

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOMÁTICA**

**USO DA GRADE CANADENSE NA DETERMINAÇÃO  
DE MEDIDAS EM IMAGENS PROVENIENTES DA  
CÂMARA ZEISS TRb 60/24**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**PAULO GILVANE DA COSTA**

**Santa Maria, RS, BRASIL  
2008**

**USO DA GRADE CANADENSE NA DETERMINAÇÃO DE  
MEDIDAS EM IMAGENS PROVENIENTES DA CÂMARA  
ZEISS TRb 60/24**

**por**

**Paulo Gilvane da Costa**

Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geomática, Área de Concentração em Tecnologia da Geoinformação, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Especialista em Geomática.**

**Orientador: Prof. Dr. Enio Giotto**

**Santa Maria, RS, BRASIL**

**2008**

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Geomática**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Monografia de Especialização

**USO DA GRADE CANADENSE NA DETERMINAÇÃO DE MEDIDAS  
EM IMAGENS PROVENIENTES DA CÂMARA ZEISS TRb 60/24**

elaborada por  
Paulo Gilvane da Costa

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Especialista em Geomática**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

**Enio Giotto, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

**Argentino José Aguirre, Ms. (UFSM)**  
(Co-orientador)

**Antoninho João Pegoraro, Ms. (UFSM)**

**José Américo de Mello Filho, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, 12 de dezembro de 2008

## **DEDICO**

À razão do meu viver, Rosana e Isabelle,  
respectivamente minha esposa e minha filha.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela vida, saúde, pessoas e mundo, a mim concedidos.

Agradeço aos meus pais, Aristides e Honorina, pela educação recebida, em especial a minha mãe, por me “convencer” a permanecer nos estudos.

A minha esposa Rosana, pelo amor, companheirismo, compreensão e incentivo, indispensáveis para esta conquista.

A minha filha Isabelle, pelos momentos de descontração entre um parágrafo e outro.

Ao Prof. Dr. Enio Giotto, meu orientador, ao Prof. Ms. Antoninho João Pegoraro, amigo e incentivador, e em especial ao Prof. Ms. Argentino José Aguirre, meu co-orientador e maior colaborador neste trabalho, acima disto, um amigo.

Ao Acadêmico Leandro Marin de Oliveira, do Curso de Engenharia Mecânica da UFSM, pela colaboração imprescindível no desenho da grade canadense confeccionada.

Ao Prof. Dr. Elódio Sebem e seus monitores, os Técnicos em Geoprocessamento Benhur Foletto Bolzan, Leonardo Moreira Aguiar e Régis Righi da Silva, do Colégio Politécnico - UFSM, pelo apoio prestado nas medições dos alvos com estação total.

Aos meus comandantes e chefes, do 1º/10º GAV, que me possibilitaram a oportunidade deste curso, bem como aos demais colegas da Unidade, em especial os integrantes da Subseção de Sensores e da Subseção do PIS.

Ao Comando da Aeronáutica que mantém convênio com a UFSM, via Ministério da Educação, possibilitando intercâmbio de conhecimento entre os integrantes destas instituições.

Aos demais familiares e amigos, pela amizade e incentivos prestados.

## **RESUMO**

Monografia de Especialização  
Programa de Pós-graduação em Geomática  
Universidade Federal de Santa Maria

### **USO DA GRADE CANADENSE NA DETERMINAÇÃO DE MEDIDAS EM IMAGENS PROVENIENTES DA CÂMARA ZEISS TRb 60/24**

Autor: Paulo Gilvane da Costa

Orientador: Prof. Dr. Enio Giotto

Co-orientador: Prof. Ms Argentino José Aguirre

Local e data da defesa: Santa Maria, 12 de dezembro de 2008.

Com vistas a levantar informações sobre o uso da grade canadense aplicada às imagens geradas pela câmara ZEISS TRb 60/24, utilizada pelo 1º/10º Grupo de Aviação - Esquadrão de Reconhecimento Tático da Força Aérea Brasileira, sediado na Base Aérea de Santa Maria, utilizou-se a Geomática como fundamento científico para o estudo da avaliação de dimensões em imagens oblíquas provenientes deste sensor. Com a aeronave RA-1 equipada com a referida câmara, realizou-se o levantamento fotográfico de treze prédios, dentro da área do Campus da UFSM, em cinco alturas de vôo diferentes. Após estudos sobre a geometria da fotografia oblíqua e sobre o processo de elaboração de uma grade de referência, seguindo-se o método apresentado por Disperati (1995), foi possível a elaboração de uma Grade Canadense adequada aos parâmetros das imagens provenientes do sensor ZEISS TRb 60/24. Fez-se a extração de medidas dos treze alvos, comprimento e largura, e analisou-se a precisão das mesmas, comparando-as com medidas realizadas por uma Estação Total, tidas como medidas reais. O método apresentado por Disperati (1995) mostrou-se adequado, segundo os resultados estatísticos. As análises apresentaram índices de erro por altura de vôo e para a grade canadense em geral, cujo percentual médio de erro absoluto foi de 4,21%, com um desvio padrão de 3,49%.

Palavras-chave: Grade Canadense; Fotografia Oblíqua; Reconhecimento Aéreo.

## **ABSTRACT**

Monograph of Expertise  
Post-Graduation Course in Geomatics  
Universidade Federal de Santa Maria

### **USE OF THE CANADIAN GRID IN DETERMINATION OF MEASURES ON IMAGES FROM THE TRb 60/24 CAMERA**

Author: Paulo Gilvane da Costa

Advisor: Prof.. Dr. Enio Giotto

Co-leader: Prof.. Ms Argentino José Aguirre

Local and date of defense: Santa Maria, December 12, 2008.

In order to survey information about the use of the Canadian Grid applied to the images generated by the ZEISS TRb 60/24 camera, the Geomatic was used as a scientific ground to study the assessment of dimensions in oblique images of this sensor. ZEISS TRb 60/24 camera is used by 1°/10° Aviation Group - Tactical Recognition Squadron of the Brazilian Air Force, at Santa Maria Air Base. With the RA-1 aircraft equipped with that camera, there was a photographic survey of thirteen buildings within the area of the UFSM campus, in five different heights of flight. After studies about the geometry of the oblique photography and about the process of construction of a reference grid, it was used the method presented by Disperati (1995) and it was possible the construction of a Canadian Grid appropriated to the parameters of the images from the sensor ZEISS TRb 60/24. There was the measures' determination of the thirteen targets, length and width, and analyzed both the accuracy of them, comparing them to measurements performed by a Total Station, this measures were taken as real. The method presented by Disperati (1995) was adequate, according to the statistical results. The analysis showed error's rates by each height of flight and for the grid in general, whose final average absolute error was 4.21% with a standard deviation of 3.49%.

Keywords: Canadian Grid; Oblique Photography; Air Recognition.

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Índices de sensibilidade de filmes .....	39
TABELA 2 - Tipos de filtros e aplicações .....	40
TABELA 3 - Valores a serem analisados para a divisão da isoscala .....	80
TABELA 4 - Altitudes de vôo.....	84
TABELA 5 - Relação entre as cotas médias das áreas sensoriada e sobrevoada.....	85
TABELA 6 - Alturas de vôo calculadas .....	86
TABELA 7 - Parâmetros calculados para a elaboração da grade canadense.....	94
TABELA 8 - Medidas do ponto principal ao horizonte aparente, conforme a altura de vôo ..	96
TABELA 9 - Proa e alturas de vôo.....	97
TABELA 10 - Distâncias da vertical da aeronave ao ponto central da área sensoriada.....	98
TABELA 11 - Medidas reais dos alvos .....	100
TABELA 12 - Medidas dos alvos em Ug .....	102
TABELA 13 - Medidas dos alvos em “Ug” e em “m” .....	103
TABELA 14 - Erro verdadeiro das medidas nas dimensões “x” e “y” .....	105
TABELA 15 - Percentuais médios de erro absoluto.....	109

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Espectro eletromagnético.....	24
FIGURA 2 - Decomposição da luz branca.....	25
FIGURA 3 - Partes da câmara aérea.....	29
FIGURA 4 - Diafragmas.....	30
FIGURA 5 - Obturador de lâminas.....	31
FIGURA 6 - Obturador de plano focal .....	31
FIGURA 7 - Distância focal, plano focal e FOV .....	32
FIGURA 8 - Câmara aérea ZEISS TRb 60/24 .....	35
FIGURA 9 - Aeronave RA-1 equipada com a câmara ZEISS TRb 60/24 .....	35
FIGURA 10 - Esquema de captação da cena .....	36
FIGURA 11 - Movimentos do avião em torno de seus eixos .....	38
FIGURA 12 - Relações geométricas entre fotografias: vertical, oblíqua baixa e oblíqua alta	42
FIGURA 13 - Inclinação da fotografia aérea .....	43
FIGURA 14 - Efeitos do ângulo de inclinação .....	44
FIGURA 15 - Geometria básica da fotografia .....	46
FIGURA 16 - Distância focal.....	47
FIGURA 17 - Variáveis de uma fotografia aérea inclinada.....	48
FIGURA 18 - Pontos nodais .....	49
FIGURA 19 - Centro de perspectiva e estação de exposição.....	49
FIGURA 20 - Altitude de vôo, altura de vôo e cota do objetivo.....	50
FIGURA 21 - Ponto principal e marcas fiduciais.....	51
FIGURA 22 - Ponto nadir .....	52
FIGURA 23 - Plano principal.....	53
FIGURA 24 - Linha principal .....	54
FIGURA 25 - Isocentro.....	55
FIGURA 26 - Ponto nadir .....	55
FIGURA 27 - Isoscala.....	56
FIGURA 28 - Horizontes e ângulos de depressão aparente e verdadeiro.....	57
FIGURA 29 - Horizonte verdadeiro e aparente na fotografia inclinada alta .....	58
FIGURA 30 - Horizonte verdadeiro e aparente na fotografia inclinada alta .....	59
FIGURA 31 - Determinação do horizonte verdadeiro por pontos de fuga.....	60

FIGURA 32 - Principais componentes para escalas de fotografia aérea .....	62
FIGURA 33 - Elementos de uma fotografia aérea inclinada .....	64
FIGURA 34 - Esboço de uma grade canadense .....	68
FIGURA 35 - Esboço de uma rede de perspectiva.....	69
FIGURA 36 - Esboço das diferenças de nível entre as AFAV e a AFAS .....	85
FIGURA 37 - Horizonte aparente e linha média do horizonte aparente.....	88
FIGURA 38 - Representação das unidades de grade.....	90
FIGURA 39 - Esboço do desenho da grade de referência .....	95
FIGURA 40 - Grade canadense reduzida.....	95
FIGURA 41 - Área do Campus da Universidade Federal de Santa Maria .....	97
FIGURA 42 - Área e alvos selecionados .....	99

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - Erro absoluto, em percentuais, das medidas na dimensão “x” .....	106
GRÁFICO 2 - Erro absoluto, em percentuais, das medidas na dimensão “y” .....	107
GRÁFICO 3 - Percentuais médios dos erros absolutos .....	110

## LISTA DE SIGLAS

AEC	Aerial Exposure Control (Controle de Exposição Aérea)
AFAS	Altura mais Freqüente da Área Sensoriada
AFAV	Altura mais Freqüente da Área Sobrevoada
AFS	Aerial Film Speed (Sensibilidade do filme Aéreo)
ASA	American Standard Association
CIAAR	Centro de Instrução e Adaptação da Aeronáutica
EEAR	Escola de Especialistas da Aeronáutica
FAB	Força Aérea Brasileira
FMC	Forward Motion Compensation
FOV	Field of View
GAV	Grupo de Aviação
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFOV	Instantaneous Field of View
ISO	International Standard Organization
Kt	Knots (nós)
LC	Linha de Contato
LHOV	Long Range Horizontal Oblique Vertical
LOROP	Long Range Oblique Photography
NA	Navegação Altante
NBA	Navegação a Baixa Altura
OT	Ordens Técnicas
Rec Tat	Reconhecimento Tático
TO	Teatro de Operações

## LISTA DE SÍMBOLOS

C	Medida Calculada pelo método da Grade Canadense
t	Ângulo de Inclinação
O	Centro de perspectiva
H <sub>v</sub>	Altura de Vôo
f	Distância Focal
P	Ponto Principal
O <sub>E</sub>	Ponto Nodal Exterior
O <sub>I</sub>	Ponto Nodal Interior
H	Altitude de Vôo
h	Altitude do Terreno ou Cota
n	Ponto Nadir
m	Distância ou Medida
m <sub>pn</sub>	Distância do Ponto Principal ao Ponto Nadir
m <sub>pi</sub>	Distância do Ponto Principal ao Isocentro
N	Reta Normal
PK	Distância do Ponto Principal ao Ponto Horizonte Verdadeiro
PK'	Distância do Ponto Principal ao Ponto Horizonte Aparente
i	Isocentro
θ	Ângulo de Depressão
α	Ângulo de Depressão Aparente
d	Ângulo de Declive
K	Ponto Horizonte Verdadeiro
K'	Ponto Horizonte Aparente
K <sub>E</sub>	Ponto Horizonte à Esquerda de “K”
K <sub>D</sub>	Ponto Horizonte à Direita de “K”
R	Medida Realizada pelo método da Estação Total
S	Desvio Padrão Amostral
$\bar{X}$	Média Aritmética
Δm	Varição em metros entre a medida “C” e a medida “R”
Δ%	Varição percentual entre a “Δm” e a medida “R”

## **LISTA DE APÊNDICES**

APÊNDICE A - Imagem oblíqua proveniente da câmera ZEISS TRb 60/24.....	117
APÊNDICE B - Rede de perspectiva para a câmera ZEISS TRb 60/24 .....	119
APÊNDICE C - Grade canadense para a câmera ZEISS TRb 60/24 .....	121

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>19</b>
<b>1.1 Objetivo geral .....</b>	<b>20</b>
<b>1.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>20</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>21</b>
<b>2.1 Histórico do reconhecimento.....</b>	<b>21</b>
2.1.1 Origem do reconhecimento aéreo .....	21
2.1.2 Reconhecimento aéreo no Brasil.....	21
2.1.3 Aviação de reconhecimento .....	22
2.1.4 Reconhecimento fotográfico.....	22
<b>2.2 Sensoriamento remoto.....</b>	<b>23</b>
2.2.1 Conceito de sensoriamento remoto .....	23
2.2.2 Energia eletromagnética .....	23
2.2.3 Características principais das ondas eletromagnéticas .....	23
2.2.4 Espectro eletromagnético.....	24
2.2.5 Conceito de sensor remoto.....	25
<b>2.3 Sistemas Sensores .....</b>	<b>25</b>
2.3.1 Classificação dos sistemas sensores .....	26
2.3.1.1 Quanto à fonte de energia .....	26
2.3.1.2 Quanto ao tipo de transformação sofrida pela radiação detectada .....	26
2.3.2 Resolução dos sistemas sensores .....	26
<b>2.4 Captação de dados em sensoriamento remoto.....</b>	<b>27</b>
2.4.1 Efeitos atmosféricos .....	27
<b>2.5 Câmara fotográfica .....</b>	<b>28</b>
2.5.1 Principais componentes das câmaras aéreas .....	29
2.5.1.1 Corpo da câmara.....	29
2.5.1.2 Magazine de filme .....	30
2.5.1.3 Cone de lentes .....	30
<b>2.6 Câmara de reconhecimento aéreo.....</b>	<b>33</b>
2.6.1 Câmara de reconhecimento tático .....	33
2.6.2 Câmara ZEISS TRb 60/24 .....	33
<b>2.7 Condições para fotografar .....</b>	<b>36</b>

2.7.1	Movimentos da plataforma .....	37
<b>2.8</b>	<b>Filmes.....</b>	<b>38</b>
<b>2.9</b>	<b>Filtros.....</b>	<b>39</b>
<b>2.10</b>	<b>Fotografia .....</b>	<b>40</b>
2.10.1	Fotografia aérea.....	40
2.10.2	Fotografia aérea vertical .....	41
2.10.3	Fotografia aérea inclinadas .....	41
2.10.4	Ângulo de inclinação “t” .....	42
2.10.5	Vantagens da fotografia inclinada.....	44
<b>2.11</b>	<b>Fotointerpretação .....</b>	<b>45</b>
<b>2.12</b>	<b>Geometria básica da fotografia aérea oblíqua.....</b>	<b>46</b>
2.12.1	Distância focal “f” .....	47
2.12.2	Pontos nodais .....	48
2.12.3	Cópia na escala do negativo, redução e ampliação .....	49
2.12.4	Altitude de vôo “H”, altura de vôo “Hv” e cota do objetivo “h” .....	50
2.12.5	Ponto principal “P” .....	50
2.12.6	Ponto nadir “n” .....	51
2.12.7	Plano principal .....	52
2.12.8	Linha principal .....	53
2.12.9	Isocentro “i” .....	54
2.12.10	Isoscala .....	56
2.12.11	Isolinha .....	57
2.12.12	Ângulo de depressão “ $\theta$ ” e ângulo de depressão aparente “ $\alpha$ ” .....	57
2.12.13	Horizonte aparente e horizonte verdadeiro .....	58
2.12.13.1	Representação do horizonte verdadeiro através da marcação dos pontos de fuga.....	59
2.12.13.2	Pontos horizonte .....	60
2.12.13.3	Cálculo dos pontos horizonte “K” e “K' ” .....	60
2.12.14	Ângulo de declive “d” .....	61
2.12.15	Escala nas fotografias aéreas .....	62
2.12.16	Escalas nas fotografias aéreas inclinadas .....	63
2.12.17	Cálculo de alturas de objetos .....	67
<b>2.13</b>	<b>Grade canadense .....</b>	<b>67</b>
<b>2.14</b>	<b>Rede de perspectiva da grade canadense.....</b>	<b>69</b>

2.14.1	Preparação da fotografia .....	70
2.14.2	Representação do ponto principal .....	70
2.14.3	Determinação do horizonte verdadeiro.....	70
2.14.4	Traçado da linha principal .....	70
2.14.5	Cálculo do ângulo de depressão aparente “ $\alpha$ ” .....	70
2.14.6	Cálculo do ângulo de declive “ $d$ ” .....	71
2.14.7	Cálculo do ângulo de depressão “ $\theta$ ” .....	71
2.14.8	Traçado da linha do horizonte verdadeiro e do ponto horizonte “ $K$ ” .....	71
2.14.9	Cálculo do ângulo de inclinação “ $t$ ” .....	71
2.14.10	Representação do isocentro “ $i$ ” .....	72
2.14.11	Representação dos pontos de referência à esquerda e referência à direita do ponto horizonte verdadeiro.....	72
2.14.12	Traçado da isoscala .....	72
2.14.13	Representação das divisões sobre a isoscala.....	72
2.14.14	Traçado das linhas dos eixos “ $y$ ” .....	73
2.14.15	Traçado das linhas dos eixos “ $x$ ” .....	73
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>75</b>
<b>3.1</b>	<b>Materiais.....</b>	<b>75</b>
3.1.1	Materiais utilizados nos cálculos dos parâmetros para elaboração da grade canadense.....	75
3.1.2	Materiais utilizados na elaboração da grade canadense .....	75
3.1.3	Materiais usados no planejamento do vôo.....	75
3.1.4	Materiais usados na execução do vôo .....	76
3.1.5	Equipamentos para a obtenção das imagens.....	76
3.1.6	Equipamentos utilizados para as medições dos alvos <i>in locu</i> .....	76
3.1.7	Materiais utilizados para a escolha e medições dos alvos nos negativos .....	77
<b>3.2</b>	<b>Métodos.....</b>	<b>77</b>
3.2.1	Cálculo dos parâmetros para a elaboração da grade canadense.....	77
3.2.1.1	Cálculo do ângulo de depressão “ $\theta$ ” .....	77
3.2.1.2	Cálculo da posição do ponto horizonte “ $K$ ” .....	77
3.2.1.3	Cálculo da posição do isocentro “ $i$ ” .....	78
3.2.1.4	Ponto horizonte verdadeiro à esquerda da linha principal “ $K_E$ ” e ponto horizonte verdadeiro à direita da linha principal “ $K_D$ ” .....	78
3.2.1.5	Cálculo da escala a ser usada na elaboração da grade canadense .....	79

3.2.1.6	Cálculo das subdivisões da isoscala .....	79
3.2.2	Elaboração da rede de perspectiva da grade canadense .....	81
3.2.3	Planejamento do vôo .....	82
3.2.3.1	Escolha da área a ser sensoriada .....	82
3.2.3.2	Proa de vôo .....	83
3.2.3.3	Alturas de vôo e número de passagens para os sensoriamentos .....	83
3.2.3.4	Cálculos realizados através da planilha BKS-V4.....	86
3.2.3.5	Plotagem e traçado na carta .....	86
3.2.4	Processamento do filme.....	86
3.2.5	Escolha dos alvos a serem utilizados na avaliação das grandezas .....	86
3.2.6	Medidas dos alvos <i>in locu</i> .....	87
3.2.7	Cálculo e representação dos horizontes aparentes .....	87
3.2.8	Medidas dos alvos com a grade canadense.....	88
3.2.8.1	Escolha dos fotogramas e cuidados para as medições.....	88
3.2.8.2	Número de medições .....	91
3.2.9	Conversão das medidas em “Ug” para “m” .....	91
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>94</b>
<b>4.1</b>	<b>Parâmetros calculados para a elaboração da grade canadense.....</b>	<b>94</b>
<b>4.2</b>	<b>Grade canadense adequada aos parâmetros da câmara ZEISS TRb 60/24.....</b>	<b>94</b>
4.2.1	Representação dos horizontes aparentes.....	96
<b>4.3</b>	<b>Resultados do planejamento e realização do vôo .....</b>	<b>96</b>
4.3.1	Área selecionada para o sensoriamento.....	96
4.3.2	Proa e alturas de vôo.....	97
4.3.3	Distâncias da vertical da aeronave ao ponto central da área sensoriada .....	98
4.3.4	Realização do vôo .....	98
<b>4.4</b>	<b>Alvos selecionados e suas medidas <i>in locu</i> .....</b>	<b>98</b>
4.4.1	Alvos selecionados para a avaliação das grandezas.....	98
4.4.2	Medidas dos alvos <i>in locu</i> .....	99
<b>4.5</b>	<b>Medidas dos alvos em “Ug” e em “m” .....</b>	<b>100</b>
4.5.1	Medidas em Ug .....	100
4.5.2	Medidas convertidas de “Ug” para “m” .....	103
<b>4.6</b>	<b>Erro verdadeiro nas dimensões avaliadas .....</b>	<b>103</b>
<b>4.7</b>	<b>Erro absoluto por dimensão avaliada.....</b>	<b>106</b>
<b>4.8</b>	<b>Percentuais médios de erro absoluto .....</b>	<b>108</b>

<b>4.9</b>	<b>Vôo e Fotogramas.....</b>	<b>111</b>
<b>4.10</b>	<b>Área e Alvos.....</b>	<b>111</b>
<b>4.11</b>	<b>Grade Canadense .....</b>	<b>112</b>
<b>4.12</b>	<b>Uso da grade canadense .....</b>	<b>112</b>
<b>4.13</b>	<b>Possibilidades de futuros estudos.....</b>	<b>113</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>114</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>115</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A avaliação de grandezas em imagens oblíquas provenientes da câmara ZEISS TRb 60/24 é um tema de grande interesse para o 1º/10º Grupo de Aviação.

O 1º/10º Grupo de Aviação - Esquadrão Poker é uma das unidades de reconhecimento da Força Aérea Brasileira - FAB e está sediado na Base Aérea de Santa Maria - BASM, tendo como missão principal o Reconhecimento Tático. O 1º/10º GAV possui um efetivo de pilotos de reconhecimento, de técnicos em informações de reconhecimento e de fotointérpretes, os quais estão em permanente estudo para atualização dos conhecimentos. Assim, o Comando da Aeronáutica - COMAER e a Universidade Federal de Santa Maria - UFSM firmaram um convênio para a troca de experiências entre o 1º/10º GAV e da UFSM, visando a mútua colaboração de conhecimentos, materiais e pessoal, na área de sensoriamento remoto e afins.

A câmara ZEISS TRb 60/24 é um dos sensores utilizados pelo Esquadrão Poker, sendo operada a bordo da aeronave RA-1. Os fotointérpretes trabalham com os fotogramas, de onde levantam informações para a elaboração dos Relatórios de Missão de Reconhecimento - REMIR. Entretanto a determinação de medidas nas imagens oblíquas, provenientes do referido sensor, carece de estudos sobre novos métodos a serem utilizados pelos fotointérpretes do Esquadrão.

Com vistas ao levantamento de informações sobre o uso da Grade Canadense aplicada às imagens geradas pela câmara ZEISS TRb 60/24, propõe-se a utilização da Geomática como fundamento científico para o estudo da avaliação de grandezas em imagens oblíquas provenientes deste sensor. Acredita-se que assim pode-se gerar importantes subsídios para a fotointerpretação de tais imagens, auxiliando a dirimir ou atenuar dúvidas existentes, bem como a agilização dos cálculos pelo método proposto.

O presente trabalho aborda o planejamento e realização de uma missão de reconhecimento com a aeronave RA-1 equipada com a câmara ZEISS TRb 60/24. Também, todo o estudo necessário à elaboração de uma grade canadense adequada às imagens da referida câmara, assim como o uso da grade canadense na determinação de medidas em suas imagens oblíquas e uma avaliação estatística dos resultados obtidos.

Desta forma, foram definidos os objetivos a serem alcançados, conforme seguem:

## **1.1 Objetivo geral**

Apresentar um estudo sobre o uso da Grade Canadense na avaliação de dimensões em imagens oblíquas provenientes da câmara ZEISS TRb 60/24.

## **1.2 Objetivos específicos**

1.2.1 Planejar e realizar uma missão de reconhecimento com aeronave RA-1 equipada com a câmara ZEISS TRb 60/24;

1.2.2 Elaborar uma grade canadense para avaliação de dimensões de alvos em imagens oblíquas provenientes da câmara ZEISS TRb 60/24; e

1.2.3 Analisar a precisão das medidas obtidas pela referida grade canadense.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

O desenvolvimento do presente trabalho exige o conhecimento de alguns conceitos básicos, para o entendimento do raciocínio desenvolvido, os quais serão vistos a seguir.

### **2.1 Histórico do reconhecimento**

#### 2.1.1 Origem do reconhecimento aéreo

Segundo o manual Introdução ao Reconhecimento, do Centro de Instrução e Adaptação da Aeronáutica - CIAAR (2000), o início do uso do Reconhecimento Aéreo deu-se nas guerras do século XIX, pelo uso de balões com a finalidade de ajustar o tiro da artilharia e observar o movimento das tropas inimigas. Contudo, era apenas um Reconhecimento Visual restrito à Linha de Contato (LC), ou seja, um reconhecimento através da simples observação da faixa de terreno que separava duas tropas beligerantes. Durante a Primeira Guerra Mundial, o avião passou a realizar Missões de Reconhecimento. Nascia aí o Reconhecimento Tático (Rec Tat), que passou a abranger todo o Teatro de Operações (TO). Assim, o reconhecimento se estendeu para além da faixa de terreno entre tropas beligerantes, abrangendo toda a área ocupada pelas forças militares em atrito. Com o progresso tecnológico da aviação, o Reconhecimento Aéreo cresceu em importância durante a Segunda Guerra Mundial, executando Missões de Reconhecimento Visual, Fotográfico, Meteorológico e Eletrônico. Atualmente, o Reconhecimento Aéreo é realizado por uma variada gama de meios e inclui desde as aeronaves até os satélites.

#### 2.1.2 Reconhecimento aéreo no Brasil

Consta no manual Introdução ao Reconhecimento - CIAAR (2000) que o início da Observação Aérea por militares brasileiros, deu-se em 24 de junho de 1867, por meio de balões, durante a guerra entre a Tríplice Aliança e o Paraguai. Após a invasão do território paraguaio, as tropas aliadas sentiram a necessidade de realizar uma observação aérea, frente

às peculiaridades do terreno. Porém, somente em 1956 nasceu a Aviação de Reconhecimento Aéreo na Força Aérea Brasileira (FAB), com a criação do 6º Grupo de Aviação.

### 2.1.3 Aviação de reconhecimento

A missão da Aviação de Reconhecimento está definida no manual Introdução ao Reconhecimento - CIAAR (2000) como sendo a “obtenção e difusão, em tempo útil, de informações de interesse dos diversos comandos das Forças Similares, através da observação visual, de sensores de imagens permanentes e da detecção eletrônica”.

O Reconhecimento Aéreo pode ser empregado no levantamento de áreas ou alvos fixos, móveis e em movimento, tanto em tempos de paz quanto na guerra, tanto antes como após o ataque. Para isto, os esquadrões ou unidades de reconhecimento aéreo são classificados em Unidades de Reconhecimento Tático e Unidades de Reconhecimento Estratégico.

As Unidades de Reconhecimento Estratégico realizam o levantamento de informações relacionadas com a capacidade das nações de empreender a guerra e conduzi-la após sua eclosão, atendendo as necessidades de informações dos comandos supremos.

As Unidades de Reconhecimento Tático realizam o levantamento de informações relacionadas com as batalhas propriamente ditas, atendendo as necessidades de informações do comando do TO e dos comandos de unidades e frações de tropas. Possuem a capacidade de desdobrarem-se rapidamente para diversas localidades, podendo operar ao longo da periferia das forças inimigas ou executar penetrações no território inimigo e ainda operar em estreita proximidade com as forças de superfície. Desta forma, deve haver perfeita combinação entre os sistemas de apoio, a aeronave e os sistemas sensores, para que o solicitante receba a informação no tempo, formato e conteúdo necessários ao seu emprego.

### 2.1.4 Reconhecimento fotográfico

Também em CIAAR (2000) consta que, dentre sete tipos de Reconhecimento Aéreo, o Reconhecimento Fotográfico é um dos mais eficientes métodos de coleta de informações, sendo realizado por câmaras fotográficas especiais, que são sensores capazes de detectar e registrar imagens em películas fotossensíveis ou sensores digitais.

## 2.2 Sensoriamento remoto

### 2.2.1 Conceito de sensoriamento remoto

Marchetti & Garcia (1989) conceituam Sensoriamento Remoto como sendo a detecção de um objeto sem tocá-lo. Entretanto o conceito de Novo (1992) diz que “Sensoriamento Remoto é a utilização de sensores para a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto entre eles”.

### 2.2.2 Energia eletromagnética

Para IBGE (1999) a forma mais conhecida de energia eletromagnética é a luz visível, cuja propagação se dá através de ondas, segundo a teoria do movimento ondulatório. O sol é colocado como a fonte natural de energia eletromagnética e os *flashes* de câmaras fotográficas, exemplo de fonte artificial. Estas fontes de energia eletromagnética também são citadas por Marchetti & Garcia (1989).

### 2.2.3 Características principais das ondas eletromagnéticas

Novo (1992) diz que a aceleração de uma carga elétrica provoca perturbações no campo elétrico e magnético, que se propagam no vácuo. Estas perturbações são chamadas de Ondas Eletromagnéticas. Pode-se assim definir Ondas Eletromagnéticas como as oscilações dos campos elétricos e magnéticos segundo um padrão harmônico de ondas, ou seja, ondas espaçadas repetitivamente no tempo.

Segundo IBGE (1999) duas são as principais características das ondas eletromagnéticas: o comprimento de onda, que é “a distância entre dois picos consecutivos de ondas eletromagnéticas”, e a frequência, que é “o número de picos que passam por um determinado ponto numa unidade de tempo”. Marchetti & Garcia (1989) dizem que a energia eletromagnética pode ser definida tanto pelo seu comprimento de onda, quanto pela sua frequência, uma vez que o comprimento de onda é igual a velocidade de propagação da onda dividida pela frequência da mesma. Novo (1992) cita que o comprimento de onda é

inversamente proporcional à frequência, ou seja, quanto maior é a frequência de aceleração da carga elétrica, menor será o seu comprimento de onda.

Halliday (2002) coloca que “um raio luminoso é uma onda eletromagnética e que a óptica - estudo da luz visível - é um ramo do eletromagnetismo, cuja fonte predominante é o sol”.

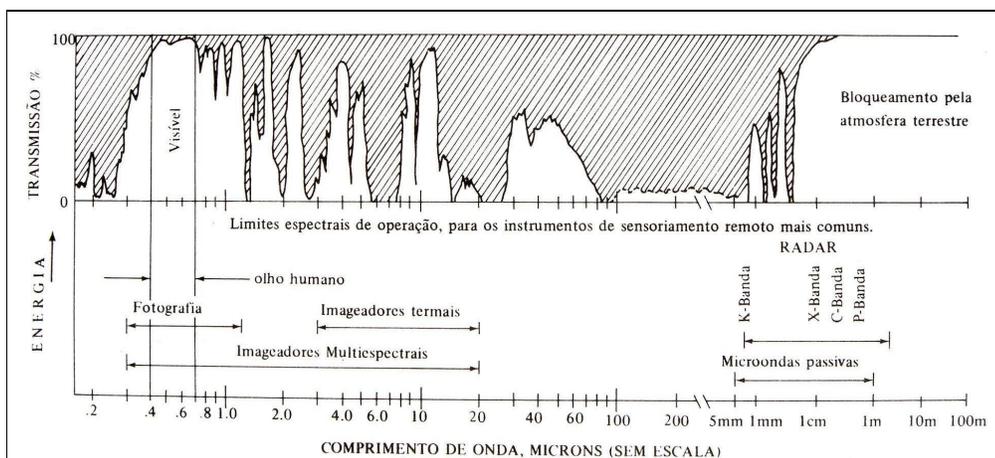
#### 2.2.4 Espectro eletromagnético

As faixas do espectro eletromagnético podem ser observadas na Figura 1.

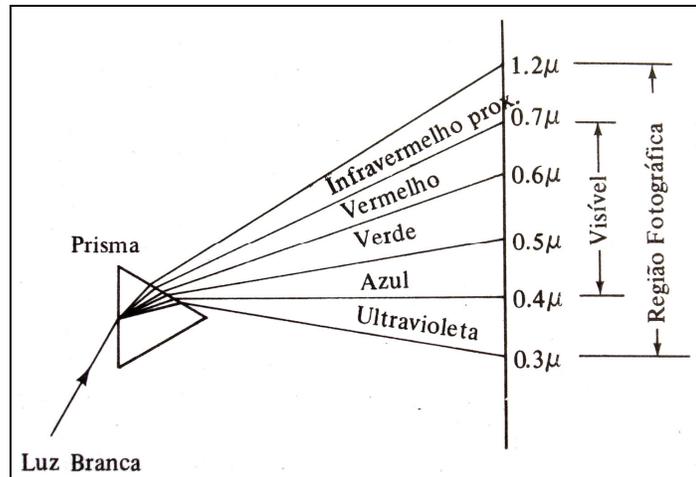
Segundo IBGE (1999), na faixa do visível o comprimento de onda varia de 0,38 a 0,78 $\mu\text{m}$  (onde 1 $\mu\text{m}$  é igual a  $1 \times 10^{-6}$  m).

Conforme Marchetti & Garcia (1989) a visão humana é sensível à faixa de 0,4 a 0,7 $\mu\text{m}$  do espectro eletromagnético e o filme fotográfico é sensível à faixa do espectro que abrange os raios solares, os quais contém radiações de comprimentos de onda de 0,3 a 1,2 $\mu\text{m}$ , conforme apresenta a Figura 2.

A luz solar branca é composta por três cores básicas chamadas primárias: azul, verde e vermelho. Ao passar por um prisma, a luz branca se decompõe nessas três cores básicas, conforme mostra a Figura 2.



**Figura 1 - Espectro eletromagnético**  
(Fonte: MARCHETTI & GARCIA, 1989, p.194)



**Figura 2 - Decomposição da luz branca**

(Fonte: MARCHETTI & GARCIA, 1989, p.196)

### 2.2.5 Conceito de sensor remoto

Marchetti & Garcia (1989) colocam que, somente após entender-se a energia do espectro eletromagnético, pode-se estudar o sensor remoto. Na execução do sensoriamento remoto, precisa-se de um Sensor Remoto, sendo este o equipamento ou instrumento utilizado por um observador para obter dados nas diferentes partes do espectro eletromagnético, incluindo-se as ondas da luz visível, ou seja, captadas pelo olho humano. O mesmo autor também cita que a câmara fotográfica é o primeiro sensor remoto mecânico e o mais comumente utilizado. Esta câmara capta parte das radiações do espectro eletromagnético, que podem ir do visível ao infravermelho próximo, conforme o filme utilizado.

## 2.3 Sistemas Sensores

Novo (1992) diz que o sensor é o equipamento capaz de coletar energia proveniente do objeto, convertê-la em sinal passível de ser registrado e apresentá-lo em forma adequada à extração de informações.

Em IBGE (1999) consta que “um sistema sensor pode ser definido como qualquer equipamento capaz de transformar alguma forma de energia em um sinal passível de ser convertido em informação sobre o ambiente”.

### 2.3.1 Classificação dos sistemas sensores

#### 2.3.1.1 Quanto à fonte de energia

Novo (1992) classifica os sistemas sensores em Sensores Ativos e Sensores Passivos. Os Ativos, por possuírem fonte própria de radiação, emitem radiação e captam o seu reflexo (por exemplo, os radares). Já os Sensores Passivos não possuem fonte própria de radiação (por exemplo, as câmaras fotográficas) e captam radiações refletidas pelos objetos. Estas radiações refletidas são produzidas por outras fontes.

#### 2.3.1.2 Quanto ao tipo de transformação sofrida pela radiação detectada

Novo (1992) classifica os sistemas em Sensores Imageadores e Sensores Não-imageadores. Os Sistemas Sensores Não-imageadores fornecem apenas registros, na forma de dígitos ou gráficos, do objeto observado. Enquanto que os Sistemas Sensores Imageadores fornecem uma imagem do objeto observado. Dentre os imageadores estão os Sistemas Fotográficos.

### 2.3.2 Resolução dos sistemas sensores

Para Novo (1992) a resolução é uma medida da habilidade que um sistema sensor possui em distinguir objetos que estão próximos espacialmente ou distinguir respostas que são espectralmente semelhantes. Conceitua a Resolução Espacial como sendo “a menor separação angular ou linear entre dois objetos”, ou seja, quanto maior a resolução espacial, maior é o poder de distinguir objetos muito próximos. A Resolução Radiométrica depende da sensibilidade do sistema sensor em captar níveis de cinza, usados para registrar os dados coletados, assim, quanto maior o número de valores de níveis de cinza, maior é a resolução radiométrica.

Segundo o Manual de Cartografia da Universidade Federal do Paraná - UFPR, a resolução espacial é determinada pela capacidade do detector em distinguir objetos na superfície terrestre. Em geral, a resolução espacial de um detector é expressa em termos do seu Campo Instantâneo de Visada ou IFOV - *Instantaneous Field of View*. O IFOV define a

área do terreno focalizada a uma dada altitude pelo instrumento sensor. De uma forma simplificada, o IFOV representa o tamanho do pixel. A resolução geométrica de um detector é determinada pela dimensão do IFOV, em mrad (milirad), e pela altitude do sistema sensor, sendo expressa em metros na superfície do terreno. Um IFOV de 1 mrad ( $1 \text{ mrad} = 0,057^\circ$ ) significa que o elemento de terreno abrangido pelo detector, numa altitude nadir de 1.000 m, tem o tamanho de 1 m.

## 2.4 Captação de dados em sensoriamento remoto

Os procedimentos pelos quais a energia eletromagnética é detectada, gravada e interpretada, podem ser de duas formas: Fotograficamente ou Eletronicamente, é o que apresenta NOVO (1992).

No Processo Eletrônico ou Eletro-óptico, são gerados sinais eletro-eletrônicos que, após gravados, podem ser convertidos em imagem. Seus componentes básicos são um sistema óptico e um sistema detector.

Pelo Processo Fotográfico são utilizadas reações químicas na superfície de um filme sensível à luz que é colocado dentro de uma câmara fotográfica para registrar os sinais emitidos pelos objetos, gerando uma imagem. As câmaras fotográficas (objetiva, diafragma, obturador, corpo da câmara e magazine), os filtros e os filmes são os componentes básicos deste sistema.

### 2.4.1 Efeitos atmosféricos

A atmosfera terrestre é composta por substâncias em suspensão, das mais variadas composições, que absorvem, bloqueiam ou dispersam a energia que passa através delas. Contudo existem partes do espectro onde estas interferências atmosféricas são bem menores, tais partes são chamadas janelas atmosféricas, conforme pode ser observado na Figura 1.

Na janela atmosférica de aproximadamente  $0,3 \mu\text{m}$  a  $1,2 \mu\text{m}$ , estão as ondas eletromagnéticas que irão sensibilizar a emulsão do filme fotográfico. Entretanto, partes não desejadas desta energia podem ser retidas antes que atinjam o filme, bastando utilizarem-se filtros, cujos detalhes serão abordados no item “2.9 Filtros”.

## 2.5 Câmara fotográfica

Segundo Daniel (2007) em 1839 Louis Daguerre, em Paris, anunciou o processo fotográfico direto, cuja exposição foi realizada em uma placa de metal sensibilizada pela luz, com uma porção de iodeto de prata, dando origem ao processo fotográfico dos dias atuais. Em 1842 Francis Arago, director do Observatório de Paris, fez o primeiro registro através de imagens fotográficas com o objetivo de auxiliar levantamentos topográficos. Mais tarde, Daguerre desenvolveu o balão cativo de ar quente, sendo este utilizado em 1849 pelo Coronel Aimé Laussedat. O Coronel Laussedat, do Corpo de Engenheiros do exército francês, fez uso de fotografias para mapeamento topográfico e, durante vários anos, investiu seu conhecimento e sua persistência para o desenvolvimento da prática da fotogrametria aérea, com o uso de balões, para a tomada das fotografias. Em 1859 o Coronel Laussedat foi considerado o Pai da Fotogrametria. E em 1858 Nadar, através do balão, consegue obter um alvará para fotos aerostáticas destinadas à realização de levantamentos civis e militares.

Após a invenção da aeronave, em 1902, a Fotografia aérea ganhou campo no desenvolvimento dos trabalhos de mapeamento, reconhecimento, inteligência e estratégia bélica. E nos dias atuais, tornou-se uma ciência que busca o crescimento tecnológico e a automação dos processos, com a finalidade de aumento da linha de produção e diminuição do esforço operacional.

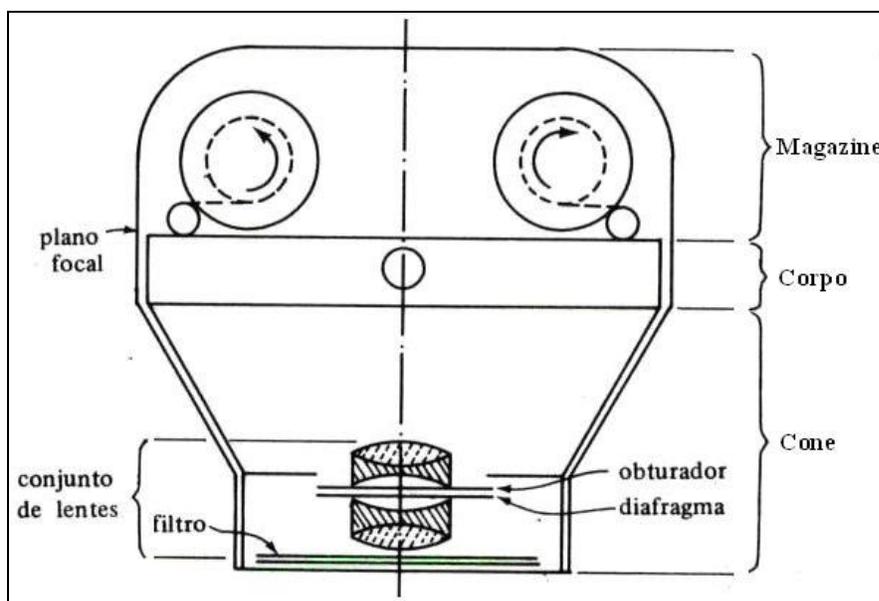
Para Marchetti & Garcia (1989) o princípio básico da máquina fotográfica é uma caixa preta com um pequeno orifício por onde passa a luz que sensibiliza o filme. A partir disto, a câmara recebeu melhoramentos que incluem sistema de lentes, controle de abertura das lentes, controle do tempo do obturador, avanço do filme, entre outros. Os autores citam também que as câmaras aéreas e as terrestres possuem a mesma função, entretanto as aéreas possuem algumas exigências pelo fato de estarem em movimento durante as tomadas das fotografias. Câmaras aéreas exigem exposições curtas, com obturador de alta velocidade (em média 1/2.000 segundos) e filme com emulsão para alta velocidade (ver item 2.8 Filmes), assim como magazine com espaço para receber um grande rolo de filme (ver item 2.5.1.2 Magazine de filme).

Slater (1980 apud NOVO, 1992) comenta que as Câmaras Métricas são utilizadas para fins cartográficos e possuem alto grau de correção para as distorções geométricas. As Câmaras de Reconhecimento apresentam menor controle sobre as distorções geométricas, porém garantem maior fidelidade do registro das características radiométricas da superfície e

permitem a aquisição de fotografias com melhor resolução espacial, prestando-se também à tomada de dados de plataformas espaciais.

### 2.5.1 Principais componentes das câmaras aéreas

Na publicação de Marchetti & Garcia (1989), os autores citam os componentes principais das câmaras aéreas, quais sejam: corpo da câmara, magazine, cone de lentes, obturador, diafragma e filtros, conforma a Figura 3.



**Figura 3 - Partes da câmara aérea**

(Fonte: MARCHETTI & GARCIA, 1989, p.35, modificado)

#### 2.5.1.1 Corpo da câmara

O corpo da câmara abriga todos os componentes mecânicos, elétricos e eletrônicos que praticamente gerenciam todo o seu funcionamento, incluindo-se o mecanismo que movimenta o filme para a posição correta, bem como o que aciona o conjunto obturador e diafragma, nas velocidades e intervalos necessários a cada exposição. Ainda, é a parte onde serão fixados o magazine e o cone de lentes.

### 2.5.1.2 Magazine de filme

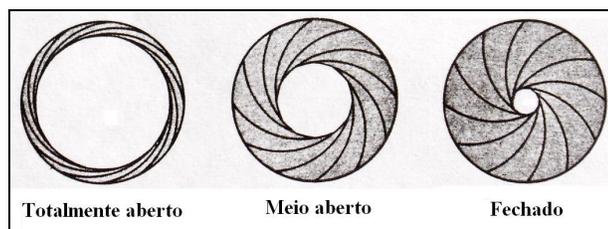
O magazine abriga os carretéis de filme virgem e de filme exposto.

De acordo com a marca e o modelo, as câmaras aéreas podem apresentar o Plano Focal tanto no magazine quanto no corpo de câmara. Segundo Hedgecoe (1982), o Plano Focal é a superfície plana sobre a qual se forma a imagem nítida, em foco. É no plano focal que estará situado o filme quando é tomada a fotografia, possuindo um sistema de vácuo neste local para que, no momento exato da exposição, o filme fique perfeitamente plano.

### 2.5.1.3 Cone de lentes

Sobre cone de lentes, Marchetti & Garcia (1989) dizem que serve para abrigar, em uma de suas extremidades, o conjunto das lentes da câmara, também conhecido como objetiva da câmara, e que na outra extremidade o cone liga-se ao corpo da câmara. Ainda, junto ao conjunto de lentes encontra-se o diafragma e, também de acordo com marcas e modelos de câmaras, pode-se encontrar o obturador.

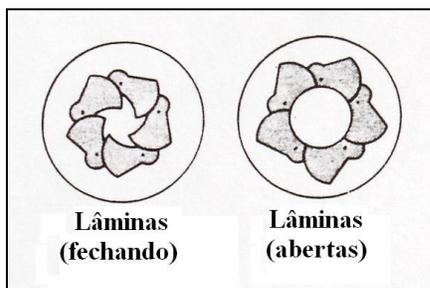
Segundo Hedgecoe (1982) o diafragma simula a íris do olho humano, variando seu diâmetro para controlar a quantidade de luz que atravessará a objetiva e alcançará o filme, interferindo assim na claridade da imagem. A maioria dos diafragmas é formada por um conjunto de delgadas lâminas metálicas, conforme a Figura 4.



**Figura 4 - Diafragmas**  
(Fonte: HEDGE COE, 1982, p.11)

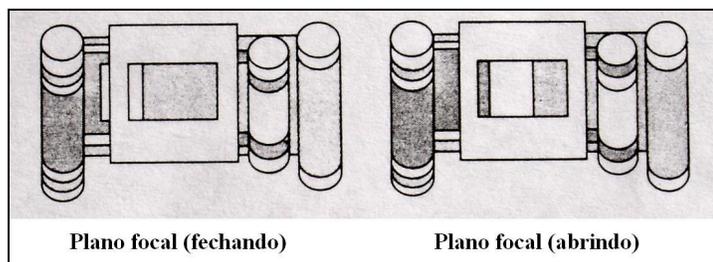
Sobre o obturador, Marchetti & Garcia (1989) citam que tem a função de controlar a luz na câmara. Entretanto, pela bibliografia de Hedgecoe (1982) pode-se complementar o entendimento, pois coloca que o obturador “é um dispositivo do tipo liga-desliga, que permite escolher o momento exato da tomada da fotografia e controlar o tempo total em que a luz

deve incidir sobre o filme”. Hedgecoe (1982) também classifica os obturadores em dois tipos: obturador de anel e obturador de plano focal. O obturador de anel é formado por finas lâminas de metal e fica localizado entre lentes, combinado com o diafragma, Figura 5, enquanto que o de plano focal é formado por duas cortinas e fica junto ao plano focal, Figura 6.



**Figura 5 - Obturador de lâminas**

(Fonte: HEDEGECOE, 1982, p.11)

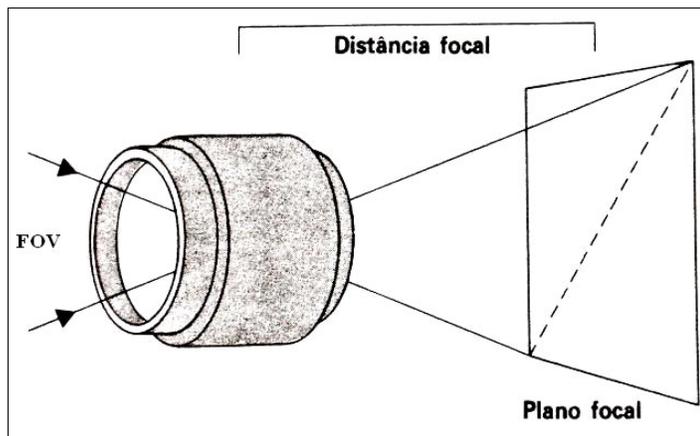


**Figura 6 - Obturador de plano focal**

(Fonte: HEDEGECOE, 1982, p.11)

Hedgecoe (1982) define distância focal como sendo a distância entre o centro da objetiva e o plano focal. Marchetti & Garcia (1989) comentam que as lentes ajudam a caracterizar uma câmara através de sua distância focal e seu ângulo de campo (FOV - *Field of view*) e classificam as objetivas em dois tipos: as de Distância Focal Curta, que englobam câmaras com objetivas de distâncias focais de até 12 polegadas, e as de Distância Focal Grande, que englobam distâncias focais maiores que 12 polegadas.

As câmaras de reconhecimento aéreo para missões em NBA - Navegação à Baixa Altura (altura de vôo menor que 500 pés) utilizam objetiva de Distância Focal Curta, FOV maior. Já as câmaras de reconhecimento aéreo para missões em NA - Navegação Altante (altura de vôo acima de 1.000 pés) utilizam objetiva de Distância Focal Grande, FOV menor, que são também chamadas LOROP - Longe Range Oblique Photography.



**Figura 7 - Distância focal, plano focal e FOV**

(Fonte: HEDEGECOE, 1982, p.28)

Atkin (2004) define o Ângulo de Campo (*Field of view - FOV*) de uma objetiva como o ângulo através do qual os objetos serão gravados no filme. Sendo que há dois fatores que interferem neste ângulo: a distância focal da objetiva e o tamanho do filme. Para câmaras que formam imagens retangulares, teremos três ângulos de cobertura, ou seja, o FOV horizontal, o FOV vertical e o FOV diagonal. Estes ângulos podem ser calculados por trigonometria, através da Fórmula 1.

$$\boxed{\text{FOV} = 2 \cdot \arctan \left( \frac{d}{f \cdot 2} \right)} \quad (1)$$

Onde:

FOV = ângulo de campo;

d = medida do lado da imagem (podendo ser horizontal ou vertical ou ainda a medida da diagonal);

f = distância focal da objetiva.

## 2.6 Câmara de reconhecimento aéreo

Slater (1983 apud CURRAN, 1986) cita que as câmaras de reconhecimento aéreo têm baixo custo de aquisição e operação, em comparação com as câmaras métricas, entretanto com as desvantagens de apresentar grandes distorções geométricas.

### 2.6.1 Câmara de reconhecimento tático

CIAAR (2000) define que Reconhecimento Tático é aquele voltado para obter informações a nível tático, ou seja, após a eclosão da guerra. Tais informações referentes às condições do(s) inimigo(s), abrangendo desde suas instalações permanentes até os movimentos de suas frações de tropas, com o nível de detalhamento conforme as necessidades do órgão solicitante.

Segundo o mesmo autor, a Câmara de Reconhecimento Tático faz parte de um Sistema Sensor de Reconhecimento Tático. Este sistema visa o cumprimento de Missões de Reconhecimento Tático, operando a bordo de uma aeronave que possua as características necessárias ao cumprimento deste tipo de missão. Assim, a Câmara de Reconhecimento Tático deve possuir características compatíveis com a aeronave e o perfil do Vôo de Reconhecimento Tático, como: resistência dos materiais às variações das intempéries, alta velocidade de obturação, grande abertura do diafragma, rápida velocidade de tracionamento do filme, distância focal compatível com a altura de vôo, entre outros.

### 2.6.2 Câmara ZEISS TRb 60/24

Conforme ZEISS (2006) a Câmara ZEISS TRb 60/24, Figura 8, é uma câmara fotográfica de longo alcance, LONG RANGE HORIZONTAL OBLIQUE VERTICAL - LHOV. Possui objetiva com distância focal de 610mm (24 polegadas), sendo destinada para Missões de Reconhecimento Tático *Stand Off* (à distância), com altura de vôo que pode variar entre 1.000' e 30.000', compatível com velocidade de vôo de até 600kt (1.110Km/h). A Figura 9 apresenta a Aeronave RA-1, do 1°/10° Grupo de Aviação, equipada com a câmara TRb 60/24.

A câmara obtém fotografias de alvos no solo, no sentido ortogonal à direção de vôo, conforme a Figura 10 - Esquema de captação da cena. Possui um mecanismo que gira a objetiva para efetuar o reconhecimento oblíquo direito, oblíquo esquerdo ou vertical. A elevação do eixo óptico na posição oblíqua é de 81°.

Seu FOV, relativo ao lado maior, é de 21° 24' ortogonal à direção de vôo e, relativo ao lado menor, de 10° 42' paralelo à direção de vôo, formando uma imagem retangular, como pode ser visto na Figura 10.

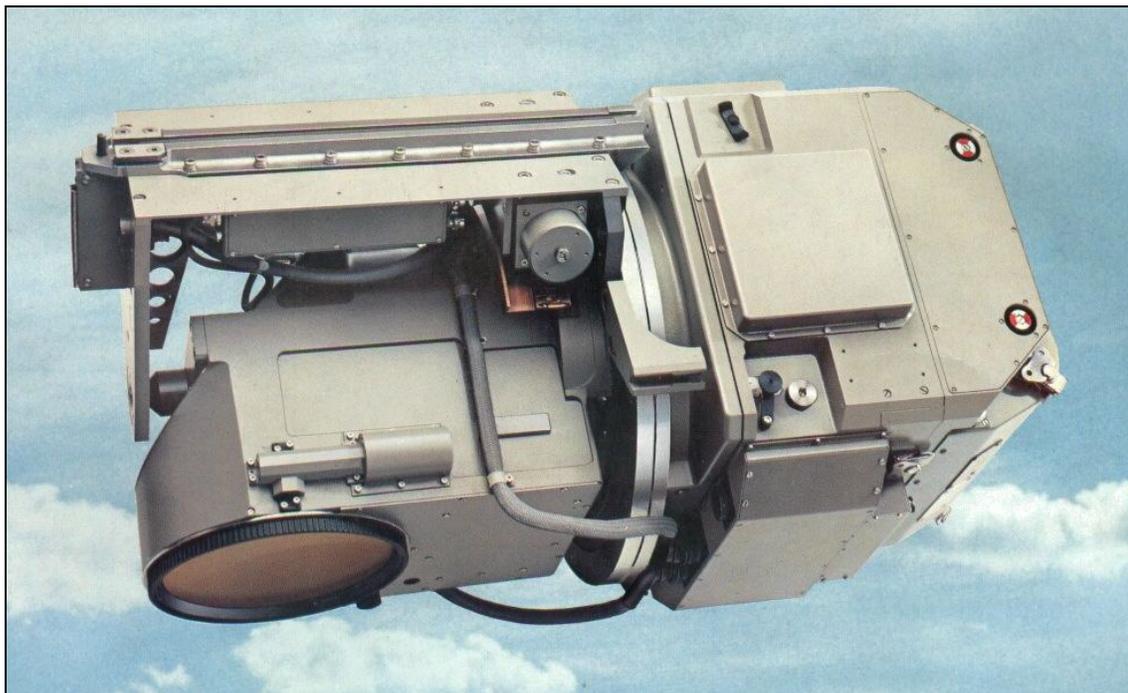
Utiliza filme em rolo com largura de 240mm (9,5 polegadas), tendo formato da imagem de 230mm ortogonal à direção de vôo e 115mm paralelo à direção de vôo. É recomendado o uso de emulsão pancromática, mas pode utilizar emulsões sensíveis ao infravermelho próximo. Possui um mecanismo compensador de arrastamento (*Forward Motion Compensation* - FMC) que, durante a fase de exposição, movimenta o filme na direção contrária ao vôo, em até 1.300mm por segundo, o que permite minimizar as distorções na formação de imagem. Para isto, um microprocessador recebe indicações da razão V/H (velocidade do avião e altura de vôo), do ângulo de inclinação do eixo óptico, da posição da objetiva (esquerda, vertical ou direita) e da velocidade de obturação.

O controle automático de exposição (*Automatic Exposure Control* - AEC), otimiza o funcionamento conjunto do obturador com o diafragma, levando em consideração a sensibilidade do filme (*Aerial Film Speed* - AFS) e a luminosidade. Esta luminosidade é medida por um fotômetro localizado atrás do filtro, sendo desnecessária compensação do fator filtro. Pode-se usar filtros amarelos, ZEISS B, ou laranjas, ZEISS D, (item 2.9 Filtros).

A câmara permite o uso de filme com índice de sensibilidade de 40 a 980 ASA (item 2.8 Filmes). A regulagem da abertura do diafragma pode variar de f/4 a f/16, em valores contínuos, e a velocidade de obturação pode variar em intervalos de tempo de 1/150 a 1/2000 do segundo.

O sistema de lentes da câmara ZEISS TRb 60/24 possui alcance a partir de 300m ao infinito, com focalização automática associada a um sistema de compensação que considera a espessura do filme e os valores de temperatura e pressão no conjunto óptico.

O Apêndice A apresenta uma imagem obtida com a referida câmara, a 1.000' de altura.

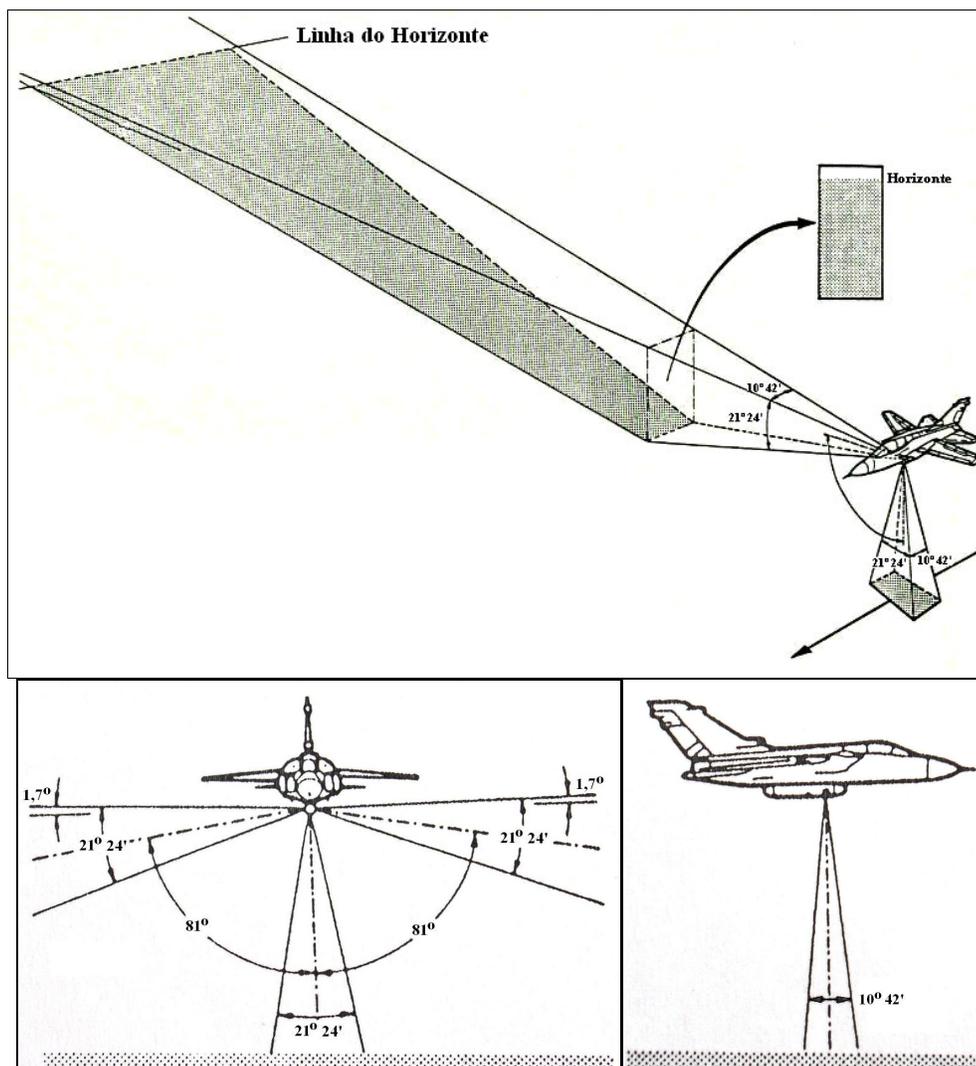


**Figura 8 - Câmara aérea ZEISS TRb 60/24**  
(Fonte: ZEISS, 2006)



Janela direita da câmara ZEISS TRb 60/24

**Figura 9 - Aeronave RA-1 equipada com a câmara ZEISS TRb 60/24**  
(Fonte: 1º/10º Grupo de Aviação, 2008)



**Figura 10 - Esquema de captura da cena**

(Fonte: ZEISS, 2006, modificado)

## 2.7 Condições para fotografar

Na sua literatura, Marchetti & Garcia (1989) comentam sobre as condições ideais para obtenção de fotografias aéreas. A seguir, lista-se alguns requisitos de operação considerados ideais para o momento exato da exposição de uma fotografia aérea oblíqua:

- as condições atmosféricas deve ser perfeitas;
- a câmara deve permanecer perfeitamente estável;
- a superfície da emulsão do filme deve estar perfeitamente planificada e orientada em relação às lentes;

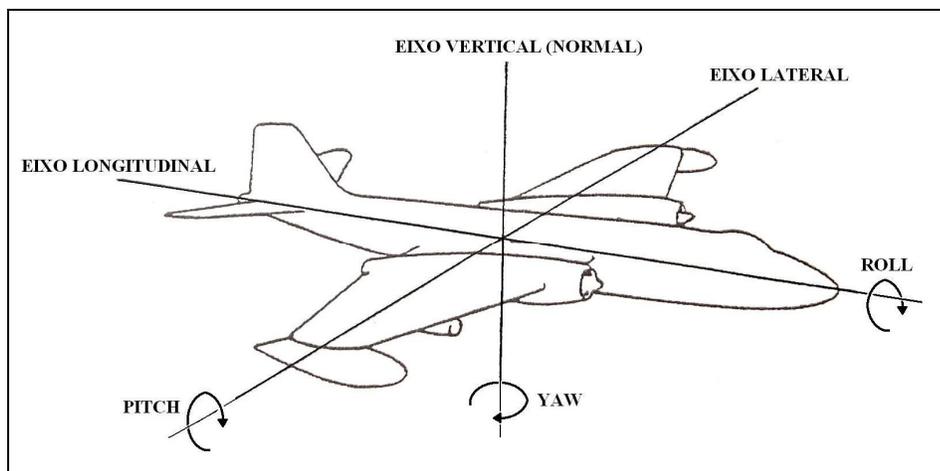
- d) a orientação da câmara deve estar exatamente como o planejado;
- e) o ângulo de inclinação do eixo ótico da lente deve estar exatamente no valor determinado;
- f) a exposição deve ser feita exatamente na posição e na altitude previamente planejadas; e
- g) não deve haver nenhum movimento do avião com relação à terra.

Na prática não se consegue atender a plenitude destas condições ideais, dentre outras que aqui não foram citadas. Entretanto os problemas resultantes podem ser minimizados ou corrigidos por meio de recursos mecânicos, ópticos e matemáticos.

### 2.7.1 Movimentos da plataforma

Todo e qualquer movimento da aeronave que está transportando uma câmara de reconhecimento poderá causar algum tipo de influência no registro das imagens. Pegoraro (2000) diz que “o avião em vôo é livre para mover-se em qualquer direção: pode picar, cabrar, curvar e derrapar ou ainda combinar qualquer destas manobras”. Desta forma, o autor coloca os possíveis movimentos de rotação da aeronave em torno de seus três eixos, conforme a Figura 11 e descrições abaixo:

- a) ROLL - movimento de rotação em torno de eixo longitudinal, ocorrendo quando a aeronave abaixa uma asa, conseqüentemente levantando a outra, geralmente para realizar curvas em vôo;
- b) PITCH - movimento de rotação em torno de eixo lateral, ocorrendo quando a aeronave “cabra” (movimento de mergulho no ar para descida) ou “pica” (movimento para subida em vôo); e
- c) YAW - movimento de rotação em torno de eixo vertical, ocorrendo quando a aeronave muda de direção, sem o movimento das asas, ou quando voa corrigindo a sua trajetória em função do vento (como se estivesse derrapando de lado no ar).



**Figura 11 - Movimentos do avião em torno de seus eixos**

(Fonte: PEGORARO, 2000, p.43)

## 2.8 Filmes

Para este trabalho, direcionou-se os conhecimentos para o filme preto e branco, em função de ser este o tipo de filme mais utilizado na câmara ZEISS TRb 60/24.

Sabins (1997) conceitua o filme fotográfico como um composto de uma fina camada de poliéster e gelatina. O poliéster dá rigidez ao filme e a gelatina contém os cristais de haletos de prata, os quais são sensibilizados pelos raios luminosos que passam pela objetiva durante o tempo que o obturador estiver aberto. Esta sensibilização é chamada de imagem latente a qual é transformada em imagem visível após o processo de revelação.

Os filmes pancromáticos terrestres e aéreos possuem praticamente a mesma composição (com mudanças na sensibilidade), mesmo processo de revelação (com mudança na composição dos químicos) e negativo com iguais características de imagem.

Um fator importante é a sensibilidade dos filmes que, de acordo com Hedgecoe (1982), são padronizados segundo uma escala de índices. A escala mais usada é do sistema ISO - Internacional Standardization Organization - que é equivalente à escala do sistema ASA - American Standard Association - cujos valores mais usuais estão apresentados na Tabela 1. A mesma tabela apresenta a classificação dos filmes quanto ao seu grau de rapidez, conforme o Índice de Sensibilidade. Segundo EEAR (1997) os filmes com índice de sensibilidade menor do que 50 ASA são classificados como Filmes Lentos e precisam de maior tempo de obturação. Filmes Médios possuem índice de sensibilidade entre 50 e 160 ASA. Os Filmes Rápidos possuem índice de sensibilidade entre 160 e 800 ASA. Filmes com índice de

sensibilidade maior do que 800 ASA são classificados como Filmes Ultra-rápidos e precisam de menor tempo de obturação.

**Tabela 1 - Índices de sensibilidade de filmes**

ISO ou ASA	FILMES
16	Lentos
32	
64	
100	Médios
125	
160	
200	Rápidos
400	
800	
1250	Ultra-rápidos
2000	

Fonte: HEDGECOE, 1982, p.39, modificado.

## 2.9 Filtros

Marchetti & Garcia (1989) dizem que a atmosfera possui várias substâncias em suspensão que funcionam como filtros dos raios luminosos que através dela passam, conforme já citado no item “2.4.1 Efeitos atmosféricos”. Um exemplo é a névoa que se forma na atmosfera, devido à dispersão ocorrida com a radiação da luz cor azul. Entretanto, pode-se atenuar este problema utilizando-se filtros. Estes nada mais são do que vidros ou filmes de gelatina sólida, que são colocados entre a lente da objetiva e a cena a ser fotografada, visando impedir que determinados comprimentos de onda atinjam a emulsão. No caso da névoa usa-se filtro amarelo que absorve comprimentos de onda da cor azul e ultravioleta.

EEAR (1997) nos coloca que em fotografia aérea a principal finalidade dos filtros é eliminar os efeitos da bruma, aumentando o contraste na imagem. A bruma são pequenas partículas de poeira e vapor d’água em suspensão, que dispersam a luz azul, provocando um véu no filme e deixando a imagem menos nítida. A mesma publicação apresenta a Tabela 2 com os tipos de filtros recomendados e respectivas alturas de vôo para uso.

**Tabela 2 - Tipos de filtros e aplicações**

Filtro		Altura de vôo	Filme	Finalidade
Branco	KL	< 3.000 ft		Polarizador
Amarelo	B	3.000 a 10.000 ft	Pancromático	Barra a bruma e o azul
Laranja	D	> 10.000 ft		
Vermelho	H			Barra o laranja, o verde, o azul e a bruma
Infravermelho	L	qualquer	Infravermelho	

Fonte: EEAR - Fotografia Aérea I, 1997, p.55.

## 2.10 Fotografia

Marchetti & Garcia (1989) consideram a fotografia como a ferramenta de trabalho mais importante do sensoriamento remoto por ser o sensor mais antigo feito pelos homens e, além de operar na região do visível do espectro e proximidades, é duas a três vezes mais sensível que a nossa visão.

Segundo IBGE (1999) chama-se de Fotograma a fotografia obtida por câmaras especiais, que possuem características ópticas e geométricas adequadas à retratação acurada dos dados do terreno, com os pormenores topográficos e planimétricos, fornecendo elementos suficientes para a medição das relações entre imagem e realidade. Emprega-se este termo tanto para os negativos originais como para as cópias e diapositivos.

### 2.10.1 Fotografia aérea

Para Sabins (1997) a Fotografia Aérea é um método compacto de arquivo de informações sobre a superfície terrestre. Salienta que a fotografia possui em torno de “ $25 \times 10^9$ ” unidades de informação em cada “ $\text{cm}^2$ ”, valor ainda não alcançado pelas imagens digitais.

Segundo Disperati (1995), a Fotografia Aérea é aquela obtida com câmara fotográfica instalada em uma aeronave ou com o fotógrafo a bordo desta. IBGE (1999) cita que a Fotografia Aérea é apenas um dos diferentes tipos de imagens provenientes do sensoriamento remoto, enquanto Marchetti & Garcia (1989) classificam em dois os tipos de fotografias aéreas: Fotografia Vertical e Fotografia Oblíqua (Alta ou Baixa).

### 2.10.2 Fotografia aérea vertical

Disperati (1995) conceitua Fotografia Aérea Vertical como sendo aquela que é obtida com o eixo ótico da câmara apontando verticalmente, no momento da sua tomada, equivalente à linha do fio do prumo ou tão próximo dela quanto possível, aceitando-se uma inclinação máxima de 3°.

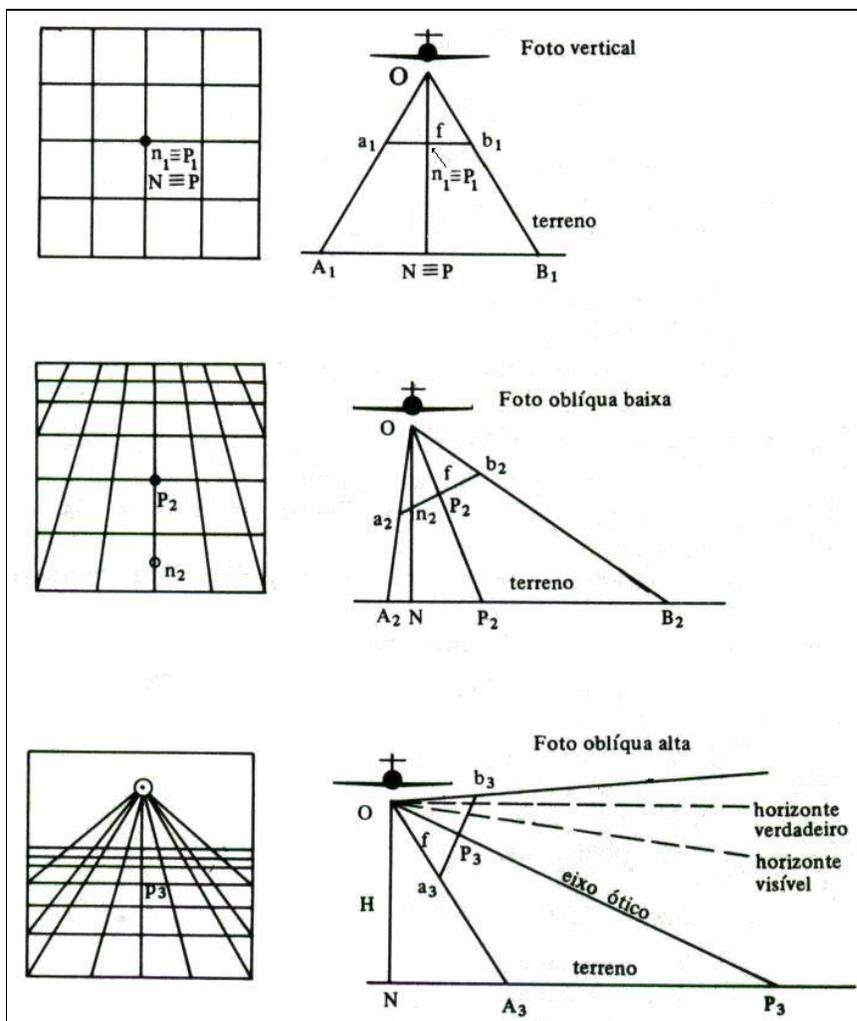
### 2.10.3 Fotografia aérea inclinadas

Disperati (1995) conceitua Fotografia Aérea Inclinada como sendo aquela obtida com o eixo ótico da câmara dirigido, intencionalmente ou não, para qualquer posição entre as linhas horizontal e a vertical, ou seja, com a câmara posicionada obliquamente, tendo o eixo ótico da câmara uma inclinação maior que 3°.

Marchetti & Garcia (1989) dizem que quando o eixo ótico da câmara é intencionalmente inclinado em relação à vertical, denomina-se Fotografia Obliqua. E, se nesta fotografia oblíqua o desvio foi suficiente para incluir o horizonte aparente (visível), denomina-se Fotografia Oblíqua Alta. Mas, caso a fotografia oblíqua não inclua o horizonte aparente, eixo ótico com pouco desvio em relação à vertical, denomina-se Fotografia Oblíqua Baixa. Destes mesmos autores foi extraída a Figura 12.

O primeiro desenho da Figura 12 mostra um alvo como uma rede de quadrados, resultado de uma fotografia perfeitamente vertical. No segundo desenho da Figura 12, as linhas verticais convergem para um ponto fora do plano da fotografia, gerando uma rede de trapézios como resultado de uma fotografia oblíqua baixa. O terceiro desenho da Figura 12 representa as linhas de uma fotografia oblíqua alta, sendo semelhante a oblíqua baixa, com a diferença de que nesta aparece o ponto de convergência das linhas verticais. Percebe-se claramente que a deformação da imagem nas fotografias oblíquas vai aumentando da parte inferior para a superior da fotografia, tendo um decréscimo da escala neste mesmo sentido.

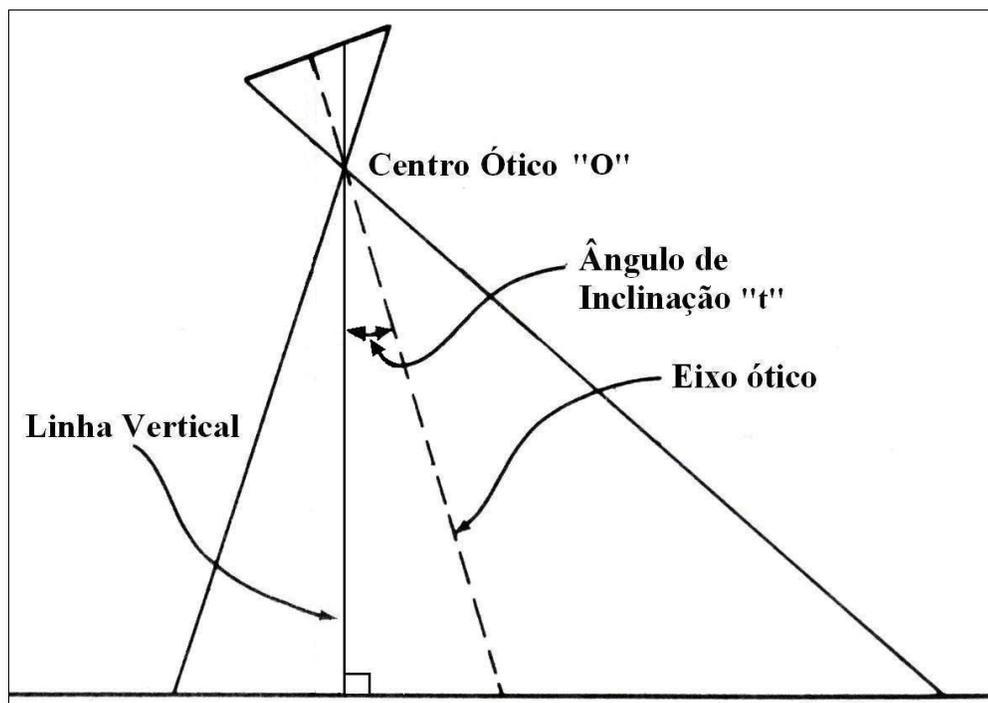
Disperati (1995) ainda comenta sobre a classificação das fotografias oblíquas em relação à posição da câmara na aeronave e o direcionamento de seu eixo ótico, sendo elas: Fotografias Oblíquas Frontais, Fotografias Oblíquas Laterais e Fotografias Oblíquas para Trás.



**Figura 12 - Relações geométricas entre fotografias: vertical, oblíqua baixa e oblíqua alta**  
 (Fonte: MARCHETTI & GARCIA, 1989, p. 27)

#### 2.10.4 Ângulo de inclinação “t”

Segundo Disperati (1995), Ângulo de Inclinação é o ângulo formado pelo eixo óptico da câmara e pela linha vertical, equivalente a uma linha de fio de prumo, ambas passando pelo ponto chamado centro de perspectiva “O”, que é o próprio centro óptico da objetiva, conforme se observa na Figura 13.

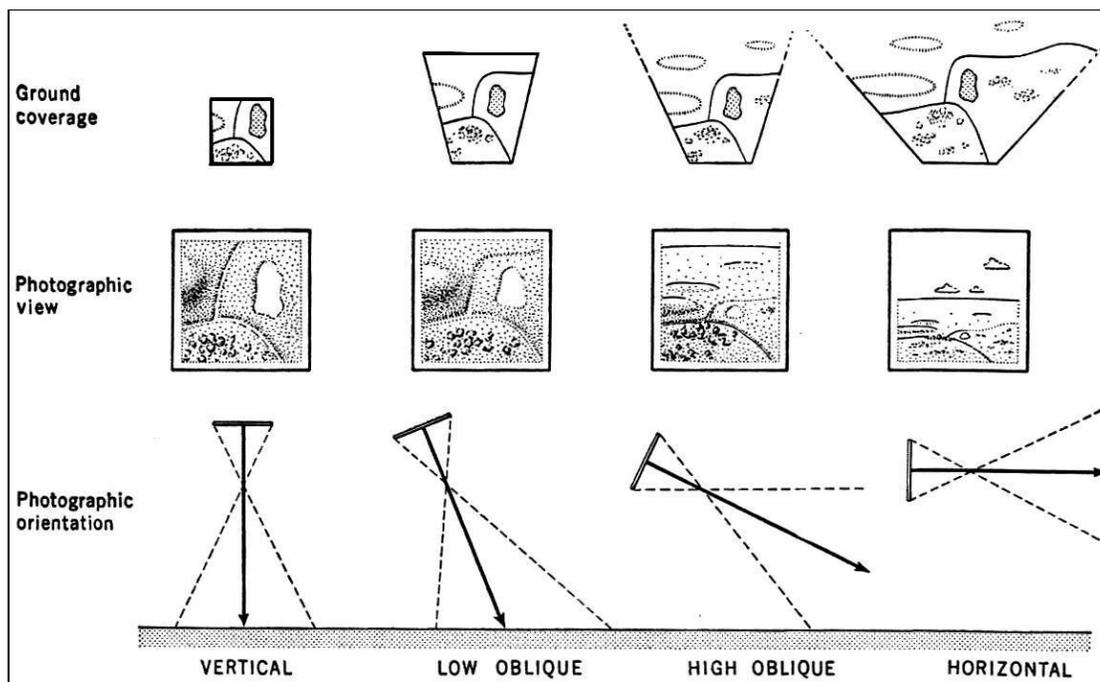


**Figura 13 - Inclinação da fotografia aérea**

(Fonte: MARCHETTI & GARCIA, 1989, p.50)

Spurr (1960, p.14) também apresenta a Figura 14 onde se observa as características das fotografias em função de seu Ângulo de Inclinação, ou seja, verticais e inclinadas. O primeiro desenho da referida figura representa a tomada de uma Fotografia Vertical, o segundo de uma Oblíqua Baixa e o terceiro de uma Oblíqua Alta. Como se pode observar, quanto maior o ângulo de inclinação maior será o tamanho da área fotografada, assim como mais distorcida será sua forma trapezoidal em relação à forma quadrada da Fotografia Vertical. Isto tem influência direta na escala fotográfica, o que será abordado no item “2.12.16 Escalas nas fotografias aéreas inclinadas”.

Disperati (1995) diz que a escolha de um Ângulo de Inclinação para a tomada das fotografias aéreas dependerá de uma série de fatores, tais como: objetivo e finalidade do trabalho, câmara fotográfica e aeronave disponível, detalhes necessários nas fotografias, conhecimento da arte de obtenção das fotografias, entre outros.



**Figura 14 - Efeitos do ângulo de inclinação**

(Fonte: SPURR, 1960, p.14)

### 2.10.5 Vantagens da fotografia inclinada

Gustafson (1980 apud CURRAN, 1986) comenta que para reconhecimento militar as fotografias oblíquas são mais usadas que as verticais. Em CIAAR (2000) consta que, antes do advento dos mísseis superfície-ar, a maioria das interpretações militares era sobre fotografias verticais, obtidas com aeronaves desarmadas, entretanto as atuais missões de reconhecimento tático militar exigem aeronaves armadas, com sistemas de autodefesa e sobrevôos a baixa altura, com um grande volume de fotografias táticas obtidas com câmaras oblíquas.

Em comparação com a vertical, a fotografia oblíqua fornece ao intérprete uma visão familiar dos objetivos, tornando-os facilmente identificáveis. As fotografias oblíquas são excelentes para mostrar o perfil de construções, abrangência de grandes indústrias, etapas de áreas em construção, rotas de transporte, entre outros, é o que cita Wolf (1988 apud DISPERATI, 1995). Ainda, são valiosas para usos militares em planejamentos, reconhecimentos, fotointerpretações e inteligência militar.

Segundo Disperati (1995), ao ser comparada com a correspondente vertical, a fotografia aérea inclinada apresenta as seguintes vantagens:

- a) uma fotografia inclinada abrange mais área que a vertical obtida a mesma altura de vôo e com a mesma lente;
- b) maior facilidade para evitar cobertura de nuvens;
- c) a sua interpretação é mais natural, porque a visão de perfil é similar àquela de um observador localizado numa colina; e
- d) melhor visualização de objetos que estejam encobertos por outros objetos, como por exemplo em baixo de árvores (PAINE, 1981, p. 23-24 apud DISPERATI, 1995, p. 18).

O próprio Disperati (1995) complementa tais vantagens ao citar a literatura de Carre (1975), com os seguintes fatores:

- a) facilidade de obtenção;
- b) aspecto agradável e familiar da imagem, que acarreta consequentemente um interesse no assunto geométrico, temático, etc;
- c) aumento na superfície do terreno coberta de um mesmo ponto de vista, ou seja, acarreta maior economia pelo menor número de fotografias (CARRE, 1975, p. 166 apud DISPERATI, 1995, p. 18-19).

## 2.11 Fotointerpretação

Para IBGE (1999) “fotointerpretação é a técnica de analisar imagens fotográficas com a finalidade de identificar e classificar os elementos naturais e artificiais e determinar o seu significado”. Marchetti & Garcia (1989) consideram que “Fotointerpretação é a arte de examinar as imagens dos objetos nas fotografias e de deduzir a sua significação”.

Marchetti & Garcia (1989) dizem que as técnicas básicas de fotointerpretação têm permanecido as mesmas durante os últimos anos, porém os instrumentos estão se tornando cada vez mais sofisticados. Para Estes *et al* (1974) a extração de medidas precisas de fotografias aéreas exige conhecimento sobre as propriedades geométricas destas fotografias, assim como é imprescindível se conhecer os equipamentos e processos de visualização e medição.

CIAAR (2000) diz que o vôo a baixa altura, requerido pela sobrevivência em missões de reconhecimento tático militar, provoca alterações constantes de proa, velocidade e altura, tornando as informações sobre os alvos menos precisas e exigindo que os fotointérpretes encontrem recursos e métodos de extração de medidas para melhorar as precisões.

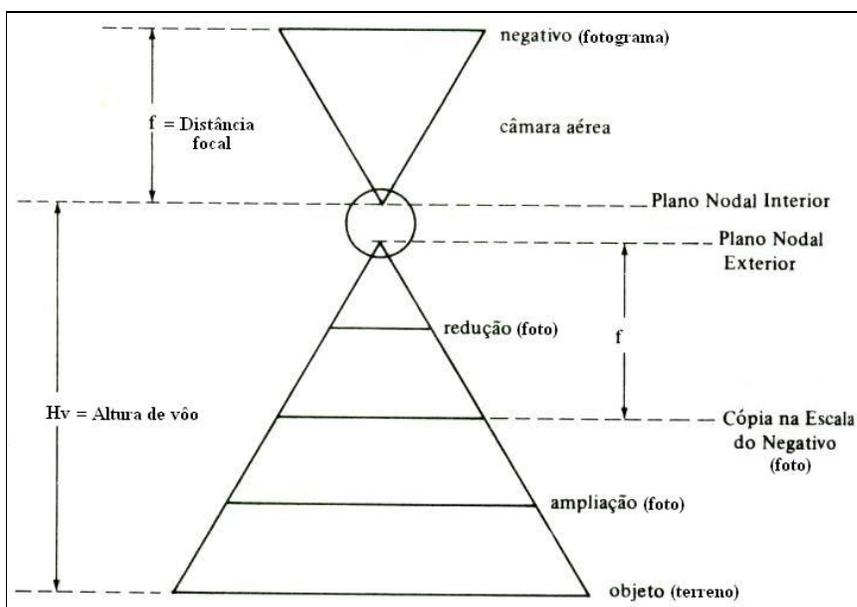
Desta forma, visando o conhecimento básico para a fotointerpretação de fotografias aéreas oblíquas, em especial as provenientes do Sensor ZEISS TRb 60/24, o item “2.12 Geometria básica da fotografia aérea oblíqua” estará abrangendo as principais propriedades geométricas deste tipo de fotografia, assim como o item “2.13 Grade canadense” versará

sobre o Método da Grade Canadense, que é um dos métodos usados na extração de medidas de fotografias aéreas oblíquas e faz parte dos objetivos deste trabalho.

## 2.12 Geometria básica da fotografia aérea oblíqua

Algumas grandezas e parâmetros servem tanto para as fotografias verticais como para as oblíquas, outros atendem apenas a um dos dois tipos. Porém, como o foco deste trabalho é sobre as fotografias oblíquas, procurou-se levantar definições e conceitos que a elas fossem pertinentes, direcionando o estudo para este tipo de fotografia.

Disperati (1995) diz que a geometria da fotografia aérea oblíqua é muito mais complexa do que a correspondente vertical, pois são consideradas diversas outras variáveis além da Distância Focal da Câmara “ $f$ ” e da Altura de Voo “ $H_v$ ”. Para Marchetti & Garcia (1989), o estudo da geometria básica da fotografia aérea, pode iniciar pela análise da Figura 15, bem como de algumas definições principais.

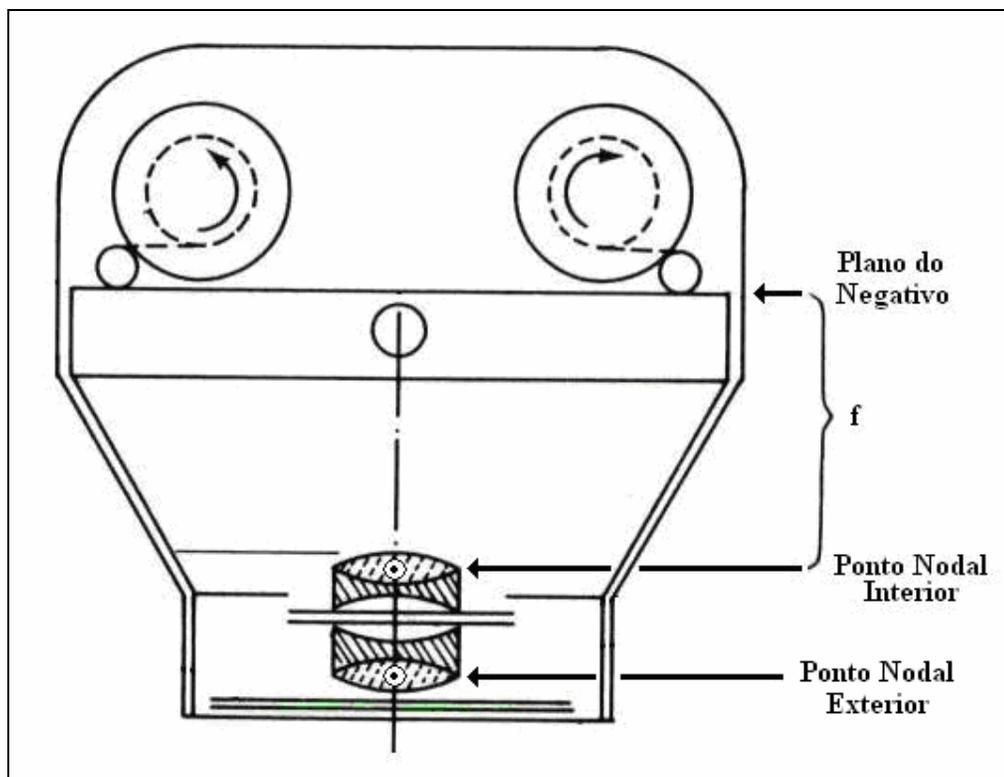


**Figura 15 - Geometria básica da fotografia**

(Fonte: MARCHETTI & GARCIA, 1989, p.72)

### 2.12.1 Distância focal “f”

Segundo Marchetti & Garcia (1989), Distância Focal “f” é a medida entre o Plano do Negativo (plano focal da câmara) e o Ponto Nodal Interior (centro óptico da lente na parte interior da objetiva), em sentido perpendicular ao Plano Focal, conforme a Figura 16.

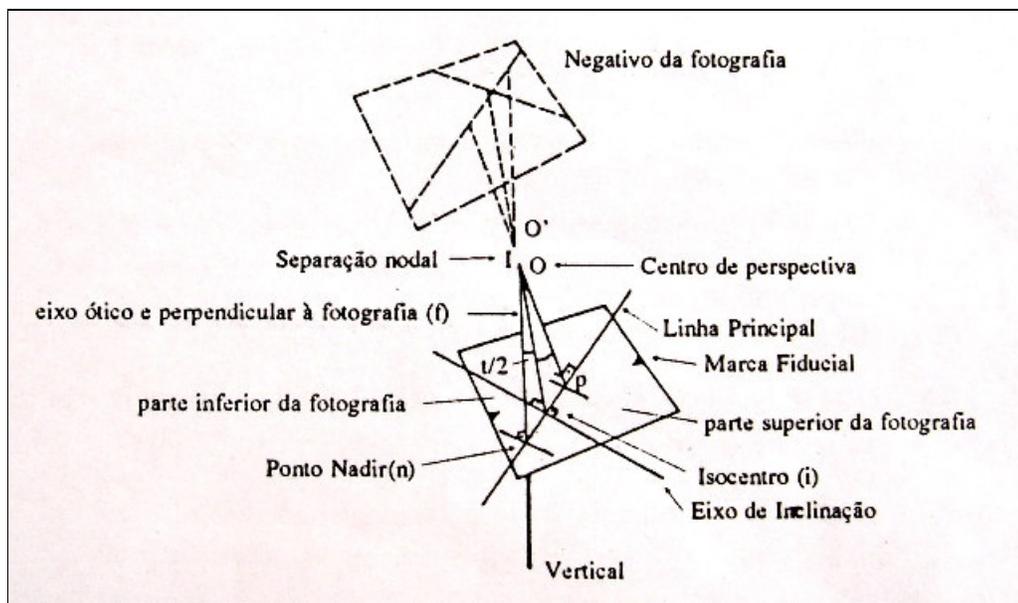


**Figura 16 - Distância focal**

(Fonte: MARQUETTI & GARCIA, 1989, p.35, modificado)

Para Disperati (1995) a Distância Focal “f” é a distância do Ponto Nodal Exterior “O” ao Ponto Principal “P” da fotografia, conforme mostra a Figura 17. Entendendo-se que esta esteja na mesma escala do negativo.

Pelos dois conceitos, entende-se que se trata de distâncias de mesmo valor, apenas definidas de formas diferentes.



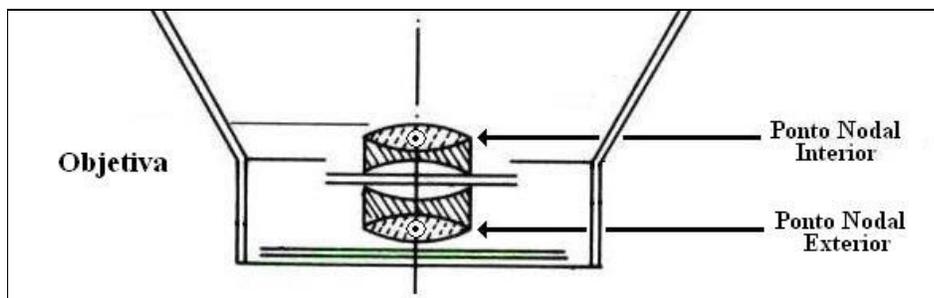
**Figura 17 - Variáveis de uma fotografia aérea inclinada**

(Fonte: DISPERATI, 1995, p.43)

### 2.12.2 Pontos nodais

Segundo Disperati (1995) todas as objetivas de lentes ou conjunto de lentes possuem dois pontos nodais. O Ponto Nodal Incidente ou Anterior é o centro da lente que está na parte frontal (anterior) da objetiva e o Ponto Nodal Emergente ou Posterior é o centro da lente que está na parte posterior da objetiva. Separação Nodal é a distância entre os pontos nodais.

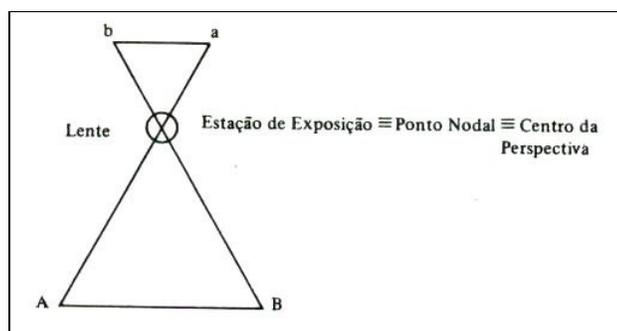
Marchetti & Garcia (1989) não conceituam os Pontos Nodais, mas ilustram o Plano Nodal Interior e o Plano Nodal Exterior, conforme a Figura 15, os quais correspondem aos Pontos Nodais de mesmo nome. Entendendo-se assim que o Plano Nodal Interior é o plano perpendicular ao eixo óptico da câmara e que contém o Ponto Nodal Interior. Enquanto que o Plano Nodal Exterior é o plano perpendicular ao eixo óptico da câmara e que contém o Ponto Nodal Exterior, conforme a Figura 18.



**Figura 18 - Pontos nodais**

(Fonte: MARQUETTI & GARCIA, 1989, p.35)

Na Figura 19, observa-se que Marchetti & Garcia (1989) ilustraram apenas um Ponto Nodal, correspondendo ao Centro de Perspectiva e à Estação de Exposição. Neste caso, toma-se por Ponto Nodal o centro da objetiva, como se ela possuísse apenas uma lente, chamada de objetiva de lente simples. Este ponto também passa a ser a referência do Centro de Perspectiva, ou seja, o ponto por onde todos os raios de luz irão passar ao atravessarem a objetiva em direção ao filme. Sobre a Estação de Exposição, considera-se a posição da aeronave no espaço no momento da exposição da fotografia, porém, devido às dimensões da aeronave, toma-se por Estação de Exposição um ponto, que é justamente o Centro de Perspectiva.



**Figura 19 - Centro de perspectiva e estação de exposição**

(Fonte: MARQUETTI & GARCIA, 1989, p.73)

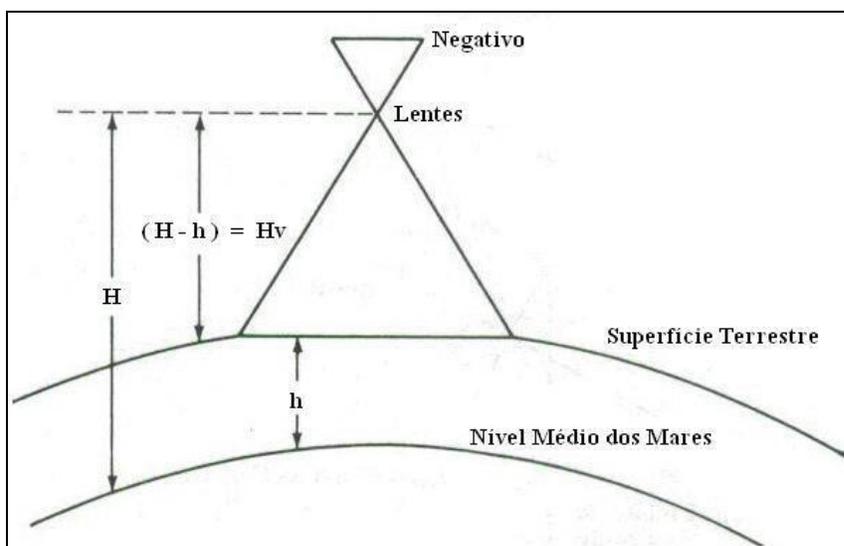
### 2.12.3 Cópia na escala do negativo, redução e ampliação

Na Figura 15, retirada de Marchetti & Garcia (1989), também constam estes termos: negativo, redução e ampliação. Entendendo-se por Cópia na Escala do Negativo, quando a fotografia é confeccionada na mesma escala do negativo, geralmente do tipo cópia por

contato. Já a Redução ou Cópia Reduzida é a fotografia que foi confeccionada com uma escala menor do que a escala do negativo. Enquanto que a Ampliação, ou Cópia Ampliada, é a fotografia que foi confeccionada com uma escala maior do que a escala do negativo.

#### 2.12.4 Altitude de vôo “H”, altura de vôo “Hv” e cota do objetivo “h”

Em Marchetti & Garcia (1989) consta que Altitude de Vôo “H” é a distância vertical acima do plano do nível médio dos mares até a aeronave em vôo. Enquanto que Altura de Vôo “Hv” é a distância vertical acima da superfície terrestre até a aeronave, ou seja, é a altitude de vôo menos a Cota do Alvo “h”, conforme ilustra a Figura 20. CIAAR (2000) diz que a Cota do Alvo “h” é a sua altitude, ou seja, a distância vertical acima do nível médio dos mares até à superfície terrestre, especificamente no ponto onde está o alvo a ser fotografado.



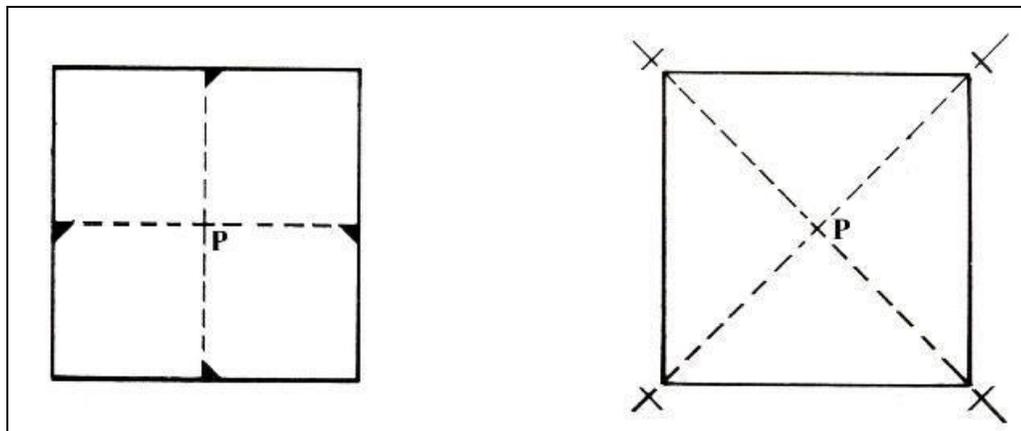
**Figura 20 - Altitude de vôo, altura de vôo e cota do objetivo**

(Fonte: MARQUETTI & GARCIA, 1989, p.73, modificado)

#### 2.12.5 Ponto principal “P”

Para as câmeras de reconhecimento tático o conceito de Ponto Principal se confunde com o conceito de Centro Fiducial, uma vez que a diferença métrica entre estes é considerada desprezível. Assim, Marchetti & Garcia (1989) dizem que o Ponto Principal é o ponto central da fotografia aérea e pode ser obtido através da união das Marcas Fiduciais ou Índices de

Colimação, conforme observa-se na Figura 21. Ainda, a reta perpendicular aos Planos Nodais, que passa pelos Pontos Nodais, também passará pelo Ponto Principal “P”.



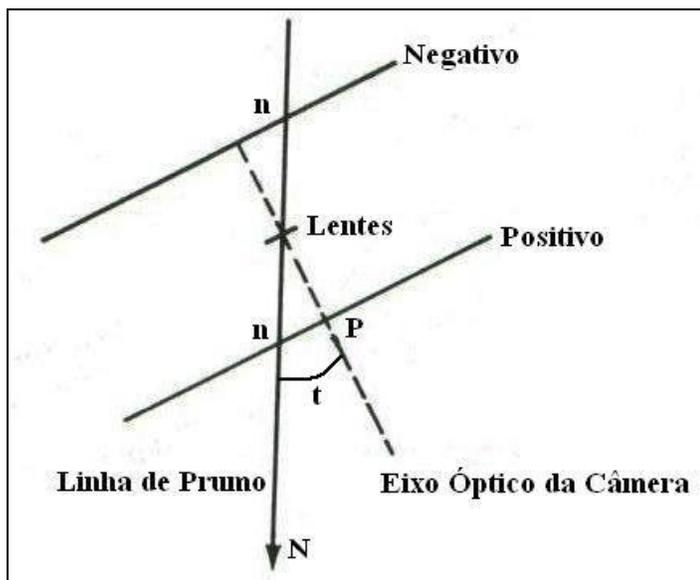
**Figura 21 - Ponto principal e marcas fiduciais**

(Fonte: MARQUETTI & GARCIA, 1989, p.74, modificado)

Disperati (1995) diz que as Marcas Fiduciais são mostradas no meio de cada lado da fotografia aérea ou então em cada um de seus quatro cantos. São ajustadas de forma que a intersecção das linhas traçadas através das Marcas Fiduciais opostas identifica o Ponto Principal, ou seja, a intersecção do eixo óptico com o Plano da Fotografia.

#### 2.12.6 Ponto nadir “n”

Segundo Disperati (1995) o Ponto Nadir é o ponto no qual uma linha de fio de prumo, partindo do Centro de Perspectiva “O”, corta o Plano da Fotografia, conforme pode ser observado na Figura 22.



**Figura 22 - Ponto nadir**

(Fonte: MARQUETTI & GARCIA, 1989, p.74)<sup>1</sup>

A distância do Ponto Principal ao Ponto Nadir “ $m_{pn}$ ” pode ser obtida pela Fórmula 2, conforme Disperati (1995).

$$m_{pn} = f \cdot \tan t \quad (2)$$

Onde:

$m_{pn}$  = distância do ponto principal ao ponto nadir;

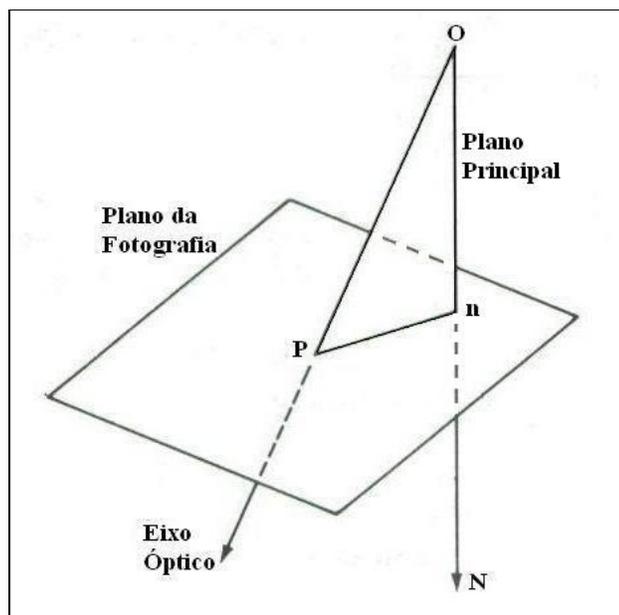
$f$  = distância focal;

$t$  = ângulo de inclinação.

### 2.12.7 Plano principal

Plano Principal é conceituado por Disperati (1995) como o plano vertical que contém o eixo óptico e é perpendicular ao Plano da Fotografia. Pode ser determinado por três pontos, que são o Ponto Principal, o Centro de Perspectiva e o Nadir, conforme mostra a Figura 23.

<sup>1</sup>. Onde: “n” é o ponto nadir, “P” é o ponto principal e “t” é o ângulo de inclinação.

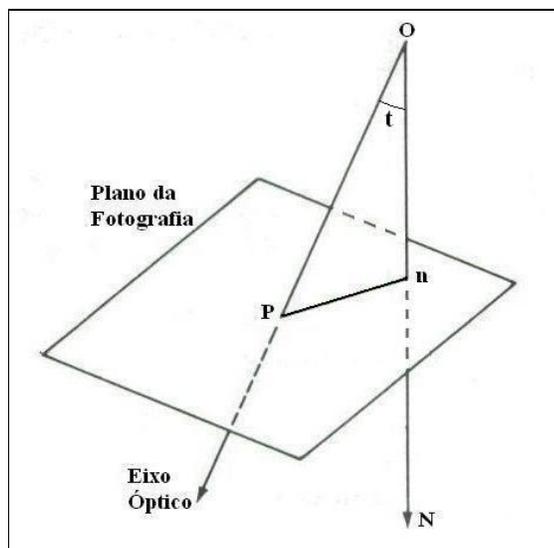


**Figura 23 - Plano principal**

(Fonte: MARQUETTI & GARCIA, 1989, p.76, modificado)

#### 2.12.8 Linha principal

Disperati (1995) conceitua Linha Principal como a linha que passa pelo Ponto Principal e pelo Ponto Nadir, estando sobre o Plano da Fotografia e orientada na direção de maior inclinação da fotografia, ou seja, o mesmo autor explica que “se uma pedra roliça fosse colocada no ponto principal da fotografia inclinada, ela rolaria pela linha principal em direção ao ponto nadir”. O autor cita ainda que a Linha Principal é a linha de intersecção entre o Plano da Fotografia e o Plano Principal. Na Figura 24 uma seção da Linha Principal está unindo o Ponto Principal “P” e o Ponto Nadir “n”.



**Figura 24 - Linha principal**

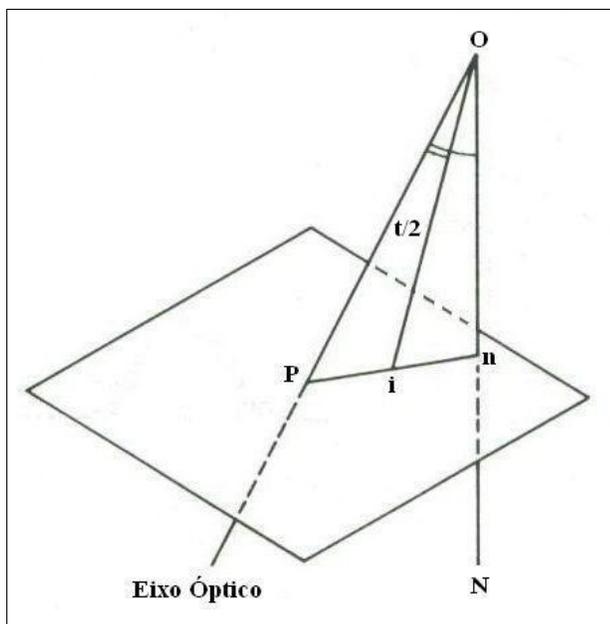
(Fonte: MARQUETTI & GARCIA, 1989, p.76, modificado)<sup>1</sup>

#### 2.12.9 Isocentro “i”

No conceito de Disperati (1995), Isocentro é o ponto onde a reta bissetriz do Ângulo de Inclinação “ $t$ ” corta o Plano da Fotografia, sobre a Linha Principal, conforme ilustrado na Figura 25.

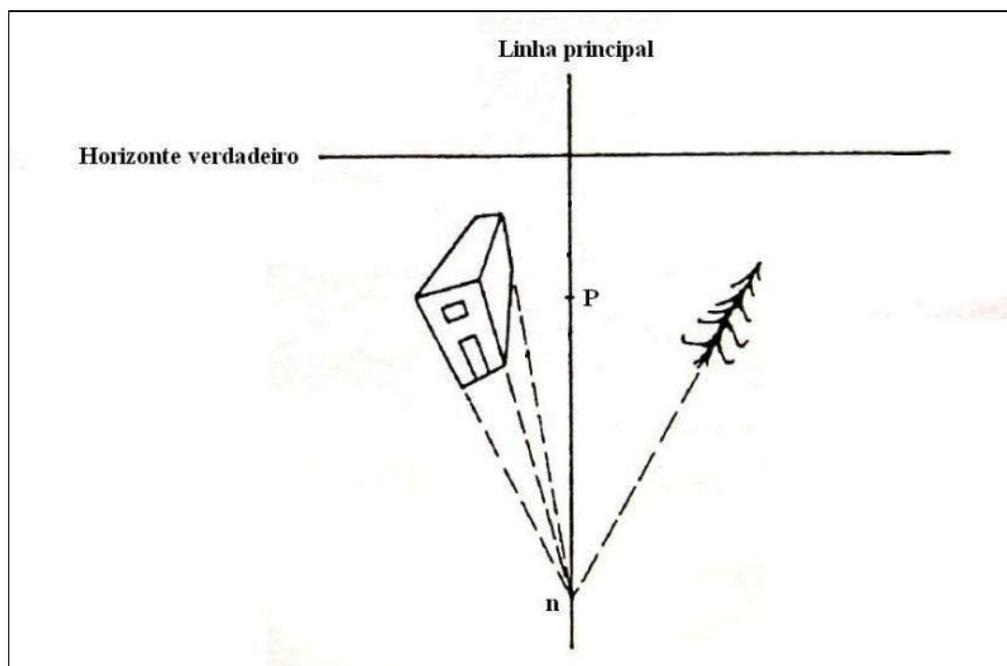
“O isocentro é significativo porque é o centro da radiação para o estudo do deslocamento das imagens devido à inclinação”, esta frase é apresentada na literatura de Marchetti & Garcia (1989). Disperati (1995) diz que a determinação do Ponto Nadir e do Isocentro é difícil em câmaras que não são aerofotogramétricas. Um método prático para determinação do Ponto Nadir, nestes casos, consiste no prolongamento dos lados dos objetos verticais e paralelos no terreno, como pode se observar na Figura 26. Evidentemente que esta situação raramente acontece a não ser em áreas urbanas. Uma vez determinado o Nadir, o Isocentro é facilmente determinado, pois ele encontra-se na metade da distância entre os Pontos Nadir e Principal.

<sup>1</sup> Onde: “O” é o centro de perspectiva e “ $t$ ” é o ângulo de inclinação.



**Figura 25 - Isocentro**

(Fonte: MARQUETTI & GARCIA, 1989, p.76, modificado)



**Figura 26 - Ponto nadir**

(Fonte: KILDFORD, 1979, p.232 apud DISPERATI, 1995, p.49, modificado)

Conforme Disperati (1995), a distância do Ponto Principal ao Isocentro “ $m_{pi}$ ” pode ser determinada pela Fórmula 3.

$$m_{Pi} = f \cdot \tan\left(\frac{t}{2}\right) \quad (3)$$

Onde:

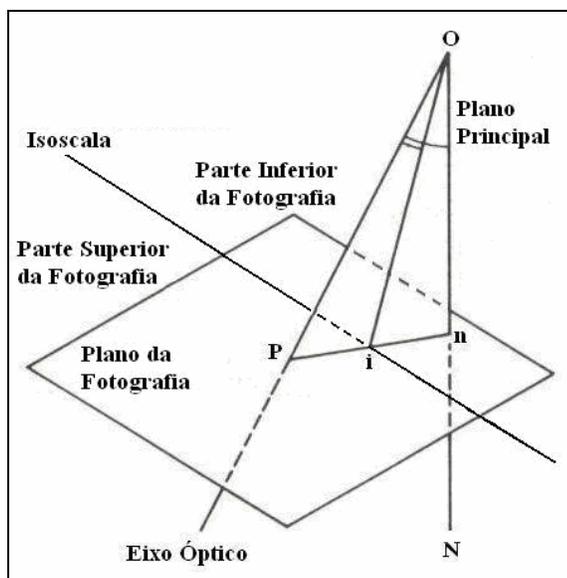
$m_{Pi}$  = distância do ponto principal ao isocentro;

$f$  = distância focal;

$t/2$  = metade do ângulo de inclinação.

### 2.12.10 Isoscala

Segundo Disperati (1995) a Isoscala é a linha perpendicular à Linha Principal e que passa pelo Isocentro, conforme ilustra a Figura 27, também chamada de Paralela Isométrica. Na fotografia aérea oblíqua, a escala ao longo da Isoscala tem o mesmo valor da escala de uma fotografia aérea vertical tomada com a mesma câmara e a mesma altura de vôo. Assim, nas fotografias aéreas oblíquas a fórmula básica da escala, que considera a distância focal em função da altura de vôo  $E = \frac{f}{H_v}$ , pode ser utilizada para o cálculo da escala sobre a Isoscala.



**Figura 27 - Isoscala**

(Fonte: MARQUETTI & GARCIA, 1989, p.76, modificado)

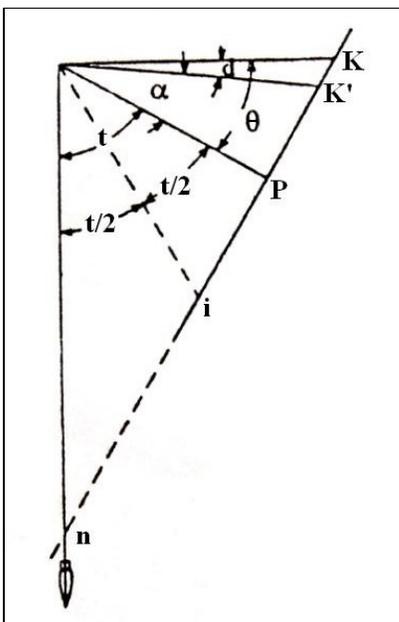
### 2.12.11 Isolinha

Disperati (1995) conceitua Isolinha como cada linha que seja paralela à isoscala, para este caso específico de fotografia oblíqua.

### 2.12.12 Ângulo de depressão “ $\theta$ ” e ângulo de depressão aparente “ $\alpha$ ”

Ângulo de Depressão “ $\theta$ ” é conceituado por Disperati (1995) como o ângulo, no Plano Principal, formado pelo eixo óptico da câmara e a linha do Horizonte Verdadeiro, conforme mostra a Figura 28. O Ângulo de Depressão “ $\theta$ ” é o ângulo complementar do Ângulo de Inclinação “ $t$ ”. Assim, quanto menor o Ângulo de Depressão “ $\theta$ ”, maior será o Ângulo de Inclinação “ $t$ ” e maior será a distância entre os Pontos Principal e Nadir. Ambos os ângulos, Depressão e Inclinação, podem ser usados para caracterizar a inclinação da fotografia aérea.

Ângulo de Depressão Aparente “ $\alpha$ ” é conceituado por Disperati (1995) como o ângulo formado, no Plano Principal, pelo eixo óptico da câmara e a linha do Horizonte Aparente, conforme ilustra a Figura 28.



**Figura 28 - Horizontes e ângulos de depressão aparente e verdadeiro**

(Fonte: MOFFIT, 1967, p.401, modificado)<sup>1</sup>

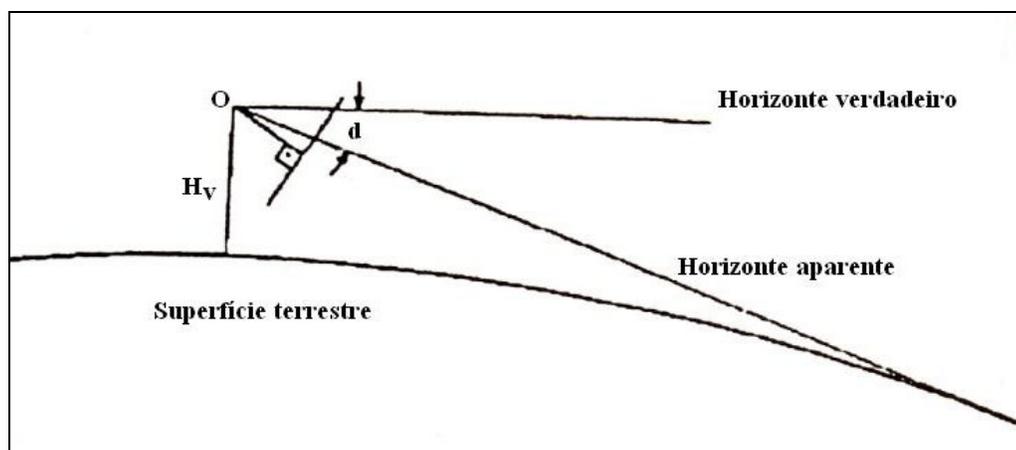
<sup>1</sup> Onde: “K” é o ponto horizonte verdadeiro, “K'” é o ponto horizonte aparente e “d” é o ângulo de declive (ver item 2.12.14 Ângulo de declive).

### 2.12.13 Horizonte aparente e horizonte verdadeiro

Por Disperati (1995), o Horizonte Aparente ou Horizonte Visível é a linha visível do horizonte que aparece em uma fotografia aérea oblíqua alta. Esta linha é o limite entre a superfície terrestre e o céu, tendo seu aspecto diretamente relacionado com a topografia da superfície terrestre, indo de linhas suaves (superfícies de água) a linhas quebradas (terrenos montanhosos). Salienta-se que a curvatura da terra pode ou não ser caracterizada, conforme as irregularidades de sua topografia.

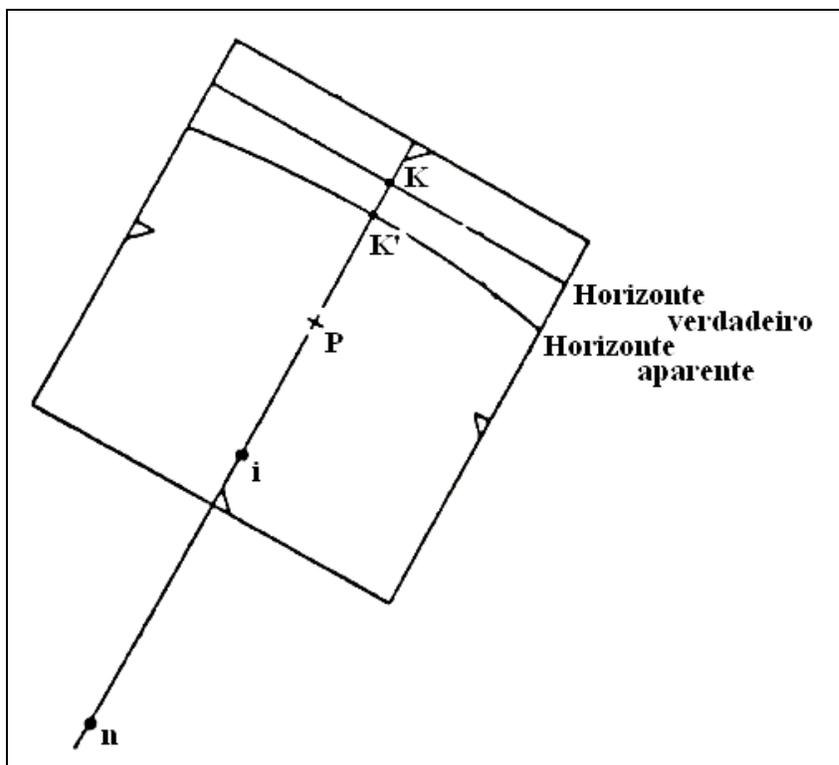
Do mesmo autor, tem-se que o Horizonte Verdadeiro de uma fotografia aérea oblíqua, alta ou baixa, é a linha imaginária que representa o plano horizontal que passa pelo Centro de Perspectiva da câmara. Desta forma, existe uma intersecção entre o plano horizontal com o plano da fotografia aérea oblíqua. Normalmente esta linha de intersecção pode ser traçada sobre a fotografia aérea oblíqua alta, representando a linha do horizonte verdadeiro.

As Figuras 29 e 30 apresentam esquemas de representação das projeções dos horizontes aparente e verdadeiro.



**Figura 29 - Horizonte verdadeiro e aparente na fotografia inclinada alta**

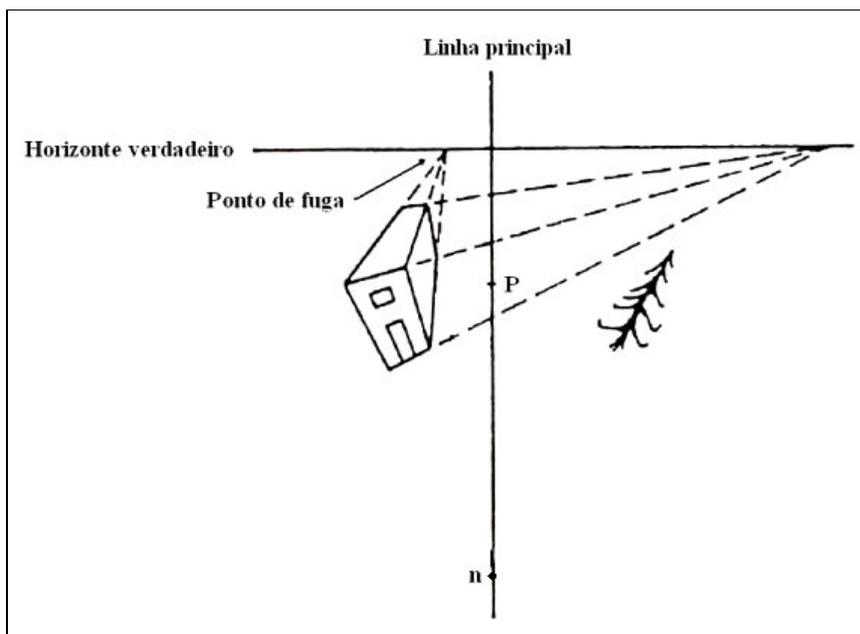
(Fonte: MOFFIT, 1967, p.401, modificado)



**Figura 30 - Horizonte verdadeiro e aparente na fotografia inclinada alta**  
(Fonte: MOFFIT, 1967, p.401, modificado)

#### 2.12.13.1 Representação do horizonte verdadeiro através da marcação dos pontos de fuga

Um método prático de determinar-se a linha do Horizonte Verdadeiro é através da marcação dos Pontos de Fuga (*vanishing points*), conforme descreve Disperati (1995). O método baseia-se no fato de que as linhas paralelas do alvo ou do terreno, que estejam aparecendo na fotografia, ao serem prolongadas, convergem para a linha do Horizonte Verdadeiro, conforme a Figura 31. Desta forma, toma-se paredes e topos de construções ou lados de áreas quadradas no terreno, através dos quais se traça dois ou mais sistemas de linhas convergentes. O ponto de cruzamento dos prolongamentos de cada sistema determina um ponto de fuga. A reta que une os pontos de fuga é a representação da linha do Horizonte Verdadeiro.



**Figura 31 - Determinação do horizonte verdadeiro por pontos de fuga**  
 (Fonte: KILDFORD, 1979, p.232 apud DISPERATI, 1995, p.49, modificado)

#### 2.12.13.2 Pontos horizonte

Segundo Disperati (1995), o Ponto Horizonte Verdadeiro é o ponto de intersecção entre a linha do Horizonte Verdadeiro e a Linha Principal, sendo indicado pela letra “K” nas Figuras 28 e 30. Já o Ponto Horizonte Aparente é o ponto de intersecção entre a linha do Horizonte Aparente e a Linha Principal, sendo indicado pela letra “K'” nas Figuras 28 e 30.

#### 2.12.13.3 Cálculo dos pontos horizonte “K” e “K'”

Conforme a Figura 30, para o cálculo do Ponto Horizonte Verdadeiro “K”, Disperati (1995) apresenta a Fórmula 4.

$$PK = f \cdot \tan \theta$$

( 4 )

Onde:

PK = distância do ponto principal “P” ao ponto horizonte verdadeiro “K” sobre a linha principal;

f = distância focal da câmara;

$\theta$  = ângulo de depressão.

Também conforme a Figura 28, para o cálculo do Ponto Horizonte Aparente “K'”, Disperati (1995) apresenta a Fórmula 5.

$$\boxed{PK' = f \cdot \tan \alpha} \quad (5)$$

Onde:

PK' = distância do ponto principal “P” ao ponto horizonte aparente “K'” sobre a linha principal;

f = distância focal da câmara;

$\alpha$  = ângulo de depressão aparente.

#### 2.12.14 Ângulo de declive “d”

Disperati (1995) conceitua Ângulo de Declive como o ângulo formado, no Plano Principal, entre a linha do Horizonte Verdadeiro e a linha do Horizonte Aparente, conforme pode ser observado nas Figuras 28 e 29. O Ângulo de Declive pode ser obtido pela diferença entre o Ângulo de Depressão e o Ângulo de Depressão aparente ( $d = \theta - \alpha$ ) ou ainda em função da Altura de Vôo, conforme a Fórmula 6.

$$\boxed{d'' = 58,8 \cdot \sqrt{H_v}} \quad (6)$$

Onde:

d'' = ângulo de declive em segundos de arco;

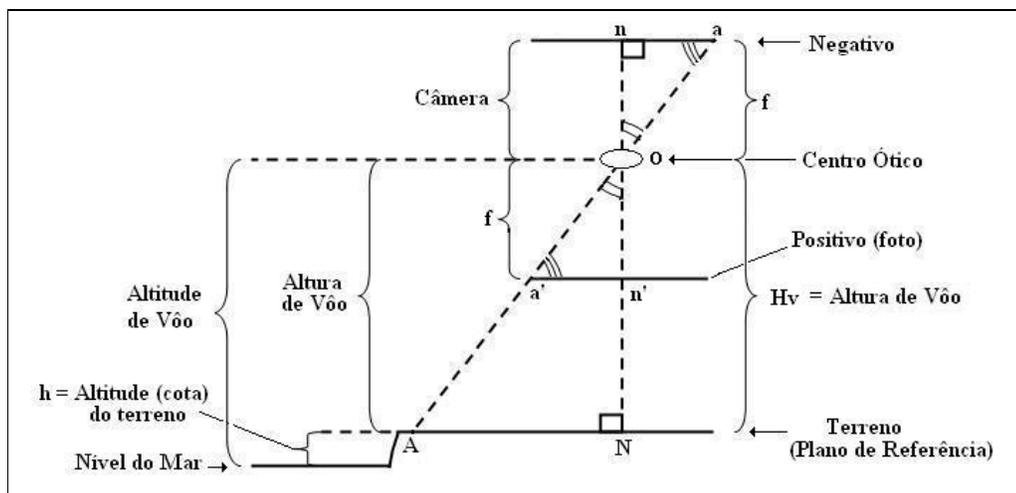
58,8 = constante<sup>1</sup>;

H<sub>v</sub> = altura de vôo em pés.

<sup>1</sup> “A dedução da fórmula é omitida, mas, a constante 58,8 advém do seguinte termo:  $(1 \div \operatorname{tg} 1'') \times \sqrt{2 \div R}$ , sendo R o raio da Terra”. (DISPERATI, 1995, p.46).

## 2.12.15 Escala nas fotografias aéreas

Estes *et al* (1974) considera que as duas propriedades mais importantes da fotografia aérea são os ângulos e a escala.



**Figura 32 - Principais componentes para escalas de fotografia aérea**

(Fonte: IBGE, p.96)

Conforme a Figura 32, pode-se observar que os triângulos “NOA” e “nOa” são semelhantes, assim, o cálculo da escala da fotografia pode ser feito por semelhança de triângulos, partindo-se da Fórmula 7.

$$E = \frac{na}{NA} = \frac{Oa}{OA} = \frac{nO}{NO} = \frac{f}{H_v} \quad (7)$$

Onde:

E = escala do fotograma;

NA = distância real no terreno;

na = distância no fotograma;

NO =  $H_v$  = altura de vôo;

nO = f = distância focal da câmara.

Segundo Disperati (1995), para fotografias perfeitamente verticais, a escala do negativo pode ser obtida pela simples divisão entre a Distância Focal “f” pela Altura de Vôo

“ $H_v$ ” ou então pela divisão entre uma medida tomada no negativo e sua correspondente no terreno.

O mesmo autor ainda coloca que na fotografia aérea vertical a escala será constante em toda a fotografia apenas quando o solo for exatamente plano. Contudo, isto não ocorrerá na fotografia aérea oblíqua, pois a escala diminui em direção à linha do horizonte e ocorre de modo mais acentuado quanto maior a inclinação da fotografia.

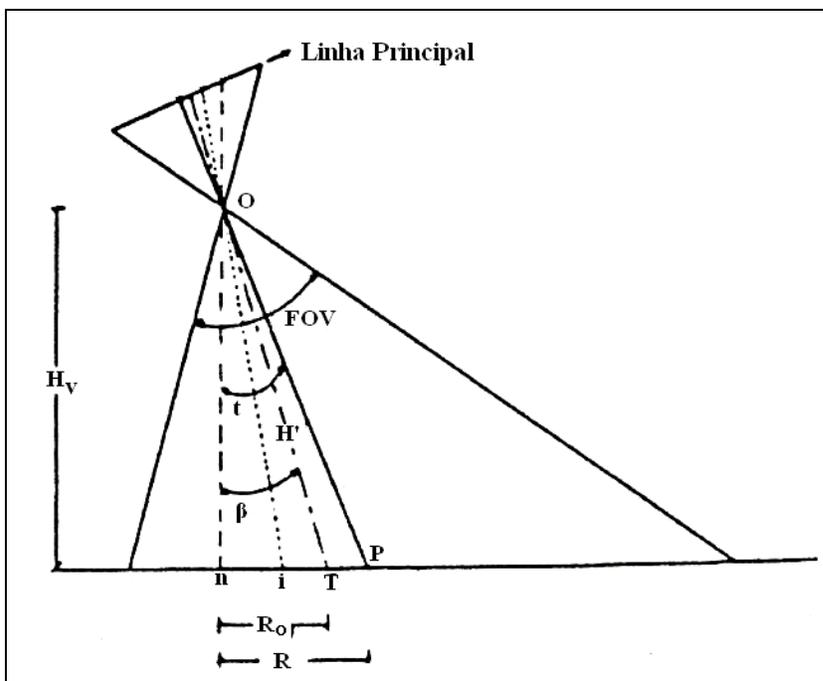
Como consequência desta variação da escala, há dificuldade para extração de informações próximas da linha do horizonte, resultando que apenas parte da fotografia oblíqua tem uso interpretativo.

#### 2.12.16 Escalas nas fotografias aéreas inclinadas

Segundo Disperati (1985) o cálculo da escala em fotografias inclinadas não é tão simples quanto o cálculo nas fotografias verticais. Tomando-se pontos no terreno, dos quais as imagens estejam sobre a Linha Principal, e, a partir destes pontos, traçando-se linhas perpendiculares à Linha Principal, observa-se que a escala varia para cada uma destas linhas, que na verdade são as Isolinhas.

Pode-se obter a escala do negativo em cada Isolinha, dividindo-se a Distância Focal “ $f$ ” pela medida da distância entre o Centro de Perspectiva e um ponto tomado no terreno. Porém, a imagem deste ponto deve estar sobre a interseção entre a Linha Principal e a Isolinha para a qual se está calculando a escala.

Isto pode ser melhor entendido ao se observar a Figura 33, bem como pela análise da Fórmula 8 até a Fórmula 15.



**Figura 33 - Elementos de uma fotografia aérea inclinada**  
 (Fonte: GRAHM & READ, 1989, p.25 apud DISPERATI, 1995, p.51, modificado)

Considerando-se o ponto “T” no terreno, a distância deste ponto ao Centro de Perspectiva “O” é dada por “H’”. Tomando-se ainda o ângulo “β”, formado pela vertical, que passa pelo centro óptico, e a linha “H’”, a distância de “H’” pode ser obtida pela Fórmula 8.

$$H' = H_v \cdot \sec \beta \quad (8)$$

Onde:

H' = distância de “O” a “T”;

H<sub>v</sub> = altura de vôo;

β = ângulo formado pelas retas “On” e “OT”.

A escala do negativo ao longo da Isolinha que passa pelo ponto “T” é obtida pela Fórmula 9.

$$E_T = \left( \frac{f}{H'} \right) = \left( \frac{f}{H_v \cdot \sec \beta} \right) \quad (9)$$

Onde:

$E_T$  = escala do negativo ao longo da isolinha que passa pelo ponto “T”;

$f$  = distância focal;

$H'$  = distância de “O” a “T”;

$H_v$  = altura de vôo;

$\beta$  = ângulo formado pelas retas “On” e “OT”.

Analisando-se a Figura 33, percebe-se que o valor do ângulo “ $\beta$ ” depende da posição do ponto “T” no terreno. Infinitas são as possibilidades para esta posição, mesmo que seja uma em cada Isolinha, resultando em infinitos valores de escala para uma mesma fotografia oblíqua, conforme a Fórmula 9.

Observando-se a Figura 33, para calcular a distância entre o ponto “n” (projeção do ponto nadir no terreno) e o ponto “T”, tem-se a Fórmula 10.

$$R_o = H_v \cdot \tan \beta \quad (10)$$

Se o ponto “T” coincidir com o ponto “P” (projeção do ponto principal no terreno), “Ro” será igual a “R”, sendo expressa pela Fórmula 11.

$$R = H_v \cdot \tan t \quad (11)$$

A escala “ $E_p$ ” da fotografia inclinada na Isolinha que passa pelo ponto “P” (projeção do ponto principal no terreno), em função do Ângulo de Inclinação “ $t$ ”, é dada pela Fórmula 12.

$$E_p = \left( \frac{f}{H_v \div \cos t} \right) = \left( \frac{f \cdot \cos t}{H_v} \right) = \left( \frac{f}{H_v \cdot \sec t} \right) \quad (12)$$

A escala “E<sub>i</sub>” da fotografia inclinada na Isoscala (isolinha que contém o ponto “i”, que é a projeção do Isocentro no terreno), em função do Ângulo de Inclinação “t”, é dada pela Fórmula 13.

$$E_i = \frac{(f \div \cos t)}{(H_v \div \cos t)} = \left( \frac{f}{H_v} \right) \quad (13)$$

A escala “E<sub>n</sub>” da fotografia inclinada na Isolinha que passa pelo ponto “n” (projeção do ponto nadir no terreno), em função do Ângulo de Inclinação “t”, é dada pela Fórmula 14.

$$E_n = \frac{(f \div \cos t)}{H_v} = \frac{f}{(H_v \cdot \cos t)} = \frac{(f \cdot \sec t)}{H_v} \quad (14)$$

Desta forma, pode-se verificar que a escala na linha Isoscala da fotografia inclinada é a mesma escala para o caso em que esta mesma fotografia fosse tomada na posição vertical. A coincidência de escala nestes dois tipos de fotografias, inclinada e vertical, só ocorre na Isoscala. Acima dela, na fotografia inclinada, a escala é menor e abaixo dela a escala será maior.

A escala da fotografia inclinada também pode ser apresentada para uma situação geral, conforme consta em Wong (1980, p. 45 apud, DISPERATI 1995), pela Fórmula 15.

$$E = \frac{f - (y \cdot \sen t)}{H_v - h} \quad (15)$$

Onde:

E = escala da fotografia em um determinado alvo;

t = ângulo de inclinação;

y = distância medida na direção da inclinação da fotografia, do isocentro ao alvo considerado, sendo positiva para o lado superior da fotografia;

H<sub>v</sub> = altitude de vôo;

h = altitude do alvo considerado;

f = distância focal da câmara.

Pode-se observar por esta última fórmula, que a escala da fotografia aérea inclinada depende, além da Distância Focal da câmara, da Altitude de Vôo, da Altitude do Relevo, da inclinação do eixo óptico da câmara e da posição do alvo considerado.

Sobre a escala nas fotografias aéreas inclinadas altas, especificamente, Disperati (1995) comenta que:

A escala de uma fotografia aérea inclinada é constante ao longo de qualquer linha que é paralela ao horizonte verdadeiro, mas varia ao longo de qualquer outra linha. Além disso, se um conjunto de linhas, de escala constante, fosse traçada na fotografia, começando do horizonte verdadeiro, e terminasse na margem inferior da fotografia, cada linha sucessiva teria uma escala maior do que a anterior. (MOFFITT, 1967, p. 405).

#### 2.12.17 Cálculo de alturas de objetos

Para o cálculo de alturas ou distâncias verticais de objetos em fotografias aéreas inclinadas, Spurr (1960, p. 91) coloca a Fórmula 16.

$$M = \frac{(e \cdot d \cdot \text{sen}\theta \cdot \text{cos}\theta)}{(f \cdot H_v)} \quad (16)$$

Onde:

M = altura ou distância vertical do objeto;

a = distância do topo do objeto (ponto mais alto) ao ponto nadir;

b = distância da base do objeto ao ponto horizonte;

$\theta$  = ângulo de depressão;

f = distância focal;

$H_v$  = altura de vôo.

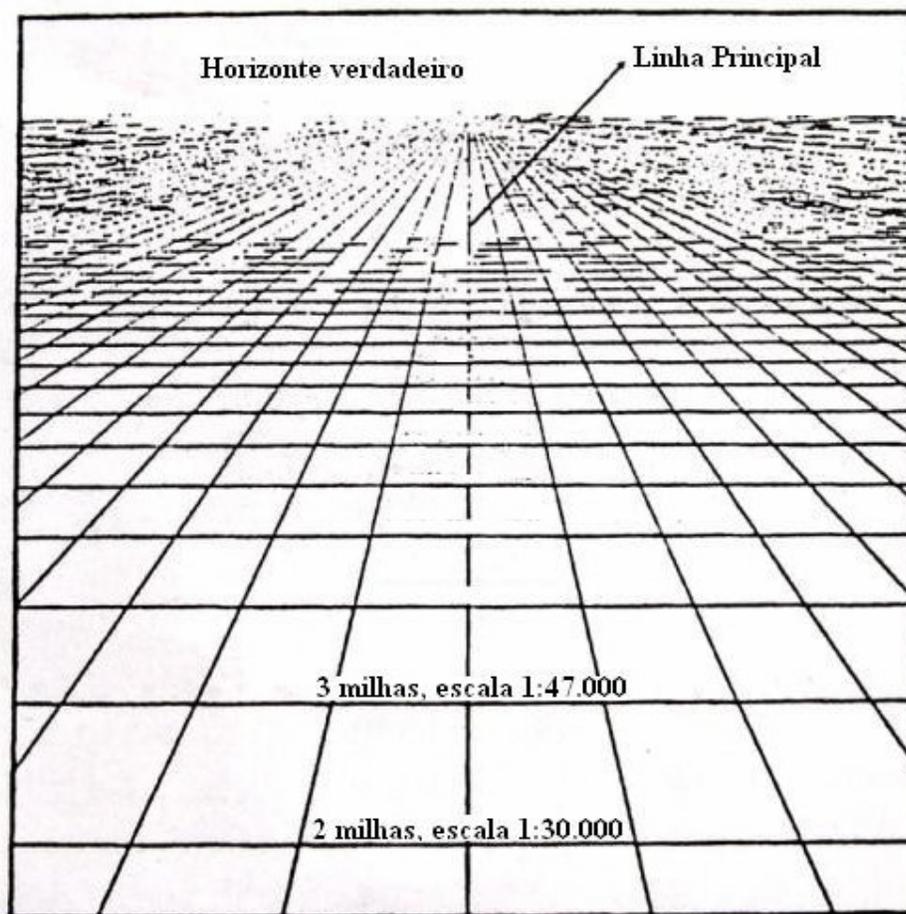
#### 2.13 Grade canadense

Disperati (1995) conta que o método de mapeamento pela Grade Canadense, ou *Canadian Grid*, foi desenvolvido no Canadá para realizar o mapeamento planimétrico de áreas planas extensas, tendo como característica uma rede de perspectiva, conforme ilustrado na Figura 34. Os detalhes das fotografias eram transferidos para um mapa-base através da

referida rede, a qual pode ser elaborada para qualquer fotografia inclinada, visando sua restituição gráfica.

A rede de perspectiva é formada por trapézios, onde cada trapézio representa uma área quadrada do mesmo tamanho no terreno, a qual é transferida ao mapa-base com todas as suas informações. Desta forma, com a rede de perspectiva traçada sobre a fotografia aérea inclinada, o fotointérprete pode transferir graficamente as informações planimétricas de cada trapézio desta fotografia para o correspondente quadrado no mapa-base. Entretanto, este método requer fotointérprete experiente e de considerável bom-senso.

Sobre a escala na rede de perspectiva, o mesmo autor comenta que em relação ao eixo “x” (paralelo ao horizonte e perpendicular à linha principal) a escala é constante ao longo de cada linha paralela a este eixo. Cada isolinha sucessiva tem uma escala diferente. Em relação ao eixo “y” (paralelo à linha principal e perpendicular ao horizonte) a escala varia de ponto para ponto, ou seja, para cada ponto ao longo de cada linha há uma escala diferente.



**Figura 34 - Esboço de uma grade canadense**  
(Fonte: LANE JR, 1952, p.748 apud DISPERATI, p.32)

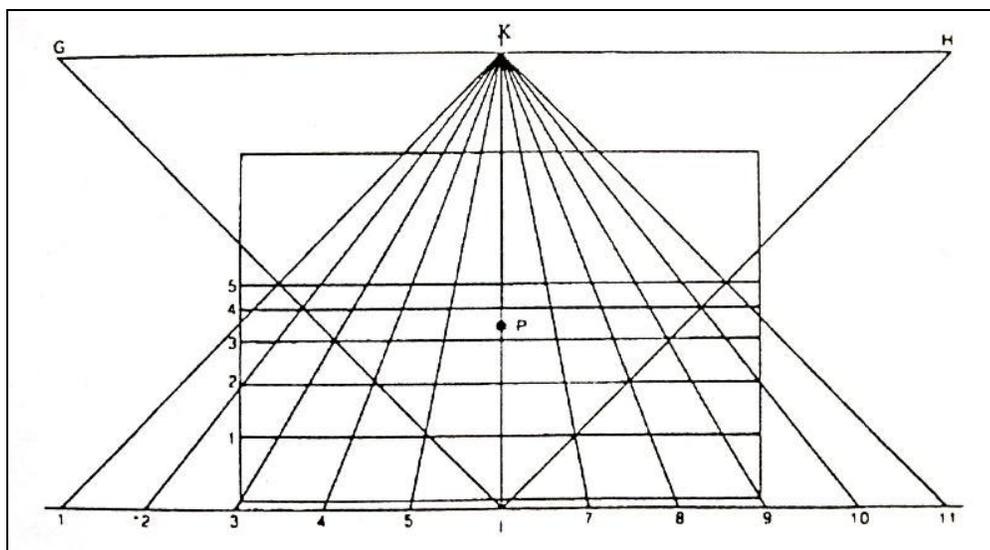
## 2.14 Rede de perspectiva da grade canadense

Segundo Tewinkel (1952, p.355-356 apud DISPERATI, 1995, p.63):

A rede de perspectiva consiste de um sistema de linhas traçadas para uso em fotografias inclinadas, onde as linhas representam correspondentes linhas de uma rede retangular imaginária no terreno. Esta rede pode ser usada somente em áreas de terreno relativamente plano devido ao fato de que a rede não corrige deslocamentos na fotografia devido ao relevo. A rede de perspectiva é desenhada em uma folha plástica transparente e colocada sobre a fotografia inclinada; o mapa é compilado por transferir (visualmente ou através de aparelho) a posição de cada detalhe, da fotografia inclinada, para o correspondente mapa-base.

A rede retangular sobre o terreno é puramente imaginária. O espaçamento desta rede pode ser escolhido para atender melhor as necessidades de compilação. A rede no terreno é sempre orientada tal que o eixo longitudinal da rede é a própria linha principal da fotografia... A exatidão da rede não é afetada por erros pequenos na identificação da linha do horizonte... Essas redes são usadas costumeiramente somente com fotografias inclinadas altas, mas podem ser usadas com fotografias inclinadas baixas se suficientes pontos estão disponíveis para a localização e marcação da linha do horizonte verdadeiro.

Evans & Mata (1974 apud DISPERATI, 1995, p.63-68) apresentam as etapas para elaboração da rede de perspectiva para fotografias aéreas inclinadas de 35mm. Porém, citam que o método pode ser utilizado para outros formatos de fotografias, desde que sejam feitas as adaptações inerentes a cada caso. Desta forma, procurou-se descrever genericamente as etapas do método apresentado, conforme os próximos itens, tendo-se por base a Figura 35.



**Figura 35 - Esboço de uma rede de perspectiva**

(Fonte: EVANS & MATA, 1984,p.1588, apud DISPERATI, 1995, p.65, modificado)

#### 2.14.1 Preparação da fotografia

Coloca-se a fotografia sob uma folha de papel vegetal ou poliéster de dimensões maiores do que esta fotografia. Isto porque algumas linhas a serem traçadas serão mais extensas que a própria fotografia. A seguir, traça-se as margens da imagem da fotografia no papel vegetal.

#### 2.14.2 Representação do ponto principal

O Ponto Principal está localizado no centro da fotografia e pode ser obtido conforme já apresentado no item “2.12.5 Ponto principal”.

#### 2.14.3 Determinação do horizonte verdadeiro

Calcula-se a posição do ponto “K” conforme o item “2.12.13.3 Cálculo dos pontos horizonte K e K' ”. Calculada a posição de “K”, traça-se uma reta horizontal. Também, pode-se proceder conforme o item “2.12.13.1 Determinação do horizonte verdadeiro através da marcação dos pontos de fuga”.

#### 2.14.4 Traçado da linha principal

Traça-se a reta da Linha Principal, passando pelo Ponto Principal e perpendicular à linha de ambos os horizontes, aparente e verdadeiro.

#### 2.14.5 Cálculo do ângulo de depressão aparente “ $\alpha$ ”

Quando a linha do horizonte aparente é visível, calcula-se o Ângulo de Depressão Aparente “ $\alpha$ ”, dividindo-se a distância entre o Horizonte Aparente e o Ponto Principal “P” pela Distância Focal da câmara “F” multiplicada pelo fator de ampliação da fotografia, quando houver, conforme a Fórmula 17.

$$\alpha = \frac{m_{\text{HaP}}}{f} \quad (17)$$

Onde:

$\alpha$  = ângulo de depressão aparente;

$m_{\text{HaP}}$  = distância entre o horizonte aparente e o ponto principal;

$f$  = distância focal da câmera.

#### 2.14.6 Cálculo do ângulo de declive “d”

Procede-se conforme o item 2.12.14 Ângulo de declive “d”.

#### 2.14.7 Cálculo do ângulo de depressão “ $\theta$ ”

Soma-se o valor do Ângulo de Depressão aparente ao valor do Ângulo de Declive.

#### 2.14.8 Traçado da linha do horizonte verdadeiro e do ponto horizonte “K”

Primeiro calcula-se a tangente do Ângulo de Depressão. Caso a fotografia tenha sido ampliada, multiplica-se o valor da tangente pelo fator de ampliação da fotografia.

O valor obtido é tomado em “cm” e medido ao longo da Linha Principal, partindo do Ponto Principal para cima, onde é marcado o Ponto Horizonte Verdadeiro “K”.

Traça-se a Linha do Horizonte Verdadeiro através de uma reta passando pelo ponto “K” e perpendicular à Linha Principal.

#### 2.14.9 Cálculo do ângulo de inclinação “t”

Subtrai-se o Ângulo de Declive de  $90^\circ$ .

#### 2.14.10 Representação do isocentro “i”

Multiplíca-se a Distância Focal “f” pela tangente da metade do Ângulo de Inclinação ( $\tan t/2$ ). Caso a fotografia tenha sido ampliada, multiplica-se o valor calculado pelo fator de ampliação da fotografia.

O valor obtido, mede-se ao longo da Linha Principal, a partir do Ponto Principal para baixo, onde marca-se o Isocentro “i”.

#### 2.14.11 Representação dos pontos de referência à esquerda e referência à direita do ponto horizonte verdadeiro

Mede-se a distância do Ponto Horizonte Verdadeiro “K” ao isocentro “i”. Toma-se esta medida e, sobre a linha do Horizonte Verdadeiro, mede-se a partir do ponto “K” para a esquerda e marca-se o ponto de referência à esquerda (Ponto Horizonte Verdadeiro à Esquerda “K<sub>E</sub>”). Também, mede-se a partir do ponto “K” para a direita e marca-se o ponto de referência à direita (Ponto Horizonte Verdadeiro à Direita “K<sub>D</sub>”).

#### 2.14.12 Traçado da isoscala

Traça-se uma reta perpendicular à Linha Principal e que passe pelo Isocentro.

#### 2.14.13 Representação das divisões sobre a isoscala

Escolhe-se uma medida no terreno que seja mais apropriada ao trabalho que se vai desenvolver com a rede em elaboração. Disperati (1995), para o exemplo citado em sua autoria, utilizou a medida de 100m, referente ao lado de um quadrado de um hectare de área no terreno.

Entretanto, não se tendo a certeza do valor escolhido, ele pode ser alterado após o traçado das primeiras linhas da rede, quando se poderá ter uma noção mais exata da viabilidade do valor escolhido.

Após ter sido determinada qual a medida será utilizada, utiliza-se a fórmula básica da escala ( $E = f \div H_v$ ) para calcular o valor gráfico da medida escolhida. Lembra-se que o fator de ampliação da fotografia deve ser considerado, quando for o caso.

A seguir, marca-se esta medida várias vezes sobre a linha da Isoscala, à direita e à esquerda do Isocentro.

#### 2.14.14 Traçado das linhas dos eixos “y”

Nesta etapa serão traçadas as linhas paralelas ao eixo “y”, que serão duas margens de cada trapézio da rede de perspectiva, conforme a Figura 35.

Partindo-se dos pontos marcados sobre a Isoscala, conforme feito no item anterior, traça-se linhas que unam cada um destes pontos ao Ponto Horizonte Verdadeiro “K”. O autor salienta que se deve marcar tantos pontos quantos forem necessários sobre a Isoscala, até que as linhas traçadas, paralelas ao eixo “y”, abranjam toda a fotografia.

#### 2.14.15 Traçado das linhas dos eixos “x”

Agora serão traçadas as linhas paralelas ao eixo “x”, que serão as outras duas margens de cada trapézio da rede de perspectiva, conforme a Figura 35.

Traçam-se duas retas, uma unindo o Isocentro ao ponto de referência à direita do Ponto Horizonte Verdadeiro e outra unindo o Isocentro ao ponto de referência à esquerda do Ponto Horizonte Verdadeiro. Estas retas formam diagonais com 45 graus de inclinação em relação à Linha Principal.

Unindo os pontos de intersecção formados, à direita e à esquerda da Linha Principal, entre as diagonais de 45 graus e as linhas dos eixos “y”, traça-se retas que serão paralelas à Isoscala e que formaram as margens dos eixos “x” de cada trapézio da rede de perspectiva.

Diperati (1995) salienta aqui sobre a diminuição considerável da escala da fotografia acima do Ponto Principal, o que torna o espaçamento entre os eixos “x” muito próximos, recomendando que tais eixos sejam traçados apenas até alguns centímetros acima do Ponto Principal. Complementa ainda que, em geral, a terça parte superior das fotografias oblíquas altas não é adequada para a extração de informações.

Terminadas estas quinze etapas, está pronta a rede de perspectiva, através da qual poderão ser extraídas medidas de área e lineares sobre a fotografia.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Materiais

#### 3.1.1 Materiais utilizados nos cálculos dos parâmetros para elaboração da grade canadense

- a) Calculadora científica.

#### 3.1.2 Materiais utilizados na elaboração da grade canadense

- a) *Software* INTELLICAD, adquirido e licenciado pela RC&TASK para o Departamento de Expressão Gráfica do Centro de Tecnologia da UFSM;
- b) Microcomputador Pentium IV;
- c) Transparência em tamanho A4;
- d) Impressora Hp Deskjet 3920, 600dpi de resolução.

#### 3.1.3 Materiais usados no planejamento do vôo

##### a) Carta Aeronáutica de Pilotagem

- Folha: SH-22-V-C;
- Nome: Santa Maria;
- Escala: E = 1:250.000;
- Número: CAP 9534;
- Projeção: Universal Transversa de Mercator;
- Edição: compilada em abril de 1986 e editada em setembro de 1991;
- Fonte: Instituto de Cartografia da Aeronáutica – ICA.

##### b) Cartas Topográficas

- Folhas: SH-22-V-C-IV-2 e SH-22-V-C-IV-4;
- Nomes: Camobi e Arroio do Só, respectivamente;
- Escala: E = 1:50.000, ambas;
- Projeções: Universal Transversa de Mercator, ambas;

– Edições:

- Camobi - fotografias aéreas de 1964/66, do AST-10 USAF, apoio de campo em 1968, restituição fotogramétrica em 1970, primeira impressão em 1971;

- Arroio do Só - fotografias aéreas de 1975, da Cruzeiro do Sul S.A., apoio de campo em 1975, restituição fotogramétrica em 1976, segunda edição em 1979, segunda impressão em 1998;

– Fonte: Diretoria do Serviço Geográfico – DSG, Exército Brasileiro, ambas.

c) Manual de Reconhecimento Tático do 1°/10° GAV;

d) Planilha BKS-V4 – Planilha em *excel* usada para os cálculos dos parâmetros de vôo da Aeronave RA-1: altura de vôo, afastamento do alvo, porcentagem de recobrimento, dimensões da área no solo abrangida pela imagem, razão V/H, quantidade de quadros por segundo.

#### 3.1.4 Materiais usados na execução do vôo

a) Aeronave RA-1 do 1°/10° GAV;

b) Sistema Sensor com a Câmara ZEISS TRb 60/24;

c) Filme aéreo preto e branco.

#### 3.1.5 Equipamentos para a obtenção das imagens

a) Processadora de filmes aéreos marca COLEX, modelo 1240.

#### 3.1.6 Equipamentos utilizados para as medições dos alvos *in locu*

a) Estação Total marca LEICA, modelo TC 407, com respectivo prisma;

b) Tripé marca TRIDENT, modelo TSD-620 Desetec;

c) Prancheta, papel e caneta para as anotações.

### 3.1.7 Materiais utilizados para a escolha e medições dos alvos nos negativos

- a) Mesa Clara;
- b) Tubo de Escala com lente de aumento de duas vezes;
- c) Caneta para retroprojektor.

## 3.2 Métodos

### 3.2.1 Cálculo dos parâmetros para a elaboração da grade canadense

Calculou-se os parâmetros necessários à elaboração da grade canadense para a posição oblíqua de 81° de inclinação do eixo óptico da câmara ZEISS TRb 60/24.

#### 3.2.1.1 Cálculo do ângulo de depressão “ $\theta$ ”

Pela Fórmula 18, calculou-se o Ângulo de Depressão a partir do Ângulo de Inclinação “ $t$ ”.

$$\theta = (90^\circ - t) \quad (18)$$

Onde:

$\theta$  = ângulo de depressão;

$t$  = ângulo de inclinação.

#### 3.2.1.2 Cálculo da posição do ponto horizonte “K”

Calculou-se, através do Ângulo de Depressão “ $\theta$ ” e da Distância Focal “ $f$ ” da câmara, a posição do ponto horizonte sobre a Linha Principal a partir do Ponto Principal, conforme a Fórmula 19.

$$K = ( f \cdot \tan \theta ) \quad ( 19 )$$

Onde:

K = ponto horizonte;

f = distância focal;

$\theta$  = ângulo de depressão.

### 3.2.1.3 Cálculo da posição do isocentro “i”

Pela Fórmula 20, através do Ângulo de Inclinação “t” e da Distância Focal da câmara “F”, calculou-se a posição do Isocentro “i” sobre a Linha Principal a partir do Ponto Principal.

$$i = f \cdot \tan ( t \div 2 ) \quad ( 20 )$$

Onde:

i = isocentro;

f = distância focal;

t = ângulo de inclinação.

### 3.2.1.4 Ponto horizonte verdadeiro à esquerda da linha principal “K<sub>E</sub>” e ponto horizonte verdadeiro à direita da linha principal “K<sub>D</sub>”

Como as distâncias de “K<sub>E</sub>” e “K<sub>D</sub>”, em relação ao ponto “K”, são iguais, calculou-se esta distância pela Fórmula 21.

$$K_{ED} = ( K + i ) \quad ( 21 )$$

Onde:

K<sub>ED</sub> = ponto horizonte à esquerda e à direita da linha principal;

K = ponto horizonte;

i = isocentro.

### 3.2.1.5 Cálculo da escala a ser usada na elaboração da grade canadense

Para este cálculo foi utilizada a fórmula básica da escala, Fórmula 22, ou seja, a Distância Focal da Câmara “f” em função da Altura de Vôo “H<sub>v</sub>”. Ainda, considerou-se o limite menor de altura de vôo do sensor, visando obter a maior escala possível para facilitar as divisões da Isoscala.

$$E_g = ( f \div H_v ) \quad ( 22 )$$

Onde:

E<sub>g</sub> = escala a ser usada na elaboração da grade canadense;

f = distância focal;

H<sub>v</sub> = altura de vôo.

O valor calculado pela Fórmula 22 foi utilizado como base para calcular as subdivisões da Isoscala.

Pela Fórmula 22, calculou-se:

$$E_g = ( 610\text{mm} \div 1.000' )$$

$$E_g = 1/499,65 \text{ arredondado para } \boxed{E_g = 1/500} \text{ ou } \boxed{E_g = 1:500}$$

### 3.2.1.6 Cálculo das subdivisões da isoscala

Para este cálculo levou-se em consideração que as principais medidas extraídas pelo fotointérprete são de construções e suas estruturas, assim como de veículos e equipamentos. Desta forma, procurou-se o menor valor possível de ser utilizado na subdivisão da Isoscala;

por outro lado, este valor limitou-se, na área de medição da grade canadense, de maneira que seja igual ou superior à precisão gráfica.

Montou-se a Tabela 3 onde constam a dimensão real e sua correspondente representação gráfica na escala calculada, 1:500.

**Tabela 3 - Valores a serem analisados para a divisão da isoscala**

Valor real	Valor gráfico, E = 1:500
0,1 m	0,02 cm
0,5 m	0,1 cm
1 m	0,2 cm
2,5 m	0,5 cm
5 m	1 cm
10 m	2 cm
15 m	3 cm
20 m	4 cm
25 m	5 cm
30 m	6 cm

Conforme a Tabela 3, para objetos de 1 m a representação é de 0,2 cm. Assim, ao se traçar a primeira linha da grade canadense, a medida entre esta e a Linha Principal, na base do fotograma, foi de “0,5480 cm”. Sendo considerada uma medida muito pequena porque, após traçadas algumas linhas de projeções da grade canadense, estas linhas ficaram muito próximas umas das outras, o que impossibilitou a visualização da informação no fotograma. Análise semelhante e mesmas conclusões foram obtidas para objetos de até 5 m.

Desta forma, para que a separação entre as linhas de projeções na grade canadense fosse adequada, concluiu-se que:

- a) entre as linhas de perspectivas do eixo “y”, a menor medida real possível de ser usada é 10m, resultando em divisões de 2 cm para cada parte sobre a Isoscala; e
- b) entre as linhas de perspectivas do eixo “x”, a menor medida real possível de ser usada é de 50m, resultando em divisões de 10 cm para cada parte sobre a Isoscala.

### 3.2.2 Elaboração da rede de perspectiva da grade canadense

O desenho da grade canadense foi realizado através do software INTELLICAD, no Departamento de Expressão Gráfica, do Curso de Engenharia Mecânica da UFSM.

Os passos para a elaboração da grade canadense, adequada ao formato das imagens oblíquas da câmara ZEISS TRb 60/24, foram seguidos conforme o método citado na bibliografia de Disperati (1995). Seguiram-se os seguintes passos:

- a) desenhou-se o retângulo referente à área da imagem no fotograma, ou seja, um retângulo de 11,55cm x 22,88cm, em escala. Estas medidas foram obtidas através da média aritmética simples de dez valores medidos em dez fotogramas escolhidos aleatoriamente;
- b) plotou-se o Ponto Principal “P” pelo cruzamento das duas diagonais que unem os cantos opostos da imagem no fotograma. Ainda, foi confirmado por ter ficado sobre a interseção da linha vertical que divide o retângulo da imagem em duas metades longitudinais e da linha horizontal que dividem o retângulo da imagem em duas metades transversais;
- c) traçou-se a Linha Principal, através de uma reta passando pelo Ponto Principal, paralela ao lado maior do fotograma e perpendicular ao lado menor;
- d) plotou-se o ponto horizonte “K” sobre a Linha Principal, medindo-se a partir do Ponto Principal para a parte superior da imagem, conforme a medida calculada no item “3.2.1.2 Cálculo da posição do ponto horizonte”;
- e) traçou-se a linha do Horizonte Verdadeiro através de uma reta passando pelo ponto horizonte e perpendicular à Linha Principal;
- f) plotou-se o Isocentro “i” sobre a Linha Principal, medindo-se a partir do Ponto Principal para a parte inferior da imagem, conforme a medida calculada no item “3.2.1.3 Cálculo da posição do isocentro”;
- g) traçou-se a linha Isoscala através de uma reta passando pelo Isocentro e perpendicular à Linha Principal;
- h) plotou-se o ponto horizonte verdadeiro à esquerda “K<sub>E</sub>” e o ponto horizonte verdadeiro à direita “K<sub>D</sub>” do ponto horizonte. Ambos sobre a linha do Horizonte Verdadeiro e medidos a partir do ponto horizonte “K”, conforme a medida calculada no item “3.2.1.4 Ponto horizonte verdadeiro à esquerda “K<sub>E</sub>” e à direita “K<sub>D</sub>” da linha principal”;

- i) traçou-se as duas diagonais de referência, uma unindo o Isocentro ao ponto horizonte verdadeiro à esquerda e outra unindo o Isocentro ao ponto horizonte verdadeiro à direita;
- j) plotou-se as divisões sobre a Isoscala, conforme calculado no item “3.2.1.6 Cálculo das subdivisões da isoscala”. O número destas divisões foi de “106”, suficientes para atender a plotagem das linhas dos eixos “x” e “y”;
- k) traçou-se as linhas referentes ao eixo “y” da grade canadense, unindo-se o ponto de cada divisão sobre a Isoscala ao ponto horizonte. Tais linhas traçadas de forma a ocuparem os dois terços inferiores do retângulo da imagem;
- l) traçou-se as linhas referentes ao eixo “x” da grade canadense, formadas por retas paralelas ao Horizonte Verdadeiro e perpendiculares à Linha Principal. Foram traçadas pela união dos pontos de intersecção, à esquerda e à direita da Linha Principal, entre as linhas do eixo “y” e as diagonais de referência. Tais linhas traçadas de forma a ocuparem os dois terços inferiores do retângulo da imagem; e
- m) selecionou-se apenas o retângulo da imagem (115,5mm x 228,8mm) para a impressão da grade canadense, incluindo-se os traçados internos a ele. A impressão foi feita em uma folha de transparência, tamanho A4, através de impressora Hp Deskjet 3920, no modo normal de impressão, com resolução geométrica de 1.200dpi.

Após o cálculo das medidas e posições de todos os pontos e retas necessários ao desenho da grade de referência, usou-se o *software* INTELLICAD para desenhar tais pontos e retas. O *software* foi utilizado no modo de desenho em planta baixa, como se estivesse desenhando em uma folha de papel, porém com todos os recursos de computação e as ferramentas do referido programa.

### 3.2.3 Planejamento do voo

#### 3.2.3.1 Escolha da área a ser sensorizada

Para que a fotointerpretação fosse adequada, atendendo aos objetivos deste trabalho, a área foi escolhida segundo alguns critérios preestabelecidos, conforme segue:

- a) apresentar construções possíveis de serem medidas, mesmo na menor escala a ser captada, ou seja, com o sensoriamento na maior altura e afastamento planejados. Para a referida medição, levou-se em consideração a menor divisão do tubo de escala, que é de 0,1mm;
- b) possuir construções com diferentes afastamentos em relação ao ponto por onde passaria a vertical da aeronave. Assim, poder-se-ia ter alvos em diferentes escalas no fotograma;
- c) ter construções afastadas umas das outras, com distância suficiente para permitir a visualização e a medição de seus lados através de uma tomada oblíqua;
- d) apresentar construções isentas de vegetação arbórea à sua volta, o suficiente para permitir a visualização e a medição de seus lados através de uma tomada oblíqua;
- e) área próxima a Santa Maria e de fácil acesso, de modo a permitir as medições *in locu*, através do equipamento estação total; e
- f) apresentar terreno o mais plano possível para minimizar os erros causados pelas diferenças de cotas entre cada alvo.

### 3.2.3.2 Proa de vôo

A proa (direção de vôo) foi definida em função do posicionamento das construções dentro da área a ser sensoriada, de forma que a linha de vôo da aeronave fosse paralela a um dos lados das construções. Isto para facilitar as medições com a grade canadense, tornando os resultados do trabalho mais exatos.

Também, conforme a doutrina do 1°/10° GAV, procurou-se planejar o vôo sobre as áreas menos habitadas. E, planejou-se uma única proa para todas as passagens, com o objetivo de permitir maior tempo ao piloto entre um sensoriamento e outro, uma vez que foram executadas cinco passagens sobre a mesma área.

### 3.2.3.3 Alturas de vôo e número de passagens para os sensoriamentos

As possibilidades de alturas de vôo são infinitas, desta forma, definiu-se uma amostragem de cinco diferentes alturas para este estudo, sendo elas:

1ª Passagem .....	1.000 pés
2ª Passagem .....	3.000 pés
3ª Passagem .....	4.500 pés
4ª Passagem .....	6.000 pés
5ª Passagem .....	8.000 pés

Os critérios utilizados para definir estas alturas foram:

- fez-se um levantamento das alturas de vôo mais utilizadas pelo Esquadrão entre os meses de janeiro e junho de 2008;
- dentre estas alturas, projetou-se uma média dos valores mais altos e mais baixos, definindo-se assim as alturas de maior e de menor valor para o sensoriamento; e
- intermediários a estes valores de extremos, projetou-se três outros valores de alturas, também seguindo-se a média entre as alturas levantadas, conforme citado no “item a”).

Para se determinar as Altitudes de Vôo “H”, somou-se o valor das Alturas de Vôo Planejadas “H<sub>vp</sub>” com o valor da Altura mais Freqüente da Área Sensoriada “AFAS”, conforme a Tabela 4.

**Tabela 4 - Altitudes de vôo**

Passagem	H <sub>vp</sub>	AFAS	H
1ª	1.000'	260'	1.260'
2ª	3.000'	260'	3.260'
3ª	4.500'	260'	4.760'
4ª	6.000'	260'	6.260'
5ª	8.000'	260'	8.260'

Entretanto, para o cálculo das Alturas de Vôo “H<sub>v</sub>”, foi preciso uma análise na carta de escala 1:50.000, onde se pode observar que a Altura mais Freqüente da Área a ser Sensoriada “AFAS” possuía valor diferente das Altura mais Freqüente das Áreas Sobrevoadas pela aeronave durante o sensoriamento “AFAV”, conforme a Tabela 5 e a Figura 36.

**Tabela 5 - Relação entre as cotas médias das áreas sensoriada e sobrevoada**

Passagem	AFAS	AFAV	RELAÇÃO
1ª	260'	260'	AFAS = AFAV
2ª	260'	330'	AFAS < AFAV
3ª	260'	330'	AFAS < AFAV
4ª	260'	260'	AFAS = AFAV
5ª	260'	080'	AFAS > AFAV

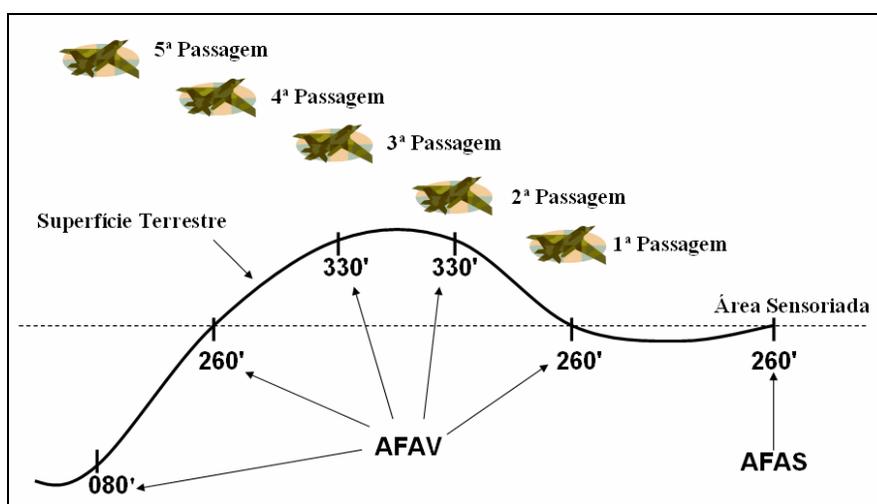


Figura 36 - Esboço das diferenças de nível entre as AFAV e a AFAS

Desta forma, fez-se os cálculos necessários para compensar a diferença de nível entre a AFAS e as AFAV, utilizando-se o seguinte raciocínio:

- para  $AFAS = AFAV$ ,  $H_v = H_{vp}$ ;
- para  $AFAS < AFAV$ ,  $H_v = H_{vp} - (AFAV - AFAS)$ ; e
- para  $AFAS > AFAV$ ,  $H_v = H_{vp} + (AFAS - AFAV)$ .

As alturas de voo “ $H_v$ ” obtidas estão apresentadas na Tabela 6.

**Tabela 6 - Alturas de vôo calculadas**

Passagem	H <sub>vp</sub>	AFAS	H	AFAV	H <sub>v</sub>
1 <sup>a</sup>	1.000'	260'	1.260'	260'	1.000'
2 <sup>a</sup>	3.000'	260'	3.260'	330'	2.930'
3 <sup>a</sup>	4.500'	260'	4.760'	330'	4.430'
4 <sup>a</sup>	6.000'	260'	6.260'	260'	6.000'
5 <sup>a</sup>	8.000'	260'	8.260'	080'	8.180'

#### 3.2.3.4 Cálculos realizados através da planilha BKS-V4

Após definidas as Alturas e Altitudes de Vôo, utilizou-se a planilha BKS-V4 para os cálculos dos parâmetros de sensoriamento da Aeronave RA-1, equipada com a câmara ZEISS TRb 60/24, para o cálculo dos demais parâmetros necessários à realização do vôo.

#### 3.2.3.5 Plotagem e traçado na carta

Utilizou-se a carta de escala 1:250.000 para o traçado das linhas de vôo e dos parâmetros necessários ao vôo. A escala 1:250.000 foi utilizada em função de que os pilotos do Esquadrão estão habituados a navegar e, portanto, familiarizados com essa escala.

#### 3.2.4 Processamento do filme

Após o vôo, o filme foi processado na processadora de filmes aéreos do 1º/10º GAV.

#### 3.2.5 Escolha dos alvos a serem utilizados na avaliação das grandezas

Após a revelação, o filme passou por uma avaliação a fim de se obter os melhores alvos a serem utilizados na pesquisa. Foram selecionadas 13 construções, seguindo-se os seguintes critérios:

- a) construções que apresentaram, no fotograma, comprimento e largura visíveis e mensuráveis em todas as cinco alturas de sensoriamento; e
- b) construções distribuídas ao longo dos dois primeiros terços da imagem, de modo a ter alvos em diferentes linhas do eixo “x” da grade canadense, ou seja, alvos em diferentes escalas.

### 3.2.6 Medidas dos alvos *in locu*

Os alvos foram medidos *in locu* através de uma estação total, marca LEICA, sendo os trabalhos executados por Técnicos em Geoprocessamento, do Colégio Politécnico, da UFSM. As medidas obtidas foram tomadas como medidas verdadeiras e corretas, para fins de comparação com as medidas feitas com a grade canadense.

### 3.2.7 Cálculo e representação dos horizontes aparentes

Primeiramente calculou-se o Ângulo de Depressão Aparente “ $\alpha$ ”, conforme o item “2.12.13.3 Cálculo dos pontos horizonte” e o item “2.12.14 Ângulo de declive”.

Tomando-se as Fórmulas 5 e 6 (página 58), sendo  $\alpha = (\theta - d)$ , teve-se a Fórmula 23:

$$PK' = \tan \left[ \theta - \left( \frac{58,8 \cdot \sqrt{H_v}}{3.600} \right) \right] \cdot f \quad (23)$$

Onde “ $H_v$ ” é dada em pés e “ $f$ ” é dada em cm.

Calculou-se a Medida do Ponto Principal ao Horizonte Aparente “PK'”, tomada sobre a Linha Principal, para cada Altura de Vôo utilizada. Na grade canadense confeccionada, marcou-se o Horizonte Aparente para cada Altura de Vôo. Para isto, utilizou-se as medidas calculadas e marcou-se os pontos sobre a Linha Principal, a partir do Ponto Principal. Partindo destes pontos e perpendiculares à Linha Principal, traçou-se as retas representativas dos Horizontes Aparentes.

### 3.2.8 Medidas dos alvos com a grade canadense

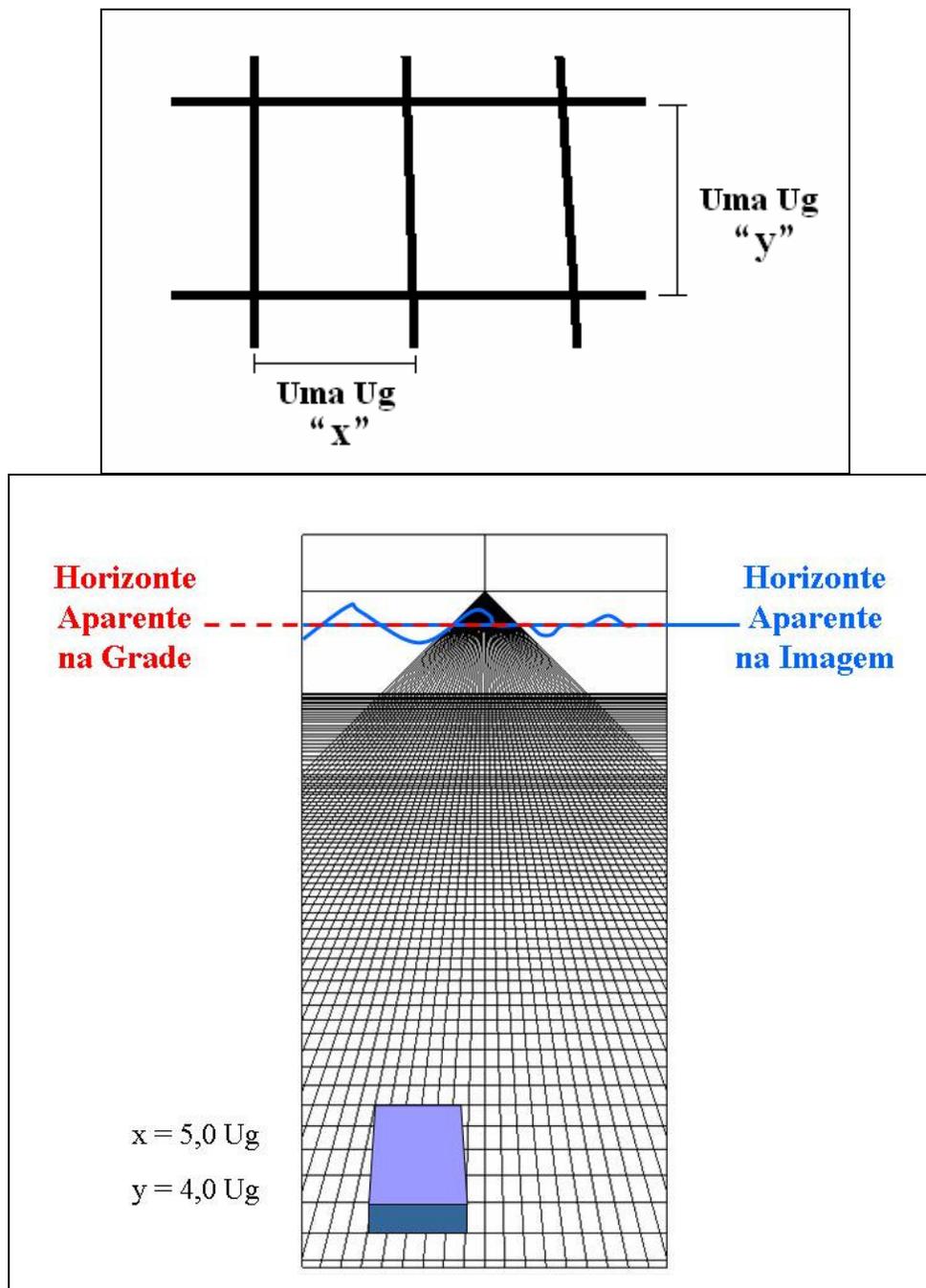
#### 3.2.8.1 Escolha dos fotogramas e cuidados para as medições

- a) Como os alvos foram imageados em mais de um fotograma, foram escolhidos os fotogramas nos quais os alvos apareceram mais próximos da Linha Principal, a fim de minimizar, nas medições, os erros decorrentes das distorções da imagem;
- b) Nos fotogramas, o Horizonte Aparente foi representado por uma linha média que foi traçada a partir da visualização do Horizonte Aparente da imagem no próprio fotograma, conforme mostra a Figura 37;



**Figura 37 - Horizonte aparente e linha média do horizonte aparente**

- c) Antes de cada medição, ao posicionar-se a grade canadense sobre o fotograma, teve-se o cuidado de fazer coincidir as linhas laterais da grade canadense com as margens do fotograma. Também, de fazer coincidir a linha do Horizonte Aparente da grade canadense, de acordo com a respectiva Altura de Vôo, com a linha média do Horizonte Aparente do fotograma;
- d) Todos os alvos foram medidos em unidades de grade, considerando-se que uma Unidade de Grade “Ug” é igual ao intervalo entre duas retas consecutivas da grade canadense, tanto para a grandeza “x” quanto para a grandeza “y”. A Figura 38 apresenta as unidades de grade e o esboço de um objeto com a correspondente medida em “Ug”;



**Figura 38 - Representação das unidades de grade**

- e) Quando a medida da grandeza do alvo ficou em frações de  $Ug$ , fez-se interpolação, utilizando-se o tubo de escala, para se chegar à correta fração de  $Ug$ .

### 3.2.8.2 Número de medições

De acordo com o número de Ug ocupadas pelo alvo, a fim de minimizar os erros decorrentes das distorções da imagem, fez-se uma ou três medições, conforme segue:

- a) para a grandeza “x”, fez-se uma medição, tomando-se a linha central do alvo, quando este mediu até duas Ug na perspectiva “y”. Por exemplo, um alvo retangular, cujo maior lado estava paralelo à linha de vôo;
- b) para a grandeza “x”, fez-se três medições, tomando-se uma em cada extremidade e uma ao centro do alvo, quando este mediu mais de duas Ug na perspectiva “y”. Por exemplo, um alvo retangular, cujo maior lado estava perpendicular à linha de vôo;
- c) para a grandeza “y”, fez-se uma medição, tomando-se a linha central do alvo, quando este mediu até duas Ug na perspectiva “x”. Por exemplo, um alvo retangular, cujo maior lado estava perpendicular à linha de vôo; e
- d) para a grandeza “y”, fez-se três medições, tomando-se uma em cada extremidade e uma ao centro, quando o alvo mediu mais de duas Ug na perspectiva “x”. Por exemplo, um alvo retangular, cujo maior lado estava paralelo à linha de vôo.

### 3.2.9 Conversão das medidas em “Ug” para “m”

Para a conversão das medidas das grandezas “x”, de “Ug” para “m”, utilizou-se a Fórmula 26, já para a conversão das medidas das grandezas “y”, de “ug” para “m”, utilizou-se a Fórmula 27. Estas fórmulas foram deduzidas a partir da fórmula da escala, em função da Distância Focal e da Altura de Vôo.

Tal dedução de fórmula, exclusiva deste trabalho, foi necessária para que o cálculo das dimensões reais do alvo fosse possível por uma única fórmula, o que não consta na bibliografia consultada.

A dedução foi realizada conforme segue:

- a) primeiramente se considerou duas alturas de vôo diferentes,  $H_1$  e  $H_2$ , para um mesmo sensor de distância focal “f”. Fez-se a relação entre os módulos ( $e_1$  e  $e_2$ ) das escalas, ( $E_1$  e  $E_2$ );

$$\text{a.1) } E_1 = \frac{f}{H_1} \quad f = E_1 \cdot H_1$$

$$\text{a.2) } E_2 = \frac{f}{H_2} \quad f = E_2 \cdot H_2$$

Igualando-se “a.1)” e “a.2)”, obteve-se a Fórmula 24:

$$\text{a.3) } (E_1 \cdot H_1) = (E_2 \cdot H_2) \quad \left( \frac{1}{e_1} \cdot H_1 \right) = \left( \frac{1}{e_2} \cdot H_2 \right) \quad \boxed{e_2 = \left( \frac{H_2}{H_1} \cdot e_1 \right)} \quad (24)$$

b) considerando-se uma medida no desenho da grade “d<sub>g</sub>”, aplicou-se a fórmula de escala (E<sub>1</sub> e E<sub>2</sub>) para se ter as medidas reais “R<sub>1</sub> e R<sub>2</sub>”;

$$\text{b.1) } R_1 = d_g \cdot e_1 \quad d_g = \frac{R_1}{e_1}$$

$$\text{b.2) } R_2 = d_g \cdot e_2$$

Substituindo a Fórmula (24) e a fórmula de “b.1)” na fórmula de “b.2)”, obteve-se a Fórmula 25 para a medida real “R<sub>2</sub>” em função de “R<sub>1</sub>”:

$$\text{b.3) } R_2 = \frac{R_1}{e_1} \cdot \frac{H_2}{H_1} \cdot e_1 \quad \boxed{R_2 = R_1 \cdot \frac{H_2}{H_1}} \quad (25)$$

c) até aqui, considerou-se que:

E<sub>1</sub> - é a escala base usada para a elaboração da grade canadense “E<sub>g</sub>”;

H<sub>1</sub> - é a altura de vôo base “H<sub>g</sub>” utilizada para o cálculo da escala da grade canadense;

d<sub>g</sub> - é expresso em unidades de grade “U<sub>g</sub>”, podendo ter qualquer valor;

R<sub>1</sub> - é a medida real “R<sub>g</sub>” utilizada para o cálculo das unidades de grade para a grandeza “x” (R<sub>gx</sub> = 10m) ou para a grandeza “y” (R<sub>gy</sub> = 50m);

R<sub>2</sub> - é a medida real calculada “C” através da mesma grade canadense; e

H<sub>2</sub> - é a altura de vôo “H<sub>c</sub>” utilizada para o sensoriamento do alvo a ser medido pela grade canadense.

d) tomando-se “b.3)” e as considerações em “c”, obteve-se as Fórmulas 26 e 27:

$$d.1) R_2 = R_1 \cdot \frac{H_2}{H_1} \quad \boxed{C_x = R_{gx} \cdot \frac{H_c}{H_g} \cdot N_{ugx}} \quad (26)$$

$$\boxed{C_y = R_{gy} \cdot \frac{H_c}{H_g} \cdot N_{ugy}} \quad (27)$$

Onde:

$C_x$  = medida do alvo em metros, referente à grandeza “x”, determinada pela grade canadense;

$C_y$  = medida do alvo em metros, referente à grandeza “y”, determinada pela grade canadense;

$R_{gx}$  = 10m, medida real da unidade base para a elaboração das divisões na direção “x” da grade canadense;

$R_{gy}$  = 50m, medida real da unidade base para a elaboração das divisões na direção “y” da grade canadense;

$H_C$  = altura de vôo utilizada no imageamento do alvo a ser medido;

$H_g$  = altura de vôo base, utilizada no cálculo da escala para elaboração da grade canadense, sendo neste trabalho  $H_g = 1.000'$ ;

$N_{ugx}$  = números de unidades de grade “Ug” medidas na direção “x”;

$N_{ugy}$  = números de unidades de grade “Ug” medidas na direção “y”.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos no presente trabalho foram separados em itens para melhores entendimentos e discussões.

### 4.1 Parâmetros calculados para a elaboração da grade canadense

A Tabela 7 apresenta os parâmetros calculados para a elaboração da grade canadense.

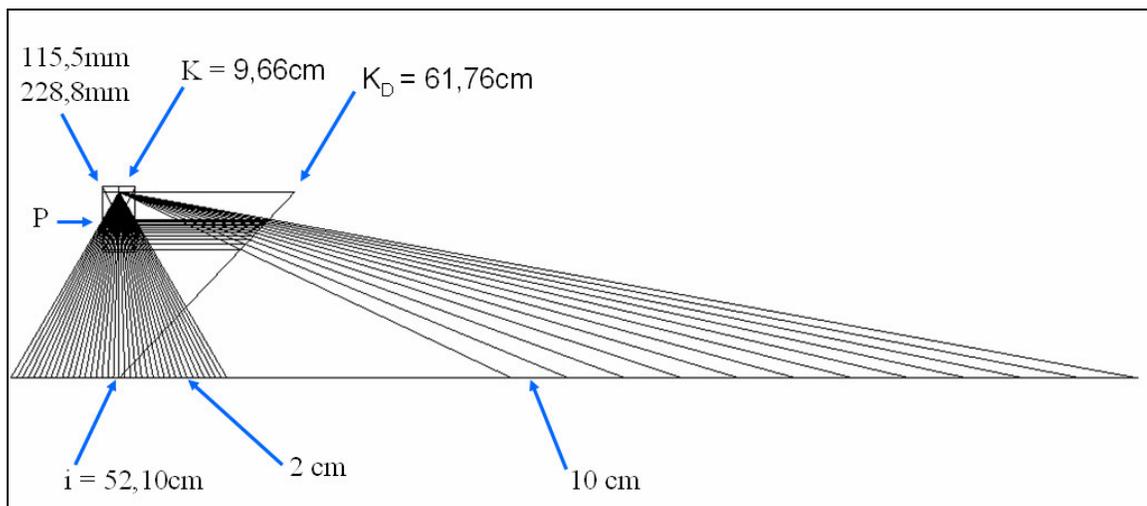
**Tabela 7 - Parâmetros calculados para a elaboração da grade canadense**

Parâmetros	Valores
Retângulo da imagem	115,5 mm x 228,8 mm
Ângulo de Depressão “ $\theta$ ”	9°
Posição do Ponto Horizonte “K”	96,614508 mm
Posição do Isocentro “i”	520,98922 mm
Ponto Horizonte Verdadeiro à Esquerda “K <sub>E</sub> ” e à Direita “K <sub>D</sub> ” da Linha Principal	617,60373 mm
Escala base usada na elaboração da grade canadense	1:500
Subdivisões da Isoscala na direção “x”	10 cm
Subdivisões da Isoscala na direção “y”.	2 cm

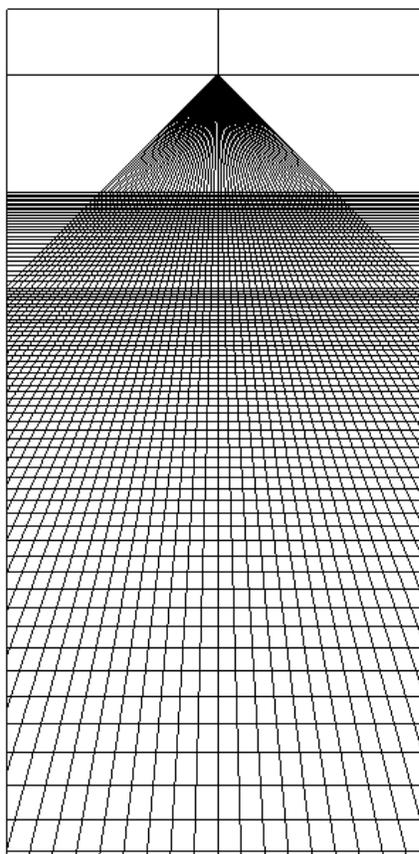
### 4.2 Grade canadense adequada aos parâmetros da câmara ZEISS TRb 60/24

A Figura 39 apresenta um esboço de todo o desenho da rede de perspectiva e a Figura 40 apresenta um esboço apenas do retângulo útil da grade canadense, ou seja, a parte que foi impressa e utilizada nas medições das dimensões.

O Apêndice B também apresenta uma imagem da rede de perspectiva por completo, em maior tamanho, e o Apêndice C apresenta, em poliéster e em escala, a grade canadense que foi impressa e utilizada nas medições das dimensões.



**Figura 39 - Esboço do desenho da grade de referência**



**Figura 40 - Grade canadense reduzida**

#### 4.2.1 Representação dos horizontes aparentes

Na grade canadense confeccionada, marcou-se o horizonte aparente para cada altura de vôo, conforme os valores calculados e apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8 - Medidas do ponto principal ao horizonte aparente, conforme a altura de vôo**

<b>H<sub>p</sub></b>	<b>PK'</b>
1.000'	9,09 cm
3.000'	8,69 cm
4.500'	8,47 cm
6.000'	8,28 cm
8.000'	8,07 cm

### 4.3 Resultados do planejamento e realização do vôo

#### 4.3.1 Área selecionada para o sensoriamento

A área do Campus da Universidade Federal de Santa Maria foi selecionada para o sensoriamento, conforme a Figura 41.



**Figura 41 - Área do Campus da Universidade Federal de Santa Maria**

#### 4.3.2 Proa e alturas de vôo

A Tabela 9 apresenta a proa e as alturas de vôo “ $H_v$ ” calculadas para o sensoriamento.

**Tabela 9 - Proa e alturas de vôo**

Vôos	Proa	$H_v$
1ª Passagem	260°	1.000'
2ª Passagem	260°	2.930'
3ª Passagem	260°	4.430'
4ª Passagem	260°	6.000'
5ª Passagem	260°	8.180'

#### 4.3.3 Distâncias da vertical da aeronave ao ponto central da área sensoriada

Conforme os cálculos realizados com o uso da planilha BKS-V4, as distâncias da linha vertical da aeronave ao ponto central da área sensoriada “DVACA” são apresentadas na Tabela 10.

**Tabela 10 - Distâncias da vertical da aeronave ao ponto central da área sensoriada**

Passagem	DVACA	
	Km	NM
1 <sup>a</sup>	1,924	1,04
2 <sup>a</sup>	5,773	3,12
3 <sup>a</sup>	8,660	4,67
4 <sup>a</sup>	11,547	6,23
5 <sup>a</sup>	15,395	8,31

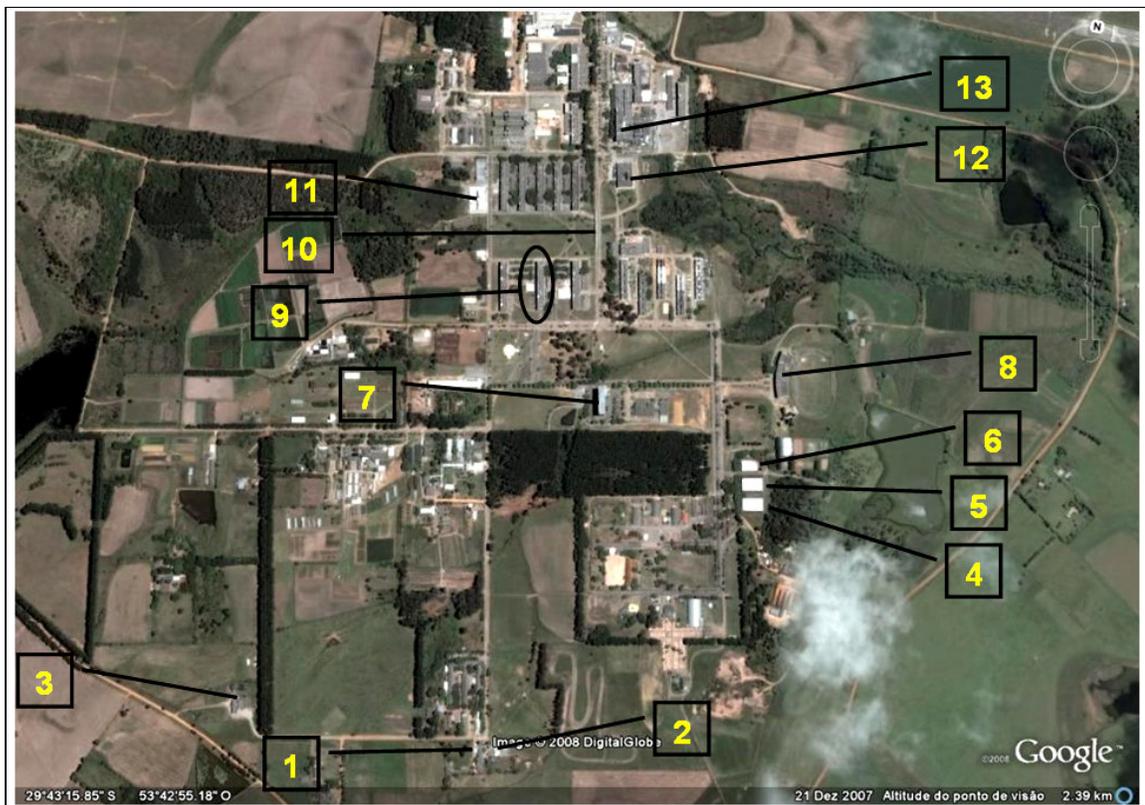
#### 4.3.4 Realização do voo

O voo foi realizado no dia 19 de julho de 2008, no horário compreendido entre às 15:05 e 15:30 horas, horário de Brasília.

### 4.4 Alvos selecionados e suas medidas *in locu*

#### 4.4.1 Alvos selecionados para a avaliação das grandezas

Foram selecionados treze alvos para a avaliação de dimensões pela grade canadense elaborada. A Figura 42 apresenta a área selecionada para o sensoriamento, bem como a identificação e numeração dos 13 alvos selecionados para as avaliações.



**Figura 42 - Área e alvos selecionados**

#### 4.4.2 Medidas dos alvos *in locu*

As medidas dos alvos, obtidas com a estação total, são apresentadas na Tabela 11, onde as grandezas “x” são referentes ao lado do alvo que ficou aproximadamente paralelo à linha de vôo e as grandezas “y” são referentes ao lado do alvo que ficou perpendicular à grandeza “x”.

**Tabela 11 - Medidas reais dos alvos**

Alvos	Identificação da Construção	Dimensões	
		x (m)	y (m)
1	Biotério Central 1	12,50	61,78
2	Biotério Central 2	33,41	11,83
3	Usina de Laticínios	39,96	31,15
4	Ginásio 2	50,32	30,64
5	Ginásio 1	50,32	30,64
6	Piscina	40,34	25,00
7	Reitoria	16,32	66,62
8	Estádio	14,50	115,20
9	CCR	15,93	123,26
10	Ponte	13,81	96,88
11	Prédio ao lado da FATEC	36,86	50,06
12	Biblioteca	36,86	63,15
13	HUSM	17,25	86,75

#### 4.5 Medidas dos alvos em “Ug” e em “m”

##### 4.5.1 Medidas em Ug

Para registrar as medições, montou-se Tabela 12, na qual consta:

- na primeira coluna, numeração de 1 a 13, correspondendo aos treze alvos selecionados;
- na segunda linha, as cinco alturas de vôo utilizadas;
- para cada altura, têm-se duas colunas, “x” e “y”, correspondendo respectivamente às grandezas “x” e “y” de cada alvo;

- d) para cada alvo, têm-se quatro linhas identificadas por: 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup> e  $\bar{X}$ . Cada célula, destas linhas, registra um valor em unidades de grade “Ug”, correspondendo às dimensões “x” ou “y” e, respectivamente, à altura de vôo. Os valores de cada célula das linhas “ $\bar{X}$ ” são as médias aritméticas das três células imediatamente superiores; e
- e) para cada uma das dimensões, “x” e “y”, e dentro de cada uma das alturas de vôo, seguindo-se o que foi colocado no item “3.2.8.2 Número de medições”, quando foi realizada apenas uma medida com a grade canadense, esta medida está repetida nas três células correspondentes ao respectivo alvo. Entretanto, se foram realizadas três medições, a célula da linha “1<sup>a</sup>” registra os valores correspondentes à primeira medida realizada pelo fotointérprete, a “2<sup>a</sup>” registra a segunda medida e a “3<sup>a</sup>” registra a terceira medida.

Tabela 12 - Medidas dos alvos em Ug

MEDIDAS RELIZADAS COM A GRADE CANADENSE											
Altura (pés)	1.000		3.000		4.500		6.000		8.000		
Alvo	Medidas em unidades de grade - "ug"										
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	
1	1ª	1,33	1,30	0,41	0,41	0,27	0,27	0,20	0,22	0,17	0,16
	2ª	1,35	1,30	0,41	0,43	0,25	0,27	0,20	0,20	0,17	0,16
	3ª	1,36	1,30	0,41	0,41	0,29	0,27	0,20	0,20	0,17	0,16
	$\bar{x}$	<b>1,35</b>	<b>1,30</b>	<b>0,41</b>	<b>0,42</b>	<b>0,27</b>	<b>0,27</b>	<b>0,20</b>	<b>0,21</b>	<b>0,17</b>	<b>0,16</b>
2	1ª	3,65	0,28	1,10	0,09	0,74	0,06	0,56	0,05	0,44	0,03
	2ª	3,65	0,28	1,12	0,10	0,74	0,06	0,56	0,05	0,44	0,03
	3ª	3,65	0,28	1,10	0,09	0,74	0,06	0,56	0,05	0,44	0,03
	$\bar{x}$	<b>3,65</b>	<b>0,28</b>	<b>1,11</b>	<b>0,09</b>	<b>0,74</b>	<b>0,06</b>	<b>0,56</b>	<b>0,05</b>	<b>0,44</b>	<b>0,03</b>
3	1ª	4,37	0,65	1,25	0,19	0,90	0,11	0,69	0,10	0,51	0,06
	2ª	4,38	0,65	1,25	0,19	0,89	0,13	0,67	0,10	0,51	0,06
	3ª	4,39	0,65	1,25	0,19	0,89	0,14	0,67	0,10	0,51	0,06
	$\bar{x}$	<b>4,38</b>	<b>0,65</b>	<b>1,25</b>	<b>0,19</b>	<b>0,89</b>	<b>0,13</b>	<b>0,68</b>	<b>0,10</b>	<b>0,51</b>	<b>0,06</b>
4	1ª	5,48	0,60	1,66	0,18	1,07	0,14	0,82	0,10	0,63	0,07
	2ª	5,48	0,60	1,66	0,18	1,07	0,14	0,83	0,10	0,63	0,07
	3ª	5,48	0,61	1,66	0,18	1,07	0,14	0,83	0,10	0,63	0,07
	$\bar{x}$	<b>5,48</b>	<b>0,60</b>	<b>1,66</b>	<b>0,18</b>	<b>1,07</b>	<b>0,14</b>	<b>0,83</b>	<b>0,10</b>	<b>0,63</b>	<b>0,07</b>
5	1ª	5,37	0,56	1,66	0,18	1,07	0,14	0,82	0,10	0,63	0,07
	2ª	5,37	0,56	1,66	0,18	1,07	0,14	0,83	0,10	0,63	0,07
	3ª	5,37	0,58	1,66	0,18	1,07	0,14	0,83	0,10	0,63	0,07
	$\bar{x}$	<b>5,37</b>	<b>0,57</b>	<b>1,66</b>	<b>0,18</b>	<b>1,07</b>	<b>0,14</b>	<b>0,83</b>	<b>0,10</b>	<b>0,63</b>	<b>0,07</b>
6	1ª	4,38	0,48	1,39	0,16	0,89	0,12	0,67	0,09	0,52	0,06
	2ª	4,38	0,48	1,39	0,16	0,90	0,11	0,67	0,07	0,52	0,06
	3ª	4,38	0,49	1,39	0,16	0,89	0,11	0,67	0,07	0,52	0,06
	$\bar{x}$	<b>4,38</b>	<b>0,48</b>	<b>1,39</b>	<b>0,16</b>	<b>0,89</b>	<b>0,11</b>	<b>0,67</b>	<b>0,08</b>	<b>0,52</b>	<b>0,06</b>
7	1ª	1,78	1,37	0,57	0,40	0,36	0,27	0,27	0,20	0,20	0,18
	2ª	1,80	1,38	0,55	0,41	0,38	0,27	0,27	0,22	0,20	0,18
	3ª	1,80	1,38	0,57	0,41	0,35	0,27	0,27	0,22	0,20	0,18
	$\bar{x}$	<b>1,79</b>	<b>1,38</b>	<b>0,56</b>	<b>0,41</b>	<b>0,36</b>	<b>0,27</b>	<b>0,27</b>	<b>0,21</b>	<b>0,20</b>	<b>0,18</b>
8	1ª	1,47	2,40	0,44	0,65	0,32	0,47	0,23	0,42	0,17	0,29
	2ª	1,37	2,40	0,44	0,65	0,32	0,48	0,23	0,42	0,17	0,29
	3ª	1,38	2,40	0,44	0,65	0,32	0,46	0,23	0,42	0,17	0,29
	$\bar{x}$	<b>1,41</b>	<b>2,40</b>	<b>0,44</b>	<b>0,65</b>	<b>0,32</b>	<b>0,47</b>	<b>0,23</b>	<b>0,42</b>	<b>0,17</b>	<b>0,29</b>
9	1ª	1,67	2,50	0,53	0,85	0,35	0,52	0,26	0,40	0,20	0,31
	2ª	1,65	2,50	0,54	0,85	0,35	0,54	0,26	0,38	0,20	0,31
	3ª	1,59	2,50	0,53	0,85	0,35	0,54	0,26	0,40	0,20	0,31
	$\bar{x}$	<b>1,64</b>	<b>2,50</b>	<b>0,53</b>	<b>0,85</b>	<b>0,35</b>	<b>0,53</b>	<b>0,26</b>	<b>0,39</b>	<b>0,20</b>	<b>0,31</b>
10	1ª	1,35	1,95	0,45	0,66	0,30	0,44	0,22	0,33	0,17	0,25
	2ª	1,33	1,95	0,45	0,67	0,29	0,45	0,22	0,31	0,17	0,25
	3ª	1,33	1,95	0,45	0,66	0,30	0,42	0,22	0,31	0,17	0,25
	$\bar{x}$	<b>1,34</b>	<b>1,95</b>	<b>0,45</b>	<b>0,66</b>	<b>0,30</b>	<b>0,44</b>	<b>0,22</b>	<b>0,32</b>	<b>0,17</b>	<b>0,25</b>
11	1ª	3,65	0,99	1,21	0,36	0,83	0,23	0,62	0,18	0,47	0,14
	2ª	3,65	0,99	1,21	0,36	0,84	0,23	0,62	0,18	0,47	0,14
	3ª	3,65	0,99	1,21	0,36	0,82	0,23	0,63	0,18	0,47	0,14
	$\bar{x}$	<b>3,65</b>	<b>0,99</b>	<b>1,21</b>	<b>0,36</b>	<b>0,83</b>	<b>0,23</b>	<b>0,62</b>	<b>0,18</b>	<b>0,47</b>	<b>0,14</b>
12	1ª	3,90	1,17	1,31	0,43	0,85	0,30	0,62	0,19	0,50	0,15
	2ª	3,90	1,18	1,30	0,43	0,85	0,30	0,62	0,19	0,50	0,15
	3ª	3,90	1,20	1,28	0,43	0,85	0,30	0,62	0,19	0,50	0,15
	$\bar{x}$	<b>3,90</b>	<b>1,18</b>	<b>1,30</b>	<b>0,43</b>	<b>0,85</b>	<b>0,30</b>	<b>0,62</b>	<b>0,19</b>	<b>0,50</b>	<b>0,15</b>
13	1ª	1,75	1,67	0,58	0,56	0,42	0,40	0,29	0,27	0,22	0,27
	2ª	1,75	1,67	0,56	0,55	0,40	0,40	0,29	0,27	0,22	0,27
	3ª	1,75	1,67	0,56	0,58	0,37	0,40	0,29	0,27	0,22	0,27
	$\bar{x}$	<b>1,75</b>	<b>1,67</b>	<b>0,57</b>	<b>0,56</b>	<b>0,40</b>	<b>0,40</b>	<b>0,29</b>	<b>0,27</b>	<b>0,22</b>	<b>0,27</b>

## 4.5.2 Medidas convertidas de “Ug” para “m”

A Tabela 13 apresenta os valores médios das dimensões “x” e “y”. Na linha “ $\bar{X}$ ” em unidades de grade “Ug” e na linha “C” em metros.

**Tabela 13 - Medidas dos alvos em “Ug” e em “m”**

Medidas Convertidas de "Ug" para "m"											
Altura (pés)		1.000		3.000		4.500		6.000		8.000	
Alvo		Medidas									
		x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
1	$\bar{X}$	1,35	1,30	0,41	0,42	0,27	0,27	0,20	0,21	0,17	0,16
	C	13,47	65,00	12,30	62,50	12,15	60,75	12,00	62,00	13,60	64,00
2	$\bar{X}$	3,65	0,28	1,11	0,09	0,74	0,06	0,56	0,05	0,44	0,03
	C	36,50	14,00	33,20	14,00	33,30	13,50	33,60	15,00	35,20	12,00
3	$\bar{X}$	4,38	0,65	1,25	0,19	0,89	0,13	0,68	0,10	0,51	0,06
	C	43,80	32,50	37,50	28,50	40,20	28,50	40,60	30,00	40,80	24,00
4	$\bar{X}$	5,48	0,60	1,66	0,18	1,07	0,14	0,83	0,10	0,63	0,07
	C	54,80	30,17	49,80	27,00	48,15	31,50	49,60	30,00	50,40	28,00
5	$\bar{X}$	5,37	0,57	1,66	0,18	1,07	0,14	0,83	0,10	0,63	0,07
	C	53,70	28,33	49,80	27,00	48,15	31,50	49,60	30,00	50,40	28,00
6	$\bar{X}$	4,38	0,48	1,39	0,16	0,89	0,11	0,67	0,08	0,52	0,06
	C	43,80	24,17	41,70	24,00	40,20	25,50	40,20	23,00	41,60	24,00
7	$\bar{X}$	1,79	1,38	0,56	0,41	0,36	0,27	0,27	0,21	0,20	0,18
	C	17,93	68,83	16,90	61,00	16,35	60,75	16,20	64,00	16,00	72,00
8	$\bar{X}$	1,41	2,40	0,44	0,65	0,32	0,47	0,23	0,42	0,17	0,29
	C	14,07	120,00	13,20	97,50	14,40	105,75	13,80	126,00	13,60	116,00
9	$\bar{X}$	1,64	2,50	0,53	0,85	0,35	0,53	0,26	0,39	0,20	0,31
	C	16,37	125,00	16,00	127,50	15,75	120,00	15,60	118,00	16,00	124,00
10	$\bar{X}$	1,34	1,95	0,45	0,66	0,30	0,44	0,22	0,32	0,17	0,25
	C	13,37	97,50	13,50	99,50	13,35	98,25	13,20	95,00	13,60	100,00
11	$\bar{X}$	3,65	0,99	1,21	0,36	0,83	0,23	0,62	0,18	0,47	0,14
	C	36,50	49,50	36,30	54,00	37,35	51,75	37,40	54,00	37,60	56,00
12	$\bar{X}$	3,90	1,18	1,30	0,43	0,85	0,30	0,62	0,19	0,50	0,15
	C	39,00	59,17	38,90	64,50	38,25	67,50	37,20	57,00	40,00	60,00
13	$\bar{X}$	1,75	1,67	0,57	0,56	0,40	0,40	0,29	0,27	0,22	0,27
	C	17,50	83,50	17,00	84,50	17,85	90,00	17,40	81,00	17,60	108,00

## 4.6 Erro verdadeiro nas dimensões avaliadas

A Tabela 14 apresenta os valores de erro verdadeiro, ou seja, as variações, para mais ou para menos, ocorridas entre as medidas calculadas através da grade canadense em relação às medidas feitas por meio da Estação Total. Sendo as medições com a Estação Total tomadas como verdadeiras.

Na referida tabela, para cada um dos treze alvos e a cada uma das cinco alturas de vôo, tem-se:

- a) as células da linha “C” registram, em metros, as medidas calculadas pela grade canadense, para as grandezas “x” e “y”;
- b) as células da linha “R” registram, em metros, as medidas feitas pela estação total, para as grandezas “x” e “y”;
- c) as células da linha “ $\Delta m$ ” registram o erro verdadeiro, em metros. A variação positiva indica que a grade canadense superestimou a medida real, caso contrário, subestimou a medida real; e
- d) as células da linha “ $\Delta\%$ ” registram o erro verdadeiro em percentual, em relação às medidas da estação total “R”.

Tabela 14 - Erro verdadeiro das medidas nas dimensões “x” e “y”

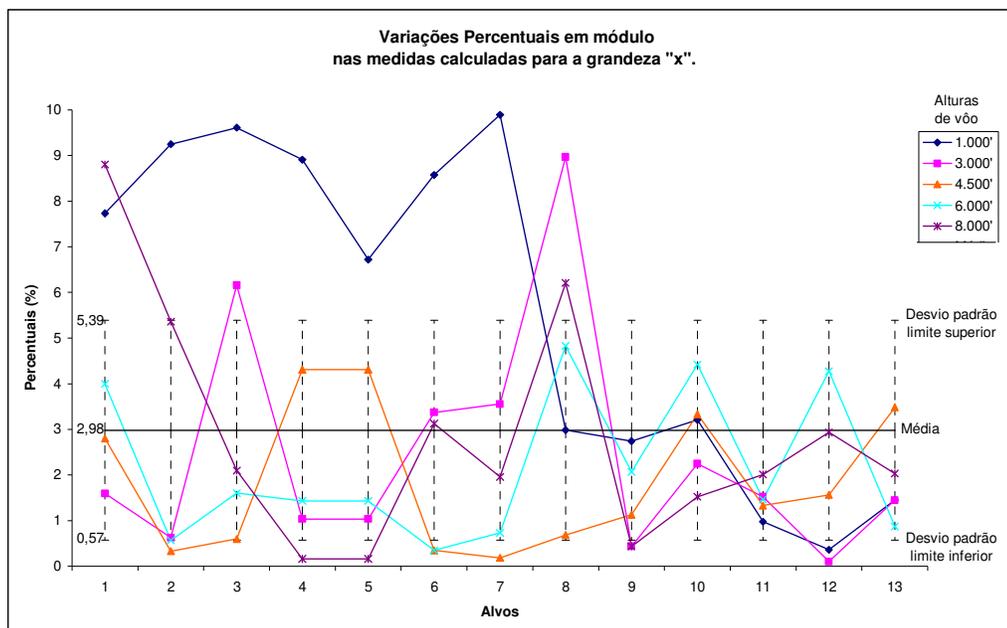
VARIÇÕES ENTRE AS MEDIDAS CALCULADAS E AS REAIS											
Altura (pés)	1.000		3.000		4.500		6.000		8.000		
Alvo	Medidas										
		x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
1	C	13,47	65,00	12,30	62,50	12,15	60,75	12,00	62,00	13,60	64,00
	R	12,50	61,78	12,50	61,78	12,50	61,78	12,50	61,78	12,50	61,78
	$\Delta m$	0,97	3,22	-0,20	0,72	-0,35	-1,03	-0,50	0,22	1,10	2,22
	$\Delta\%$	<b>7,73</b>	<b>5,21</b>	<b>-1,60</b>	<b>1,17</b>	<b>-2,80</b>	<b>-1,67</b>	<b>-4,00</b>	<b>0,36</b>	<b>8,80</b>	<b>3,59</b>
2	C	36,50	14,00	33,20	14,00	33,30	13,50	33,60	15,00	35,20	12,00
	R	33,41	13,83	33,41	13,83	33,41	13,83	33,41	13,83	33,41	13,83
	$\Delta m$	3,09	0,17	-0,21	0,17	-0,11	-0,33	0,19	1,17	1,79	-1,83
	$\Delta\%$	<b>9,25</b>	<b>1,23</b>	<b>-0,63</b>	<b>1,23</b>	<b>-0,33</b>	<b>-2,39</b>	<b>0,57</b>	<b>8,46</b>	<b>5,36</b>	<b>-13,23</b>
3	C	43,80	32,50	37,50	28,50	40,20	28,50	40,60	30,00	40,80	24,00
	R	39,96	31,15	39,96	31,15	39,96	31,15	39,96	31,15	39,96	31,15
	$\Delta m$	3,84	1,35	-2,46	-2,65	0,24	-2,65	0,64	-1,15	0,84	-7,15
	$\Delta\%$	<b>9,61</b>	<b>4,33</b>	<b>-6,16</b>	<b>-8,51</b>	<b>0,60</b>	<b>-8,51</b>	<b>1,60</b>	<b>-3,69</b>	<b>2,10</b>	<b>-22,95</b>
4	C	54,80	30,17	49,80	27,00	48,15	31,50	49,60	30,00	50,40	28,00
	R	50,32	29,64	50,32	29,64	50,32	29,64	50,32	29,64	50,32	29,64
	$\Delta m$	4,48	0,53	-0,52	-2,64	-2,17	1,86	-0,72	0,36	0,08	-1,64
	$\Delta\%$	<b>8,90</b>	<b>1,78</b>	<b>-1,03</b>	<b>-8,91</b>	<b>-4,31</b>	<b>6,28</b>	<b>-1,43</b>	<b>1,21</b>	<b>0,16</b>	<b>-5,53</b>
5	C	53,70	28,33	49,80	27,00	48,15	31,50	49,60	30,00	50,40	28,00
	R	50,32	29,64	50,32	29,64	50,32	29,64	50,32	29,64	50,32	29,64
	$\Delta m$	3,38	-1,31	-0,52	-2,64	-2,17	1,86	-0,72	0,36	0,08	-1,64
	$\Delta\%$	<b>6,72</b>	<b>-4,41</b>	<b>-1,03</b>	<b>-8,91</b>	<b>-4,31</b>	<b>6,28</b>	<b>-1,43</b>	<b>1,21</b>	<b>0,16</b>	<b>-5,53</b>
6	C	43,80	24,17	41,70	24,00	40,20	25,50	40,20	23,00	41,60	24,00
	R	40,34	25,00	40,34	25,00	40,34	25,00	40,34	25,00	40,34	25,00
	$\Delta m$	3,46	-0,83	1,36	-1,00	-0,14	0,50	-0,14	-2,00	1,26	-1,00
	$\Delta\%$	<b>8,58</b>	<b>-3,33</b>	<b>3,37</b>	<b>-4,00</b>	<b>-0,35</b>	<b>2,00</b>	<b>-0,35</b>	<b>-8,00</b>	<b>3,12</b>	<b>-4,00</b>
7	C	17,93	68,83	16,90	61,00	16,35	60,75	16,20	64,00	16,00	72,00
	R	16,32	66,62	16,32	66,62	16,32	66,62	16,32	66,62	16,32	66,62
	$\Delta m$	1,61	2,21	0,58	-5,62	0,03	-5,87	-0,12	-2,62	-0,32	5,38
	$\Delta\%$	<b>9,89</b>	<b>3,32</b>	<b>3,55</b>	<b>-8,44</b>	<b>0,18</b>	<b>-8,81</b>	<b>-0,74</b>	<b>-3,93</b>	<b>-1,96</b>	<b>8,08</b>
8	C	14,07	120,00	13,20	97,50	14,40	105,75	13,80	126,00	13,60	116,00
	R	14,50	115,20	14,50	115,20	14,50	115,20	14,50	115,20	14,50	115,20
	$\Delta m$	-0,43	4,80	-1,30	-17,70	-0,10	-9,45	-0,70	10,80	-0,90	0,80
	$\Delta\%$	<b>-2,99</b>	<b>4,17</b>	<b>-8,97</b>	<b>-15,36</b>	<b>-0,69</b>	<b>-8,20</b>	<b>-4,83</b>	<b>9,38</b>	<b>-6,21</b>	<b>0,69</b>
9	C	16,37	125,00	16,00	127,50	15,75	120,00	15,60	118,00	16,00	124,00
	R	15,93	123,26	15,93	123,26	15,93	123,26	15,93	123,26	15,93	123,26
	$\Delta m$	0,44	1,74	0,07	4,24	-0,18	-3,26	-0,33	-5,26	0,07	0,74
	$\Delta\%$	<b>2,74</b>	<b>1,41</b>	<b>0,44</b>	<b>3,44</b>	<b>-1,13</b>	<b>-2,64</b>	<b>-2,07</b>	<b>-4,27</b>	<b>0,44</b>	<b>0,60</b>
10	C	13,37	97,50	13,50	99,50	13,35	98,25	13,20	95,00	13,60	100,00
	R	13,81	96,88	13,81	96,88	13,81	96,88	13,81	96,88	13,81	96,88
	$\Delta m$	-0,44	0,62	-0,31	2,62	-0,46	1,37	-0,61	-1,88	-0,21	3,12
	$\Delta\%$	<b>-3,21</b>	<b>0,64</b>	<b>-2,24</b>	<b>2,70</b>	<b>-3,33</b>	<b>1,41</b>	<b>-4,42</b>	<b>-1,94</b>	<b>-1,52</b>	<b>3,22</b>
11	C	36,50	49,50	36,30	54,00	37,35	51,75	37,40	54,00	37,60	56,00
	R	36,86	50,06	36,86	50,06	36,86	50,06	36,86	50,06	36,86	50,06
	$\Delta m$	-0,36	-0,56	-0,56	3,94	0,49	1,69	0,54	3,94	0,74	5,94
	$\Delta\%$	<b>-0,98</b>	<b>-1,12</b>	<b>-1,52</b>	<b>7,87</b>	<b>1,33</b>	<b>3,38</b>	<b>1,47</b>	<b>7,87</b>	<b>2,01</b>	<b>11,87</b>
12	C	39,00	59,17	38,90	64,50	38,25	67,50	37,20	57,00	40,00	60,00
	R	38,86	63,15	38,86	63,15	38,86	63,15	38,86	63,15	38,86	63,15
	$\Delta m$	0,14	-3,98	0,04	1,35	-0,61	4,35	-1,66	-6,15	1,14	-3,15
	$\Delta\%$	<b>0,36</b>	<b>-6,31</b>	<b>0,10</b>	<b>2,14</b>	<b>-1,57</b>	<b>6,89</b>	<b>-4,27</b>	<b>-9,74</b>	<b>2,93</b>	<b>-4,99</b>
13	C	17,50	83,50	17,00	84,50	17,85	90,00	17,40	81,00	17,60	108,00
	R	17,25	86,75	17,25	86,75	17,25	86,75	17,25	86,75	17,25	86,75
	$\Delta m$	0,25	-3,25	-0,25	-2,25	0,60	3,25	0,15	-5,75	0,35	21,25
	$\Delta\%$	<b>1,45</b>	<b>-3,75</b>	<b>-1,45</b>	<b>-2,59</b>	<b>3,48</b>	<b>3,75</b>	<b>0,87</b>	<b>-6,63</b>	<b>2,03</b>	<b>24,50</b>

#### 4.7 Erro absoluto por dimensão avaliada

Para a análise dos erros absolutos, optou-se pelos valores em percentuais, “ $\Delta\%$ ”, constantes na Tabela 14, a partir dos quais se montou o Gráfico 1 para as variações da dimensão “x” e o Gráfico 2 para as variações da dimensão “y”.

Ambos os gráficos apresentam:

- na ordenada - valores em percentuais;
- na abscissa - número dos alvos;
- na área de plotagem - as variações dos erros absolutos.



**Gráfico 1 - Erro absoluto, em percentuais, das medidas na dimensão “x”**

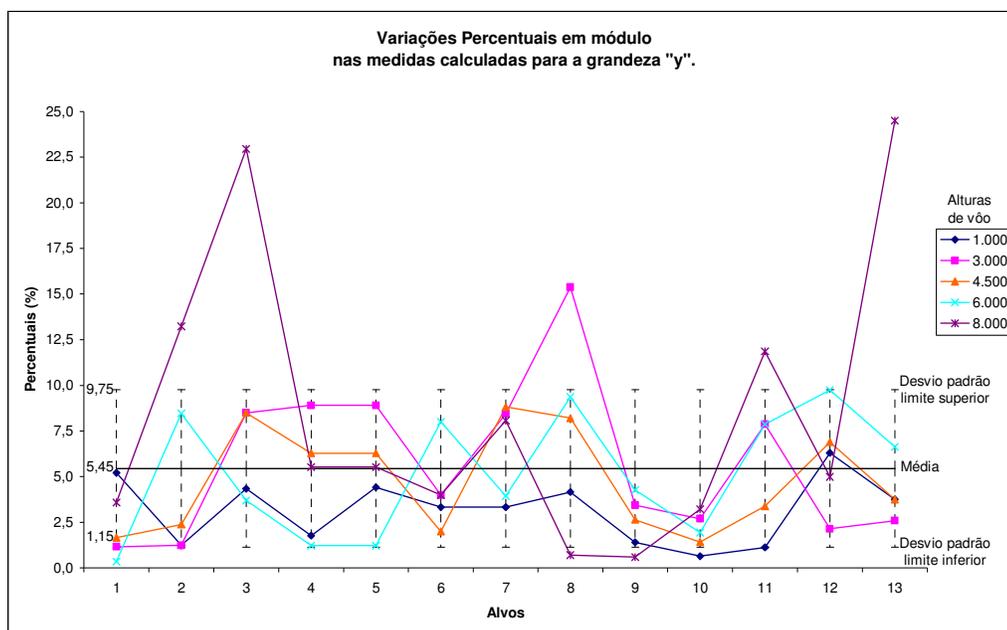
Analisando-se o Gráfico 1, observa-se que 21 medidas calculadas apresentam variações fora dos limites do desvio padrão ( $S = 2,41$ ), sendo 11 com variações acima e 10 com variações abaixo do limite. Excluindo-se estas 21, do total de 65 medidas calculadas para a dimensão “x”, as outras 44 apresentam variabilidade dentro dos limites do desvio padrão, representando 67,69% do total.

Entretanto, se observarmos as variações dos alvos 1 a 7 para a altura de voo de 1.000', percebe-se que estão muito discrepantes em relação às demais variações. Isto é resultado da distorção ocorrida nas imagens, conforme comentado na letra “a)” do item “4.10 Voo e

fotogramas”. Certamente o erro absoluto percentual diminuiria se estes dados fossem descartados, porém, optou-se em mantê-los nas estatísticas porque se trata de uma restrição do equipamento utilizado no imageamento e precisa ser considerada.

Outro dado discrepante foi a variação do Alvo 8, Estádio, para a altura de vôo de 3.000'. Neste caso, a distorção foi relacionada com a posição do alvo na imagem do fotograma, ou seja, o alvo estava afastado da linha principal do fotograma, a 8mm da margem. Este dado também não foi descartado porque é um fato que pode ocorrer, ou seja, o fotointérprete, na ausência de imagem com melhor localização, terá que medir o alvo em qualquer posição do fotograma.

O alvo 1, na altura de vôo de 8.000', também apresentou muita discrepância, o que pode ter sido causado pela falta de contraste entre sua imagem e as imagens nas adjacências, associada à escala reduzida.



**Gráfico 2 - Erro absoluto, em percentuais, das medidas na dimensão “y”.**

Analisando-se o Gráfico 2, observa-se que 10 medidas calculadas apresentam variações fora dos limites do desvio padrão ( $S = 4,30$ ), sendo 5 com variações acima e 5 com variações abaixo do limite. Para o total de 65 medidas calculadas para a dimensão “y”, excluindo-se aquelas 10, as 55 restantes apresentam variabilidade dentro dos limites do desvio padrão, representando 84,62% do total.

As maiores discrepâncias são dos alvos 2, 3 e 13, na altura de vôo de 8.000', o que pode ter sido causado pela falta de contraste entre a imagem do alvo e suas adjacências, sendo que, para o alvo 13, a escala reduzida também pode ter dificultado as medições. O alvo 8, para a altura de vôo de 3.000', também apresentou variação discrepante, os prováveis motivos são os mesmos já descritos nos comentários do Gráfico 1.

Optou-se em manter estes dados nas estatísticas por se tratarem de alvos em situações reais que poderá se repetir, mesmo sabendo-se que, se descartados estes dados, certamente o erro absoluto percentual diminuiria.

#### **4.8 Percentuais médios de erro absoluto**

Para uma melhor análise dos resultados obtidos, montou-se a Tabela 15 com as médias mais importantes a serem analisadas. A referida tabela apresenta a média aritmética " $\bar{X}$ " e o desvio padrão "S" dos erros absolutos em percentual, conforme segue:

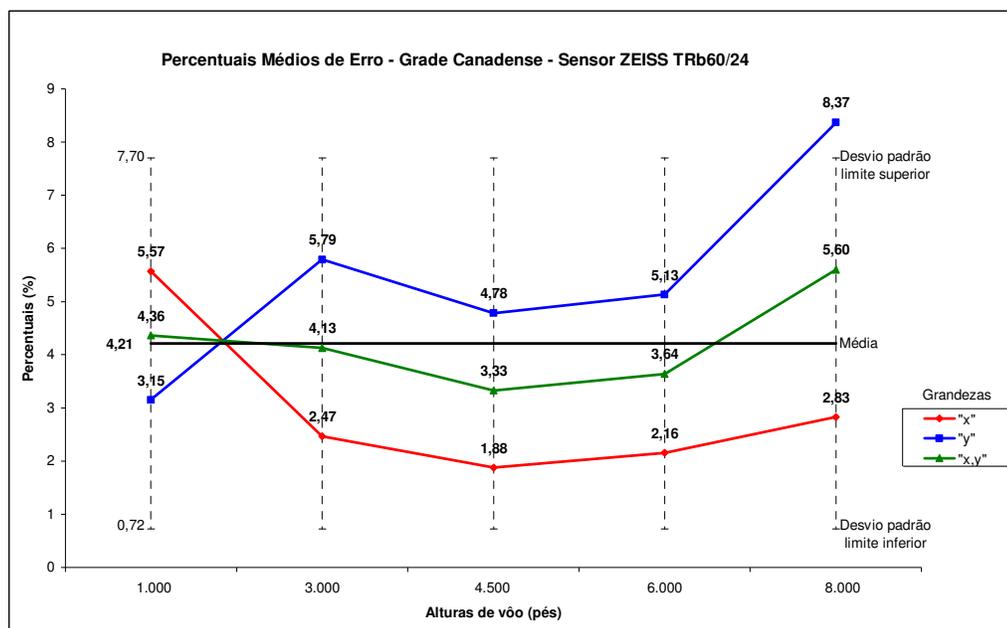
- a) nas colunas " $\bar{X}$ ", a média aritmética, em módulo, de todas as variações em percentual " $\Delta\%$ ", separadas por dimensão "x" e "y" e com as dimensões "x e y" conjuntas, assim como por altura de vôo;
- b) nas colunas "S", o desvio padrão em módulo, de todas as variações em percentual " $\Delta\%$ ", separadas por dimensão "x" e "y" e com as dimensões "x e y" conjuntas, assim como por altura de vôo; e
- c) na linha "MÉDIA TOTAL", considerando os valores de todas as alturas de vôo em conjunto.

**Tabela 15 - Percentuais médios de erro absoluto**

<b>PERCENTUAIS MÉDIOS DE ERRO ABSOLUTO NAS MEDIDAS CALCULADAS COM A GRADE CANADENSE</b>						
<b>Dimensões</b>	<b>"x"</b>		<b>"y"</b>		<b>"x e y"</b>	
Alturas de vôo	Valores de " $\bar{x}$ " e "S" em %					
	$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S
1.000'	5,57	3,51	3,15	1,70	4,36	2,76
3.000'	2,47	2,45	5,79	4,06	4,13	3,35
4.500'	1,88	1,49	4,78	2,67	3,33	2,16
6.000'	2,16	1,56	5,13	3,24	3,64	2,54
8.000'	2,83	2,45	8,37	7,46	5,60	5,55
<b>MÉDIA TOTAL</b>	<b>2,98</b>	<b>2,41</b>	<b>5,45</b>	<b>4,30</b>	<b>4,21</b>	<b>3,49</b>

Para visualizar melhor as variações dos erros absolutos percentuais, montou-se o Gráfico 3 com os dados da Tabela 15. Neste gráfico consta:

- na ordenada - valores em percentuais;
- na abscissa - altura de vôo em pés; e
- na área de plotagem - os erros absolutos médios da dimensão "x", da dimensão "y" e de "x e y", juntos, e o erro médio destes três parâmetros, conjuntamente, representado pela reta paralela à abscissa.



**Gráfico 3 - Percentuais médios dos erros absolutos**

No Gráfico 3 pode-se observar que a linha da dimensão “x” e a linha da dimensão “y”, da altura de 1.000' para a altura de 3.000', apresentam comportamento completamente diferente. Há decréscimo nos erros para a dimensão “x” e acréscimo nos erros para a dimensão “y”. Na seqüência apresentaram o mesmo comportamento, ou seja, da altura de 3.000' para 4.500', tiveram decréscimo nos erros, de 4.500' para a altura de 8.000' tiveram acréscimo nos erros. Estes comportamentos se refletem na linha de análise das duas dimensões em conjunto “x e y”.

Outra observação considerada importante é que apenas um dos percentuais apresentou variabilidade fora dos limites do desvio padrão. Trata-se do percentual da dimensão “y”, na altura de 8.000', cujo valor percentual médio de erro atingiu 8,37%. Mesmo assim, este índice ficou a apenas 0,67 pontos acima do limite superior do desvio padrão, este calculado sobre a média de todos os valores de cada altura de vôo.

Os menores percentuais de erro foram de 1,88% para a dimensão “x” a 4.500' e de 3,15% para a dimensão “y” a 1.000'. Porém, quando analisadas as dimensões em conjunto, o menor percentual de erro foi de 3,33% para a altura de 4.500'.

O Gráfico 3 também apresenta a linha reta referente à média de todos os percentuais de erro calculados, englobando todas as 130 medidas, cujo índice ficou em 4,21%. Assim, o percentual médio final de erro absoluto das medições efetuadas com a grade canadense

elaborada para as imagens oblíquas da câmara ZEISS TRb 60/24, foi de 4,21% com um desvio padrão de 3,49%.

#### 4.9 Vôo e Fotogramas

Em uma análise genérica, o planejamento e a execução do vôo atenderam às necessidades deste trabalho, assim como os fotogramas resultantes. Entretanto, seguem os comentários abaixo:

- a) a passagem a 1.000' de altura apresentou fotogramas com distorção longitudinal, com maior efeito na metade inferior das imagens. A provável causa é a falta de ajuste da razão velocidade e altura de vôo " $V/H_v$ " do mecanismo da câmera, uma vez que 1.000' é a altura de vôo mais baixa recomendada para sua aplicação. Tal distorção teve valor médio de 4,5mm na base dos fotogramas, e certamente teve significativas influências no aumento dos erros das medidas realizadas;
- b) em todas as cinco passagens do vôo, presume-se que houve movimento de *roll* da aeronave durante o imageamento. Porém este efeito não deve ter interferido significativamente nos resultados, uma vez que a plotagem e a coincidência dos horizontes aparentes, no fotograma e na grade canadense, foram visualmente consideradas quase perfeitas;
- c) os movimentos de *pitch* e *yaw* não foram considerados neste trabalho; e
- d) a resposta do filme e a qualidade do processamento atenderam às necessidades deste estudo.

#### 4.10 Área e Alvos

A área escolhida para o sensoriamento foi adequada, apresentando as características necessárias à avaliação de grandezas por meio da grade canadense, conforme descrito no item "3.2.3.1 Escolha da área a ser sensorizada".

Quanto aos alvos selecionados para as avaliações, também atenderam às expectativas. Maior atenção foi dada ao Alvo 8 (Estádio) durante as medições, pois, devido ao seu formato, semi-oval, apresentou maiores distorções na sua imagem, trazendo maior dificuldade para as medições. Outro comentário importante é que quanto maior a altura do alvo, maior é a

distorção em seu topo, e, se este ponto for utilizado para as medições, poderá resultar em maior erro.

#### **4.11 Grade Canadense**

A grade canadense, confeccionada para medições de alvos nas imagens provenientes da câmara ZEISS TRb 60/24, teve seu desenho final exatamente dentro das medidas calculadas pelo método empregado. O software utilizado mostrou-se perfeitamente adequado para esta finalidade, pela exatidão das medidas e qualidade nos traçados das linhas. Um detalhe a ser considerado é que a espessura dos traços ficou em 0,3mm, o que não chegou a causar grandes complicações para o uso da grade canadense, mas certamente pode ter tido alguma influência sobre o erro nas medidas. O ideal seria que o traço tivesse ficado com 0,01mm, que é a espessura dos traços da régua do tubo de escala utilizado nas medidas durante as interpolações.

A grade canadense impressa também apresentou excelente definição nos traços das linhas, ou seja, os materiais e a qualidade de impressão utilizados atenderam às necessidades.

#### **4.12 Uso da grade canadense**

Quanto ao uso da grade canadense, foi de fácil manuseio e de simples utilização. Entretanto, sugere-se alguns cuidados na sua utilização, conforme segue:

- a) escolher o fotograma no qual o alvo esteja mais próximo da linha principal, minimizando-se assim os erros decorrentes das distorções da imagem;
- b) ser criterioso ao plotar o horizonte aparente, tanto no fotograma quanto na grade canadense;
- c) fazer coincidir, o mais exatamente possível, as linhas dos horizontes aparentes do fotograma e da grade canadense;
- d) fazer coincidir, o mais exatamente possível, as margens laterais da grade canadense e do fotograma;
- e) quando houver necessidade de fazer interpolação, o que ocorre em quase todas as medições, atentar para a espessura da linha. Sugere-se dividi-la em duas metades, atribuindo uma parte para cada quadrícula (trapézio); e

- f) para minimizar o erro, dar preferência para medir os alvos junto a sua base, pois neste ponto a distorção da imagem é menor.

#### **4.13 Possibilidades de futuros estudos**

O estudo realizado foi delimitado pelo autor em função dos objetivos propostos e do tempo para o desenvolvimento desta pesquisa. Entretanto há uma gama de possibilidades a serem exploradas em futuros estudos que, dentre outras, pode-se citar:

- a) ampliar o número de alturas de vôo analisadas;
- b) ampliar o número de alvos a serem analisados;
- c) considerar a formação técnica e as características pessoais do fotointérprete;
- d) trabalhar com mais detalhes as irregularidades do terreno;
- e) analisar as deformações do material de impressão da grade canadense;
- f) desenvolver um software para automatização da grade canadense, visando medições em imagens digitalizadas; e
- g) tomar como parâmetro de análise o erro absoluto em função das dimensões dos alvos e sua localização na fotografia.

## 5 CONCLUSÃO

A avaliação de dimensões nas imagens oblíquas provenientes da câmara ZEISS TRb 60/24, por meio da grade canadense, trouxe a possibilidade de uso de uma nova ferramenta pelos fotointerpretes do 1º /10º GAV, da Base Aérea de Santa Maria.

“Planejar e realizar uma missão de reconhecimento com a aeronave RA-1 equipada com a câmara ZEISS TRb 60/24” foi o primeiro objetivo específico proposto neste trabalho. Conclui-se que o planejamento e a realização do voo atenderam perfeitamente às necessidades da pesquisa, mesmo com algumas distorções presentes nas imagens provenientes do voo a 1.000' de altura. Uma vez que esta é a altura mais baixa para o voo de reconhecimento com o referido sensor, já eram esperadas algumas distorções.

O segundo objetivo específico deste estudo foi “Elaborar uma grade canadense para avaliação de dimensões de alvos em imagens oblíquas provenientes da câmara ZEISS TRb 60/24”. Conclui-se que o método apresentado na literatura de Disperati (1995), e utilizado neste trabalho, atendeu perfeitamente às necessidades para a elaboração da grade canadense voltada aos parâmetros da câmara ZEISS TRb 60/24, tendo em vista os resultados estatísticos apresentados. O método exige alguns conhecimentos sobre a geometria da fotografia oblíqua, aplicação de fórmulas e cálculos, mas todos com pouca complexidade. Os recursos de *hardware* e *software* utilizados mostraram-se adequados, pela qualidade na impressão da grade canadense e pela agilidade no processo de desenho.

Quanto ao terceiro objetivo específico, “Analisar a precisão das medidas obtidas pela referida grade canadense”, conclui-se que, pela análise dos erros absolutos apresentados por altura de voo e para a grade canadense em geral, os prováveis usuários saberão se a nova ferramenta atende ou não as suas necessidades de erro.

Desta forma o objetivo geral foi atingido: “Apresentar um estudo sobre o uso da Grade Canadense na avaliação de dimensões em imagens oblíquas provenientes da câmara ZEISS TRb 60/24”. Após os estudos sobre a geometria da fotografia oblíqua e sobre o processo de elaboração de uma grade de referência, seguindo-se o método da Grade Canadense apresentado por Disperati (1995), foi possível a elaboração de uma grade canadense adequada aos parâmetros das imagens do sensor ZEISS TRb 60/24. Também, o uso da grade canadense confeccionada na avaliação de grandezas em imagens oblíquas da referida câmara, resultando num percentual médio de erro absoluto de 4,21%.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIRRE, A. J. MELLO FILHO, J. A. de. **Introdução à Cartografia**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2007. No prelo.
- ATKINS, B. **Field of View**. 2004. Disponível em <<http://photo.net/learn/fov/>>. Acessado em 20 de abril de 2008.
- CENTRO DE INSTRUÇÃO E ADAPTAÇÃO DA AERONÁUTICA - CIAAR, Divisão de Ensino. **Fotointerpretação I**. Belo Horizonte, 2000. 90 p.
- CENTRO DE INSTRUÇÃO E ADAPTAÇÃO DA AERONÁUTICA - CIAAR, Divisão de Ensino. **Introdução ao Reconhecimento**. Belo Horizonte, 2000. 107 p.
- CURRAN, P. J. **Principles of Remote Sensing**. Hong Kong: Longman, 1986. 282 p.
- SANTOS, D. **Curso de Engenharia Cartográfica – UFPR**, 1 cap. 16 p. 2007. Disponível em <<http://www.cartografica.ufpr.br/docs/foto1/capitulo1.pdf>>. Acessado em 22 de julho de 2008.
- DISPERATI, A. A. **Fotografias Aéreas Inclinadas**, Curitiba: Ed. da UFPR, 1995. 113 p.
- ESCOLA DE ESPECIALISTAS DE AERONÁUTICA - EEAR, **Fotografia Aérea I**. Guaratinguetá, 1997. 116 p.
- ESCOLA DE INSTRUÇÃO ESPECIALIZADA - EsIE, **Fotoinformação e Fotogrametria**. Rio de Janeiro, 1978. 92 p.
- ESTES, J. E. S. LESLIE, W. **Remote Sensing – Techniques for Environmental Analysis**. Califórnia: Hamilton, 1996, p. 1 – 13, 15 – 50, 167 – 187.
- FONSECA, J. S. da. MARTINS, G. de A. **Curso de Estatística**. 6.ed. São Paulo: Atlas, 1996, p. 101 - 195.
- HALLIDAY, D. RESNICK, R. WALKER, J. **Óptica e Física Moderna**. 6.ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, v. 3, 2002. p. 2-3.
- HEDGECOE, J. FORD, L.; tradução de Gabriel Trajan, Norma Freire e Silvio Rolim. **Manual do Fotógrafo**. Rio de Janeiro: JB, 1982. 352 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, Departamento de Cartografia, **Noções Básicas de Cartografia** - Manual Técnico em Geociências. Rio de Janeiro: Centro de Documentação e Disseminação de Informações - CDDI, n. 8, II. série, 1999.130 p.
- MACHADO, A. A. ZONTA, E. P. SILVA, J. B. da. JUNIOR, P. S. **Curso de Estatística**. Universidade Federal de Pelotas: Universitária, v. 1, 1989, p. 13 - 63.
- MARCHETTI, D. A. B. GARCIA, G. J. **Princípios de fotogrametria e fotointerpretação**. 1.ed. São Paulo: Nobel, 1989. 257 p.

MCDONNELL DOUGLAS CORPORATION. **Reconnaissance Handy Book for the tactical reconnaissance specialist**. Louis: McDonnell, 1983. 183 p.

MOFFIT, F. H. **Photogrammetry**. 2.ed. Pennsylvania: International Textbook, 1967. 540 p.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto – Princípios e Aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 1992. 308 p.

PEGORARO, A. J. **Uso do Paramotor e da Grade Canadense para Obtenção de Fotografias e Informações Aéreas sobre o Meio Ambiente**. 2000. 108 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

PRIMEIRO DO DÉCIMO GRUPO DE AVIAÇÃO - 1º/10º GAV. **Manual de Reconhecimento Tático**. Santa Maria, 2007.

SABINS, F. F. **Remote Sensing – Principles and Interpretation**. 3.ed. New York: W. H. Freeman, 1997, p. 1 - 66.

SOUZA, M. H. S. de. WALTER, S. **Introdução à Estatística**. São Paulo: Ática, 1990, p. 19 - 68, 109 - 111.

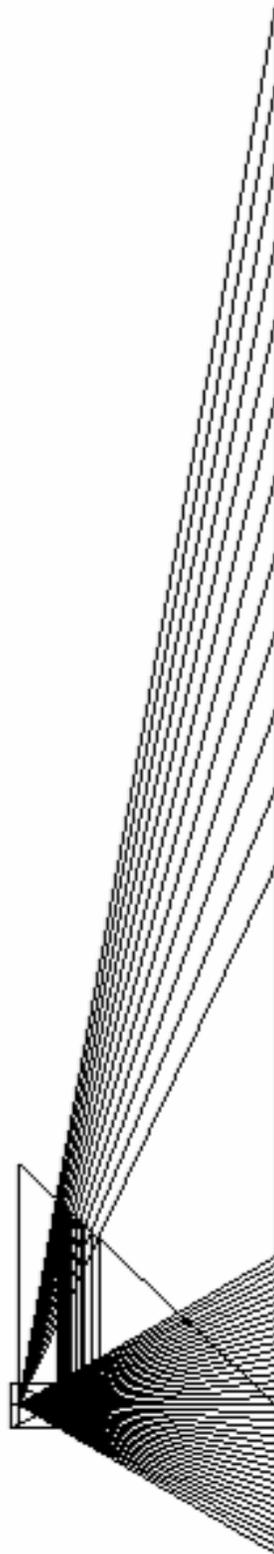
SPURR, S. H. **Photogrammetry and Photoynterpretation**. 2.ed. New York: Ronald, 1960, p. 1 - 343.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANA. **Manual de Cartografia**. Curitiba, 2007. Disponível em <<http://www.cartografia.eng.br/artigos/senso02.asp>>. Acessado em 23 de julho de 2008.

**APÊNDICE A - Imagem oblíqua proveniente da câmera ZEISS TRb 60/24**



**APÊNDICE B - Rede de perspectiva para a câmera ZEISS TRb 60/24**



**APÊNDICE C - Grade canadense para a câmera ZEISS TRb 60/24**

