Um estudo sobre a degradação estrutural de pontes e viadutos rodoviários

A study on the structural degradation of road bridges and viaducts

Clayton GOMES[1], **Eliana** Monteiro[2] **Afonso** VITÓRIO[3]

[1]Doutorando em Engenharia Civil - UFPE, Pernambuco, Brasil, claytonjgsilva@gmail.com
[2]Prof. Dr. da UPE, Pernambuco, Brasil, eliana@poli.br
[3]Prof. Dr. Convidado da UPE, Pernambuco, Brasil, afonsovitorio@gmail.com

Resumo As Obras de Artes Especiais (OAE), em especial as pontes e viadutos de concreto armado, são suscetíveis a degradações estruturais. Tais deteriorações são diretamente afetadas por manifestações patológicas e ausência de manutenções preventivas periódicas, condições agravadas pela inexistência de estratégias públicas voltadas para a conservação nas esferas Federal, Estaduais e Municipais. Neste contexto, esta pesquisa analisou as manifestações patológicas e as deficiências estruturais de pontes e viadutos das rodovias federais de Pernambuco. Como principal elemento norteador das inspeções, utilizou-se o banco de dados do DNIT (SGO), além dos critérios da norma DNIT 010/2004 – PRO. Os resultados obtidos permitiram apresentar a situação atual das pontes analisadas, particularmente do ponto de vista da conservação (anomalias e danos estruturais), o que significa uma espécie de radiografia da amostra estudada. Isso proporcionará uma melhor qualidade das informações, visando subsidiar tomada de decisão, por parte dos órgãos públicos responsáveis, voltadas para o planejamento de manutenções, garantindo assim maior durabilidade e vida útil, tanto para as obras que foram objeto deste estudo, quanto para as demais pontes e viadutos do sistema viário brasileiro.

Palavras-chave: Manifestações Patológicas. Danos estruturais. Inspeção. Pontes. Viadutos.

Abstract: The special engineering structures (SES), especially reinforced concrete bridges and viaducts, are susceptible to structural degradation. These deteriorations are directly affected by pathological manifestations and absence of periodic preventive maintenance, conditions aggravated by the lack of public strategies aimed at conservation in Federal, State and Municipal spheres. In this context, this research analyzed the pathological manifestations and the structural deficiencies of bridges and viaducts of the federal highways of Pernambuco. The DNIT (SGO) database was used as the guiding element for the inspections, in addition to the criteria of DNIT 010/2004 - PRO. The obtained results allowed to present the current situation of the analyzed bridges, particularly from the point of view of conservation (anomalies and structural damages), which means a kind of radiography of the sample studied. This will provide a better quality of information, aiming to subsidize decision making, by the responsible public agencies, planning maintenance, thus ensuring greater durability and useful life, both for the special engineering structures that were the subject of this study and for the other bridges and viaducts of the Brazilian Road System.

Keywords: Pathological manifestations. Structural damage. Inspection. Bridges and viaducts.

1 Introdução

Segundo relatos de Meyer (2011), as primeiras pontes se caracterizaram por serem primitivas, tendo sido identificados tombamentos de troncos de árvores para a transposição de riachos. Ainda segundo o autor, para facilitar a travessia desses obstáculos naturais utilizaram-se cipós, onde sua disposição serviu de base para a estruturação das pontes pênseis. Sucessivamente a essa época, foram utilizadas pontes em pedras em arco, bem como a construção de pontes de grandes vãos, que exigiram novas técnicas de construção que resultaram nas tipologias estruturais denominadas pênsil e estaiada. Atualmente, destacam-se como tipologias construtivas mais utilizadas as pontes em concreto armado e protendido.

Existem aproximadamente 600 pontes na malha federal de Pernambuco (conforme o cadastro do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT). A maioria dessas estruturas se encontra com alto nível de deterioração, oriundo não só de diversas manifestações patológicas, características desses tipos de obras, mas, também, do excesso de cargas transmitidas pelos veículos que trafegam nas rodovias, assim como por possíveis falhas de projeto, de execução e de fiscalização. Outro fator que muito contribui para a ampliação desses sintomas se refere à agressividade ambiental das regiões onde estão localizadas.

Diante do exposto, a pesquisa analisou a degradação estrutural de pontes e viadutos rodoviários de Pernambuco, sob o enfoque das condições de estabilidade e de conservação dessas Obras de Arte Especiais.

2 Conceitos e critérios pertinentes ao Estudo

2.1 Patologia, danos e manifestações patológicas

Da interação entre os componentes do concreto armado (areia, brita, água e cimento) podem surgir, no decorrer do período de vida útil, deficiências também denominadas de anomalias, danos ou manifestações patológicas, as quais podem afetar o comportamento da estrutura e gerar, inclusive, implicações estéticas não requeridas pelos usuários. É nesse contexto que se estuda o termo patologia, em virtude da similaridade entre a terminologia usada na medicina e na engenharia civil. Helene (1992) afirma que “Patologia pode ser entendida como a parte da Engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis”.

As manifestações patológicas mais presentes nas estruturas de concreto são: fissuras, eflorescências, desplacamento do concreto do cobrimento e corrosão de armaduras. Nas pontes e viadutos de concreto também acontece o surgimento desses sintomas os quais serão exemplificados mais adiante.

2.2 Origem dos problemas patológicos

Em linhas gerais, os problemas patológicos podem ser decorrentes de erros de projeto, execução, seleção de materiais e uso da estrutura. Há ainda autores que classificam as anomalias em relação ao seu surgimento como Monteiro (2014): congênita (oriundos da etapa de projeto), construtiva (decorrentes da etapa de construção), adquirida (agressividade do meio) e acidental (acontecimentos não típicos, tais como, cargas excessivas, inundações, erosões e movimentos sísmicos).

2.3 Tipos de manifestações patológicas

Há diversos tipos de manifestações patológicas. São apresentadas a seguir as de maior incidência no conjunto estudado.

- Fissuração

A fissuração é bastante observada nas estruturas de concreto, tendo uma recorrente presença.

O normativo do DNIT (2010) menciona que:

> As trincas e fissuras podem ser de diferentes tipos e sua importância depende do tipo estrutural da obra, da sua localização, de sua origem, de sua abertura e de serem ativas, quando comprimento e abertura aumentam com o tempo e/ou a passagem das cargas móveis, ou inativas, quando estes fatores não causam modificações nas trincas e fissuras.

Ainda sobre o exposto, pode-se classificar as fissuras em 02 tipos: ativas ou em movimentação e passivas ou estáveis. Vitório (2013) afirma que "as fissuras passivas ao alcançarem a sua intensidade máxima se estabilizam, visto que há a supressão da causa que a promoveu. Já as ativas se originam por meio de ações de variável grandeza que causam alterações no concreto".

Quadro 1 - Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental

TIPO DE CONCRETO ESTRUTURAL	CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL (CAA) E TIPO DE PROTENSÃO	EXIGÊNCIAS RELATIVAS À FISSURAÇÃO	COMBINAÇÃO DE AÇÕES EM SERVIÇO A UTILIZAR
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	-------
Concreto armado	CAA I	ELS-W wk ≤ 0,4 mm	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS-W wk ≤ 0,3 mm	
	CAA IV	ELS-W wk ≤ 0,2 mm	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e II	ELS-W wk ≤ 0,2 mm	Combinação frequente
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação frequente
		ELS-D [a]	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS-D [a]	Combinação frequente

[a] A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com ap = 50 mm.
NOTAS
1 As definições de ELS-W, ELS-F e ELS-D encontram-se em 3.2.
2 Para as classes de agressividade ambiental CAA-III e IV, exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham proteção especial na região de suas ancoragens.
3 No projeto de lajes lisas e cogumelo protendidas, basta ser atendido o ELS-F para a combinação frequente das ações, em todas as classes de agressividade ambiental.

É importante ressaltar que a abertura de fissura deverá ser controlada, respeitando-se o preconizado na NBR 6118 (ABNT, 2014), conforme Quadro 1 acima.

Sobre a monitoração das fissuras, Filho e Helene (2011) recomendam a sua realização por meio da fixação na região de: selo de gesso, placa de vidro ou instalação de pinos. Pode-se ainda utilizar um fissurômetro, espécie de régua milimetrada, para obtenção da abertura.

Segundo Silva (2016) e DNIT (2010), as fissurações podem ser decorrentes de: assentamento plástico do concreto, retração plástica, retração térmica inicial, estado endurecido do concreto e

corrosão de armaduras. As Figuras 1 e 2 apresentam fissuração no estado endurecido e devida à corrosão de armaduras, respectivamente.

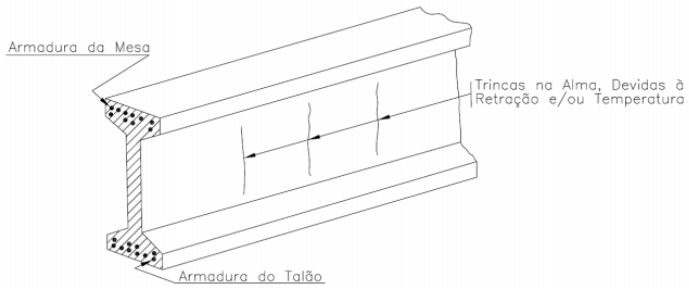

Figura 1 – Fissuras no estado endurecido

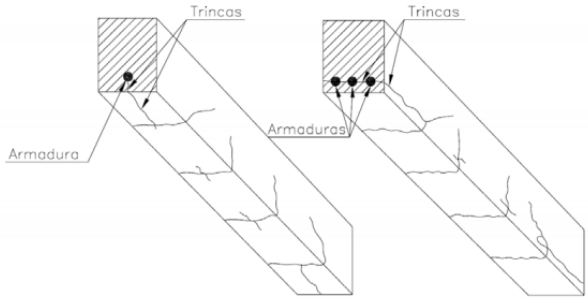

Figura 2 – Fissuras decorrente de corrosão de armaduras

- Eflorescências

De acordo com Bertolini (2010), as eflorescências são perceptíveis através da formação salina, compostas por uma cor branca na superfície da estrutura do concreto. Silva (2016) descreve o processo da formação da eflorescência: a) infiltração da água; b) hidrólise da cal livre hidratada; c) remoção do hidróxido de cálcio até a superfície do concreto. O processo de transporte (carreamento) de material é também conhecido por lixiviação. De maneira geral, pode-se dizer que o processo da eflorescência se caracteriza pelo acúmulo de solução saturada de hidróxido de cálcio do concreto, o qual produz manchas brancas causadas pelo ingresso de água sob pressão, através dos poros do concreto ou fissuras. A Figura 3 exibe a forte presença de eflorescência em longarina e transversina de uma ponte.

Figura 3 – Eflorescências presentes em longarina e transversina de uma ponte

- Carbonatação

Silva (2016) define carbonatação como "a alteração dos compostos do cimento hidratado em carbonatos oriundo do ingresso de CO_2 no concreto através da porosidade e fissuras no concreto." Segundo Cascudo e Carasek (2011), a carbonatação se destaca por transformar íons alcalinos, tais como, cátions de sódio, potássio e cálcio em sais de carbonatos, através da ação ácida do dióxido de carbono existente no ar.

O carbonato de cálcio ocasiona a diminuição do pH do concreto, provocando a despassivação da armadura e o princípio da corrosão, originando assim tensões internas e, consecutivamente, o aparecimento de fissuras. Do processo de corrosão de armadura, advém o desplacamento do cobrimento do concreto.

A Figura 4 exibe a ação da carbonatação, conforme Tasca (2012).

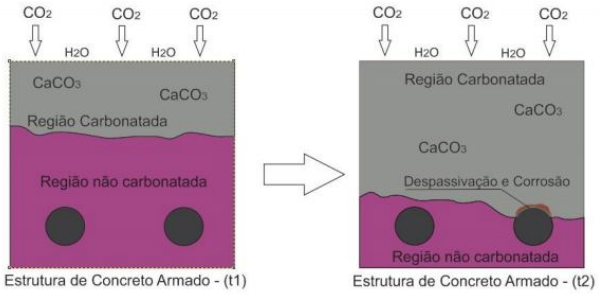

Figura 4 – Processo de carbonatação

- Íons cloretos

Assim como a carbonatação, o ingresso dos íons cloretos também deteriora as estruturas de concreto. Podem ser oriundos de névoas salinas, com possibilidade de infiltração nos diversos elementos estruturais, ocasionando assim a corrosão das armaduras. O acesso dos cloretos à estrutura ainda pode ser agravado, caso se encontre próxima a mares e a oceanos ou até mesmo tenha-se utilizado aceleradores de pega no momento da construção da Obra de Arte Especial. A Figura 5 expõe as fases de despassivação da armadura, através do ataque dos íons cloretos, conforme Andrade (2013).

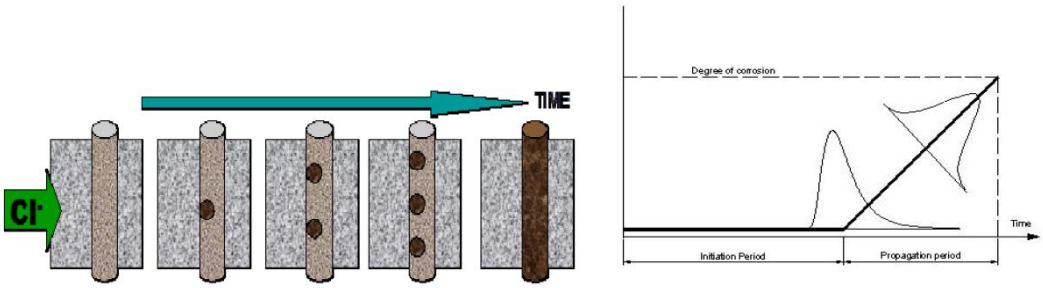

Figura 5 – Fases da despassivação da armadura

- Corrosão de armaduras

A mais incidente nas estruturas de concreto, assim como a fissuração. Pode ser decorrente de ação química ou eletroquímica. Segundo Bertolini (2010), existem 5 tipos de formas de corrosão conforme o Quadro 2 abaixo:

Quadro 2 – Tipos de corrosão

Tipo de Corrosão	Características
Uniforme (ou quase uniforme)	Toda a superfície do metal se corrói à mesma velocidade (ou com velocidade parecida).
Localizada	Certas áreas da superfície do metal se corroem à velocidade mais elevada do que outras por causa da "heterogeneidade" do metal, do ambiente, ou da geometria da estrutura como um todo. O ataque pode variar de pouco localizado até a formação de pites (cavidades).
Pites	Ataque fortemente localizado em áreas específicas, que leva à formação de pequenos pites (cavidades) que penetram no metal e podem levar à perfuração da parede metálica.
Dissolução seletiva	Um dos componentes de uma liga (em geral, o mais reativo) é consumido seletivamente.
Ação conjunta da corrosão e de um fator mecânico	Ataque localizado ou fratura devida à ação sinérgica de um fator mecânico e da corrosão. Pode manifestar-se, por exemplo, na forma de corrosão-erosão, corrosão sob tensão, corrosão-fadiga.

No que diz respeito à corrosão de armaduras no concreto, Mascia e Sartoti (2011) discorrem por caracterizar o processo como uma deterioração onde as reações químicas são produzidas de forma química e não eletroquímica. Pode-se ainda ocorrer em três formas: lixiviação, a reação de íons e expansão. Para acontecer a corrosão de armaduras no concreto deverá existir eletrólito (água), Diferença de potencial (DDP) e oxigênio. Outro fator que poderá acelerar a corrosão está relacionado com presença de alguns agentes agressivos no interior do concreto, tais como, cloretos, CO_2, os íons sulfeto, H_2S, dentre outros. A Figura 6 exibe a elevada corrosão de armaduras na base do pilar de um viaduto.

Figura 6 – Elevada corrosão de armaduras na base do pilar de um viaduto

- Vazios de concretagem

Silva (2016) define como ninhos de concretagem ou comumente chamados de bicheiras. Em linhas gerais, são espaços vazios causados por ausência ou excessiva vibração no concreto no momento da construção, ocasionados pela segregação do agregado graúdo e miúdo existentes

na mistura. A Figura 7 mostra um exemplo típico de ninho de concretagem, gerando corrosão de armaduras em uma ponte.

Figura 7 – Ninho de concretagem gerando corrosão de armaduras em longarina de ponte

2.4 Vida útil, durabilidade e desempenho

Os critérios de vida útil, durabilidade e desempenho são bastante utilizados na engenharia civil por estarem estritamente ligados à patologia das estruturas. Dessa forma, as estruturas que forem concebidas tomando-se como base os critérios elencados acima, certamente possuirão vida útil longínqua, necessitando apenas de manutenções preventivas periódicas.

Silva (2016) menciona que “a vida útil pode ser conceituada pelo período em que as propriedades de um elemento permanecem acima dos limites mínimos especificados”. De maneira semelhante, a NBR 6118 (ABNT, 2014) conceitua vida útil de projeto como:

> O período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais.

Ainda sobre o aspecto de vida útil, pode-se citar Ribeiro et al. (2014) o qual a divide em: vida útil de projeto, vida útil de serviço ou de utilização, vida útil última ou total e vida útil residual.

Em relação à durabilidade, a NBR 6118 (ABNT, 2014) define como sendo “a capacidade da estrutura de resistir às influências previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante, no início dos trabalhos da elaboração do projeto”. Complementando o conceito Ribeiro et al. (2014) vai um pouco mais além. O autor descreve a durabilidade como uma problemática contemporânea e se refere sobretudo à deficiência e conhecimento de subsídios referentes aos materiais e aos componentes das estruturas de concreto.

No que tange ao conceito de desempenho, Medeiros, Andrade e Helene (2011) descrevem que “existem níveis de desempenho mínimo aceitáveis e a estrutura vai perdendo sua capacidade inicial ao longo do tempo de utilização”. A Figura 8 apresenta a variação, ao longo de tempo, do desempenho de estruturas em concreto armado.

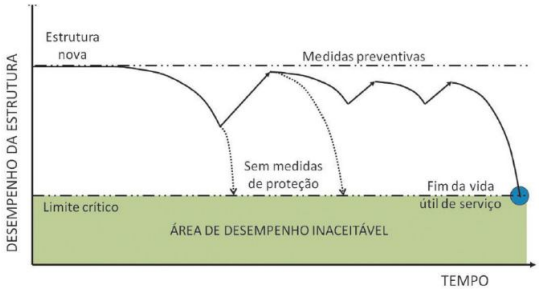

Figura 8 – Desempenho da estrutura ao longo do tempo

3 Estudo de caso

3.1 Metodologia

O Estudo de Caso abordou a análise da degradação estrutural de uma amostra de 332 pontes e viadutos, localizados nas rodovias federais BR-101/PE, BR-104/PE, BR-110/PE, BR-116/PE, BR-232/PE, BR-316/PE, BR-407/PE, BR-408/PE, BR-423/PE e BR-428/PE.

Foram utilizadas as informações contidas no banco de dados do Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais (SGO) do DNIT, bem como inspeções realizadas em algumas das estruturas do conjunto analisado. Ainda sobre o exposto, como orientação usou-se a metodologia preconizada na Norma DNIT 010/2004 – PRO, que define critérios de conceituação para verificação da condição de estabilidade, por meio de classificação de nota que pode variar de 1(obra crítica) a 5 (obra sem problemas).

Sendo assim, as manifestações patológicas e os danos estruturais mais presentes na amostra estudada puderam ser identificados.

3.2 Pontes analisadas no estudo

O Quadro 3 exibe as rodovias federais jurisdicionadas no Estado de Pernambuco com as respectivas quantidades de OAE's que totalizam 546, e as Obras de Arte Especiais analisadas nesta pesquisa, que correspondem a 332 pontes e viadutos. Essa amostra foi estabelecida por corresponder a aproximadamente 60% do conjunto das pontes existentes.

Quadro 3 - Rodovias, quantidade total e quantidade de OAE's analisadas

Rodovia	Quantidade total de OAE's	OAE's analisadas
BR-101	117	115
BR-104	57	35
BR-110	33	24
BR-116	7	7
BR-232	80	64
BR-316	83	5
BR-407	31	30

BR-408	54	17
BR-423	30	30
BR-428	54	5
Total	**546**	**332**

3.3 Manifestações patológicas e danos estruturais identificados nas pontes estudadas

As Figuras 9 a 16 apresentam as principais manifestações patológicas e danos às estruturas da amostra.

Figura 9 – Ninhos de concretagem, eflorescências e corrosão de armaduras na face inferior da laje do tabuleiro

Figura 10– Corrosão de armaduras na face inferior da laje do tabuleiro

Figura 11 – Eflorescências em longarina e transversina de ponte e manchas marrom-avermelhadas do processo de corrosão de armaduras

Figura 12 – Trinca em encontro de ponte

Figura 13 – Dano estrutural em sapata isolada de ponte, com exposição de armadura principal

Figura 14 – Junta de dilatação danificada

Figura 15 – Corrosão de armadura principal, ocasionado redução de seção na base do pilar

Figura 16 – Ausência de dreno provocando umidade em longarina

No intuito de detalhar melhor o estudo, são apresentadas a seguir as incidências das manifestações patológicas observadas nas pontes que fizeram parte da amostra, conforme a Figura 17.

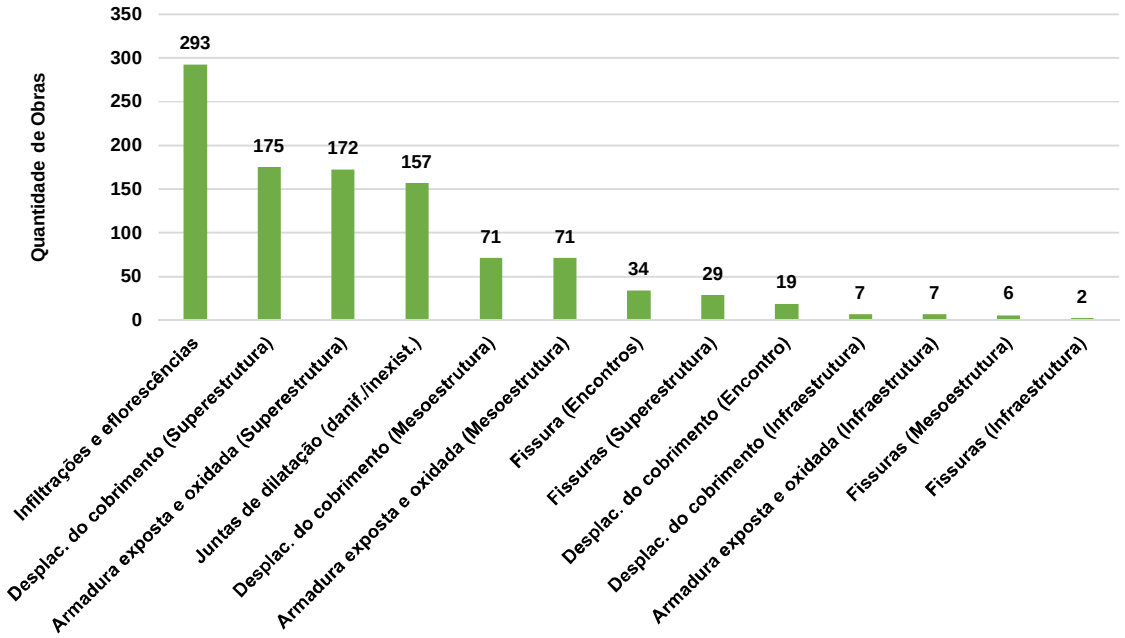

Figura 17 - Incidência das manifestações patológicas no conjunto das 332 pontes e viadutos analisados

A Figura 17 exibe um resumo da máxima incidência no conjunto analisado, destacando-se como predominância as infiltrações e eflorescências, presentes em 293 das OAE's, seguidas pelas seguintes anomalias: desplacamento do cobrimento do concreto (superestrutura) em 175 Obras, armaduras expostas e oxidadas (superestrutura), em 172 pontes e juntas de dilatação danificadas/inexistentes em 157 OAE's.

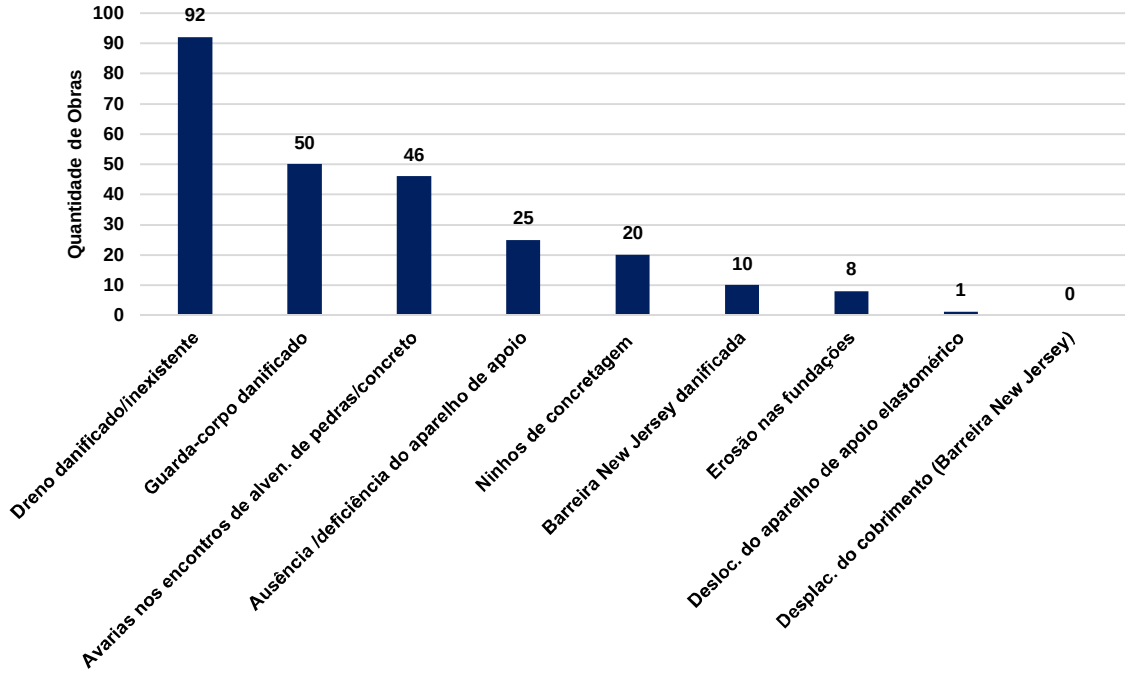

Figura 18 - Principais danos estruturais no conjunto das pontes e viadutos rodoviários estudados

De maneira similar, a Figura 18 acima mostra a síntese das principais avarias existentes nas pontes da amostra estudada. Constatou-se que 92 das 332 OAE's apresentaram dreno danificado/inexistente. Em seguida, destacaram-se guarda-corpos danificados (50 OAE's), avarias nos encontros de alvenaria de pedras/concreto (46 OAE's), ausência/deficiência do aparelho de apoio (25 OAE's) e ninhos de concretagem (20 OAE's). As demais degradações apresentaram-se de modo menos expressivo.

3.4 Condição de estabilidade das pontes e viadutos analisados

Para realizar a classificação das estruturas analisadas, foi utilizada a Norma DNIT 010/2004-PRO. Este normativo descreve a metodologia para fins de inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido nas rodovias federais brasileiras. A referida norma orienta quanto ao estabelecimento de nota técnica aos principais elementos estruturais da superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura, que poderá variar de 1 a 5, no momento da realização das inspeções. Essa classificação tem a finalidade de apresentar a real situação das avarias existentes em cada elemento, indicando preliminarmente as condições de estabilidade e segurança das pontes e dos viadutos.

A Figura 19 demonstra as condições de estabilidade estrutural no conjunto considerado. 156 OAE's qualificaram-se como obras potencialmente problemáticas (Nota 3), totalizando 46,99%. 174 foram obras classificadas com notas entre 1 e 3, o que equivale a 52,41% da amostra avaliada. Esta informação é bem importante para efeito de análise por parte do DNIT, com vistas à programação das ações de recuperação e/ou reforço estrutural.

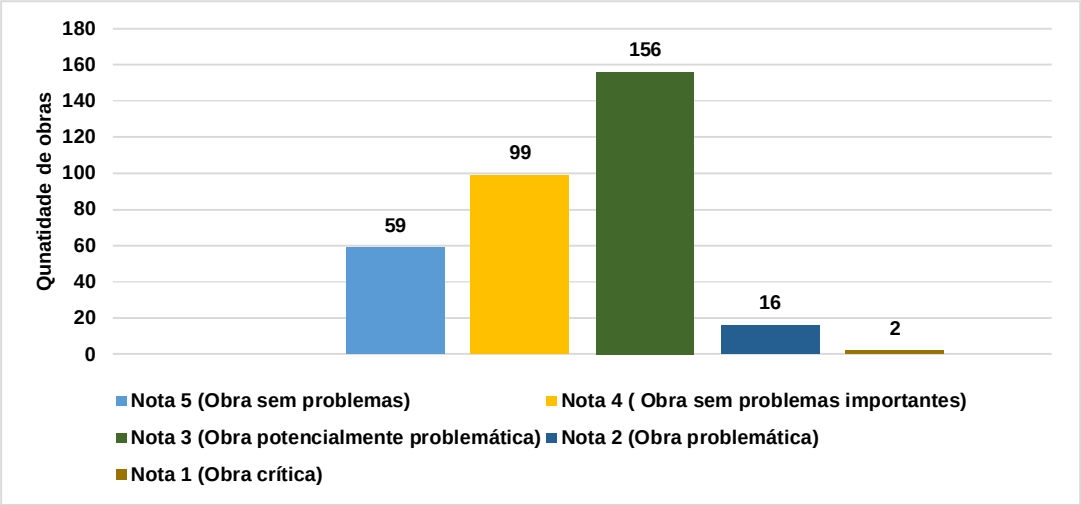

Figura 19 - Condições de estabilidade conforme a norma – DNIT 010/2004-PRO

4 Conclusões

Sabe-se que as pontes e viadutos das rodovias federais, estaduais e municipais brasileiras se encontram em microclima agressivo. Associado a esse fator determinante para a deterioração estrutural, ainda existe uma grande carência de políticas públicas que contemplem um planejamento de manutenções preventivas periódicas para impedir o precoce surgimento de anomalias e danos estruturais.

No que diz respeito à incidência de manifestações patológicas, verificou-se um elevado número de infiltrações e eflorescências (88%). Este fato pode ter sido originado pela inexistência ou deficiência do sistema de drenagem de águas pluviais, bem como por questões relativas aos projetos (especificação ou execução incorreta da declividade do pavimento). As anomalias concernentes ao desplacamento do cobrimento (superestrutura) e armaduras expostas e oxidadas (superestrutura) podem ser explicadas pelo uso de normas que não tinham os critérios e especificações técnicas dos materiais exigidos pelas normas atuais. No que tange às juntas de dilatação, possuem papel fundamental, pois foram responsáveis por parte das infiltrações e umidade observadas nas infiltrações e eflorescências do tabuleiro.

Os danos estruturais observados nas estruturas analisadas também devem ter as suas origens identificadas, particularmente os relativos aos drenos danificados/inexistentes. Esta deficiência contribuiu para o surgimento das infiltrações e eflorescências supramencionadas. Outro dano estrutural de extrema importância se refere às avarias nos encontros de alvenaria de pedra/concreto. Elas foram observadas em 46 (quarenta e seis) pontes e viadutos deste estudo e devem ser criteriosamente inspecionadas e estudadas, pelo fato de acarretarem graves problemas concernentes a erosões nos aterros das cabeceiras das pontes.

Em relação à condição de estabilidade, verificou-se que quase metade da amostra se qualificou com nota 3, o que deve servir de alerta, pois isso exige um planejamento a curto prazo para fins de inspeções rotineiras e de manutenções preventivas periódicas, visando evitar a evolução dos problemas e, principalmente, que essas estruturas venham futuramente receber a nota 1. Salienta-se que as Obras de Arte Especiais classificadas como problemáticas e críticas estão atualmente contempladas em termos de referência e anteprojetos objetivando as suas reabilitações.

Diante da existência dos problemas patológicos e danos estruturais apresentados no presente estudo e, visando evitar preventivamente a presença de tais anomalias, torna-se importante adotar alguns procedimentos como projetos elaborados com a devida atenção, atentando para o respeito às normas vigentes, assim como uma boa qualidade de execução e fiscalização, sem esquecer de seleção adequada das características dos materiais a serem utilizados nesses tipos de obras. Ressalta-se ainda a importância quanto à prática de técnicas de monitoramento, assim como a implantação de sistemas de gestão de pontes e viadutos, pois tais procedimentos permitem agilizar a tomada de decisão para identificar as intervenções mais adequadas para as ações de conservação.

Mesmo que as informações obtidas da presente pesquisa sejam referentes à malha rodoviária federal de Pernambuco, pode-se afirmar que representam o estado atual das Obras de Arte Especiais das rodovias brasileiras, que têm condições de conservação e de estabilidade similares no que tange à durabilidade e à vida útil da amostra estudada.

5 Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) por disponibilizar o acesso aos dados e às informações das pontes estudadas.

6 Referências

ANDRADE, C. Análisis crítico sobre la modelización de vida útil para corrosión de armaduras en ambientes com cloruros. In: CINPAR 2013 / CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE

PATOLOGÍA Y RECUPERACIÓN DE ESTRUCTURAS, 9, 2013a, João Pessoa. **Anais**... João Pessoa, 2013. 12p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto - procedimento. Rio de janeiro, 2014.

BERTOLINI, L. **Materiais de Construção:** patologia, reabilitação e prevenção. Tradução de Leda Beck. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 414p.

CASCUDO, O.; CARASEK, H. Ação da carbonatação no concreto. 1. ed. In: FILHO, J. M. (Dir.). **Concreto**: ciência e tecnologia. São Paulo: IBRACON. ISAIA, G. C. (Ed.), 2011, v. 1, p. 849 – 885.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Norma DNIT 010/2004 – PRO: inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – procedimento. 1.ed. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **Sistema de gerenciamento de obras de arte especiais - SGO.** Inspeção rotineira e dados cadastrais. Brasília, 2015. 1 CD-ROM.

_____. **Manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários**. 1.ed. Rio de Janeiro, 2010.

FILHO, L. C. P. da S.; HELENE, P. Análise de estruturas de concreto com problemas de resistência e fissuração. 1. ed. In: FILHO, J. M. (Dir.). **Concreto**: ciência e tecnologia. São Paulo: IBRACON. ISAIA, G. C. (Ed.), 2011, v. 2, p. 1129 – 1174.

HELENE, P. R. L. Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. 2 ed. São Paulo: Pini, 1992. 213 p.

MASCIA, N. T.; SARTORTI, A. L. Identificación y análisis de patologías en puentes de carreteras urbanas y rurales. **Revista Ingeniería de Construcción**. [online]. 2011, v. 26, n.1, p. 05-24. ISSN 0718-5073. Disponível em: <http://www.scielo.cl/pdf/ric/v26n1/art01.pdf>. Acesso em 22 maio 2015.

MEDEIROS, M. H. F. de.; ANDRADE, J. J. de O.; HELENE, P. Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto. 1. ed. In: FILHO, J. M. (Dir.). **Concreto:** ciência e tecnologia. São Paulo: IBRACON. ISAIA, G. C. (Ed.), 2011, v. 1, p. 773 – 808.

MEYER, K. F. Passarelas e pontes para dutos. 2. ed. Belo Horizonte: RONA. 2011. 243p.

MONTEIRO, E. C. B. Notas de aula do mestrado. **Manifestações patológicas em estruturas de concreto**. Escola Politécnica de Pernambuco. Universidade de Pernambuco, 2014, 34p.

RIBEIRO, D. V.; SALES, A.; SOUZA, C. A. C.; ALMEIDA, F. C. R.; CUNHA, M. P. T.; LOURENÇO, M. Z.; HELENE, P. Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto. 1.ed. In: RIBEIRO, D. V. (Coord.). **Corrosão em estruturas de concreto armado:** teoria, controle e métodos de análise. São Paulo: ELSEVIER. 2014. p. 37 – 50.

SILVA, C. J. G. **Uma amostra das condições estruturais e funcionais de pontes e viadutos das rodovias federais de Pernambuco.** 141p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Pernambuco, Recife, 2016.

TASCA, M. **Estudo da carbonatação natural de concretos com pozolanas:** monitoramento em longo prazo e análise da microestrutura**.** 2012. 179p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2012.

VITÓRIO, J. A. P. **Um estudo comparativo sobre métodos de alargamento de pontes rodoviárias de concreto armado, com a utilização das normas brasileiras e Eurocódigos**. 2013. 296p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil – Especialização em Estruturas) – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto – FEUP, Porto, 2013.