

Monitoramento e inspeção de infraestruturas rodoviárias e ferroviárias: estudos de casos, inovações e desafios para criação de um sistema de transporte resiliente

Julia Alves Macedo Campos

Daniel Mariani Guirardi

Palestra apresentada na em evento ANTT: Inovação colaborativa para transformação do transporte terrestre, Brasília, 12-13 nov., 2024

A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública. **PROIBIDO REPRODUÇÃO**

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
S/A - IPT
Av. Prof. Almeida Prado, 532 | Cidade Universitária ou
Caixa Postal 0141 | CEP 01064-970
São Paulo | SP | Brasil | CEP 05508-901
Tel 11 3767 4374/4000 | Fax 11 3767-4099

www.ipt.br



INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS

"MONITORAMENTO E INSPEÇÃO DE
INFRAESTRUTURAS RODOVIÁRIAS E FERROVIÁRIAS:
ESTUDOS DE CASOS, INOVAÇÕES E DESAFIOS PARA A
CRIAÇÃO DE UM SISTEMA DE TRANSPORTE
RESILIENTE"

CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE

12.11.24

COMPETÊNCIAS TÉCNICAS CIDADES, INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE

SEÇÃO DE INVESTIGAÇÕES, RISCOS E GERENCIAMENTO AMBIENTAL

GESTÃO E GERENCIAMENTO DE RISCOS NATURAIS E TECNOLÓGICOS
APOIO AOS PROGRAMAS DE REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA E PLANEJAMENTO URBANO
RESÍDUOS, ECONOMIA CIRCULAR E REMEDIAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS
CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS, RESÍDUOS E SEDIMENTOS
INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTES, AUDITORIAS, GESTÃO DE RISCOS OPERACIONAIS E SMS
INVESTIGAÇÕES GEOFÍSICAS TERRESTRE E EM ÁGUAS RASAS



24 PESSOAS
4 DOUTORES
8 MESTRES
4 GRADUADOS
8 TÉCNICOS

SEÇÃO DE OBRAS CIVIS

AVALIAÇÃO DA CONSERVAÇÃO, DESEMPENHO E SEGURANÇA GEOTÉCNICA-ESTRUTURAL
INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA E ESTRUTURAL
MODELAGEM FÍSICA E NUMÉRICA DE OBRAS GEOTÉCNICAS E ESTRUTURAIS
SEGURANÇA DE BARRAGENS (PROJETO, CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO)
INSPEÇÃO E ACOMPANHAMENTO DO PROCESSO EXECUTIVO EM DIVERSAS ETAPAS DA
CONSTRUÇÃO DE PAVIMENTOS



40 PESSOAS
4 DOUTORES
6 MESTRES
11 GRADUADOS
19 TÉCNICOS

SEÇÃO DE PLANEJAMENTO TERRITORIAL, RECURSOS HÍDRICOS, SANEAMENTO E FLORESTAS

PLANEJAMENTO E GESTÃO TERRITORIAL (PDM, PDTur, PDPA, PDAU, PDES, OTGM, etc)
HIDROLOGIA, HIDRÁULICA, HIDROGEOLOGIA E ESTUDOS HIDROQUÍMICOS
AVALIAÇÃO AMBIENTAL, AUDITORIA AMBIENTAL, AVALIAÇÃO DE IMPACTOS
FLORESTAS URBANAS, DIAGNÓSTICO E ANÁLISE DE RISCO DE QUEDA DE ÁRVORES
SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA, INFRAESTRUTURA VERDE, BIOENGENHARIA



42 PESSOAS
11 DOUTORES
12 MESTRES
6 GRADUADOS
13 TÉCNICOS

DADOS RÁPIDOS

- ATENDIMENTO A POLÍTICAS PÚBLICAS
- EQUIPE ESPECIALIZADA E MULTIDISCIPLINAR
- AGENTE TÉCNICO DO FEHIDRO
- APOIO TÉCNICO/TECNOLÓGICO AOS SETORES PÚBLICO E PRIVADO
- REFERÊNCIA NACIONAL EM ATENDIMENTOS DE EMERGÊNCIA RELATIVOS A DESASTRES
- OIA



DESTAQUES DA INFRAESTRUTURA

- Laboratório de Modelos Físicos - Modelagem física em tanques de provas de grandes dimensões.
- Laboratório de Rochas, Solos e Pavimentos – Ensaio convencionais e não convencionais.
- Laboratório de Estruturas - Ensaio em componentes estruturais.



DESTAQUES DA INFRAESTRUTURA

- Laboratório Áreas Contaminadas
- Geofísica Terrestre e em Água



ESTUDOS E INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS



Uso de métodos não destrutivos, destrutivos e ensaios laboratoriais para caracterização e mapeamento do subsolo – determinação de parâmetros, ocorrência e posição de áreas com solos moles, presença de topos rochosos e de blocos de rocha, etc.

ENSAIOS LABORATORIAIS EM SOLOS, ROCHAS E PAVIMENTOS



- Ensaio “Convencionais” → caracterização, compactação, permeabilidade, colapsividade, expansibilidade, cisalhamento, triaxiais, compressão uniaxial, adensamento, etc;
- Ensaio “Não Convencionais” → triaxial cíclico, coluna ressonante, bender elements, fluência sob elevada pressão e temperatura, etc.

ENSAIOS GEOFÍSICOS



- Caracterização geológico-geotécnica de maciços (mapear áreas com ocorrência de solos moles, posição de topos rochosos, determinação de parâmetros, etc), localização de interferências (tubulações, galerias, estruturas enterradas, vergalhões de aço), identificação de profundidades desconhecidas de elementos de fundação, identificação de zonas com presença de água, etc.

MODELAGEM FÍSICA



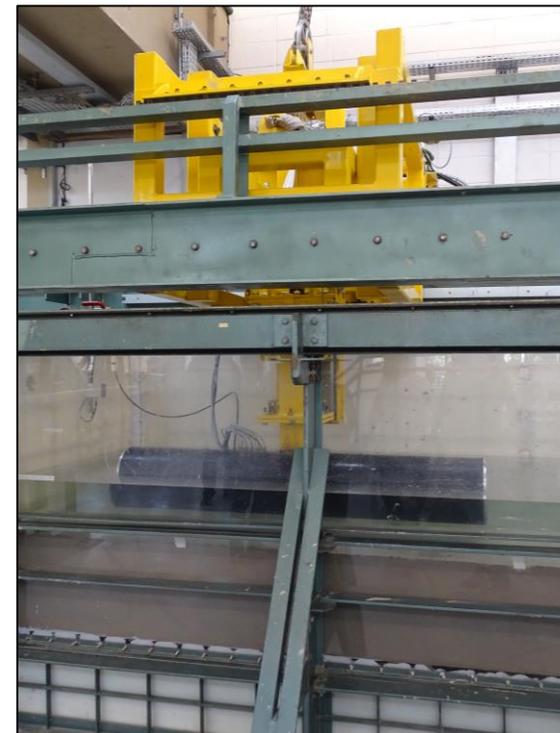
Tanque de Provas de Pequenas Dimensões
4,9m x 1,1m x 1,5m
1 único compartimento interno



Tanque de Provas de Grandes Dimensões
10,0m x 2,0m x 2,5m
3 compartimentos internos

Modelagem física em tanques de provas de grandes dimensões visando solucionar problemas de engenharia ou otimizar técnicas ou configurações já consolidadas no mercado

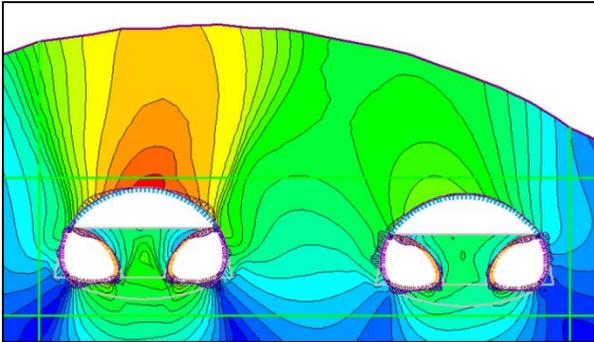
MODELAGEM FÍSICA



Simulação de comportamentos de obras em escala próxima a real, aumentando significativamente a confiabilidade dos resultados obtidos.

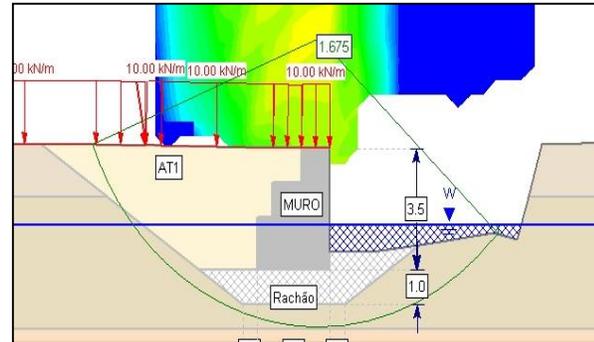
MODELAGEM NUMÉRICA GEOTÉCNICA

Processos Construtivos



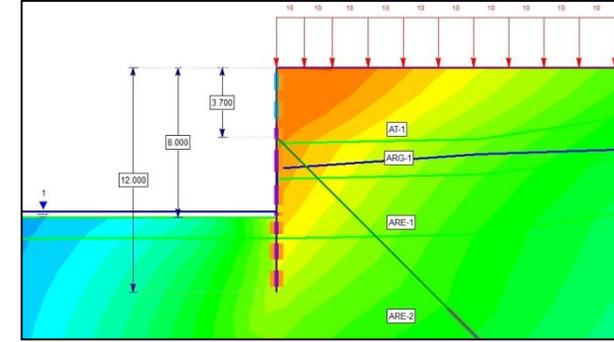
Definição e análise de etapas construtivas de obras

Estabilidade de Obras



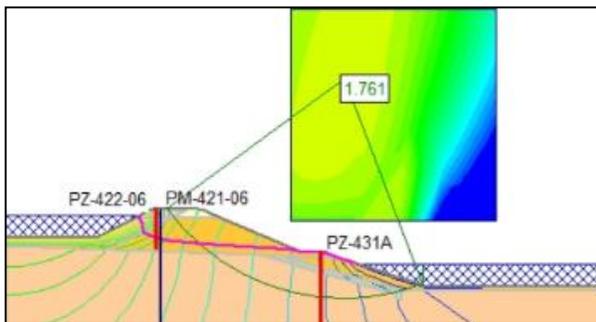
Análise da estabilidade de taludes e de obras

Dimensionamento



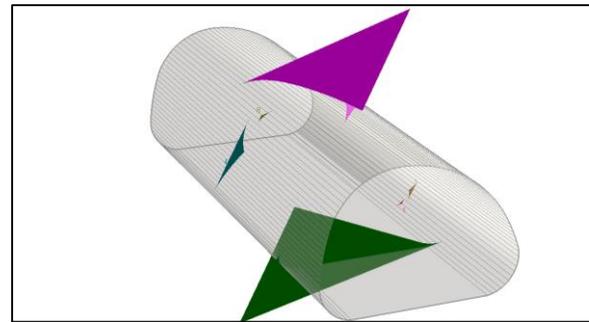
Dimensionamentos e designs de obras e reforços

Percolação e Fluxo



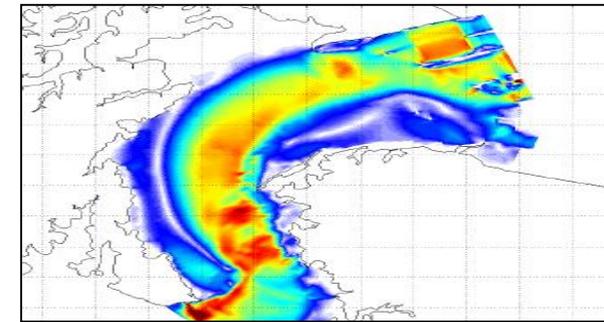
Análise de fenômenos de enchimento e rebaixamento de reservatórios, infiltração.

Estabilidade de Maciços



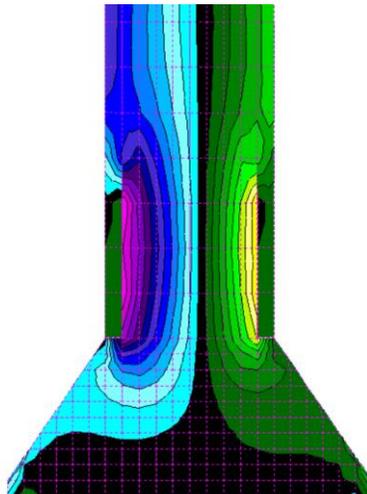
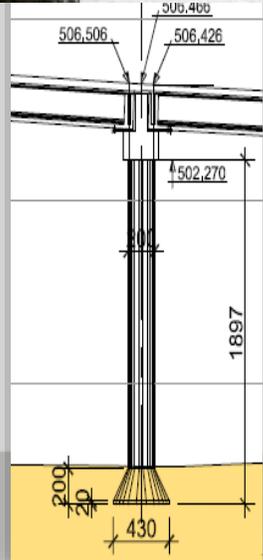
Análise da estabilidade de maciços rochosos e terrosos

Comp. Hidrodinâmico

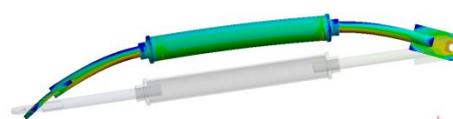
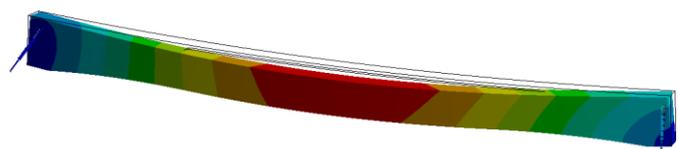
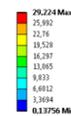


Simulações hidrodinâmicas

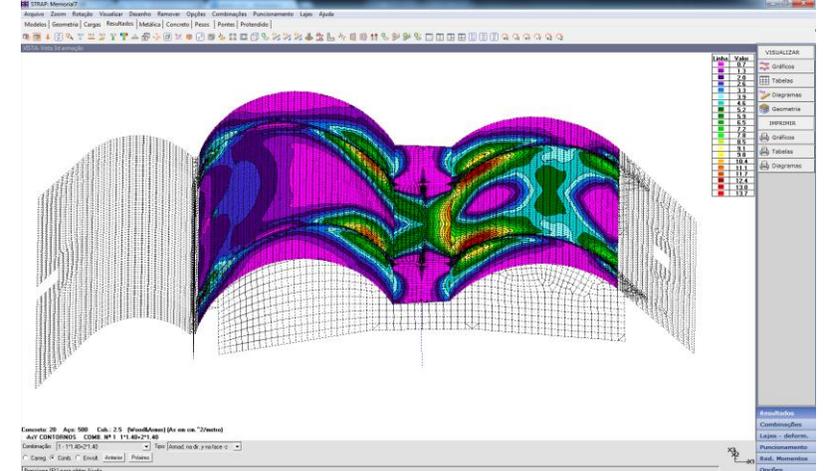
MODELAGEM NUMÉRICA EM ESTRUTURAS – MODELOS DE COLAPSO E AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS



C-Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
26/12/2014 15:37



ANSYS
R15.0



INSTRUMENTAÇÃO E MONITORAMENTO GEOTÉCNICO E ESTRUTURAL DE OBRAS



Instrumentação, monitoramento
interpretação e previsão de
comportamentos durante as fases de
construção, operação e recuperação de
obras de engenharia



Monitoramento da sismicidade induzida
e natural de reservatórios (barragens de
geração de energia) durante a fase de
enchimento e operação

DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTOS

VInCE – Veículo para Inspeção em Condições Especiais



CASES EM OBRAS LINEARES

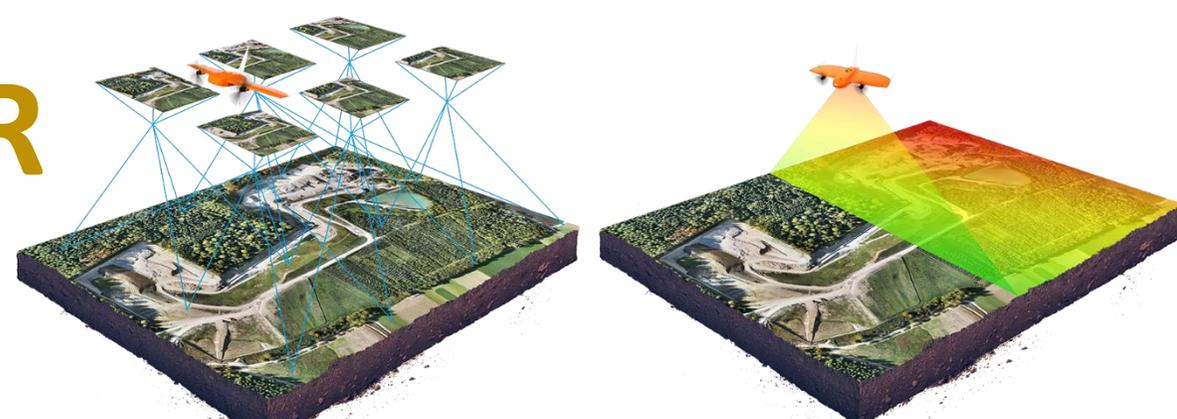
1. AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA LIDAR / SAR/DINSAR PARA AS FAIXAS DE DUTOS/OBRAS LINEARES;
2. ESTUDOS DE SUSCETIBILIDADE QUANTO A CORRIDAS DE MASSAS: CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS E ESTUDOS EXISTENTES, COMPLEMENTAÇÃO DOS ESTUDOS, DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA DE ATUALIZAÇÃO DOS ESTUDOS;
3. LEVANTAMENTO QUALITATIVO E QUANTITATIVO, AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE E SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DOS TALUDES;
4. MONITORAMENTO DOS TALUDES ATRAVÉS DE INSTRUMENTAÇÃO GEOTÉCNICA EM TEMPO REAL;
5. MODELOS DE PREVISÃO PLUVIOMÉTRICA, INCLUINDO NECESSIDADES DE AJUSTES EM FUNÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS;
6. NOVAS TECNOLOGIAS DE INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE MONITORAMENTO;
7. TECNOLOGIAS DE MONITORAMENTO E CONTROLE PARA CORTINAS ATIRANTADAS;
8. SOLUÇÕES DE OBRAS GEOTÉCNICAS DE CONTENÇÕES COM NOVAS TECNOLOGIAS E/OU MELHORES PRÁTICAS; PROGRAMA DE AUDITORIA PARA GESTÃO DE RISCOS GEOTÉCNICOS;
9. SISTEMAS DE MONITORAMENTO E ALERTAS QUANTO A RISCOS EM ENCOSTAS NATURAIS;
10. PLANOS DE CONTINGÊNCIA;
11. OUTROS



1. Técnicas de sensoriamento remoto no monitoramento de faixas de dutos e de processos de subsidência da superfície

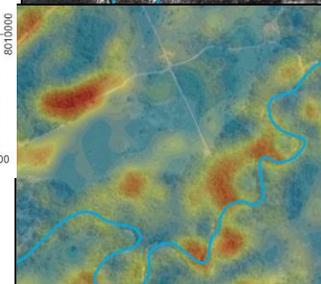
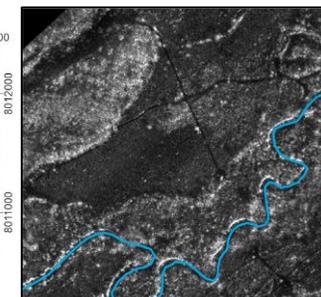
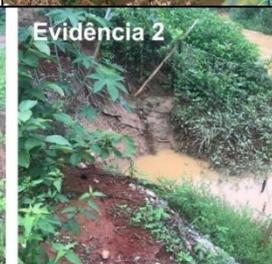
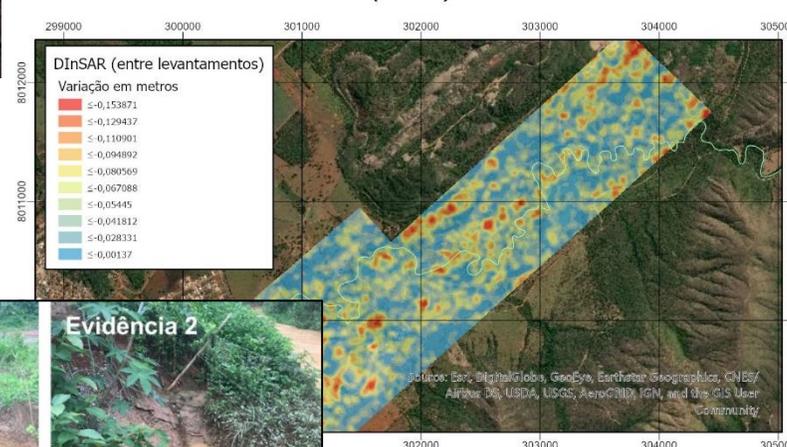
- **SAR: Synthetic Aperture Radar** - levantamentos feitos por RADAR (*Radio Detection and Ranging*), que são realizados na faixa das microondas.
- **InSAR: Interferometria SAR** é uma tecnologia que utiliza um SAR para obter informações em três dimensões da superfície a partir das diferenças de fase da onda emitida pelo RADAR.
- **Uso em** Levantamentos topográficos (sejam eles obtidos a partir de satélites, aviões ou drones), e em movimentos de subsidência da superfície (inclui objetos que esteja sobre essa superfície)

LIDAR

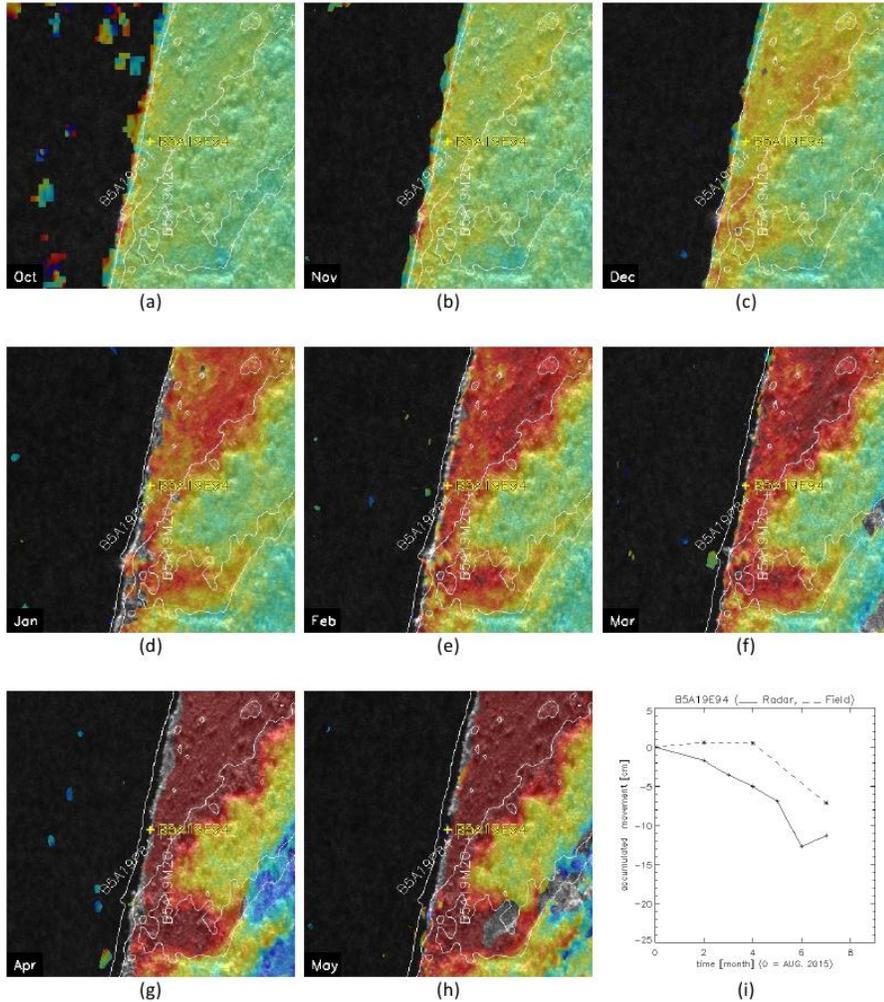


SAR/InSAR

DInSAR - Entre levantamentos (T3-T1)

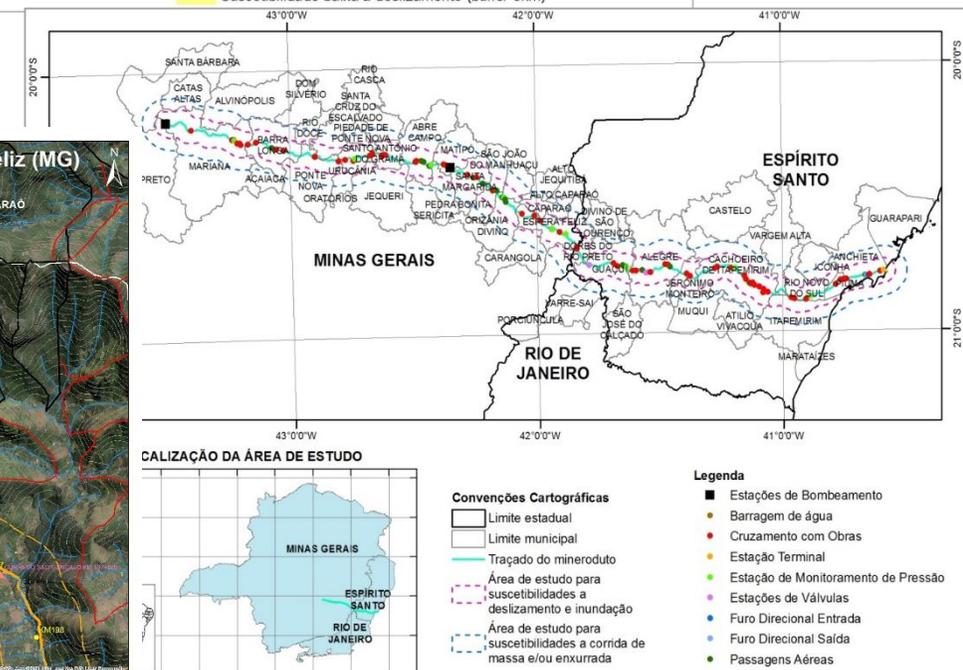
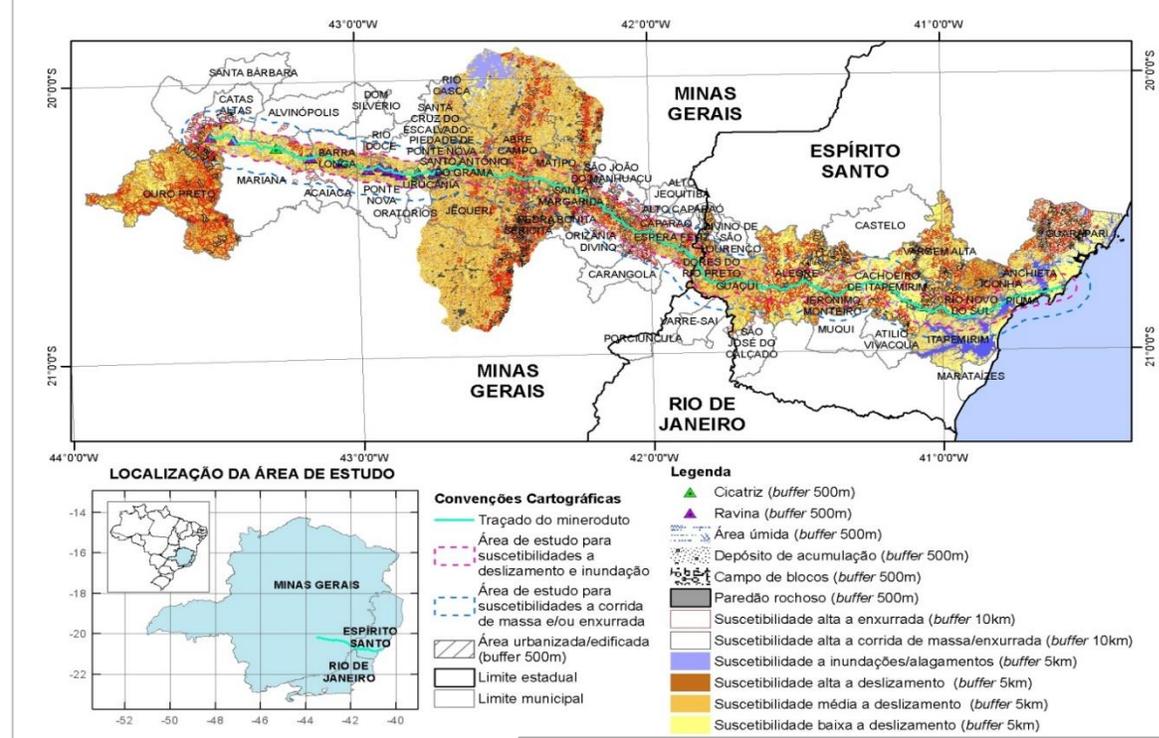


SAR/InSAR



2. Estudos de suscetibilidade quanto a corridas de massas

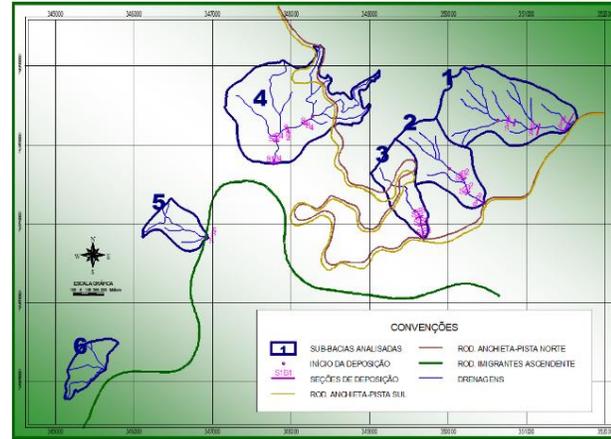
- Bacias de drenagem suscetíveis a processos geodinâmicos requerem análises de detalhe em pontos específicos (áreas de interceptação da faixa do duto/faixa de domínio);
- Análise de áreas suscetíveis a processos geodinâmicos externos atuantes; estado das estruturas permanentes instaladas; e das atividades de gestão dos aspectos geológico-geotécnicos e de conservação das estruturas permanentes



3. Levantamento qualitativo e quantitativo, avaliação de vulnerabilidade e sistema de classificação dos taludes

- Caracterização geológico/geotécnica e análise de risco para movimentos gravitacionais de massa (escorregamentos, corridas de massa, erosão e queda de blocos) e inundações.
- Hierarquização da criticidade de riscos a movimentos de massa em obras lineares.
- Análise de risco de obras de arte para impactos de blocos de rocha provenientes de corridas de detritos e enxurradas e integridade dos aterros de encontro.
- Plano Preventivo para operação das vias durante o período chuvoso.

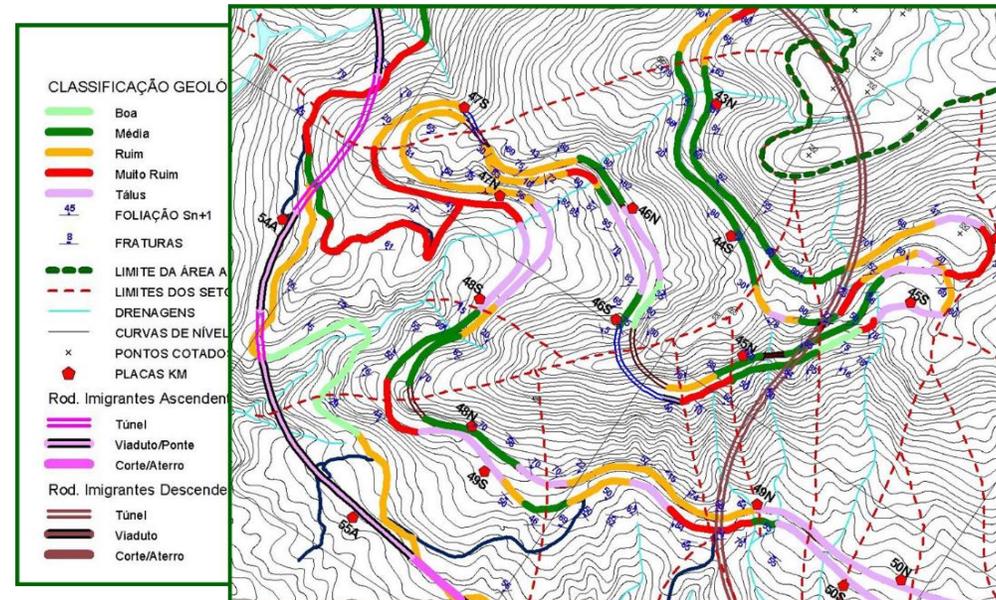
ANÁLISE DA POTENCIALIDADE DE GERAÇÃO DE CORRIDAS DE MASSA



SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE PERIGO DE ESCORREGAMENTOS

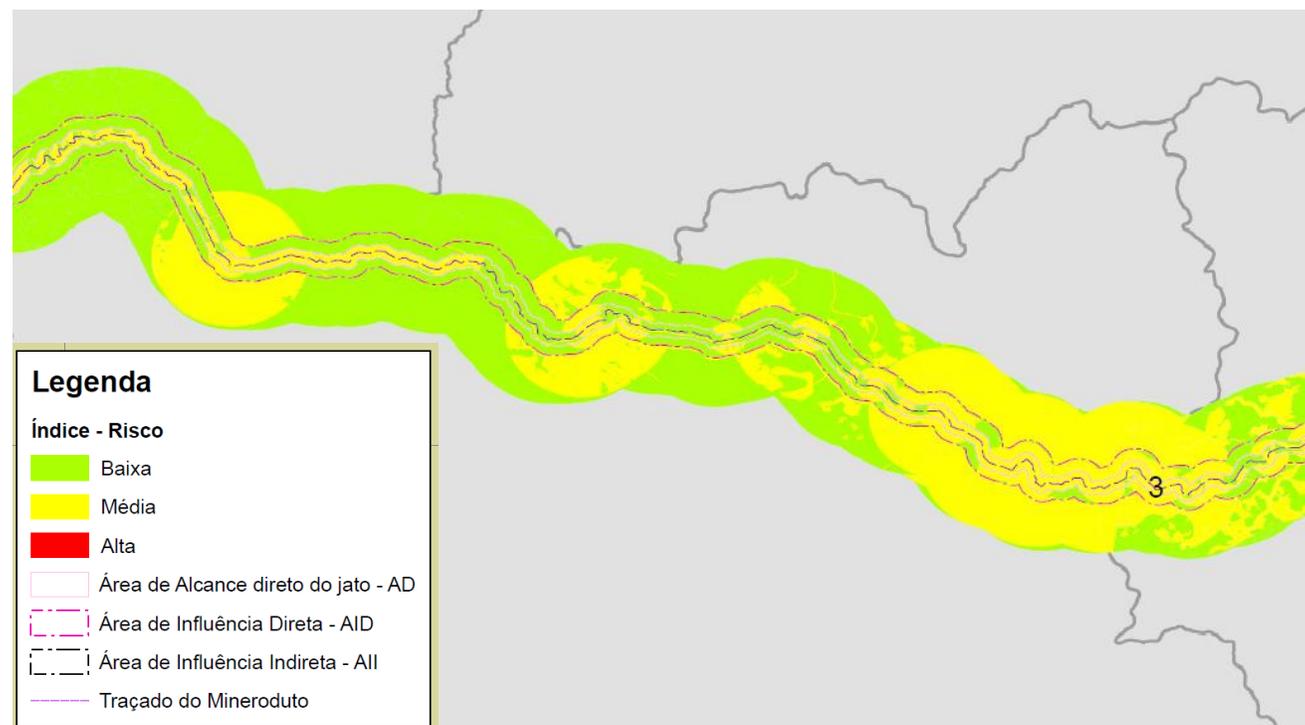


CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DOS TALUDES E ENTORNO DAS RODOVIAS



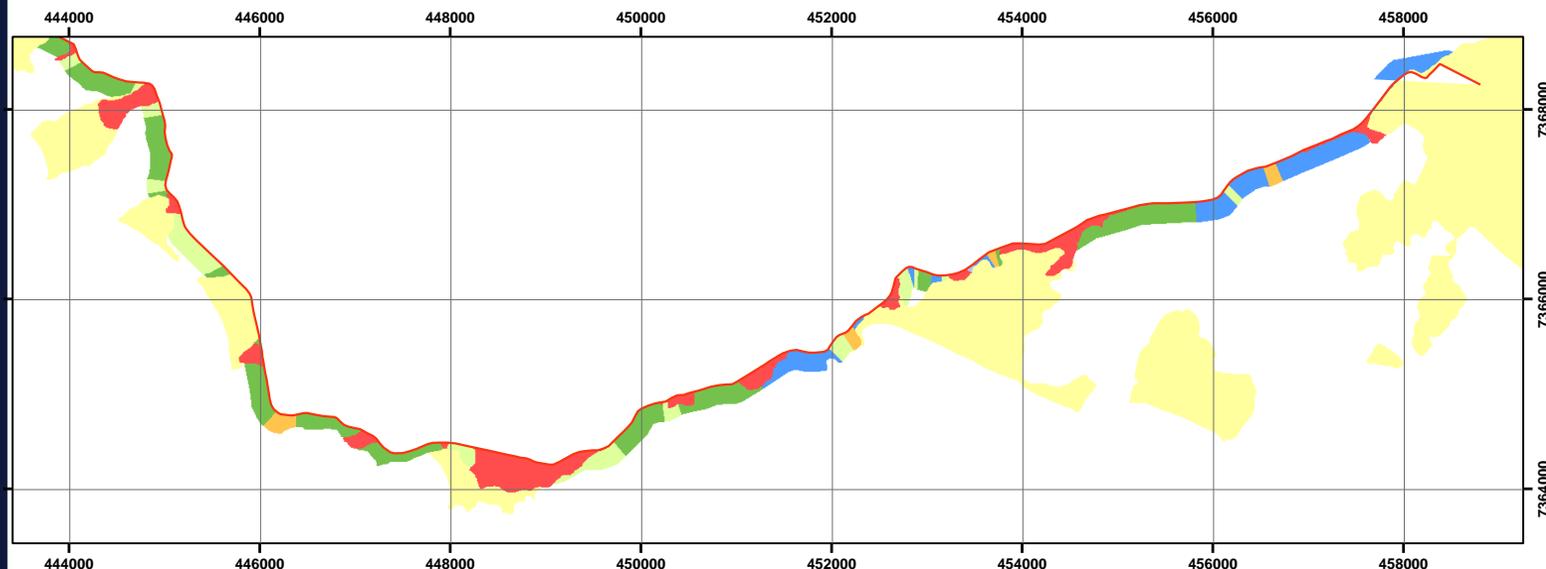
3. Levantamento qualitativo e quantitativo, avaliação de vulnerabilidade e sistema de classificação dos taludes

- Avaliação de Vulnerabilidade considerando impactos danosos às pessoas, às instalações e ao meio ambiente
- Avaliação de risco considerando aspectos dos perigos identificados (corrosão, aspectos operacionais e geotécnicos) e da avaliação de vulnerabilidade



4. Monitoramento dos taludes através de instrumentação geotécnica em tempo real

- Sistema de Gerenciamento de Perigos Geológico-Geotécnicos Associados a Movimentos de Massa nos Trechos Serranos do OSBAT
- Alteração e fraturamento, perfis do solo, depósitos de tálus
- Entendimento dos condicionantes dos processos de instabilização e definição das cartas temáticas relevantes
- Sistema de gerenciamento de perigos



Legenda

— dutos

Geológico-Geotécnico 1:1.000

Classes

A1/A2

A3/A4

Colúvio

Saprolito

Solo saprolítico

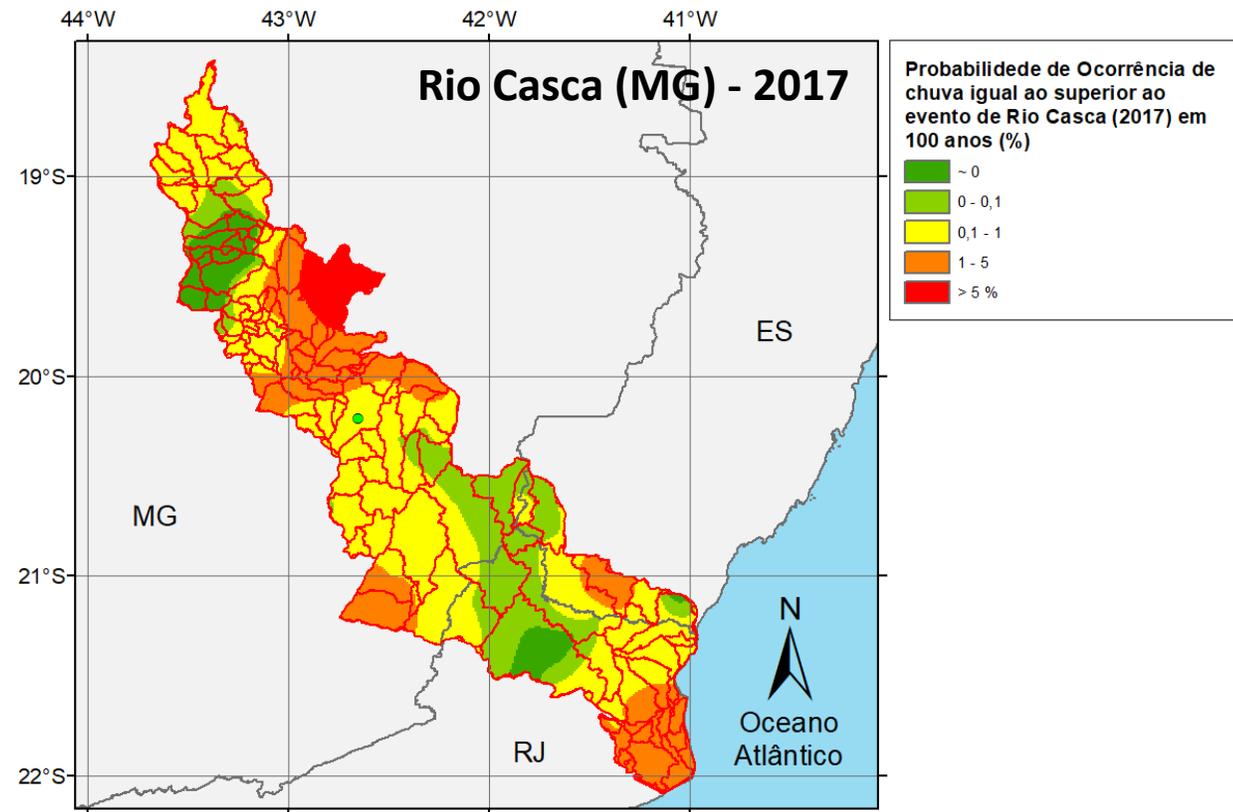
Tálus

Depósitos marinhos



5. Modelos de previsão pluviométrica em função das mudanças climáticas

- Os modelos hidrológicos teóricos assumem que os eventos do passado tem a mesma probabilidade de acontecer no futuro.
- Como considerar o aumento da tendência de ocorrência de eventos extremos (Mudanças climáticas)?
- Os eventos extremos sempre ocorreram e estão sendo potencializados pela ocupação de áreas mais suscetíveis a sofrerem as consequências destes?
- Um evento pode ter probabilidade muito baixa de ocorrer, mas ainda assim as consequências podem ser catastróficas caso aconteça



Uso da estimativa do período de retorno como forma de avaliar a magnitude de eventos climáticos:
(Nota Técnica n. 01, IPT 2022)



Período de Retorno Estimado (em anos)	Classificação do evento climático
Inferior a 10 anos	Evento comum, com impactos localizados, por exemplo, formação de pontos de alagamento nas áreas baixas e/ou pouco drenadas.
Entre 10 e 25 anos	Evento menos frequente, com impactos abrangendo uma área maior e maiores consequências, por exemplo, transbordamento de córregos, solapamentos de margem e pequenos deslizamentos de terra.
Entre 25 e 50 anos	Evento importante, com a ocorrência de transbordamentos em trechos de rios maiores, danos em estruturas de drenagem precárias e mal dimensionadas.
Entre 50 e 100 anos	Evento significativo, com consequências severas e de gravidade excepcionais nos locais atingidos e abrangência regional importante, com a destruição de vias de acesso e travessias, aberturas de comportas em barragens de menor porte etc. Dificuldade de acesso e socorro às áreas atingidas.
Acima de 100 anos	Evento extremo, com atingimento de grandes bacias hidrográficas, consequências para obras de grande porte, incluindo rupturas em barramentos de terra/enrocamento, deslizamentos de encostas inteiras, inclusive com deslocamentos de rochas, corridas de massa e excepcional risco à vida.

6. Novas tecnologias de investigações geotécnicas e instrumentos de monitoramento

Monitoramento geotécnico de faixas de dutos:

- Plano Inclinado (Cubatão) e Litoral Norte (Praia Preta, Calhetas)
- Prevenção de acidentes com os oleodutos que atravessam a Serra do Mar, em locais considerados críticos quanto a segurança, por meio de instrumentação geotécnica (inclinômetros, piezômetros, medidores de NA e outros) e inspeções visuais.
- Resultado prático: antecipação de ações que contribuem para a segurança das dutovias.



7. Soluções de obras geotécnicas de contenções com novas tecnologias e/ou melhores práticas

- Levantamento Geológico-Geotécnico
- Apoio tecnológico para obras tradicionais: terra armada, pregagem, cortina atirantada etc.
- Caracterização do maciço para obras de contenção dinâmica
- Caracterização Geomecânica para instalação da instrumentação



FONTE: Geobrugg

8. Programa de auditoria para Gestão de Riscos Geotécnicos

Auditoria para Step III da barragem da Anglo

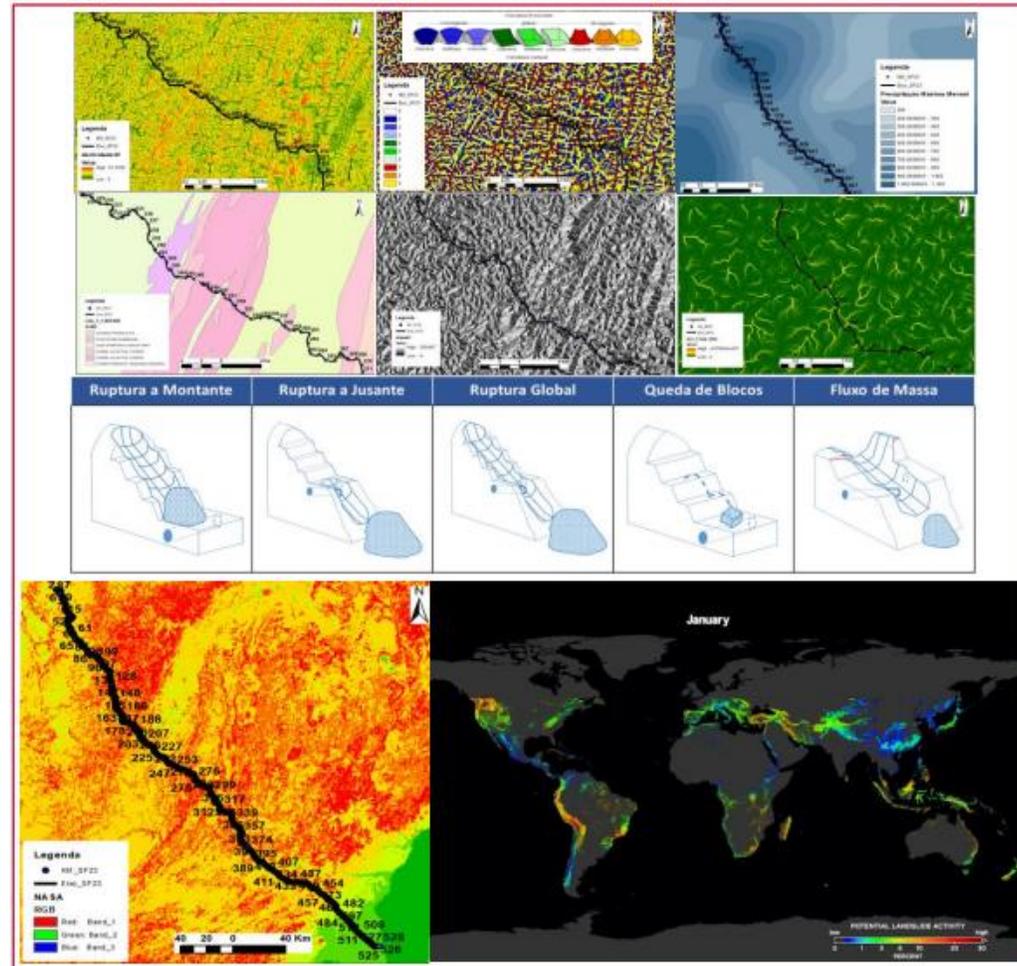
Auditorias com foco em gestão de riscos para empreendimentos lineares:

- Programa de auditoria para retomada de operação dos minerodutos Anglo (fase I e II) e Samarco (minerodutos 2 e 3).
- Inspeção de dutos e identificação de pontos críticos.
- Avaliação de fichas de inspeção, planos de inspeção, manual de emergência, avaliação de PAE, etc.



9. Sistemas de monitoramento e alertas quanto a riscos em encostas naturais

- Análise de suscetibilidade:
 - Imagens aéreas, de satélites e drones (hipsometria, drenagem, gradiente, pluviometria...)
 - Inventário de campo (mapeamento geológico-geotécnico, estabilidade de taludes)



Susceptibility analysis

Satellite and aerial images:

- Hipsometry and Amplitude,
- drainage flow accum.,
- Slope gradient and orientation,
- geological and pedological map,
- pluviometry,
- ruptures history

Field Inventory:

- Geological -Geotechnical mapping;
- Stability analysis.



10. Planos de contingência

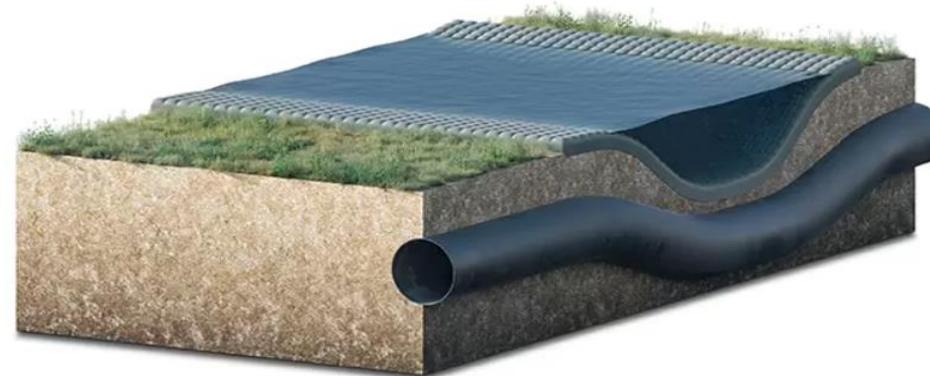
- Elaboração e Implantação de Planos de Contingência
- Consultoria na análise de Planos de Contingência
- Treinamento e Monitoramento

NÍVEL	PROTOCOLO DO CEMADEC DE OPERAÇÃO DO PPDC DE ESCORREGAMENTOS - NÍVEL DE ALERTA MÁXIMO					DATA: __/__/__ Última revisão: __/__/__
	O QUE SERÁ FEITO?	QUANDO SERÁ FEITO?	ONDE SERÁ FEITO?	POR QUE SERÁ FEITO?	QUEM O FARÁ?	COMO SERÁ FEITO?
ALERTA MÁXIMO	Fornecer subsídios para a mudança de nível para ALERTA MÁXIMO	Quando todos os critérios de entrada para o nível de ALERTA MÁXIMO forem atingidos e após avaliação da necessidade de mudança	Nas áreas de risco de escorregamentos abrangidas no raio de cobertura de 2,5 km dos postos pluviométricos da rede CEMADEN/CODESAL que atingiram os critérios de entrada para ALERTA MÁXIMO	Iniciar todas ações operacionais pré-estabelecidas no nível de ALERTA MÁXIMO	CEMADEC - (Responsável: Ricardo)	Envio de informativo de mudança de nível e envio de SMS para os membros da Comissão Executiva do PPDC
	Subsidiar a tomada de decisão para mudança de nível de ALERTA MÁXIMO para ALERTA, ATENÇÃO OU OBSERVAÇÃO	Durante a vigência do nível de ALERTA MÁXIMO	Nas áreas de risco de escorregamentos abrangidas no raio de cobertura de 2,5 km dos postos pluviométricos da rede CEMADEN/CODESAL que atingiram os critérios de retorno do nível de ALERTA MÁXIMO para OBSERVAÇÃO, ATENÇÃO OU ALERTA	Devido ao retorno da condição característica do nível de OBSERVAÇÃO, ATENÇÃO OU ALERTA	CEMADEC (Responsável: Ricardo)	Envio de informativo de mudança de nível e envio de SMS para os membros da Comissão Executiva do PPDC
	Comunicar todas as instituições participantes da operação PPDC sobre MUDANÇA para o NÍVEL de ALERTA MÁXIMO	Sempre que houver a mudança de nível operacional do PPDC de escorregamentos	Em todas as áreas de risco de escorregamentos de Salvador serão objeto da operação contínua do PPDC	Para fornecer subsídios/feedback da situação da operação do PPDC em Salvador visando a realização das ações preventivas	CEMADEC - Setor de Produção e Acompanhamento de Alertas (SEPAL)	Emissão e envio do INFORMATIVO CEMADEC DO PPDC DE ESCORREGAMENTOS com comunicado sobre mudança de nível
	Elaborar e emitir boletins de previsão meteorológica oficiais do PPDC enquanto um dos parâmetros técnicos fundamentais para análise de mudança de nível do PPDC	Rotineiramente, 2 vezes ao dia, no período da manhã, de 9 até 12 horas, e a tarde, entre as 14 as 17 horas	Para todo o território municipal de Salvador	ANTEVER E ALERTAR SOBRE SISTEMAS METEOROLÓGICOS COM POTENCIAL PARA OCORRÊNCIA DE ESCORREGAMENTOS	CEMADEC - Setor de monitoramento do clima (SEMOC)	Comunicação do INFORMATIVO CODESAL
	RECEBER INFORMES DAS VISTORIAS DE CAMPO, DOS NUPDECS, E DE OUTRAS FONTES NAS ÁREAS MONITORADAS QUE APRESENTEM REGISTROS DE ESCORREGAMENTOS E/OU INDÍCIOS DE INSTABILIZAÇÃO DE ENCOSTAS	Durante a vigência do nível de ALERTA MÁXIMO	Nas áreas de risco declaradas em nível de ALERTA MÁXIMO	Para continuar dando suporte a Comissão Executiva do PPDC	CEMADEC - Setor de Produção e Acompanhamento de Alertas (SEPAL)	Resultados das fichas de análise de risco iminente (FICHAS DE VISTORIA TÉCNICA DO PPDC) realizadas pelo Setor de Engenharia; Informes de registros de ocorrências no SGDC (156 e 199).informes dos NUPDECS das áreas de risco e informes de outras fontes.
	Realizar acompanhamento da recepção das notificações (comunicados de alerta de risco de escorregamentos) do CEMADEN	Diariamente	Em todas as áreas de risco de escorregamentos e alagamentos de Salvador, objeto da operação contínua do PPDC	para avaliar possível mudança de nível na operação do PPDC	CEMADEC - Setor de Monitoramento do Clima (SEMOC) e Setor de Produção e Acompanhamento de Alertas (SEPAL)	Por meio do acompanhamento 24 horas da caixa de E-mail do setor e mensagens de aviso de transmissão de notificação de alerta emitido pelo CEMADEN nos celulares cadastrados do CEMADEC
	Manter a frequência de contato com CEMADEN	Durante a vigência do nível de ALERTA MÁXIMO	Em toda a cidade de Salvador	Gerar subsídios para tomada de decisão do Comitê Executivo do PPDC	CEMADEC (Responsável: Ricardo)	Todas as formas possíveis de comunicação
	Subsidiar com informes técnicos das condições meteorológicas e de ocorrência de processos de escorregamentos e de indícios de instabilização de encosta	Continuamente durante toda a vigência do nível de ALERTA MÁXIMO	Para todo o território municipal de Salvador	Gerar subsídios para tomada de decisão do Comitê Executivo do PPDC	CEMADEC (Responsável: Ricardo)	Em reuniões presenciais da Comissão Executiva do PPDC e por meio do INFORMATIVO CEMADEC DO PPDC DE Escorregamentos
	Comunicar todas as instituições participantes da operação PPDC sobre MUDANÇA DE NÍVEL	Sempre que houver a mudança de nível operacional do PPDC de escorregamentos	Em todas as áreas de risco de escorregamentos de Salvador serão objeto da operação contínua do PPDC	Para fornecer subsídios/feedback da situação da operação do PPDC em Salvador	CEMADEC - Setor de Produção e Acompanhamento de Alertas (SEPAL)	Emissão e envio do INFORMATIVO CEMADEC DO PPDC DE ESCORREGAMENTOS com comunicado sobre mudança de
	Informar o Setor de Comunicação da Codesal sobre nível de operação vigente, ocorrências registradas e ações realizadas sempre que houver mudança de nível	Sempre que houver a mudança de nível operacional do PPDC de escorregamentos	Em todas as áreas de risco de escorregamentos de Salvador serão objeto da operação contínua do PPDC	Para fornecer subsídios/feedback da situação da operação do PPDC em Salvador	CEMADEC - Setor de Produção e Acompanhamento de Alertas (SEPAL)	Emissão e envio do INFORMATIVO CEMADEC DO PPDC DE ESCORREGAMENTOS com comunicado sobre mudança de



11. Inspeções em faixas de domínio

- Assessoria técnica para soluções de problemas de contenção, inundação e manifestações patológicas
- Estudo de novas alternativas de projeto, considerando-se critérios de inovação, resiliência e sustentabilidade
- Estudo de tecnologias de monitoramento *real time* (validação: comparação com instrumentação convencional)
- Uso de tecnologia LIDAR e SAR/InSAR



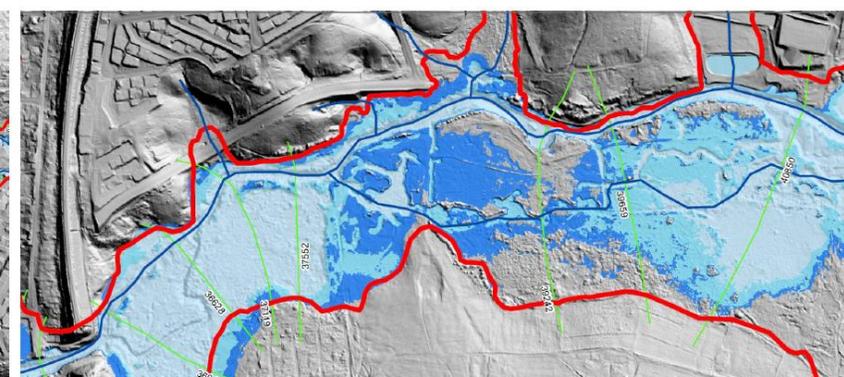
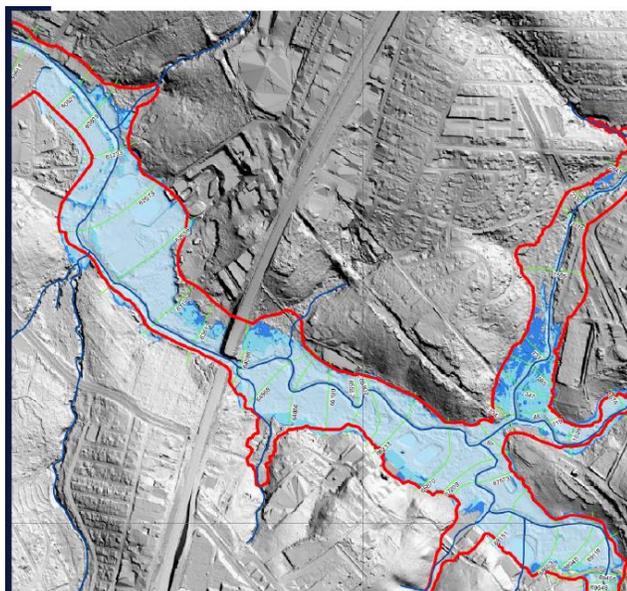
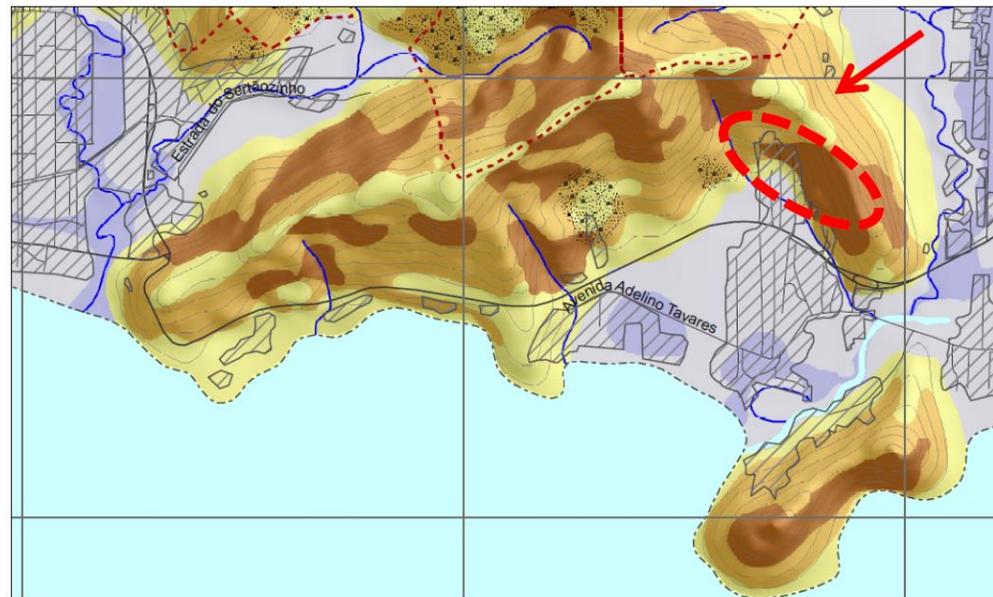
Huesker, 2024.



12. Identificação de processos

Identificação de processos:

- Escala de trabalho:
semi-regional ou detalhe (local)
- Modelagem hidrológica e hidráulica em rios que interceptam obras lineares para simular inundações em eventos de precipitação extrema (cenários)



Período de Retorno	Extensão das áreas inundáveis (km ²)		Variação atual - futuro
	Ocupação do solo Atual	Estimativa Ocupação Futura	
5 anos	4,41	4,78	8,33%
25 anos	6,06	6,35	4,68%
100 anos	7,17	7,42	3,55%



13. Investigação de acidentes

- Identificação de causa-raiz e causas contributivas
- Lições aprendidas
- Boas práticas

13/01/2012 13h12 - Atualizado em 13/01/2012 13h15

IPT vai analisar desabamento de laje em obra da Zona Norte de SP

Um operário morreu e outros 11 ficaram feridos na Vila Nova Cachoeirinha. Secretário da Cultura mandou interditar obras após acidente.

Do G1 SP

1 comentário  83  3



Parte de prédio desabou (Foto: Reprodução/TV Globo)



A Secretaria de Estado da Cultura contratou o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) para fazer um laudo sobre as causas do desabamento da laje da Fábrica da Cultura que caiu nesta quinta-feira (12) na Vila Nova Cachoeirinha, na Zona Norte da capital.

02/07/2013 19h12 - Atualizado em 02/07/2013 19h49

IPT fará perícia 'paralela' para apurar acidente em obra viária de Piracicaba

Concessionária contratou Instituto de Pesquisas Tecnológicas nesta terça. Queda de vigas em ponte do novo anel viário matou e feriu trabalhadores.

Do G1 Piracicaba e Região

 Comente agora  2  64



Acidente ocorreu nesta segunda-feira nas obras do novo anel viário de Piracicaba (Foto: Fernanda Zanetti/G1)

A concessionária Rodovias do Tietê informou na tarde desta terça-feira (2) que contratou o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) para realizar uma perícia técnica paralela nas obras do novo anel viário de **Piracicaba** (SP), onde na manhã desta segunda-feira (1) o desabamento



13. Investigação de acidentes



/ são paulo / **desabamento no rodoanel**

28/12/09 - 19h01 - Atualizado em 28/12/09 - 20h19

Laudo do IPT aponta falhas de execução em obra do Rodoanel que desabou

Secretaria Estadual dos Transportes divulgou relatório nesta segunda (28). Vigas de viaduto desabaram sobre a Régis em 13 de novembro.

Do G1, em São Paulo

Tamanho da letra
A- A+



A Secretaria Estadual dos Transportes divulgou nesta segunda-feira (28) laudo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) que aponta falhas na execução por parte das empresas Mendes Júnior, OAS e Carioca Engenharia na construção de um viaduto do Rodoanel Sul sobre a Rodovia Régis Bittencourt.

No dia 13 de novembro, três vigas de sustentação despencaram sobre carros que passavam pela estrada e deixaram três pessoas feridas. O viaduto tem 680 metros. Cada viga tinha 45 metros de comprimento e pesava 85 toneladas.

Elas despencaram de uma altura de 20 metros, atingindo dois carros e um caminhão.

saiba mais

Motorista ferido em desabamento no Rodoanel tem alta de hospital

Peritos dizem que falta de trava nas vigas causou acidente no Rodoanel

Crea pretende vistoriar todas as vigas do Trecho Sul do Rodoanel

Procuradoria cobra explicações da Dersa sobre acidente no Rodoanel

'Estou muito feliz', diz motorista ferido em acidente no Rodoanel ao sair do hospital

Serra e 11 deputados receberam doações de 'consórcio' do Rodoanel, diz TSE

De acordo com o relatório, não foi feito um travamento adequado das vigas. Além disso, o atrito das vigas com as bases de apoio era insuficiente, segundo o documento. Por último, o estudo do IPT aponta uma "falta de horizontalidade das superfícies das bases de apoio", como uma das causas para a queda das vigas, que, devido a estas falhas na execução, não resistiram a uma "força horizontal", não explicada no documento.

Segundo a secretaria, o instituto avaliou aspectos como a ocorrência de sismos (tremores de terras), ação de ventos e tempestades, qualidade dos materiais usados, protensão das vigas, seu dimensionamento e procedimentos de instalação.

De acordo com o comunicado à imprensa da secretaria, "será feita a devida apuração das responsabilidades contratuais e funcionais

IPT conclui relatório sobre causas de desabamento na Linha 4 do Metrô

Instituto entrega documento na tarde de sexta-feira (6) às autoridades. Escavações cautelosas adiaram conclusão do relatório, diz IPT.

Do G1, em São Paulo

Tamanho da letra
A- A+



Acidente em Pinheiros (Zona Oeste) matou sete pessoas em janeiro de 2007 (Foto: Diário de S. Paulo)

saiba mais

Laudo de acidente do Metrô vai mostrar que houve negligência em segurança

Metrô diz que a obra em Pinheiros não sofrerá atraso

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) concluiu nesta sexta-feira (6) o relatório final que aponta as causas do desabamento das obras da futura Estação Pinheiros, da Linha 4 (Amarela) do Metrô de São Paulo. O acidente, que aconteceu no dia 12 de janeiro do ano passado, matou sete pessoas que transitavam na região.

O instituto, vinculado à Secretaria do Desenvolvimento, entrega no final desta tarde o documento ao Ministério Público de São Paulo, Metrô, Instituto

de Criminalística (IC) e Consórcio Via Amarela, formado pela Odebrecht, Camargo Corrêa, OAS, Queiroz Galvão e Andrade Gutierrez, construtoras responsáveis pela obra.

A conclusão do relatório foi adiada em função das escavações que, segundo o IPT, deveriam ser feitas cuidadosamente para não danificar as provas. Segundo o instituto, o trabalho se tornava mais lento conforme os técnicos aproximavam-se dos escombros. A

coleta de provas no local do acidente foi encerrada no dia 4 de abril passado.

O IPT contou com 30 profissionais especializados em diversas áreas técnicas. As provas foram coletadas e analisadas. A assessoria de imprensa do IPT informou que não divulgará o relatório à imprensa.



13. Investigação de acidentes

Laudo do IPT sobre causas do acidente que abriu cratera em obra do Metrô na Marginal isenta Sabesp e suspeita de construtora

Relatório do IPT indica falhas na execução das obras da linha-6 Laranja, que estão sendo feitas pela construtora espanhola Acciona. Empresa disse que está analisando o laudo.

Por Bruno Tavares, SP2

01/03/2023 19h26 · Atualizado há 7 meses



O túnel da Linha 6-Laranja e a cratera formada na Marginal do Tietê após o acidente de fevereiro de 2022. — Foto: Montagem/gf

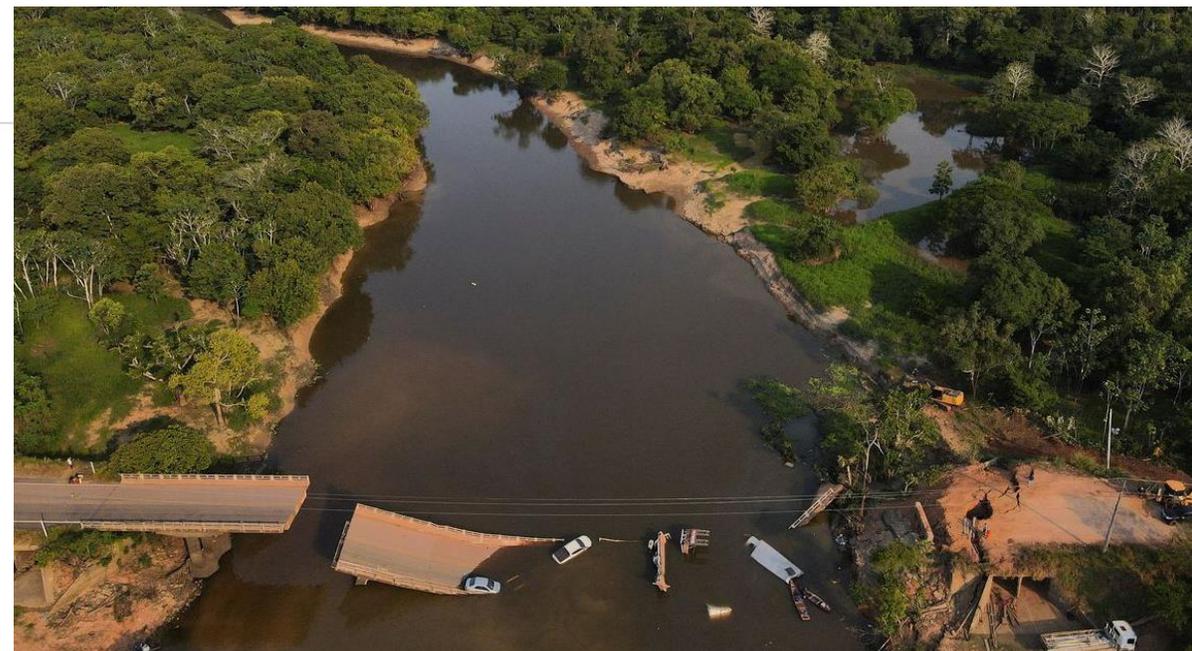
JORNAL NACIONAL

Desabamento de ponte no Amazonas deixa pelo menos 3 mortos e 14 feridos

A maior parte dos 96 metros da ponte desabou. Pelo menos 12 carros e caminhões caíram no rio que corta a BR-319 na altura do km 25 da estrada. Nesse trecho, o rio tem cerca de 20 metros de profundidade.

Por Jornal Nacional

28/09/2022 20h35 · Atualizado há um ano

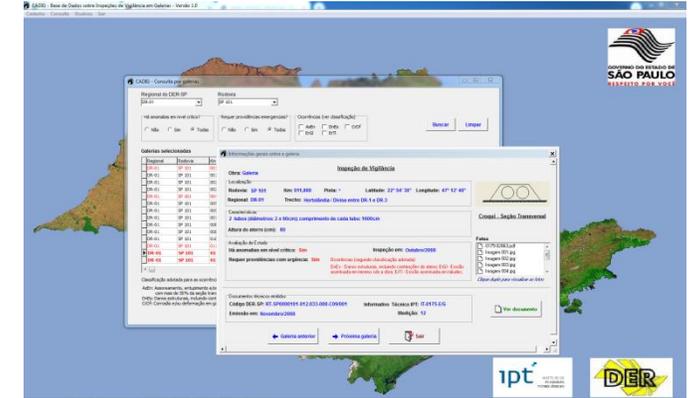


14. Soluções Customizadas - ST

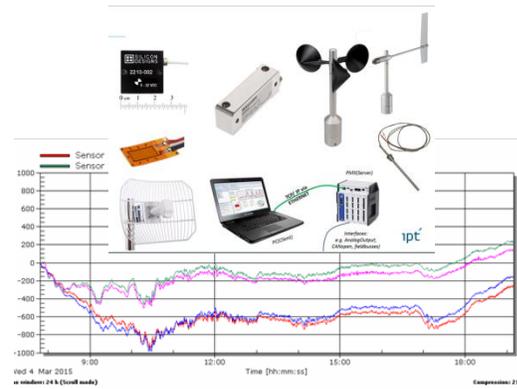
- Auditagem e acompanhamento de obras de construção ou restauro
- Provas de carga
- Monitoramento remoto
- Cadastramento e inspeção de vigilância em galerias e OAE's
- Efeitos passagem CVC's



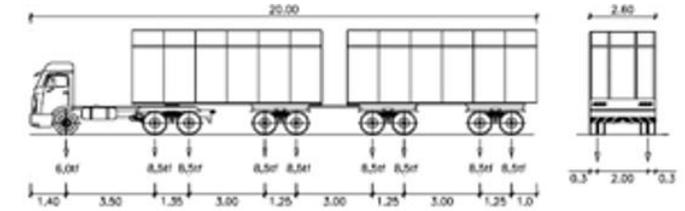
Acompanhamento de obra e Provas de carga



Inspeção de vigilância em galerias e OAE's



Monitoramento remoto



Efeitos passagem de CVC's

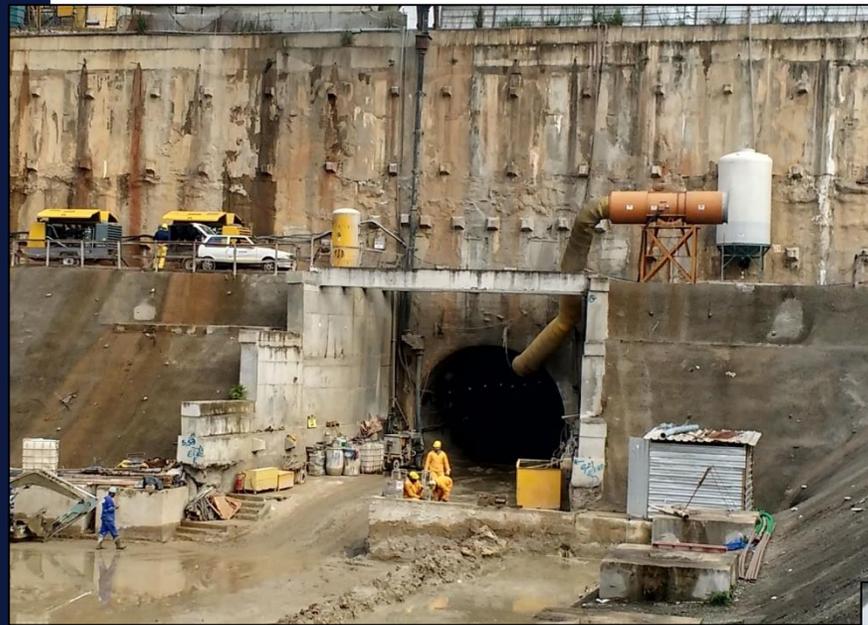


Auditagem de obras e pavimentos



14. Soluções Customizadas - ST

- inspeções e auditorias em obras e projetos geotécnicos e estruturais
- consultoria, identificação de problemas construtivos, otimização de projetos e obras, avaliação da qualidade da execução, identificação de patologias, etc.



fase de construção de um túnel de macrodrenagem



alteamento de pilhas de rejeito e verificação do seu potencial de liquefação



14. Soluções Customizadas - ST

- consultoria, identificação de problemas construtivos, otimização de projetos e obras, avaliação da qualidade da execução, identificação de patologias, etc.

Obra: Porto do Açu – RJ

- 2,8 km de pontes
- inspeção visual
- ensaios em aparelhos de apoio
- monitoramento de aberturas de dilatação
- prova de carga estática



14. Soluções Customizadas - ST

- Avaliação da segurança estrutural de obras civis



Via Expressa –
Salvador/BA



Cebolão – São Paulo/SP



Ponte sobre o Canal dos Barreiros – São
Vicente/SP



Ponte Pênsil – São
Vicente/SP



14. Soluções Customizadas - ST

- DER - Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo

- Malha rodoviária do Estado de São Paulo:
 - 22.000 km
 - 15.500 km sob administração do DER
 - 6.500 km sob administração das Concessionárias
- O IPT inspecionou cerca de 2.500 pontes e viadutos.
- Sem informação de desenho, projeto e localização das pontes.
- Análise Estrutural verificando os esforços causados por veículos do tipo CVC (Combinação de Veículos de Carga), usado no transporte de cana de açúcar.



DER - Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo

IPT

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

CODIGO	RT-SP-268-226.750-000-A09/001	REV.	A
EMISSAO	Junho / 2007	FOLHA	Página 4 de 20
EMITENTE	Inst. de Pesquisas Tecnológicas do Est. de SP S.A.		

2 ANÁLISE ESTRUTURAL

Apresenta-se a seguir um resumo da análise estrutural da OAE abaixo mencionada.

Acompanha esta análise:

- planta em escala reduzida da OAE;
- diagramas de esforços solicitantes.

São descritas a seguir as características principais da OAE:

2.1 Descrição:

Rodovia	SP-268
km	226,750
Classe	024
Elemento estrutural principal	Viga

2.2 Características das Combinações de Veículos de Carga – CVC

As figuras abaixo ilustram as Combinações de Veículo de Carga utilizadas nesta análise: CVC7420, CVC7425, CVC7430 e CVC6330.

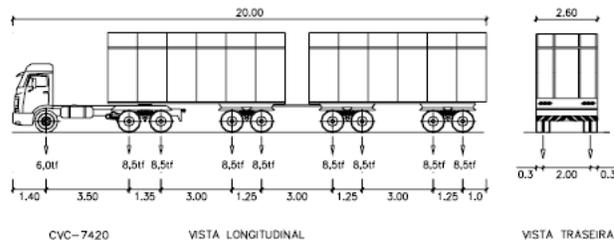


Figura 1 CVC7420 – 20 m de comprimento e carga total de 74 tf

Processamento de 4 tipos de CVC e do trem tipo de projeto da ponte

IPT

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

CODIGO	RT-SP-268-226.750-000-A09/001	REV.	A
EMISSAO	Junho / 2007	FOLHA	Página 5 de 20
EMITENTE	Inst. de Pesquisas Tecnológicas do Est. de SP S.A.		

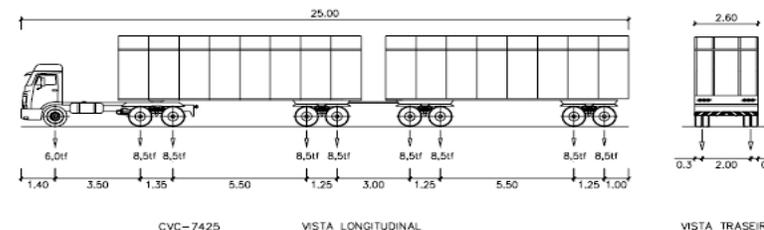


Figura 2 CVC7425 – 25 m de comprimento e carga total de 74 tf

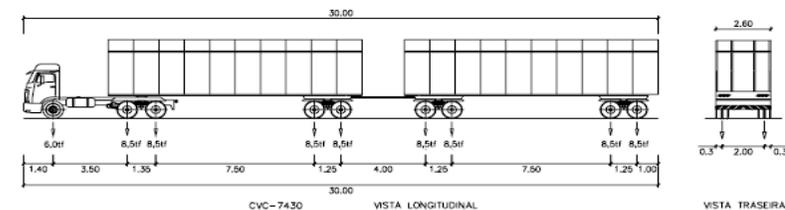


Figura 3 CVC7430 – 30 m de comprimento e carga total de 74 tf

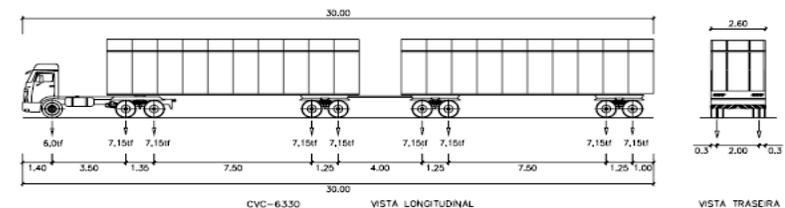
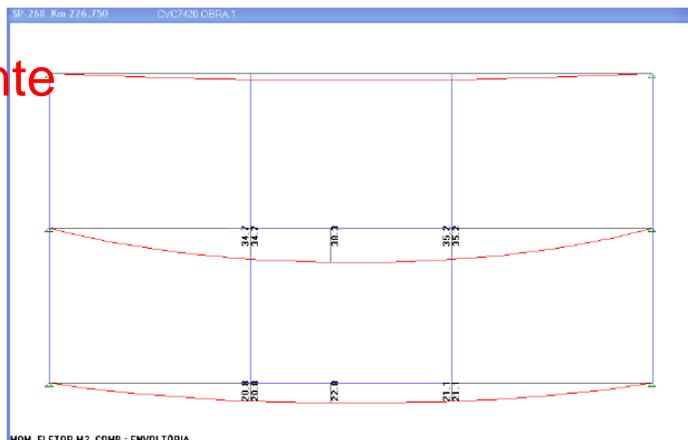


Figura 4 CVC6330 – 30 m de comprimento e carga total de 63 tf

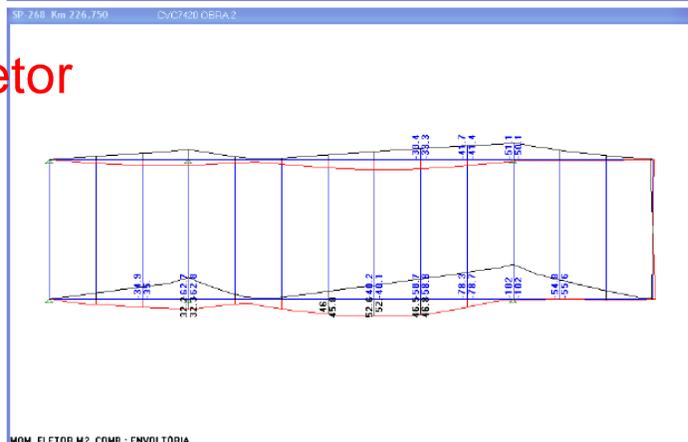
DER - Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo

Força Cortante



MOM. FLETOR M2 COMB.: ENVOLTÓRIA

Momento Fletor



MOM. FLETOR M2 COMB.: ENVOLTÓRIA

OBRA 2

Momento Fletor (tf.m)

Posição	TB24	μTB24	CVC6330	Aprovação
vão 1	27,9	33,5	23,9	sim
apoio 2	49,4	59,3	37,4	sim
vão 2	53,8	64,6	37,9	sim
apoio 3	88,1	105,7	76,9	sim

OBRA 1

Força Cortante (tf)

Posição	TB24	CVC6330	Aprovação
apoio 1d	15,7	14,0	sim
apoio 2e	15,6	14,2	sim

OBRA 2

Força Cortante (tf)

Posição	TB24	μTB24	CVC6330	Aprovação
apoio 1d	17,4	20,9	13,1	sim
apoio 2e	19,8	23,8	17,6	sim
apoio 2d	26,0	31,2	20,3	sim
apoio 3e	23,1	27,7	20,3	sim
apoio 3d	25,0	30,0	25,4	sim

3 CONCLUSÕES Comparação dos esforços dos 4 CVC com os esforços do trem tipo de projeto

Conforme as análises comparativas acima, apresentam-se as seguintes conclusões sobre a viabilidade da passagem das CVCs analisadas sobre a OAE em epigrafe.

3 veículos sem viabilidade de passagem

Conclusões das análises

Tipo de CVC	CVC7420	CVC7425	CVC7430	CVC6330
Viabilidade de passagem	Não	Não	Não	Sim

14. Soluções Customizadas - ST

■ Monitoramento estrutural de pontes

Ponte Pênsil de São Vicente-SP

- Construída em 1914
- 180 m de vão
- Treliça metálica e tabuleiro de madeira
- Torres metálicas de 20 m de altura revestidas com concreto
- Talvez seja a primeira troca de cabos de Pontes Pênséis na América do Sul
- Monitoramento Remoto da Estrutura



permanência das adutoras apoiadas na ponte



Construção de Passarela

Permissão do transito de pedestres e bicicletas, durante a execução da obra

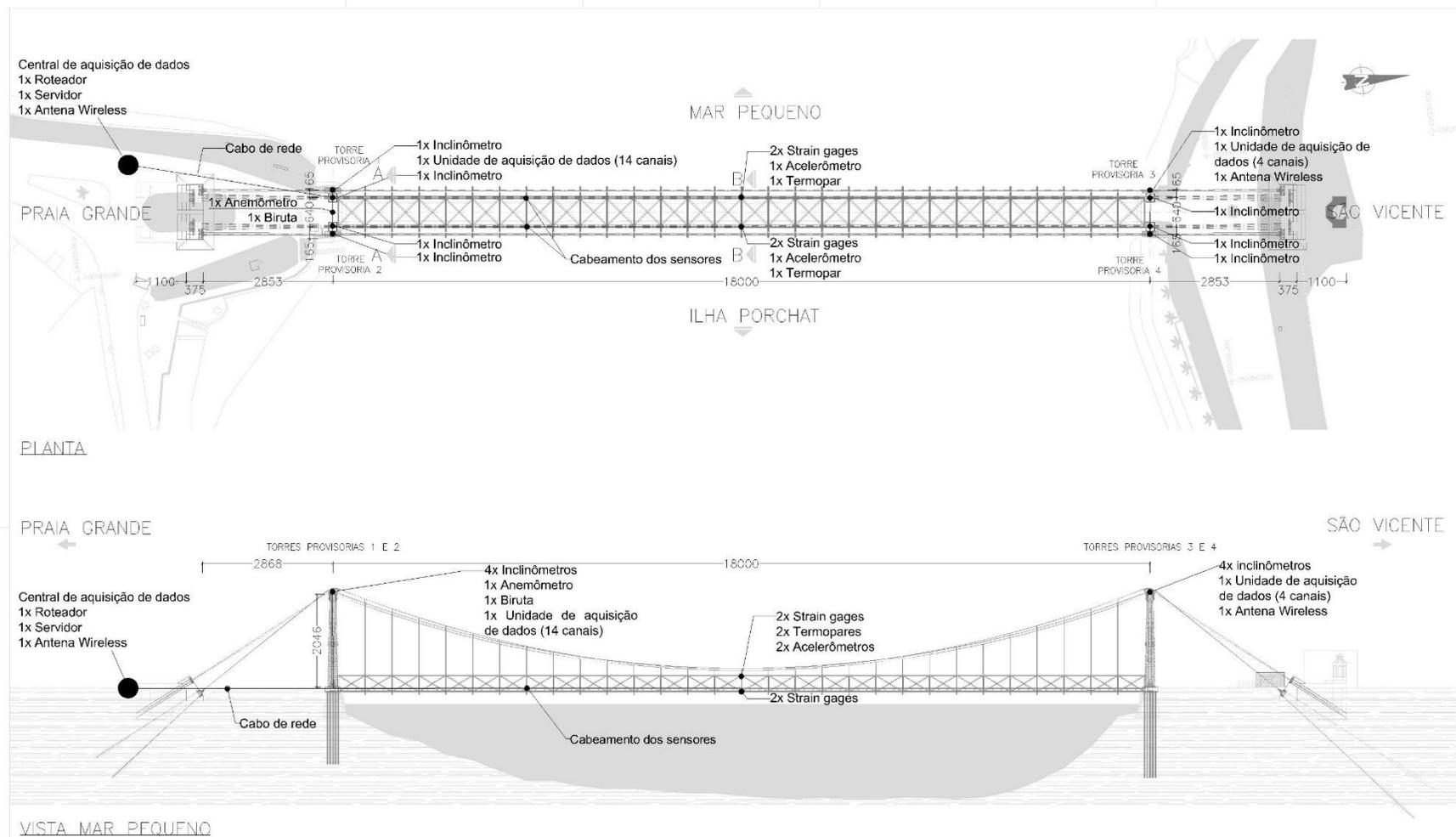






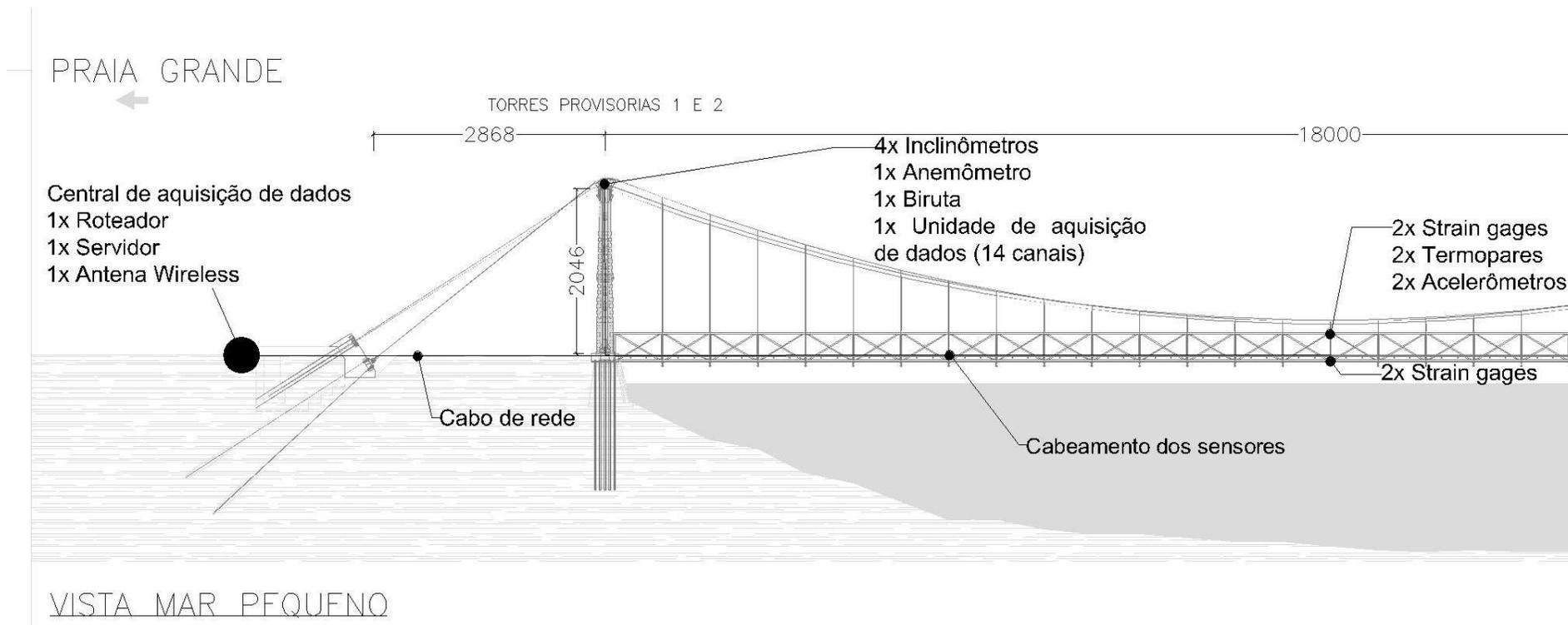
Monitoramento remoto em tempo real

- 18 sensores medindo vibrações, deformações, inclinações, temperatura, velocidade e direção do vento em tempo real em um sistema de acesso remoto por computadores tablets ou celulares.



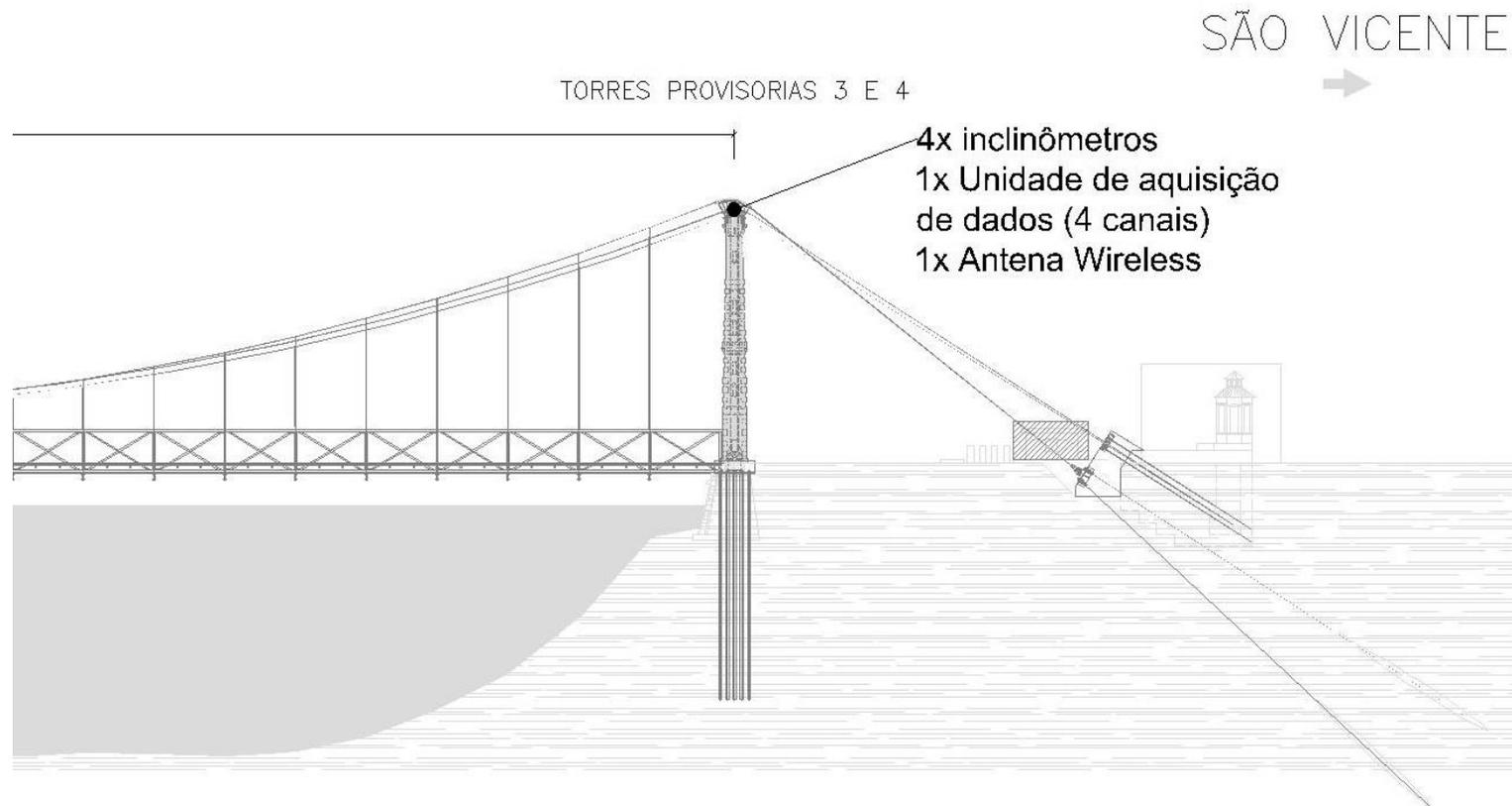
Monitoramento online

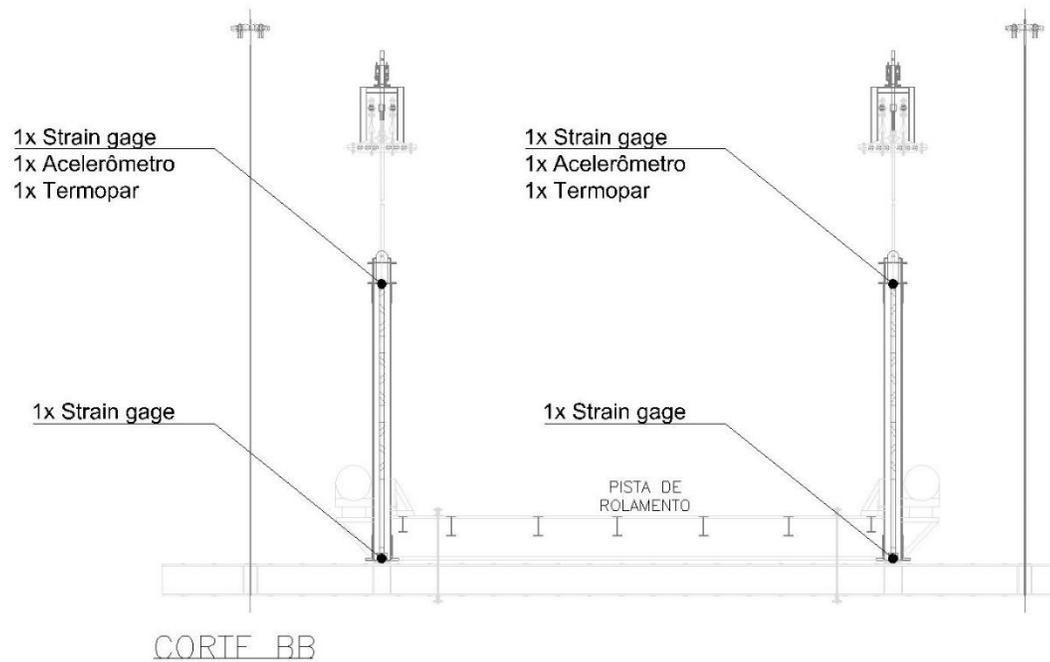
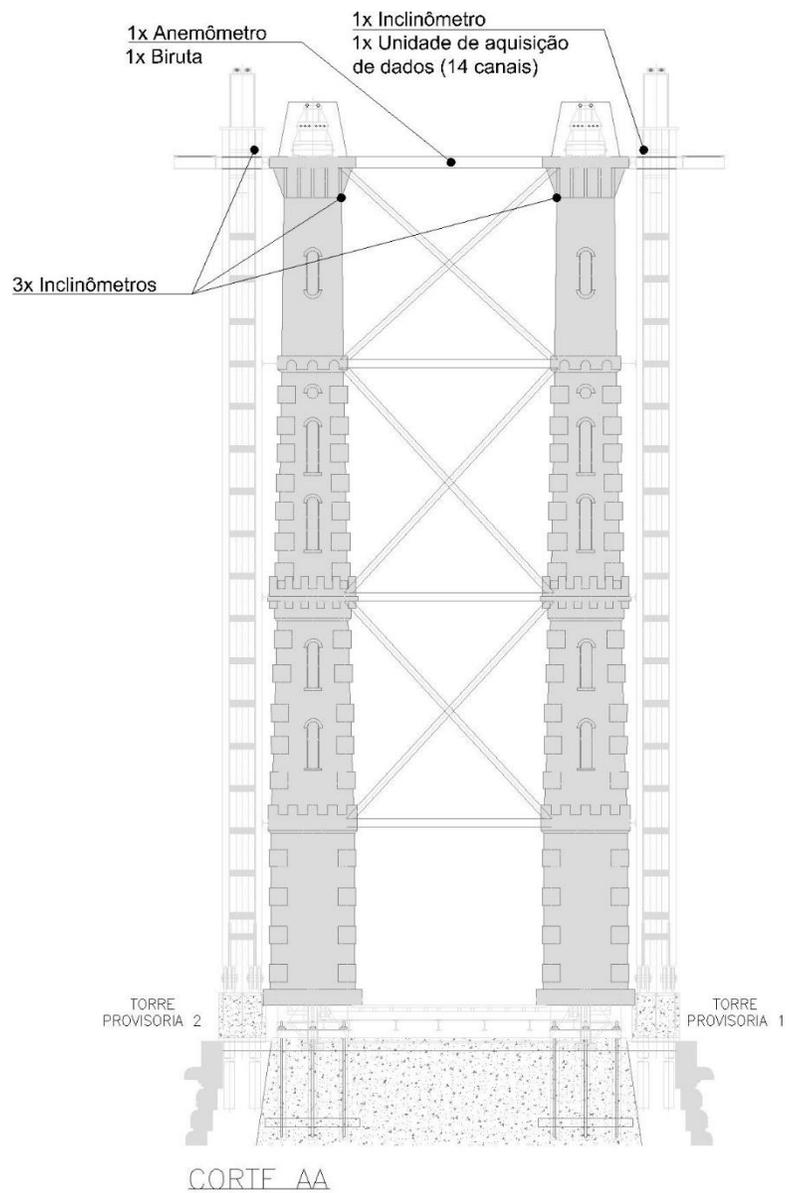
- 14 sensores ligados por cabo



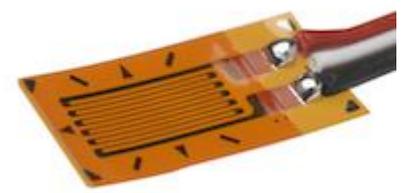
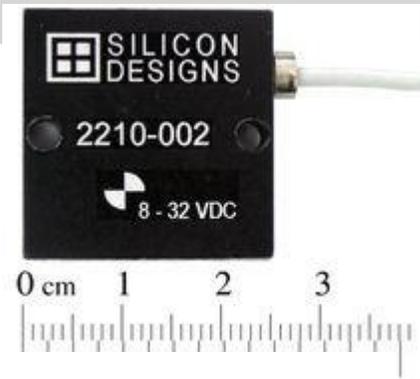
Monitoramento online

- 4 sensores ligados via wireless





SENSORES E SISTEMA



TCP/ IP via
ETHERNET

PC(Client)

Interfaces:
e.g. AnalogOutput,
CANopen, fieldbuses)





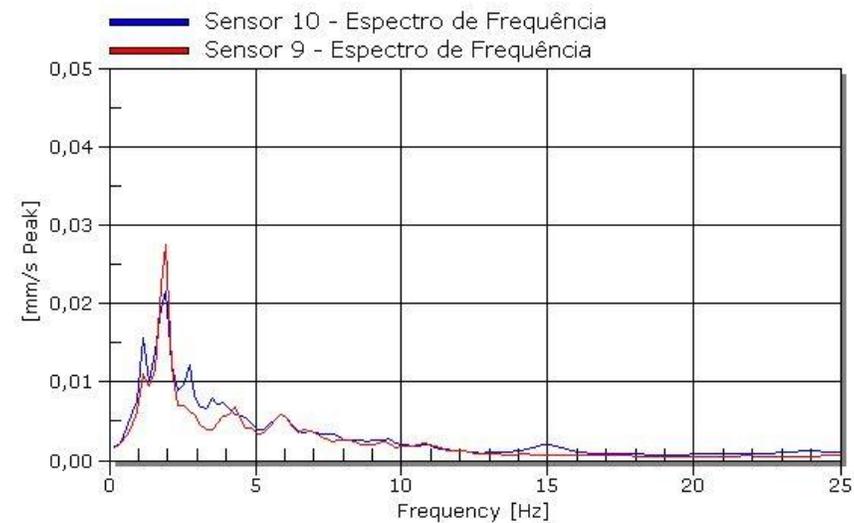
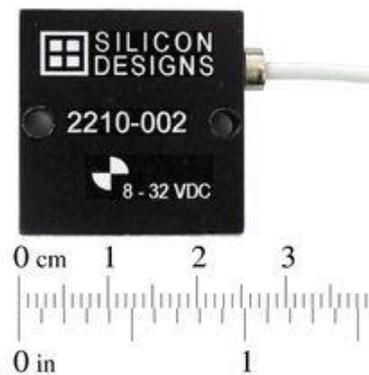
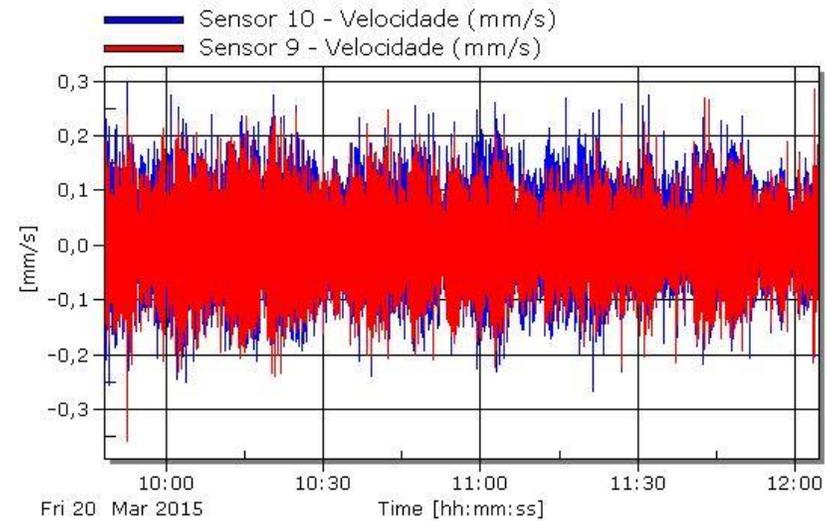
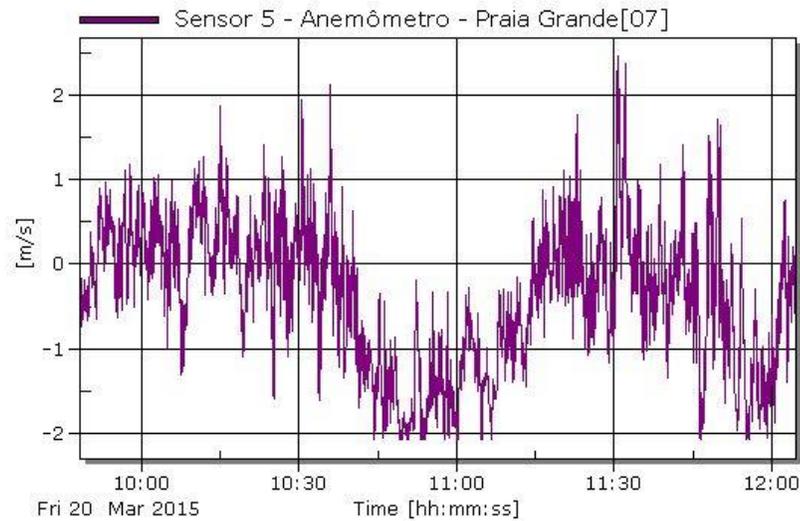


Incêndios - Cargas e Acelerômetros

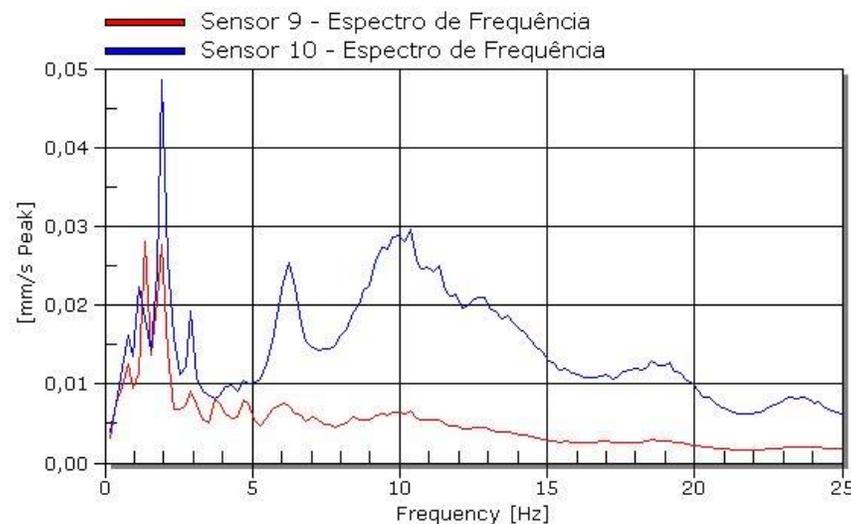
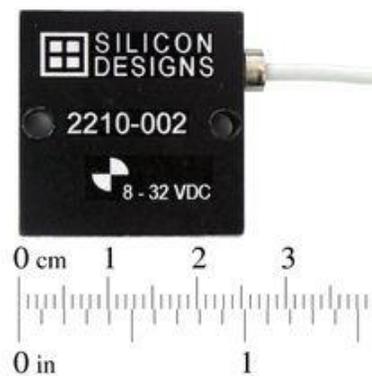
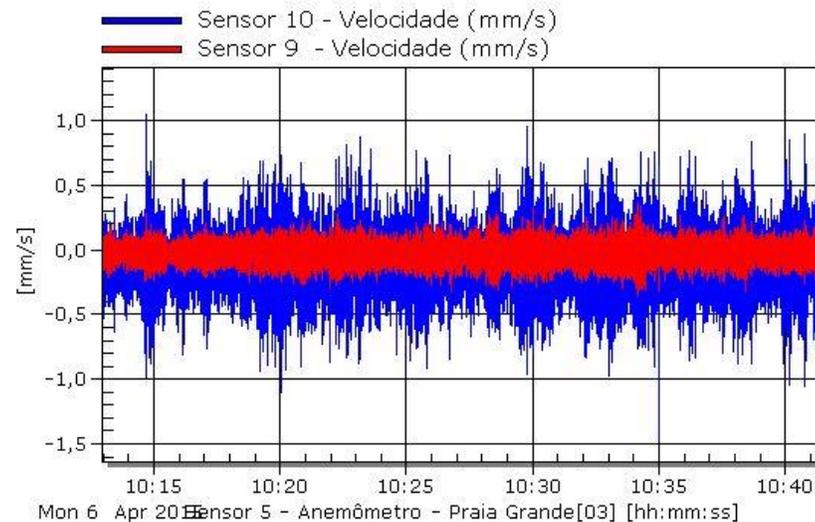
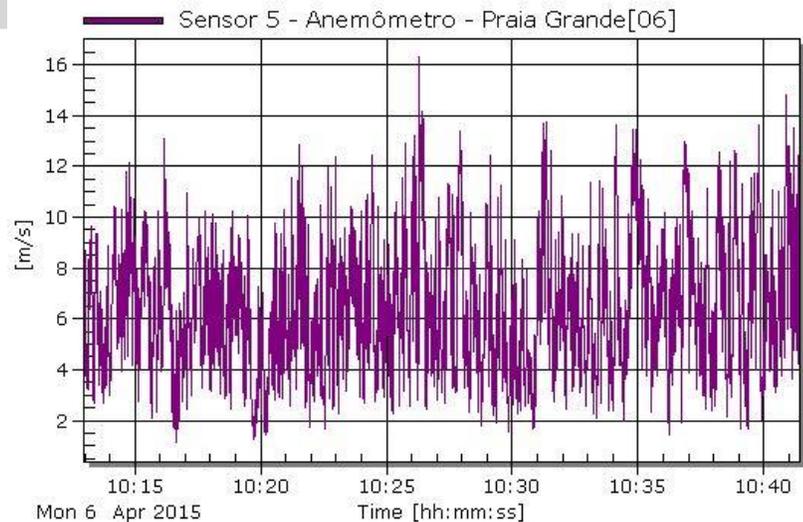
Data: 20/03/2015 Hora:09:48:07

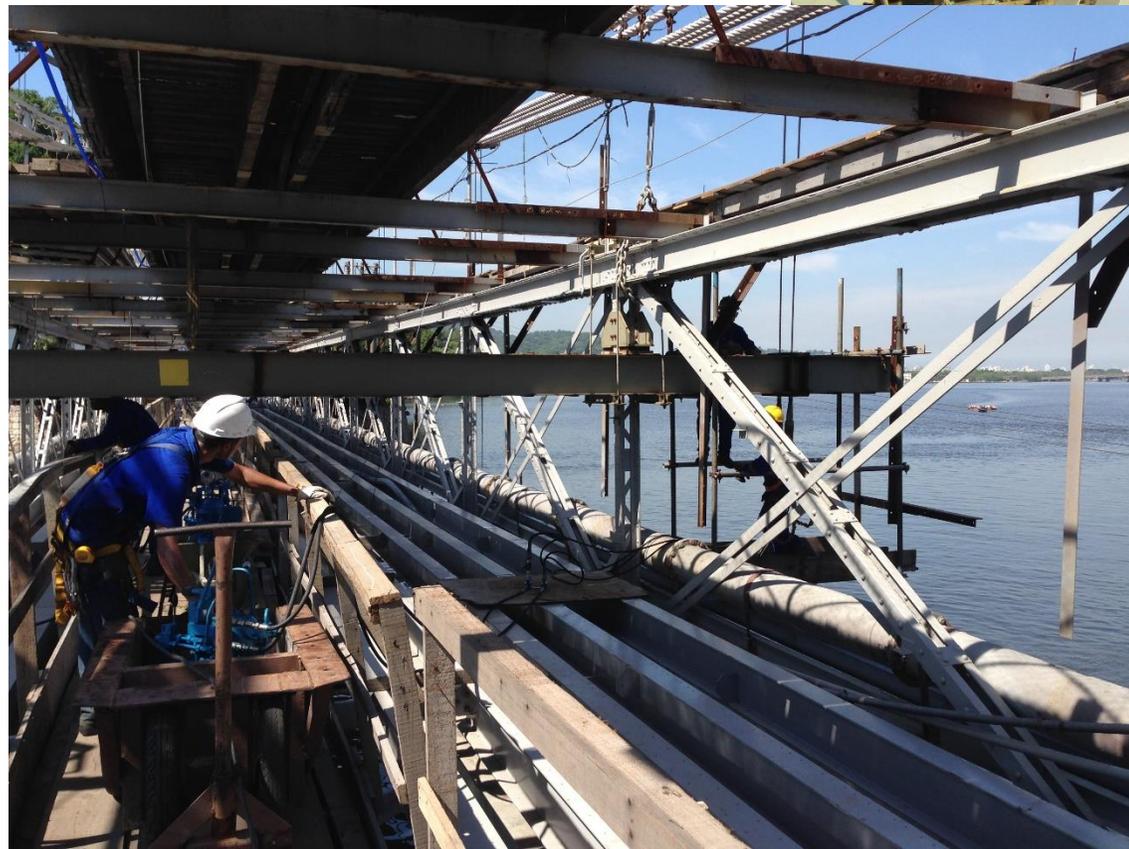
Channel	Sample	Unit	Min	Max
Sensor 1 - Inclínômetro - Praia Grande	-0,01	º	-0,17	0,21
Sensor 2 - Inclínômetro - Praia Grande	0,00	º	-0,05	0,06
Sensor 3 - Inclínômetro - Praia Grande	0,01	º	-0,10	0,12
Sensor 4 - Inclínômetro - Praia Grande	-0,01	º	-0,10	0,09
Sensor 5 - Anemômetro - Praia Grande	-1,46	m/s	-2,07	2,14
Sensor 6 - Biruta - Praia Grande	-225,89	º	-306,16	61,14
Sensor 7 - Temperatura - Meio de vão	28,32	°C	26,77	37,35
Sensor 8 - Temperatura - Meio de vão	28,12	°C	26,00	28,66
Sensor 9 - Acelerômetro - Meio de vão	-0,000820	g	-0,0164520	0,006498
Sensor 10 - Acelerômetro - Meio de vão	-0,000395	g	-0,0232120	0,014220
Sensor 11 - SG - Meio de vão	-375	µm	-433	-11
Sensor 12 - SG - Meio de vão	-338	µm	-347	-2
Sensor 13 - SG - Meio de vão	-358	µm	-358	9
Sensor 14 - SG - Meio de vão	-311	µm	-311	9
Sensor 15 - Inclínômetro - São Vicente	-0,01	º	-0,06	0,01
Sensor 16 - Inclínômetro - São Vicente	0,00	º	-0,03	0,07
Sensor 17 - Inclínômetro - São Vicente	-0,01	º	-0,09	0,08
Sensor 18 - Inclínômetro - São Vicente	0,00	º	-0,07	0,09

VENTO DE 7 KM/H



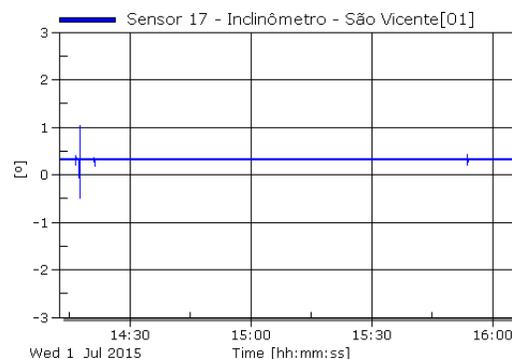
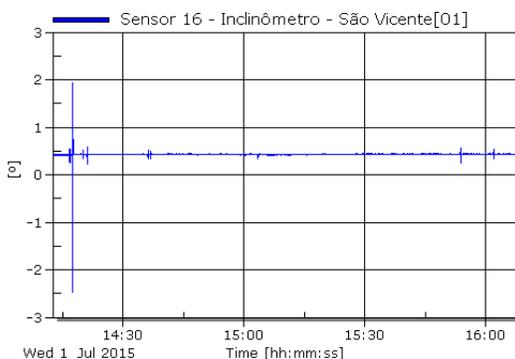
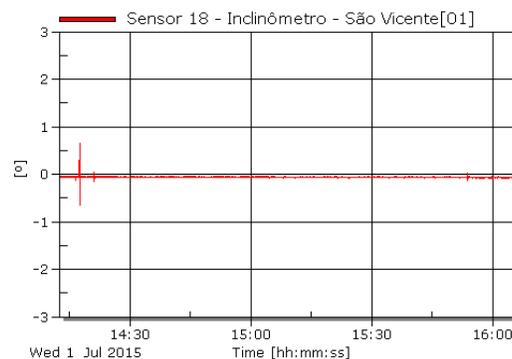
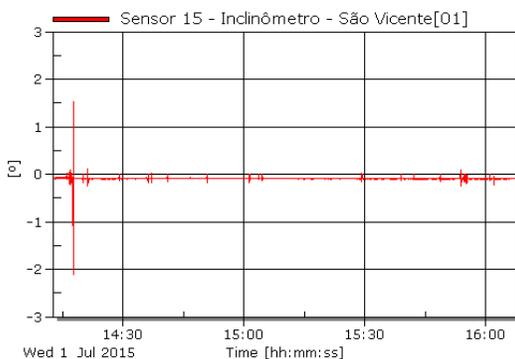
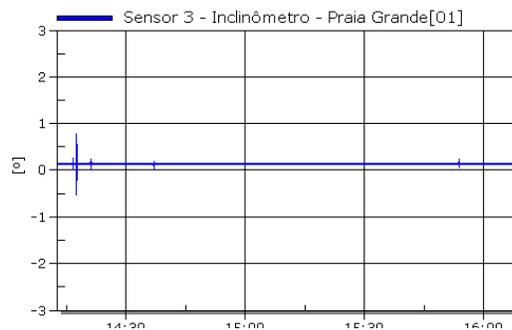
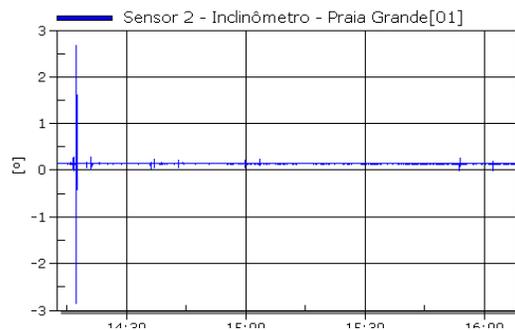
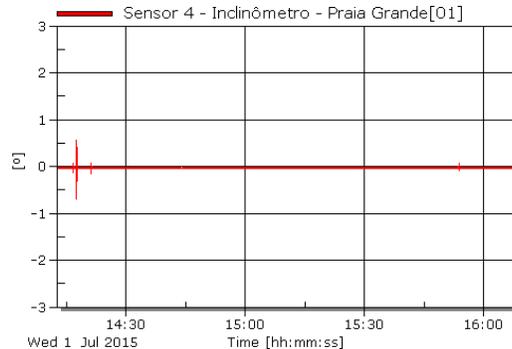
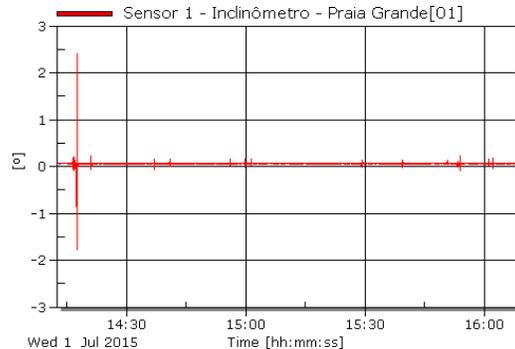
VENTO DE 60 KM/H





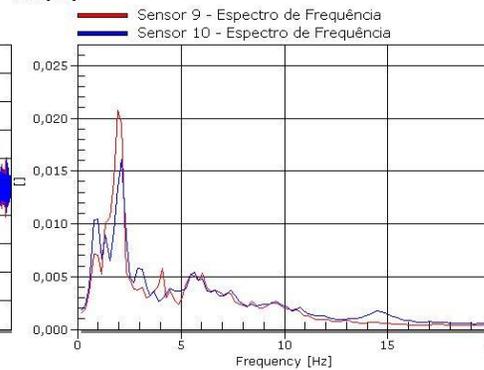
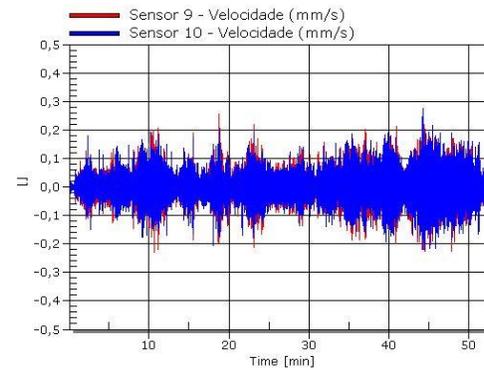
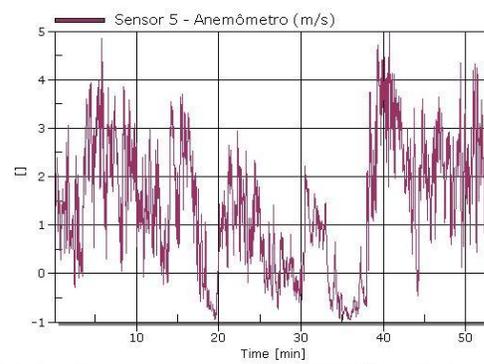


Ruptura de pendural (clavete)

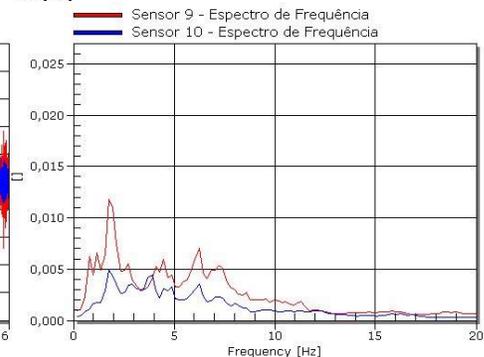
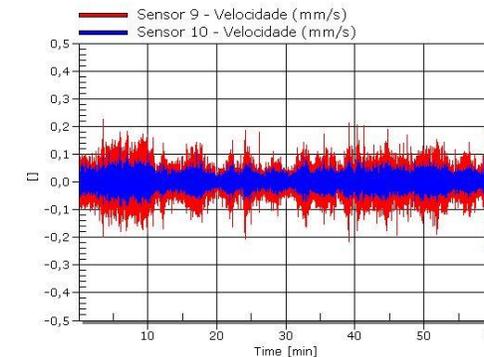
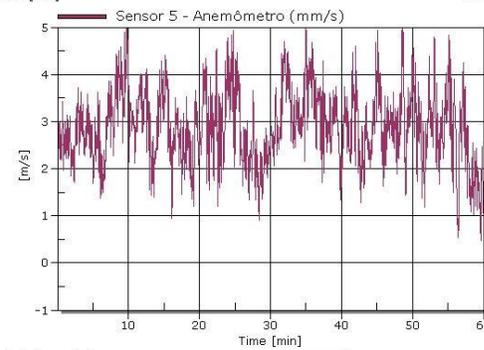


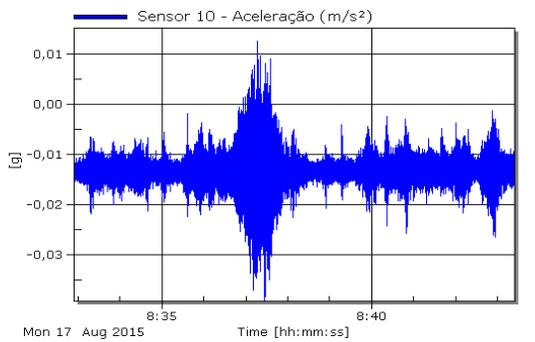
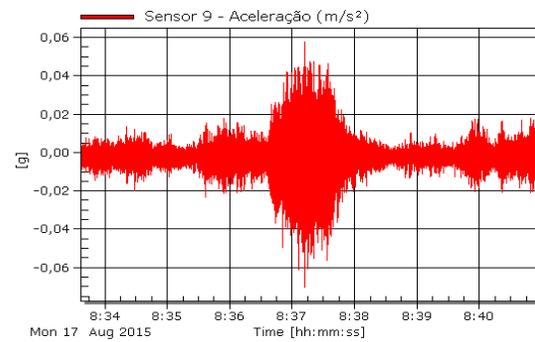
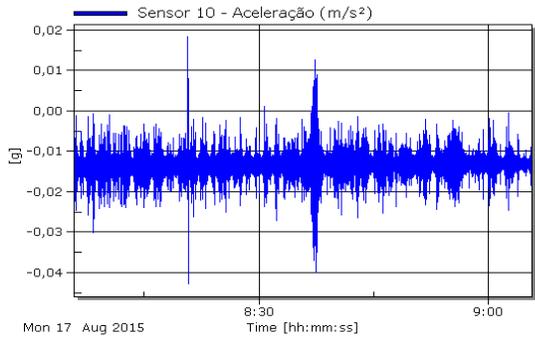
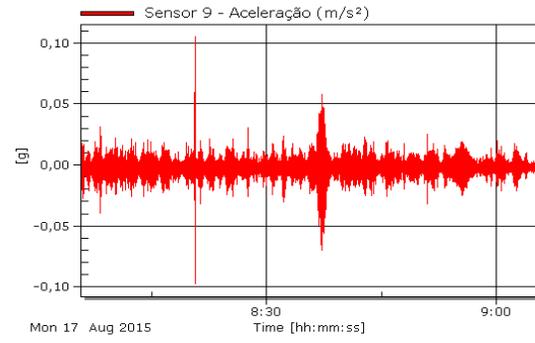
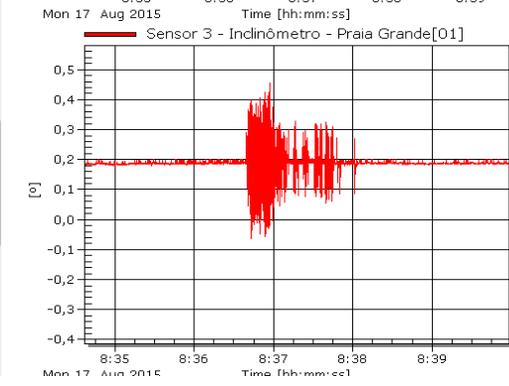
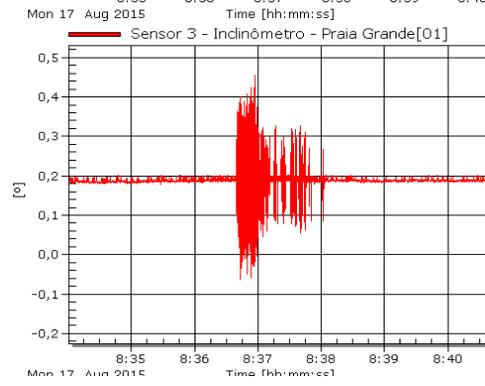
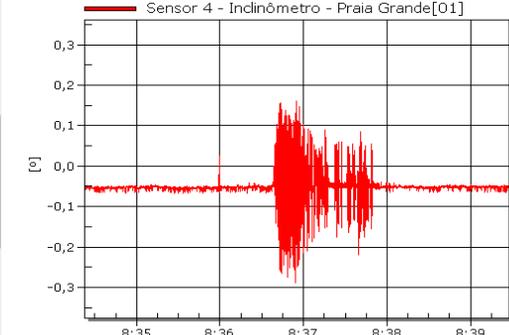
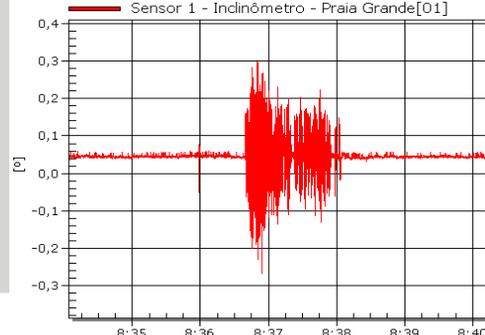


Original

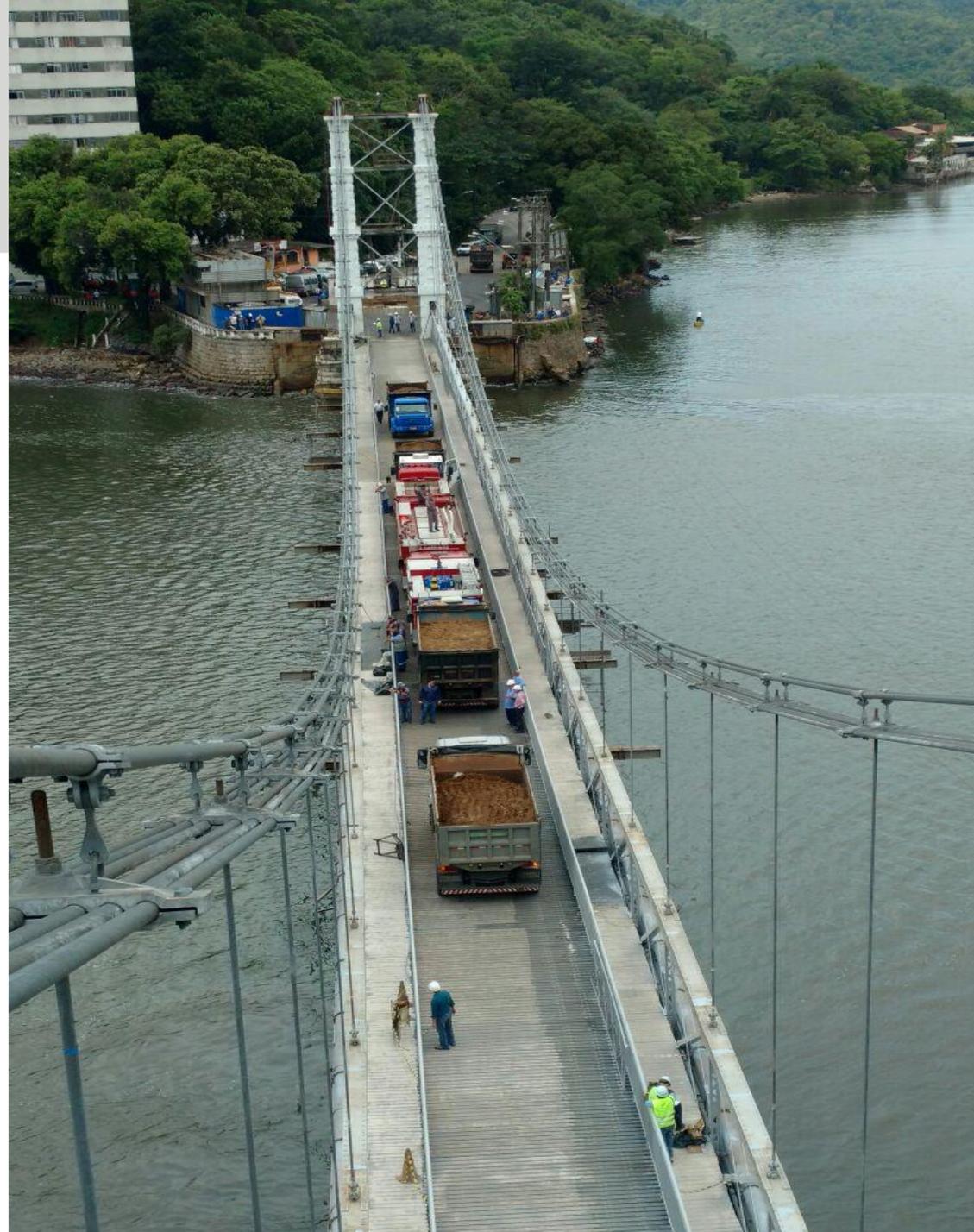


Provisória

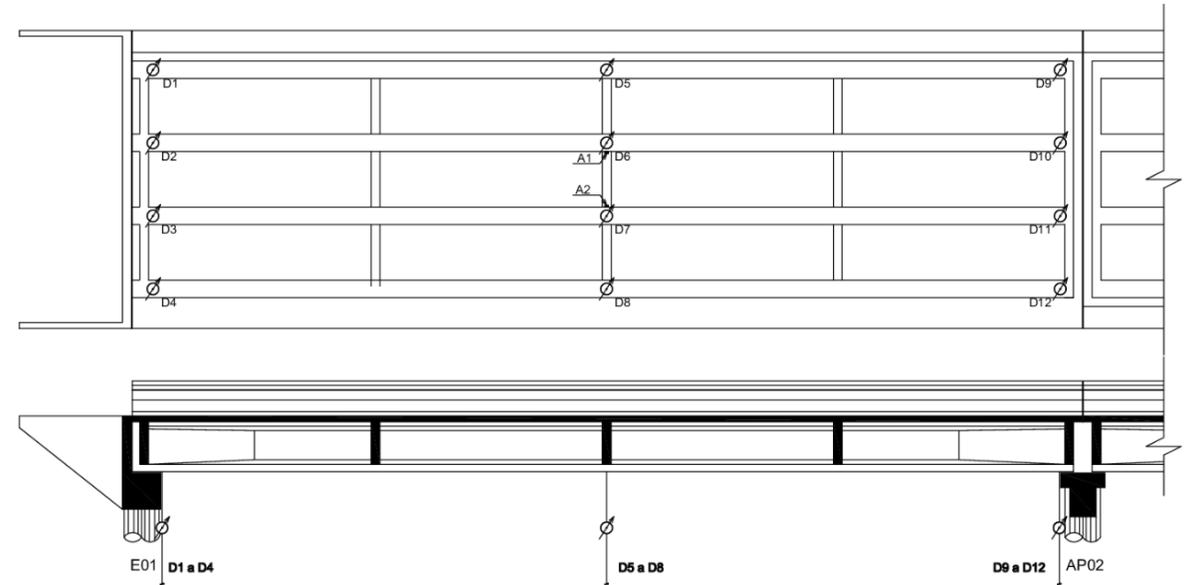
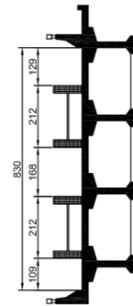




- Prova de carga



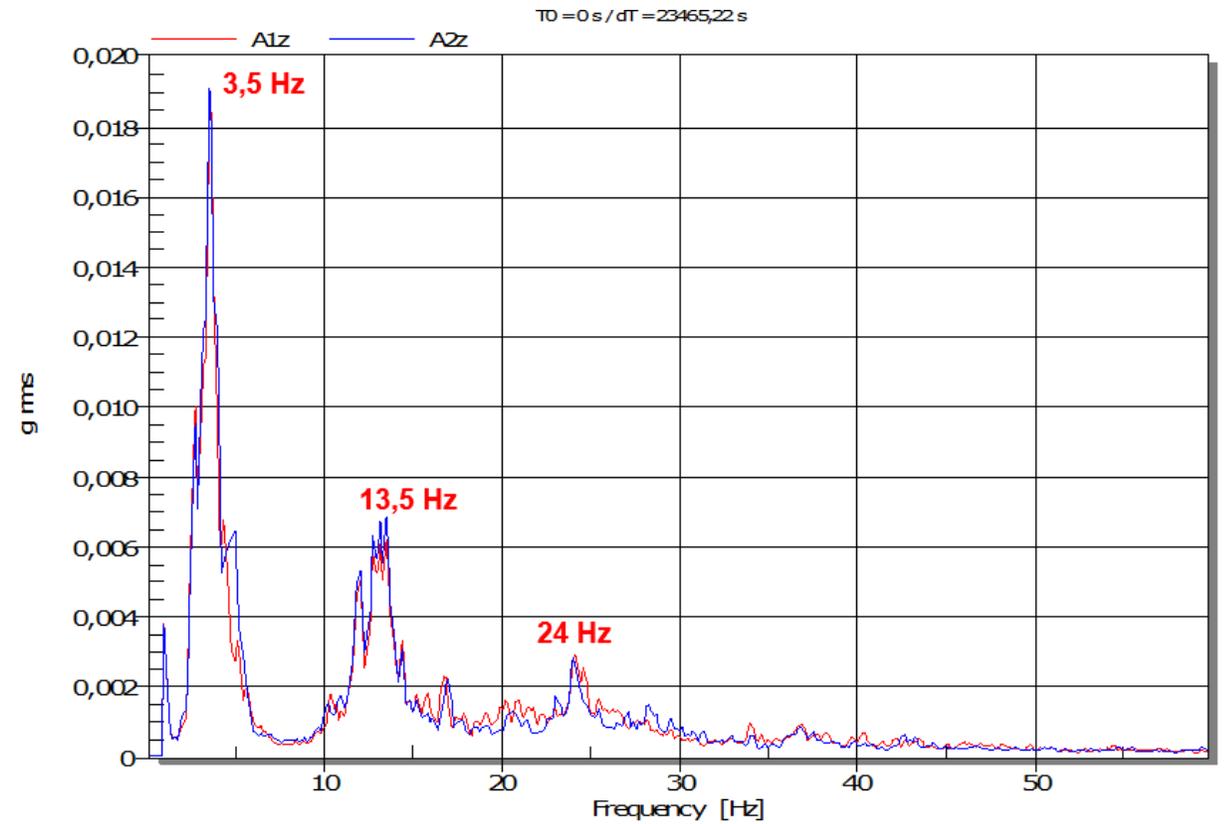
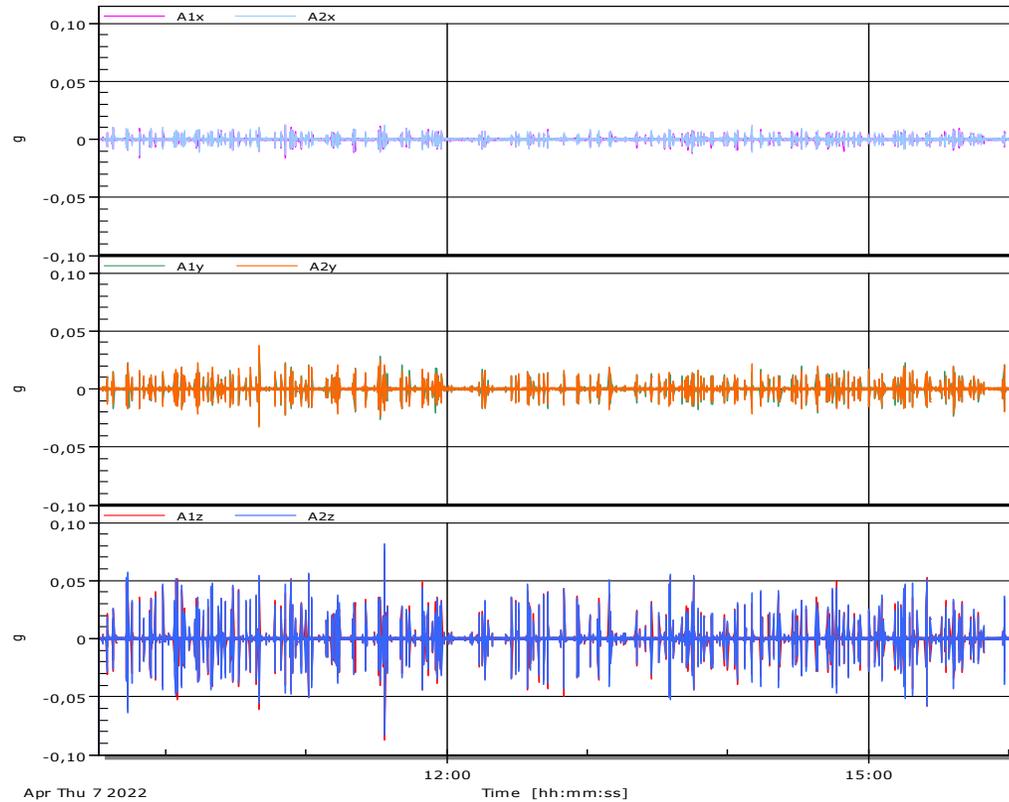
PROVA DE CARGA DINÂMICA EM PONTES



INSTRUMENTAÇÃO COM LVDT E ACELERÔMETROS

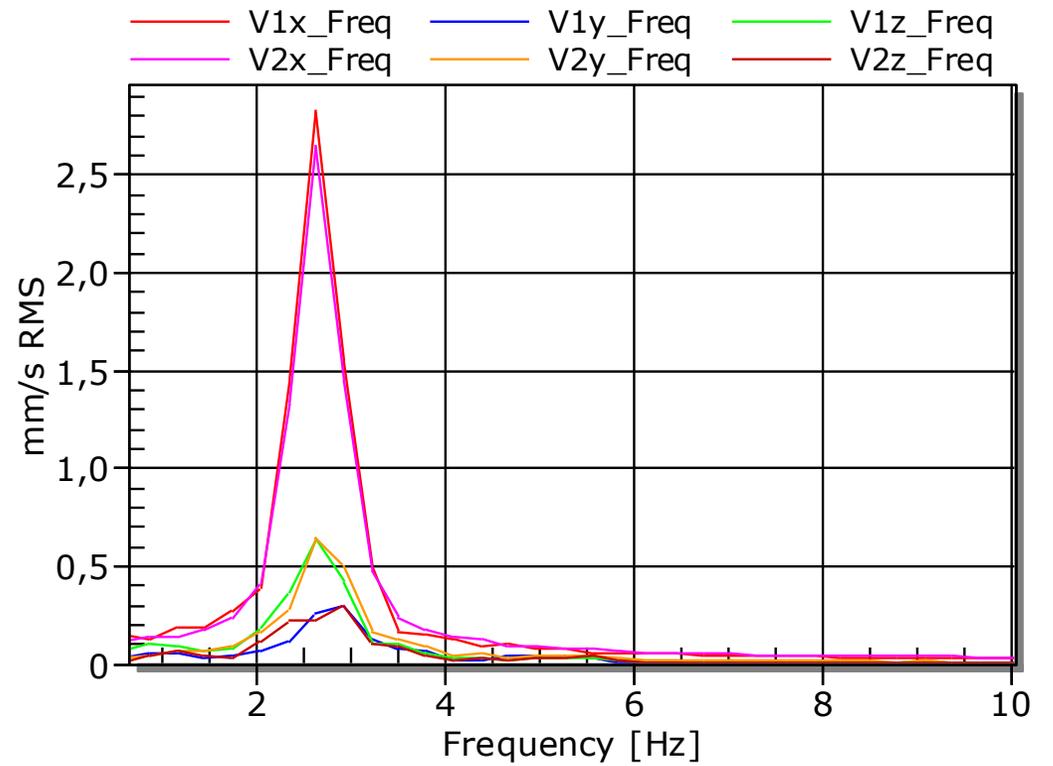
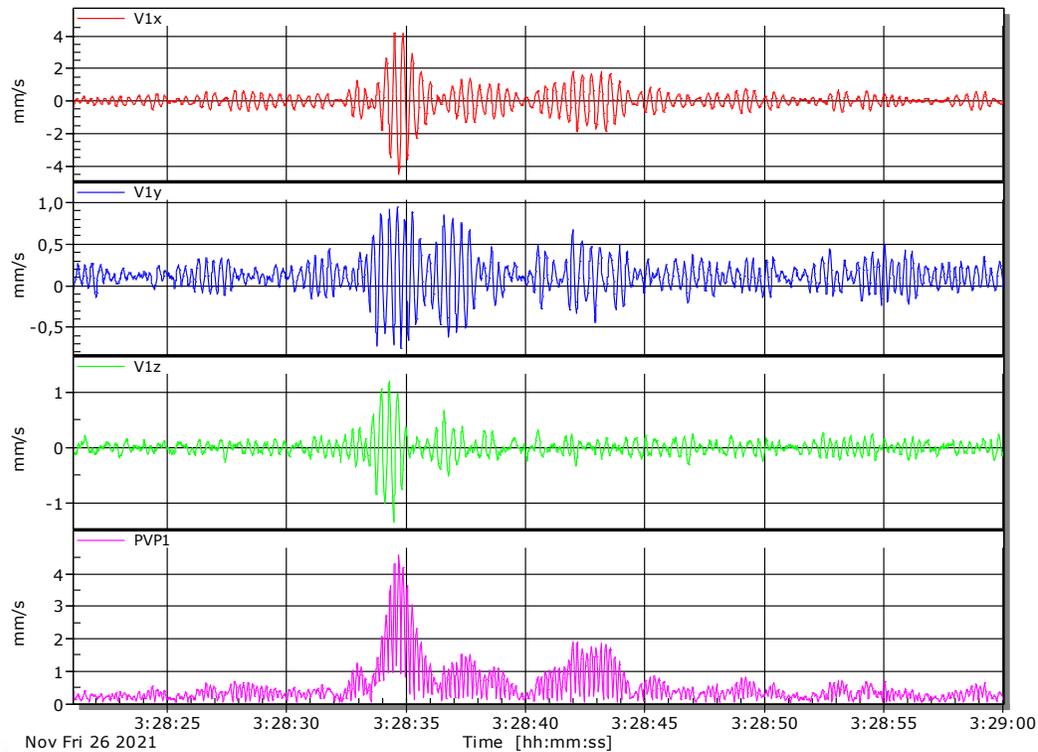


ANÁLISE ESPECTRAL



MONITORAMENTO DE VIBRAÇÃO EM EDIFICAÇÕES





SOLUÇÕES DE PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO (P&D&I)

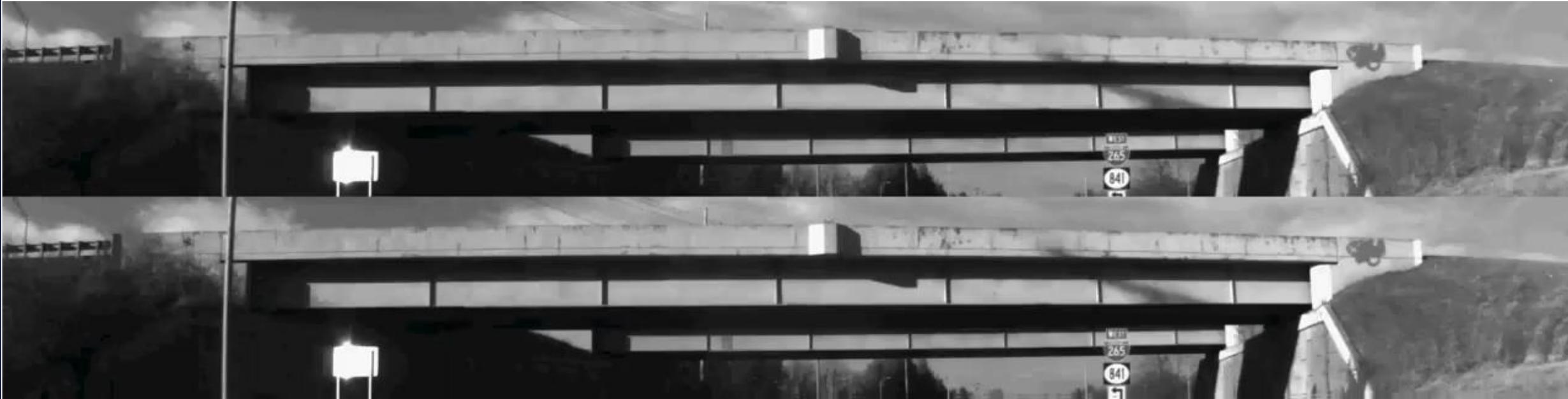
■ DIGITAL TWIN – rodovia/ferrovia ou OAEs a partir de gêmeo digital

- ✓ Utilização de sensores e IoT (pavimentos, inundação, movimentos gravitacionais de massa, segurança de tráfego) - real time
- ✓ Análise de cenários
- ✓ Sistema inteligente de gerenciamento de infraestrutura e base de dados
- ✓ Análise de custos do ciclo de vida e definição de expectativas de desempenho
- ✓ Testar novas técnicas de Ensaios Não Destrutivos
- ✓ Uso de Drones com sensores e tratamento de imagens
- ✓ Validação de novas técnicas de inspeção implementadas.



REAL TIME PARA OAE

- Utilização de câmeras especiais para monitoramento de deslocamentos

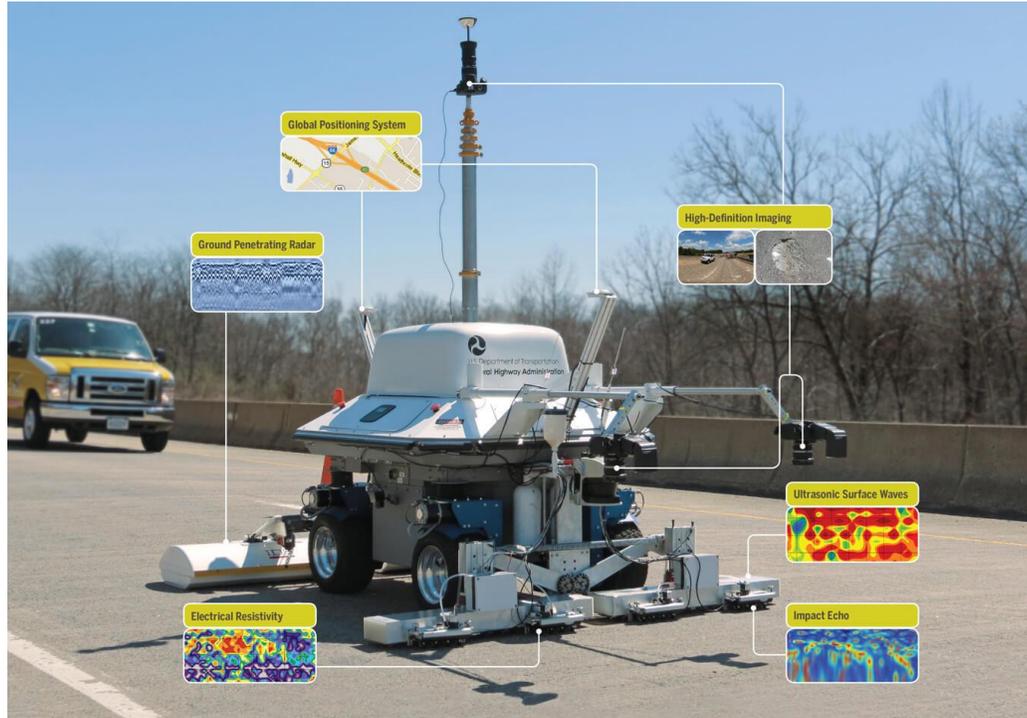


Fonte: rditechnologies.com



NOVAS TECNOLOGIAS PARA INSPEÇÃO DE OAE E OAC

- Desenvolvimento de robôs para automação da inspeção e realização de Ensaios Não Destrutivos.



Fonte: rutgers.edu

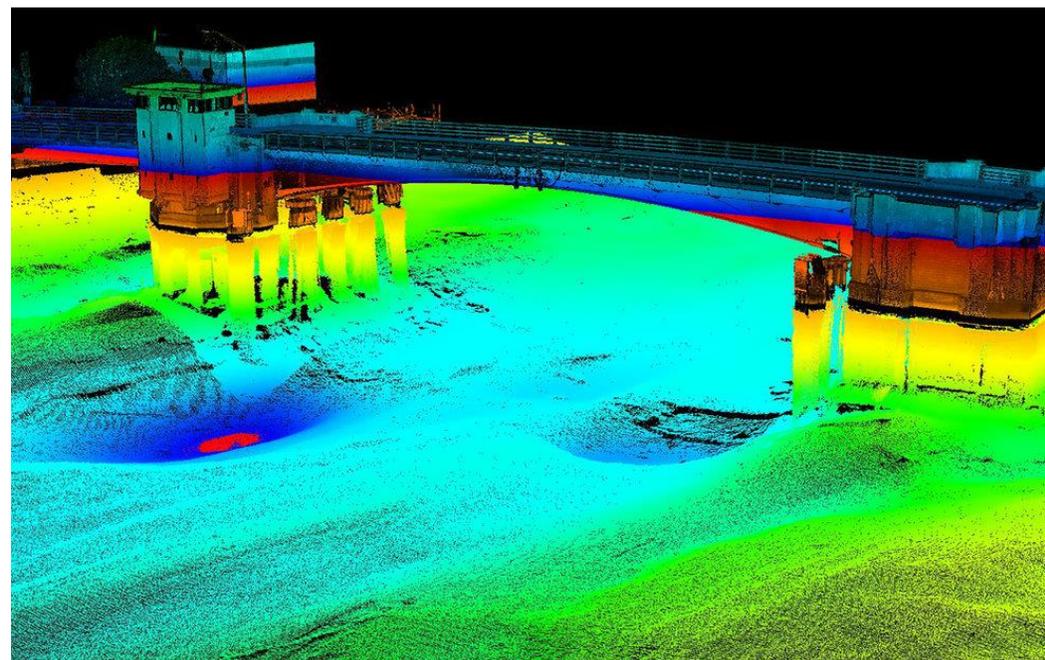


INSPEÇÃO SUBMERSA

- Desenvolvimento de Drone Submarino (ROV) com dispositivos de limpeza das estacas acoplados.
- Técnicas de processamento de imagens com sonar multifeixe e outras técnicas.



Fonte: qysea.com



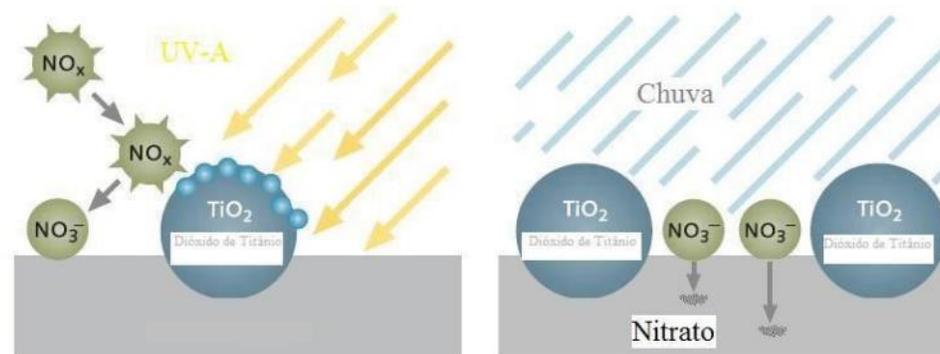
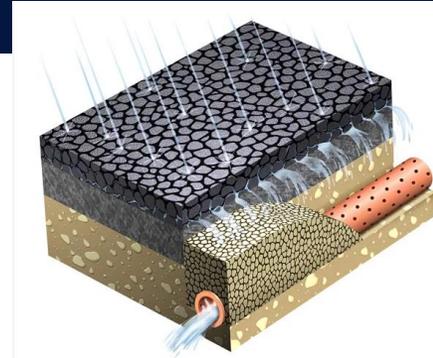
Fonte: spicergroup.com



SOLUÇÕES DE PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO (P&D&I)

■ NOVOS MATERIAIS

- ✓ Asfaltos modificados (polímeros, fibras e resinas vegetais, otimização e desenvolvimento de processos de reaproveitamento de resíduos em pavimentação)
- ✓ Asfalto permeável, também conhecido como CPA (Camada Porosa de Atrito)
- ✓ Pavimentos fotocatalíticos (oxidação fotocatalítica para combater a poluição do ar) /tinta fotocatalítica
- ✓ Fibras de carbono para reforço (sistema MFC = compósito epoxi) de OAE e OAC's
- ✓ Geossintéticos Avançados (Geotêxteis, Geomembranas e Geocélulas) para aterros e sub-bases de pavimentos
- ✓ Materiais biodegradáveis e naturais para reforço de solo e controle de erosão - SbN



Cimento Fotocatalítico | Imagem reproduzida de Equipamentos de Construção de Estradas



SOLUÇÕES DE PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO (P&D&I)

- Soluções baseadas na Natureza (SbN)
- **infraestrutura redundante** – localização / tipologia (faixas alternativas e rotas paralelas / ferrovias com trilhos paralelos e múltiplas linhas / drenagem sob aterros)
- Sistemas de drenagem com reservatórios e bacias de retenção Múltiplos, wellpoint – faixa de acostamento drenante e valas verdes, **sistemas de transposição de águas com controle inteligente** (com a tecnologia IoT (Internet das Coisas), alguns sistemas de transposição são equipados com sensores para monitorar o nível de água em tempo real. Esse sistema pode acionar bombas ou abrir comportas automaticamente para redirecionar a água para áreas de menor risco - como visto em projetos de rodovias na **Holanda**).
- Elevação da infraestrutura rodoviária/ferroviária em trechos críticos

SOLUÇÕES DE PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO (P&D&I)

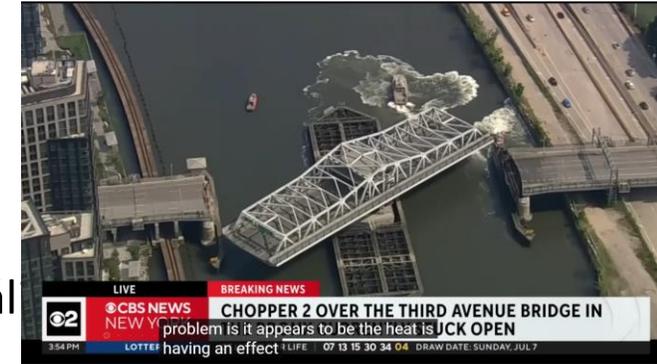
- Inspeções com imagens e uso de IA em OAE's
- Real time para OEA's
- Desenvolvimento de sensores para monitoramento

Ex: Sensores de temperatura (empenamento/Flambagem de infraestrutura – pontes metálicas ferroviárias pelo calor extremo; degradação do pavimento)

Sensores para deslizamentos (acelerômetros e outros)

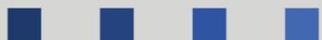
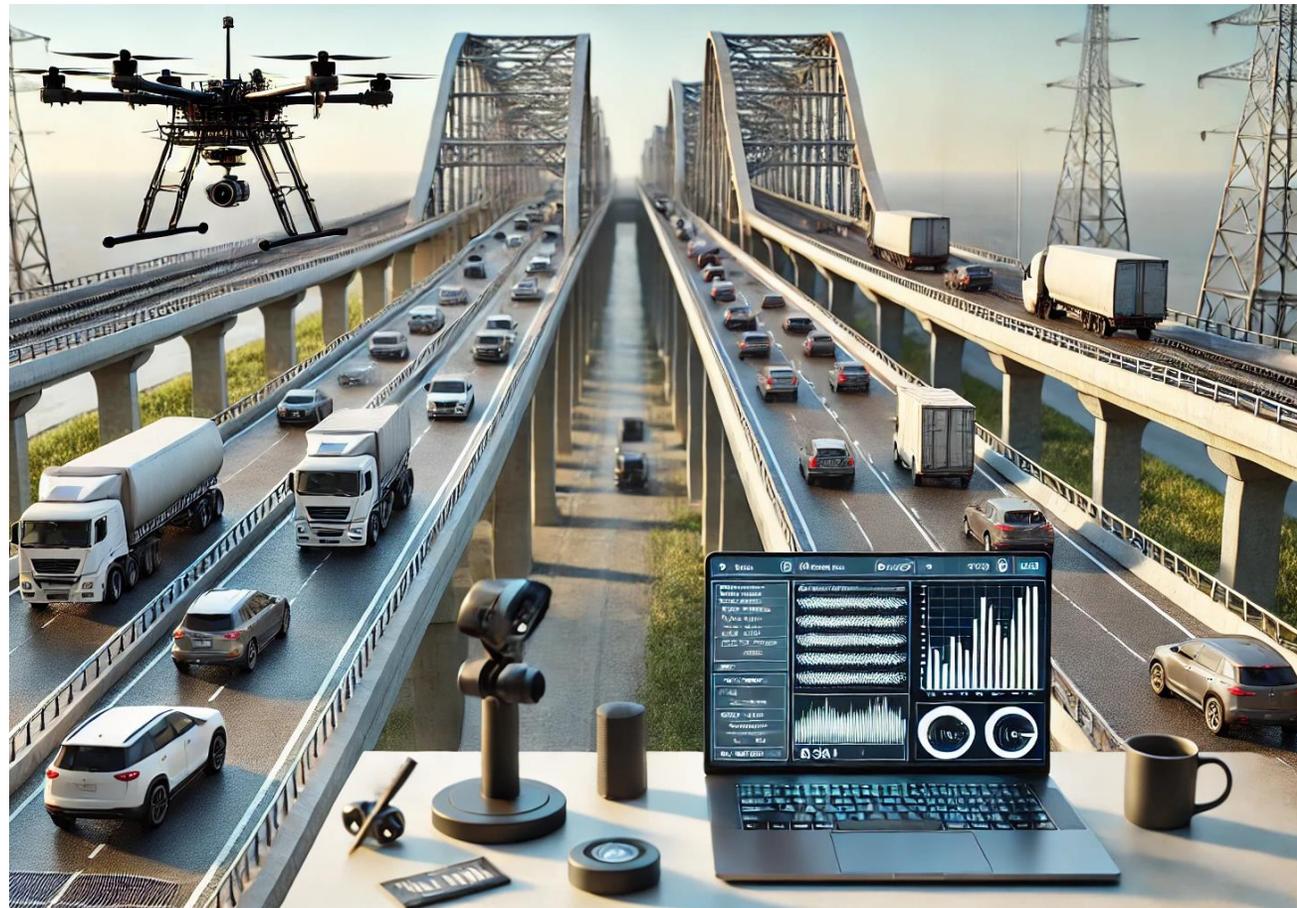
Instrumentação de baixo custo

- Projeto piloto envolvendo monitoramento real time de uma ponte e envolvendo estrutura, encontros, taludes e pavimentos.
- Gêmeos digitais de obras de infraestruturas.
- Interpretação e validação dos dados de monitoramentos instalados

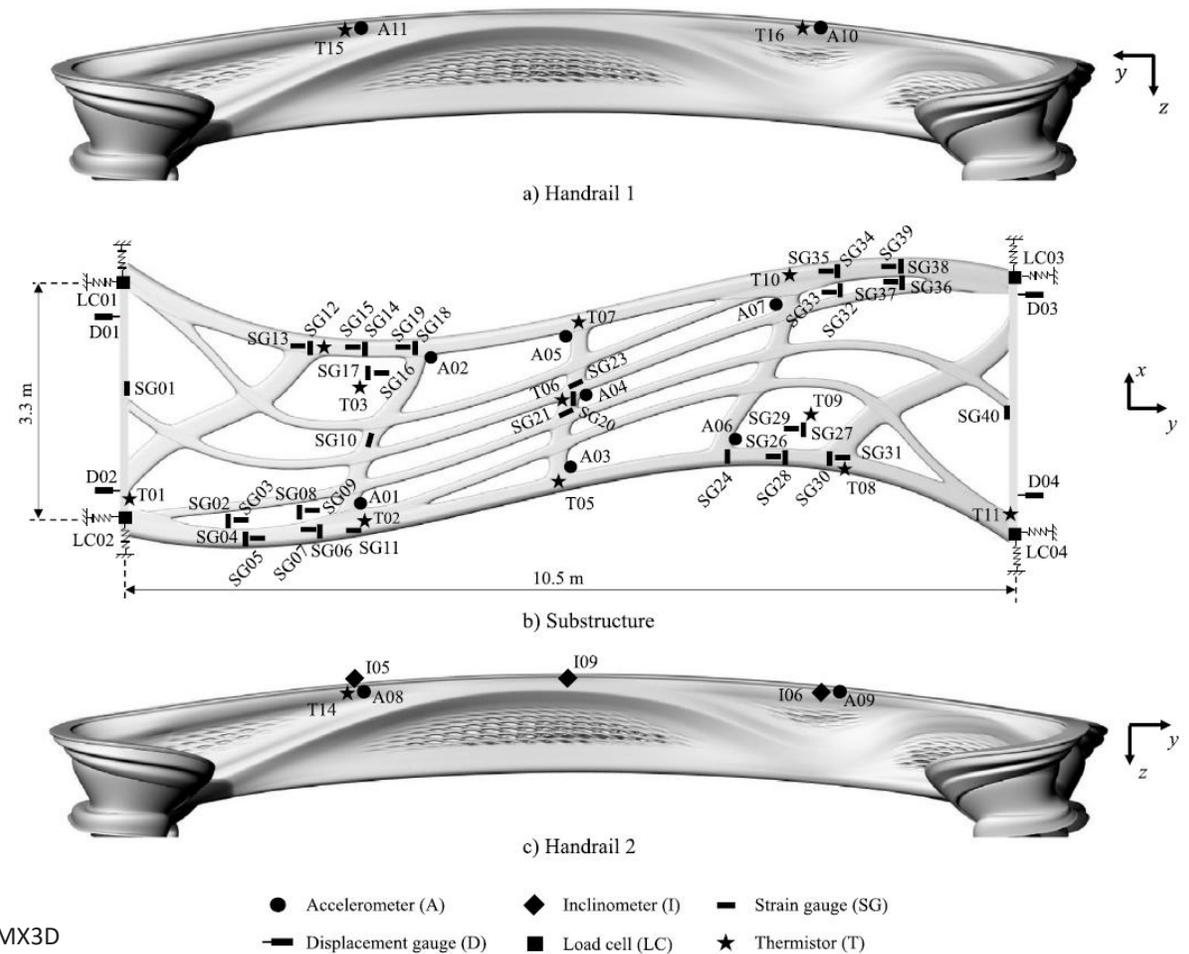


Ensaios de simulação de escorregamentos

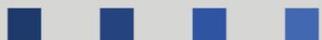
VISÃO DE FUTURO



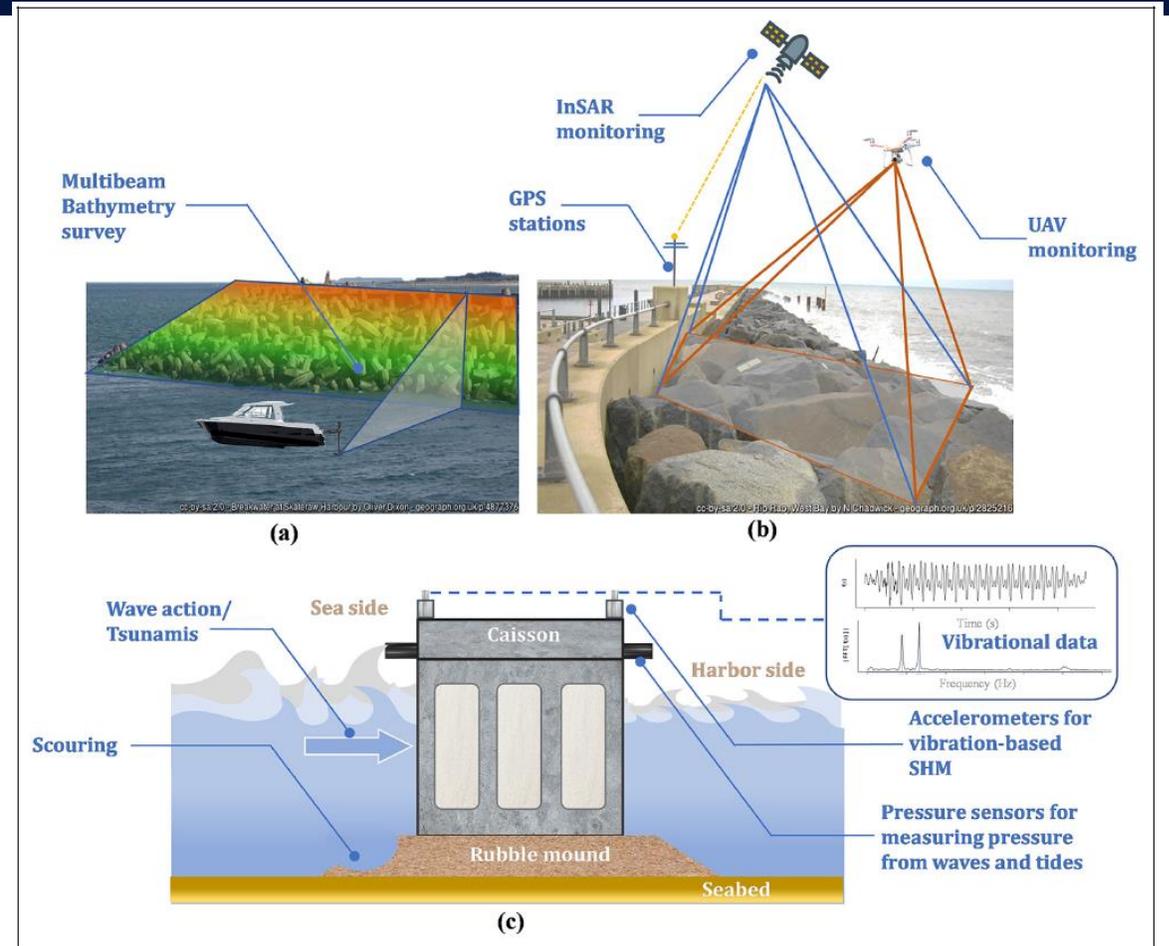
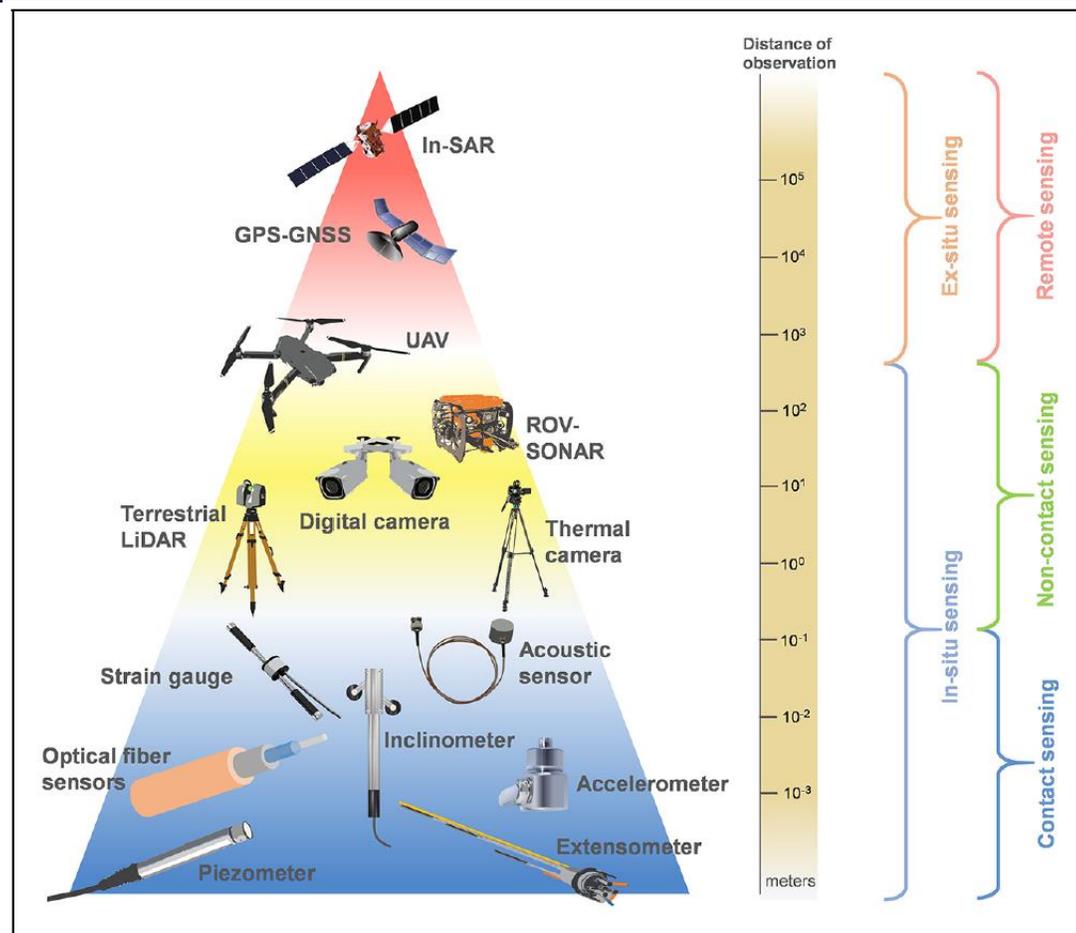
PRIMEIRA PONTE CONSTRUÍDA COM IMPRESSÃO 3D EM AÇO



Fonte: Theo Glashier, Rolands Kromanis, Craig Buchanan. Temperature-based measurement interpretation of the MX3D Bridge, Engineering Structures, Volume 305, 2024, 116736, ISSN 0141-0296.

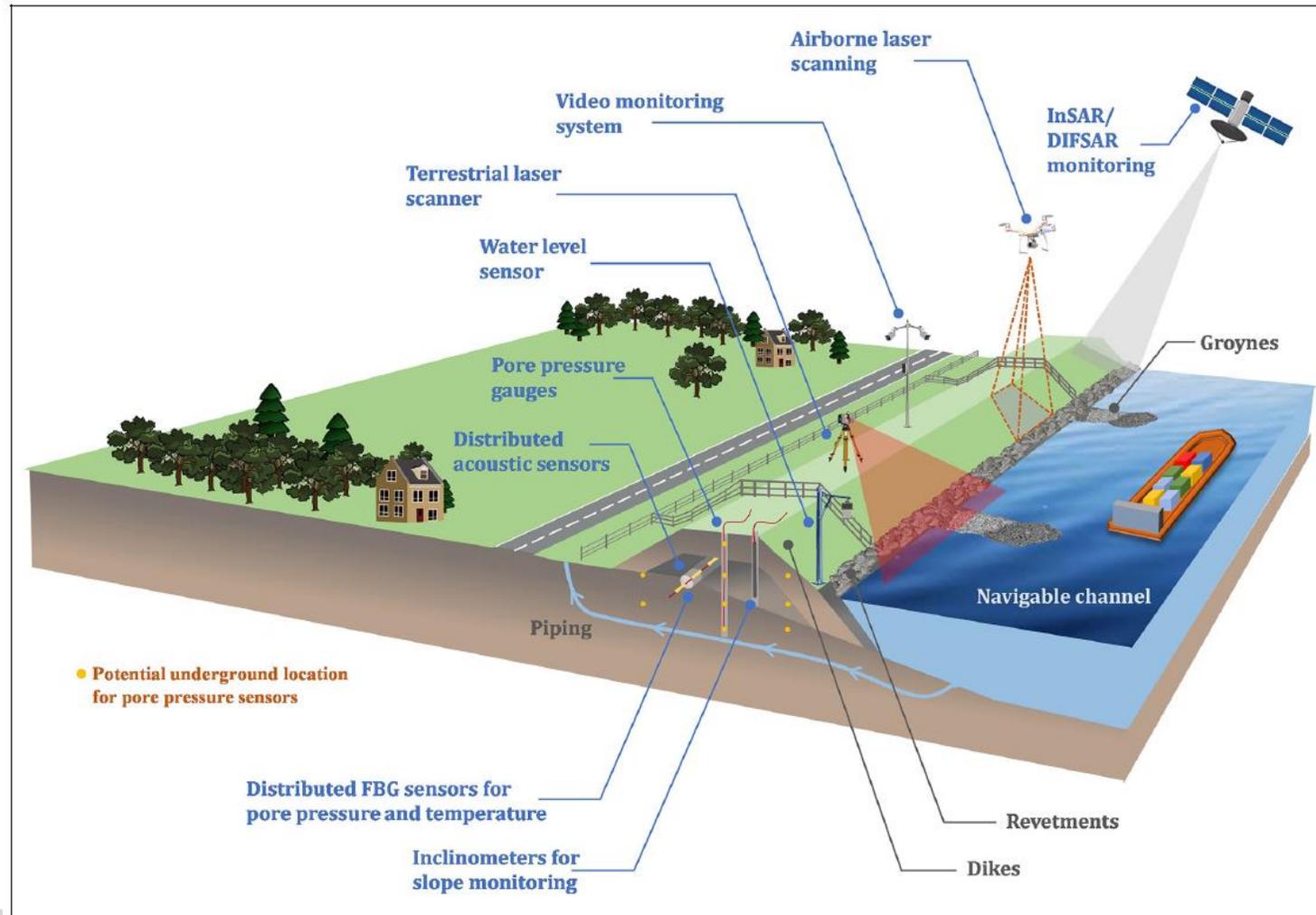


TÉCNICAS DE MONITORAMENTO PARA RESILIÊNCIA DA INFRAESTRUTURA



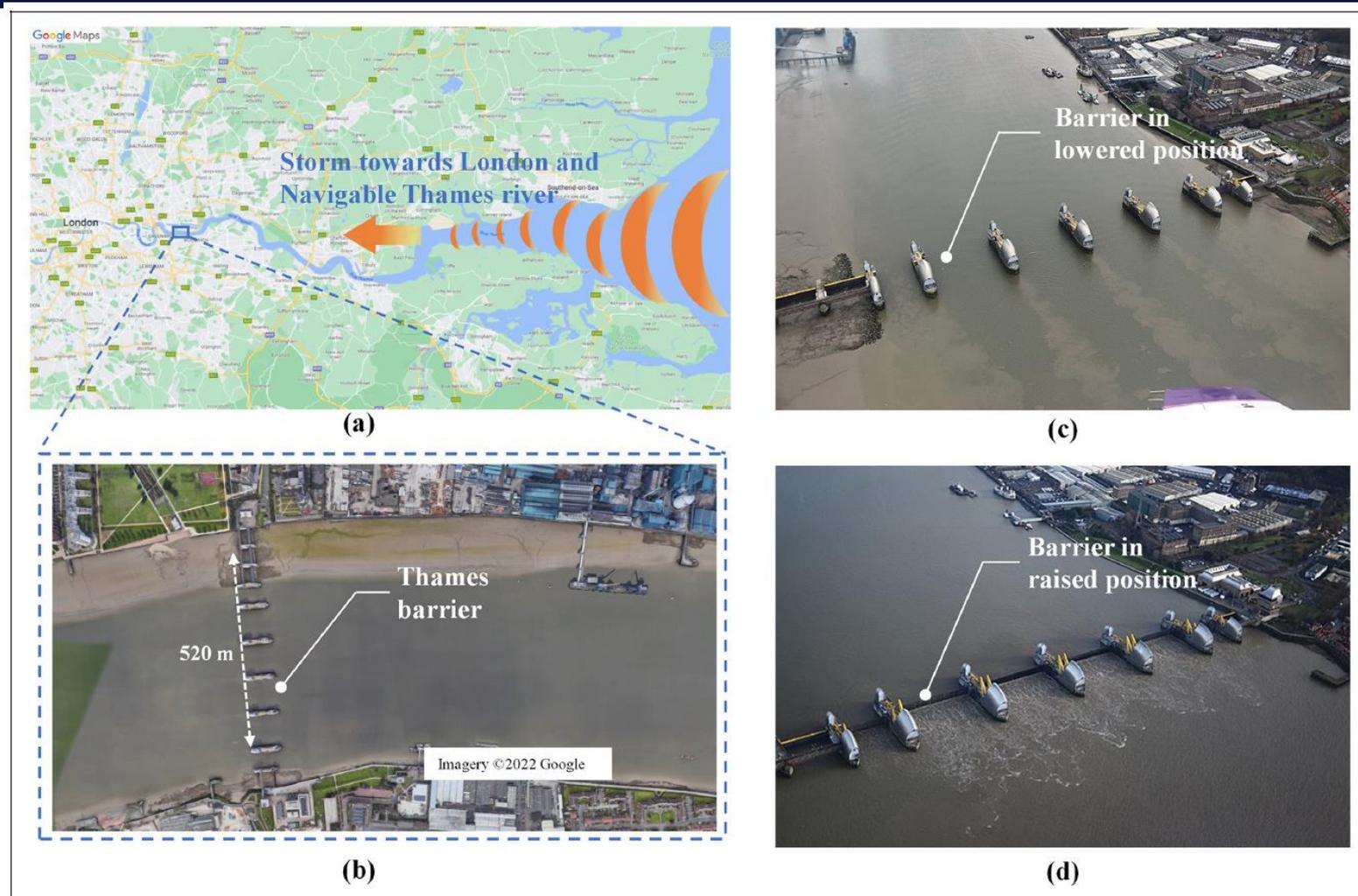
Fonte: NEGI, Prateek; KROMANIS, Rolands; DORÉE, André G.; WIJNBERG, Kathelijne M. *Structural health monitoring of inland navigation structures and ports: a review on developments and challenges*. Structural Health Monitoring, v. 23, n. 1, 2024.

TÉCNICAS DE MONITORAMENTO PARA RESILIÊNCIA DA INFRAESTRUTURA



Fonte: NEGI, Prateek; KROMANIS, Rolands; DORÉE, André G.; WIJNBERG, Kathelijne M. *Structural health monitoring of inland navigation structures and ports: a review on developments and challenges*. Structural Health Monitoring, v. 23, n. 1, 2024.

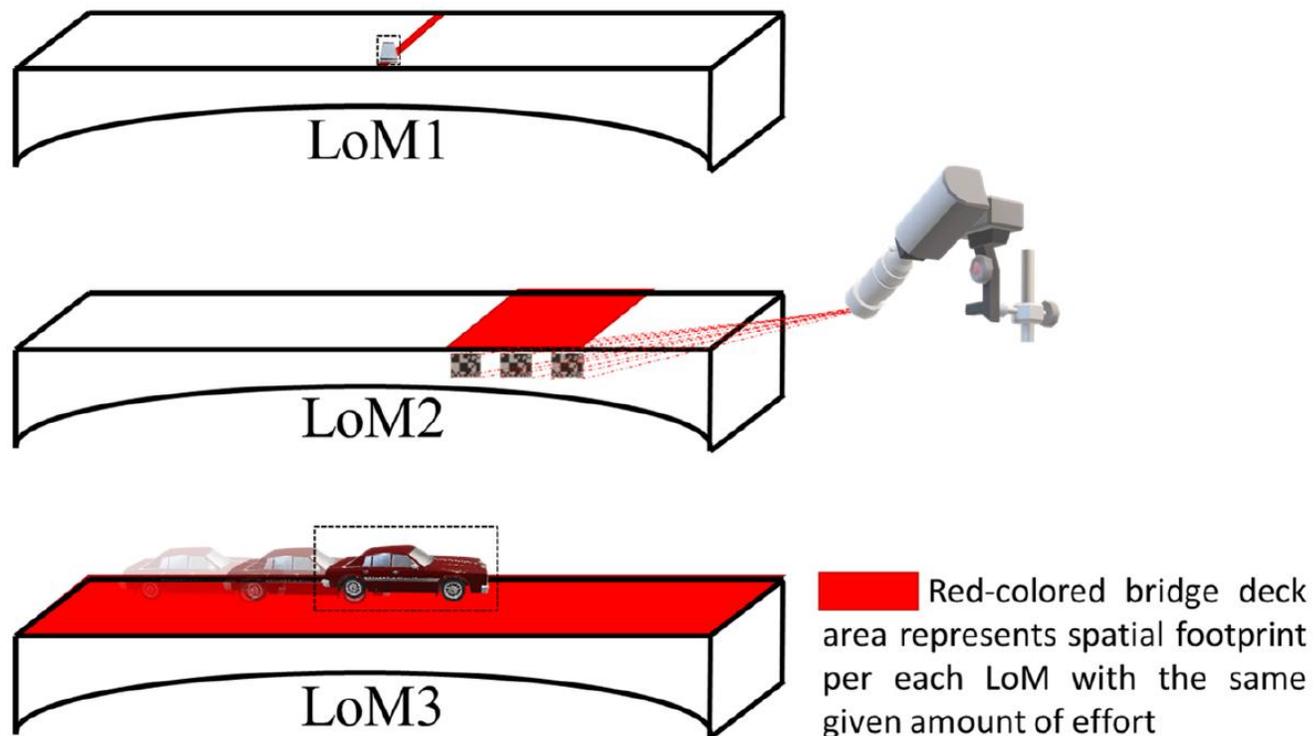
TÉCNICAS DE MONITORAMENTO PARA RESILIÊNCIA DA INFRAESTRUTURA



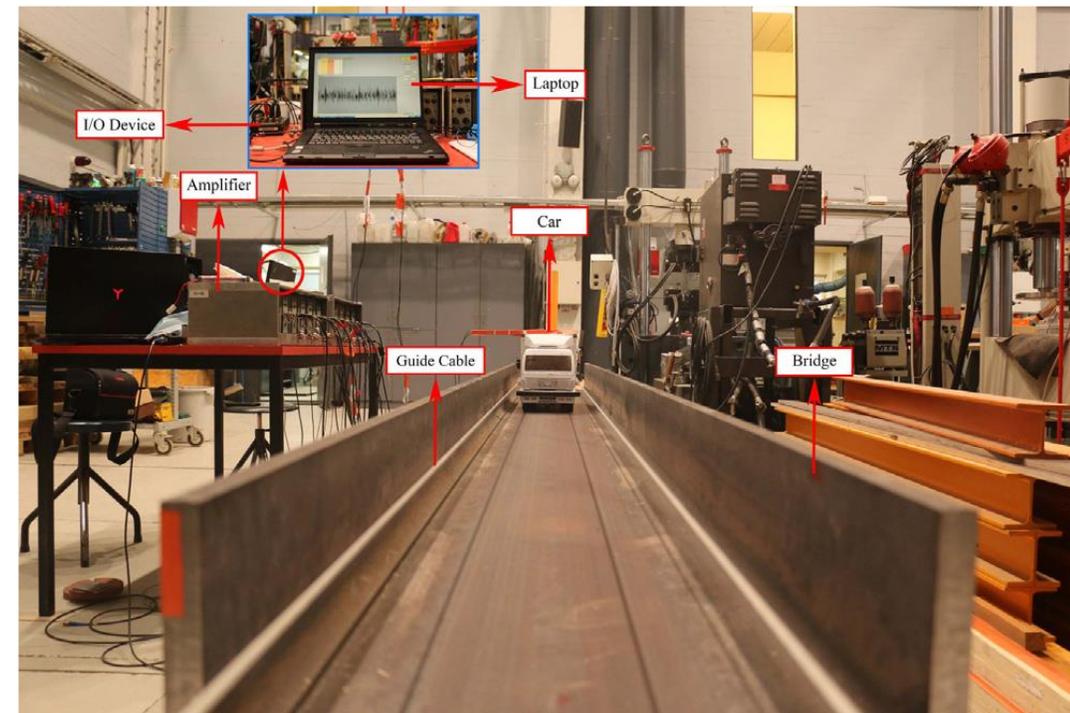
Fonte: NEGI, Prateek; KROMANIS, Rolands; DORÉE, André G.; WIJNBERG, Kathelijne M. *Structural health monitoring of inland navigation structures and ports: a review on developments and challenges*. Structural Health Monitoring, v. 23, n. 1, 2024.



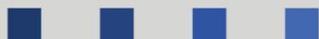
USO DE APLICATIVOS DE SMARTPHONE COLETIVOS PARA MONITORAMENTO DE PONTES COM TÉCNICAS DRIVE-BY



Fonte: Ozer, E.; Kromanis, R. Smartphone Prospects in Bridge Structural Health Monitoring, a Literature Review. Sensors 2024, 24, 3287.

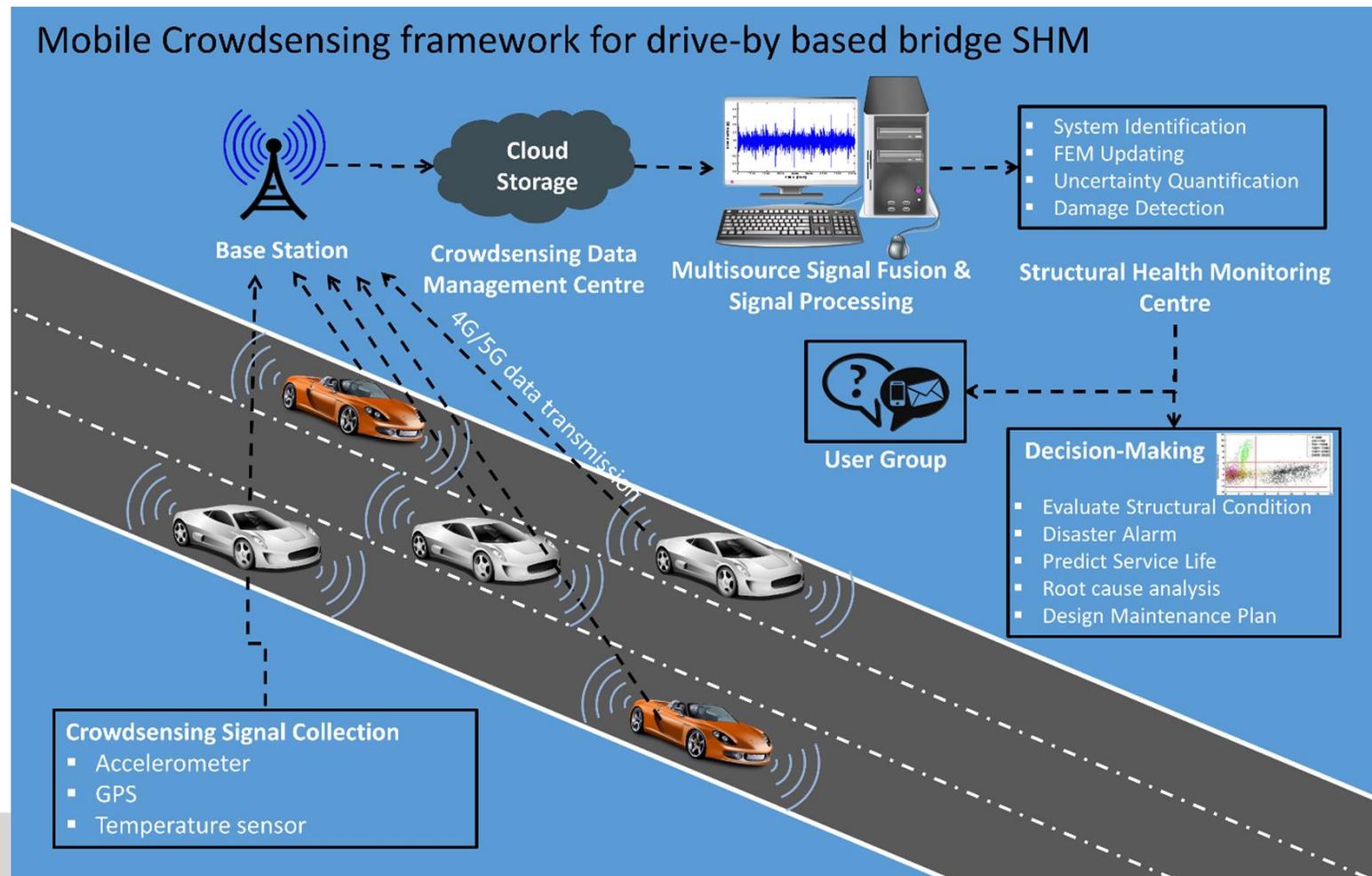


Fonte: Zhenkun Li, Weiwei Lin, Youqi Zhang, Real-time drive-by bridge damage detection using deep auto-encoder, Structures, Volume 47, 2023, Pages 1167-1181, ISSN 2352-0124.



USO DE SENSORES IOT COLETIVOS PARA MONITORAMENTO DE PONTES COM TÉCNICAS DRIVE-BY

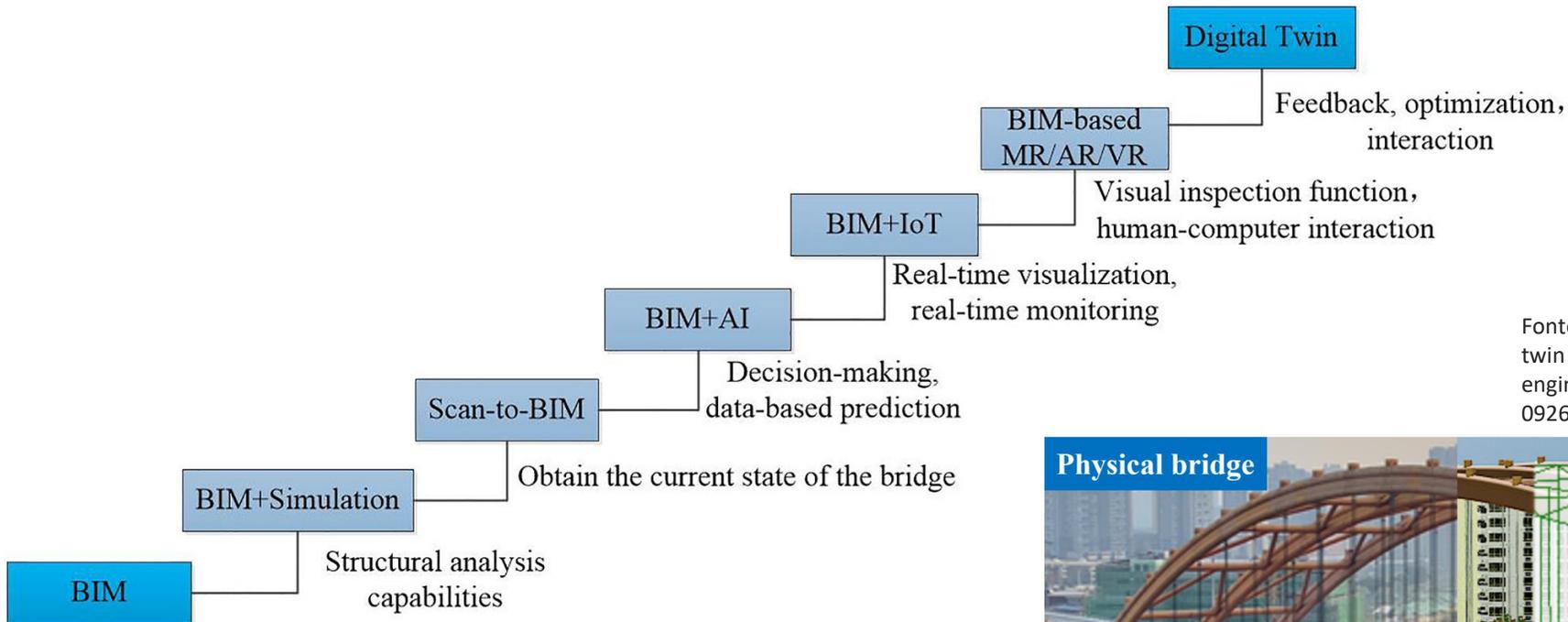
- Uso de técnicas de Machine Learning para análises dos dados e emissão de alertas.



Fonte: Zhen Peng, Jun Li, Hong Hao, Development and experimental verification of an IoT sensing system for drive-by bridge health monitoring, Engineering Structures, Volume 293, 2023, 116705, ISSN 0141-0296.

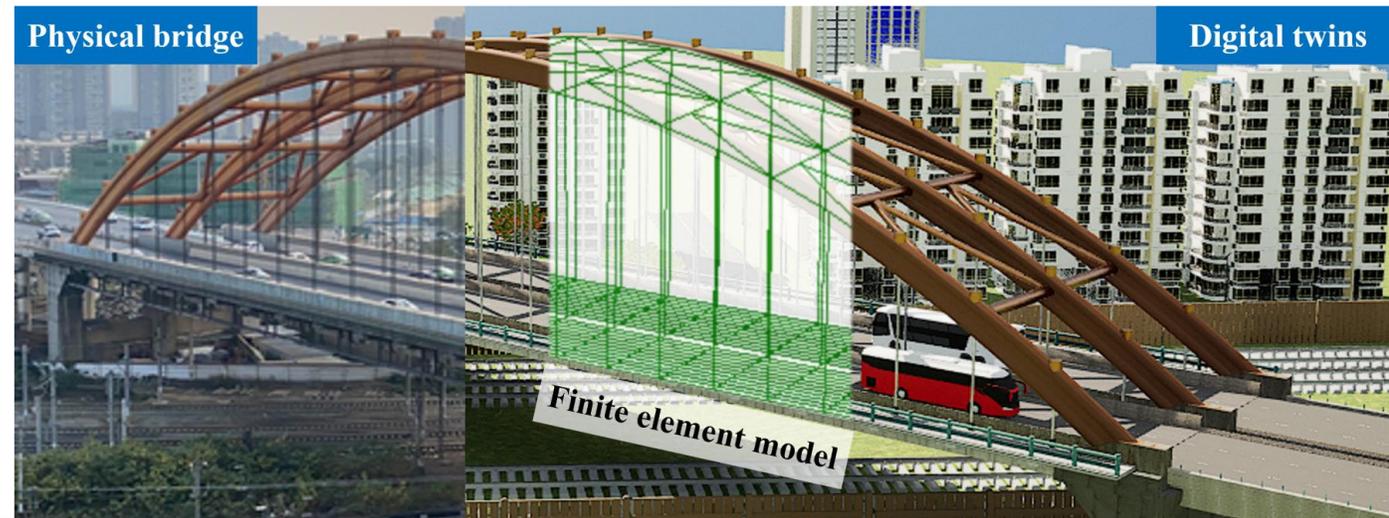


GÊMEOS DIGITAIS DE OBRAS DE INFRAESTRUTURA

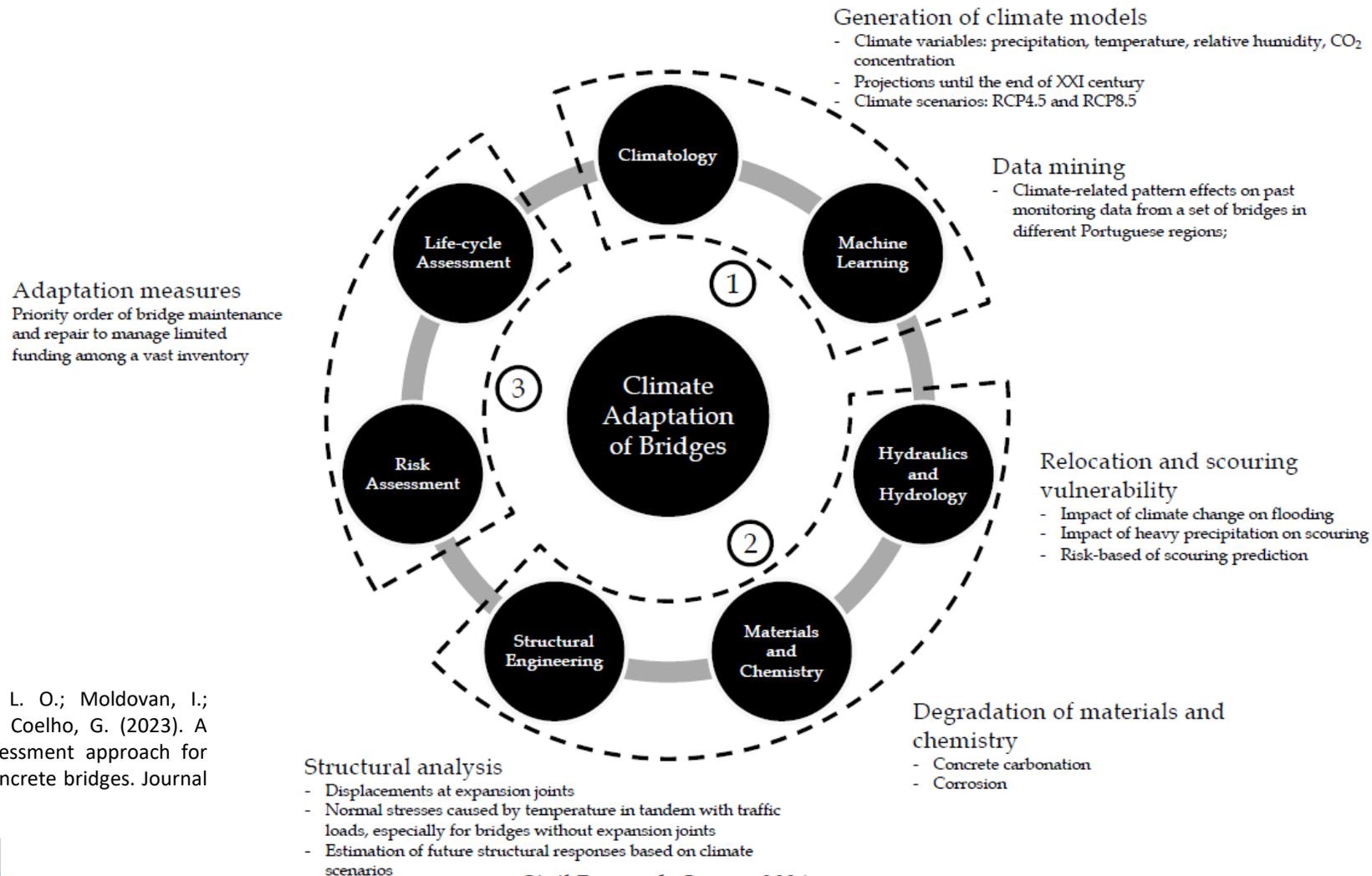


Fonte: Song Honghong, Yang Gang, Li Haijiang, Zhang Tian, Jiang Annan. Digital twin enhanced BIM to shape full life cycle digital transformation for bridge engineering. Automation in Construction, Volume 147, 2023, 104736, ISSN 0926-5805.

Fonte: Song Honghong, Yang Gang, Li Haijiang, Zhang Tian, Jiang Annan. Digital twin enhanced BIM to shape full life cycle digital transformation for bridge engineering. Automation in Construction, Volume 147, 2023, 104736, ISSN 0926-5805.



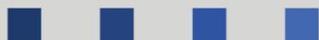
ADAPTAÇÃO DE PONTES ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS



Fonte: Figueiredo, E.; Santos, L. O.; Moldovan, I.; Kraniotis, D.; Melo, J.; Dias, L.; Coelho, G. (2023). A roadmap for an integrated assessment approach for climate change adaptation of concrete bridges. Journal of Bridge Engineering, 28(6).



Adapting Existing Concrete Bridges for



Fonte: [youtube.com/watch?v=L43XL9R3mGk](https://www.youtube.com/watch?v=L43XL9R3mGk)

REFERÊNCIAS

- Negi P, Kromanis R, Dorée AG, Wijnberg KM. Structural health monitoring of inland navigation structures and ports: a review on developments and challenges. *Structural Health Monitoring*. 2024;23(1):605-645. doi:10.1177/14759217231170742
- Ozer, E.; Kromanis, R. Smartphone Prospects in Bridge Structural Health Monitoring, a Literature Review. *Sensors* **2024**, *24*, 3287. <https://doi.org/10.3390/s24113287>
- Theo Glashier, Rolands Kromanis, Craig Buchanan. Temperature-based measurement interpretation of the MX3D Bridge, *Engineering Structures*, Volume 305, 2024, 116736, ISSN 0141-0296, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116736>.
- Zhen Peng, Jun Li, Hong Hao, Development and experimental verification of an IoT sensing system for drive-by bridge health monitoring, *Engineering Structures*, Volume 293, 2023, 116705, ISSN 0141-0296, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116705>.
- Wanshui Han, Gan Yang, Shizhi Chen, Kai Zhou, Xin Xu, Research progress on intelligent operation and maintenance of bridges. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, Volume 11, Issue 2, 2024, Pages 173-187, ISSN 2095-7564, <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2023.07.010>.
- Zhang, GQ., Wang, B., Li, J. et al. The application of deep learning in bridge health monitoring: a literature review. *ABEN* 3, 22 (2022). <https://doi.org/10.1186/s43251-022-00078-7>
- Figueiredo, E.; Santos, L. O.; Moldovan, I.; Kraniotis, D.; Melo, J.; Dias, L.; Coelho, G. (2023). A roadmap for an integrated assessment approach for climate change adaptation of concrete bridges. *Journal of Bridge Engineering*, 28(6). DOI 10.1061/JBENF2/BEENG-5735.
- Junlin Heng, You Dong, Li Lai, Zhixiang Zhou, Dan M. Frangopol, Digital twins-boosted intelligent maintenance of ageing bridge hangers exposed to coupled corrosion–fatigue deterioration. *Automation in Construction*, Volume 167, 2024, 105697, ISSN 0926-5805, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105697>.
- Song Honghong, Yang Gang, Li Haijiang, Zhang Tian, Jiang Annan. Digital twin enhanced BIM to shape full life cycle digital transformation for bridge engineering. *Automation in Construction*, Volume 147, 2023, 104736, ISSN 0926-5805, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104736>.
- Zhenkun Li, Weiwei Lin, Youqi Zhang, Real-time drive-by bridge damage detection using deep auto-encoder, *Structures*, Volume 47, 2023, Pages 1167-1181, ISSN 2352-0124. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.11.094>.



Obrigado!

▪ Sofia Campos
Vice diretora CIMA
Gerente Técnica SOC
scampos@ipt.br

▪ Daniel Guirardi
Pesquisador
dmg@ipt.br

 [linkedin.com/school/iptsp/](https://www.linkedin.com/school/iptsp/)

 [instagram.com/ipt_oficial/](https://www.instagram.com/ipt_oficial/)

 [youtube.com/@IPTbr/](https://www.youtube.com/@IPTbr/)

www.ipt.br

 IPT
INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS

 SÃO
PAULO
GOVERNO
DO ESTADO