

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1 FOTOGRAMETRIA

O termo fotogrametria deriva das palavras gregas *photos*, que significa luz, *gramma*, que significa algo desenhado ou escrito e *metron*, que significa "medir". Portanto, Fotogrametria, de acordo com suas origens, significaria "medir graficamente usando luz".

A definição de Fotogrametria até a década de 60 era: "*ciência e arte de obter medidas confiáveis por meio de fotografias*" (American Society of Photogrammetry). Com o advento de novos tipos de sensores uma definição mais abrangente de Fotogrametria foi proposta também pela ASP em 1979, como sendo: "*Fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informação confiável sobre objetos físicos e o meio ambiente através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética radiante e outras fontes*".

Embora originalmente a Fotogrametria se ocupasse de analisar fotografias, esta definição atual também engloba dados provenientes de sensores remotos. Esta definição também inclui duas áreas distintas: *fotogrametria (métrica)*, num sentido mais restrito, referindo-se aos métodos de obtenção de dados quantitativos, como coordenadas, áreas, etc., a partir dos quais são elaborados os mapas e cartas topográficas; *fotointerpretação*, que consiste em obter dados qualitativos a partir da análise das fotografias e de imagens de satélite. Devido ao grande volume de trabalhos nesta área, convencionou-se classificá-la dentro da área de Sensoriamento Remoto.

Estas definições não devem ser restritivas, uma vez que durante o processo de fotointerpretação também são realizadas medidas; por outro lado, na prática de fotogrametria (por exemplo, durante a restituição) faz-se fotointerpretação em conjunto com as medições de precisão.

Além destes termos, o advento da tecnologia de imageamento de vídeo, de dispositivos de digitalização e de câmaras digitais, têm permitido a coleta de dados para fotogrametria de modo semelhante à coleta de imagens de satélite, mas com finalidades bem diferentes, por exemplo, aplicações industriais. Este novo ramo da fotogrametria têm recebido várias denominações: *videogrametria*, *videometria*, *fotogrametria eletrônica*, *fotogrametria digital*, *fotogrametria em tempo real*, entre outros. Entretanto, estes termos podem perfeitamente ser abrangidos pela definição geral de fotogrametria; apenas considerando que os dados são coletados eletronicamente e convertidos em uma representação digital, a imagem.

Outra classificação que pode ser adotada refere-se à participação instrumental para medição e redução dos dados: os métodos mais antigos de processamento dos dados fotogramétricos requeriam instrumentos analógicos, devido à inexistência de computadores com capacidade para realizar os cálculos necessários às várias etapas do projeto fotogramétrico; era a **fotogrametria analógica**. O advento de computadores cada vez mais baratos e potentes, permitiu uma redução da participação instrumental no processo fotogramétrico, levando a um aumento na precisão e a uma sofisticação nos modelos matemáticos -trata-se da **fotogrametria analítica**. Atualmente, com a maturidade da tecnologia de captura direta de imagens digitais e a potência dos computadores para aplicações gráficas, a **fotogrametria digital** suplantou as técnicas analógicas, reduzindo-se a participação instrumental apenas à fase de digitalização das fotografias em "scanner". O advento das modernas câmaras digitais já permite a eliminação desta fase instrumental, de digitalização dos negativos fotográficos.

A Fotogrametria aérea (ou **Aerofotogrametria**) é uma subdivisão da Fotogrametria, na qual as fotografias do terreno são tomadas por uma câmara de precisão montada em uma aeronave. O termo **Fotogrametria Terrestre** é utilizado quando as fotografias são tomadas de uma posição fixa no terreno (normalmente conhecida). A **Fotogrametria Espacial** compreende todos os casos de fotografias ou imagens extraterrestres e as medições subsequentes, nas quais a câmara estiver fixada na terra, na lua, em um planeta ou num satélite artificial. A **Fotogrametria a Curta-distância** é utilizada na Arquitetura, Medicina, Indústria, Engenharia, e pressupõe a proximidade entre a câmara e o objeto a ser fotografado.

Na **Estereofotogrametria** são observados e medidos, ou interpretados, pares de fotografias em instrumentos de observação estereoscópica, que proporcionam uma vista tridimensional e criam a ilusão

de que o observador está vendo um modelo 3D do terreno.

1.2 HISTÓRICO

Os desenvolvimentos que conduziram ao presente estado da arte da Fotogrametria são muito anteriores ao invento da fotografia. *Aristóteles*, em 350 A.C. já mencionava como projetar imagens por meio ótico. *Leonardo da Vinci*, em 1492 demonstrou graficamente os princípios da aerodinâmica e da projeção ótica. Também projetou mecanismos para o polimento de lentes.

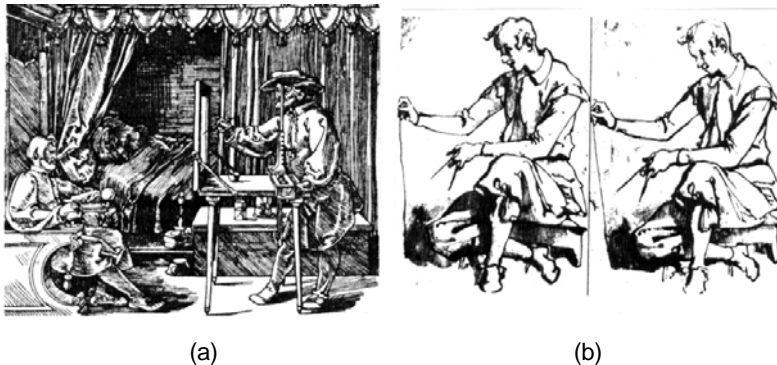


Figura 1.1 (a) Dispositivo mecânico para desenhar perspectivas;
(b) Estereograma (J.Chimenti, 1600)

Um contemporâneo de Leonardo da Vinci, o alemão *Albrecht Dürer*, produziu um esboço das leis da perspectiva e, em 1525, construiu um aparato mecânico para desenhar perspectivas verdadeiras (fig. 1.1(a)); também construiu um mecanismo para produzir desenhos estereoscópicos.

O astrônomo alemão *Johannes Kepler*, por volta de 1600, formulou uma definição precisa para estereoscopia, e o pintor florentino *Jacopo Chimenti* produziu o primeiro par estereoscópico desenhado a mão (fig. 1.1(b)).

O conceito de estereoscopia foi usado pela primeira vez em um levantamento prático, para construção de cartas topográficas, pelo suíço *F. Kapeller*, em 1726. Ainda no século XVII o Dr. *Brook Taylor* publicou

trabalhos sobre perspectiva linear. Em 1759 *J. H. Lambert* escreveu um tratado clássico sobre a perspectiva, sugerindo a sua utilização na construção de mapas; nestes trabalhos *Lambert* já tratava os problemas da perspectiva central inversa e da ressecção espacial, que são os fundamentos da fotogrametria praticada até os dias atuais.

Evidentemente, a prática fotogramétrica só pôde se desenvolver após a invenção da fotografia. *Louis Daguerre*, em 1839, anunciou o invento do processo fotográfico baseado em placas de metal com uma camada de iodeto de prata, sensibilizado pela luz. Um ano depois, o geodesta francês *Arago* demonstrou a viabilidade do uso de fotografias nos levantamentos topográficos.

Recentemente, foram reconhecidos também os experimentos do químico brasileiro de origem francesa, *Hercule Florence*, que, na mesma época, em Campinas, S.P., inventou um processo heliográfico semelhante ao de *Daguerre*.

Os primeiros experimentos para verificar o uso da fotogrametria em mapeamento topográfico foram conduzidos pelo coronel francês *Aimé Laussedat*, em 1849, que obteve fotografias a bordo de balões. Percebendo as dificuldades então existentes para a obtenção de fotos aéreas, *Laussedat* concentrou seus esforços no mapeamento usando fotogrametria terrestre. Em reconhecimento ao seu pioneirismo, *Laussedat* recebeu o título de "*Pai da Fotogrametria*".

Apesar dos problemas as fotos obtidas a partir de balões continuaram a ser usadas, especialmente com fins militares.

Em 1909 o alemão *Carl Pulfrich* iniciou experimentos com estereo pares, estabelecendo os fundamentos de muitos dos procedimentos instrumentais até hoje utilizados.

A invenção do avião permitiu um grande avanço na fotogrametria, que era, até então, praticamente limitada à fotogrametria terrestre. Em 1913, o avião foi utilizado pela primeira vez para a tomada de fotografias aéreas com o objetivo de mapeamento. Durante a Primeira Guerra as aerofotos foram intensamente utilizadas, especialmente em atividades de reconhecimento. No período entre as duas Guerras Mundiais, a Aerofotogrametria tornou-se uma tecnologia largamente utilizada para a produção de mapas. Neste período desenvolveram-se equipamentos de restituição utilizados até recentemente; é o caso do Multiplex e do Estereoplanígrafo. Deste período datam alguns métodos usados até hoje, como as técnicas de orientação empírica e a aerotriangulação analógica. O processo de produção passou a ser desenvolvido por grandes companhias privadas na Europa e América.

Durante a Segunda Guerra as técnicas fotogramétricas foram utilizadas como nunca para atender às necessidades de mapas. A fotointerpretação foi utilizada em grande escala para fins de reconhecimento e inteligência.

O advento do computador permitiu progressos ainda maiores na ciência fotogramétrica. Inicialmente (década de 50) foi utilizado para cálculos de blocos de aerotriangulação. Em 1958, *Helava* apresentou o primeiro protótipo do restituidor analítico, que viria a revolucionar a Fotogrametria. Apesar do pioneirismo, o equipamento desenvolvido por Helava não foi aceito pela comunidade fotogramétrica, devido ao estágio ainda embrionário da informática e das sucessivas panes dos equipamentos.

Somente em 1976, no Congresso de Hamburgo, as grandes companhias produtoras de equipamentos fotogramétricos apresentaram seus modelos de restituidores analíticos. Era o fim da era dos equipamentos analógicos, que, entretanto, continuam a ser utilizados até hoje (e continuarão em operação por algum tempo).

Estes equipamentos análogos passaram a receber dispositivos de digitalização de coordenadas, sendo conectados a computadores; iniciou-se a chamada "**Fotogrametria Assistida por Computador**".

Atualmente estamos assistindo à substituição da Fotogrametria analógica e analítica pela Fotogrametria Digital. Estações de trabalho fazem o trabalho dos restituidores, com a vantagem de realizar várias tarefas de modo automático, como a coleta de Modelos Digitais do Terreno (DTMs) e a produção de ortoimagens. Entretanto, uma automação completa no processo de restituição, com extração e identificação automática de feições ainda deve aguardar avanços significativos da ciência fotogramétrica e da área de inteligência artificial.

1.3 FOTOGAMETRIA E MAPEAMENTO

A grande maioria das operações fotogramétricas destina-se ao mapeamento, seja ele sistemático ou para algum projeto específico, como as obras de engenharia. De modo geral, as etapas a serem desenvolvidas estão resumidas na figura 1.2.

Cada uma destas etapas será abordada em tópicos específicos no decorrer do curso. Embora a seqüência apresentada seja a mais comum, alguns processos alternativos podem ser desenvolvidos, particularmente quando um Modelo Digital do Terreno e/ou um Aerolevantamento anterior forem disponíveis.

Quando as fotografias aéreas são usadas para mapeamento, as linhas de voo são locadas no mapa de tal maneira que faixas vizinhas

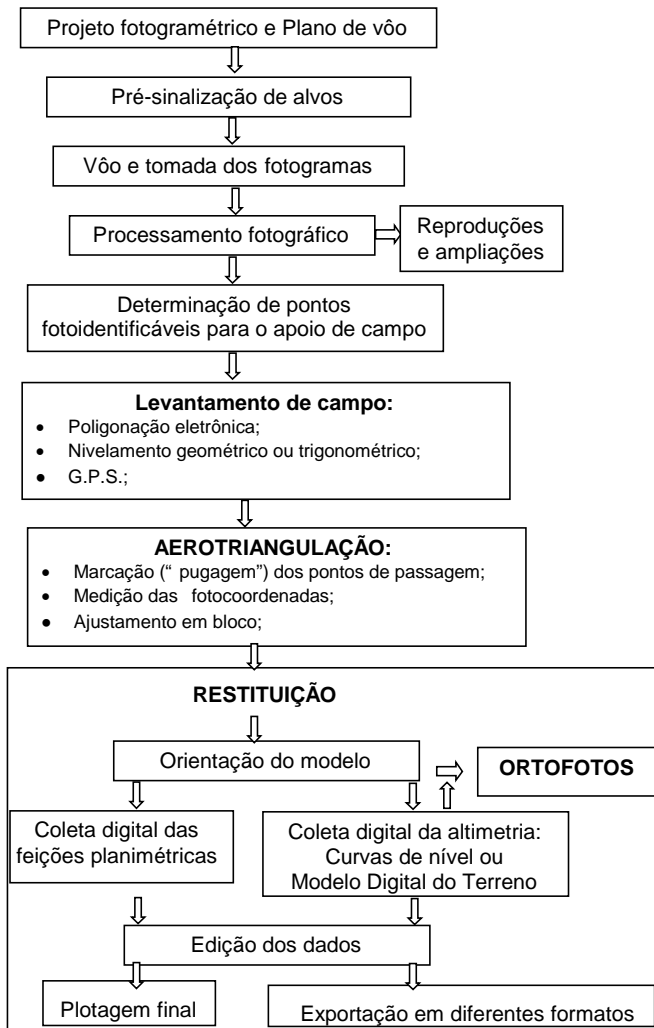


Figura 1.2 Mapeamento pelo processo fotogramétrico.

tenham uma região comum de superposição: é a *superposição lateral*, que, geralmente, é de 25% a 30% da cobertura da foto.

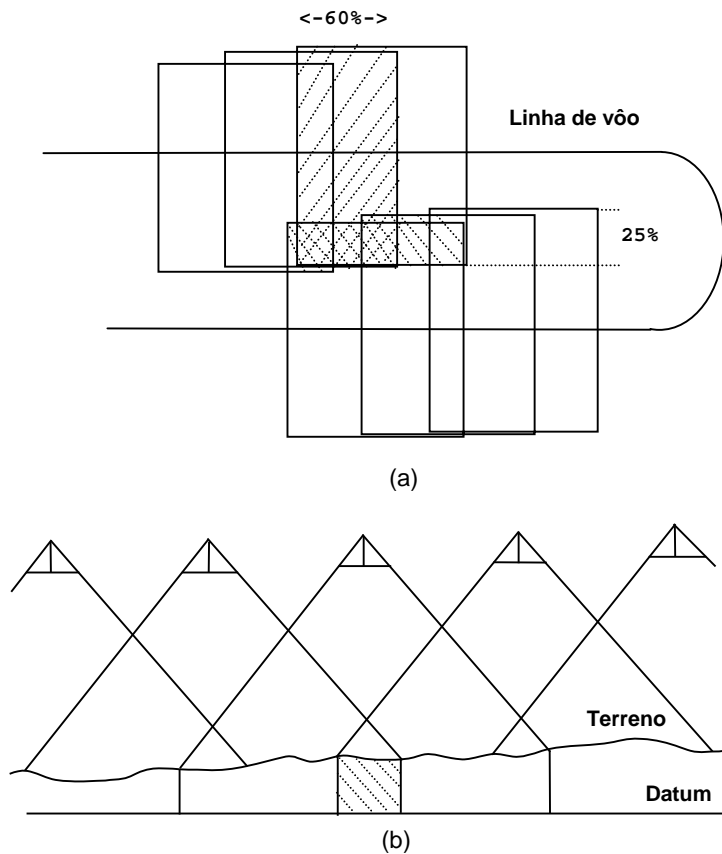


Figura 1.3 Superposição entre fotografias:

- (a) vista superior de duas faixas mostrando a superposição longitudinal e a superposição lateral;
- (b) Perfil esquemático mostrando a cobertura longitudinal de cada fotografia.

Cada fotografia na linha de vôo cobre uma área que se superpõe com as fotos anteriores em, aproximadamente, 60%. Esta superposição é chamada *superposição longitudinal* (fig. 1.3) e possui três finalidades básicas: a primeira é permitir a cobertura do terreno de dois pontos de vista distintos, o que permite a produção de *estereo pares* para a observação e medição estereoscópica; a segunda finalidade é a construção de mosaicos, aproveitando-se somente a porção central de cada fotografia, onde o

deslocamento devido ao relevo e as distorções são menores; a terceira finalidade é a geração de pontos de apoio por métodos fotogramétricos, a *fototriangulação* (ou aerotriangulação).

1.4 ESCALA DE UMA FOTOGRAFIA VERTICAL

Escala é a razão entre uma distância medida em um mapa ou desenho e a distância correspondente no terreno. Por exemplo, se 1 cm no mapa representar 100 m no terreno, a escala será expressa como 1:10.000.

Um mapa é uma projeção ortográfica da superfície do terreno. Consequentemente, todos os pontos no mapa estão em suas verdadeiras posições horizontais. Isto significa que a escala de um mapa é uniforme em qualquer posição. Na figura 1.4 pode-se perceber que uma fotografia vertical apresenta algumas características semelhantes a um mapa. Se esta foto não for inclinada e se o terreno for plano a foto é, dimensionalmente, semelhante ao mapa.



Figura 1.4 Fotografia aérea e o efeito de perspectiva.

Entretanto, como a fotografia é uma projeção perspectiva, as áreas do terreno que estiverem mais próximas da câmara, no momento da exposição, aparecerão maiores do que as correspondentes que estiverem mais distantes da câmara. Na figura 1.4 pode-se notar isto pelos topos dos edifícios, que apresentam dimensões aparentes maiores no topo que na base. A inclinação aparente dos objetos em relação ao centro da foto é

chamada *deslocamento devido ao relevo* e é outra consequência da projeção perspectiva.

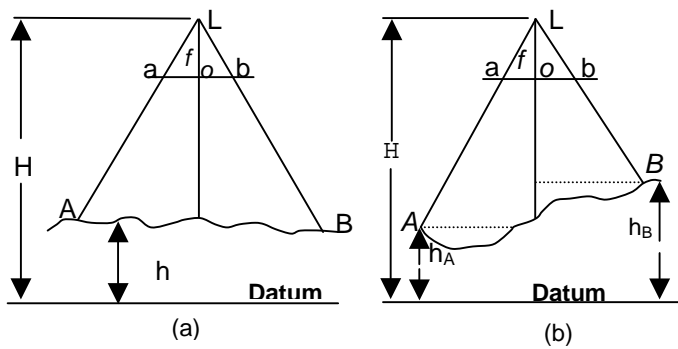


Figura 1.5 Escala da fotografia.

A figura 1.5.(a) mostra um corte em uma fotografia aérea vertical com o centro perspectivo da câmara (lentes) em L, que é chamada a *estação da câmara*. A altitude da câmara sobre o datum vertical é chamada de *altitude de vôo* (H). O terreno é considerado plano com uma altitude h em relação ao datum. O ponto o é o ponto principal da fotografia; a distância Lo , da foto até as lentes, é chamada de *distância focal*.

A **escala da fotografia** é a relação entre as distâncias ab/AB . Dos triângulos semelhantes, temos que:

$$ab/AB = f/(H-h) \quad (1)$$

Portanto:

$$E_n = f / (H-h) \quad (2)$$

onde: E_n é a escala para a altitude h , f é a distância focal e H é altitude de vôo.

Como exemplo, suponha que na figura 1.5.(a) a estação da câmara está a uma altitude de 1580m em relação ao datum. A altitude do terreno é de 298m e a distância focal da câmara é 210mm. Calcule a escala da foto.

$$S_{298} = 0.210 / (1580-298) = 1:6104$$

Considere agora, que na figura 1.5.(b) a altitude da estação é de 1450m em relação ao datum; a altitude do ponto A é de 90m e do ponto B é de 190m; a altitude média (hmédia) é de 120m; a distância focal da câmara é de 152mm. Para calcular a escala nos pontos A e B e a escala média basta fazer:

$$S_{90} = (152/1000)m / (1450-90)m = 1:8950$$

$$S_{190} = (152/1000)m / (1450-190)m = 1:8290$$

$$S_{m\u00e9dia} = (152/1000)m / (1450-120)m = 1:8750$$

Portanto, a escala fotogr\u00e1fica \u00e9 uma fun\u00e7\u00e3o da dist\u00e2ncia focal da câmara e da altura de v\u00f4o, alterada pela altitude do terreno. A altura de v\u00f4o \u00e9 um valor aproximado, que pode ser definido como a dist\u00e2ncia da esta\u00e7\u00e3o da câmara at\u00e9 o plano m\u00e9dio local do terreno.

A escala pode ser aumentada mantendo-se a altura de v\u00f4o fixa e usando uma câmara com uma dist\u00e2ncia focal maior, ou usando a mesma câmara e diminuindo a altura de v\u00f4o.

Se a fotografia n\u00e3o for perfeitamente vertical, a escala tamb\u00e9m ser\u00e1 afetada pela inclina\u00e7\u00e3o. Mesmo se o terreno for plano, a escala variar\u00e1 dependendo da posi\u00e7\u00e3o na foto.

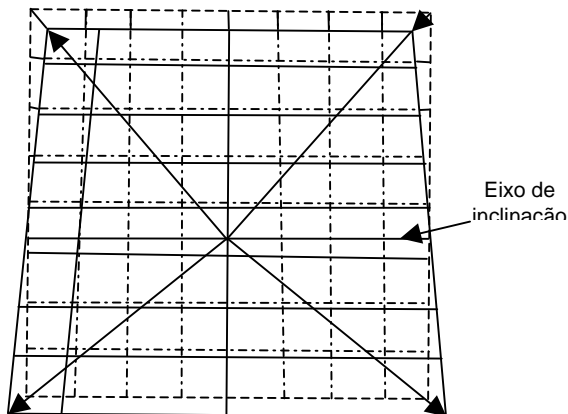


Figura 1.6 Varia\u00e7\u00e3o de escala em uma fotografia inclinada

Na figura 1.6 as linhas tracejadas representam a imagem de um

reticulado em um terreno plano para uma foto perfeitamente vertical. As linhas cheias representam o mesmo reticulado mas em uma foto inclinada em direção à parte superior da figura. A escala da foto só é a mesma, em ambas as fotos, no eixo de inclinação. A escala da foto inclinada é maior na parte inferior e menor na parte superior da figura.

1.5 APLICAÇÕES E PRODUTOS FOTOGAMÉTRICOS

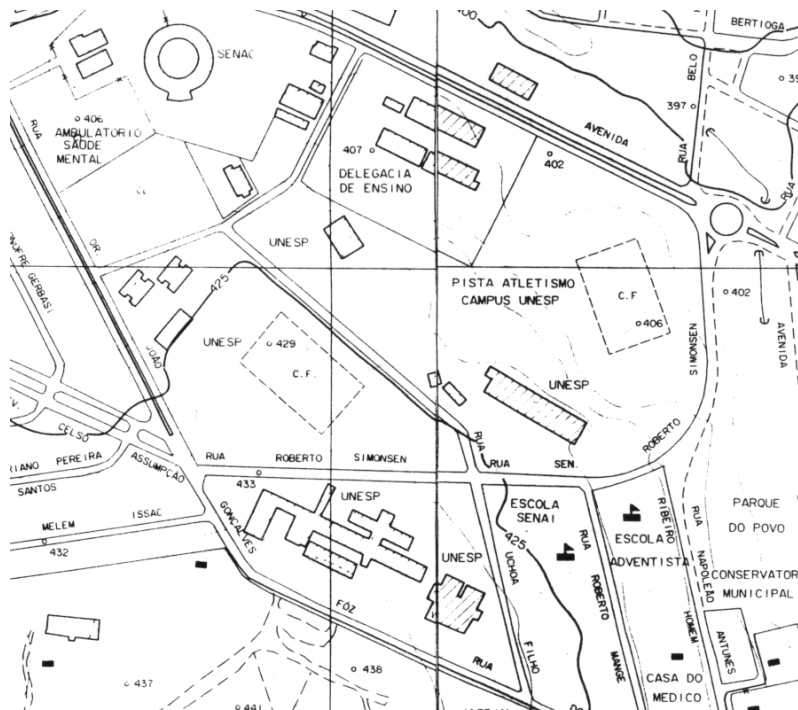


Figura 1.7 Exemplo de restituição de fotografias aéreas na escala 1:5.000.

Existem inúmeras aplicações para a Fotogrametria. Quase todos os problemas que demandam medições podem ser realizados por processos fotogramétricos.

A Fotogrametria apresenta uma série de vantagens sobre os processos diretos de medição, tanto para mapeamento quanto para outras aplicações:

- O objeto a ser medido não é tocado;
- A aquisição dos dados é rápida;
- Os fotogramas armazenam grandes quantidades de informações semânticas e geométricas;
- As fotografias são documentos legais relativos à época de sua tomada;
- Podem ser medidos movimentos e deformações;
- Os fotogramas podem ser medidos a qualquer momento que se desejar, podendo-se repetir a medida várias vezes;
- A precisão pode ser aumentada de acordo com as necessidades particulares de cada projeto;
- Superfícies complicadas podem ser facilmente determinadas com a densidade desejada;

A aplicação mais conhecida para a Fotogrametria é o mapeamento, tarefa impossível de ser realizada sobre toda a superfície terrestre por métodos diretos. Na figura 1.7 mostra-se uma pequena amostra do resultado de uma restituição fotogramétrica. Na figura 1.8 é apresentado um exemplo de aplicação não cartográfica da Fotogrametria.

Entre as aplicações da Fotogrametria pode-se mencionar:

- produção de cartas topográficas;
- projeto, locação e manutenção de estradas;
- inventários florestais e minerais;
- arqueologia;
- geologia;
- planejamento urbano e cadastro urbano;
- mapeamento de planetas;
- cadastro rural;
- medicina;
- indústria;



Figura 1.8 Exemplo de aplicação não convencional da Fotogrametria: restituição da escultura Rei David, de Michelangelo.

Os principais produtos fotogramétricos são:

- a. fotografias aéreas;
- b. mosaicos;
- c. ortofotografias;
- d. ortofotomosaicos e ortofotocartas;
- e. mosaicos de imagens de radar;
- f. cartas planimétricas;
- g. cartas topográficas;
- h. mapas temáticos;
- i. modelo digital do terreno (DTM);
- j. coordenadas de terreno e lista de altitudes;
- k. lista de coordenadas espaciais (fotog. à curta distância).