



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

NICOLAS HENRIQUE SANTANA DE CARVALHO

**MONITORAMENTO E LEVANTAMENTO DOS DEFEITOS
EXISTENTES NO PAVIMENTO DA UFPE CAMPUS CAA
COM USO DE DRONE**

Caruaru, 2017.

NICOLAS HENRIQUE SANTANA DE CARVALHO

MONITORAMENTO E LEVANTAMENTO DOS DEFEITOS EXISTENTES NO PAVIMENTO DA UFPE CAMPUS CAA COM USO DE DRONE

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
do Centro Acadêmico do Agreste (CAA),
da Universidade Federal de Pernambuco
(UFPE), como requisito para a obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estradas e
Transportes

Orientadora: Prof.^a Shirley Minnell Ferreira
de Oliveira

Caruaru, 2017.

NICOLAS HENRIQUE SANTANA DE CARVALHO

**MONITORAMENTO E LEVANTAMENTO DOS DEFEITOS EXISTENTES NO
PAVIMENTO DA UFPE CAMPUS CAA COM USO DE DRONE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil do
Centro Acadêmico do Agreste (CAA), da
Universidade Federal de Pernambuco
(UFPE), como requisito para a obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estradas e
Transportes

A banca composta pelos professores abaixo, considera O ALUNO NICOLAS
HENRIQUE SANTANA DE CARVALHO APROVADO COM NOTA _____.

Caruaru, 12 de julho de 2017.

Banca Examinadora:

Profa. MSc. Shirley Minnell Ferreira de Oliveira
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientadora)

Profa. Dra. Analice França Lima Amorim
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliadora)

Prof. Dr. José Moura Soares
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof. Dr. Cléssio Lima Leão
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenador da disciplina)

Dedico este trabalho, primeiramente, a Deus, por ser essencial em minha vida, pois sem ele não teria forças para essa longa jornada. A minha mãe, Rosineide, que sempre me apoiou incondicionalmente e ao meu estimado avô Everaldo (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

A Deus antes de tudo, por me proteger, guiar e iluminar ao longo de todos esses anos vividos, todas as bênçãos e ensinamentos que me foram dados.

A meus pais Rosineide e Luiz Henrique, por sempre trabalharem duro e serem meus guias na vida, moldando minha moral e caráter, me apoiarem e ajudarem em todos os momentos, principalmente nos difíceis, sem eles não sei como conseguiria.

Ao meu irmão Vitor, por estar ao meu lado e me ajudar sempre que possível.

A minha companheira, Renatha, que nunca duvidou da minha capacidade, esteve comigo em todos os momentos, e incentivou todos os meus sonhos e projetos, sempre amável e disposta a ajudar não só a mim, mas como ao próximo.

A minha orientadora, Professora Shirley, pela orientação, paciência e apoio ao longo de todo o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos e companheiros de jornada (Manoel, Nivaldo, Edmilton, Sillas, Murilo, Marllon e Roberto), pelo suporte ao longo do curso e pela amizade que cultivamos e que durará por toda vida.

A minha família que de sua forma me ajudou por todos esses anos.

Ao Laboratório de Estradas e Transportes por ceder alguns materiais necessários para realização deste trabalho, como também a colaboração da Técnica Laysa.

A toda universidade, por todos os professores, que me conduziram por todo o curso, ensinando e contribuindo na minha formação ética e profissional.

A todos que tiveram participação nesta minha formação direta ou indiretamente, meu muitíssimo obrigado.

"Desistir... eu já pensei seriamente nisso, mas nunca me levei realmente a sério; é que tem mais chão nos meus olhos do que o cansaço nas minhas pernas, mais esperança nos meus passos, do que tristeza nos meus ombros, mais estrada no meu coração do que medo na minha cabeça." (Cora Coralina)

RESUMO

O monitoramento das condições de uso de toda a extensão de rodovias pavimentadas é tarefa dispendiosa, demorada e gera riscos à saúde do responsável pelo monitoramento. Objetivando o aprimoramento dos métodos hoje existentes na área de monitoramento de vias, há cada vez mais a busca por ferramentas mais eficientes. Devido a evolução das tecnologias existentes em drones, aumentou-se a busca por seu uso, também, como ferramenta. Periodicamente, são realizados estudos sobre o uso de drones na engenharia, por exemplo, na gestão de infraestruturas existentes, a procura de problemas que venham a existir. Este trabalho teve por objetivo, o levantamento de defeitos ao longo do pavimento asfáltico da Universidade Federal de Pernambuco – Campus Acadêmico do Agreste com e sem o uso de drone analisando a viabilidade de sua implantação como ferramenta. Primeiramente, foi seguida a metodologia preconizada pela norma do DNIT 006/2003 – Avaliação objetiva de pavimentos flexíveis e semi-rígidos, para que fossem contabilizados os defeitos que viessem a existir no pavimento. A segunda etapa consistiu na utilização do drone para que fossem obtidas as imagens do pavimento, para posteriormente serem analisadas, verificando e registrando a existência de possíveis defeitos. Na última etapa foram utilizados critérios como eficiência, tempo, custo, praticidade e risco, para comparação das duas formas de análise do pavimento. De acordo com os resultados obtidos através das análises, a utilização do drone como ferramenta acarretou em um aumento na praticidade e diminuição no tempo e risco no monitoramento das condições do pavimento, porém nem todos os defeitos que foram observados ao percorrer o pavimento de acordo com a norma, puderam ser identificados através das imagens obtidas pelo drone, devido às limitações da câmera existente na aeronave, entre outros fatores, além disso com alto custo de implementação, o drone deve ser utilizado como ferramenta auxiliar, não dispensando a forma de análise padrão e normatizada no país.

Palavras-chave: Pavimento asfáltico. Drone. Defeitos do pavimento.

ABSTRACT

Monitoring the conditions of use of paved roads is an expensive and time-consuming task that can generate/create/bring risks to the health of those who are responsible for the monitoring. Aiming the enhancement of existing methods for monitoring the condition of roads pavement surfaces the search for more efficient tools has increased, such as the evolution of drone technology and its applications. There are periodically studies about the use of drone in engineering, for instance, in the management of existing infrastructures, searching for problems that may exist. The main purpose of this work was to survey defects along the asphalt pavement of the Federal University of Pernambuco - Agreste Academic Campus with and without the use of a drone, analysing the feasibility of its implementation as a tool. Firstly, the methodology recommended by DNIT 006/2003 - Objective evaluation of the surface of flexible and semi-rigid pavements, was followed in order to account any defects that might exist on the pavement. The second step involved the use of the drone to obtain images of the pavement. Those images were analysed in order to verify and record the existence of possible defects. In the final step criteria such as efficiency, time, cost, practicality and risk were used to compare the two forms of pavement analysis. According to the results obtained through the analysis, the use of the drone as a tool resulted in an increase in practicality and decrease in time and risk in the monitoring of the pavement conditions. However, not all the defects that were observed when walking the pavement as recommended by the DNIT standard could be identified through the images obtained by the drone. Due to the limitations of the existing camera in the aircraft, among other factors, in addition with high cost of implementation, the drone should be used as an auxiliary tool, not dismissing the standard form of analysis in the country.

Keywords: Asphalt pavement. Drone. Pavement defects.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Seção típica de pavimento asfáltico	16
Figura 2 - Trinca isolada - Longitudinal.....	18
Figura 3 - Desgaste	18
Figura 4 - Remendo	19
Figura 5 - Panela	19
Figura 6 - Divisão de áreas em pistas simples	20
Figura 7 - Divisão de áreas em pistas duplas	20
Figura 8 - Recobrimentos em um mosaico fotogramétrico	25
Figura 9 - GSD para diferentes altitudes.....	26
Figura 10 - Drone DJI Phantom 3 Advanced	28
Figura 11 - Trecho a ser analisado	31
Figura 12 - Divisão de estações para a pista Simples.	32
Figura 13 - Controladora.....	34
Figura 14 - Planilha de cálculo de GSD	36
Figura 15 - Interface do Programa Altizure	37
Figura 16 - Área 1.....	38
Figura 17 - Áreas 2 a 5	38
Figura 18 - Recorte da plataforma ReCap	39
Figura 19 - Ortomosaico formado a partir das imagens.....	39
Figura 20 – Planilha de Obtenção do GSD.....	41
Figura 21 - Fissura encontrada na estação 29	42
Figura 22 - Trincas Longitudinais encontradas na estação 03.....	42
Figura 23 - Trincas transversais encontradas na estação 01	43
Figura 24 - Panela encontrada na estação 30	43
Figura 25 - Desgaste na estação 04 e 06	44
Figura 26 - Remendo encontrado na estação 15.....	44
Figura 27 - Trinca longitudinal (Observada a partir do drone)	45
Figura 28 - Trinca transversal (Observada a partir do drone)	45
Figura 29 - Panela (Observada a partir do drone)	46
Figura 30 - Desgaste (Observado a partir do drone)	46
Figura 31 - Remendo (Observado a partir do drone).....	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Codificação e classificação dos defeitos	21
Quadro 2 - Comparativos de formas de obtenção de imagens.....	23
Quadro 3 - Classificação de VANTs	24
Quadro 4 - Informações a serem inseridas na planilha	36
Quadro 5 - Comparativo entre os métodos.....	49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivos Específicos.....	15
3 REFERÊNCIAL TEÓRICO	16
3.1 Pavimento Flexível.....	16
3.2 Defeitos de superfície em pavimentos asfálticos	17
3.3 Avaliação objetiva de pavimentos.....	20
3.4 Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT).....	22
3.4.1 Quadricópteros	22
3.4.2 Classificação de VANTs	24
3.5 Fotogrametria.....	24
3.5.1 Mosaico Fotogramétrico	25
3.5.2 Distância de amostra do solo - GSD.....	26
3.6 Uso de drones na construção civil.....	27
3.7 DJI Phantom 3 Advanced	28
4 EQUIPAMENTOS E METODOLOGIAS	30
4.1 Material de marcação	30
4.2 Área de estudo	30
4.3 Materiais e Procedimentos utilizados no Método do DNIT	31
4.3.1 Materiais para levantamento de defeitos	31
4.3.2 Procedimento para avaliação objetiva DNIT-006 PRO	32
4.4 Equipamentos e Procedimentos para levantamento com drone.....	32
4.4.1 Equipamentos.....	33
4.4.2 Procedimento para avaliação com uso de drone	35

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
5.1 GSD e Altitude adotada	41
5.2 Eficiência e Tipos de defeitos levantados	41
5.2.1 Forma tradicional	41
5.2.2 Método utilizando o Drone	44
5.3 Tempo	47
5.3.1 Forma tradicional	47
5.3.2 Método utilizando o Drone	47
5.4 Custos.....	48
5.4.1 Forma tradicional	48
5.4.2 Método utilizando o Drone	48
5.5 Praticidade	48
5.5.1 Forma tradicional	48
5.5.2 Método utilizando o Drone	48
5.6 Risco	48
5.6.1 Forma tradicional	48
5.6.2 Método utilizando o Drone	49
5.7 Quadro Comparativo	49
6 CONCLUSÃO.....	50
REFERÊNCIAS	51
ANEXO A – Inventário do estado da superfície do pavimento.....	54
ANEXO B – Formulário preenchido através de avaliação tradicional.....	55
ANEXO C – Formulário preenchido através da avaliação utilizando o drone.....	56

1 INTRODUÇÃO

O revestimento asfáltico na composição de pavimentos flexíveis é uma das soluções mais tradicionais e utilizadas na construção e recuperação de vias urbanas e rodovias. Segundo dados da Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto (ABEDA), mais de 90% das estradas pavimentadas nacionais são de revestimento asfáltico. De acordo com documento disponibilizado pelo Sistema Nacional de Viação (SNV) em 2016, que por sua vez, faz parte do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), afirma-se que existem atualmente no Brasil 211.468 Km de rodovias pavimentadas, sendo 65.329 km constituídos de rodovias federais, 119.747 km de rodovias estaduais, e 26.826 km de rodovias municipais.

Fissuras, desgastes precoces, deformações de massa asfáltica, afundamentos e formação de panelas (buracos) estão na lista das principais patologias que acometem os pavimentos flexíveis. Falhas e defeitos dessa natureza põem em risco a segurança e o conforto dos usuários das vias, portanto é fundamental que o gestor tenha a sua disposição, formas de identificar e propor soluções corretivas.

As patologias encontradas na superfície geralmente ocorrem devido a erros de projeto, de execução, mau dimensionamento da mistura asfáltica, uso de ligantes e materiais ineficientes ou impróprios, formas de conservação e manutenção, entre outros motivos. Também, a estrutura pode ser seriamente comprometida quando houver infiltração de água, problema que ocorre normalmente por causa de projetos de drenagem subdimensionados ou até mesmo inexistentes. Falhas desse tipo podem gerar afundamentos do pavimento, conseqüentemente, a camada que fica acima (superfície do pavimento) se rompe, trincando, e assim ocasionando o afundamento da camada superior. Devido, também, à falta de controle e do pesado tráfego no Brasil, há uma contribuição para o surgimento de defeitos nos pavimentos na sua superfície prejudicando posteriormente as camadas mais profundas da via.

Supervisionar as condições de toda e qualquer extensão de via pavimentada é um trabalho custoso e leva um certo tempo, gera riscos à saúde do responsável pelo monitoramento, seja por exposição prolongada ao sol ou por estar em um local de tráfego de veículos, estando sujeito a se envolver em um possível acidente. Atualmente, a avaliação da superfície do pavimento pode ser feita visualmente ou com uso de equipamentos montados em um veículo (carro), que fazem a análise através

de lasers e software para o registro dos defeitos, métodos estes, executados de forma prevista em normas vigentes no país pelos órgãos competentes.

Com a popularização, nos últimos anos, do uso de drones, aumentou-se também a busca por seu uso como ferramenta, devido a sua capacidade de obtenção de imagens a partir de elevadas altitudes referentes ao nível do solo, seja por entidades, para controle de áreas de preservação, por prefeituras para monitoramento de locais onde possam haver focos de transmissores de doenças, no mercado visual e de propaganda, entre tantos outros usos. Atualmente, também existem estudos recorrentes acerca da utilização de drones na engenharia, por exemplo, na parte de planejamento, meio ambiente, mineração, construção civil, e ainda na gestão de infraestruturas existentes, para manutenção e monitoramento de vias pavimentadas, em busca de problemas que venham a existir.

Motivação

Com o avanço da tecnologia em equipamentos de obtenção de imagens, atrelado ao aprimoramento computacional e de programas utilizados no pós-processamento de imagens, surge a necessidade do estudo para a implementação de novas técnicas, visando saber a viabilidade e se é possível obter a mesma ou até maior eficiência, comparado aos métodos tradicionais, com menor custo, menor quantidade de tempo necessário para execução da atividade e maior segurança daqueles envolvidos no monitoramento. O uso do drone demonstra ter um grande potencial para auxiliar nesta atividade, devido aos instrumentos que possui, como uma câmera de alta resolução, sensores estabilidade e sistema de geolocalização, e de suas características, de alcançar elevadas altitudes e varrer grandes áreas em pouco tempo. Necessita de um único operador, para a princípio designar o trajeto e a área a ser analisada para que comece a varredura, e no final recolher o material obtido (imagens) para a análise.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Fazer o levantamento de defeitos que venham a existir ao longo do pavimento asfáltico da Universidade Federal de Pernambuco – Campus Acadêmico do Agreste, com e sem o uso de drone, com a finalidade de verificar se o uso do mesmo é tecnicamente viável.

2.2 Objetivos Específicos

- Levantamento dos tipos de defeitos existentes no pavimento asfáltico utilizando o método tradicional e com o uso de drone.
- Verificar as similaridades e diferenças entre as formas que o levantamento foi feito.
- Comparar a eficiência, custo econômico, de tempo e vantagens e desvantagens nas formas em que o levantamento foi feito.

3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

3.1 Pavimento Flexível

Pavimentos asfálticos possuem uma camada de revestimento, constituída basicamente de agregados e ligantes asfálticos (MEDINA e MOTTA, 1997). Formados normalmente por quatro camadas principais como observadas na Figura 1 (DNIT, 2006):

- Revestimento asfáltico

Contém, a camada de rolamento, que tem contato direto com as rodas dos veículos, busca impermeabilizar toda a estrutura, e as camadas intermediárias que possuem função de ligação.

- Base

Camada destinada a resistir e distribuir os esforços vindos do tráfego e sobre a qual o revestimento é construído.

- Sub-base

Complemento da base, com função de regularização do terreno abaixo e de apoio para a base.

- Subleito

Terreno de fundação para o pavimento.

Na Figura 1 é mostrada a representação das camadas que constituem a seção típica do pavimento asfáltico.

Figura 1 - Seção típica de pavimento asfáltico



Fonte: Téchne, 2006.

3.2 Defeitos de superfície em pavimentos asfálticos

O revestimento asfáltico, camada que é responsável por, resistir diretamente as ações do tráfego e transmiti-las de forma atenuada as camadas inferiores do pavimento, impermeabilizar o mesmo e melhorar as condições de conforto e segurança do tráfego, por consequência, devido a essas funções e subsequentes tensões e deformações ao qual o pavimento está sujeito, ocorre o surgimento de patologias por fadiga desta camada.

Para o usuário do pavimento, ou seja, aquele que trafega em seu veículo, o que interessa é a superfície do pavimento, se este está em condições de ser trafegável, pois qualquer defeito ou irregularidade é logo percebido. (BERNUCCI et al., 2008) afirmam que tais defeitos podem prejudicar o usuário, com o aumento no tempo de viagem, menor conforto durante a rodagem, maior consumo de combustível, consequentemente mais gastos, e também o veículo, com o desgaste de pneus e outras peças que estão envolvidas, criando necessidade de manutenção, e assim, mais custos para o usuário novamente.

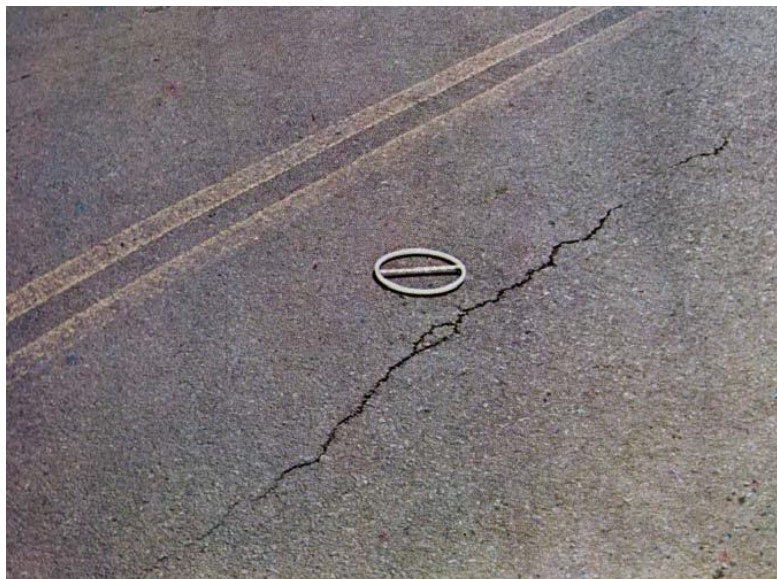
Segundo Machado (2013), um dos objetivos da norma DNIT 005/2003 – TERMINOLOGIA, é apresentar e discutir os elementos técnico necessários à identificação, quantificação e análise das deteriorações existentes nos pavimentos asfálticos.

Conforme preconizado na norma 005/2003 – TER (DNIT, 2003), considera-se os seguintes defeitos para cálculo do indicador de qualidade da superfície do pavimento (IGG – Índice de Gravidade Global):

- fendas (F) - Definidas como qualquer descontinuidade na superfície do pavimento, que conduza a aberturas de menor ou maior porte, apresentando-se sob diversas formas, sendo classificadas como fissuras (FI), somente visível a vista desarmada de uma distância inferior a 1,50m. Como trincas quando a abertura da fenda é superior à da fissura, apresentando-se de forma isolada ou interligada, dentre as isoladas tem-se a trinca transversal que pode ser curta (TTC) com extensão de até 100 cm ou longa (TTL) com extensão maior que 100 cm, trinca longitudinal curta (TLC) ou longa (TLL), como pode ser visto na Figura 2, e até mesmo trinca de retração que não está atribuída aos fenômenos de fadiga mas sim aos de retração térmica ou do material do revestimento ou do material de base rígida ou semirrígida subjacentes

ao revestimento trincado (TRR). As trincas também podem ser interligadas e se dividem em trinca tipo couro de jacaré, e podem apresentar erosão nas bordas (JE) ou não (J). Ou como trinca tipo bloco, apresentando erosão nas bordas (TBE) ou não (TB)

Figura 2 - Trinca isolada - Longitudinal



Fonte: Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (DAER), 1978.

- Desgaste ou desagregação (D)

Quando ocorre o desprendimento de agregados da superfície, observado na Figura 3, caracterizado pela aspereza superficial do revestimento e relaciona-se ao envelhecimento do revestimento e a forte ação do intemperismo.

Figura 3 - Desgaste



Fonte: Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros, 2008.

- Remendos (R)

Tipo de defeito apesar de estar relacionado a uma conservação da superfície do pavimento e é caracterizado pelo preenchimento de panelas ou de qualquer outra fenda ou depressão com massa asfáltica. Subdividindo-se em Remendo profundo, no qual ocorre a substituição do revestimento e eventualmente, de uma ou mais camadas subjacentes do pavimento, e em Remendo superficial (Figura 4), identificado como correção, em área localizada, da superfície do revestimento asfáltico, pela aplicação de uma camada de material betuminoso.

Figura 4 - Remendo



Fonte: Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros, 2008.

- Panela ou buraco (P)

Local caracterizado pela remoção do revestimento, como mostrado na Figura 5, deixando a base exposta, sendo ocasionado devido a ação do tráfego, intempéries e/ou falha construtiva.

Figura 5 - Panela



Fonte: DAER, 1978.

Além dos apresentados, pode haver a ocorrência também de afundamentos (A); corrugação e ondulações transversais (O); exsudação (EX).

3.3 Avaliação objetiva de pavimentos

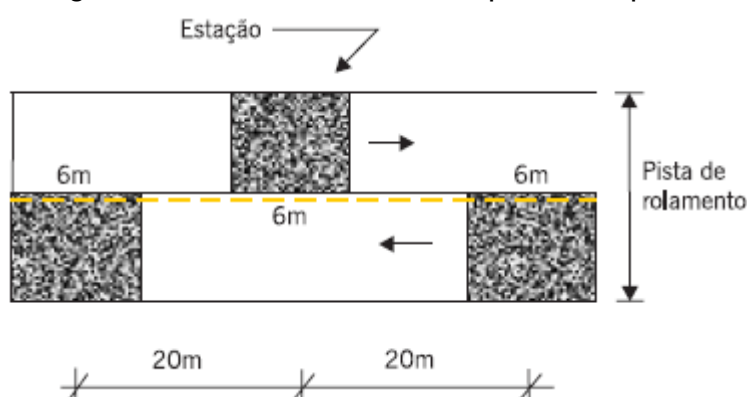
A avaliação objetiva da superfície dos pavimentos tem como finalidade levantar os defeitos ocorrentes e seu grau de intensidade permitindo assim uma melhor análise com poucos detalhes conforme objetivado pela norma 006/2003 – PROCEDIMENTO do DNIT. E ainda servindo de etapa preliminar, para o julgamento da necessidade de uma avaliação estrutural.

No levantamento de tais defeitos são utilizadas planilhas para a marcação da ocorrência dos mesmos, material para demarcar as estacas e respectivas áreas a serem analisadas.

As áreas a serem levantadas são determinadas das seguintes formas:

- Para pistas simples, de acordo com a Figura 6, são marcadas estacas a cada 20 metros alternando-se em relação ao eixo da pista, neste caso, de 40 em 40 metros em cada faixa.

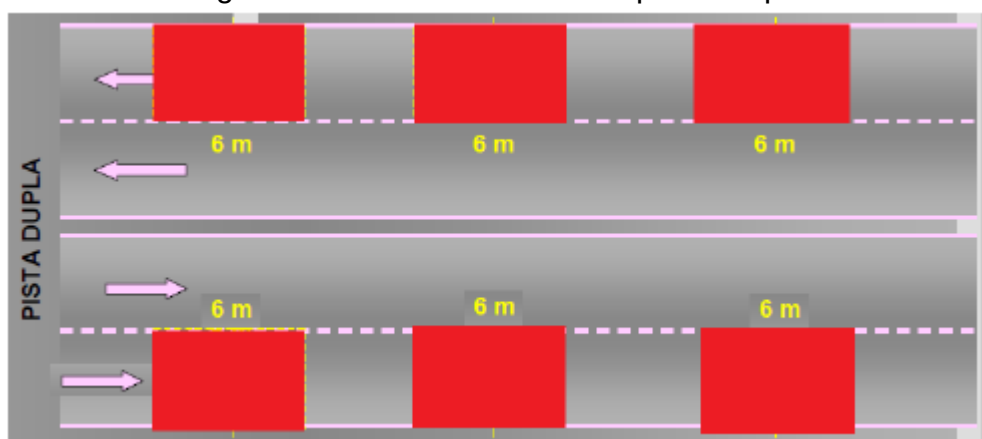
Figura 6 - Divisão de áreas em pistas simples



Fonte: Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros, 2008.

- Para pistas duplas, como mostrado na Figura 7, marca-se a estaca de cada área a cada 20 metros na faixa mais solicitada e em cada pista.

Figura 7 - Divisão de áreas em pistas duplas



Fonte: Notas de aula

Nas duas situações como é observado, são marcados os limites das áreas a serem levantados, que são 3 metros antes e 3 metros após cada estaca gerando uma estação com comprimento de 6 metros e largura igual à da faixa.

Utiliza-se a terminologia conforme indicado na norma 005/2003 – TER do DNIT, para identificação de cada patologia de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1 - Codificação e classificação dos defeitos

FENDAS				CODIFICAÇÃO	CLASSE DAS FENDAS		
Fissuras				FI	-	-	-
Trincas no revestimento geradas por deformação permanente excessiva e/ou decorrentes do fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Transversais	Curtas	TTC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TTL	FC-1	FC-2	FC-3
		Longitudinais	Curtas	TLC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TLL	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Jacaré"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	J	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	JE	-	-	FC-3
Trincas no revestimento não atribuídas ao fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Devido à retração térmica ou dissecação da base (solo-cimento) ou do revestimento		TRR	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Bloco"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	TB	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	TBE	-		FC-3

OUTROS DEFEITOS				CODIFICAÇÃO
Afundamento	Plástico	Local	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ALP
		da Trilha	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ATP
	De Consolidação	Local	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ALC
		da Trilha	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ATC
Ondulação/Corrugação - Ondulações transversais causadas por instabilidade da mistura betuminosa constituinte do revestimento ou da base				O
Escorregamento (do revestimento betuminoso)				E
Exsudação do ligante betuminoso no revestimento				EX
Desgaste acentuado na superfície do revestimento				D
"Painéis" ou buracos decorrentes da desagregação do revestimento e às vezes de camadas inferiores				P
Remendos			Remendo Superficial	RS
			Remendo Profundo	RP

Fonte: DNIT 005 – TER, 2003.

NOTA 1: Classe das trincas isoladas

FC-1: são trincas com abertura superior à das fissuras e menores que 1,0mm.

FC-2: são trincas com abertura superior a 1,0mm e sem erosão nas bordas.

FC-3: são trincas com abertura superior a 1,0mm e com erosão nas bordas.

NOTA 2: Classe das trincas interligadas

As trincas interligadas são classificadas como FC-3 e FC-2 caso apresentem ou não erosão nas bordas.

Obs.: Neste método de avaliação objetiva, posteriormente é calculado o Índice de Gravidade Global, como também são medidas as flechas nas trilhas de roda através de uma treliça metálica, porém como no presente trabalho o objetivo está em apenas identificar os defeitos, esta parte da análise não será aprofundada.

3.4 Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT)

A implementação de sensores como GPS, giroscópio, acelerômetros e sistemas inteligentes de navegação e estabilização permitiram que se alcançasse a qualidade de voos precisos, e consequentemente obtenção de imagem e sobreposição das mesmas de forma satisfatória em conjunto com a possibilidade de permitir ao usuário estimar a acurácia do produto final antes mesmo do voo (EISENBEIß, 2009).

Observando os VANTs de asa rotatória, a aeronave permite decolagem e pouso vertical, precisando apenas de uma pequena área livre para tais fins, assim excluindo a necessidade de pistas de pouso de maiores extensões. Além disso o uso desse tipo de decolagem/aterissagem, advém da característica da aeronave de conseguir pairar no ar possibilitando a tomada de imagens numa posição fixa enquanto voa.

Ainda de acordo com Eisenbeiß (2009), os VANTs, especialmente de baixo custo, devido a limitação de peso e dimensões, acabam por terem também sensores de baixo peso como câmeras de pequeno ou médio formato, que, em comparação com câmeras de maior porte, necessitam obter um número maior de imagens para conseguir a mesma cobertura de uma área com a mesma resolução final.

3.4.1 Quadricópteros

Através dos avanços nas áreas de ciência dos materiais e engenharia de controle, foi possível o desenvolvimento de VANTs de pequeno porte equipados com câmeras e sensores diversos, que são, controlados de forma completa ou assistidos por um operador no solo (QUARITSCH et al., 2008). Tais aeronaves foram concebidas

originalmente para uso militar, e só posteriormente foram utilizadas em aplicações civis. É ressaltado também que o uso de micro drones no lugar de aeronaves tripuladas se torna mais viável devido ao baixo custo, facilidade de utilização (consequência dos vários sensores embutidos), e liberdade de diferentes aplicações. No Quadro 2 são mostradas algumas aplicações de tais aeronaves em comparação com outras formas de obtenção de imagens, além de diferentes características.

Quadro 2 - Comparativos de formas de obtenção de imagens

Atividade/Parâmetro	Fotogrametria		
	Aérea	Terrestre	VANT
Planejamento	Semiautomático	Manual	Automático/Manual
Aquisição de dados	Assistido e Manual	Autônomo Assistido e Manual	Autônomo Assistido e Manual
Extensão da área	km ²	mm ² - m ²	m ² - km ²
Resolução da imagem/GSD	cm – m	mm - dm	mm – m
Distância do objeto	Normal e oblíqua	Normal e oblíqua	Normal e oblíqua
Precisão absoluta dos valores de orientação inicial	cm – dm	mm – m	cm – 10m
Tamanho dos blocos de número de varredura	10 - 1000	1 - 500	1 – 1000
	Escala em grandes áreas (Mapeamento, florestas, glaciologia, modelagem 3D de construções)	Objetos e áreas em pequena escala (arqueologia, modelagem 3D de edificações)	Áreas em pequenas e grandes escalas (documentação arqueológica, monitoramento de perigos, modelagem 3D de construções e objetos)
		Fotogrametria arquitetural e industrial	Aplicações em áreas inacessíveis e perigosas
	Visão aérea	Visão terrestre	Visão aérea
			Aplicação em tempo real (monitoramento)

Fonte: Eisenbeiß, 2009.

3.4.2 Classificação de VANTs

Conforme Bento (2008), devido à grande variedade de formatos, tamanhos e capacidade de aplicações dos VANTs que são encontrados atualmente, vários grupos propuseram a criação de um padrão de classificação para tais aeronaves. Assim, a Associação Europeia dos Sistemas de Veículos Aéreos Não Tripulados (EUROUVS) formou uma classificação, que não visa a utilização de tal classificação para certificação, mas sim para compilar um catálogo universal abrangendo todas as categorias de VANTs, parte dessa classificação mostrada no Quadro 3.

Quadro 3 - Classificação de VANTs

Categoria	Carga máxima de decolagem (kg)	Altura máxima de voo (m)	Autonomia de voo (h)	Alcance de data link (Km)
Micro	< 5	250	< 1	< 10
Mini	< 30	150-300	< 2	< 10

Fonte: Bento (2008)

3.5 Fotogrametria

Fotogrametria e Sensoriamento remoto, assim como é definido pelo Estatuto II da *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ISPRS), em português, Sociedade Internacional para Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, é a arte, ciência, e tecnologia de obter informação confiável de imagens sem o contato e outros sistemas de sensores sobre a Terra e seu ambiente, e outros objetos físicos de processos através da gravação, medição, análise e representação. Portanto, de acordo com essa definição, fotogrametria e o sensoriamento remoto podem apoiar estudos de aquisição de geoinformação.

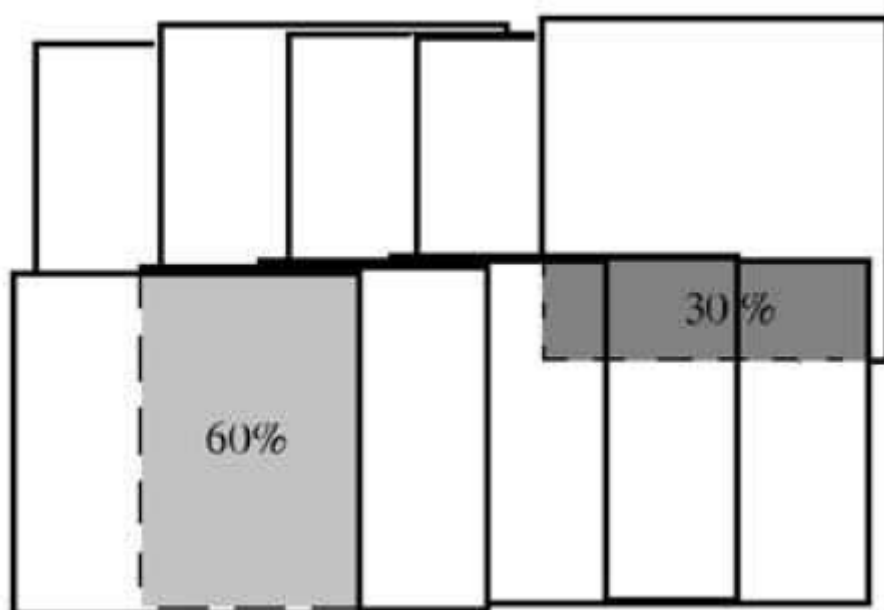
De acordo com Lazaridou e Patmios (2012), o planejamento e estudo de implantação de uma rede rodoviária requer diversos estudos da área em questão. A maior vantagem da fotogrametria no planejamento da rede, é que o conteúdo do produto final é formado por um grande número de informações qualitativas e quantitativas que são oferecidas para uso múltiplo. Deste modo, a fotogrametria, suas técnicas e produtos podem ser utilizados no estudo de reconhecimento, delimitando onde se localizará o corpo viário, estudo preliminar e final.

3.5.1 Mosaico Fotogramétrico

Conforme afirma Paredes (1987 apud ASP, 1963), mosaico é uma montagem de fotografias aéreas ajustadas sistematicamente umas às outras para formar uma vista composta de toda a área coberta por tais imagens. É conhecido como “mosaico não controlado” aquele que usa as fotografias originais, alterando somente a escala das imagens no momento de uni-las, sem a preocupação de retificá-la ou posicioná-la em relação ao terreno, ou seja, utilizar informações de coordenadas para fazer a montagem. Já o “mosaico controlado” necessita de fotos retificadas e posicionadas em relação ao ponto de referência pré-estabelecido, provido de um número suficiente de pontos de controle. E por último tem-se o “mosaico semicontrolado”, que é representado pelo seu conjunto de fotografias não retificadas, mas de escala homogênea ou vice-versa.

Coelho e Brito (2007) afirmam que para formação de tal mosaico, duas imagens adjacentes devem ter um recobrimento (área de superposição) nominal de 60% no sentido longitudinal, e no sentido transversal duas faixas de voo devem possuir recobrimento de 30%, como visto na Figura 8. É importante ressaltar que as taxas de sobreposição podem variar de acordo com a finalidade do levantamento fotogramétrico.

Figura 8 - Recobrimentos em um mosaico fotogramétrico

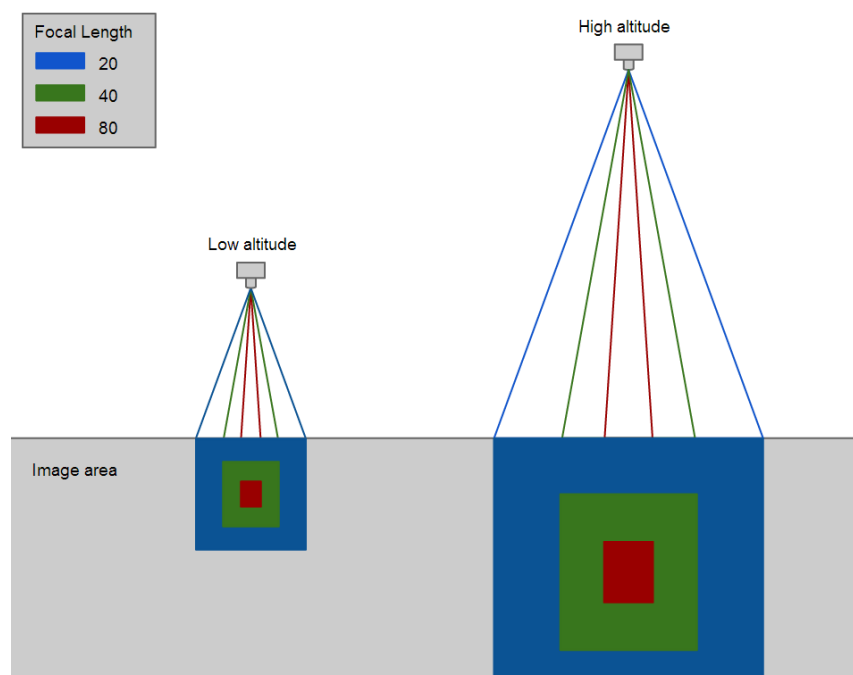


Fonte: Coelho e Brito (2007).

3.5.2 Distância de amostra do solo - GSD

GSD é uma sigla em inglês que significa Ground Sample Distance, na tradução literal significa “Distância de amostra do solo”, o GSD é a representação do pixel da imagem em unidades de terreno (geralmente em cm) (SILVA, 2016).

Figura 9 - GSD para diferentes altitudes



Fonte: <https://support.pix4d.com/>

A Figura 9 representa uma imagem aérea que está cobrindo uma determinada área do terreno. Nota-se que o pixel na imagem está representando uma porção equivalente do terreno. Esta relação se dá através da altura de voo, ou seja, a altura de voo tem relação direta com o tamanho do GSD, a altura de voo não é a única variável que influencia no tamanho do GSD, a distância focal (tamanho da lente) utilizada também exerce essa função (Pix4D, [entre 2012 e 2017]).

Na aerofotogrametria, o GSD é uma das variáveis mais importantes e é a primeira que deverá ser definida, ela garante a resolução espacial do seu mapeamento, ou seja, o nível de detalhamento. A escolha do GSD influencia diretamente na nitidez do seu mapeamento e na sua capacidade de mapeamento, pois, para aumentar o nível de detalhamento você deve sobrevoar mais baixo, com isso você irá cobrir uma porção menor do terreno, consequentemente mapeará uma área menor.

De maneira análoga para aumentar a sua capacidade de mapeamento deverá aumentar o tamanho do seu GSD e como consequência perderá detalhamento

(nitidez), com isso obtém-se uma relação: o tamanho do GSD é inversamente proporcional ao nível de detalhamento, ou seja, quanto maior o GSD, menor é o nível de detalhamento e quanto menor for o GSD, maior será o nível de detalhamento. Já em relação à capacidade de mapeamento esta relação é proporcional, quando maior o GSD, maior a área mapeamento, quanto menor o GSD, menor será a área mapeamento em um único voo.

3.6 Uso de drones na construção civil

Como apresentado por Resende et al. (2012), a busca por métodos de levantamento da condição dos pavimentos que permitam a melhoria e a sistematização dos métodos manuais tradicionais é recorrente. O uso de vídeo e imagens torna-se um instrumento valioso para alcançar tal objetivo. Desde 1982, estudos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Waterloo, USA, propõem a utilização de um sistema especialista para automação do levantamento de dados da condição dos pavimentos (HAAS et al., 1995) por meio de câmeras de vídeo montadas em veículos, e depois, as imagens são digitalizadas, processadas e classificadas. Fukuhara e col. (1990) propôs um sistema de levantamento da condição dos pavimentos automático que utiliza laser, vídeo e técnicas de processamento de imagens também sobre veículo terrestre, capaz de detectar e calcular diferentes parâmetros, tais como: comprimento, largura, direção, posição e número de trincas.

O avanço tecnológico de sensoriamento remoto vem conseguindo detectar propriedades dos materiais de forma a permitir utiliza-las para o monitoramento das condições de pavimentos asfálticos, em sua metodologia, Resende et al. (2012), afirmam que, são obtidas imagens hiperespectrais de um sensor digital aero embarcado, para em seguida, as imagens serem analisadas em duas etapas. A primeira, de forma híbrida, ou seja, inicialmente pixel a pixel e depois refinada por objetos com uso de algoritmos e softwares de computador, e a segunda etapa consiste em identificar e classificar as ocorrências dos principais defeitos que são observáveis nas imagens, esta última etapa faz uso intensivo das novas técnicas de classificação de imagens baseada em objetos. Para finalizar, o resultado, é a geração de índices que representam as condições da superfície do pavimento para que possam ser comparadas com os indicadores já normatizados no país.

Conforme dito por Zainuddin (2015), o uso de drones pode ser direcionado para atividades de inspeção dos tipos de mapeamento de área, progresso de trabalho,

inspeções de grandes estruturas e para localizar e identificar patologias e fissuras. Até mesmo estruturas relativamente insignificantes como lugares de passagem para pedestres requerem um cronograma de inspeção. Progressos nas áreas de inspeções visuais se deram devido ao também desenvolvimento do sensoriamento remoto e automação de processos. O uso de drones desperta um forte interesse em suas características de ser um portador de câmera e transmissor de imagens, podem seguir um caminho predeterminado ou mover-se de forma assistida com o controle visual do operador e detectar através de fotos ou vídeos, a localização e tamanho dos defeitos.

3.7 DJI Phantom 3 Advanced

O Phantom 3 (Figura 10) torna o voo extremamente intuitivo e fácil. Desde a decolagem até a aterrissagem, respondendo os comandos enquanto automaticamente lida com os aspectos mais complexos do voo seguro e estável. Para isso contém embutido em seu interior GPS e GLONASS (nome de um sistema de navegação global por satélite russo). Mantém-se no ar e move com bastante precisão, e conecta-se com satélites rapidamente, através do aplicativo DJI Go, é possível rastrear sua localização em um mapa ao vivo e gravar seu ponto de decolagem. Automaticamente registra a rota de voo completa, o tempo de voo, a distância de voo, a localização do voo e as versões em cache de quaisquer fotografias e vídeos tirados durante o voo estão à sua disposição para futura referência.

Figura 10 - Drone DJI Phantom 3 Advanced



Fonte: <http://www.dji.com>

Os sistemas contidos no Phantom estão constantemente auxiliando no voo, processam as informações de cada sensor e completa cálculos complexos em tempo real. Sua Unidade de Medição Inercial (IMU) possui um giroscópio de 6 eixos e um acelerômetro que registra e transmite mesmo as menores mudanças na inclinação e movimento. Está constantemente trabalhando, detectando as menores mudanças e compensando-as automaticamente.

A bateria de voo possui sensores embutidos e LEDs que permitem que se saiba o status e a energia restante de sua bateria em tempo real, possui autonomia média de 23 minutos de voo. O Phantom calcula continuamente a distância atual do operador e a quantidade de energia necessária para retornar, para que sempre saiba quanto tempo pode continuar voando e quando é hora de recarregar.

Os motores existentes permitem acelerar, aumentar ou diminuir rapidamente a altitude e parar imediatamente. Os mecanismos de travagem pneumática do DJI param o Phantom 3 instantaneamente, fazendo com que ele fique no lugar assim que soltar as barras de controlo. As hélices auto apertadas aerodinamicamente impulsionam o mesmo e permanecem firmemente no lugar. Cada motor é gerenciado individualmente pelos Controladores Eletrônicos de Velocidade (ESC). Os ESCs não apenas transmitem informações vitais de velocidade do motor para o Controlador Principal, eles também enviam comandos de volta para os motores com base nos comandos feitos. Esta comunicação constante mantém o drone estável em voo, e também ajuda a conseguir qualquer movimento de voo, desde deslocamentos suaves até aceleração rápida.

O controlador principal é o centro de controle do Phantom 3, coletando dados de todo o sistema, incluindo a velocidade do motor, a localização do GPS, suas entradas de comando e dados de sensores automáticos e analisa tudo para dizer ao Phantom exatamente como se comportar em qualquer momento.

O sistema automaticamente lembra o ponto em que ele decolou, e retorna e aterrissar com segurança no momento em que o botão de comando para retornar para casa é pressionado.

Embora o Phantom 3 Advanced seja um drone considerado de entrada da marca DJI, o mesmo se mostra bastante equipado para diversas aplicações, dentre elas para o mapeamento de áreas e levantamento de pavimentações.

4 EQUIPAMENTOS E METODOLOGIAS

Os materiais e métodos que serão utilizados no presente estudo, estão divididos entre aqueles que já são padronizados e usados de forma tradicional, regidos pelas normas vigentes no país, e os que fazem parte do foco deste estudo.

4.1 Material de marcação

Para marcação das áreas a serem inventariadas foram utilizados os seguintes itens, escolhidos de acordo com a disponibilidade:

- Tinta Acrílica Branca
- Pincel
- Trena de fibra de vidro com 50 metros

4.2 Área de estudo

A escolha do trecho foi baseada nas premissas de extensão de pavimento necessária para que se tenha uma amostragem considerável, de segurança do operador no sentido de se evitar acidentes envolvendo veículos como também material, de preservar os equipamentos contra possível furto.

O pavimento escolhido foi o do campus da Universidade Federal de Pernambuco - Campus Acadêmico do Agreste, localizada na rodovia BR-104, Km 59, s/n - Nova Caruaru, Caruaru – PE, por atender aos requisitos pré-estabelecidos de considerável extensão e proporcionar segurança. Através do Google Earth traçou-se o trecho a ser percorrido, como pode ser visto na Figura 11.

Figura 11 - Trecho a ser analisado



Fonte: Google Earth.

O mesmo possui uma extensão de 720 metros, que será dividida em 36 estacas de 20 metros de distância umas das outras.

4.3 Materiais e Procedimentos utilizados no Método do DNIT

Os materiais e métodos padronizados e descritos pela norma DNIT 006/2003 – PRO, Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos – Procedimento, são:

4.3.1 Materiais para levantamento de defeitos

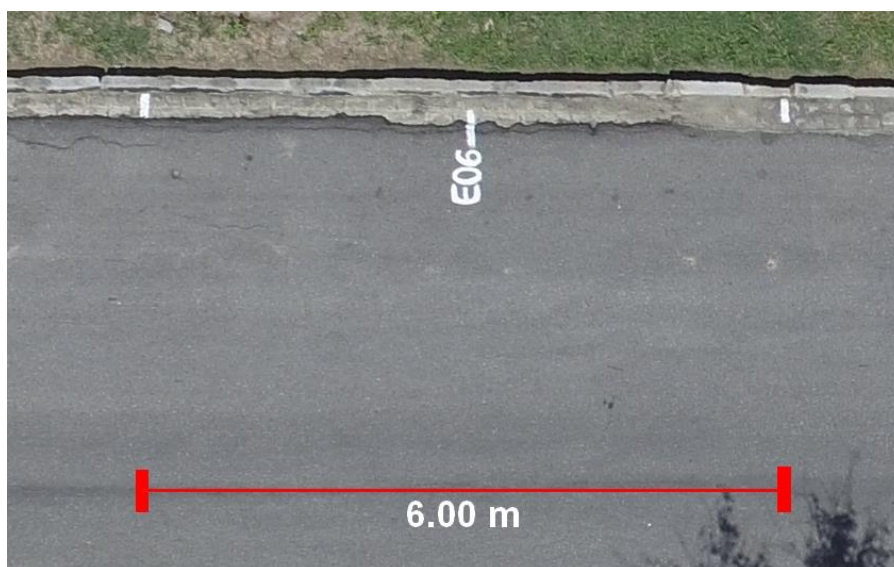
Para levantamento dos defeitos encontrados na superfície do pavimento foram utilizados os seguintes:

- Prancheta
- Caneta
- Formulário de Inventário do estado da superfície do pavimento (ANEXO A)
- Câmera para registro dos defeitos

4.3.2 Procedimento para avaliação objetiva DNIT-006 PRO

Primeiramente foi feita a demarcação das estações inventariadas, no caso de rodovias de pista simples, a cada 20m, alternando entre as faixas, deste modo, em cada faixa a cada 40 m. A superfície de avaliação corresponde a 3m antes e 3m após cada uma das estacas demarcadas, totalizando em cada estação uma área correspondente a 6m de extensão e largura igual à da faixa a ser avaliada. A marcação como foi feita, é mostrada na Figura 12.

Figura 12 - Divisão de estações para a pista Simples.



Fonte: Autor (2017)

Logo após, a extensão de pavimento a ser avaliada foi percorrida, em seguida registrou-se no formulário padronizado, os defeitos existentes nas áreas demarcadas, de acordo com a norma DNIT 005/2003-TER.

Assim, conclui-se a descrição do método que foi utilizado como referência, tradicional e regido pelas normas vigentes.

4.4 Equipamentos e Procedimentos para levantamento com drone

Serão listados a seguir os equipamentos, assim como programas e aplicativos, e em seguida a metodologia, que vieram a ser utilizados no levantamento de defeitos com o drone:

4.4.1 Equipamentos

➤ Phantom 3 Advanced

O drone utilizado no presente estudo é o Phantom 3 Advanced da marca DJI que possui as seguintes características:

- Peso do Drone: 1.3 Kg
- Velocidade Máxima
 - Subida: 5 m/s = 15 km/h
 - Descida: 3 m/s = 10,8 km/h
 - Movimentação: 16 m/s = 54,6 km/h
- Câmera
 - Resolução de Fotos: 12.4 Mega pixels
 - Lentes: FOV (Field Of View) 94° 20 mm (35 mm formato equivalente) f/2.8
 - Range da ISO: 100-3200 (vídeo), 100-1600 (foto)
 - Velocidade do Obturador: 8s -1/8000s
 - Tamanho máximo da imagem: 4000 x 3000
- Fotos em: JPEG, DNG
- Giroscópio de 6 eixos mais um acelerômetro para acompanhar a menor inclinação ou mudança de aceleração.
- Bateria Inteligente com autonomia para cerca de 23 minutos de voo, com sensores que permitem saber o estado da sua bateria em tempo real, assim sabe-se quanto tempo pode continuar voando e quando é hora de recarregar ou trocar pela reserva.
- Sistema de piloto automático Worry-Free.
- Auto Decolagem, o Phantom 3 irá ligar seus motores e subir a uma altura pré-definida.
- Auto Return Home: Quando o GPS está disponível, o Phantom 3 lembra o local exato que ele decolou.
- FAIL SAFE: Voo Inteligente se a bateria estiver baixa ou se o seu Phantom 3 perde a conexão com o controlador remoto, por qualquer motivo, a aeronave retornará automaticamente ao ponto de decolagem e pousará com segurança.

➤ Controladora

A controladora se refere ao conjunto composto por equipamento e software, responsável por receber os parâmetros definidos pelo operador e em seguida enviar a aeronave para que seja feita a atividade desejada.

Com controles sensíveis, botões dedicados e até 5 km de alcance, o controlador remoto do Phantom 3 é personalizável. Botões dedicados permitem tirar fotos e vídeo, inclinar a câmera, direcionar onde o Phantom voa, e trazê-lo de volta.

Permite o fluxo de vídeo extremamente rápido e de longa duração de sua câmera, o DJI Lightbridge é construído tanto no controle remoto quanto no Phantom 3. Estas duas partes trabalham em conjunto para garantir uma ligação contínua entre o operador e o drone. Poderosos sinais de comunicação possibilitam passagem através da maioria das interferências ambientais, fornecendo controle preciso e completo e informações da aeronave a grandes distâncias.

Para visualização das informações deve se acoplar um smartphone ou tablet ao controle remoto, com sistema operacional iOS ou Android (Figura 13).

Figura 13 - Controladora



Fonte: <http://www.dji.com>

➤ Altizure™

O aplicativo utilizado no levantamento foi o Everest Altizure™, um de muitos programas disponíveis para smartphones e tablets, com objetivo de captura de fotos de forma automática com fins de mapeamento, sendo este um freeware, ou seja, livre de custos, tem como função receber como parâmetro do operador uma área, neste caso a que será estudada, e traçar uma rota para que a aeronave a mapeie, tirando uma sequência de fotos de forma que haja sobreposição das mesmas, com o intuito de em seguida formar uma só imagem que represente toda a área a ser analisada.

➤ Autodesk® ReCap™

Programa da Autodesk® ReCap™ com a finalidade de, através das imagens obtidas com o drone e com as informações de posicionamento global que cada uma dessas imagens possuem, formar um mosaico ou, uma única imagem de grande resolução e que contém a informação de todas as outras imagens.

4.4.2 Procedimento para avaliação com uso de drone

Análoga a metodologia aplicada de acordo com a norma do DNIT 006/2003 – PRO, utilizou-se as estações ao longo da via e as áreas a serem analisadas, em seguida, foi realizado o plano de voo no aplicativo Altizure, contendo a altitude, o percurso, a área total em que se insere a via a ser analisada, a velocidade da aeronave e a porcentagem de sobreposição de imagens, a partir dos critérios definidos nos seguintes itens.

➤ **Escolha da altitude**

Para a escolha da altitude utilizou-se como considerações:

- O método GSD
- Largura média de defeitos
- Especificações da câmera utilizada

O GSD que deseja se obter é relativo a menor dimensão de um dos menores defeitos que possa vir a ocorrer, a fissura, que possui largura média entre 0,5 e 1,0 centímetros.

A empresa Pix4D®, disponibiliza uma planilha de cálculo (Figura 14) para saber qual a altitude deve ser alcançada para que se obtenha um desejado GSD,

necessitando somente que o operador entre com os dados técnicos referente a câmera utilizada no levantamento, no presente trabalho a câmera usada é a montada de fábrica no drone Phantom 3 Advanced, com suas especificações listadas no Quadro 4.

Quadro 4 - Informações a serem inseridas na planilha

Phantom 3 Advanced – Especificações da câmera	
Largura do sensor (Sw)	6,17 mm
Distância Focal (Fr)	3,57 mm
Largura da imagem (pixels)	4000
Altura da imagem (pixels)	3000
GSD desejado	0,5 – 1,0 cm/pixel

Fonte: DJI

Além dessas informações, é inserida na planilha uma altitude “genérica” visando saber qual o GSD referente a mesma com as especificações desta câmera, em seguida, vai se alterando a altitude até que se alcance o GSD desejado.

Figura 14 - Planilha de cálculo de GSD

PIX4D

GROUND SAMPLING DISTANCE CALCULATOR

Instructions

1. Enter the Sensor Width (millimeters) in cell C14
2. Enter the Focal Length (millimeters) in cell C15 (real focal length, not 35 mm equivalent)
3. Enter the Flight Height (meters) in cell C16
4. Enter the Image Width (pixels) in cell C17
5. [Optional] Enter the Image Height (pixels) in cell C18
6. Hit Enter

Calculator

Sw	13.125	= the sensor width of the camera (millimeters)
Fr	15.4	= the focal length of the camera (millimeters)
H	100	= the flight height (meters)
imW	4608	= the image width (pixels)
imH	3456	= the image height (pixels)
GSD	1.85	= Ground Sampling Distance (centimeters/pixel)
Dw	85	= width of single image footprint on the ground (meters)
DH	64	= height of single image footprint on the ground (meters)

The diagram illustrates the geometry of a camera's field of view. It shows a vertical line representing the optical axis. At the top, a horizontal line represents the sensor width (Sw). A point on the axis represents the camera's focal point, with the distance from the sensor to this point labeled as the focal length (Fr). Below the focal point, a larger horizontal line represents the ground footprint width (Dw). The distance from the camera to the ground is labeled as the flight height (H). The diagram uses similar triangles to show the relationship between these variables.

Dw = The footprint width / distance covered on the ground by one image in width direction

www.pix4d.com

Fonte: Pix4D.

➤ Levantamento

Após serem definidos o GSD e a altitude, têm-se os parâmetros necessários para serem inseridos no programa Altizure (Figura 15), a fim de que o levantamento de imagens seja feito.

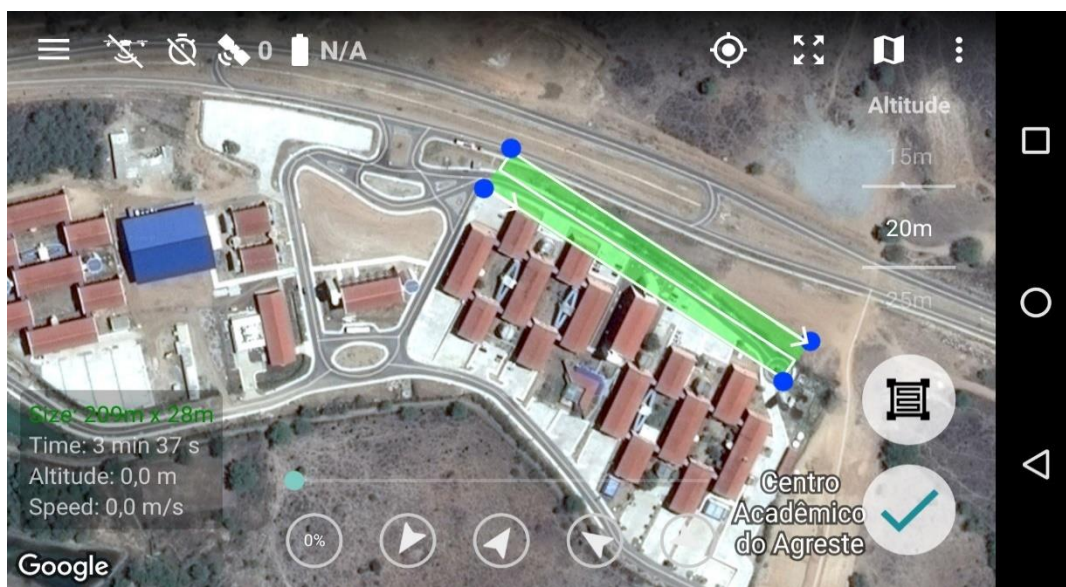
Figura 15 - Interface do Programa Altizure



Fonte: Autor (2017)

A área selecionada para o mapeamento poderia ser da forma como vista na Figura 15, contendo o trecho de pavimento a ser levantado, porém devido a limitação deste freeware em demarcar a área com um retângulo (pode ter suas dimensões alteradas mas sempre mantendo a forma de um retângulo), como também pode ser observado, foi mapeado uma grande área que não é de interesse do estudo, assim, decidiu-se dividir a região em 5 menores áreas de acordo com a Figura 16, diminuindo o tempo de voo, consumo de bateria, de fotos e de espaço na memória.

Figura 16 - Área 1



Fonte: Autor (2017)

As demais áreas seguiram o mesmo padrão, como mostrado na Figura 17.

Figura 17 - Áreas 2 a 5



Fonte: Autor (2017)

A seguir foi dado o comando para a aeronave iniciar o procedimento de obtenção de imagens. Ao fim do percurso a aeronave volta a posição inicial, para que se possa ter acesso as imagens e copiá-las para o computador ou sistema de armazenamento.

Com as imagens em mãos, foi utilizado o programa Autodesk® ReCap™ (Figura 18) para que o mosaico das imagens fosse criado, utilizou-se esse mosaico para a identificação e análise de defeitos no pavimento.

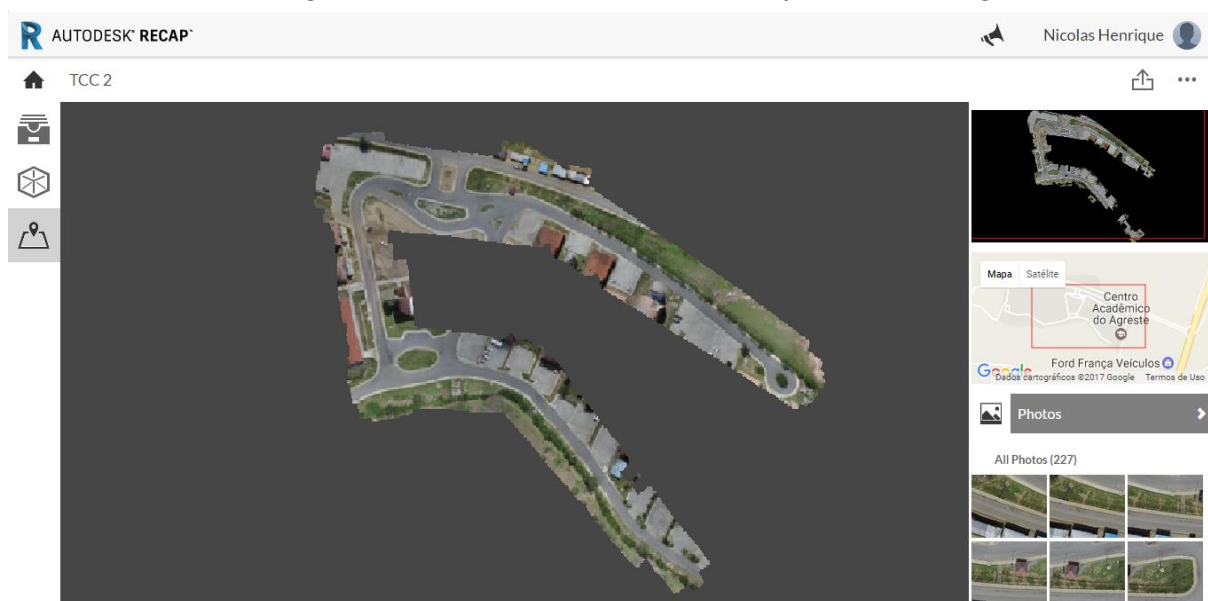
Figura 18 - Recorte da plataforma ReCap



Fonte: Autodesk® (2017)

Depois que as imagens são lançadas no aplicativo, elas serão processadas e organizadas de modo a formar o ortomosaico, utilizado para identificação de possíveis defeitos no pavimento, mostrado na Figura 19.

Figura 19 - Ortomosaico formado a partir das imagens



Fonte: Autodesk® (2017)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao serem finalizadas as duas formas de levantamento, os seguintes critérios foram utilizados para efeito de comparação:

- Eficiência
 - Quão próxima aos tipos de defeitos levantados da forma tradicional que é possível inventariar utilizando o drone, como também quantidade.
- Tempo
 - Tempo total para fazer o levantamento de todo o trecho de pavimento
- Custo
 - Custo dos equipamentos utilizados nos dois métodos
- Praticidade
- Risco

Será apresentado em formato comparativo, de modo a analisar a viabilidade de implantação do uso de drones na avaliação de pavimentos. Evidentemente que o método que apresente melhor precisão no resultado é o que mais contribui no processo de avaliação, fornecendo maior detalhamento das condições reais do pavimento. Entretanto, em muitos casos os recursos são limitados e o custo para implantação de um determinado método se torna inviável, pois não é interessante ter custos elevados no processo de avaliação. Há também, alguns casos onde se deseja apenas obter um diagnóstico prévio e imediato das rodovias, inviabilizando alternativas que exigem um maior tempo de realização.

5.1 GSD e Altitude adotada

Como pode ser observado na Figura 20, a altitude utilizada foi de 20 m, com um GSD de 0,86 cm/pixel, ou seja, cada pixel da imagem representará 0,86 cm do terreno.

Figura 20 – Planilha de Obtenção do GSD

PIX4D

GROUND SAMPLING DISTANCE CALCULATOR

Instructions

1. Enter the Sensor Width (millimeters) in cell C14
2. Enter the Focal Length (millimeters) in cell C15 (real focal length, not 35 mm equivalent)
3. Enter the Flight Height (meters) in cell C16
4. Enter the Image Width (pixels) in cell C17
5. [Optional] Enter the Image Height (pixels) in cell C18
6. Hit Enter

Calculator		
Sw	6,17	= the sensor width of the camera (millimeters)
Fr	3,57	= the focal length of the camera (millimeters)
H	20	= the flight height (meters)
imW	4000	= the image width (pixels)
imH	3000	= the image height (pixels)
GSD	0,86	= Ground Sampling Distance (centimeters/pixel)
Dw	35	= width of single image footprint on the ground (meters)
DH	26	= height of single image footprint on the ground (meters)

The diagram illustrates the geometry of a camera's field of view. It shows a camera at a flight height H above the ground. The sensor width is Sw , and the focal length is Fr . The ground footprint width is Dw . The diagram is a right-angled triangle with vertices at the camera center, the ground center, and the ground edge.

Fonte: Pix4D®

5.2 Eficiência e Tipos de defeitos levantados

5.2.1 Forma tradicional

Devido à proximidade que o avaliador, se encontra do pavimento, não houve dificuldades em identificar quaisquer defeitos que vieram a existir, observou-se um total de 45 defeitos ao longo de todo o trecho através desse método, o formulário referente ao inventário do estado da superfície do pavimento encontra-se no “ANEXO B” deste trabalho. Foram identificados os seguintes defeitos:

- Trincas
 - Fissura (Figura 21)

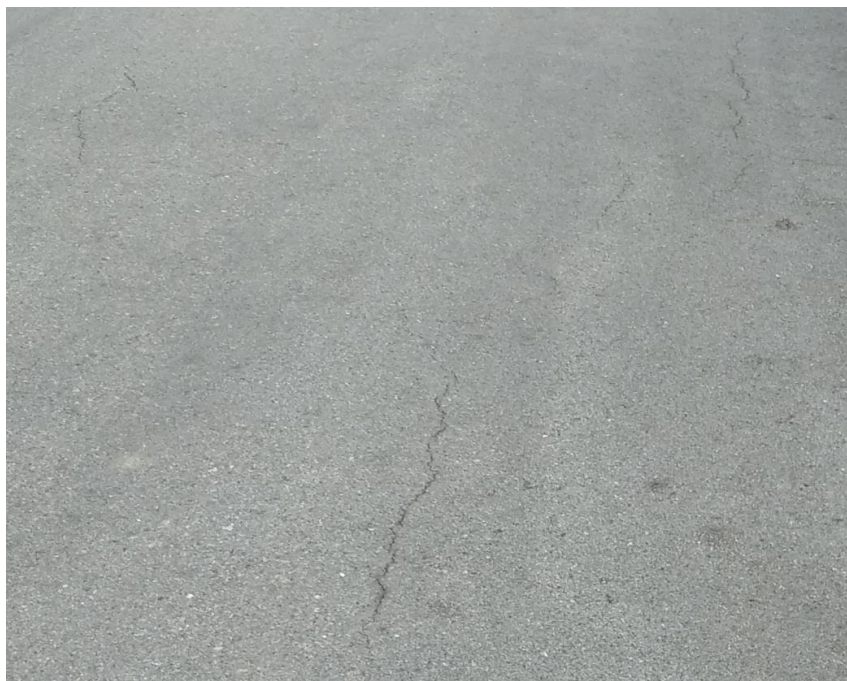
Figura 21 - Fissura encontrada na estação 29



Fonte: Autor (2017).

- Longitudinais Curtas e Longas (Figura 22)

Figura 22 - Trincas Longitudinais encontradas na estação 03



Fonte: Autor (2017).

- Transversais Curtas e Longas (Figura 23)

Figura 23 - Trincas transversais encontradas na estação 01



Fonte: Autor (2017).

- Painela (Figura 24)

Figura 24 - Painela encontrada na estação 30



Fonte: Autor (2017).

- Desgaste (Figura 25)

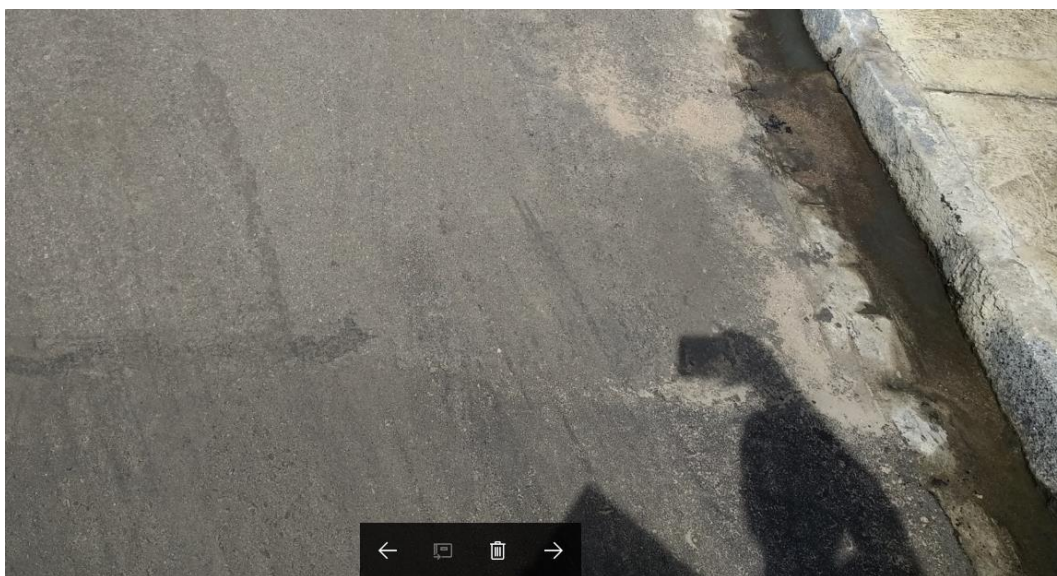
Figura 25 - Desgaste na estação 04 e 06



Fonte: Autor (2017)

- Remendo (Figura 26)

Figura 26 - Remendo encontrado na estação 15.



Fonte: Autor (2017).

5.2.2 Método utilizando o Drone

Com os critérios adotados de GSD, altitude e cobrimento longitudinal e lateral, em conjunto com as limitações de resolução da câmera montada no drone e suas características, fazem com que a análise do pavimento em busca de defeitos acabe por ser uma tarefa não totalmente completa, somados a outros fatores como sombras de objetos próximos ao pavimento, como de árvores, interferem na análise. Observou-se um total de 33 defeitos na superfície de todo o pavimento através desse método, o

formulário referente ao inventário do estado da superfície do pavimento encontra-se no “ANEXO C” deste trabalho. Os defeitos encontrados foram:

- Trincas
 - Longitudinal curta e longa (Figura 27)

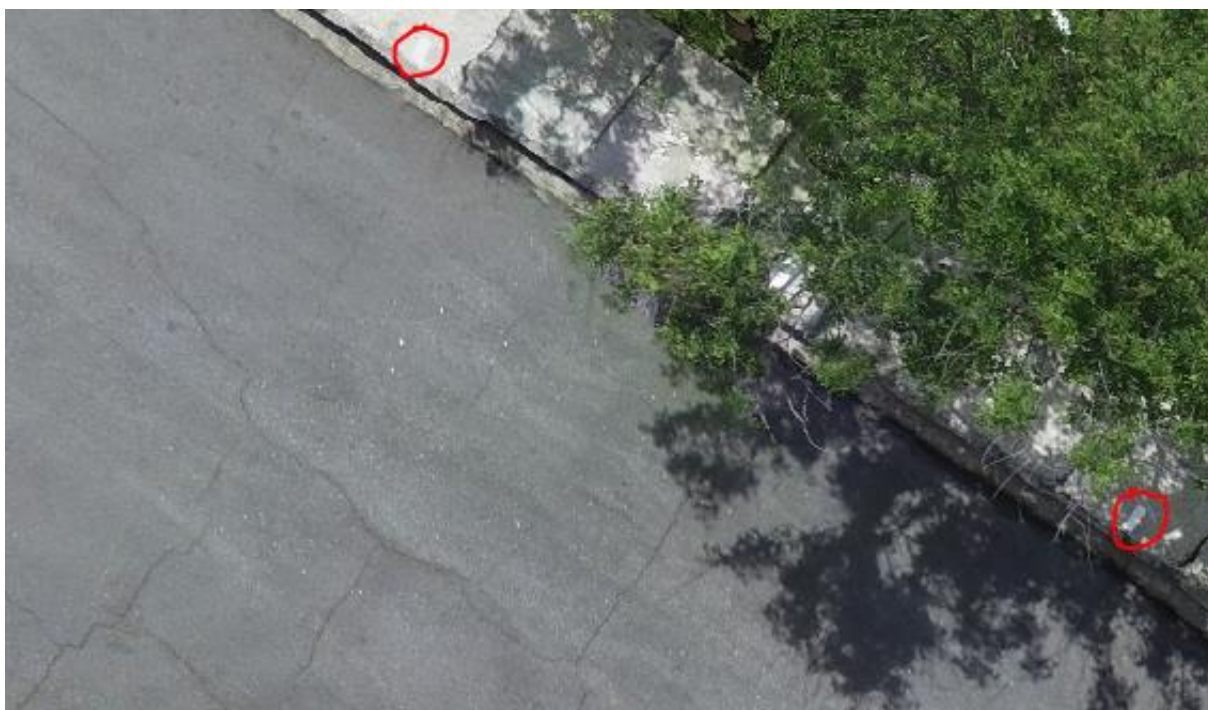
Figura 27 - Trinca longitudinal (Observada a partir do drone)



Fonte: Autor (2017)

- Transversal curta e longa (Figura 28)

Figura 28 - Trinca transversal (Observada a partir do drone)



Fonte: Autor (2017)

- Panela (Figura 29)

Figura 29 - Panela (Observada a partir do drone)



Fonte: Autor (2017)

- Desgaste (Figura 30)

Figura 30 - Desgaste (Observado a partir do drone)



Fonte: Autor (2017)

- Remendo (Figura 31)

Figura 31 - Remendo (Observado a partir do drone)



Fonte: Autor (2017)

5.3 Tempo

5.3.1 Forma tradicional

Percorrer todo o pavimento a pé e inventariar os possíveis defeitos no mesmo levou aproximadamente 59 minutos.

5.3.2 Método utilizando o Drone

O tempo em campo utilizado para o levantamento destinou-se somente a posicionar o drone, ligá-lo, dar o comando de iniciar a captura de imagens e por fim guardá-lo novamente, o que delongou em torno de 9 minutos. Para inventariar todo o trecho de pavimento designado observando os defeitos que viessem a existir, levou em torno de 15 minutos, de tal modo que tomou um total de 24 minutos para que toda a análise fosse feita. O tempo em que as imagens recolhidas foram analisadas e organizadas de forma a criar o mosaico para avaliação não foi contabilizado, devido a isso ser um processo automático, deixando assim o técnico responsável pela análise livre para realizar outras tarefas.

5.4 Custos

5.4.1 Forma tradicional

Os custos para realização do levantamento do pavimento através do método preconizado na norma do DNIT – PRO 006, são considerados baixíssimos, isso porque os equipamentos e materiais a serem empregados são de preço irrisório, como formulários de inventário, canetas, pranchetas e etc.

5.4.2 Método utilizando o Drone

Pode ser realizado por equipe bem menor se comparada com a da forma tradicional, necessários somente o operador do drone, e técnico responsável por reconhecer possíveis defeitos nas imagens, dependendo do caso admite-se que seja a mesma pessoa a fazer todo o trabalho. Porém o custo de implantação, de compra de equipamento acaba sendo bem alto inicialmente, o preço do Phantom 3 Advanced no mercado (inclui controle remoto e uma bateria) gira em torno de R\$5000,00 (cinco mil reais), sendo necessário também um aparelho celular ou tablet compatível com os programas utilizados e um computador para gerar o mosaico e analisar as imagens.

5.5 Praticidade

5.5.1 Forma tradicional

Foi necessário percorrer todo o trajeto a pé, analisando todas as estações e registrando os defeitos, caso esses fossem encontrados.

5.5.2 Método utilizando o Drone

Com o drone somente foi preciso ativá-lo numa área próxima à do pavimento, aguardar que seja feita a tomada de fotos aéreas e por fim recolhê-lo, a partir disso, toda a análise da superfície asfáltica foi realizada no computador.

5.6 Risco

5.6.1 Forma tradicional

Sendo uma atividade feita durante o dia, ao avaliar o pavimento, fica-se sujeito as condições do ambiente, como exposição prolongada a luz do sol, gerando riscos a própria saúde. Como também a proximidade com o tráfego de veículos aumenta as chances de se envolver em acidentes.

5.6.2 Método utilizando o Drone

O risco de saúde e de vida para avaliar o pavimento pode ser considerado nulo, devido a possibilidade de aguardar o drone fazer a tomada de fotos de forma autônoma a partir de uma área coberta e que esteja a uma distância segura do tráfego, a análise é feita em um computador, também em local seguro e coberto.

5.7 Quadro Comparativo

Como observado através do Quadro 5, a utilização do drone como ferramenta acarretou em um aumento na praticidade e diminuição no tempo e risco no monitoramento das condições do pavimento, entretanto nem todos os defeitos que foram observados ao percorrer o pavimento, de acordo com a norma do DNIT 006/2003, puderam ser identificados através do ortomosaico gerado, devido às limitações da câmera existente na aeronave, entre outros fatores tais como a projeção de sombras de árvores próximas ao pavimento, além do alto custo de implementação. O drone deve ser utilizado como ferramenta auxiliar, não dispensando a forma de análise padrão e normatizada no país, mas sim, complementando-a.

Quadro 5 - Comparativo entre os métodos

Critério	Tradicional (PRO 006)	Drone
Tempo	59 minutos	24 minutos (Quase 2,5 vezes mais rápido)
Eficiência	Todos os defeitos que vieram a existir, foram contabilizados. 100% dos defeitos registrados.	Nem todos os defeitos conseguiram ser observados. 73% dos defeitos registrados.
Custo	Baixo com relação a aquisição de equipamentos.	Investimento inicial alto com relação a aquisição do equipamento (Drone), celular ou tablet e computador.
Praticidade	Pouco prático, precisando que seja realizado o levantamento a pé ao longo de todo o trecho, demandando muita energia e tempo.	Bastante prático, já que somente é necessário configurar e enviar o drone, recolher o mesmo e analisar as imagens obtidas em um computador.
Risco	Risco de saúde devido ao elevado tempo de exposição solar. Risco de vida com a proximidade do local de tráfego de veículos.	Risco de saúde e vida considerado nulo, devido a não haver necessidade de se estar exposto ao sol, realizando a avaliação do pavimento em um local seguro.

Fonte: Autor (2017)

6 CONCLUSÃO

A evolução nas formas de obtenção de imagens, que as câmeras atualmente propiciam, tanto no detalhamento como nas informações, contidas nestas imagens, de posicionamento e etc., aumentam a quantidade de ferramentas disponíveis para as atividades de monitoramento, neste caso, de pavimentação asfáltica.

De acordo com as pesquisas realizadas ao longo dos anos, existe grande potencial no uso de imagens obtidas de forma automatizadas, e que esse potencial vem crescendo com o tempo, como também a necessidade de aumentar a eficiência e velocidade de análise, através desse conjunto.

O drone utilizado no presente trabalho foi lançado no mercado no ano de 2015, mesmo na época não era o mais bem equipado ou considerado topo da categoria. Atualmente, existem drones, que além de serem mais recentes, com câmeras mais robustas, profissionais, montadas em seu corpo, de resoluções maiores, com sensores modernos capazes de realizar análises minuciosas, além de resistência e velocidades maiores, como também duração de bateria elevadas. Mesmo assim foi possível ter uma noção do potencial destes equipamentos.

Como foi visto, foi alcançado um percentual de 73% (forma tradicional usada como referência) de defeitos observados com o uso do drone, isso com velocidade, praticidade e segurança. Com a desvantagem de alto custo de implementação comparado com a forma tradicional.

Conclui-se ainda que a forma de análise de defeitos de pavimento asfáltico que é empregada no país, mesmo servindo ao propósito de forma plena, pode ser aprimorada com o uso dessas novas ferramentas. Fazendo necessário assim, que haja continuidade nos investimentos nesta área, com estudos para que se desenvolva viabilidade e eventualmente a implementação plena.

REFERÊNCIAS

BENTO, Maria de Fátima. **Unmanned aerial vehicles: an overview**. Inside GNSS, v. 3, n. 1, p. 54-61, 2008.

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobrás: ABEDA, v. 504, 2006. cap. 9.

COELHO, Luiz; BRITO, Jorge Nunes. **Fotogrametria digital**. EDUERJ, 2007.

Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. **Catálogo das deteriorações dos pavimentos**. Porto Alegre, 1978.

DNIT. **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos – Procedimento, NORMA DNIT 006/2003 – TER**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ, 2003.

DNIT. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos – Terminologia, NORMA DNIT 005/2003 – TER**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ, 2003.

DNIT. **Manual de Pavimentação**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. 2ª Edição. Editado pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR). Ministério dos Transportes, Brasil, 2006.

DNIT. **Sistema Nacional de Viação**. Disponível em: <
https://www.dnit.gov.br/sistema-nacional-de-viacao/sistema-nacional-de-viacao/snv2016_07.xls>, 2016. Acesso em: 14 ago. 2016, 08:53:30.

EISENBEIß, Henri. **UAV photogrammetry**. 2009. Tese de Doutorado.

FUKUHARA, Toshihiko et al. **Automatic pavement-distress-survey system**. Journal of Transportation Engineering, v. 116, n. 3, p. 280-286, 1990.

HAAS, C., SHEN, H., PHANG, W. A., HAAS, R. **An expert system for automation of pavement condition inventory data**, 1st North American Pavement Management Conference, 1995.

International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. **STATUTES**, 2004.

LAZARIDOU, M. A.; PATMIOS, E. N. **Photogrammetry–Remote Sensing And Geoinformation**. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. 39, p. B6, 2012.

MACHADO, Denise Maria Camargo. **Avaliação de normas de identificação de defeitos para fins de gerência de pavimentos flexíveis**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2013.

MEDINA, Jacques de; MOTTA, Laura Maria Goretti da. **Mecânica dos pavimentos**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, v. 23, 1997.

PAREDES, E. A. **Introdução à aerofotogrametria para engenheiros**. Maringá/PR, CNPq. 1987. 493pp

PIX4D. **Ground Sampling Distance (GSD)**. Disponível em: <<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202559809-Ground-Sampling-Distance-GSD-#qsc.tab=0>> , [entre 2012 e 2017]. Acesso em: 13 jul. 2017, 10:03:00.

QUARITSCH, Markus et al. **Collaborative microdrones: applications and research challenges**. In: Proceedings of the 2nd International Conference on Autonomic Computing and Communication Systems. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), 2008. p. 38.

RESENDE, Marcos Ribeiro; BERNUCCI, LIEDI LÉGI BARIANNI; QUINTANILHA, Jose Alberto. **Classificação híbrida: Pixel a pixel e baseada em objetos para o monitoramento da condição da superfície dos pavimentos rodoviários**. Boletim de ciências geodésicas, v. 18, n. 3, 2012.

SILVA, Manoel Neto. **GSD, o que é isso?** Disponível em: <<http://blog.droneng.com.br/gsd/>>, 2016. Acesso em: 13 jul. 2017, 10:06:00.

TÉCHNE. **Selagem asfáltica de fissuras de pavimentos.** Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/110/artigo286007-1.aspx>>, 2006. Acesso em: 13 jul. 2017, 09:31:00.

ZAINUDDIN, Adam Zakwan. **Application of Drone in Visual Inspection for Construction Project.** 2015. Tese de Doutorado. UMP.

ANEXO A – Inventário do estado da superfície do pavimento

ESTACA	OU km	SEÇÃO TERRAP	OK	FC-1							FC-2		FC-3		EB	FLECHAS			TRINÇAS REFLEXÕES			ACOSTAMENTO													
				F1 (1)	TTC (1)	TTL (1)	TLC (1)	TLL (1)	TRR (1)	J (2)	TB (2)	JE (3)	TBE (3)	ALP (4)		ATP (4)	O (5)	P (5)	Ex (6)	D (7)	R (8)	ALC (9)	ATC	TRI	TER	TRL	LADO	DESINV.	LARG.	PAVIMENTO TIPO	ESTADO DE CONSERV.				
	1																																		
	2																																		
	3																																		
	4																																		
	5																																		
	6																																		
	7																																		
	8																																		
	9																																		
	10																																		
	11																																		
	12																																		
	13																																		
	14																																		
	15																																		
	16																																		
	17																																		
	18																																		
	19																																		
	20																																		
	21																																		
	22																																		
	23																																		
	24																																		
	25																																		
	26																																		
	27																																		
	28																																		
	29																																		
	30																																		
	31																																		
	32																																		
	33																																		
	34																																		
	35																																		
	36																																		
RODOVIA SUBTRECHO SEGMENTO														INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																					

ANEXO B – Formulário preenchido através de avaliação tradicional

[illegible]

[illegible]