



XIV Congresso Brasileiro  
de Pontes e Estruturas

## Aplicação de Ferramentas de Agrupamento de Dados no Contexto de Gerenciamento de Pontes Ferroviárias no Brasil

João Francisco de Carvalho Neto<sup>1</sup>, Flávio Vinícius Cruzeiro<sup>2</sup>, Túlio Nogueira Bittencourt<sup>3</sup>

<sup>1</sup>IFMG / Departamento de Engenharia Civil / joao.carvalho@ifmg.edu.br

<sup>2</sup>CEFET-MG / Departamento de Computação / flaviocruzeiro@cefetmg.br

<sup>3</sup>USP / Departamento de Engenharia Civil / tbitten@gmail.com

### Resumo

Este trabalho propõe o uso de algoritmos de agrupamento de dados (*clustering*) na classificação de de pontes ferroviárias. Dessa forma, busca-se gerar agrupamentos que possibilitem as priorizações a partir da hipótese fundamental de que pontes com tipologias, vida útil e condições de trabalho similares tendem a apresentar desempenho estrutural e demandas de manutenção em tempos semelhantes. Dados gerais de cadastro classificação de concessionárias de ferrovias do Brasil são utilizados nas simulações.

A realidade das condições das pontes ferroviárias brasileiras é desafiadora quando se trata de sistemas de gerenciamento e manutenção. O uso de ferramentas computacionais preditivas tem sido cada vez mais incentivado e novas abordagens probabilísticas têm sido consideradas nesse contexto. O uso de sistemas de coleta contínua de dados, gêmeos digitais (*digital twins*), BIM (*Building Information Modeling*), inteligência artificial, *machine learning* e outros recursos têm se apresentado como indispensáveis ao futuro dos sistemas de gestão. Permitindo maior nível de qualidade nos processos de inspeção, melhor acurácia nas definições de manutenção e alocação de recursos. Por meio de índices de classificação normativos os gestores de pontes estabelecem os critérios para priorização das ações de manutenção e o ciclo de inspeções a serem realizadas nos períodos orçamentários. Em paralelo, procura-se cada vez mais desenvolver ferramentas de modelagem computacional preditivas que, *a priori*, dependem fortemente das classificações atribuídas pelo corpo técnico de inspetores e gerentes. Contudo, o déficit de dados de classificação e a falta de padrão metodológico comprometem e dificultam intensamente o avanço dessa perspectiva. Assim, soluções que não demandem um conjunto de *input* tão dependente dos estados de deterioração das pontes, mas se baseiem no histórico de eventos extremos, podem resultar em tomadas de decisão mais adequadas para conjuntos heterogêneos de pontes.

### Palavras-chave

Pontes ferroviárias; agrupamento de dados; sistema de gerenciamento de pontes.

## Introdução

Os responsáveis técnicos pelo gerenciamento do conjunto de ativos e pela tomada de decisão em relação ao planejamento de manutenção devem considerar aspectos de deterioração das pontes, carregamentos correntes, dados de inspeção, condições de contexto histórico-social e limitações orçamentárias para o período planejado. Em muitos casos os dados cadastrados são escassos ou pobres e, por isso, pouco ou nada auxiliam no julgamento dos ativos que devem ser priorizados. Causando assim um quadro de risco sistêmico pela baixa acurácia das definições de manutenção em suas diversas naturezas, seja preventiva ou corretiva (BITTENCOURT *et al.*, 2021).

Na realidade da gestão de ativos ferroviários a tratativa de planejamento e execução de manutenções de pontes representa um desafio aos profissionais da área técnica. Demandando esforços e recursos para monitoramento e identificação do estado de conservação e nível de desempenho das estruturas. Diversas tratativas têm sido aplicadas a fim de se estabelecer melhores metodologias de classificação e priorização das ações de classificação, conservação e reparo das OAE (SANTOS *et al.*, 2022b; BONATTE *et al.*, 2022; JUNQUEIRA *et al.*, 2019). Sistemas de gerenciamento de pontes são desenvolvidos por diversos órgãos estatais e empresas concessionárias adotando estratégias distintas e adaptadas aos contextos específicos de cada realidade (SILVA *et al.*, 2021). Nesses sistemas há a necessidade de se implementar funcionalidades que otimizem os ciclos de inspeções técnicas e intervenções a serem realizadas. Tais inspeções representam, portanto, atividade de mais elevada importância pois fornecem um conjunto de informações que abastecem os sistemas de gerenciamento. Além de serem o contato real, *in loco*, do corpo técnico responsável com as estruturas. De forma geral, a importância financeira disponível para as atividades de manutenção e inspeção são limitadas e inferiores aos montantes que possibilitariam a performance estrutural do conjunto de pontes de forma plena. Portanto, existe a necessidade de se estabelecer de forma mais precisa os ativos que serão inspecionados em certo período de planejamento. Atendendo às limitações financeiras, logísticas e humanas da atividade de inspeção.

No Brasil, a NBR 9452 define os valores de classificação de pontes numa escala de 1 a 5. Na qual se estabelece como 5 a ponte que apresenta melhores condições de conservação e 1 para as estruturas que oferecem risco iminente de colapso diante das condições de uso. Essa classificação é formada com base na avaliação de parâmetros considerados essenciais e suficientes na classificação de uma estrutura (ABNT, 2019).

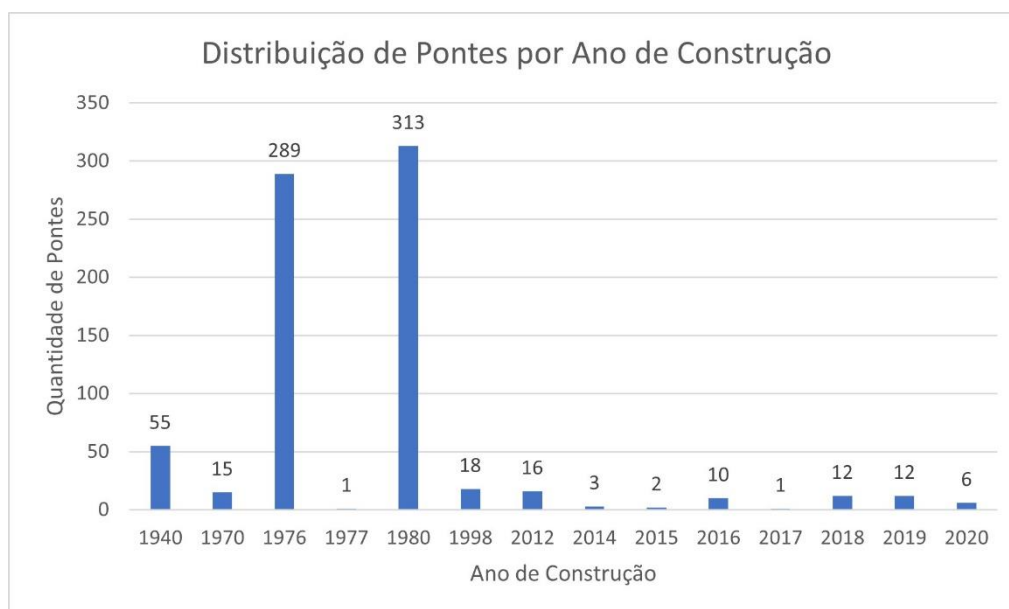
Dentre as tendências de modelos de previsão encontram-se os processos markovianos, ou cadeias de Markov, que são de natureza estocástica e possuem a características de serem independentes com estados de tempos passados (processos sem memória). A partir disso, sua utilização no caso de pontes ou ativos gerais de infraestrutura é indicada por inserir as incertezas e aleatoriedade dos processos de deterioração, acumulando as probabilidades da transição de um estado a outro em intervalos de tempo discretos, conforme equação (1) (Santos *et al.*, 2022), (Oliveira *et al.*, 2017). Nessa abordagem ocorre a forte dependência com os valores de classificações oriundos das inspeções de campo na composição da matriz de transição do sistema.

Neste trabalho aplicou-se a ferramenta computacional de análise de agrupamentos, ou análise de conglomerados, denominada de clusterização de dados (*clustering*) e amplamente utilizada em atividade de aprendizado de máquina. De forma geral busca-se dividir os elementos de certa amostra ou população em subgrupos de tal maneira que seus elementos apresentem similaridade com respeito às suas características e, assim, sejam formados os *clusters*. O intuito dessa aplicação se justifica pela possibilidade do uso de dados de pontes mais íntegros e confiáveis (dados de cadastro), pelos quais pode-se sugerir pontes que demandem intervenções equivalentes. Definindo-se, pois, quais conjuntos de pontes devem ser atendidos nos diferentes níveis de priorização das realidades dos trechos e concessionárias.

## Metodologia

Neste estudo foram realizadas as simulações de *clustering* por meio da seleção de um subconjunto de cem pontes do banco de dados disponibilizado para o trabalho. Em parceria com a concessionária RUMO S.A, foram utilizados os dados de cadastro de 3292 pontes ferroviárias de variadas tipologias, característica típica dos conjuntos de pontes ferroviárias devido à sua heterogeneidade. Os dados utilizados são baseados nos itens de cadastro da NBR 9452 ABNT (2019) e nos registros de inspeções rotineiras das pontes. Os critérios de filtragem a serem estabelecidos são baseados na abordagem *top down*, a fim de priorizar os conjuntos de dados com mais registros históricos de inspeções. No caso foi priorizado o campo relativo à idade da ponte. Os dados de distribuição das idades das pontes do banco de dados estão apresentados na Figura 1.

Observa-se que a concessionária possui algo em torno de 23% (753 pontes) dos dados referentes ao ano de construção dos seus ativos e que, desse percentual, mais de 80% foram construídas há mais de 40 anos. Ressalta-se que essa informação talvez seja a mais relevante no contexto do estudo de deterioração das pontes e o quadro encontrado reflete bem a realidade das informações das ferrovias brasileiras. Seja pelo aspecto temporal do uso dessas estruturas ou pela insuficiência de registros referentes ao ano de construção das OAE, já que o banco de dados fornecido contém menos de quarto das pontes com dados nesse campo.



**Figura 1 - Distribuição de pontes por ano de construção.**

Nas simulações foi utilizado o algoritmo *K-Means* e determinado um número de 4 (quatro) *clusters*, tal escolha foi motivada pelo resultado da aplicação do *knee-method* para determinação da quantidade mais adequada de *clusters*. Com intuito de facilitar a visualização foram plotados gráficos em duas dimensões de campos correlacionados e bastante relevantes no estudo e gerenciamento de pontes (número de vãos e comprimento). A cada adição de novos campos realizou-se nova simulação para formação de *clusters* (figuras 1 a 6). Possibilitando observar a influência da inserção de novos campos no aspecto de similaridade do subconjunto de pontes.

## Resultados

A seguir são apresentados os gráficos de simulações descritas na seção anterior.

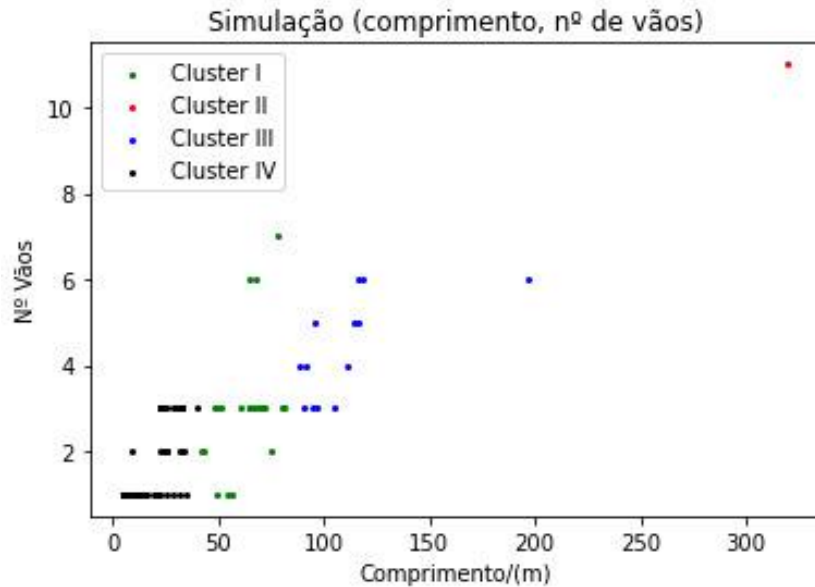


Figura 2 - Clusterização do subconjunto de pontes com representação dos campos de número de vãos e comprimento.

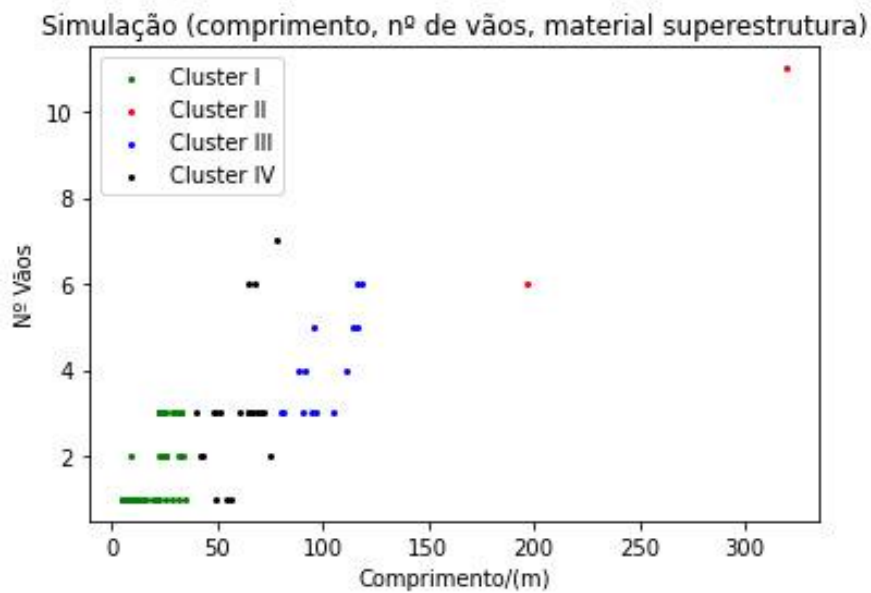


Figura 3 – Clusterização do subconjunto de pontes considerando os campos de comprimento, número de vãos e o tipo de material da superestrutura (vigamento e tabuleiro).

Simulação (comprimento, nº de vãos, material superestrutura, idade)

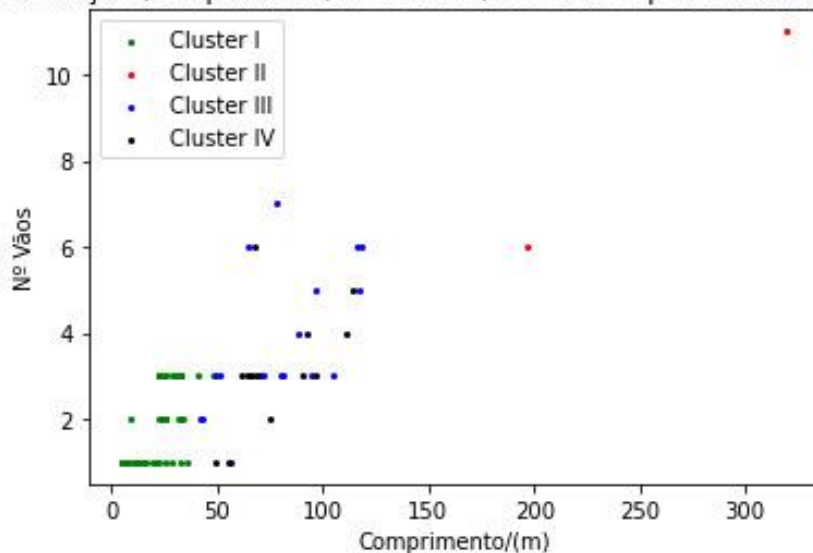


Figura 4- Clusterização do subconjunto de pontes considerando os campos de comprimento, número de vãos, tipo de material da superestrutura (vigamento e tabuleiro) e idade.

Simulação (5 campos)

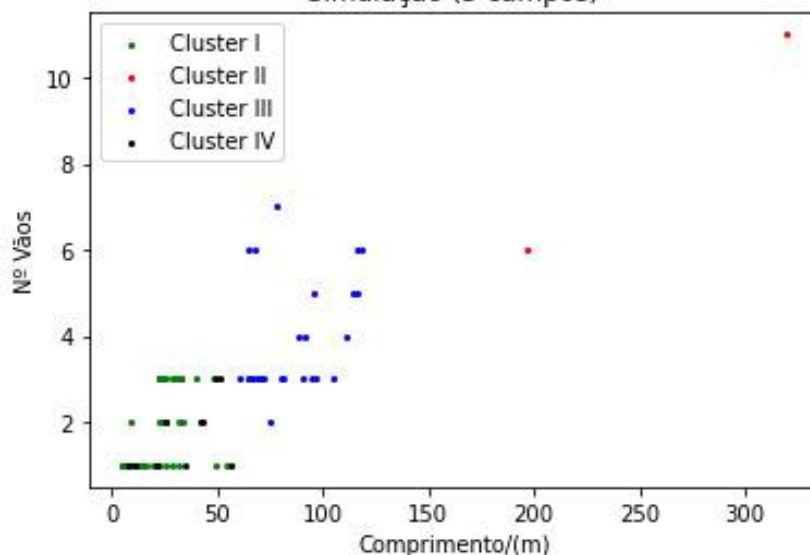


Figura 5- Clusterização do subconjunto de pontes considerando 5 campos do banco de dados.

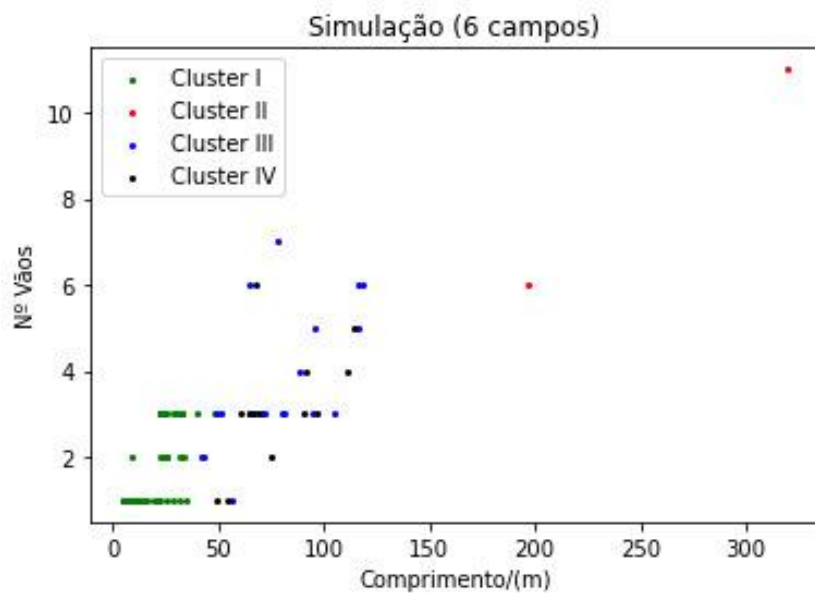


Figura 6 - Clusterização do subconjunto de pontes considerando 6 campos do banco de dados.

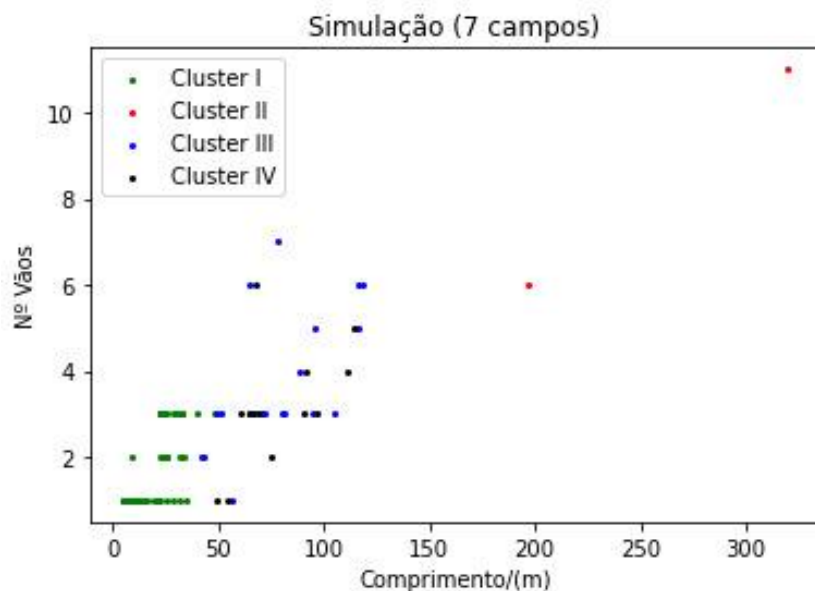
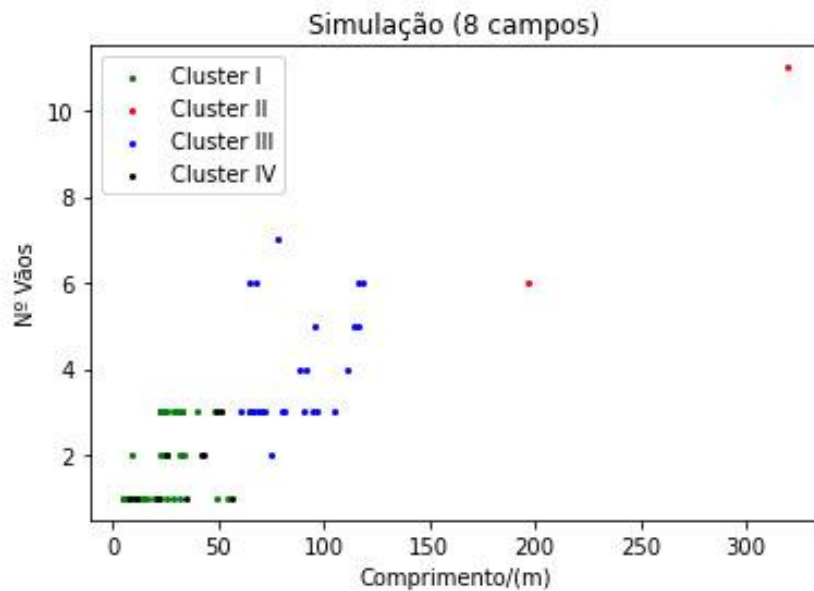


Figura 7- Clusterização do subconjunto de pontes considerando 7 campos do banco de dados.



**Figura 8- Clusterização do subconjunto de pontes considerando 8 campos do banco de dados.**

### Conclusões

Os resultados obtidos indicam aderência à realidade do subconjunto de pontes selecionado para simulação e, a partir disso, pode-se obter maior rigor na determinação de similaridades entre as pontes. Os resultados indicam que, para um número constante de *clusters*, a distribuição dos agrupamentos é alterada pela inserção de novos campos de dados. No entanto, gerando mudanças mais significativas nos *clusters* menos similares ou mais extremos. Naturalmente, os campos contribuem de maneiras distintas nas mudanças dos centroides ( $C_n$ ) dos clusters. Estudos futuros devem identificar quais campos de cadastro definidos pela NBR 9452 são mais significativos no processo de agrupamento. As técnicas de agrupamento, embora muito utilizada e amplamente conhecida na área de *machine learning*, podem auxiliar nas formulações de otimização já existentes nos sistemas de gerenciamento de pontes e em novas abordagens de modelagem matemática e computacional.

O uso de ferramenta de agrupamento se mostra bastante útil e coerente à realidade de gerenciamento de pontes ferroviárias no Brasil ao se considerar a necessidade de se desenvolver, ou aprimorar, ferramentas preditivas que auxiliem no gerenciamento mais assertivo dos conjuntos de pontes. Novas abordagens computacionais e técnicas de ciência de dados devem ser testadas como alternativas que possam contribuir na evolução desse campo de engenharia. Deve-se, pois, entender que dados e ferramentas que apresentem menor vínculo ao aspecto individual de classificação devem conduzir as soluções mais adequadas à realidade de conservação das OAE das ferrovias brasileiras.

## Referências

- ANTUNES, M., OLIVEIRA, D., RIBEIRO, J., CARVALHO, J., CESAR, J., CURI, V.(2022). Estado da arte e bim: um banco de dados aplicavel as obras de reabilitação. *Concreto Construções*, (106). <https://doi.org/10.4322/1809-7197.2022.106.0002>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2019). NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro.
- BITTENCOURT, T.; FUTAI, M.M.; DA CONCEIÇÃO NETO, A.P.; RIBEIRO, D.M. Digital transformation of bridges inspection, monitoring and maintenance processes. In: *Bridge Maintenance, Safety, Management, Life-Cycle Sustainability and Innovations*. [S.l.: s.n.], 2021. p. 11–18.
- BONATTE, M., SANTOS, A.; CARVALHO NETO, J. F.; SOUSA, J.; BITTENCOURT, T.; MATOS, J. C. Aplicação de redes neurais em modelos preditivos de deterioração de pontes rodoviárias. In: *Anais da VI Jornada Portuguesa de Pontes e Estruturas*. 2022. p. 1607–1622. Disponível em: <<http://jpee2022.lnec.pt/index.html>>.
- FUTAI, M., BITTENCOURT, T., CARVALHO, H., DUPERRON, M. (2022), Challenges in the application of digital transformation to inspection and maintenance of bridges. *Structure and Infrastructure Engineering*, 18(1): 1581–1600. <https://doi.org/10.1080/15732479.2022.2063908>
- JUNQUEIRA, J.F.A.; ARAGÃO FILHO, L.A.C.M.; LOPES, L.A.S.; RODRIGUES, J.F.S. Procedimento para avaliação teórica e experimental de pontes ferroviárias. *Revista da Estrutura de Aço REA*, v. 9, n. 1, p. 81–100, 2019. ISSN 2238-93
- OLIVEIRA, C. B. L. E., GRECO, M., LIMA, J., NETO, J. F. C. (2017). “Desenvolvimento de metodologia para a proposta de modelos de deterioração de pontes rodoviárias brasileiras” in: *Anais do 59 Congresso Brasileiro do Concreto*, Bento Gonçalves, Brasil.
- OLIVEIRA, C. B., GRECO, M., BITTENCOURT, T. N. (2019), Análise do inventário das pontes federais do brasil, *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 12(1):1–13. <https://doi.org/10.1590/S1983-41952019000100002>
- SANTOS, A.; BONATTE, M.; SANTOS, A.; CARVALHO NETO, J.F.; SOUSA, J.; BITTENCOURT, T.; MATOS, J. C. Avaliação da segurança de pontes existentes por meio da análise de confiabilidade - estudos de caso. In: *Anais da VI Jornada Portuguesa de Pontes e Estruturas*. [s.n.], 2022. p. 1623–1638. Disponível em: <<http://jpee2022.lnec.pt/index.html>>.
- SILVA, P. C. S.; Câmara, M.Y. F.; VIEIRA, J.F.; SOBRINHO, B.E.; SILVA, T.E.P.; ANHAIA, C.A. A. L.; SARKIS, J.M.; JÚNIOR, A.V.P. Ferramentas de gerenciamento para controle das obras de arte especiais do dnit: SGO e monalisa. In: *Anais do XXII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas*. [s.n.], 2021. p. 1–9. Disponível em: [http://www.abpe.org.br/trabalhos2021/ID\\_028.pdf](http://www.abpe.org.br/trabalhos2021/ID_028.pdf)