

---

## AEROFOTOGRAMETRIA EM PROJETOS DE ESTRADAS

DANIEL CARNEIRO DA SILVA

GLAUBER CARVALHO COSTA

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE  
Departamento de Engenharia Cartográfica DECart, Recife/PE  
danielcs@ufpe.br  
Maia Melo Engenharia Ltda.  
Rua General Joaquim Inácio, nº136 – Ilha do Leite, CEP 50070-270 – Recife/PE  
glaubercad@bol.com.br

---

**RESUMO** - A aerofotogrametria tem sido usada pelos engenheiros rodoviários há anos por todo o mundo, onde tem uso extensivo, e mesmo no Brasil, embora com menor intensidade. Inicialmente a fotogrametria era usada apenas com finalidade de estudos de alternativas aos itinerários, mas depois passou a ser utilizada em todas as fases de projetos de estradas. A fotointerpretação nas fases preliminares de projeto fornece informações para todos os projetos complementares além de permitir os estudos de variantes, e sua grande utilidade é inquestionável. Porém quando se deseja comparar a precisão, principalmente da altimetria da fotogrametria com a topografia, aparecem algumas restrições. Nestes casos, para atender a maior precisão exigida na fase de projeto final, ou executivo, são necessários adotar alguns procedimentos obrigatórios, como escala grande de fotografia, como 1:3.000, pré-sinalização dos pontos de apoio à fototriangulação e restituição em equipamentos de alta qualidade. Outra questão reconhecida é a falta de maior divulgação dos métodos fotogramétricos para projetos de estradas entre novos engenheiros: civis, cartógrafos ou agrimensores. Devido a isto o presente trabalho apresenta uma breve revisão do uso de fotogrametria em projetos de estradas, discute as utilidades da fotointerpretação, as medições de paralaxes para cálculo de declividades e analisa algumas normas, internacionais e nacional, quanto às escalas das fotografias, escalas dos mapas resultantes e indicadores de precisão para altimetria, em curvas de níveis ou pontos cotados. Ainda apresenta um estudo comparativo de projeto executado por topografia e por fotogrametria com Câmera de Pequeno Formato Digital (CPFD), que pode ser uma alternativa técnica e econômica em várias situações.

**ABSTRACT** - The aerial photography has been used by road engineers for many years throughout the world, which has extensive use, and even in Brazil, although with less intensity. Initially photogrammetry was used only for studies of alternatives to itineraries, but later came to be used in all phases of road projects. The photo-interpretation in the preliminary stages of project provides information for all sub projects, besides additional studies of variants, and its great usefulness is unquestionable. But when you want to compare the accuracy, especially the altimetry of photogrammetry with the topography, appear some restrictions. In these cases, to reach the higher accuracy required in the final design phase are required to adopt some mandatory procedures such as: large scale photography, as 1:3.000; pre signalised control points for aerial triangulation and restitution in high quality equipment. Another issue is the recognized lack of wider dissemination of photogrammetric methods for road projects among new civil and surveyors engineers. Because of this, this article presents a brief review of the use of photogrammetry in road projects, discusses the uses of photo-interpretation, parallax measurements to calculate slope and examines some international and national standards, for the photograph scales, map scales and indicators for precision altimetry, in contour intervals or measured points. Also presents a study of a project by topography and by photogrammetry with digital small format camera, which may be a technical and economical alternative in many situations.

---

### 1 INTRODUÇÃO

Por muitos anos os engenheiros rodoviários vêm usando fotografias aéreas em projetos de estradas, inicialmente apenas com finalidade de estudos de alternativas aos itinerários e depois em todas as fases de

projetos. As possíveis rotas eram examinadas em pares estereoscópicos e interpretadas às condições do terreno, levando-se em conta: ocupação do terreno, volume de terraplanagem, drenagem, risco de deslizamentos, localização de materiais para sub-bases, bases e agregados

de construção, locais de transposição de rios e gargantas, etc.

O uso de fotogrametria como fonte de dados topográficos planimétricos e altimétricos a nível mundial, teve seu início nos meados dos anos 1950 (Blaschke, 1957; Carnahan, 1958; Belcher, 1960; Ternryd 1969; Canonica, 1969). No Brasil os métodos fotogramétricos foram usados em vários DER (Departamentos de Estradas de Rodagem) pelo Brasil, por volta dos anos 1970, e repassados aos engenheiros rodoviários das empresas de consultoria e projetos, que por sua vez tem repassado para os novos engenheiros. Apesar da importância prática do assunto ele não recebeu a devida atenção nas escolas de engenharia, para cartógrafos, agrimensores ou civis, como deveria.

Houve algumas aplicações em estradas de rodagem e ferrovias, como os citados por Sadowski (1971), Souza e Neto (1973) e Tavares (1975). Os órgãos públicos nacionais reguladores de projetos como o antigo DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem) usaram fotografias na fase de reconhecimento em escalas como 1:10.000 e 1:24.000 (Carvalho, 1973) e chegou a especificar a escala de restituição de 1:5.000 apenas para anteprojetos (DNER, 1996). Mais recentemente, o DNIT, Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (DNIT, 2006a, 2006b) e DER-SP (DER-SP, 2006) passaram a especificar fotogrametria para projetos básicos (ou ante-projetos) e projetos executivos (ou projetos finais).

Os principais aspectos de vantagens da fotogrametria são relativos a grande quantidade de informações que pode obter com a fotointerpretação, essencial para as fases preliminares dos projetos e estudos das possíveis variantes, mas também quando se deseja um levantamento mais rápido de grande extensão ou em áreas perigosas ou inacessíveis. Como desvantagens são apontadas a menor precisão em comparação com os levantamentos topográficos, alto custo, necessidade de condições atmosféricas propícias e mesmo pouca divulgação da metodologia entre os novos engenheiros.

Como alguns desses últimos fatores se alteram continuamente com a tecnologia e os autores participaram de um teste de verificação de viabilidade de uso de CPFD (Câmeras de Pequeno Formato Digital) que podem atingir a mesma precisão da fotogrametria convencional e pode ser alternativa técnica e econômica em várias situações; resolveram realizar uma breve revisão do uso de fotogrametria em todas as fases de projetos de estradas. Para isto nas próximas seções serão apresentados os procedimentos simples de fotogrametria, que podem ser realizados em um escritório de projetos de estradas, como a fotointerpretação e as medições de paralaxes para cálculo de declividades. São analisadas algumas normas, internacionais e nacional, quanto às escalas das fotografias, escalas dos mapas resultantes e intervalos de curvas de níveis, com a finalidade de mostrar a precisão para altimetria possível de ser atingida. Também são discutidos a distribuição e formatos de alvos para os

pontos de apoio pré-sinalizados e os resultados do teste com a CPFD.

## 2 AEROFOTOGRAMETRIA EM PROJETOS DE ESTRADAS

A escolha de levantamento por topografia ou fotogrametria é determinada pelas necessidades de projeto e considerações de custo. Cada projeto tem um conjunto único de condições que determinarão a melhor técnica que deve ser usada (FHA, 2008):

A fotogrametria é considerada vantajosa quando os benefícios inerentes são:

- É método de levantamento eficiente para mapeamento de grandes extensões;
- Pode ser mais seguro que outros métodos de levantamento, como em locais perigosos e tráfego intenso;
- Permite levantamento e mapeamento de áreas inacessíveis;
- Cria um registro fotográfico da área do projeto, útil também para várias etapas do projeto;
- Fornece produtos digitais de grande utilidade como ortofotos e MDT (Modelo Digital do Terreno)

Por outro lado os problemas apontados para uso da aerofotogrametria são:

- Definição de especificações adequadas de precisão com relação às exigências do cálculo de massas de terraplanagem e projeto de elementos construtivos.
- Não é possível mostrar razoavelmente o terreno, quando a área é coberta por vegetação densa
- Atrasos por condições de tempo e nebulosidade em certas regiões e estações do ano.
- Falta de engenheiros civis com formação adequada em fotogrametria.

De modo geral os volumes de corte e aterro obtidos a partir de dados do terreno natural gerados pela fotogrametria são perfeitamente comparáveis aos obtidos pela topografia. Obviamente existem diferenças fora das tolerâncias quando são comparadas as seções transversais obtidas pelos dois métodos.

A exatidão da fotogrametria é reconhecidamente menor que da topografia. Normalmente a avaliação que se faz é baseada no uso de parâmetros de qualidade do mapeamento sistemático, como os do Decreto Lei 89817 de 1984, que regula a cartografia nacional. Por exemplo: para um mapa de escala 1:1.000 e intervalo das curvas de nível (ICN) de 1,0m, a acurácia exigida é que 90% dos pontos conferidos e tenham discrepâncias menores que 0,5 do intervalo, ou seja, menores que 50cm, valor que é bem superior aos milímetros do nivelamento geométrico. Ocorre que desde as primeiras aplicações da fotogrametria, como os de Carnahan (1958) e Canonica (1963), verificou-se que a diferença não é tão grande.

Canonica (1963) obteve precisões de 4cm a 7cm usando fotografias de escala 1: 4500 e restituição na escala 1:1000, com restituidor Wild A-8 de primeira ordem. Carnahan (1958) discute o uso do Zeiss C-8, também equipamento de primeira ordem, e mostra que o fator C, normalmente o indicador da precisão de medição de altura do equipamento de restituição, não é o mais apropriado. Em teste rigoroso de medições, em placas com grades de precisão, Canonica chegou a 1:17.800 da altura medida, que para um vôo de altura de 1000,0m dá um erro de 6cm. Vale salientar que desde aquela época já foram dotados os pontos de apoio pré-sinalizados como forma de aumentar significativamente a precisão da fototriangulação e da restituição.

Embora seja possível obter precisões de altimetria na ordem de poucos centímetros com a fotogrametria, e se mesmo assim não são atendidas as exigências de projeto, o greide lançado pode ser atualizado durante a construção, por topografia. Desta forma se pode evitar aumento de gastos com terraplanagem ou projetar os detalhes que exigem precisão melhor. Em FHA (2008) durante o projeto são testados perfis levantados por topografia para checagem de restituição fotogramétrica e se necessário corrigir eventuais discrepâncias além do esperado. No procedimento descrito por Elgaard (2007) o perfil é lançado com dados fotogramétricos e conferido de 20 em 20 metros por GPS, o alinhamento e cota são comparados com o projeto e a média das diferenças devem ser próximas de zero; o erro médio quadrático também não pode exceder um certo valor. Diferenças de poucos centímetros em cotas e coordenadas são comuns durante a construção de estradas e mesmo maiores alterações em projetos não são raras, portanto a atualização durante a construção de projetos por fotogrametria não estão fora do contexto prático.

A cobertura vegetal pode ser um problema a mais para reduzir a precisão vertical, mas a não ser em florestas densas, sempre é possível visualizar o solo em alguns pontos e restituição pode acompanhar a forma do terreno. Em casos críticos será necessário o levantamento do trecho por topografia. Durante a restituição estas áreas devem ser identificadas e providenciados os levantamentos complementares.

A falta de condições de iluminação adequada normalmente não é problemática no Brasil, mas existem regiões com alta nebulosidade durante todo ano e o tempo de espera por condições adequadas para o vôo pode tornar a fotogrametria inviável. Para esses casos, pode ser uma alternativa o uso de câmeras digitais de pequeno formato com vôo abaixo das nuvens (Silva, 2006).

A questão de falta de engenheiros rodoviários com formação adequada em fotogrametria é antigo e ainda persiste em várias partes do mundo. Devido a isto neste trabalho serão revistas alguns dos procedimentos simples de fotogrametria nas fases de reconhecimento para fotointerpretação e estudos de traçado. O uso de mapas prontos obtidos da fotogrametria para projetos preliminares ou finais é similar aos topográficos e para

estes não existem problemas de utilização pelos técnicos.

## 2.1 Utilidades da fotointerpretação em projetos de estradas

A fotointerpretação é o uso mais antigo e consolidado da fotogrametria em projetos de estradas e pode fornecer informações úteis para cada fase do projeto desde os iniciais em escalas 1:10.000 a 1:30.000 até as escalas maiores. As informações que podem ser obtidas das fotografias, e como podem ser usadas, são as seguintes (Kennie Matthews, 1985; Sadowski, 1971; Belcher, 1960, 1997):

- Localização e interrelação entre as áreas povoadas, indústrias e culturas para fins de planejamento utilitário da rodovia; auxílio nas estimativas de tráfego, no planejamento de entroncamento e cadastro de desapropriações; planejamento da distribuição das frentes de trabalho em campo. A visão geral da área em escala adequada pode ser de grande utilidade para o planejamento da movimentação dos equipamentos de terraplanagem e abastecimento.
- Condições topográficas que definem as formas básicas do traçado e os volumes das obras de terra. Também permite a identificação de feições topográficas e geológicas gerais no entorno da área do projeto.
- Vegetação existente na área para fins de estimativa de custo de desmatamento, reposição e avaliação de flora e fauna em estudos ambientais.
- Observação da rede de drenagem, avaliação do escoamento, volume aproximado dos principais cursos d'água, locação de obras de arte especiais para travessias de rios ou lagos, definição de linhas mestras para os projetos de drenagem subterrânea e superficial, localização de nascentes e fontes de água. Isto é claramente visível nas fotografias e mais compreensivo que em mapas.
- Localização de áreas de estabilidade problemática de taludes para definição preliminar de gastos com obras de contenção.
- Definição e delimitação dos diferentes tipos de solo permitindo uma previsão inicial das condições do material de subleito e empréstimo para elaboração de aterros.
- Definição das principais linhas de erosão e estimativa de erodibilidade dos terrenos, sumidouros e terrenos permeáveis.
- Delimitação de áreas de afloramento de rochas para estimar o volume do eventual desmonte no leito da estrada ou em fundações de estruturas de obras de arte.
- Localização e delimitação inicial de fontes naturais de materiais de construção como pedreiras, cascalheiras, areais e zonas de empréstimo. A interpretação da geologia da área e no entorno, normalmente fornece essas informações.

- A determinação de fatos históricos. Exames de fotografias podem revelar evidências do uso passado, ou mudanças naturais que possam ter afetado o local. Isto pode incluir a identificação de depósitos de lixo, desmatamentos, e áreas sujeitas a enchentes e até sítios de interesse arqueológico. Em áreas da costa a proporção de recuo de barrancos e linha de praia podem aparecer numa seqüência temporal de fotografias.

Detalhes sobre os métodos de fotointerpretação para estradas são encontrados em Belcher (1997).

### 3. ESCALAS DE FOTOGRAFIAS PARA PROJETOS

As escalas de fotografias têm relação direta com as precisões a serem obtidas e se refletem nas escalas dos mapas restituídos, ortofotocartas e no ICN (intervalo da curva de nível). A precisão também está relacionada com a qualidade do instrumento de restituição, antes os estereorestituidores, hoje as estações fotogramétricas digitais; e com a resolução das fotografias digitalizadas em scanners ou obtidas diretamente de câmeras digitais.

Nesta seção serão discutidas as escalas adequadas a cada fase de projeto e apresentadas as relações de escalas de fotografias com escalas de mapas, com ênfase na definição do ICN e acurácia dos dados altimétricos, a partir de algumas normas que refletem experiências internacionais no assunto.

Os dados comuns entre as tabelas são:

- São relacionadas escalas da fotografia e mapa, ICN e altura de vôo.
- As escalas para as fotografias e alturas de vôos estão relacionadas às câmeras grande angulares (f=150mm).
- O EMQ (Erro médio quadrático) é o indicador de acurácia, para pontos bem identificados e testados em campo com método de maior acurácia e precisão, dado por:

$$EMQ = \sqrt{\frac{\sum (xi - xj)^2}{n}} \quad (1)$$

Em que xi é a coordenada do ponto no mapa e xj a coordenada medida em campo e n é o número de pontos testados. Os testes são separados para planimetria e altimetria.

#### 3.1 Escalas para cada etapa de projeto de estradas

A terminologia adotada para as várias etapas de um projeto de estradas varia na literatura. Assim para fins de uniformização dos termos será adotado o seguinte para as etapas de um projeto:

- Viabilidade: estudo de ampla faixa do terreno por onde se supõe que o traçado poderá passar. Também chamada de Fase de reconhecimento.
- Anteprojeto. Estudo detalhado lançado sobre uma base cartográfica de precisão mediana. Chamado também de projeto preliminar.
- Executivo. Projeto final com o detalhamento completo para construção.

As escalas típicas de mapeamento para rodovias por aerofotogrametria seguem uma hierarquia, começando com menor precisão e escalas pequenas, para os estudos de viabilidade, com uso de mapas e fotografias existentes na escala em torno de 1:20.000. Depois, para anteprojeto, as escalas são em torno de 1:10.000. Para os projetos executivos, são necessárias as mais precisas com fotografias em escalas grandes como 1:3.000.

As escalas sugeridas por Canônica (1963), Kennie e Matthews (1985), e as adotadas pelo DNIT (2007) estão nas Tabelas 1, 2 e 3.

Os dados de Canônica (Tabela 1) são mais antigos e podem ser considerados como bons parâmetros até hoje utilizados. Para projeto executivo a escala do mapa é 1:1.000, com ICN de 1,0m no geral e 0,50m e, locais especiais.

Tabela 1 - Escalas de mapeamento para estradas por aerofotogrametria por fase de projeto (Canônica, 1963).

Fase do projeto	Escala Fotografia	Escala do mapa	ICN (m)	Altura do vôo (m)
Viabilidade	1:15.000 1:30.000	Mapas existentes	-	-
Anteprojeto	1: 4.500	1:1.000	1,0	700
Executivo	1: 4.500	1:1.000	1,0 0,5	700

Pelas recomendações de (Kennie e Matthews (1985) o projeto executivo teve ter escala 1:500 e ICN de 0,50m (Tabela 2).

Tabela 2 - Escalas de mapeamento para estradas por aerofotogrametria por fase de projeto (Kennie e Matthews, 1985).

Fase do projeto	Escala Fotografia	Escala do mapa	ICN (m)	Altura do vôo (m)
Viabilidade	1:30.000	1:20.000 1:10.000	5,0	4.600
Anteprojeto	1:10.000	1: 2.500	1,0	1.500
Executivo	1:3.000	1: 500	0,5	460

No Brasil apenas em 2006 o antigo DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem) (DNER, 2006), atual DNIT, especificou a fotogrametria para projetos rodoviários. Antes disso a fotogrametria era usada apenas como dados auxiliares nos estudos de

traçados na fase de viabilidade (Carvalho, 1973). A maior escala é de 1:5000 para a fotografia e 1:1.000 para o mapa com ICN de 1,0 para projeto executivo. As demais escalas para anteprojeto e projeto executivo seguem as recomendações dos documentos IS-226 e IS-227 (DNIT, 2007), resumidas na Tabela 3.

Tabela 3 - Escalas de mapeamento para rodovias por aerofotogrametria pelo DNIT (2007).

Fase do projeto	Escala Fotografia	Escala do mapa	ICN (m)	Altura do vôo (m)
Viabilidade	Existentes	Existentes	-	-
Anteprojeto	1:20.000	1:5.000	5,0	3.000
	1:30.000	1:10.000	10,0	4.500
Executivo	1:10.000	1:1.000	1,0	750
		1:2000	1,0	1.200

### 3.2 Relações entre escalas, ICN e precisões altimétricas

Uma das restrições à fotogrametria é a menor precisão da altimetria em comparação com a Topografia, e mesmo assim, devido às outras vantagens da fotogrametria, o seu uso é consolidado e em várias partes do mundo e são correntes instruções e normas específicas para projetos de estradas, nas quais são descritos detalhadamente todos os procedimentos, desde o planejamento do vôo até a restituição. Como padrão, para se garantir maior precisão são necessários: vôo em escala grande (1:3.000), pontos pré-sinalizados, fototriangulação analítica rigorosa e procedimentos de checagem durante a construção.

A seguir serão resumidas algumas dessas especificações para mostrar as relações entre escalas de vôo e mapas, ICN e precisões da altimetria. Os demais detalhes podem ser consultados nas referências.

Main Roads WA (2002), do distrito de Western Austrália, tem as especificações para classes de projetos de A a D. As escalas das fotografias variam de 1:3.000 a 1:16.000 com fatores de ampliação entre 3 e 4, e ICN de 0,5 a 2,0m (Tabela 4). Na Tabela 5 são definidas acurácias para coordenadas planimétricas (H e altimétricos (V) de pontos na pista e sobre outros detalhes, e para as verificações de curvas de níveis. Para a classe A, de maior precisão e escala da fotografia de 1:3.000, as acurácias na pista são 7 cm (V) e 20 cm (H) para pontos na pista e 10cm (V) e 40cm (H) para outros detalhes. A acurácia exigida é bem maior em pontos na pista e mais tolerante para os demais, em cerca de 50% para V e 100% para H. Ainda são definidos os EMQ de tolerâncias para 100% e 85% de pontos medidos para verificação de curvas de níveis, que são maiores que dos pontos. Para fins de comparação: para a classe A, com ICN de 0,50m o EMQ é 0,25m para 100% e 0,10m para 85%; enquanto pelas normas da cartografia nacional o EMQ seria também de 0,25m para 90% dos pontos.

Tabela 4 - Classes, escalas e intervalos das curvas de nível (Main Roads WA, 2002).

Classe	Escala Fotografia	Escala Mapa	ICN (m) <sup>1</sup>	Altura Vôo (m)
A	1:3.000	1:1.000	0,5	450
B	1:4.000	1:1.000	0,5	600
C	1:8.000	1:2.000	1,0	1200
D	1:16.000	1:5.000	2,0	2400

Tabela 5 - Acurácia em EMQ para pontos bem definidos e Curvas de Nível (Main Roads WA, 2002)

Classe	Acurácia na faixa de rolamento (m)		Acurácia em outros detalhes (m)		Acurácia de Curvas de Níveis	
	Vert.	Hor.	Vert.	Hor.	100%	85%
	A	0,07	0,20	0,10	0,40	0,25
B	0,10	0,25	0,15	0,50	0,40	0,20
C	0,20	0,50	0,30	1,00	0,80	0,40
D	0,30	1,25	0,50	2,50	1,60	0,80

A agência americana FHA (2008) permite uma grande variedade de escalas de 1:2.000 a 1:100.000 para as fotografias. Na Tabela 6 estão relacionados além dos itens comuns, também o Tamanho do Pixel no Terreno (TPT) e as escalas para ortofotos. É muito significativa a proporção de ampliações permitidas para o mapa de cerca de 10 vezes, e até mais para as ortofotos. O módulo da escala da ortofoto chega a ser 50% maior (mapa 1:2.000 e ortofoto 1:3.000, Tabela 6). O tamanho do pixel no terreno também é relacionado é útil para avaliação de fotografias digitalizadas ou obtidas de câmeras digitais.

Uma exigência importante para garantir a precisão dos produtos finais é o desvio padrão dos pontos de apoio na fototriangulação, que não deve exceder 1:10.000 e 1:15.000 da altura de vôo, para altitude e planimetria respectivamente.

Em comparação com os valores da Tabela 4, as normas americanas são mais rigorosas para o ICN de representação no mapa. Porém a acurácia da altimetria, no primeiro caso, é avaliada complementarmente pelos outros parâmetros da Tabela 5. Por exemplo, para a escala de fotografia de 1:3.000 o ICN da Tabela 4 é 0,50m e da Tabela 6 é 0,25m; mas a precisão de pontos na pista é de 0,07m ; outros detalhes, 0,10m.

Tabela 6 - Relação de escalas, ICN, e tamanho de pixel para projetos rodoviários (FHA, 2008).

Escala Foto	Esc. Mapa	ICN (m)	Alt. do Vôo (m)	Pixel no Terreno (m)	Escala Ortofoto
1:2.000	1:250	0,2	300	0,05	1:250
1:2.500	1:250	0,2	380	0,10	1:300
1:3.000	1:300	0,25	450	0,10	1:400
1:5.000	1:500	0,5	760	0,15	1:700
1:7.500	1:750	0,5	1140	0,15	1:1.000
1:10.000	1:1.000	1,0	1520	0,20	1:1.500

1:15.000	1:1.500	2,0	2300	0,30	1:2.000
1:20.000	1:2.000	2,0	3000	0,50	1:3.000
1:50.000	1:5.000	5,0	7600	1,00	1:6.000
1:100.000	1:10.000	10,0	15000	2,00	1:13.000

A maior escala de vôo prevista pelo DNIT é 1:5.000, que é bem menor que as escalas 1:3.000 de Main Roads WA (2002) e (Kennie e Matthews, 1985) ou 1:2.000 da FHA (2008).

#### 4. ESTUDO DE TRAÇADO COM PARES ESTEREOSCÓPICOS

##### 4.1 Estudos de variantes

Durante os estudos de possíveis traçados para uma estrada, em um escritório de projetos de estradas, são avaliados diversos fatores por fotointerpretação discutidos na seção 2.1. Paralelamente a topografia da área também é visualizada em estereoscópios de espelhos e são escolhidos os pontos críticos de passagem em gargantas, definidos traçados de vales ou cumeadas e subidas e descidas por encostas, com desenho do eixo e variantes. Além do traçado direto, evitando obstáculos como encostas íngremes são também possíveis se conseguir um perfil preliminar através da medição de diferenças de altura por meio de paralaxes.

Sem as medições de paralaxes não é possível quantificar as declividades de tangentes devido ao efeito do exagero vertical, que provoca a impressão que os objetos e terreno são mais altos que na realidade quando observados no estereoscópio. Por isto é fundamental que pelo menos algumas diferenças de altura sejam calculadas a partir de medições de paralaxes (seção 4.2). As medições de paralaxes, cálculos de diferenças de altura e declividades são tediosas, mas após algumas medições, em poucos modelos, o técnico adquire a noção das declividades e podem ser calculados apenas alguns trechos, quando houver dúvidas nos limites da declividade máxima permitida.

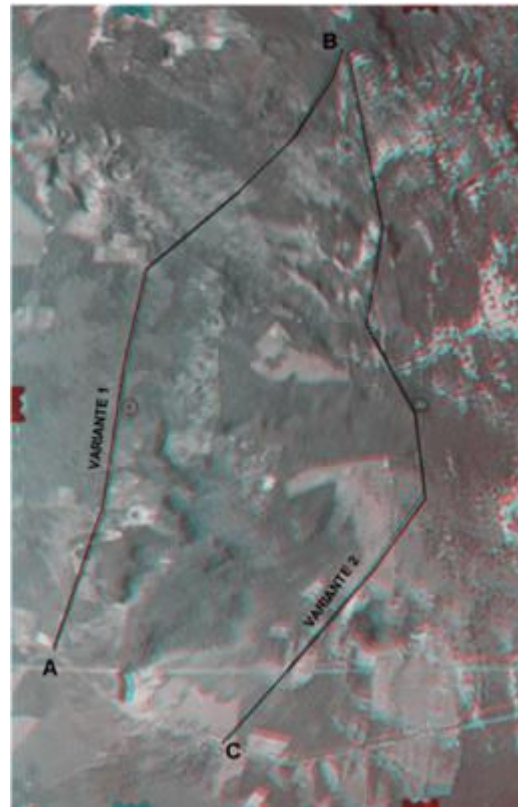


Figura 1- Estudo de variantes. (Fotografia: Topocart S/A).

A Figura 1 mostra um exemplo de estudos de variantes modelo de fotografias escala 1:15.000, com duas alternativas de traçado (variante 1 e 2) para contornar uma elevação e ligar uma estrada existente ao ponto B. Para visualização em 3D é necessário um óculos de anaglifo vermelho e azul.

##### 4.2. Cálculo de diferenças de alturas com paralaxes

O método fotogramétrico mais simples de obter informações de alturas e com medições de paralaxes. Paralaxe é o deslocamento aparente de um objeto em relação a um referencial causado pelo deslocamento do observador.

Na Figura 2 as paralaxes parciais do ponto A são  $x_a$  na fotografia 1 (esquerda) e  $x_a'$  na fotografia 2 (direita).  $O_1, O_2$  são os Pontos principais das fotografias 1 e 2;  $O_1O_2$  e  $O_1'O_2'$  são as bases fotográficas B, transferidas para cada fotografia.

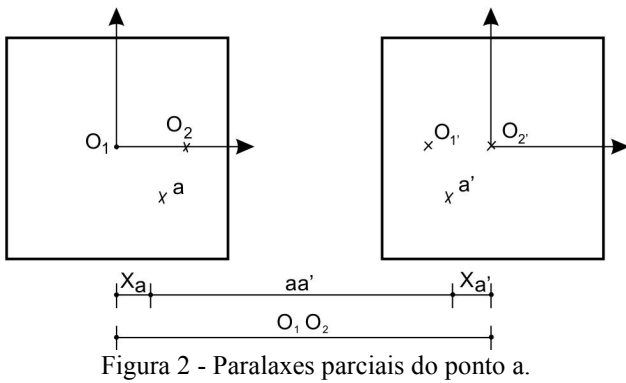


Figura 2 - Paralaxes parciais do ponto a.

A Paralaxe Absoluta de A é a diferença entre as paralaxes parciais xa e xa'. No caso de dois pontos com alturas diferentes (A e B) as paralaxes serão diferentes e são:

$$\begin{aligned} Pa &= xa' - xa \\ Pb &= xb' - xb \end{aligned} \quad (3)$$

Se o ponto A for mais alto que B a sua paralaxe absoluta é maior. Na prática é usada a diferença de paralaxe (dP) entre as paralaxes absolutas de dois pontos A e B:

$$dP = Pa - Pb \quad (4)$$

As diferenças de paralaxes podem ser obtidas por leituras na barra de paralaxe, que permite leitura do centésimo do milímetro, ou por diferenças diretas com uma régua milimetrada, após alguns procedimentos descritos mais adiante.

A figura 3 mostra um estereoscópio de espelhos e a barra de paralaxe. Na barra existem dois cristais com marcas flutuantes. Primeiro se ajusta a marca flutuante para o primeiro ponto que se deseja e é feita a leitura na escala da barra e os centésimos no vernier. Em seguida se repete a operação no segundo ponto e a diferença das leituras fornece o dP procurado.

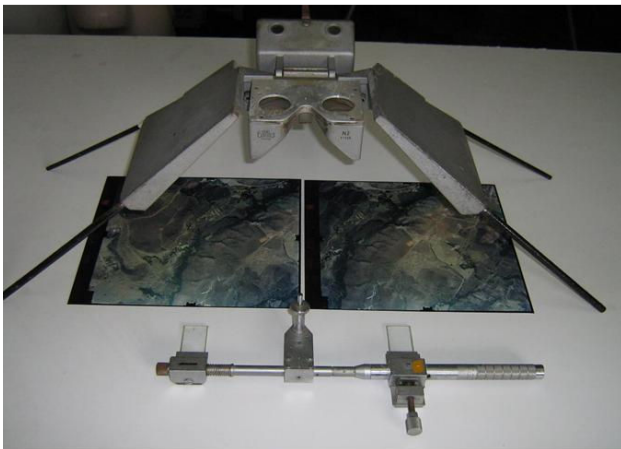


Figura 4 - Estereoscópio de espelhos e barra de paralaxe.

O processo de medição por diferenças diretas com uma régua é menos preciso. As diferenças ente os centros

fiduciais O1O2 e as distâncias diretas entre os pontos aa' e bb' fornecem as paralaxes absolutas, conforme mostrado na Figura 5.

$$Pa = \overline{O_1O_2} - \overline{a'a''} \quad (5)$$

$$Pb = \overline{O_1O_2} - \overline{b'b''}$$

Substituindo a eq (5) em (4) a diferença entre as distâncias entre os pontos homólogos a e b nas duas fotografias fornecem diretamente dP:

$$dP = \overline{b'b''} - \overline{a'a''}$$

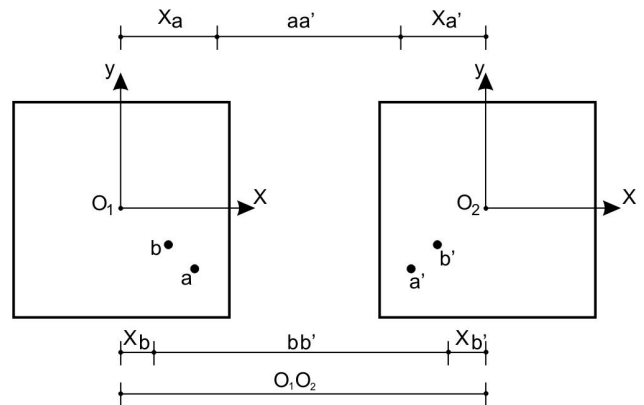


Figura 5 - Medições diretas com régua para o cálculo de diferenças de paralaxes.

A fórmula exata para cálculo de diferenças de alturas com da paralaxe e:

$$\Delta h = \frac{H}{(B + dP)} \times dP$$

Em que:

$\Delta h$  é altura relativa entre o ponto A e B em metros

H é a altura de vôo em Metros

B é a base fotográfica em mm, veja na figura 1

dP é a diferença de paralaxe em mm

Também pode ser usada a fórmula aproximada, suficiente para terrenos com variações de altitude até 5% da altura do vôo:

$$\Delta h = \frac{H}{B} \times dP$$

De (7) se obtém o valor da diferença de paralaxe em função de  $\Delta h$ , útil em varias aplicações:

$$dP = \frac{B}{H} \times \Delta h$$

Os procedimentos necessários para medir as paralaxes baseados em Slama (1980) são os seguintes:

1. Identificar e marcar em ambas as fotografias os pontos principais (cruzamentos das linhas entre as fiduciais) O1 O2 e os conjugados O1' O2' e as imagens dos pontos a, a' e b, b' (ou início e fim da tangente que se deseja a diferença de cota).
2. Medir a base B, tomando a média das distâncias O1 O2'e O1' O2.
3. Fixar as duas fotografias numa mesa de desenho modo que os pontos O1 O2'e O1' O2 fiquem sobre uma mesma reta. No caso de usar barra de paralaxe a distância entre O1 e O1' deve variar entre 21 a 26cm, conforme a extensão da barra.
4. Medir as distâncias entre aa' (1º ponto) e entre bb'(2º ponto) com a régua, ou as paralaxes absolutas aa'e bb' com a barra de paralaxe.
5. Calcular a diferença ente as duas medidas e obter dP.
6. Calcular a diferença de altura pelas formulas (6) ou (7).
7. Calcular a distância horizontal S entre os pontos A e C em metros, usando a escala média da fotografia.
8. Calcular a declividade em porcentagem com:

$$I\% = (\Delta h/S) * 100 \quad (9)$$

Exemplo 1. Em um estudo de traçado de estrada a medição entre os dois extremos da tangente tem diferença de paralaxe de 1,37mm. Sendo a base média de 92,3mm e a altura de vôo de 4000m escala da foto 1:26.700 e a distância entre os pontos de 500m, calcule a declividade.

Com a fórmula exata será;

$$\Delta h = \frac{4000m \times 1,37mm}{92,3 + 1,37} = 58,5m$$

(6)

Com aproximação:

$$\Delta h = \frac{4000}{92,3} \times 1,37 = 59,4m$$

A declividade será 58,5: 500 = 11,7% com fórmula exata e 11,9% com fórmula aproximada. O uso da fórmula aproximada pode ser mais indicada para se ter uma margem de segurança.

Se a declividade máxima para a estrada é de 6%,  $\Delta H$  seria de 30,0m; então a paralaxe a ser encontrada, pela fórmula aproximada, deve ser no máximo de:

$$dP = \frac{B}{H} \times \Delta h = \frac{92,3 \times 30}{4000} = 0,69mm$$

Este valor é muito pequeno para ser medido com régua e seria melhor usar barra de paralaxe. As medidas com régua são mais confiáveis em escalas maiores que 1:8.000.

Exemplo 2. Calcular as declividade entre extremidades das tangentes ab e bc, mostradas na Figura 6. Os dados são: distância O<sub>1</sub>O<sub>2</sub> (base) = 82mm ; Escala fotografia 1:8.000; Altura do vôo = 1224,0m. As paralaxes medidas e os resultados dos cálculos estão na Tabela 7. As declividades calculadas foram 4,8% para tangente ab e 7,4% para tangente bc. Caso a declividade de 7,4% esteja acima do permitido estuda-se outro percurso.

Tabela 7. Calculo de declividades das tangentes da Figura 6.

Pt.	Paralaxe (mm)	Diferença de paralaxe (mm)	Dif. de altura (m)	Dist. (m)	Decliv. (%)
aa'	22,06				
bb'	23,60	a-b 1,54	22,98	a-b 480,0m	4,8
cc'	27,62	b-c 4,02	60,01	b-c 808,0m	7,4

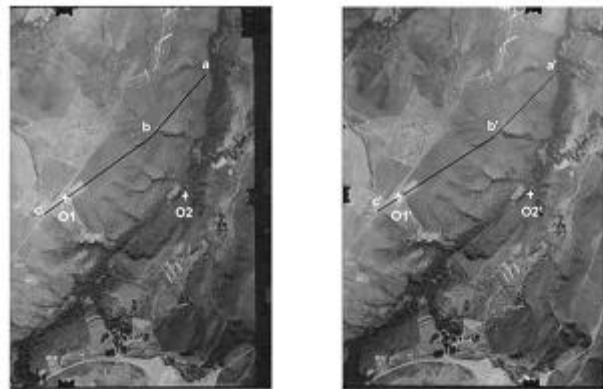


Figura 6 - Trecho de par de fotografias com marcação de pontos para calculo de paralaxes.

#### 4.3 Pré-Sinalização dos Pontos de Apoio

O objetivo da pré-sinalização é proporcionar medições mais precisas das coordenadas de pontos de apoio e aumentar a precisão da fototriangulação. Ela faz parte das principais recomendações de aerolevantamentos para projetos de estradas. Além disso resolve o problema de medição de pontos em áreas com poucas feições naturais ou artificiais existentes, como em regiões de monoculturas.

Inicialmente eram pré-sinalizados os vértices das poligonais de apoio medidas por topografia e atualmente são sinalizados os pontos levantados por GPS. A localização deve atender ao planejamento do vôo. Em Elgaard (2007) são usados pontos pré-sinalizados com distância mínima de 300m. A distribuição recomendada FHA (2002) é usar pontos HV em intervalos de cinco modelos e pontos V em cada modelo e nos bordos da faixa, como no esquema da Figura 7.



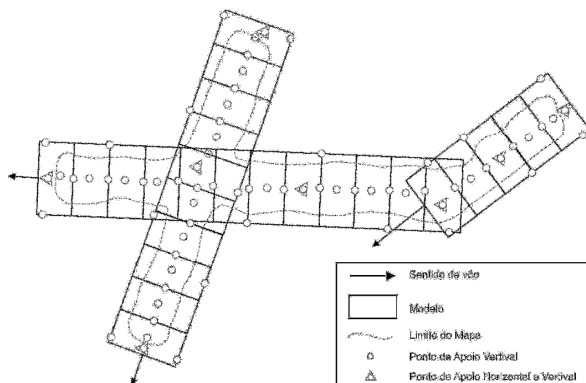


Figura 7 - Esquema típico de faixas de voo em estradas e distribuição dos pontos de apoio (FHA, 2002).

As formas dos desenhos dos alvos são as formas em Cruz, T ou Y, sendo o centro de cruzamento coincidente com o marco implantado. As dimensões devem ser calculadas em acordo com a escala do voo. Para imagens digitais deve ser previsto comprimentos de no mínimo cinco pixels. Mais detalhes sobre o dimensionamento podem ser encontrados em U.S. Army (2002) e Redweik (2007).

A Figura 8 mostra a medição de marco em Cruz construído com faixas de tecido e a visualização na fotografia digital de pequeno formato (Costa, 2008). A Figura 9 mostra a pintura diretamente sobre o pavimento de uma rodovia (Elgaard, 2007).



Figura 9 - Pré-sinalização com pintura sobre pavimentação (Elgaard, 2007).

**5. Uso de Câmeras de Pequeno Formato Digitais**

As câmeras de pequeno formato analógicas fotogramétricas já foram testadas para a produção de mapas topográficos de grande e média escala, dentro de padrões de precisão exigidos pelas normas cartográficas (Mitishita et al, 2004; Gonçalves, 2004 e Dani, 2005), em várias outras aplicações (Heipke, 2006) e até utilizados em levantamentos regulares (BMGSB, 2007). e provaram que podem ser usadas com a mesma qualidade da aerofotogrametria convencional, desde que obedecidos os procedimentos de calibração, fototriangulação e restituição.

A desvantagem desses sistemas é o menor tamanho da imagem e menor área coberta, mas pode ser usado para pequenas áreas em torno de poucos quilômetros quadrados e a largura de uma faixa de vôo é suficiente para estudos de reconhecimento para estradas. Tem a vantagem de menor custo e possibilidade de ser acionado mais rapidamente que um vôo convencional, principalmente nas regiões onde não existem empresas de aerolevantamentos e seu deslocamento para serviços pequenos os torna inviáveis.

Imagens de câmeras de pequeno formato também têm sido usadas em projetos de estradas. Na época dos aerolevantamentos com fotografias em P&B Kennie e Matthews (1985) lembram as vantagens de uso das fotografias de pequeno formato coloridas, como complemento para facilitar a foto interpretação. Misra (2000) usou CPF analógica em projetos de estradas e Costa (2008) executou um teste baseado nas instruções do DNIT (2006), que será apresentado parcialmente aqui. Têm evoluído significativamente as novas tecnologias em equipamentos digitais e programas para processamento na fotogrametria digital que com relativa facilidade podem ser adaptados para as câmeras de pequeno formato digitais.

Para o uso de câmeras digitais e necessário alterar a forma de cálculo tradicional da escala da fotografia pela relação (distancia focal)/(altura de vôo). Agora é conveniente usar a distância amostral do terreno (GSD - ground sample distance), ou o tamanho do pixel no terreno (TPT). O cálculo do TPT é dado por:

$$TPT = \left(\frac{h}{f}\right).d \tag{10}$$

Em que: h = altura de vôo,  
f = distância focal da câmera,  
d = dimensão física do pixel no sensor.

Partindo da análise da escala 1:2.000 adotada pelo DNIT para os projetos executivos Costa (2008) chegou a um TPT de 20cm. Este valor foi usado como referência para compor a Tabela 8 que compara câmeras de pequeno formato, câmeras digitais de grande formato e câmera analógica. Na coluna direita está a extensão coberta no terreno, e mesmo para uma CPF de 1600x1200 pixels,

se consegue uma largura de 238 m que é suficiente para estudos de estradas.

Câmera Pequeno Formato					
Modelo	Dim. pixel (µm)	Dist. focal	Altura Vôo para TPT de 20cm (m)	Formato imagens (pixel)	Extensão no Terreno para pixel 20cm (m)
Sony DCS-P50	3,30	6,50	390,0	1600 x 1200	238 x 317
Canon A-300	3,66	6,80	370,0	2048 x 1536	305 x 407
Sony F-828	2,70	10,0	740,0	3264 x 2448	489 x 652
Canon A-640	1,95	7,35	750,0	3648 x 2736	544 x 726
Câmera Grande Formato					
UltraCam X	7,20	33	910,0	4992 x 3328	661x991
Z/I Imaging DMC	12,0	120	2000,0	13826 x 7680	1536x2765
Câmera Analógica					
Grande angular	-	153	1224,0	9200x9200	1840x1840

Tabela 8 – Dados comparativos de Câmeras Digitais de Pequeno e Grande Formato e Analógica Grande Angular (Costa, 2008).

Foi realizado um teste de comparação de projeto executado por topografia e CPF por Costa(2008). As imagens foram tomadas por uma câmara digital Canon Powershot A640 de 10,0 Mp, em região próxima à divisa dos estados de Pernambuco e Paraíba, no trecho da BR-101/NORTE entre os km 19 a 21.

Os dados provenientes de levantamento topográfico convencional foram o nivelamento de eixo, pontos de apoio para aerotriangulação, pontos de checagem e seções transversais da margem direita da rodovia, a partir do bordo, com largura de 80m. Os dados planimétricos dos marcos de apoio e pontos de checagem foram levantados por GPS, estação total e nível eletrônico. Os dados do planejamento do vôo estão na Tabela 9.

Tamanho do pixel	1,95 µm	
Distancia focal	7,349mm	
Formato da Imagem	Comprimento	7,126 m
	Largura	5,344mm
Velocidade de Cruzeiro	150 km/h	
Altitude de Vôo	740 m	
Intervalo de Tomada das Imagens	4 segundos	

Recobrimento Longitudinal		60%
Recobrimento Transversal		20%
Extensão no terreno	Longitudinal	510 m
	Transversal	680 m
Resolução TPT ou GSD		0,19 m
Escala Cartográfica		1/2.000

Tabela 9 - Dados do Plano de Vão.

O DNIT adota o “Padrão de Exatidão Cartográfica” (PEC), como indicador da exatidão e acurácia dos produtos cartográficos, das normas da cartografia nacional. Porém como o texto é confuso quanto as definições, forma de verificação, tamanho da amostra e aos próprios testes estatísticos e foi adotada a metodologia definida por Itame (2001) e Rocha (2002). Os resultados apresentados nas **Tabelas 10 e 11**, para acurácia e exatidão, referem-se à testes com os pontos pré-sinalizados que não entraram na fototriangulação. Nos dois testes o mapa obtido na escala 1:2.000 foi classificado como A e portanto atende as especificações do DNIT para projetos executivos ou finais.

Tipo	Valores calculados dos dados amostrais	Valores admissíveis	Teste	Classificação para 1:2.000
Planimetria	$\mu=0,351m$	1,000m	$0,351 < 1,000$	A
	$t=-21,36$	$t\alpha=1,383$	$21,46 < 1,383$	
Altimetria	$\mu=0,346m$	0,500m	$0,346 < 0,500$	A
	$t=-3,66$	$t\alpha=1,383$	$-3,66 < 1,383$	

Tabela 10 - Resultados dos testes estatísticos para acurácia (Costa, 2008).

Tipo	Valores calculados dos dados amostrais	Valores admissíveis	Teste	Classificação para 1:2.000
Planimetria	$\sigma=0,150m$	1,000m	$0,150 < 1,000$	A
	$\chi^2=0,094$	$\chi^2\alpha=14,684$	$0,094 < 14,684$	
Altimetria	$\sigma=0,322m$	0,500m	$0,322 < 0,500$	A

Tabela 11 - Resultados dos testes estatísticos para exatidão.

$\chi^2$ = qui-quadrado  
 $\mu$ = media populacional  
 t = t de Student  
 $\sigma$ =desvio padrão amostral

Os produtos obtidos do levantamento fotogramétrico foram um MDT e um mosaico de imagens ortorretificadas. Com o MDT foram lançados os projetos planimétrico e altimétrico e calculados os volumes de terraplenagem. As diferenças entre volumes de cortes e aterros ficaram em torno de 10%, mas como o trecho é curto este valor não é conclusivo. Como já discutido antes o greide pode sofrer pequenas alterações durante a construção de modo que o volume total de terraplenagem não seja alterado.

Os testes de qualidade atenderam ao mapeamento na escala 1:2.000 as imagens foram ortorretificadas e foi gerado um mosaico, mostrado na **Figura 10**. Sobre o mosaico também foram lançados as curvas de níveis interpoladas do MDT e preparadas as folhas de desenho do projeto de acordo com os padrões de apresentação de projetos do DNIT.



Figura 10 - Mosaico obtido com CPFD (Costa, 2008).

## 6. CONCLUSÕES

O uso de fotogrametria em projetos de estradas tem ocorrido a muitos anos e está se consolidando como um método muitas vezes mais econômico e mais seguro que a topografia nos países mais desenvolvidos, onde a mão de obra para topografia custa caro.

Os procedimentos, desde o planejamento até a restituição e geração de ortofotocartas, constam de várias especificações e normas, sendo que algumas delas foram apresentadas e discutidas neste trabalho, principalmente quanto às relações entre escalas das fotografias, escalas dos mapas adequados a cada fase do projeto de estrada e as precisões e acurácias possíveis de serem atingidas. Em resumo os tópicos mais característicos, em relação a um mapeamento fotogramétrico convencional, são a escala grande da fotografia, 1:3.000 ou até maior; uso de pontos de apoio pré-sinalizados, medidos com alta precisão por GPS; e definições de critérios adicionais para avaliar ou monitorar a precisão da altimetria. Um projeto de mapeamento com CDPF, obedecendo aos padrões do DNIT para escala de mapa de 1:2.000, foi executado, comparado com um levantamento topográfico, e os resultados mostraram que foi possível atingir os níveis exigidos de precisão e acurácia, gerar um MDT e com ele: calcular a terraplenagem, realizar a ortorretificação das imagens e montar mosaico

Também foram revistos os procedimentos simples, que podem ser executados em qualquer escritório de projetos de estradas, como a fotointerpretação, estudo de variantes e medição de paralaxes para cálculo aproximado de declividades de tangentes.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa TOPOCART S/A por ceder às fotografias, fundamentais para ilustrar os exemplos.

## REFERÊNCIAS

BMGS. **Small & Medium Format Digital Camera Specifications 2007**. Canada: Ministry of Agriculture and Lands, Base Mapping and Geomatic Services Branch. Disponível em <http://ilmbwww.gov.bc.ca/crgb/pba/trim/specs/DigCamSpecificationsver2011.pdf>.

Belcher, D. J (ed). **Manual of Photographic Interpretation**. Washington: American Society of Photogrammetry. 868 p. 1960.

Belcher, D. J (ed). **Manual of Photographic Interpretation 2th Ed**. Washington: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing. 1048 p. 1997.

Blaschke, W. Experiencias Práticas del Empleo de la Fotogrametria em la Construcción de Autopistas. **Strasse und Autobahn**. V. 9 p. 305-309. 1957.

Carvalho, M. P. **Curso de Estradas**. Rio de Janeiro: Editora Científica. 510 p. 1973.

Canonica, A. **Fotogrametria e Cálculo Eletroeletrônico nos Projetos de Vias de Comunicação**. Lisboa: Separata do Boletim da Ordem dos Engenheiros. 1963.

Carnahan, C.E. Photogrammetry and Road Locations in the U.S. Forest Service. **Photogrammetric Engineering**. 404-410. junho, 1958.

Costa, G. C. **Análise de Produtos Obtidos com Aerolevantamentos Utilizando Câmeras Digitais Não-métricas para Elaboração de Anteprojtos de Rodoviários**. Dissertação de Mestrado. Prog. Pós-graduação em Ciências Geod. e Tec. da Geoinformação. DECAT/CTG-UFPE. 2008.

STORAENSO. **Ensomosaic Aerial Digital Imaging**. Cd. 2004. Disponível também em: <http://www.storaenso.com/products/others/ensomosaic/specifications/Pages/ensomosaic-imaging-system-specifications.aspx>

DER-SP. **Levantamento Aerofotográfico para Projetos de Rodovias ET-DE-B00/003**. São Paulo: Secretaria de Transportes, Departamento de Estradas de Rodagem. 2006. disponível em: [ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/ET-DE-B00-003\\_A.pdf](ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/ET-DE-B00-003_A.pdf). Acesso em: 20 maio 2009.

DNER. IS-227 - Instrução de serviço para restituição aerofotográfica e apoio de campo para projeto de engenharia rodoviária. In: **Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários - escopos básicos/instruções de serviço**. Rio de Janeiro: DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. 1999.

DNIT. IS-226: Levantamento Aerofotogramétrico para Projetos Básicos de Rodovias. In: **Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários Escopos Básicos/Instruções de Serviço – 3ª edição**. DNIT - Departamento Nacional de Infra-estruturas de Transportes 2006. Disponível em: [http://www1.dnit.gov.br/ipr\\_new/download\\_manuais.htm](http://www1.dnit.gov.br/ipr_new/download_manuais.htm). Acesso: 20 maio 2009.

DNIT. IS-227: Levantamento Aerofotogramétrico para Projetos Executivo de Rodovias. In: **Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários Escopos Básicos/Instruções de Serviço – 3ª edição**. DNIT - Departamento Nacional de Infra-estruturas de Transportes 2006. Disponível em:

<[http://www1.dnir.gov.br/ipr\\_new/download\\_manuais.htm](http://www1.dnir.gov.br/ipr_new/download_manuais.htm)>. Acesso: 20 maio 2009.

Elgaard, S. Durvey and Mapping in Road Construction. In: **International Conference Arctic Roads**. Dinamarca: Technical University of Denmark. Cópia obtida diretamente do autor: sve@vd.dk em 26/06/2008.

FHA. **Project Development and Design Manual**. Washington-DC: U.S. Department of Transportation. 2008.

Gonçalves, J.; Piqueiro, F. **Geo-referenciamento de imagens aéreas de uma câmara digital não métrica**. 2004. I Conferência Internacional e Exposição sobre Informação Geográfica, Lisboa, Portugal, 8p.

Itame, O. Y. **Controle de qualidade aplicado na Modelagem digital de terreno**, Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Ciências Cartográficas da Faculdade de Ciências Tecnológicas campus Presidente Prudente, São Paulo, 2001.

Kennie, T.J.M; Matthews, M.C. (Ed). **Remote Sensing in Civil Engineering**. London: Surrey University Press. 357 p. 1985.

Misra, P. SFAP for highway feasibility study. **Gis Development**. Disponível em: <http://www.gisdevelopment.net/magazine/gisdev/2000/mar/sfap.shtml>. Acesso em 20:07:2009. 2000.

Mitishita, E. A.; Habib, A. F.; Machado, Á. M. L. **Mapeamento tridimensional de Edificações utilizando Aerofotos digitais de pequeno formato e sistema 3d monoplóter**, COBRAC 2004 • Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário • UFSC Florianópolis • 10 a 14 de Outubro 2004.

Main Roads WA. **Digital Photogrammetric Mapping**. Document N. 67/08/44. Government of Western Australia. 30 p. 2002.

Redweik, P. **Fotogrametria Aérea**, Departamento de Engenharia Geográfica e Energia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2007. Disponível em: <http://snig.igeo.pt/snig-educ/ficheiros/Paula%20Redweik/> Acesso em: 15 de agosto de 2009.

Rocha, R.S. **Exatidão cartográfica para cartas digitais urbanas**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. 2002.

Sadowski, G.R. Foto-interpretação com Infra-vermelho em anteprojetos de estradas. **Separata V Congresso Brasileiro de Cartografia**. 10 p.1971.

Silva, D. C. Non-Metric Digital Camera Images Versus High Resolution Satellite Images in Regions with High Cloudiness. In: **XXIII International FIG Congress Proceedings**. Munique: International Federation of Surveyors. CD. 2006.

Slama, C. C. (ed). **Manual of Photogrammetry** (4th Edition). Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry. 1056 p. 1980.

Souza, W; Netto, C. A. Digitalização a partir de Fotografias Aéreas e Projetos de Estradas por Computador. **Separata VI Congresso Brasileiro de Cartografia**. 15 p. 1973.

Tavares, P.E.M. Emprego dos Aerolevantamentos em Projetos de Ferrovias. **Separata 7º Congresso Brasileiro de Cartografia**. 25 p. 1975.

Ternryd, C. O. Development of the Application of Photogrammetry to Highway Design in the Period 1964-1968. **Photogrammetria**. N. 24. p 175-181. 1969.

Ternryd, C.O; Lundin, E. **Topografia e Fotogrametria en la Práctica Moderna**. México: Cia Editorial Continental S.A. 1971.

U.S Army. PHOTOGRAMMETRIC MAPPING – EM 1110-1-1000 – **Engineer Manual (Series Engineering and Design)**. U.S. Army Corps of Engineers. Washington DC, Estados Unidos: 2002.