

Evolução da Fotogrametria no Brasil

Evolution of Photogrammetry in Brazil

Daniel Carneiro da Silva

Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Departamento de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal de Pernambuco
Cidade Universitária – Recife, PE, Brasil
carneirodasilvadaniel@gmail.com

Artigo – Submissão: 19/06/2015 – Aceito em: 14/12/2015

RESUMO – O desenvolvimento da fotogrametria no início e meados do século XX, em câmeras, equipamentos de restituição e aeronaves teve grande impulso devido às duas grandes guerras, e na décadas seguintes pelo ganho em produtividade no mapeamento de grandes áreas em comparação com outros métodos de levantamentos. No caso do Brasil é significativo o fato que tenha acompanhado de perto aquele desenvolvimento ocorrido no exterior e até mesmo tenha sido pioneiro em alguns levantamentos com as mais novas tecnologias então disponíveis. Este artigo apresenta um breve histórico do desenvolvimento da fotogrametria no mundo e ao mesmo tempo tenta ligar os fatos com as diversas experiências brasileiras, executadas com a participação direta de entidades públicas e privadas, principalmente ao longo de todo século XX. Finalmente discute as mudanças de conceitos e paradigmas introduzidos pela nova fotogrametria digital altamente automatizada.

Palavras-chave: Fotogrametria terrestre, aerofotogrametria, câmeras fotogramétricas, aerolevanteamento.

ABSTRACT – The development of photogrammetry in the early and mid-twentieth century, including cameras, stereo plotters and aircraft has been increased greatly due to the two world wars, and in the following decades by the gain in productivity in large areas of mapping compared to other survey methods. In Brazil it is significant that has closely followed the development that occurred abroad and even has been a pioneer in some surveys with the newest technologies then available. This article presents a brief history of the development of photogrammetry in the world and at the same time you try to connect the facts with the various Brazilian experiences, carried out with the direct participation of public and private entities, mainly throughout the twentieth century. Finally discusses the changes in concepts and paradigms introduced by the new highly automated digital photogrammetry.

Keywords: Photogrammetry, aerial photogrammetry, photogrammetric cameras, aerial survey.

1. INTRODUÇÃO

A história da fotogrametria começou com a fotogrametria terrestre simples, passou pela fotogrametria terrestre estereoscópica, e nas versões aéreas usou como plataformas pombos e balões antes da invenção do avião, a qual adaptou-se rapidamente.

No Brasil o desenvolvimento da fotogrametria acompanhou com poucos anos de atraso os avanços da mundial. Já a fotogrametria terrestre, aplicada à medicina, indústria, perícias policiais e jurídicas, e arquitetura, foi mais acanhada e não se difundiu satisfatoriamente a nível de empresas, contudo podem ser encontrados vários trabalhos acadêmicos importantes, como teses e dissertações, nessas aplicações.

O termo Fotogrametria apareceu no ano de 1855, criado pelo geógrafo Kersten e foi introduzido por Albrecht Meydenbauer (1834-1921) na literatura internacional em 1893, ao fotografar edificações de grande valor arquitetônico na Alemanha. Antes o método foi chamado de iconometria, metrofotografia e fotofotografia.

Nos primeiros anos do século XX a fotogrametria despertava um interesse cada vez maior na comunidade científica da época. Eduard Dolezal, em Viena, criou em 1907 a Austrian Society for Photogrammetry e o International Archives of Photogrammetry, sendo o editor dos seis primeiros volumes de 1908 a 1923; em 1909 criou a International Society of Photogrammetry (atual ISPRS-International Society of Photogrammetry and Remote Sensing) que deu continuidade à série de "Archives". O primeiro congresso internacional de fotogrametria foi em Viena, em 24-26 de setembro de 1913. Esta sociedade, assim como a American Society of Photogrammetry, criada em 1934, ambas tem importante participação no desenvolvimento da fotogrametria até os dias hoje.

A Sociedade Brasileira de Cartografia foi fundada em 28 de outubro de 1958 com fins técnico-científicos. A sua sede é no Rio de Janeiro e é formada por seis comissões técnicas, entre elas uma de fotogrametria e outra de fotointerpretação. A SBC teve e tem importante papel no apoio e divulgação de trabalhos realizados por pesquisadores e engenheiros do mais alto nível, por meio da Revista Brasileira de Cartografia (RBC) e dos

Congressos Brasileiro de Cartografia. O primeiro número da RBC foi publicado em novembro de 1970.

Este artigo procura fazer um paralelo entre o desenvolvimento da fotogrametria no mundo e no Brasil. São realçados aspectos importantes das primeiras metodologias e características dos equipamentos mais antigos, tanto para valorizar o engenho dos pioneiros como para mostrar que algumas das soluções antigas voltaram a ser utilizados na fotogrametria digital moderna. Outra observação é que apesar da fotogrametrias se basear em princípios geométricos simples (interseção de retas) e fisiologia da visão (estereoscopia) as medições nas fotografias, para serem precisas, envolveram no passado uma tecnologia sofisticada em ótica, mecânica de alta precisão e na fase atual utiliza métodos digitais avançados, que o Brasil sempre acompanhou o desenvolvimento de perto e a adotou poucos anos depois.

A evolução da fotogrametria no seu início é detalhada por Dolezal (1909,1911, 1913, 1919) e Jordan (1944); nas fases seguintes por Slama (1980), McGlone (2004), Gruen (2008) e Burtch (2008). A nível nacional uma discussão histórica da fotogrametria é apresentada por Rocha et al (2010) cujo trabalho foi usado como principal referência. É relevante o fato que na literatura técnica brasileira sejam encontrados de forma bem detalhada os procedimentos teóricos e práticos da fotogrametria terrestre e aérea dos meados do século XX, como em Mesquita (1958) e Espartel (1978). Outras informações complementares importantes podem ser encontrados nas edições da Revista Brasileira de Cartografia da Sociedade Brasileira de Cartografia e em Idoeta et al (2004).

O artigo é dividido em três partes principais: a primeira é um resumo sobre o início da fotogrametria em geral, quanto às metodologias e evolução dos equipamentos; a segunda parte relata a fotogrametria no Brasil e a participação e contribuições das entidades públicas e privadas; e a terceira trata dos aspectos de mudanças da fotogrametria digital com integração de GNSS, Lidar e Vant.

2. BREVE HISTORIA GERAL DAS PRIMEIRAS FOTOGRAFIAS AÉREAS

Em 1848, o oficial do Corpo de Engenheiros do exército francês, Aimé Laussedat (1819-1907) já empregava o princípio da câmera clara para desenhar vistas geometricamente exatas de áreas levantadas, e também desenvolveu o método de interseções para o desenho de plantas a partir de fotografias (Espartel, 1978). Por este motivo ele é considerado o “Pai da Fotogrametria”. Sua idéia era baseada nos princípios geométricos da perspectiva, aplicados por Carpellier, em fotografias no lugar de desenhos. Este método foi reconhecido em 1862 pela Academia de Ciências de Madri (ROCHA et al, 2010).

Em 1855 Gaspard Felix Tournachon (1820-1910), conhecido mais como Nadar, patenteou a idéia de usar fotografias aéreas para mapeamento. Mas só em 1858,

usando um balão a 80 metros de altura obteve as primeiras fotografias aéreas inclinadas de Petit-Bicêtre, próximo a Paris (SLAMA, 1980). Uma caricatura de Nadar tirando fotografias aéreas foi publicada em 1863 (Figura 1).

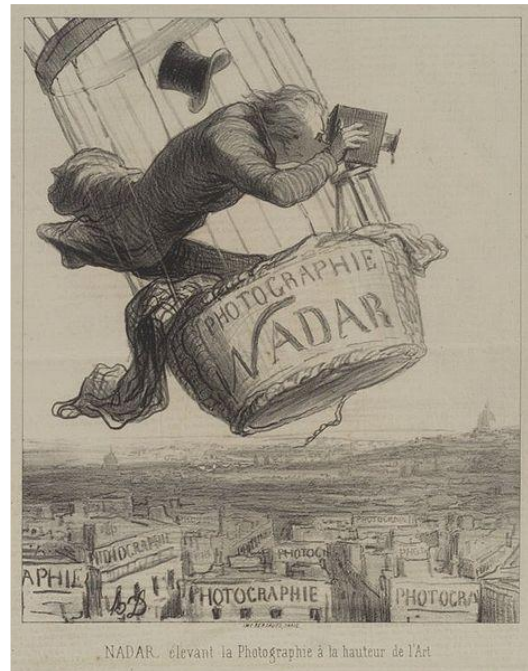


Figura 1. A litografia de Honoré Daumier mostrando Nadar a fotografar Paris de um balão, com título "Nadar elevando a fotografia à altura da Arte", publicada em *Le Boulevard*, 25 Maio de 1863.

Fotografias aéreas foram tomadas de balão, pombos e pipas nos anos do fim do século XIX e início do século XX na Europa, Estados Unidos e Canadá.

Com fotografias terrestres foram realizados levantamentos como o da praça de Grenoble na França (cerca de 20 km²), pelo capitão Javary em 1864 e logo depois o importante trabalho de M.J Vallot que levantou o maciço do Mont Blanc. Os alemães fizeram muitas aplicações como a planta do oásis de Gaser-Daschel por Jordan em 1873; levantamentos na Pérsia com fins arqueológicos em 1874 por Stolze, geleira de Junfrau, por Doernges e Koppe. Na Itália o eng. Pio Paganini refez grande parte da planta dos Alpes e na Áustria reconhecimento em grande escala no Alpes, no Tirol e outros locais. (ESPARTEL, 1973).

A partir de 1881 No Canadá, o francês Edouard Gaston Deville (1849-1924), ex-engenheiro hidrógrafo da Armada Francesa, ocupou cargos importantes com responsabilidade de Levantamentos no Canadá, desenvolveu serviços de mapeamento com a aplicação da fotogrametria, com os primeiros testes nas Montanhas Rochosas. O primeiro mapeamento de grande área foi cerca de 3300 km², escala 1/40.000 e intervalo de curvas de nível de 33m.

Todos esses levantamentos eram executados por fotogrametria terrestre enquanto por fotogrametria aérea um dos primeiros resultados práticos foi conseguido por

balão pelo Capitão Cesare Tardivo (1870-1953), oficial italiano da Seção Fotográfica do Corpo de Engenheiros da Itália, criada em 1896. Entre seus trabalhos relacionados por (GUERRA e PILOT, 2000), destaca-se um mosaico de fotografias com balão de Veneza, em 1911, usando a metodologia do *Manuale di fotografia, telefotografia e topografia da pallone* escrito por Tardivo (Figura 2).

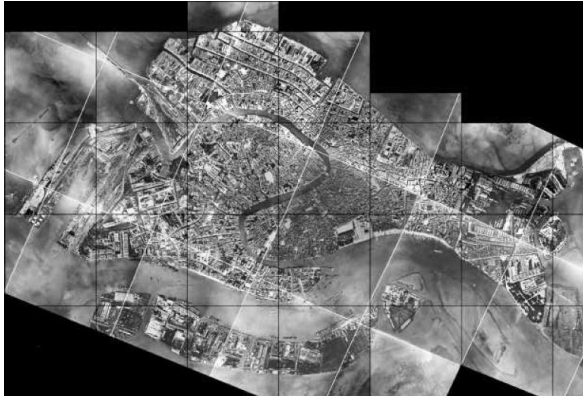


Figura 2. Mosaico de fotografias com balão de Veneza (GUERRA e PILOT, 2000).

Em 1913 Tardivo apresentou no 1º Congresso Internacional de Fotogrametria, em Viena, diversos trabalhos (GUERRA e PILOT, 2000) de uso civil e outros de natureza militar, como um mosaico de fotografias aéreas de Benghasi na Líbia que fora invadido pela Itália em 1911. As fotografias desse mosaico também foram obtida de balão (DOLEZAL, 1919) e não avião como consta em algumas citações (BURTCH, 2008).

Enquanto o registro da primeira fotografia aérea, que foi obtida de balão por Nadar, para fins de mapeamento é de consenso geral o mesmo não acontece com a fotografia área de avião. Neste caso os candidatos são pelo menos três.

Por alguns o feito é atribuído ao americano Wilbur Wright, um dos irmãos inventores do aeroplano americano, em Centocell, na Itália, em 1909, mas na verdade foi um filme registrado por outro ocupante do avião, com filmadora, e sem fins cartográficos. Por outros é atribuído ao Capitão Cesare Tardivo, e que o mosaico acima citado é originado de fotografias aéreas de avião. O terceiro candidato é Friedrich Wilhelm Zinn, ou Fred Zinn, um americano que foi aviador da Força Aérea Francesa e que teria obtido as primeiras fotografias aéreas, mas neste caso para fins de reconhecimento militar, não mapeamento, no início da 1ª Guerra Mundial, em 1914. O mais provável é que as primeiras fotografias aéreas de avião sejam de 1912, tomadas pela Royal Flyin Corps. como afirma Stewart (1931).

Com o início da 1ª Guerra (1914-1918) as fotografias passaram a ser usadas intensamente para reconhecimento do campo do inimigo. Como exemplo Slama (1980) apresenta um mosaico de fotografias de uma câmera automática das forças alemãs, que fotografaram de cerca de 7.000.000 km² dos territórios da França, Bélgica e Rússia .

Após a guerra as empresas privadas passaram a investir na fotogrametria para mapeamento, visto que

nesta época as câmeras e equipamentos de restituição já estavam mais aperfeiçoados e mais produtivos. Stewart (1931) conta detalhes sobre os procedimentos dos levantamentos fotogramétricos no início do século XX, inclusive os levantamentos aéreos com fotografias oblíquas.

Em 1927 e foram realizados testes próximo a Quebec, no Canadá pela Royal Canadá Air Force. Em 1928 foi levantando 10.000 km² na província British Columbia. Em 1920 a *Fairchild Aerial Survey* teve um dos primeiros contratos para aerolevantamentos, para o estado de Connecticut, nos EUA, mas só foi executado em 1934. Na Suíça em 1928 houve estudos de precisão de restituição de aerofotogrametria com o autógrafo Wild. O serviço Topográfico da Alemanha em 1929 realizou experimento com objetivo de aplicar ao cadastro topográfico de parcelas, também em 1927 na ilha de Amrum nas montanhas de Harz (JORDAN, 1944; SLAMA, 1980).

Em torno de 1930 é que a fotogrametria aérea passou a ser usada regularmente e em 1934 foi fundada a Sociedade Americana de Fotogrametria (*American Society of Photogrammetry*). Nos anos seguintes a aerofotogrametria se consolidou como método ideal para grandes áreas até os dias atuais, incorporando os avanços tecnológicos na fabricação das câmeras, filmes, aeronaves e recursos computacionais. Nos anos 1960 apareceu a fotogrametria analítica com a introdução dos computadores. Nos anos 90 as fotografias começaram a ser digitalizadas e apareceram as primeiras aplicações da fotogrametria digital.

3. CICLOS E EQUIPAMENTOS DA FOTOGRAMETRIA ANALÓGICA

A fotogrametria pode ter várias classificações. Quanto a posição onde a câmera está instalada pode ser aérea e terrestre. Quanto à tecnologia a classificação mais comum é: analógica, analítica e digital. Porém (BURTCH, 2008) sugere mais a de prancheta, ficando:

- Prancheta de 1950 a 1900, com medições sobre pranchetas e uso de fotografias simples.
- Analógica de 1900 a 1960, com uso pleno de estereoscopia e desenvolvimento da aérea.
- Analítica de 1960 a 1990.
- Digital a partir de 1990.

Em Espartel (1978) a fotogrametria por prancheta é chamada de fotogrametria comum e a analógica de estereofotogrametria. É importante notar que a fotogrametria analítica e a digital podem trabalhar com ou sem estereoscopia.

3.1 Fotogrametria Comum ou por prancheta

A fotogrametria é baseada no princípio de interseções de retas a partir de fotografias para medir detalhes do terreno, sendo que antes as retas eram traçadas sobre cópias em papel e hoje o mesmo acontece com o uso da equação da colinearidade. As fotografias

podem ser consideradas perspectivas cônicas perfeitas, e como as relações geométricas são bem conhecidas, podem ser desenhados os planos ortogonais correspondentes em escala. Este é o princípio usado por Laussedat, ilustrado na Figura 3, em que o desenho dos detalhes planimétrico (pirâmide) e altimétrico (curvas de níveis) são obtidos a partir das fotografias I e II.

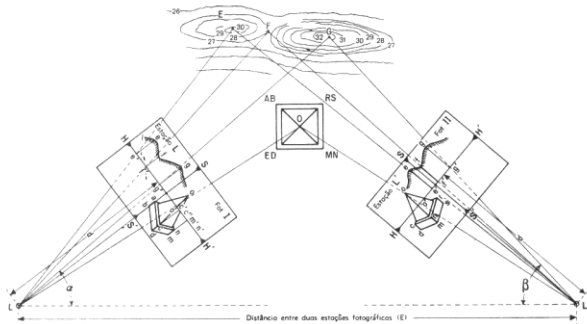


Figura 3. Uso de perspectiva na fotogrametria do Método de Laussedat (ESPARTEL, 1978).

O método da interseção, ou da prancheta, é assim chamado porque a determinação dos pontos se fazia com uma prancheta por interseção direta. A partir de um ponto conhecido de uma estação são tomadas vistas fotográficas de uma parte do terreno e como são conhecidos também os pontos de orientação da placa de cristal, é possível deduzir da fotografia os ângulos azimutais de todos os pontos e por interseções de raios podem determinar-se as posições desses pontos (JORDAN, 1944).

As coordenadas dos pontos das estações eram determinadas previamente por triangulação ou poligonação e as alturas eram determinadas por nivelamento. Para a orientação exterior é necessário conhecer o azimute do eixo da câmera, o que podia ser obtido com a medição de alguns vértices dados e ajuda de bússola. Com os fototeodolitos esta operação era facilitada. A Figura 4 mostra o fototeodolito de Laussedat.

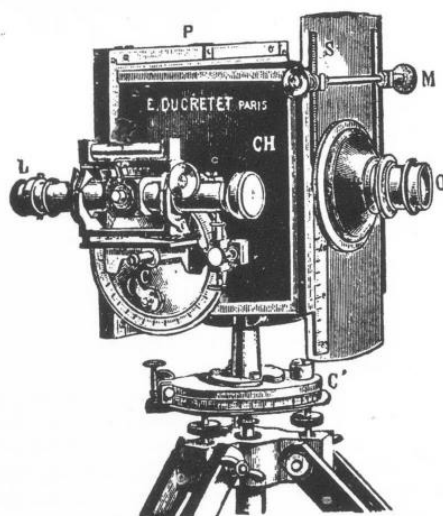


Figura 4. Fototeodolito de Laussedat (ESPARTEL, 1978).

A descrição do método de Laussedat é encontrada com detalhes em Espartel (1978).

A fotogrametria comum emprega uma simples câmera fotográfica, ou fototeodolito, tipo Laussedat, que podia ser operada por um pessoal reduzido, e levantava com precisão suficiente e certa rapidez, detalhes em zonas inacessíveis aos processos taqueométricos, daí que suas primeiras aplicações foram no levantamento de terrenos com grande dificuldade de acesso. Exemplos ilustrativos de aplicação prática da fotogrametria terrestre simples em trabalhos de campo em Porto Alegre em 1936, são dados em Espartel (1973) e um deles é mostrado na Figura 5.

Porém a fotogrametria comum tem a dificuldade de identificar em imagens diferentes o mesmo ponto no terreno, que deve ser medido com o rigor e precisão necessários. Este problema pode ser contornado com a estereofotogrametria,

3.2 Estereofotogrametria

A estereofotogrametria requer pessoal mais qualificado, aparelhagem mais sofisticada e pode ser aplicada para trabalhos de maior rigor em precisão em mapeamento. É possível identificar melhor os pontos e medir as coordenadas fotográficas em x e y e as paralaxes diferenciais estereoscópicas.

A estereofotogrametria só pode ser implementada na prática em 1901, com a construção do Estereocomparador de Pulfrich (Figura 4.), que tira vantagem da visão estereoscópica. Esta já era conhecida desde 1600, pelo astrônomo alemão Johannes Kepler (1571-1630)

Para a estereofotogrametria é necessário que as fotografias, duas a duas, tenham os eixos paralelos entre si, enquanto na fotogrametria comum eles são inclinados (Figura 5). No caso chamado normal os eixos são paralelos entre si e normais à base (Figura 5a), mas isto reduz a amplitude da área coberta pelo levantamento de uma base. Para ampliar este limite podem ser criadas bases sucessivas com direções distintas, formando uma poligonal, ou usando uma base oblíqua aos eixos óticos (Figura 5b).

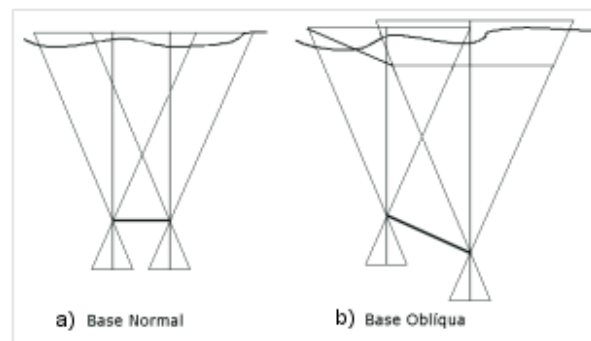


Figura 5. Geometrias de tomadas de fotografias para estereofotogrametria terrestre. a) caso Normal, b) caso oblíquo.

O equipamento antigo mais preciso de medição de detalhes nas fotografias é o estereocomparador, que permite a visão estereoscópica do relevo. O equipamento foi concebido de tal forma que um microscópio estereoscópico aumenta o afastamento entre os olhos e amplia assim o limite de percepção do relevo. A exatidão das medidas angulares é muito aumentada e a visão do relevo podia chegar a cerca de 27km. Os cálculos das posições planimétricas e altimétricas de pontos são feitas com as leituras de coordenadas cartesianas, fórmula de paralaxe e semelhanças de triângulos. (ESPARTEL, 1978).

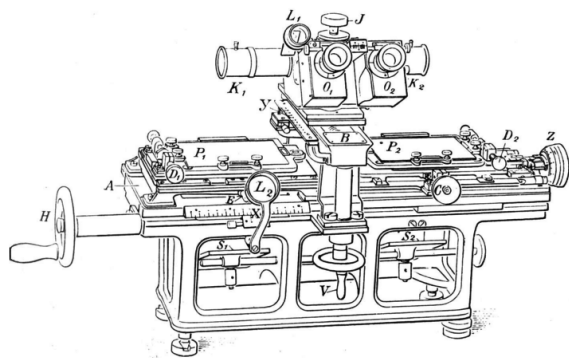


Figura 6. Estereocomparador de Pulfrich (JORDAN, 1944).

O aperfeiçoamento do estereocomparador com a adição de um pantógrafo pelo Capitão Ritter von Orel, membro do Instituto Geográfico de Viena, em 1908 na Alemanha, gerou o estereoaquígrafo. Este é o primeiro equipamento que permite o desenho direto a partir da fotografia para o papel e facilita o traçado das curvas de nível do terreno. A Zeiss depois construiu o primeiro modelo comercial, o Orel-Zeiss (Figura 8).

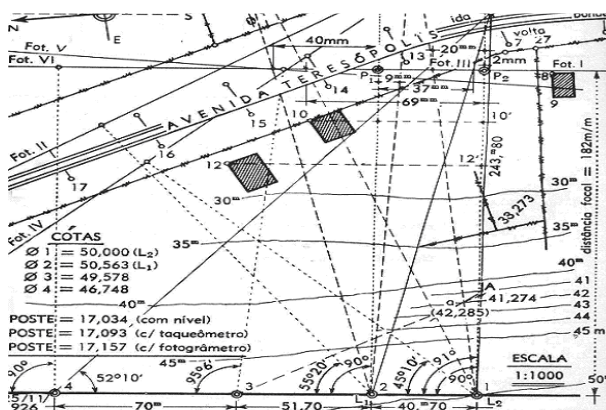


Figura 7. Trecho de levantamento realizado por Espartel (1978) com o método de Laussedat em Porto Alegre.

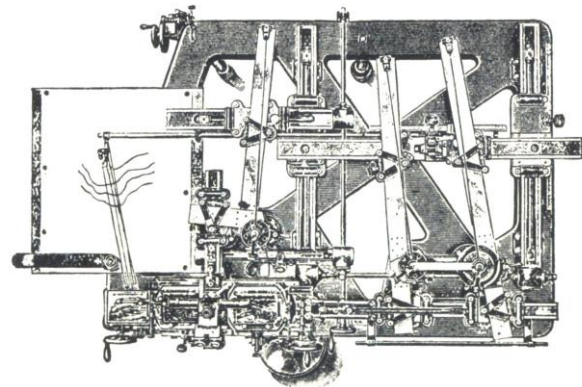


Figura 8. Estereoaquígrafo de Von Orel-Zeiss (ESPARTEL, 1978; JORDAN, 1944).

Na mesma época, F. Vivian Thompson construiu também um restituidor similar ao de Orel, em 1907, para fotogrametria terrestre (PETRIE, 1977).

O desenvolvimento de instrumentos de restituição estéreo de modo geral foi interrompido pela 1ª Guerra, mas em seguida houve intensas pesquisas e importantes desenvolvimentos, com ênfase agora para fotogrametria aérea (PETRIE, 1977).

Foi neste período que foram aperfeiçoados os princípios básicos dos instrumentos analógicos usados até recentemente. Os equipamentos pioneiros incluem os óticos de projeção como o Fotocartógrafo Nistri (1919) o Esteroplanígrafo Bauersfeld da Zeiss (1923); os de projeção mecânica Autoredutor Santoni (1920), Esterocartógrafo I (1925) e óticos-mecânicos: Autocartógrafo Hugershoff (1921) Estereotopógrafo Poivillier (1923), Aereocartógrafo Hugershoff (1926), Autograph Wild A2 (1926). O estereotopômetro de Prédhumeau foi construído pela casa Secretan da Paris para o Serviço Geográfico do Exército Francês, por volta de 1922; com base em experimentos de Deville em 1902 (JORDAN, 1944).

A construção dos restituidores obedece a dois princípios diferentes: a) decomposição do raio em suas componentes horizontais e verticais, ou b) interseção de raios no espaço, que pode ser por projeção de luz ou por hastes mecânicas. O autocartógrafo e o esterocartógrafo se baseiam no primeiro e o estereoplanígrafo no segundo.

Os equipamentos usados para restituição terrestre não eram práticos para levantamentos de grandes extensões e a primeira solução foi usar a idéia do projetor duplo, em que as fotografias eram projetadas sobre uma tela de projeção que se move paralela a si mesma, desenvolvida pelo austríaco Theodore Scheimpflug (1865-1911) em 1898. Essa idéia foi posta em prática por Gasser em 1915-1917, que construiu o chamado Projetor Duplo de Gasser, mas devido à Guerra ficou esquecido e seus princípios só foram usados mais tarde (JORDAN, 1944; SLAMA, 1980). Partindo do mesmo princípio o italiano Umberto Nistri, em 1919, também construiu um

projektor. A descrição da restituição em aparelhos de projeção é dada em Mesquita (1958).

Entre os equipamentos postos no mercado com projeção luminosa os mais fabricados foram os restituidores Multiplex, pela Zeiss a partir de 1940, e depois da 2ª Guerra pela Bausch&Lomb, nos EUA. A Figura 9 mostra o Multiplex, Bausch&Lomb e a 10 o óculos para anaglifo e um par fotografias de placa de cristal 4,5cmx4,5cm, usadas nos projetores, do Museu do Decart-Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE.

Os restituidores ótico mecânicos aos poucos foram cada vez mais aperfeiçoados e praticamente dominaram o mercado, após os restituidores de projeção luminosa.

A empresa Otto Meccanica Italiana (O.M.I.) e Rilevamenti Aerofogrammetrici, dos irmãos Nistri, com sede em Roma, construiu diversos aparelhos para fotogrametria como câmeras e restituidores (MESQUITA, 1958, SLAMA, 1980).

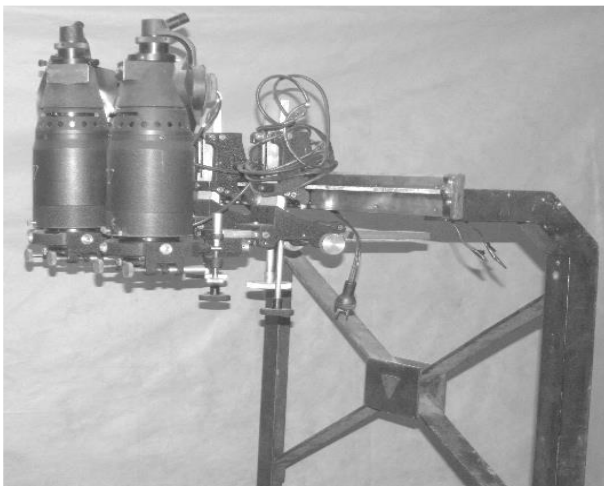


Figura 9. Aeroprojetor Multiplex do museu do DECART-UFPE



Figura 10. Óculos e par de fotografias em placas de vidro do museu do DECART-UFPE.

Entre os restituidores da O.M.I alguns merecem destaque: Fotocartógrafo Nistri Aeronormal 2 (FN2), tipo projeção direta, para escalas grandes, usado no levantamento pioneiro de São Paulo (Figura 11) e o modelo Beta2 de 1952, que foi o primeiro equipamento a substituir o traçador mecânico por saída elétrica. Esta solução veio a ser posteriormente usada para converter os equipamentos óticos-mecânicos para saída digital, nos anos 80.

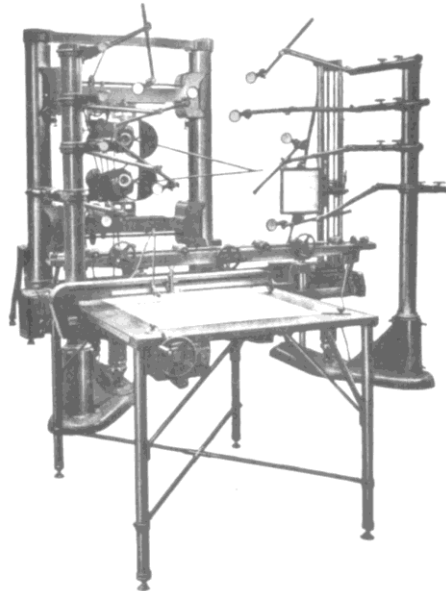


Figura 11. Fotocartógrafo Nistri 2. (MESQUITA, 1950, 1958). Usado no levantamento fotogramétrico de São Paulo em 1928-1930.

Algumas listas dos equipamentos de restituição disponíveis no Brasil em 1952 são encontradas em Mesquita (1958). Barreto (1970) listou também os equipamentos de restituição de entidades públicas e privadas, na década de 1970, cuja relação classifica os equipamentos em triangulador e restituidor de 1ª ordem (Wild A5 e A7; Zeiss C5 e C7; Nistri-B e APC, Santoni-IV; 2ª ordem (Wild A9); somente restituidor de 1ª ordem Planimat, WildA8, Santoni-III; 2ª ordem (Kelsh, Wild B8 e A6, Kern-PG2, Duplo Projektor Zeiss); 3ª ordem (Multiplex, Wild B9); 4ª ordem (estereotopo, Rest Kek).

3.3 Breve história da câmeras fotogramétricas

As fotografias para a fotogrametria terrestre eram tomadas de fototeodolitos (Figura 1) e câmeras montadas sobre teodolitos. Em Jordan (1944), Espartel (1978), Mesquita (1958) e Slama (1980) podem ser vistos vários modelos. Jordan (1944) mostra os procedimentos de orientação dos fototeodolitos.

Com a chegada do avião a fotogrametria teve importante impulso. Em 23 de outubro de 1906, o brasileiro Alberto Santos Dumont (1873-1932), em uma experiência vistoriada pela Comissão Científica do Aeroclube da França, alcançou vôo com o 14-bis. A partir daí, poderiam ser obtidas fotografias de áreas muito mais extensas e com mais flexibilidade que com balões, porém

eram necessários ainda vários aperfeiçoamentos nas aeronaves e câmeras. As fotografias aéreas de avião tiveram grande utilização na 1ª Guerra de 1914 a 1917 mas somente para fins militares.

As câmeras fotogramétricas analógicas para fotografias aéreas eram todas manuais e apenas em 1915 apareceu a primeira câmera aérea automática, usada na 1ª Guerra (SLAMA, 1980). A Figura 12 ilustra como eram adquiridas as primeiras fotografias de avião com câmera manual.



Figura 12. Tomada de fotografias com câmera manual na 1ª Guerra Mundial (foto: autor desconhecido).

As câmeras manuais mais comumente usavam chapas fotográficas e tinham pequeno campo angular, como exemplos: Na Suíça havia a câmera Wild $f=165\text{mm}$ para chapas de vidro de $10 \times 15\text{cm}$; na Alemanha a Zeiss HMK com 4 chassi com 6 chapas cada ou filme de 120 foto, formato $13 \times 18\text{ cm}$ $f=210\text{mm}$; na França, as câmeras SOM Poivilliers chapa 13×18 (JORDAN, 1944).

A empresa Italiana OMI (Nistri) construiu diversas câmeras aéreas (Mesquita, 1958): modelo AFL 92 para placas 13×18 , $f=200\text{mm}$, dois chassis capacidade de 84 chapas cada um; modelo FOMA 93/A para filmes 18×18 ; modelo FOMA 93/B para filmes 30×30 ; modelo Aeronormal. O modelo AFL 92 (Figura 13) foi usado no levantamento da capital São Paulo.

Depois as câmeras de filme tipo quadro passaram a ser o padrão, eram automáticas, com formato do filme $23 \times 23\text{cm}$, conjuntos de lentes intercambiáveis com distâncias focais como 88mm , 152mm , 200mm e 300mm . Foram também desenvolvidas ainda no período de 1930 a 1970, diversos tipos de câmeras com características especiais como: panorâmicas, de faixa contínua, multi bandas (multi câmeras, multi lentes e divisor de feixe) e espaciais (SLAMA, 1980).

Um arranjo de multi câmeras especial é o Trimetrogon, que é o nome dado ao conjunto de três câmeras aerofotogramétricas da americana Fairchild que usavam a objetiva conhecida como Metrogon, fabricada pela Bausch&Lomb nos EUA. O termo foi estendido para o levantamento aerofotogramétrico de pequena escala e para reconhecimento de áreas extensas, tendo sido

utilizado no Brasil (ver seção 4.2). Detalhes do sistema, inclusive das medições nas fotografias inclinadas são dados em Mesquita (1958).

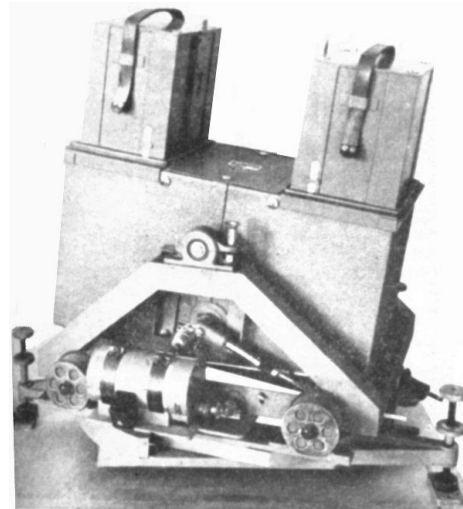


Figura 13. Câmera Nistri AFL 92 (MESQUITA, 1958).

3.4 O estereógrafo Wolf

O estereógrafo Wolf (Figura 14) é um aparelho simplificado de restituição planimétrica e altimétrica, que marca a participação brasileira na construção de equipamentos fotogramétricos. Este aparelho foi usado para confecção de minutas cartográficas, pelo SGE (Serviço Geográfico do Exército) na escala $1/50.000$. Foi concebido e construído sob orientação pelo militar austríaco Emilio Wolf durante sua estada no Brasil. Depois foi aperfeiçoado por Benjamin Arcoverde Cavalcanti, que o tornou inteiramente automático e deu o nome de Autoestereógrafo. Detalhes de construção e operações são dados por Mesquita (1958). A Figura 15 mostra um militar operando o estereógrafo.

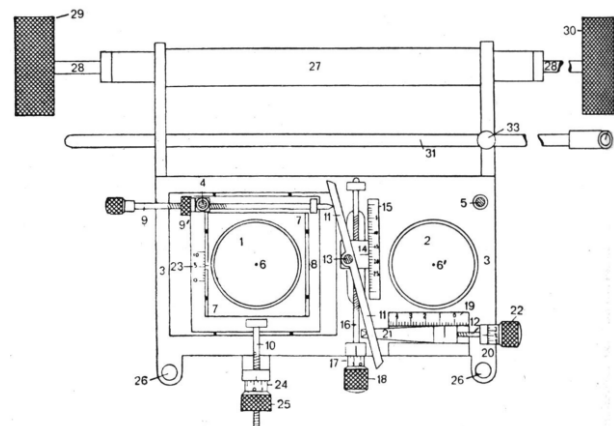


Figura 14. Estereógrafo Wolf desenvolvido no SGE (MESQUITA 1958).

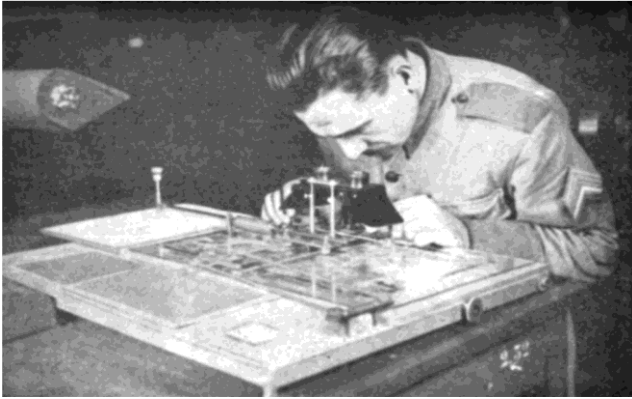


Figura 15. Militar do SGE operando o estereógráfo Wolf (MESQUITA, 1958).

4. INSTITUIÇÕES DE DESTAQUE DA FOTOGRAMETRIA NO BRASIL

O desenvolvimento da fotogrametria no Brasil teve e tem a contribuição importante de entidades do governo, como a atual DSG (Diretoria do Serviço Geográfico do Exército), do IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste), do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR (Universidade Federal do Paraná) e de outros cursos de pós graduação que foram criados pelo país. Significativos também foram a participação da Sociedade Brasileira de Cartografia e o empenho das empresas de aerolevantamentos em absorver as inovações tecnológicas.

4.1 DSG

Em 1890, foi criada a instituição que seria uma das maiores realizadoras de trabalhos em Fotogrametria no Brasil, originalmente chamada de Comissão da Carta Geral, posteriormente de Serviço Geográfico do Exército, e atualmente, de DSG (Diretoria do Serviço Geográfico).

Entre os eventos marcantes do DSG, para a cartografia e fotogrametria do Brasil estão os seguintes (Barreto, 1978; Leal, 1972):

- No ano de 1912, o então Major Alfredo Vidal com o apoio do prefeito do Rio de Janeiro, General Bento Ribeiro, cria na Fortaleza da Conceição uma seção de Estereofotogrametria. O major Vidal publica "Introdução da Estereofotogrametria no Brasil".

- Em 1914, o mesmo general autorizou a compra de dois estereofotógrafos Orel-Zeiss e convida o militar austríaco Emíle Wolf para coordenar os serviços. Com o começo da Primeira Guerra Mundial, Wolf retornou às suas funções no exército de seu país.

- Em 1918 o Major Vidal para organizar o SGE consegue a Contratação da Missão Cartográfica Austríaca, que chegou em 1920. A

Missão Austríaca, contratada pelo Estado Maior do Exército, tem a finalidade de fornecer o embasamento técnico necessário ao mapeamento do Território Nacional. Também houve o retorno de Wolf, que supervisiona em 1922, um trabalho de grandes proporções de mapeamento do Distrito Federal (Rio de Janeiro), na escala de 1/50.000.

Posteriormente à fundação da DSG, várias outras entidades civis de governos, federal e estadual, começaram a instalar divisões de fotogrametria.

O atual DSG pelo Decreto-Lei 243 de 28.02.67 é responsável pelo mapeamento sistemático do Brasil das escalas 1/25000 a 1/250.000. Com as suas unidades em: Brasília, Porto Alegre, Olinda, Manaus e Rio de Janeiro; atua em todo país, executando trabalhos de levantamentos topográficos, geodésicos e mapeamento fotogramétrico e radarmétrico. Executou mapeamento sistemático de grandes extensões, como restituições e impressão de cartas pelo seu próprio programa de atividades e em parceria com a SUDENE, nos anos de 1970 a 1980. Outros grandes projetos foram: o mapeamento do Projeto Fronteira Sul, de 1995 a 1999, com a produção de 1597 folhas na escala 1/25.000 da fronteira Brasil/Uruguai/Argentina, e Coordenação do Mapeamento da Amazônia.

O Projeto Radiografia da Amazônia começou em 2008 para a mapeamento de 1.800.000 km² em áreas na região do vazio cartográfico da Amazônia Legal, empregando sensores SAR interferométricos e polarimétricos, com a finalidade de obtenção de arquivos digitais, nas escalas 1/50.000 e 1/100.000. (DSG, 2010). O imageamento foi concluído em 2012 e foram processados cerca de 800.000km². O projeto será estendido para mais 350.000 km² e previsão de conclusão para 2018 (DSG, 2014).

4.2 IBGE e CONCAR

O IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) é o responsável pelos levantamentos demográficos, pesquisas estatísticas diversas, informações geográficas, e também pelo Sistema Geodésico Brasileiro. Foi criado pelo Decreto nº 24609 de 1934 e em 1938 foram incorporados o Conselho Brasileiro de Geografia (CNG) e Instituto Nacional de Estatística (INE).

Em 1967 foram estabelecidas as "Diretrizes e bases da Cartografia Nacional" pelo Decreto-Lei 243 de 28 de fevereiro de 1967. Este Decreto incumbia o IBGE de criar a COCAR (Comissão de Cartografia) e dava atribuições de normatização técnica da rede geodésica nacional e de cartas do mapeamento sistemático menores que 1/250000, e ao DSG cartas das escalas 1/250000 e menores.

A COCAR deveria ter participação importante para complementar as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional (Decreto nº 89.817) de 1984, mas foi desativada em 1990, devido reforma administrativa executada pelo governo federal. Seguidas vezes sofreu outras ativações e desativações, e atualmente

está funcionando com o nome CONCAR (Comissão Nacional de Cartografia) devido ao Decreto 4.781 de 16 de julho de 2003, e conta com o apoio administrativo do IBGE.

A partir de 1942 o IBGE (então CNG) utiliza o levantamento aerofotogramétrico Trimetrogon realizado no Brasil, pela Força Aérea dos Estados Unidos (USAF), realizado entre 1942 e 1943, para completar o mapeamento sistemático na escala 1/1.000.000.

Desde 2003, o IBGE trabalha na incorporação de técnicas de fotogrametria digital em sua linha de produção de mapeamento sistemático planialtimétrico. Estão disponíveis no site do IBGE (www.ibge.gov.br), folhas em formato PDF, que podem ser acessadas e plotadas pelos usuários, além de fotos em JPG. Outros projetos de destaque incluem o Projeto SP-MG-GO-50, que abrange uma área de 54.000 km² na região do Triângulo Mineiro, Goiás e São Paulo, execução dos serviços de restituição fotogramétrica para geração de 73 folhas na escala de 1/50.000 e em áreas urbanas de algumas cidades serão na escala de 1/25.000.

A CONCAR, com o IBGE e DSG estão atuando ativamente na implantação da INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais).

4.3 SUDENE

Na região Nordeste nos anos 60 existiam apenas algumas ilhas de mapeamento. Somente com a criação da SUDENE foi elaborado o Plano Cartográfico do Nordeste e com a contratação de empresas nacionais, principalmente a Cruzeiro do Sul S/A, foi dado grande avanço no mapeamento sistemático da região na escala 1/100.000. Esses contratos foram um importante incentivo que abriu as portas para as empresas privadas, que se viram estimuladas a se equiparem adequadamente para a tarefa e também estimulou os demais organizações oficiais de cartografia a acelerarem suas atividades (ROCHA, 1971).

A SUDENE em decorrência do Primeiro Plano Diretor de Desenvolvimento do Nordeste 1961-1963 criou a Divisão de Cartografia com várias atribuições entre elas a de promover e coordenar as atividades de levantamentos aerofotogramétricos, topográficos e planimétricos na Região Nordeste. Nesta época foram firmados convênios com o DSG, que deu o apoio inicial para organização da Divisão e com o 1°/6°GAV, para realização de vários vôos aerofotogramétricos na região.

A deficiência de mapeamento do Brasil era generalizada e segundo Barreto (1972) todas as folhas impressas pelos diferentes órgãos no período compreendido entre 1895 e 1971 para cartas na escala 1/100.000 apenas existiam 390 ou 12,8% e para 1/50.000 apenas 678 ou 5,7%, daí a necessidade de participação ativa da SUDENE.

Entre 1967 e 1974 houve a colaboração da MCA (Missão Cartográfica Alemã), que fazia parte do Acordo Básico de Cooperação Técnica entre o Brasil e a República Federal da Alemanha (Decreto 54.075 de 30.07.1964). Também por este acordo foram doados para

a SUDENE, equipamentos de geodésia, incluindo telurômetros, barômetros e restituidor Planimat; para a 3ª DL, subordinada ao DSG, equipamentos de geodésia, 12 restituidores B-8, um ortoprojetor GZ-1 e para o 1°/6° GAV, câmera aerofotogramétrica e laboratório fotográfico completo (BARRETO, 1970; SILVA et al, 2002).

A SUDENE patrocinou o mapeamento geológico e em grande escala de cidades médias, mas o principal foram 436 cartas na escala 1/100.000, (área com cerca de 1308 000 km²) executadas por empresas privadas e DSG, totalizando 67,8% da área do Nordeste mais o norte do estado de Minas Gerais. Também foram produzidas cartas na escala 1/25.000 do Nordeste Oriental. (SUDENE, 1968; SILVA et al, 2002).

Além de atuar no mapeamento sistemático a SUDENE foi das primeiras instituições a definir regras claras de especificações quanto ao tipo e qualidade dos levantamentos desde o ano de 1962 (ROCHA, 1971). Isto foi importante porque os padrões de qualidade somente foram instituídos em 1984, pelas Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional (Decreto nº 89.817).

4.4 Pós Graduação no PPGCG

Nos anos 1970 havia um ambiente favorável para a cartografia nacional, quando foram instaladas novas empresas de aerolevantamentos em Curitiba e houve a criação de novos cursos de graduação e pós-graduação na área de engenharia cartográfica além dos cursos de engenharia de agrimensura já existentes. O PPGCG (Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas) da UFPR, em Curitiba, coordenado pelo professor Camil Gemael, foi o primeiro no Brasil a abranger as áreas de concentração de conhecimento em geodésia e fotogrametria (KLOTZEL, 1984, IDOETA et al, 2004). Este centro foi e é responsável pela formação da grande maioria de mestres e doutores que estão espalhados por todo o Brasil, em outros programas de pós-graduação que lidam com fotogrametria e disciplinas afins, na UFSC, UFPE, USP, UNESP, IME, e nos cursos de engenharia de agrimensura e cartografia.

A participação dos primeiros professores do PPGCG na publicação de material didático de alto nível, como Camil Gemael (Gemael, 1994), João Bosco Lugnani (Lugnani, 1987) e José Bittencourt de Andrade (1998), que fizeram seus doutorados no exterior, foi de fundamental importância para o desenvolvimento e consolidação dos conhecimentos nas áreas afins e particularmente na fotogrametria no Brasil.

Ainda no contexto de pós graduação a área de Sensoriamento Remoto, que em vários países se confunde com a fotogrametria, aqui tem no INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) em São José dos Campos, o seu centro de excelência técnico e científico e de formação de mão de obra.

5. AEROLEVANTAMENTOS IMPORTANTES NO BRASIL

Alguns dos mais importantes aerolevantamentos, entre os fotogramétricos e radarmétricos, executados no Brasil, podem ilustrar a evolução da fotogrametria para mapeamento, tanto pelo pioneirismo como pelo valor técnico.

5.1 Levantamentos históricos

Um dos primeiros trabalhos a utilizar a técnica fotogramétrica no Brasil foi realizado pelo professor Pereira Reis, em 1893, que executou a carta do então Distrito Federal (Rio de Janeiro) através do método elaborado por Laussedat (ROCHA et al, 2010).

No Rio Grande do Sul, 1902, o engenheiro Rodolfo Ahrons fez a planta na escala 1/10.000 dos primeiros seis distritos de Porto Alegre, com detalhes dos morros e curvas de nível (ESPARTEL, 1978).

Emile Wolf durante sua atuação no SGE em 1914, no Rio de Janeiro, realizou um trabalho experimental de mapeamento do morro do Cantagalo. Em 1915, e os levantamentos preliminares da Ilha do Governador. Em 1922 supervisiona um trabalho de grandes proporções de mapeamento do Distrito Federal (Rio de Janeiro), na escala de 1/50.000.

O levantamento da capital São Paulo por aerofotogrametria foi executado entre 1928 a 1930 pela empresa SARA Brasil S/A, com matriz em Roma, pertencente aos irmãos Nistri, que também construíam aparelhos fotogramétricos. A concorrência pública e o contrato foram autorizados pela lei municipal 3203 de 1928 da Cidade São Paulo (IDOETA et al, 2004; MESQUITA, 1958).

São Paulo foi a primeira cidade e município do mundo que teve um levantamento fotogramétrico em grande escala. Para a área do centro, escala 1/1000 (cerca de 36 km²), curvas de nível com equidistância de 1m, erro inferior a 30cm; e escala 1/5000 (1000km²), com curvas de nível de 5 em 5m, para todo o município. Os trabalhos foram coordenados pelos irmãos Umberto e Amedeo Nistri. Alguns resultados foram apresentados no IV Congresso de Fotogrametria de Paris, realizado em 1934. (MESQUITA, 1958).

As tomadas aéreas foram com a câmera Nistri (Figura 13) em placas de vidro 13cmx 18cm e restituição com fotocartógrafo Nistri (Figura 11). Os mapas foi executados sobre um plano topográfico local, com origem no Parque D. Pedro e altimetria com origem no RN da Comissão Geográfica também localizado neste parque (IDOETA et al, 2004). A Figura 16 mostra um recorte da planta na escala 1/1000 e a Figura 17 mostra um recorte na escala 1/5000.

Nas décadas seguintes ao mapeamento de São Paulo começaram a ser organizadas empresas nacionais, e os levantamentos aerofotogramétricos no Brasil se tornaram comuns.

A primeira empresa, em 1935, foi o Sindicato Condor, subsidiária da empresa alemã Lufthansa, que

criou uma seção de Fotogrametria, para a qual foram trazidos técnicos e aparelhos da Casa Zeiss.

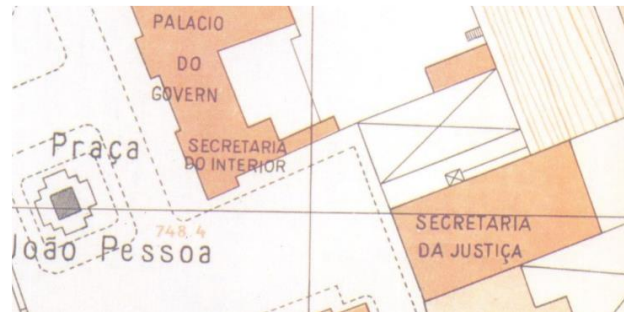


Figura 16. Recorte da primeira planta de São Paulo na escala 1/1000 (IDOETA et al, 2004)



Figura 17. Recorte da primeira planta de São Paulo na escala 1/5000 (IDOETA et al, 2004).

Entre os levantamentos de capitais merece destaque o da área da futura Brasília. Em 1953 é sancionada a lei 1803 que autoriza o executivo federal a definir o local da nova capital no Planalto Central. No mesmo ano é criada a Comissão de Localização da Nova Capital Federal, que contratou a Cruzeiro do Sul Aerofotogrametria para realização dos levantamentos aerofotogramétricos de 52.000 km², que foram concluídos em 1954. Os estudos de fotointerpretação e elaboração de mosaicos e mapas dos cinco melhores locais ficaram a cargo da Comissão do Vale do São Francisco e da empresa americana Donald J. Belcher and Associates Incorporated (SILVA, 1971).

5.2 Levantamentos de grandes áreas

Além dos levantamentos executados dentro dos programas de trabalho de mapeamento sistemático do DSG, IBGE, e SUDENE, já discutidos, ocorreram outros executados por acordos internacionais e programas especiais que cobriram áreas muito extensas do Brasil.

Em 1940 foi realizada uma intensa campanha para executar o mapeamento de todo o território brasileiro na escala de 1/1.000.000. Nesta época foi exigido dos municípios que apresentassem seus mapas, o foi feito principalmente por topografia. Naturalmente também havia a necessidade de mapas em escalas maiores, como 1/250.000 a 1/50.000, mas para estas escalas o

mapeamento só começou nas décadas de 60 e 70 (PINTO, 2006).

Foram executados dois levantamentos extensos no Brasil pela força aérea americana, um usando as câmeras Trimetrogon e o outro o vôo AST-10-USAF.

Com as câmeras Trimetrogon o vôo ocorreu durante a 2ª guerra, entre 1943 e 1945, quando foi fotografado mais da metade do território nacional, na escala 1/40.000. As fotografias ficaram sob a guarda do antigo Conselho Nacional de Cartografia, no Rio de Janeiro (MESQUITA, 1958; SUDENE, 1968). A Figura 18 mostra um trecho do mapa dos vôos Trimetrogon

O vôo AST-10-USAF foi realizado entre 1964 e 1967, na escala 1/60.000 cobrindo área de cerca de 1447 folhas na escala 1/100.000, sob responsabilidade na época da Comissão Mista Executiva Brasil-EUA, sediada no Rio de Janeiro (SUDENE, 1968). O apoio de campo usou o método Shiran. Porém segundo Barreto (1970) até 1970 as fotografias desse vôo não foram convertidas em mapas.

O projeto RADAM teve por objetivo estudos e pesquisas geológicas da Amazônia e parte do Nordeste. Foi uma iniciativa do Departamento Nacional de Produção Mineral, e executou o mapeamento de cerca de 1.500.000 km², em 1971, entre os paralelos 0° 30' S e 11°00' e meridianos 42°00' W e 63°00'W, formando 125 folhas de 1°x1° (CORREA, 1971; MOURA, 197002). Neste projeto foi usada a tecnologia mais avançada disponível na época: radar de visada lateral aerotransportado, e que foi aplicada pela primeira vez em uma área com essas proporções. O sensor era Radar modelo 102 da Goodyer, resolução de 20m na banda X. Durante o vôo eram ainda adquiridas simultaneamente seis diferentes imagens do terreno com radar e ainda fotografias infravermelho colorido (escala 1/130.000), e multiespectrais (escala 1/73.000).

O projeto foi executado pela Lasa Engenharia e Prospecções S.A, com participação de Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul, e das empresas americanas Aero Service Corporation e Goodyear Aerospace. A área inicial foi ampliada depois para mais 604.000km² (MOURA, 1972). Além dos mapas imagens foram produzidas folhas de 1/250.000 (1°x1°30') pelo IBGE para suprir áreas carentes de mapas topográficos naquela escala. A Figura 19 mostra a área do Brasil coberta pelo projeto RADAM.

5.3 Mapeamento com cartografia digital

O primeiro mapeamento aerofotogramétrico com especificações de restituição numérica no Brasil, ou analítica, com apoio em programa CAD, foi realizado entre 1988 e 1990, para a Região Metropolitana do Recife, pela antiga FIDEM (Fundação de Desenvolvimento da RMR), em área de 200km² em 436 folhas, na escala 1/1000. (CARVALHO, 2003). Com aquela exigência as empresas participantes do projeto tiveram que adaptar aos reprodutores analógicos acoplamentos de servo-motores e conversores analógicos-digitais dos movimentos mecânicos para sinais digitais.

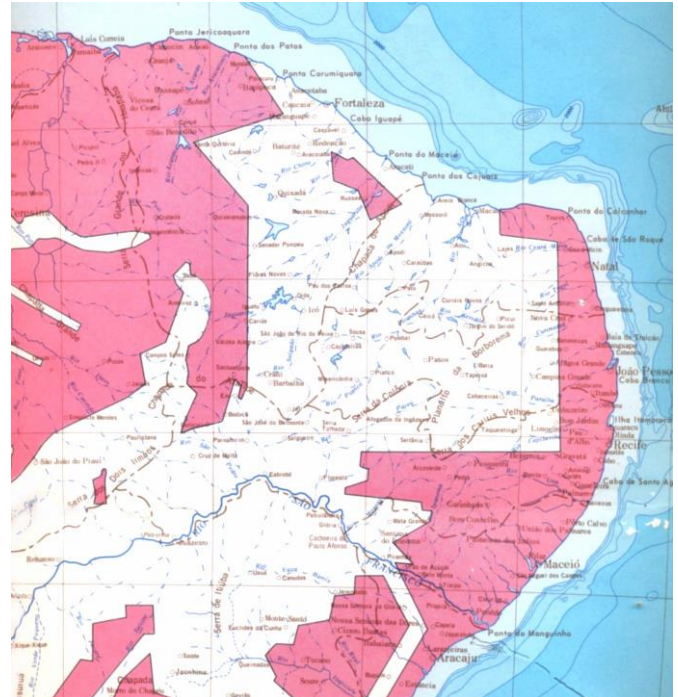


Figura 18. Trecho da área do Nordeste com levantamento Trimetrogon (em cor magenta) entre 1943 e 1945 (SUDENE, 1968).

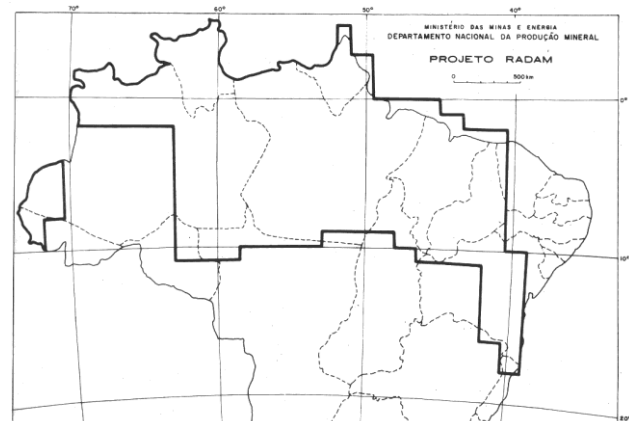


Figura 19. Área coberta pelo projeto RADAM (MOURA, 1972)

5.4 Empresas de Aerolevantamentos

A primeira empresa de aerofotogrametria a atuar no Brasil foi a SARA, seguida pelo Sindicato Condor. Durante vários anos as maiores empresas foram a Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul, do Rio de Janeiro, e a VASP Aerofotogrametria de São Paulo, ambas já extintas.

A Aerofoto Cruzeiro do Sul foi criada em 1937, como uma seção no antigo Sindicato Condor, subsidiária Lufthansa, empresa alemã, que foi nacionalizada durante a 2ª Guerra. Naquela época era a Divisão de Fotogrametria conhecida como "Aerofoto". Quando a Condor foi nacionalizada tornou-se um departamento da empresa Serviços Aéreo Cruzeiro do Sul S.A.

(AEROFOTO CRUZEIRO DO SUL, 1972). Em 1948 esse mesmo Departamento de Aerofotogrametria foi transformado em empresa autônoma, com nome de Serviços Aerofotograméricos Cruzeiro do Sul, e depois Aerofoto Cruzeiro do Sul.

A Aerofoto pode ser considerada uma das grandes organizações em fotogrametria do mundo e chegou a levantar cerca de 7.858.000 km² apenas com vôos no Brasil, além de participar do maior levantamento com radar na época, no projeto RADAM-BRASIL de cerca de 4.600.000km².

No fim dos anos 60 o patrimônio da empresa era: seis aviões, dois estereoplanígrafos C-5, estereoplanígrafos C-7, mais de 10 Aeromultiplex, e equipamentos para o apoio terrestre (MESQUITA, 1958). A Aerofoto Cruzeiro era dona do Lear Jet 2 JC Intercontinental, velocidade de 890km/h e capaz de atingir altitude de 15000m (KLOTZEL, 1984). Apenas com aeronave nessa altitude é que se pode obter fotografias em escala pequena (até escala 1/100.000 com f=150mm). Por curiosidade nota-se que no Manual of Photogrammetry 4ª Edição de 1980 (SLAMA, 1980, pg 292) aparece uma fotografia do Lear jet registro PT-CMY da Aerofoto (Figura 20).

Em São Paulo, nos meados de 1952 foi fundada a VASP Aerofotogrametria S.A. A empresa dispunha de câmera modelo FOMA da marca Nistri, com filme 23x23, que eram convertidos para placas de vidro para uso no restituidor Fotocartógrafo Beta também da Nistri. Entre 1962 e 1964, empresa se moderniza e se equipa com telurômetro MRA3, restituidores A7, A8 e B8 e câmera RC8 da WILD. A empresa passa a denominar-se Terrafoto S.A. Atividades de Aerolevantamentos, pelo Decreto Nº 8.451, de 1º de setembro de 1976 do Governador de São Paulo, e é extinta em 1992. A atual empresa BASE Aerofotogrametria e Projetos S.A recebeu a incumbência do EMFA de guardar todo o acervo da antiga VASP (IDOETA et al., 2004).

Um histórico mais detalhado sobre a criação das empresas de aerolevantamentos do Brasil é encontrado em Idoeta et al (2004). Em 2014 existiam 28 empresas habilitadas para aerolevantamentos no Brasil na categoria A, que executam vôo e processamento fotogramétrico.

6. FOTOGRAMETRIA DIGITAL

Os avanços significativos em fotogrametria são impulsionados pela tecnologia em áreas como engenharia elétrica, ciências da computação, visão de máquina, robótica, visualização, animação, inteligência artificial, multi-mídia e geociências. O desenvolvimento é contínuo e passo a passo seja na integração e fusão de dados entre fotogrametria, laser scanner terrestre e aéreo, imagens de satélites de alta resolução, INSAR; como no processamento de geração de MDS, extração automática de feições ou geração e integração de dados fotogramétricos para SIG (GRUEN, 2008).

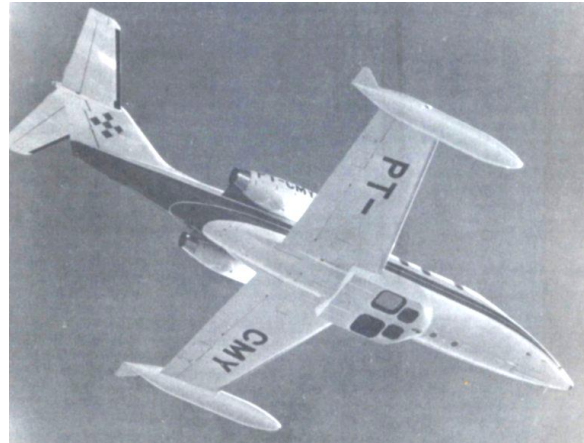


Figura 20. Fotografia di Jato da Aerofoto Cruzeiro publicada no *Manual of Photogrammetry* 4 edição de 1980 (Slama, 1980).

6.1 Os novos conceitos da fotogrametria digital

O primeiro sistema digital operacional apareceu em 1980, a partir de um contrato entre a empresa Helava Associates e o governo norte americano (SILVA, 2000). Desde 1990 a fotogrametria digital tem um rápido desenvolvimento.

O conceito de fotogrametria digital evoluiu para Sistema Fotogramétrico Digital, que integra fotogrametria digital com as ciências da computação, incluindo processamento de imagens, reconhecimento de padrões e visão de computador para realizar operações semi-automáticas, automáticas (operador entra com inputs) e completamente automático (completo pelo computador) (HEIPKE, 2001).

Até recentemente podiam ser identificadas três linhas distintas de desenvolvimento de softwares para processamento: satélites, fotogrametria aérea e fotogrametria a curta distância, mas hoje a tendência é integrar tudo em um só. A flexibilidade desses sistemas permitem manipulação radiométrica, funcionalidades especiais para sensoriamento remoto, modelagem 3D, funções de GIS e animações. Tudo pode ser integrado (GRUEN, 2008).

As novas câmeras digitais aerofotogramétricas, de quadro e varredura, existentes no mercado, tem algumas diferenças em relação às analógicas (TRINDER, 2007):

- O ângulo de abertura longitudinal e transversal é menor que 50°;
- A relação B/H é cerca de 0,7 para câmera de varredura e 0,3 para câmera de quadro;
- Câmera de quadro tende a usar superposição alta, 85%, tendo assim imagens altamente redundantes;
- É possível obter ortofotos verdadeiras ou quase verdadeiras.

A integração de métodos fotogramétricos com os avanços da visão computacional tem permitido um crescimento do mercado interessado em imagens digitais

obtidas em plataformas VANT (Veículos Aéreos Não Tripulados). Esses veículos foram desenvolvidos a partir dos anos 1980 para fins militares mas houve um surpreendente interesse para uso civil (VALAVANIS,2012), incluindo mapeamento fotogramétrico de áreas com poucos quilômetros quadrados.

As imagens obtidas de Vants são processadas em programas dedicados, com as funções básicas da fotogrametria digital para executar as operações de fototriangulação, medição automática de pontos por técnicas avançadas e eficientes de correlação e combinação, geração de MDS e MDT, ortoretificação e ortofotocartas. A grande diferença é o maior grau de automatização em relação aos programas conhecidos no mercado para a fotogrametria digital, que certamente em pouco tempo também incorporarão os avanços daqueles.

6.2 A Fotogrametria Digital no Brasil

No Brasil as empresas de fotogrametria têm acompanhado o desenvolvimento mundial da fotogrametria digital de perto. As câmeras aéreas fotogramétricas digitais foram lançadas no mercado em 2001 e em 2006 a empresa Esteio já tinha adquirido uma delas. Nos dias atuais a maioria já possui câmeras fotogramétricas digitais e sistemas LIDAR, destinados a adquirir dados para MDT e MDS, que é uma tecnologia que está se consolidando como de grande produtividade e complementar à fotogrametria.

Como resultado de pesquisas na UNESP foi desenvolvido um sistema de aquisição de imagens to tipo multi-câmera, o sistema SAAPI (Sistema Aerotransportado de Aquisição e Pósprocessamento de Imagens Digitais) (Figura 21). A plataforma de aquisição de imagens é composta por duas câmeras digitais Hasselblad de médio formato (22 Mp) e uma câmera digital Sony de 8 Mp, com filtro infravermelho, usada para aplicações ambientais. A câmera está sendo usado comercialmente pela empresa Engemap Engenharia e Mapeamento (RUY et al, 2007).



Figura 21. Câmera SAAPI.(Ruy et al, 2014).

As tecnologias envolvidas nos VANTs, em versões militares e civis, estão sendo desenvolvidos pelo CTA (Centro Técnico Aeroespacial), universidades e empresas privadas (DefesaBR,2014). Em maio de 2013 a ANAC

(Agência Nacional de Aviação Civil) emitiu o primeiro certificado para modelo privado o VANT Nauru 550A (MUNDOGEO, 2013) fabricado pela Xrobots destinado à mapeamento. Um outro modelo da Xrobots é mostrado na Figura 22 (XMOBOTS, 2014). Porém ainda falta a regulamentação de uso dos VANTs para uso civil em aerolevantamentos.



Figura 22. VANT modelo Echar 20A. (XMOBOTS, 2014).

6.3 A Satélites de Alta Resolução

As imagens de satélites de alta resolução passaram a competir com as imagens aéreas para mapeamento desde o final dos anos 1990 (SILVA e DALMOLIN, 1997) e se firmaram no mercado. Como a maioria desses sensores tem capacidade para imagens estereoscópicas, para o processamento 3D é requerida a metodologia fotogramétrica (GRUEN, 2008).

O Brasil também desenvolve um programa de satélites, o CBERS (*China Brazil Earth Resources Satellite*), que conta com a participação efetiva do INPE. O primeiro satélite, CBERS-1, foi lançado em 1999. O CBERS-2 foi lançado em 2003 e tinha a capacidade de tomar imagens com resolução 20m e em visadas laterais formando pares estereoscópicos. O CBERS-2B foi lançado em 2007 tinha um sensor de alta resolução 2,7m, mas sem possibilidade de estereoscopia. O CIBERS-3 foi lançado em dezembro 2013 mas sem sucesso e CIBERS-4 foi lançado em dezembro de 2014, incluindo quatro câmeras, uma das quais com possibilidade de imagens estereoscópicas, com resolução de 5m no pancromático e 10m no multiespectral.

7. CONCLUSÕES

Este trabalho é um levantamento histórico sobre os desenvolvimentos, aplicações e relatos da evolução geral da fotogrametria no Brasil em paralelo com o desenvolvimento a nível mundial, que permitiu que se chegassem às seguintes conclusões:

- De modo geral o desenvolvimento da fotogrametria no Brasil acompanhou o do exterior, com poucos anos de diferença, ou até mesmo foi pioneiro, como no caso do Levantamento de São Paulo, pela empresa SARA e o Projeto RADAM.

- Mesmo quando a fotogrametria no início do século XX ainda era praticamente experimental, o DSG adquiriu os equipamentos mais modernos disponíveis na época e patrocinou o desenvolvimento do Autoestereógrafo.
- Nos dias atuais as empresas nacionais de aerolevantamentos estão equipadas com as modernas câmeras fotogramétricas digitais e sistemas de processamento existentes no mercado.
- Os centros de pós-graduação e pesquisas em fotogrametria, e ciências afins, têm desenvolvido pesquisas e equipamentos que acompanham o estado da arte no exterior.
- Em entidades públicas, como DSG e IBGE, estão em plena execução de planos cartográficos com as mais modernas tecnologias disponíveis em fotogrametria.

O autor pode ter omitido nomes, fatos e dados importantes, e por isto solicita encarecidamente que as falhas lhe sejam comunicadas para que possa fazer as devidas correções em ocasião oportuna.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEROFOTO CRUZEIRO DO SUL. **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia. n. 7. p. 28-33. 1972.
- ANDRADE, JOSÉ BITTENCOURT. **Fotogrametria**. Curitiba: SBEE. 242 p. 1998.
- BARRETO, ARISTIDES. Mapeamento do Brasil a Curto Prazo. **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia. n. 1. p. 38-43. 1970.
- _____. Mapeamento do Brasil. Folhas Impressas pelos diferentes órgãos no período compreendido entre 1895 e 1971. **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia. n. 7. p. 14-15. 1972.
- _____. Sinopse Cronológica dos órgãos Cartográficos no Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia. n. 20. p. 14-15. 1978.
- IBURTCH, ROBERT. *History of Photogrammetry*. 2008. Disponível em: www.ferris.edu/faculty/burtchr/sure340/notes/history.pdf. Acesso em 20/08/2012.
- CARVALHO, ROBERTO C. **Estudo das Distorções do Sistema Geodésico de Referência da Região Metropolitana do Recife**. Dissertação de Mestrado. UFPE, PPGCGTG. Recife. 2003.
- COELHO, LUIZ; BRITO, JORGE NUNES. **Fotogrametria Digital**. Rio de Janeiro: editora da Universidade do Rio de Janeiro. 196 p. il. 2007.
- CORREA, HENRIQUE VAZ. Levantamento Radarmétrico da Amazônia no Programa de Integração Nacional. **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia. n. 2. p. 14-16. 1971.
- DEFESABR. O UCAV Brasileiro. Disponível em: http://www.defesabr.com/Fab/fab_ucav.htm. Acesso em 15/09/2014.
- DOLEZAL, H. E (ed). **Internationales Archiv für Photogrammetrie**. Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie. I Band. 1908-1909. 1909. Em pdf. Disponível em: www.archive.org/details/archivesinternat01inte. Acesso em 20/08/2012.
- _____. **Internationales Archiv für Photogrammetrie**. Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie. II Band. 1909-1911. 1911. Em pdf. Disponível em www.archive.org/details/archivesinternat02inte. Acesso em 20/08/2012.
- _____. **Internationales Archiv für Photogrammetrie**. Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie. III Band. 1911-1913. 1913. Em pdf. Disponível em: www.archive.org/details/archivesinternat03inte. Acesso em 20/08/2012.
- _____. **Internationales Archiv für Photogrammetrie**. Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie. V Band. 1915-1919. 1919. Em pdf. Disponível em: www.archive.org/details/archivesinternat05inte. Acesso em 20/08/2012.
- HOBBIE, DIERK. **The Development of Photogrammetric Instruments at Carl Zeiss in Oberkochen**. Munique: Deutsche Geodatische Kommission. 144 p. 2010.
- DSG. Radiografia da Amazônia. Brasília: DSG Diretoria do Serviço Geográfico do Exército. Disponível em <http://www.dsg.eb.mil.br/index.php/projetos-e-convenios/radiografia-da-amazonia>. Acesso em 20/08/2012.
- DSG. Comunicação pessoal. TC Correia, Gerente do Projeto Radiografia da Amazônia. Email de 29/11/2014.
- ESPARTEL, LÉLIS. **Topografia**. Porto Alegre: Editora Globo. 655 p. il. 1973.

EVERAERTS, J. The Use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Remote Sensing and Mapping. Inter-Commission WG I/V. Congress Beijing 2008.

Disponível em:

http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/1_pdf/203.pdf. Acesso em 09/11/2014.

GEMAEL, CAMIL. **Introdução ao ajustamento de Observações Aplicações Geodésicas**. Curitiba: Editora UFPR. 319 p. 1994.

GRUEN, ARMIN. Cap 2 Scientific-technological developments in photogrammetry and remote sensing between 2004 and 2008. In: **Advances in Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences:2008 ISPRS Congress Book** – Li, Chen & Baltsavias (eds). Londres: Taylor & Francis. P. 21-25. 2008.

GUERRA, FRANCESCO; PILOT, LUCA. Historic Photoplanes. In: **IAPRS v. XXXIII, Part 5**, Amsterdam. CD-ROM, p. 611-617. 2000.

HEIPKE, CHRISTIAN. A Review of the State-of-art for Topographic Application: Digital Photogrammetric Workstations., **GIM International**, Vol.15 No. 3. 2001.

IDOETA, IRINEU; IDOETA, IVAN V; CINTRA, JORGE P. **São Paulo Vista do Alto 75 Anos de Aerofotogrametria**. São Paulo: Editora Érica Ltda. 96 p. il. 2004.

JORDAN, W. **Tratado General de Topografia** Tomo II. Barcelona: Editorial Gustavo Gili S.A. 1944.

KLOTZEL, ERNESTO (ed). Aerofotogrametria no Brasil. **Flap Internacional**. Grupo Editorial Spagat. N. 157, v. 23. p. 20-26. 1984.

LEAL, PAULO, R. B. A obra Cartográfica dos Militares no Passado e no Presente do Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia. n. 6. p. 8-10. 1972.

LUGNANI, JOÃO BOSCO. **Introdução à Fototriangulação**. Curitiba: Imprensa Universitária da UFPR. 134 p. 1987.

MARANHÃO, MARCELO R. A; RAIVEL, JOÃO P.C. Análise de pares estereoscópicos obtidos pelo CBERS II – Primeiros testes utilizando fotogrametria digital. In: **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia. INPE, p. 999- 1004. 2005

MCGLONE, J. CHRIS (ed). **Manual of Photogrammetry** 5th edition. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. 1151 p. 2004.

MESQUITA, PAULO FERRAZ. **Curso de Topografia**, 2ª ed. (mimeografado). São Paulo: Escola Politécnica da USP. 489 p. il. 1950

_____. Capítulo I Aerofotogrametria. In: **Enciclopédia Técnica Universal**. Vol. 1. Porto Alegre: Editora Globo. 1958. 808 p.

MOURA, JOÃO M. Levantamento dos Recursos Naturais das Regiões Amazônica e Nordeste do Brasil, por meio de Radar e outros Sensores. **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia. n. 6. p. 4-7. 1972.

MUNDOGEO. Anac Certifica Primeiro Mini-vant Privado Produzido no Brasil. Disponível em: <http://mundogeo.com/blog/2014/02/11/anac-certifica-primeiro-mini-vant-privado-produzido-no-brasil/>. Acesso em 10/10/2014.

PETRIE, G. A Short History of British Stereoplotting Instrument Design. **Photogrammetric Record**. V. 50 n. 50 p. 213-238. 1977.

PINTO, SALVIANA SILVA. **Impactos da Mudança do Referencial Geodésico no Mapeamento Municipal**. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia. Mestrado Engenharia Cartográfica. 2006.

ROCHA, CARLOS H. O; PIORNO, J. L; FREIRE, R. R; MEDINA, I. A. Uma Discussão Histórica sobre a Fotogrametria. In: **Anais XXI Congresso Brasileiro de Cartografia**. CD-ROM. (2010)

ROCHA, GENARO A. Mapeamento do Nordeste. **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia. n. 2. p. 29-33. 1971

RUY, R. S. et al. Sistema aerotransportado leve de aquisição de imagens digitais – SAAPI. In: **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 1329-1335.

RUY, R. S; TOMMASELLI, A. M. G; GALO, M; HASEGAWA, J. K.; REIS, T. T; SILVA, W. A. Accuracy Assessment of Projects Performed by SAAPPI System. Disponível em:

http://www.sensormap.com.br/wp-content/uploads/2014/01/paper_LARS_roy_et.al_.pdf. Acesso em 05/11/2014.

SILVA, DANIEL C; DALMOLIN, Q. Expectativas com os Satélites de Alta Resolução Espacial no Mapeamento In: **Anais Seminário Impactos das Novas Tecnologias na Engenharia Cartográfica**. Presidente Prudente: UNESP. 1997.

SILVA, DANIEL CARNEIRO; CARNEIRO, MÁRCIA CRISTINA DE S. M. Balanço do Plano Cartográfico do

Nordeste com a Extinção da SUDENE. In: **Anais COBRAC 2002**. Florianópolis. CD-ROM. 2002.

SILVA, ERNESTO. **História de Brasília**. Brasília: Coordenada/INL. 1971.

SILVA, IRINEU. A Fotogrametria é Definitivamente Digital. **Revista Mundogeo**. Disponível em; <http://mundogeo.com/blog/2000/01/01/a-fotogrametria-e-definitivamente-digital/> Acesso em 20/08/2012.

STEWART, N. C. Surveying from the Air. **Journal of the Royal Astronomical Society of Canada**. p. 153-165. 1931.

SLAMA, CHESTER C. (ed). **Manual of Photogrammetry** 4th edition. American Society of Photogrammetry. 1056 p. 1980.

SUDENE. **Inventário dos Levantamentos de Recursos Naturais do Nordeste**. Ministério do interior, Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste, Divisão de Cartografia. 9 mapas. 1968.

TRINDER, JOHN. **State of The Art of Photogrammetry and Remote Sensing**. In: Earth from Space, Third International Conference. Moscow. 2007. disponível em: www.transparentworld.ru/conference/2007/Trinder.ppt. Acesso em 20/08/2012.

VALAVANIS, KIMON P. (Editor). **Recent Developments in Unmanned Aircraft Systems**. Springer. 2012. 638 p.

XMOBOTS. **Catálogo Echar 20A**. Disponível em: http://www.xmrobots.com.br/Content/Catalogs/Echar20A_BR_v1.3.pdf. Acesso em 10/10/2014.