

ALUIR PORFÍRIO DAL POZ

# Um Sistema Fotogramétrico Voltado para a Exploração do Recurso de Feições Retas

Dissertação apresentada ao curso de Pós-  
Graduação em Ciências Geodésicas para a  
obtenção do Grau de Mestre em Ciências  
pela Universidade Federal do Paraná.

CURITIBA  
1991

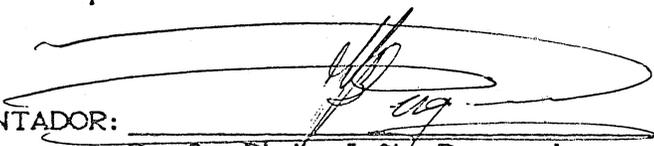
UM SISTEMA FOTOGRAMÉTRICO VOLTADO PARA A EXPLORAÇÃO DO  
RECURSO DE FEIÇÕES RETAS

por

Aluir Porfírio Dal Poz

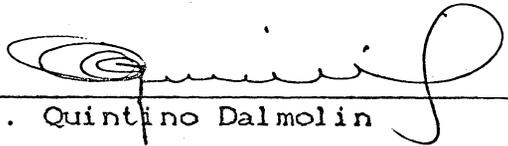
Dissertação aprovada como requisito parcial para a  
obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação  
em Ciências Geodésicas, pela Comissão formada pelos  
professores:

ORIENTADOR:



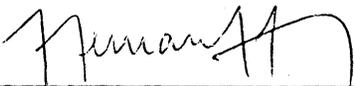
---

Prof. Phd. João Bosco Lugnani



---

Prof. Dr. Quintino Dalmolin



---

Prof. Dr. João Fernando Custódio da Silva

Curitiba, 09 de Agosto de 1991.

Este trabalho é dedicado a meus pais, Guilherme e Hélia, e à Jussara, fonte inesgotável de estímulos para a continuação dos meus esforços.

## AGRADECIMENTOS

Quero externar meus sinceros agradecimentos às pessoas e às entidades abaixo relacionadas:

-Ao meu orientador, professor João Bosco Lugnani, pela compreensão, paciência e pela orientação precisa e dedicada;

-Ao professor Camil Gemael pela incansável dedicação pessoal ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas;

-Ao prof. Antônio Maria Garcia Tommaselli pela colaboração prestada e;

-Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), pela concessão da bolsa de estudo, durante a realização do curso.

## SUMÁRIO

	PÁG
TÍTULO	i
TERMO DE APROVAÇÃO	ii
DEDICATÓRIA	iii
AGRADECIMENTOS	iv
SUMÁRIO	v
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO	x
ABSTRACT	xi

### CAPÍTULO I

I.	INTRODUÇÃO	1
I.1.	Considerações Introdutórias	1
I.2.	O Uso de Feições Retas como Controle	3
I.3.	Objetivos dessa Pesquisa	5
I.4.	Organização da tese	6

### CAPÍTULO II

II.	O PROBLEMA GERAL DO SISTEMA FOTOGRAMÉTRICO	8
II.1	Introdução	8
II.2.	O Problema Geral	9
II.3.	Mapeamento Direto	11
II.4.	Mapeamento Inverso	16

II.4.1.	Mono-Intersecção	17
II.4.2.	Estéreo-Intersecção	24

### CAPÍTULO III

III.	A CONCEPÇÃO DO SISTEMA	29
III.1.	Introdução	29
III.2.	Teoria Geral dos Sistemas	30
III.2.1.	Conceitos de Sistema	30
III.2.2.	Características Básicas de um Sistema	31
III.3	O Sistema Fotogramétrico	38
III.3.1.	Objetivos do Sistema Fotogramétrico	39
III.3.2.	Componentes do Sistema Fotogramétrico	40
III.3.3.	O ambiente do Sistema Fotogramétrico	62
III.3.4.	Os Recursos do Sistema Fotogramétricos	63
III.3.5.	O Gerenciamento do Sistema Fotogramétrico	63
III.4.	O Ambiente de Dados do Sistema Fotogramétrico	64
III.5.	O Escopo e o Contexto do Sistema Fotogramétrico	69
III.6.	Módulos Escolhidos para a Implementação	72

### CAPÍTULO IV

IV.	IMPLEMETAÇÃO	73
IV.1.	Introdução	73
IV.2.	Simulação dos Dados	73
IV.3.	Implementação do Módulo M1	79
IV.4.	Implementação do Módulo M5	85

IV.5	Implementação do Módulo M7	98
IV.6.	Implementação do Módulo M8	103

## CAPÍTULO V

V.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	107
V.1.	Conclusões	107
V.2.	Recomendações	109
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		111

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA		PAG
1	Ilustração do Problema Geral do Sistema Fotogramétrico	9
2	Princípio de Colinearidade	12
3	Princípio do Modelo dos Planos Equivalentes	14
4	Princípio da Mono-Intersecção Numérica	18
5	Geometria de uma Imagem Fotográfica	19
6	Representação Poliédrica do Relevo com Faces Triangulares	21
7	Princípio do Método	22
8	Geometria para a Intersecção de duas Fotografias	25
9	O Mapeamento Inverso	28
10	O Sistema de Mapeamento	32
11	Gerenciamento de um Sistema	36
12	Características de um Sistema	37
13	Uma Vista Simplificada de Sistema	38
14	Estrutura do Sistema Fotogramétrico	41
15	"Design" do Sistema Fotogramétrico	46
16	Módulo M1	47
17	Módulo M2	48
18	Módulo M3	49
19	Módulo M4	50
20	Módulo M5	52

21	Módulo M6	54
22	Módulo M7	55
23	Módulo M8	57
24	Módulo M9	58
25	Módulo M10	60
26	Módulo M11	62
27	Ambiente de Dados	64
28	Processos de Aquisição de Dados Possíveis para o Sistema	66
29	O Escopo da Cartografia Digital	70
30	A Distribuição do apoio	75
31	Fotografias Simuladas	79
32	Regra para a Formação dos Arquivos	80
33	Fluxograma do Programa EDITA	83
34	Cerceamento	86
35	Mapeamento da janela de Trabalho na Janela de Visualização	87
36	Cerceamento para Entidades Pontuais	89
37	Cerceamento para Feições Retas	90
38	Fluxograma do Programa OPENJA	97
39	Matriz Peso Completa	100
40	O Padrão da Matriz A	101
41	O Padrão da Matriz Normal N	101
42	Fluxograma do Programa RESFA	102
43	A Matriz A	105
44	A Matriz Normal N	106

## RESUMO

O objetivo dessa pesquisa é conceber e propor um sistema fotogramétrico que represente um novo conceito em tratamento de dados fotogramétricos e verificar experimentalmente o funcionamento do sistema em relação ao apoio.

O sistema fotogramétrico foi concebido com base na teoria geral dos sistemas e num problema fotogramétrico geral previamente formulado. A descrição do sistema foi feita com base nas 5 características básicas de qualquer sistema: o objetivo, os componentes ou subsistemas, o ambiente, os recursos e o gerenciamento do sistema. No entanto, os componentes foram descritos com maior ênfase.

Com o intuito de verificar preliminarmente o potencial do sistema quanto a manutenção e manipulação do apoio, sobretudo feições retas, foram implementados e testados quatro módulos do sistema.

## ABSTRACT

The aim of this research is to conceive and propose a photogrammetric system that denotes a new concept in treatment of photogrammetric data and tests the functioning of the system relative to control.

The photogrammetric system was conceived based upon the general systems theory and a general photogrammetric problem previously formulated. The description of the system was realised through the five basic considerations of any system: the objectives, the components or subsystems, the environment, the resources and the management of the system. However, the components were described with more emphasis.

Four components of the system were implemented and tested preliminarily with the purpose of verifying the potential of the system in relation to the maintenance and manipulation of control, above all straight entities.

## CAPÍTULO I

### Introdução

#### I.1 Considerações Introdutórias

Com o rápido crescimento da informática e da eletrônica, a cartografia vem, na mesma proporção, experimentando acentuadas transformações.

Na fotogrametria passamos da fase analógica, onde eram utilizados os equipamentos ótico, mecânico ou ótico-mecânico, para a fase analítica, onde as partes mecânicas foram substituídas, em boa parte, por componentes eletrônicos e procedimentos matemáticos. Hoje em dia, estamos nos preparando para adentrar na fase da fotogrametria digital, onde os procedimentos matemáticos deverão se sobressair ainda mais, com o apoio da eletrônica e da informática.

No entanto, com base nos progressos da computação gráfica nasceu a tecnologia CAD ("Computing Aided Design"), a qual, permitiu tornar os pesados instrumentos analógicos bastante atrativos. Antes disso, o traçado dos elementos gráficos eram realizados mecânica e diretamente sobre uma base de papel estável. Com o auxílio do CAD, o sistema de traçado mecânico pode ser substituído por um "sistema de traçado digital", permitindo que os dados sejam armazenados

digitalmente. A durabilidade dos instrumentos analógicos, o baixo custo de manutenção, o elevado número desses equipamentos existentes no mundo todo, o aumento da produção, a melhor qualidade do produto, etc. são alguns fatores que tornam esse procedimento um sucesso hoje em dia.

Diferente do processo analógico, onde a mudança do espaço-imagem para o espaço-objeto das entidades de interesse é realizada analogicamente e, em consequência, estão em formato não legível ao computador, necessitando de uma transformação analógica/digital prévia, os restituidores analíticos realizam a mudança de espaços acima referida analiticamente. Em decorrência, as entidades-objeto já estão diretamente em formato digital legível ao computador.

Estes instrumentos superam em precisão, eficiência e versatilidade os instrumentos analógicos. No entanto, o fator custo, tanto de aquisição como de manutenção do equipamento, é a grande desvantagem dos restituidores analíticos. Uma consequência é que em países menos favorecidos tecnologicamente como o Brasil, há pouco desses equipamentos.

Atualmente, graças às técnicas de mapeamento digital, pode-se dispensar, para um grande leque de aplicações, os onerosos restituidores analíticos. Nesse contexto, mudança de espaços analiticamente podem ser efetuadas para as imagens oriundas de sensores diversos: sensores convencionais do tipo "frame", sensores do tipo "linear array" como do satélite SPOT, Radar, etc. Depois de realizada a mudança de espaço

fotogrametricamente, as técnicas de mapeamento digital podem ser utilizadas para a obtenção do produto requerido.

Dentro desse conceito, métodos eficientes de aquisição de dados assumem importância fundamental. Vários métodos de aquisição de dados serão propostos.

Também, nesse conceito, o uso de uma biblioteca de controle que possa ser acessada sistematicamente, permitindo algumas vantagens em custo e algum tipo de automação na seleção do apoio é atrativo. Isto pode ser alcançado com o uso de feições retas como controle. Por essa razão, o uso de feições retas como controle merecerá uma atenção especial.

#### I.2. O Uso de Feições Retas como Controle

Numa perspectiva histórica, a utilização de feições como controle teve início com uma tese de Phd intitulada "Using Digital Entities as Control" (Lugnani, 1980) que tinha como objetivo básico a substituição completa de entidades pontuais por entidades não pontuais, o que foi apenas em parte atingida. Na seqüência, Lugnani (1981), iniciou a implantação de uma linha de pesquisa: uso de feições em fotogrametria. Uma série de dissertações de mestrado (Souza, 82; Tommaselli, 88; Araki, 90; Castreghini, 89) e outros trabalhos foram desenvolvidos no âmbito dessa linha de pesquisa; em particular (Tommaselli, 88), consegue o intento inicial de substituir por completo a necessidade de correspondência ponto a ponto com o desenvolvimento do Modelo Matemático dos Planos Equivalentes.

Além da produção científica citada acima e, associada a referida linha de pesquisa, o tema passou a despertar a atenção da comunidade internacional (Masry, 81; Mulawa & Mikhail, 88; etc), porém, a cultura fotogramétrica ainda privilegia quase que completamente os tratamentos analíticos baseados no domínio de entidades pontuais.

As pesquisas atuais no âmbito do uso de entidades não pontuais como controle estão voltadas para as feições retas (Tommaselli, 88; Tommaselli & Lugnani, 88; Mulawa & Mikhail, 88; Castreghini, 89; Araki, 90).

Alguns dos aspectos favoráveis do uso das feições retas são: a perenidade; o relacionamento funcional entre as feições-imagem e as feições-objeto pode ser estabelecido sem a necessidade de correspondência ponto a ponto; as feições retas apresentam um grau bem menor de dificuldades de identificação quando em confronto com feições pontuais; facilidades de acesso automático a uma biblioteca de feições retas para uso sistemático; os modelos matemáticos de modelagem fotogramétrica baseados em feições retas podem e devem ser usados em conjunto com os modelos baseados em feições pontuais, o que implica num melhor aproveitamento dos recursos de controle existentes no espaço objeto; etc.

Com base nesses aspectos, pode-se, também, delinear algumas das contribuições potenciais das feições retas: ajudar no processo de diminuição de custos no mapeamento, sobretudo em áreas urbanas, onde o uso de uma biblioteca de feições retas é

mais efetivo; facilitar o controle de imagens orbitais ("frame" e "linear array"), onde o uso de pontos como controle apresenta problema de identificação; contribuir com tendências futuras como a Fotogrametria Digital, onde o acesso automático do controle numa biblioteca de dados associado as facilidades de identificação do controle na imagem é de grande valia, o que já está sendo reconhecido na literatura específica (Lee et al., 90; Rauhala, 89; Förstner, 88).

Um módulo denominado "visualização gráfica da biblioteca de feições retas e pontos" foi concebido e implementado visando aproveitar as vantagens oferecidas pelo conceito de feições retas.

### I.3. Obejetivos dessa Pesquisa

Em linhas gerais, os objetivos dessa pesquisa são:

- .1- Conceber teoricamente um sistema fotogramétrico para o tratamento de dados fotogramétricos, principalmente no tocante à manutenção e uso sistemático do apoio;
- .2- Conceber o ambiente de dados do Sistema Fotogramétrico e;
- .3- Implementar alguns módulos do sistema (M1, M5, M7 e M8), que constituem partes relevantes para uma verificação preliminar com respeito ao apoio.

Como será visto no decorrer dessa pesquisa, o assunto é muito amplo. Isso implica na conveniência de fixar um escopo para a pesquisa. Em razão disso, procuraremos abordar o tema, por um lado, de uma forma geral e, por outro lado, objetivamente para as imagens fotográficas convencionais do tipo "frame".

#### I.4. Organização da pesquisa

Esta pesquisa está organizada em 5 capítulos.

O capítulo II trata da formulação do problema geral do Sistema Fotogramétrico. De acordo com o escopo desta pesquisa, uma formulação objetiva é dada para as fotografias convencionais.

O capítulo III revê os conceitos básicos da teoria dos sistemas e apresenta a concepção do Sistema Fotogramétrico. Também, algum detalhe é dado sobre o ambiente de dados do sistema e o escopo do Sistema Fotogramétrico é apresentado.

O capítulo IV trata da implantação de parte do sistema.

Por último, as principais conclusões são apresentadas no capítulo V.

## CAPÍTULO II

### O Problema Geral do Sistema Fotogramétrico

#### II.1. Introdução

O problema fotogramétrico a ser exposto não representa nada de novo. Entretanto será colocado de uma forma bastante abrangente, fugindo da abordagem convencional, onde o foco central são as fotografias convencionais do tipo "frame".

Adotaremos o termo imagem, em vez de fotografia, por ser mais abrangente. A princípio, interessa-nos todos os tipos de imagens que possuem geometria conhecida ou que pode ser determinada por algum processo de calibração, como por exemplo, fotografias convencionais, imagens de satélite e imagens de radar.

Também, incluiremos no escopo do problema geral uma outra forma de representação da "realidade" derivada de imagens: o modelo fotogramétrico.

Apesar do problema ser colocado dentro de uma perspectiva abrangente, uma descrição mais objetiva será dada com base no foco tradicional: as fotografias convencionais do tipo "frame".

## II.2. O Problema Geral

A figura 1 ilustra o problema geral do sistema fotogramétrico.

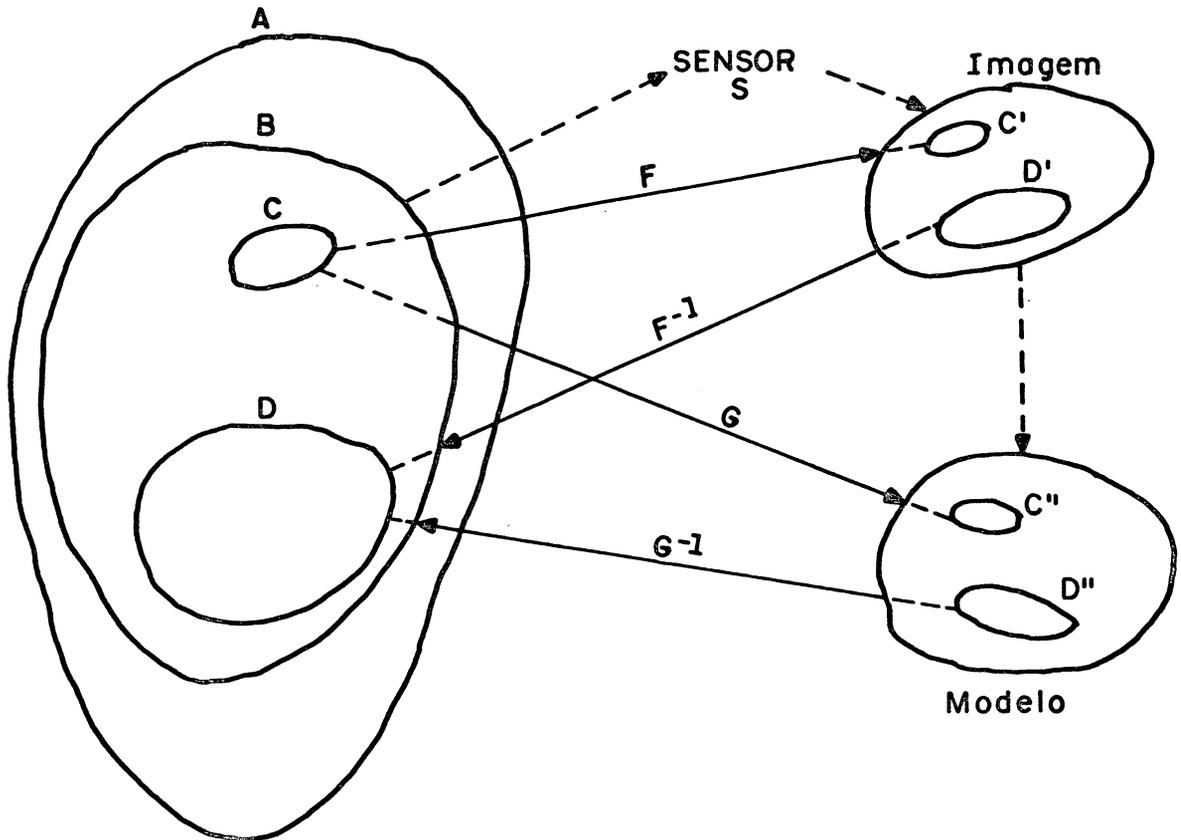


Fig. 1- Ilustração do Problema Geral do Sistema Fotogramétrico.

Na figura 1, o conjunto A representa o "mundo real" ou a "realidade"; o subconjunto B representa o aspecto da realidade que o sensor S pode captar (p.e., um sensor no infravermelho termal "vê" um aspecto da realidade que o sensor "olhos humanos" não pode "ver"); o subconjunto C representa as informações (apoio) conhecidas de B e, os subconjuntos C' e C'' representam o subconjunto C na imagem e no modelo

respectivamente; o subconjunto  $D$  representa a parte de  $B$  que será reconstruída a partir do subconjunto  $D'$  (parte da imagem escolhida seletivamente e que constitui informações relevantes para um determinado objetivo) ou o subconjunto  $D''$  (parte do modelo escolhido seletivamente e que constitui informações relevantes para um determinado objetivo).

No decorrer desse trabalho, iremos nos referir aos subconjuntos  $C$ ,  $C'$  e  $C''$  como o apoio-objeto, o apoio-imagem e o apoio-modelo respectivamente.

O modelo é obtido da imagem a partir de algum processo fotogramétrico.

As funções  $F$  e  $G$  representam o mapeamento direto da realidade ( $B$ ) na imagem e no modelo respectivamente.

Por outro lado, as funções  $F^{-1}$  e  $G^{-1}$  representam o mapeamento inverso da imagem e modelo, respectivamente, na realidade  $B$ . Deve ser observado que a função inversa  $F^{-1}$  não existe no sentido matemático rigoroso.

As funções  $F$  e  $F^{-1}$  são, geralmente, modelos fotogramétricos e, as funções  $G$  e  $G^{-1}$  são, geralmente, transformações geométricas.

Uma vez escolhidas, as funções  $F$  e  $G$  são determinadas a partir das informações em comum a dois espaços,  $C$  e  $C'$  ou  $C$  e  $C''$  respectivamente.

Em seguida, as funções  $F^{-1}$  e  $G^{-1}$  podem ser utilizadas para determinar o subconjunto D que está contido no conjunto "realidade" B e constitui informações relevantes para um objetivo pré-fixado.

Nos próximos tópicos descrevem-se as funções de mapeamento direto (F) e mapeamento inverso ( $F^{-1}$ ) para fotografias convencionais do tipo "frame". Esta delimitação está baseada no próprio escopo geral desta pesquisa.

### II.3. Mapeamento Direto

Já dissemos que as funções F e G (fig. 1) representam o mapeamento direto da realidade (B) na imagem e no modelo respectivamente.

Em razão da abrangência desta pesquisa, será realizado um estudo para as funções F, e mesmo assim, somente para as fotografias convencionais.

O mapeamento direto tem alguma analogia com o processo físico de formação da imagem: um feixe de raios luminosos emanados da superfície da Terra e que vão sensibilizar o negativo localizado no plano focal de um sistema de lentes. Para o caso específico de modelos derivados fotogrametricamente, o conceito de mapeamento direto análogo ao processo físico de formação de imagens constitui uma generalização.

Tendo-se em vista o uso de feições retas e pontos como apoio (subconjunto C da figura 1), serão apresentados de forma sucinta dois modelos fotogramétricos, um baseado em pontos e um outro baseado em feições retas.

O modelo fotogramétrico baseado em pontos que será adotado é a equação de colinearidade (fig.2).

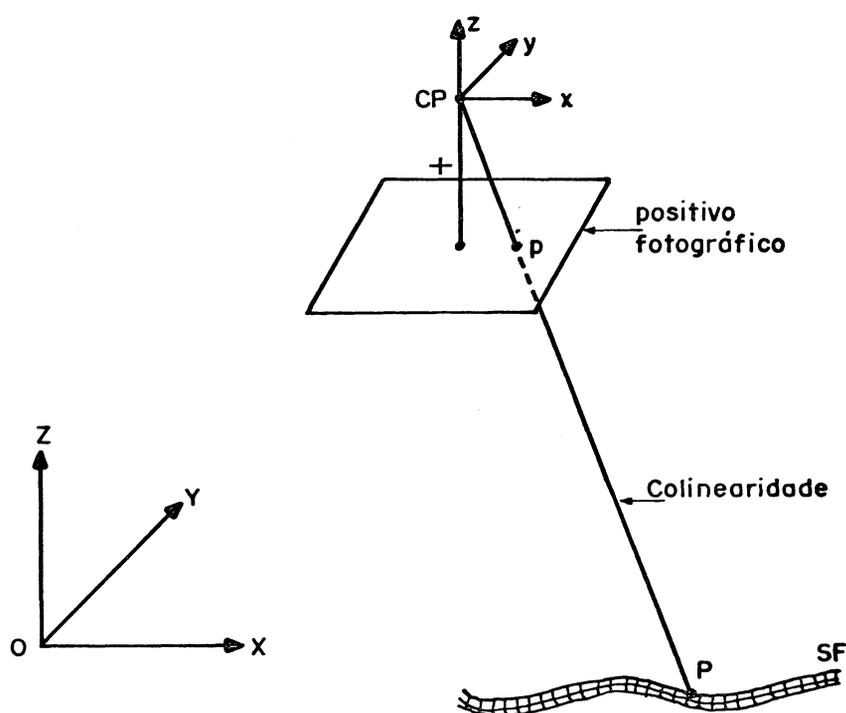


Fig. 2- Princípio de colinearidade.

- P : Ponto-objeto de coordenadas X, Y e Z;
- p : Ponto-imagem de coordenadas x, y e z;
- CP : Centro perspectivo;
- f : Constante focal;
- OXYZ : Referencial do espaço-objeto;
- CPxyz: Referencial fotográfico e;
- SF : Superfície física.

O princípio de colinearidade (fig. 2) estatui que o ponto objeto (P), o ponto imagem (p) e o centro perspectivo (CP) pertencem a uma mesma reta. Naturalmente, em razões de distorções e deformações, este princípio é apenas uma

aproximação da realidade física.

A expressão (1) é a representação analítica do princípio de colinearidade.

$$\begin{aligned} x &= -f \frac{m_{11}(X - X_0) + m_{12}(Y - Y_0) + m_{13}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} \\ y &= -f \frac{m_{21}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{23}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} \end{aligned} \quad (1)$$

onde:

- .  $[x \ y]^T$  são as coordenadas fotográficas de p;
- .  $[X \ Y \ Z]^T$  são as coordenadas de terreno de P;
- . f é a constante focal;
- .  $[X_0 \ Y_0 \ Z_0]^T$  são as coordenadas do CP no referencial de terreno e;
- .  $\{m_{ij}\}, 1 \leq (i, j) \leq 3$ , são os elementos da matriz de rotação  $M (=R_w * R_\phi * R_k)$ , função dos elementos de atitude ( $w, \phi$  e  $k$ ) da câmera.

O modelo fotogramétrico baseado em feições retas que será adotado é o Modelo dos Planos Equivalentes (Tommaselli, 1988; Tommaselli e Lugnani, 1988). Cabe observar que existem outros modelos fotogramétricos para essa finalidade (Lugnani, 1980; Mulawa & Mikhail, 1988).

Uma característica importante deste modelo e que não estava presente em desenvolvimentos anteriores (Lugnani, 1980; Masry, 1981; Souza, 1982), é a eliminação da necessidade de

correspondência ponto a ponto. Estudos recentes de Mulawa & Mikhail (1980) também apresentam esta característica.

O princípio do Modelo dos Planos Equivalentes é mostrado na figura 3.

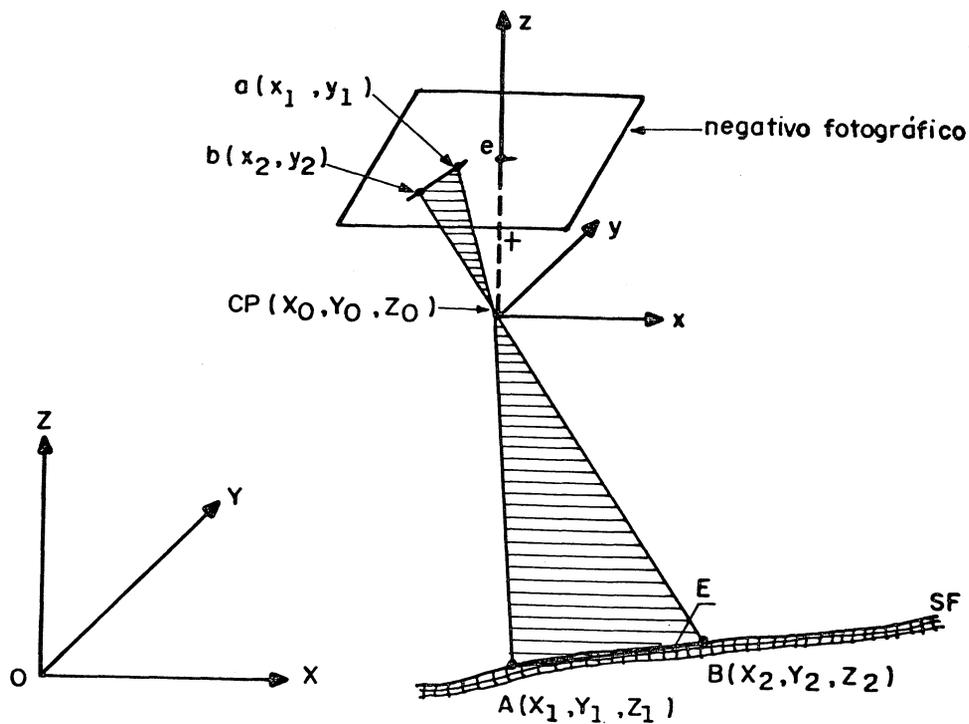


Fig. 3- Princípio do Modelo dos Planos Equivalentes.  
 E: Feiçãõ Reta no espaço-objeto definida pelos pontos A e B e;  
 e: Feiçãõ Reta no espaço-imagem definida pelos pontos a e b.

O modelo matemático dos planos equivalentes, o qual relaciona funcionalmente E e e, é representado matematicamente pela expressão (2).

$$\begin{vmatrix} A \\ B \\ C \end{vmatrix} = -\lambda * M * F * \begin{vmatrix} X_1 - X_0 \\ Y_1 - Y_0 \\ Z_1 - Z_0 \end{vmatrix} \quad (2)$$

sendo:

$$\begin{aligned}
 .A &= f \cdot y_1 - f \cdot y_2 \\
 .B &= f \cdot x_2 - f \cdot x_1 \\
 .C &= x_1 \cdot y_2 - x_2 \cdot y_1
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

$$.F = \begin{vmatrix} 0 & n & -m \\ -n & 0 & l \\ m & -l & 0 \end{vmatrix}
 \tag{2.2}$$

onde:

- .  $\lambda$  é um escalar;
- .  $[X_1 \ Y_1 \ Z_1]^T$  é um ponto sobre a reta  $\underline{E}$ ;
- .  $[X_0 \ Y_0 \ Z_0]^T$  são as coordenadas do centro perspectivo;
- .  $M$  é a matriz de rotação, função dos elementos de atitude ( $w$ ,  $\Phi$  e  $k$ );
- .  $[l \ m \ n]^T$  é o vetor diretor da reta  $\underline{E}$ .

As quantidades  $\underline{A}$ ,  $\underline{B}$  e  $\underline{C}$  foram denominadas "pseudo-observações".

Dentro do conceito de mapeamento direto, podemos interpretar a expressão (2) como sendo o mapeamento direto da feição reta  $\underline{E}$  na feição reta  $\underline{e}$ .

Também, o modelo (2) é exato se a feição reta  $\underline{E}$  for rigorosamente uma reta no espaço objeto, a menos de distorções e deformações.

Aos interessados em maiores detalhes sobre o Modelo dos Planos Equivalentes, consultar Tommaselli (1988).

Para o aproveitamento de pontos e/ou feições retas como controle, a solução é resolver os problemas clássicos da fotogrametria, Resseção Espacial e Orientação Absoluta, combinando o modelo (1) com o modelo (2).

Uma solução atrativa, tanto do ponto de vista matemático como computacional, é resolver o problema pelo método de ajustamento paramétrico com parâmetros relativos ao apoio ponderados para fixar o referencial de terreno e informar corretamente a qualidade do apoio.

Mais alguns pormenores da solução desse problema serão dados no capítulo IV. No entanto, para um estudo mais aprofundado do assunto, ver Tommaselli (1988).

#### II.4. Mapeamento Inverso

O mapeamento inverso (funções  $F^{-1}$  e  $G^{-1}$ ) realiza o processo inverso, isto é, reconstrói a realidade (B). No entanto, somente as informações relevantes presentes na imagem (D') e no modelo (D'') são mapeadas na realidade B, isto é, D. Pelos mesmos motivos já argumentados (abrangência do assunto e escopo da pesquisa) nos limitaremos às funções  $F^{-1}$  para as fotografias aéreas convencionais.

Os modelos matemáticos de mapeamento inverso serão tratados em dois grupos: mono-intersecção e estéreo-intersecção.

É importante entender que os modelos que serão discutidos abaixo são dedicados quase que exclusivamente a problemas que exigem grande quantidade de intersecções no espaço-objeto.

#### II.4.1. Mono-Intersecção

Os modelos fotogramétricos de mapeamento inverso que realizam a operação de mono-intersecção esperam como entrada apenas uma imagem.

A solução desse problema requer como informação da realidade retratada (B), além do apoio (C) que será utilizado junto com modelos fotogramétricos de mapeamento direto para calcular os parâmetros de orientação exterior num problema de Ressecção Espacial, também informações da topografia da região na forma numérica (DTM) ou funcional.

Uma solução iterativa do problema pode ser encontrado em Lugnani (1985) , Masry (1979) e Makarovic (1973).

O método baseia-se na equação de colinearidade inversa (eq. 3).

$$X = \frac{r_{11} * x + r_{12} * y - r_{13} * f}{r_{31} * x + r_{32} * y - r_{33} * f} * (Z - Z_0) + X_0$$

$$Y = \frac{r_{21} * x + r_{22} * y - r_{23} * f}{r_{31} * x + r_{32} * y - r_{33} * f} * (Z - Z_0) + Y_0$$

(3)

onde:

$$r_{ij} = m_{ji}$$

As coordenadas de terreno  $X$ ,  $Y$  e  $Z$  podem ser calculadas através das equações (3) conhecendo-se os parâmetros de orientação exterior, as coordenadas fotográficas  $(x,y)$  e um DTM.

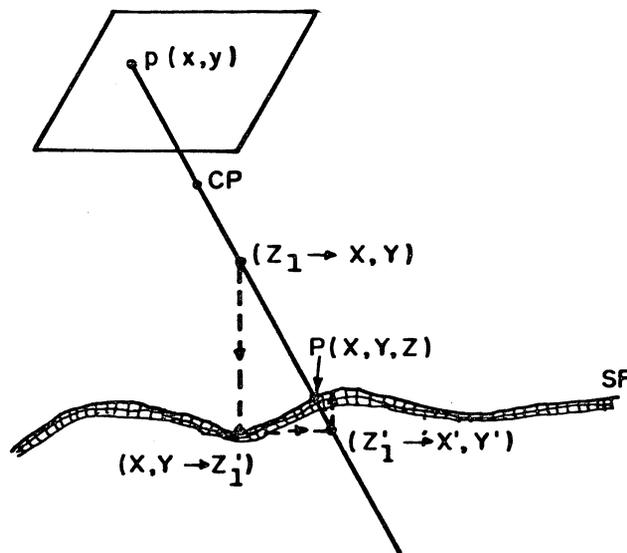


Fig. 4- Princípio da Mono-Intersecção Numérica.

Como mostra a figura 4, primeiro  $Z_1$  é interpolado do DTM e ,em seguida, é utilizado para calcular  $X$  e  $Y$ ; na seqüência,  $X$  e  $Y$  é usado para interpolar  $Z'_1$  do DTM e em seguida,  $Z'_1$  é utilizado para calcular  $X'$  e  $Y'$ ; o processo vai sendo repetido até que os resultados sejam satisfatórios.

Soluções funcionais e diretas do mesmo problema serão propostos na seqüência.

A figura 5 é básica, pois além de apresentar a geometria de uma fotografia aérea, apresenta todos os elementos para o entendimento de um modelo matemático básico, o qual servirá como ponto de partida para a apresentação das soluções propriamente ditas.

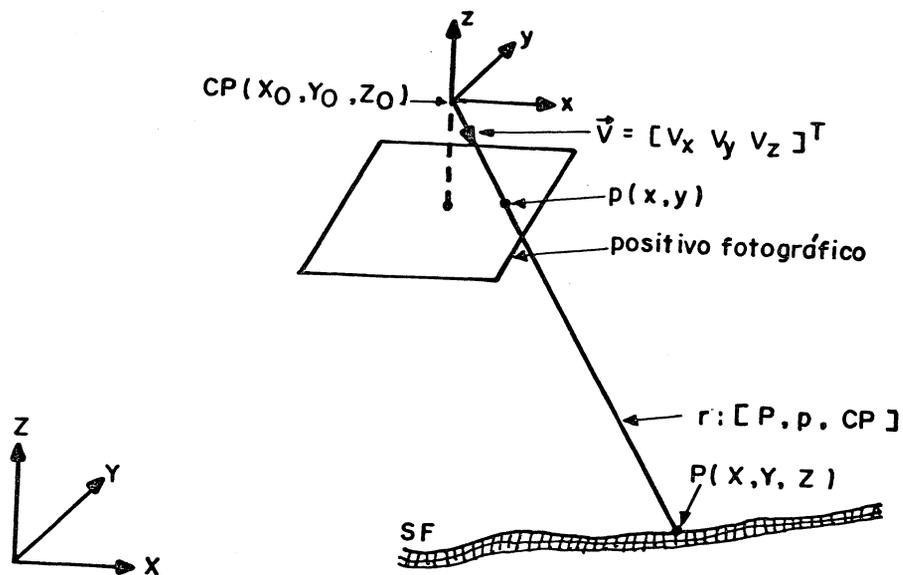


Fig. 5- Geometria de uma Imagem Fotográfica.

O modelo matemático básico é a equação da reta  $r$  na forma paramétrica (eq. 4), a qual, contém os pontos P, p e CP.

$$r: \begin{cases} X = V_x * t + X_0 \\ Y = V_y * t + Y_0 \\ Z = V_z * t + Z_0 \end{cases} \quad (4.1)$$

ou,

$$r: P = F(x, y, f, w, \Phi, k, X_0, Y_0, Z_0, t) \quad (4.2)$$

onde:

- .  $\vec{V} = [V_x \ V_y \ V_z]^T$  é o vetor diretor da reta  $r$  no referencial terrestre e função das fotocoordenadas  $(x, y)$ , constante focal  $(f)$  e dos elementos de atitude da câmara  $(w, \phi$  e  $k)$ ;
- .  $[X_0 \ Y_0 \ Z_0]^T$  são as coordenadas do centro perspectivo em relação ao referencial terrestre;
- .  $t$  é um escalar e parâmetro da reta.

O ponto de partida para a dedução do modelo matemático para o processo de mono-intersecção são as equações (4.1) e para cada modelagem funcional do relevo, um novo modelo de mono-intersecção será obtido.

A representação funcional do relevo pode ser feita de várias formas e deve estar em conformidade com os requerimentos de precisão: representação poliédrica (sólido limitado por faces planas), representação local por superfícies curvas, representação de todo o relevo por uma superfície plana, representação de todo o relevo por uma calota esférica ou elipsóidica, etc.

Com o objetivo de esclarecer melhor o conceito, faremos uma abordagem para o caso em que a representação funcional do relevo é poliédrica com faces triangulares (fig. 8). Cada "grid" IJKL produz dois triângulos. É fácil

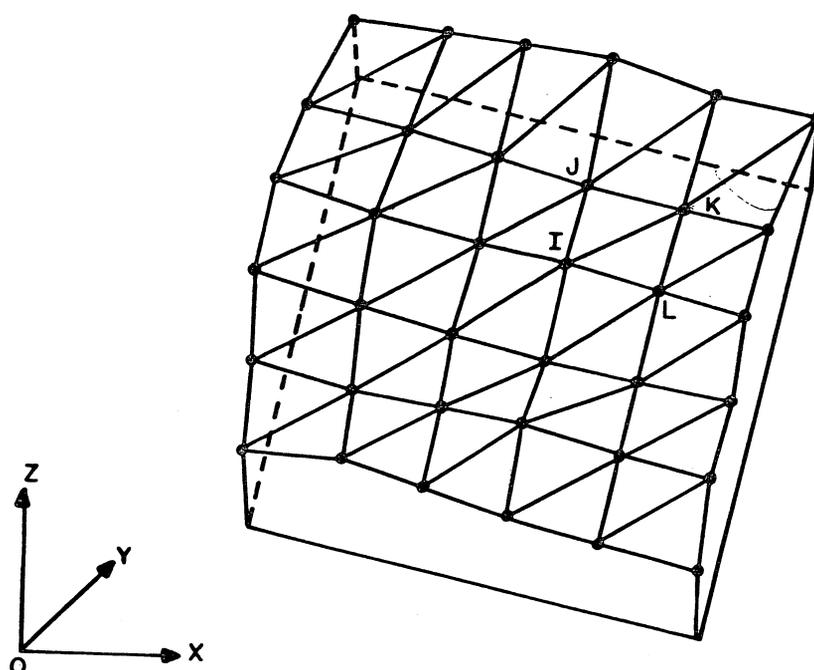


Fig. 6- Representação Poliédrica do Relevo com Faces Triangulares.  
 .OXYZ: referencial do terreno.

observar que a representação matemática dessa superfície é obtida através de  $2 \cdot n$  planos ( $n$  é o número de grid). Naturalmente, o domínio útil de cada plano é o triângulo delimitado pelos pontos de grid que o definem (na figura 6, por exemplo, IJK ou IKL).

A figura 7 ilustra o caso em que desejamos mapear o ponto-imagem  $p_i$ , pertencente ao triângulo imagem  $\Delta_{ijk}$ , no ponto-objeto  $P_i$ , pertencente ao triângulo-objeto  $\Delta_{IJK}$ .

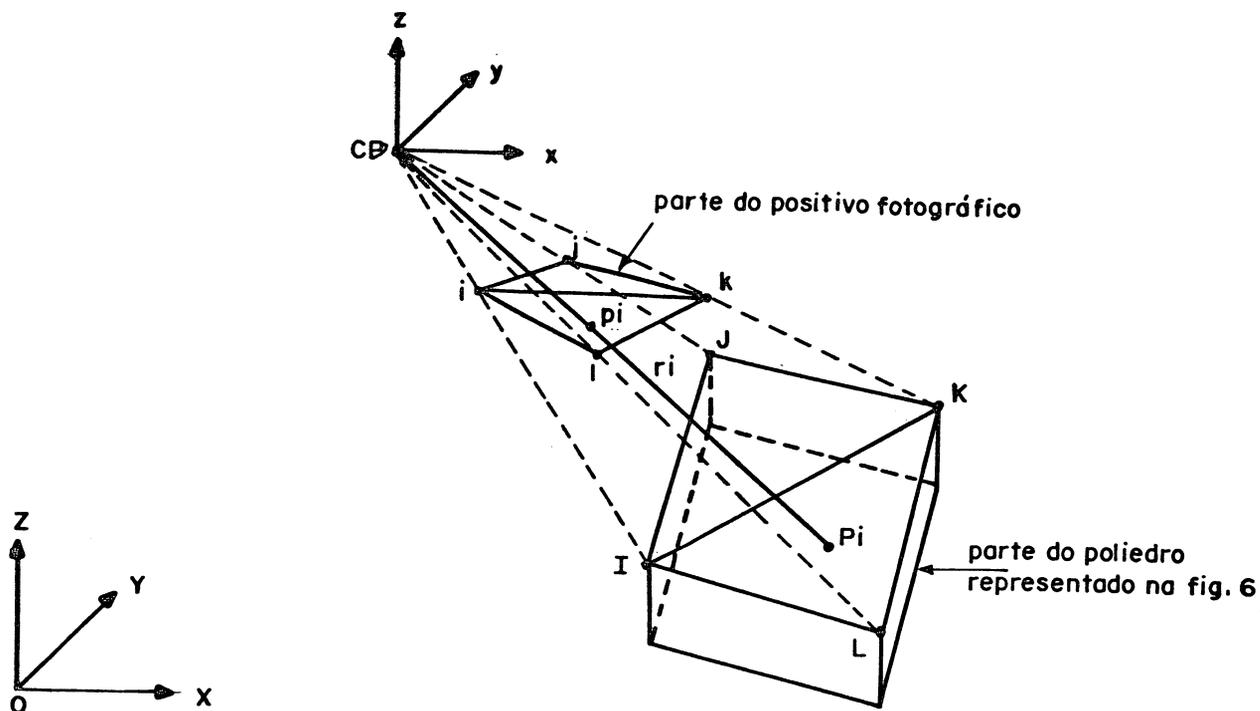


Fig. 7- Princípio do Método.

Como mostra a figura 7, a solução do problema é encontrada fazendo-se a intersecção da reta  $r_i$  com o plano  $\Pi_{IJK}$  (eq. 5.1 e 5.2).

$$\langle P_i \rangle = r_i \cap \Pi_{IJK} \quad (5.1)$$

ou,

$$X_{P_i} = - \frac{A \cdot X_0 + B \cdot Y_0 + C \cdot Z_0 + D}{A \cdot V_{xi} + B \cdot V_{yi} + C \cdot V_{zi}} \cdot V_{xi} + X_0$$

$$Y_{P_i} = - \frac{A \cdot X_0 + B \cdot Y_0 + C \cdot Z_0 + D}{A \cdot V_{xi} + B \cdot V_{yi} + C \cdot V_{zi}} \cdot V_{yi} + Y_0 \quad (5.2)$$

$$Z_{P_i} = - \frac{A \cdot X_0 + B \cdot Y_0 + C \cdot Z_0 + D}{A \cdot V_{xi} + B \cdot V_{yi} + C \cdot V_{zi}} \cdot V_{zi} + Z_0$$

onde:

$[X_0 \ Y_0 \ Z_0]^T$  são as coordenadas do CP no referencial de

terreno OXYZ;

$[A \ B \ C \ D]^T$  são os coeficientes do plano  $\Pi_{IJK}$  e são determinados em função das coordenadas dos pontos de grid I, J e K;

$[V_x \ V_y \ V_z]^T$  são as componentes do vetor diretor da reta  $r_i$  em relação ao referencial de terreno OXYZ.

O domínio de aplicação do modelo acima (eq. 5.1 ou 5.2) é a região do espaço: CP-ijk-IJK.

Quanto mais fino for o grid, o poliedro (figura 6) se aproximará mais da forma do relevo e melhores serão os resultados fornecidos pelo modelo (5.1) ou (5.2).

Dependendo do caso, outras soluções podem ser imaginadas dentro desse conceito. Por exemplo: 1- em casos em que o terreno for suficientemente plano para não provocar deslocamentos significativos de pontos-imagem, podemos considerar somente um plano para toda região de trabalho, diminuindo significativamente o esforço computacional; 2- em casos das fotografias terem sido obtidas a bordo do, por exemplo, "space shuttle" em que, devido a grande altitude, os deslocamentos dos pontos-imagem podem ser desprezados e a região fotografada é grande, podemos representar a área de trabalho por uma calota esférica ou elipsóidica; etc.

#### II.4.2. Estéreo-Intersecção

O conceito "estéreo-intersecção" está associado com a reconstrução de entidades no espaço-objeto através da intersecção de dois ou mais raios de colinearidade. Portanto, os modelos fotogramétricos de mapeamento inverso que realizam a operação de estéreo-intersecção esperam como entrada duas ou, as vezes, mais imagens (ver a fig. 8 para o caso de 2 fotografias). Um caso típico do uso de três ou mais fotografias ocorre na fotogrametria à curta-distância, onde, é comum utilizar um conjunto (usualmente três) de fotografias convergentes, resultando, geralmente, superposição de 100%. Nesse caso, o princípio de dedução é o mesmo ao que será apresentado para o caso de duas fotografias, caso típico para fotografias aéreas.

A solução desse problema requer, como informação da realidade retratada (B), o conhecimento do apoio (C) que será utilizado junto com modelos fotogramétricos de mapeamento direto para calcular os parâmetros de orientação exterior num problema de Ressecção Espacial ou Orientação Absoluta.

É possível a solução iterativa desse problema, porém essa possibilidade não será abordada, preferindo-se buscar uma solução direta para o problema.

O ponto de partida é a equação de colinearidade (eq. 1). Após um reagrupamento de parâmetros e algumas manipulações algébricas chegamos ao modelo (6).

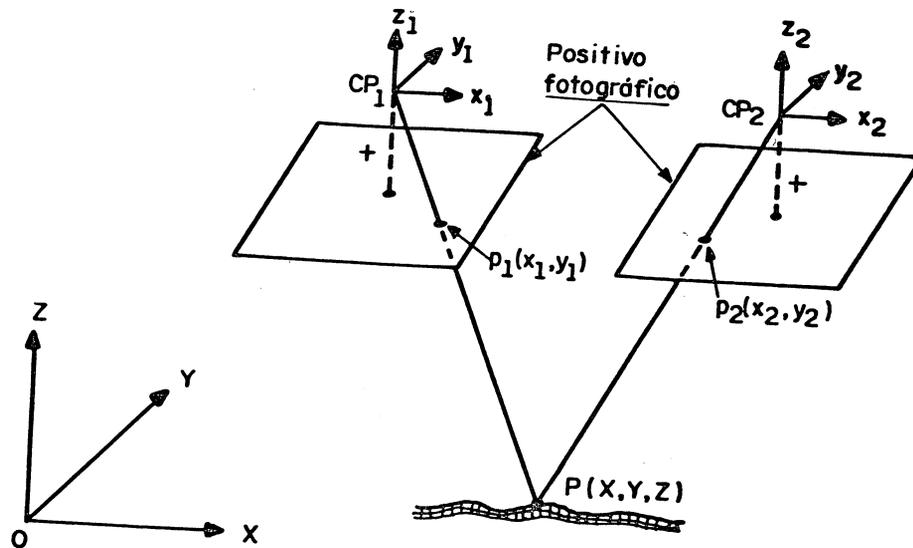


Fig. 8- Geometria para a Intersecção de duas Fotografias.

Os elementos contidos na fig. 8 são os mesmos das figuras anteriores.

$$x = A_1 * X + A_2 * Y + A_3 * Z + A_4$$

$$y = B_1 * X + B_2 * Y + B_3 * Z + B_4$$

(6)

onde:

.  $[x \ y]^T$  são as fotocoordenadas de um ponto  $p$ ;

.  $[X \ Y \ Z]^T$  são as coordenadas terrestres de um ponto  $P$ ;

.  $A_i$  e  $B_i$  são coeficientes que podem ser calculados em função das fotocoordenadas de  $p$ , da constante focal  $f$  e dos elementos de orientação exterior da câmera.

Admitindo os coeficientes  $A_i$  e  $B_i$  como "constantes", o modelo (6) torna-se linear com respeito às incógnitas  $X$ ,  $Y$  e  $Z$ .

A aplicação do modelo (6) a cada par de pontos homólogos  $p_1$  e  $p_2$ , resulta num sistema de equações de observação com três incógnitas ( $X$ ,  $Y$  e  $Z$ ) e quatro equações de observação. Apesar do pequeno grau de liberdade, podemos aplicar o MMQ (para esse caso, o método dos parâmetros) e obter o seguinte sistema de equações normais dado pela equação matricial (7).

$$\begin{vmatrix} N1 & N2 & N3 \\ N2 & N4 & N5 \\ N3 & N5 & N6 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} U1 \\ U2 \\ U3 \end{vmatrix} \quad (7)$$

sendo:

$$.N1 = A_{1E}^2 + B_{1E}^2 + A_{1D}^2 + B_{1D}^2 \quad (8.1)$$

$$.N2 = A_{2E} * A_{1E} + B_{2E} * B_{1E} + A_{2D} * A_{1D} + B_{2D} * B_{1D} \quad (8.2)$$

$$.N3 = A_{3E} * A_{1E} + B_{3E} * B_{1E} + A_{3D} * A_{1D} + B_{3D} * B_{1D} \quad (8.3)$$

$$.N4 = A_{2E}^2 + B_{2E}^2 + A_{2D}^2 + B_{2D}^2 \quad (8.4)$$

$$.N5 = A_{3E} * A_{2E} + B_{3E} * B_{2E} + A_{3D} * A_{2D} + B_{3D} * B_{2D} \quad (8.5)$$

$$.N6 = A_{3E}^2 + B_{3E}^2 + A_{3D}^2 + B_{3D}^2 \quad (8.6)$$

$$.U1 = A_{2E} * x_E + B_{1E} * y_E + A_{1D} * x_D + B_{1D} * y_D \quad (8.7)$$

$$.U2 = A_{2E} * x_E + B_{2E} * y_E + A_{2D} * x_D + B_{2D} * y_D \quad (8.8)$$

$$.U3 = A_{3E} * x_E + B_{3E} * y_E + A_{3D} * x_D + B_{3D} * y_D \quad (8.9)$$

As letras  $E$  e  $D$  nas fórmulas (8) referem-se a foto esquerda e direita respectivamente.

O sistema de equações normais (7) foi resolvido pelo algoritmo de Cholesky (eq. 9).

$$X = \frac{L1 * e6 * e4 - e3 * e4 * L3 - e2 * (L2 * e6 - e5 * L3)}{e6 * e4 * e1}$$

$$Y = \frac{L2 * e6 - e5 * L3}{e6 * e4} \quad (9)$$

$$Z = \frac{L3}{e6}$$

onde:

$$.e1 = (N1)^{1/2} \quad (10.1)$$

$$.e2 = N2 / (N1)^{1/2} \quad (10.2)$$

$$.e3 = N3 / (N1)^{1/2} \quad (10.3)$$

$$.e4 = [(N4 * N1 - N2 * N2) / N1]^{1/2} \quad (10.4)$$

$$.e5 = (N5 * N1 - N3 * N2) / [(N1 * (N4 * N1 - N2 * N2))]^{1/2} \quad (10.5)$$

$$.e6 = \{ [(N6 * N1 - N3 * N3) * (N2 * N1 - N2 * N2) - (N5 * N1 - N3 * N2)^2] / N1 * (N2 * N1 - N2 * N2) \}^{1/2} \quad (10.6)$$

$$.L1 = U1 / e1 \quad (10.7)$$

$$.L2 = (e1 * U2 - e2 * U1) / e1 * e5 \quad (10.8)$$

$$.L3 = [e1 * (U3 - U2) + U1 * (e2 - e3)] / e1 * e6 \quad (10.9)$$

Por fim, a figura 9 mostra um critério de classificação dos modelos matemáticos de mapeamento inverso.

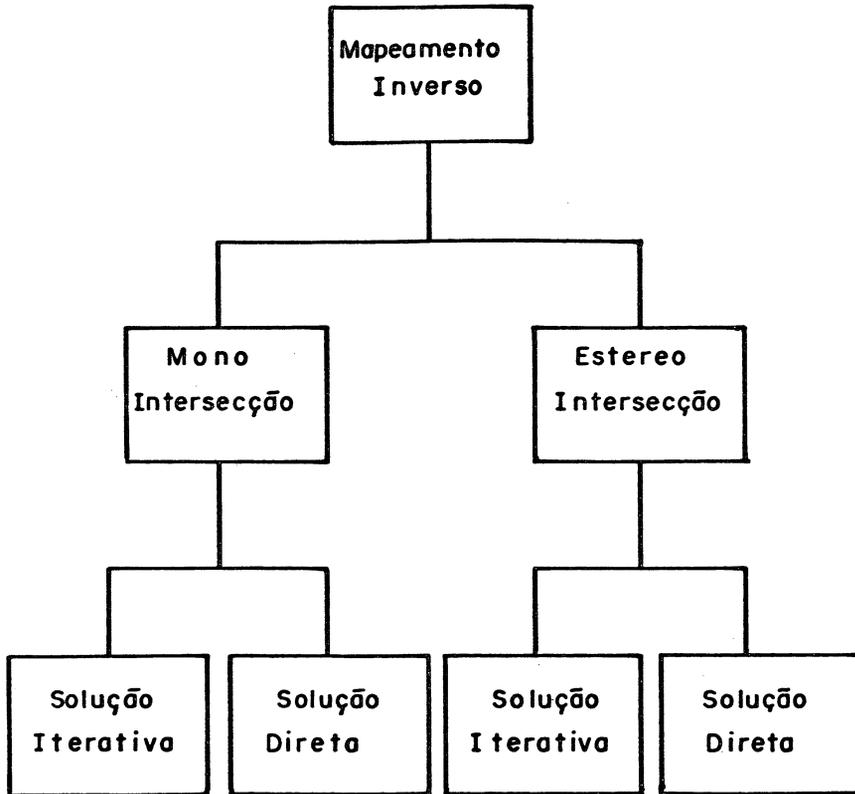


Fig. 9- O Mapeamento Inverso.

## CAPÍTULO III

### A Concepção do Sistema

#### III.1. Introdução

Este capítulo tratará da concepção do sistema fotogramétrico.

Será abordado, num primeiro plano, os conceitos básicos da teoria geral dos sistemas, os quais possam ser úteis para a formulação e compreensão do sistema fotogramétrico.

De uma forma geral, os sistemas podem ser classificados em naturais e artificiais.

Os primeiros são encontrados na natureza, como por exemplo, o Sistema Solar. Porém, dependendo da percepção da realidade do observador, objetivos diferentes serão atribuídos e, em geral, é isso que ocorre com todos os sistemas naturais.

Por outro lado os sistemas artificiais são concebidos pela mente criadora do homem. Os exemplos são os mais variados: Sistema Viário, Sistema Monetário, Sistema de Informações Geográficas (GIS), etc. Estes sistemas foram concebidos para cumprirem objetivos pré-fixados.

No presente caso, o interesse está voltado para os sistemas artificiais, mais especificamente para o subgrupo baseado na tecnologia computacional (por exemplo: GIS).

Serão abordados com algum detalhamento as características básicas de qualquer sistema. Essas características serão utilizadas como base para a concepção do sistema fotogramétrico.

Também, o ambiente de dados do sistema será alvo de descrição desse capítulo.

Por fim, será dedicado um esforço para localizar o sistema no contexto da cartografia digital, bem como, o de justificar o escopo do sistema com base nesse contexto.

### III.2. Teoria Geral dos Sistemas

Esta seção baseia-se em Jeyanandam (1988) e abordará o assunto de uma forma geral.

#### III.2.1. Conceitos de Sistema

De uma forma geral, um sistema pode ser definido como um complexo de elementos interrelacionados formando um todo. Estes elementos podem ser tangíveis (por exemplo: dinheiro) ou intangíveis (por exemplo: conceitos, dados, etc).

Uma definição mais objetiva especifica um sistema como

um conjunto de elementos formando uma atividade ou um processo, procurando uma meta ou metas, através de operar sobre dados, energia ou matéria, em um determinado período para produzir informação, energia ou matéria.

Esta definição introduz um aspecto novo no conceito de sistema: a meta ou as metas procuradas pelos sistemas. Esta meta ou metas não podem ser aparentes, tais como em sistemas naturais semelhante ao Sistema Solar. Como já foi dito, de acordo com a percepção do observador, diferentes metas podem ser atribuídas para este tipo de sistema. Por outro lado, sistemas concebidos pelo homem possuem metas específicas identificáveis.

Sempre um sistema pode ser decomposto em unidades menores denominadas subsistemas e, por outro lado, é sempre possível associar um sistema a um sistema maior, do qual ele é parte integrante.

### II.2.2. Características Básicas de um Sistema

As características que serão delineadas a seguir desempenham um importante papel para o entendimento de qualquer sistema.

As características básicas de qualquer sistema são:

- .Os objetivos do sistema;
- .Os componentes ou subsistemas do sistema;

- .O ambiente do sistema;
- .Os recursos do sistema e;
- .O gerenciamento do sistema.

O conceito de sistema presume que todo sistema é parte de um sistema maior (ver fig. 10). Por outro lado, o que é parte de um sistema num sentido, é um todo num outro sentido. Hoje em dia esse conceito é bastante relevante, pois os avanços nas comunicações de todas as formas têm aumentado as interações entre subsistemas.

Vamos idealizar um sistema denominado "mapeamento", ou melhor, "sistema de mapeamento" (fig. 10).

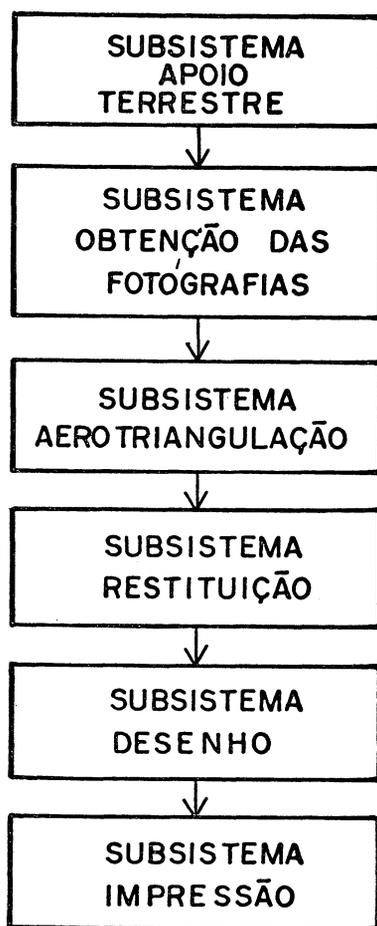


Fig. 10- O Sistema de Mapeamento.

O sistema de mapeamento tem a função de servir como um ponto de analogia com a teoria geral dos sistemas. Espera-se que isso facilite a compreensão dos conceitos introduzidos.

Como pode ser observado da figura 10, o nosso sistema de mapeamento representa, dentro de uma perspectiva bem geral, o processo de compilação de uma carta (ou mapa ou planta) por meios fotogramétricos. Os subsistemas do sistema de mapeamento representam as fases padrão deste processo.

Também, o conceito de sistema implica que os objetivos de qualquer sistema (por exemplo: subsistema de aerotriangulação) deva idealmente viabilizar os objetivos de um sistema mais geral, como por exemplo, o sistema de mapeamento. Portanto, o projeto de qualquer sistema envolve necessariamente a identificação de um sistema mais geral e seus objetivos.

Os objetivos de uma rede complexa de atividades pode ser reduzida para uma série de metas intermediárias. Estas metas são realizadas sistematicamente pelos subsistemas. Por exemplo: a meta de obter o apoio suplementar fica a cargo do subsistema de aerotriangulação.

O objetivo do sistema de mapeamento é a confecção da carta, planta ou mapa.

Os componentes são os subsistemas que realizam metódico e sistematicamente o processo ou transformação da entrada na saída. Cada sistema e seus respectivos subsistemas

têm entradas e saídas. A saída de alguns é entrada de outros.

Os componentes do sistema de mapeamento podem ser observados na figura 10.

O ambiente de um sistema é um conjunto de "constraints" sob os quais o sistema obtém seus objetivos.

O ambiente pode ser composto de sistemas (legal, social ou cultural) ou de fatores identificáveis (por exemplo: nível de tecnologia) e não são fixos.

A evolução do ambiente é relativamente lenta e pode influenciar a correspondente operação do sistema; porém, o inverso não é verdadeiro. De uma forma geral, um elemento pode ser identificado como pertencente ao ambiente sempre que o sistema puder fazer relativamente pouco a respeito do seu comportamento; também, um elemento é considerado como parte integrante do sistema, quando este pode influenciar significativamente no seu comportamento.

Num processo de mapeamento padrão, por exemplo, a fase de fototriangulação faz parte do sistema de mapeamento; por outro lado, as normas que estabelecem o padrão de exatidão cartográfico planimétrico e o padrão de exatidão cartográfico altimétrico de uma carta fazem parte do ambiente do referido sistema. Deve ser observado que a operação de fototriangulação influe diretamente no funcionamento do sistema de mapeamento, porém, este opera sob as restrições ("constraint") das normas

anteriormente referidas; é também verdade que estas normas não são influenciadas pelo sistema, entretanto, se no futuro elas forem alteradas, a operação do sistema também será alterado.

Os recursos do sistema são os meios necessários para o sistema desempenhar suas funções. Em oposição ao ambiente, os recursos estão sob o controle do sistema.

Ainda sobre os recursos de um sistema, estes podem ser distinguidos como "ótimo", "disponível" e aqueles que são realmente "usados". A entrada pode não ser a ótima requerida para efetuar os objetivos estatuidos do sistema. Por outro lado, o ótimo pode ou não estar disponível dentro do contexto do ambiente, o que estabelece a necessidade para identificar os recursos disponíveis.

Voltando ao hipotético sistema de mapeamento mencionado anteriormente, podemos identificar alguns de seus recursos: equipamentos (por exemplo: computadores, instrumentos trianguladores, Mesas Digitalizadoras, etc), pessoal (por exemplo: operadores dos equipamentos, chefes das sessões, etc), suprimentos gerais, etc.

Todo sistema deve ser gerenciado para assegurar que seus objetivos estão sendo obtidos.

O gerenciamento de um sistema pode ser definido como o processo envolvido na harmonização dos componentes de um sistema, no contexto dos recursos disponíveis e de seu ambiente

particular, com os objetivos estatuídos do sistema.

O gerenciamento de um sistema é levado a cabo com base no trinômio: informação, decisão e implantação (fig 11).

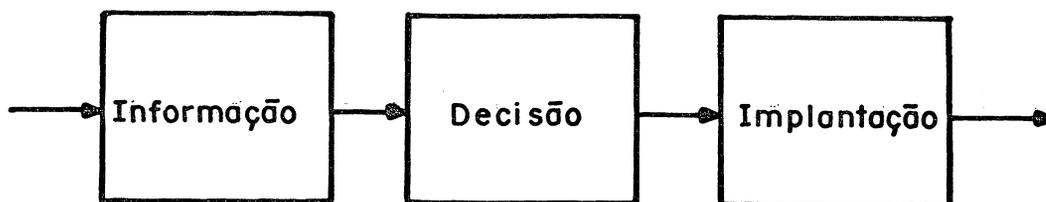


Fig. 11- Gerenciamento de um Sistema.

As informações coletadas são submetidas a um modelo de decisão e, então, as decisões resultantes são implementadas.

Podemos ver cada elemento do trinômio acima como componentes de um sistema de gerenciamento.

No sistema de mapeamento, por exemplo, os chefes de cada sessão (aerotriangulação, restituição, etc) fariam o "papel" de gerenciadores locais com base nos recursos e no ambiente que dispõem e, devem também submeter-se ao gerenciamento global que poderia ser representado por um coordenador geral.

A figura 12 ilustra os conceitos discutidos acima.

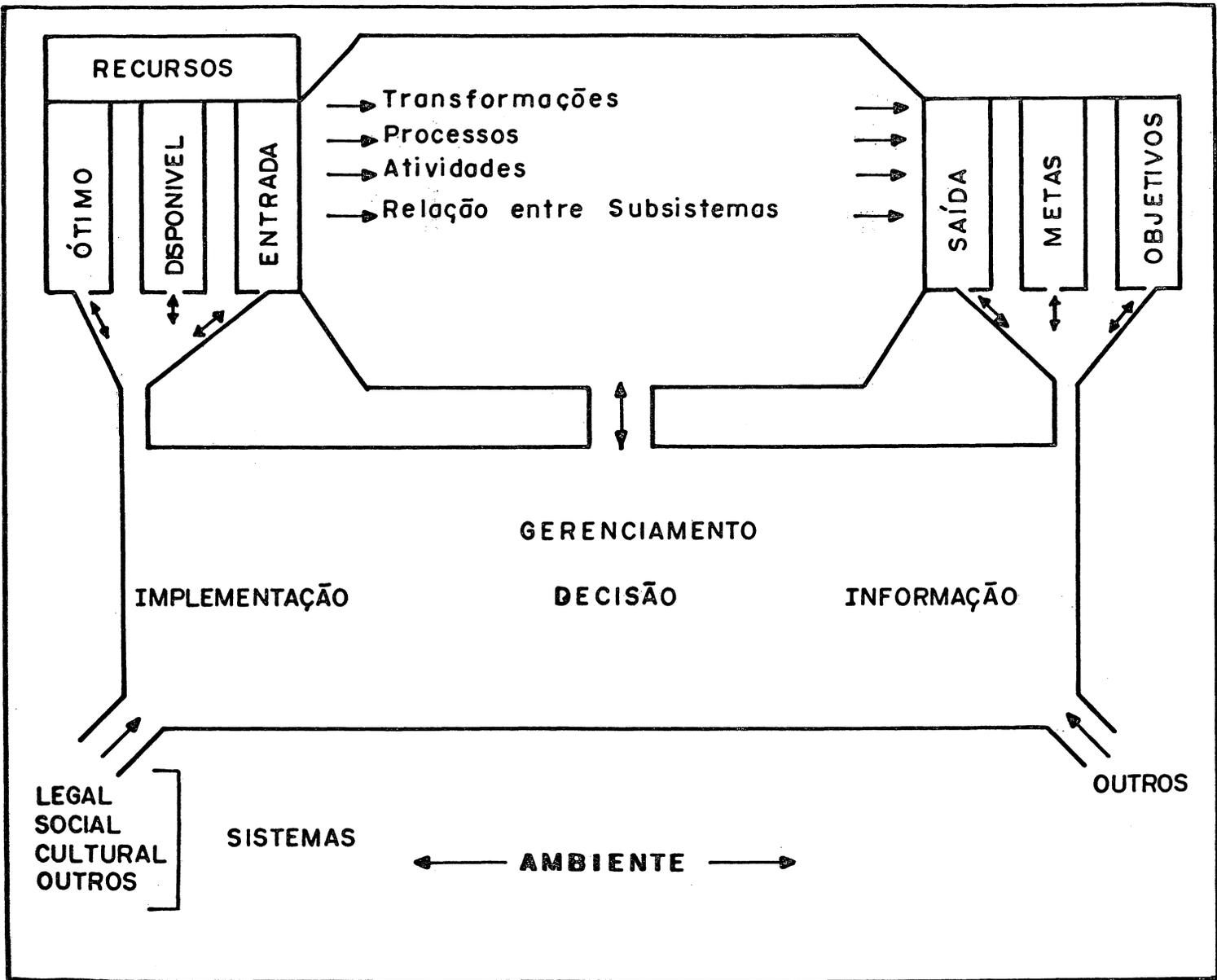


Fig. 12- Características de Um Sistema.

Uma interpretação simplificada de sistema e que facilitará as discussões futuras é mostrado na figura 13.

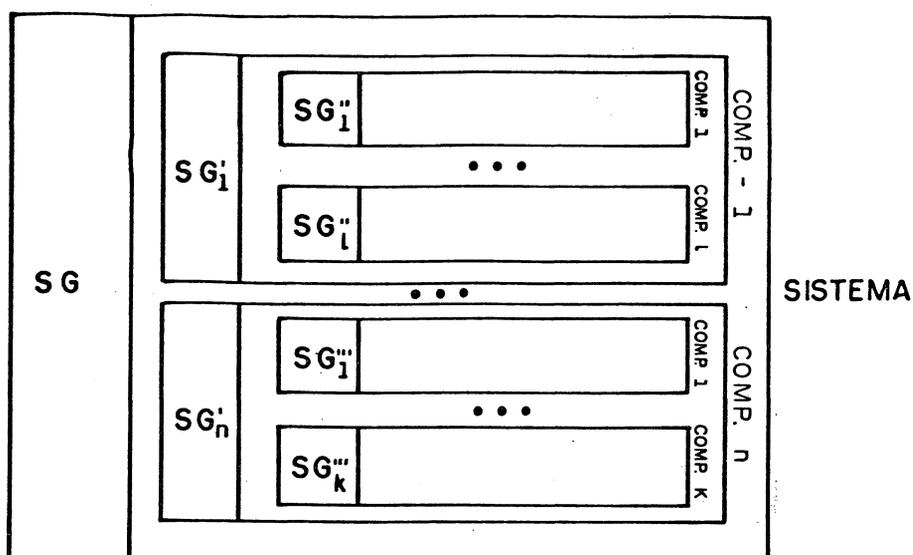


Fig. 13- Uma Vista Simplificada de Sistema.

A figura 13 mostra uma vista bem simplificada de sistema como subdividido em duas partes principais: uma primeira que executa sistematicamente as tarefas e é representada pelos componentes do sistema e uma segunda, que controla a execução destas tarefas.

Esta vista simplificada pode ser aplicada em qualquer nível do sistema: sistema, subsistemas, componentes dos subsistemas, etc (fig. 13).

### III. O Sistema Fotogramétrico

Procuraremos abordar o sistema fotogramétrico dentro da teoria geral dos sistemas, mais precisamente, dentro das cinco características básicas de sistema.

Dentro do enfoque de sistema que foi apresentado um sistema pode ser visto como um todo, mas num contexto maior ele é um componente. Assim, de acordo com a formulação do ponto de vista, um componente de um sistema apresenta todas as características de sistema e, portanto, possui toda autonomia; analogamente, um componente pode ser visto como um mero componente do sistema, devendo integrar-se ao todo.

O sistema fotogramétrico foi estruturado em três níveis: 1- o sistema fotogramétrico como um todo; 2- os componentes do sistema aqui denominados de níveis (N); 3- os componentes dos níveis, chamados de módulos (M).

Os módulos realizam tarefas mais específicas e os níveis agrupam módulos que apresentam características em comum.

### III.3.1. Objetivos do Sistema Fotogramétrico

O objetivo do sistema fotogramétrico pode ser decomposto em dois, conforme a natureza dos dados a serem manipulados:

- .Manipulação fotogramétrica de imagens e;
- .Manipulação de modelos obtidos a partir de algum processo fotogramétrico.

O objetivo acima estatuído tem a pretensão de ser bastante amplo. Nesse ponto, devemos relembrar o escopo dessa pesquisa.

No caso específico de manipulação fotogramétrica de imagens, a entrada esperada é de uma ou mais imagens e a saída são entidades (de uma forma geral: pontos, linhas e polígonos) discretizadas no referencial do apoio e presentes na imagem ou nas imagens de entrada.

Para o caso específico de manipulação de modelos obtidos a partir de algum processo fotogramétrico, a entrada é um modelo tridimensional (por exemplo: um modelo obtido num instrumento restituidor analógico em que a orientação absoluta -georeferenciamento- não é conhecida) e a saída são entidades discretizadas no referencial do apoio e presentes no modelo de entrada.

### III.3.2. Componentes do Sistema Fotogramétrico

O sistema fotogramétrico está estruturado em níveis (N). Estes por sua vez, estão estruturados em módulos (M).

Cada nível é caracterizado por uma atividade padrão que exerce. Os módulos ou subsistemas são responsáveis pelo cumprimento metódico e sistemático das atividades de cada nível. Analogamente, os níveis desempenham metódico e sistematicamente as atividades do sistema fotogramétrico como um todo.

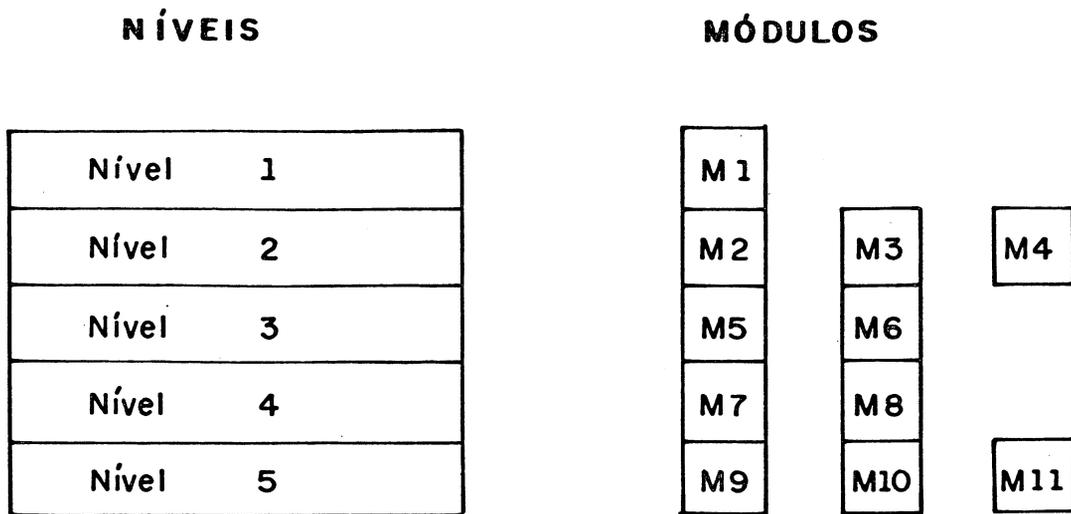


Fig. 14- A Estrutura do Sistema Fotogramétrico.

A figura 14 mostra os níveis do sistema e seus respectivos módulos.

Neste ponto do trabalho, serão apresentados de uma forma breve os níveis e as atividades que os caracterizam.

### NÍVEL 1

Este nível é responsável pela atividade de edição dos dados tipo-1. De uma forma geral, esses dados incluem feições retas e pontos.

Para nosso caso específico, as operações de edição compreendem, de uma forma geral, a implantação e a manutenção dos dados tipo-1.

Somente um componente (M1) faz parte desse nível.

## NÍVEL 2

A meta desse nível é a aquisição de dados tipo-3. Esses dados incluem DTM e entidades vetorizadas sobre modelos e imagens.

Várias formas de aquisição de dados estão previstas nesse nível. Podemos citar a leitura de arquivos existentes, comparador digital, instrumento restituidor analógico, mesa digitalizadora, comparador convencional, etc. Por outro lado, algumas dessas vias de aquisição de dados são meras proposições (por exemplo: uma mesa digitalizadora como alternativa ao comparador convencional) e, por isso, serão fontes de pesquisas futuras. Por outro lado, outras vias de aquisição de dados estão devidamente testadas e aprovadas (por exemplo: um restituidor analógico). De qualquer forma, acredita-se que todas aquelas vias possuem seu universo de aplicação.

Dentro do escopo desta pesquisa, propomos 3 módulos para esse nível:

- .M2: aquisição de DTM;
- .M3: Aquisição de dados de modelo e;
- .M4: Aquisição de dados de imagem.

### NÍVEL 3

O objetivo desse nível é fazer a seleção semi-automática do apoio, nominalmente: feições retas e/ou pontos simples.

A seleção do apoio não está limitado ao apontamento simples de um grupo de feições retas e/ou pontos simples. O processo todo de seleção do apoio é visto para ser composto pelas seguintes etapas:

- 1- escolha de um grupo de feições retas e/ou pontos;
- 2- aplicação de um algoritmo de controle de qualidade ao apoio selecionado na etapa-1, a fim de verificar se o mesmo atende ao conjunto de parâmetros de qualidade pré-estabelecidos para uma determinada aplicação.

Se o apoio selecionado na etapa-1 for rejeitado na etapa-2, um novo conjunto de apoio deve ser selecionado e assim por diante.

Este nível é composto por dois módulos:

- .M5: visualização gráfica de dados tipo-1 e;
- .M6: controle de qualidade.

#### NÍVEL 4

Este nível tem por objetivo o estabelecimento da relação funcional entre o espaço-imagem ou modelo e o espaço-terrestre, através da modelagem de uma ou duas imagens ou da modelagem de um modelo fotogramétrico. Deve ser notado que esse objetivo pode ser generalizado se um programa de Aerotriangulação por Modelos Independentes ou Feixe de Raios em bloco estiver disponível.

A relação entre os espaços acima referidos pode ser estabelecida por processos de Resseção Espacial ou Orientação Absoluta.

Os módulos que compõem esse nível são os que seguem:

- .M7: Resseção Espacial e;
- .M8: Orientação Absoluta.

Um módulo de aerotriangulação em bloco com o objetivo firmado de recuperar os parâmetros de orientação exterior das imagens ou os parâmetros de transformação dos modelos pode ser incluído nesse nível. Isto deve garantir melhores resultados, mas demandará, além de um programa do gênero, maiores recursos computacionais ("hardware").

## NÍVEL 5

O objetivo desse nível é realizar o processo de mapeamento inverso.

A configuração atual do sistema prevê três aplicações de mapeamento inverso, nominalmente restituição, atualização e geração de grid-irregular. Os dados gerados pelo mapeamento inverso são brutos, necessitando de um tratamento posterior.

Desta forma os módulos que compõem este nível são:

- .M9: restituição;
- .M10: atualização e;
- .M11: grid-irregular.

A figura 15 mostra o "design" do Sistema Fotogramétrico (SF). Nesta figura podem ser observados os níveis e os seus respectivos módulos. Também, todo o ambiente de dados, isto é, uma rede estruturada de arquivos, estão presentes.

Limitaremos no momento, a dizer que o ambiente de dados do sistema está organizado em 4 classes, denominadas tipo-1, tipo-2 (em geral, apoio selecionado e elementos de orientação exterior), tipo-3 e tipo-4 (arquivos de restituição, atualização e grid-irregular).

Passaremos, com alguns pormenores, a uma descrição dos

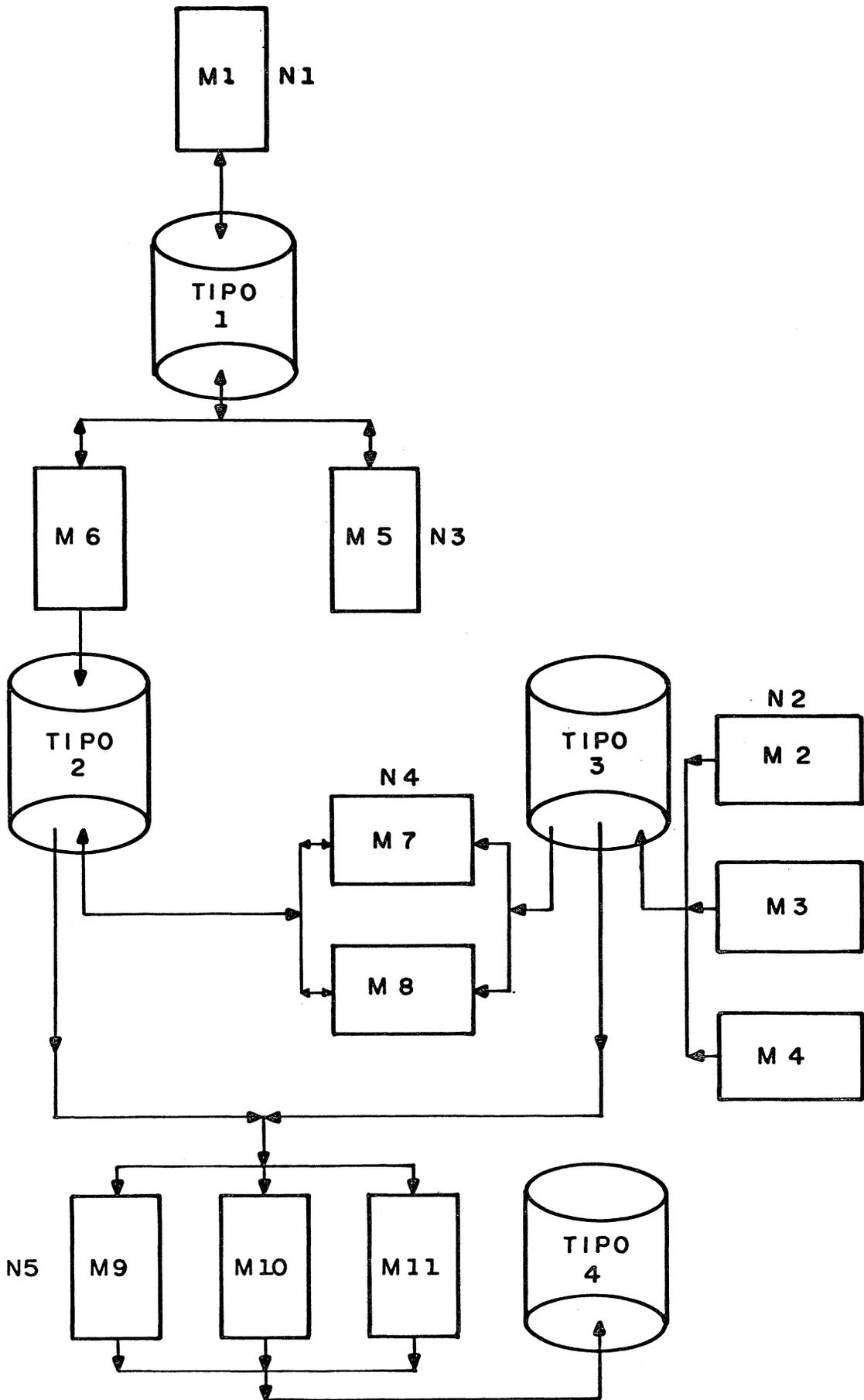


Fig. 15- O "Design" do Sistema Fotogramétrico.

módulos que compõem os cinco níveis do sistema.

.Módulo M1 - Edição do ambiente de dados tipo-1.

O objetivo desse módulo é a implantação e manutenção do ambiente de dados tipo-1 no modo interativo.

A operação de implantação apenas alimenta os arquivos, isto é, não há possibilidade de interação com o sistema de arquivos. Alterações no conteúdo dos arquivos são feitas pela operação de manutenção através das funções de inserção, deleção, atualização e visualização. Estas funções permitem ao operador interagir com os arquivos sem nenhuma informação sobre eles, interfaceado pelo módulo M1 e qualquer entrada solicitada ao operador pelo módulo M1 é feita via teclado.

De acordo com o exposto, os dois componentes básicos desse módulo são as operações de implantação e manutenção do ambiente de dados tipo-1 (fig 16).

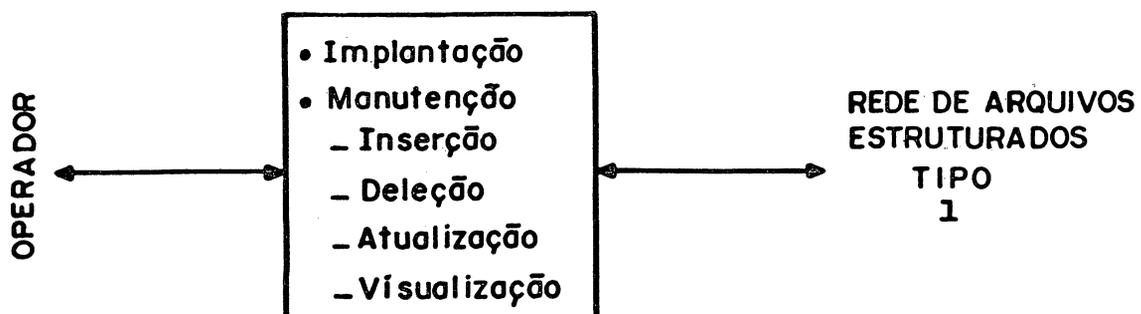


Fig. 16- Módulo M1.

.Módulo M2- Aquisição de DTM.

A meta desse módulo é a transferência de DTM, em uma determinada organização, para um arquivo tipo-3, isto é, em organização conhecida pelo sistema (fig. 17).

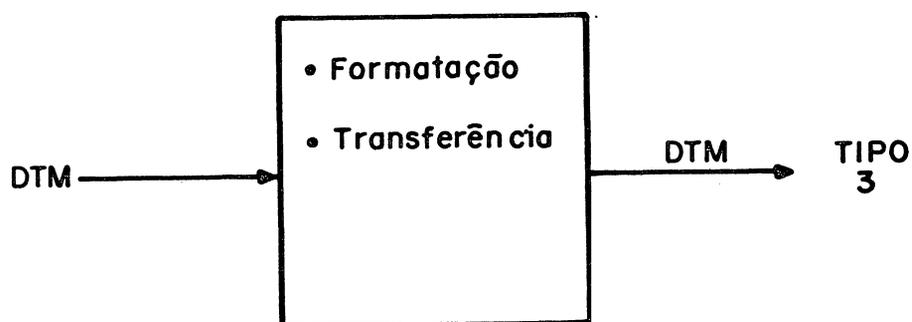


Fig. 17- Módulo M2.

.Módulo M3- Aquisição de Dados de Modelo

A meta desse módulo é, a partir de um modelo previamente formado por algum processo fotogramétrico, adquirir entidades discretizadas (em geral: pontos, linhas ou polígonos) num referencial arbitrário de modelo.

Este processo pode ser denominado genericamente como vetorização no  $R^3$ . Em decorrência, as entidades resultantes desse processo serão armazenadas segundo a estrutura de dados vetorial.

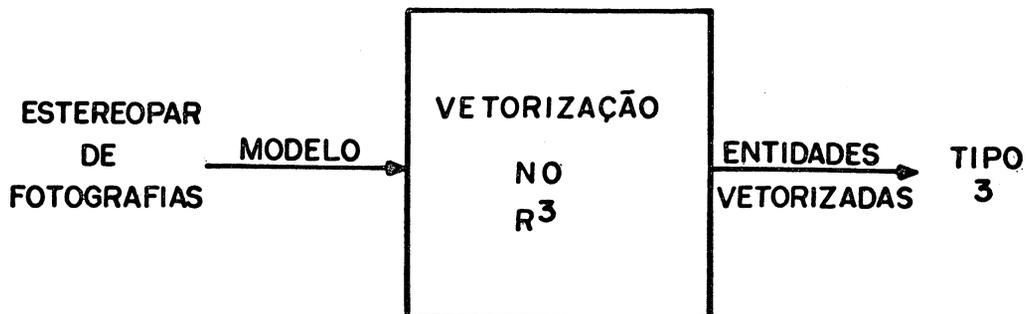


Fig. 18- Módulo M3.

Um equipamento típico para a vetorização no  $R^3$  é o restituidor analógico.

#### .Módulo M4- Aquisição de dados da imagem

A meta desse módulo é, a partir de uma ou duas fotografias, adquirir entidades (em geral: pontos, linhas e polígonos) discretizadas no plano.

Este processo pode ser denominado de vetorização no  $R^2$ . Em decorrência, as entidades resultantes desse processo serão armazenadas segundo a estrutura de dados vetorial.

Alguns dos equipamentos que podem ser utilizados para a vetorização no  $R^2$  são as mesas digitalizadoras e os comparadores.

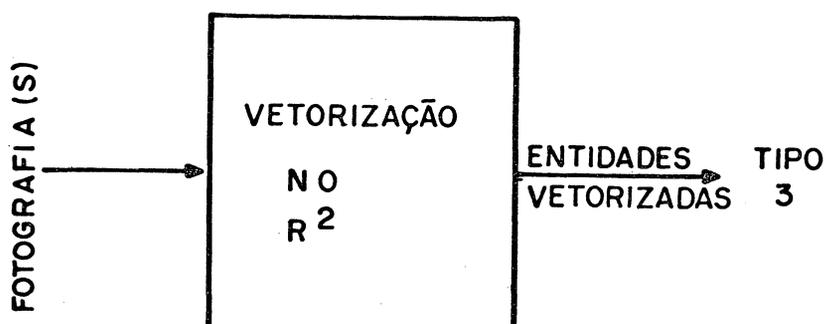


Fig. 19- Módulo M4.

.Módulo M5- Visualização Gráfica de Dados Tipo-1.

A meta desse módulo é a seleção de um grupo de feições retas e pontos, os quais terão a função de apoio para certas aplicações. Como já dissemos, o grupo de feições retas e pontos selecionados serão submetidos a algoritmos de controle de qualidade (M6). Na hipótese deles serem rejeitados, um novo grupo deve ser selecionado.

O objetivo do módulo M5 é executado em três etapas (fig. 20):

- 1- Cerceamento;
- 2- Visualização e;
- 3- Seleção do Apoio.

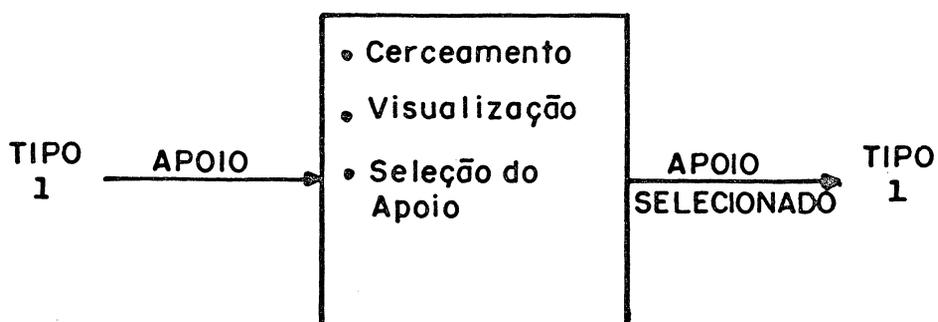


Fig. 20- Módulo M5.

A função de Cerceamento ou Recorte ("Clipping") (Banon, 1989) age em função de uma janela pré-fixada denominada janela de trabalho ("window") pertencente a uma determinada região, resultando como saída apenas as entidades visíveis na janela de trabalho.

A função de Visualização transforma a janela de trabalho ("window") na janela de visualização ("viewport"). Essa transformação é realizada por uma transformação geométrica, usualmente a Transformação Afim. A janela de visualização resultante é visível num monitor.

Com base na janela de visualização, a função de seleção de apoio vai selecionando entidade por entidade e transferindo para um arquivo provisório para ser submetido ao controle de qualidade (M6).

.Módulo M6- Controle de Qualidade.

A meta desse módulo é avaliar o apoio selecionado pelo módulo M5, isto é, verificar se a qualidade individual e a distribuição geométrica do apoio atendem aos parâmetros pré-estabelecidos para um aplicação específica.

Na formulação do problema geral, identificamos duas etapas principais: o mapeamento direto e o mapeamento inverso. Estas duas etapas podem ser identificadas como o circuito mapeamento direto-inverso.

O controle de qualidade consiste em estimar , a priori, a propagação dos erros no circuito mapeamento direto-inverso.

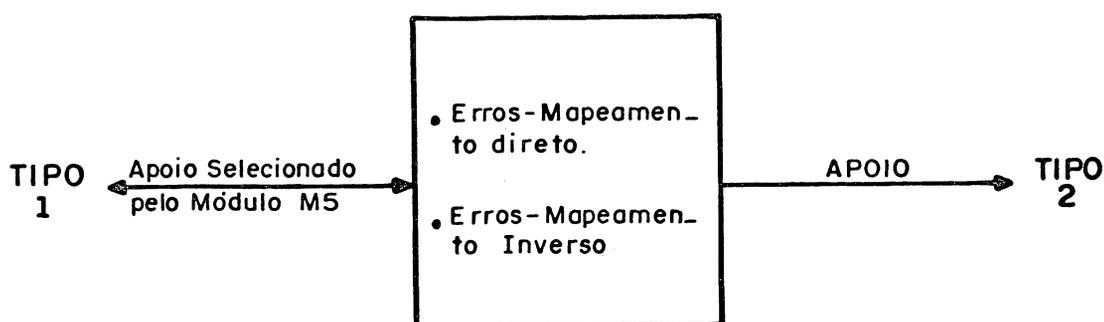


Fig. 21- Módulo M6.

.Módulo M7- Resseção Espacial

A meta desse módulo é estabelecer a relação funcional

entre os espaços objeto e imagem, para somente uma imagem, através do cálculo dos parâmetros de orientação exterior num processo conhecido como Resseção Espacial.



Fig. 22- Módulo M7.

#### .Módulo M8- Orientação Absoluta.

A meta desse módulo é estabelecer a relação funcional entre o espaço objeto e o espaço imagem ou modelo, através do cálculo de um grupo de parâmetros associados com a geometria da imagem ou modelo.

Em se tratando de um par estereoscópico de imagens, os parâmetros de interesse são os elementos de orientação exterior dessas imagens.

Por outro lado, os parâmetros associados com a geometria de um modelo depende da transformação geométrica escolhida, usualmente a transformação Isogonal ou a

transformação Afim.

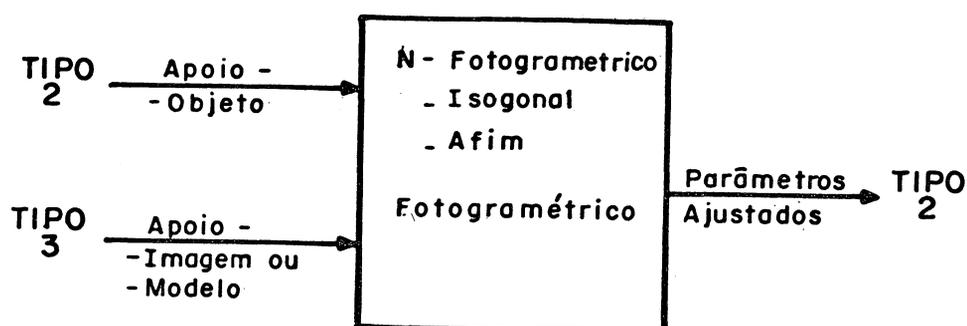


Fig. 23- Módulo M8.

#### .Módulo M9- Restituição

A meta desse módulo é realizar o mapeamento inverso de entidades (em geral: pontos, linhas e polígonos) escolhidas seletivamente (D' na figura 1) sobre uma ou mais imagens ou um modelo fotogramétrico que retratam uma dada região; as informações seletivamente escolhidas devem constituir informações relevantes para uma aplicação específica.

Os modelos matemáticos que realizam o mapeamento inverso, os quais, aceitam como entrada um modelo fotogramétrico, não são de natureza fotogramétrica. Em geral, são transformações geométricas, como por exemplo, a

transformação Isogonal ou a transformação Afim.

Por outro lado, os modelos que realizam o mapeamento inverso a partir de imagem(s) são bastante diversos e são de natureza fotogramétrica (ver fig. 9).

O módulo M9 foi estruturado conforme a natureza dos modelos matemáticos de mapeamento inverso (fig. 24).



Fig. 24- Módulo M9.

Na figura 24 os símbolos P, L e Pol, representam os elementos básicos da estrutura de dados vetorial: Ponto (P), Linha (L) e Polígono (Pol). Esses elementos resultam do processo de mapeamento inverso e estão referenciados ao mesmo referencial do apoio. Para que esses dados possam ser considerados como um modelo consistente da realidade que eles representam, as técnicas de mapeamento digital-edição, cálculo de projeção, generalização, etc- tem que ser aplicadas aos dados reduzidos fotogrametricamente. Será argumentado, mais adiante, que a aplicação das técnicas de mapeamento digital

estão fora do escopo do sistema.

#### .Módulo M10- Atualização

A meta desse módulo é semelhante ao módulo M9.

Como descreve Lugnani (1985), os métodos de atualização cartográfica são bastante variados. No entanto, podemos identificar três etapas distintas, tendo em mente que o objetivo final é atualizar uma base de dados que, posteriormente pode servir para editar cartas atualizadas:

- 1- detecção das alterações;
- 2- mapeamento inverso das alterações e;
- 3- integração das alterações transformadas pelo processo de mapeamento inverso na base de dados.

A detecção das alterações consiste basicamente em identificar o novo relevante numa ou mais imagens em relação a uma base de dados existente e pode, na prática, ser realizada de várias formas. Não se dedicará maior atenção ao assunto, o qual, é tratado detalhadamente em Lugnani (1985). Entende-se que a detecção de alterações faz parte da aquisição de dados.

O módulo atualização é na verdade, especialista no processo de mapeamento inverso das alterações. As entidades transformadas estarão referenciadas no referencial do controle.

Como será argumentado mais adiante, a tarefa de

integração foge do próprio escopo do sistema, uma vez que isto envolve a aplicação das técnicas de mapeamento digital.

O mapeamento inverso para o processo de atualização pode, dentro do contexto do sistema, comportar três possibilidades:-

- 1- Mono-Intersecção: utilizado em atualização planimétrica, desde que a altimetria da base de dados desatualizada está preservada ou que possa ser levantada por algum método;
- 2- Estereo-Intersecção: pode ser utilizado em qualquer caso, desde que um estereopar de imagens esteja disponível, mas é indispensável quando a altimetria sofreu alterações e;
- 3- Através de um modelo obtido a partir de um processo fotogramétrico; nesse caso, um modelo não fotogramétrico (Isogonal, Afim, etc) deve ser aplicado no mapeamento inverso.

A figura 25 mostra o módulo M10.

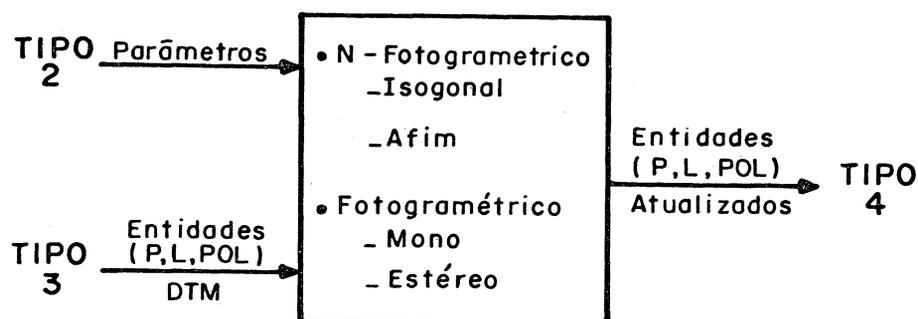


Fig. 25- Módulo M10.

Módulo M11- Geração de dados (grid-irregular) para a  
modelagem numérica de terreno- DTM.

Segundo Destri (1987), a geração de DTM pode ser dividida em três fases principais:

- 1- aquisição de dados;
- 2- construção da grade regular e;
- 3- refinamento do modelo.

A construção da grade regular e o refinamento do modelo estão fora do escopo do sistema.

Dentro dos métodos de aquisição de dados está o fotogramétrico. Os métodos fotogramétricos são diversos. O sistema contempla os métodos que aceitam como entrada um grid-estéreo ou um grid-modelo.

Assim, a meta desse módulo é realizar o mapeamento inverso de um grid-estéreo, relativo a um estereopar de imagens, ou de um grid-modelo obtido a partir de um processo fotogramétrico a priori, resultando no espaço de terreno um grid-terreno.

Naturalmente, os modelos para mapeamento inverso de natureza fotogramétrica ( $F^{-1}$ ) são do tipo estéreo.

Os modelos de natureza não-fotogramétrica ( $G^{-1}$ ) são transformações geométricas e devem ser escolhidas adequadamente

para cada caso.

O módulo M11 foi estruturado com base na natureza dos modelos matemáticos (fig. 26).

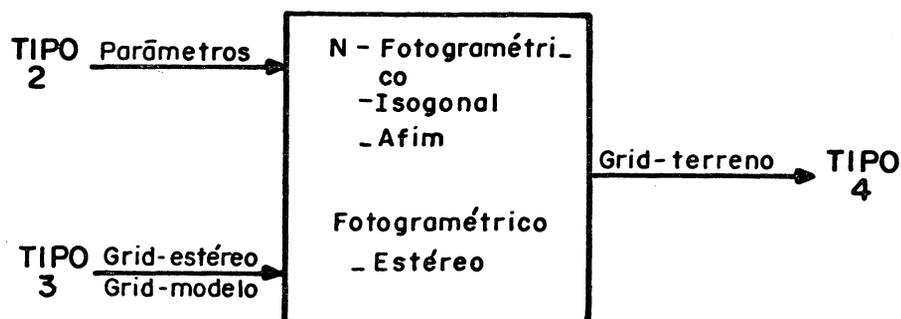


Fig. 26- Módulo M11.

### III.3.3. O Ambiente do Sistema Fotogramétrico

Identifica-se o ambiente de um sistema como um conjunto de restrições ("constraints") sob as quais o sistema obtém seus objetivos.

Pode-se identificar alguns elementos do ambiente do sistema fotogramétrico: -

-Nível tecnológico: por exemplo, a falta de um "hardware" adequado que impessa que um determinado comparador digital integre-se aos recursos do sistema fotogramétrico;

-Sistema Legal: por exemplo, um conjunto de normas de

precisão.

De qualquer forma, tudo que estiver fora do controle do sistema é identificado como pertencente ao ambiente do sistema.

#### III.3.4. Os Recursos do Sistema Fotogramétrico

Os recursos do sistema fotogramétrico são os meios que o sistema possui para cumprir seus objetivos: Computador, Mesa Digitalizadora, Plotter, Impressora, Comparador, Restituídor, Registrador de Coordenadas, etc.

#### III.3.5. O Gerenciamento do Sistema Fotogramétrico

As atividades de gerenciamento existem em todas as camadas do sistema fotogramétrico (ver fig. 13): no sistema como um todo, nos componentes do sistema denominados Níveis e nos componentes dos Níveis denominados Módulos. Esta interpretação permite ver os Módulos, os Níveis e o próprio sistema como unidades autônomas. Por outro lado, as camadas de menor hierarquia devem se integrar as de maior hierarquia. Em outras palavras, o gerenciamento dos módulos dá autonomia local a eles, o gerenciamento dos níveis dá autonomia local aos níveis e o gerenciamento do sistema como um todo dá autonomia a ele próprio. Uma consequência é a facilidade para fazer alterações nos Módulos e nos Níveis, além de possibilitar a inserção do sistema fotogramétrico em sistemas mais gerais, como por exemplo, um Sistema de Informações Geográficas (GIS).

Portanto, autonomia e integração são características complementares.

#### III.4. O Ambiente de Dados do Sistema Fotogramétrico

O ambiente de dados está estruturado em quatro tipos básicos de dados, nominalmente: tipo-1, tipo-2, tipo-3 e tipo-4 (Fig. 27).

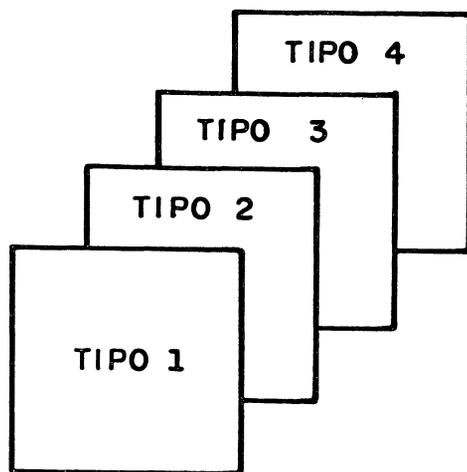


Fig. 27- Ambiente de dados.

.dados tipo-1

Estes dados são relativos ao apoio de campo:

- feições retas, estatística e informações descritivas;
- pontos, estatísticas e informações descritivas.

A geração e manutenção desses dados estão a cargo do

nível 1, o qual é representado pelo módulo M1.

.dados tipo-2

Esses dados são gerados pelos níveis 3 e 4.

O nível 3 seleciona o apoio semi-automaticamente e transfere para o ambiente de dados tipo-2. Também, os parâmetros aproximados gerados pelo nível 3 são transferidos para o ambiente de dados tipo-2.

Com base no apoio e parâmetros aproximados o nível 4 gera os parâmetros definitivos e suas estatísticas.

Portanto, o ambiente de dados tipo-2 é composto por:

- elementos de orientação exterior e estatísticas;
- elementos de uma transformação geométrica e estatísticas;
- o apoio (feições retas e pontos e estatísticas) selecionadas semi-automaticamente pelo nível 3.

.dados tipo-3

O ambiente de dados tipo-3 é oriundo de processos de aquisição de dados.

A figura 28 mostra os processos possíveis de aquisição de dados para o sistema.

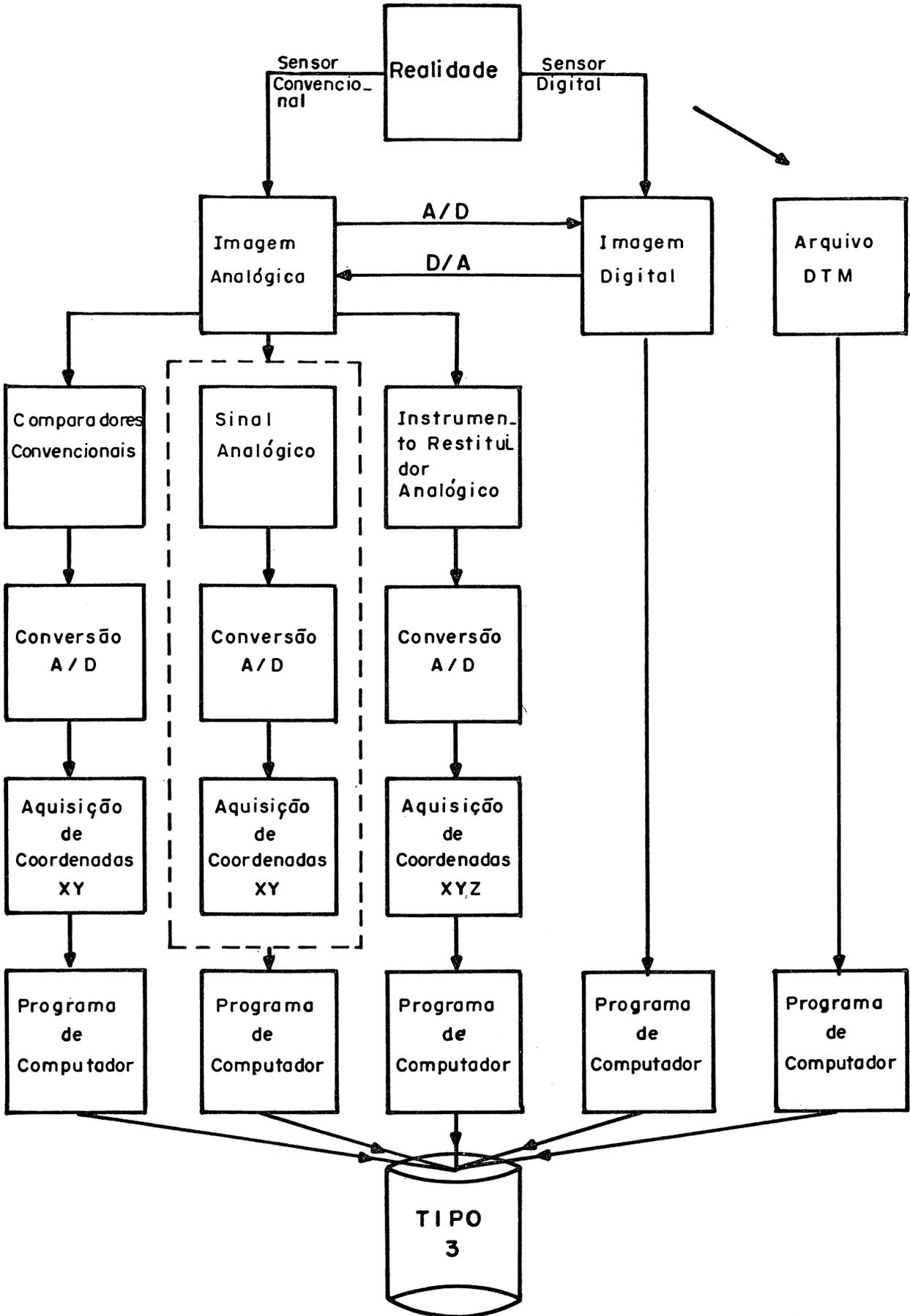


Fig. 28- Processos de Aquisição de Dados Possíveis para o Sistema.

Por simplicidade, admite-se que um DTM necessário para uma determinada aplicação, já existente em algum meio magnético, será transferido para os arquivos tipo-3 via programa de computador.

A aquisição de dados a partir de uma imagem digital (obtida a partir de um sensor digital ou de um processo de digitalização de uma imagem analógica) via comparador digital foi incluída prevendo apenas possibilidades futuras.

Um Restituídor Analógico (RA) é um comparador  $R^3$  que mede as coordenadas tridimensionais de um modelo fotogramétrico formado a partir dos processos de orientação interior e orientação relativa. As coordenadas medidas no Restituídor Analógico não estão em formato legível ao computador, isto é, um equipamento digitalizador que realiza a operação A/D é requerido. Estas coordenadas digitalizadas são adquiridas por um equipamento de aquisição de coordenadas e transferido ao microcomputador que, através de um programa de computador, formata e transfere as coordenadas para os arquivos tipo-3.

Os comparadores (mono ou estéreo) analógicos convencionais  $R^2$  são utilizados para medir as coordenadas em imagens. Em processo idêntico ao RA, as coordenadas medidas são digitalizadas, transferidas ao microcomputador e daí aos arquivos tipo-3.

O equipamento Mesa Digitalizadora é proposto como uma alternativa econômica aos comparadores convencionais para,

principalmente, imagens obtidas a grande altitude (imagens de satélite, imagens convencionais da câmera métrica, etc).

Oimoen (1987), avaliou o uso da Mesa Digitalizadora (MD) na Fotogrametria Analítica. Dos seus experimentos ele concluiu que a MD satisfaz uma série de aplicações e que esse leque de aplicações pode ser ampliado através de um procedimento simples de calibração da MD. O baixo custo quando comparado com equipamentos convencionais e a facilidade de uso da MD são apontadas pelo autor como as principais vantagens.

Faig et alli (1990), realizaram um experimento semelhante e chegaram a resultados parecidos. Uma inovação em relação ao experimento anterior é o uso de fotografias ampliadas para compensar a baixa resolução e acurácia das MD. As principais vantagens apontadas são: o baixo custo; a facilidade de uso, principalmente quando um microcomputador está servindo como uma estação de trabalho para a digitalização.

Essa metodologia de aquisição de dados deve ser testada no futuro.

Dos processos de aquisição que podem ser incorporados no nível 2, resulta o seguinte conteúdo do ambiente de dados tipo-3:

- feições retas (controle) no espaço-imagem;
- pontos (controle) no espaço-imagem;

- feições retas (controle) no espaço-modelo;
- pontos (controle) no espaço-modelo;
- DTM;
- grid-imagem;
- grid-modelo;
- arquivo para restituição ou atualização em formato vetorial.

.dados tipo-4

Esses dados são gerados pelo nível-3 e são, na verdade, saída do sistema.

O ambiente de dados tipo-4 tem como conteúdo:

- arquivo-restituição em formato vetorial;
- arquivo-atualização em formato vetorial;
- arquivo-grid.

### III.5. O Escopo e o Contexto do Sistema Fotogramétrico

Visvalingan (1989) em sua preocupação em provocar reflexões sobre a atual definição de cartografia, introduz a visão de Guptill e Starr (1984), presente no artigo "The Future of Cartography in the Information Age".

A preocupação maior é acomodar dentro do escopo da cartografia os modernos desenvolvimentos obtidos à luz dos avanços da tecnologia da informática.

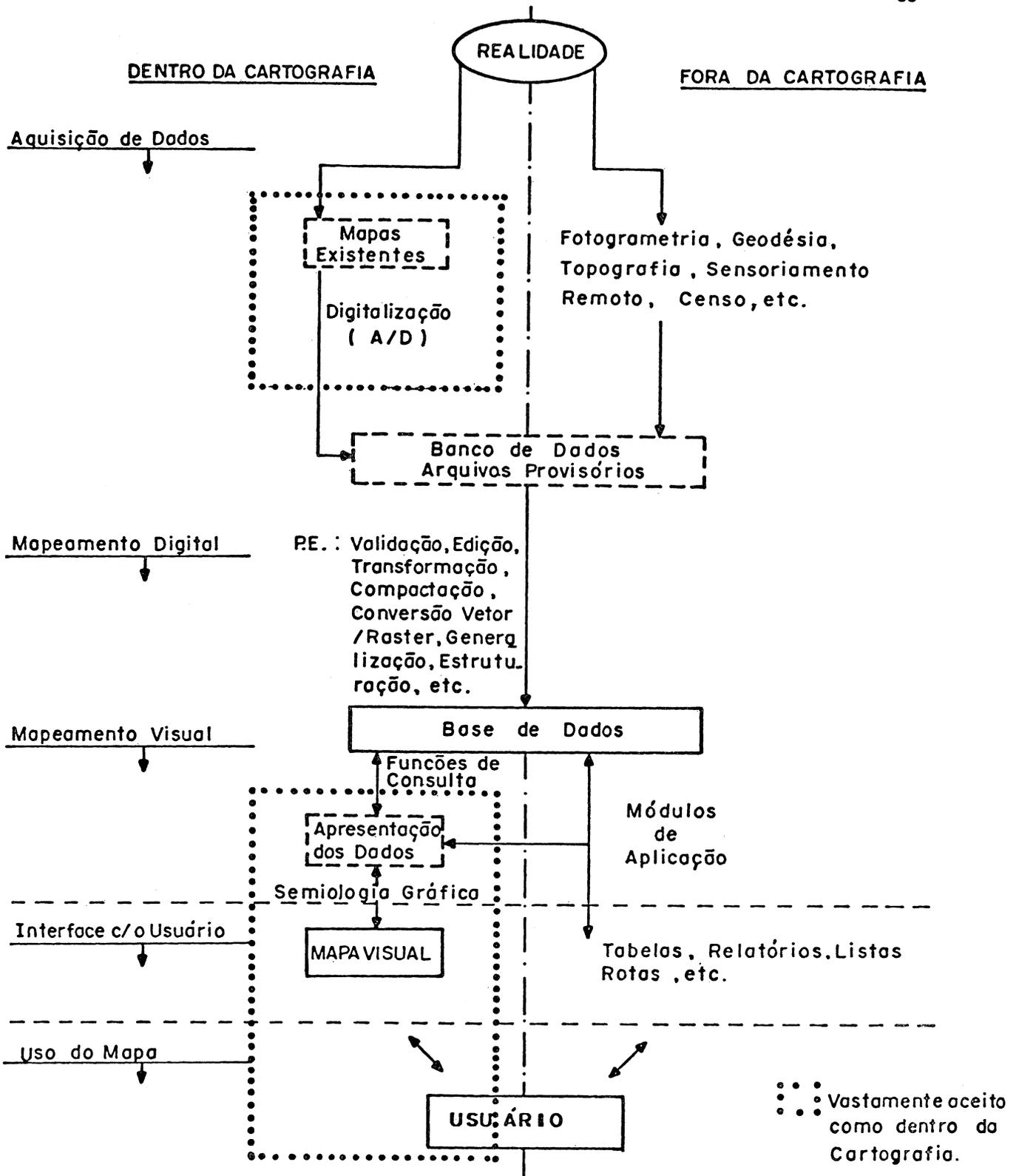


Fig. 29- O Escopo da Cartografia Digital.

Esta visão moderna (fig. 29) descreve a cartografia como um processo de transferência de informação apoiada sobre uma base de dados espacial, a qual pode ser considerada como um modelo multifacetado da realidade geométrica ou, em outras palavras, um verdadeiro modelo da realidade. Portanto, uma base de dados espacial desempenha a função de um verdadeiro "núcleo central", recebendo várias entradas de dados e fornecendo dados para vários produtos de informação.

Também, a visão acima de cartografia coloca a base de dados espacial como o foco do assunto e considera o foco tradicional, isto é, o mapa tradicional, como uma dentro da vasta amplitude de produtos de informação.

Não nos interessa discutir aqui pormenores do assunto. O objetivo maior é localizar as atividades do sistema fotogramétrico proposto dentro do contexto dessa moderna e emergente visão da cartografia.

Para que o processo mostrado na figura 29 funcione eficientemente, é imperativo que a base de dados espacial permaneça continuamente atualizada. Do contrário, se terá sempre um modelo defasado da realidade.

É nesse contexto que os meios de aquisição de dados assumem importância fundamental. É nesse ponto que se destaca a fotogrametria como um dos mais importantes meios de aquisição de dados quantitativos.

Desta forma, o sistema fotogramétrico proposto localiza-se dentro de um contexto bastante amplo da moderna cartografia como um meio de aquisição de dados.

O escopo é eminentemente fotogramétrico. Operações como validação, edição, transformações, etc, devem ser pensadas a nível de um sistema mais amplo de mapeamento digital, não sendo portanto, de responsabilidade do sistema proposto.

### III.6. Módulos Escolhidos para a Implementação

Foram escolhidos quatro módulos para a implementação:

- .M1- Edição do Ambiente de Dados Tipo-1;
- .M5- Visualização Gráfica de Dados Tipo-1;
- .M7- Resseção Espacial e;
- .M8- Orientação Absoluta.

Isto será visto no capítulo IV.

## CAPITULO IV

### Implementação

#### IV.1. Introdução

Os módulos foram escolhidos de tal sorte , ainda que parcialmente, pudessem dar uma visão do funcionamento dos módulos do sistema que compreendem a geração e manutenção do ambiente de dados tipo-1, seleção semi-automática do apoio e o estabelecimento da relação funcional entre o espaço-objeto e o espaço-imagem através dos processos de Resseção Espacial e Orientação Absoluta.

Assim, a implantação englobará os níveis N1(M1), N3(M5) e N4(M7 e M8). Todos esses módulos de alguma forma manipulam o apoio. Isso vêm de encontro com um dos objetivos (objetivo 3) dessa tese, que é viabilizar as feições retas como um recurso de controle atrativo, principalmente em áreas urbanas.

Para testar os módulos, um conjunto de dados foram simulados.

#### IV.2. Simulação dos Dados

Em última análise, o objetivo principal da simulação

dos dados é o apoio-objeto e o apoio-imagem.

Dentro da formulação abstrata do problema fotogramétrico geral mostrada no capítulo 2, o apoio-objeto é representado pelo subconjunto C e o apoio-imagem é representado pelo subconjunto C'.

O subconjunto C' é obtido de C através de um modelo de mapeamento direto, o qual simula o processo físico de formação da imagem. Para tanto, é necessário estabelecer um modelo de câmera (por simplicidade, consider apenas os elementos de orientação interior básicos, o ponto principal e a constante focal, isto é, um sensor fotográfico com um sistema de lentes ideal) e uma plataforma, a qual é estabelecida pelos elementos de orientação exterior para um dado "instante de exposição". Também, a determinação de C' simula um comparador.

Com base no exposto, a simulação dos dados compreende duas etapas:

- .1ª etapa- simulação do apoio-objeto e;
- .2ª etapa- simulação do apoio-imagem.

.1ª etapa

A distribuição do apoio, feições retas (F) e pontos (P), pode ser visto na figura 30.

As feições retas (F) e pontos (P) são vistos em

projeção ortogonal no plano XOY. Por convenção, o eixo coordenado OZ está saindo do plano do papel, tornando o sistema

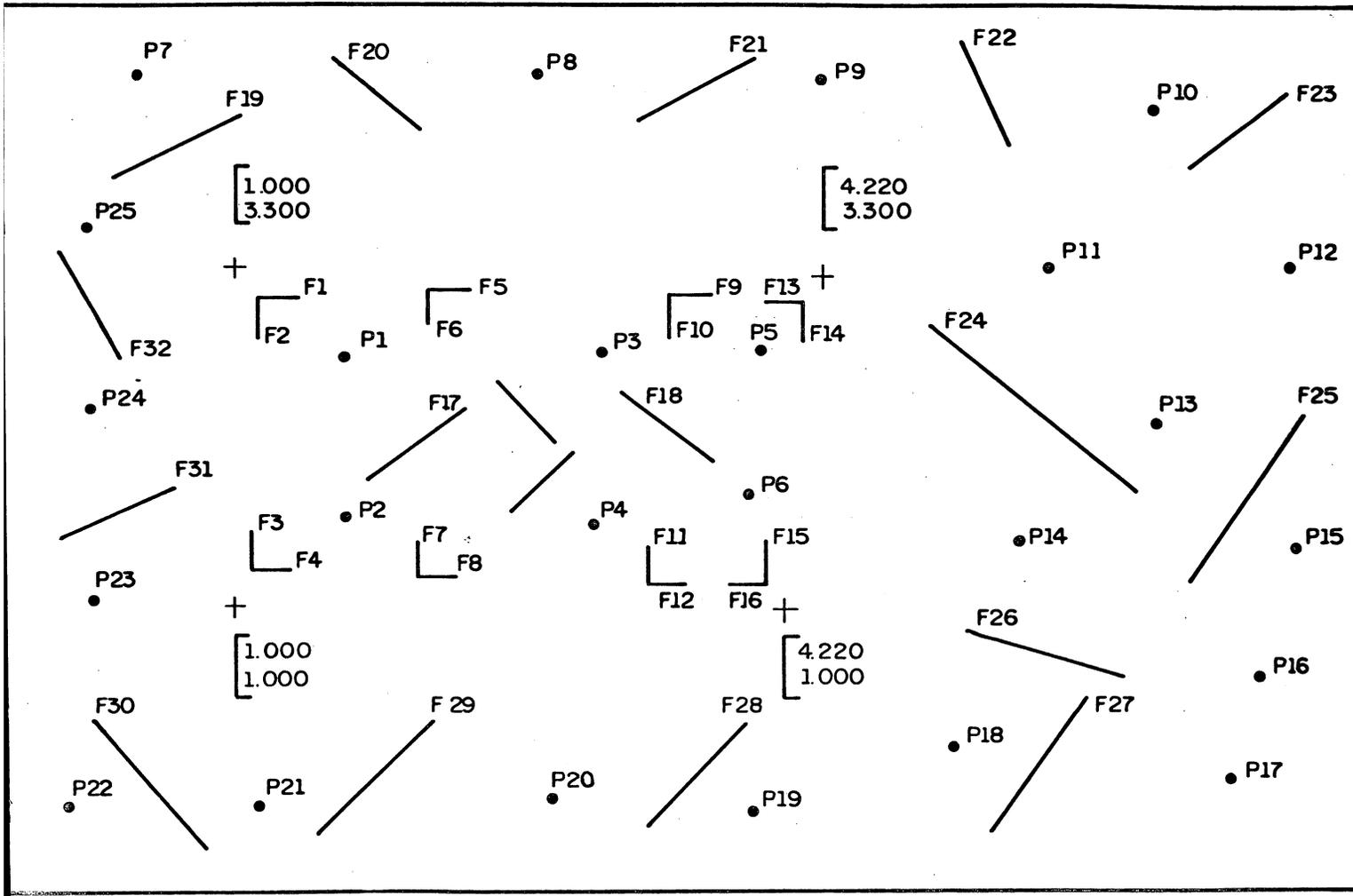


Fig. 30- A distribuição do apoio.

OXYZ destrógiro.

A precisão pré-estabelecida foi, tanto para as feições retas como para pontos:

- .desvio-padrão planimétrico: 10cm e;
- .desvio-padrão altimétrico: 15cm.

Pode ser interpretado que este processo simula algum meio de medida, como:

- .digitalização em uma carta;
- .digitalização direta em um modelo fotogramétrico;
- .fototriangulação e;
- .levantamento de campo.

A altitude média do terreno foi admitida como sendo de 400m.

.2<sup>a</sup> etapa

O objetivo dessa etapa é simular duas fotografias aéreas, as quais possam ser utilizadas num problema de Resseção Espacial ou Orientação Absoluta.

Para tanto, o seguinte tem que ser estabelecido:

1- modelo da câmera: -

O modelo de uma câmera convencional é estabelecido através dos elementos de orientação interior. Estes podem ser divididos em dois grupos: os elementos de orientação interior básicos e os elementos de distorção simétrica e descentrada das lentes. Também, as dimensões do quadro focal devem ser estabelecidas.

. elementos de orientação interior básicos:

- constante focal = 150mm e;

-  $x_0 = y_0 = 0$ mm.

. sistema de lentes ideal e;

. quadro focal = 23cm X 23cm.

2- plataforma:

A plataforma pode ser simulada através da posição e atitude da mesma em relação a um referencial terrestre.

Em um sensor fotográfico do tipo "frame" a imagem inteira é formada numa fração de tempo.

Assim sendo, para cada tomada a plataforma fica determinada unicamente pela atitude e posição num determinado instante de exposição.

Seguem os dados de simulação da plataforma para duas tomadas distintas: -

.atitude da foto 1:

$$-W=\Phi=K= 0^{\circ}.$$

.atitude da foto 2:

$$-W=\Phi=K= 0^{\circ}.$$

.posição (CP) da foto 1:

$$-X_0= 2150m ;$$

$$-Y_0= 2150m e;$$

$$-Z_0= 2000m.$$

.posição (CP) da foto 2:

$$-X_0= 3070m;$$

$$-Y_0= 2150m e;$$

$$-Z_0= 2000m.$$

3- modelo matemático:

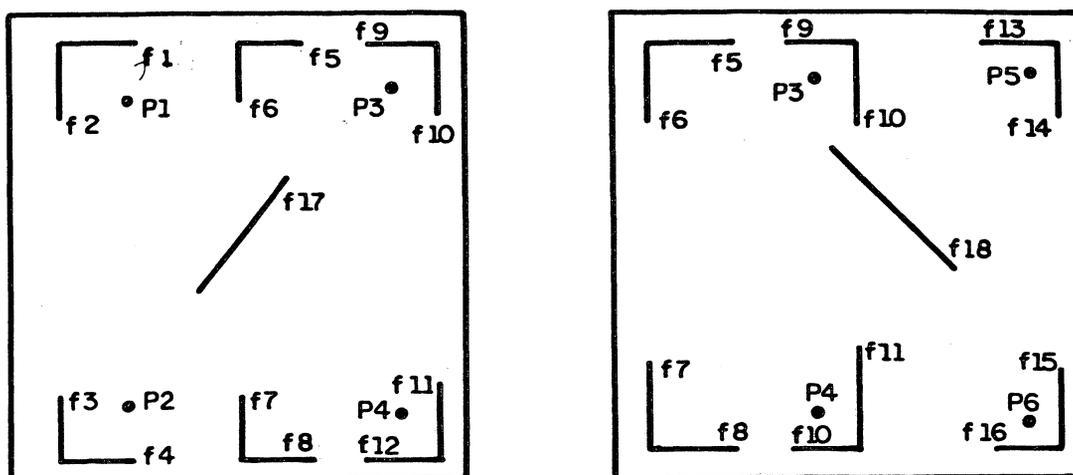
O modelo matemático para simular o processo físico de mapeamento direto são as equações (1).

4- erros randômicos:

Foram gerados erros randômicos para simular os erros de um comparador.

As fotografias simuladas são mostradas na figura 31.

Como uma observação final, nenhuma espécie de erros sistemáticos foi introduzido.



(a) Foto 1

(b) Foto 2

Fig. 31- Fotografias Simuladas.

- .superposição longitudinal: 60%;
- .altitude média de voo: 1500m;
- .escalas médias das fotos: 1/10000.

#### IV.3. Implementação do Módulo M1

Como já foi mencionado, o módulo M1 realiza as funções principais de implantação e manutenção do ambiente de dados tipo-1.

Essas tarefas são cumpridas pelo programa EDITA.

Dentro da possibilidade de haver vários ambientes de dados independentes que podem estar até ligados a referenciais diferentes e/ou espacialmente separados, foi criada uma estrutura multiprojeto.

A idéia é que o ambiente de dados tipo-1 seja composto de grupos de dados independentes entre si, possibilitando maior flexibilidade. Convencionou-se chamar os grupos de dados de projetos.

O programa EDITA possui um algoritmo para ativar ou reativar a rede de arquivos quando for informado o nome do projeto. O algoritmo baseia-se na regra apresentada na figura 32. A extensão T1 refere-se aos dados tipo-1, FE e PO referem-se as descrições quantitativas das feições retas e pontos respectivamente e, DF e DP, referem-se as descrições qualitativas das feições retas e pontos respectivamente incluídas na implementação. O nome dos arquivos é formado

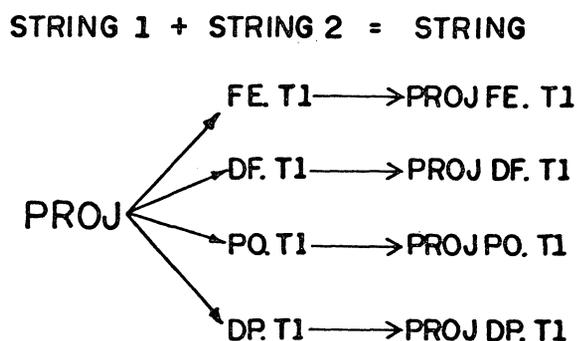


Fig. 32- Regra para a Formação dos Arquivos.

através de concatenação de "string", por exemplo (fig 32), a variável string PROJ mais a constante string 'FE.T1' resulta numa variável que contém a string PROJFE.T1. Esta regra para a formação de nomes de arquivos será frequentemente utilizado em todos os programas do sistema, naturalmente com as devidas adaptações em conformidade com o caso.

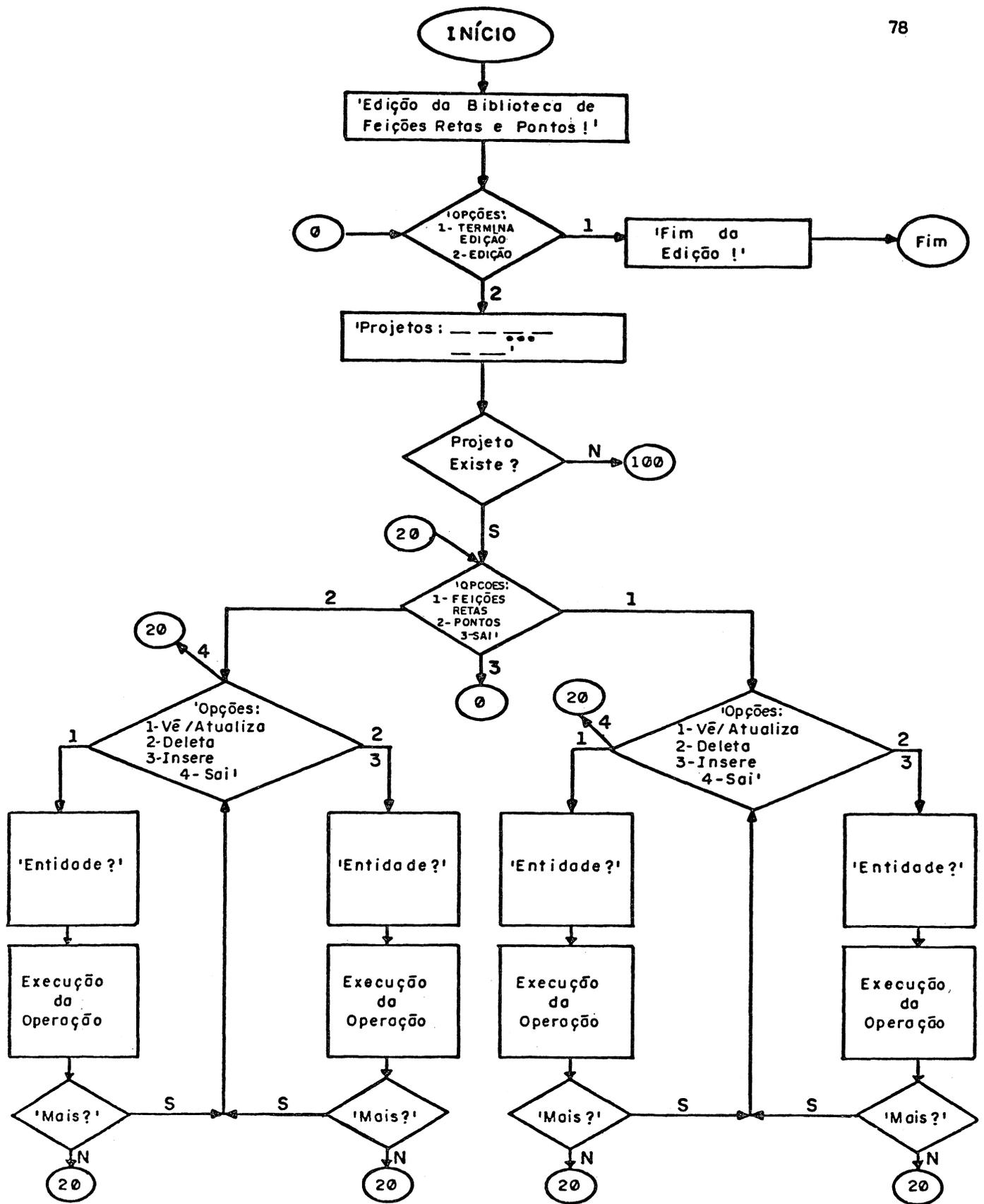
Descreveremos de uma forma simplificada o programa EDITA.

A primeira tarefa do programa EDITA é apresentar todos os projetos ativos existentes em quatro colunas e ,em seguida esperar a opção.

A opção (projeto) entrada é primeiro pesquisada e, no caso de não existir, EDITA espera a confirmação para editar (implantar) o projeto.

Caso o operador confirme a opção de editar (nesse momento todos os arquivos são ativados conforme as regras anteriormente descritas) terá que optar pela edição de feições retas ou pontos. Esta opção pode ser mudada a qualquer momento.

De acordo com a opção (feições retas ou pontos) o operador informa via teclado e em formato livre o número da entidade, dados geométricos da entidade, dados sobre a qualidade da entidade e dados sobre a origem (levantamento de campo, carta, etc) da entidade.



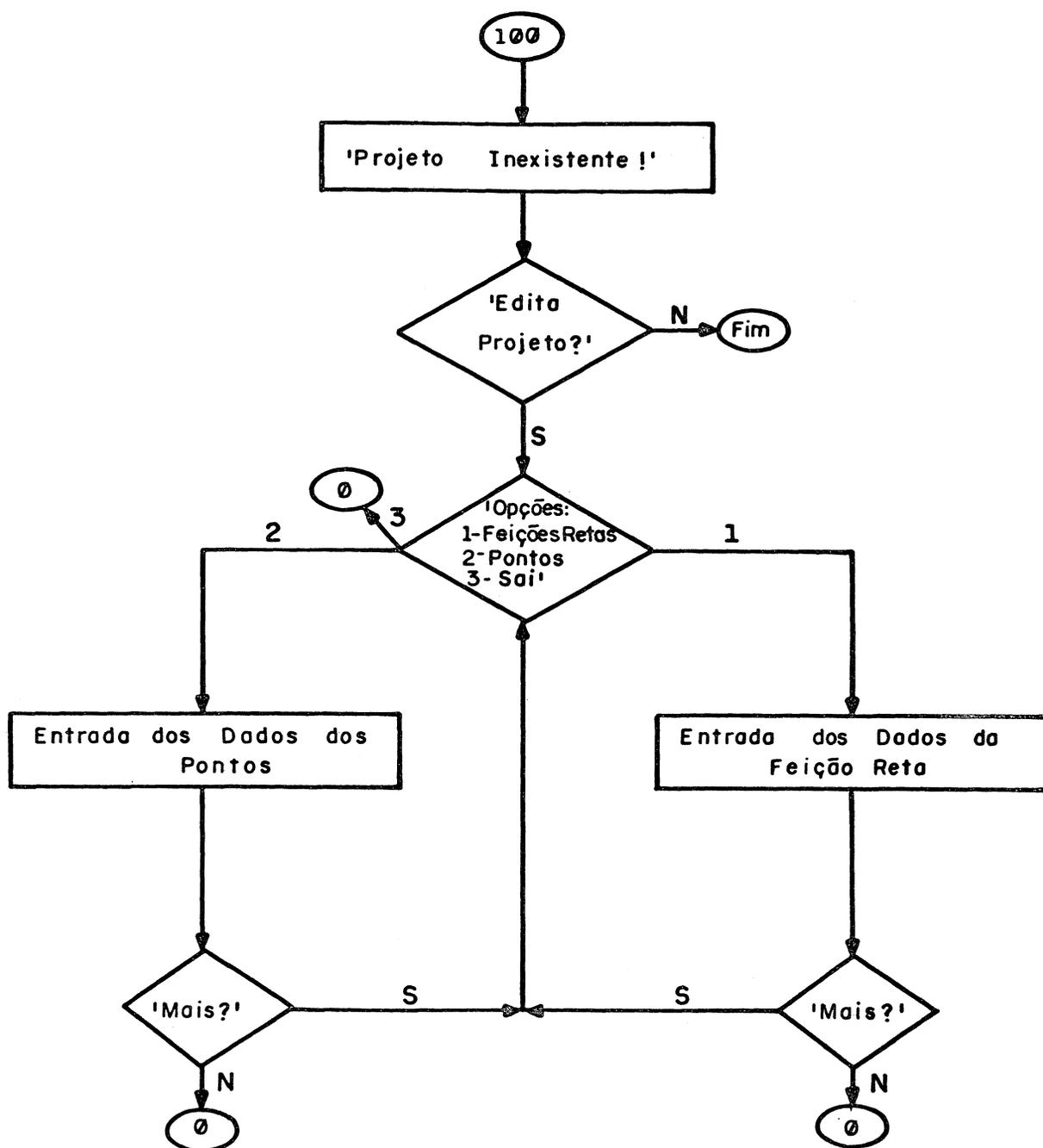


Fig. 33- Fluxograma do Programa EDITA.

No momento que os dados esgotarem, o operador pode abandonar a presente operação e encerrar a edição.

No instante de entrada do projeto, pode ocorrer que o mesmo já exista. Na seqüência, todos os arquivos são reativados com base nas mesmas regras já apresentadas. Nesse caso, uma depuração de um projeto recém implantado pode ser realizada ou, também, a manutenção de um projeto que sofreu alguma desatualização (por exemplo: um eixo de uma rodovia que foi mudada de lugar e que estava sendo usado como uma feição reta). De qualquer forma, EDITA age similarmente para ambos os casos.

Após optar pela edição de feições retas ou pontos, o operador tem a sua disposição as seguintes funções de edição:

1- Vê/atualiza: ao selecionar essa função, o operador entra com o número da entidade que quer visualizar no monitor e todos os dados a respeito da entidade são apresentados. Caso o operador queira fazer alguma atualização, pode fazê-lo. Na seqüência, o operador pode navegar para cima ou para baixo do arquivo e quando atingir o início ou fim de arquivo EDITA encerra a operação vê/atualiza e espera nova opção (vê/atualiza, deleta ou insere). Na operação de navegação acima ou abaixo do arquivo, o operador pode interromper e escolher uma nova entidade ou encerrar a operação vê/atualiza.

2- Deleta: ao selecionar essa função, EDITA espera a identificação da entidade para ser deletada. Caso a entidade selecionada não exista, uma mensagem será enviada e a operação

não é realizada. Sempre que uma entidade for eliminada, as entidades seguintes são relocadas para posições imediatamente anteriores a ocupadas antes da deleção em seus respectivos arquivos. O operador pode continuar usando essa função ou, a qualquer momento, selecionar uma nova função.

3- Insere- ao selecionar essa função, EDITA espera a identificação da entidade a ser inserida. Caso a entidade a ser inserida já exista, uma mensagem será enviada e o operador pode optar por cancelar a operação ou sobrepor (atualizar) a entidade existente. Toda entidade é inserida no fim dos arquivos. O operador pode continuar usando essa função ou, a qualquer momento selecionar uma nova função.

4- Sai- ao selecionar essa função, EDITA atualiza todos os arquivos com as alterações feitas com as funções anteriores e abandona as operações de edição.

Um fluxograma simplificado do programa EDITA é mostrado na figura 33.

#### IV.4. Implementação do Módulo M5

##### formulação do problema

O problema básico do módulo M5 é a seleção semi-automática do apoio.

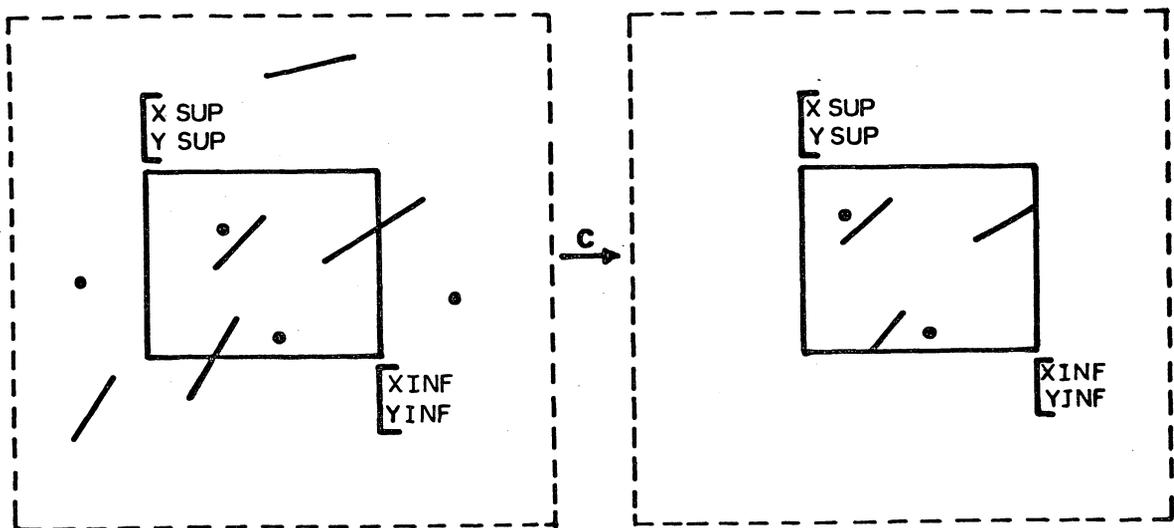
Para resolver esse problema foi desenvolvido o

programa OPENJA.

A solução do problema compreende três rotinas:

1<sup>a</sup> Cerceamento: esta rotina realiza a operação ilustrada na figura 34.

Na figura 34, a área tracejada representa uma região no plano que contém um conjunto ou grupo de apoio, nominalmente feições retas e pontos. Na linguagem de Computação Gráfica, diz-se que aquela região possui apenas duas primitivas gráficas: pontos e retas.



(a) sem cerceamento

(b) com cerceamento

Fig. 34- Cerceamento.

A área retangular dilimitada por linhas cheias e definida pelo canto superior esquerdo  $(X_{SUP}, Y_{SUP})$  e pelo canto inferior direito  $(X_{INF}, Y_{INF})$  será denominado de janela de trabalho (window). Esta por sua vez, representa uma área que será alvo de alguma espécie de trabalho, como por exemplo, uma atualização cartográfica.

2ª Visualização: esta rotina realiza a operação ilustrada na figura 35.

A janela de visualização (viewport) é um retângulo definido pelo canto superior esquerdo  $(X_{VSUP}, Y_{VSUP})$  e pelo canto inferior direito  $(X_{VINF}, Y_{VINF})$ .

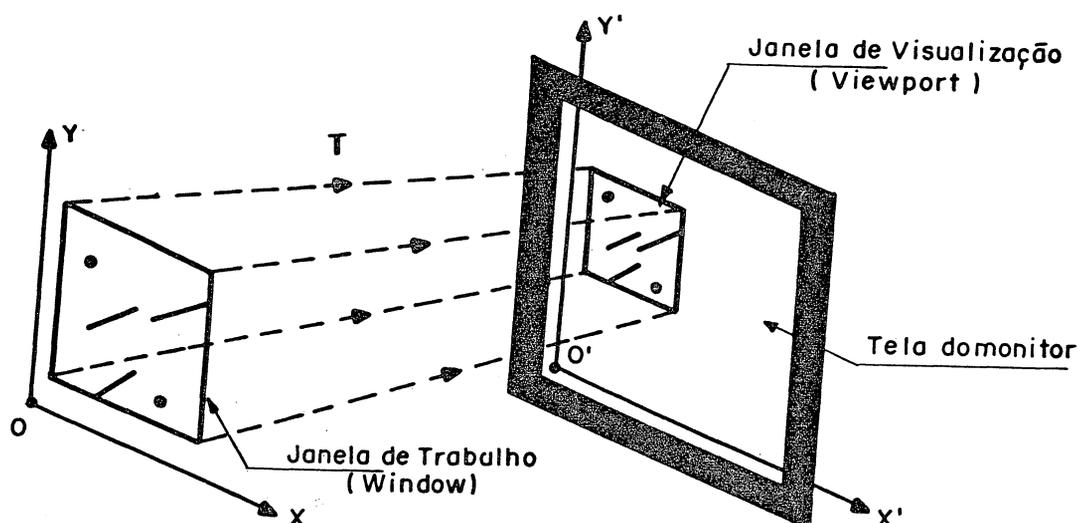


Fig. 35- Mapeamento da Janela de Trabalho na Janela de Visualização.

- .OXY : referencial plano conforme foi definido na figura 30;
- .O'X'Y' : referencial da tela do monitor;
- .T : é uma transformação geométrica.

Cada primitiva gráfica definida na janela de trabalho é diretamente mapeada na janela de visualização através da transformação geométrica T.

3ª seleção do apoio: a seleção do apoio é realizada com o auxílio visual da janela de visualização, resultando no final da operação um grupo de apoio para a solução de um problema fotogramétrico.

#### Cerceamento ("clipping")

Segundo Banon (1989), o processo que consiste em eliminar as partes invisíveis (fora da janela) e conservar as partes visíveis (dentro da janela) chama-se Cerceamento ou Recorte (clipping) (fig.34).

Para a realização da operação de Cerceamento, foi desenvolvida uma rotina, a qual faz parte do programa OPENJA.

Serão dadas a seguir as bases do algoritmo de Cerceamento adotado.

Este problema para entidades pontuais P (figura 36) reduz-se a um teste simples de pertinência na janela de trabalho.

Como mostra a figura 37, o problema de Cerceamento para entidades retas foi idealizado em 3 casos.

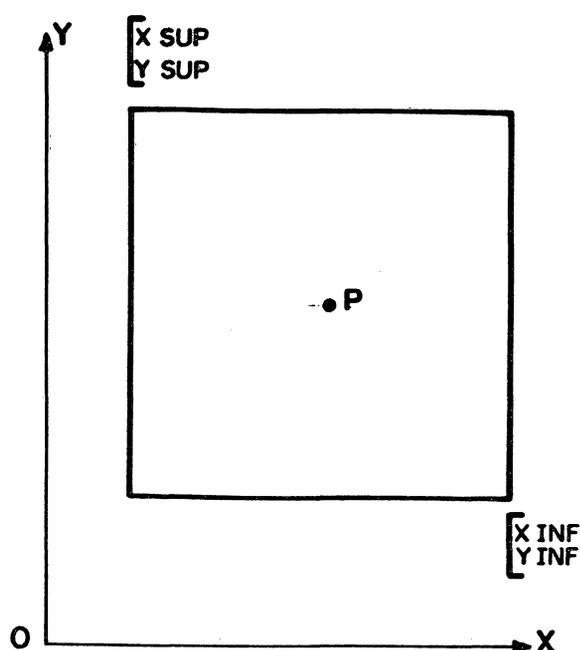


Fig. 36- Cerceamento para Entidades Pontuais.

Deve-se imaginar que, para o caso geral, qualquer feição reta é definida pelos seus pontos extremos  $P_1$  e  $P_2$ .

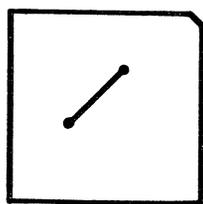
Na figura 37, a letra  $W$  refere-se a janela de trabalho ( $W$ ). Também, os símbolos  $(\wedge)$  e  $(\vee)$  significam o e e o ou lógico respectivamente.

Quando uma feição reta é enquadrada em um dos casos mostrados na fig. 37, uma operação de cercemento é realizada pelo algoritmo e uma nova feição reta é chamada. Isso vai sendo repetido até que esgotem as feições retas.

O 1<sup>o</sup> caso (figura 37.a) é bastante simples e consiste num teste de pertinência dos pontos  $P_1$  e  $P_2$  na janela de trabalho. Quando  $P_1$  e  $P_2$  pertencem a janela, a feição reta é aceita como pertencente a ela. Caso contrário será

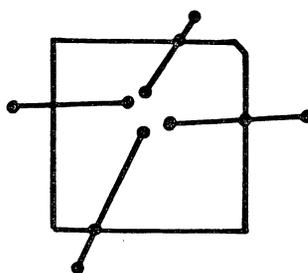
rejeitada por esse critério.

O 2º caso (figura 37.b) é caracterizado quando somente um dos pontos que definem a feição reta pertence a janela de trabalho. Como mostra a figura 37.b, este caso comporta quatro variações, que são as combinações dos quatro lados da janela com o ponto da feição reta externo à ela ( $C^4,1 = 4!/(4-1)!*1! = 4$ ). Quando o algoritmo detetar que apenas uma extremidade (P1 ou P2) pertence à janela de trabalho, ele começa a determinar os pontos de intersecção com os lados da janela de trabalho. A



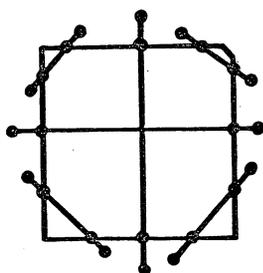
$$P1 \wedge P2 \in W$$

(a) 1º caso



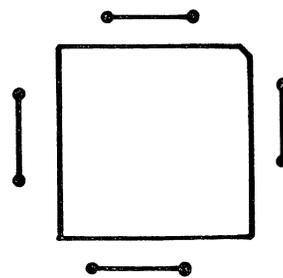
$$P1 \in W \wedge P2 \notin W \vee P1 \notin W \wedge P2 \in W$$

(b) 2º caso



$$P1 \wedge P2 \notin W$$

(c) 3º caso



$$P1 \wedge P2 \notin W$$

Fig. 37- Cerceamento para Feições Retas.

cada intersecção é feito um teste para determinar se a feição reta intercepta o lado nos limites da janela e, quando isso ocorrer, o segmento da feição reta pertencente a janela é armazenado (o segmento da feição reta é definido pelo ponto interno a janela - P1 ou P2- e pelo ponto de intersecção P' da feição reta com o lado da janela) e uma nova FR é avaliada. Um cuidado a ser tomado com esse algoritmo é quando a FR é paralela a um dos lados da janela de trabalho. Um outro cuidado a ser tomado é com a intersecção do prolongamento da FR com a janela dentro dos limites por ela definidos.

O 3º caso (figura 37.c) é caracterizado quando nenhum dos pontos que definem a FR pertencem à janela de trabalho. A figura 37.c-esquerda mostra as 6 ocorrências possíveis - que são as combinações dos quatro lados da janela com os dois pontos de intersecção da feição reta com a janela de trabalho ( $C_{4,2} = \frac{4!}{(4-2)! \cdot 2!} = 6$ ) - de cruzamento da FR com a janela de trabalho. O algoritmo desenvolvido tem alguma semelhança com o algoritmo apresentado para o caso anterior. O princípio do algoritmo é agora enunciado: a cada FR que cair no 3º caso, procura-se as intersecções P' e P'' que pertencem aos limites da janela de trabalho e, quando forem encontradas, armazena-se o segmento interno à janela definido pelos pontos P' e P''. Nesse ponto, uma nova FR é chamada para avaliação. Também, um cuidado a ser tomado com esse algoritmo é quando a FR é paralela a um dos lados da janela de trabalho. Um cuidado adicional está ilustrado na figura 37.c-direita. É fácil entender que se ocorrer uma das quatro variações apresentadas na figura 37.c-direita, o algoritmo apresentado falhará.

Portanto, quando for detectado que a FR localiza-se totalmente a direita ou totalmente a esquerda ou totalmente acima ou totalmente abaixo da janela de trabalho, a FR será avaliada.

### Visualização

Geralmente, a janela de trabalho (W) é um retângulo e é definida no referencial OXY (figura 35) pelo canto superior esquerdo (XSUP, YSUP) e pelo canto inferior direito (XINF, YINF).

Também, em geral a janela de visualização (V) é um retângulo e é definido no referencial O'X'Y' (figura 35) pelo canto inferior direito (XVINF, YVINF) e pelo canto superior esquerdo (XVSUP, YVSUP).

Para a escolha da transformação geométrica T (figura 35), começa-se por avaliar a relação geométrica de similaridade entre V e W. Em geral as razões entre os quatro lados homólogos de V e W não são iguais. Isto descarta a transformação Isogonal e, conseqüentemente, a transformação Ortogonal. A propriedade geométrica de paralelismo é observada em V e W e já está implícito no enunciado do problema. Esta informação é suficiente para se eleger a transformação Afim. No entanto, da forma que o problema foi estatuído pode-se considerar os lados homólogos de V e W como paralelos e, conseqüentemente, o ângulo de rotação entre V e W será nulo. Objetivamente conclui-se que W pode ser mapeada em V através de dois fatores de escala ( $S_x$  e  $S_y$ ) e duas translações ( $\Delta x$  e  $\Delta y$ ). Isso pode ser expresso

matematicamente pela eq. (10).

$$XV = S_x * XW + \Delta x$$

$$YV = S_y * YW + \Delta y$$

(10)

As eqs. (10) podem ser consideradas como um caso particular da transformação Afim de 6 parâmetros.

Aplicando a eq. (10) aos pontos que definem V e W e fazendo algumas manipulações algébricas, chega-se a eq. matricial (11).

$$\begin{vmatrix} XSUP & 0 & 1 & 0 \\ 0 & YSUP & 0 & 1 \\ XINF & 0 & 1 & 0 \\ 0 & YINF & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} S_x \\ S_y \\ \Delta x \\ \Delta y \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} XVSUP \\ YVSUP \\ XVINFL \\ YVINFL \end{vmatrix} \quad (11)$$

Depois de solucionar (S<sub>x</sub>, S<sub>y</sub>, Δx, Δy) da eq. (11), pode-se usar as eq. (10) para mapear cada ponto ou feição reta de W em V.

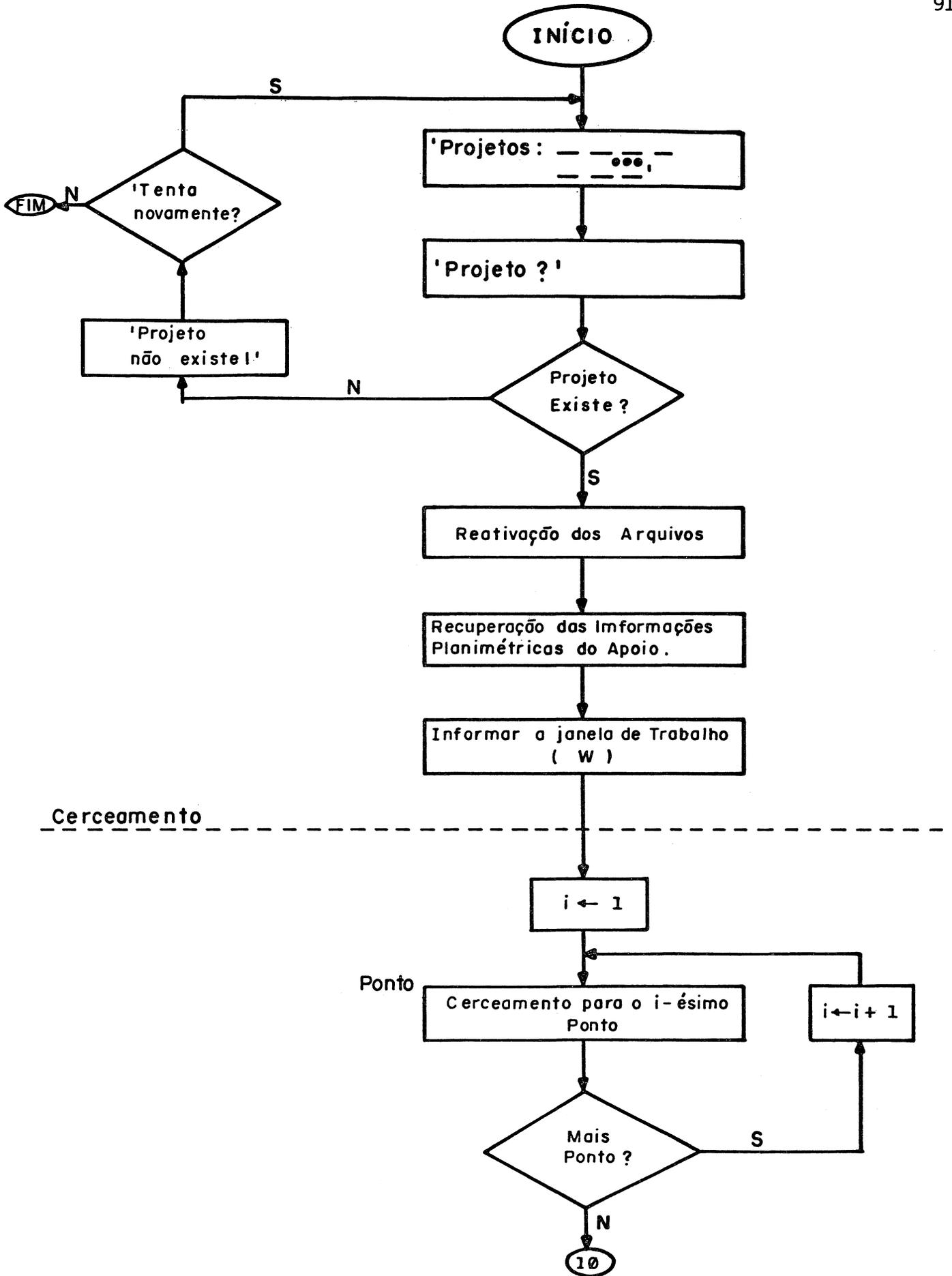
Um cuidado adicional da rotina que utiliza estas equações advém do fato que as rotinas gráficas que processam pontos e retas esperam as coordenadas que definem os pontos ou retas no domínio dos inteiros, isto é, sem o ponto decimal. Portanto, as coordenadas cartesianas calculadas pelas eq. (10) têm que ser transformadas dos reais para os inteiros. Isso foi realizado truncando os dígitos após o ponto decimal e eliminando o ponto decimal. Ocorre que em certos casos o ponto ou a extremidade da FR cai fora de V, necessitando conforme o

caso somar ou subtrair uma unidade.

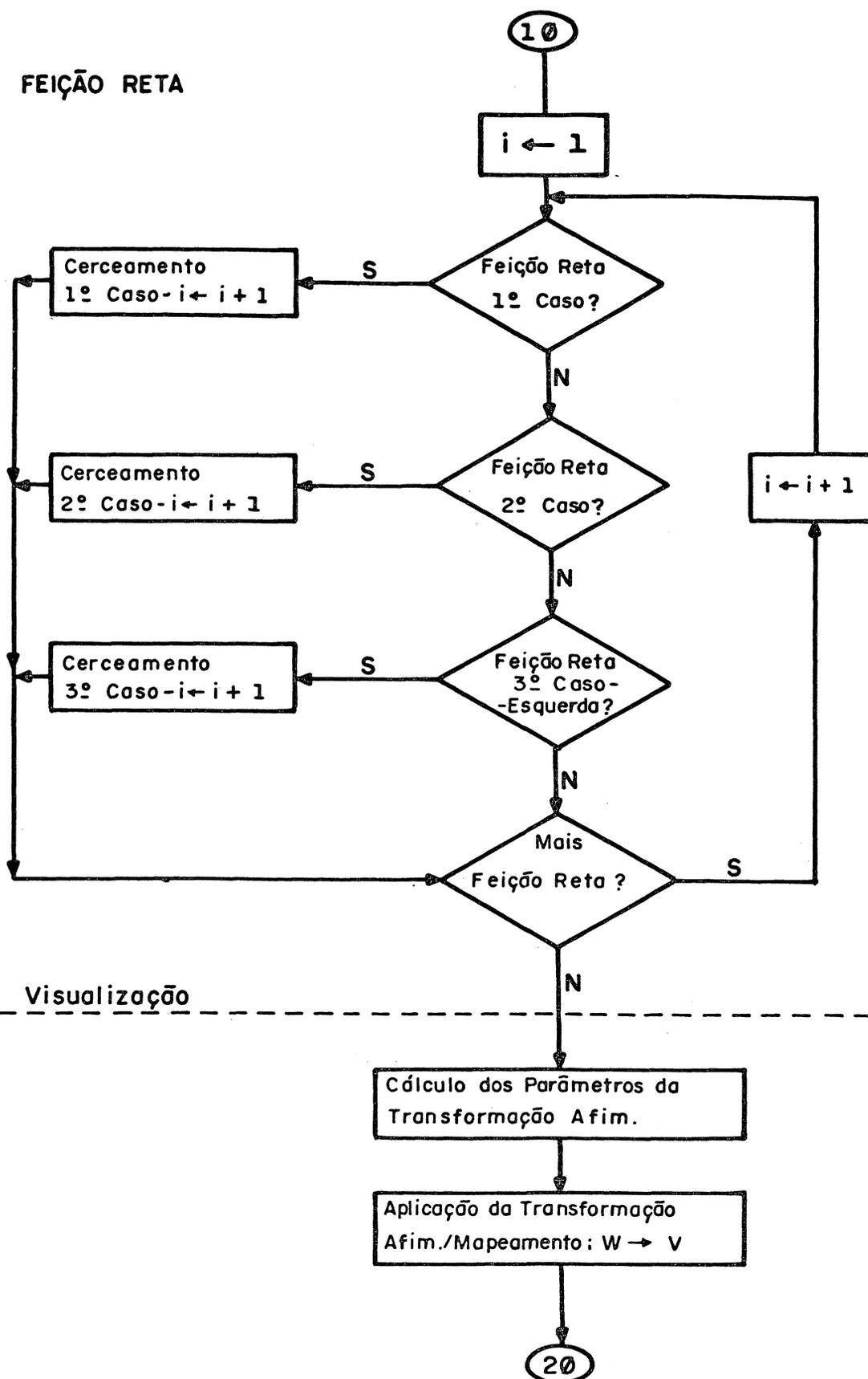
#### Seleção do Apoio

O programa OPENJA apresenta na tela do monitor todos os pontos e feições retas constantes na janela de trabalho (W), e visíveis na janela de visualização (V), pré-selecionada pelo operador e solicita para este que informe, uma a uma, as entidades selecionadas. A medida que as entidades vão sendo escolhidas, as entidades originais vão sendo transferidas para um arquivo provisório. Este arquivo deverá ser acessado pelo módulo M6- controle de qualidade- antes de ser convertido em um arquivo tipo-2 (T2), o qual será utilizado em problemas fotogramétricos.

O fluxograma do programa OPENJA é apresentado na figura 38.



## FEIÇÃO RETA



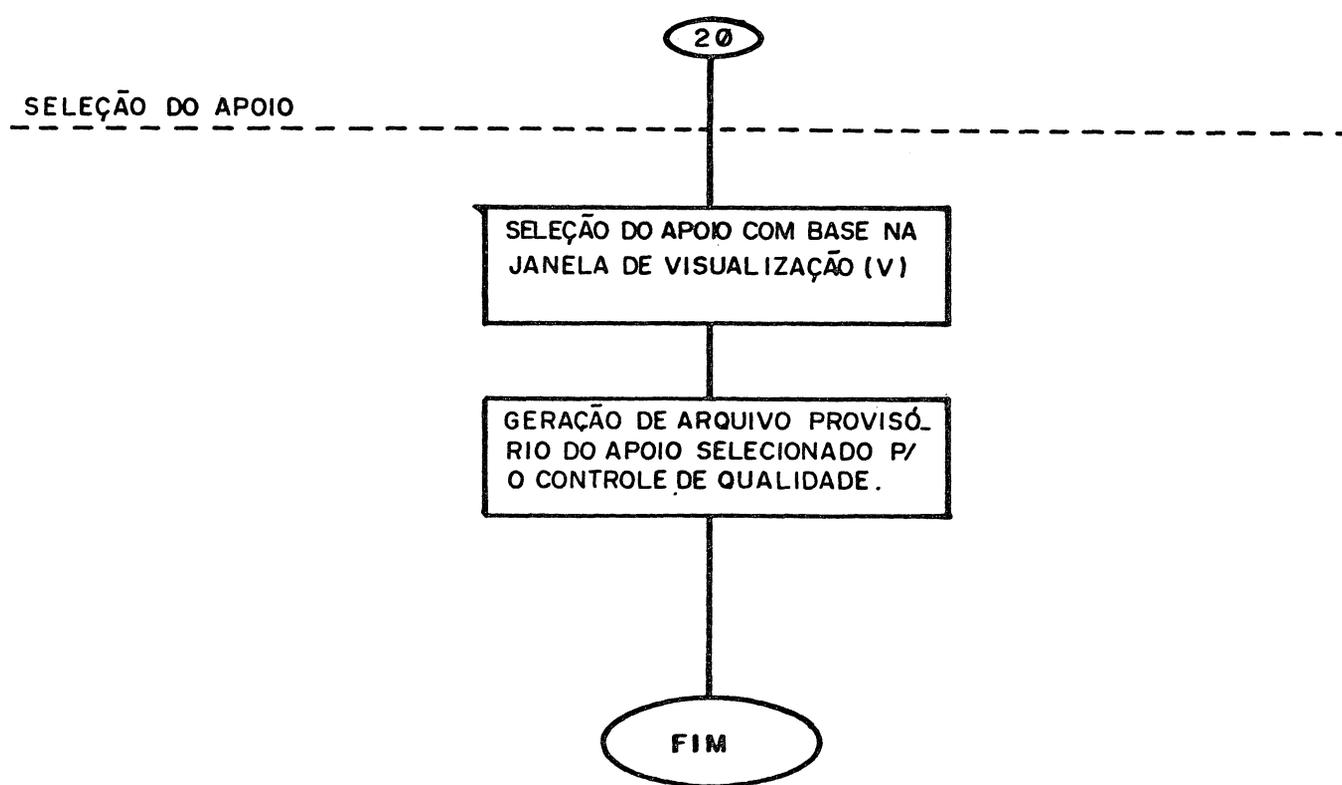


Fig. 38- Fluxograma do Programa OPENJA.

#### IV.5. Implementação do Módulo M7

O problema básico do módulo M7 é resolver o problema fotogramétrico de Resseção Espacial.

A solução do problema de Resseção Espacial consiste na determinação dos elementos de orientação exterior de uma única fotografia.

No entanto, este problema tem sido solucionado usando como recurso de controle apenas pontos simples. No espaço-objeto estão disponíveis não somente os pontos simples, mas também, feições não pontuais. Principalmente em áreas urbanas, as feições retas e os pontos simples poderão estar presentes em abundância. Portanto, o procedimento mais eficiente vai ser aquele que melhor conseguir aproveitar os recursos existentes.

Visando o aproveitamento das feições retas e pontos como controle, pode-se combinar a Equação de Colinearidade (eq. 1) com a Equação dos Planos Equivalentes (eq. 2).

Para resolver esse problema, utilizou-se o programa RESFA.<sup>(4)</sup>

---

<sup>(4)</sup>esse programa baseia-se num programa de computador gentilmente cedido pelo professor Tommaselli; as adaptações feitas ficaram reduzidas a algumas regras para geração de arquivos apresentadas nesse capítulo.

A estimativa dos parâmetros incógnitos é obtida através do Método de Ajustamento Paramétrico com Injunções de Peso.

A abordagem do presente problema de ajustamento vai pressupor, por parte do leitor, um domínio das técnicas de Ajustamento de Observações. Será seguido a notação padrão constante na literatura específica. Para uma solução pormenorizada, é recomendado consultar Tommaselli (1988).

O vetor dos parâmetros será composto pelos seguintes elementos:

- os 6 parâmetros de orientação exterior;
- 7 parâmetros para cada feição reta e;
- 3 parâmetros para cada ponto.

Diferente do que ocorre com a Equação de Colinearidade (eq. 1), não temos, a rigor, observações em função explícita dos parâmetros. Tommaselli (1988), agrupou as quantidades observadas nas quantidades A, B e C que ele denominou de "pseudo-observação". Estas quantidades são compostas (ver eqs. 2.1) pelas observações "verdadeiras", isto é, as fotocoordenadas de dois pontos-imagem sobre cada feição reta. Em decorrência disto, o vetor das observações é composto pelos seguintes elementos:

- 3 "pseudo-observações" (A, B e C) para cada feição reta e;
- 2 observações (x,y) para cada ponto.

Na solução computacional com apenas pontos como controle, a matriz Peso é admitida como diagonal, mesmo depois de realizado o pré-refinamento das fotocoordenadas.

Na presente solução, para se obter a qualidade das pseudo-observações tem que se efetuar uma propagação de covariância baseada nas equações (2.1).

Portanto, a matriz Peso deve assumir o padrão mostrado na figura 39.

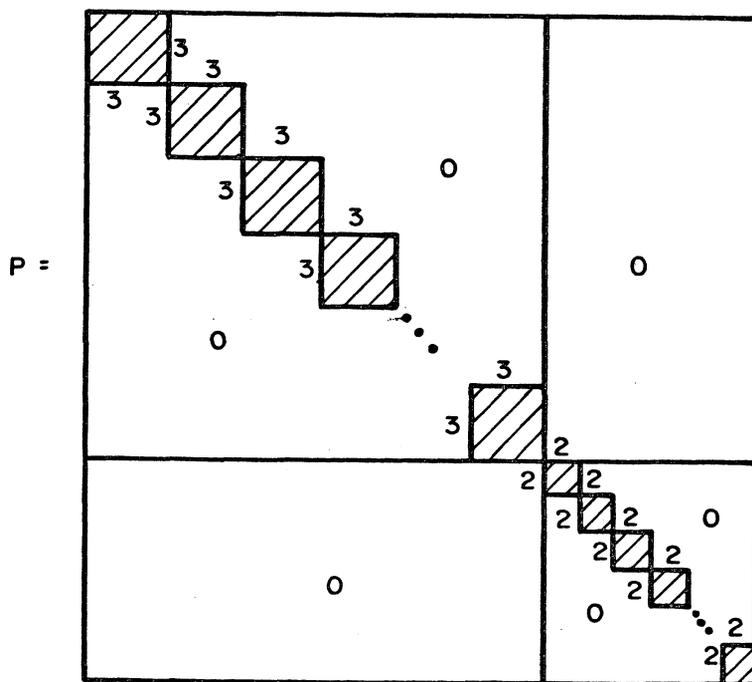


Fig. 39- Matriz Peso Completa.

Tommaselli (1988), estudou o problema de Resseção Espacial com a matriz Peso completa e diagonal. Apesar de reconhecer algumas vantagens de ordem computacional associada com a matriz Peso diagonal, ele recomenda um maior estudo do assunto.

A figura 40 mostra o padrão da matriz A.

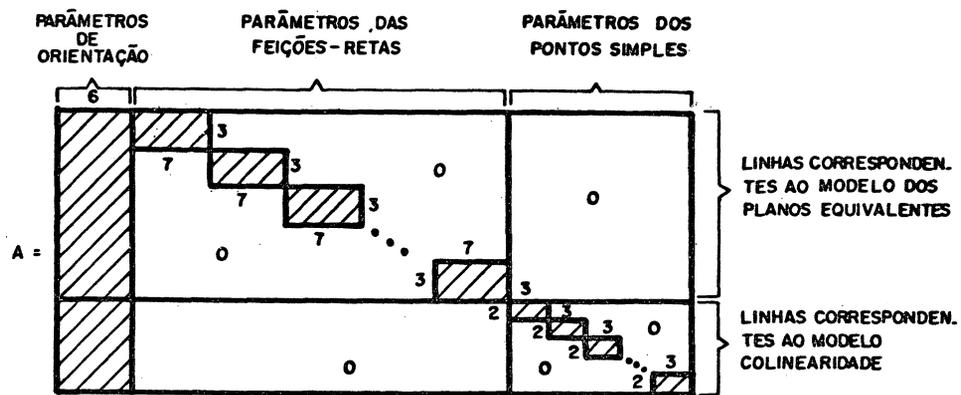


Fig. 40- O Padrão da Matriz A.

O padrão da Matriz Normal N é mostrada na figura 41.

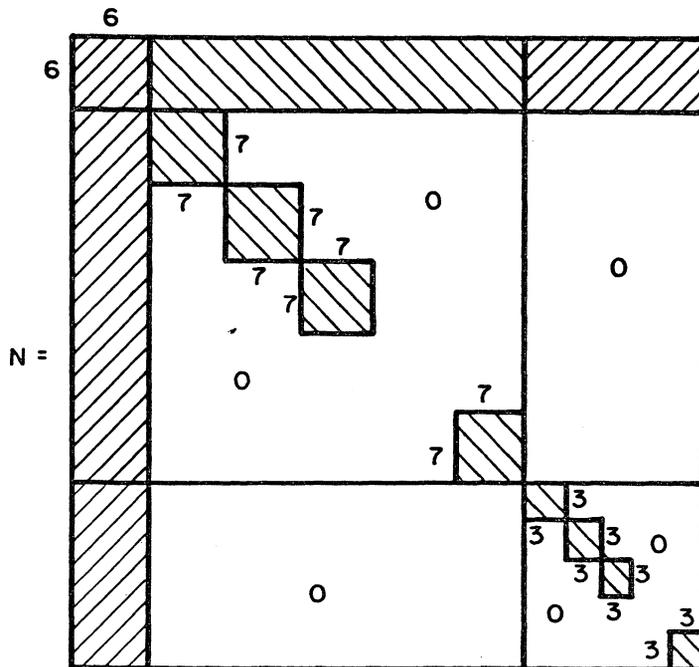


Fig. 41- O Padrão da Matriz Normal N.

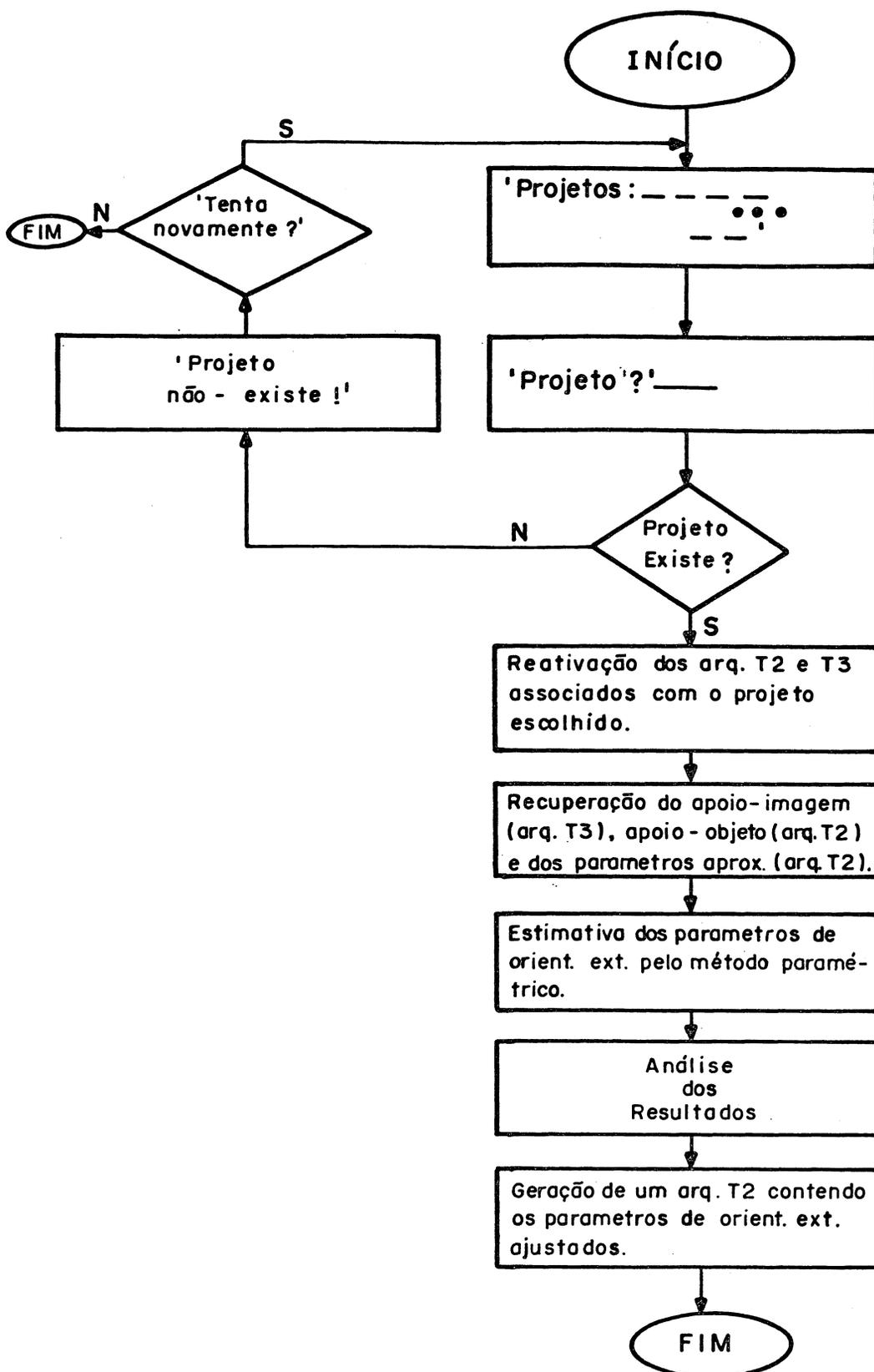


Fig. 42- Fluxograma do Programa RESFA.

O apoio, feições retas e pontos, é introduzido através de injunções de peso. Este procedimento não só permite fixar o referencial do apoio, como também informar corretamente a qualidade do apoio.

Por fim, a figura 42 mostra um fluxograma simplificado do programa RESFA. Este fluxograma não dá detalhes acerca do processo de ajustamento. A preocupação maior é mostrar como o programa RESFA se integra no sistema.

#### IV.6. Implementação do Módulo M8

O objetivo básico do módulo M8 é resolver o problema fotogramétrico de Orientação Absoluta.

A solução desse problema consiste na determinação dos elementos de orientação exterior de um par de fotografias. Portanto, esse problema pode ser visto como uma generalização do problema de Resseção Espacial para duas fotografias.

A fim de resolver esse problema, utilizou-se o programa de computador MODELA<sup>(4)</sup>. Esse programa combina a Equação de Colinearidade (eq. 1) com a Equação dos Planos Equivalentes (eq. 2), permitindo a utilização conjunta de pontos e feições retas como controle.

---

<sup>(4)</sup> ver nota de rodapé da página 94

O método de ajustamento utilizado é o Paramétrico com Injunções Posicionais.

A estrutura do programa MODELA é semelhante ao do programa RESFA. Grande parte das observações feitas a respeito do programa RESFA são válidas para o programa MODELA. Em vista disso, será dada uma abordagem complementar para o presente problema. Também, recomenda-se Tommaselli (1988) para um estudo mais aprofundado do problema.

O vetor dos parâmetros será composto pelos seguintes elementos:

- os 12 parâmetros de orientação exterior do estereopar;
- 8 parâmetros para cada feição reta - observar que cada feição reta dá dois planos e, conseqüentemente, dois parâmetros  $\lambda$  (ver eq. 2) e;
- 3 parâmetros para cada ponto.

O vetor de observações é composto pelos seguintes elementos:

- 6 "pseudo-observações" (A, B e C) para cada feição reta e;
- 4 observações (x,y) para cada ponto.

As observações feitas a respeito da matriz peso na seção anterior são válidas aqui também, a menos de pequenas

adaptações que são fáceis de serem visualizadas.

O padrão da matriz A é mostrado na fig. 43.

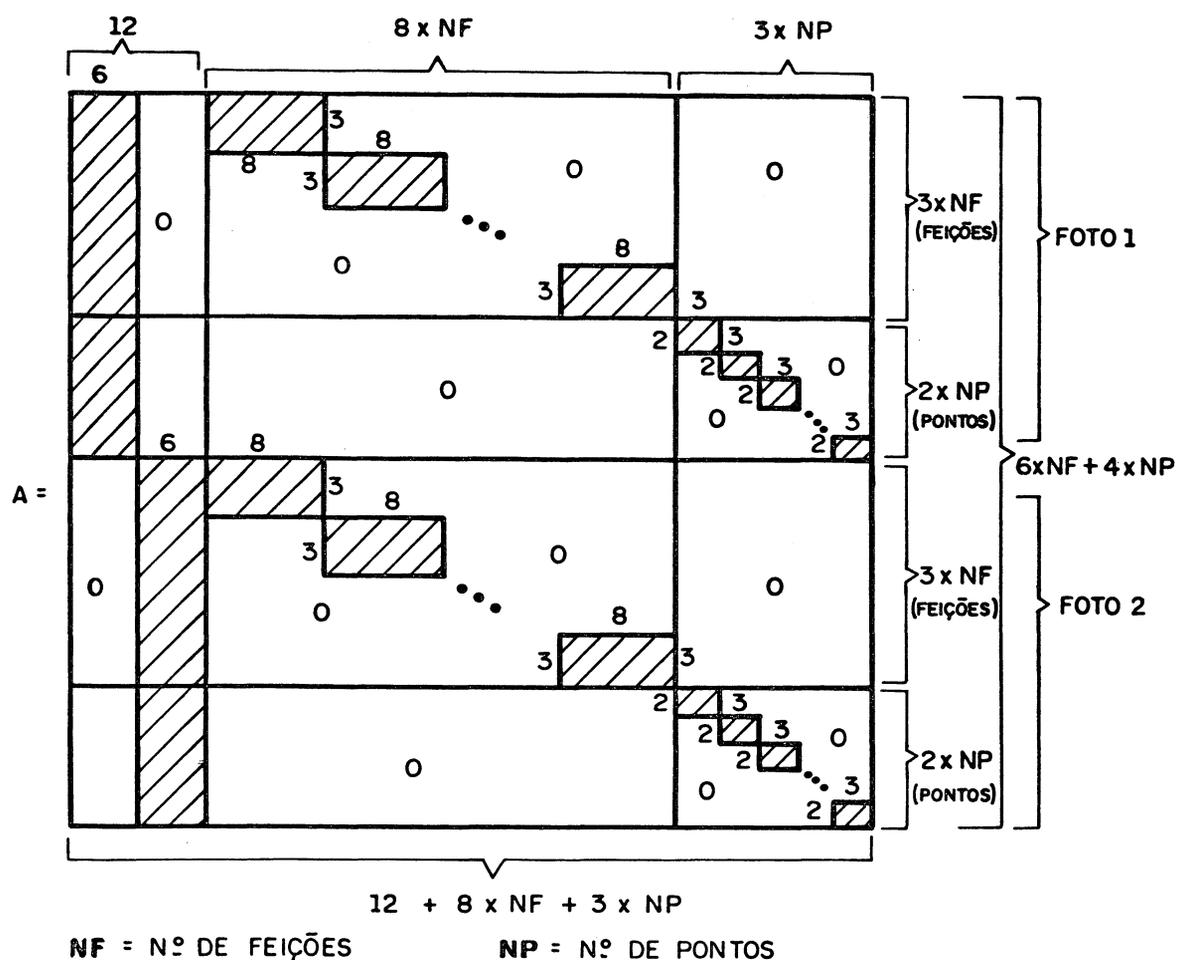


Fig. 43 - A Matriz A.

Por sua vez, o padrão da Matriz Normal N é mostrado na fig. 44.

A qualidade do apoio é informada através de injunções de peso introduzidas nas feições retas e pontos. Esse procedimento permite fixar o referencial do apoio.

Com respeito ao fluxograma do programa MODELA, a preocupação é também com a integração desse programa com o sistema via sistema de arquivos. Portanto, o fluxograma do programa RESFA (fig. 42) é válido aqui também.

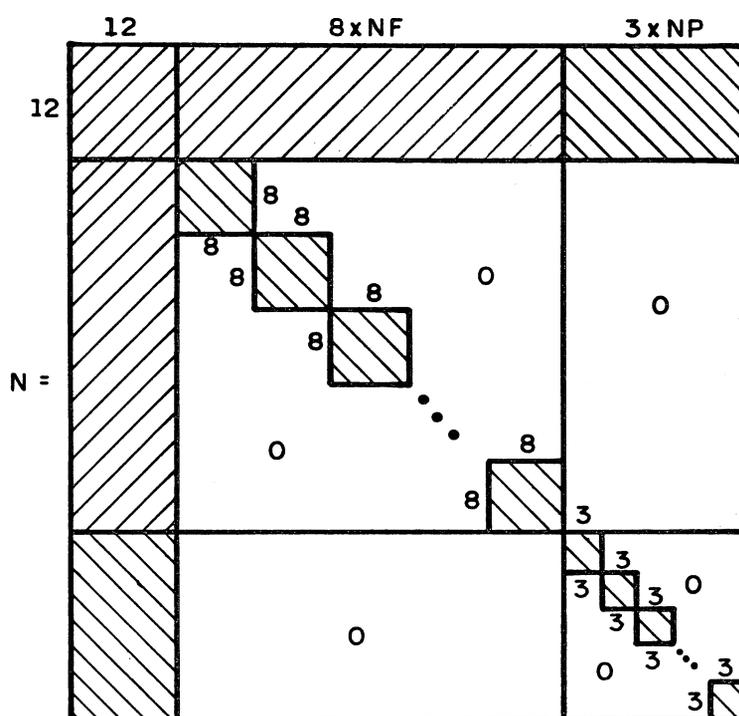


Fig. 44- A Matriz N.

## CAPÍTULO V

### Conclusões e Recomendações

#### V.1. Conclusões

Os objetivos firmados no Capítulo 1 foram integralmente cumpridos. Esses objetivos podem ser agrupados em duas partes: 1- uma parte a ser concebida apenas no plano teórico e caracterizada pela abrangência; 2- uma parte a ser implementada e testada.

Relaciona-se a seguir, as conclusões relativas a primeira parte, a qual engloba os objetivos 1 e 2:

-o sistema que foi concebido e proposto, conforme apresentado no capítulo 3, baseia-se num problema fotogramétrico geral (ver capítulo 2), o qual comporta imagens de natureza diversas além de uma forma de representação da realidade denominada modelo tridimensional ou estereoscópico; portanto, o escopo é eminentemente fotogramétrico;

-a Teoria Geral dos Sistemas revelou-se como uma ferramenta útil na formulação do sistema fotogramétrico; portanto, a identificação das 5 características básicas de qualquer sistema aplicadas ao sistema fotogramétrico é fundamental para um bom entendimento do sistema proposto;

-o sistema fotogramétrico apresentado permite a integração de todos os recursos disponíveis: apoio (pontos e feições retas), instrumentos (comparadores, restituidores, mesas digitalizadoras, ...), imagens (fotografias convencionais, imagens de satélite, imagens de radar, ...), ...;

-uma importante característica do sistema fotogramétrico é a modularidade; as alterações nos módulos ou nos níveis ou no próprio sistema como um todo, além da inserção do sistema em sistemas mais amplos, podem ser visualizadas com facilidade;

-o ambiente de dados (cap. 3) foi proposto de uma forma bem geral, mas permite com clareza a classificação de todos os dados manipulados pelo sistema fotogramétrico nas quatro classes de dados propostas.

-as saídas do sistema, isto é, os dados tipo 4, não são produtos prontos para o usuário; esses dados devem receber a posteriori um tratamento baseado nas técnicas de mapeamento digital.

A segunda parte das conclusões atendem ao objetivo 3. Os módulos escolhidos constituem partes relevantes para a verificação do sistema com respeito ao apoio. As principais conclusões são:

-o uso de feições retas como controle pode

efetivamente receber um "status" semelhante ao que possuem os pontos simples, especialmente em regiões urbanas visto que: uma biblioteca baseada em feições retas permite um elevado grau de automação na seleção do apoio, como foi experimentalmente verificado no sistema proposto; um uso sistemático dessa biblioteca é plenamente possível, permitindo maior eficiência com o apoio; a facilidade de identificação - especialmente em imagens orbitais - e a não necessidade de correspondência ponto à ponto são fatores importantes na automação da seleção do apoio, características que não são gozadas pelas entidades pontuais; perenidade; não necessidade de monumentação e outros benefícios;

-o módulo de edição do ambiente de dados tipo-1 desempenha um papel fundamental na manutenção desses dados, uma vez que qualquer alteração pode ser realizada interativamente pelo usuário de uma forma bem "amigável", conforme descrito no capítulo 4;

-os testes preliminares realizados com o módulo responsável pela seleção semi-automática do apoio (módulo M5) demonstraram uma grande eficiência no aproveitamento do apoio;

## V.2. Recomendações

Considerando que os estudos realizados viabilizam o sistema fotogramétrico concebido e proposto, recomenda-se:

-realizar um estudo mais aprofundado do sistema, dando

ênfase para:

1- a Teoria Geral dos Sistemas, visto que ficou evidente a importância dessa área de conhecimento na concepção do sistema fotogramétrico;

2- um estudo mais aprofundado do ambiente de dados, inclusive com a possibilidade do uso de um gerenciador de banco de dados para facilitar o acesso e recuperação dos dados.

-completar a implementação do sistema para as fotografias convencionais e para os modelos fotogramétricos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- /01/ABIB, O. A. Especificações para um Sistema de Cartografia Apoiada por Computador. Dissertação de Mestrado, IME, Rio de Janeiro, 1988.
- /02/ARAKI, H. Refinamento da Correção Geométrica de Imagens Digitais TM LANDSAT através da Modelagem de Efeito, Utilizando Feições Retas como Controle. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPr., Curitiba-Pr., 1990.
- /03/ATEF, A. E. Managing Mapping Data Using Commercial Data Base Management Software. Phot. Eng. and Remote Sensing, Falls Church, vol 51(8), pp. 1133-1136, 1985.
- /04/BANON, G. J. F. Bases da Computação Gráfica. Editora Campus, 1989.
- /05/BRAND, M. J. D. The Role of Photogrammetry in the National Mapping Activities of the Ordnance Survey of Northern Ireland. Photogrammetric Record, 12(69): 293-302, 1987.
- /06/CARSON, W. W. Development of an Inexpensive Analytical Plotter. Photogrammetric Record, 12(69): 303-306, 1987.
- /07/CASTAÑEDA FILHO, R. M. Fatores Determinantes na Implantação de um Sistema de Informação Geográfica. In.: Anais do XIV Congresso Brasileiro de Cartografia, Gramado-RS, 1989.
- /08/DAL POZ, A. P. Aplicação do Filtro de Kalman na Correção Geométrica de Imagens HRV-SPOT no Nível 2B. Seminário Apresentado ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPr., Curitiba-Pr., 1991.

- /09/DESTRI, A. R. Tratamento de Modelos Numéricos do Terreno (DTM) Obtidos por Processos Fotogramétricos. Dissertação de Mestrado, IME, Rio de Janeiro, 1987.
- /10/FAIG, W.; SHIH, T. Y. ; DENG, G. The Enlarger-Digitizer Approach: Accuracy and Reliability. Phot. Eng. and Remote Sensing, Falls Church, vol 56(2), pp. 243-246, 1990.
- /11/FÖRSTNER, W. Model Based Detection and Location of Houses as Topographic Control Points in Digital Images. In.: Anais do 16<sup>th</sup> International Congress of Photogrammetry and Remote Sensing, Kyoto, Japão, 1988.
- /12/GRABMAIER, K.; TULADHAR, A. M.; VERSTAPPEN, H. Stereo Mapping with SPOT. ITC-Journal, 1988-2, Enschede.
- /13/HATZOPOULOS, J. N. An Analytical System for Close-Range Photogrammetry. Phot. Eng. and Remote Sensing, Falls Church, vol 51(10), pp 1583-1588, 1985.
- /14/JEYANANDAN, D. A Systems Approach to Land Information Systems. Surveying and Mapping, vol 48(3), pp 161-171, 1988.
- /15/LEE, R.; LU, P. C.; TSAI, W. H. Robot Location Using Single Views of Rectangular Shapes. Phot. Eng. and Remote Sensing, Falls Church, vol 56(2), pp. 231-238, 1990.
- /16/LUGNANI, J. B. Using Digital Entities as Control. Phd. Thesis, Departament of Surveying Engineering, UNB, 1980.
- /17/LUGNANI, J. B. Introdução à Fototriangulação. Universidade Federal do Paraná, Curitiba-Pr., 1987.
- /18/LUGNANI, J. B. Aprimoramentos para Atualização Cartográfica, Tese Apresentada ao Departamento de Geociências da Universidade Federal do Paraná para Concurso de Professor Titular, Curitiba-Pr., 1985.

- /19/MAKAROVIC, B. Digital Mono-Plotters, ITC-Journal, 1973-5, Enschede.
- /20/MAKAROVIC, B. Context and Integration of Photogrammetric production Lines. ITC-Journal, 1988-4, Enschede.
- /21/MASRY, S. E. Digital Mapping Using Entities: A New Concept. Phot. Eng. and Remote Sensing, Falls Church, vol 48(11), 1981.
- /22/MASRY, S. E.; MCLAREN, R. A. Digital Map Revision. Phot. Eng. and Remote Sensing, Falls Church, vol 45(2), pp 193-200, 1979.
- /23/MCKEOWN, D. M.; LUKES, G. E. Digital Mapping and Image Understanding. In.: Anis do 16<sup>th</sup> International Congress of Photogrammetry and Remote Sensing, Kioto, Japão, 1988.
- /24/MITISHITA, E. A.; ANDRADE, J. B. de; PREOSCK, R.; MACHADO, A. M.; MARTINE, C. Sistema de Informação da Fotogrametria Analógica. In.: Anais do XIV Congresso Brasileiro de Cartografia, Gramado-RS, 1989.
- /25/MOLENAR, M. Towards a Geographic Information Theory, ITC-Journal, 1989-1, Enschede.
- /26/MULAWA, D. C.; MIKHAIL, E. M. Photogrammetric Treatment of Linear Features. In.: Anais do 16<sup>th</sup> International Congress of Photogrammetry and Remote Sensing, Kyoto, Japão, 1988.
- /27/OIMOEN, D. C. Evaluation of a Tablet Digitizer for Analytical Photogrammetry. Phot. Eng. and Remote Sensing, Falls Church, vol 53(6), pp 601-603, 1987.
- /28/PUGH, K. Programando em Linguagem C. McGraw-Hill, 1990.

- /29/RADWAN, M. M.; KURE, J.; AL-HARTHI, M. Data Structuring in Topographic Databases. ITC-Journal, 1988-4, Enschede.
- /30/RAUHALA, U. A. Compiler Positioning System: An Array Algebra Formulation of Digital Photogrammetry. Phot. Eng. and Remote Sensing, Falls Church, vol 55(3), pp 317-326, 1989.
- /31/ROGERS, J. A.; BENNETT, R. M. An AutoCAD-Based Mapping System for Encoded Stereoplotters. Phot. Eng. and Remote Sensing, Falls Church, vol 54(3), pp 353-355, 1988.
- /32/SCHILDT, H. Turbo C, Guia de Referência Básico. McGraw-Hill, 1989.
- /33/SOUZA, F. C. B. Orientação Absoluta de Modelos Utilizando Feições Digitalizadas como Controle. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPr., Curitiba-Pr., 1982.
- /34/TOMMASELI, A. M. G. Um Modelo Alternativo à Equação de Colinearidade Utilizando Feições Retas. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPr., Curitiba-Pr., 1988.
- /35/TOMMASELI, A. M. G. A Eficiência do Modelo dos Planos Equivalentes no Tratamento Fotogramétrico de Feições Retas. In.: Anais do XIV Congresso Brasileiro de Cartografia, Gramado-RS, 1989.
- /36/TOMMASELI, A. M. G.; LUGNANI, J. B. An Alternative Mathematical Model to the Collinearity Equation Using Straight Features. In.: Anais do 16<sup>th</sup> International Congress of Photogrammetry and Remote Sensing, Kioto, Japão, 1988.

- /37/TUSCO, C. Base de Dados de um Sistema de Informações Cartográficas. Dissertação de Mestrado, IME, Rio de Janeiro, 1988.
- /38/VIADANA, M. I. C. F. Modelos Matemáticos para Refinamento de Imagens de Satélite TM Utilizando Feições Retas. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPr., Curitiba-Pr., 1989.
- /39/VISVALINGAM, M. Cartography, GIS and Maps in Perspective. The Cartographic Journal, vol 26, pp 26-32, 1989.
- /40/WELCH, R. A. Integration of Photogrammetric, Remote Sensing and Database Technologies for Mapping Applications. Photogrammetric Record, 12(70): 409-428, 1987.