

QUANTIFICAÇÃO DE IRREGULARIDADES NO PAVIMENTO DE RUAS UTILIZANDO A UNIDADE MÓVEL DE MAPEAMENTO DIGITAL

AZIZ ALFREDO DA COSTA PEREIRA
JOÃO FERNANDO CUSTÓDIO SILVA

Universidade Estadual Paulista - UNESP
Laboratório de Mapeamento Móvel - LaMMov
Departamento de Engenharia Cartográfica, Presidente Prudente, SP
aziz.cart@gmail.com
jfcsilva@fct.unesp.br

RESUMO – A Unidade Móvel de Mapeamento Digital é um sistema composto por um veículo equipado com duas vídeo-câmaras digitais orientadas para frente, um receptor GPS e dispositivos de controle, de modo que o sistema integrado possibilita a aquisição de imagens georreferenciadas. O objetivo do projeto de pesquisa foi identificar, quantificar e localizar as irregularidades no pavimento de ruas de uma região de Presidente Prudente - SP, utilizando uma metodologia de levantamento rápido das imperfeições. Para isto, adicionou-se uma vídeo-câmara digital na traseira do veículo com o eixo ótico inclinado no sentido do pavimento de forma que fossem registradas as imagens das ruas e, consequentemente, das irregularidades existentes. Estas imagens foram processadas e analisadas, elaborando-se assim duas plantas do local levantado. O processo utilizado cadastrou as imagens com eventos (buracos) no software BIG, desenvolvido no Laboratório de Mapeamento Móvel em projetos anteriores, o qual possibilita a extração das coordenadas de feições desejadas, auxiliadas pela rotina de processamento de imagens desenvolvido ao longo do projeto. A configuração do sistema atendeu as expectativas, pois se mostrou útil na avaliação da condição do leito carroçável e a quantificação dos buracos existentes foi concluída com êxito.

ABSTRACT - The Mobile Mapping Digital Unit is a system composed of a vehicle equipped with two video cameras aimed at the front, a GPS and control devices, so that the integrated system enables the acquisition of georeferenced images. The aim of the research project was to identify, quantify and locate the irregularities in the surface streets of a region of Presidente Prudente – SP, using a methodology for rapid survey of the faults. For this, a video camera was added at the rear of the vehicle with the optical axis tilted towards the floor so that the images were recorded from the streets and highways and, therefore, of irregularities. These images were processed and analyzed, thus developing two plants of the area raised. The process used, registered images with events (holes) in the software BIG, developed at the Laboratory of Mobile Mapping on previous projects, that allows the extraction of the coordinates of features desired, aided by the routine of image processing developed during the project. The configuration of the system has attended expectations, because it proved useful in assessing the condition of the street and quantification of the existing holes was completed successfully.

1 INTRODUÇÃO

O projeto teve uma proposta de identificação de buracos de forma expedita (baixo-custo, rápido e de baixa precisão), que pode vir a ser útil em situações de emergência.

Nesta proposta de trabalho adquiriu-se uma nova câmara e um suporte acionado com ventosa e estes equipamentos foram instalados na Unidade Móvel de Mapeamento Digital (UMMD) com o eixo ótico inclinado aproximadamente 45°, voltado para o pavimento de forma que fossem registradas as imagens das ruas e rodovias, e

consequentemente das irregularidades existentes nas mesmas.

Levantaram-se estas imperfeições (buracos), e os dados foram processados tendo como produto final duas plantas do trecho percorrido com seus buracos mapeados utilizando o software *ArcGIS*.

O presente projeto de pesquisa se justifica por seus aspectos econômicos, sociais e tecnológicos, tomando-se por referência a grande importância da malha urbana e da malha viária para a circulação de veículos automotores, que transportam bens, mercadorias e pessoas. É evidente que tal circulação tem de ser feita com conforto e

segurança, que são proporcionados, também, pela qualidade da pista de rolamento.

2 OBJETIVOS

O objetivo do projeto foi identificar as imperfeições existentes nas ruas, com um método baseado no processamento de imagens, utilizando a Unidade Móvel de Mapeamento Digital (UMMD). Para isso, foram necessárias algumas etapas: Complementação da revisão bibliográfica sobre o Banco de Imagens Georreferenciadas (BIG) e algoritmos de identificação de buracos e trincas em ruas e rodovias utilizando Processamento Digital de Imagens (PDI); Implementação de rotinas para extração das feições desejadas; Utilização do BIG para cadastro das imagens com irregularidades e futura medição dos pontos; Elaboração de uma planta topográfica digital da área levantada com suas respectivas irregularidades; Avaliação e classificação da qualidade da rua com relação aos defeitos apresentados.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Banco de Imagens Georreferenciadas (BIG)

O BIG foi construído de modo a proporcionar a melhor utilização das imagens e gerenciamento de informações alfanuméricas, coletadas pela UMMD visando atender algumas aplicações como OLIVEIRA (2001):

- auxiliar serviços de utilidade pública;
- mapeamento topográfico de rodovias por meio de caminhamento fotogramétrico;
- auxiliar administrações municipais nas tarefas de localização, visualização e gerenciamento das informações referentes a um determinado arruamento, lote ou construção.

Com este programa, uma melhor organização dos dados coletados com a UMMD é permitida, sendo que o sistema adapta-se aos sistemas de processamento de dados existentes no Laboratório de Mapeamento Móvel (LaMMov), através da possibilidade de intercâmbio dos dados obtidos pelos processamentos realizados com os demais softwares existentes no laboratório e no mercado.

3.2 Detecção de irregularidades

3.2.1 Sistemas de mapeamento terrestres e suas aplicações

Sistemas Móveis de Mapeamento (SMM) podem ser definidos como plataformas com múltiplos sensores (imageamento e posicionamento), que integrados, servem para coletar dados (imagens, coordenadas e atitude) continuamente e providenciam posicionamento tridimensional (3D) de objetos presentes na cena, assim como a trajetória percorrida pelo veículo, por exemplo.

O SMM tem como principal característica a integração entre sensores de imageamento digital e de

posicionamento (GPS e INS (Sistema de Navegação Inercial)).



Figura 1 - Exemplo de SMM (UMMD – Brasil).

Para aplicações em detecção de irregularidades e reconstrução tridimensional de pavimento uma mudança na configuração padrão, mostra-se necessária. No caso do mapeamento topográfico de placas de sinalização, postes e obras de arte da rodovia, as câmaras encontram-se com plano focal paralelo ao veículo, voltadas para o infinito. Para aplicação de controle e inspeção da capa asfáltica há a necessidade, na maioria dos casos de se colocar o sensor voltado para baixo, imageando o objeto de interesse, nesse caso o asfalto conforme ilustrado na figura 2.

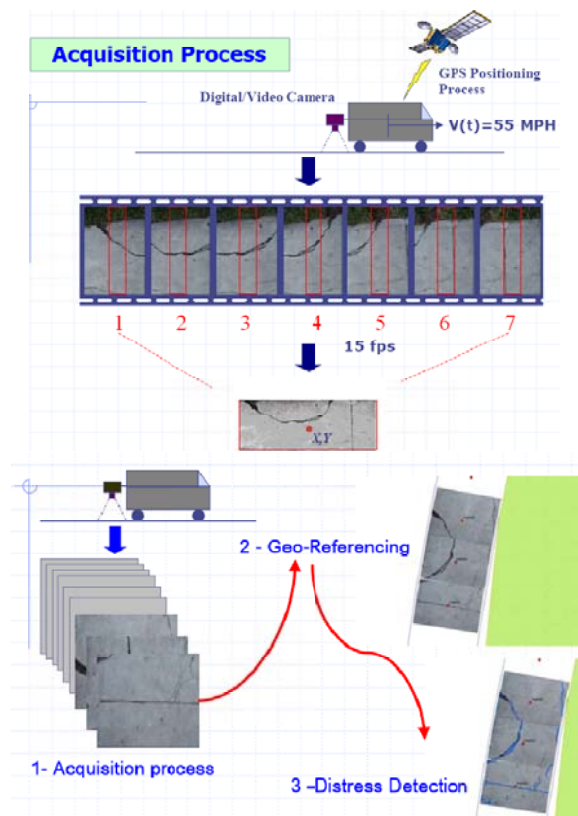


Figura 2 - Esquema de um SMM levantando dados com o sensor voltado para baixo CHUNG et al. (2003).

De posse dos dados, softwares específicos são desenvolvidos para utilização nas mais diversas situações: avaliações a respeito da capa asfáltica, mapear e calcular

volume de buracos e outros defeitos na pista, etc. Cita-se o trabalho realizado por OLIVEIRA & CORREA (2008) e CHUNG et al. (2003).

4 METODOLOGIA

4.1 Materiais

Para aquisição dos dados, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Uma câmera digital SONY HDR-XR520V;
- Um rastreador GPS veicular Garmin Nüvi (figura 3 (a));
- Um veículo Automotor VW-Kombi;
- Um suporte com ventosa (figura 3 (b)).



Figura 3 - (a) e (b): GPS veicular Garmim Nüvi e suporte com ventosa.

O processamento dos dados foi realizado no LaMMov, localizado no campus da Unesp de Presidente Prudente (Faculdade de Ciências e Tecnologia).

4.2 Métodos

4.2.1 Coleta de dados

Realizou-se um planejamento sobre a área a ser mapeada, reconhecendo preliminarmente o percurso pré-estabelecido para que fosse confirmada a presença de eventos desejados.

Aguardou-se por um dia com ocorrência de chuva, para que fosse atendido o propósito de realizar o levantamento em situações de emergência e para que ocorresse maior contraste entre o buraco e o asfalto.

Fixou-se a ventosa no veículo, de modo que a câmera ficasse inclinada aproximadamente 45° voltada para o asfalto e a uma altura de aproximadamente 2,25m. Configurou-se o GPS Garmim para que o trajeto percorrido fosse gravado, sendo possível a posterior exportação do mesmo em formato compatível com os *softwares* utilizados.

A câmera foi ligada e transitou-se pelos bairros próximos a FCT-Unesp com o veículo a uma velocidade de 20 a 30Km/h para que não houvesse grandes problemas com o arrastamento na imagem e atualização do receptor GPS.

4.2.2 Processamento dos dados

4.2.2.1 Elaboração da planta

Em laboratório, os dados do receptor GPS e o vídeo da câmera foram importados para o computador. Os locais onde haviam irregularidades foram identificados e transformados em imagens paradas utilizando o software da câmera (*Picture Motion Browser* - PMB). As imagens selecionadas foram as que continham o evento na região inferior da imagem, devido ao fato de ser adotado a posição da câmera para os mesmos.

A câmera captura quadros a uma taxa de 30 quadros por segundo e o GPS Garmim coleta dados em diferentes intervalos de tempo, sendo necessária a realização de uma interpolação linear entre as coordenadas das imagens que não possuem posição determinada pelo GPS. Esta interpolação foi realizada utilizando a relação entre o tempo do dado coletado pelo GPS e o tempo de captura da imagem dado pela câmera. Para isso os horários foram sincronizados de acordo com o Tempo Universal Coordenado (TUC - 3h) registrado no sítio do Observatório Nacional (Divisão Serviço da Hora (DSHO) - <http://pcdsh01.on.br/>).

Realizou-se a conversão da altitude geométrica em ortométrica, obtendo o valor da ondulação geoidal com o auxílio do modelo *MAPGEO2004* desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Obteve-se um valor para cada ponto, sendo o resultado aproximadamente igual a -5,46m. O receptor GPS estava localizado no interior do veículo, portanto foi necessária a subtração de 1,5m para obtenção das coordenadas dos eventos na superfície do pavimento. A distância longitudinal entre o GPS e a câmera também foi corrigida, sendo estas novas coordenadas, as adotadas para a posição da irregularidade.

No programa *ArcCatalog* o mapa de referência foi exportado para shapefile (*.shp), o qual é um formato de armazenamento digital vetorial para informações geométricas e atributos associados. Foram convertidas também para este formato, as coordenadas do percurso realizado e dos eventos identificados. Com isso os dados foram inseridos no programa *ArcMap* para posterior edição e elaboração da planta desejada.

Como a precisão do GPS utilizado é de 5-10m, realizou-se uma edição nos dados do percurso e dos eventos que apresentavam discrepâncias com relação à carta de referência.

Para a classificação da qualidade da rua, foi realizada uma análise visual e pôde-se inferir a qualidade subjetivamente com relação a frequência dos buracos detectados. Assim a qualidade foi classificada por regiões, por meio da variável visual cor, sendo vermelho para as regiões com maior quantidade de buracos, amarelo para a classe regular e verde para regiões que não apresentavam buracos.

Após a classificação, elaborou-se o *lay-out* das plantas, e os resultados finais podem ser observados no item 5.

Uma característica de grande utilidade, que pode ser notada no produto final gerado no formato digital, é a conexão (*link*) dos eventos identificados com a respectiva imagem (Figura 4).

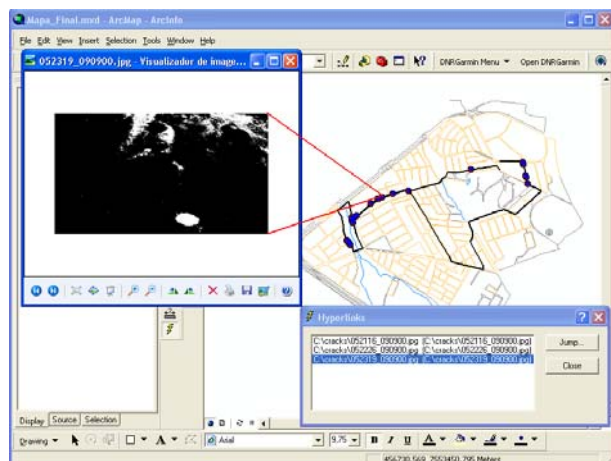


Figura 4 – Conexão do evento com sua respectiva imagem processada.

Antes de realizar a conexão, os buracos foram identificados com a elaboração de uma rotina de processamento de imagens digitais no *software* MatLab 6.5, que evidencia a irregularidade registrada pelas câmaras. Esta rotina é apresentada no item 4.2.2.2.

4.2.2.2 Identificação de Irregularidades

Para a identificação das irregularidades nas ruas, testes foram realizados visando obter uma melhor rotina de extração do evento registrado. A rotina utilizada está apresentada a seguir.

As imagens foram inseridas no *software* MatLab e um exemplo pode ser visualizado na figura 5.

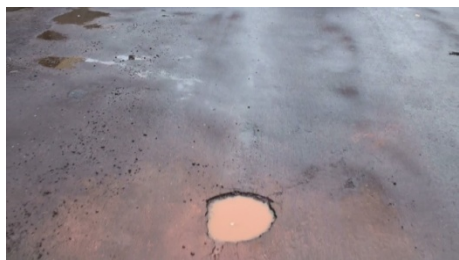


Figura 5 – Exemplo de imagem obtida com a presença de buraco.

Verifica-se na imagem da figura 6 que o problema de perda de nitidez devido ao arastamento foi pequeno, tendo assim imagens com boa qualidade, podendo ser tratadas conforme segue.

A figura 6 apresenta a imagem transformada em tons de cinza que será utilizada como exemplo para todas as transformações obtidas.



Figura 6 - Imagem transformada em tons de cinza.

Com a imagem em tons de cinza, foi aplicada uma operação de suavização pela média.

Em seguida foi realizado um processo de binarização, e o limiar foi determinado manualmente. A figura 7 apresenta a imagem binarizada, lembrando que as imagens foram selecionadas com o evento na região inferior da imagem.



Figura 7 - Imagem binarizada com o evento destacado na região inferior.

Com isso, aplicou-se uma operação de detecção de bordas por diferenciação, utilizando o operador laplaciano, o qual envolve pixels vizinhos de um dado pixel GONZALES et al. (2000). Este operador foi selecionado após apresentar melhores resultados nos testes realizados com outros operadores de detecção de bordas, como Roberts, Sobel e Prewitt.

Na figura 8 apresenta-se a imagem com a aplicação do detector de borda, observando que para uma melhor visualização dos pixels que atenderam a condição, o negativo da imagem foi utilizado.

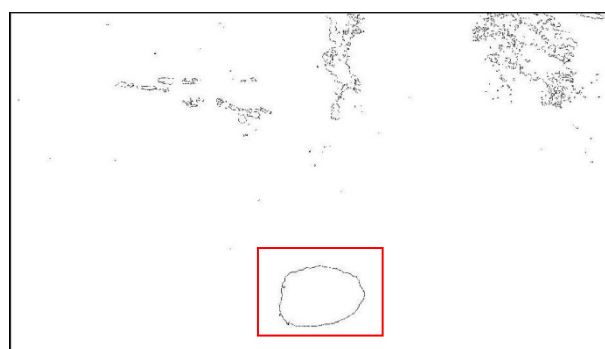


Figura 8 - Borda do buraco detectada com o operador laplaciano.

Na figura 9, pode-se observar a região que se encontra em destaque da figura 8, em uma maior escala,

visualizando assim os pixels selecionados sem a estratégia do negativo da imagem.

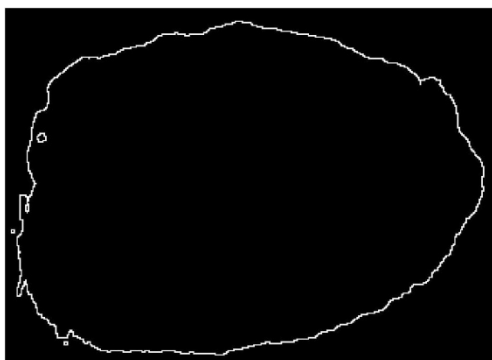


Figura 9 - Aumento da região em destaque na figura 8.

Após este processo, finaliza-se a identificação do evento e repete-se a rotina para todas as outras as imagens selecionadas.

4.2.2.3 Cadastro das imagens no BIG

As imagens com as irregularidades identificadas foram cadastradas no *software* BIG, o qual torna possível a extração das coordenadas de eventos identificados, facilitada devido às bordas já estarem detectadas com o processamento digital da imagem.

A interface de entrada de dados de imagens realiza o relacionamento entre as imagens com as câmaras utilizadas. Este relacionamento poderá ser realizado adicionando mais uma câmara filmadora e obtendo as coordenadas dos centros perspectivos e dos parâmetros de orientação exterior das imagens adquiridas.

Na interface de entrada de dados de vias terrestres, o cadastro da rua que contém o buraco é realizado, especificando o tipo da via e a condição do pavimento.

Desconsiderando o tempo de estudos, o tempo aproximado de execução do projeto pode ser visualizado na tabela 1:

Tabela 1 - Tempo de execução do projeto.

Atividade	Tempo (Hora)	%
Planejamento	2:30	3,1
Aquisição dos dados	1:00	1,2
Elaboração das Plantas	48:00	58,9
Identificação de Irregularidades	18:00	22,1
Cadastro das imagens no BIG	12:00	14,7
TOTAL:	81:30	100,0

5 RESULTADOS

O produto final alcançado foi uma carta da área definida, contendo informações sobre a localização de buracos nas ruas percorridas com a UMMD. O sistema de

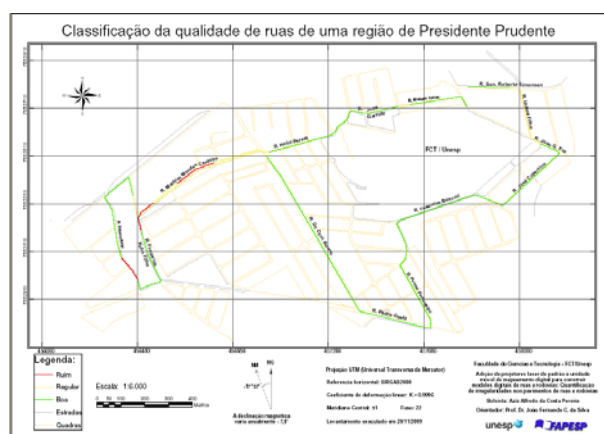
projeção escolhido foi o UTM (*Universal Transversa de Mercator*) e o sistema de referência, o SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas - 2000).

Para a representação de todo o percurso levantado foi necessário elaborar uma carta na escala 1:6000 em folha A3 e os resultados finais podem ser observados na figura 10 (a) e (b).

As imagens dos buracos detectados podem ser visualizadas no sítio do LaMMov em: <http://www4.fct.unesp.br/labs/lmm/> no link Iniciação Científica localizado dentro de Projetos.



(a)



(b)

Figura 10 - Visualização dos produtos finais. Mapa com a localização dos buracos (a) e classificação da qualidade das ruas percorridas (b).

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As cartas elaboradas apresentaram precisão da ordem de 5-10m compatível com o receptor GPS utilizado. O processo completo para a identificação dos buracos consumiu aproximadamente duas semanas, tempo que pode ser abreviado mediante a especialização do sistema constituído de pessoal e equipamento. Da tabela 1, se vê que a maior parcela de trabalho se localiza em laboratório (95,7%), e a menor parcela em campo (4,3%), que corresponde à coleta de informações e visita ao local

para fins de planejamento e aquisição dos dados para a realização do projeto.

Considerando-se a fase embrionária do projeto, é possível dizer que o resultado é satisfatório, pois proporciona com clareza o nível de gravidade em que o leito carroçável se encontra com relação às irregularidades da pista, conforme se vê nos mapas.

Vale citar que as regiões classificadas com baixa qualidade necessitam de intervenção urgente, apresentando alto desconforto e redução de velocidade para os usuários.

Com relação à rotina elaborada para a identificação dos buracos, algumas imagens não apresentaram resultados esperados, pois não havia um contraste suficiente entre o buraco formado e o asfalto (provável consequência da aquisição das imagens em dia nublado e úmido), impossibilitando a detecção de suas bordas como pode ser visualizado na figura 11. Neste caso, observa-se que a identificação automática não é totalmente confiável, pois foi detectado que há ocorrência de buracos, porém os mesmos não foram identificados com clareza pelo algoritmo. A inspeção visual pode vir a complementar esta informação dada pelo algoritmo.

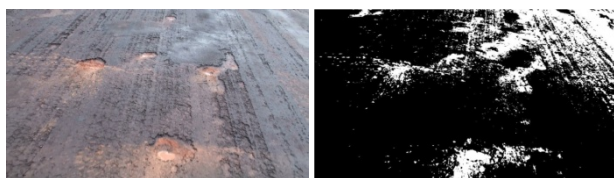


Figura 11 – Exemplo de Buraco que não possibilitou a detecção de borda.

Entretanto a maior parte dos eventos apresentou detecção satisfatória, tendo em vista que as bordas foram extraídas com aparente sucesso e que para aplicações futuras pode vir a ser uma útil ferramenta para a extração de suas coordenadas utilizando o software BIG 2 descrito no item 3.1.

7 CONCLUSÃO

A configuração do sistema atendeu as expectativas, tendo em vista que as imagens não apresentaram grandes problemas de baixa nitidez devido ao arrastamento, e se mostra útil na avaliação da condição do leito carroçável.

A quantificação dos buracos existentes foi concluída com êxito, pois foram localizados trinta buracos ao longo do trecho percorrido e a planta contendo a posição dos mesmos foi elaborada com sucesso.

A avaliação da qualidade das ruas percorridas com a UMMD foi realizada visualmente, através das imagens obtidas ao longo do percurso, e foi concluída com êxito.

O sistema é válido como uma metodologia rápida para mapeamento e identificação de ruas que necessitam de reparo ou que possuem maior probabilidade de ocorrência de buracos, podendo assim ser planejado com antecedência o tipo e qualidade do asfalto a ser utilizado para a reconstrução do pavimento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos colaboradores Rodrigo B. de A. Gallis, Ricardo L. Barbosa e Alfredo Spinnelli Neto pelas sugestões e correções.

REFERÊNCIAS

CHUNG, H. C.; GIRARDELLO, R.; SHINOZUKA M. **GIS-based Automated Management of Pavement Inspection System (G-AMPIS)**. The Second MIT Conferences on Computational Fluid and Solid Mechanics Cambridge, MA, 2003.

DELGADO, F. F. O.; GALLIS, R. B. A.; MATSUOKA, M. T. **Mapeamento de rodovias usando a unidade móvel de mapeamento digital**. 2000. 60 f. Trabalho de Graduação do Curso de Engenharia Cartográfica – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de imagens digitais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E.; EDDINS, S. L. **Digital Image Processing using Matlab**. Prentice Hall, 2004.

KERTÉSZ, I.; LOVAS, T.; BARSÍ, A. **Photogrammetric pavement detection system**. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B5. Beijing. 2008.

OLIVEIRA, R. A. **Concepção, Desenvolvimento e Aplicação do Banco de Imagens Georreferenciadas no Contexto do Mapeamento Terrestre Móvel**. Presidente Prudente, 2001. Mestrado, dissertação. 74p. Curso de Pós Graduação em Ciências Cartográficas. Universidade Estadual Paulista.

OLIVEIRA, E. B.; SILVA, J. F. C.; BARBOSA, R. L.; GALLIS, R. B. A. **Interseção Fotogramétrica em um Banco de Imagens Georreferenciadas**. Revista Brasileira de Cartografia. v. 55, p. 62 - 71, 2003.

OLIVEIRA, H; CORREIA, P. L. **Supervised Strategies for Crack Detection in Images of Road Pavement Flexible Surfaces**. in Proc. 16th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2008), Lausanne, Switzerland, 2008.

SILVA, J. F. C.; CAMARGO, P. O.; OLIVIERA, R. A.; REISS, M. L. L.; GUARDIA, M. C.; SILVA, R. A. C.; GALLIS, R. B. A. **A Street Map Built by a Mobile Mapping System**. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Amsterdam, 2000.

SILVA, J. F. C.; CAMARGO, P. O.; GALLIS, R. B. A.
**Development of a low-cost mobile mapping system: a
South American experience.** Photogrammetric Record,
v. 18, n. 101, p. 5-26, 2003.

SILVA, J. F. C.; BARBOSA, R.L.; GALLIS, R. B. A.;
PEREIRA, L. M. **Avaliação da qualidade da detecção
de bordas em uma sequência de imagens de ruas e
rodovias.** Revista Brasileira de Cartografia, v. 2, n.56, p-
96-103, 2004.