

Nº 179944

Mobilidade urbana e a resiliência de pontes e viadutos

Ciro José Ribeiro Villela Araujo

*Palestra apresentada na FEIRA
PULSAR EXPO IPT, 2025, São Paulo.
18 slides*

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



Mobilidade Urbana e a Resiliência de Pontes e Viadutos

1 – Inspeção de Pontes e Viadutos

2 – Manutenção de OAE`s e a Mobilidade Urbana

3 – Recuperação e Reforço de Pontes e Viadutos

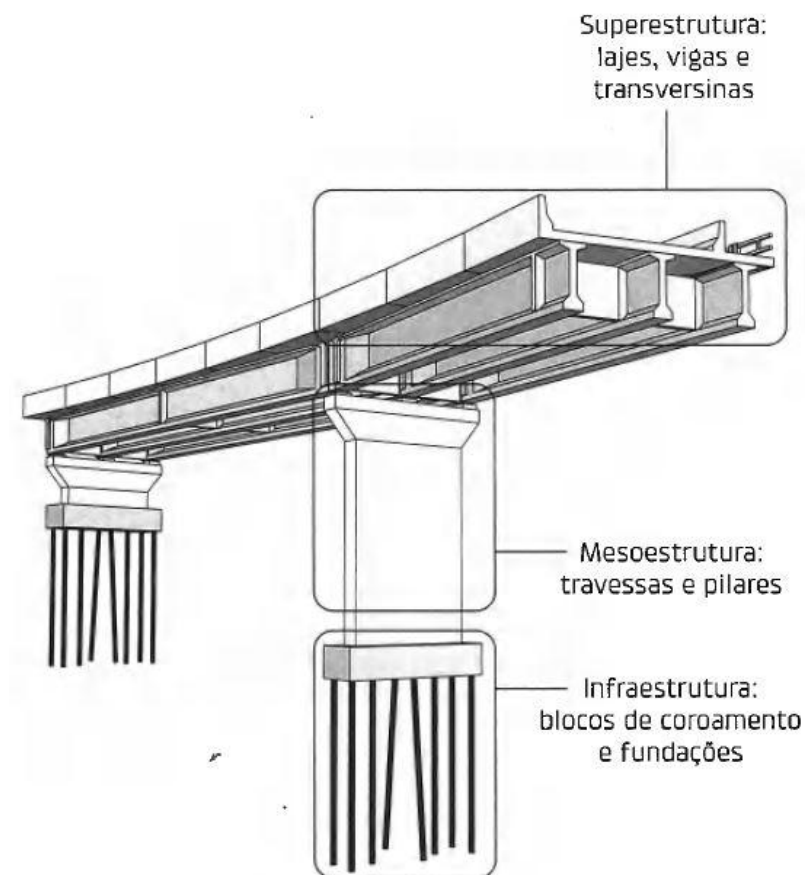


1 – Inspeção de Pontes e Viadutos

Eng. Civil, Mestre Ciro José R. V. Araujo

Introdução

- Resiliência das estruturas: capacidade de uma construção em resistir, adaptar-se e se recuperar de eventos adversos, como desastres naturais, mudanças climáticas e falhas, mantendo sua segurança e funções essenciais.
- Norma de Inspeção em Pontes e Viadutos – NBR 9452:2023;
- Existem 4 estruturas fundamentais dessas OAEs
 - Superestrutura: lajes, vigas longarinas, treliças, vigas caixão, arcos; vigas transversinas, articulações (dentes tipo Gerber, Freyssinet e outros), estais, etc.;
 - Mesoestrutura: vigas travessas, pilares, aparelhos de apoio, vigas de travamento de pilares;
 - Infraestrutura: sapatas, vigas de travamento de blocos de fundação, viga alavanca, estacas, blocos sobre estacas, blocos de transição, tubulões;
 - Elementos dos encontros: laje de aproximação, cortinas, muros de ala e encontro.



Fonte: VALERIANO, 2021.

Tipologias



Rodoviária



Ferrovária



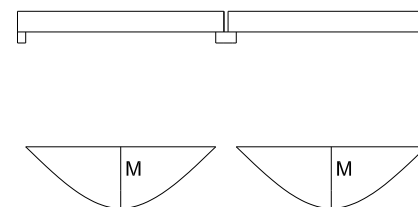
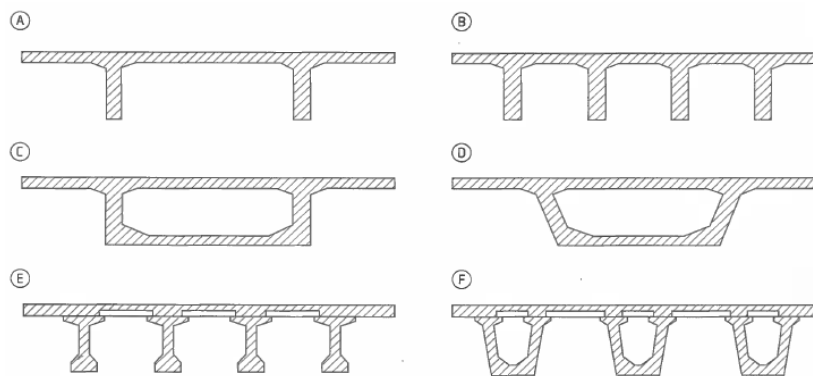
Passarela



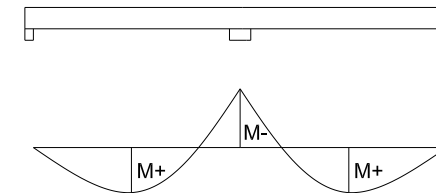
Ponte em arco



Ponte Pênsil



Sistema estrutural
isostático



Sistema estrutural
hiperestático

Fonte: VALERIANO, 2021.

Tipologia da seção transversal

Atual norma brasileira de inspeções em OAE`s



NORMA
BRASILEIRA

ABNT NBR
9452

Quinta edição
20.12.2023

**Inspeção de pontes, viadutos e passarelas —
Procedimento**

Inspection of bridges, viaducts and footbridges — Procedure



ICS 93.040

ISBN 978-85-07-09952-9



ASSOCIAÇÃO
BRASILEIRA
DE NORMAS
TÉCNICAS

Número de referência
ABNT NBR 9452:2023
71 páginas

© ABNT 2023

Exemplar para uso exclusivo - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT - 60.633.674/0001-565

Impresso por: IPT (ADM.)

- Estabelece os requisitos para inspeção em pontes, viadutos e passarelas de concreto, aço e mistas de aço e concreto;
- Tipos de Inspeções: Cadastrais, Rotineiras, Especiais e Extraordinárias;
- Classificação das OAE`s
 - segundo parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade com notas de 0 a 5;
 - relevância na anomalia no elemento estrutural (principal, secundário e complementar);
- Roteiro básico e modelos de fichas de inspeções: Cadastrais, Rotineiras, Especiais;
- Roteiro para inspeção subaquática;
- Orientações para identificação de danos e manifestações patológicas em pontes, viadutos e passarelas de aço;
- Tecnologia BIM aplicada às inspeções de OAE.





INSPEÇÃO CADASTRAL

- Primeira realizada na obra
 - Imediatamente após sua conclusão
 - quando se integra a um sistema viário existente
 - quando houver alterações na configuração da OAE
- O que deve constar:
 - Roteiro básico e ficha conforme o Anexo A da NBR 9452;

INSPEÇÃO ROTINEIRA

- Inspeção de acompanhamento periódico, não superior a 1 ano em relação a inspeção anterior, para acompanhar o estado geral da OAE.
 - exame visual dos elementos e componentes da estrutura, com ou sem a utilização de equipamentos e/ou recursos especiais para análise ou acesso, podendo ser realizadas à distância;
 - deve ser verificada a evolução de anomalias já observadas em inspeções anteriores, bem como novas ocorrências.
 - No caso de pontes ferroviárias com notas de classificação 4 ou 5, em malha ferroviária operacional e concessionada, com sistema de gestão e manutenção, pode-se estender até 2 anos.
- O que deve constar:
 - Roteiro básico e ficha conforme o Anexo B da NBR 9452;



INSPEÇÃO ESPECIAL

- Deve ser feita a cada 5 anos
 - para obras com notas 4 e 5, pode-se postergar para 8 anos, caso seja possível a inspeção de todos seus elementos na inspeção rotineira;
 - antecipada quando:
 - a nota de classificação for 1 e 2, referente aos parâmetros estruturais e de durabilidade;
 - Feitas obras de adequações de grande porte
 - são necessários equipamentos especiais para acesso à todos seus elementos
- O que deve constar:
 - Roteiro básico e ficha conforme o Anexo D da NBR 9452;
 - Análises, ensaios, monitoramentos, inspeção subaquática, etc.

INSPEÇÃO EXTRAORDINÁRIA

- Inspeção não programada.
 - pode ou não ser gerada por inspeção anterior;
 - relacionada à acidentes
 - Impacto de veículos, trem ou embarcação, inundação, vendaval, incêndios, sismos, etc.

Notas de classificação geral das OAE's



Classificação nota	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
5	Excelente	A estrutura se encontra em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados	A OAE apresenta segurança e conforto aos usuários	A OAE se encontra em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados
4	Boa	A estrutura apresenta danos de baixa gravidade, localizados e em pequenas áreas, sem comprometer a segurança estrutural	A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que não comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental
3	Regular	Há danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Recomenda-se acompanhamento dos problemas	A OAE apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que requerem ações	A OAE apresenta anomalias de moderada gravidade, que comprometem sua vida útil, em região de moderada a alta agressividade ambiental A OAE apresenta de moderadas a muitas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental

2	Ruim	Há danos comprometendo a segurança estrutural da OAE sem aparente risco iminente de colapso. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural. A OAE necessita de intervenções significativas	A OAE possui funcionalidade visivelmente comprometida, com riscos de segurança ao usuário	A OAE apresenta de moderadas a muitas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental A OAE apresenta muitas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental
1	Crítica	Há danos gerando grave insuficiência estrutural na OAE . Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural localizado. A OAE necessita de intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição parcial, escoramento provisório, instrumentação, associadas ou não	A OAE apresenta condições funcionais limitadas de utilização em regiões localizadas	A OAE se encontra em elevado grau de deterioração em regiões localizadas, apontando problema já de risco estrutural e/ou funcional, requerendo intervenção imediata, podendo ser necessárias restrição de carga e interdição parcial ao tráfego
0	Emergencial	Há elementos estruturais principais colapsados, evoluindo para instabilidade da estrutura. É necessária a interdição total, até que haja avaliação e reclassificação por consultoria especializada ou intervenção	A OAE não apresenta condições funcionais de utilização. A OAE deve ser interdita	A OAE se encontra em elevado grau de deterioração, gerando grave insuficiência estrutural e/ou funcional, requerendo intervenção emergencial e interdição total

Notas de classificação individual, exemplos:



Tabela E.2 – Pontes, viadutos e passarelas em concreto – Nota de classificação da OAE segundo parâmetros estruturais para elemento principal, secundário e complementar previstos na Seção 5 (continua)

Condição verificada na inspeção, segundo parâmetros estruturais		Nota de classificação		
		Elemento onde foi constatada a anomalia		
		Principal	Secundário	Complementar
Fissuração	Fissuração superficial de retração, hidráulica ou térmica	5	5	5
	Fissuras em elementos de concreto armado com abertura dentro dos limites previstos conforme a ABNT NBR 6118	4	5	5
	Fissuras em elementos de concreto armado com abertura superior aos limites previstos conforme a ABNT NBR 6118	2	3	4
	Fissuras em elementos de concreto protendido	1	2	—
Flecha	Flechas não congêntas e acima dos limites conforme a ABNT NBR 6118	2	3	—

Tabela E.3 – Pontes, viadutos e passarelas em concreto – Nota de classificação da OAE segundo parâmetros estruturais previstos na Seção 5 (continua)

Aparelhos de apoio	Aparelhos de apoio de neoprene com pequenos rasgos na camada superficial, sem exposição das chapas de fretagem	5
	Aparelhos de apoio metálicos com corrosão superficial sem comprometimento da sua capacidade portante	5
	Aparelhos de apoio comprometidos por ações mecânicas, ações de incêndio e intempéries, gerando vínculos imprevistos com cunhas de ruptura e recalques diferenciais com fissuras	2
	Aparelhos de apoio danificados totalmente rompidos, dando origem a esforços horizontais e/ou travamento de rotações, indesejáveis no esquema estrutural original	1
	Ausência de aparelho de apoio	0
Juntas	Juntas de dilatação parcialmente obstruídas sem causar restrições à movimentação dos tabuleiros	5
	Juntas de dilatação obstruídas, causando restrições à movimentação dos tabuleiros	4
	Juntas de dilatação obstruídas, com contribuição para o quadro patológico com formação de fissuras em vigas longarinas e lajes	3
	Juntas de dilatação obstruídas, causando graves danos à superestrutura (esmagamento do concreto de vigas e lajes, formação de quadro de fissuração e esforços não previstos na meso e infraestrutura)	2

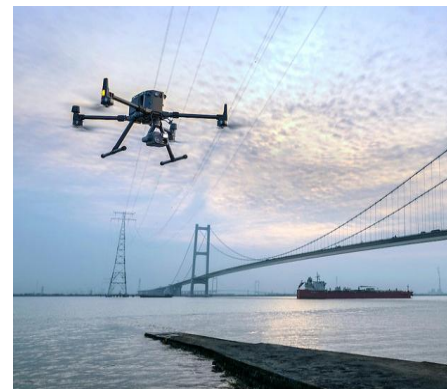
Equipamentos Especiais para aproximação e inspeção



Caminhão com braço articulado e cesto – Necessidade de interdição de faixas de rolamento



Passarela metálica instalada na região próxima as juntas de dilatação e aparelhos de apoio da OAE



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



Uso de scanner para levantamentos de dados geométricos de OAE's



Alçapão na laje inferior da superestrutura



Interior da seção celular



Uso de EPI no interior da seção celular

Tecnologias tradicionais: ensaios e monitoramento



Extensômetro:
Aparelho para medida de
deformações.



Acelerômetro digital:
Aparelho para medidas de
aceleração em tempo real.



Anemômetro:
Aparelho para medida da
velocidade do vento.



Biruta:
Aparelho para medida
da direção do vento.



Defletômetro:
Aparelho para
medidas de
deslocamentos.



Clinômetro manual:
Aparelho para medidas de
rotações, in loco.



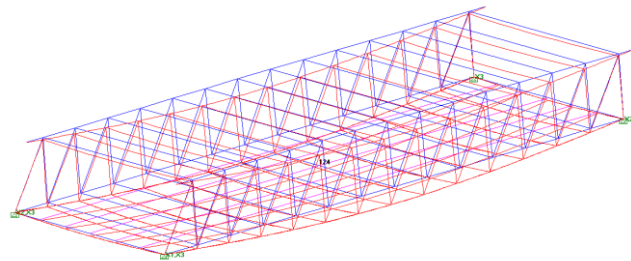
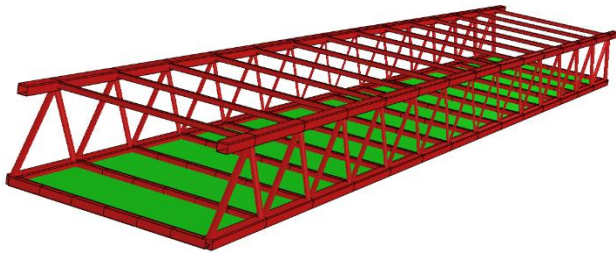
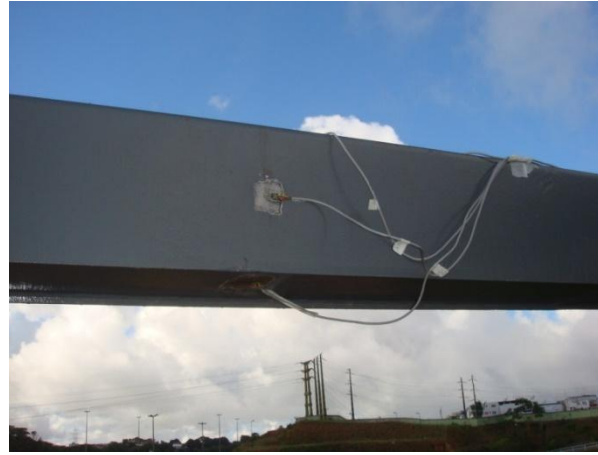
Paquímetro
Aparelho para medida de
aberturas de juntas.



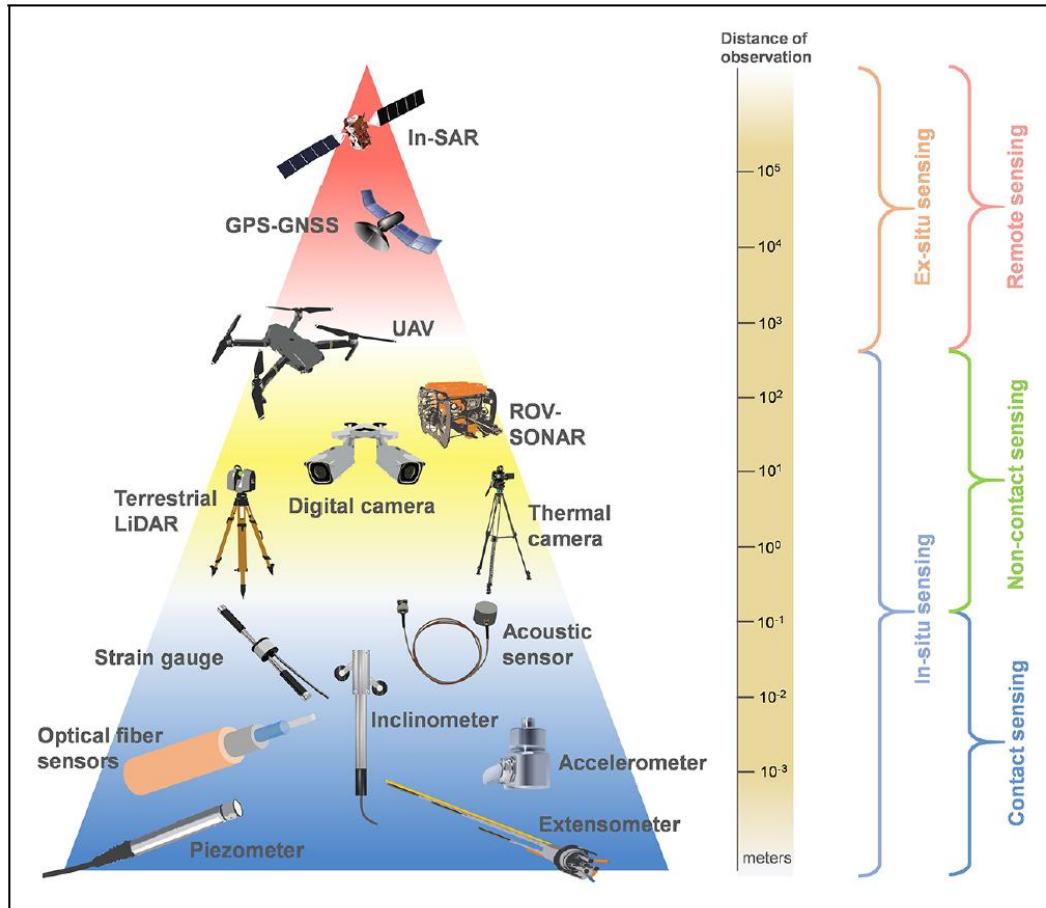
Relógio comparador
Aparelho para medida de
aberturas de fissuras e juntas.



Provas de Carga com tecnologias tradicionais e análises estruturais



Técnicas de monitoramento



- DETECÇÃO REMOTA

- DETECÇÃO SEM CONTATO

- DETECÇÃO COM CONTATO

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.

Novas tecnologias: Utilização de câmeras especiais para monitoramento de deslocamentos



Fonte: <https://rditechnologies.com/>

PONTES E INFRAESTRUTURA: Motion Amplification® para ver as vibrações estruturais causadas por impactos.
RDI Technologies: Tennessee/USA

Novas tecnologias no Monitoramento Estrutural de Pontes

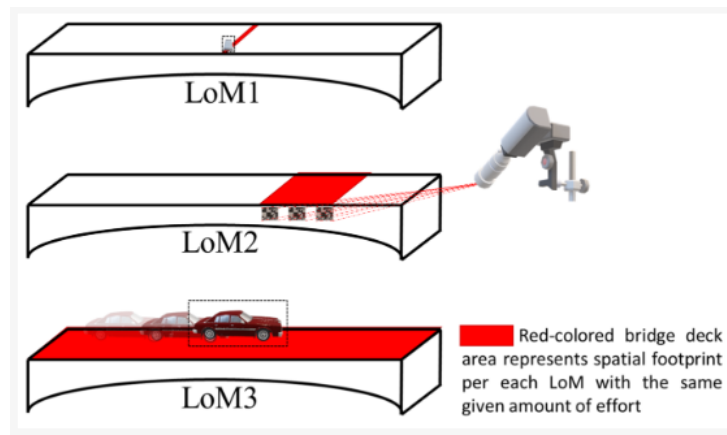


Nível de Mobilidade (LoM):

LoM1, detecção por meio de posicionamento de sensor;

LoM2, detecção com base no monitoramento remoto e sem contato;

LoM3, detecção drive-by por meio de monitoramento veicular indireto.

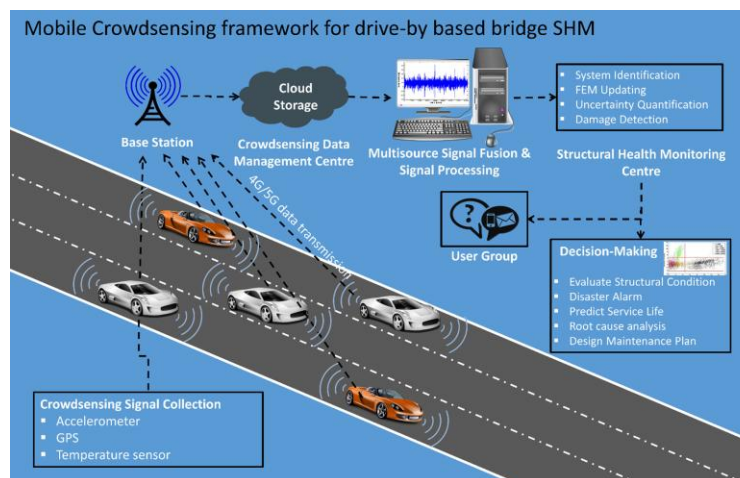


Fonte: Ozer, E.; Kromanis, R. Smartphone Prospects in Bridge Structural Health Monitoring, a Literature Review. *Sensors* 2024, 24, 3287.

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

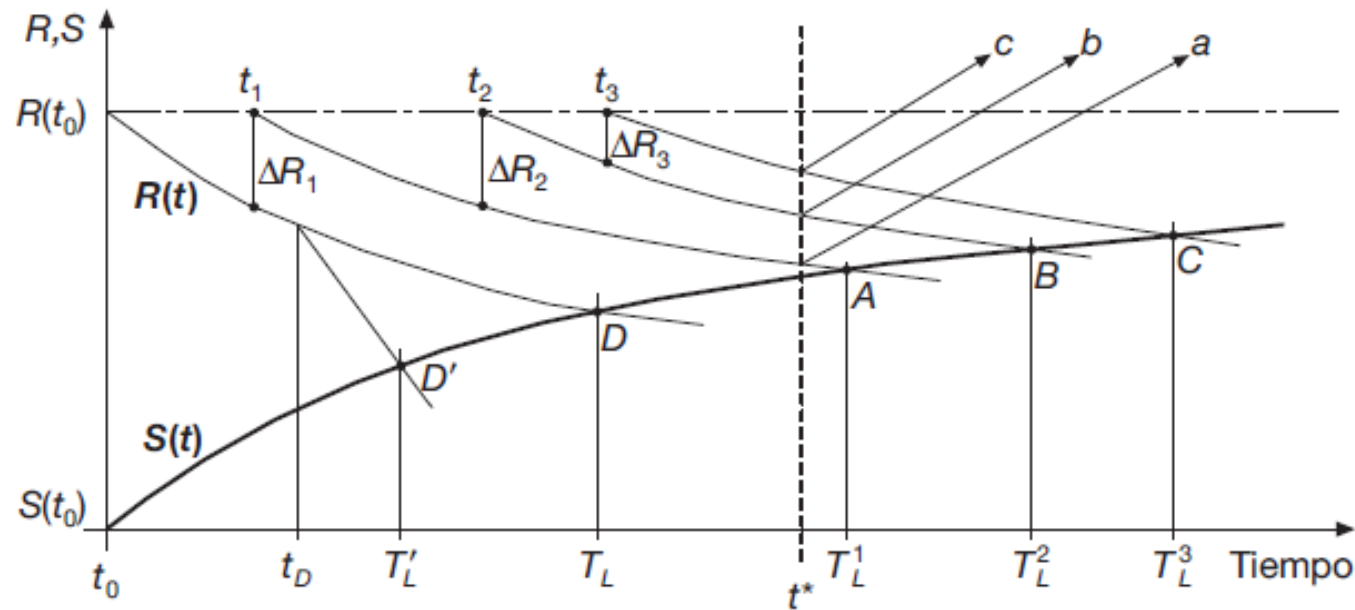
Uso de sensores IoT coletivos para monitoramento de pontes com técnicas drive-by

- Comportamento estrutural;
- Alarme de desastres;
- Previsão de vida útil;
- Análises das causas; e
- Plano de manutenção.



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.

Manutenção e Vida Útil



Fonte: ESPAÑA. Ministerio de Fomento. **EHE-08**: Instrucción de Hormigon Estructural. 5. ed. Madrid: Centro de Publicações, 2011.

Considerações Finais



- Importância das inspeções rotineiras e especiais
 - Aspectos estruturais, funcionais e de durabilidade;
- Detecção em tempo hábil das anomalias;
- A importância do acesso e visualização das anomalias;
- Novas tecnologias de aquisição de dados das OAEs para monitoramento da saúde estrutural; e
- A ausência de um plano de inspeção e manutenção acarreta na degradação das estruturas, aumento dos custos para reparos, riscos de acidentes e impacto na mobilidade urbana.

Obrigado



Ciro José Ribeiro Villela Araujo

ciroaraujo@ipt.br

(11) 3767-4166