



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Pedro Roberto dos Santos Neto

O ESTUDO DO USO DO DRONE PARA IDENTIFICAÇÃO DE
PATOLOGIAS EM PONTE

Palmas – TO

2019

Pedro Roberto dos Santos Neto

O ESTUDO DO USO DO DRONE PARA IDENTIFICAÇÃO DE
PATOLOGIAS EM PONTE

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Me. Daniel Iglesias de Carvalho

Palmas – TO

2019

Pedro Roberto dos Santos Neto

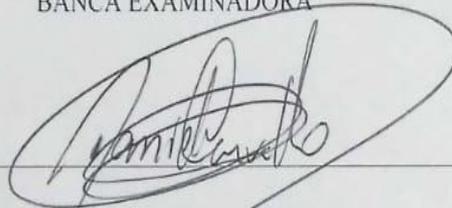
O ESTUDO DO USO DO DRONE PARA IDENTIFICAÇÃO DE
PATOLOGIAS EM PONTE

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II
elaborado e apresentado como requisito parcial
para obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil pelo Centro Universitário
Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

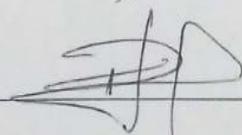
Orientador: Prof. Me. Daniel Iglesias de
Carvalho

Aprovada em 29 / 05 / 2019.

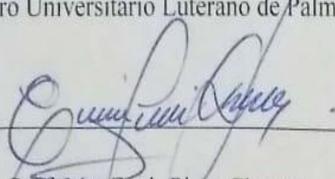
BANCA EXAMINADORA



Prof. Mé. Daniel Iglesias de Carvalho
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. Me. Roldão Pimentel Junior
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. Me. Euzir Pinto Chagas
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas - TO

2019

Dedico este trabalho e essa conquista ao meu pai Reginaldo (in memoriam), pelos grandes exemplos que me ensinou, por me incentivar a ser o homem que sou, pelas aventuras, amizade, companheirismo . Você me deixou a saudade, mas também a fé em acreditar que um dia iremos nos encontrar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida, pelas oportunidades e por estar sempre guiando as minhas escolhas, sem sua graça eu jamais teria conseguido.

Agradeço ao meu pai pelo amor e por me ensinar sobre a vida e por sempre acreditar em mim, desde quando eu era pequeno ele falava que queria ver os dois filhos formados e esse momento esta chegando, seu sonho se tornou nosso sonho e é por você essa graduação.

A minha mãe pela força e dedicação, pela paciência inesgotável e por não medir esforços para que eu pudesse realizar minha formação, por acreditar quando eu não acreditava, por ser minha mãe, amiga, parceira e também por ser meu pai quando necessário, nunca mediu esforços, sempre colocou as minhas dificuldades a frente das suas dificuldades

Agradeço a minha esposa por ser meu suporte, por me ajudar a vencer os obstáculos diários e por me incentivar sempre que parecia que eu não ia conseguir, foi a minha sabedoria em momentos de dificuldade, sempre esteve ao meu lado, compreensiva e que sonha o meu sonho, vive a minha vida, sempre minha parceira em tudo, o amor da minha vida, a maior joia que Deus me deu.

Agradeço ao meu irmão e grande amigo, parceiro da vida e grande incentivador, por ser um exemplo e por estar ao meu lado sempre. Desde pequenos compartilhamos os mesmos gostos, sempre juntos e agora vamos nos formar juntos, um sono realizado. Te amo meu garoto.

Agradeço aos meus parentes que sempre mandaram energias positivas, pessoas íntegras, corretas, conselheiras, exemplo que eu carrego pra me tornar não só um grande profissional mas uma grande pessoa, acreditaram no meu esforço e desde o começo sabiam que eu não desistiria, mina avó Iara, meu avô Idilio, meus tios José Roberto, Humberto e Beto

Aos meus professores que compartilhando conhecimento e experiência possibilitaram a mim, a aptidão para reconhecer na profissão uma oportunidade de

realização profissional. Em especial os professores Daniel Iglesias e Denis Parente pelo auxílio, pela sabedoria, pela confiança.

A minha sogra querida que a tenho com uma mãe, a senhora Núbia Dias. Uma mulher guerreira, linda de um coração enorme e que sempre esteve em oração por essa graduação.

Aos amigos que conquistei durante o curso, Brunno, Bruno, Ludimila, Hernandes, Ozias, Mateus Lins, Paulo, Hiromu e Thais pelas alegrias e dificuldade que passamos juntos nos estudos que varavam a madrugada.

Agradeço a minha cadela Maggie pelas madrugadas que passamos juntos na época de prova sempre do meu lado.

RESUMO

NETO, Pedro Roberto dos Santos. **O estudo do uso do drone para identificação de patologias em ponte.** 2019. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2019.

A presente pesquisa trata-se de um estudo realizado na ponte de Porto Nacional no estado do Tocantins com intuito de determinar procedimentos para o uso de VANT como ferramenta de auxílio na engenharia para inspeção em pontes identificando suas patologias. Essa ferramenta já é utilizada na Europa e nos Estados Unidos mas ainda é novidade no mercado brasileiro e tende a crescer nos próximos anos, e por isso ainda não tem uma norma regulamentadora que sirva como parâmetro para padronizar e auxiliar a utilização dos drones nas inspeções em pontes. Através dos estudos e procedimento adotados na metodologia deste trabalho, pode ser utilizado como referência para realização de inspeções, auxiliando na escolha de um modelo no qual atenda a necessidade do componente da ponte a ser inspecionado. Foram feitos comparativos dos modelos de VANT salientando quanto a praticidade da utilização deste instrumento levando em consideração a montagem e desmontagem, o tempo percorrido, facilidade de manuseio, qualidade das imagens obtidas e estabilidade como principais fatores para que o processo seja realizado com sucesso. Foram utilizados dois modelos de drones com intuito de avaliação quanto aos pontos positivos e negativos, mecanismos empregados e compará-los. Com a captura das imagens foi possível realizar uma avaliação e classificação dos componentes nos quais foram possíveis com os modelos utilizados na ponte com base na NBR 9452 de 2016 “Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto”. Conclui-se que o uso do VANT tem muitos benefícios e dependendo do componente da ponte a ser inspecionado, pode-se determinar o modelo de drone a ser utilizado que melhor possa atender os resultados esperados.

Palavras-chave: VANT, Veículo aéreo não tripulado

ABSTRACT

NETO, Pedro Roberto dos Santos. **The study of the use of the drone for the identification of bridge diseases.** 2019. 54 f. Course Completion Work (Undergraduate) - Civil Engineering Course, Lutheran University Center of Palmas, Palmas / TO, 2019.

The present research is a study carried out at the Porto Nacional bridge in the state of Tocantins in order to determine procedures for the use of UAV as a tool to assist in the inspection of bridges to identify their pathologies. This tool is already used in Europe and the United States but it is still new in the Brazilian market and it tends to grow in the next few years, so it does not yet have a regulatory standard that will serve as a parameter to standardize and assist the drones in inspections in bridges. Through the studies and procedure adopted in the methodology of this work, it can be used as reference for conducting inspections, helping in the choice of a model in which it meets the need of the component of the bridge to be inspected. Comparisons of the UAV models were made, emphasizing the practicality of the use of this instrument taking into account the assembly and disassembly, the time covered, the ease of handling, the quality of the images obtained and stability as the main factors for success. Two models of drones were used in order to evaluate the positives and negatives, mechanisms employed and to compare them. With the capture of the images it was possible to perform an evaluation and classification of the components in which were possible with the models used in the bridge based on the NBR 9452 of 2016 "Inspection of bridges, viaducts and concrete walkways". It is concluded that the use of the UAV has many benefits and depending on the component of the bridge being inspected, one can determine the drone model to be used that can best meet the expected results.

Keywords: UAV, Unmanned aerial vehicle

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Elementos componentes de uma ponte	17
Figura 2 - Ponte em laje	18
Figura 3 - Ponte em Arco: Maior ponte de alvenaria do mundo	19
Figura 4 - Ponte Pênsil.....	19
Figura 5 - Ponte Treliçada	20
Figura 6 – Construção In loco.....	21
Figura 7 - Ligação por Aduelas	21
Figura 8 - Relatório das Pontes sob responsabilidade do DNIT.....	25
Figura 9 - A origem de uma patologia está relacionada com a etapa da vida da estrutura	26
Figura 10 - Imagem de fissura em um pilar.....	28
Figura 11 - Falha do Sistema de Drenagem – Ponte Sobre o Rio Tocantins.....	29
Figura 12 - Corrosão em um pilar.....	30
Figura 13 - Corrosão na estrutura causado pela ação da água	31
Figura 14 - Eflorescência na parte inferior dos tabuleiros.....	32
Figura 15 - Inspeção em uma ponte com o uso de drone	34
Figura 16 - Localização da Ponte de Porto Nacional via satélite	35
Figura 17 - Vista lateral da Ponte de Porto Nacional	36
Figura 18 - Vant modelo eBee	37
Figura 19 - Phantom 4 Advanced	38
Figura 20 - Posicionamento da câmera - visão da parte superior do VANT	40
Figura 21 - Preparação para decolagem do VANT eBee.....	41
Figura 22 - Drone Phantom 4 Advanced	42
Figura 23 - Captura de imagem feita pelo drone Phantom Advanced da pilar.....	47
Figura 24 - Captura de imagem feita pelo drone Phantom Advanced da Viga longarina	47
Figura 25 - Captura de imagem feita pelo drone Phantom Advanced da viga longarina a 15 metros de distância.....	48
Figura 26 - Captura de imagem feita pelo drone Ebee do tabuleiro	48
Figura 27 - Captura de imagem feita pelo drone Ebee do tabuleiro a 120 metros de altura em relação ao nível do mar	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e durabilidade.....	24
Tabela 2 - Modelo de ficha de classificação OAE	25
Tabela 3 - Classes de agressividade ambiental.....	27
Tabela 4 - Tempo de procedimento de cada modelo.....	42
Tabela 5 - Comparativo entre os modelos de Drone utilizados para a inspeção da ponte	43
Tabela 6 - Classificação da condição de OAE de acordo a “Tabela 1 - Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade os parâmetros estrutural, funcional e durabilidade” e a Tabela E.1 ‘Caracterização dos elementos estruturais segundo a relevância no sistema estrutural’ da NBR 9452 de 2016	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	13
1.1.1	Objetivo Geral.....	13
1.1.2	Objetivos Específicos	13
1.2	JUSTIFICATIVA	13
2	15	
3	REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1	PONTE	15
3.1.1	Método construtivo	15
3.1.2	Requisitos de acordo com a funcionalidade	16
3.1.3	Componentes da estrutura da ponte	17
3.1.4	Sistema estrutural da ponte	17
3.1.5	Sistema construtivo.....	20
3.1.6	Inspeção em pontes	21
3.2	PRINCIPAIS PATOLOGIAS EM PONTES	25
3.2.1	Fissuras	27
3.2.2	Falha no sistema de drenagem.....	28
3.2.3	Corrosão	29
3.2.4	Patologias na pista de rolamento.....	30
3.2.5	Falha na concretagem.....	30
3.2.6	Abrasão.....	31
3.2.7	Eflorescência	31
3.3	DRONE.....	32
3.3.1	Uso do drone na construção civil.....	33
4	METODOLOGIA	35
4.1	DESCRIÇÃO DA PONTE DE PORTO NACIONAL.....	35
4.2	PLANEJAMENTO DE EXECUÇÃO DA METODOLOGIA	36
4.3	CARACTERIZAÇÃO E PLANO DE VOO DOS DRONES	37
4.3.1	eBee	37
4.3.2	Phantom 4 Advanced.....	38
5	RESULTADOS	40
5.1	PROCEDIMENTOS	40
5.2	COMPARATIVO DE PROCEDIMENTOS	42
5.3	CLASSIFICAÇÃO DA PONTE DE PORTO NACIONAL SEGUNDO A NBR 9452 DE 2016.....	44
6	CONCLUSÃO	46
	APÊNDICE – IMAGENS CAPTURADAS.....	47
	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

O uso do drone como ferramenta de auxílio na engenharia está numa crescente, a necessidade de vistoria em pontes faz necessário o avanço de procedimentos e técnicas para que haja agilidade no processo. Para Hegard (2017), A rapidez da execução da atividade com o uso drone é incomparável com qualquer outro método tradicional. Para efeito de comparação, com o uso de drone, em 30 minutos é possível inspecionar toda a extensão de uma ponte com 180 metros além de capturar as imagens necessárias para o modelamento.

O Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) acrescenta na logística e segurança da inspeção, uma vez que não é necessário fazer interferência no tráfego da ponte e nem uso de rapel, diminuindo assim o risco de acidente de trabalho. Tradicionalmente, uma equipe de engenheiros usa cordas, binóculos, câmeras de longo alcance, ou uma plataforma móvel anexada a um veículo para realizar inspeções. Dependendo da localização e do tamanho da ponte, isso pode significar fechar o tráfego de veículos e pessoas enquanto as inspeções são realizadas. Os drones garantem que uma equipe possa permanecer no chão enquanto uma aeronave equipada com sensores específicos (autônomo ou tecnicamente controlado) captura imagens de toda a infraestrutura. (GALVÃO, 2017)

Geralmente os pilares e lajes da ponte são de difíceis acessos e esse é um dos pontos positivos do drone, já que ele pode vencer grandes distâncias e consegue chegar a locais onde o acesso é muito difícil. Segundo Sarkis (2016), o uso de drones é especialmente projetados para tomar fotos de alta resolução das partes mais difíceis de serem acessadas, em geral a face inferior das pontes, oferece inúmeras vantagens de ordem prática, sendo igualmente vantajosos para agilização dos trabalhos de campo mesmo nas áreas que podem ser acessadas a pé ou de barco. Assim, o processo para que se possa identificar as patologias existentes nas pontes se torna mais ágil.

A norma a ser utilizada como referência para inspeção será a NBR 9452:2016 já que ainda não existe uma norma específica para os procedimentos a serem adotados com esse equipamento. Portanto é necessário ter um conhecimento de uso do instrumento, do local e da ponte que vai ser vistoriada pra que seja feito um planejamento correto montando um cronograma e padronizando a forma em que será coletado o material para que se obtenha um estudo eficaz.

As etapas para a inspeção de pontes geralmente são definidas em planejamento da inspeção, plano de execução, captura de imagens e elaboração de laudos.

As manifestações patológicas afetam a estrutura e conseqüentemente a vida útil da ponte. Segundo Vitório (2006), ao realizar manutenções adequadas e periódicas que fazem parte de um processo de gestão mais amplo, admite a garantia de maior vida útil e de satisfatórios desempenhos estrutural e funcional, identificando, através de vistorias periódicas, as avarias existentes, diagnosticando-as e indicando as ações de recuperação.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Determinar procedimentos com a utilização dos Drones para mapeamento de patologias na inspeção visual da Ponte de Porto Nacional.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar os procedimentos para inspeção com o uso do Drone na Ponte de Porto Nacional
- Classificar as patologias através de captura de imagens de acordo com a NR 9452
- Comparar o desempenho entre os drones Ebee e Phantom 4 Advanced

1.2 JUSTIFICATIVA

As pontes são estruturas nas quais estão sujeitas aos esforços de cargas e arremetida as degradações do meio externo que possa atacar a estrutura, formando assim as patologias. Por isso devem ser feitas inspeções nas OAEs (Obra de Arte Especial-Ponte) para detalhamento do estado em que se encontra para que providências de prevenção ou recuperação possam ser realizadas se assim for necessário. Com a necessidade de realizar perícias nas pontes para que possa ter o controle da vida útil da ponte, torna-se necessário o avanço de técnicas e metodologia para que se tenha uma maior agilidade e precisão na prática do serviço.

Este trabalho tem como objetivo estudar a utilização do drone como ferramenta para auxílio do engenheiro na inspeção de pontes. Identificar suas vantagens e desvantagens quanto aos procedimentos tais como: a agilidade do processo de inspeção com o mínimo de interferência possível no tráfego e sem necessidade de obstrução de interdições no local,

favorecendo assim aqueles que utilizam a ponte para ir e vir, diminuindo as chances de acidentes, engarrafamentos e contribuindo na qualidade de vida. A facilidade de seu manuseamento, precisão nas investigações, diminuição em acidentes de trabalho e logística para inspeção, tendo um efeito direto na parte econômica tanto para empresas privadas quanto para empresa pública.

A proposta deste estudo é determinar procedimentos nos quais devem ser adotados, uma vez que não existe uma norma regulamentadora para que possa orientar o uso do drone em inspeção de pontes. Este trabalho servirá de parâmetro para que qualquer pessoa que desejar realizar uma inspeção em ponte com a utilização do VANT possa consultar a metodologia aplicada e desenvolver seu trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PONTE

De acordo com a ABNT NBR 9452 de 2016, estrutura destinada à transposição de obstáculo à continuidade do leito normal de uma via, e cujo obstáculo deve ser constituído por canal aquífero, como rio, mar, lago, córrego e outros. A ponte tem uma importância muito grande para a sociedade pela capacidade de poder unir lugares, trazendo prosperidade.

Para Vitório (2015), as pontes e viadutos das rodovias federais, estaduais e municipais do Brasil, conhecidas como Obras de Arte Especiais, compõem um acervo público de valor inestimável, pela importância que representam para o desenvolvimento econômico e social da Nação.

Quanto a finalidade em relação a natureza do tráfego, as principais pontes podem ser Rodoviária, Ferroviária, Aquaviária, Passarelas para pedestres e Rodoferroviária.

2.1.1 Método construtivo

Seu método construtivo pode ser de alvenaria ou pedra, madeira, concreto armado ou protendido, metálica e misto quando envolve mais de um método na mesma ponte. A pedra é um material ainda muito utilizado pela sua capacidade de resistência e contribuição na estética. A madeira é aplicada em pequenas travessias e com pequeno volume de tráfego e cargas. A ponte metálica é empregada muito por conta da sua resistência e menor peso em relação ao concreto aliviando esforços sobre a fundação. Concreto armado e protendido ambas tem armadura na parte interna do concreto o que aumenta muito a resistência ao esforços de compressão e cisalhamento, permitindo que a ponte possa ter grandes vãos entre os pilares (VITORIO, 2002).

De acordo com a ABNT NBR 6118 de 2003, Concreto estrutural: Termo que se refere ao espectro completo das aplicações do concreto como material estrutural. elementos de concreto simples estrutural. Elementos estruturais elaborados com concreto que não possui qualquer tipo de armadura, ou que a possui em quantidade inferior ao mínimo exigido para o concreto armado. elementos de concreto armado: Aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência. elementos de concreto protendido: Aqueles nos quais parte das armaduras é previamente alongada por equipamentos

especiais de protensão com a finalidade de, em condições de serviço, impedir ou limitar a fissuração e os deslocamentos da estrutura e propiciar o melhor aproveitamento de aços de alta resistência no estado limite último (ELU). armadura passiva: Qualquer armadura que não seja usada para produzir forças de protensão, isto é, que não seja previamente alongada. armadura ativa (de protensão): Constituída por barra, fios isolados ou cordoalhas, destinada à produção de forças de protensão, isto é, na qual se aplica um pré-alongamento inicial. concreto com armadura ativa pré-tracionada (protensão com aderência inicial): Concreto protendido em que o pré-alongamento da armadura ativa é feito utilizando-se apoios independentes do elemento estrutural, antes do lançamento do concreto, sendo a ligação da armadura de protensão com os referidos apoios desfeita após o endurecimento do concreto; a ancoragem no concreto realiza-se só por aderência. concreto com armadura ativa pós-tracionada (protensão com aderência posterior): Concreto protendido em que o pré-alongamento da armadura ativa é realizado após o endurecimento do concreto, sendo utilizadas, como apoios, partes do próprio elemento estrutural, criando posteriormente aderência com o concreto de modo permanente, através da injeção das bainhas. concreto com armadura ativa pós-tracionada sem aderência (protensão sem aderência): Concreto protendido em que o pré-alongamento da armadura ativa é realizado após o endurecimento do concreto, sendo utilizados, como apoios, partes do próprio elemento estrutural, mas não sendo criada aderência com o concreto, ficando a armadura ligada ao concreto apenas em pontos localizados. junta de dilatação: Qualquer interrupção do concreto com a finalidade de reduzir tensões internas que possam resultar em impedimentos a qualquer tipo de movimentação da estrutura, principalmente em decorrência de retração ou abaixamento da temperatura.

2.1.2 Requisitos de acordo com a funcionalidade

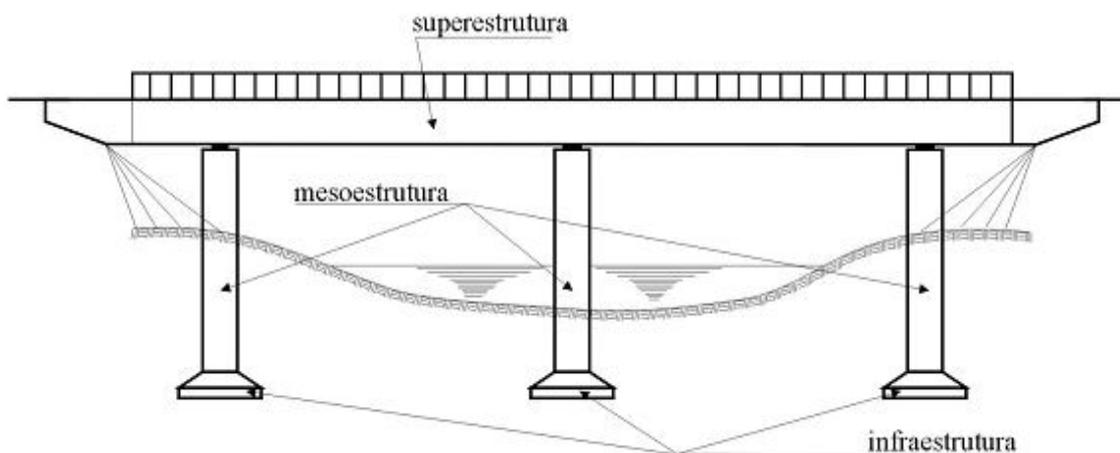
Segundo Marcheti (2008), os requisitos principais de uma ponte é de acordo com a sua Funcionalidade, na qual a ponte deverá satisfazer as exigências do tráfego. Segurança para que possa suportar os esforços sem comprometimento da estrutura. Estética, combinar de forma harmoniosa com o ambiente do local de forma a apresentar um ambiente agradável. Economia, de forma que seja avaliada várias soluções de construção para determinação da mais viável economicamente. Durabilidade que tem a ver com a sua vida útil, ou seja, a ponte deve resistir por um determinado período estabelecido em projeto.

2.1.3 Componentes da estrutura da ponte

Sob o ponto de vista funcional, a divisão de seus componentes pode ser dividido em três: Infraestrutura ou Fundação, Mesoestrutura e Superestrutura.

A infraestrutura ou fundação, é a parte da ponte por meio da qual são transmitidos ao terreno de implantação da obra, rocha ou solo, os esforços recebidos da mesoestrutura. Constituem a infraestrutura os blocos, as sapatas, as estacas, os tubulões etc., assim como as peças de ligação de seus diversos elementos entre si, e destes com a mesoestrutura como, por exemplo, os blocos de cabeça de estacas e vigas de enrijamento desses blocos. A mesoestrutura, constituída pelos pilares, é o elemento que recebe os esforços da superestrutura e os transmite à infraestrutura, em conjunto com os esforços recebidos diretamente de outras forças solicitantes da ponte, tais como pressões do vento e da água em movimento. A superestrutura, composta geralmente de lajes e vigas principais e secundárias, é o elemento de suporte imediato do estrado, que constitui a parte útil da obra, sob ponto de vista de sua finalidade (PFEIL, 1990), conforme a figura 1.

Figura 1- Elementos componentes de uma ponte



Fonte: VITÓRIO (2002).

2.1.4 Sistema estrutural da ponte

Para Felipe Filho (2008), as pontes em laje possuem a seção transversal desprovida de qualquer vigamento, podendo ter um sistema estrutural simplesmente apoiado ou contínuo. Este sistema estrutural apresenta algumas vantagens, como pequena altura de construção, boa

resistência à torção e rapidez de execução, possuindo também boa relação estética. Podem ser moldadas no local ou constituídas de elementos pré-moldados, e os detalhes de fôrmas e das armaduras e a concretagem são bastante simples, conforme a figura 2.

Figura 2 - Ponte em laje



Fonte: Túllyo Cavalcanti (2014)

Segundo Haus (2018), as pontes em vigas é o modelo mais simples de ponte é uma estrutura reta apoiada nas extremidades do rio que se quer transpor. É um modelo utilizado há milênios (tábuas sobre pilares de madeira) Até hoje este tipo de estrutura é o mais utilizado, já que a construção de pontes sobre pilares de concreto é mais barata do que os outros tipos de pontes. (HAUS, 2018)

As pontes em Grelha, as transversinas fazem com que as vigas longitudinais trabalhem em conjunto, regulando a distribuição dos carregamentos entre as vigas (VITORIO, 2002, p. 12-17).

De acordo com Lobato (2018), as pontes em pórticos são conceituadas como a não utilização de aparelho de apoio entre a superestrutura e a infraestrutura, de maneira simples, a viga e o pilar são um único elemento estrutural, que permite a transferência de momentos fletores entre os elementos (superestrutura e mesoestrutura monoliticamente ligadas).

O arco é um tipo estrutural que tem um comportamento estrutural interessante, pois apresenta a possibilidade de ter os esforços de flexão reduzidos em função da sua forma. No

caso de arcos de concreto, essa possibilidade de redução da flexão resultando na predominância da compressão, é adequada ao material (DEBS; TAKEYA, 2007), conforme a figura 3.

Figura 3 - Ponte em Arco: Maior ponte de alvenaria do mundo



Fonte: Jair Prandi

A principal característica das pontes pênséis é sua sustentação por meio de pendurais apoiados em cabos de aço ou barras articuladas, estendidos em curva, apoiados sobre torres e ancoradas nas extremidades em rochas ou blocos maciços de concreto (OLIVEIRA, 2018), conforme figura 4.

Figura 4 - Ponte Pênsil



Fonte: Civilização Engenheira

Treliça é uma estrutura de vigas conectadas entre si, em suas extremidades. As vigas normalmente usadas em construções consistem de escoras de madeira ou barras de metal.

Esse tipo de estrutura é muito resistente, sendo utilizadas em pontes e telhados (PIMENTA; SCUDELLER; MARTINS, 2018), de acordo com a figura 5.

Figura 5 - Ponte Treliçada



Fonte: Universidade de Glasgow

2.1.5 Sistema construtivo

Para Monteiro (2016), os tipos de processos construtivos da ponte podem ser In Loco, quando a superestrutura é produzida no local da ponte e apoiado diretamente nos pilares. Pré-Moldada quando sua produção não é feita no local da ponte e fabricada sob medida. Balanços Sucessivos utiliza o concreto protendido e é muito semelhante ao In Loco mas com características especiais, onde a ponte é executada gradativamente a partir dos pilares já construídos. Aduelas ou Segmentos tem o processo construtivo equivalente ao de Balanços Sucessivos, o que diferencia é que a execução gradativa colocadas em balanço e apoiadas em trecho já construídos são pré-moldados. As Figuras 6 e 7 ilustram o sistema construtivo.

Figura 6 – Construção In loco



Fonte: ULMA Construction (2014)

Figura 7 - Ligação por Aduelas



Fonte: KATERYNA KOMAR.

2.1.6 Inspeção em pontes

A garantia de maior vida útil e de satisfatórios desempenhos estrutural e funcional só será obtida através de uma adequada manutenção, que por sua vez deverá fazer parte de um

processo mais amplo de gestão, que identifique, através de vistorias periódicas, as avarias existentes, diagnosticando-as e indicando as ações de recuperação (VITORIO, 2015).

A inspeção de uma ponte deve ser conduzida de forma sistemática e organizada, de modo a garantir que todo elemento estrutural seja inspecionado; adequadas fichas de inspeção garantem este procedimento. O documento fotográfico ou de imagens digitalizadas deve ser abrangente e completo; um mínimo de seis fotos deve registrar vista superior, vista inferior, vistas laterais e detalhes de apoios, articulações, juntas etc; defeitos eventualmente encontrados em qualquer elemento estrutural devem ser cuidadosamente examinados e registrados para permitir avaliar suas causas. Efetuar a limpeza de determinadas áreas da ponte, para verificar se há trincas, corrosões ou outros defeitos encobertos. Havendo possibilidade, a ponte deve ser observada durante a passagem de cargas pesadas, para verificar se há vibrações ou deformações excessivas (DNIT, 2004, p. 4).

De acordo com a norma ABNT (2016), as inspeções na ponte podem ser classificadas em Cadastral, Rotineira, Especial e Extraordinária. A Inspeção cadastral é a primeira inspeção realizada na obra e deve ser efetuada imediatamente após sua conclusão, instalação ou assim que se integra a um sistema de monitoramento e acompanhamento viário. Deve também ser realizada quando houver alterações na configuração da obra, como alargamento, acréscimo de comprimento, reforço, mudança no sistema estrutural. O registro fotográfico de caracterização da estrutura deve ser constituído pelo menos por uma vista geral, pelas vistas superior, lateral e inferior do tabuleiro, dos elementos da mesoestrutura e da infraestrutura, quando aparentes, e os detalhes julgados necessários. As fotos devem permitir a visualização da situação, aspecto geral e esquema estrutural. A inspeção rotineira tem caráter de acompanhamento periódico, visual, com ou sem a utilização de equipamentos e/ou recursos especiais para análise ou acesso, realizado em prazo não superior a um ano. Na inspeção rotineira deve ser verificada a evolução de anomalias já observadas em inspeções anteriores, bem como novas ocorrências, reparos e/ou recuperações efetuadas no período. A inspeção especial deve ter uma periodicidade de cinco anos, podendo ser postergada para até oito anos. A inspeção especial deve ser pormenorizada e contemplar mapeamento gráfico e quantitativo das anomalias de todos os elementos aparentes e/ou acessíveis da OAE, com o intuito de formular o diagnóstico e prognóstico da estrutura. Pode ser necessária a utilização de equipamentos especiais para acesso a todos os componentes da estrutura, lateralmente e sob a obra e, se for o caso, internamente, no caso de estruturas celulares. A inspeção extraordinária deve ser

apresentada em relatório específico, com descrição da obra e identificação das anomalias, incluindo mapeamento, documentação fotográfica e terapia recomendada. Pode ser necessária a utilização de equipamentos especiais para acesso ao elemento ou parte da estrutura.

Conforme ABNT (2016), os parâmetros de avaliação das OAE e critérios de definição das notas de classificação são: Parâmetros estruturais, funcionais, durabilidade e critérios de definição das notas de classificação. Os parâmetros estruturais são aqueles relacionados à segurança estrutural da OAE, ou seja, referentes à sua estabilidade e capacidade, sob o critério de seus estados limites último e de utilização. Parâmetros funcionais entendem-se aqueles aspectos da OAE relacionados diretamente aos fins a que ela se destina, devendo, para tanto, possuir requisitos geométricos adequados, como: visibilidade, gabaritos verticais e horizontais. Deve proporcionar também conforto e segurança a seus usuários, apresentando, por exemplo, guarda-corpos íntegros, ausência de depressões e/ou buracos na pista de rolamento e sinalização adequada. Parâmetros de durabilidade designam-se por parâmetros de durabilidade aquelas características das OAE diretamente associadas à sua vida útil, ou seja, com o tempo estimado em que a estrutura deve cumprir suas funções em serviço. Deste modo, estes parâmetros vinculam-se à resistência da estrutura contra ataques de agentes ambientais agressivos. Exemplificam-se como anomalias associadas à durabilidade, ausência de cobrimento de armadura, corrosão, fissuração que permite infiltrações, erosões nos taludes de encontros, entre outras. Critérios de definição das notas de classificação da OAE consiste da atribuição de avaliação de sua condição, que pode ser excelente, boa, regular, ruim ou crítica, associando notas aos parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade. Essas notas de avaliação devem variar de 1 a 5, refletindo a maior ou menor gravidade dos problemas detectados.

A classificação deve seguir o estabelecido na Tabela 1, que correlaciona essas notas com a condição da OAE e caracteriza os problemas detectados, segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.

Tabela 1 - Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e durabilidade.

Nota de classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
5	Excelente	A estrutura apresenta-se em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados.	A OAE apresenta segurança e conforto aos usuários.	A OAE apresenta-se em perfeitas condições, devendo ser prevista manutenção de rotina.
4	Boa	A estrutura apresenta danos pequenos e em 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 comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.

Tabela 1 (continuação)

Nota de classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
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. Intervenções podem ser necessárias a médio prazo.	A OAE apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que requerem ações de médio prazo.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de moderada a alta agressividade ambiental ou a OAE apresenta moderadas a muitas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
2	Ruim	Há danos que comprometem a segurança estrutural da OAE, sem risco iminente. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural. A OAE necessita de intervenções significativas a curto prazo.	OAE com funcionalidade visivelmente comprometida, com riscos de segurança ao usuário, requerendo intervenções de curto prazo.	A OAE apresenta anomalias moderadas a abundantes, que comprometam sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental.
1	Crítica	Há danos que geram grave insuficiência estrutural na OAE. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural. A OAE necessita intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramento provisório e associada instrumentação, ou não.	A OAE não apresenta condições funcionais de utilização.	A OAE encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema já de risco estrutural e/ou funcional.

Fonte: ABNT NBR 9452 de 2016

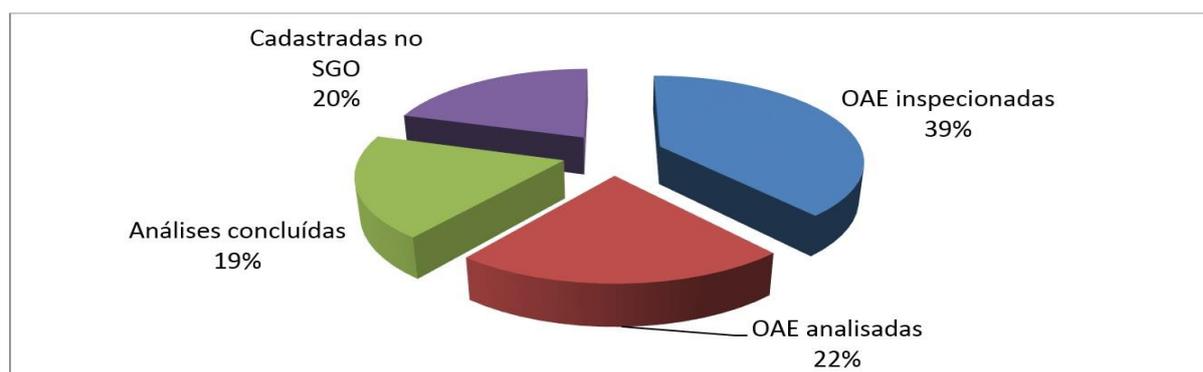
Tabela 2 - Modelo de ficha de classificação OAE

Parâmetro	Elemento						
	Super estrutura	Meso estrutura	Infra estrutura	Elementos complementares		Pista	Nota final
				Estrutura	Encontro		
Estrutural							
Funcional		NA	NA				
Durabilidade							

Fonte: ABNT NBR 9452 de 2016

Do total de 5114 pontes, viadutos, túneis e passarelas sob responsabilidade do DNIT, mais da metade (4020) já foi inspecionada; desse montante, 2298 já passaram por inspeções; 2119 tiveram a avaliação concluída e foram cadastradas no SGO. Estão em análise duas mil (DNIT, 2015), como mostra a figura 8.

Figura 8 - Relatório das Pontes sob responsabilidade do DNIT



Fonte: DNIT (2015)

2.2 PRINCIPAIS PATOLOGIAS EM PONTES

Patologia vem a ser a parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das obras civis. Em alguns casos tão somente com a visualização é possível estabelecer o diagnóstico das patologias. Em outros, porém, o problema é complexo, sendo necessário verificar o projeto; investigar as cargas a que foi submetida a estrutura; analisar detalhadamente a forma como foi executada a obra e, inclusive, como esta patologia reage diante de determinados estímulos (CÁNOVAS, 1988).

Para Ripper (1996), quaisquer enganos, erros ou imperfeições no projeto e na execução das diversas partes da construção, exigirão, como consequência, adaptações não previstas no orçamento como consertos e reformas com custos complementares e até mesmo a

necessidade de reconstrução completa, muito dispendiosos e, em muitos casos, poderão aparecer outros prejuízos bem mais tarde.

Segundo Helene e Terziam (1992), a qualidade do material deve ser definida, utilizando-se os parâmetros técnicos estabelecidos em normas para uma correta mensuração dos dados. Ou seja, a qualidade em engenharia, deve ser objetiva e não subjetiva. Deve-se dar preferência a parâmetros quantitativos em lugar dos qualitativos, desta maneira, a qualidade deve estar exposta em procedimentos de projeto, de qualificação e seleção de materiais, de execução, de operação e de manutenção. Em outras palavras, a qualidade de determinado produto é verificada com a sua adequação às normas referentes.

Figura 9 - A origem de uma patologia está relacionada com a etapa da vida da estrutura



Fonte: AECWEB (2017)

O meio ambiente é um dos principais agentes causadores de danos e patologias nas construções, de tal forma que um ambiente agressivo pode acelerar, ou mesmo, desencadear um processo patológico, introduzindo, pela porosidade e pela rede de capilares, gases e líquidos que contêm agentes químicos agressivos (SARTORTI, 2008).

Tabela 3 - Classes de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
IV	Muito forte	Industrial	Elevado
		Respingos de maré	

Fonte: ABNT NBR 6118 de 2013

2.2.1 Fissuras

De acordo com Thomaz (1989), muitas fissuras são causadas pela sobrecarga entre outros fatores. Tais sobrecargas podem ter sido consideradas no projeto estrutural, neste caso a falha decorre quando da execução da peça ou do uso da mesma.

A manifestação de fissuras é indício de que a estrutura perde sua durabilidade e o nível de segurança, comprometendo sua utilização tanto na redução de sua vida útil quanto no prejuízo ao seu funcionamento e estética, podendo causar a corrosão da armadura, quando estas se encontram em ambiente agressivo (CARMONA FILHO, 2005), de acordo com a figura 10.

Segundo Souza e Ripper (1998), se a carbonatação atingisse apenas a camada superficial, sem ultrapassar o revestimento, este processo seria favorável ao elemento estrutural, pois como já dito, haveria uma diminuição da porosidade e um aumento da resistência mecânica. Porém, com a alcalinidade reduzida para valores próximos a um PH 8,5 e a armadura despassivada, o processo ao alcançar as armaduras de aço leva as mesmas a corrosão, desde que haja a presença de água e oxigênio, comprometendo seriamente a durabilidade.

Figura 10 - Imagem de fissura em um pilar



Fonte: Portal Infonet (2015)

2.2.2 Falha no sistema de drenagem

De acordo com DNIT (2004), a finalidade dos sistemas de drenagem é remover rapidamente as águas pluviais do estrado, evitando acidentes de tráfego e comprometimento do concreto. A presença de água é potencializa outras reações deletérias no concreto. Um ambiente úmido e possíveis infiltrações aumentam expressivamente os riscos de corrosões em armaduras, ataques por sulfatos, perda de massa e lixiviação de sais de hidratação.

As falhas em instalações de drenagem, são fatores que também influenciam na degradação do concreto e das armações. Por esse motivo, elas devem ser evitadas para que, de fato, não se deixe água acumular em pontos críticos como, por exemplo, encontros de apoio de vigas, nos caixões, nos encontros com tabuleiros, na pista de rolamento, nos aparelhos de apoio, entre outros (LANER, 2001), conforme a figura 11.

Figura 11 - Falha do Sistema de Drenagem – Ponte Sobre o Rio Tocantins



Fonte: IXCBPE (2016)

2.2.3 Corrosão

De maneira geral, a corrosão poderá ser entendida como a deterioração de um material, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos (GENTIL, 1987).

Para Rocha (2015), corrosão propriamente dita entende-se como ataque destrutivo de natureza preponderantemente química ou eletroquímica, que ocorre em meio aquoso. Esta corrosão eletroquímica conduz a formação de óxido/hidróxidos de ferro, em alguns casos, a corrosão pode estar associada a reações mecânicas ou físicas. A corrosão acontece quando é formada uma película de eletrólito sobre a superfície dos fios ou barras de aço. Esta película é causada pela presença de umidade no concreto, salvo situações especiais e muito raras, tais como dentro de estufas ou sob a ação de elevadas temperaturas ($>80^{\circ}\text{C}$) e em ambientes de baixa umidade relativa ($\text{U.R.} < 50\%$). Este tipo de corrosão é também responsável pelo ataque que sofrem as armaduras antes de seu emprego, quando ainda armazenadas no canteiro

Os processos de corrosão das armaduras enfraquecem a estrutura e arreatam diversas patologias nas estruturas, tais como: corrosão das armaduras e desagregações de concreto. Dependendo do grau de corrosão, chega a ser inviável a recuperação da estrutura. (SOUZA, 1998), de acordo com a figura 12.

Figura 12 - Corrosão em um pilar



Fonte: VOS (2016)

2.2.4 Patologias na pista de rolamento

As patologias nas pistas de rolamento como ressaltos, depressões, desníveis de juntas, etc, produzem importantes efeitos dinâmicos. Estes efeitos são denominados de impacto e aumentam as solicitações das cargas móveis (PFEIL,1983).

De acordo com GIOVANNETTI (2014), a principal finalidade da pavimentação é suportar as pistas de rolamento e transferir esses esforços para os elementos estruturais da ponte. Além de assegurar que o tráfego ocorra livre e com segurança

2.2.5 Falha na concretagem

Para Bauer (1994), as falhas na concretagem é um fator preocupante para os engenheiros, podendo haver segregação dos materiais do concreto na hora de seu lançamento, o que pode gerar diversas falhas posteriores na estrutura. Por esse motivo, devem existir procedimentos para evitar essas falhas, lançando o concreto logo após o amassamento num intervalo de no máximo 1 hora, e a altura de queda livre do concreto não podendo ultrapassar 2 metros de altura.

2.2.6 Abrasão

Dentre as causas da deterioração do concreto destacamos o desgaste superficial: os elementos de concreto estão susceptíveis a ações de desgaste por agente abrasivo ocasionando perdas de material na superfície. A abrasão é um desgaste em que ocasiona perda de desempenho mecânico, o atrito entre diversos objetos e o concreto (AMORIM, 2010).

A água geralmente está presente na maioria dos casos de deterioração de estruturas de concreto, a facilidade com que penetra nos sólidos porosos determina a taxa de deterioração. Outros efeitos que influenciam a durabilidade do concreto são: o desgaste das superfícies, fissurações, exposição a temperaturas extremas, congelamento ou fogo e efeitos químicos (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Segundo Vitório (2003), fatores como a porosidade do concreto, a existência de trincas e a deficiência no revestimento são responsáveis pela oxidação da armadura, quando esta é atingida por elementos agressivos, de acordo com a figura 13.

Figura 13 - Corrosão na estrutura causado pela ação da água



Fonte: Construções em Mar e Terra Ltda (2017)

2.2.7 Eflorescência

Eflorescência é definida como depósitos cristalinos de cor branca que surgem na superfície do revestimento, como piso, paredes e tetos, resultantes da migração e posterior evaporação de soluções aquosas salinizadas. Basta apenas que a umidade atinja o local para que a eflorescência ocorra, já que nos materiais é de sua natureza conter sais solúveis. Os sais

solúveis que dão origem às eflorescências podem ter várias origens, dentre elas as matérias-primas, os materiais de construção, a água existente no subsolo (SILVA, 2011).

É possível definir quimicamente a eflorescência como sendo constituída principalmente de sais de metais alcalinos (sódio e potássio) e alcalino-ferrosos (cálcio e magnésio, solúveis ou parcialmente solúveis em água). Pela ação da água da chuva ou do solo, estes sais são dissolvidos e migram para superfície e a evaporação da água resulta na formação de depósitos salinos, (GRANATO, 2005).

Para STORTE (2012), eflorescências são depósitos de sais brancos na superfície do concreto ou argamassas, isso é resultado da sua exposição à água de infiltrações ou intempéries. A eflorescência modifica o aspecto visual por sua coloração esbranquiçada, além de poder causar degradação profunda na estrutura, como mostra a figura 14.

Figura 14 - Eflorescência na parte inferior dos tabuleiros



Fonte: IXCBPE (2016)

2.3 DRONE

Conforme Garrett (2013), o drone é uma das tecnologias que mais tem chamado a atenção nos últimos meses. Equipados para resistir a trabalhos pesados e ambientes hostis, esses equipamentos podem ter diversas utilidades. No entanto, se você ainda tem dúvidas sobre o que é um drone e para que eles servem, não se preocupe. A associação mais simples para entender o que são drones, e mesmo para que servem, é lembrar de brinquedos de controle remoto. O conceito é simples: com um controle via rádio, você pode manobrar um drone sem tocar nele. No geral, estes aparelhos são concebidos para realizar tarefas arriscadas ao ser humano ou ferramentas para trabalhos que ninguém quer realizar.

Nosso método permite detecções detalhadas de danos e avaliações estruturais. Fornecemos dados para uma significativa melhora na qualidade e eficiência nos resultados

obtidos. Os dados de inspeção de alta qualidade são essenciais para uma avaliação confiável do estado das estruturas. Com a adoção de GPS e de medição inercial integrados nos sistemas de voo dos drones, é possível coletar dados georreferenciados permitindo a possibilidade de modelagem 3D de estruturas. A rapidez da execução da atividade com o uso de drone é incomparável com qualquer outro método tradicional (HEGARD, 2017).

2.3.1 Uso do drone na construção civil

Facilidade em se locomover, deslocar em sentido vertical e horizontal, alcançar boas alturas e recolher o maior número de imagens e vídeos possível, os VANTs foram incorporados ao processo de Gerenciamento de Projetos da Construção Civil. Além da simples coleta de imagens, alguns destes veículos são dotados de Sistemas de Sensores de Bordo capaz de fazer uma coleta de dados especial que seriam utilizados como amostragem para a realização de ensaios não destrutivos. Uma vez que se faça a coleta de imagens através de um veículo com uma boa câmera e que se tenha a estabilização das imagens para gerar fotos com boa resolução, partimos para o laboratório para compilar os dados, montar as fotos da melhor maneira e analisar o que foi coletado em campo (COUTINHO; FEITAL; COSTA, 2017)..

O uso dos drones gera muitos debates, seja pela legalização deste mecanismo como até mesmo pela questão da privacidade que estaria ameaçada com a utilização dos mesmos. Como vantagens, o maior alcance, a logística facilitada e a economia financeira possibilitada são destaques frente a outros veículos como as aeronaves ou helicópteros. O assunto gera inúmeros debates, até pelos diferentes modos de utilizar os drones, uma vez que surgem cada vez mais novas possibilidades, com potencial para integrarem os métodos de construção civil em um futuro não muito distante (ENGENHARIA, 2017).

Investigadores da Universidade do Pacífico (UP), em Stockton, Califórnia estão desenvolvendo novas tecnologias que exploram as vantagens do uso de veículos aéreos não tripulados (UAV), tipicamente conhecidos como “drones”, na inspeção e monitorização de pontes, estradas e outras infraestruturas. Os engenheiros da UP desenvolveram um sistema que permite, aos veículos aéreos não tripulados, voarem de forma estabilizada ao longo do tabuleiro de uma ponte e carregarem as baterias de sensores de monitorização dos elementos estruturais (ENGENHEIRA, 2016) conforme a figura 15.

Figura 15 - Inspeção em uma ponte com o uso de drone



Fonte: Civilização Engenharia (2016)

Segundo Sarkis e Sarkis (2016), para se obter os resultados desejados das fotos para uma inspeção de OAE os drones devem ser especialmente preparados para o seu uso. Normalmente esses equipamentos são projetados para tomar fotos de cima para baixo, fazendo levantamento de elementos no solo. Além disso, procura-se obter vistas de grandes áreas o que implica em câmeras panorâmicas que distorcem as imagens. O engenheiro precisa interagir com os técnicos dos equipamentos para que sejam feitas as adaptações necessárias. Em alguns casos, é indispensável o uso de ferramentas para desobstruir a visão da anomalia sob análise. O manual do DNIT cita, por exemplo, que “as Inspeções rotineiras são visuais, efetuadas a partir do estrado, do terreno, do nível d’água ou de plataformas e caminhos permanentes, se existentes; equipamentos especiais somente serão necessários quando se constituírem no único meio de inspecionar os trechos de interesse”. O uso de drones especialmente projetados para tomar fotos de alta resolução das partes mais difíceis de serem acessadas, em geral a face inferior das pontes, oferece inúmeras vantagens de ordem prática, sendo igualmente vantajosos para agilização dos trabalhos de campo mesmo nas áreas que podem ser acessadas a pé ou de barco.

3 METODOLOGIA

A pesquisa caracterizou-se como exploratória, explicativa e qualitativa visando realizar um estudo utilizando métodos, técnicas e processos para identificar as patologias existentes na Ponte de Porto Nacional. O objetivo deste polo metodológico foi determinar procedimentos a serem adotados para o uso de drone para inspeção em pontes de forma satisfatória.

3.1 DESCRIÇÃO DA PONTE DE PORTO NACIONAL

A ponte de Porto Nacional está localizada na rodovia TO-050, trecho da cidade de Porto Nacional que fica cerca de 60 km da capital Palmas-TO. Foi construída em concreto armado sobre o Rio Tocantins e inaugurada no final da década de 70, conforme a figura 16. A estrutura tem 900 metros de comprimento e um tabuleiro com largura de 13,4 metros, constituída por oito vigas isostáticas de 40 metros de comprimento apoiadas em balanços de 28,9 metros de comprimento dos nove pilares intermediários que compõem a mesoestrutura, esses que são espaçados 97,8 m nos oito trechos intermediários e 58,8 m nas duas extremidades, de acordo com a figura 17.

Figura 16 - Localização da Ponte de Porto Nacional via satélite



Fonte: Google Earth (2017).

Figura 17 - Vista lateral da Ponte de Porto Nacional



Fonte: Anderson Brito Soares

Após a inauguração apresentou alguns problemas estruturais, havendo necessidade de realização de uma reforma no ano de 1986. Em sua fundação foram executados tubulões coroados com bloco de concreto nos quais se apoiam os pilares, de seção vazada, engastados nas vigas de apoio isostático, sendo esta obra de arte classificada estruturalmente como ponte em vigas Gerber. Desde então, apenas pequenos reparos na pista de rolamento e nos passeios puderam ser identificados.

3.2 PLANEJAMENTO DE EXECUÇÃO DA METODOLOGIA

No local foi realizado testes de maneira padronizada para o alcance da melhor distância para obtenção das imagens. A captura de imagens dos pilares foi obtida por duas distâncias diferentes para avaliação comparativa das mesmas. Foi definido um local seguro para que a equipe e os equipamentos ficassem resguardados uma vez que o acesso a ponte possui tráfego diário de veículos. O sentido no qual foi adotado tem como ponto inicial de partida do drone a cidade de Porto Nacional como referência, de forma que a análise das informações possam estar organizadas aumentando a confiabilidade do estudo, enumerando

os pilares de acordo com o sentido adotado para que se obtenha todas as informações possíveis para identificação da localidade da patologia no pilar e na laje.

Para a coleta das imagens foram utilizados dois modelos de veículo aéreo, modelo eBee e o PHantom 4 Advanced, conforme as figuras 18 e 19 respectivamente.

3.3 CARACTERIZAÇÃO E PLANO DE VOO DOS DRONES

3.3.1 eBee

O eBee de fabricação suíça, envergadura de 96 cm (38 pol) e autonomia de voo em torno de 30 min. É composto por uma hélice na traseira e sua construção em espuma permite flexibilidade e leveza (700 gramas -1,5 lbs), resultando na redução do consumo energético. A aeronave compreende uma plataforma com sensores específicos acoplados, que permitem a obtenção de imagens fotográficas e vídeos. A aeronave traz incorporados sensores que possibilitam a estabilidade do equipamento em missão, bem como a transmissão de dados que garantem o acompanhamento direto da execução do voo.

Figura 18 - Vant modelo eBee



Fonte: Agtecher

A câmera para captura das imagens, modelo Canon RGB S110, reúne características adequadas e compatíveis com o sistema eBee e o aplicativo de formação de ortomosaico. Dispunha de sensor Live MOS de 12,3 megapixels, com uma gama ISO de 100 a 6400, capacidade de gravar imagens em RAW (12-bit de compressão sem perdas), JPEG, JPEG +

RAW, estabilizador de imagem e uma velocidade máxima do obturador de 1/4000s, podendo disparar 3 quadros por segundo.

O plano de voo é elaborado por meio da estação base, desenvolvida pela mesma fabricante da aeronave (senseFly), com o seguinte conjunto: o software eMotion 2, responsável pela programação do voo e execução do trajeto da aeronave, e uma antena transmissora, que permite o acompanhamento em tempo real do sobrevoo, bem como o envio de comandos de pouso, mudanças de direção ou tomada de imagens. A interface do programa mostra informações importantes sobre o nível de bateria, temperatura ambiente, altitude, posição, duração e velocidade do voo, velocidade do vento, resolução e sobreposição longitudinal e latitudinal da área a ser sobrevoada, altitude e link do rádio.

3.3.2 Phantom 4 Advanced

O Phantom 4 Advanced de fabricação chinesa, envergadura de 35 cm (excluindo as hélices) composto por quatro hélices, uma em cada extremidade, vem com uma câmera de 20 MP Sensor 1 CMOS podendo gravar vídeos de qualidade 4k. O Drone tem uma autonomia de voo em torno de 30 min, pesando cerca de 1.368 gramas. O sistema de posicionamento por satélite: GPS /GLONASS podendo sobrevoar a 6.000 metros acima do nível do mar e uma resistência a velocidade do vento de 10 m/s para estabilidade do equipamento em missão, bem como a transmissão de dados que garantem o acompanhamento direto da execução do voo.

Figura 19 - Phantom 4 Advanced



Fonte: DJI

O planejamento de voo foi elaborado por meio do software Drone Deploy, responsável pela programação do voo e execução do trajeto da aeronave. Neste programa é possível o acompanhamento em tempo real do sobrevoo, envio de comandos de pouso, mudanças de direção ou tomada de imagens. A interface do programa mostra informações importantes quanto ao nível de bateria, temperatura ambiente, altitude, posição, duração e velocidade do voo, velocidade do vento, resolução e sobreposição longitudinal e latitudinal da área a ser sobrevoada, altitude e tempo de voo.

O mapeamento das patologias na superestrutura, menos na parte inferior da laje pois os modelos dos drones utilizados não permite rotação da câmera no sentido de baixo para cima, foi feita através de captura de imagem na qual o VANT tem adaptação para máquina fotográfica. O registro fotográfico será realizado com a equipe em solo. Através do Software foi possível determinar previamente o ponto de partida e chegada, trajeto a ser percorrido e altura com relação ao nível do mar, com isso o próprio programa já estima o tempo que vai durar todo o procedimento de decolagem e pouso.

Após a realização do procedimento as imagens foram extraídas do cartão de memória da câmera fotográfica e posteriormente analisadas em um computador para análise comparativa referente as imagens dos pilares com as duas distâncias determinadas e verificados os pontos positivos e negativos do estudo do uso do drone em inspeção de pontes, levado em consideração os seguintes critérios para avaliação: planejamento e procedimento empregado, qualidade de imagem, condições climáticas, equipamento e material. A “Tabela 1 - Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e durabilidade” apresentada neste trabalho será preenchida de acordo com as imagens capturadas seguindo as orientações da NBR 9452 de 2016.

4 RESULTADOS

4.1 PROCEDIMENTOS

Com o modelo eBee foi posicionado o ponto de partida cerca de 150 metros de distância da ponte e foram feitas duas decolagens por medida de segurança por conta da bateria, totalizando um tempo de 25 minutos e 57 segundos com um total de 74 capturas de imagem. Todo o processo foi feito a uma altura de 120 metros em relação ao nível do mar. Com esse modelo só foi possível realizar capturas de imagens da laje superior, pois o posicionamento da câmera é de forma fixa e posicionada com a lente voltada para a parte inferior do VANT conforme a figura 20.

Figura 20 - Posicionamento da câmera - visão da parte superior do VANT



Para realização dessa inspeção foi utilizado o VANT e um computador com o Software no qual tinha o plano de voo estabelecido. Todo o processo para realização das duas decolagens levou cerca de 70 minutos, pois foi necessário o posicionamento da câmera no drone, conectar o mesmo junto ao computador por meio de Bluetooth e realizar o processo de decolagem. Através do plano de voo determinado previamente no programa o VANT seguiu a trajetória mecanizada com interferência manual somente no momento da decolagem pois o VANT precisa ser lançado por uma pessoa, conforme a figura 21.

O experimento foi feito na parte da tarde, o clima estava ensolarado e ventos com pouca velocidade, o que possibilitou de maneira eficaz o procedimento para captura de imagem e estabilidade no VANT no ar.

Figura 21 - Preparação para decolagem do VANT eBee



Com o modelo Phantom 4 Advanced o ponto de partida foi cerca de 120 metros de distância da ponte e assim como no primeiro experimento com o modelo eBee foram feitas duas decolagens, a primeira foi totalmente mecanizada desde a sua decolagem até seu pouso com duração de 8 minutos e 22 segundos com o plano de voo em linha reta em de sentido ida e volta a 120 metros de altura em relação ao nível do mar. A segunda decolagem foram capturadas 45 imagens e durou cerca de 20 minutos de forma integralmente manual, onde o drone foi controlado por um controle remoto e através do aplicativo no celular o acompanhamento das imagens em tempo real, com a finalidade de capturas de imagens dos pilares e da parte externa das vigas longarinas, conforme a figura 22. A cada trecho contendo vigas e longarinas eram capturadas imagens a uma distância de 15 metros para imagens mais focadas nas patologias e outra a 25 metros de forma de forma a ter uma visão mais ampla do trecho.

O processo foi realizado na parte da manhã com o clima ensolarado e com duração total de aproximadamente 50 minutos desde a montagem e calibragem do drone até o pouso e desmontagem do mesmo.

Figura 22 - Drone Phantom 4 Advanced



Ao analisar as imagens obtidas, logo foi possível perceber que o primeiro procedimento fracassou pois as imagens não ficaram nítidas possivelmente pela qualidade da câmera ou por adversidade do software e por isso foi necessária realização de outra estratégia alterando a altura do plano de voo para 60 metros em relação ao nível do mar e teve duração de 10 minutos e 45 segundos.

4.2 COMPARATIVO DE PROCEDIMENTOS

Tabela 4 - Tempo de procedimento de cada modelo

PROCEDIMENTO	MODELO EBEE	MODELO PHANTOM 4 ADVANCED
	TEMPO EM MINUTOS	TEMPO EM MINUTOS
PLANO DE VOO	10:00	10:00

MONTAGEM E CALIBRAGEM	18:00	16:00
TEMPO DE DECOLAGEM	25:57	30:45
DESMONTAGEM	6:00	8:00

Na tabela 5 foi feito um comparativo referente ao tempo aproximado de cada procedimento, desde o planejamento do plano de voo, passando pela montagem e calibragem até o tempo de desmontagem. Vale ressaltar que o modelo Ebbe só foi possível utilizá-lo na captura de imagens do tabuleiro, enquanto o Phantom 4 Advanced foi utilizado nos pilares e parte externa da vigas longarinas, ou seja, foram utilizadas dois modelos de drones para duas finalidades.

Tabela 5 - Comparativo entre os modelos de Drone utilizados para a inspeção da ponte

ITEM	EBEE	PHANTOM 4 ADVANCED
MONTAGEM	X	
PRATICIDADE E MANUSEIO		X
QUALIDADE DA IMAGEM		X
ESTABILIDADE		X
TEMPO PERCORRIDO	X	
QUANTIDADE DE FOTOS EM RELAÇÃO AO TEMPO PERCORRIDO		X
FOTOS TABULEIRO	X	
FOTOS DOS PILARES E VIGAS LONGARINAS		X

Com relação ao comparativo entre os dois modelos utilizados para a inspeção da Ponte de Porto Nacional, o modelo Phantom 4 Advanced teve uma avaliação mais positiva com relação ao eBee pela praticidade no manuseio, qualidade das imagens, estabilidade, mas principalmente por poder capturar imagens dos pilares e vigas longarinas. O VANT eBee teve uma avaliação positiva quanto a montagem, tempo percorrido e captura de imagens do tabuleiro.

4.3 CLASSIFICAÇÃO DA PONTE DE PORTO NACIONAL SEGUNDO A NBR 9452 DE 2016.

Tabela 6 - Classificação da condição de OAE de acordo a “Tabela 1 - Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade os parâmetros estrutural, funcional e durabilidade” e a Tabela E.1 ‘Caracterização dos elementos estruturais segundo a relevância no sistema estrutural’ da NBR 9452 de 2016

ITEM	NOTA DE CLASSIFICAÇÃO	CONDIÇÃO	SISTEMA ESTRUTURAL
TABULEIRO	2	RUIM	P
PILAR 1	2	RUIM	P
VIGA LONGARINA 1	1	CRÍTICA	P
PILAR 2	2	RUIM	P
VIGA LONGARINA 2	1	CRÍTICA	P
PILAR 3	2	RUIM	P
VIGA LONGARINA 3	2	RUIM	P
PILAR 4	2	RUIM	P
VIGA LONGARINA 4	1	CRÍTICA	P
PILAR 5	2	RUIM	P
VIGA LONGARINA 5	1	CRÍTICA	P

PILAR 6	2	RUIM	P
VIGA LONGARINA 6	1	CRÍTICA	P
PILAR 7	2	RUIM	P
VIGA LONGARINA 7	1	CRÍTICA	P
PILAR 8	2	RUIM	P
VIGA LONGARINA 8	1	CRÍTICA	P
PILAR 9	2	RUIM	P

- a) Elemento Principal (P): cujo dano pode ocasionar o colapso parcial ou total da obra;
- b) Elemento Secundário (S): cujo dano pode ocasionar ruptura localizada;
- c) Elemento Complementar (C): cujo dano não causa nenhum comprometimento estrutural, apenas funcional na OAE.

Utilizando a NBR 9452 de 2016 como base para avaliação do tabuleiro, pilares e vigas longarinas. Pode-se observar na “Tabela 7” que o tabuleiro e os pilares foram avaliados em condição “Ruim”, existe danos que comprometem a segurança estrutural, com sua funcionalidade perceptivelmente comprometida com riscos de segurança ao usuário, demandando intervenções de curto prazo. Com excesso da “Viga Longarina 3” avaliada em “Ruim”, todas as outras se encontram classificadas em condição “Crítica”, pois há elementos estruturais em estado crítico com risco concreto de colapso estrutural em elevado grau de deterioração, apontando problema já de risco estrutural e funcional.

5 CONCLUSÃO

Após os estudos e experimentos realizados pôde-se concluir que o uso de drone como ferramenta de auxílio na engenharia para inspecionar pontes é eficaz e tende a crescer no mercado de trabalho. É necessário que haja mais experimentos para aperfeiçoamento e principalmente uma norma para que os procedimentos sejam padronizados aumentando a confiabilidade dos resultados.

Ao analisar os procedimentos dos modelos de VANT utilizados, foi possível verificar a facilidade para determinação de plano de voo, montagem, desmontagem, manuseio, tempo de voo e qualidade de imagem. Quanto ao Ebee ele é recomendado para capturas de imagens do tabuleiro, uma vez que o posicionamento da câmera não permite a movimentação da mesma impossibilitando análises como por exemplo os pilares. Já o Phantom 4 Advanced possibilita a captura de imagens dos pilares e vigas longarinas externas podendo ser manuseada de forma totalmente manual controlada por um controle podendo determinar a distância na qual deseja as imagens.

Nenhum dos dois modelos utilizados conseguem realizar a inspeção na parte inferior do tabuleiro por conta do posicionamento da câmera que não permite. Tendo em vista o custo benefício, o modelo Phantom 4 Advanced é melhor avaliado para inspeção em pontes pois não limita-se ao tabuleiro como o Ebee, podendo ser utilizado também nos pilares e vigas longarinas externas.

Para uma inspeção integral pode ser utilizado modelos capazes de examinar todos os elementos compostos da ponte inclusive a parte inferior do tabuleiro como o modelo Drone Portatil Parrot Anafi Work 4k que permite a rotação da câmera em 180°.

APÊNDICE – IMAGENS CAPTURADAS

Figura 23 - Captura de imagem feita pelo drone Phantom Advanced da pilar



Figura 24 - Captura de imagem feita pelo drone Phantom Advanced da Viga longarina



Figura 25 - Captura de imagem feita pelo drone Phantom Advanced da viga longarina a 15 metros de distância



Figura 26 - Captura de imagem feita pelo drone Ebee do tabuleiro

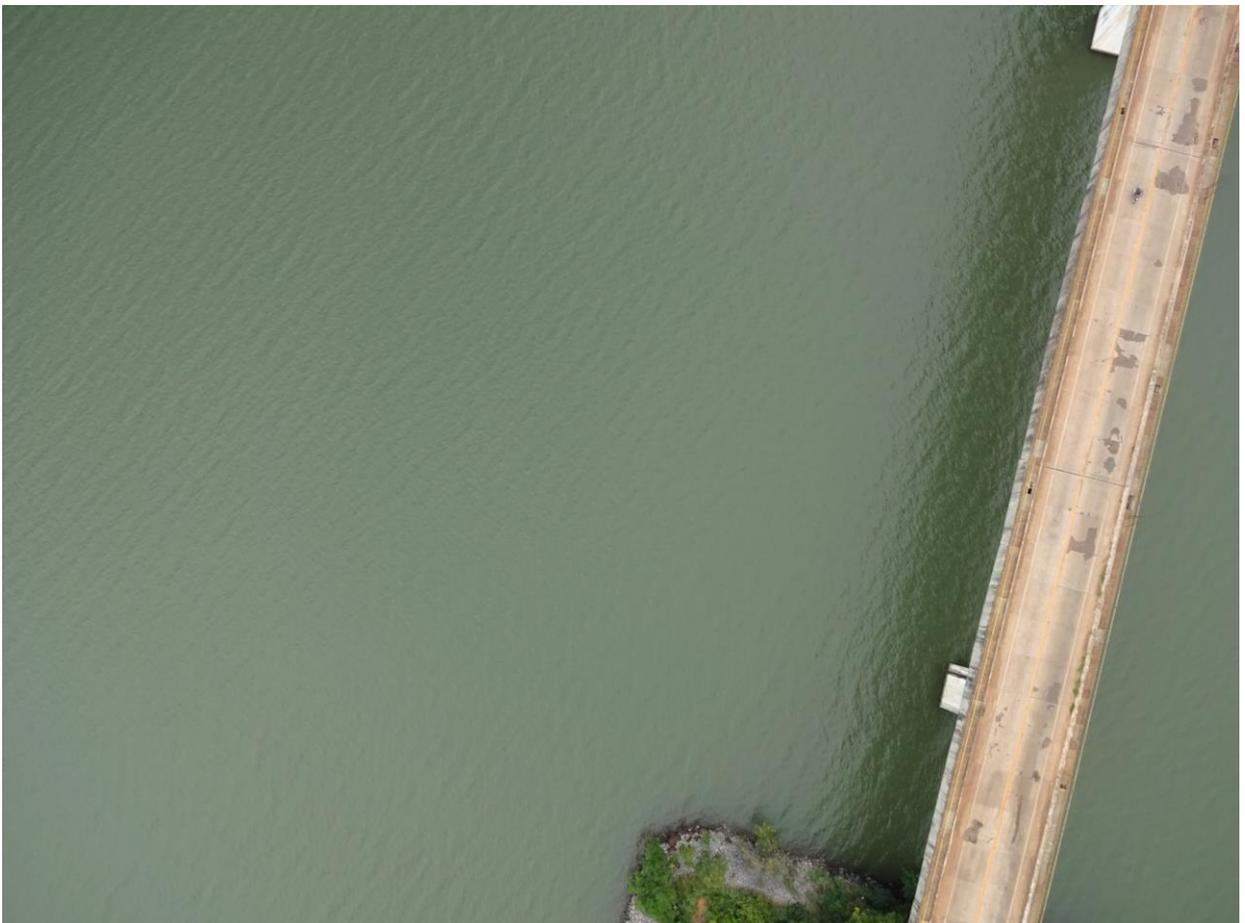


Figura 27 - Captura de imagem feita pelo drone Ebee do tabuleiro a 120 metros de altura em relação ao nível do mar



REFERÊNCIAS

AMORIM, A. A. **Durabilidade das Estruturas de Concreto Aparente**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

ASCOM/DNIT. **Pontes e viadutos das rodovias federais estão em boas condições**. 2015. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/noticias/pontes-e-viadutos-das-rodovias-federais-estao-em-boas-condicoes>>. Acesso em: 7 set. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. 1 ed. Rio de Janeiro, 2003. 221 p.

BASTOS, Herik César do Nascimento; MIRANDA, Mateus Zanirate. **PRINCIPAIS PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO DE PONTES E VIADUTOS: MANUSEIO E MANUTENÇÃO DAS OBRAS DE ARTE ESPECIAIS**. 2017. Disponível em: <[file:///C:/Users/Pedro%20Roberto/Downloads/5026-15995-1-PB%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Pedro%20Roberto/Downloads/5026-15995-1-PB%20(2).pdf)>. Acesso em: 7 set. 2018.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção 1**. Livros Técnicos e Científicos. São Paulo, 1994. p. 435.

COUTINHO, Italo; FEITAL, Marcelo Rosa; COSTA, Shirlei Querubina. Inovação na Gestão da Qualidade: Utilização de VANT em Inspeções em Projetos Civis. **Simpósio Internacional de Gestão, Projetos, Inovação e Sustentabilidade**, São Paulo, p.3-3, 14 nov. 2017. Anual.

ENGENHARIA, Blog da. **Como o uso de drones pode revolucionar a construção civil**. 2017. Disponível em: <<https://www.institutodeengenharia.org.br/site/2017/01/23/como-o-uso-de-drones-pode-revolucionar-a-construcao-civil/>>. Acesso em: 9 set. 2018.

ENGENHEIRA, CivilizaÇÃO. Uso de veículos aéreos não tripulados na inspeção de estradas e monitorização estrutural de pontes. **Engenhariacivil.com**, Não Especificado, p.1-1, 14 Não é um mês valido! 2016. Anual. Disponível em: <<https://www.engenhariacivil.com/veiculos-aereos-nao-tripulados-inspecao-estradas-pontes>>. Acesso em: 9 set. 2018.

FELIPPE FILHO, Waldir Neme. AVALIAÇÃO DOS COEFICIENTES DE IMPACTO UTILIZADOS NO CÁLCULO DE PONTES RODOVIÁRIAS VIA ANÁLISE DINÂMICA DE ESTRUTURAS. 2008. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2008.

FERNANDEZ CÁNOVAS, M. Patologia e terapia do concreto. São Paulo: Pinni, 1988.

file:///C:/Users/Pedro%20Roberto/Downloads/5026-15995-1-PB%20(1).pdf

GALVÃO, Márcio Régis. **Drones Revolucionando as Inspeções - Pontes**. 2017. Disponível em: <<https://pt.linkedin.com/pulse/drones-revolucionando-inspe%C3%A7%C3%B5es-pontes-m%C3%A1rcio-r%C3%A9gis-galv%C3%A3o>>. Acesso em: 02 set. 2018.

GAMA, Janaína Almeida Bacelar. PONTES DE CONCRETO ARMADO. Disponível em: <<http://repositorio.uniceub.br/bitstream/235/6420/1/21159923.pdf>>. Acesso em: 06 set. 2018.

GARRETT, Felipe. **O que é drone e para que serve? Tecnologia invade o espaço aéreo**. 2013. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2013/10/o-que-sao-e-para-que-servem-os-drones-tecnologia-invade-o-espaco-aereo.html>>. Acesso em: 9 set. 2018.

GIOVANNETTI, Ana Carolina Virmond Portela. Avaliação do estado de conservação de pontes - estudo de caso. 2014. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/129436/328510.pdf?sequence=1>>.

Acesso em: 03 nov. 2018.

GRANATO, J. E. Patologia das fachadas revestidas de cerâmica e granito. São Paulo: Viapol, 2005. Notas de aula do curso de patologia das construções

HAUS, Tiago. Pontes: tipos principais e como funcionam. Disponível em: <http://www.educacional.com.br/especiais/Niemeyer/includes/arqCalculos/comofunciona_imprimir.asp?strTitulo=Pontes:%20tipos%20principais%20e%20como%20funcionam>. Acesso em: 7 out. 2018

http://sinop.unemat.br/site_antigo/prof/foto_p_downloads/fot_131951_introducao_pdf_1_Introducao.pdf

HEGARD. Serviços de Inspeção de Pontes com Drone. 2017. Disponível em: <<https://hegard.com.br/inspecao-de-pontes/>>. Acesso em: 14 ago. 2018.

LOBATO, Raul. Sistemas Estruturais: Pontes em Pórtico e em Arco. Disponível em: <http://sinop.unemat.br/site_antigo/prof/foto_p_downloads/fot_12113aula_03_pdf_Aula_03.pdf>. Acesso em: 07 out. 2018.

MARCETTI, Osvaldemar. **PONTES DE CONCRETO ARMADO**. 2008. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/33525912/pontes-de-concreto-armado>>. Acesso em: 06 set. 2018.

MARCHETTI, O. **Pontes de concreto armado**. São Paulo: Blucher, 2008.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais Propriedades e Materiais**. Ibracon, 2008.

MILANI, Cleovir José; KRIPKA, Moacir. A IDENTIFICAÇÃO DE PATOLOGIAS EM PONTES DE MADEIRA. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Pato Branco, p.27-27, 2012. Mensal.

MITRE, Marcos Pedrosa. **METODOLOGIA PARA INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO DE PONTES E VIADUTOS DE CONCRETO**. 2005. 182 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

MONTEIRO, Roberto. **PONTES DE CONCRETO ARMADO: CLASSIFICAÇÃO DAS PONTES**. 2016. Disponível em: <http://www.monteiroengenharia.com/disciplinas/pontes/conteudo/aula/pontes_aula4_classificacao.pdf>. Acesso em: 06 set. 2018.

OLIVEIRA, Ivanisio de Lima. Pênséis e estaiadas. Disponível em: <file:///C:/Users/Pedro%20Roberto/Downloads/722-Revista_Noticias_da_Construcao_SindusCon_agosto_de_2012.pdf>. Acesso em: 07 out. 2018.

PFEIL, Walter. Pontes de concreto armado. Vol 1. Rio de Janeiro: Livro Técnico e Científico Editora, 1990.

ROCHA, Ivan. Corrosão em estruturas de concreto armado. **Revista Especialize On-line Ipog**, Goiânia, p.2-3, 2015. Mensal.

SARTORTI, Artur Lenz. **IDENTIFICAÇÃO DE PATOLOGIAS EM PONTES DE VIAS URBANAS E RURAIS NO MUNICÍPIO DE CAMPINAS-SP**. 2008. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp071317.pdf>>. Acesso em: 7 set. 2018.

SILVA, Isabelly Tatiane dos Santos. **IDENTIFICAÇÃO DOS FATORES QUE PROVOCAM EFLORESCÊNCIA NAS CONSTRUÇÕES EM ANGICOS/RN**. 2011. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido Campus Angicos, Angico, 2011.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. São Paulo: Pini, 1998. 255 p.

STORTE, Marcos. Manifestações Patológicas na Impermeabilização de Estruturas de Concreto em Saneamento. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=20&Cod=703>>. Acesso em: 09 set. 2018.

VITÓRIO, Afonso. Pontes Rodoviárias. In: VITÓRIO, Afonso. **Pontes rodoviárias: fundamentos, conservação e gestão**. Recife: Crea-pe, 2002.

VITÓRIO, José Afonso Pereira. PONTES E VIADUTOS RODOVIÁRIOS: Conceituação, conservação, segurança e reforço estrutural. **Escola Politécnica de Pernambuco**, Recife, p.27-27, 2015.