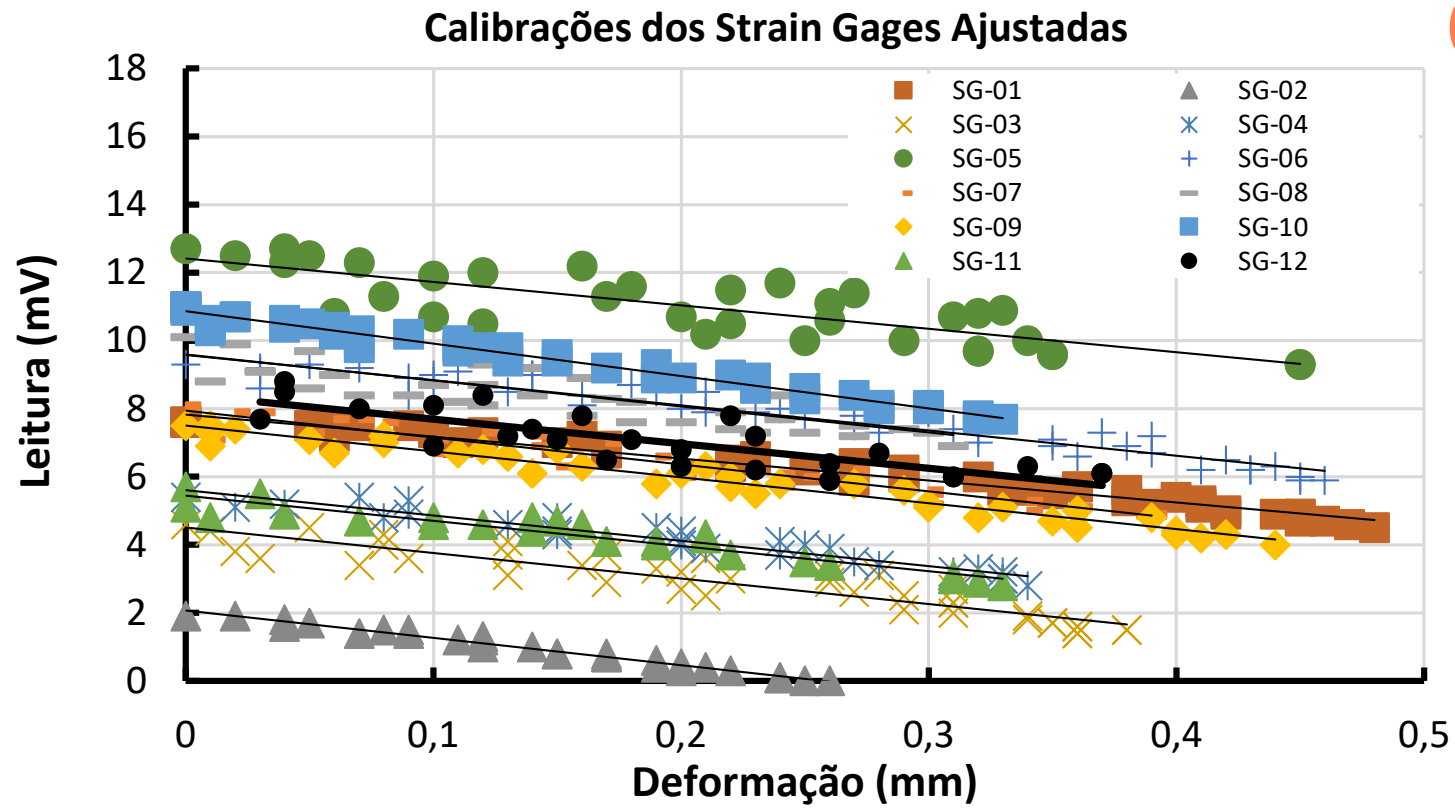
Calibração dos H_gages



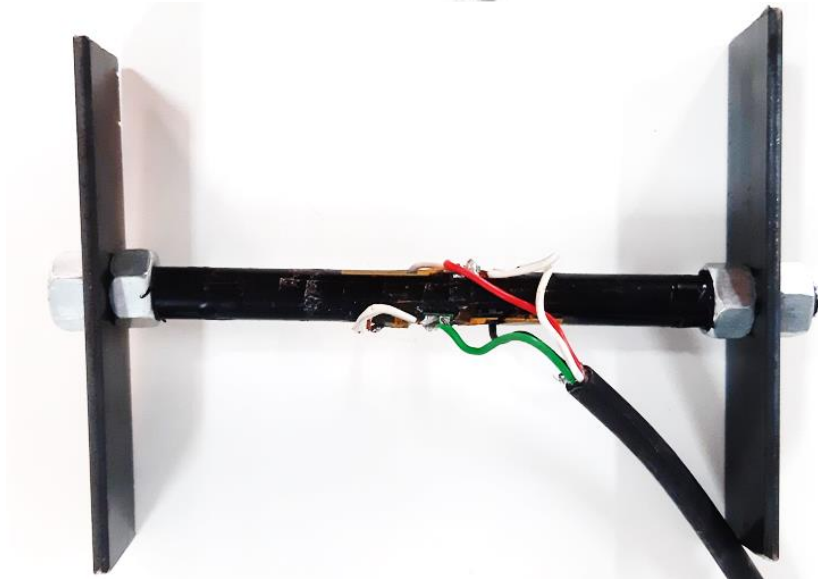
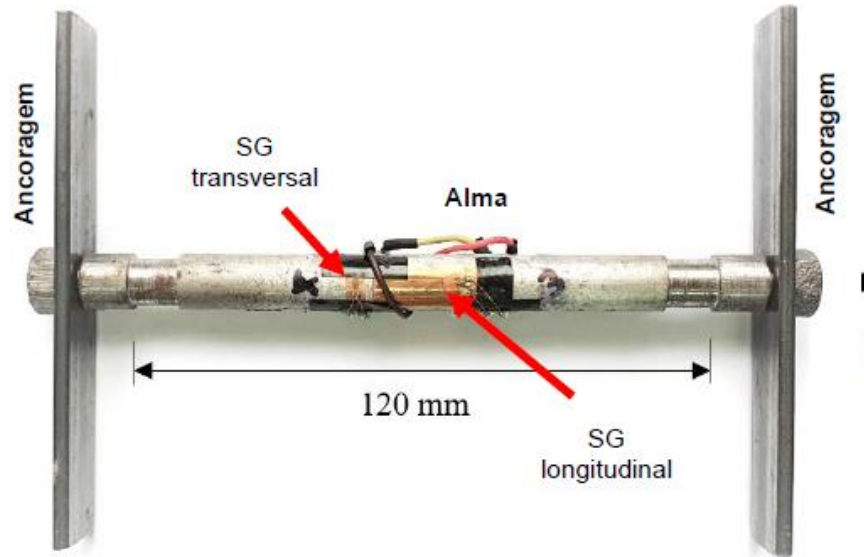
Calibração dos Hgages



Calibração dos H_gages



Rigidez do elemento com *strain gage* em relação ao meio circundante





Caso 1

Ano 2018-2019

Instrumentação de Pavimento Rodoviário



Instrumentação por camada



subleito



sub-base

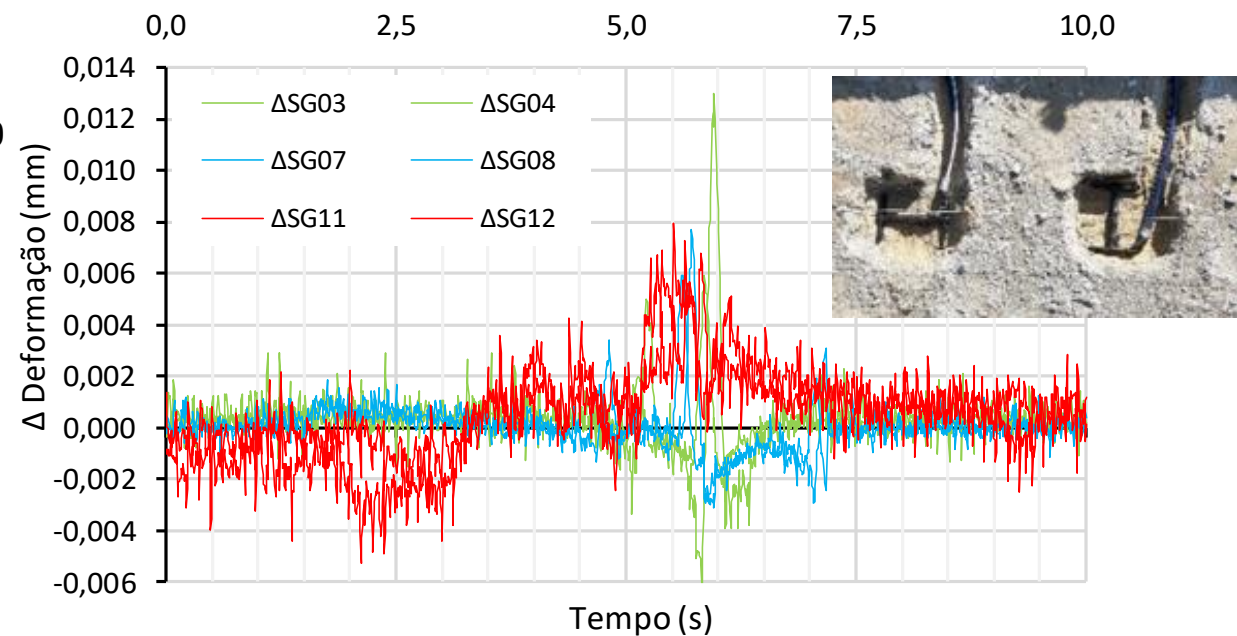
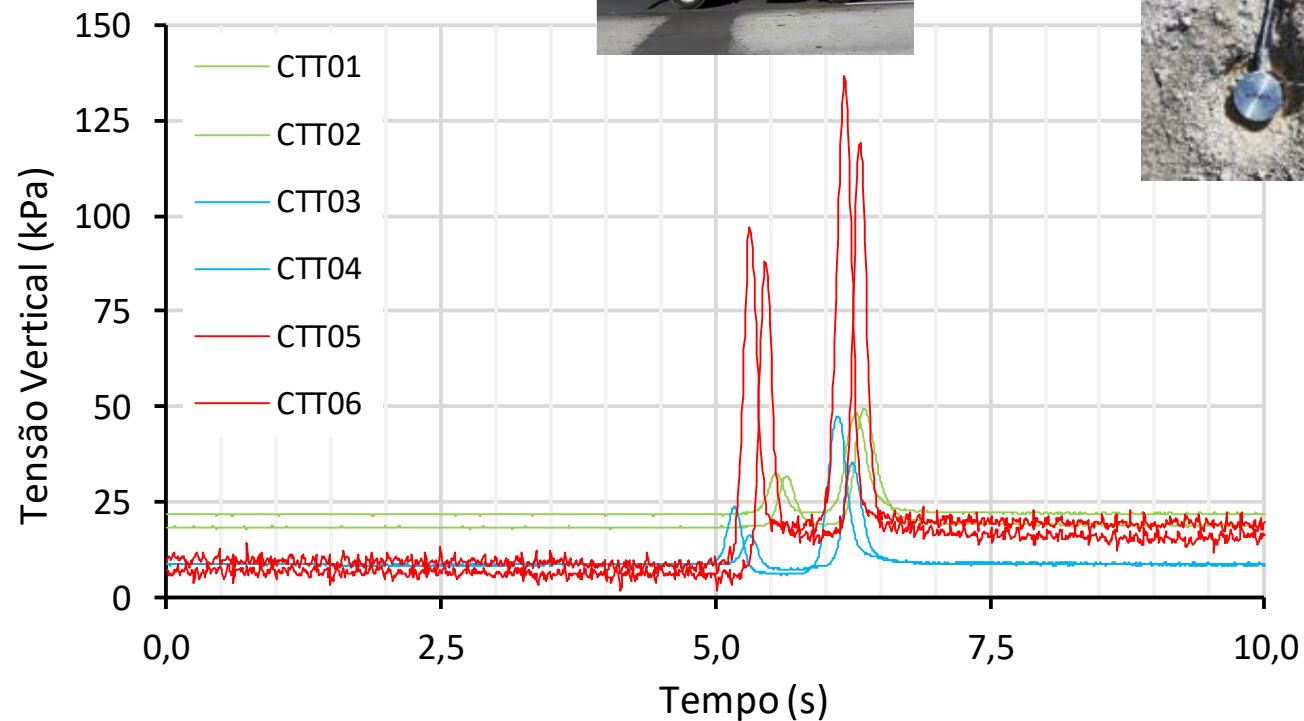


base



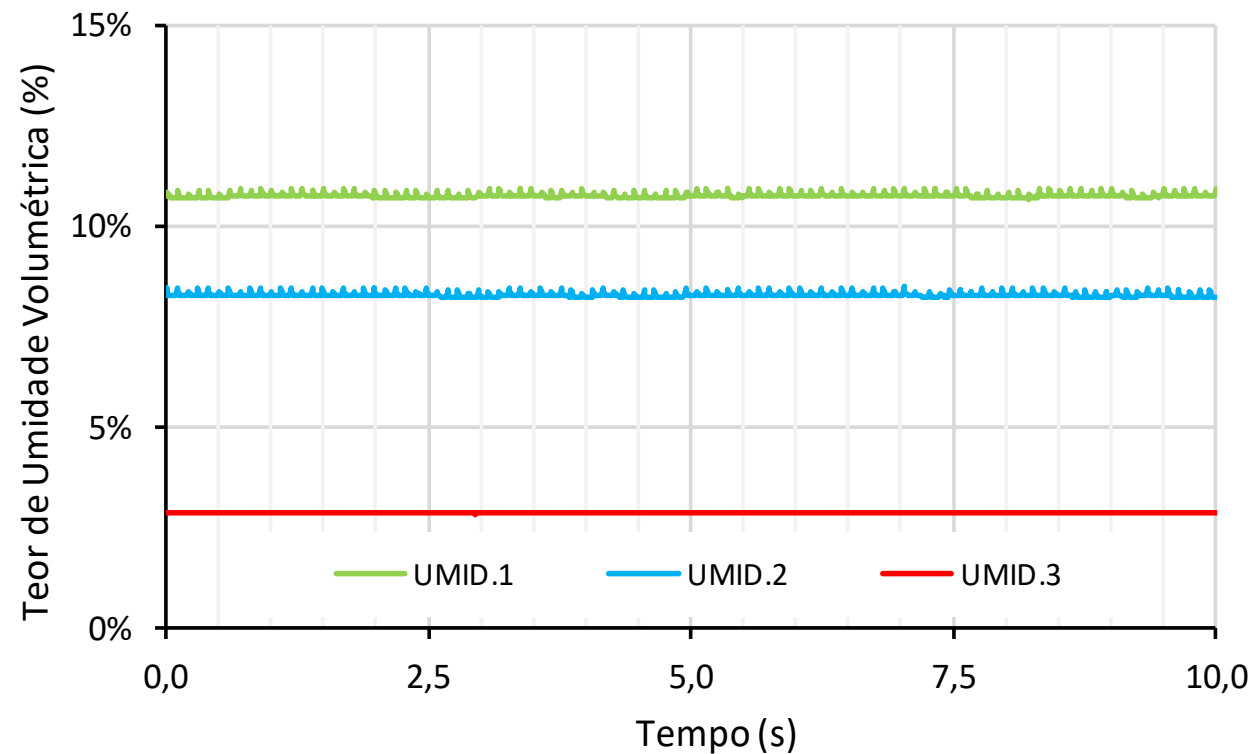
revestimento

Instrumentação e Monitoramento

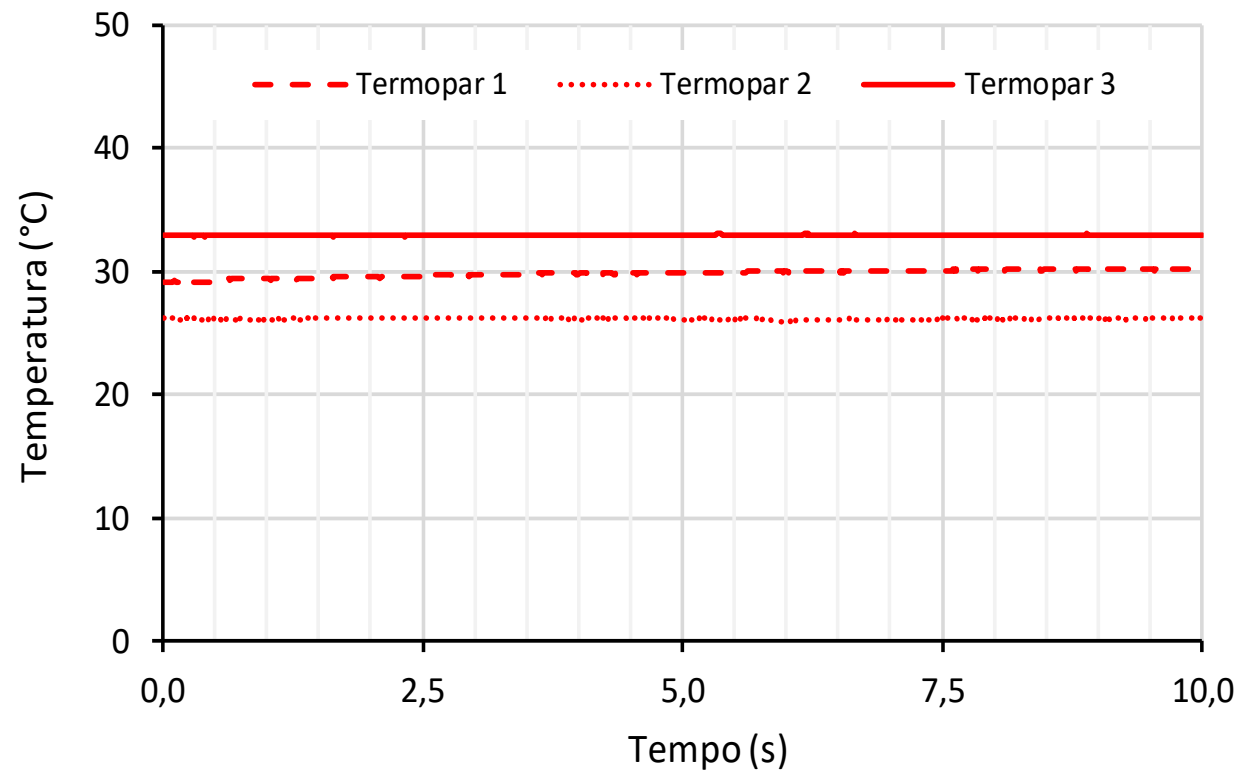


Variáveis que afetam o comportamento do pavimento

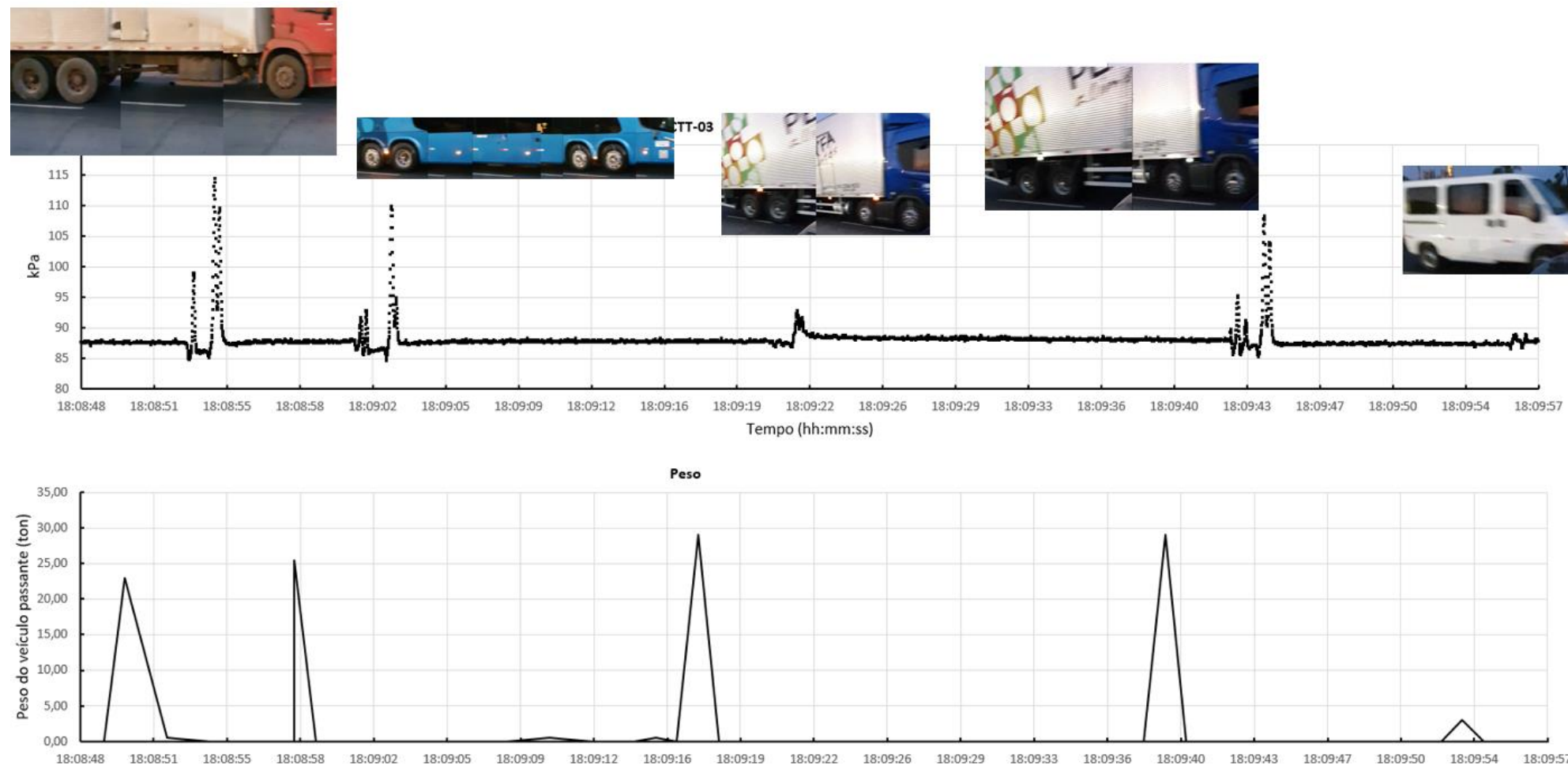
Umidostato



Termopares



Variáveis que afetam o comportamento do pavimento



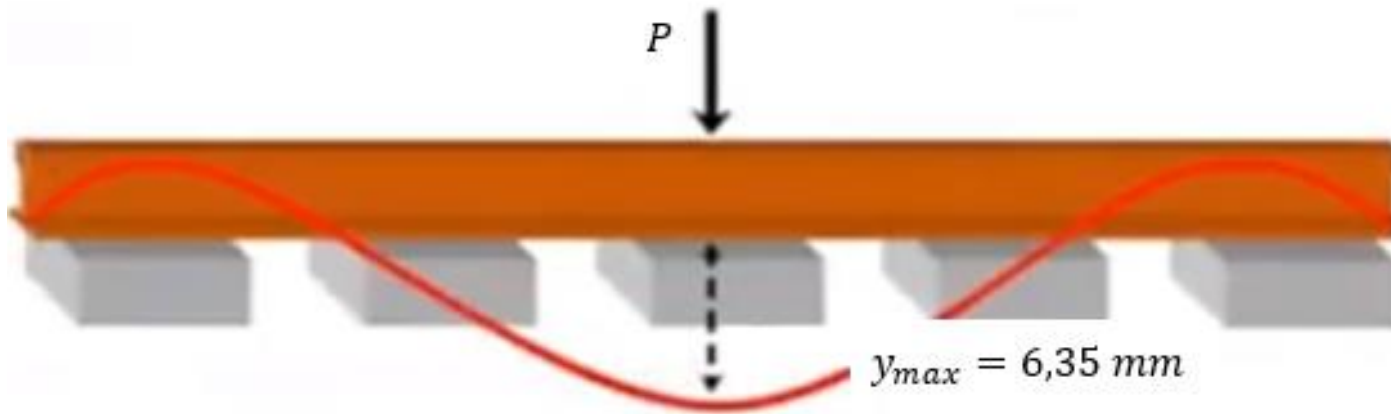


Caso 2

Medidas de Deflexão

2021-2022 e 2025

Deflexão Elástica do Pavimento

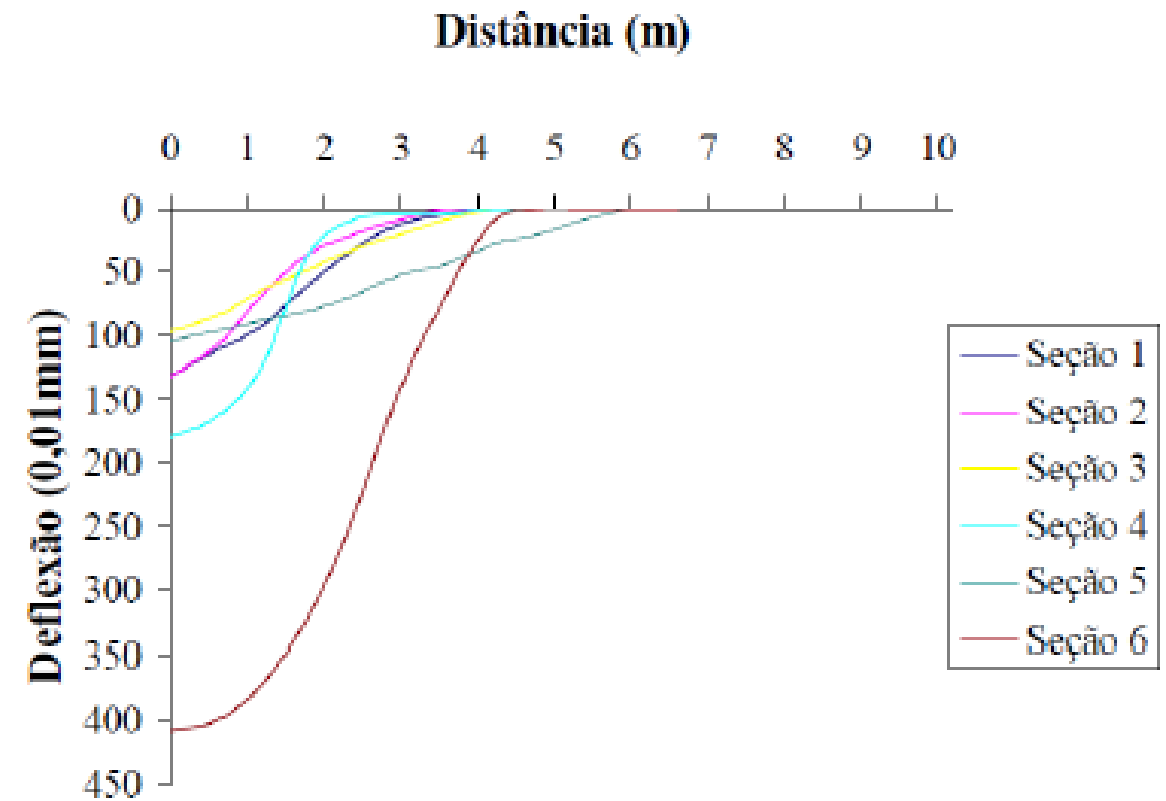


$$y = \frac{P}{2\sqrt{2}} \sqrt[4]{\frac{a^3}{E \cdot I \cdot D^3}}$$

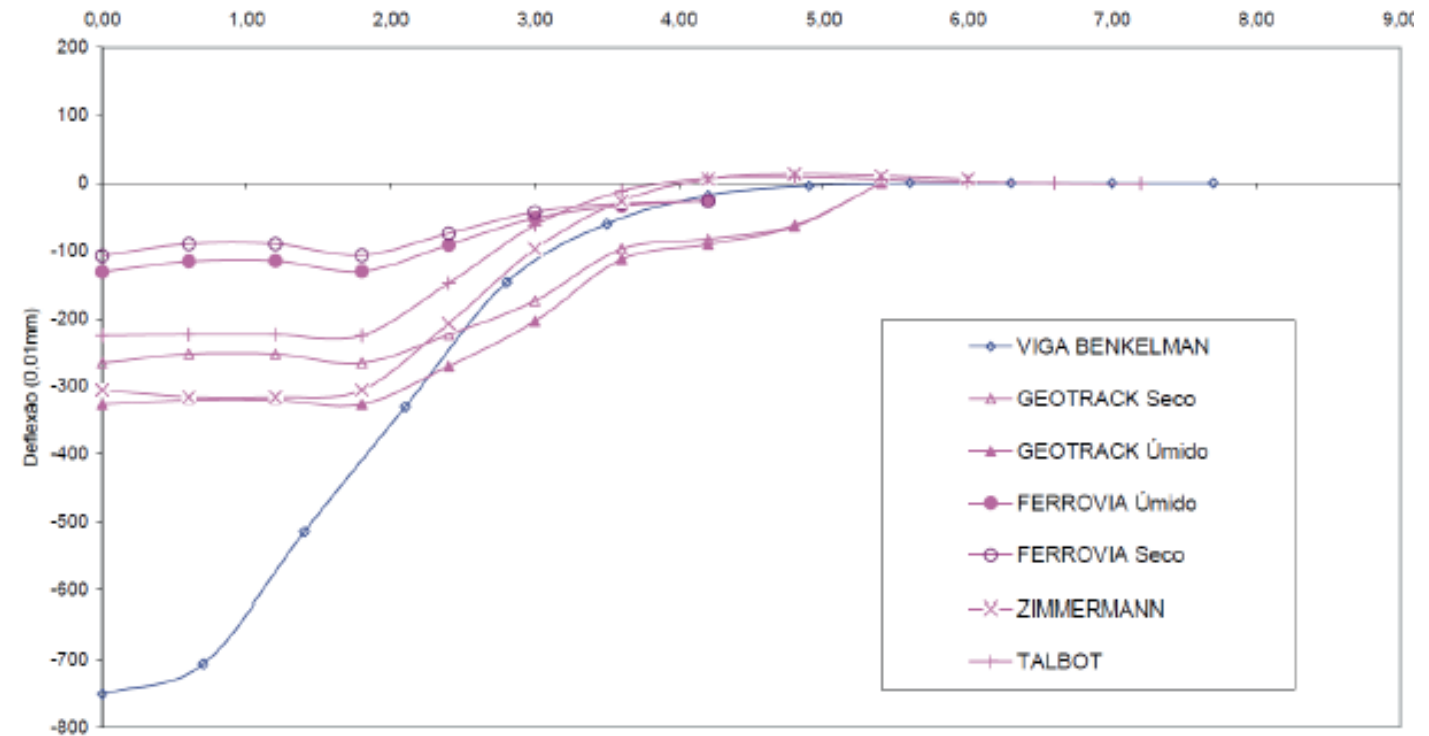
Medição das Deflexões

- Parâmetro para avaliação da Condição Estrutural da Via
- Gerência de Pavimentos Ferroviários
- Velocidade Operacional
- Tomadas de Decisão

Deflexões (Viga Benkeman)

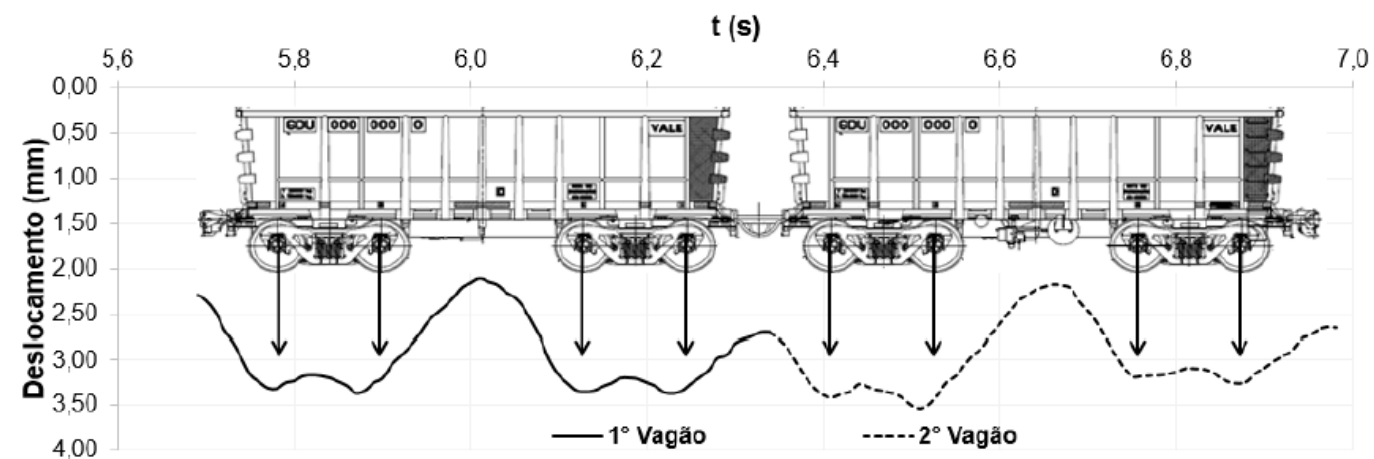
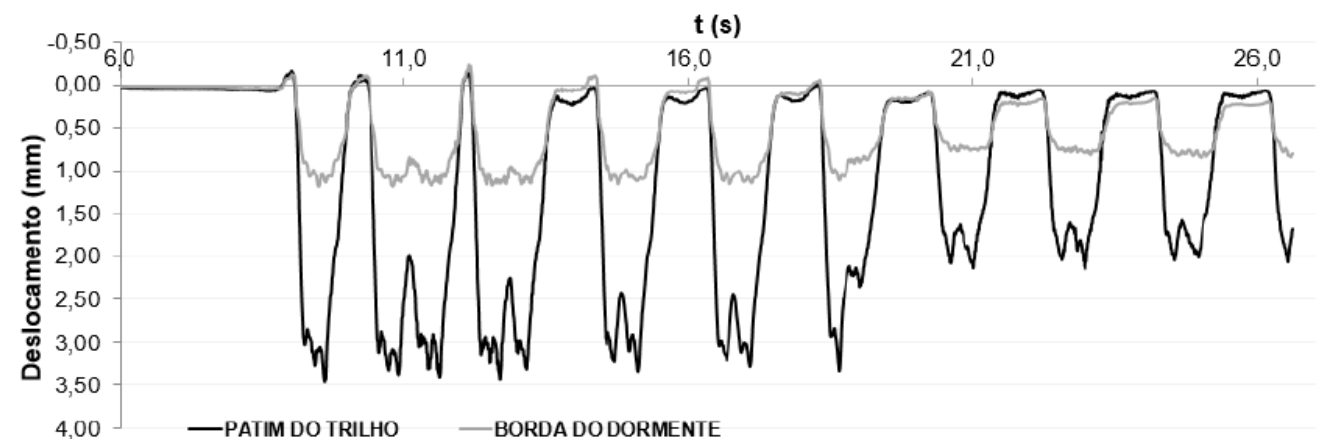


Deflexões (Viga Benkeman)



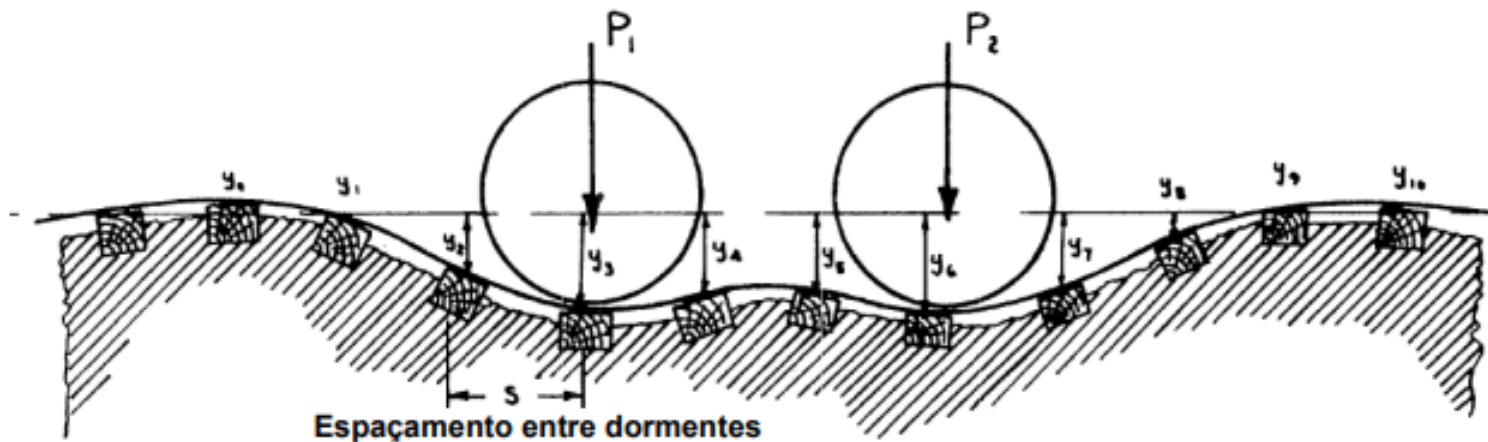


Deflexões (LVDT)



Módulo de Via (U)

- Constante elástica que denota a pressão por unidade de comprimento de cada trilho, necessária para ocasionar uma deflexão unitária no pavimento (1’’).
- Logo, U representa a rigidez da via e envolve condições dos dormentes, lastro, sistema de fixação e das camadas geotécnicas

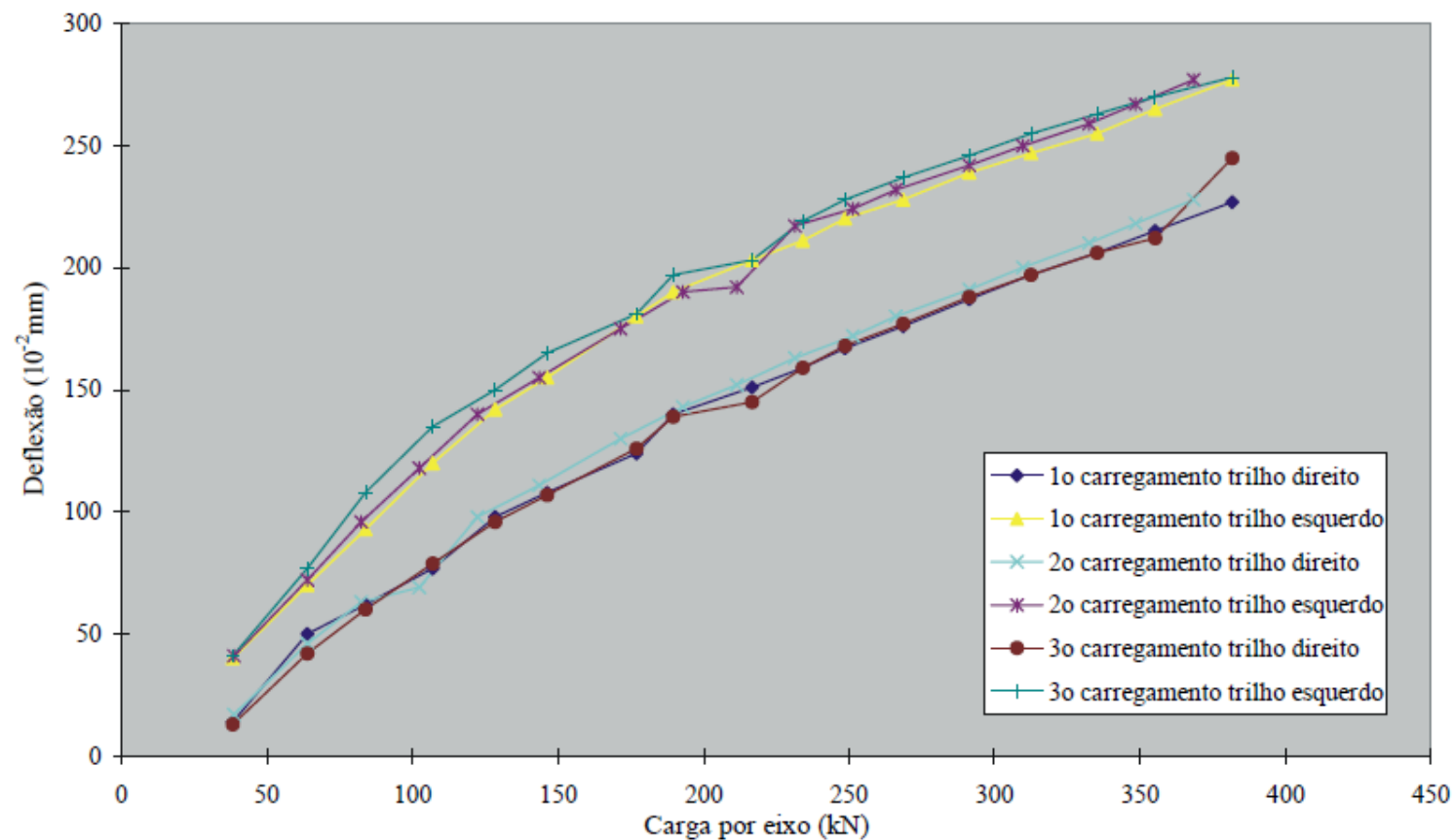


$$U = \frac{\sum P_i}{a \sum_{i=1}^m y_i}$$

Módulo de Via – Ensaio Estático



Spada, 2003.



Silva, 2002.

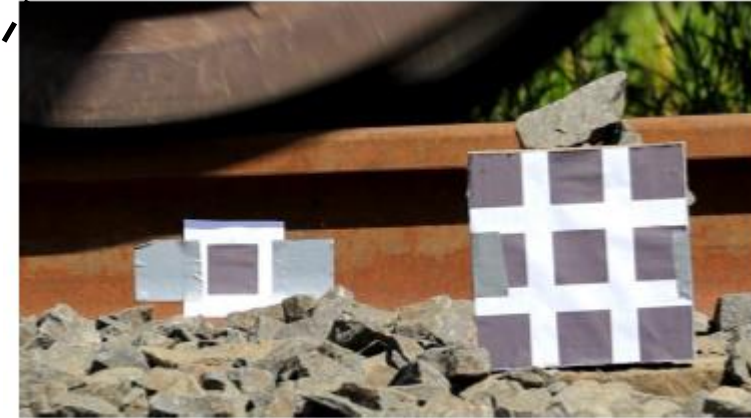
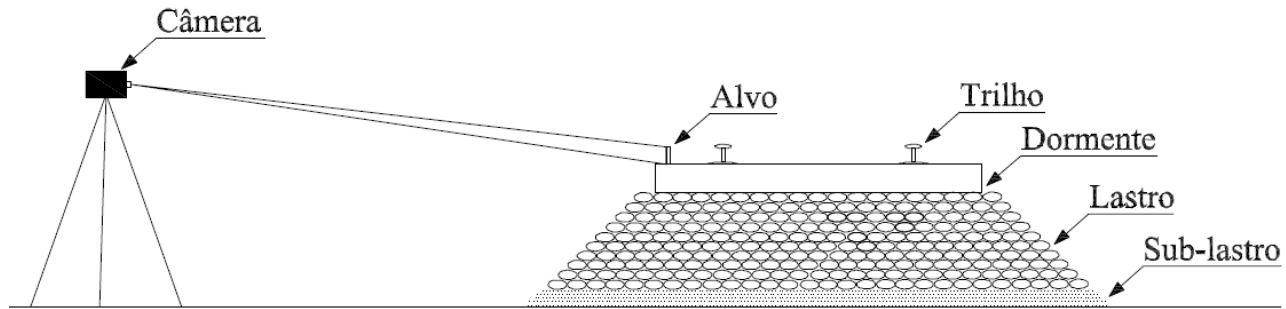
Carga Dinâmica

$$P_d = C_d \cdot P$$



Deflexões e Módulo de Via (U)

sem contato e fáceis logística e medição



Medições por Vídeo Registro

UFJF - Laboratório de Imagens e Sinais - LIS
Programa desenvolvido por: Renan Fernandes Maia
Orientador: Flávio Barbosa
Projeto de Treinamento Profissional: Metodologias para Monitoramento Estrutural

Vídeo de entrada

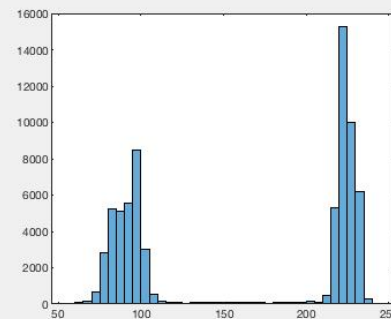
Selecionar o alvo



Limite para binarização

160

Testar



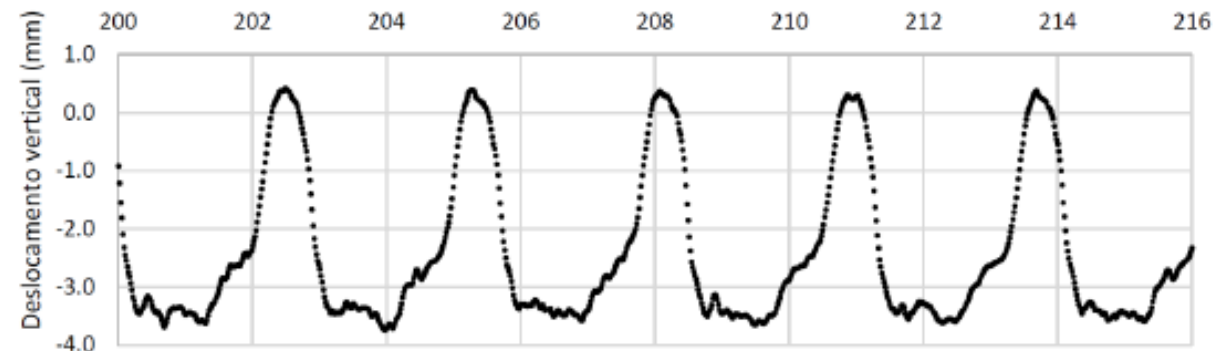
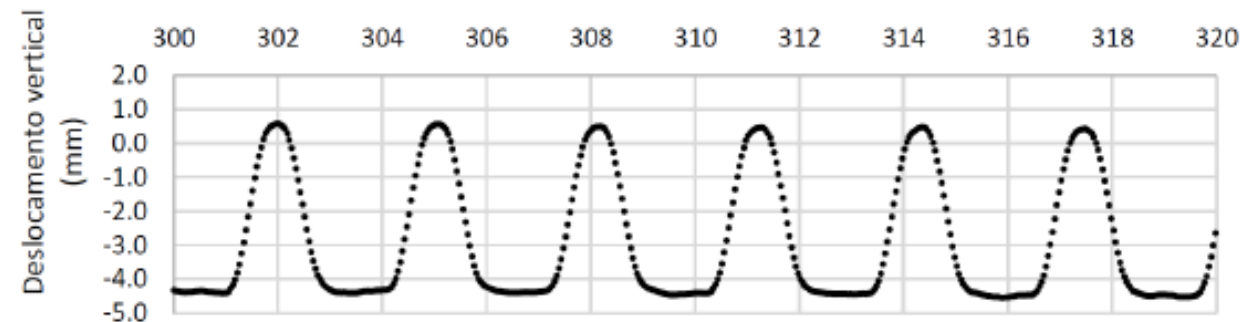
Processar

Nome do arquivo(.txt)

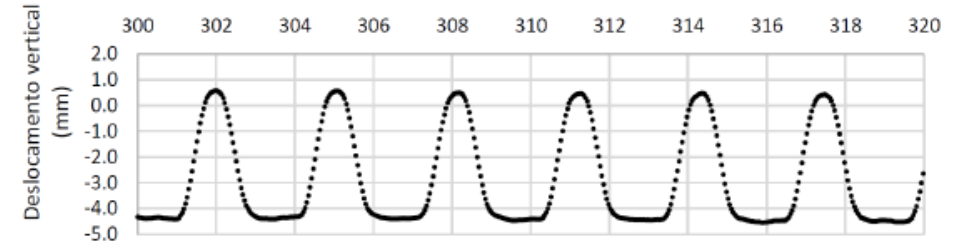
Salvar vídeo binarizado

Salvar

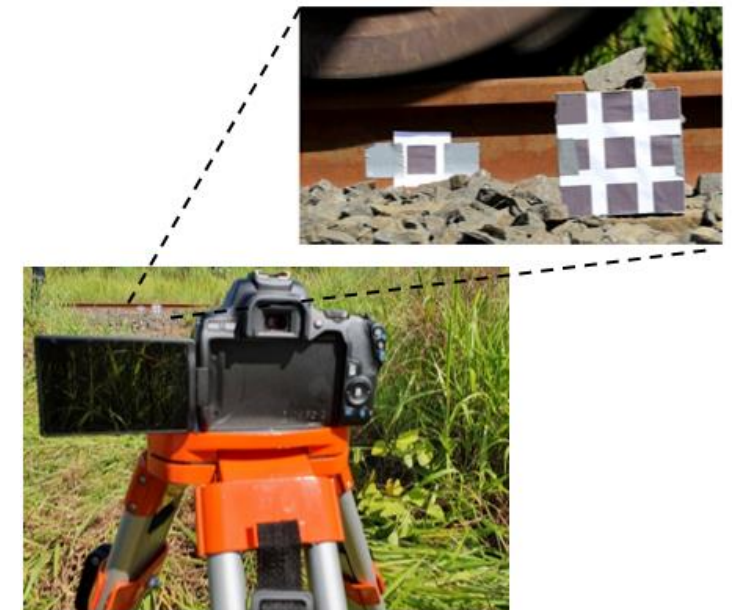
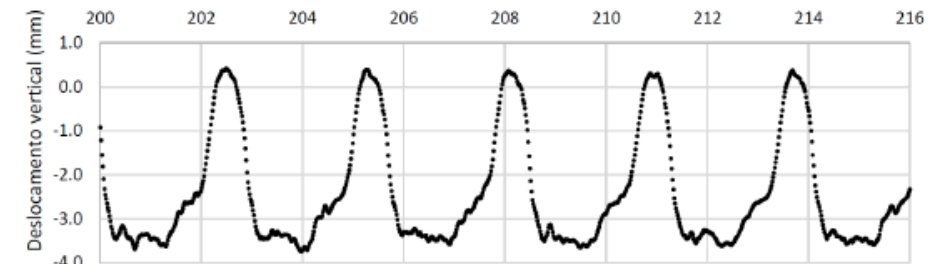
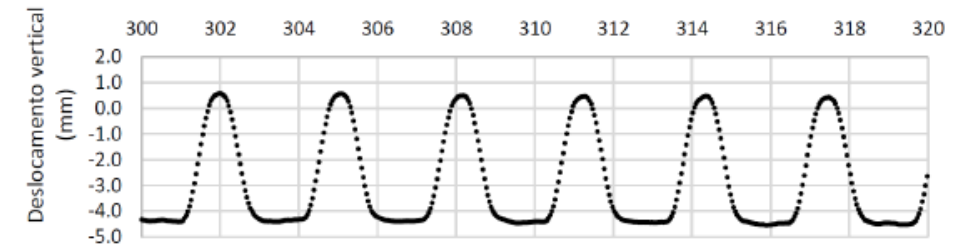
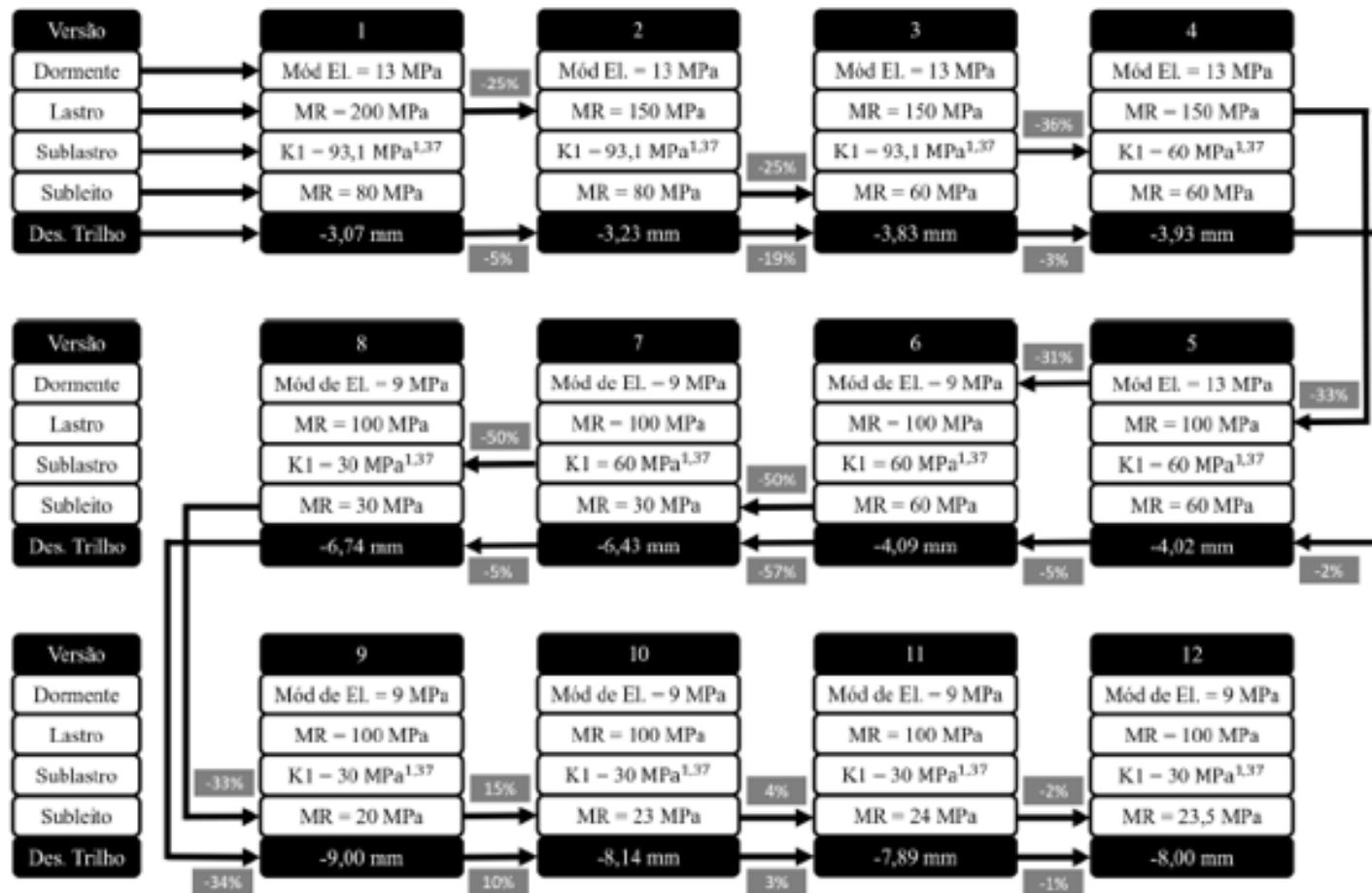
Sair



Medições por Vídeo Registro

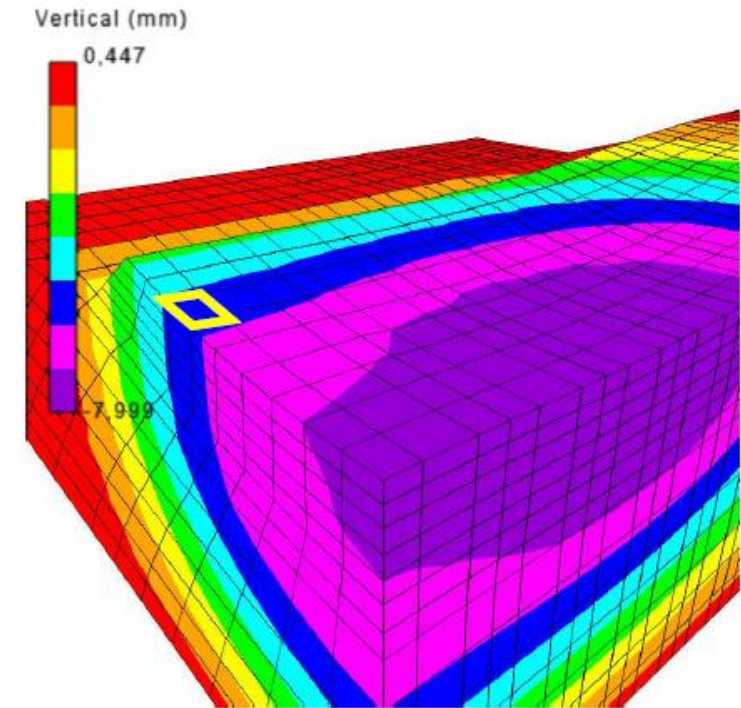
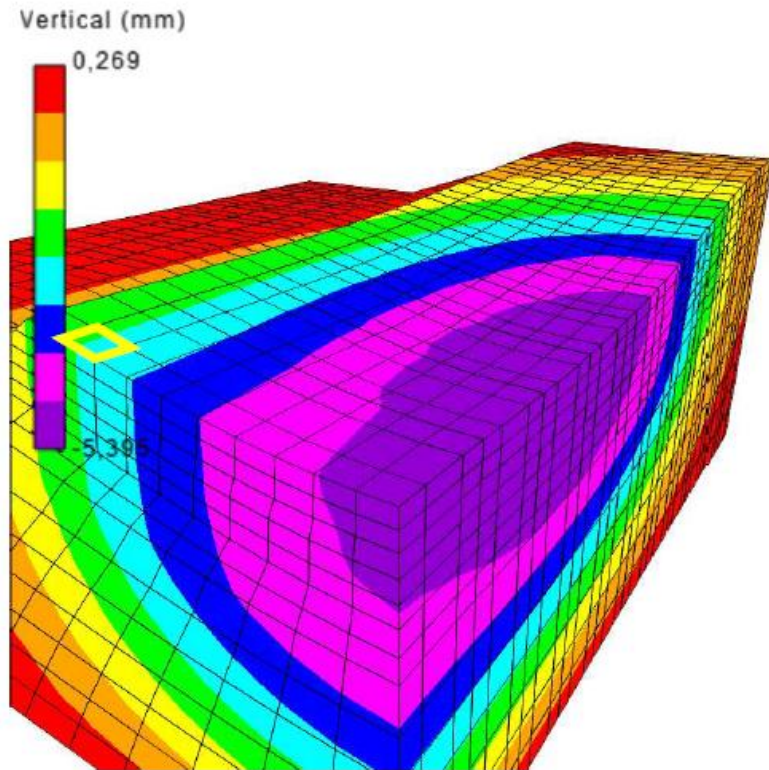


Retroanálise



Mendes, 2022

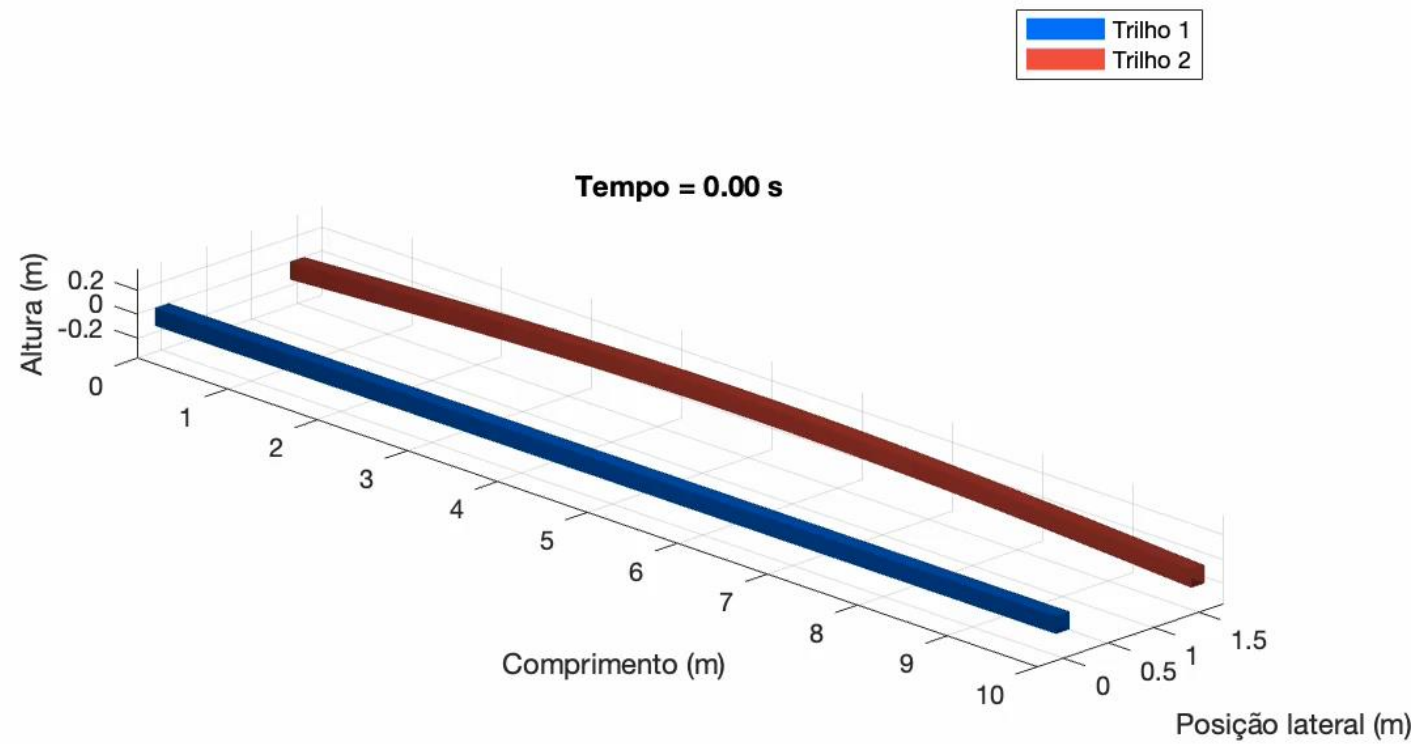
Retroanálise



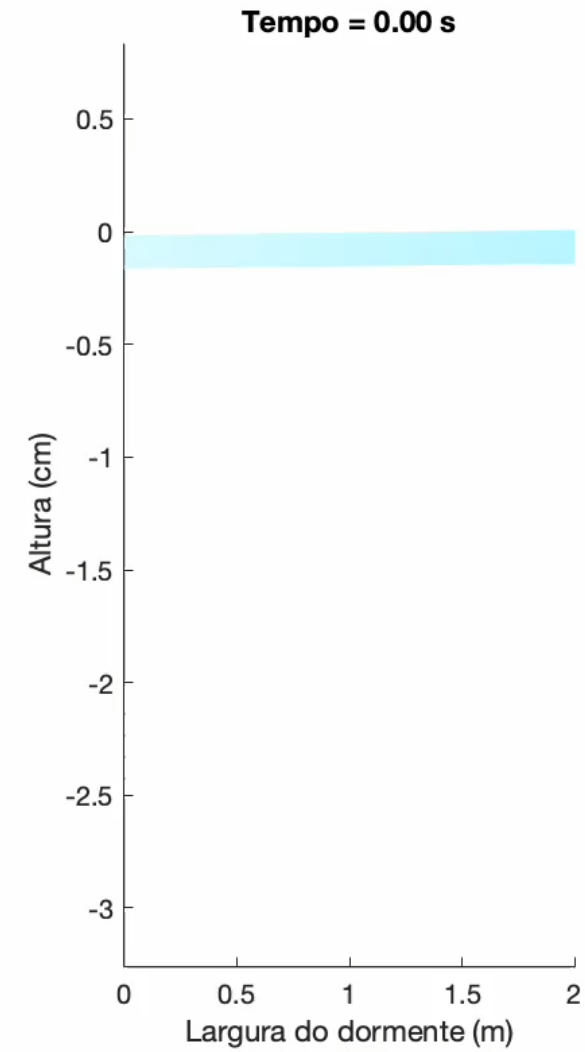
Alvo	Trilho		Dormente	
	Monitorado (mm)	Modelado (mm)	Monitorado (mm)	Modelado (mm)
v0022	-8,0	-8,0	-4,0	-5,4
v0021 esq. (degradado)	-	-5,98	-4,5	-3,2
v0021 dir.	-	-5,39	-3,0	-2,9

Mendes, 2022

OAE Esconsas



OAE Esconsas



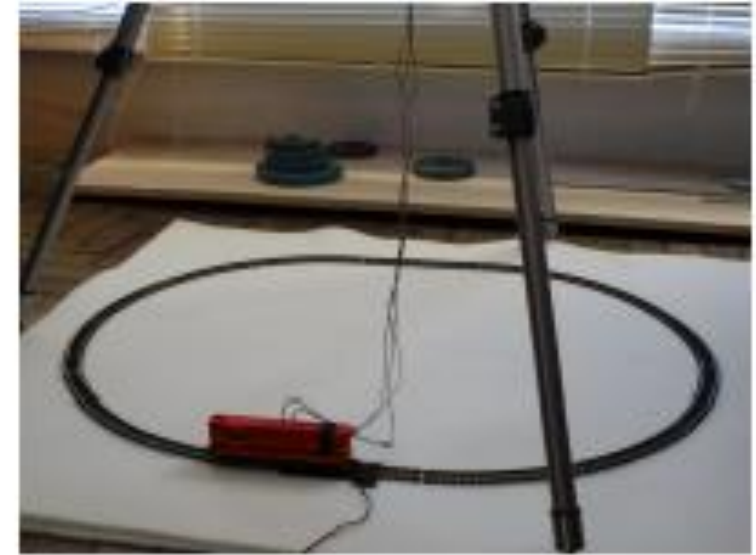
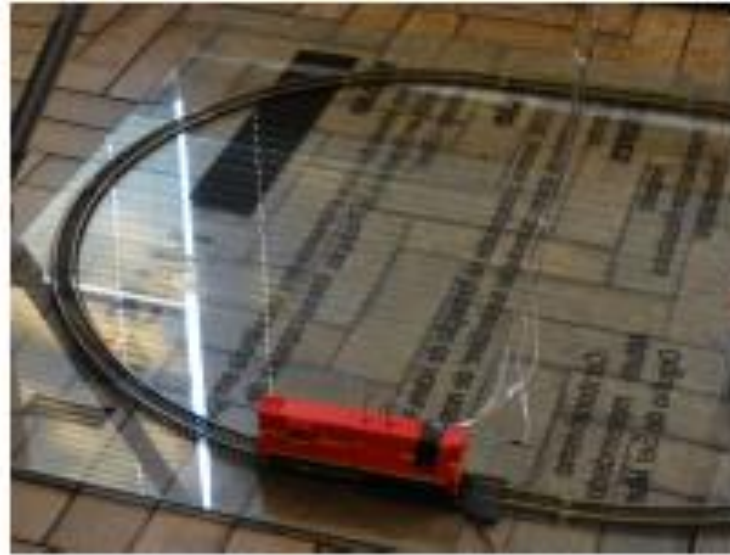
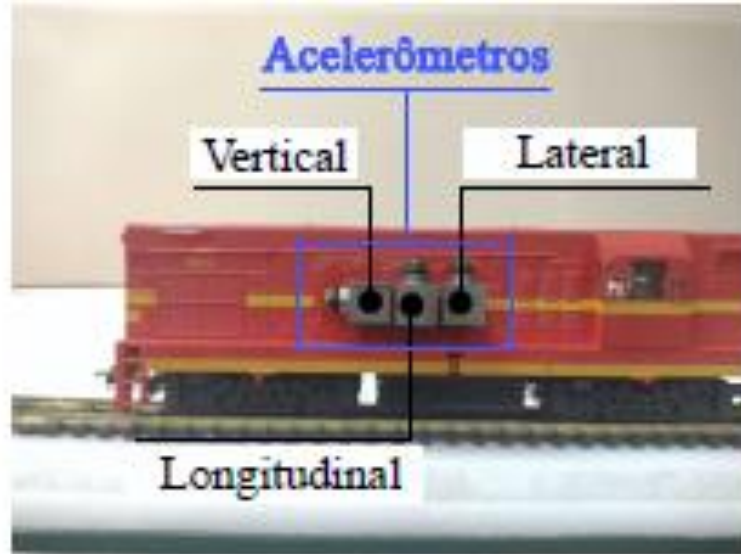


Caso 3

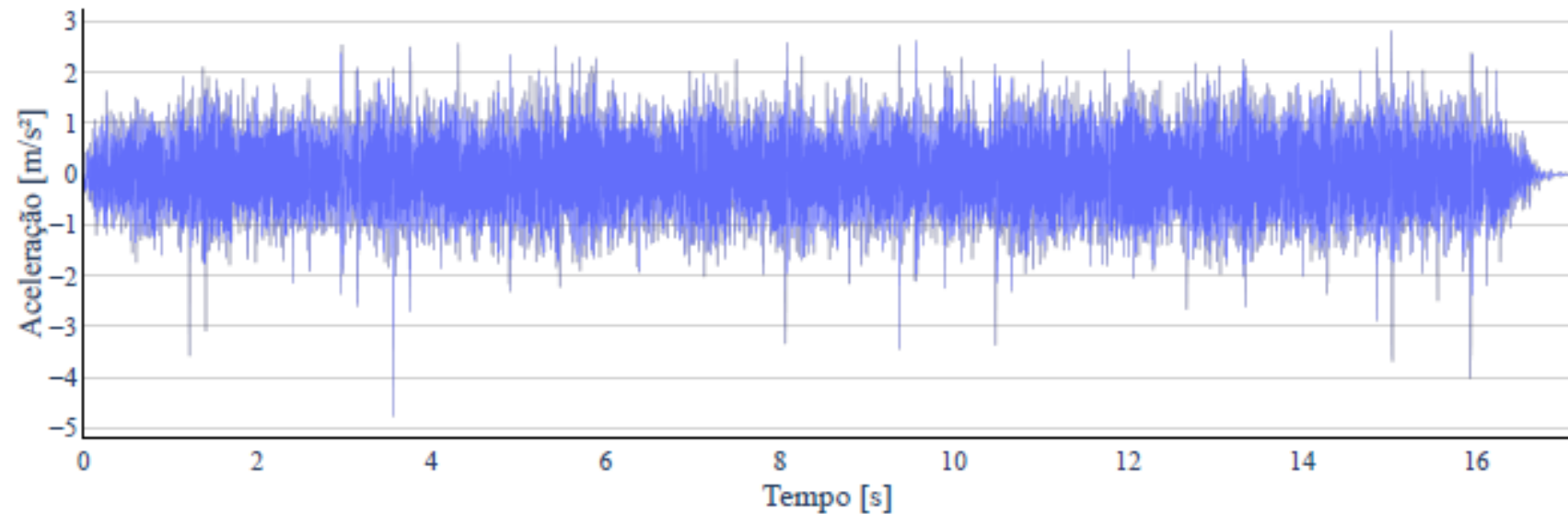
Monitoramento Embarcado

2022 a 2026

Acelerometria



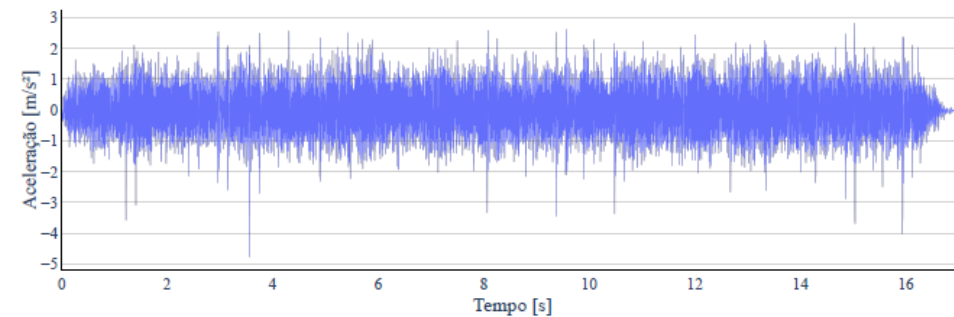
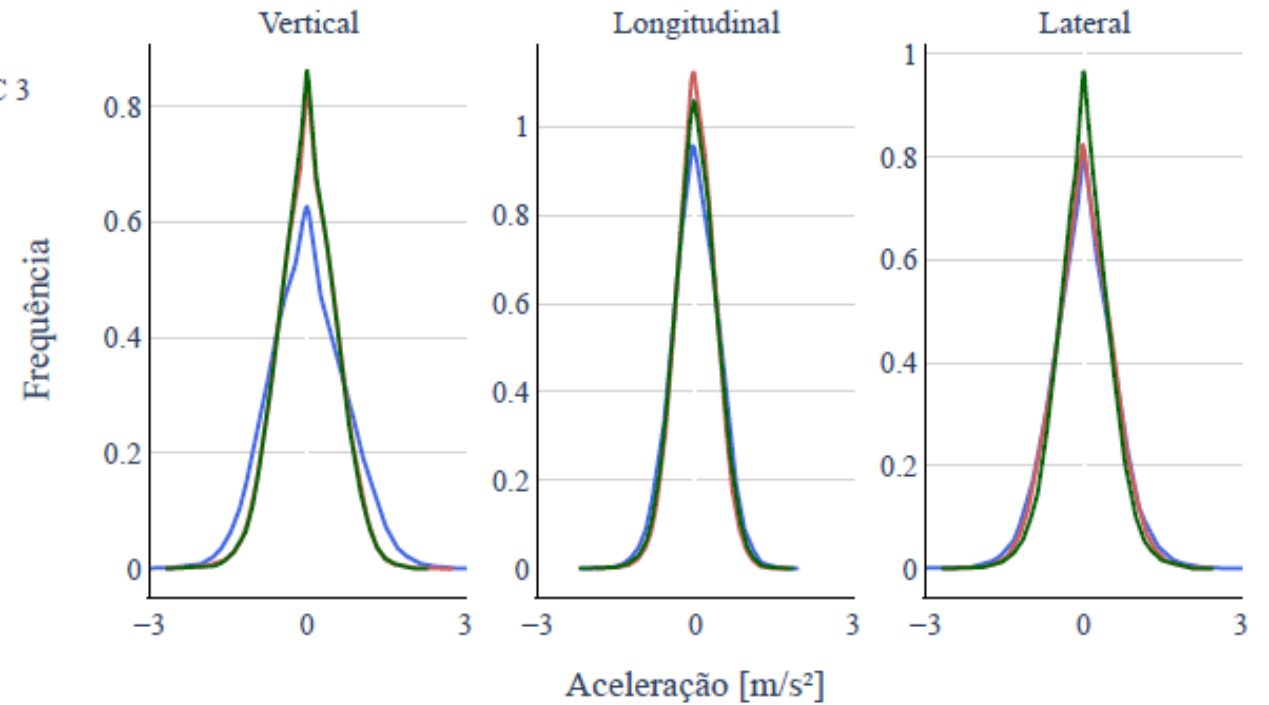
- Sinal típico



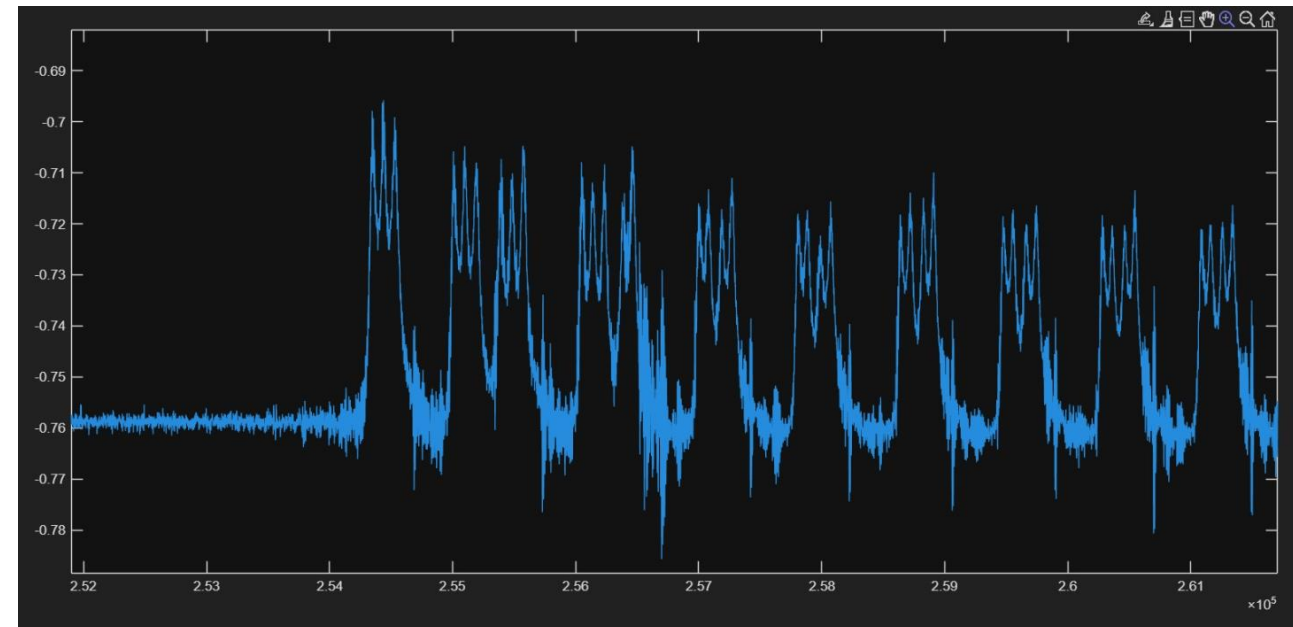
Acelerometria



— C 1 — C 2 — C 3



Locomotiva e Vagões

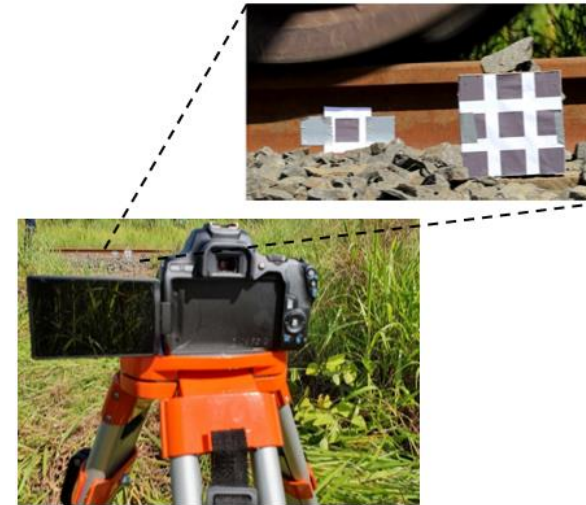
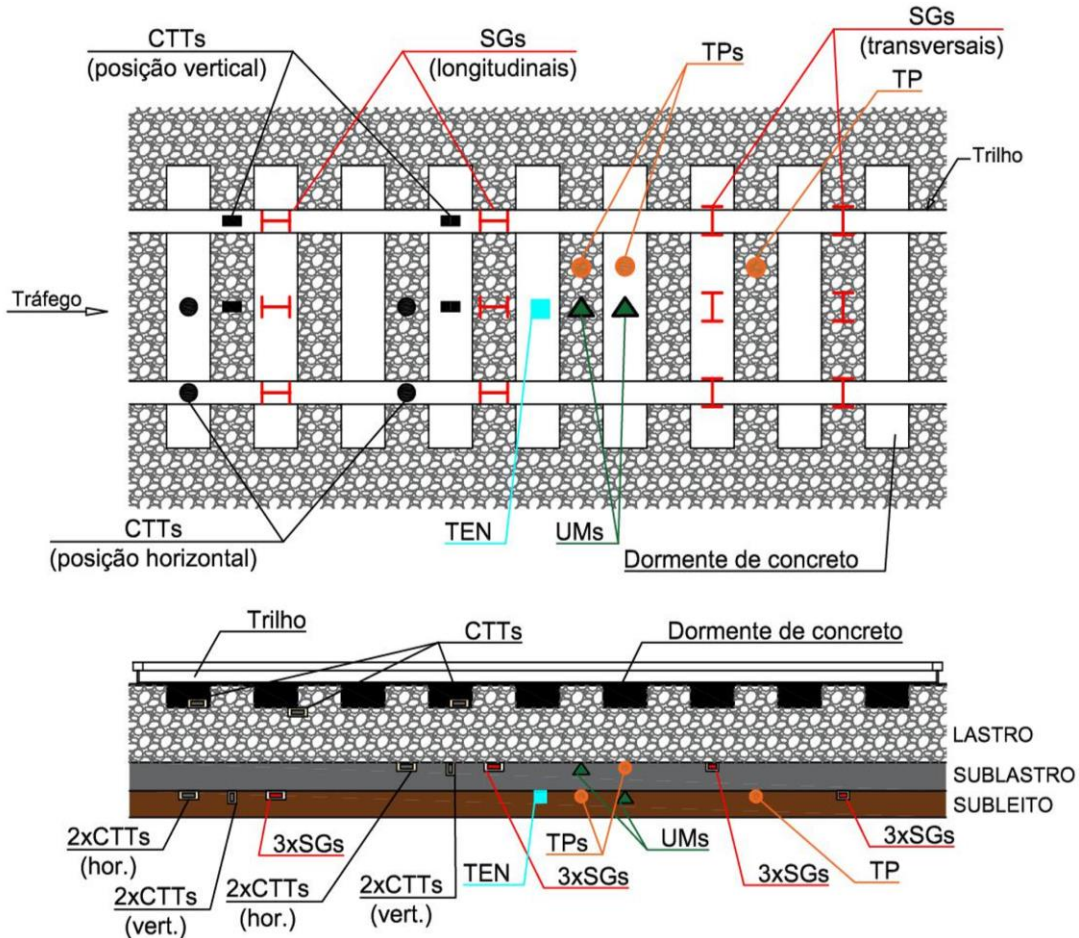
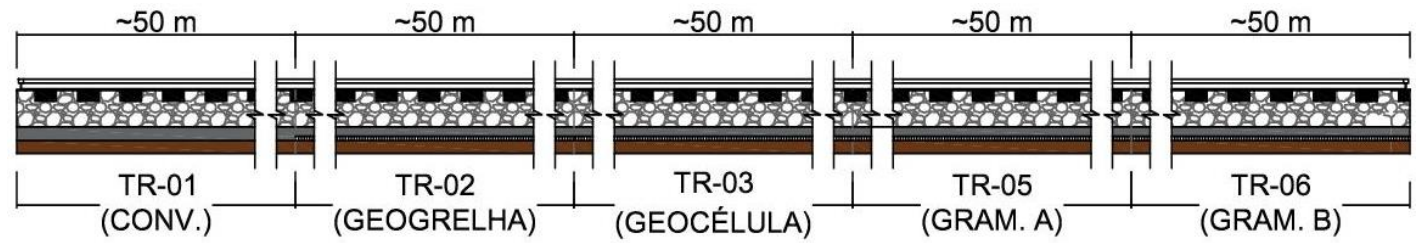




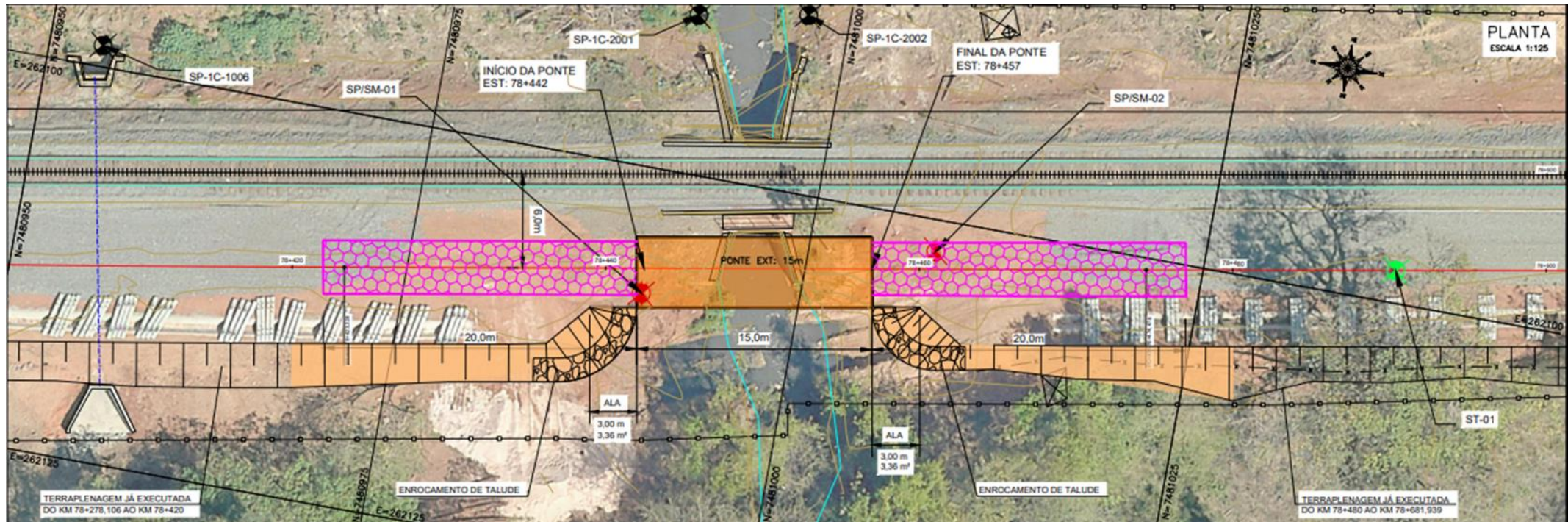
Caso 4

Trecho Experimental Ferrovia (2021-2022)

Trechos Experimentais

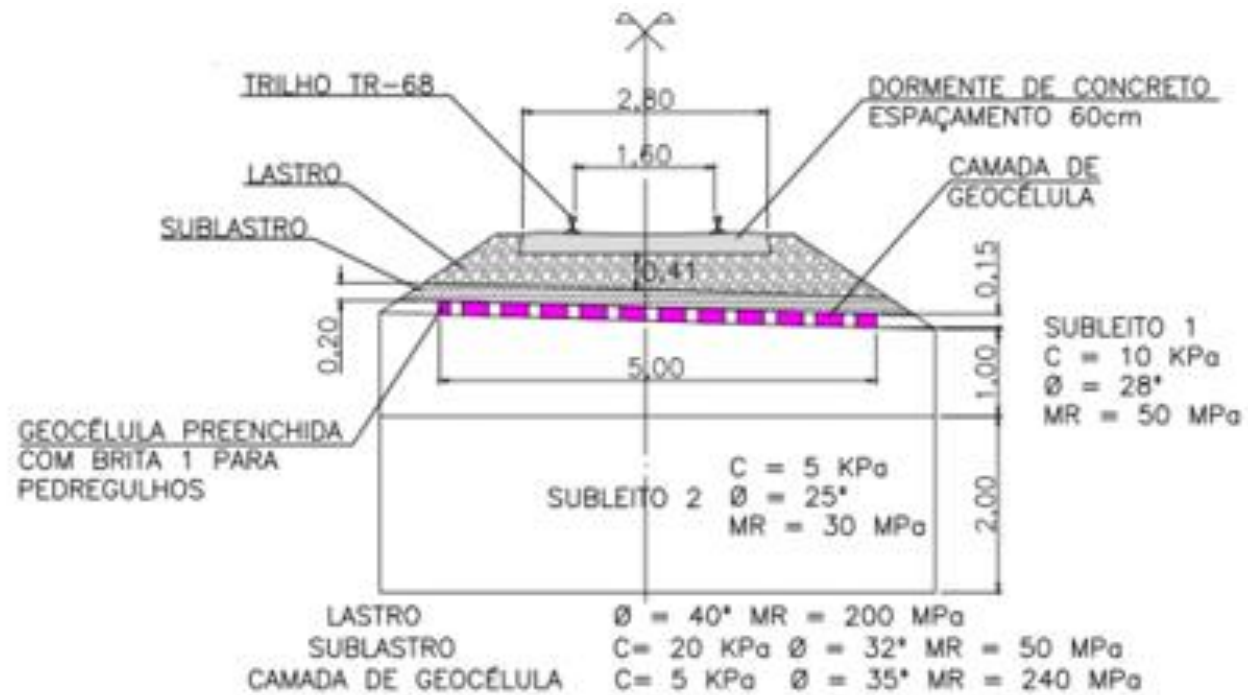


Trecho Monitorado



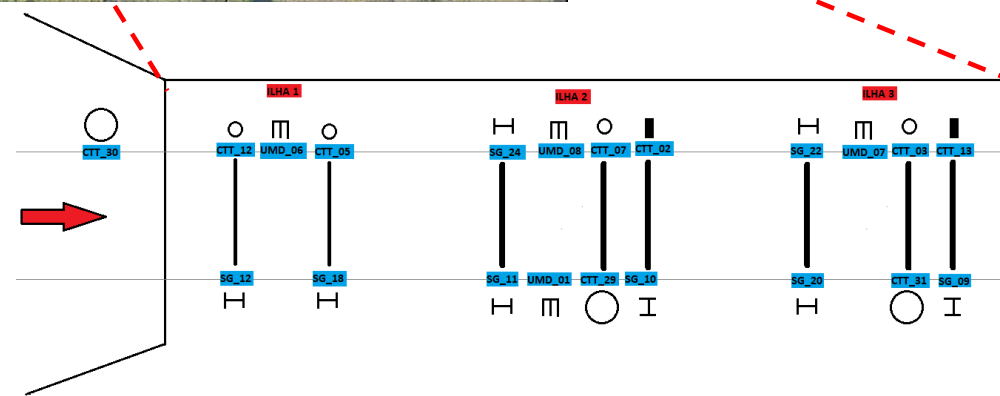
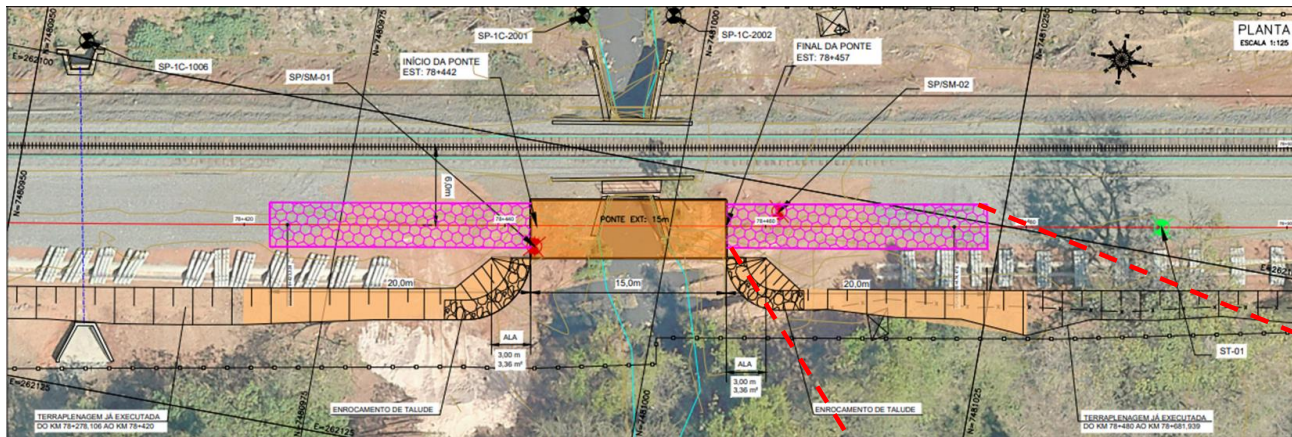
- Cidade de Americana - SP (RUMO);
- OAE 15 m, cabeceira com geossintéticos (20 m) abaixo do lastro, pavimento convencional

Trecho Monitorado



Ilhas de Instrumentação

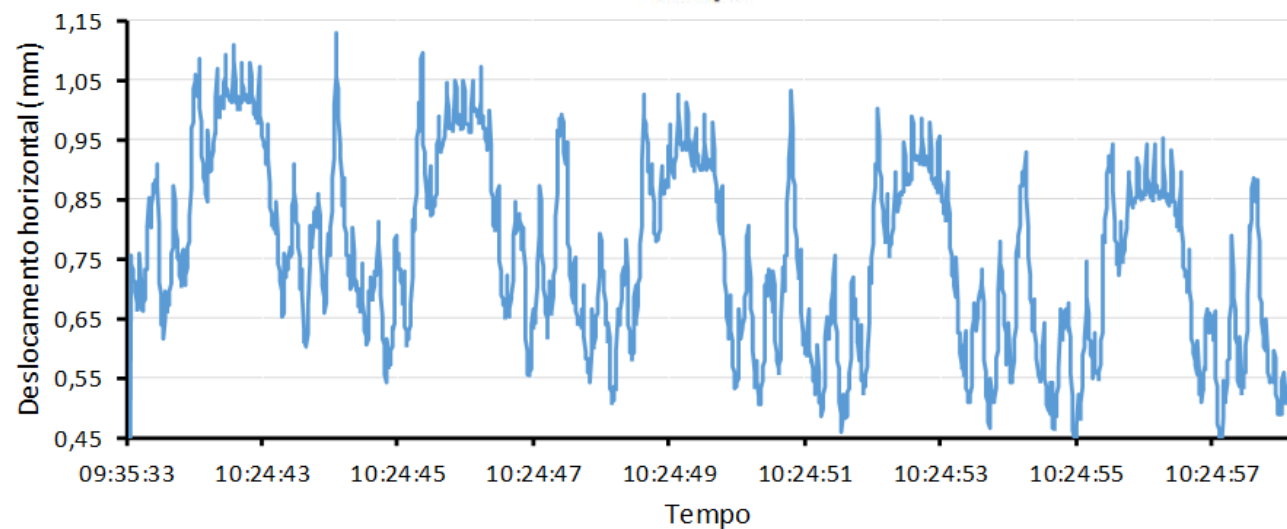
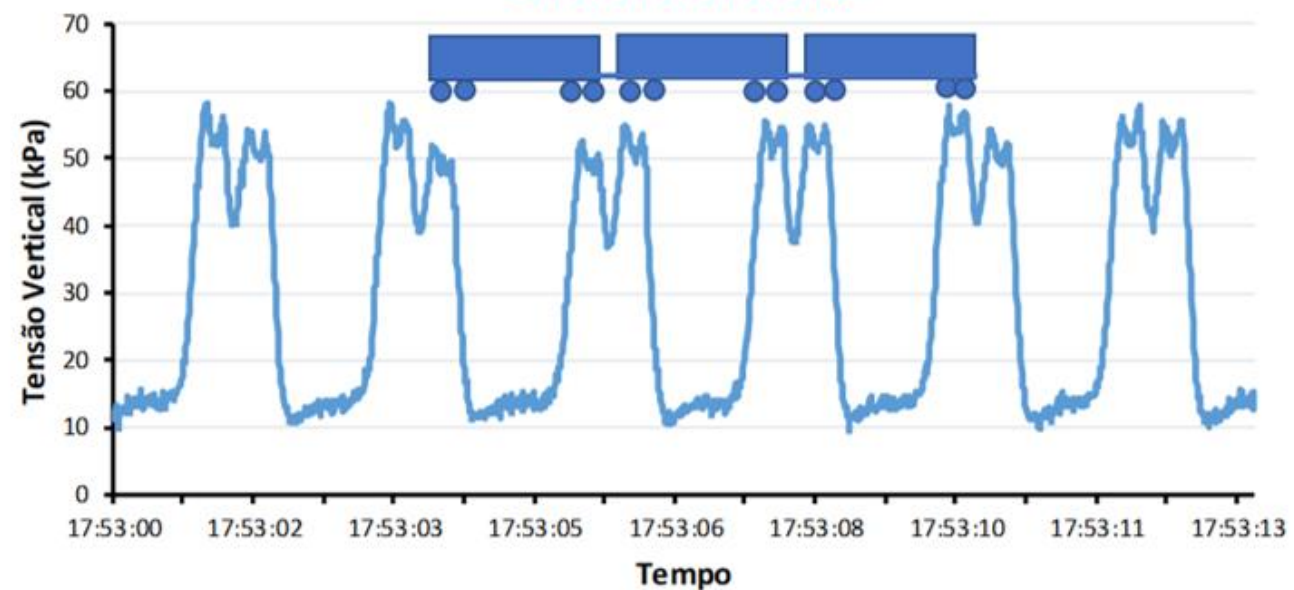
- I SG - Strain Gauge
- ≡ UMD - Umidostato
- CTT - Célula de Tensão Total (σ_d)
- CTT - Célula de Tensão Total (σ_3)



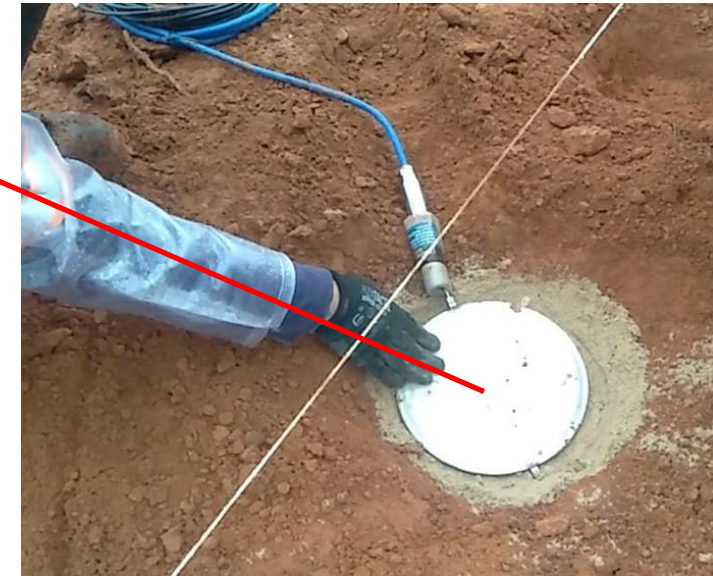
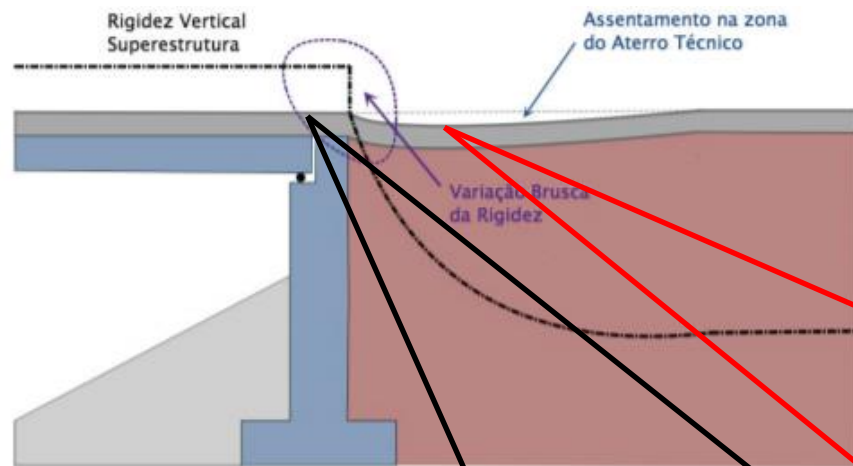
Cabeamento Edícula (Painéis)



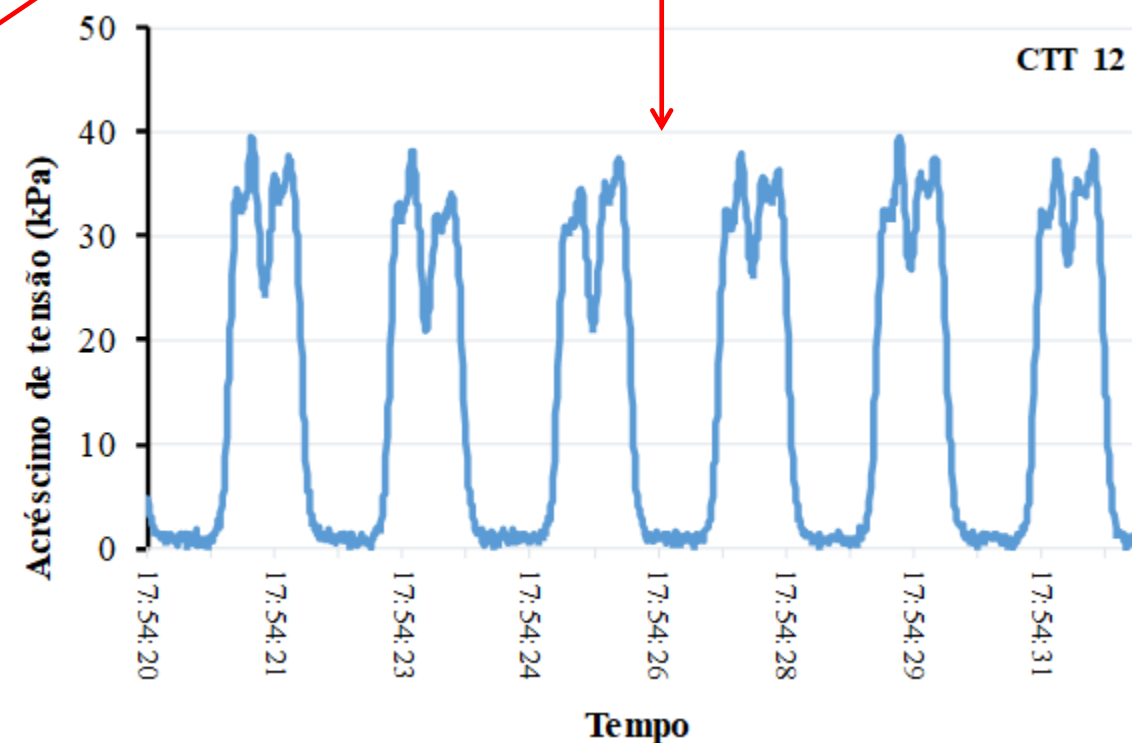
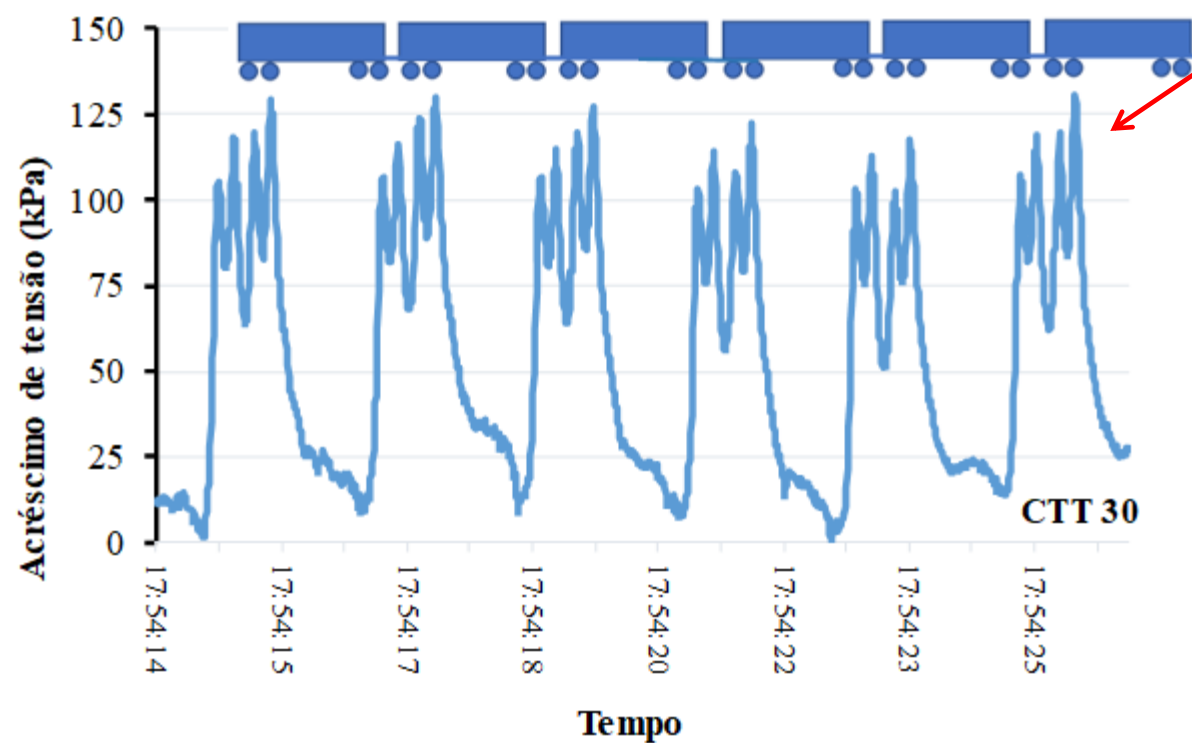
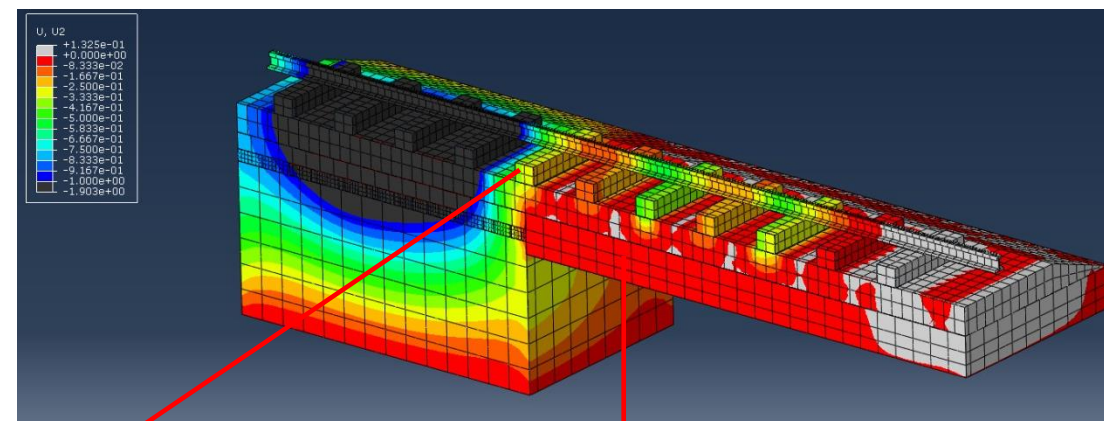
Tensões / Deformações



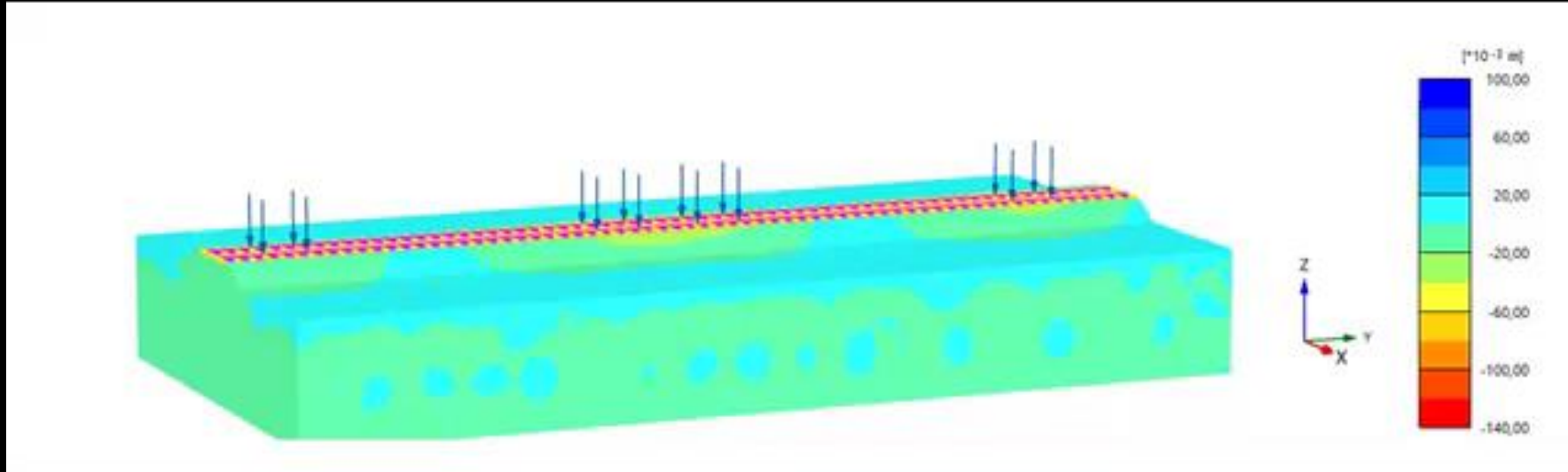
Zonas de Transição



Zonas de Transição OAE



Modelagem Numérica



Tensões e Deformações

Soluções?

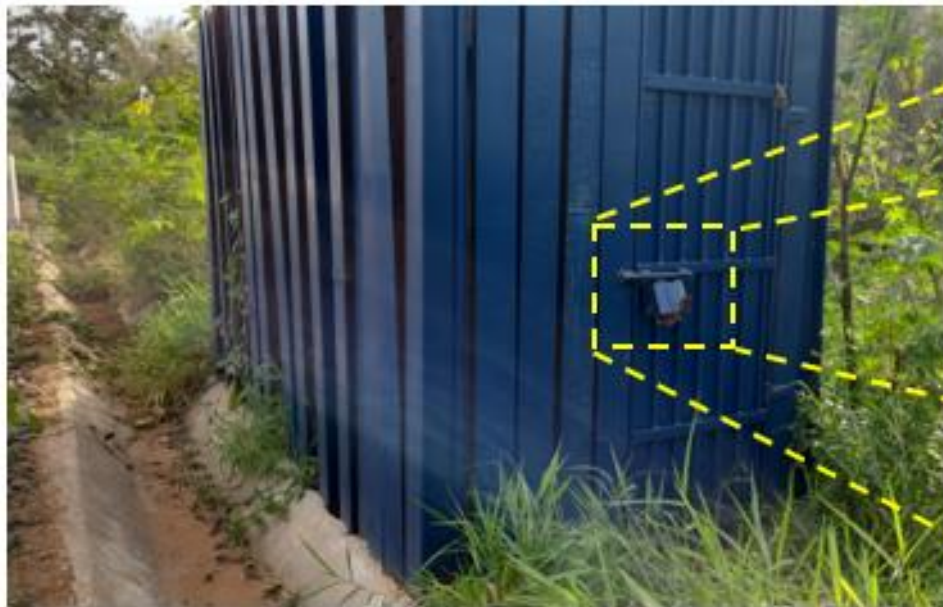




Vandalismo



Só mais um pouquinho de Vandalismo



Solução





Solução



Instrumentação e Monitoramento

Diferentes propriedades e desempenho do conjunto de componentes do pavimento (elementos estruturais / fixação, materiais geotécnicos), frente ação dos agentes externos (tráfego e clima) e drenagem

- Diagnóstico
- Previsão de Desempenho
- Validação de análises (modelos numérico, dimensionamento...)



Caso 5

Trecho Experimental com Simulador de Tráfego 2024

Trecho Experimental (2x 50m – duas estruturas)



Instrumentação das Camadas dos Pavimentos

a) Reforço do subleito



b) Sub-base



c) Base



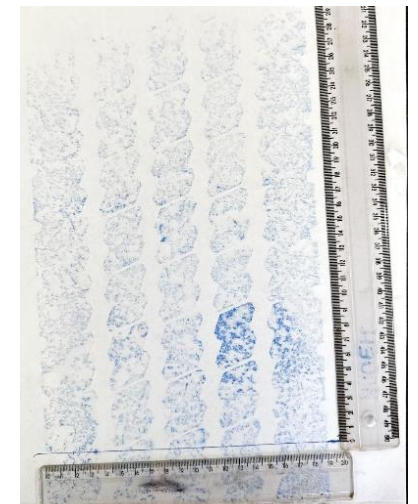
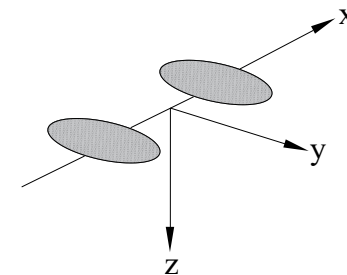
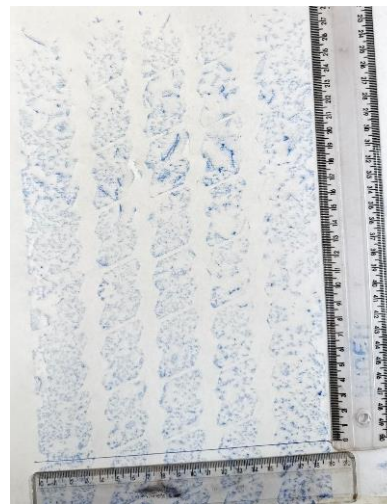
Instrumentação das Camadas dos Pavimentos

a) Topo Imprimação

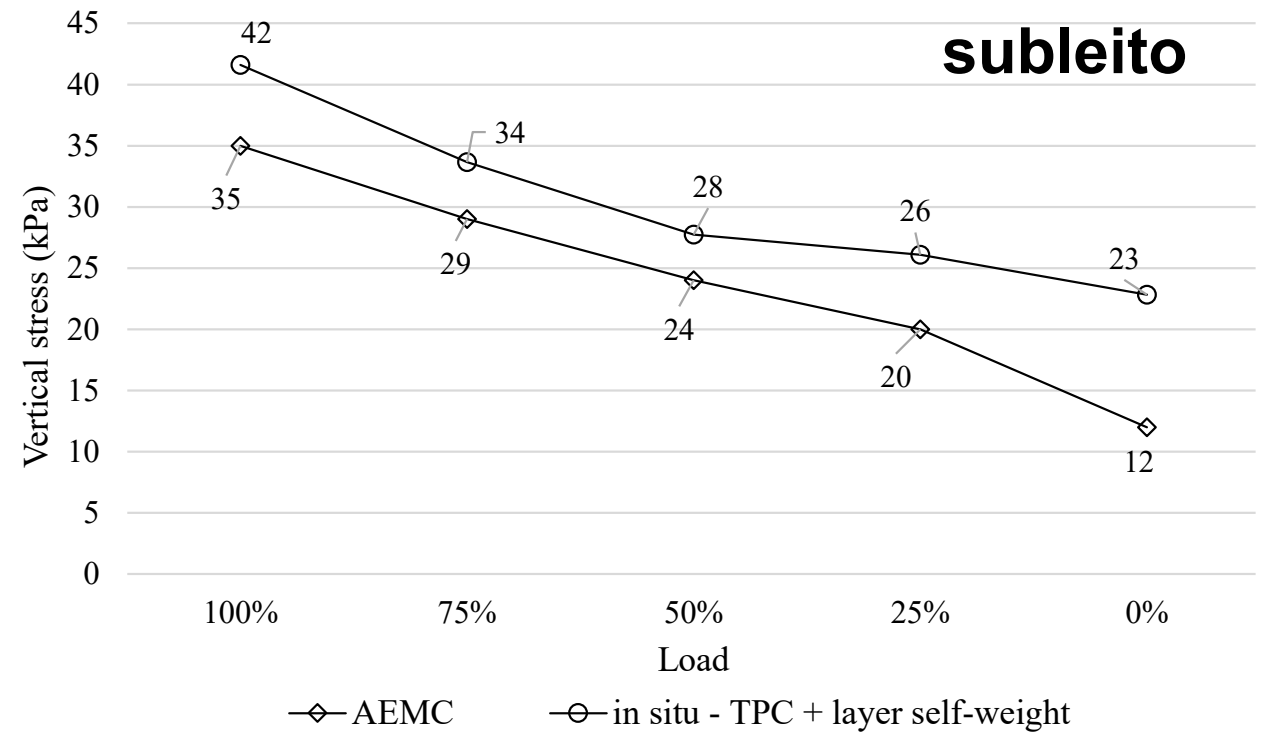
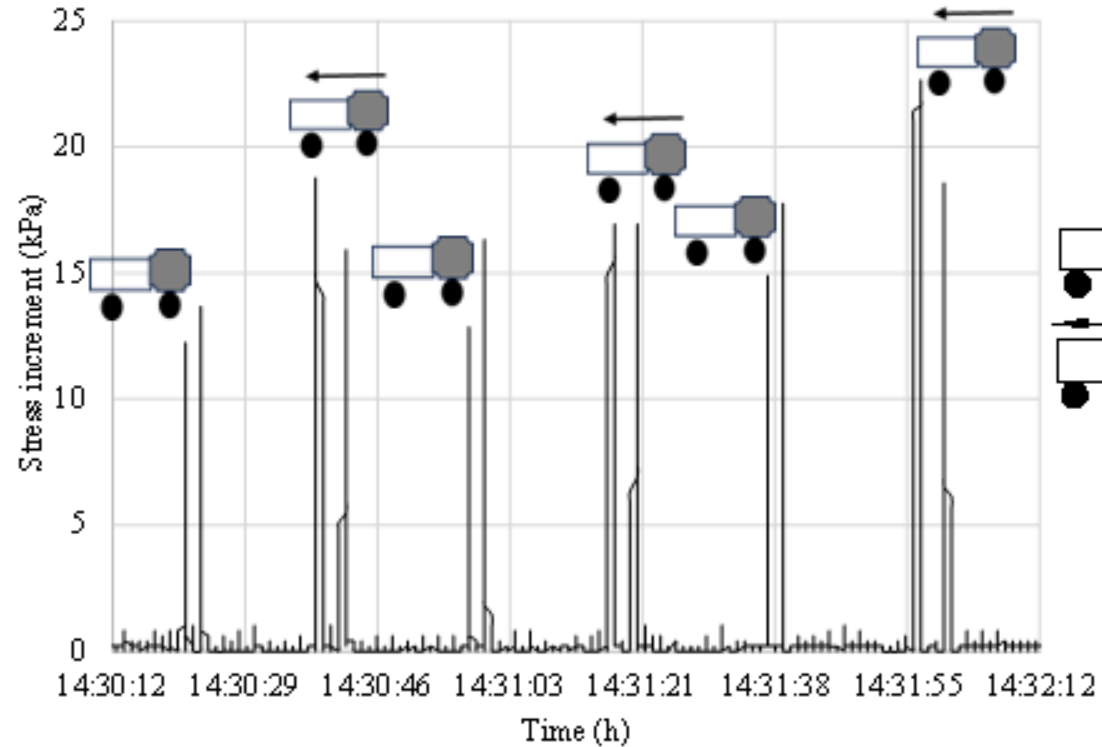


b) Meio do Revestimento

Calibração In Situ / Medido x Previsto

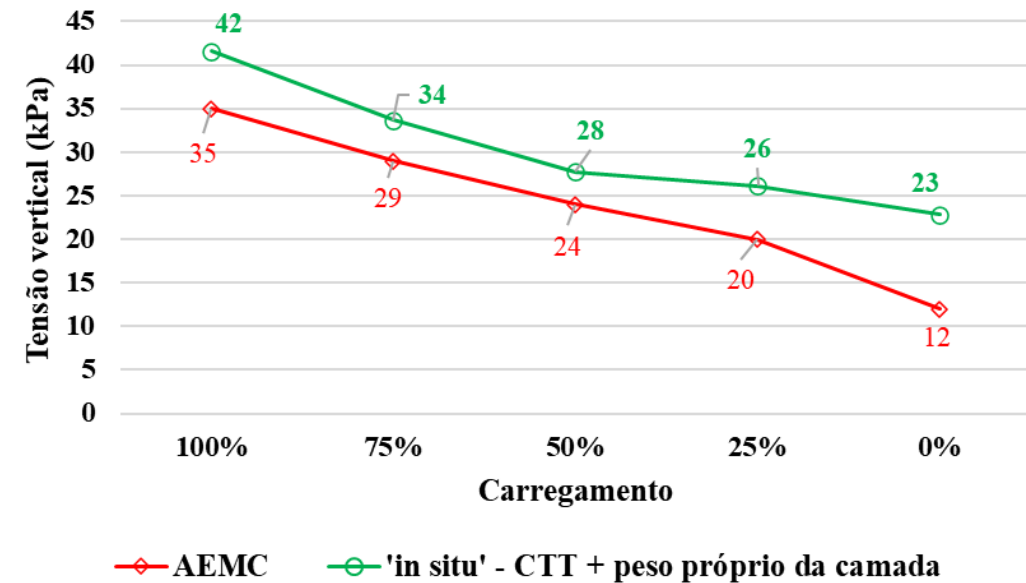
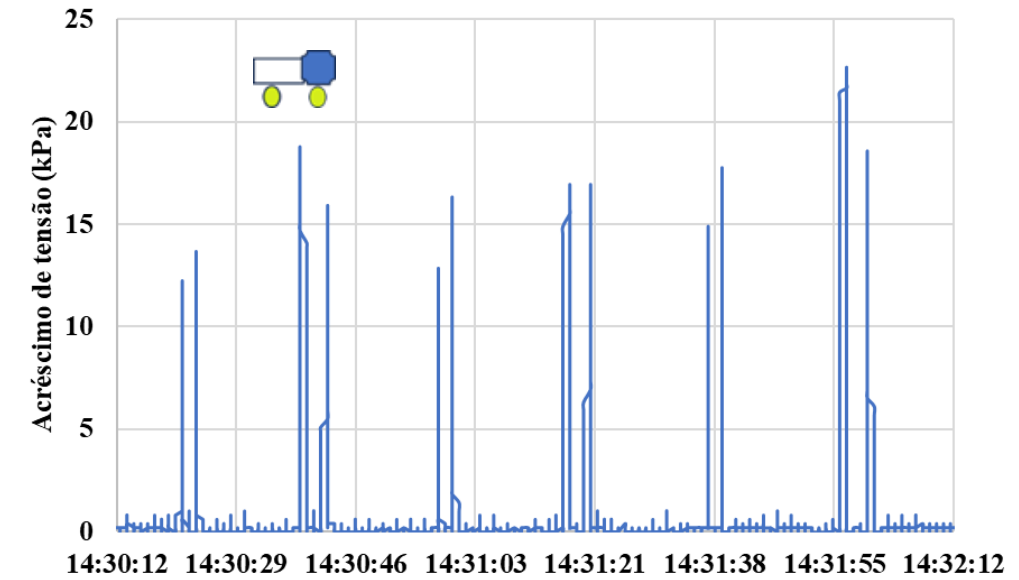
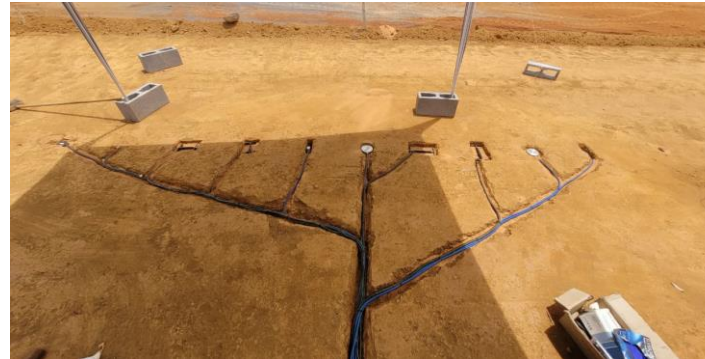
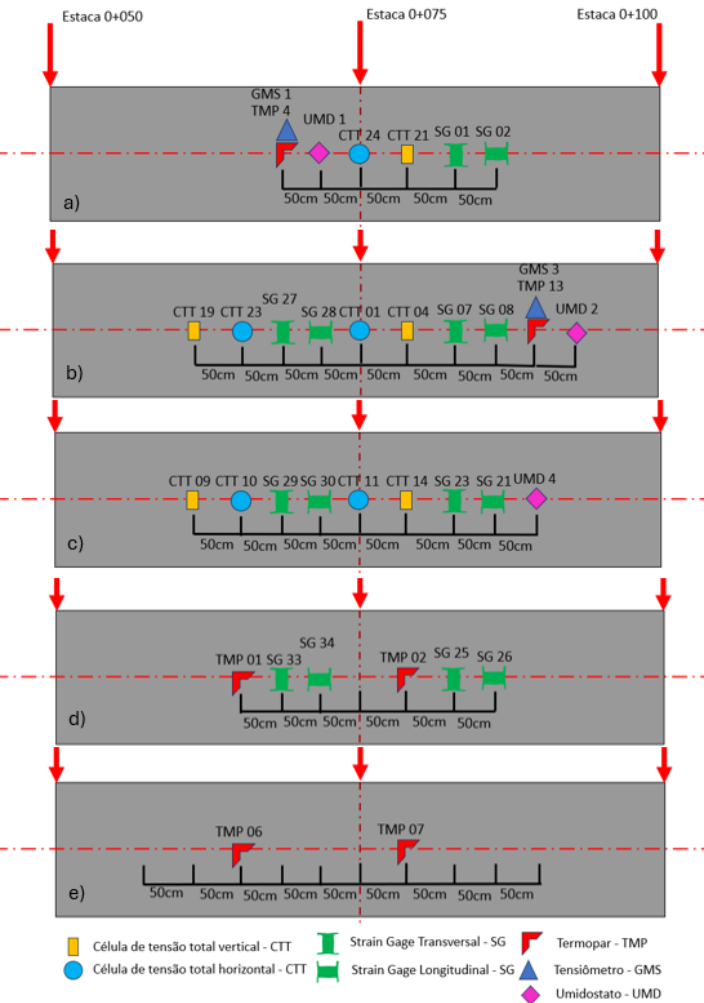


Medição x Previsão (AEMC)



Comportamento – medido x previsto

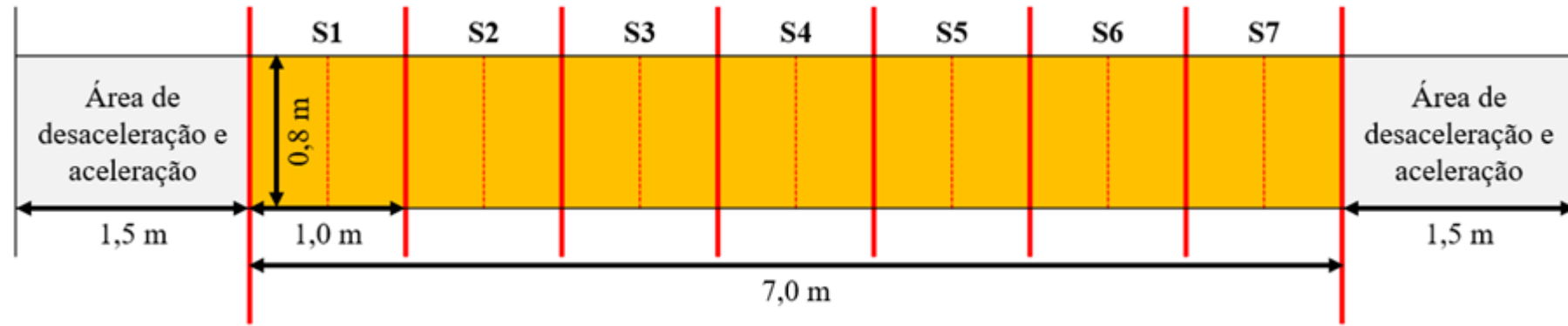
De Paula, 2025



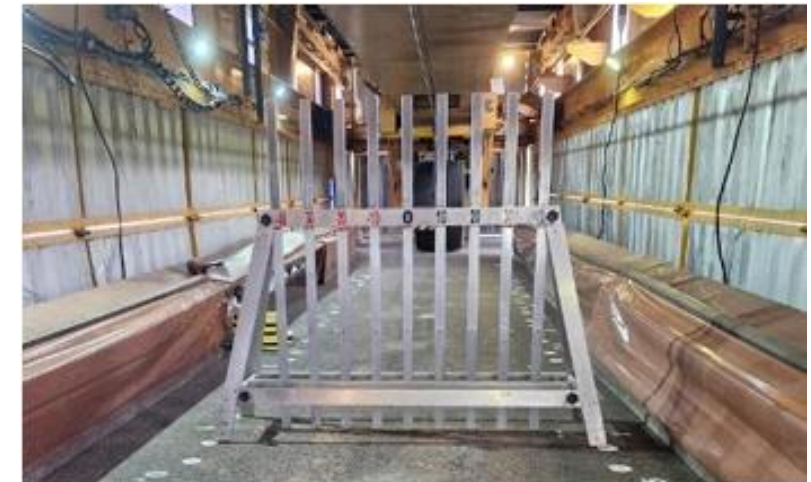
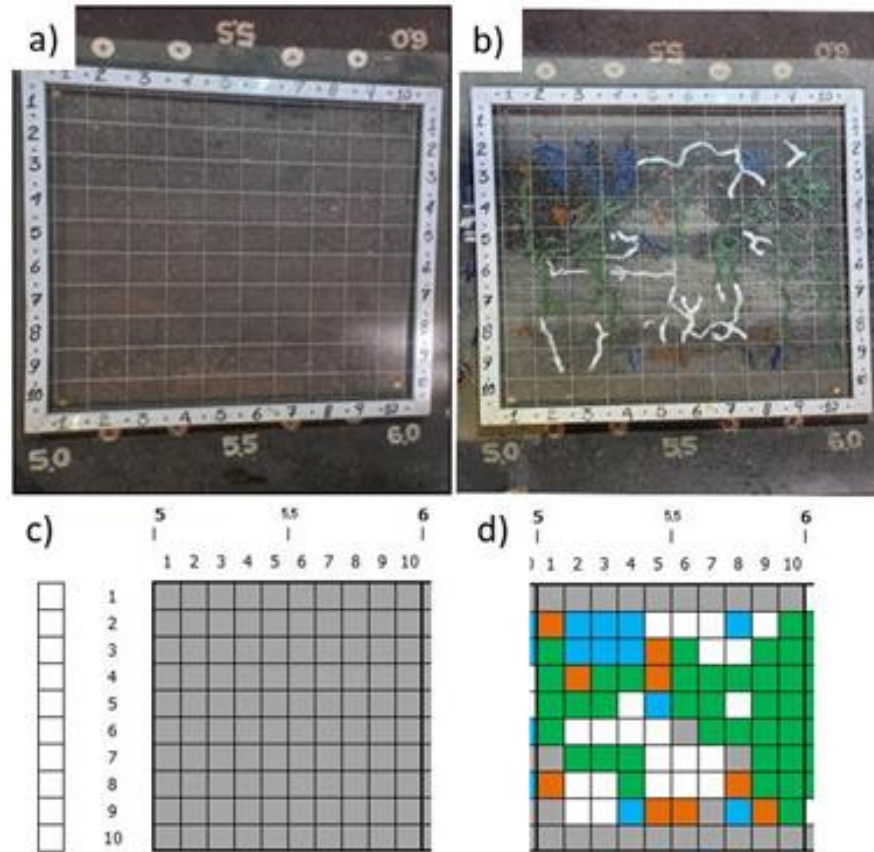
Simulador de Tráfego em Pistas Instrumentadas



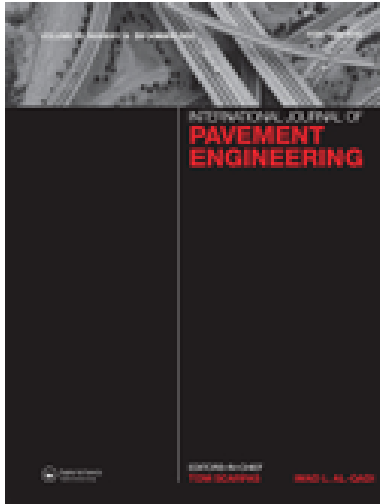
Passagem do Eixo



Monitoramentos Tradicionais de um SGP



Produções Científicas



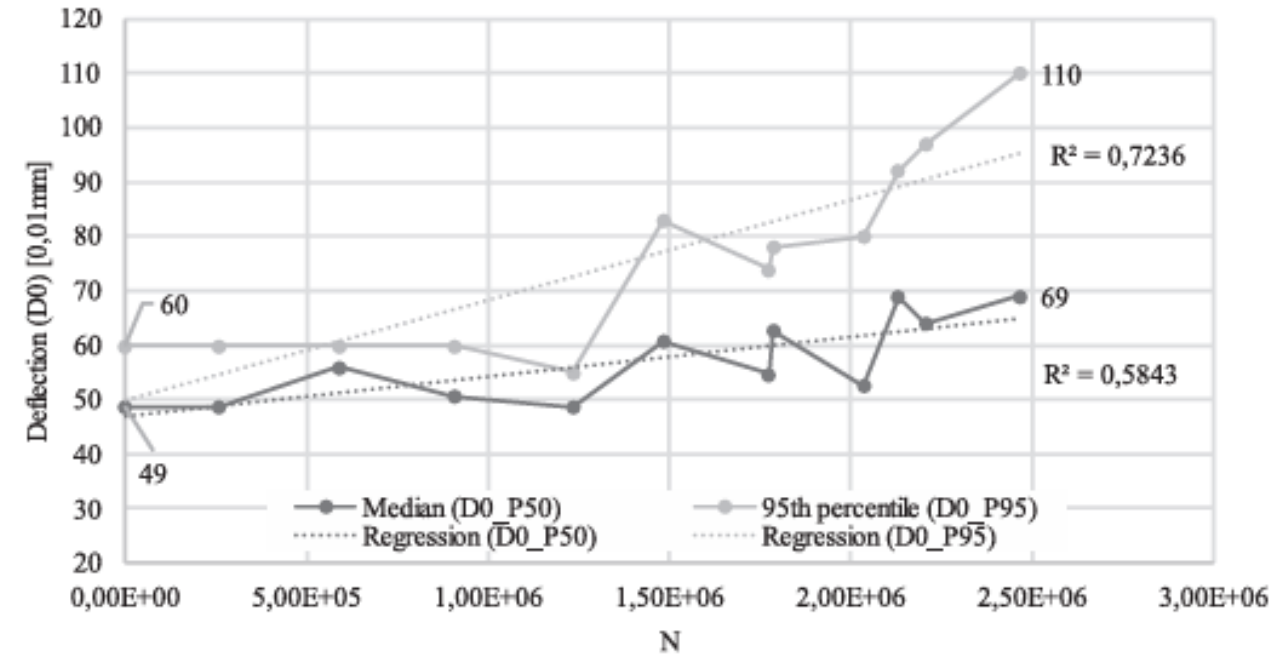
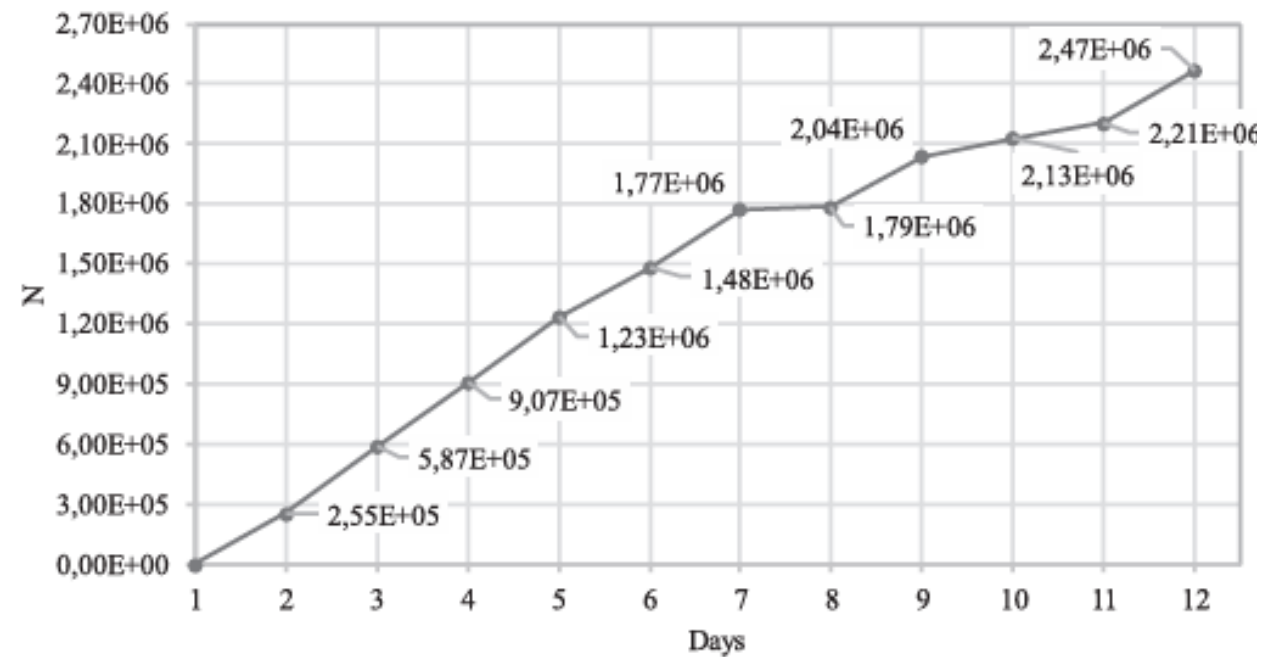
International Journal of Pavement Engineering

ISSN: 1029-8436 (Print) 1477-268X (Online) Journal homepage: www.tandfonline.com/journals/gpav20

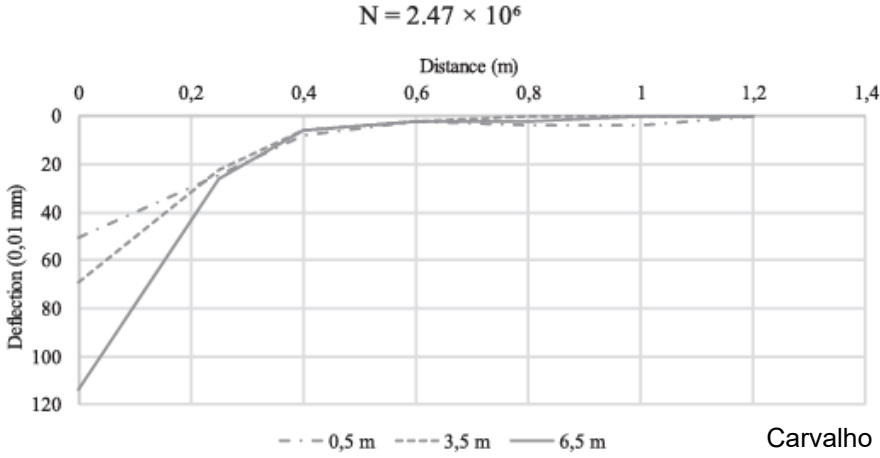
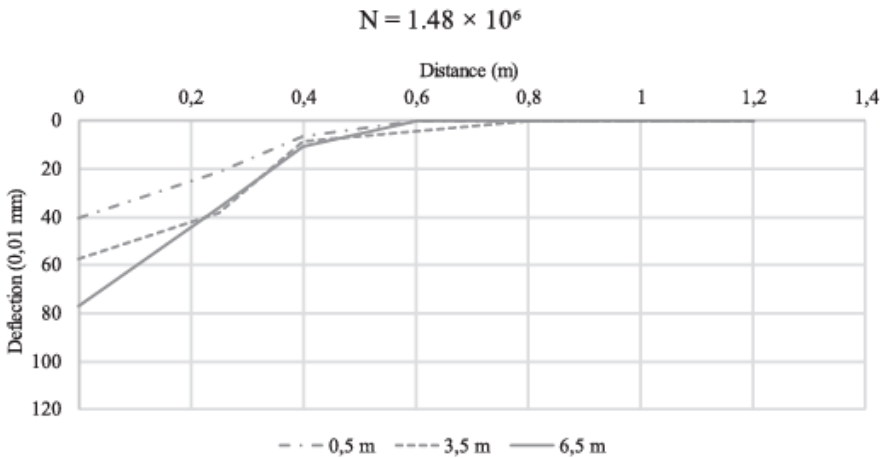
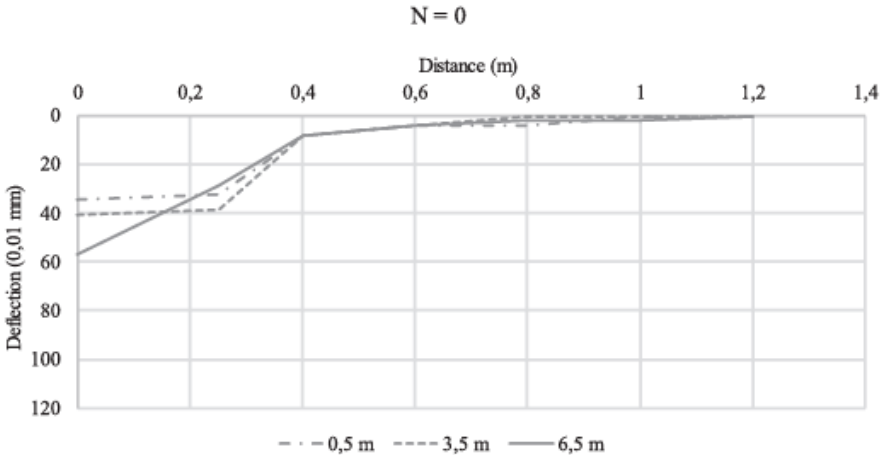
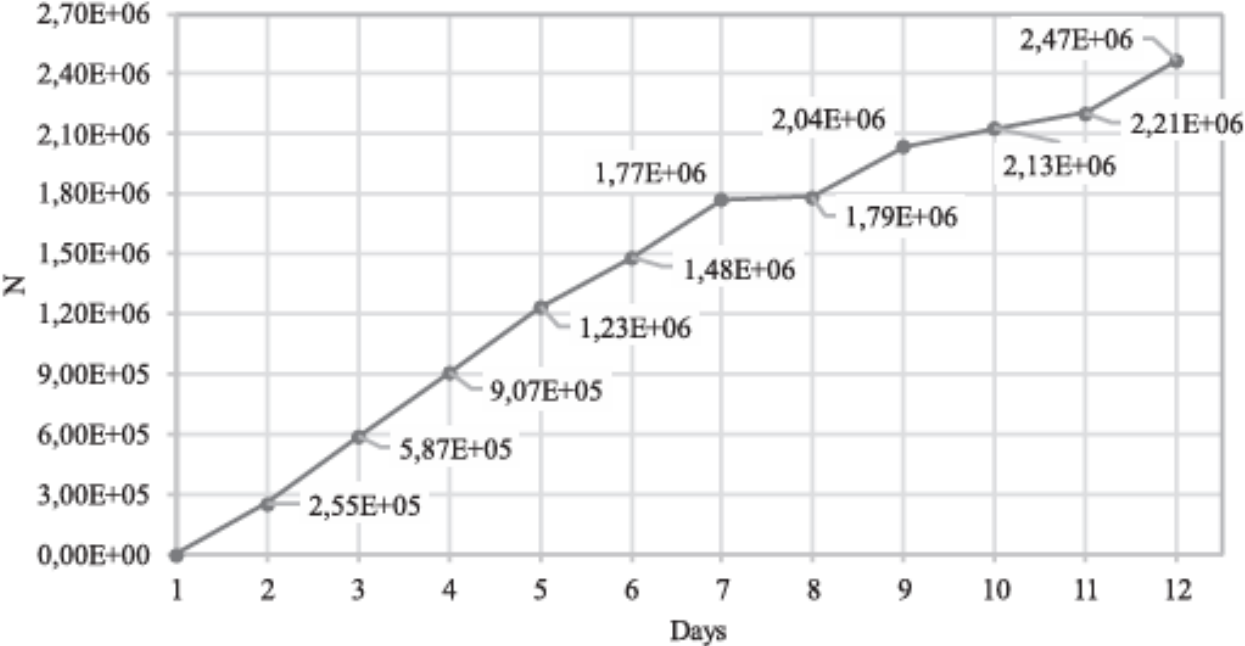
Flexible pavements under accelerated traffic loading: integration of surface response and internal stresses

Isabela Silva de Carvalho , Raul Tadeu Lobato Ferreira , Marcio Muniz de Farias , Rafael Cerqueira Silva & Luiz Guilherme Rodrigues de Mello

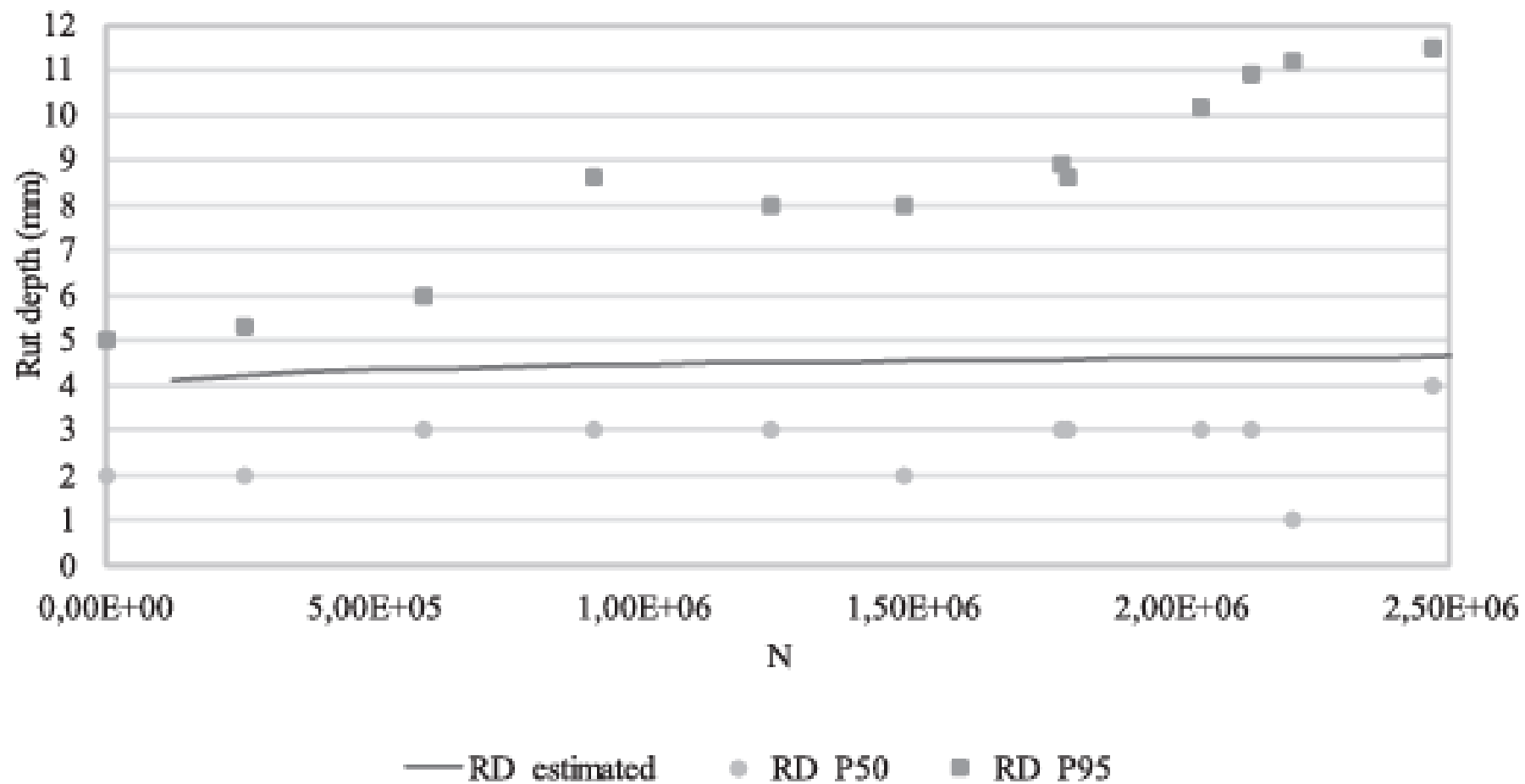
Número N e Deflexão Máxima Do



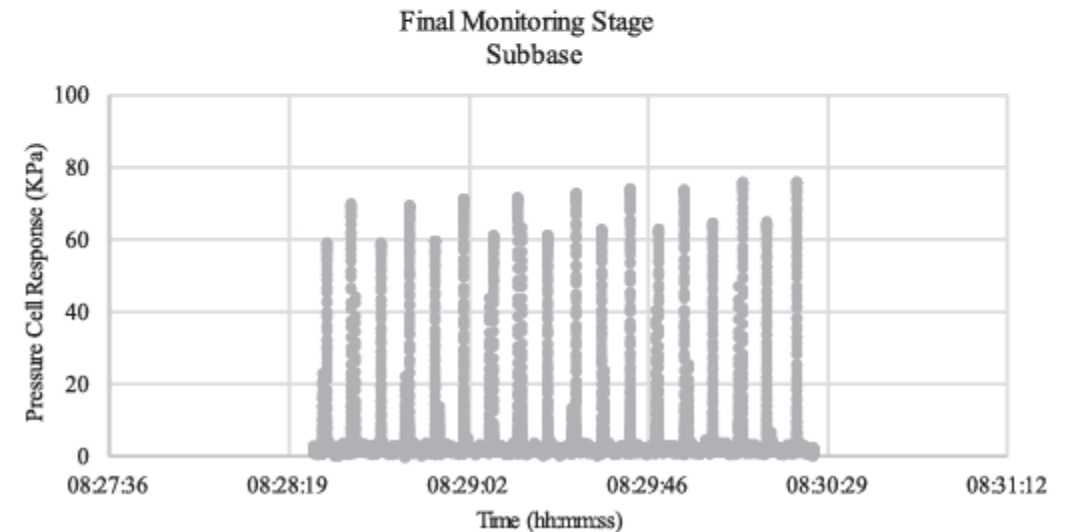
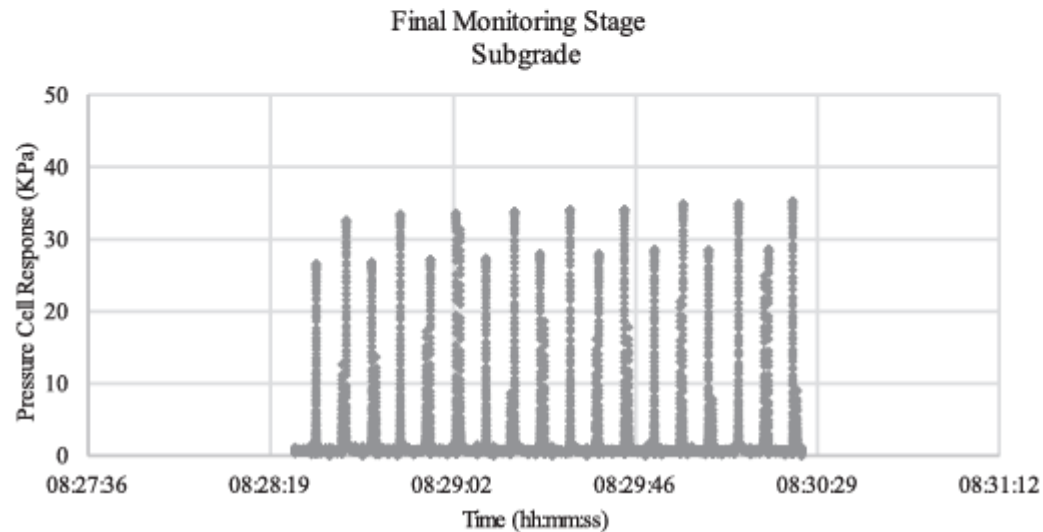
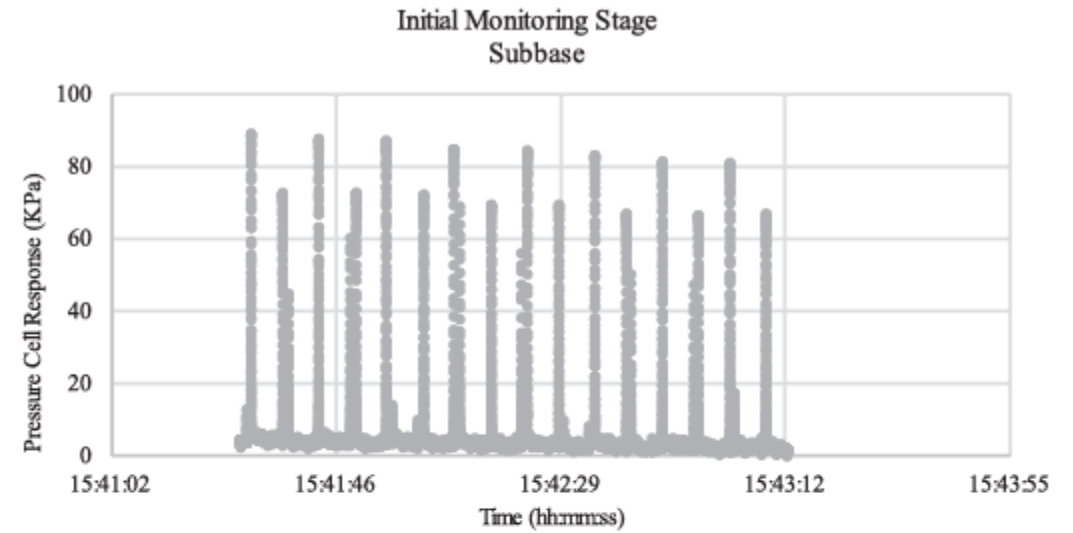
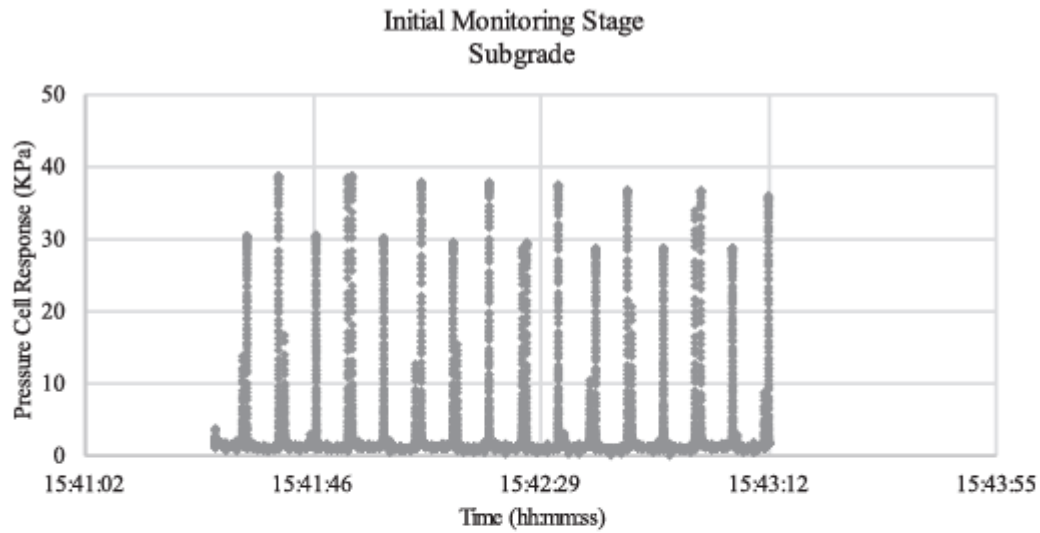
Número N e Bacia Deflexão



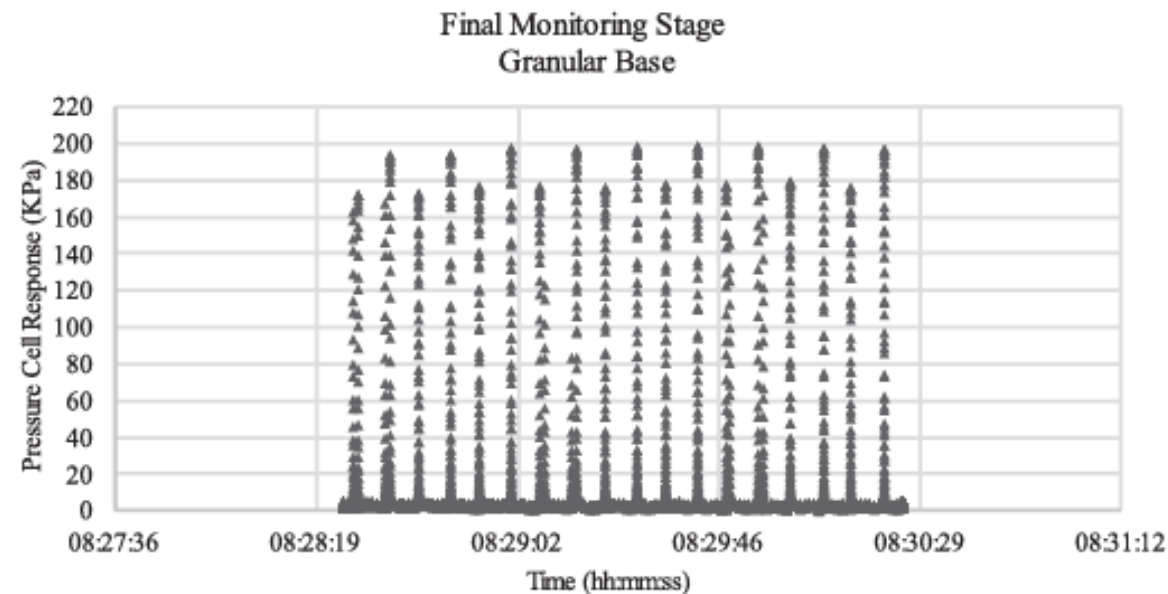
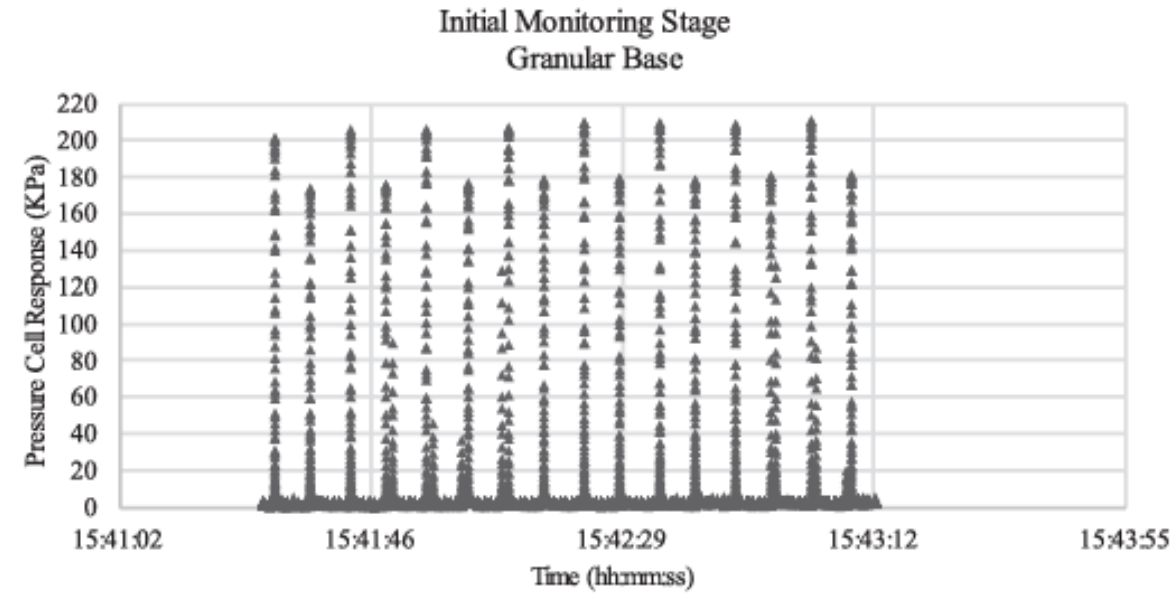
Evolução do Afundamento em Trilha de Roda (ATR)



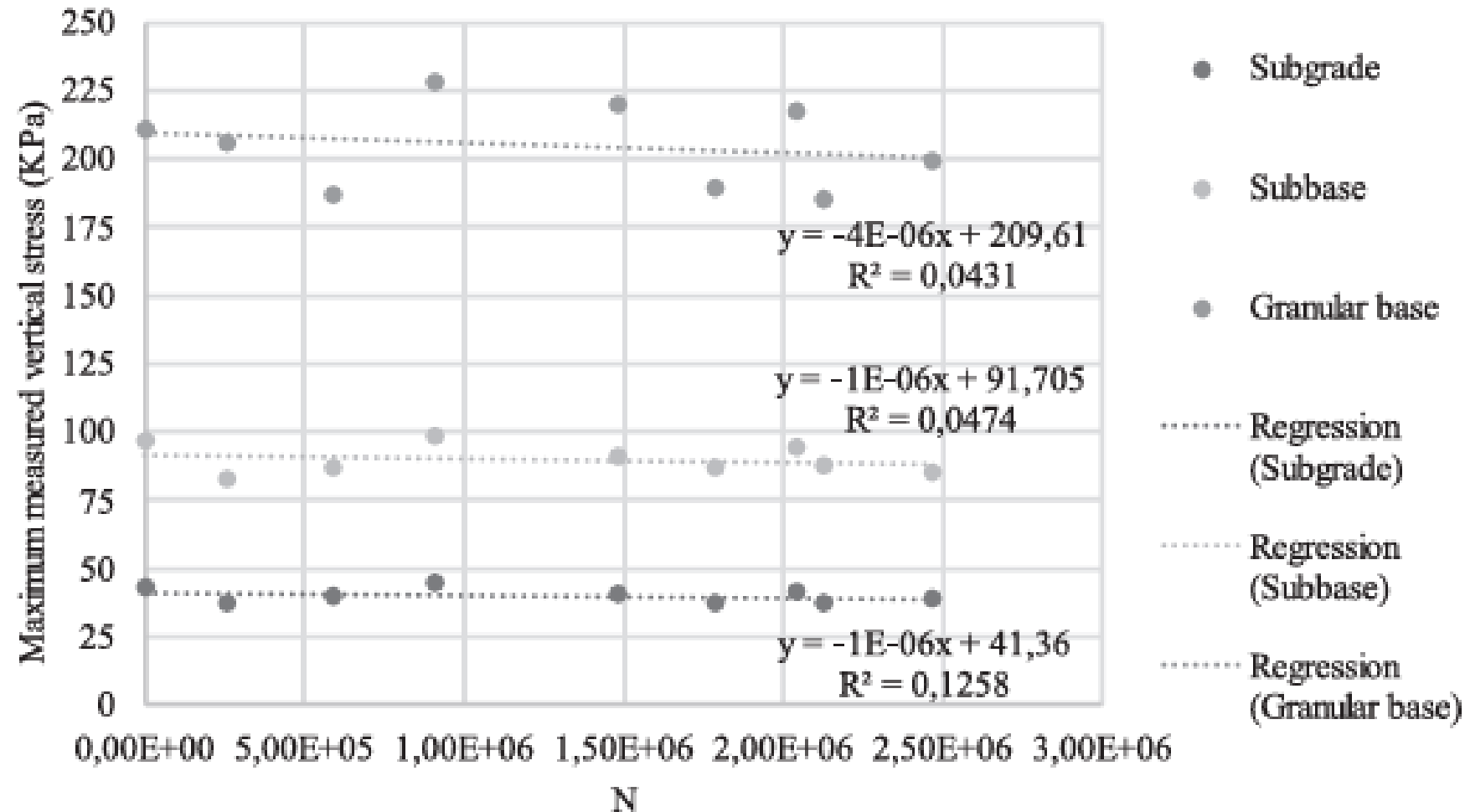
Tensões no subleito e sub-base



Tensões na Base



Evolução da Tensão Vertical Máxima





Caso 6

Whitetopping com Simulador de Tráfego 2024

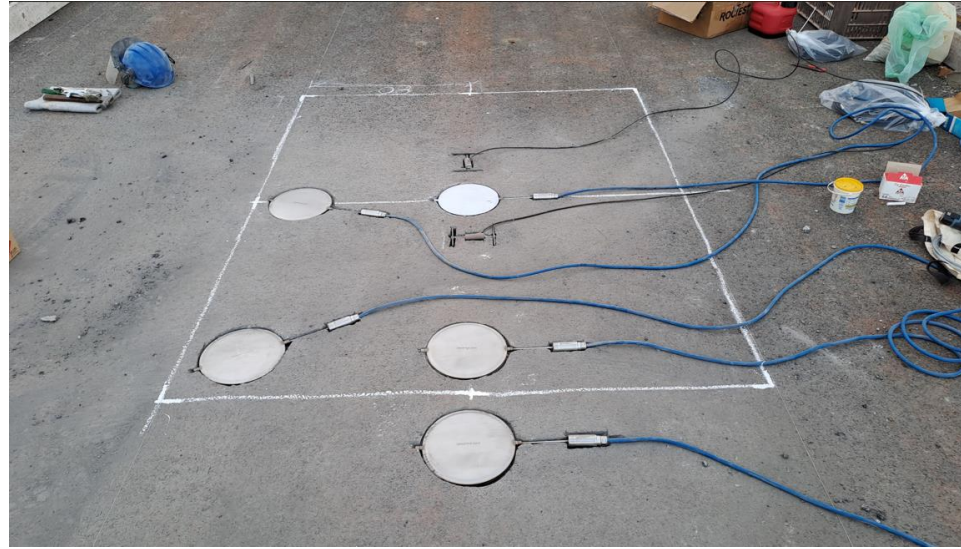
Monitoramento

Pavimento Flexível até Trincamento >30%



Instrumentação / Monitoramento

Whitetopping com Simulador de Tráfego



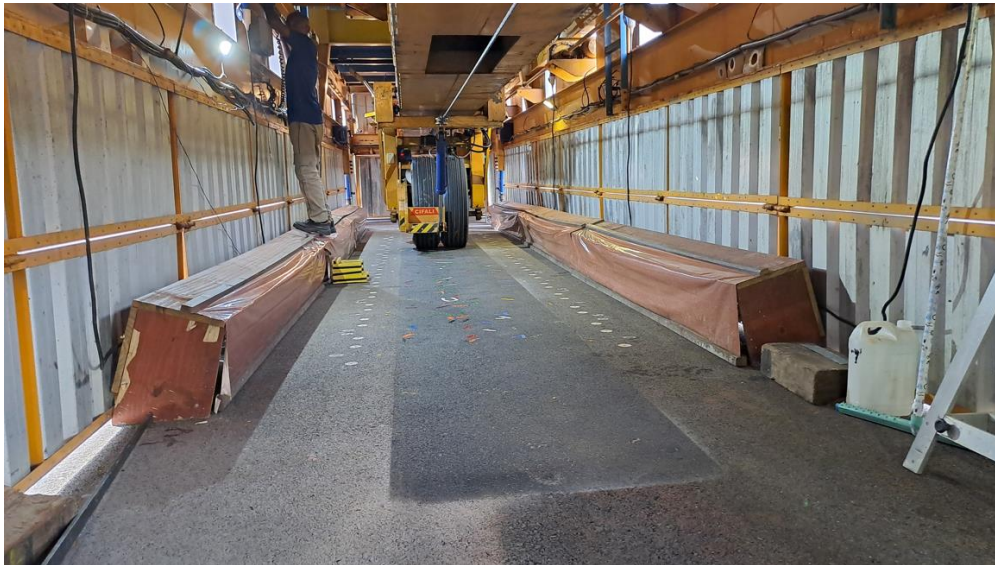
Instrumentação / Monitoramento

Whitetopping com Simulador de Tráfego

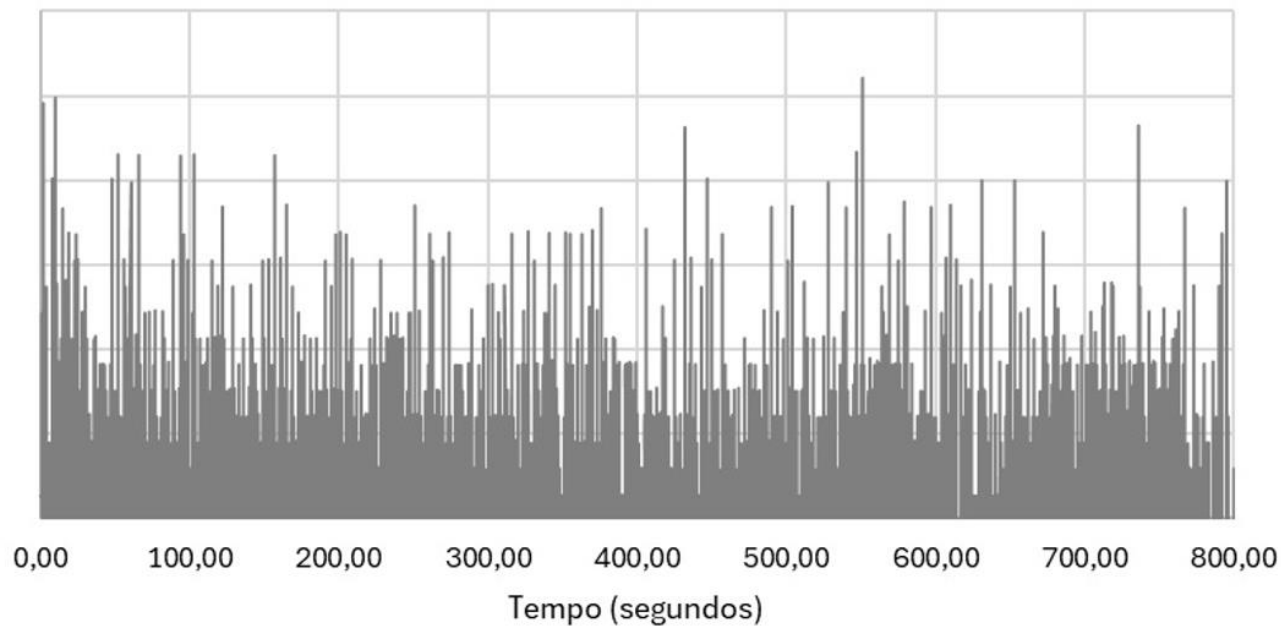


Instrumentação / Monitoramento

Whitetopping com Simulador de Tráfego

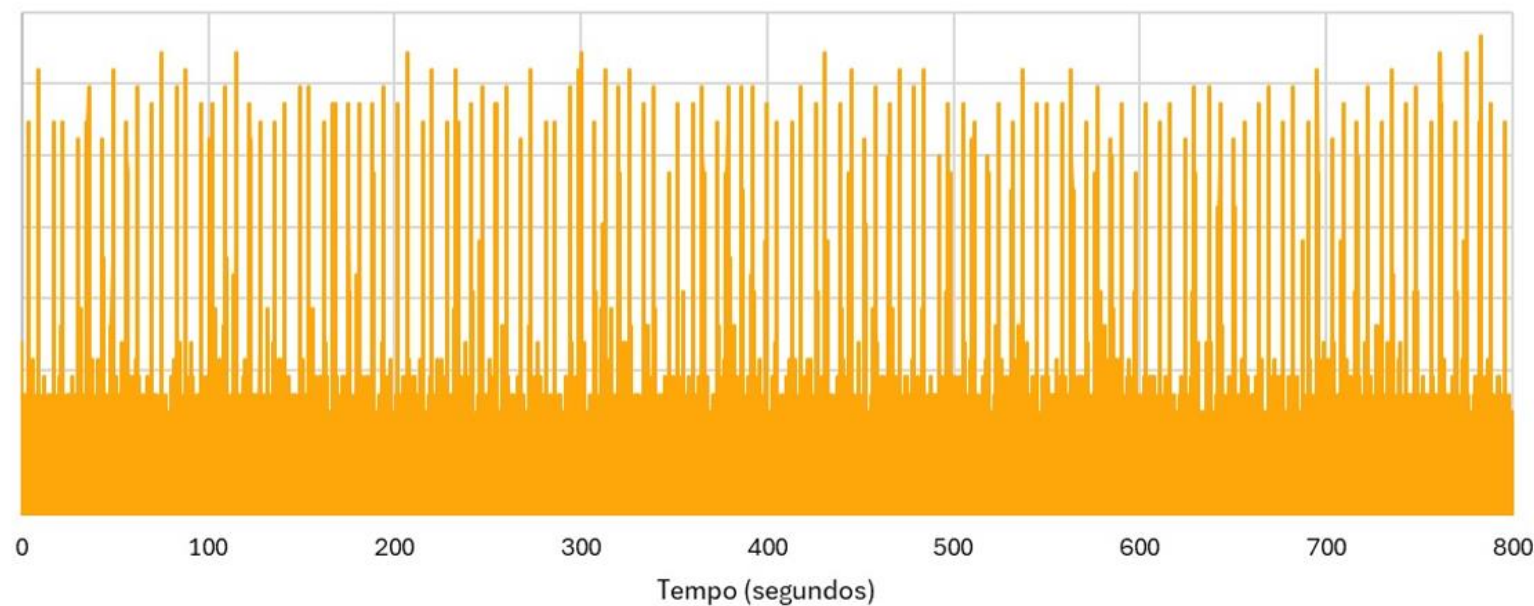


Deformação ($\mu\epsilon$)



Deformações e Tensões mobilizadas pelo Simulador de Tráfego

Variação da Tensão (kPa)





Caso 7

Pavimento Rígido do DF

2025

Aprimoramento do Sistema de Aquisição de Dados



Fabricações e Calibrações



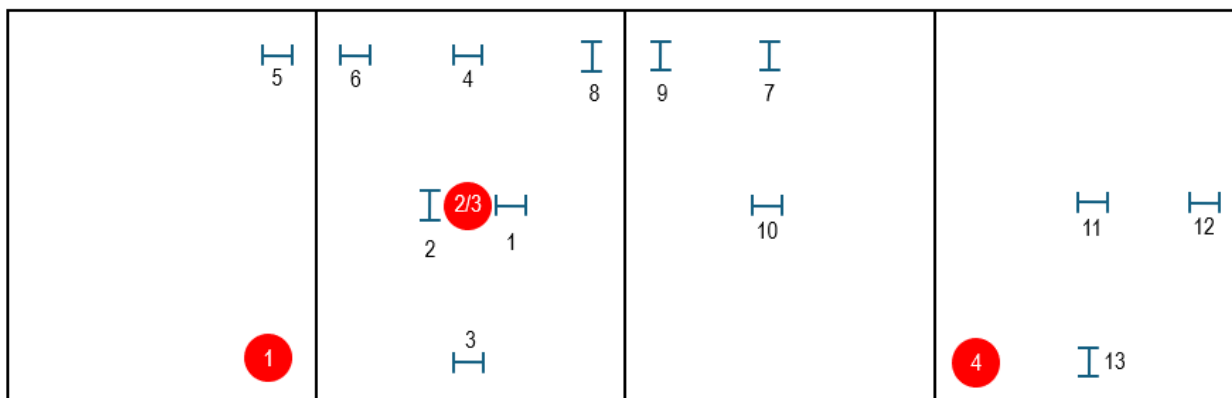
Instrumentação – Subleito e Base – Tensões CTT



Instrumentação – Tensões (CTT) e Deformações (Hgages)



Instrumentação – Hgages e CTT



Concretagem



Aplicação do Carregamento



Sem carga



25% de carga



100% de carga



75% de carga



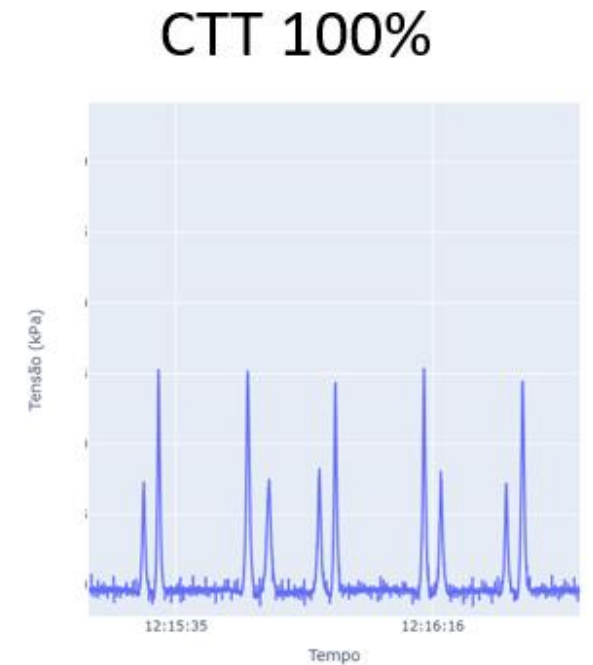
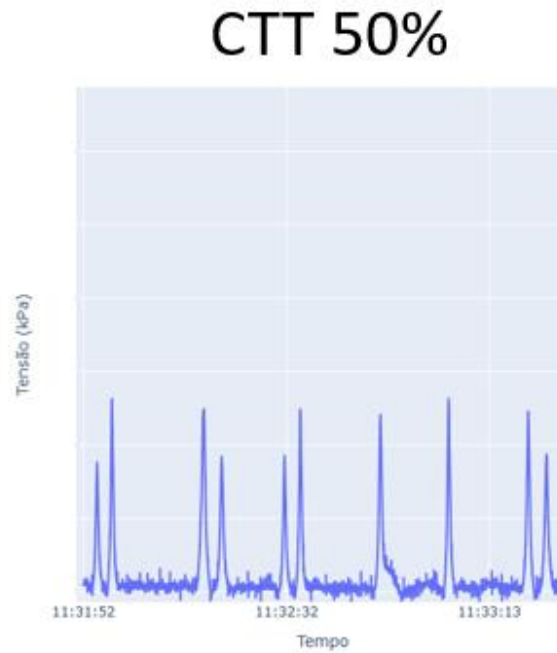
50% de carga

Monitoramento dos Diferentes Carregamentos (0, 25%, 50%, 75%, 100%)

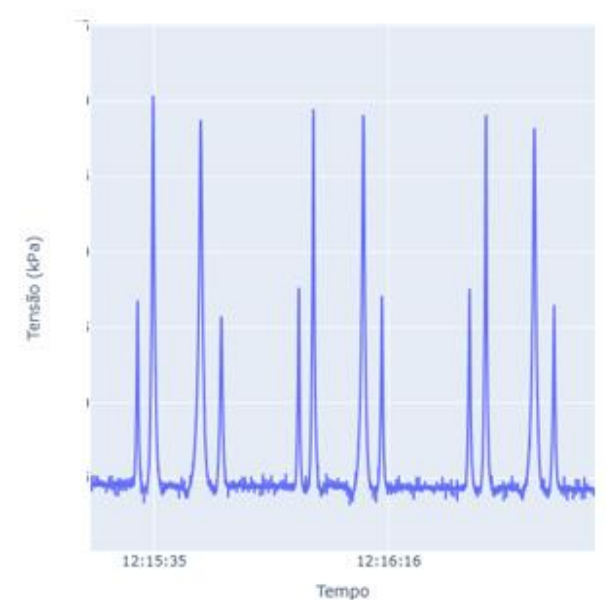
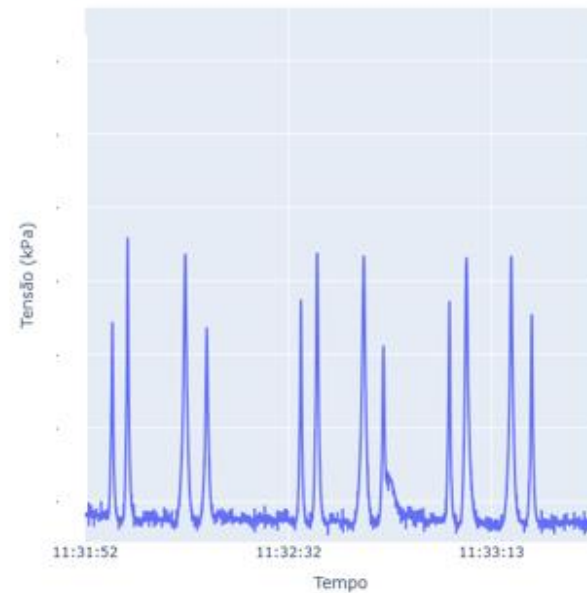


Tensões para Diferentes Cargas

**CTT
Centro**

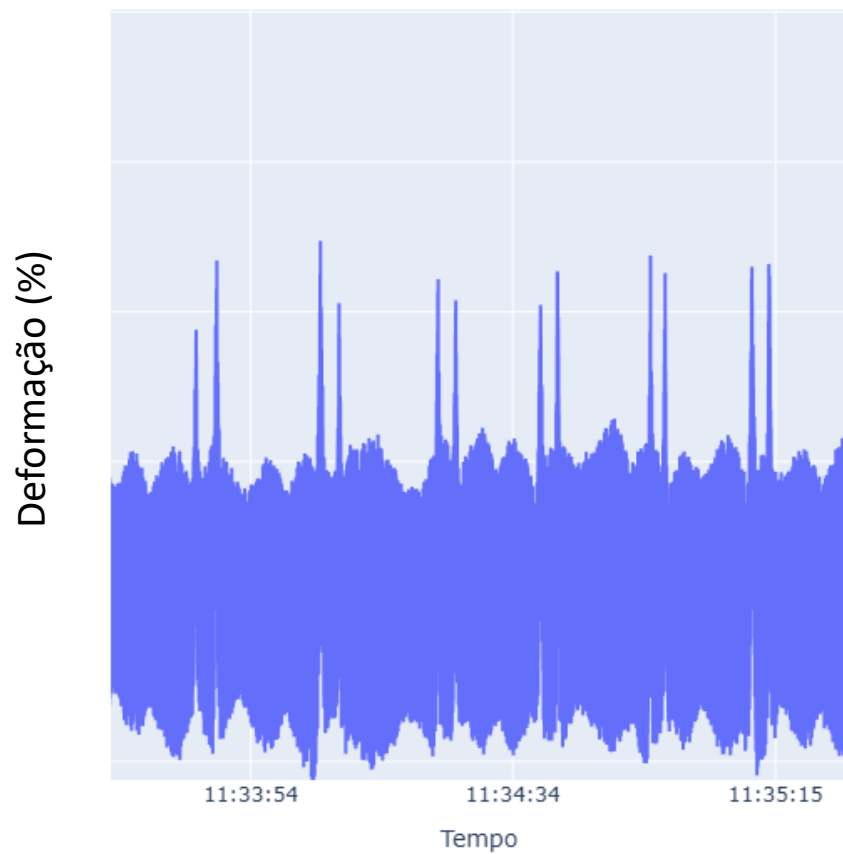


**CTT
Trilha de
Roda**

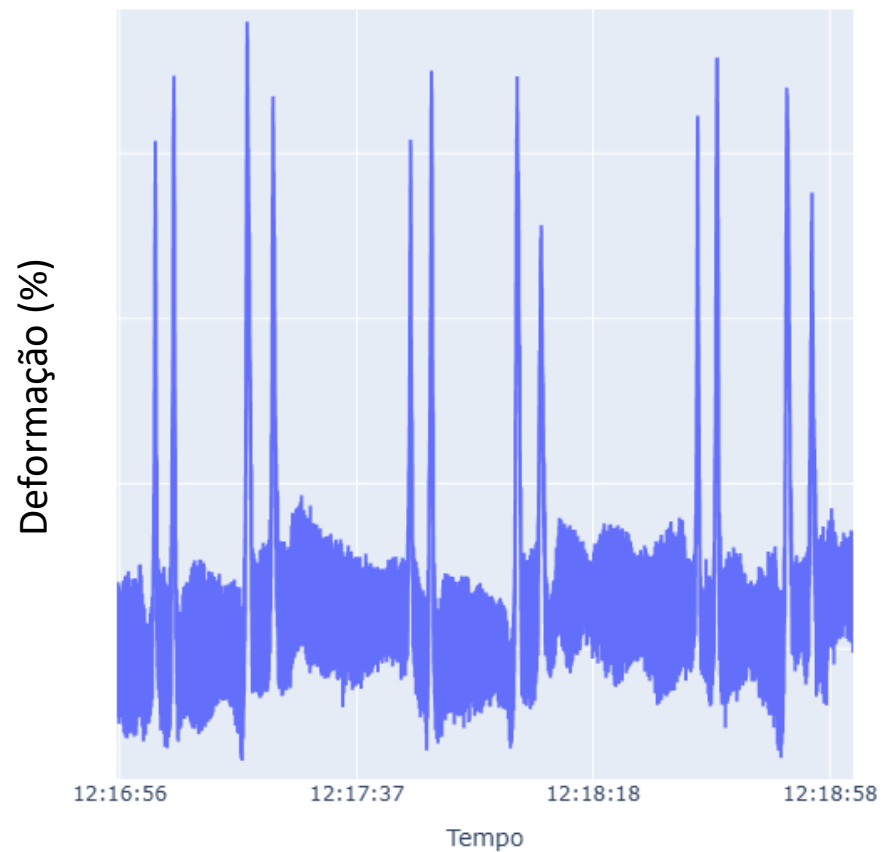


Deformações para Diferentes Cargas

STG 50%



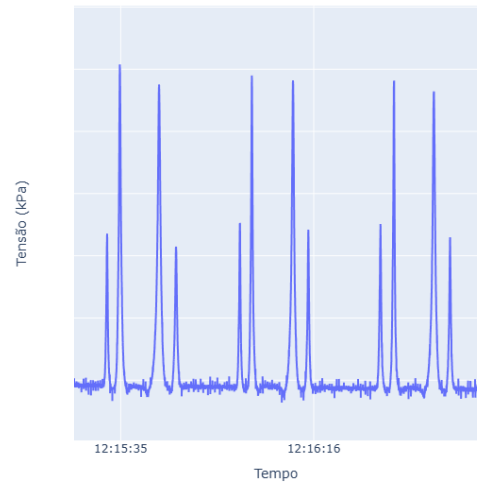
STG 100%



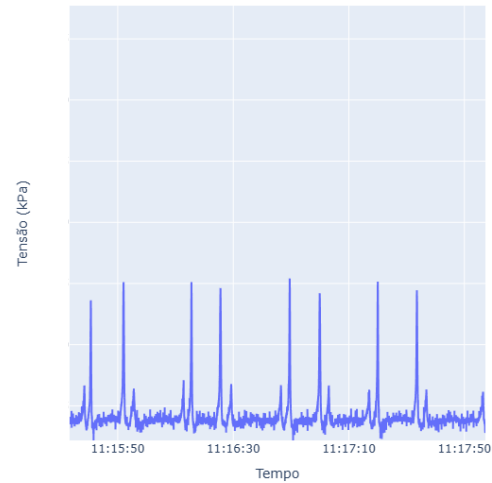
Monitoramento – Dias de Cura 3, 7, 14 e 28

CTT
Trilha de
Roda

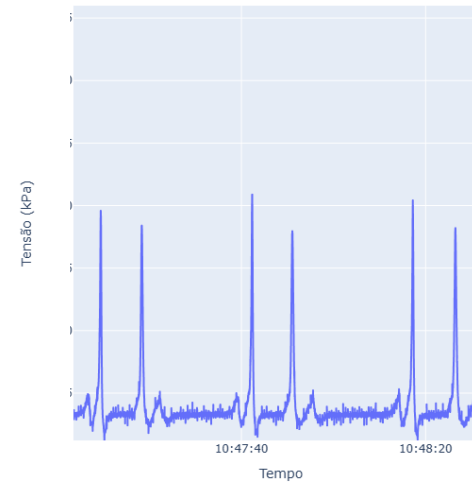
CTT 3 DIAS



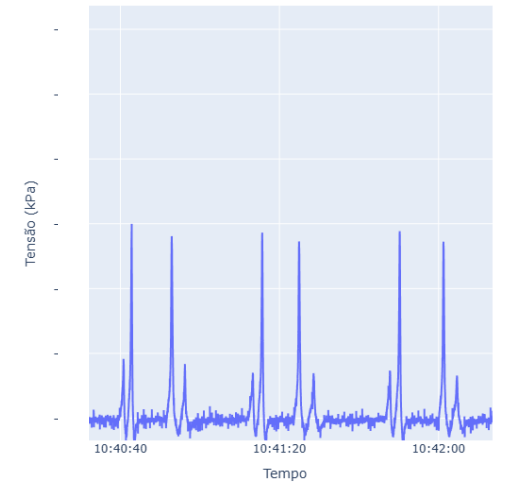
CTT 7 DIAS



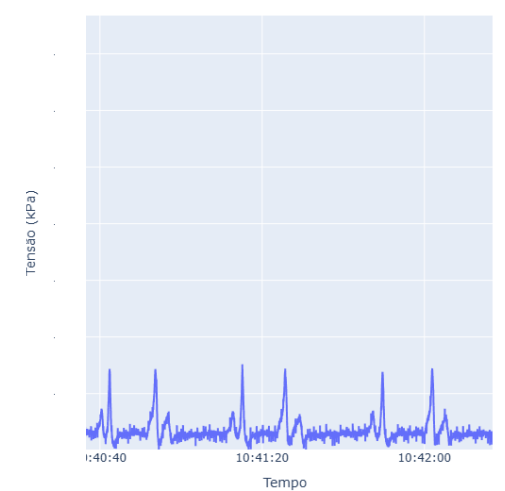
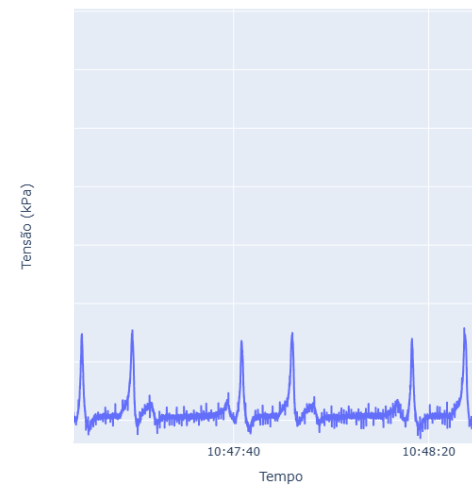
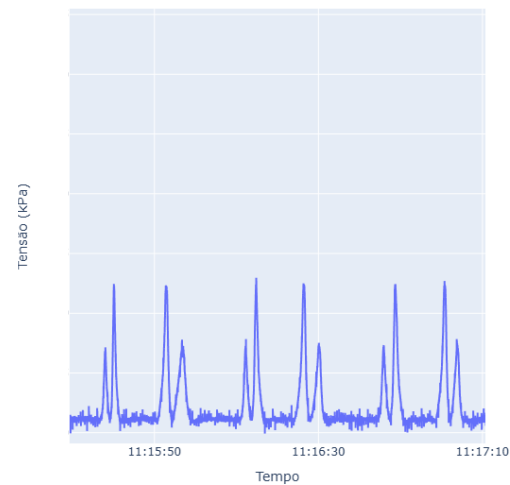
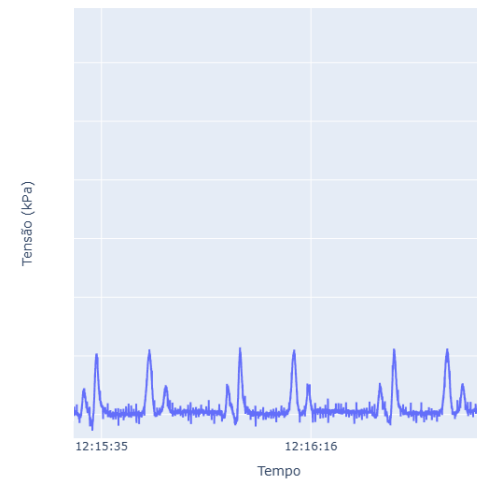
CTT 14 DIAS



CTT 28 DIAS



CTT
Centro



Ensaio em CP - Dias de Cura 3, 7, 14 e 28

Dados do Corpo de Prova							
CP N°	Data da Moldagem	Data do Ensaio	Idade (dias)	Diâmetro do Corpo de Prova (mm)	Altura do Corpo de Prova (mm)	Preparação	Resistência Efetiva $f_{c,ef}$ (MPa)
3	27/10/25	11/11/2025	15	97,30	199,90	Retífica / Neo	27,40

Determinação do Módulo de Deformação Secante (Ecs)			
Etapa	Tensão (MPa)	Deformação (%)	Ecs,i (GPa)
1°	0,52	0,0015%	-
2°	5,68	0,0184%	30,46
3°	8,57	0,0284%	29,92
4°	11,41	0,0389%	29,14
5°	14,29	0,0488%	29,09
6°	17,21	0,0653%	26,17
7°	20,02	0,0852%	23,30
8°	22,92	0,1126%	20,16

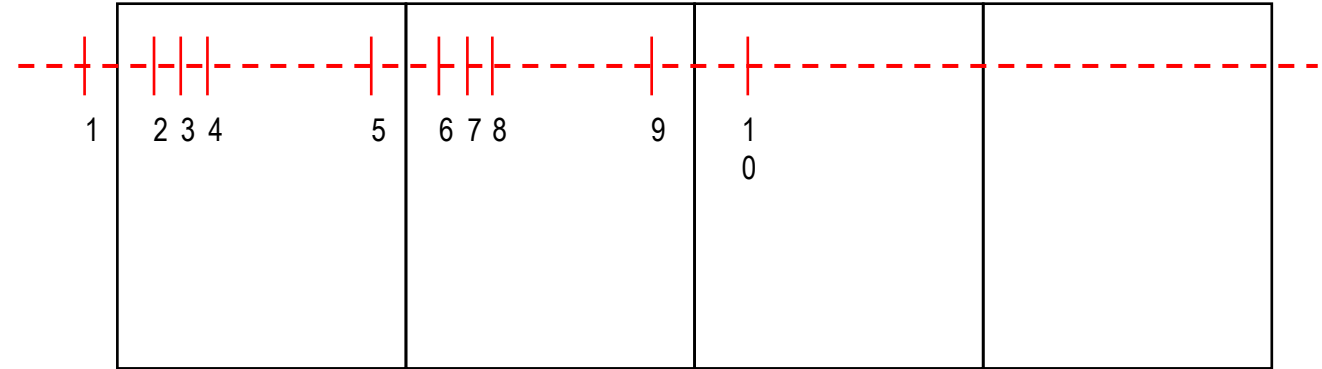


Dados do Corpo de Prova							
CP N°	Data da Moldagem	Data do Ensaio	Idade (dias)	Diâmetro do Corpo de Prova (mm)	Altura do Corpo de Prova (mm)	Preparação	Resistência Efetiva $f_{c,ef}$ (MPa)
3	27/10/25	24/11/2025	28	99,56	197,52	Retífica / Neo	19,40

Determinação do Módulo de Deformação Secante (Ecs)			
Etapa	Tensão (MPa)	Deformação (%)	Ecs,i (GPa)
1°	0,50	0,0010%	-
2°	4,89	0,0144%	32,63
3°	7,30	0,0214%	33,29
4°	9,70	0,0299%	31,84
5°	12,20	0,0409%	29,35
6°	14,60	0,0548%	26,20
7°	17,00	0,0862%	19,37
8°	19,40	0,1584%	12,00



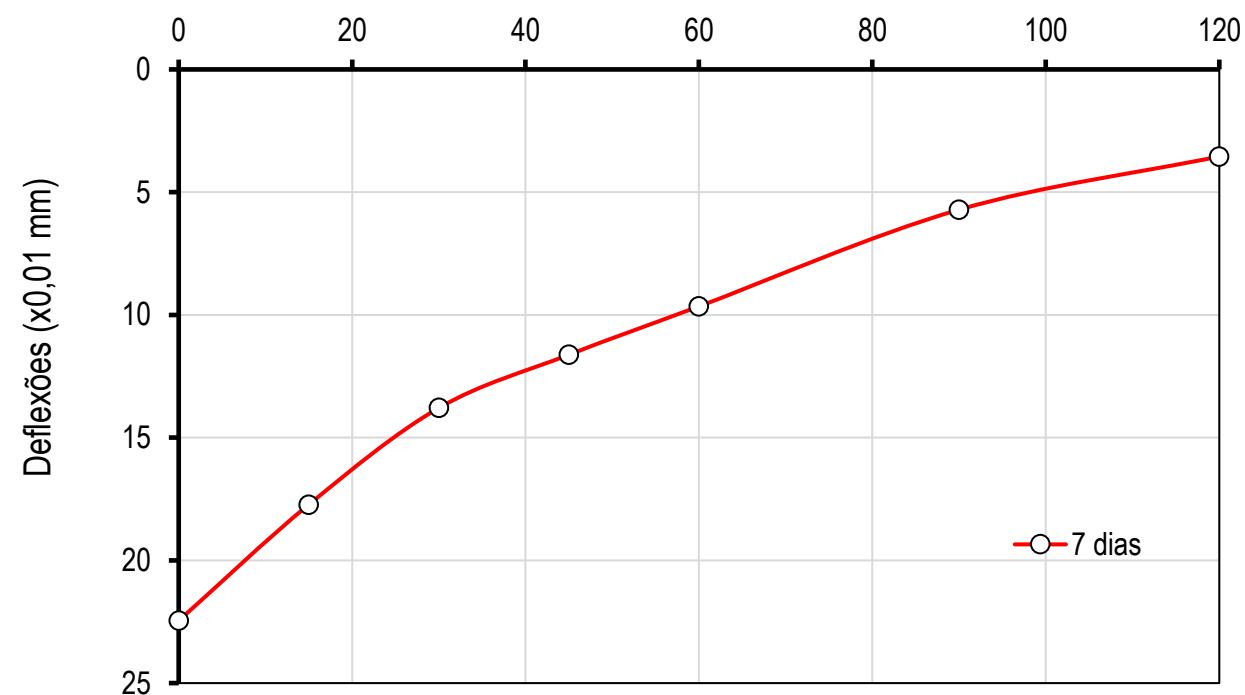
Bacia Deflectométrica - Viga Benkelman (dias 7, 14 e 28)



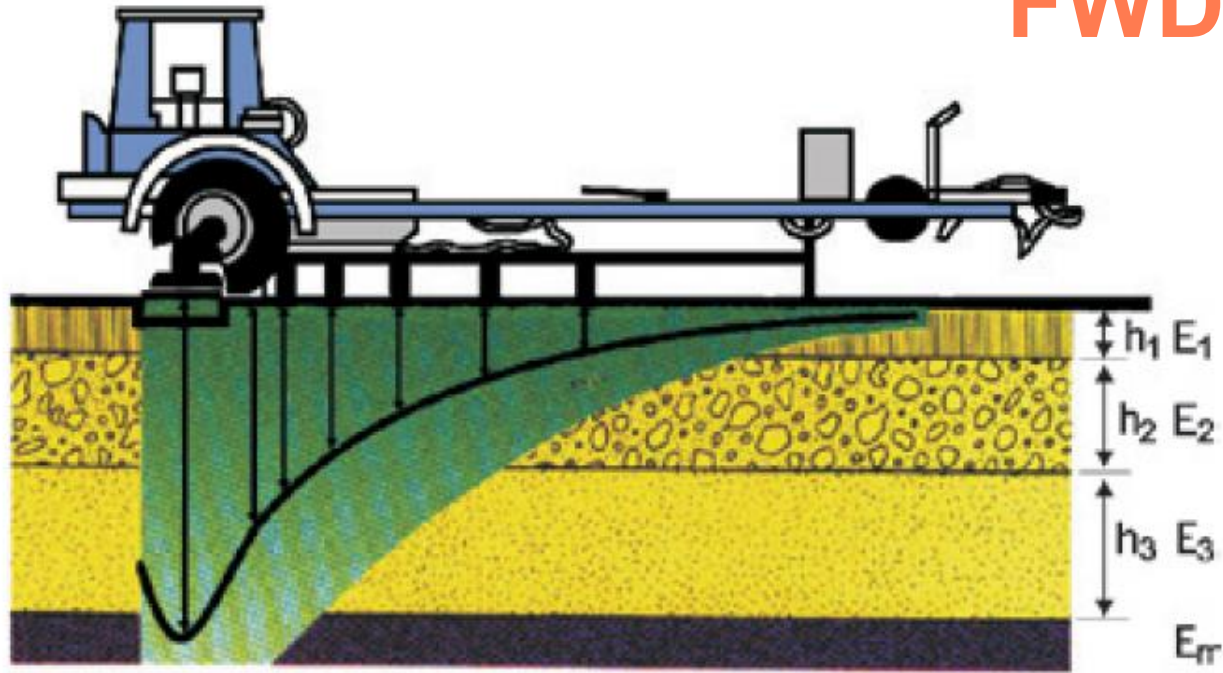


Bacias com VB

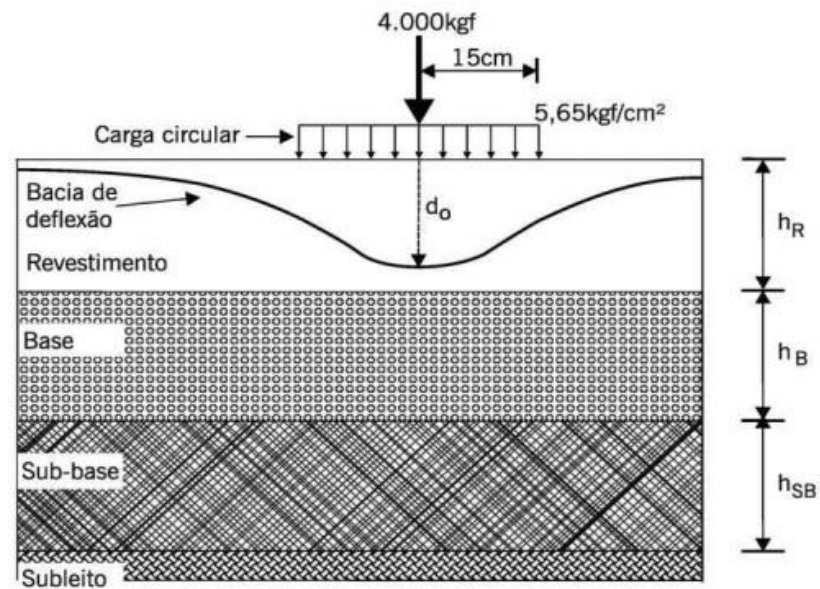
Distância em relação ao ponto de aplicação da carga (cm)



FWD



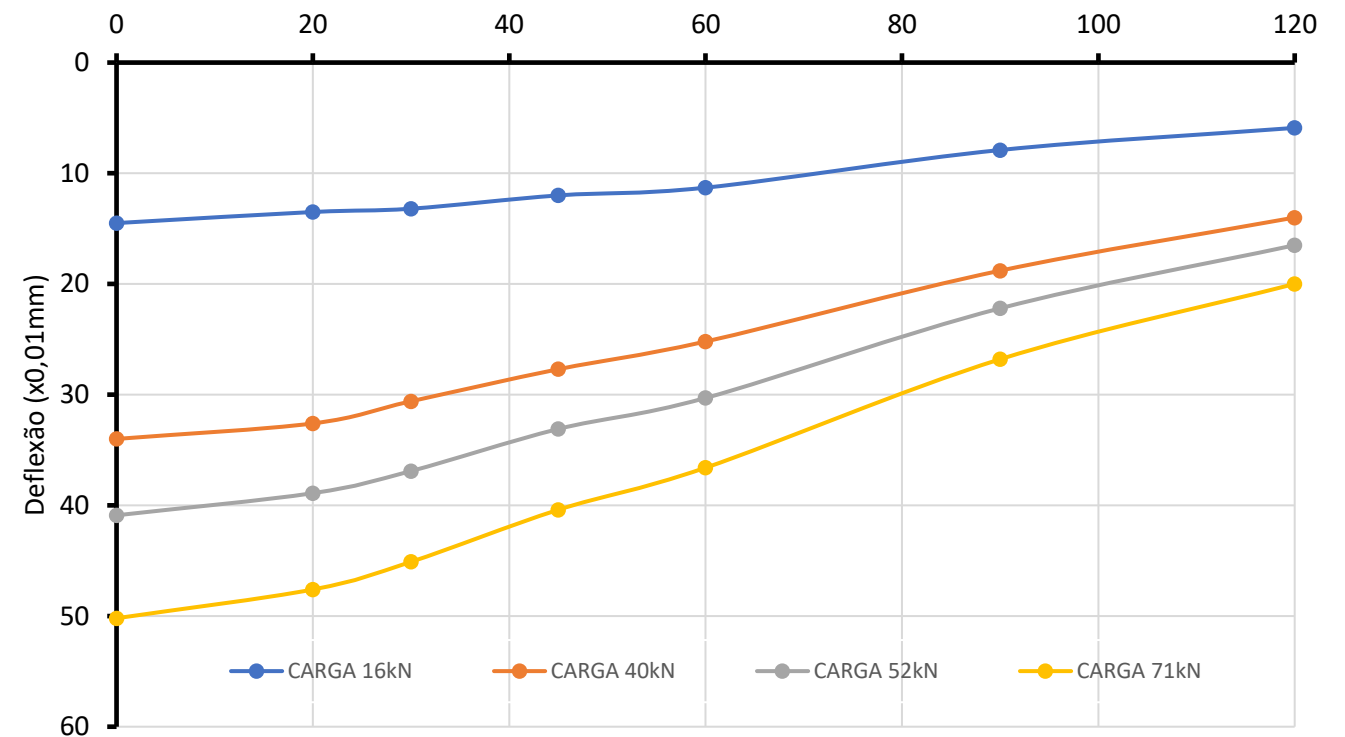
Geofones 0, 20, 30, 45, 60, 90 e 120 cm



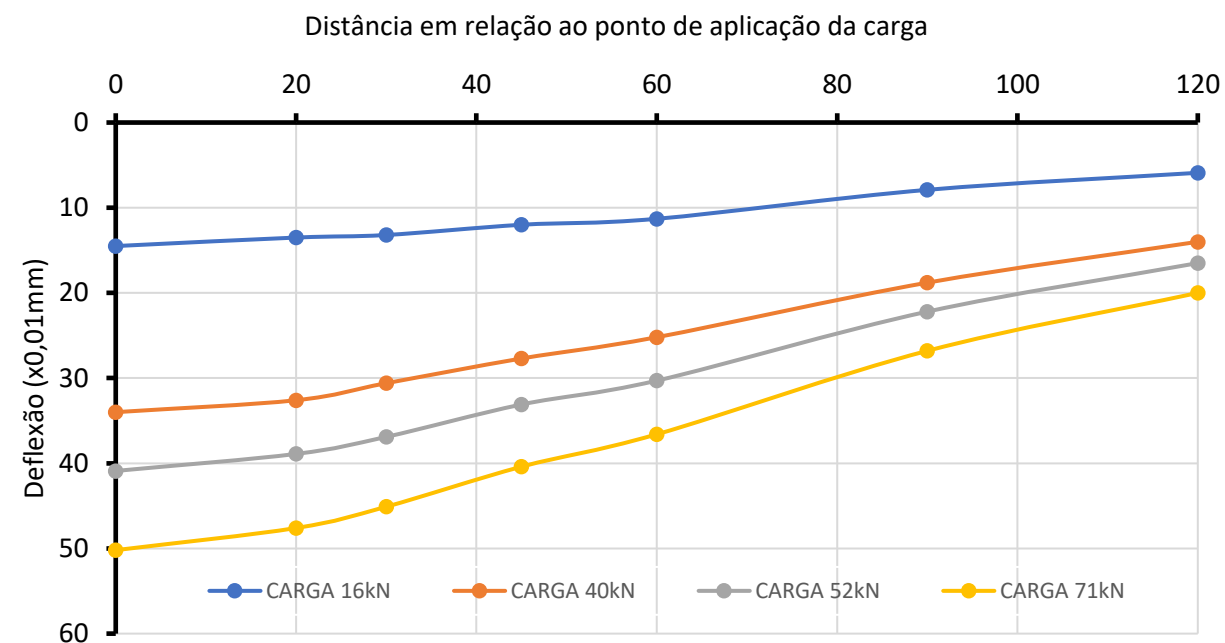
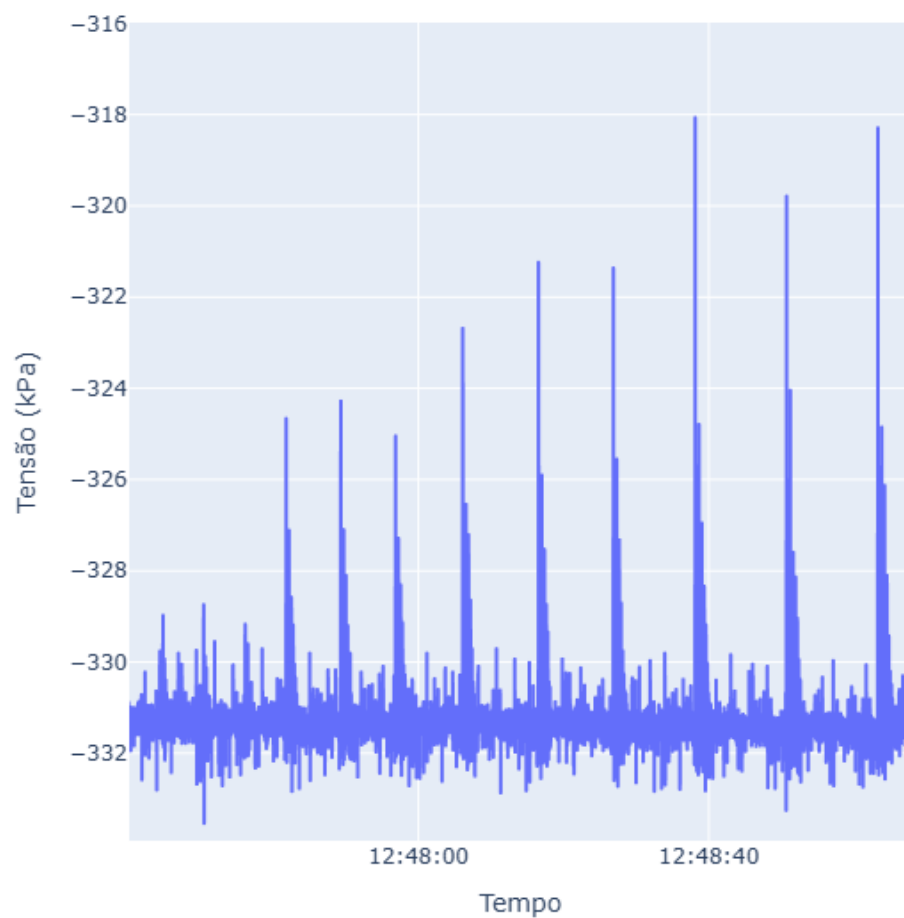
Bacias Deflectométricas pelo FWD com diferentes Cargas



Distância em relação ao ponto de aplicação da carga



Bacias FWD e Tensões CTT



Aplicações



AEMC v.2.4.6 (abr/2023)

Projeto Ajuda

Estrutura >>

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MASSA ESP (g/cm³)	COMPORTAMENTO	MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4	COEF POISSON	RIGIDEZ (k)
1	15	2,4	LINEAR	30000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,20	0,0
2	10	1,8	LINEAR	300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	0,0
3	20	1,6	LINEAR	500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,25	0,0
4	0,0	1,6	LINEAR	80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40	0,0

Tipo de carregamento:

Eixo padrão rodoviário

Eixo simples

Dois eixos simples (direcional)

Eixo duplo

Dois eixos duplos

Dois eixos duplos em

EIXO SIMPLES

Análise

Semi-eixo

Número de rodas: 1

Carga do semi-eixo (ton): 4.18

Carga de roda (ton): 4.18

Pressão de pneus (MPa): 0.58

Ty (cm): 0.00

Tx (cm): 0.00

Lx (cm): 181.00

Área (cm²): 720.69

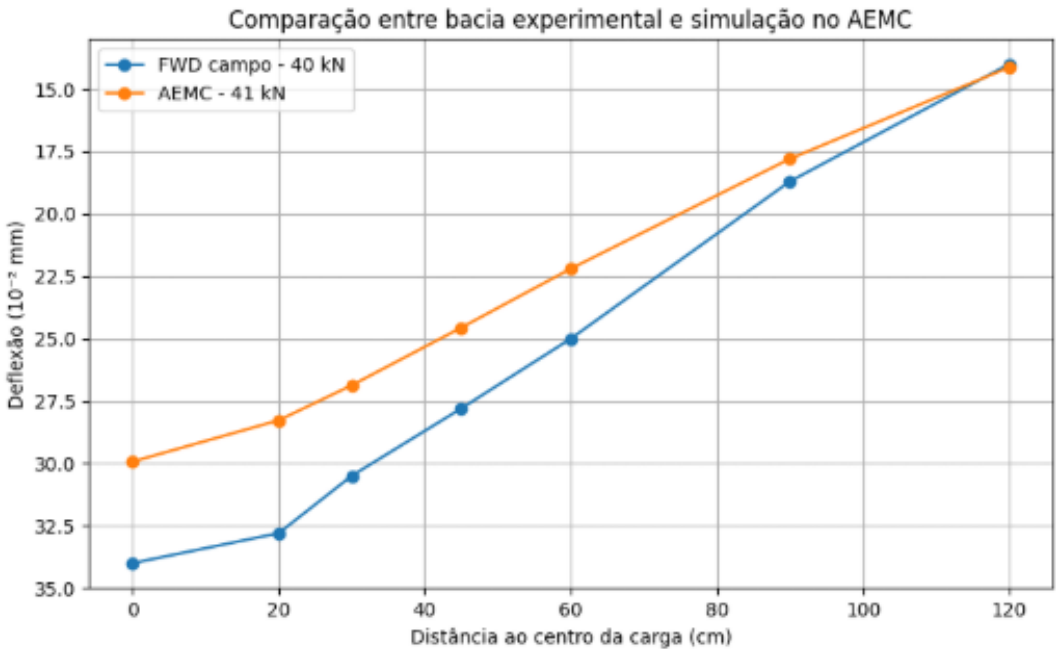
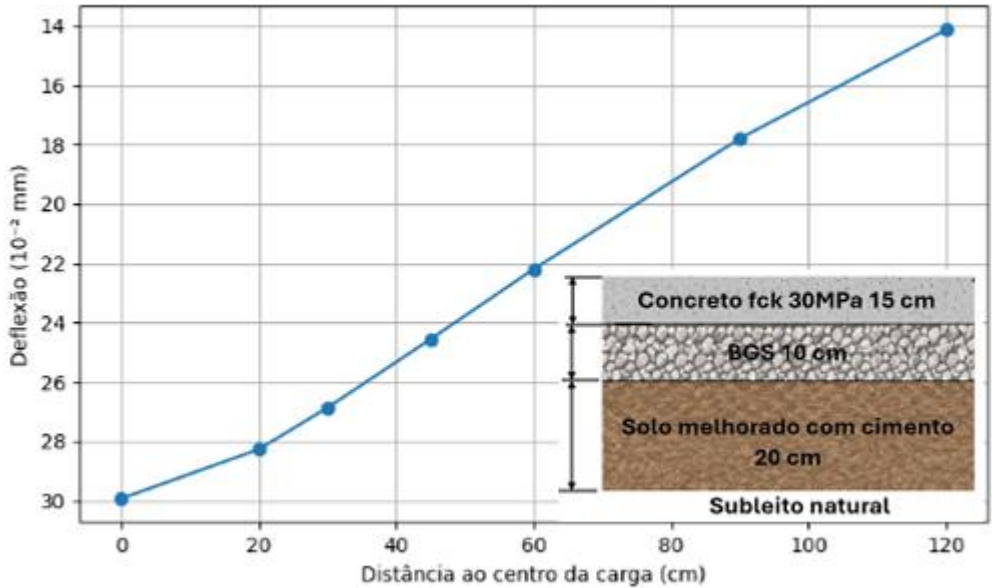
Raio (cm): 15.15

Pontos de análise e resultados

Calcular

Ferramentas >>

Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
1	0	0	0	0,00000	0,00000	299,30464
2	20	0	0	-8,65142	0,00000	282,74564
3	30	0	0	-10,31650	0,00000	268,70781
4	45	0	0	-11,35690	0,00000	245,59368
5	60	0	0	-11,37455	0,00000	221,97545
6	90	0	0	-10,01592	0,00000	177,92367
7	120	0	0	-8,06392	0,00000	141,26499
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						





Caso 8
Trecho Experimental
Sistema de Comunicação
&
Conhecimento do Carregamento
2026

Trecho Experimental



Implantação pista experimental instrumentada (DF-001)

Pista Teste

Edícula 01

Edícula 02

Edícula 03

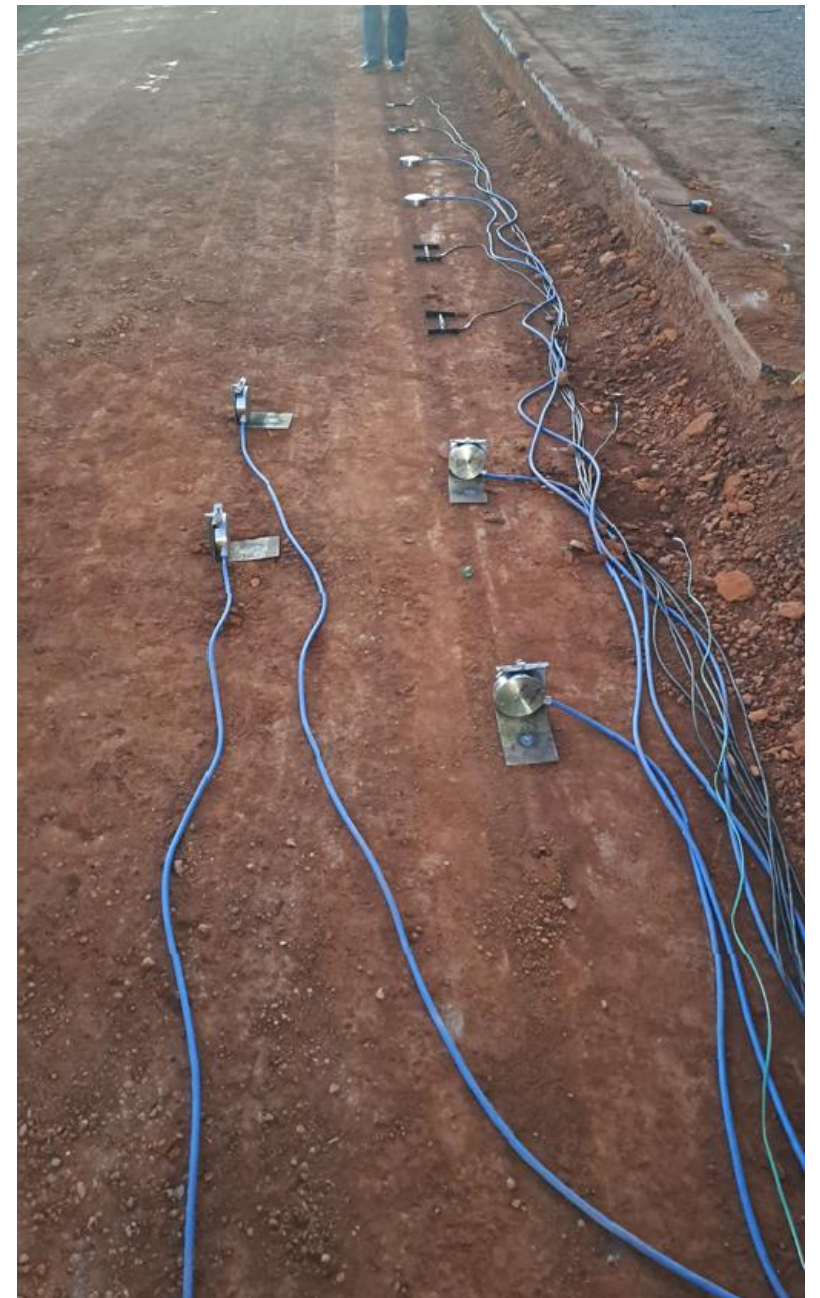
Pista Experimental Instrumentada
3 segmentos de 40 metros



Instrumentação



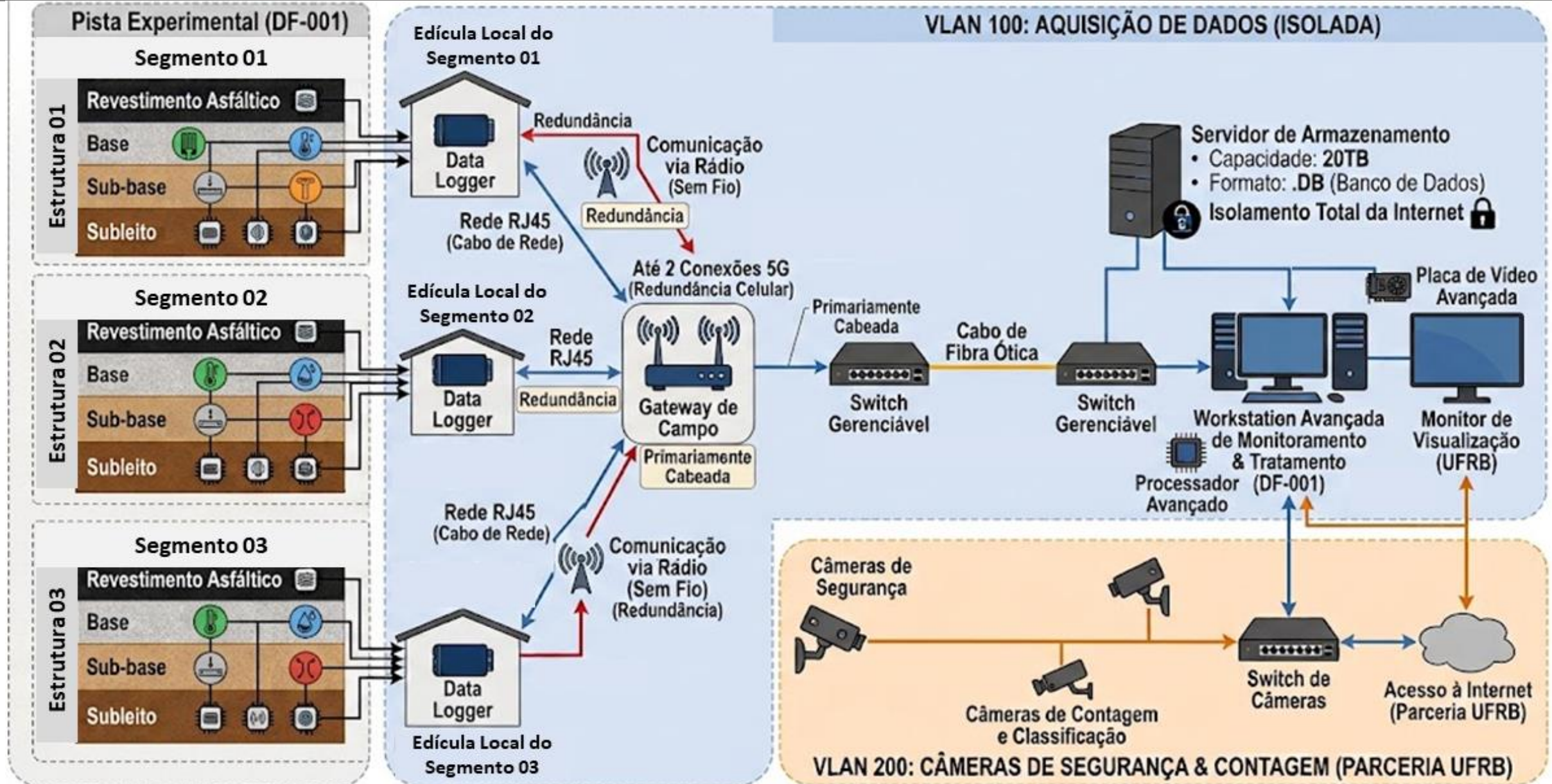
Instrumentação



Instrumentação



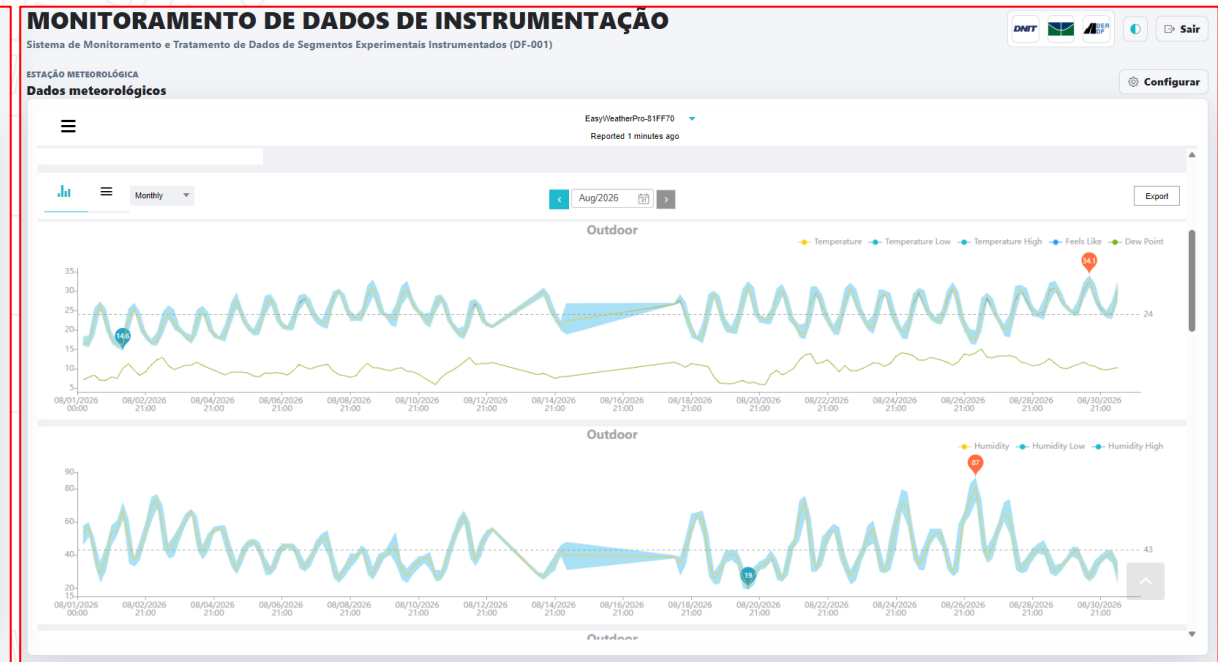
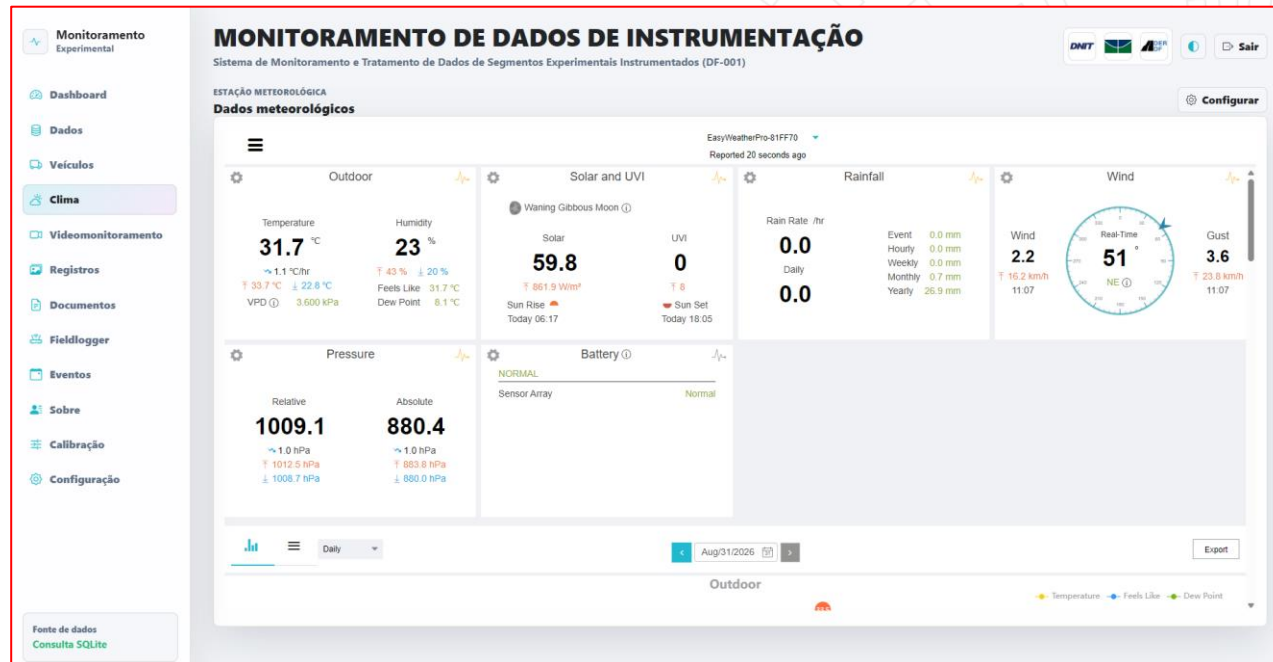
Esquema do Sistema de Aquisição e Monitoramento de Dados da Pista Instrumentada



Sistema de Comunicação



Sistema de Tratamento, Filtragem e Acompanhamento de Instrumentação



Sistema de Tratamento, Filtragem e Acompanhamento de Instrumentação

Gerenciamento da Conexão dos Datalogger via rede Local

MONITORAMENTO DE DADOS DE INSTRUMENTAÇÃO

Sistema de Monitoramento e Tratamento de Dados de Segmentos Experimentais Instrumentados (DF-001)

MONITORAMENTO VIA REDE LOCAL

Fieldlogger HTTP://192.168.88.2

Equipamento

FL1_CX1_TR2 | 192.168.88.2

Largura

Altura

100%

760 px

Abrir

FieldLogger

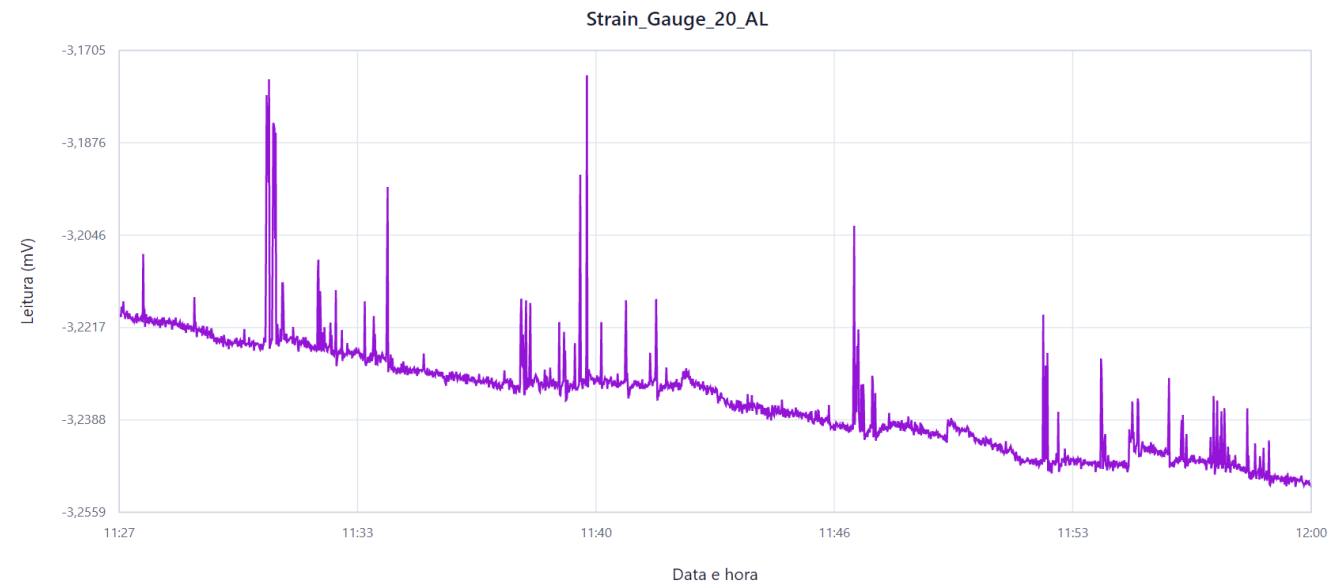
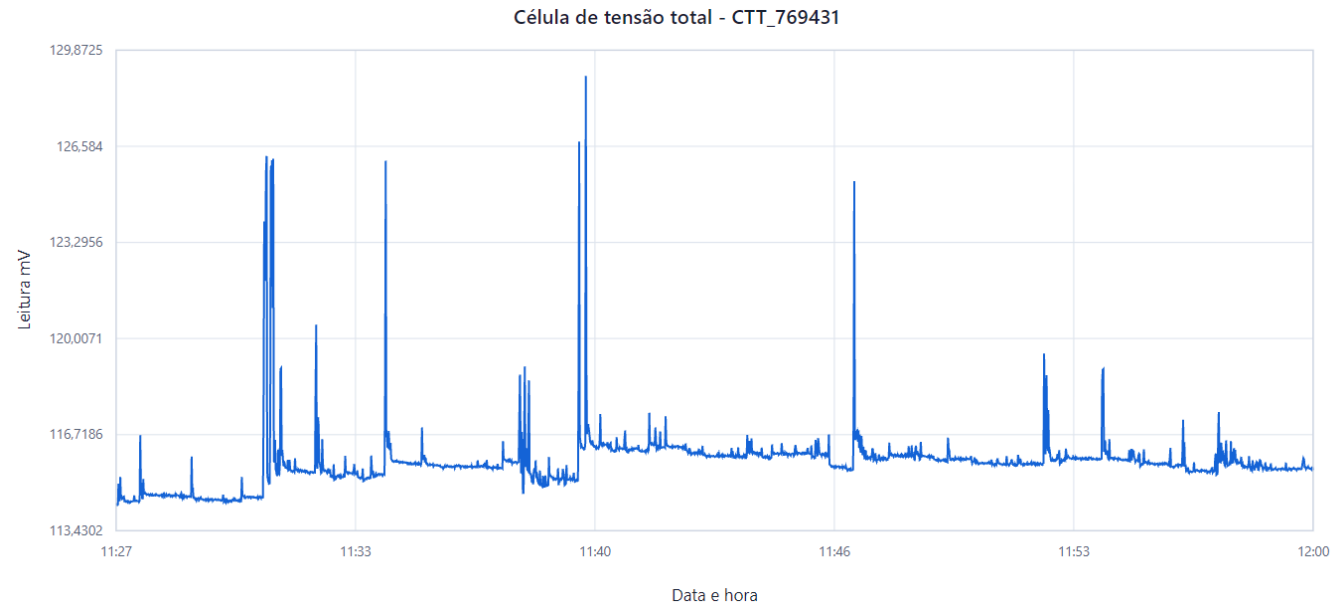
Channels | [Configuration & Status](#) | [Alarms](#)

Refresh interval: 5 s

Index	Tag	Value	Unit	Type	Logged
1	769431	383.634112		ANALOG	Yes
2	769432	272.693376		ANALOG	Yes
3	769433	314.470560		ANALOG	Yes
4	769434	366.211968		ANALOG	Yes
5	SG_19_AL	-9999.0000		ANALOG	Yes
6	SG_20_AL	-9999.0000		ANALOG	Yes
7	SG_27_AC	9.195922		ANALOG	Yes
8	SG_29_AL	14.818128		ANALOG	Yes

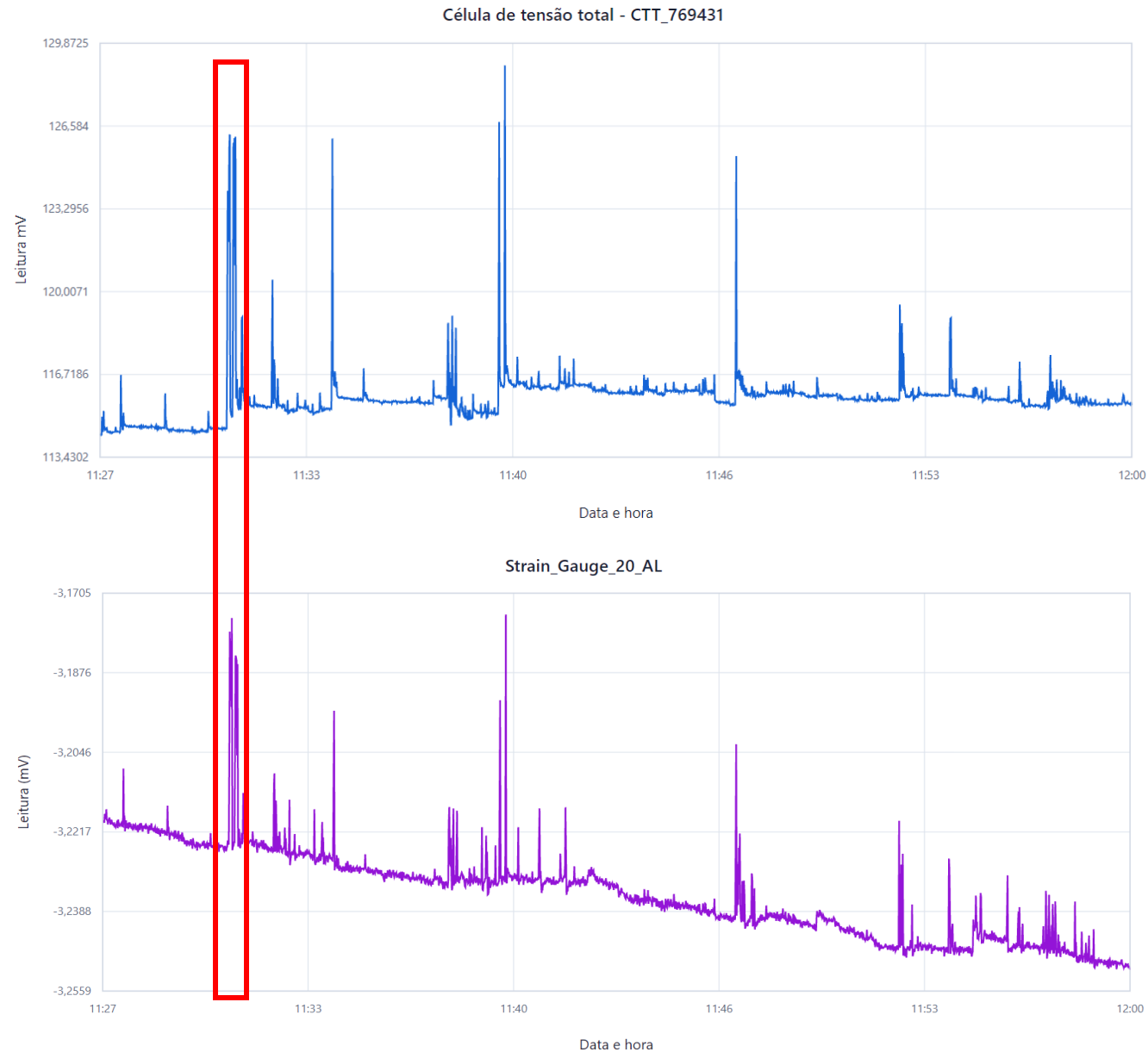
Dados preliminares do Monitoramento

Células de Tensão e Strain Gauges

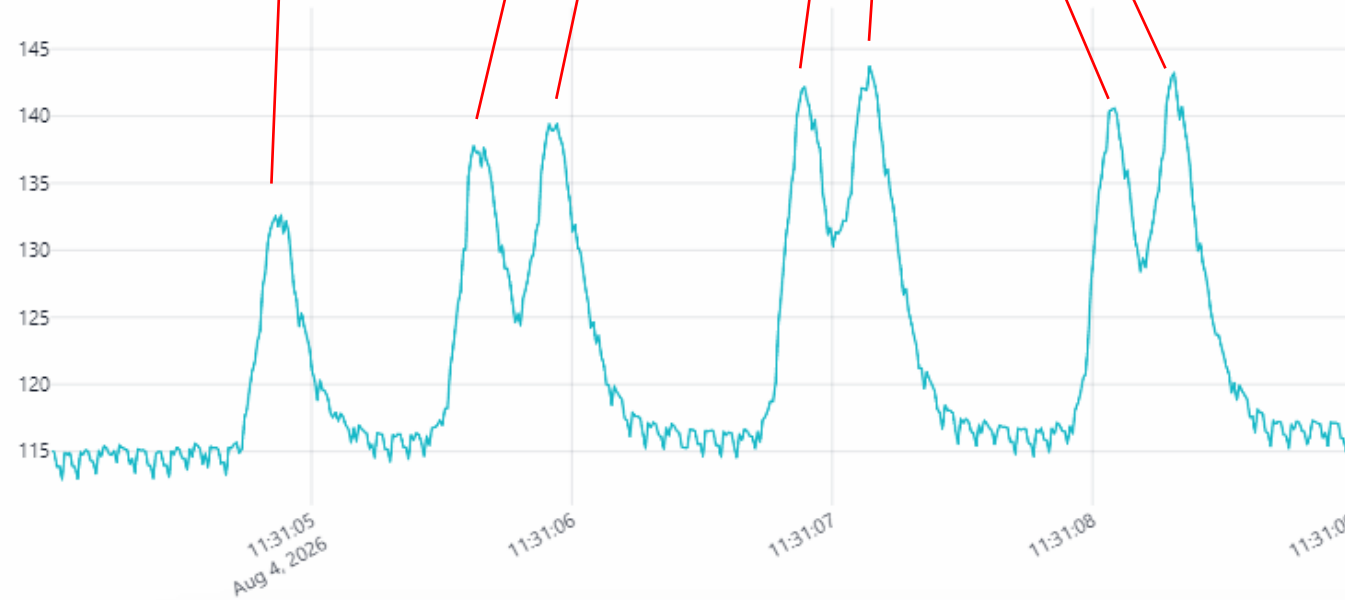


Dados preliminares do Monitoramento

Células de Tensão e Strain Gauges

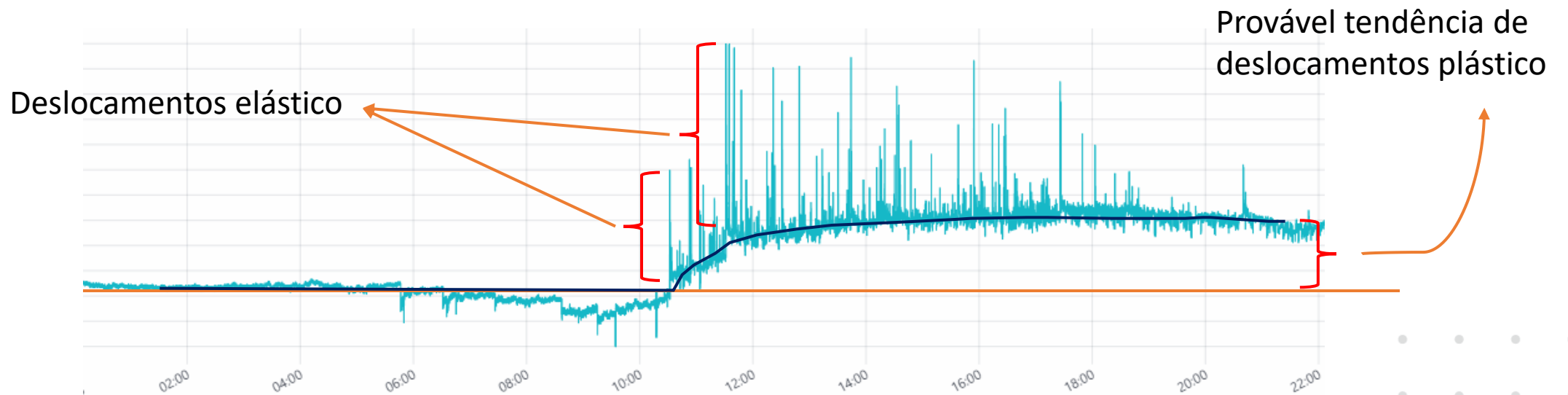
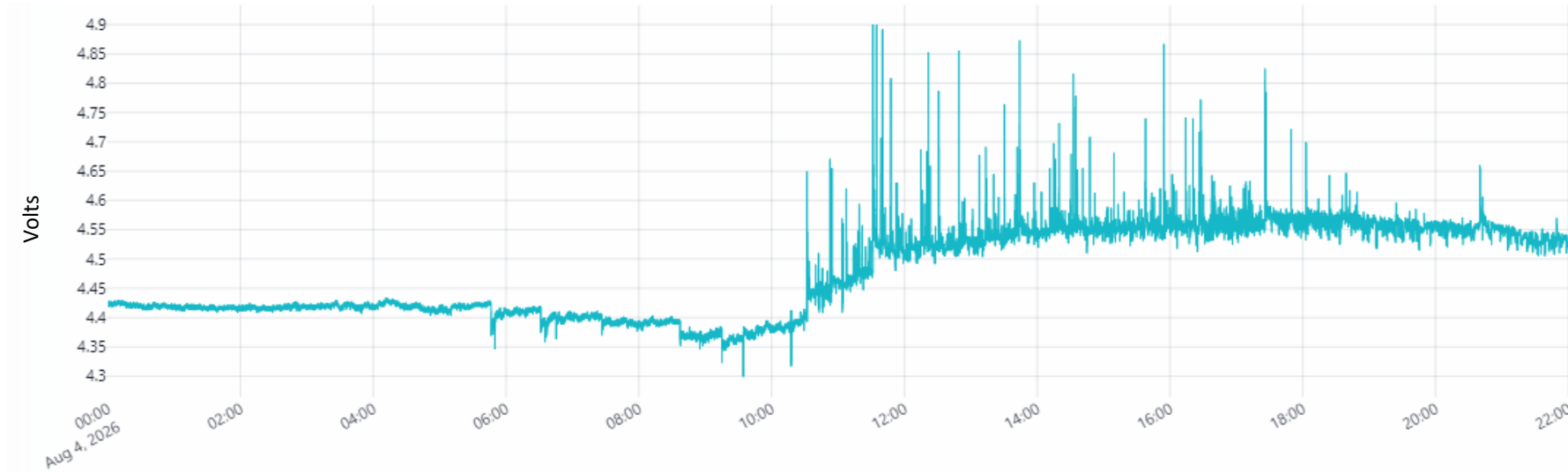


DADOS INICIAIS DA INSTRUMENTAÇÃO

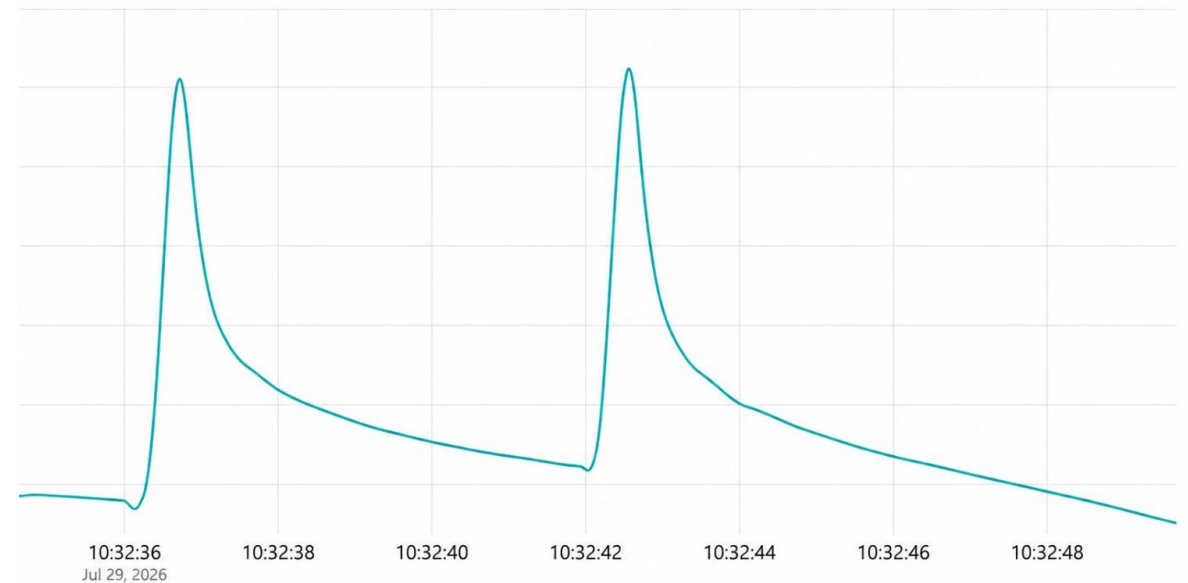
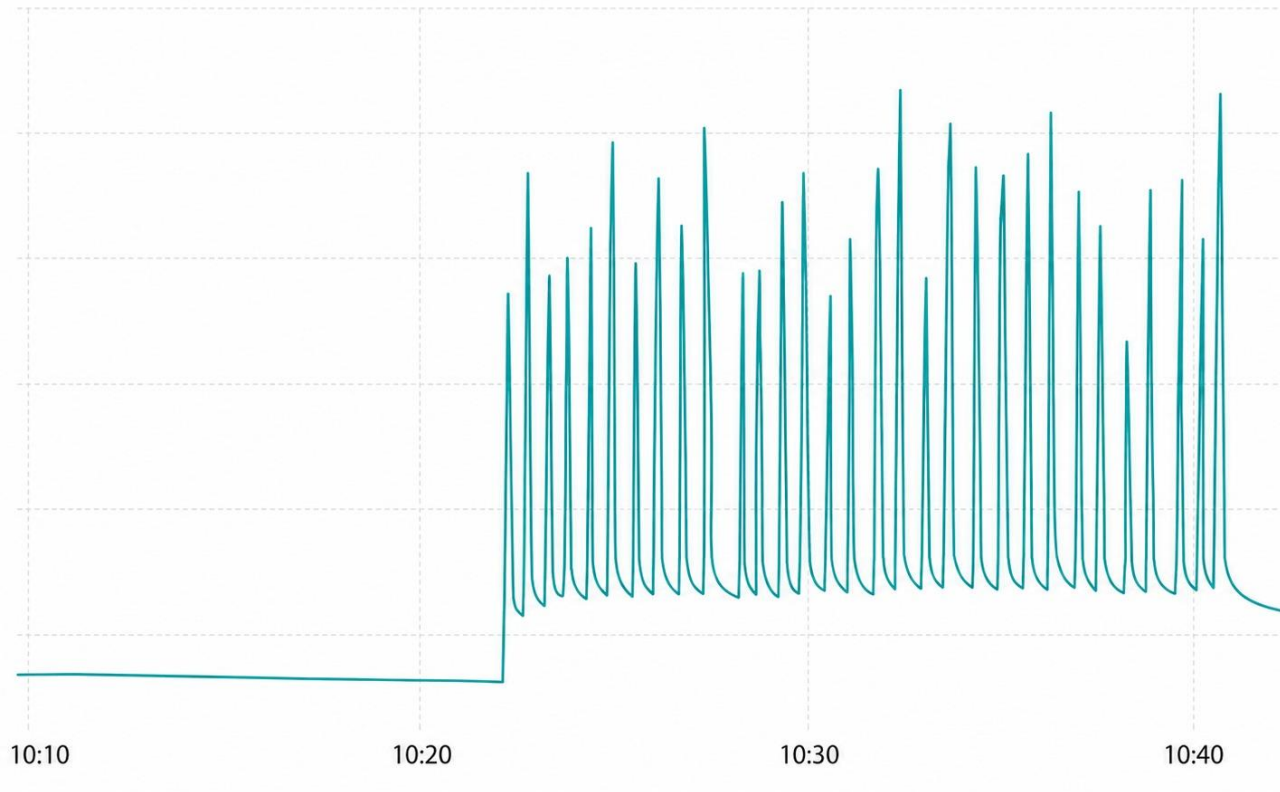


Dados preliminares do Monitoramento

SENSOR DE DESLOCAMENTO



Deslocamentos

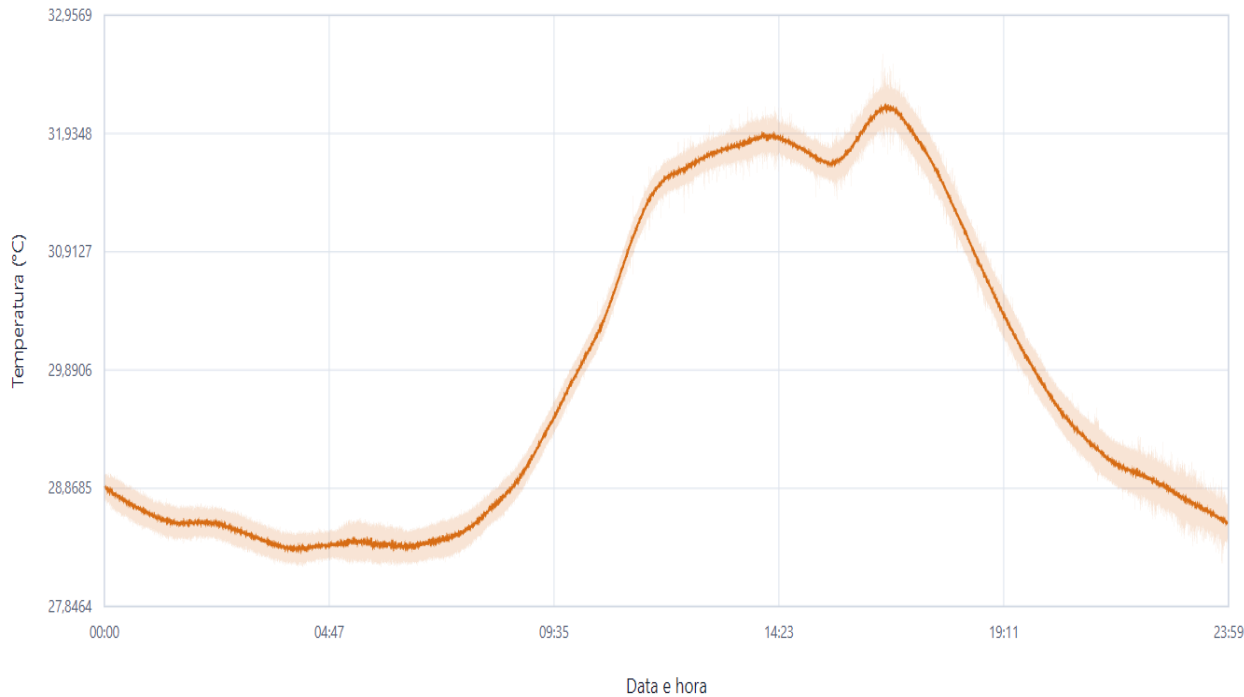


Dados preliminares do Monitoramento

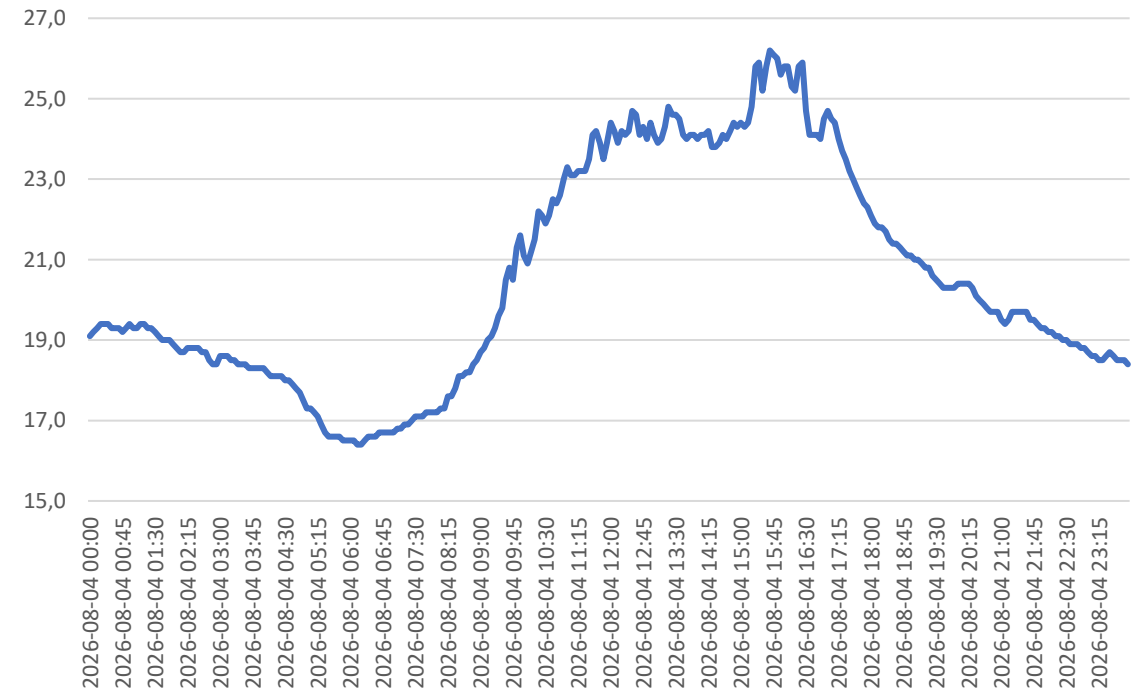
Temperatura no meio da camada de revestimento e atmosférica



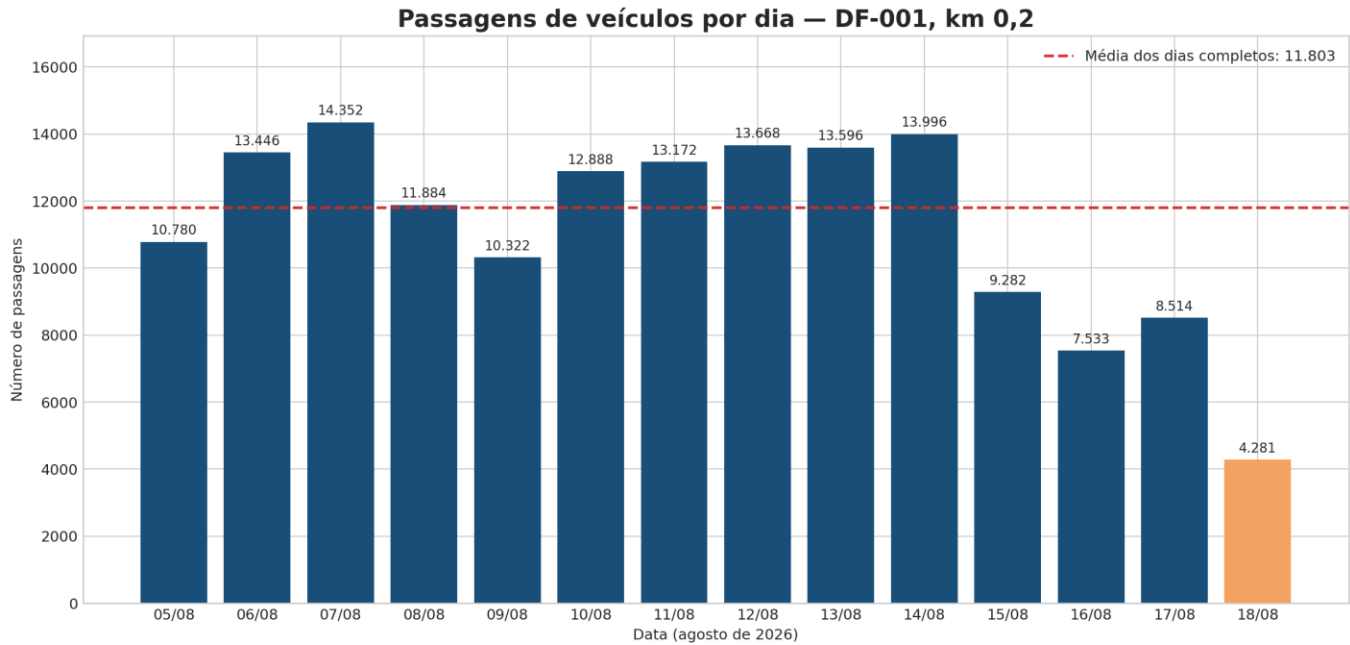
Temperatura - TPJ_012



Temperatura Estação



Contagem e Classificação



* O dia 18/08 é parcial, com dados somente até 14h21.

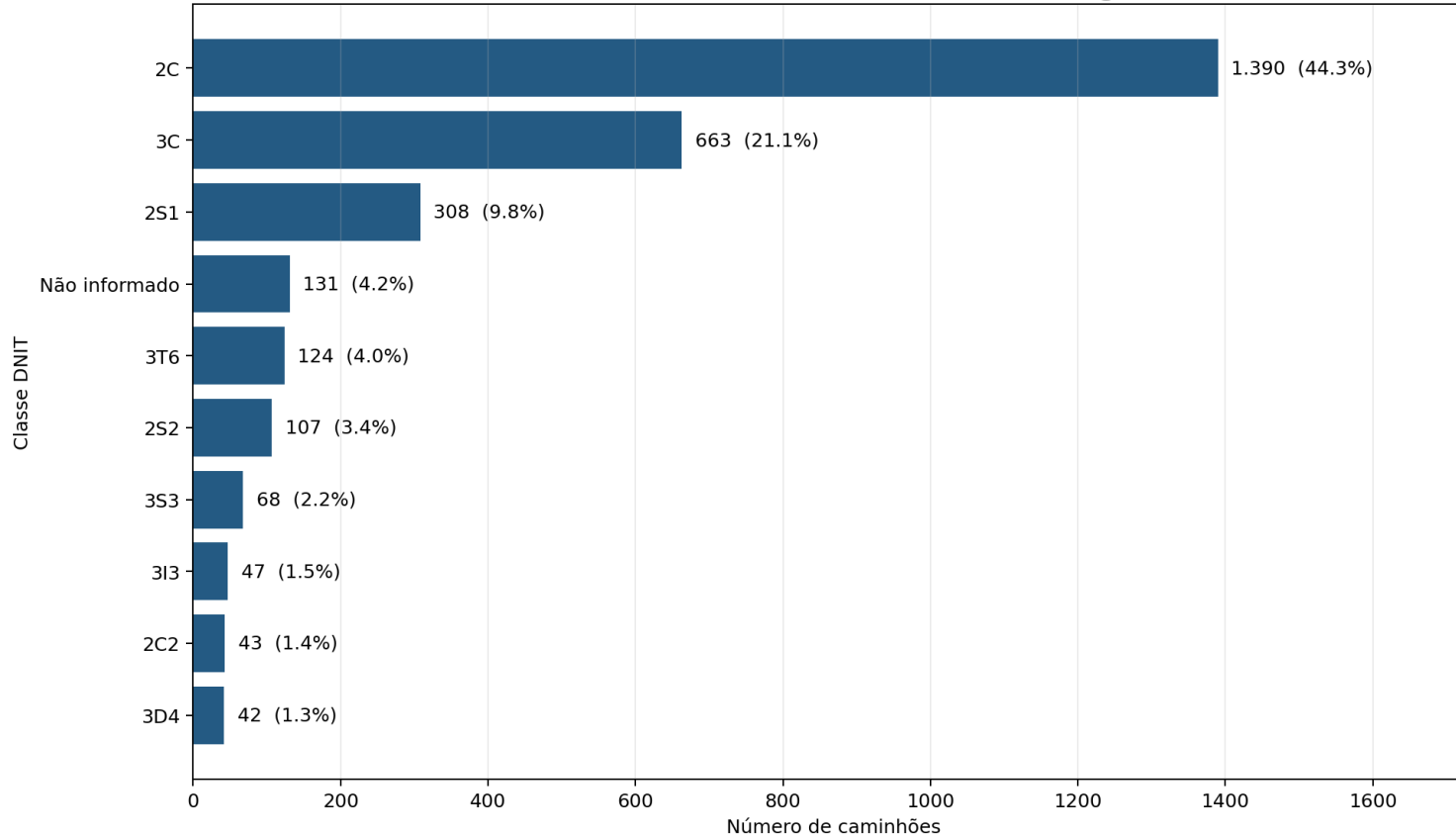
- Média em dias úteis: **12.712 veículos/dia**.
- Média nos fins de semana: **9.755 veículos/dia**
- Maior volume: **14.352 passagens**, em 07/08.
- Menor volume completo: **7.533 passagens**, em 16/08.
- Sentido Torre Digital/DER-DF: **84.639 passagens (53,7%)***.
- Sentido BR-020/DER-DF: **73.075 passagens (46,3%)**.
- Velocidade média registrada: **41,4 km/h**.

Perfil	Passagens	Participação
Carro	110.939	70.34%
Veículo Médio	27.360	17.35%
Moto	12.187	7.73%
Caminhão	6.169	3.91%
Ônibus	770	0.49%
Porte indefinido	289	0.18%

** Pista Experimental Instrumentada

Contagem e Classificação

Classificação DNIT dos caminhões — sentido Torre Digital



Critério: Descrição de Perfil = Caminhão | Período: 05 a 18/08/2026

Classe DNIT	Caminhões	Participação
2C	1.390	44,32%
3C	663	21,14%
2S1	308	9,82%
Não informado	131	4,18%
3T6	124	3,95%
2S2	107	3,41%
3S3	68	2,17%
3I3	47	1,50%
2C2	43	1,37%
3D4	42	1,34%
Outras Classes	213	6,79%

- Caminhões no sentido: **3.136**
- Participação no fluxo do sentido: **3,71%**
- Participação nos caminhões dos dois sentidos: **50,83%**

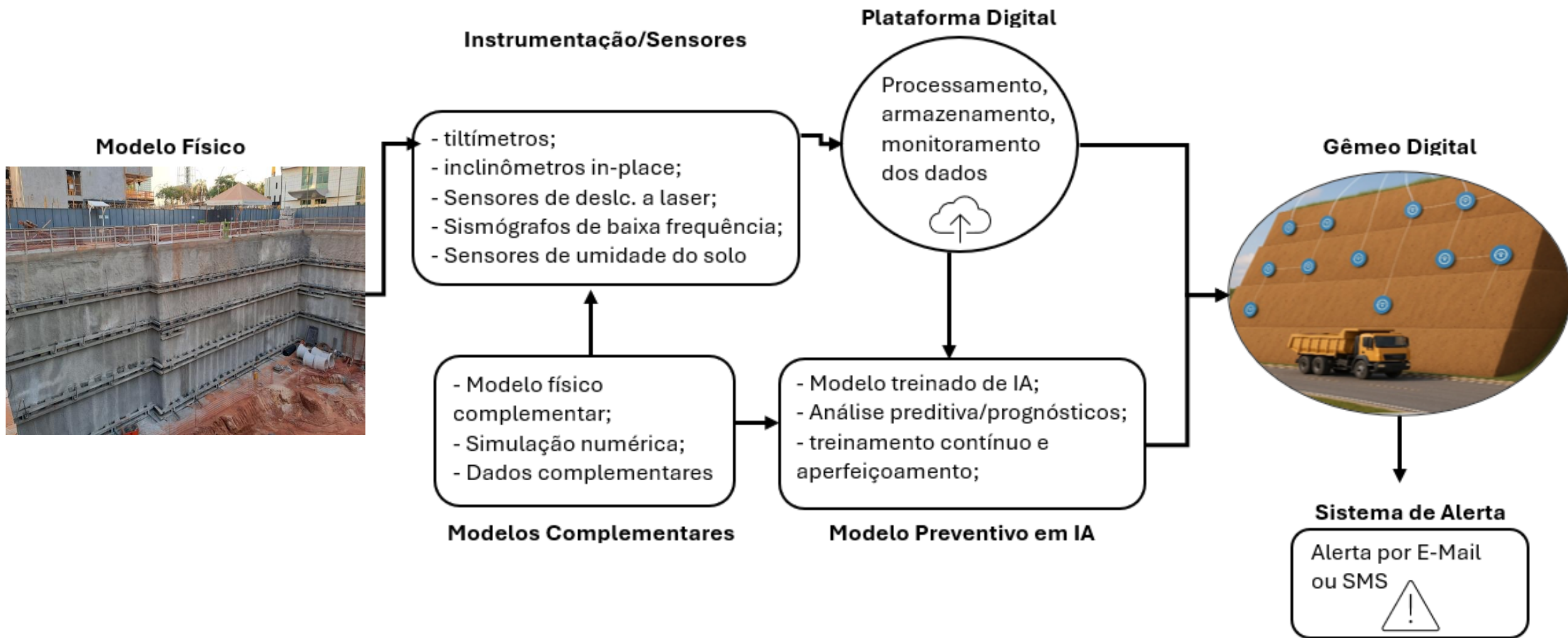
Dados de 05/08/2026 – liberação para o tráfego – a 18/08/2026. Sentido Torre de TV Digital / DER-DF (Parque Rodoviário)
Contador locado em parceria com o DER-DF



Tendência 2026

Gêmeos Digitais

aprendizado por meio de IA para previsão de desempenho



• •
• •
• •
• •
• •

Entre cargas, sonhos e destinos,
Sustenta-se a via no tempo incerto,
Pedindo do engenheiro não só cálculo,
Mas discernimento desperto.

Camapum de Carvalho & Silva, 2026

Obrigado!

rafael.silva@unb.br

