

Veículos Aéreos Não Tripulados como Sensores Remotos Auxiliando na Detecção de Defeitos em Pavimentos

Luiz Henrique Castelo Branco ¹

Paulo César Lima Segantine ²

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP
Ramal de Acesso Eng. Heitor de Souza Pinheiro, s/n – CEP 14.801-600 – Araraquara, SP, Brasil
luiz.branco@ifsp.edu.br

² Departamento de Transportes – Escola de Engenharia de São Carlos - USP/EESC/STT
Av. Trabalhador São Carlense, 400 - Centro - CEP: 13566-590 - São Carlos, SP, Brasil
seganta@sc.usp.br

Abstract. The proposed construction of unmanned aircraft for various applications came initially from military needs, aiming at the execution of air missions that offered risk to human life. With technological advances in the areas of data processing and miniaturization of electronic components over the last two decades, numerous applications not only military Unmanned Aerial Vehicles - UAVs (Unmanned Aerial Vehicles - UAVs) have been developed around the world, with growing the number of projects currently. Several articles related to the use and applications of UAVs can be found in the literature, however, its use specifically for achieving results related to the management, conservation and quality of roads are still scarce. However, this paper proposes to achieve important results for both transport and computer science areas where it will deliver real and tangible results of the use of UAVs as a tool for support the preservation and maintenance of highways.

Palavras-chave: VANTs, processamento de imagens, defeitos de pavimentos asfálticos.

1. Introdução

A preservação e o monitoramento de rodovias é algo de grande importância principalmente quando se fala em um país como o Brasil de grande extensão geográfica. Estradas estão, cada vez mais, apresentando situações emergenciais de manutenção, principalmente, em regiões de difícil acesso e em locais bastante distantes.

Do ponto de vista do usuário, o estado da superfície do pavimento é o mais importante, pois os defeitos ou irregularidades nessa superfície são percebidos uma vez que afetam tanto seu conforto quanto eleva seus custos operacionais relacionados às peças de manutenção dos veículos, ao consumo de combustível, de pneus e entre outros. Além disso, as condições precárias de uma rodovia podem implicar em acidentes, colocando assim em risco a vida de seres humanos.

A utilização de técnicas tradicionais de trabalho em campo, ou até mesmo de veículos terrestres para a detecção da qualidade das rodovias é algo que demanda muito tempo e um alto custo. Desse modo, o uso de tecnologias modernas que permitam monitorar as condições dessas rodovias e atuar de forma mais eficiente na recuperação dessas rodovias constitui tarefa importante.

Partindo-se dessa realidade vivenciada nos dias de hoje, almeja-se com essa pesquisa prover um método mais eficaz e de baixo custo na conservação de rodovias utilizando Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs).

2. Metodologia de Trabalho

A partir do conhecimento dos defeitos e da forma da classificação dos mesmos é possível determinar um processo automático que permita tanto a classificação quanto a determinação do nível de defeito. Para esse monitoramento das condições do pavimento de rodovias fez-se uso imagens de alta resolução obtidas por meio de um VANTs de pequeno porte, e do desenvolvimento de um método automatizado que permite gerar essas informações de forma mais rápida, detalhada e com menor custo.

Esta pesquisa dividiu-se em 3 etapas: (i) definição do VANT, (ii) aquisição das imagens e (iii) processamento de imagens.

A primeira, trata da escolha e da definição do tipo mais adequado de VANT a ser utilizado para esse tipo de missão. Nesta etapa, diferentes tipos de VANTs foram avaliados, tanto de asa fixa quanto de asa rotativa, optando-se pelo de asa fixa em detrimento ao de asa rotativa em função das características que vêm ao encontro das necessidades deste tipo de missão de levantamento das condições de conservação das rodovias. O equipamento utilizado nesta pesquisa foi o VANT eBee (SenseFly, 2014), ilustrado na Figura 1.



Figura 1. eBee – o VANT utilizado na pesquisa

O eBee é um VANT elétrico, de pequeno porte, e uma das características importante desse equipamento é que ele é lançado a mão e faz o pouso automaticamente, sem auxílio de um piloto em solo.

Camera Canon - S110		
Características Técnicas	Resolução	16 MP
	Lente focal equivalente a 35mm	24mm
	Altitude de voo (4cm/px GSD)	115m
	Sensor de tamanho	7,44X5,58 mm
	Formato da Imagem	JPEG e RAW
	Configuração	Totalmente configurável
	Tempo de voo	40 minutos
	Modelos disponíveis	RGB e NIR
	Aplicações	Todas as aplicações, até as com baixa luminosidade ou com ventos.



Figura 2. Câmera Canon S110 utilizada para obter as imagens

A aquisição das imagens no VANT eBee foi feita por uma câmera a ele integrada, sendo esta de pequeno formato conforme ilustrado na Figura 2, automática, denominada Canon S110, não métrica, com auto-focagem e ajuste de abertura de velocidade, que é desligado durante a decolagem e o pouso para proteção da câmera.

Na segunda etapa, determina-se as áreas e trechos pavimentados que serão sobrevoadas e a definição dos parâmetros para o planejamento de cada uma das missões de voos com o VANT. Para a validação das próximas etapas, foram selecionadas áreas (amostras) com essas principais características de pavimentos: diferentes tipos de pavimentos, idades, defeitos e camadas de rolamento. Essas áreas são apresentadas por meio de cinco missões realizadas e ilustradas na Figura 3.

O processo de aquisição das imagens engloba um conjunto de ações pré-programadas de maneira a diminuir o risco das imagens saírem desfocadas devido a vibração e turbulência ou ainda fatores relacionados com o clima.

Em relação a missão foram definidos alguns parâmetros iniciais para aquisição das imagens, tais como: distância focal 6mm, recobrimento vertical 60%; recobrimento horizontal 70%, tipo de área: *Polygonal*; tipo de missão: Mosaico, resolução: 4cm, altitude de Voo: 130m, velocidade: 10m/s e tempo de aquisição: 7,5s.

A terceira, e última etapa, constitui a aplicação de técnicas de processamento de imagens e aprendizado de máquina nas imagens obtidas pelo VANT para a extração das características específicas dos defeitos nos pavimentos e, posteriormente, a detecção automática dos defeitos e geração de relatórios gerenciais por meio das imagens.

O primeiro passo para que se possa utilizar um conjunto de imagens de alta resolução para auxiliar na identificação automática de defeitos em pavimentos é a especificação de etapas bem definidas. Desse modo, propõem-se uma metodologia, denominada MaNIAC-UAV (*Methodology for Asphalt Automatic Characterization – using Unmanned Aerial Vehicles*), cujo objetivo é permitir que o processo de obtenção da identificação dos defeitos seja feito de modo estruturado e claro. Na Figura 4 é ilustrada uma visão geral da MaNIAC-UAV.

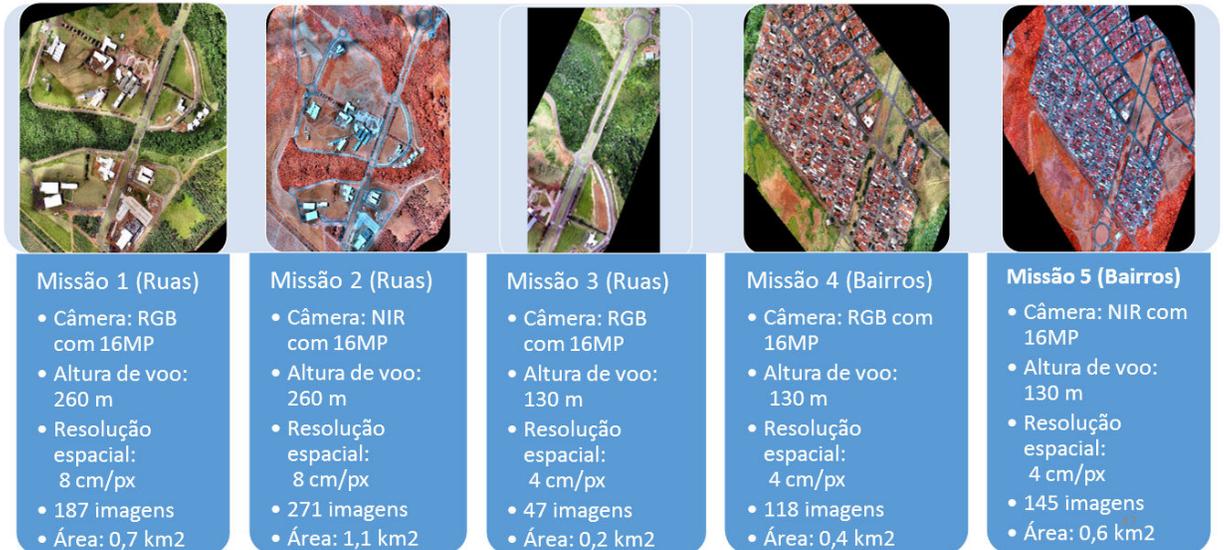


Figura 3. Missões realizadas com o eBee

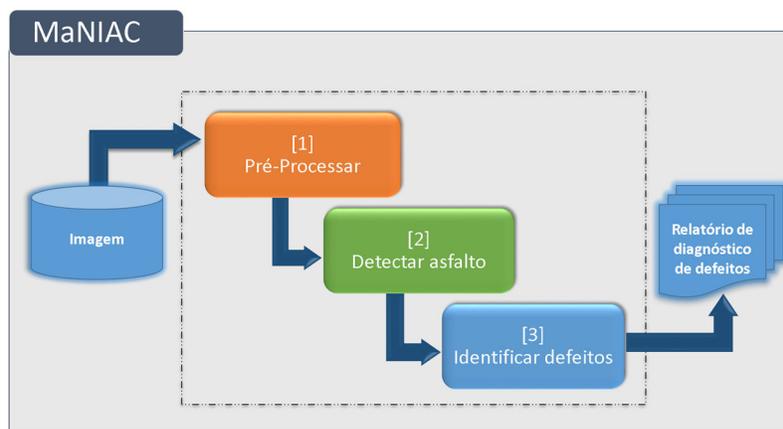


Figura 4. MANIAC-UAV – Macro visão.

Como pode ser observado, a metodologia divide-se basicamente em três processos, o de Pré-Processar, o de Detectar Asfalto e o de Identificar Defeitos. Como entrada tem-se as imagens obtidas por VANTs e como saída o relatório dos defeitos encontrados com base na norma DNIT 005/2003 – TER (DNIT, 2003).

Inicialmente o processo de **Pré-Processar** refere-se ao processamento inicial dos dados brutos que permite a calibração radiométrica da imagem, a correção de distorções geométricas e a remoção de ruído. Com esse pré-processamento objetiva-se melhorar a qualidade da imagem, permitindo que os objetos presentes na imagem sejam melhor discriminados. Um detalhamento deste processo é apresentado na Figura 5.

O segundo processo, **Detectar Asfalto**, tem como objetivo a classificação das imagens obtidas. Essa classificação é feita por meio de SIG (Sistema de Informações Geográficas). Nesse

SIG são testados métodos de classificação automática que representem com maior fidedignidade os ambientes diversificados (classes de uso) que são visualmente detectados nas fotografias aéreas (rodovias e não rodovias). O SIG que está sendo atualmente avaliado é o SPRING (INPE, 2004).

Para haver uma referência, de uma classificação considerada ideal, para posterior comparação com os testes realizados, as fotos aéreas também são classificadas por fotointerpretação. Um detalhamento dos sub-processos do processo de Detectar Asfalto é ilustrado na Figura 6.

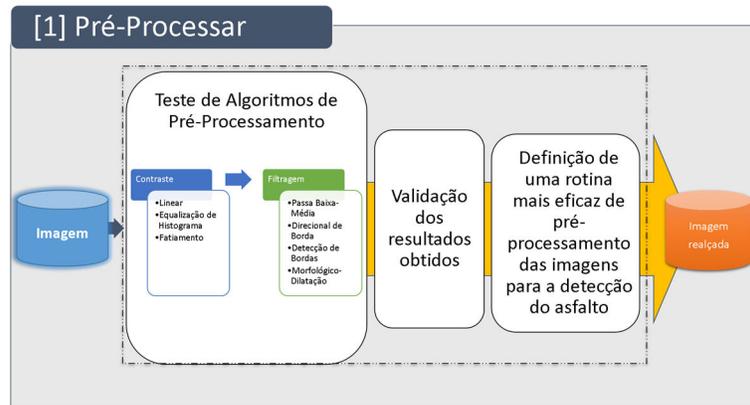


Figura 5. – Detalhamento do processo Pré-Processar

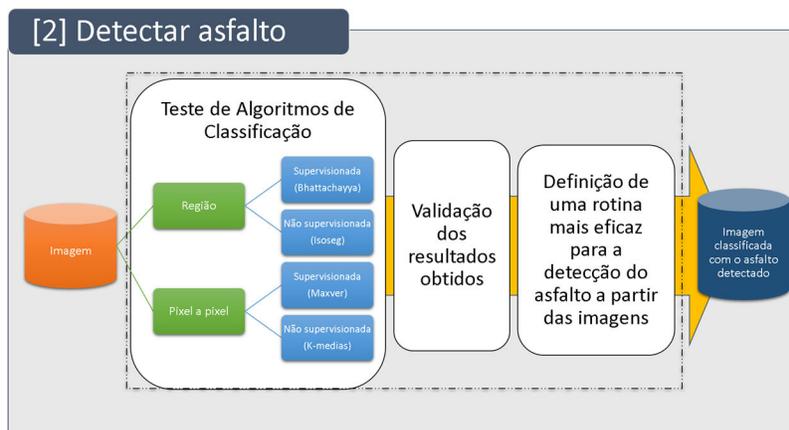


Figura 6. Detalhamento do processo Detectar Asfalto

O resultado de saída deste processo são as imagens classificadas. Essas imagens serão então divididas a fim de que se possa fazer uso da *Machine Learning* para a identificação automática dos defeitos encontrados nas imagens. Desse modo, o processo Identificar Defeito deverá fazer uso de dois conjuntos de dados: um conjunto será utilizado como conjunto de treinamento, e a partir dos resultados obtidos as demais imagens podem entrar como conjuntos

para teste. A partir de então obtém-se o relatório com os defeitos identificados nas imagens informadas.

O detalhamento do processo de Identificar Defeito é ilustrada na Figura 7.

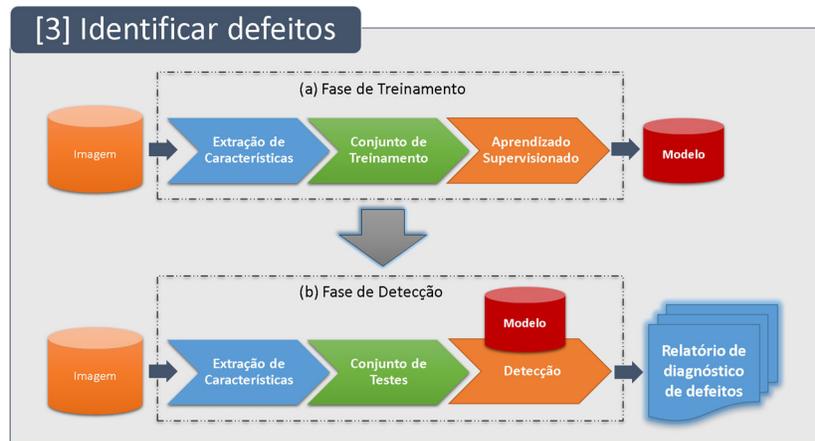


Figura 7. Detalhamento do processo Identificar Defeito

3. Resultados e Discussão

As imagens foram obtidas na cidade de São Carlos na Área II do Campus de São Carlos da USP e suas imediações. A resolução da câmera utilizada foi de 16 megapixel enquanto que a altitude do voo foi de 130m a qual permitiu uma resolução espacial de 4,0 cm/pixel.

Os ajustes para os parâmetro corretos do voo e da missão foram obtidos após diversas tentativas e diferentes parâmetros de voos.

Os ajustes de voo são realizados diretamente no software do VANT. Toda a missão é mapeada e o mapa da região a ser sobrevoada pode ser observado durante a programação da missão. As missões foram planejadas por meio de polígonos que delimitaram as áreas a serem imageadas. A altitude de voo e a sobreposição das imagens que serão obtidas também é definido durante a programação da missão.

Nas Figuras 8 é ilustrada imagem obtida em área de maior densidade populacional respectivamente. É possível observar que na área com maior densidade populacional a identificação do pavimento apresenta um desafio maior quando comparada a imagem com menor densidade. Isso se deve ao fato da presença não só de vegetação mas também de construções nessa área por se tratar de uma área urbana. Desse modo há muito concreto entre outros materiais, o que impõe um desafio maior no processo de caracterização.

O primeiro passo executado foi o de pré-processamento da imagem. Foram utilizados os métodos de Equalização do Histograma, o de Dilatação e o de Detecção de bordas, ilustrados na Figura 9a, 9b e 9c respectivamente.

No processo de classificação não supervisionada por pixel a pixel, no SIG SPRING, a fotografia aérea utilizada foi carregada no formato de coloração monocromática e a classificação

foi gerada no menu contraste com operação linear, utilizando fatiamento normal e a quantidade de classes foi escolhida na opção fatias.

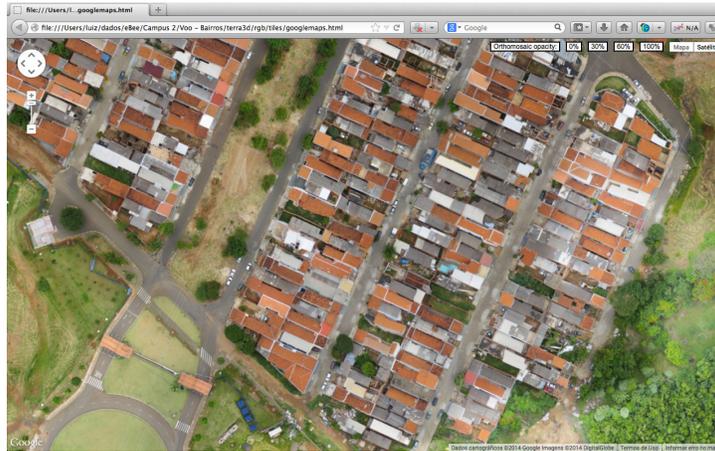


Figura 8 – Imagem de uma área urbana com alta densidade populacional.

Já no processo de classificação supervisionado pixel a pixel no mesmo programa, foram extraídas amostras da superfície asfáltica e posteriormente analisadas para eliminar as confusões geradas durante o treinamento. Em seguida, foi escolhido o algoritmo MAXVER (Máxima Verossimilhança), que classifica a imagem por pixels, analisando-os isoladamente e mapeando-os para uma classe baseada no seu valor.

A comparação entre o método supervisionado e não-supervisionado é ilustrada na Figura 10.

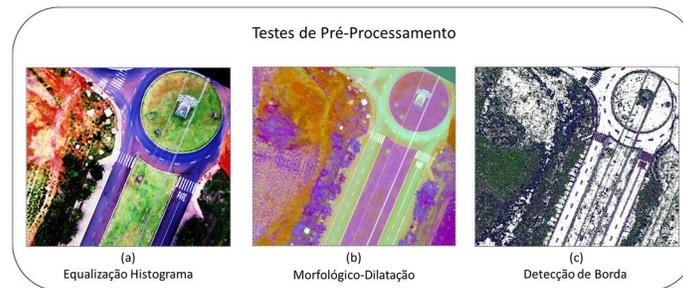


Figura 9 – Pré-processamento da imagem para permitir realce das áreas de interesse. (a) Equalização do Histograma; (b) método morfológico de Dilatação; (c) método de Detecção de Borda.

Na classificação das fotografias aéreas por fotointerpretação (vetorização sobre a imagem), o ambiente alvo (rodovias e estradas com asfalto) foram previamente identificados nas fotografias aéreas, e sobre esses ambientes (classes) foram gerados polígonos. Após isso, o mosaico de polígonos foi convertido em um mapa de classes apresentando áreas com asfalto e sem, a partir de uma edição realizada na tabela de atributos do arquivo *shapefile*, onde cada

polígono gerado na vetorização recebeu o nome da respectiva classe que pertencia. Posteriormente foram atribuídas cores diferentes para representar cada classe, gerando o mapa de estradas pavimentadas.

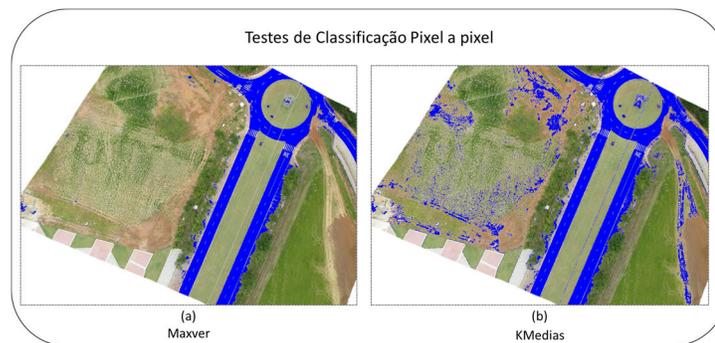


Figura 10 – Classificação pixel a pixel. (a) Método MaxVer – classificação supervisionada; (b) KMedias – classificação não-supervisionada.

4. Conclusões

O principal objetivo deste trabalho é a obtenção de detecção de defeitos em pavimentos a partir do uso de imagens de alta resolução obtidas com VANTs. Por meio deste trabalho foi possível obter informações que atestam que isso é possível, a partir de imagens obtidas por meio dessa ferramenta uma vez sendo definida uma metodologia adequada. A metodologia MANIAC-UAV foi apresentada e validada por meio das imagens captadas e dos resultados obtidos com as mesmas.

Os resultados obtidos com a utilização de processamento de imagens e sistemas de informações geográficas permitiu a prova de conceito necessária para a partir de então efetuar a classificação dos tipos de defeitos existentes nesses pavimentos. Esse defeitos (trincas, rachaduras, entre outros) serão apresentados em trabalhos futuros fazendo uso de *machine learning*.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do Departamento de Transporte da Escola de Engenharia de São Carlos (STT-EESC-USP), do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP – Campus Araraquara) e do CNPq.

Referências Bibliográficas

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 009-PRO: Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi- rígidos: procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. SPRING: Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas: Manual de Ajuda. São José dos Campos: INPE, 2004.