

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE LEVANTAMENTO FOTOGRAFICO GEORREFERENCIADO PARA CADASTRO MULTIFINALITÁRIO E AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DO PAVIMENTO

RAFAEL CLAUDINO DA SILVA¹

GLAUBER CARVALHO COSTA^{1,2}

DANIEL CARNEIRO DA SILVA³

RONILDO ALVES BERENGUER²

¹ Maia Melo Engenharia

Rua General Joaquim Inácio, nº136 – Ilha do Leite, CEP 50070-270 – Recife/PE

² Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP

Centro de Tecnologia CCT - Departamento de Engenharia Civil

³ Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife – PE

rafaelclaudino.eng@gmail.com¹, glaubercad@bol.com.br², danielcs@ufpe.br³, templarios_pm@hotmail.com⁴

RESUMO – Cada vez mais as instituições públicas gestoras do sistema rodoviário nacional, vem intensificando o uso das tecnologias de cadastro fotográfico georreferenciado, para formar um banco de dados da malha rodoviária sobre sua jurisdição. Esse banco de dados georreferenciados contempla a geometria da via, sinalização, tipo de pavimento, cadastro de localização de pontes, viadutos, passarelas e situação de ocupação das margens das vias. Face a essa demanda, o presente estudo discute sobre o desenvolvimento de um sistema de imageamento móvel georreferenciado de rodovias rurais e vias urbanas, empregando câmera não métrica de pequeno formato na captação das imagens, receptores do sistema de posicionamento por satélite do tipo geodésico, como também o uso de sistemas computacionais livres, com fins de elaboração de cadastro das margens de vias e de condições do pavimento. Para o estudo foi escolhida uma área teste na rodovia PE-001, onde inicialmente foi realizado um levantamento topográfico convencional planimétrico com Estação Total, que serviu de parâmetro na comparação com os dados gerados pelo levantamento fotogramétrico. Em seguida, após desenvolvimento do sistema de suporte veicular, foram coletadas as imagens com visada a nadir e lateral, e finalmente foram avaliadas as discrepâncias entre os pontos de controle implantados e seus homólogos fotoidentificáveis, sendo encontrado $\sigma_x = +/-0,176m$ e $\sigma_y = +/-0,241m$.

ABSTRACT – Increasingly, public institutions managing the national road system, has intensified the use of georeferenced photographic record of technologies to form a road network database on its jurisdiction. This georeferenced database includes the geometry of the track, signaling, type of pavement, bridges location register, flyovers, footbridges and situation of occupation of the banks of the roads. with this demand, the present study discusses the development of a georeferenced mobile imaging system of rural roads and urban roads, employing camera not small format metric in image capture, positioning system satellite receivers of geodetic type, as well as the use of free computer systems, with registration the purpose of developing the roads margins and road conditions. For the study was chosen a test area on the PE-001 highway, which initially was carried out a conventional survey planimetric with Total Station, which served as a parameter to compare with the data generated by photogrammetric survey. Then, after development of the car support system images to target the nadir and side were collected, and were finally evaluated the discrepancies between the implanted control points and their counterparts fotoidentificáveis being found $\sigma_x = +/-0,176m$ e $\sigma_y = +/-0,241m$.

1 INTRODUÇÃO

Devido à evolução tecnológica ocorrida nos sistemas fotográficos a aquisição das imagens em formato digital, permite a coleta de informações limitada apenas pela capacidade de armazenamento de dados do equipamento. Hoje existe no mercado a oferta de câmeras digitais já integradas ao sistema GNSS (Global Navigation Satellite System), que tornam possível no mesmo instante da tomada da imagem, associá-la a uma coordenada, posicionando-a geograficamente. Entretanto a precisão requerida a trabalhos de georreferenciamento em algumas aplicações na

engenharia necessitam de sistemas dedicados mais aperfeiçoados como os sistemas móveis de mapeamento (Leica Pegasus da Leica Geosystems e o HDPR da Estrata Engenharia, nos quais a associação de câmeras digitais com as tecnologias de posicionamento por satélite e sistemas inerciais são mais precisos.

A engenharia rodoviária faz uso corrente do GNSS, e as empresas tem buscado associar essa tecnologia ao georreferenciamento de imagens com fins cadastrais, como em levantamentos para sinalização rodoviária, elementos de drenagem superficial, estudos ambientais, cadastro de estruturas de obras de arte corrente (bueiros), obras de arte especial (pontes, viadutos e passarelas), estudos topográficos, elaboração de relatórios de visitas para propostas técnicas de serviço, diagnóstico de ocupação das margens das vias existentes e no cadastro de pavimentos (defeitos, tipo).

A Norma do DNIT referente ao levantamento para avaliação da condição de superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos rodoviário, em especial o Levantamento Visual Contínuo (LVC), procedimento DNIT 008/2003 – PRO, especifica que o levantamento de defeitos dos pavimentos deverá ser feito com o uso de odômetro para realizar a localização dos defeitos e a classificação deverá ser realizada por meio de cadastro visual, sem a exigência de se criar um registro fotográfico, deixando a cargo do operador a realização do levantamento e elaboração do banco de dados, inviabilizando uma posterior consulta ou checagem dos dados cadastrados por meio de acervo fotográfico georreferenciado, o que apenas pode ser feito através de nova visita a campo.

Com o objetivo de contribuir para a otimização e atualização da metodologia hoje adotada pelo DNIT o presente trabalho apresenta e avalia o desenvolvimento de um sistema de coleta de dados fotográfico georreferenciado e os produtos gerados. A metodologia envolve o uso de coleta de coordenadas geodésicas por GNSS cinemático, softwares de processamento existentes e especificamente criados. Logo para o presente estudo foi escolhida uma área teste na rodovia PE-001, sendo primeiramente realizado um levantamento topográfico convencional planimétrico com estação total, que serviu de parâmetro na comparação com os dados gerados pelo levantamento fotogramétrico, em seguida após o desenvolvimento do sistema de suporte veicular foram coletadas as imagens com visadas a nadir e lateral, depois foram avaliadas as discrepâncias entre os pontos de controle implantados e seus homólogos fotoidentificáveis.

2 METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos serão detalhados a área de estudos e os recursos materiais em equipamentos utilizados, dispositivos de montagem construídos, softwares de processamentos de coordenadas, georreferenciamento de imagens, cálculo da definição da altura da câmera e coleta das imagens.

2.1 Área de Estudo

O segmento da rodovia PE-001 usada como área teste no presente trabalho, está localizada na faixa litorânea do estado de Pernambuco, na península do Baixo de Marinha Farinha na cidade de Paulista/PE (Figura 1). A escolha dessa área baseou-se no critério de proximidade com a estação Base a ser adotada no processamento dos dados de rastreo GNSS, como também pelo fato dos pavimentos asfálticos nesse segmento estudado, apresentar variados defeitos, passíveis de serem levantados pelo sistema desenvolvido.



Figura 1 – Localização do trecho da rodovia PE-001, usado como área teste.

2.2 LEVANTAMENTO Planimétrico Convencional

Para possibilitar uma posterior avaliação das discrepâncias posicionais e geométricas dos dados gerados com sistema desenvolvido, foi levantada em campo uma poligonal do tipo enquadada (Figura 2), para apoiar a implantação e materialização de um eixo de locação no bordo direito da pista existente da PE-001 (sentido M1/M2 para M3/M4).

Para implantação da poligonal e posteriormente o eixo de locação, foram materializados por meio de rastreo GNSS, dois pares de marcos geodésicos, sendo um par no início (M1 e M2) e outro no final do trecho (M3 e M4). Após os rastreios dos marcos foram materializadas as estações da poligonal, e por fim a irradiações das estacas.

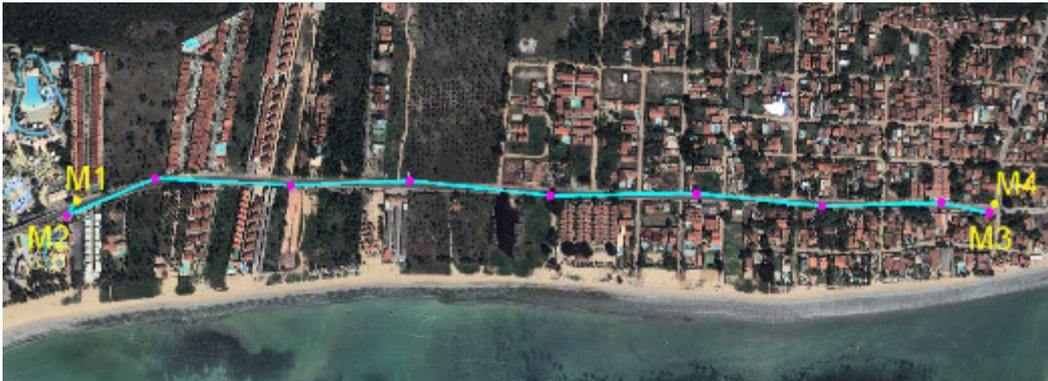


Figura 2 – Localização da poligonal implantada em campo (linha azul) e marcos de apoio (M1, M2, M3 e M4).

2.3 DESENVOLVIMENTO do sistema fotogramétrico georreferenciado

2.3.1 Câmera de Pequeno Formato

A câmera utilizada para o imageamento foi a Nikon D3200 tipo DSLR com 24,2 Mpixel. Esta câmera possui um sensor de formato para imagem DX (tamanho da imagem projetada pela lente), com tamanho de 23,2mm x 15,4mm e em pixels 6016(L) x 4000 (V). As imagens podem ser armazenadas em cartão de memória do tipo SD, SDXC e SDHC, no formato JPEG ou NEF (RAW). Neste trabalho todas as imagens foram sempre tomadas com a distância focal fixada em 18 mm. Para a determinação do tamanho do pixel e dos parâmetros de calibração da câmera foi utilizado o software PhotoModeler Pro (Tabela 1).

Tabela 1 – Parâmetros de Calibração da Câmera

Dados da Câmera		mm	pixel	micros
Tamanho do sensor (largura = width)		24,070	-	-
Tamanho do sensor (altura = height)		16,000	-	-
Ponto Principal - x_0 (photomodeler - largura = width)		12.104	2,115	-
Ponto Principal - y_0 (photomodeler - largura = width)		7,878	2,833	-
Distância focal f		18,998	4748	-
Formato da imagem	Lado maior:	-	6016	-
	Lado menor:	-	4000	-

2.3.2 Estrutura de Montagem da Câmera

Os dados da calibração, dimensões do sensor e distância focal, foram utilizadas para definir a área de cobertura e altura de montagem na estrutura metálica de suporte mostrado na figura 3.

Para a definição da altura da câmera ($h_c = 4,00m$), foi considerada a largura da semi-pista de rolamento mais uma folga de segurança (Figura 3). Como a semi-pista de rolamento de rodovias rurais pelas Normas do DNIT pode ser de 3,30m, 3,50m ou 3,60m, foi estabelecida uma dimensão de largura total de 3,50m + (folga de 1,50m) = 5,00m, logo temos que:

$$\frac{f}{l_w} = \frac{h_c}{L_w} \Rightarrow h_c = \frac{f \cdot L_w}{l_w}$$

Sendo,

h_c = Altura da Câmera,

f = Distância Focal da Câmera = 18,9981mm

l_w = Dimensão da largura física do Sensor em mm = 23,2mm

L_w = Dimensão da largura no terreno = 5,00m

$$h_c = \frac{f \cdot L_w}{l_h} \Rightarrow h_c = \frac{18,9981\text{mm} \times 5,00\text{m}}{23,2\text{mm}} \Rightarrow h_c = 4,09\text{m} \Rightarrow \text{Valor adotado, } h_c = 4,10\text{m}$$

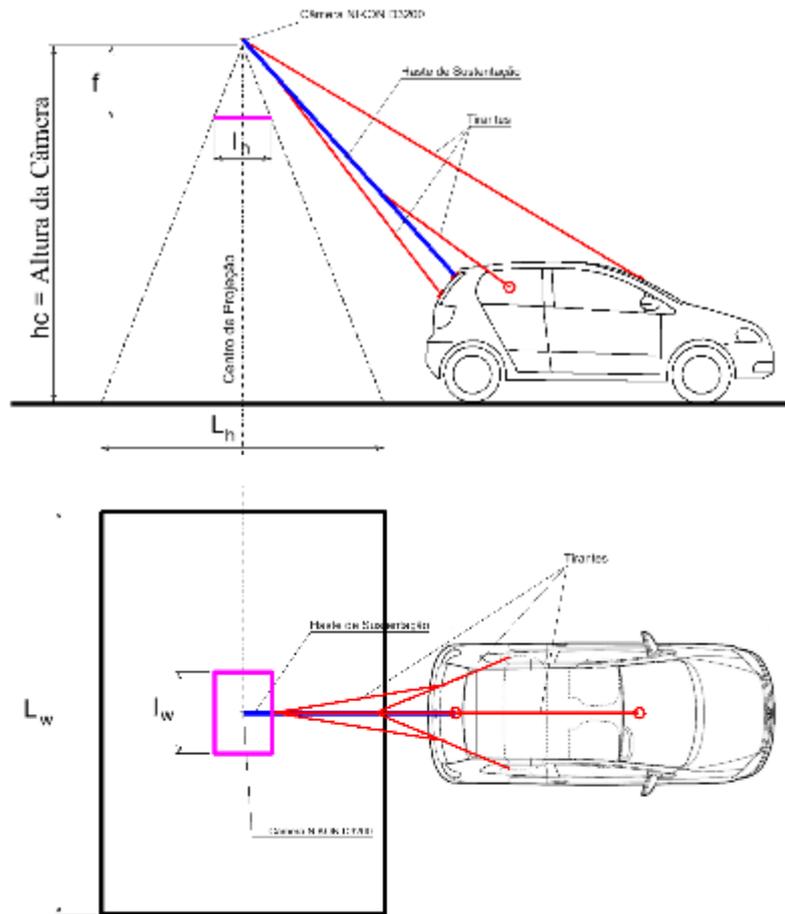


Figura 3 – Esquema das grandezas envolvidas no cálculo da altura da câmera.

A distância coberta pela imagem ao longo da rodovia é dada por:.

$$L_h = \frac{l_h \cdot h_c}{f} \Rightarrow h_c = \frac{16,00\text{mm} \times 4,10\text{m}}{18,9981\text{mm}} \Rightarrow L_h = 3,45\text{m}$$

Sendo,

h_c = Altura da Câmera,

f = Distância Focal da Câmera,

l_h = Dimensão da altura física do Sensor em mm

L_h = Dimensão da altura no terreno.

Com a dimensão da cobertura no terreno pela imagem ao longo do eixo da rodovia, foram estabelecidos os dados operacionais do levantamento (Tabela 2), considerando uma sobreposição mínima de 20% (0,70m) o percurso entre cada centro de exposição é de 2,75m. Com velocidade do veículo de aproximadamente 0,9m/s (3,3km/h). Como a velocidade do veículo ficou baixa por conta do tempo de abertura do obturador da câmera utilizada para aquisição das imagens, foi preciso adequar a velocidade do carro, para uma velocidade operacional. Contudo se faz necessário novos estudos com máquinas que consigam capturar as imagens com um menor intervalo de tempo.

Tabela 2- Resumo dos Dados Referente aos Parâmetros dados de aquisição das imagens.

Dados Operacionais do levantamento		
Velocidade máxima de Cruzeiro	3,3 km/h	
Altura da Câmera	4,10 m	
Recobrimento Longitudinal	20%	
Intervalo de tomada das imagens	3 segundos	
Formato da imagem	Lado maior: LG Longitudinal a semi- pista	3,45m
	Lado menor: LP Transversal a semi- pista	5,20m

2.3.2 Desenvolvimento do Sistema Suporte

Para o posicionamento e montagem da câmera na altura pré-determinada, foram usados os materiais indicados na figura 4.



Velas utilizadas na fixação



Tubos em alumínio utilizados na haste de sustentação da câmera



Esticadores com catraca para amarração.



Haste de sustentação



Parafusos de suporte



Cabo extensor USB

Figura 4 – Materiais utilizados na montagem do suporte da Câmera.

Com os materiais e peças da Figura 4 foram projetados e montados três suportes; - um para o receptor GNSS Zênite 2 - um para fixação da câmera em posição lateral ou frontal ao veículo (para tomadas de imagens para cadastro das ocupações as margens da via) - um suporte para câmeras com tomadas de imagens a nadir, destinado a coleta de imagens georreferenciadas do pavimento existente.



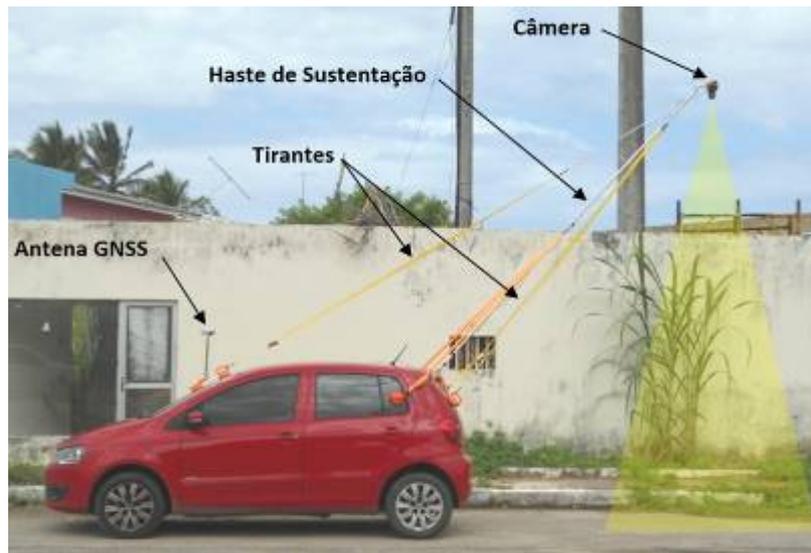
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 5 – (a e b) suporte da câmera fixada na lateral e frontal ao veículo (c) suporte do receptor GNSS e (d) Sistema de suporte da câmera para tomada de fotos na vertical.

2.3 PROGRAMAS UTILIZADOS

Foi desenvolvido um aplicativo denominado de Geramosaico (Figura 6b) que compila os dados das coordenadas dos instantes de tomadas das imagens (fornecidas pelo GPS), e processa no ambiente computacional do *Visual Basic for Application Excel da Microsoft*, um Script de comando (Figura 6a) que opera a partir do programa Microstation e dessa forma monta um mosaico das imagens. A partir das coordenadas do centro projetivo são calculados, escala e azimutes das imagens, e o aplicativo funde as imagens sequencialmente.

Os dados de rastreamento GNSS foram processados com o software *GTR Processor* que processa as coordenadas geodésicas. As coordenadas GNSS processadas foram transcritas para as imagens usando o software *GeoSetter*, que consiste na inserção das coordenadas nas fotos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente foi montado um mosaico não controlado das imagens, de forma automática usando como o aplicativo. A Figura 6c ilustra como exemplo um trecho de 40m de extensão, abrangendo três estacas o levantamento realizado, onde mostra o resultado da montagem automática do mosaico não controlado, onde foi usado os dados das coordenadas do centro de projeção de tomadas das imagens, os azimutes das fotos e o fator de escala calculado em função dos parâmetros da câmera usada no levantamento.

```

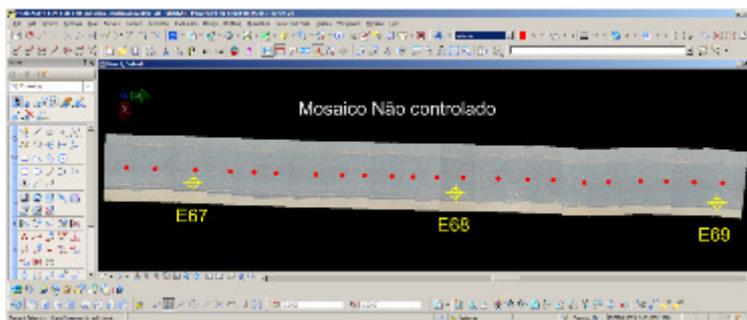
1.txt - Bloco de notas
Arquivo  Editar  Formatar  Exibir  Ajuda
DIALOG RASTER
IMGMANAGER IMAGE UNSELECT
raster attach fixed D:\LPS_RAFAEL\DSC_10005.JPG
RASTER TOOLMODIFY
XY=0.2547, -0.16935
XY=1000,1000
DIALOG RASTER
IMGMANAGER IMAGE UNSELECT
XS=10.0686316122049
YS=10.0686316122049
raster scale active
XY=1000,1000
RESET
AA=-1.61391136422829^
rotate icon
XY=1000,1000
RESET
move icon
XY=1000,1000
XY=297613.179, 9131011.056
RESET

```

(a)



(b)



(c)

Figura 6 – Vista da janela do bloco de notas com Script de comandos (a), Geramosaico (b) e vista da janela do programa Microstation com o Mosaico não controlado montado (c).

Posteriormente foi montado um mosaico semi-controlado, com o *Microsoft Imagem Composite Editor (ICE)*, que é um editor de imagens que permite criar mosaico de imagens. O processo é automático e usa a correlação dos dados do pixel da imagem para realizar a composição do mosaico.

O mosaico foi inserido no programa Microstation através de pontos de controle correspondentes as estacas locadas em campo antes da realização do levantamento fotográfico (Figura 7). O modelo de ajustamento foi o de transformação de similaridade ou isogonal-



Figura 7 – Vista da janela do programa Microstation com o Mosaico semi-controlado com os pontos de controle.

Para a verificação das discrepâncias das medidas lineares de defeitos no pavimento, foram realizadas medições em campo e suas homólogas nas fotografias coletadas pelo sistema desenvolvido, cujas fotografias passaram por um processamento primário de ajuste da escala.

Na estaca 36+00.000 foi realizada a medição de um remendo tipo profundo em suas medidas transversais e longitudinais, para efeito de comparação das medidas observadas *in loco* com as medidas obtidas após o processamento das fotografias (Figuras 8a e 8b). Na Tabela 3 estão a medidas de campo e das fotografias, com as diferenças encontradas para uma variação na altura da câmera a cada 5 cm, foi proposto uma variação na altura da câmera, pois no decorrer do levantamento verificou-se a instabilidade do equipamento no momento da aquisição das fotos a nadir, com isso para se ter o valor das discrepâncias com a variação de altura da câmera estabeleceu-se uma variação de 5cm.



Figura 8 – (a) Medição no software sobre o mosaico; (b). Levantamento da extensão longitudinal remendo em campo

Tabela 3 – Diferenças na extensão longitudinal do remendo para uma variação da câmera a cada 5 cm.

Dimensão 1 - Remendo (Longitudinal)				
Hc (m)	Medida em campo (m)	Medida na foto (m)	Diferença (m)	Diferença $Hc_{i+1} - Hc_i$ (m)
3,95	3,20	3,00	-0,20	-
4,00	3,20	3,04	-0,16	0,04
4,05	3,20	3,08	-0,12	0,04
4,10	3,20	3,12	-0,08	0,04
4,15	3,20	3,16	-0,04	0,04
4,20	3,20	3,20	0,00	0,04
Dimensão 2 - Remendo (Transversal)				
3,95	2,00	1,90	-0,10	-
4,00	2,00	1,92	-0,08	0,02
4,05	2,00	1,95	-0,05	0,03
4,10	2,00	1,97	-0,03	0,02
4,15	2,00	1,99	-0,01	0,02
4,20	2,00	2,02	0,02	0,03

Na estaca 68+00.000 foi realizada a medição em duas trincas, uma longitudinal e outra transversal ao eixo da pista. As trincas foram medidas in loco com trena de fibra de vidro, e após o processamento das imagens foram realizadas novas medições nas trincas no mosaico obtido.



Figura 9 – (a) Medição no software sobre o mosaico e (b) levantamento da extensão longitudinal da trinca em campo

A Tabela 4 contém as medidas e diferenças da trica da estaca 68 e as diferenças relativas encontradas para uma variação na altura do equipamento a cada 5 cm

Tabela 4 – Diferenças na extensão longitudinal do remendo para uma variação da câmera a cada 5 cm.

Dimensão 1 – Trinca 1 (Transversal)				
Hc (m)	Medida em campo (m)	Medida na foto (m)	Diferença (m)	Diferença $H_{c_{i+1}} - H_{c_i}$ (m)
3,95	2,70	2,55	-0,15	-
4,00	2,70	2,58	-0,12	0,03
4,05	2,70	2,63	-0,07	0,05
4,10	2,70	2,65	-0,05	0,02
4,15	2,70	2,68	-0,02	0,03
4,20	2,70	2,71	0,01	0,03
Dimensão 2 – Trinca 2 (Longitudinal)				
3,95	3,10	2,91	-0,19	-
4,00	3,10	2,95	-0,15	0,04
4,05	3,10	2,98	-0,12	0,03
4,10	3,10	3,02	-0,08	0,04
4,15	3,10	3,06	-0,04	0,04
4,20	3,10	3,09	-0,01	0,03

4 CONCLUSÕES

O sistema de coleta de dados georreferenciado de imageamento cadastral para projeto viário, apresentou resultado satisfatório quanto à coleta de imagem a partir de câmeras não métricas, visando a formação de um banco de dados cadastrais para apoiar a elaboração de projetos de desapropriação, apoio a levantamentos de avaliação das condições de pavimentos e uma visão panorâmica das interferências e condições da geometria da via.

No que se refere ao inventário de apoio para estudos das condições do pavimento, o sistema desenvolvido possibilitou formar mosaicos georreferenciados das imagens coletadas em campo, fazendo uso das coordenadas dos centros das imagens e seus azimutes de orientação, mas sendo possível apenas onde houve sobreposições.

A média das discrepâncias entre as medições realizadas em campo dos defeitos e seus homólogos fotoidentificáveis foi de 20cm na direção longitudinal e 12cm na direção transversal, para uma variação na altura da câmera de 25cm (3,95m a 4,20m), valores de discrepâncias aceitáveis, quando comparado a metodologia de medição adotada e aceita nas normas do DNIT 006_2003-PRO e DNIT 007_2003-PRO.

Para garantir a sobreposição entre as imagens, foi preciso executar a coleta das imagens com velocidade de operação máxima de 5km/h, considerada baixa para as velocidades praticadas em rodovias rurais, portanto gerando transtornos durante os trabalhos de levantamento, essa velocidade foi necessária pois o intervalo de tomada da câmera associado as características e altura de coletada da câmera, necessitava de velocidades dessa grandeza para garantir a sobreposição das imagens.

As discrepâncias entre os pontos de controle implantados e seus homólogos fotoidentificáveis foi de $\sigma_x = \pm 0,176m$ e $\sigma_y = \pm 0,241m$, sabendo que esses valores não são acumulativos. Com a montagem dos mosaicos semi-controlados, observou-se que a inserção de mais pontos de controle em campo no eixo da via, iria minimizar as distorções verificadas no mosaico, e possivelmente também iria otimizar os resultados das discrepâncias encontradas em x e y e minimizando a propagação dos erros nas junções das imagens durante a montagem dos mosaicos semi-controlados e controlados.

Vale ressaltar que o sistema desenvolvido não visa substituir a metodologia preconizada pelas normas do DNIT para avaliação das condições do pavimento, e sim a de agregar novas informações ao método hoje empregado, maximizando as informações através de um inventário fotográfico georreferenciado, que poderá ser consultado no momento desejado, possibilitando o esclarecimento de incertezas.

REFERÊNCIAS

Branco, L. H. C.; Segantine, P. C. L. Veículos Aéreos Não Tripulados como Sensores Remotos Auxiliando na Detecção de Defeitos em Pavimentos. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 17, 2015, João Pessoa-PB.

Costa, G. C.; Silva, D. C.; Candeias, A. L. B.; Moura, A. R. U. Avaliação de Uso de Sistemas de Baixo Custo para Formação de Mosaicos Digitais em Pesquisas Oceanográficas. In: II Simpósio Brasileiro de Geomática, V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2007. v. 1.. p. 1-6.

Costa, G. C. Análise Dos Produtos Obtidos Com Aerolevantamentos Utilizando Câmaras Digitais Não-Métricas Para Elaboração De Anteprojetos Rodoviários, 2008 - Dissertação de mestrado da Universidade Federal de Pernambuco. Pernambuco.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes, Norma DNIT 005/2003 – TER, Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes, Norma DNIT 006/2003 – PRO Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes, Norma DNIT 007/2003 – PRO Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semi-rígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos – Procedimento.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes, Norma DNIT 008/2003 – PRO Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento.

Oliveira, M. J. G. Aplicação Da Fotogrametria Para O Registro E Avaliação de Defeitos na Superfície de Pavimentos Flexíveis, 2000 - Dissertação de mestrado da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.

PHOTOMODELER. Disponível em: <<http://www.photomodeler.com>> Acesso em: jul. 2008.

Leica Geosystems. Portifólio do Leica Pegasus: Two Mobile Mapping Solution. http://leica-geosystems.com/-media/files/products/brochures/leica_pegasustwo_bro_en.ashx?la=en. Acesso: 17/05/2016

Strata Engenharia. Departamento de desenvolvimento de novas tecnologias da Strata Engenharia. http://www.strataengenharia.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=55&Itemid=65. Acesso: 17/05/2016.