

## EMPREGO DE FOTOGRAMETRIA DIGITAL COM IMAGENS COLETADAS POR HELICÓPTEROS EM APOIO À DETERMINAÇÃO DE LINHAS DE BASE DAS ILHAS MARTIM VAZ

ALEXANDRE MOREIRA RAMOS<sup>1</sup>  
JÚLIO KIYOSHI HASEGAWA<sup>2</sup>  
ANTONIO MARIA GARCIA TOMMASELLI<sup>2</sup>  
MAURICIO GALO<sup>2</sup>  
BÁRBARA STEFÂNIA ALVES HENRIQUE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Hidrografia da Marinha  
Superintendência de Segurança da Navegação  
Divisão de Levantamentos – Seção de Geodésia  
Ponta da Armação, Niterói – RJ  
{moreira.amos,barbara}@chm.mar.mil.br

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista - Unesp  
Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT  
Departamento de Cartografia, Presidente Prudente - SP  
{galo,tomaseli,hasegawa}@fct.unesp.br

**RESUMO** – A Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM), assinada em 1982 e ratificada pelo Brasil em 1988, estabelece que o Estado costeiro deverá depositar, junto ao Secretário Geral das Nações Unidas, e manter atualizadas, as cartas e/ou as listas dos pontos que definem as coordenadas das Linhas de Base Normais (LBN) ou Retas (LBR). Estas linhas são as referências para o estabelecimento do Mar Territorial (limite de 12 milhas náuticas), da Zona Contígua (limite de 24 milhas náuticas), da Zona Econômica Exclusiva (limite de 200 milhas náuticas) e da Plataforma Continental, e são obtidas graficamente a partir de cartas náuticas. As cartas referentes às ilhas oceânicas tiveram seus contornos definidos a partir de antigas restituições aerofotogramétricas e estão referenciadas a Sistemas Geodésicos de Referência Locais. Este trabalho verifica a aplicabilidade da fotogrametria digital, usando imagens coletadas com câmaras digitais de médio formato instaladas a bordo de helicópteros, para o processo de atualização de cartas náuticas no entorno das Ilhas Martim Vaz.

**ABSTRACT** – The United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS), signed in 1982 and ratified by Brazil in 1988, establishes that the coastal State shall deposit with the Secretary-General of the United Nations, the charts and/or the lists of geographical coordinates of the Normal Baselines or Straight Baselines, and keep it updated. These baselines are the references for the establishment of the Territorial Sea (up to the limit of 12 nautical miles), of the Contiguous Zone (up to the limit of 24 nautical miles), of the Exclusive Economical Zone (up to the limit of 200 nautical miles) and of the Continental Shelf, and they are obtained graphically starting from nautical charts. These oceanic islands charts had their defined outlines starting from old restitutions and they are referenced to Local Geodetic Reference Systems. This work aims at to assess the applicability of Digital Photogrammetry with images acquired with digital medium format cameras installed on helicopters, for the Martim Vaz Islands nautical charts updating.

### 1 INTRODUÇÃO

A Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM), assinada em 1982 em Montego Bay (Jamaica) e ratificada pelo Brasil em 1988, estabelece que o Estado costeiro deverá depositar, junto ao Secretário Geral das Nações Unidas, as cartas e/ou as listas dos

pontos que definem as coordenadas das Linhas de Base Normais (LBN) ou Retas (LBR). Estas linhas, que dependem da configuração geográfica e das características do litoral, são a referência para o estabelecimento do Mar Territorial (limite de 12 milhas náuticas), da Zona Contígua (limite de 24 milhas

náuticas), da Zona Econômica Exclusiva (limite de 200 milhas náuticas) e da Plataforma Continental.

A Linha de Base Normal (LBN) é definida como a linha de baixa-mar ao longo da costa, tal como indicado nas cartas náuticas de grande escala, reconhecidas oficialmente pelo Estado costeiro, e se aplica às costas sem recortes profundos ou reentrâncias acentuadas, assim como aquelas destituídas de franjas de ilhas em suas proximidades imediatas. A Linha de Base Reta (LBR), Figura 1, é formada por segmentos de reta que unem os pontos apropriados (“pontos-base”) ao longo da costa ou sua proximidade, nos locais em que a costa apresenta recortes profundos, reentrâncias ou em que exista uma granja de ilhas ao longo da costa na sua proximidade.

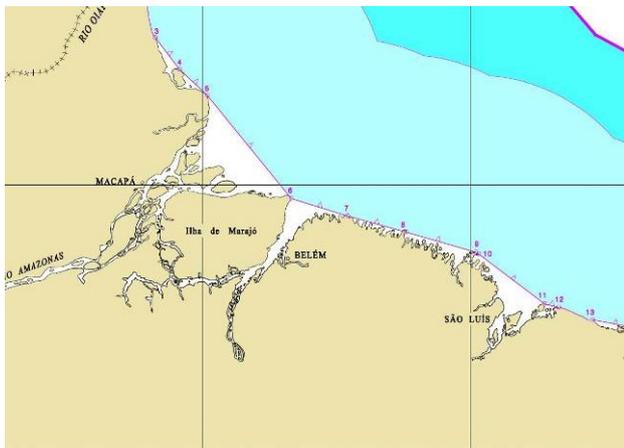


Figura 1 – Exemplo de LBR (costa dos estados do Amapá, Pará e Maranhão).

As Linhas de Base brasileiras foram determinadas pela DHN em 1993/1994, sendo que os pontos integrantes da LBR foram retirados graficamente de cartas náuticas em escalas que variam de 1:50.000 a 1:300.000, e publicados no Decreto Presidencial nº 1.290 de 21 de outubro de 1994. A Figura 2 apresenta o significativo aumento da Zona Econômica Exclusiva brasileira em função do estabelecimento de uma Plataforma Continental em torno das ilhas oceânicas. Contudo, as informações de contorno destas ilhas, representadas em suas respectivas cartas náuticas foram determinadas a partir de antigas restituções aerofotogramétricas e encontram-se em sistemas geodésicos de referência locais.

O Estado costeiro é soberano para determinar as suas Linhas de Base, as quais não têm de ser submetidas nem à ONU ou quaisquer outras organizações, ao contrário do que ocorre com os limites exteriores da plataforma continental, os quais devem ser apresentados à Comissão de Limite da Plataforma Continental da ONU, para análise e aprovação. O Brasil apresentou sua proposta de limites da Plataforma Continental Brasileira à Comissão de Limites da Plataforma Continental (CLCS – *Commission on the Limits of the Continental Shelf*) da ONU em 2004, tendo sido alterada em 2006 (Figura 2).

Smith (2003) apresenta aspectos legais e políticos envolvendo a negociação para a determinação de limites

marítimos, e principalmente, as disputas por ilhas oceânicas, seus efeitos sobre a determinação do espaço marítimo adjacente e o reconhecimento internacional.

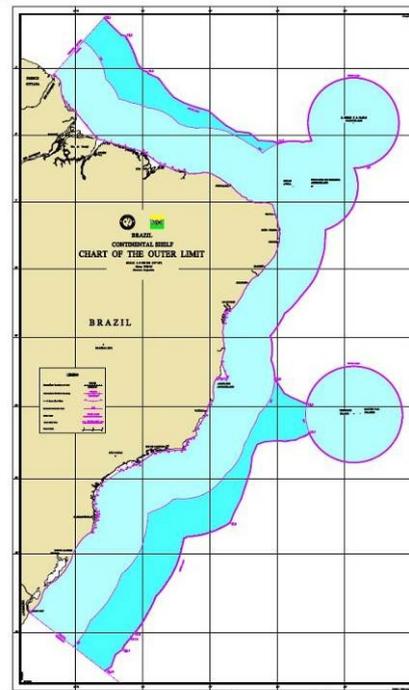


Figura 2 – Proposta de limites da Plataforma Continental Brasileira apresentada à ONU atualizada em 2006.

Todas as ilhas oceânicas brasileiras, incluídas as ilhas Martim Vaz, devem possuir mar territorial de 12 milhas náuticas e zona contígua até 24 milhas náuticas, inclusive rochedos que não se prestam à habitação humana ou à vida econômica própria (DHN, 1995). Estes últimos, segundo o Artigo 121 da CNUDM, não têm direito a Zona Econômica Exclusiva ou Plataforma Continental.

O objetivo deste trabalho é analisar a possibilidade de aplicação das técnicas de Fotogrametria Digital através do emprego dos meios operativos da Marinha do Brasil em uma metodologia que permita a atualização cartográfica, segundo os padrões recomendados pela OHI (Organização Hidrográfica Internacional), possibilitando a determinação das Linhas de Base das ilhas oceânicas brasileiras, e seus respectivos Mares Territoriais e Zonas Contíguas por meio de uso de imagens adquiridas por câmaras digitais embarcadas em helicópteros.

### 1.1 Ilhas Martim Vaz

Este arquipélago (Figura 3), distante aproximadamente 580 milhas a leste de Vitória (ES), é composto por três pequenas ilhas, de origem vulcânica, situadas 26 milhas a leste da Ilha da Trindade. A maior é a Ilha Martim Vaz, com aproximadamente 175 metros de altitude, seguindo-se a Ilha Sul com 122 metros, e a Ilha Norte, com 75 metros de altitude. A vegetação das ilhas é

constituída de pequenos e raros arbustos. O único acesso à Ilha Martim Vaz é por meio de helicópteros.



Figura 3 – Ilhas Martim Vaz (Carta Náutica nº 21).

## 2 METODOLOGIA

Foram utilizadas imagens digitais verticais tomadas com uma câmara digital SONY F-828, acondicionada em um suporte metálico, rigidamente instalado na parte inferior de um helicóptero HU-12 (Esquilo monoturbina), operando a partir do aeródromo do Navio Hidrográfico Sirius. A Tabela 1 apresenta as configurações e características da câmara utilizada e dos vôos utilizados para a atualização cartográfica.

Tabela 1 – Dados da câmara e do vôo para atualização cartográfica de Martim Vaz.

Distância Focal Nominal	32,185 mm
Número de pixels da imagem	3264 x 2448 (8 Megapixels)
Tamanho real do pixel na imagem	~0,0026 mm
Tamanho do pixel equivalente (p/ quadro padrão 35mm)	~0,011 mm
Alturas de vôo aproximadas	1120 m e 750 m
Altitude média da região	175 m
Velocidade aproximada da aeronave	70 km/h
Elemento de resolução no terreno	0,44 m e 0,29 m

As linhas de vôos foram executadas no sentido Sul-Norte nas altitudes de 2500 e 4000 pés, respectivamente com GSD de 29 cm e 44 m. Em função das reduzidas dimensões da ilha, 844m no sentido Norte-Sul e 656m no sentido Leste-Oeste, das imagens obtidas no vôos foram selecionadas 06 imagens obtidas na altitude de 1120 m e 09 imagens na altitude de 750 m. Foi possível definir apenas quatro pontos de apoio na região central da ilha, condição que não é a ideal, mas espera-se resolver essa deficiência geométrica utilizando

procedimentos alternativos para solução da triangulação fotogramétrica.

A fraca geometria dos pontos de controle se deve às dificuldades de deslocamento no topo da ilha, conforme pode ser observado na Figura 3, o que inviabilizou a materialização de pontos de controle e de verificação de uma forma mais distribuída pela ilha.

Os pontos de apoio foram determinados por posicionamento GPS relativo estático, tomando-se como estação de referência um marco testemunho da DHN, localizado na ilha da Trindade. As coordenadas dos pontos de apoio e da estação de referência são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Coordenadas WGS-84 dos pontos de controle localizados na Ilha Martim Vaz e da Estação de Referência na Ilha da Trindade.

Vértice	Coordenadas
<b>HELIPONTO</b>	Latitude: 20°28'32,9360 S Longitude: 28°51'05,78729 W Altitude Elipsoidal = 160,369m
<b>LESTE</b>	Latitude: 20°28'30,55632 S Longitude: 28°51'06,63627 W Altitude Elipsoidal = 151,475
<b>OESTE1</b>	Latitude: 20°28'32,54541 S Longitude: 28° 51'09,22829 W Altitude Elipsoidal = 151,960m
<b>OESTE2</b>	Latitude: 20°28'33,75006 S Longitude: 28° 51'07,38877 W Altitude Elipsoidal = 157,607m
<b>ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA</b>	Latitude: 20°30'28,5961 S Longitude: 29° 18'35,2514 W Altitude Elipsoidal = 22,5323m

### 2.1 Preparação das coordenadas

A fim de trabalhar com o sistema de coordenadas adotado pelo IBGE em mapeamentos sistemáticos, os pontos de apoio foram convertidos para o sistema de coordenadas UTM utilizando o programa TCD – Transformação de Coordenadas e de Datum, desenvolvido na UNESP/FCT.

Devido a necessidade de utilizar informações altimétricas no nível do mar, foi necessária a determinação das altitudes ortométricas. Para tanto, foi utilizado o programa NGA EGM96 GEOID CALCULATOR (NGA, 2008) que permite calcular a ondulação do geóide, para a redução das altitudes geométricas obtidas no processamento dos dados GPS para altitudes ortométricas.

### 2.2 Orientação Interior e Exterior

As etapas de orientação interior, medição de pontos de apoio e de enlace, processamento da triangulação foram realizadas sistema fotogramétrico LPS (*Leica Photogrammetry Suite*) da Leica Geosystem (LEICA, 2003).

A fim de resolver a inconsistência geométrica, provocada pela má distribuição dos pontos de apoio foram medidos vários pontos de enlace no nível d'água. Esses pontos, posteriormente, foram processados como pontos de apoio altimétricos, cuja altitude foi fixada como nula.

**3 RESULTADOS**

Utilizando os 3 pontos de apoio disponíveis, 31 pontos de apoio altimétrico (pontos na linha de costa da ilha), 01 ponto de verificação e 22 pontos de enlace os seguintes resultados foram obtidos: 1,3555 pixel de  $\hat{\sigma}_0$  (variância da unidade de peso a posteriori), com uma discrepância no ponto de verificação de  $d_x = 0,339m$ ,  $d_y = 0,101m$  e  $d_z = 0,956m$ .

Para verificar a exatidão na orientação das imagens, 06 pontos na água foram estabelecidos como de verificação. A Tabela 03 apresenta a estatística desse experimento.

Tabela 3 – Estatística das discrepâncias nos pontos de verificação situados ao nível d'água.

Parâmetros	Z
Média	2,357m
Mínimo	-2,169m
Máximo	6,466m
EMQ	±3,662m

Um aspecto a ser analisado se refere a qual classe um produto gerado a partir da triangulação realizada pode ser enquadrado. Observando o erro médio quadrático obtido no ponto de verificação e os valores mostrados na Tabela 4 verifica-se que é possível gerar um produto compatível com a classe A na escala 1/25.000. Embora o EMQ das discrepâncias nos pontos no nível do mar esteja ligeiramente acima do EP para a equidistância de 10m, é preciso considerar que estes pontos não são de apoio no sentido rigoroso para o controle de qualidade e há grande incerteza em sua medição, como mostra a Figura 5. Por esta razão é possível confiar no pontos de verificação para considerar aceitável esta fototriangulação para geração de produtos na escala de 1:25.000. Para a escala de 1:50.000 estes resultados atendem o PEC classe A.

Tabela 4 – PEC e Erro-padrão altimétrico para as escalas 1/10.000 a 1/50.000 na classe A.

Escala	PEC ½ da equidistância entre as curvas de nível.	Erro-padrão (m) 1/3 da equidistância entre as curvas de nível.
1/10.000	5m	3,33m
1/25.000	5m	3,33m
1/50.000	10m	6,66m

Com respeito às coordenadas planimétricas, não foi possível realizar uma análise mais acurada devido à inexistência de mais pontos de verificação. No entanto,

com somente um ponto de verificação, verifica-se que as coordenadas planimétricas estão com precisão compatível para mapeamentos na escala 1/2000 (EP = 0,6m). Essa análise deve ser vista com ressalva, devido à proximidade do ponto de verificação com os de apoio e da amostra.

Considerando a qualidade das imagens obtidas o produto gerado pode ser enquadrado em escalas maiores e os resultados preliminares obtidos refletem os seguintes aspectos:

- o baixo número de pontos de controle, decorrentes da dificuldade de acesso a pontos com distribuição geométrica mais adequada, mantendo-se deste modo a segurança da equipe de campo;
- a distribuição dos pontos de apoio e enlace sobre o quadro focal e sobre o bloco, que também não é a ideal (ver Figura 4); e
- a dificuldade de realizar a pontaria nos pontos no nível d'água e na costa, devido à maré.

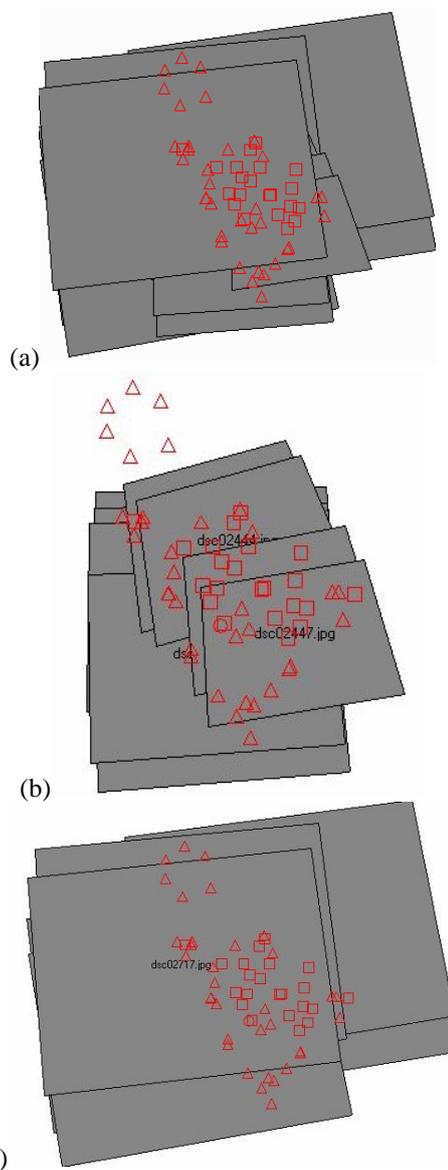


Figura 4 – Imagens usadas na fototriangulação e distribuição dos pontos de apoio e enlace no bloco de

imagens. (a) todas as imagens utilizadas, (b) somente as imagens tomadas com altitudes de 750 m (c) somente as imagens tomadas com altitude de 1120 m.

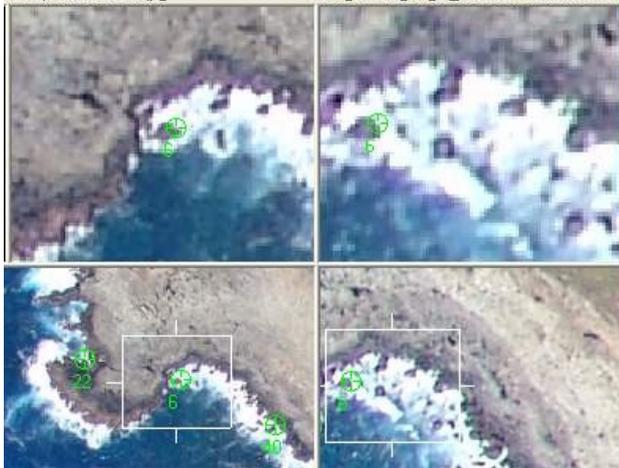


Figura 5 - Imagem de ponto ao nível do mar usado como apoio altimétrico, mostrando a incerteza em sua identificação.

#### 4 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A metodologia de Fotogrametria Digital, baseada no uso de imagens digitais de médio formato, coletadas a partir de helicópteros, atende às especificações internacionais da OHI (OHI, 2008) para a representação cartográfica náutica de linhas de contorno e toma uma relevante importância estratégica, agregando agilidade e independência à Marinha do Brasil para a realização do mapeamento náutico em toda a sua área de atuação, sobretudo em regiões de difícil acesso, tais como as ilhas oceânicas e bacias Amazônicas e do Pantanal. Encontra-se em estudo o desenvolvimento de um sistema aerotransportado próprio e adequado para operação a partir de helicópteros para coleta de imagens digitais.

Com o objetivo de melhorar os resultados, novos processamentos serão realizados, entre os quais, processar os dados utilizando injunções em pontos com a mesma altitude ( $\Delta h = 0$ ) e com auto-calibração da câmara.

Serão gerados produtos cartográficos, como o Modelo Digital de Terreno, ortoimagens e a restituição vetorial com a finalidade de atualizar as cartas da ilha.

#### REFERÊNCIAS

DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação. **Parecer encaminhado pelo Of nº 0189 de 10 de fevereiro de 1995**. Rio de Janeiro, 1995.

LEICA Geosystems **Leica Photogrammetry Suite, OrthoBASE e OrthoBASE pro User's Guide**. United States of America, Atlanta, 2003. 490p.

NGA – National Geospatial Intelligence Agency, **NGA EGM96 GEOID CALCULATOR**. <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm96/intpt.html>  
Acesso: 19 de Julho de 2008.

SMITH, R.W. **Maritime Boundary Negotiations. National Considerations**. Monaco: Advisory Board on the Law of the Sea (ABLOS) Conference 2003. Tutorials...

OHI – Organização Hidrográfica Internacional. **IHO Standards for Hydrographic Surveys – Special Publication Nº 44**. 5a. edição. Principauté de Monaco, 2008. 36p.