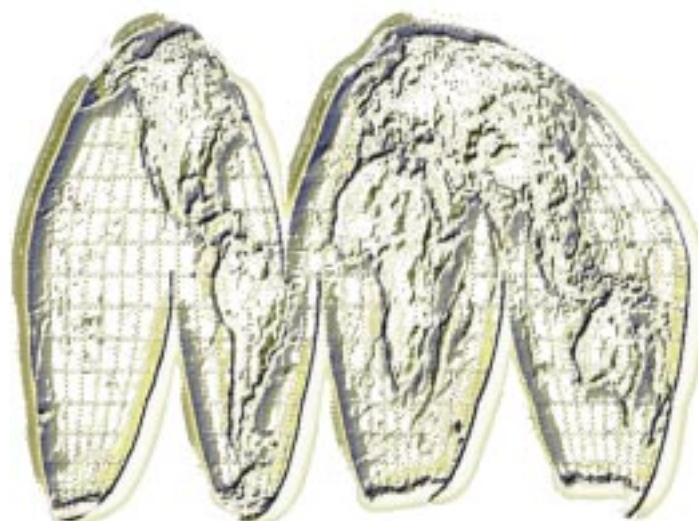


Fundamentos da Fotogrametria



Plínio Temba

Departamento de Cartografia



UFMG
2000

SUMÁRIO

Introdução.....	01
Conceitos Básicos.....	02
Fotogrametria Interpretativa.....	03
Fotogrametria Métrica.....	05
Estereoscopia.....	06
Olho Humano.....	06
Paralaxe.....	07
Princípio da Marca Flutuante.....	07
Restituição.....	08
Orientação Interior.....	08
Orientação Relativa.....	09
Orientação Absoluta.....	10
Restituidores.....	10
Mosaico.....	12
Fotocarta.....	13
Ortofotocarta.....	13
Fotoíndice.....	13
Fotogrametria Digital.....	13
O sistema DVP (Digital Vídeo Plotter).....	14
O Sistema DSS (Digital Screen Stereoplotter).....	18
O Sistema DPS (Digital Photogrammetric System).....	20
O Sistema DSI (Digital Stereo Imaginary).....	22
Conclusões e Críticas.....	23
Referências Bibliográficas.....	23

1.0 – INTRODUÇÃO

A fotografia, RAY(1963), é um registro instantâneo dos detalhes do terreno que se determina principalmente pela distância focal da lente da câmara, pela altura de vôo do avião no momento da exposição e pelo filme e filtros usados. A fotografia aérea é uma perspectiva geometricamente relacionada com o tipo de câmara usada; ela pode ser ou uma fotografia vertical, figura 1.1, tirada com o eixo da câmara apontado para baixo(ponto nadir; extremidade inferior de uma direção que coincide com a linha de gravidade) essencialmente na vertical, ou uma fotografia oblíqua, figura 1.2, tirada com o eixo da câmara propositalmente inclinado em relação à vertical do lugar(linha de gravidade). Os fatores que afetam a imagem fotográfica podem ser divididos em dois grupos; a. influenciados pelo ser humano tais como a distância focal da lente, altura de vôo, combinações de filmes, filtros e ângulo da lente e b.influenciados pela ação da natureza, a exemplo a cor dos objetos fotografados, posição de um objeto com respeito ao ângulo de incidência do sol, bruma atmosférica entre outros.

A escala da fotografia aérea é decorrente da relação entre a distância focal da câmara e a altura de vôo da aeronave. Entende-se ainda que quando a distância focal aumenta a escala das fotografias torna-se maior do que outrora, logo para qualquer altura de vôo as câmaras com lentes de distância focal longas podem produzir fotografias de escala maior do que as de distância focal curta. Se uma fotografia for ampliada ou reduzida, a distância focal para esta fotografia será também mudada em proporção direta com o valor da ampliação ou redução.

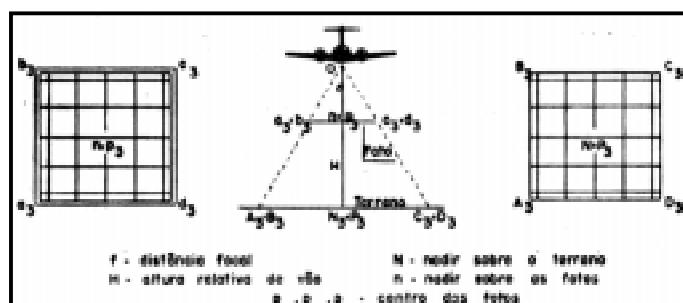


fig.1.1 – fotografia aérea vertical

RAY(1963) afirma que a qualidade da imagem fotográfica pode ser controlada pela sensibilidade do filme usado. Quer dizer, depende da sensibilidade da emulsão quando ela for feita de modo que todo ou somente partes selecionadas do espectro visível sejam registradas, ou de modo que parte do espectro invisível, como a luz infravermelha, seja registrada. Por outro lado, é possível estabelecer uma seleção do comprimento de onda de luz refletida de um objeto e realmente registrada.

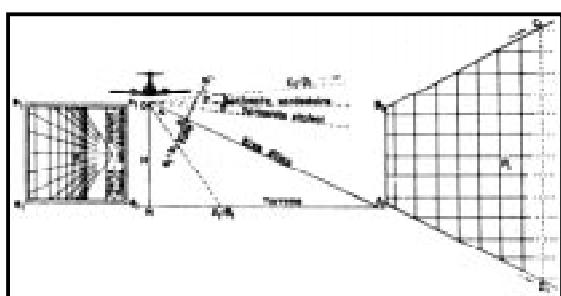


fig.1.2 – fotografia aérea oblíqua

Já o ângulo da lente da câmara, figura 1.3, é importante em relação às aplicações fotogramétricas na interpretação das fotografias. As lentes de distância focal longa(maior do que 153 mm) têm ângulo de lente mais estreito do que as de distância focal curta(menores do 153 mm). Portanto, para se manter uma dada escala e tamanho de formato, as fotografias tomadas com uma lente de ângulo estreito requerem vôo a uma altitude mais elevada do que as tomadas com lente de grande ângulo.

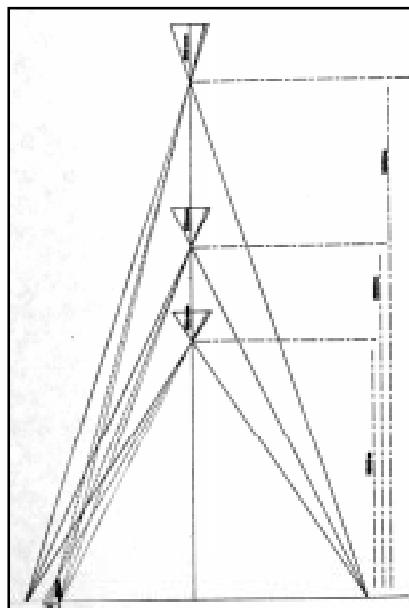


Fig.1.3 – relação entre a distância focal e a altura de vôo

Nestas condições, o deslocamento radial de pontos-imagem similares é menor quando se usam lentes de ângulo estreito, mas somente por causa da maior altura requerida da lente de ângulo estreito para manter a escala dada e o tamanho do formato. A diferença de paralaxe para um objeto de altura específica é por sua vez, diretamente afetada por causa da diferença de altura de vôo e, decresce com o aumento da altura de vôo para uma lente de distância focal dada. Outra, a distorsão da imagem nas bordas das fotografias tiradas com lente de grande ângulo pode ser maior do que nas fotografias obtidas com lente de ângulo estreito e prejudicial as atividades de restituição ou mesmo para aquelas de foto-interpretAÇÃO, especialmente em terreno fortemente acidentado.

2.0 – CONCEITOS BÁSICOS

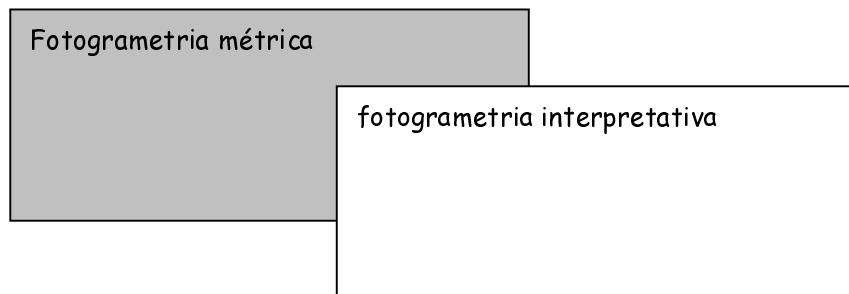
A fotogrametria, ASP(1966), é a arte, ciéncia e tecnologia de obter informacões de confiança sobre objetos e do meio ambiente com o uso de processos de registro, medicões e interpretacões das imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética registrados.

A fotogrametria pode ser usada nos estudos e nas explorações do espaço. Vestígios de furacões e outros distúrbios da natureza que se movem pela Terra podem ser observados e estudados. O intervalo de tempo de exposições feitas na câmara fotográfica transportada pelo avião é ajustado de tal maneira que cada ponto da superfície da Terra é fotografado mais de uma vez de diferentes posições.

As fotografias decorrentes de um vôo podem ser colocadas em projetores cujas posições e altitudes podem ser ajustadas de maneira a restabelecer a posição e altitude da câmara no momento da exposição. A posição e interseção de cada ponto no modelo são então restabelecidos pela interseção de dois raios(homólogos) de luz.

Por outro lado, MARCHETTI & GARCIA(1989) assinalam que as condições de obter e preservar os negativos são raramente ideais e a transferência de informações contidas nos negativos originais para os mapas compilados raramente pode ser feita com completa exatidão, logo, é possível admitir que há dificuldades que os fotogrametristas encontram para obterem medidas precisas e cópias seguras isentas de deformações.

A fotogrametria pode ser dividida em duas grandes áreas:



2.1- Fotogrametria interpretativa

A *fotogrametria interpretativa* objetiva principalmente o reconhecimento e identificação de objetos e o julgamento do seu significado, a partir de uma análise sistemática e cuidadosa de fotografias. A interpretação de fotos é o ato de examinar as imagens fotográficas com o propósito de identificar os objetos e determinar sua significância. A esta definição deve-se adicionar o conceito de identificar o ambiente, porque muitos fatores críticos exigem que o processo seja mais do que simplesmente identificar objetos individualmente.

De um modo geral, há vários estágios consecutivos durante a interpretação de fotos. As imagens ou condições específicas, segundo CARVER(1982) devem ser detectadas preliminarmente, identificadas e finalmente julgadas para então, ser avaliada sua significância.

2.1.2 - Métodos de fotointerpretação

Podem ser usadas várias técnicas de exames de fotos para se conseguir a informação desejada. Estas técnicas podem variar de simples às mais complexas, tais como a:

- ✓ Foto-leitura,
- ✓ Foto-análise e
- ✓ Foto-dedução

Todos estes métodos são conhecidos como fotointerpretação muito embora sejam técnicas independentes, aplicadas em graus crescentes de complexidade.

Foto-leitura, esta técnica é antes de tudo, o reconhecimento direto de objetos feitos pelo homem e de características comuns do terreno. Ela refere-se à visão vertical de, por exemplo: construções, trabalhos de engenharia, campos cultivados, riachos, florestas e formações do terreno. Normalmente este processo não precisa do estereoscópio e é a técnica de interpretação mais simples.

Foto-análise, é a técnica de examinar o objeto através da separação e distinção de suas partes componentes. A aplicação deste processo para várias características da fotografia representa a fotoanálise. Em termos de classificação da terra, o objetivo principal é o de identificar

estereoscopicamente as várias unidades do terreno e delinear todas as áreas homogêneas que indicam diferenças nas condições do solo. Cada área homogênea é metodicamente analisada e comparada às outras. Áreas similares recebem símbolos iguais.

Foto-dedução é a mais adiantada e complexa das técnicas interpretativas. Ela inclui todas as características da foto-leitura e ainda uma avaliação da estrutura geomorfológica da área, os processos responsáveis por sua formação e o estágio de seu desenvolvimento. Ela inclui também, um exame detalhado de todos os outros elementos da foto aérea e uma cuidadosa avaliação dos mesmos. O estudo da imagem ou modelo estereoscópico pode levar a deduções relativas a elementos ocultos. Porém, o único método eficiente em relação ao uso do material fotográfico aéreo para fins de classificação do solo e uso da terra, seria uma combinação de análises de fotos aéreas e um sistema planejado de verificação no campo.

O maior número de aspectos da expressão exterior usados em interpretação é identificado à base de elementos de reconhecimento – características das fotografias que se originam da escala selecionada, cor da rocha, vegetação e solos do terreno fotografado; a qualidade do filme e filtros usados; o processo de revelação do filme, e fatores relacionados. Os mais significativos elementos de reconhecimento são: a tonalidade fotográfica relativa, cor, textura, padrão e a associação de aspectos. A aparência é importante para identificar muitas formas fisiográficas construcionais.

2.1.3 - Fatores básicos de interpretação – elementos de reconhecimento

a. *a forma*, aliada ao reconhecimento de configurações e margens em geral, é o fator mais importante, segundo CARVER(1982), na identificação visual de objetos numa fotografia aérea vertical,



FIG.2.1- Forma e tamanho de objetos na foto aérea

b. *o tamanho*, objetos, figura 2.1, com forma idêntica e visão plana podem ser distinguidos pelo tamanho relativo. Assim, é possível distinguir uma vossoroca de um sulco de erosão;



FIG. 2.2- Padrão de drenagem

c. *o padrão*, refere-se à combinação, figura 2.2, de detalhes ou à forma que são características de muitos grupos de objetos, tanto natural como construído pelo homem. Quer

dizer, é o arranjo espacial ordenado de aspectos geológicos, topográficos ou de vegetação, quando os elementos de reconhecimento do padrão se tornam muito pequenos, passam a constituir uma textura fotográfica. São elementos que auxiliam o intérprete no reconhecimento de feições existentes nas fotografias. A rede de drenagem é um dos elementos mais importantes do padrão, e vem a ser o modelamento da superfície do terreno sob a ação das águas. Outros fatores, afirma MARCHETTI & GARCIA(1989), que influenciam a drenagem são: relevo, manto vegetal, textura do solo, forma e estrutura das rochas.

d. *a textura*, é a frequência de mudança da tonalidade dentro de uma imagem. Esta tonalidade é produzida por um agregado de componentes muito pequenos que não podem ser distintos individualmente na fotografia.

e. *a tonalidade* é uma medida da quantidade relativa de luz refletida por um objeto e realmente registrada numa fotografia em preto e branco. Os tons em fotografias correntes são usualmente gradações do cinzento, dependem não só do relevo e teor de umidade do material superficial, como também de fatores fotográficos, como combinação do filme e filtro, exposição e processamento fotográfico, dependendo ainda de fatores meteorológicos como névoa, ângulo de incidência do sol e sombras.

MARCHETTI & GARCIA(1989) afirmam ser imprescindíveis para as atividades de fotointerpretação de qualquer região o estudo da localização e condições de estradas, rios, represas, pontes, pântanos e outros aspectos importantes. Outra, as informações devem conter esclarecimentos sobre a configuração do solo e seu conjunto, orientação geral das serras, forma, altitude e declive das elevações, natureza do solo, vegetação e hidrografia sem esquecer a análise combinada destes fatores.

Em síntese, a arte de interpretação de fotos aéreas é internacionalmente reconhecida como uma ciência. Pode ser usada para determinar a significância do meio-ambiente para uso da terra, para fins agrícolas e para outros incontáveis levantamentos e projetos.

2.2- Fotogrametria métrica

A fotogrametria, figura 2.3, métrica consiste na feitura de medições de fotos e outras fontes de informação para determinar, de um modo geral, o posicionamento relativo de pontos. É possível determinar, em razão de técnicas e processos correntes da fotogrametria métrica:

- a.distâncias, ângulos, áreas, volumes, elevações e, tamanhos e formas de objetos;
- b.cartas planimétricas e altimétricas, mosaicos, ortofotos e demais subprodutos das fotografias tomadas.

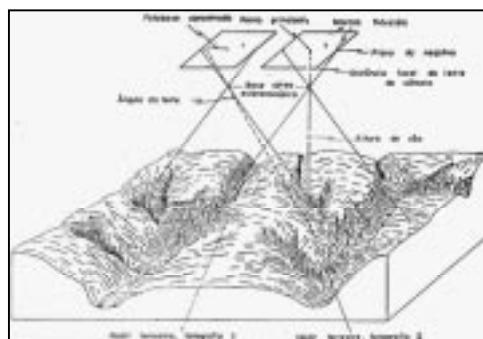


Fig. 2.3 – fotos consecutivas de um levantamento aerofotogramétrico

3.0 - Estereoscopia

É a propriedade que estuda os métodos e técnicas que permitem a visão em perspectiva, quer dizer, a percepção de objetos com todas as modificações aparentes, ou com os diversos aspectos que a sua posição e situação determinam com relação à figura e à luz.

Segundo WOLF(1983), diariamente há atividades que mede-se inconscientemente a profundidade ou julga-se distâncias relativas de um vasto número de objetos em relação a outros. Os métodos de julgamento de profundidade podem ser classificados como **estereoscópico** ou **monoscópico**. As pessoas com visão normal, i.e., capazes de ver com ambos os olhos simultaneamente, são ditas com *visão binocular*, e a percepção de profundidade desta forma é denominada *visão estereoscópica*. Já a *visão monocular* é o termo aplicado para a observação com apenas um dos olhos e, o método de julgamento de distância é denominado *monoscópico*.

A distância entre objetos ou profundidade pode ser obtida monoscopicamente à consideração do:

- ✓ o tamanho relativo de objetos;
 - ✓ os objetos ocultos;
 - ✓ o sombreamento e
 - ✓ a diferença de focalização do cristalino para observar elementos diferentemente afastados.

Ainda, o autor afirma que os métodos estereoscópicos são mais vantajosos do que os monoscópicos para a percepção da profundidade e, segundo ele, de fundamental importância para a fotogrametria.

3.1 - Olho humano

O olho humano tem a forma de globo de 25 mm de diâmetro. É basicamente composto por dois, figura 3.1, sistemas:

- a.o dióptrico e
 - b. o nervoso.

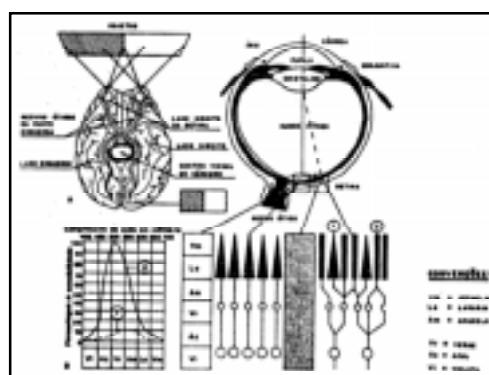


Fig. 3.1 - Sistema dióptrico e nervoso

O sistema dióptrico é constituído, por uma membrana transparente denominada córnea; por uma lente biconvexa, o cristalino, que tem a propriedade de modificar a distância focal pela

ação dos músculos ciliares; por uma membrana circular denominada íris, que se localiza entre a córnea e o cristalino e que regula a quantidade de luz que deve penetrar no olho.

O *sistema nervoso*, sensível aos estímulos luminosos, é constituído de uma rede nervosa, situada nas paredes posteriores do globo ocular e que se chama retina. Na retina localizam-se as células sensoriais da visão denominadas receptores visuais, e que são de dois tipos: uma camada composta de aproximadamente 7 milhões de cones e outra composta de 125 milhões de bastonetes. Os cones possuem capacidade de diferenciar detalhes diminutos num pequeno ângulo de visão; os bastonetes servem para observar os objetos em movimento e fornecer um panorama geral, com o fim de orientação. Na saída do nervo ótico não existem cones nem bastonetes. Este espaço é chamado de *ponto cego*.

Os bastonetes, células finas e longas, contêm uma substância chamada púrpura visual, ou *rodopsina*. Quando esta substância é exposta à luz, há uma mudança química, e a cor dos bastonetes desaparece. Esta reação provoca a produção de um sinal elétrico, que é transmitido para a fibra nervosa. Os bastonetes são importantes para a visão noturna, pois respondem à luz branca, de modo que tudo é visto em tons de cinza.

Os cones, responsáveis pela visão das cores, contêm produtos químicos que respondem à luz vermelha, verde ou azul, e são estimulados apenas pela luz brilhante.

A imagem formada na retina é real e invertida, como as formadas nas lentes convergentes finas. O cérebro é responsável pela interpretação dos impulsos enviados da retina pelo nervo ótico.

No centro da área da visão binocular, denominado ponto de fixação, se cruzam os dois eixos visuais. Os nervos ligados aos bastonetes e aos cones do lado temporal do olho esquerdo combinam-se com os mesmos tipos de nervos da parte nasal do olho direito e se ligam à parte esquerda do centro visual do cérebro. O oposto ocorre com os nervos da parte nasal do olho esquerdo e temporal do olho direito. Isso possibilita o cérebro localizar a posição do objeto em relação ao plano mediano, que coincide com o plano de simetria do corpo humano. A combinação das duas imagens nos centros visuais do cérebro provoca a sensação da estereoscopia.

3.2- PARALAXE

A *paralaxe* é o deslocamento relativo de um ponto-imagem nas fotografias aéreas consecutivas em relação a direção da linha de vôo decorrente da mudança da câmara no momento da exposição, além disso pode ser medida sobre o plano da foto e expressar a diferença de altura entre dois ou mais objetos.

3.3 – PRINCÍPIO DA MARCA FLUTUANTE

A determinação da paralaxe de pontos-imagens nas fotografias, afirma WOLF(1983), pode ser medida estereoscopicamente e faz uso do *princípio da marca flutuante*. Este procedimento é praticado, de um modo geral, quando o estereomodelo é visto através das lentes de um estereoscópio de espelho; há um dispositivo denominado *barra de paralaxe*, figura 4.0, que pode determinar rapidamente e com relativa precisão a paralaxe existente e, consequentemente, a estimativa da altura de objetos ou a diferença de nível nos terrenos. Nas extremidades da barra de paralaxe há uma ranhura(na forma, geralmente, de ponto, círculo ou cruz) gravada em duas lâminas de vidro que é vista pela ocular esquerda e direita nas respectivas fotos. O usuário ao observar simultaneamente as marcas(na foto à direita e à

esquerda)fundidas oticamente sobre o modelo têm a percepção do movimento vertical da marca-índice(marca flutuante ou estereoscópica).

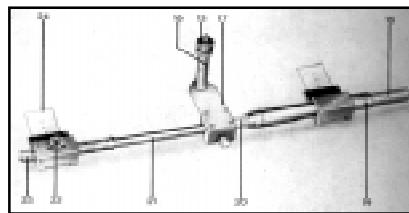


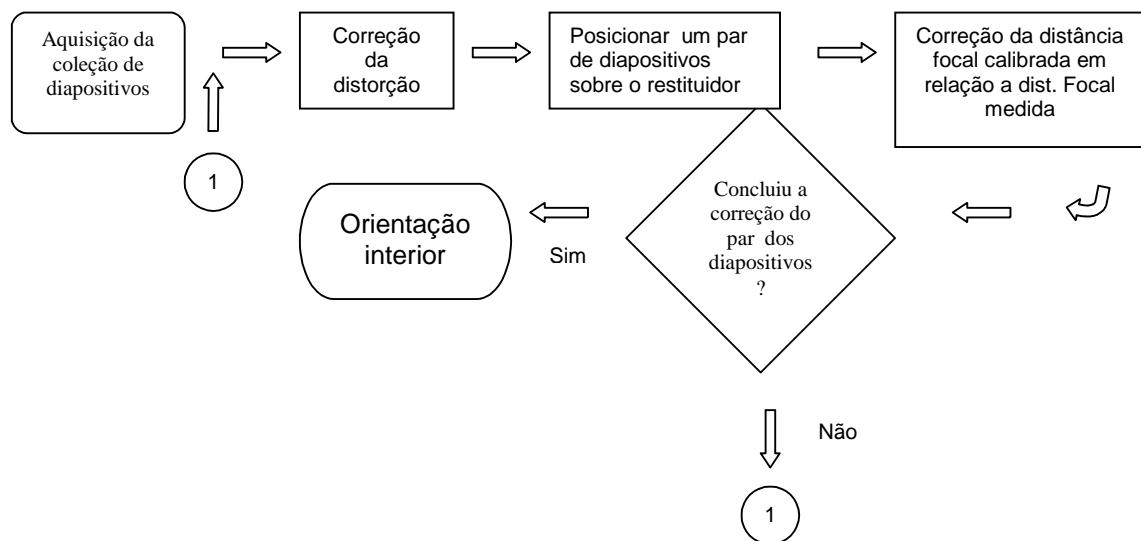
Fig. 4.0 – barra de paralaxe

4.0 – RESTITUIÇÃO

A *restituição* é o procedimento que pretende obter de fotografias aéreas ou terrestres as feições planimétricas e/ou altimétricas de uma determinada localidade expressa na projeção ortogonal após restabelecer a equivalência geométrica entre a fotografia e o filme.

Para a edição de cartas topográficas de precisão é necessário reconstruir a posição exata de cada fotografia no momento da exposição. Este procedimento, afirma PAREDES(1987), é conhecido como *orientação interior* do modelo estereoscópico. Na câmara métrica há uma relação precisa entre o filme e a lente. A *orientação relativa* é a reconstrução da posição de uma fotografia em relação a outra, que é obtido tomando os pares de imagens de um mesmo objeto em ambas as fotografias consecutivas. A *orientação absoluta* é a localização de ambas as fotografias em relação ao terreno.

4.0.1 – ORIENTAÇÃO INTERIOR



Os diapositivos são cópias(de contato) das fotografias que, normalmente usam base de vidro ou polietileno com coeficientes mínimos de dilatação. Segundo PAREDES(1987), em decorrência do cuidado, manuseio ou mesmo o arquivamento deste material o diapositivo pode apresentar dilatação ou contração no formato. Logo, o operador na atividade orientação interior deverá estimar o aumento ou diminuição correspondente a distância focal em função do comportamento da diagonal do diapositivo.

4.0.2 – ORIENTAÇÃO RELATIVA

A condição, segundo WOLF(1983), que permite a conclusão da orientação relativa é a reconstrução espacial de um ponto-objeto(da superfície fotografada), e de outros pontos, em função das projeções dos respectivos pontos-imagens no plano da fotografia de modo que eles se interceptem.

Se as fotografias não forem colocadas nos projetores dos equipamentos de restituição na mesma posição em que forem tiradas, os raios não se interceptarão, quer dizer as fotos-imagens não estarão coincidindo. A diferença, afirma PAREDES(1987), na posição da imagem denomina-se paralaxe, que geralmente se decompõe em P_x e P_y .

O maior obstáculo é conseguir que os raios se interceptem fazendo os projetores girarem no espaço, ao redor dos eixos x, y e z. Na prática P_x e P_y são eliminados em seis pontos críticos do modelo denominados pontos de Von Gruber com os seis movimentos de translação(ou lineares) e rotação(ou angulares) no âmbito do restituidor, figura 4.1, conhecidos como graus de liberdade.

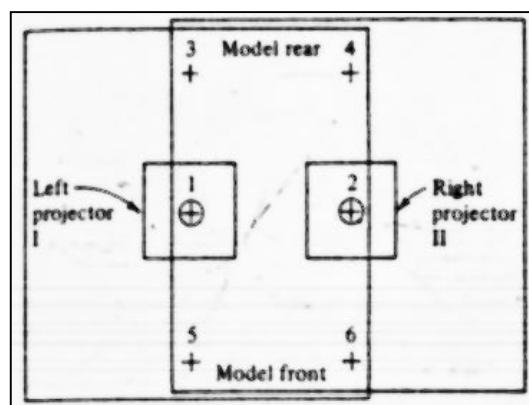
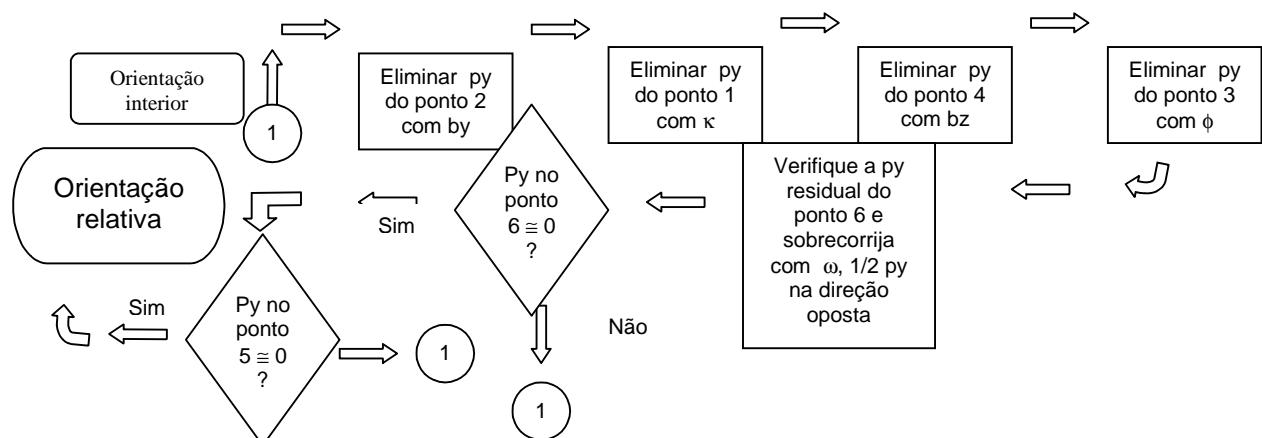


Fig. 4.1 – localização dos seis pontos de Gruber no par estereoscópico

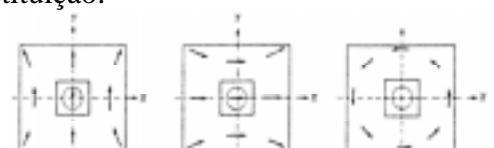
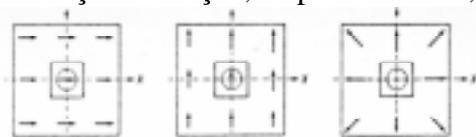


Observações importantes:

b(i) – translação dos projetores em relação a um dos eixos x, y ou z.

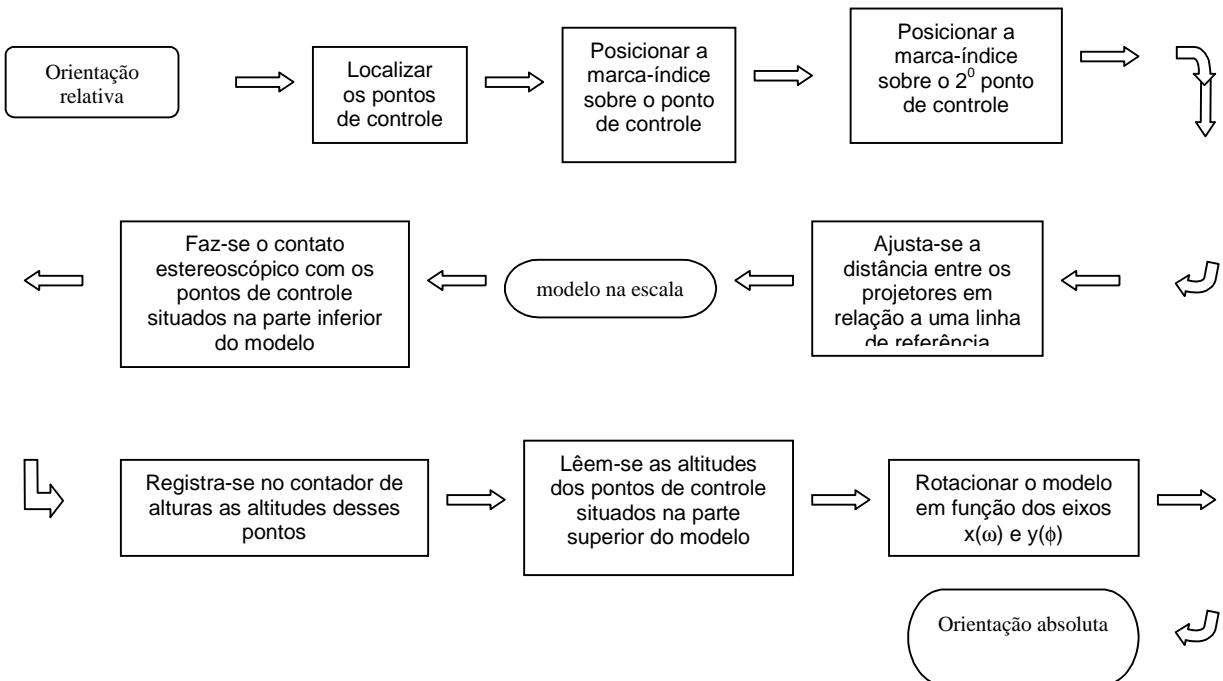
ϕ, ω, κ - rotação dos projetores em relação aos eixos x, y e z, respectivamente.

Reflexo do deslocamento ótico dos pontos-imagens em decorrência dos movimentos de translação e rotação, respectivamente, nos aparelhos de restituição:



4.0.3 – ORIENTAÇÃO ABSOLUTA

Por último cabe posicionar o conjunto de feixes perspectivos formado durante a orientação relativa, de maneira a estabelecer a posição correta do modelo em relação ao terreno(datum), bem como no dimensionamento correto de sua escala. É preciso, afirma WOLF(1983), verificar o registro dos pontos de apoio de campo, quer dizer os pontos de controles vertical e horizontal do modelo.



O mapa de traço, quer dizer a carta topográfica é a representação gráfica de todos os detalhes existentes em um modelo(ou modelos) esterescópico(s) devidamente orientado(s) e que no processo analógico de edição cada informação(drenagem, estradas de rodagem, curvas de nível, vegetação nativa, plantio de culturas etc.) era gravada em um filme próprio para impressão.

4.4 – RESTITUIDORES

O operador dos restituidores analógicos , figura 4.2, reconstitue um modelo tridimensional do terreno ponto a ponto a partir da interseção de pares de raios homólogos, obtida pela orientação prévia dos feixes de raios perspectivos. As atividades similares de restituição realizadas nos equipamentos analíticos necessitam de aplicativos instalados em computadores que se prestam às operações de orientação, medição e desenho, restando o modelo ótico apenas para a observação esterescópica. Em meados da década de oitenta uma grande parte dos equipamentos existentes nas empresas de aerolevantamento no Brasil eram de natureza analógica e, com o objetivo de incorporar novas tecnologias, foram realizadas adaptações que permitiram que os movimentos nas engrenagens desempenhados até então pelos técnicos nos aparelhos, tivesse um registro digital, que ao final das operações guardava em meio magnético, semelhante aqueles praticados nos equipamentos analíticos.

No início da década de noventa os primeiros equipamentos de restituição digital passaram a incorporar o universo de empresas voltadas para o mapeamento. A principal diferença existente para os de caráter analítico é a capacidade de interferência na imagem digital e as operações notáveis de orientação.

A imagem digital expressa o comportamento das feições segundo um registro matemático numa matriz e, mais do que isso, cada registro representa uma intensidade da frequência de luz(energia eletromagnética). Que ao fim e, ao cabo, permitiu que houvesse simultaneamente na imagem tanto as informações de caráter pictórico como também das feições destacadas pelos traços realizadas sobre a imagem. Este dinamismo facilitou as atividade de operação como também popularizou as atividades desta natureza.

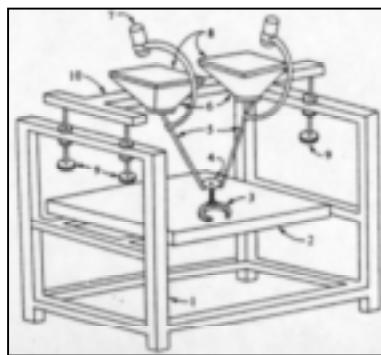


Fig.4.2 – restituidor analógico

4.4.1 – VANTAGENS E DESVANTAGENS DA TECNOLOGIA DIGITAL

MENEZES & ALMEIDA(1994) destacam as características e distinções, figura 4.3, que evidenciam os recursos da tecnologia tradicional(analógica e/ou analítica) e a da digital. Os autores defendem que; a. o baixo custo comparado aos equipamentos analógicos ou analíticos convencionais: o **hardware** necessário é relativamente simples e de baixo custo; b. as técnicas de processamento digital como filtros e controle do contraste podem melhorar a qualidade da imagem; c. a rasterização é feita diretamente sobre o negativo e a imagem positiva é obtida invertendo-se o conteúdo do conversor analógico digital da placa gráfica, evitando ou diminuindo custos de laboratório fotográfico; d. a mesma imagem(digital) pode ser distribuída para várias estações pela simples transferência de arquivos, aumentando a produtividade. Uma estação substitui a planimetria, e outra a altimetria, por exemplo; e. há captura dos elementos cartográficos planialtimétricos, observados em 3D sobre a imagem do modelo, são características que podem refletir na melhoria dos padrões de qualidade dos produtos gerados no equipamentos como também na redução do tempo de edição, leia-se otimização de custos e, finalmente f. as etapas de restituição e de edição podem ser realizadas quase que simultaneamente.

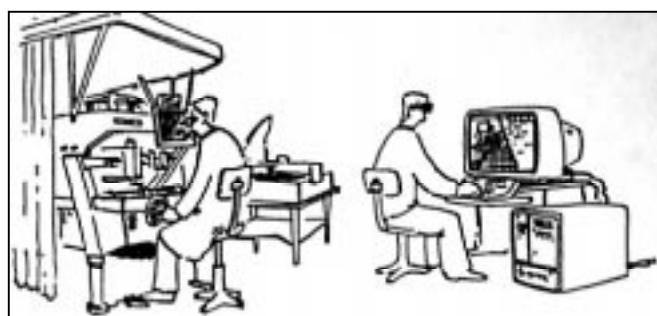


Fig.4.3 – restituição analógica x digital

Por outro lado, os autores ressaltam que uma das desvantagens das estações é a qualidade das imagens digitais em relação às tradicionais em filme. A excelência da qualidade da imagem digital, bem como a precisão obtida, exige a rasterização em **scanner** de alta resolução,

levando, consequentemente, ao aumento no volume dos arquivos e diminuição da área de visualização no monitor gráfico e tempo adicional no processamento da imagem.

Isto significa dispor de unidades sobressalentes para gravar arquivos, gravador de CD, gravador de disco ZIP ou mesmo, HD externo. Uma fotografia aérea padrão(23 x 23 cm) com 800 dpi de resolução correspondente ao tamanho do pixel de 33 microns – ocupa 50 mb na placa de memória do computador. Em última análise pode-se afirmar que a precisão está diretamente ligada à resolução e qualidade da imagem rasterizada.

Os instrumentos de precisão usados na orientação de fotografias com os propósitos voltados para o mapeamento são denominados restituidores, independente das especificidades ligadas ao caráter analógico, analítico ou digital das propriedades de restituição. Os instrumentos restituidores, WOLF(1983), compõe-se basicamente dos seguintes sistemas:

- ✓ sistema de observação,
- ✓ sistema de projeção do modelo e
- ✓ sistema de medição e desenho

4.4.2 – SISTEMA DE OBSERVAÇÃO

O *sistema de observação* nos equipamentos analógicos de projeção ótica, ressalta PAREDES(1987), se destina a visualização do modelo esterescópico nas três dimensão sem interferir na orientação.

4.4.3 – SISTEMA DE PROJEÇÃO

O *sistema de projeção* nos equipamentos analógicos de projeção ótica, de um modo geral é constituído por dois ou mais projetores. Cada projetor é dotado de três movimentos de rotação e igual número de movimentos de translação, todos os seis em torno dos eixos coordenados considerando-se o eixo x coincidente com a linha de direção de vôo.

4.4.4 – SISTEMA DE MEDIÇÃO E DESENHO

O *sistema de medição* da distância na direção do eixo de projeção é assinalada como medida vertical e admite-se a marca-índice como ponto de referência. Para as medições no plano horizontal as leituras são definidas em razão de um contador, de um modo geral, acoplado ao instrumento. Outra, no desenho de pontos usa-se um coordenatógrafo que opera sobre uma mesa traçadora.

4.5 – MOSAICO

Mosaico, afirma PAREDES apud ASP(1963), é uma montagem de fotografias aéreas ajustadas sistematicamente umas às outras para formar uma vista composta de toda a área coberta por essas fotografias. É conhecido como *mosaico não controlado* aquele que usa as fotos originais, eventualmente alterando apenas a escala, sem a preocupação de retificá-la ou posicioná-la em relação ao terreno. Há o *mosaico controlado* que necessita de fotografias retificadas e devidamente posicionadas em relação ao datum provido do número suficientes de pontos de controle. Por outro lado verifica-se o *mosaico semicontrolado*, que expressa a coletânea de fotos não retificadas, mas de escala homogênea ou vice-versa.

4.6 – FOTOCARTA

A fotocarta é um mosaico controlado sobre o qual é realizado um tratamento cartográfico. Possui quadriculagem no sistema de projeção escolhido e toponímia(atribuição de nomes aos acidentes ou feições existentes).

4.7 – ORTOFOTOCARTA

É uma fotocarta obtida de fotografias isentas de deslocamento devido ao relevo e à inclinação. Pode conter, inclusive, curvas de nível, quer dizer, equipara-se a carta topográfica no tocante a precisão da representação planimétrica do terreno.

A *ortofotocarta digital*, segundo PEREIRA(1994), é uma alternativa de mapeamento que está em larga expansão no país se comparado com a carta digital de traço.

O autor entende que a ortofoto traduz uma simplificação, pois toda a feição planimétrica é substituída pela imagem fotográfica, isto posto, é possível realizar conversões do arquivo raster(matriz digital) para o vetorial. Porém, salienta que há resistências, principalmente nas atividades de vetorização voltadas para as zonas urbanas devido ao sombreamento gerado pelas verticalização das edificações que ocultam detalhes ou informações de relevância na construção de uma carta.

4.8 – FOTOÍNDICE

O fotoíndice é uma montagem por simples sobreposição das fotografias, geralmente publicado em escala reduzida, de uma maneira geral, de três a quatro vezes a escala de vôo. Está voltada para determinar falhas existentes no recobrimento ou mesmo, possibilitar a seleção de fotos adequadas ao propósito do vôo(a exemplo, controle de inundações, anteprojeto de estradas, estudo da área de plantio etc.).

5.0 – FOTOGRAFETRIA DIGITAL

A fotogrametria digital, HEIPKE(1995), é uma tecnologia de informação usada para gerar informações geométricas, radiométricas e de semântica sobre objetos no universo 3D(tridimensional) obtidas de imagens digitais 2D(planas) destes objetos. Nas últimas cinco décadas verificou-se que, a fotogrametria teve um crescimento surpreendente, seja como arte, seja como ciência, e se consolidou como instrumento fundamental para a edição de cartas em todo o mundo. A evolução nos instrumentos fotogramétricos para o processo de restituição, não foi diferente. Observou-se durante este intervalo de tempo, o crescimento e o declínio dos instrumentos estereorestituidores óticos-mecânicos, a expansão da triangulação analítica, os ajustes de bloco e a ascensão dos estereorestituidores analíticos.

HELAVA(1992) afirma que, o domínio da tecnologia do computador, as imagens *rasterizadas/vetorizadas*(obtidas a partir de **scanners**) e a fotogrametria analítica compreendem as três vertentes de sustentação da fotogrametria digital. Segundo o autor, ocorrem alianças estratégicas da fotogrametria digital com outros segmentos, tais como o Sistema de Informações Geográficas(SIG) e com o Sensoriamento Remoto. Uma vez que, a fotogrametria digital pode fornecer a acurácia e a integridade métrica necessários para a edificação de suas estruturas. Para HELAVA(1992), os elementos fundamentais para a fotogrametria digital são: a)a acurácia; b)a estabilidade e c)a repetitividade do processo digital, que abrigam a precisão e a continuidade nas relações matemáticas entre o pixel(na

imagem digital) e os correspondentes pontos no terreno que podem gerar um produto especial, único para a fotogrametria digital.

Pretende-se abordar alguns aspectos gerais, a precisão e limitações de operação dos sistemas DVP, DSS, DPS e DSi voltados para a fotogrametria digital que operam em plataformas PC(**personal computer**).

5.1 - O SISTEMA DVP(DIGITAL VIDEO PLOTTER) - GENERALIDADES

A lógica do DVP, estação de trabalho fotogramétrica digital(em inglês, **softcopy workstation**) com limitado desempenho e funcionalidade mas de custo reduzido, foi concebida e desenvolvida por uma equipe de pesquisadores do *Laboratoire de Photogrammetrie Numérique* da Universidade de Laval, em Quebec, Canadá. O **software** foi idealizado originalmente como recurso didático para o ensino de fotogrametria e sensoriamento remoto, para os alunos do *Département des Sciences Géodésiques et de Télédétection* da Universidade de Laval.

O estereorestituidor digital DVP(em inglês, Digital Video Plotter) é um **software** que permite a estruturação de arquivos gráficos e, o processamento de imagens digitais obtidas:

- a)por meio de *rasterização*(imagens geradas pela varredura de **scanners**) de fotografias(aéreas ou terrestres) ou,
- b)quando extraídas de imagens digitais geradas pelo satélite SPOT.



Fig. 5.0 – Sistema DVP

A visualização das imagens, figura 5.0, digitais pode ser alcançada por intermédio de um sistema ótico similar aos estereoscópios de espelhos ou alternativas mais sofisticadas tais como os óculos de cristal líquido(**liquid crystal shutter glasses**). O uso do **software** aliado ao sistema estereoscópico, permite ao usuário proceder as extrações planimétricas e altimétricas da imagem, bem como na determinação, em *tempo real*(informa ao operador a qualquer instante as coordenadas do cursor), das medidas das coordenadas X, Y e Z das imagens planas à esquerda e à direita no vídeo. A imagem estereoscópica torna possível o uso combinado de técnicas de visualização e mensuração.

Segundo GAGNON e alii(1993), a versatilidade e a flexibilidade do aplicativo possibilita ao usuário desprovido de conhecimentos específicos de fotogrametria, atuar nas operações de edição e atualização de cartas com o uso da superposição ótica de imagens ou mesmo , dos recursos das funções gráficas, próprias do aplicativo. Os autores sugerem ainda que, o operador possa integrar ao DVP, os módulos do COGO(aplicativo para entrada de dados e projetos gerais de engenharia) permitindo a otimização e a rapidez nas diferentes atividades para cadastro ou para análises da superfície do terreno em 3D.

A integração de arquivos digitais gerados pelo DVP aos SIGs, podem traduzir informações espaciais sobre a qual atuam uma série de operadores espaciais(operações algébricas usadas pelos SIGs no cruzamento de dados) e permitem as operações de análise. Isso posto, as informações obtidas compõe uma base de dados espaciais de modo que permitem:

- a)o controle de redes como água e esgotos, comunicação, energia, tráfego, gás;

- b)o gerenciamento de culturas de cereais e controle de pragas;
- c)o planejamento regional e
- d)as observações de catástrofes, inundações, terremotos etc.

5.1.1 - CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DO DVP

A configuração básica necessária ao funcionamento do DVP, são os seguintes:

Tabela I - Configuração mínima do **hardware**

plataforma PC compatível com IBM-AT	disco rígido de 4 (Gb)/2(Gb), co-processador300MH, memória RAM de 128/64 Mb
monitor estéreo para edição(19"/17")	120 Hz de refresh vertical
monitor estéreo para referência - opcional(17"/15")	
ambiente	windows 95/98 ou NT
mouse e/ou trackball	Logitech
dispositivo de visualização Leica(para o monitor)	tela ativa ou óculos de cristal líquido
dispositivo para digitalização das imagens fotográficas - scanners	Rank Xerox 7650; Sharp JX-600; Helava HAI-100 ou Vexcel VX3000

Fonte:Leica(1995)

O módulo de restituição fotogramétrica DVP contempla os seguintes módulos:

- ✓ calibração do scanner, com grelha de calibração;
- ✓ orientação estéreo – interior, relativa e absoluta;
- ✓ preparação e coleta de dados para triangulação aérea e exportação de dados para programas de ajustamento(space-m, PAT-M, PAT-B, visual giant etc.)
- ✓ restituição 3D e funções de mapeamento cartográfico com imagens digitais geradas de fotografias aéreas
- ✓ restituição 3D e funções de mapeamento cartográfico com imagens digitais geradas pelo satélite SPOT
- ✓ importação/exportação de parâmetros de orientação nos formatos Helava, DVP e ASCII
- ✓ tradutor bidirecional para arquivos de extensão dxf(Autocad) e dgn(microstation)

Uma vez equipado com os componentes básicos, o usuário poderá usar os módulos do DVP e transformar o computador doméstico(PC) em um instrumento para a restituição fotogramétrica digital.

5.1.2 – ESTEREOSCOPIA POR POLARIZAÇÃO DA LUZ

Um feixe de luz(energia eletromagnética) pode se propagar no ar em todas as direções perpendiculares à direção de deslocamento. Porém, em determinadas condições a luz pode

ser obrigada a vibrar apenas em um plano, o que caracteriza a *luz polarizada* e o *plano de polarização*, figura 5.1, respectivamente.

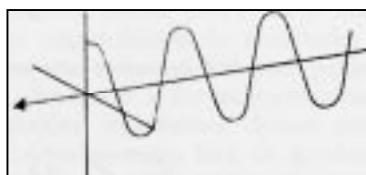


Fig. 5.1 – luz polarizada linear vibra no plano vertical

Quando a luz incidente atravessa um polarizador(filtro), ela possui a propriedade de vibrar paralelamente ao plano de polarização. Logo, faz-se com que o raio luminoso, figura 5.2, projetado de duas imagens(fotos) no monitor que formam um par esterescópico passe por filtros polarizadores do vídeo(tela de cristal líquido), com planos de polarização ortogonais. O observador, figura 5.3, munido de filtros polaróides(óculos), com planos de polarização ortogonais em correspondência com os planos de polarização do filtro do monitor, verá com cada olho apenas a imagem projetada de uma das imagens do vídeo.

A fusão das duas imagens no cérebro resultará na percepção em 3D. Em síntese este é o princípio que rege a percepção do sistema dvp com o uso da tela ativa(cristal líquido) e os óculos polaróides(aqueles que têm a propriedade de absorver todas as radiações do espectro da luz branca).

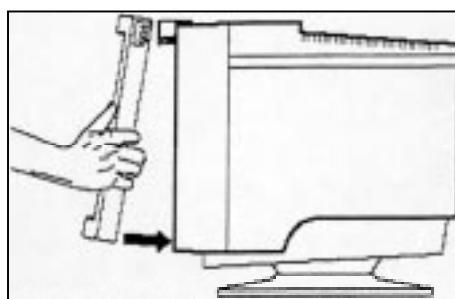


Fig.5.2 – tela ativa na frente do monitor de vídeo

5.1.3 - A PRECISÃO DO DVP

A precisão alcançada pela fotogrametria digital assim como nas atividades da fotogrametria analógica dependem da escala das fotografias. Todavia, a precisão pode ser afetada pela resolução das imagens quando digitalizadas pelos **scanners**.

Verificam-se que, diversas publicações; TOUTIN & BEAUDOIN(1995) e KLAVER & WALKER(1992), GAGNON et al.(1991); sustentam que a precisão observada nas medições com o DVP, obtêm para a planimetria(coordenadas X e Y) 70% do tamanho do pixel e para a altimetria(coordenada Z) 0,2% da altura de vôo.(Tabela II)



Fig.5.3 – filtros polaróides

As precisões matemáticas podem ser estimadas pelas seguintes expressões matemáticas:

$$\sigma_{XY} \cong EP \cdot DP \cdot 0,7 \cdot 10^{-6}$$

$$\sigma_Z \cong EP \cdot DP \cdot (F / B) \cdot 0,5 \cdot 10^{-6}$$

Fonte: Les Systèmes Géomatiques DVP INC.(1989)

σ_{XY} - precisão planimétrica

σ_Z - precisão altimétrica

EP - denominador da escala da foto

DP - dimensão do pixel em microns

F - distância focal da câmera em milímetros

B - distância entre os pontos principais do estereopar em milímetros.

Tabela II - Precisão planimétrica e altimétrica

escala da foto	resolução (dpi)	arquivo (mb)	pixel		precisão planimétrica		precisão altimétrica	
			imagem	terreno(m)	$\delta(m) - 70\% \text{pixel}$	$\max(2 \times \delta)$	eq. curvas de nível	$\delta(m)$
1 : 2500	1000	82	25	0,06	0,04	0,09	0,11	0,05
1 : 2500	800	53	32	0,08	0,06	0,11	0,14	0,07
1 : 2500	600	30	42	0,11	0,07	0,15	0,18	0,09
1 : 2500	400	13	64	0,16	0,11	0,22	0,27	0,14
1 : 2500	200	3,3	127	0,32	0,22	0,44	0,54	0,27
1 : 5000	1000	82	25	0,13	0,09	0,18	0,21	0,11
1 : 5000	800	53	32	0,16	0,11	0,22	0,27	0,14
1 : 5000	600	30	42	0,21	0,15	0,29	0,36	0,18
1 : 5000	400	13	64	0,32	0,22	0,45	0,54	0,27
1 : 5000	200	3,3	127	0,64	0,44	0,89	1,08	0,54
1 : 10000	1000	82	25	0,25	0,18	0,35	0,43	0,21
1 : 10000	800	53	32	0,32	0,22	0,45	0,54	0,27
1 : 10000	600	30	42	0,42	0,29	0,59	0,71	0,36
1 : 10000	400	13	64	0,64	0,45	0,90	1,09	0,54
1 : 10000	200	3,3	127	1,27	0,89	1,78	2,16	1,08
1 : 15000	1000	82	25	0,38	0,26	0,53	0,64	0,32
1 : 15000	800	53	32	0,48	0,34	0,67	0,82	0,41
1 : 15000	600	30	42	0,63	0,44	0,88	1,07	0,54
1 : 15000	400	13	64	0,96	0,67	1,34	1,63	0,82
1 : 15000	200	3,3	127	1,91	1,33	2,67	3,24	1,62
1 : 20000	1000	82	25	0,50	0,35	0,70	0,85	0,43
1 : 20000	800	53	32	0,64	0,45	0,90	1,08	0,54
1 : 20000	600	30	42	0,84	0,59	1,18	1,43	0,71
1 : 20000	400	13	64	1,28	0,90	1,79	2,18	1,09
1 : 20000	200	3,3	127	2,54	1,78	3,56	4,32	2,16

Fonte: Leica(1995)

(1)dpi - pontos por polegada, é a resolução da imagem digitalizada.

(2) arquivo - tamanho do arquivo que contém uma imagem em megabytes.

(3) pixel(**picture element**) - representa um elemento da imagem digital

(4) δ – desvio-padrão

O processo de digitalização da fotografia aérea deve ser anterior as atividades de restituição. Cada fotografia quando submetida ao **scanner** gera uma matriz bidimensional no qual cada componente, ou pixel, tem um valor numérico proporcional ao seu nível de cinza ou ao seu nível de cor. O **scanner** deve reproduzir arquivos em formato TIFF(em inglês, **Tag Image File Format**) com 256 níveis de cinza ou com 16777216 cores. O DVP armazena imagens digitalizadas em 64 níveis de cinza ou em 32768 cores.

5.2 - O SISTEMA DSS(DIGITAL SCREEN STEREOPILOTTER) - GENERALIDADES

O sistema **Digital Screen Stereoplotter(DSS)**, figura 5.4, foi idealizado e desenvolvido por pesquisadores poloneses da Faculdade de Geodésia e Engenharia Ambiental, da Cracóvia. Com o propósito de:

- a) tornar possível as atividades de restituição das imagens fotogramétricas na forma digital e;
- b) comportar operações de visualização e mensuração a partir das estereoortofotografias digitais e gerar uma base de dados de diferentes temas(como exemplos: uso do solo, hidrografia, geologia etc.) para o software LIS(em inglês, **Land Information Systems**).



Figura 5.4 - Estereoscópio na frente do monitor

Fonte: JACHIMSKI(1992)

O **software LIS** é um aplicativo que reúne módulos para as atividades de tratamento, gerenciamento e, sobretudo, no armazenamento da base de dados geométricos de cartas temáticas na forma vetorial(digital). As cartas temáticas expressam não somente a universalidade da base de dados, mas também o montante de recursos necessários para mantê-la atualizada.

A base de dados abriga ainda, informações cadastrais importantes e, deve ser atualizado com elevada acurácia geométrica. Entretanto, no conteúdo da base de dados podem existir outros arquivos gráficos que incluem informações sobre o uso da terra na forma de cartas vetoriais. Muitas vezes estas informações, JACHIMSKI & ZIELINSKI(1992),podem ser observadas diretamente de fotografias aéreas digitalizadas. O que, segundo os autores, pode ser o método mais econômico.

JACHIMSKI & ZIELINSKI(1992) ressaltam que, é preciso avaliar a influência da irregularidade da superfície do terreno no processo de *geometrização*(gera arquivos gráficos) dos arquivos gerados pelas fotografias aéreas. O DSS opera basicamente com dois tipos de imagens; o estereograma e o estereoortofotograma.

O estereograma é uma imagem obtida da visualização em 3D de um par de fotografias consecutivas geradas pela cobertura fotogramétrica e, requer tão somente o **scanner** de ambas as fotografias para gerar arquivos digitais. Já o estereoortofotograma são duas imagens consecutivas geradas pelo estereograma retificado, i. é, isento das distorções geométricas geradas pela irregularidade do terreno atribuídas às fotografias.

A confiança adquirida na base de dados do LIS propiciou a dois eventos importantes para o desenvolvimento do DSS:

- a)a elaboração da primeira versão do **software**, em 1985, que permitia a produção de ortofotografias digitais e
- b)a edição de outra versão, em 1989, que se destinava a configuração de estereoortofotografias digitais e programas para visualizar e editar uma carta digital vetorizada.

Além de possibilitar, JACHIMSKI & ZIELINSKI(1992), o acesso a informações atualizadas do espaço no qual vive, o DSS representa para os alunos inseridos nos programas das escolas secundárias, um instrumento eficiente na difusão e no amadurecimento dos recursos e técnicas existentes para o sensoriamento remoto e para a fotogrametria digital.

5.2.1 - CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DO DSS

O DSS foi projetado originalmente como um recurso para a restuição que permite ao usuário do LIS, operar com estereoortofotografias digitais. Abaixo são discriminadas algumas funções :

- a)a seleção estereoscópica de unidades da imagem em escala reduzida na tela;
- b)a seleção de cartas temáticas expostas na tela do monitor de arquivos gráficos;
- c)a visualização estereoscópica e a seleção de feições do estereoortofotograma;
- d)a ampliação e redução da imagem na tela;
- e)a correção ou omissão de detalhes na carta vetorizada podem ser apagados na tela, e do arquivo digital(base de dados) e
- f)as notações e simbologia da topologia podem ser inscritas.

A configuração básica necessária ao funcionamento do DSS, são os seguintes:

Tabela III - Configuração do DSS

plataforma PC compatível com IBM-AT	disco rígido de 200 megabytes(Mb), co-processador matemático, memória RAM de 8 a 16 Mb
monitor TSENG ET 3000:	SVGA 1024 com 512Kb placa gráfica ATI
ambiente	MS-DOS
mouse	Logitech
dispositivo de visualização (para o monitor)	estereoscópio de espelhos

Fonte: JACHIMSKI & ZIELINSKI(1992)

5.2.2 - A PRECISÃO DO SISTEMA DSS

A precisão observada para as operações correntes de atualização, editoração e restituição pelo sistema DSS, depende da dimensão original do pixel, i.e., o tamanho do pixel verificado no momento da *rasterização*. JACHIMSKI & ZIELINSKI(1992) afirmam que publicações recentes, STREILEIN & BEYER(1991) e JACHIMSKI & TROCHA(1992), expressam que a determinação da precisão do ponto na imagem pode ser de 0.1 ou mesmo 0.05 do tamanho do pixel.

5.3 - O SISTEMA DPS(DIGITAL PHOTOGRAMMETRIC SYSTEM) - GENERALIDADES

Para a edição de cartas topográficas são necessárias as operações de: a)apoio de campo; b)levantamento aerofotogramétrico; d)reambulação; a)aerotriangulação e c)restituição. As atividades que compõem a restituição de uma imagem fotográfica, são usualmente realizadas em estreorestituidores analíticos ou analógicos. Uma vez que os

Figura 5.5 - Operadora com DPS



Fonte: Mori(1992)

estreorestituidores analíticos não tratam diretamente da imagem digital, menos frequente, a estreorestituição analítica pode ocorrer, desde que as fotografias sejam reproduzidas em emulsões fotográficas(cópia em filme ou em papel). O processo de reprodução das imagens representa uma desvantagem do método estereoanalítico de restituição porque; a)pode provocar distorção na imagem e b)significa um gasto adicional em tempo e dinheiro para a viabilidade do processo. O que segundo MORI et al.(1992) justifica afirmar que, o processo de restituição digital é melhor do

que o processo de restituição analítico. O sistema DPS(**Digital Photogrammetric System**) é um **software** que permite ao usuário a extração das feições planimétrica e altimétricas de uma imagem digital gerada pelos satélites SPOT e JERS-1 bem como a geração do DTM(modelo digital do terreno) da região observada.

O propósito dos autores é expor um sistema estereofotogramétrico digital que, traduza os seus feitos em produtos de precisão e demonstre a confiabilidade e aplicação do sistema estereofotogramétrico digital. O DPS comprehende ainda, um módulo inovador, figura 5.5, que facilita ao operador visualizar, com óculos especiais(**liquid crystal shutter glasses**), imagens fotográficas digitais em estereoscopia e o modelo digital do terreno simultaneamente. As estereogramas geradas pelo satélite SPOT e pelo JERS - 1 podem ser tratadas pelo sistema DPS.

5.3.1 - CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DO DPS

5.3.1.1 - O MÉTODO TIME-SHARING

O método de visualização **time-sharing** é a técnica mais avançada, MORI et al.(1992), de visualização 3D e, usada pelo sistema DPS. O **time-sharing** reúne recursos que permitem o armazenamento de imagens digitais distintas em seções da placa gráfica do monitor e a reprodução em estereoscopia no vídeo das imagens.

5.3.1.2 - A CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA

A configuração do sistema DPS necessita de equipamento com capacidade de processar uma grande base de dados alfanumérica, numérica(caracteres), além de dados gráficos(pictóricos). A composição do sistema compreende uma plataforma PC - 9801 da NEC. Um monitor de vídeo do tipo CRT(em inglês, **Cathode Ray Tube**) que usa vetores e transmite a imagem por um sistema de coordenadas direcionais X-Y. Duas unidades de armazenamento de dados que usualmente são inseridas em compartimentos próprios do PC. As unidades são usadas como recursos de entrada e saída de dados. Além da unidade de armazenamento para o disco magnético, há a necessidade de outra unidade para os discos óticos que permitem uma densidade de gravação muito superior a qualquer outro dispositivo de armazenamento de dados. Um **mouse**(cursor manual) é usado para o deslocamento vertical da marca flutuante. Um dispositivo de visualização(**liquid crystal shutter glasses**) é usado para observar as imagens estereoscópicas. E finalmente, três compartimentos adicionais que operam as duas seções da memória virtual(em inglês, **memorie frame**) do computador, que armazenam as imagens estereoscópicas e outra seção de memória controla o dispositivo de visualização.

5.3.1.3 - EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DO SISTEMA DPS

O sistema DPS, MORI et al.(1992), significa um poderoso aliado ao usuário para interagir os recursos do software à habilidade do operador nas operações de processamento das imagens estereoscópicas. Os autores mostram dois exemplos de operação com o sistema:

1.- Na figura 5.6, mostra um exemplo do traçado manual das curvas de nível. A sequência da operação é a seguinte:

- ajustar a altura(cota) da marca flutuante com o auxílio do mouse e
- deslocar a marca flutuante tocando na superfície do estereomodelo.

Ao final da etapa, a posição percorrida pela marca flutuante completa a linha de contorno.

2.- Na foto 5.7, mostra a edição automática do DTM(em inglês, **Digital Terrain Model**). As principais características da edição do DTM são as seguintes:

- a maior parte da operação para gerar o DTM das imagens estereoscópicas é executado automaticamente pelos recursos do **software**;
- os resultados obtidos para o modelo gerado pelo **software** pode ser checado e corrigido usando os recursos do módulo de visualização e
- as posições dos pontos de controle no terreno no modelo estereoscópico podem ser determinados exatamente usando o módulo de visualização.

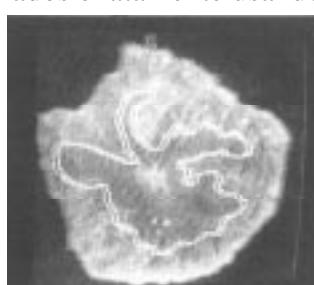


Figura 5.6 - Traçado manual de curvas de nível

Fonte: Mori(1992)

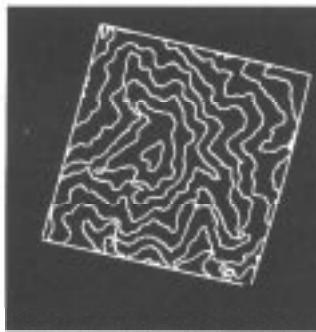


figura 5.7 - Edição do DTM
Fonte: Mori(1992)

5.4 - O SISTEMA DSI(DIGITAL STEREO IMAGENARY) GENERALIDADES

A tecnologia, QUINTANILHA(1990), para o processamento digital de imagens somente se destacou depois da metade da década de 60, quando a terceira geração de computadores digitais colocou à disposição dos seus usuários, velocidade e capacidade de armazenamento compatíveis com aquelas necessárias à implementação dos algoritmos de processamento de imagens. A aplicação de métodos numéricos compreende uma das técnicas de sensoriamento que estão sendo usadas para identificar, mapear e cadastrar recursos naturais da Terra ou evidenciar problemas correlatos, decorrentes da atividade humana. Já a pesquisa em fotogrametria mostra que existe uma tendência em desenvolver métodos para a extração de feições e a determinação das coordenadas espaciais de objetos no modelo estereoscópico. As técnicas digitais correntes são usadas para armazenar e manipular a base de dados.

O sistema **DSI(Digital Stereo Imaginary)** reúne múltiplas imagens na forma **raster**, isentas de distorções geométrica e radiométrica, com o propósito de fornecer uma base de dados que possa integrar o SIG.

5.4.1 - O TRATAMENTO DA IMAGEM DIGITAL

A edição das imagens compreende as seguintes fases:

- a)a determinação do ajuste blocos e
- b)a correção geométrica e radiométrica da imagem digital.

A determinação da geometria do bloco inclui a estimativa dos parâmetros de orientação interior e exterior, para cada imagem. A etapa do ajuste de blocos, corresponde no processo convencional(fotogrametria analógica) a aerotriangulação. A posição de alguns pontos de apoio de campo: a)que identificam a marca fiducial; b)os pontos de passagem e c)os pontos de controle, deve ser determinada em um sistema de coordenadas da imagem no formato digital.

Obtém-se como resultado da determinação do ajuste de blocos que, cada imagem verifica valores para os parâmetros de orientação interior e exterior. As operações de mensuração(nas três dimensões) no modelo estereoscópico podem ocorrer sem a necessidade de qualquer procedimento adicional de orientação. A conclusão da edição deve incluir as correções radiométricas e geométricas da imagem.

5.4.2 - INTEGRAÇÃO DO DS1 AOS SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOAMBIENTAIS

SARJAKOSKI(1990) admite que, a visualização em estereoscopia das imagens no formato vetor/**raster** nos sistemas de informações geoambientais que operam em estações de trabalhos digitais - **softcopy workstation**, carecem de dispositivos para visualização próprios que podem ser encontrados no mercado. O autor cita alguns exemplos abaixo:

- a)o **time parallel stereo pair** e o **split screen stereoplotter**;
- b)o **time multiplexed stereo pair**, o **passive polarization glasses** e o **active stereo switch glasses**, comercializados pela Tektronix e a StereoGraphics

6.0 – CONCLUSÕES E CRÍTICAS

Neste volume relatou-se, resumidamente, que a fotogrametria teve um crescimento surpreendente, seja como arte, seja como ciência, e se consolidou como instrumento fundamental para a edição de cartas em todo o mundo.

Discutiu-se as principais classificações da fotogrametria, os procedimentos para a obtenção dos produtos e subprodutos do tratamento da fotografia aérea; a evolução dos equipamentos de restituição óticos-mecânicos até aos sofisticados restituidores digitais;

Pode-se concluir, em princípio, que a estruturação de arquivos gráficos e o processamento de imagens digitais não é uma prerrogativa de robustas estações de trabalho digitais - **softcopy workstation**, mas também, de plataformas PCs que operam com **softwares** de baixo custo e de funcionalidade limitada.

Verificou-se que o sistema fotogramétrico digital é composto de pacotes de programas principais, que são constituídos de subrotinas em forma modular e auto-documentadas.

E que as unidades gráficas modernas do computador(PC) representam um papel revolucionário quando se quer ampliar o domínio e o conhecimento de aplicações técnicas e científicas para a visualização de imagens estereoscópicas digitais.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- RAY, R.G. *Aerial photographs in geological interpretation and mapping*, U.S. Geological Survey, paper 373, Washington, U.S.A., 1963, 88pp.
- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY(ASP). *Manual of Photogrammetry*, 1966, 1220p.
- Heipke, C. *State-of-the-art of digital photogrammetric workstations for topographic*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 61, No. 01, Ottawa, Canada, 1995, 49-56.
- MARCHETTI, D. A. B. & GARCIA, G. J. *Princípios de fotogrametria e fotointerpretação*. Ed. Nobel, S. Paulo, 1989, 257p.
- CARVER, A. J. *Manual de fotografias aéreas para planejadores de uso da terra*. Secretaria de Recursos Naturais/Ministério da Agricultura, Brasília, 1995, 77 pg.
- WOLF, P. R. *Elements of photogrammetry*. N. York, Mac Graw Hill. 1983. 626pp
- PAREDES, E. A. *Introdução à aerofotogrametria para engenheiros*. Maringá/PR, CNPq. 1987. 493pp

- MENEZES, J. C. & ALMEIDA, J. F. *O futuro da restituição fotogramétrica*. FatorGis, 1994, 33- 34.
- PEREIRA, F. D. *Alternativas(de baixo custo) de mapeamento digital para SIG. públicos*. XVIII Congresso Brasileiro de Cartografia, Rio de Janeiro/RJ, 1997, CD-ROM.
- HELAVA, U. V. *State of the art in digital photogrammetric workstations*. ACSM-ASPRS, Annual Convention, vol. 2, Washington, USA, 1992, 10-18.
- HELAVA, U. V. *Prospects in digital photogrammetry*. ACSM-ASPRS, Annual Convention, vol. 2, Washington, USA, 1992, 19-24.
- GAGNON, P A. & alii. *The DVP:a tool for extending the field of the surveyor's practice*. Survey Review, 32, No. 249, Quebec, Canada, 1993, 159 -166.
- TOUTIN, T. & BEADOIN, M. *Real-time extraction of planimetric and altimetric features from digital stereo SPOT data using a digital video plotter*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 61, No. 01, Ottawa, Canada, 1995, 63-68.
- KLAVER, J. & WALKER, A. S. *Entry level digital photogrammetry: latest developments of the DVP*. ISPRS, XVII Congress, vol. XXIX, Part. B2,Commission II, 1992, 31- 33.
- Guide de L'usager, version 3.40, Les Systèmes Géomatiques DVP INC., 1989, cap. I, 1-8
- JACHIMSKI, J. & ZIELINSKI, J. *Digital stereoplottting using the PC-SVGA monitor*. ISPRS, XVII Congress, vol. XXIX, Part. B2,Commission II, 1992, 127- 131.
- MORI, N. et alii. *Development of a PC - based digital photogrammetric system*. ISPRS, XVII Congress, vol. XXIX, Part. B2,Commission II, 1992, 127- 131.
- QUINTANILHA, J. A. *Processamento de imagens digitais*. Simpósio de Geoprocessamento. São Paulo, 1990, 37-52.
- SARJAKOSKI, T. *Digital stereo imagery - integration to geo-information systems*. FIG, XVIX Congress, Commission 3, 1990, 489- 498.
- QUINTANILHA, J. A. *Processamento de imagens digitais*. Simpósio de Geoprocessamento. São Paulo, 1990, 37-52.
- Guide de L'usager, version 3.40, Les Systèmes Géomatiques DVP INC., 1989, cap. I, 1-8
- TEMBA, P.C.& SILVA, I. *Estudo e descrição da restituição digital dos sistemas computacionais: DVP, DSS, DPS e DSI*. II Congresso e feira para usuários de geoprocessamento,Curitiba/PR , 1996, 619-628.
- TEMBA, P.C.& SILVA, I. *O estado da arte da fotogrametria digital*. 1^a Semana Estadual de Geoprocessamento - Rio de Janeiro,Rio de Janeiro/RJ , 1996.
- TEMBA, P.C.& SILVA, I. *O uso do sistema de restituição digital DVP para a atualização cadastral do município de Belo Horizonte*. 2^o Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, Florianópolis/SC, 1996, 188- 197.
- TEMBA, P.C.& SILVA, I. *Os avanços do sistema de restituição digital DVP para a fotogrametria digital*. International Symposium on New Digital Technologies in Geography and Cartography, São Paulo/SP, 1996, CD-ROM.
- TEMBA, P.C.& SILVA, I. *O uso do sistema de restituição digital DVP para os projetos de reurbanização de favelas*. 6^o Encontro de Geógrafos da América Latina, Buenos Aires/Argentina, 1997, 301 - 311.
- TEMBA, P.C.& SILVA, I. *O uso de ortofoto digital para os projetos de serviços públicos*. XVIII Congresso Brasileiro de Cartografia, Rio de Janeiro/RJ, 1997, CD-ROM.