



XIV Congresso Brasileiro
de Pontes e Estruturas

Modelos determinísticos de previsão de degradação de pontes por regressão polinomial de 3ª ordem.

Christian A. F. Souza¹, José M. Franco de Carvalho², Ana C. P. Martins³, Fernando G. Bellon⁴, Maria C. S. Alvarenga⁵, Álvaro C. Coelho⁶, Matheus S. Andrade⁷, Diogo S. Oliveira⁸, José C. L. Ribeiro⁹, Kleos M. L. Cesar Jr¹⁰.

¹ Universidade Federal de Viçosa / Departamento de Engenharia Civil / christian.souza@ufv.br
^{2,3,4,5,6,7,8,9,10} Universidade Federal de Viçosa / Departamento de Engenharia Civil / dec@ufv.br

Resumo

Um aspecto fundamental para que uma ponte tenha um bom desempenho durante seu período de vida útil, assegurando um determinado nível de segurança e funcionalidade, é a forma como são implementadas as intervenções. A gestão de pontes tem como um dos principais objetivos a otimização dessas intervenções, para que sejam planejadas e executadas de forma a garantir o melhor nível de desempenho com um menor risco associado a esse tipo de estrutura, ajudando a fundamentar as decisões de investimentos. A possibilidade de previsão da deterioração de uma ponte ao longo do tempo apresenta-se como um grande balizador no âmbito da gestão de pontes, importando ter o conhecimento da evolução do desempenho das pontes no determinado período, podendo assim planejar de melhor forma as intervenções. Nos modelos de previsão da degradação determinísticos é estimado que a estrutura deteriore ao longo do tempo de acordo com uma determinada função. A partir de um banco de dados extenso é possível desenvolver modelos determinísticos com funções resultantes que consideram que a estrutura comece com um valor de 100% e decresça até 0% no final da sua vida útil. O atual trabalho desenvolveu modelos determinísticos de previsão de degradação de pontes por regressão polinomial de 3º ordem a partir de dados de 885 pontes no Brasil, considerando o histórico de cada ponte individualmente para projeção do comportamento do conjunto. Cinco modelos foram obtidos: um para globalidade das 885 pontes, dois modelos divididos de acordo com a classe de agressividade ambiental, e por fim dois com base no VMD (Volume Médio Diário de veículos) de cada ponte. A partir dos resultados, observou-se grande influência tanto da agressividade ambiental quanto do VMD na deterioração do conjunto de pontes analisados, sendo mais acentuada em pontes com classe de agressividade III e VMD acima de 4 mil.

Palavras-chave

Ponte; Previsão de degradação; Estruturas; Gestão de pontes; Modelo determinístico.

Introdução

Atualmente existe um crescimento do interesse de investigação na área de gestão de estruturas importantes da infraestrutura de um país, tais como pontes, pontilhões e viadutos que servem de conexão e suporte para rodovias, ferrovias, hidrovias, dutos de transporte de fluidos e estruturas para passagem de pedestre, sendo estas conhecidas como passarelas. No Brasil denominamos essas infraestruturas como Obras de Arte Especiais (OAEs) (DNIT, 2004a, 2004b).

A previsão de degradação de OAEs é um dos alvos deste crescente interesse, devido ao alto nível de responsabilidade adjunto a essas infraestruturas, das grandes degradações das mesmas e outros impactos socioeconômicos associados à integração em redes rodoviárias.

Para que essas infraestruturas tenham um desempenho adequado, é necessário um investimento ao longo de toda vida útil em manutenções, reforços, reabilitações, entre outros. Além disso, segundo a Lei de Sitter (1984), quanto mais tempo demorar para iniciar ações de manutenção e reabilitação de uma estrutura mais trabalhosa e dispendiosa ficará a intervenção, seguindo uma progressão

geométrica de razão cinco, relacionadas com as etapas de projeto, execução, manutenção preventiva e manutenção corretiva.

Na Figura 1 (a), demonstra-se uma curva genérica de uma OAE quando submetida ou não à reabilitações e reparos durante determinado período, ampliando sua vida útil. Já na Figura 1 (b), exemplifica-se a lei de Sitter.

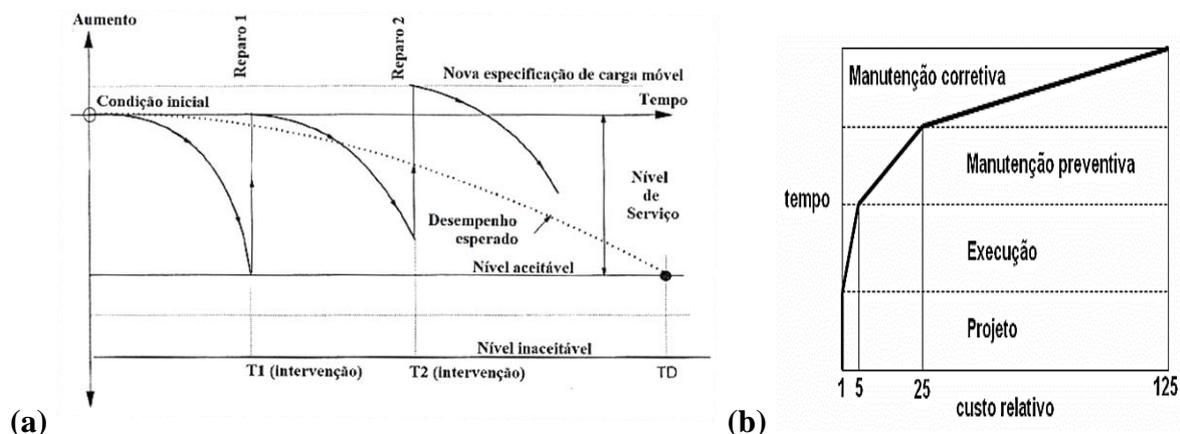


Figura 1- (a) Comportamento de uma OAE submetida a intervenções ao longo do tempo (OLIVEIRA, 2019); (b) Evolução dos custos pela etapa de intervenção (HELENE, 1997).

No cenário brasileiro é preciso levar em consideração a conjuntura atual do país, que possui um parque de obras de arte cada vez mais envelhecido, sendo a maioria das OAEs construídas durante a década de 1970 (OLIVEIRA, 2019).

Outro ponto é que, ao longo do tempo as solicitações das OAEs vão aumentando, seja pelo incremento do volume de tráfego ou por acréscimos de cargas. Dados da CNT (2021) mostram o aumento da frota total de veículos de 64.817.974 em 2010 para 107.948.371 em 2020, gerando um crescimento de 66,5% de veículos na malha rodoviária do Brasil. Além do acréscimo de carga pelo aumento da quantidade de veículos, para as pontes projetadas de 1960 a 1985 eram consideradas carga moveis para veículos de 36 tf, que representava os veículos da época. Já de 1985 até os dias atuais, são consideradas cargas móveis de 45 tf (DNIT, 2004a, 2004b).

Adicionando a estes fatores, uma manutenção de conservação muitas vezes ausente ou ineficiente, e alterações relativas à exposição ambiental, essas infraestruturas padecem de uma aceleração da degradação.

Ademais, os recursos financeiros destinados a manutenção sofreram significativa redução nos últimos anos. A CNT (2021) aponta uma queda de 31,44 bilhões de reais em 2012 para 5,8 bilhões de reais em 2021, uma redução de 81,55 % do investimento público federal autorizado em rodovias no Brasil.

Dada a limitação de recursos, parque de obras de arte envelhecido e o aumento das solicitações nas estruturas, surge a necessidade de priorização das intervenções a serem realizadas. A metodologia utilizada pelo Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais (SGO) do DNIT (DNIT, 2023a), baseia sua tomada de decisão em dois grandes parâmetros: nível de desempenho da ponte e volumes médios diários. Apesar de se mostrar um sistema de gestão eficiente, muitas vezes esses dois parâmetros não são suficientes e outros fatores de decisão, como a previsão de degradação, devem ser levados em consideração para uma gestão que leve a resultados ótimos.

Desta forma, a implementação de um modelo de previsão de degradação em um sistema de gestão de obras de arte se mostra fundamental para otimizar as decisões das administrações que gerem o investimento nessas estruturas. O presente trabalho se propõe ao desenvolvimento de modelos de previsão de degradação, utilizando dados de OAEs brasileiras, que permitam avaliar a situação futura da estrutura, visando, no futuro, otimizar o processo de decisão e o gerenciamento das intervenções as serem realizada no período de vida útil das OAEs.

Previsão de degradação

No cenário da Gestão de Obras de Artes Especiais, a previsão de degradação demonstra grande importância, dado que os principais sistemas de gestão utilizados no mundo contemplam de alguma forma, modelos de degradação em seu conjunto, como por exemplos alguns sistemas utilizados em diversos países, demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1- Sistema de Gestão de Obras de Arte Especial com previsão de degradação.

Designação	OBMS	FBMS	GBMS	APTBS	RPIBMS	BatMan	KUBA	Pontis
País	Canada	Finlândia	Alemanha	Itália	Japão	Suécia	Suécia	EUA

A geração de modelos de previsão de degradação de uma OAE permite a antecipação de necessidades futuras, e um planejamento mais otimizados das intervenções e dos recursos alocados em um horizonte de médio ou longo prazo. Os modelos de previsão de degradação podem ser de natureza empírica ou mecanicista e divididos, principalmente, entre modelos determinísticos, probabilísticos e de inteligência artificial (SETUNGE; HASAN, 2011).

Conforme Almeida (2013), a partir de um conjunto significativo de registros históricos do Estado de Condição de diversas OAEs, podem se desenvolver métodos de previsão da degradação baseados em técnicas de inteligência artificial, como por exemplo as redes neurais¹. Estes modelos procuram encontrar a relação entre o Estado de Condição e as variáveis externas e internas à ponte, conseguindo prever sua degradação. Entretanto necessita de grandes conjuntos de dados, nem sempre sendo possível o desenvolvimento. O mesmo ocorre com os modelos probabilísticos, a grande diferença que estes dados podem ser simulados de outros modelos de deterioração ou a partir de modelos teóricos associados aos mecanismos de deterioração, que considera que a deterioração ao longo do tempo é desconhecida, mas há uma probabilidade de a deterioração vir a se processar de acordo com uma determinada lei (ALMEIDA, 2013; OLIVEIRA, 2019).

Por fim, baseados em uma fórmula matemática ou estatística, os modelos determinísticos relacionam o histórico dos estados de condição com o período de vida útil das OAEs, podendo também ser relacionados com outros fatores que influenciam na degradação. Os principais métodos desenvolvidos para criação destes modelos são os ajustes das curvas de extrapolação, regressões e método linear (GARCÍA-SÁNCHEZ, 2016; MADANAT; WAN IBRAHIM, 1995; MORCOUS; HATAMI, 2011; MOSCOSO, 2017).

Os modelos determinísticos mais desenvolvido atualmente são as regressões, que consistem em regressões lineares ou não-lineares, no qual procuram uma relação empírica entre uma ou mais variáveis, sendo uma variável dependente da outra, e as demais independentes, caso existam.

Segundo Ruckstuhl (2010), a regressão de modo geral estuda a relação entre uma variável de interesse Y_i e uma ou mais variáveis explanatórias ou predictoras $X^{(j)}$, dada pela seguinte forma:

$$Y_i = f(x_i^{(1)}, x_i^{(2)}, \dots, x_i^{(m)}; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p) + \varepsilon_i \quad i = 1, \dots, n \quad (1)$$

onde,

f : uma função que depende das variáveis explicativas e parâmetros, que querem se resumir com vetores $x = [x_i^{(1)}, x_i^{(2)}, \dots, x_i^{(m)}]^T$ e $\theta = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p]^T$; ε_i : erros aleatórios que descrevem os desvios não estruturados da função f , a distribuição normal é assumida para a distribuição desse erro aleatório, mostrada na equação (2), onde N é a distribuição e σ^2 é a variância do sistema, então,

$$\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2) \quad (2)$$

A regressão mais simples é a regressão polinomial linear que contempla apenas uma variável independente e uma variável dependente que muda a uma taxa constante à medida que o valor da variável independente muda, podendo ser regressão polinomial de 1ª ordem (3) ou de 2ª, 3ª, ..., nª (4).

$$\varepsilon(Y_i) = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_i \quad (3)$$

¹ (Almeida, 2013) cita, de forma simplificada, que nas redes neurais são determinadas as melhores leis que, a partir de uma parte dos dados, melhor conseguem prever a outra parte, relativamente a diversas divisões e subdivisões da amostra.

$$\varepsilon(Y_i) = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_i + \beta_2 \cdot x_i^2 \dots + \beta_n \cdot x_i^n \quad (4)$$

Onde,

n : ordem da regressão; β_0 é a interseção, o valor de $\varepsilon(Y_i)$ quando $x = 0$, e $(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ a inclinação da linha (regressão polinomial de 1ª ordem) ou curva (regressão polinomial de 2ª ordem em diante), a taxa de mudança em $\varepsilon(Y_i)$ por unidade de variação em x .

Segundo Ruckstuhl, (2010), na regressão não linear, são consideradas as funções f que não podem ser escritas como lineares nos parâmetros.

Metodologia

A partir das 6833 OAEs presentes no Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais (SGO) do DNIT (DNIT, 2023a), foram adotados os seguintes critérios de filtragem: OAEs em concreto armado ou protendido, com ano de construção em seu cadastro, sem melhorias de nota técnicas e sem grandes reabilitações, e pelo menos 3 ciclos de inspeção completos, para o desenvolvimento de melhores modelos. Foram obtidos dados de 885 pontes, englobando as 5 regiões brasileiras (Tabela 2), 3 Classes de Agressividade Ambiental² (Tabela 3) e subdivididos em 2 grupos de Volume Médio Diário de veículos³ (VMD)(Tabela 4), contemplando 2655 inspeções, com nota técnicas atribuídas de acordo com a Norma do DNIT (2004b) com escala de 5 de estados de condição, sendo 5 a melhor nota e 1 a pior. Esses dados são insuficientes para a geração de modelos de previsão de degradação probabilísticos ou por inteligência artificial, optando-se, então, pelo desenvolvimento de modelos determinísticos.

Tabela 2 – Distribuição geográfica das OAEs selecionadas por região.

Região	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
Quantidade de OAEs	35	276	131	124	319
Porcentagem %	3,95%	31,2 %	14,8 %	14,01%	36,04 %

Tabela 3 - Classe de agressividade ambiental das OAEs selecionadas.

Classe de agressividade ambiental	I	II	III
Quantidade de OAEs	651	158	76
Porcentagem %	73,56%	17,85%	8,59%

Tabela 4 - VMD das OAEs selecionadas.

VMD (Volume médio diário de Veículos)	VMD menor que 4 mil	VMD maior que 4 mil
Quantidade de OAEs	452	433
Porcentagem %	51,07 %	48,9 %

Os critérios de filtragem foram definidos de acordo com o tipo de material empregado nas infraestruturas estudadas, qualidade dos dados e necessidade do modelo determinístico, dado que a estrutura parte de um estado de condição perfeito, ou seja, nota técnica 5 e decresce de acordo com a idade da OAE até a pior nota técnica, no caso 1.

Os modelos foram desenvolvidos utilizando o software OriginPro (ORIGINLAB CORPORATION, 2023), por meio de regressão polinomial de 3ª ordem não-linear para o modelo das OAEs com classe de agressividade III⁴ ((5)), e regressão polinomial de 3ª ordem linear para as demais ((6)). Esses modelos foram adotados por representarem melhor os dados de inspeção das OAEs, com gráficos obedecendo as seguintes funções:

$$y = A + Bx + Cx^2 + Dx^3 \quad (5)$$

$$y = B0 + B1x + B2x^2 + B3x^3 \quad (6)$$

² As classes de agressividade ambiental foram atribuídas pelo autor seguindo as recomendações da NBR 6118 (2014).

³ O VMD foi retirado do programa VGeo do DNIT (<https://servicos.dnit.gov.br/vgeo/>) para todas OAEs (DNIT, 2023b).

⁴ Os modelos determinísticos de previsão de degradação por regressão polinomial de 3ª ordem linear para OAEs com classe de agressividade III apontavam melhorias no estado de condição da OAEs em determinado ponto do gráfico. Como no modelo não são consideradas tais melhorias, recorreu-se à regressão não-linear para o desenvolvimento.

Dos diversos fatores considerados, verificou-se uma grande influência da Classe de Agressividade Ambiental III, e influência significativa do VMD nas curvas de deterioração com relação ao modelo desenvolvido para todas 885 OAEs. Os demais fatores não demonstraram ter importância para os modelos analisados (Tabela 5).

Tabela 5 – Influência dos fatores na curva de degradação.

Fator	Influência
Classe de Agressividade Ambiental I	Sem influência
Classe de Agressividade Ambiental II	Sem influência
Classe de Agressividade Ambiental III	Muito influente
VMD (Volume Médio Diário de Veículos)	Influente
Regiões Brasileiras	Sem influência
Aspectos especiais ^a	Sem influência

^a Aspectos especiais considerados de acordo com o a Norma e Manual de Inspeção de Pontes do DNIT (DNIT, 2004a, 2004b)

Sendo assim, foram desenvolvidos 5 modelos determinísticos de previsão de degradação de Obras de Artes Especiais por regressão polinomial de 3ª Ordem:

- Um modelo para globalidade das 885 OAEs (denominado 885 OAEs);
- Um modelo para Classe de Agressividade Ambiental I e II (denominado Classe I/II);
- Um modelo para Classe de Agressividade Ambiental III (denominado Classe III)⁵;
- Um modelo para Classe de Agressividade Ambiental I e II e VMD menor que 4 mil (denominado VMD < 4 mil);
- Um modelo para Classe de Agressividade Ambiental I e II e VMD maior que 4 mil (denominado VMD > 4 mil);

Resultados e discussões

Após inserção dos 2655 dados de inspeção das 885 OAEs no software OriginPro, foram desenvolvidos modelos seguindo as equações (5) e (6), com coeficientes de acordo com a Tabela 6.

O valor de interceptação no eixo y foi fixado em 5, uma vez que no modelo determinístico é considerado que a OAE parta do estado de condição perfeito, ou seja, nota técnica 5 quando $x=0$. Os demais coeficientes descrevem a inclinação da curva do modelo. Quanto maior o módulo desses coeficientes, maior a inclinação da curva e consequentemente mais rápido a OAE se deteriora.

Tabela 6 – Coeficientes de cada modelo desenvolvido.

Modelos	A ou B0	B ou B1	C ou B2	D ou B3
885 OAEs	5	-0,1294	0,0032	$-2,8371E^{-5}$
Classe I/II	5	-0,1186	0,0028	$-2,4328E^{-5}$
Classe III	5	-0,1500	0,0038	$-3,4309E^{-5}$
VMD < 4 mil	5	-0,0944	0,0018	$-1,5508E^{-5}$
VMD > 4 mil	5	-0,1360	0,0034	$-3,0142E^{-5}$

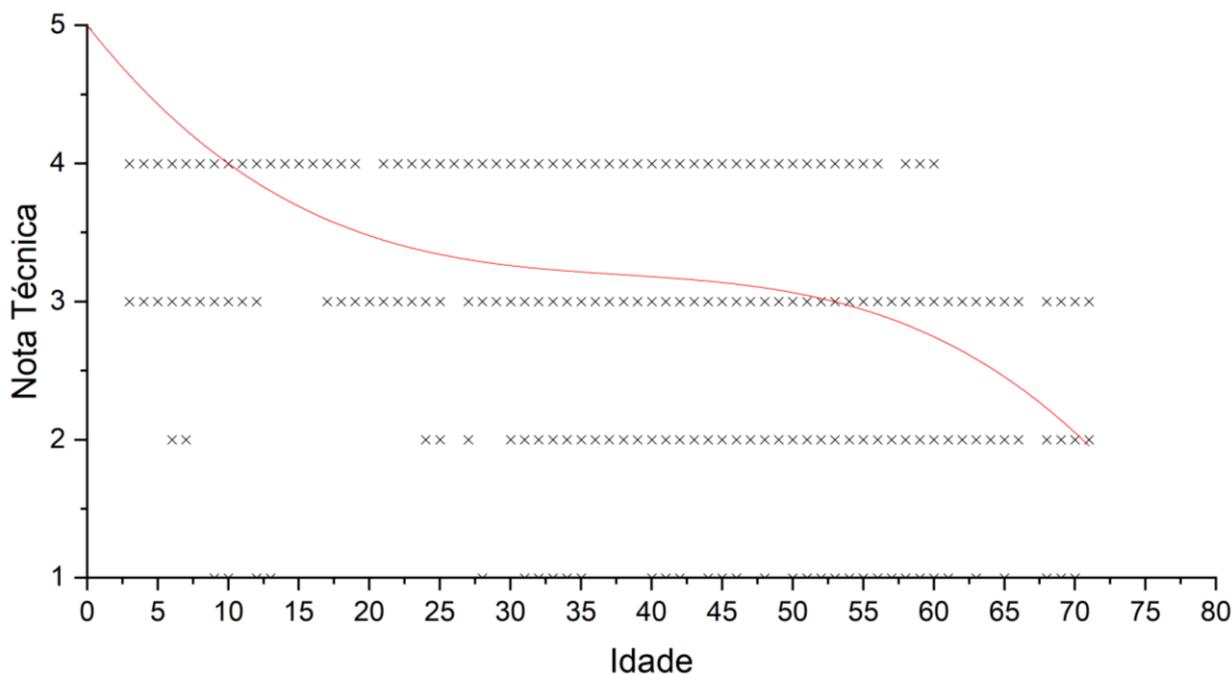
Foram analisadas algumas métricas estatísticas de avaliação dos modelos, que demonstraram a qualidade dos modelos e representatividades dos dados analisados, como mostrado na Tabela 7. Os coeficientes de determinação ao quadrado (r^2) próximos de 1 demonstram quão representativo são os modelos diante dos dados. O Erro médio quadrado inferior a 1 representa um erro baixo do modelo, dado que a nota técnica transita de 1 em 1 em sua escala de avaliação, então, por exemplo, uma nota técnica gerada pelo modelo de 2,75 seria plausível atribuir tanto a nota 2 como a nota 3, sendo o erro de 0,75 para nota 2 ou 0,25 para nota 3. Neste caso, um desvio inferior 1 não afeta a nota técnica.

⁵ Como a influência da classe de agressividade ambiental III se sobressaia diante à influência do VMD, optou-se por não levar em consideração o VMD na obtenção do modelo da Classe III.

Tabela 7 - Métricas estatísticas de avaliação.

Dado estatístico	885 OAEs	Classe I/II	Classe III	VMD <4 mil	VMD >4 mil
Coefficiente de determinação (r^2)	0,9735	0,9542	0,9990	0,9746	0,9749
Erro médio quadrado (MSE)	0,6104	0,6908	0,6854	0,5946	0,5977

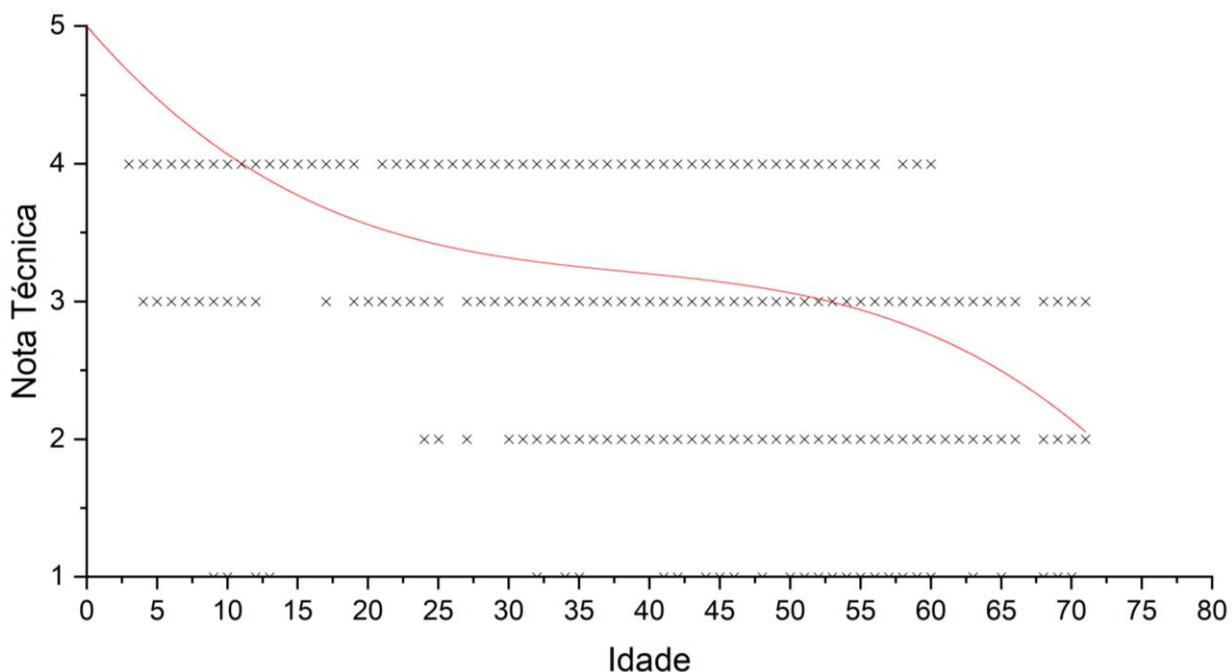
Para o modelo 885 OAEs foram utilizadas a globalidade das inspeções (2655), resultando na curva de deterioração da Figura 2.



x: Notas técnicas das inspeções no decorrer da idade das OAEs; —: Curva de deterioração.

Figura 2— Modelo de previsão de degradação 885 OAEs.

Para o modelo Classe I/II foram utilizados dados de 809 OAEs contemplando 2427 inspeções, resultando na curva de deterioração da Figura 3.



x: Notas técnicas das inspeções no decorrer da idade das OAEs; —: Curva de deterioração.

Figura 3— Modelo de previsão de degradação Classe I/II.

Para o modelo Classe III foram utilizados dados de 76 OAEs contemplando 228 inspeções, resultando na curva de deterioração da Figura 4.

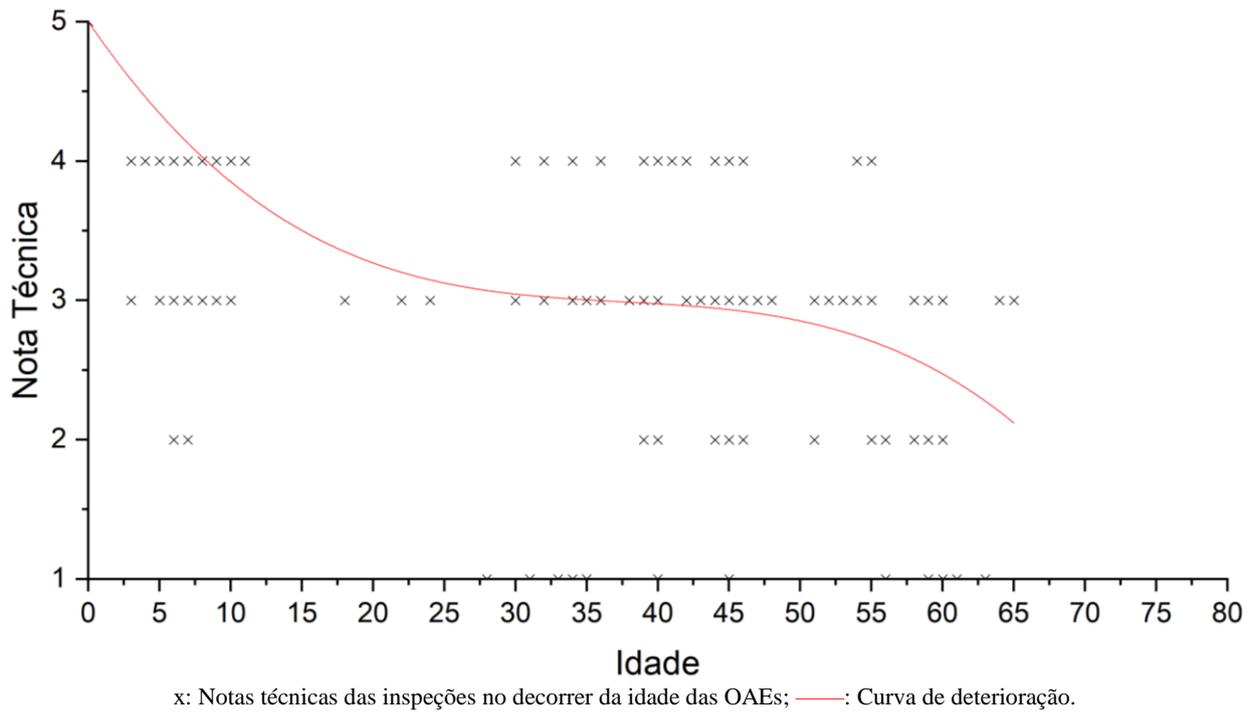


Figura 4– Modelo de previsão de degradação Classe III.

Para o modelo VMD < 4 mil foram utilizados dados de 436 OAEs contemplando 1308 inspeções, resultando na curva de deterioração da Figura 5.

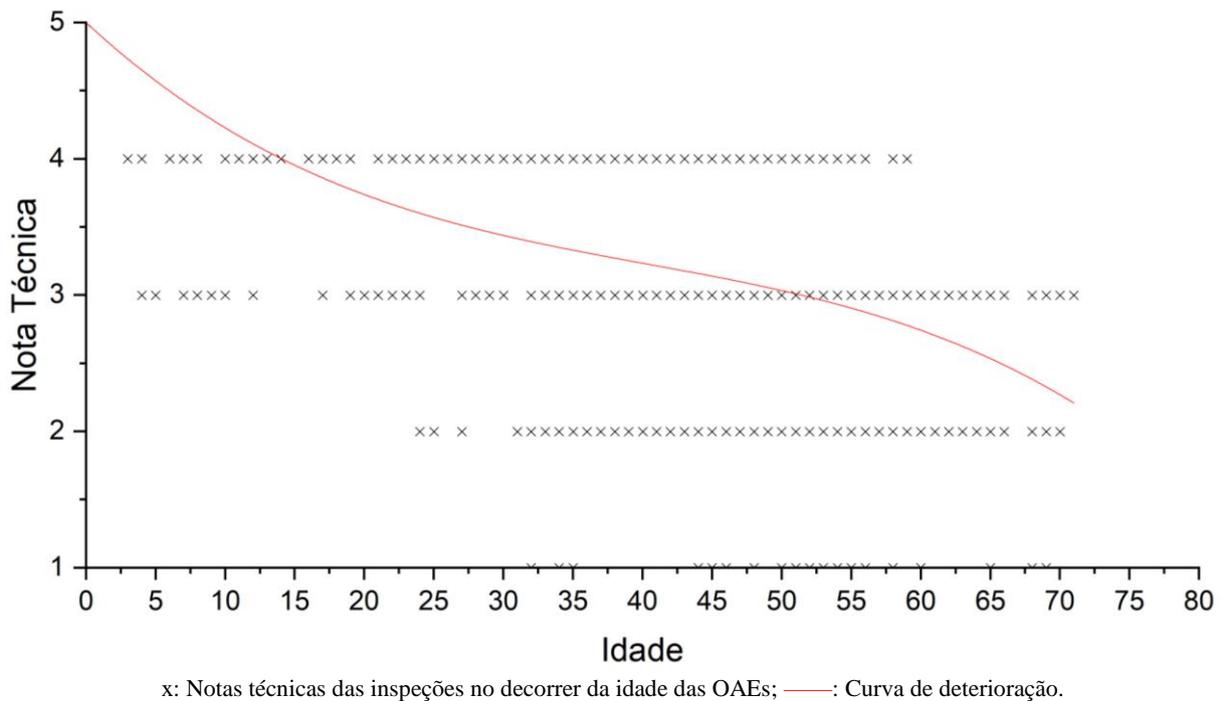
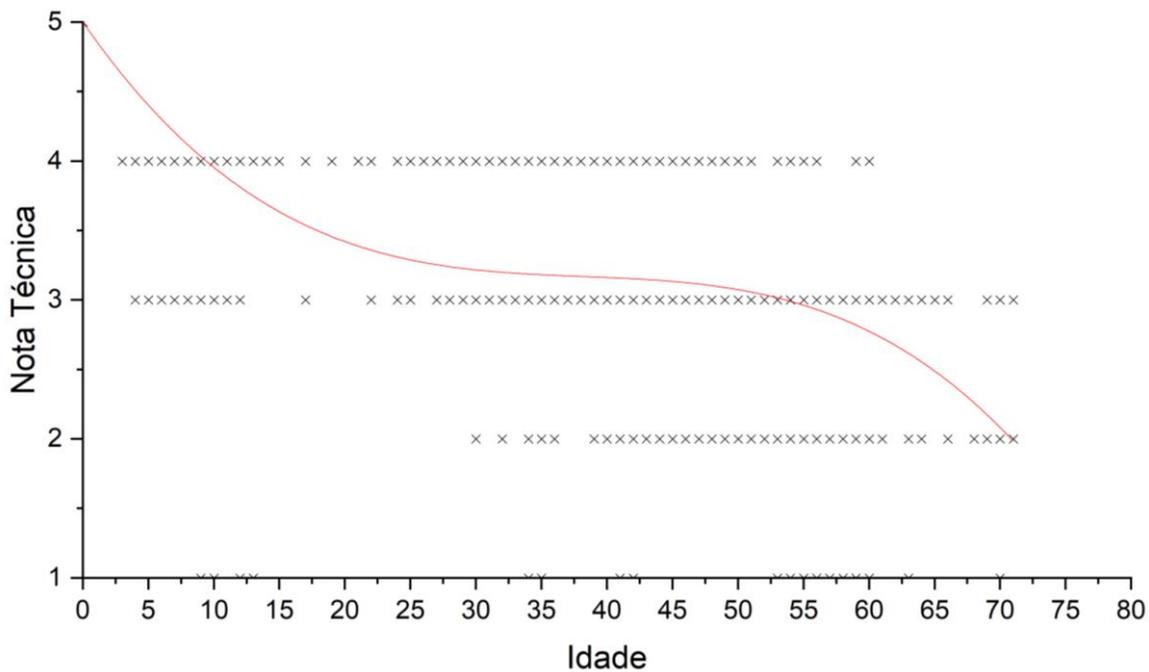


Figura 5 – Modelo de previsão de degradação VMD < 4 mil.

Para o modelo VMD > 4 mil foram utilizados dados de 373 OAEs contemplando 2427 inspeções, resultando na curva de deterioração Figura 6.



x: Notas técnicas das inspeções no decorrer da idade das OAEs; —: Curva de deterioração.

Figura 6 – Modelo de previsão de degradação VMD > 4 mil.

Fundamentado nos gráficos, se justifica a grande influência da Classe de agressividade ambiental III na degradação de uma OAE, evidenciado nos gráficos pela a maior inclinação da curva no modelo Classe III (Figura 4) em comparação ao demais. Essa deterioração mais rápida devido aos maiores módulos dos coeficientes (B, C e D) (Tabela 6), é resultante de um ambiente mais agressivo, geralmente associado ao ambiente marítimo. Vários autores atrelam essa deterioração acelerada a grande influência dos cloretos, umidade e taxas elevadas de corrosão da armadura (CEB, 1992; COSTA, 1997; MEHTA, 1991; MIRANDA, 2006; SOUZA, 2019).

Não foi notada diferenciação entre as Classes de agressividade I e II, uma vez que a Classe I da NBR 6118 não engloba bem essas obras de infraestrutura, tendo a norma um enfoque maior em edificações convencionais. Por mais que uma OAE esteja presente em um ambiente Classe II, como por exemplo o ambiente urbano com altas concentrações de CO₂, o fato das OAEs, de modo geral, estarem em ambientes com umidades relativas elevadas e possuírem zonas microclimáticas (microambientes), mesmo em ambientes rurais, os principais processos de deterioração são acentuados, fazendo assim com que as duas classes tenham comportamento parecido (CEB, 1992; MIRANDA, 2006; SOUZA, 2019).

Referente ao VMD, o modelo com OAEs com VMD maior que 4 mil (Figura 6) apresentou uma deterioração mais elevada em comparação ao modelo com menores VMDs (Figura 5) para OAEs com Classe de agressividade ambiental I e II. Os principais motivos são as cargas atribuídas e frequência: quanto maior a quantidade de veículos maior a carga transferida e, quanto maior a frequência maiores vibrações e fadiga na estrutura, ocasionando uma deterioração mais acentuada.

O mesmo efeito do VMD na estrutura não foi observado para OAEs com Classe de agressividade ambiental III, por razão da influência dos processos de deterioração em ambientes agressivos apresentarem uma elevada velocidade de degradação, ofuscando o efeito do VMD.

A Tabela 8 simplifica alguns dados dos modelos, elucidando, de forma contundente, o comparativo entre os modelos e a relação com seus devidos parâmetros. Nota-se o modelo Classe III decaindo a nota técnica de forma mais acentuada, chegando a nota mínima em 75 anos, já o modelo VMD < 4 mil, apresenta um decaimento mais gradual, sendo o modelo com menor velocidade de degradação, chegando a nota mínima com 86 anos.

Tabela 8 - Nota técnica dos modelos no decorrer dos anos.

Idade	885 OAEs	Classe I/II	Classe III	VMD < 4 mil	VMD > 4 mil
0 anos	5	5	5	5	5
5 anos	4,43	4,47	4,34	4,57	4,40
10 anos	4,00	4,07	3,85	4,22	3,95
20 anos	3,47	3,55	3,26	3,73	3,42
30 anos	3,23	3,31	3,04	3,43	3,21
40 anos	3,18	3,19	2,98	3,23	3,16
50 anos	3,06	3,06	2,86	3,03	3,07
60 anos	2,74	2,75	2,48	2,74	2,77
70 anos	2,05	2,13	1,64	2,26	2,08
75 anos	1,51	1,66	1 ^a	1,93	1,53
79 anos	1 ^a	1,19	-	1,61	1 ^a
81 anos	-	1 ^a	-	1,42	-
86 anos	-	-	-	1 ^a	-

^a Ano da menor nota técnica a ser atribuída no modelo de acordo com Manual de inspeção de Pontes (DNIT, 2004a).

Outro ponto importante a se analisar é que, com exceção do modelo VMD < 4 mil, existe uma tendência de transição mais rápida para nota técnica 3 e uma tendência de permanência nesse estado de condição por mais tempo, o principal motivo disto é a subjetividade da metodologia de avaliação adotada pelo DNIT, que dá ao inspetor maior liberdade para definir seus critérios, fazendo com que uma nota técnica 3 seja um estado de condição amplo e confortável de avaliar.

Segundo Fonseca et. al (2010), quando o ser humano está diante de um processo de tomada de decisão, utiliza-se de esquemas mentais inconscientes e semiconscientes, ou seja, no processo decisório, fatores com viés cognitivo, como aspectos pessoais e de personalidade, refletem na decisão estratégica do indivíduo. O mesmo autor cita também que a cognição quando não pautada na racionalidade, obstaculiza a reflexão estratégica, trazendo alguns aspectos da abordagem cognitiva no processo decisório. Desta forma quão mais subjetivo foi a metodologia de avaliação, mais fatores de viés cognitivos podem estar presentes na decisão da nota técnica do inspetor.

Um estudo comparativo de metodologias de avaliação do estado de condição desenvolvido por Souza et al. (2022), demonstra essa subjetividade presente na avaliação adotada pelo DNIT, assim como aponta melhorias para otimização do processo de avaliação. As principais melhorias apontadas foram a avaliação da estrutura elemento a elemento, ao contrário da metodologia do DNIT que avalia um conjunto de elementos, e a definição de forma mais objetiva da classificação dos danos e estado de condição em seu manual de inspeção.

No caso do modelo VMD < 4 mil, como a deterioração ocorre de forma mais lenta, as OAEs levam um tempo maior para transitar entre os estados de condição, se comportando de forma uniforme e gradativa.

Conclusões

Com uma ampla quantidade de dados das OAEs, se desenvolveu de forma satisfatória os 5 modelos determinísticos de previsão de degradação considerando diversos aspectos da infraestrutura, apresentando boa representatividade diante das métricas estatísticas, e gerando resultados condizentes com a realidade e com os aspectos discutidos.

Os modelos evidenciaram a grande influência da Classe de agressividade ambiental III na deterioração, e a similaridade das demais classes (I e II) devido as diversas zonas microclimáticas e elevada umidade relativa. Verificou-se a influência do VMD nas curvas de deterioração em estruturas das Classes I e II, sendo mais acentuadas para VMD maiores de 4 mil, entretanto não foi possível verificar a mesma influência diante da Classe de agressividade ambiental III por causa das grandes velocidades de degradação que ofuscam tal efeito. Os modelos ainda evidenciaram uma tendência de transição e permanência na Nota Técnica 3, conexo com a metodologia e a subjetividade da avaliação do estado de condição utilizada pelo DNIT.

Por fim, a previsão de degradação de Obras de Arte Especiais é de extrema importância para o gerenciamento de OAEs, e os modelos propostos se demonstraram uma realidade viável dentro do cenário brasileiro, abrindo espaços para novos estudos e implementações em sistemas de gestão existentes e a serem desenvolvidos no Brasil.

Referências

- ALMEIDA, J. Sistema de Gestão de Pontes com Base em Custos de Ciclo de Vida. Porto: Universidade do Porto, 2013.
- CEB. Durable concrete structures design guide. [s.l.] Telford, 1992.
- CNT. Pesquisa CNT de Rodovias 2021, 2021.
- COSTA, A. Durabilidade de Estruturas de Betão Armado em Ambiente Marítimo. [s.l.] Universidade Técnica de Lisboa, 1997.
- DNIT. Manual de Inspeção de Pontes Rio de Janeiro, 2004a.
- DNIT. Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido-Procedimento, 2004b.
- DNIT. Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Brasília, 2023a.
- DNIT. Visualizador de dados do DNITGeo. Disponível em: <<https://servicos.dnit.gov.br/vgeo/>>.
- FONSECA, V. S. DA; MACHADO-DA-SILVA, C. L. Conversação entre abordagens da estratégia em organizações: escolha estratégica, cognição e instituição. *Organizações & Sociedade*, v. 9, n. 25, p. 93–109, 2010.
- FONSECA, R. A estrutura do instituto central de ciências: Aspectos históricos científicos e tecnológicos de projeto, excursão, intervenções e proposta de manutenção, 2007.
- GARCÍA-SÁNCHEZ, D. Control estadístico y modelos de regresión lineal. Una forma práctica de control de puentes. [s.l.: s.n.].
- HELENE, P. Vida Útil das Estruturas de Concreto. IV Congresso Ibero Americano de Patologia das Construções e VI Congresso de Controle da Qualidade CON PAT-97. Anais...Porto Alegre: 1997
- MADANAT, S.; WAN IBRAHIM, W. H. Poisson regression models of infrastructure transition probabilities. *Journal of Transportation Engineering*, v. 121, n. 3, p. 267–272, 1995.
- MEHTA. Concrete in the Marine Environment. 1991.
- MIRANDA, A. Influência da proximidade do mar em estruturas de betão. p. 230, 2006.
- MORCOUS, G.; HATAMI, A. Developing Deterioration Models for Nebraska Bridges, 2011. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/280073815>>
- MOSCOSO, Y. F. M. Modelos De Degradação Para Aplicação Em Sistemas De Gerenciamento De Obras De Arte Especiais - Oaes. p. 210, 2017.
- NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto e procedimento. 2014.
- OLIVEIRA, C. Determinação e análise de taxas de deterioração de pontes rodoviárias do Brasil. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2019.
- ORIGINLAB CORPORATION. OriginProNorthampton USA, 2023.
- RUCKSTUHL, A. Introduction to Nonlinear Regression. German: IDP Institut für Datenanalyse und Prozessdesign ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, 2010.
- SETUNGE, S.; HASAN, S. Concrete Bridge Deterioration Prediction using Markov Chain Approach, 2011.
- SITTER, W. Costs of service life optimization “The Law of Fives”. Comité Euro-Internacional du Béton. Anais...Copenhagen: CEB-RILEM Workshop on Durability of Concrete Structures, 1984
- SOUZA, C. Patologias em Estruturas de Betão Armado por Influência do Ambiente Marítimo: Estudo de Caso. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2019.
- SOUZA, C. et al. Comparative study of bridge structural condition assessment methodologies. 11th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management. Anais...Barcelona: 2022 Disponível em: <<https://congress.cimne.com/iabmas2022/Admin/Files/FilePaper/p484.pdf>>. Acesso em: 24 maio. 2022