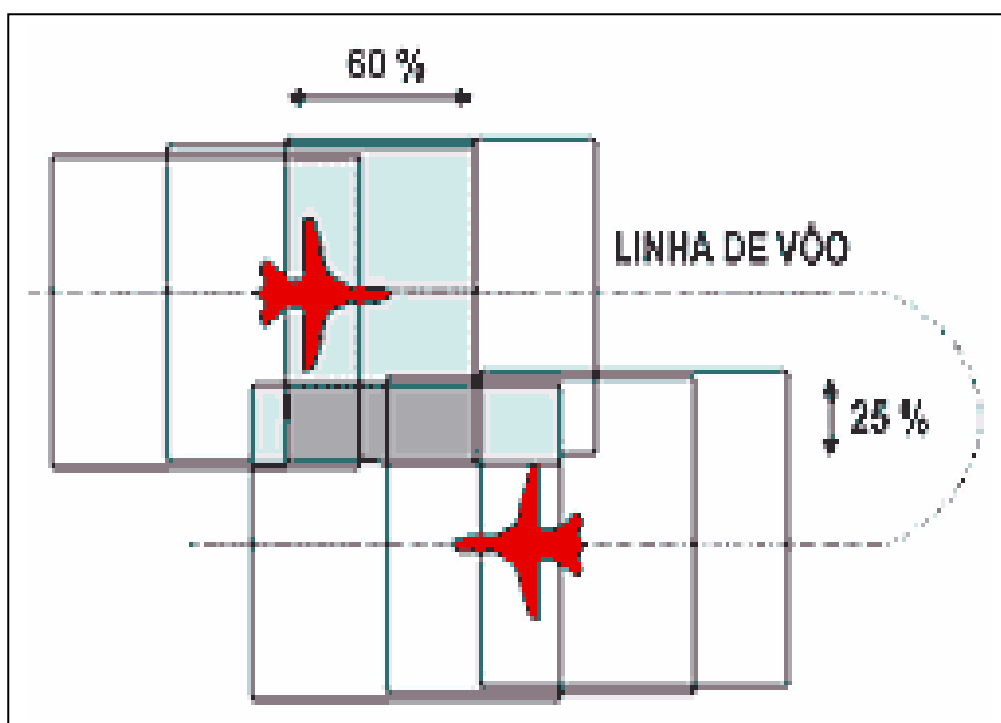


UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA – UFBA
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES
DISCIPLINA: ENGA 52 GEOPROCESSAMENTO

NOÇÕES DE AEROFOTOGRAMETRIA



PROF. LUIZ CARLOS A. DE A. FONTES

SEMESTRE LETIVO DE 2008.1

Levantamentos Aerofotogramétricos Aplicados à Topografia



LEVANTAMENTOS AEROFOTOGRAMÉTRICOS APLICADOS À TOPOGRAFIA

1 GENERALIDADES

A Fotogrametria é a ciência ou tecnologia de se obter informações seguras sobre objetos físicos e do meio ambiente, através de processos de registro, medição e interpretação das imagens fotográficas. A Aerofotogrametria refere-se às operações realizadas com fotografias da superfície terrestre, obtidas por uma câmara de precisão com o eixo ótico do sistema de lentes mais próximo da vertical e montada em uma aeronave preparada especialmente. A técnica aerofotogramétrica é utilizada nas atividades de mapeamento para a Cartografia, no planejamento e desenvolvimento urbano, nas Engenharias Civil, Agrônômica e Florestal.

2 A COBERTURA AEROFOTOGRAMÉTRICA E O PLANO DE VÔO

Com os recursos disponíveis, como plantas ou mapas da região onde será executado o levantamento, são especificados os diversos elementos necessários para o planejamento de uma cobertura aerofotogramétrica. Normalmente, a região de interesse é coberta aerofotogrametricamente utilizando-se faixas com linhas de vôos paralelas entre si, como ilustra a Figura 1:



Figura 1: plano de vôo – rotas com linhas de vôo paralelas

2 RECOBRIMENTOS AEROFOTOGRAMÉTRICOS

Se o objetivo da cobertura é o mapeamento da região, as linhas de vôo são planejadas com um espaçamento lateral tal que se obtenha uma área comum entre as faixas em torno de 25%. Estas áreas comuns, resultantes da superposição entre faixas no sentido transversal à direção do vôo, são denominadas de Recobrimento Lateral ou Transversal (em inglês, de “side lap”). Cada fotografia tomada ao longo de uma linha de vôo cobre uma área que se superpõe à área coberta pela fotografia anterior em aproximadamente 60%. Esta superposição entre áreas fotografadas consecutivamente é denominada de Recobrimento Longitudinal (do inglês “over lap”). No caso de uma cobertura aerofotogramétrica cuja finalidade é a obtenção de ortofotos, a taxa de recobrimento longitudinal é de 80%. Os recobrimentos longitudinal

e transversal têm como objetivo básico o estabelecimento de pontos fotogramétricos de apoio de posições comuns em duas fotos consecutivas para uso na interpretação. A Figura 2 mostra os conceitos expostos:

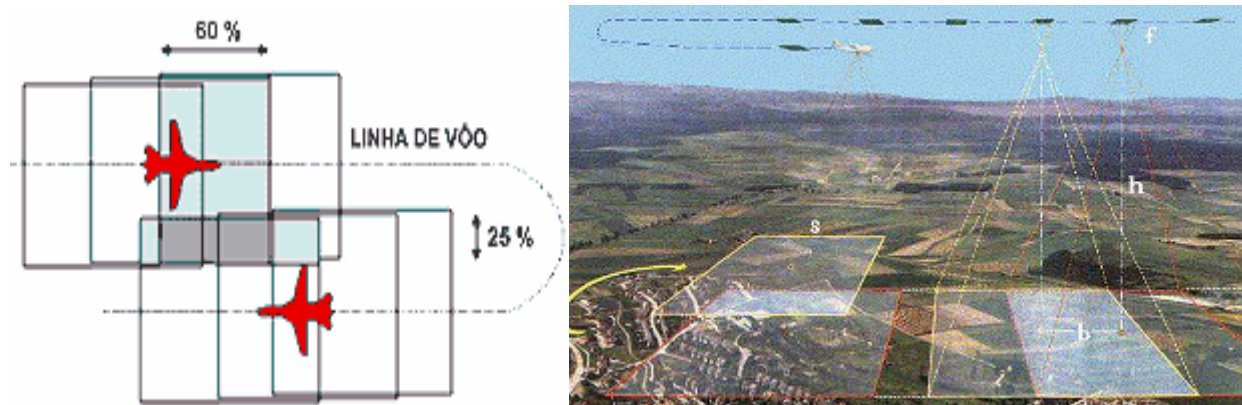


Figura 2: recobrimentos longitudinal e transversal às linhas de voo

3 CÂMARAS AÉREAS

Para obtenção de fotografias aéreas são utilizadas câmaras especiais de grande precisão. A distância focal da câmara é fator determinante para a altura de voo e, muitas vezes, o uso final das imagens. As distâncias focais variam desde 80 mm até 610 mm, sendo as mais utilizadas as de valores 153 mm e 300 mm. Estas câmaras possuem o quadro do negativo com dimensões 25 cm x 25 cm e são equipadas com sistemas que registram no negativo, no momento da tomada da fotografia, informações como: marcas fiduciais, altitude de voo, inclinação da câmara, número seqüencial, hora da tomada e, em alguns modelos, a distância focal. A Figura 3 ilustra modelos de câmaras fotogramétricas.



Figura 3: câmara aérea instalada na aeronave

4 ESCALA DAS FOTOS

As fotografias aéreas podem ser obtidas em diversas escalas. A utilização posterior da fotografia é que determina qual escala é mais apropriada. Para mapeamento mais preciso, como cadastros de áreas urbanas, são utilizados vôos mais baixos onde as fotos têm valor da escala desde 1:4.000 até 1:10.000 (grandes e

médias escalas). Para áreas rurais normalmente são efetuados vôos mais altos com escalas desde 1:15.000 até 1:40.000 (pequenas escalas). A Figura 4 apresenta exemplos de aplicação da técnica aerofotogramétrica e a definição da escala utilizada:



Figura 4: foto à esquerda: cobertura numa área urbana – escala 1:10.000
foto à direita : cobertura numa área de reflorestamento – escala 1:15.000

5 CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

A realização de vôos fotogramétricos está diretamente ligada as condições climáticas da região a ser sobrevoada. Existem critérios rígidos quando aos horários de vôo, a existência de neblinas, névoas e principalmente nuvens sobre a região, que interferem na qualidade das fotos adquiridas.

6 LICENÇA PARA AEROLEVANTAMENTO

A execução de vôos no território nacional é de competência de organizações do Governo Federal e de Empresas Privadas que estão habilitadas a executar este tipo de serviços. Esta habilitação é conferida por meio de inscrição específica no Ministério da Defesa, desde que a empresa comprove condições técnicas para a execução dos vôos. Cada cobertura aerofotogramétrica realizada depende de prévia concessão de licença pelo Ministério da Defesa, onde devem ser informados a localização e os limites da área a ser levantada.

7 AEROTRIANGULAÇÃO

A Aerotriangulação é a densificação de pontos de controle que serão utilizados na correlação entre a imagem das fotos aéreas e o Sistema de Coordenadas do mapeamento, partindo de poucos pontos de coordenadas conhecidas nos dois Sistemas (foto e terreno). Com estes pontos superabundantes é possível a orientação dos modelos fotogramétricos nas etapas futuras de restituição e ou geração de ortofotos.

8 PONTOS DE CONTROLE

Estes pontos para densificação são escolhidos nas áreas de Recobrimento Lateral e Longitudinal das fotos. Os chamados PONTOS DE LIGAÇÃO

ENTRE MODELOS (pontos de passagem) são escolhidos na linha central da foto dentro da zona de superposição longitudinal. Os PONTOS DE LIGAÇÃO ENTRE FAIXAS (pontos de enlace) são escolhidos nas zonas de superposição lateral em locais das fotografias em que a nitidez e o contraste foram considerados bons, onde os detalhes aparecem bem definidos no terreno e fora de uma faixa de 1,5 cm da borda dos diafilmes. A Figura 5 ilustra



Figura 5: foto à esquerda: exemplo de pontos de controle num bloco de aerotriangulação
: foto à direita: pontos de controle identificados no diapositivo

9 MEDIÇÃO INSTRUMENTAL

Os pontos a serem medidos na fase instrumental devem ser marcados com perfuração em ambos diafilmes do par estereoscópio. Essa marcação é processada em instrumento de alta confiabilidade. Para a formação dos modelos estereoscópicos, procede-se à leitura dos dados instrumentais através do aparelho designado como Restituídor Analítico (1^o ordem). Neste são obtidas coordenadas de máquina para todos os Pontos de Controle perfurados. A Figura 6 mostra o processo descrito:



Figura 5: perfuração do diapositivo (esquerda) e a medição instrumental

10 CAPTAÇÃO FOTOGRAMÉTRICA

Captação Fotogramétrica é a operação que visa à obtenção de todos os detalhes planimétricos de uma determinada região coberta aerofotogrametricamente, bem como a representação da sua altimetria, a partir de instrumentos e técnicas específicas. A captação fotogramétrica é feita a partir de modelos estereoscópicos (que são a representação em escala do modelo tridimensional do terreno), fazendo se valer

para isto da **Estereoscopia**. É definida pela superposição ótica de 60% de dois diapositivos, e deve transformar a projeção cônica das fotografias em projeção ortogonal, para a representação em cartas topográficas.

11 ESTEREOSCOPIA

A Estereoscopia é um fenômeno natural que ocorre quando uma pessoa olha simultaneamente duas imagens que foram obtidas de um mesmo local ou objeto, mas de pontos de vista diferentes, fazendo com que cada imagem seja vista com um olho. O resultado é a percepção da profundidade, ou terceira dimensão. Os aparelhos utilizados para ter a visão estereoscópica artificial são denominados de estereoscópios. Na Figura 7 apresenta-se o tipo denominado de estereoscópio de bolso.

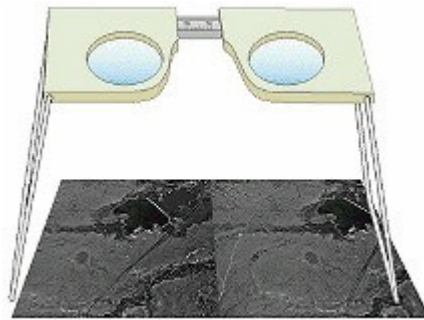


Figura 7: Estereoscópio do tipo bolso

12 MODOS DE CAPTAÇÃO FOTOGRAMÉTRICA

12.1 CAPTAÇÃO CONVENCIONAL

A Captação Convencional utiliza como suporte aparelhos restituidores semi-analíticos e analíticos e como base para definição do modelo, diapositivos (base estável). Estas imagens são projetadas em um sistema ótico de modo a formar um modelo tridimensional na ocular, como mostra a Figura 8:



Figura 8: Restituidor analítico

12.2 CAPTAÇÃO DIGITAL

Por sua vez a restituição digital é feita em Estações de Trabalho (Workstations) e utiliza fotos digitais, ou seja “escanerizações” dos diapositivos (diafilmes). Uma tela especial é utilizada para polarizar as imagens e com um sistema ótico apropriado, cada olho recebe uma das imagens (pontos de vista diferentes), permitindo que o cérebro construa mentalmente uma imagem única tridimensional. A Figura 9 ilustra um modelo de estação de trabalho digital.



Figura 9: Estação de Trabalho do tipo digital

13 ORIENTAÇÃO DO MODELO ESTEREOSCÓPICO

O modelo estereoscópico deve ser orientado de forma a reproduzir todas as características do terreno, sem apresentar deformações ou deslocamentos. A orientação deve ainda atribuir ao modelo estereoscópico, o sistema de coordenadas utilizadas no mapeamento, isto é, trata-se da colocação do modelo em escala e coordenadas apropriadas. As coordenadas destes pontos são oriundas da Aerotriangulação. A escala da captação fotogramétrica é limitada pela escala da Cobertura Aerofotogramétrica. Mesmo com a liberdade de ampliação que o sistema digital proporciona, costuma-se adotar um fator multiplicador que varia de 3 a 5 como apropriado. As escalas admissíveis para restituição podem variar com o nível de detalhamento da restituição ou com a região a ser mapeada. Assim, para vôos com escalas de 1:30.000 até 1:40.000, recomenda-se que a restituição seja elaborada em escala 1:10.000; para vôos com escalas variando entre 1:20.000 a 1:15.000, a restituição deverá ser executada na escala 1:5.000,; por sua vez, vôos realizados com escalas entre 1:8.000 a 1:6.000, a restituição deverá ser feita na escala 1:2.000. Para vôos com escala maiores, a restituição fotogramétrica deverá ser na escala 1:1.000. A **Figura 10** ilustra o processo de ampliação.



Figura 10: Ampliação da captação com 5 vezes o valor da escala de vôo

14 ELEMENTOS SIMBÓLICOS PARA A CAPTAÇÃO

Os elementos básicos a serem representados simbolicamente após o processo da captação fotogramétrica são os seguintes:

- Símbolos pontuais;
- Pontos cotados - Texto de cota associado a um símbolo de posição;

- Os elementos planimétricos são obtidos por meio do delineamento e registro de pontos da forma das feições usando a marca estereoscópica do aparelho. Por meio de um sistema apropriado, todos os pontos registrados são transmitidos a um equipamento que compõe o original cartográfico. A marca estereoscópica deve sempre ser mantida em contato com a superfície da feição a fim de manter a sua correta coordenada. Para cada ponto, registram-se os valores dos eixos X, Y e Z representativos da localização espacial. A captação da altimetria é realizada com a marca estereoscópica sempre numa determinada altitude, onde o operador deve procurar no terreno visualizado, os pontos que possuem esta mesma altitude, materializando assim as linhas de mesma altitude ou isolinhas.



15 Ortofotocarta

15.1 DEFINIÇÃO

A Ortofotocarta Digital é um produto cartográfico digital que alia a riqueza de detalhes de uma imagem fotográfica com a qualidade geométrica de uma carta de traço. Pode-se utilizá-la tal qual um mapa, onde vetores, símbolos e textos são sobrepostos à imagem para representar os diversos elementos do terreno como em uma carta topográfica convencional. A Figura 12 ilustra, sinteticamente, as etapas do processo de obtenção de ortofotos digitais.

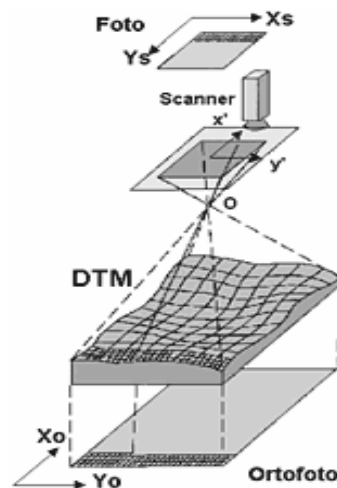


Figura 12: Esquema de obtenção de ortofotos

15.2 TRANSFORMAÇÃO ANALÓGICA PARA DIGITAL

Os diafilmes que irão gerar a ortofoto são “escanerizados”. A “escanerização” é o meio pelo qual a imagem analógica, o diapositivo, é transformada em imagem digital (um arquivo binário associado a um arquivo ASCII de orientação interior que reproduz em meio digital a imagem escanerizada). A imagem analógica é captada pela câmara digital do escaner e representada por uma matriz regular de pixels (Picture Elements), em que para cada pixel é associado um DN (digital number) representando um tom de cinza ou tom de RGB da cena original. Os formatos desses arquivos binários podem ser especificados como VIT, TIFF, JPEG, entre outros formatos de imagem muito utilizados.

16 DISTORÇÕES DA IMAGEM

A imagem fotográfica do terreno se apresenta distorcida devido a diversos fatores inerentes ao processo fotográfico, dentre os quais tem-se:

- Variação da topografia do terreno;
- Sistema de projeção central do processo fotográfico (Projeção cônica);
- Distorção provocada pelo sistema de lentes da câmara fotográfica;
- Variações na altitude de vôo da aeronave;
- Curvatura da terra.

Devido a não homogeneidade da escala que estas distorções provocam, não deve ser efetuadas medidas de coordenadas, distâncias e áreas diretamente sobre uma fotografia. A Figura 13 mostra a foto vertical de uma mesma área distorcida e após o processo de ortoretificação.

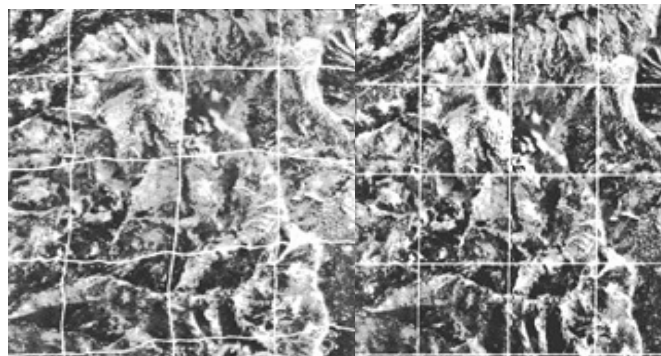


Figura 13: Correção da distorção sofrida pela imagem

17 RETIFICAÇÃO DA IMAGEM

A ortofoto é obtida por meio da correção dos fatores de distorção da imagem, ou seja, a projeção central é transformada em projeção ortogonal, a curvatura da terra e a topografia do terreno são corrigidas de modo a tornar a escala homogênea. Em outras palavras, a imagem é "achatada, esticada e comprimida" até que as feições do terreno apareçam na sua correta posição e em escala homogênea. A imagem digital é transformada numa ortofoto através da Retificação Diferencial. O princípio da Retificação Diferencial consiste em transferir tons de cinza da fotografia aérea para uma malha fina e regular que representa a projeção ortogonal do terreno (MDT - Modelo Digital do Terreno). Suas posições na imagem digital são encontradas de acordo com as equações de projeção fotogramétrica sendo os parâmetros das

orientações interiores e exterior (Aerotriangulação) são fundamentais nesta etapa. O valor de cinza relevante é encontrado através de uma conveniente interpolação com os pixels adjacentes (chamado reamostragem) e relacionado ao pixel da ortofoto.

18 PRODUTO FINAL

A resolução final da ortofoto obtida é determinada em função do equipamento em que será posteriormente manipulada e do plotter a ser utilizado para geração do produto final convencional. Para uso convencional, onde as imagens são manipuladas em microcomputadores e plotadas a jato de tinta, as ortofotos são geradas com uma resolução de 254 dpi. Para plotagens a laser (até 2.000 dpi), as ortofotos podem ser obtidas com resolução de 600 dpi. A Figura 14 mostra tipos de ortofotos e os equipamentos que são utilizados durante seu processo de obtenção



Ortofoto colorida



Ortofoto infra-vermelha



Ortofoto Digital Colorida



Plotter Laser de grande formato



Estação Digital para Geração de Ortofotos

Figura 14: Processo ilustrativo de obtenção de ortofotos

19 PROCESSAMENTO FOTOGRÁFICO

19.1 EMULSÕES

As Fotografias Aéreas são bastante utilizadas para a Cartografia e podem ter vários tipos de emulsão:

- Pancromática em preto e branco: esta é a emulsão mais amplamente usada para mapeamento e fotointerpretação;
- Colorida: indicada para interpretação pela capacidade de diferenciação de cores e tonalidades;
- Infravermelha em preto e branco: devido à sensibilidade a maiores comprimentos de onda, imageia mais completamente através de névoa e neblina que a emulsão pancromática. Utilizada para casos especiais de fotointerpretação como vazamentos de óleo;
- Infravermelha colorida: também conhecida como falsa cor. Utilizada para fotointerpretação, particularmente na detecção de doenças em áreas de cultura e florestas, análises de solos e poluição de águas.

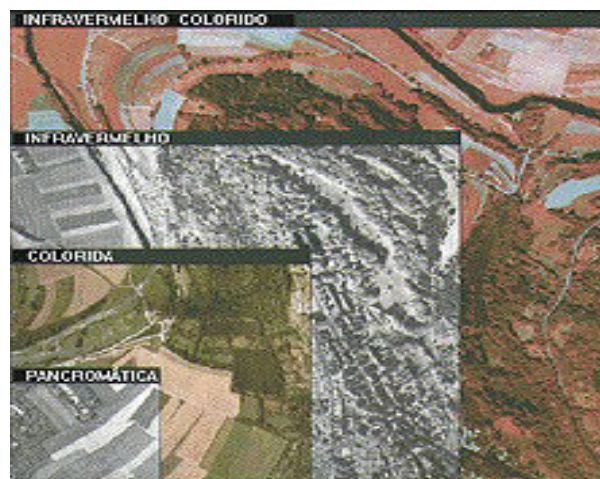


Figura 15: Exemplos de emulsões

19.2 REVELAÇÃO E COPIAGEM

Após a conclusão da cobertura aérea, os próximos passos são a sua revelação e copiagem. Com a revelação, o filme é transformado em um negativo e pode-se a partir dele obter cópias positivas. Cópias positivas podem ser feitas em papel fotográfico de base opaca (fotografia convencional) ou em material transparente (diafilme ou diapositivo).

A transferência da imagem contida no negativo para o positivo é feita através de um processo de exposição do papel a uma certa quantidade de luz que atravessa o negativo. As copiadoras de contato produzem cópias com as mesmas dimensões e escala do negativo e tem larga aplicação na Fotogrametria. Já os Projetores ou Ampliadores permitem a produção de cópias com variação de escala. Um exemplo prático é a ampliação. A Figura 16 mostra estes procedimentos.



Figura 16: Foto à esquerda – foto e diapositivo correspondente
Foto à direita – processamento de ampliação

20 VERIFICAÇÃO

Após a revelação do filme, são feitas cópias para a checagem da qualidade do voo. É verificada a presença de Deriva, que é o ângulo entre o eixo da faixa de voo e o eixo da foto; Deslocamentos entre Linhas de Voo realizada e planejada; Falhas no Recobrimento Lateral e Longitudinal; Nitidez da imagem, Contraste e Numeração das fotos.



Figura 17: Verificação da presença de deriva no voo

21 PRODUTOS

De acordo com a Especificação Técnica de cada serviço são elaborados os Produtos Finais que dependem do Processamento Fotográfico, como por exemplo: coleção de aerofotos definitivas, ampliações, fotoíndices e mosaicos. Fotoíndice é redução fotográfica do conjunto de fotos de escala aproximada, que recobrem determinada área, justapostas umas às outras pela zona de superposição. Tem por finalidades: conhecer a área fotografada e as especificações do voo, ter uma primeira aproximação da área da região, servir de base para solicitação de cópias fotográficas e planejamento de apoio terrestre. Mosaica é imagem contínua do terreno, construída a partir da justaposição de fotografias individuais, com superposição adequada montadas técnica e artisticamente. Portanto é um conjunto de vistas perspectivas do terreno. A imagem é montada de forma a dar a impressão de que todo o conjunto é uma única

fotografia. O Mosaico digital é obtido a partir da justaposição de imagens fotográficas digitais obtidas a partir da escanerização de fotos ou diafilmes e combinadas por detalhes. Oferece a vantagem de visualização do arquivo em tela além de permitir a impressão da imagem, em diversas escalas, através de plotter apropriado.



Figura 18: Fotoíndice

22 CONCLUSÃO

Com as fotografias aéreas de uma determinada região é possível à execução de uma série de atividades como fotonterpretação e fotoanálise que suprem as mais diversas áreas de atuação desde o cidadão comum até o profissional. Algumas das atividades possíveis com o uso de fotos aéreas são :

- Fotointerpretação para estudantes e pesquisadores;
- Análises temporais baseadas na imagem fotográfica para planejadores e pesquisadores;
- Definição de limites de propriedade para questões judiciais;
- Estudos hidrológicos (bacias hidrográficas, assoreamento de rios e lagos, inundações);
- Análise de vias (rodovias e ferrovias) e interferências;
- Análise de áreas destinadas à empreendimentos diversos (indústrias, represas, parques);
- Base cadastral para Concessionárias de Energia, Telefônica e Água e Esgotos;
- Base cadastral para empresas de TV a cabo;
- Estudo de coberturas vegetais para preservação, culturas, reflorestamentos;
- Estudos de impacto ao meio ambiente, degradação ambiental e controle de poluição;
- Estudos do meio urbano (invasões, corredores urbanos, etc.);
- Viabilidade de projetos urbanos (parques, vias e outras obras);
- Visualização vertical de propriedades e empresas.