

FERNANDO RAUEN WOLTER

**USO DA MONORESTITUIÇÃO DIGITAL E DTM  
PARA MAPEAMENTO DE UNIDADES FISIAGRÁFICAS  
PARA ESTUDOS DE SOLOS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Edson A. Mitishita  
Co-orientador: Prof. Dr. Helio O. da Rocha

CURITIBA

2000

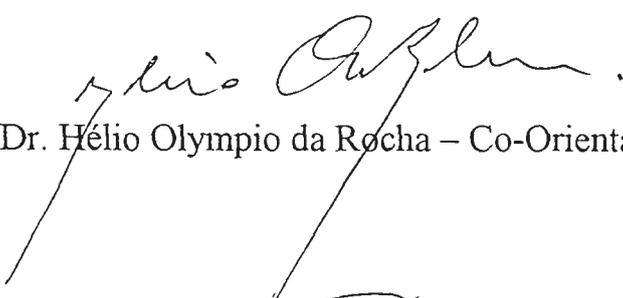
**“USO DA MONORESTITUIÇÃO DIGITAL E DTM PARA  
MAPEAMENTO DE UNIDADES FISIAGRÁFICAS PARA  
ESTUDOS DE SOLOS”**

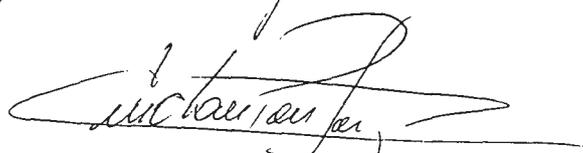
**POR**

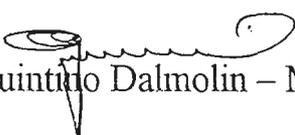
**FERNANDO RAUEN WOLTER**

Dissertação nº 148 aprovada como requisito parcial do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

  
Prof. Dr. Edson Aparecido Mitishita (UFPR)  
Orientador e Presidente

  
Prof. Dr. Hélio Olympio da Rocha – Co-Orientador (UFPR)

  
Prof. Dr. Luis Cláudio de Paula Souza - Membro (UFPR.)

  
Prof. Dr. Quintino Dalmolin – Membro (UFPR)

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de apresentar meus mais sinceros agradecimentos a todas pessoas que contribuíram, de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador Prof. Edson A. Mitishita, pela orientação, incentivo e apoio.

Ao meu Co-orientador Prof. Helio O da Rocha , pela amizade, e apoio irrestrito.

Ao Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas pela oportunidade de realização deste trabalho.

A CAPES pelo oferecimento de bolsa de estudos.

À Esteio Engenharia e Aerolevantamentos pelo empréstimo do material fotogramétrico.

A Fazenda Esteio pelo apoio logístico de campo.

Ao engenheiro Marcos Shimalski pela sua ajuda, fundamental para a realização deste.

Ao engenheiro Alexandre Pires pelo fornecimento de software e apoio técnico.

Aos meus pais pela paciência e amizade que sempre demonstraram.

A Ana Paula pelo seu companheirismo e amizade.

A todos que de qualquer forma tenham colaborado para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>vi</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>vii</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>ix</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Objetivos .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. Justificativas.....</b>	<b>2</b>
<b>2.0 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Estrutura de dados.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.1 Estrutura Vetorial ou Poligonal .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.2 Estrutura Matricial ou Raster.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Sistemas de Coordenadas.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2.1.1 Referencial Instrumental ou de Comparador .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.1.2 Referencial Fiducial.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.1.3 Referencial Fotogramétrico .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.2 Referenciais do Espaço Objeto.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.2.1 Referencial Geodésico Cartesiano Local .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.2.2 Referencial LTM.....</b>	<b>10</b>
<b>2.3 Equações de Colinearidade.....</b>	<b>11</b>

<b>2.4 Erros sistemáticos da imagem fotográfica .....</b>	<b>16</b>
<b>2.4.1 Trabalho do filme.....</b>	<b>16</b>
<b>2.4.2 Distorções de lentes .....</b>	<b>18</b>
<b>2.4.2.1 Correção da distorção radial simétrica .....</b>	<b>18</b>
<b>2.4.2.2 Correção da distorção descentrada .....</b>	<b>19</b>
<b>2.5 Correção da refração fotogramétrica .....</b>	<b>20</b>
<b>2.6 Resseção Espacial de uma Aerofoto.....</b>	<b>20</b>
<b>2.7 Equações de Colinearidade Inversa .....</b>	<b>22</b>
<b>2.8 Monorestituição.....</b>	<b>26</b>
<b>2.9 Modelo Digital do Terreno .....</b>	<b>28</b>
<b>2.9.1 Método de coleta de dados .....</b>	<b>29</b>
<b>2.9.1.1 Malha Regular.....</b>	<b>29</b>
<b>2.9.1.2 Malha irregular.....</b>	<b>29</b>
<b>2.9.1.3 Pontos Aleatórios.....</b>	<b>29</b>
<b>2.9.1.4 Perfilamento.....</b>	<b>30</b>
<b>2.9.1.5 Perfis irregulares associados a pontos independentes .....</b>	<b>30</b>
<b>2.9.1.6 Curvas de nível .....</b>	<b>30</b>
<b>2.10 Levantamento de Solos .....</b>	<b>30</b>
<b>2.10.1.1 Latossolo Vermelho Escuro .....</b>	<b>31</b>
<b>2.10.1.2 Podzólico Vermelho Amarelo .....</b>	<b>32</b>
<b>2.10.1.3 Cambissolos .....</b>	<b>33</b>

<b>2.10.1.4 Solos Litólicos</b> .....	<b>34</b>
<b>2.10.2 Análise da Drenagem e Relevo para Estudos de Solos</b> .....	<b>36</b>
<b>2.10.3 Drenagem para Estudos de Solos</b> .....	<b>36</b>
<b>2.10.4 Relevo em Estudos de Solos</b> .....	<b>41</b>
<b>2.10.5 Delimitação de Unidades Fisiográficas (U. F. )</b> .....	<b>45</b>
<b>2.10.6 Análise de elementos na delimitação de U. F.</b> .....	<b>45</b>
<b>2.10.7 Análise de Agrupamentos para Levantamentos de solos</b> .....	<b>46</b>
<b>2.10.8 Levantamento de Campo</b> .....	<b>47</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>49</b>
<b>3.1 ESCOLHA DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>49</b>
<b>3.2 MATERIAIS</b> .....	<b>50</b>
<b>3.3 METODOLOGIA</b> .....	<b>52</b>
<b>3.3.1 Traçado da rede de drenagem</b> .....	<b>53</b>
<b>3.3.1.1. Traçado analógico da rede de drenagem</b> .....	<b>53</b>
<b>3.3.1.2. Traçado digital da rede de drenagem</b> .....	<b>53</b>
<b>3.3.2 Geração do mapa de declividades ( Separação em áreas homogêneas)</b> ..	<b>54</b>
<b>3.3.3 Geração das curvas de nível</b> .....	<b>55</b>
<b>3.3.4 Registro das fotos aéreas</b> .....	<b>56</b>
<b>3.3.5 Mapeamento e Caracterização das unidades fisiográficas</b> .....	<b>56</b>
<b>3.3.6 Retificação dos arquivos vetoriais</b> .....	<b>57</b>
<b>3.3.6.1. Orientação interior</b> .....	<b>58</b>

<b>3.3.6.2. Orientação espacial aproximada.....</b>	<b>58</b>
<b>3.3.6.3. Orientação espacial exata .....</b>	<b>59</b>
<b>3.3.6.4. Transformação entre referenciais.....</b>	<b>59</b>
<b>3.3.7 Coleta de Dados das Unidades Fisiográficas .....</b>	<b>60</b>
<b>3.3.8 Análise de Agrupamentos .....</b>	<b>62</b>
<b>3.3.9 Caracterização Pedológica das Unidades Fisiográficas.....</b>	<b>64</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>65</b>
<b>4.1 Traçado e análise da rede de drenagem superficial.....</b>	<b>65</b>
<b>4.2 Geração do mapa de declividades.....</b>	<b>68</b>
<b>4.3 Geração das curvas de nível .....</b>	<b>70</b>
<b>4.4 Registro das fotografias aéreas.....</b>	<b>72</b>
<b>4.5 Mapeamento e caracterização das unidades fisiográficas.....</b>	<b>73</b>
<b>4.6 Retificação dos arquivos vetoriais .....</b>	<b>75</b>
<b>4.6.1 Orientação interior .....</b>	<b>75</b>
<b>4.6.2 Orientação espacial aproximada.....</b>	<b>76</b>
<b>4.6.3 Orientação espacial exata .....</b>	<b>77</b>
<b>4.7 Coleta de dados das Unidades Fisiográficas. ....</b>	<b>78</b>
<b>4.8 Análise de agrupamentos.....</b>	<b>81</b>
<b>4.9 Caracterização Pedológica das U.F. ....</b>	<b>86</b>
<b>5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>92</b>
<b>6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>94</b>

## Lista de Figuras

Figura 1 Representação do espaço imagem – objeto.....	5
Figura 2: Referencial Fiducial.....	8
Figura 3: Referencial Fotogramétrico.....	9
Figura 4: Condição de colinearidade.....	12
Figura 5: Introdução do referencial geodésico local nas equações de colinearidade.....	14
Figura 6: Posicionamento de uma aerofoto no espaço.....	21
Figura 7: Distribuição ideal de pontos em uma aerofoto para resseção espacial.....	22
Figura 8: Demonstração das equações de colinearidade inversa.....	23
Figura 9: Determinação de ( X, Y ) em função de Z. Fonte: MITISHITA ( 1997 ).....	28
Figura 10 Padrões de drenagem de solo Podzólico e Latossolo.....	42
Figura 11: Área de estudo.....	50
Figura 12: Amostras elípticas para coleta das variáveis da análise.....	61
Figura 13: Diferença entre padrões de drenagem para dois tipos de solos.....	66
Figura 14: Canais de drenagem aparentes e não aparentes sobre a fotografia singular.....	67
Figura 15: Rede de drenagem da área de estudo, obtida monoscopicamente.....	67
Figura 16: Classes de declive.....	68
Figura 17: Mapa de declividades separado manualmente em áreas homogêneas em relação ao relevo.....	69
Figura 18: Segmentação de unidades semelhantes em relação as fases de relevo.....	70
Figura 19: Curvas de nível com 5 metros de equidistância.....	72
Figura 20: Exemplo da visualização das informações de drenagem e relevo.....	74
Figura 21: Análise de agrupamentos das Unidades Fisiográficas.....	81
Figura 22: Latossolo Vermelho.....	87
Figura 23: Paisagem associada a Latossolos.....	87
Figura 24: Argissolo.....	88
Figura 25: Paisagem associada a Argissolos.....	89
Figura 26: Cambissolo.....	92
Figura 27: Cambissolo Raso.....	90
Figura 28: Paisagem associada a Cambissolos e Neossolos.....	90
Figura 29: Solo Litólico ( Neossolo ).....	91

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Resíduos da Orientação interior.....	76
Tabela 2: Resíduos da orientação espacial aproximada.....	76
Tabela 3: Resíduos da orientação espacial exata.....	77
Tabela 4: Índices de drenagem da área de estudo.....	79
Tabela 5: Índices do relevo da área de estudo.....	80

## RESUMO

O trabalho proposto teve por objetivo utilizar o processo de Monorestituição desenvolvido por MAKAROVIK ( 1973 ) através do software Monorestituidor Digital, MITISHITA ( 1997 ), no levantamento de solos.

Devido ao fato de a Monorestituição utilizar uma fotografia aérea singular para a restituição de arquivos vetoriais, buscou-se uma alternativa para a visualização do relevo da região. Isto foi obtido através da utilização de um mapa de classes de declive e das curvas de nível, geradas através de um conjunto de pontos com coordenadas planialtimétricas.

Foram utilizados no trabalho, uma fotografia aérea da região, sendo que esta continha toda área de estudo, num total de 1000 ha, do vôo Paraná-Cidade 1997; a rede de drenagem extraída da fotografia aérea; o mapa de classes de declive; curvas de nível; pontos de coordenadas conhecidas e dados de calibração de câmara.

Após a retificação dos arquivos de drenagem e unidades fisiográficas foi realizada uma análise de agrupamentos para englobar unidades semelhantes segundo critérios de variáveis de drenagem e relevo.

Os resultados mostraram que a utilização dos diversos tipos de informações de drenagem, relevo e informações das fotografias aéreas permitiram uma boa segmentação da paisagem, gerando 31 polígonos representantes das classes Latossolo Vermelho, Argissolo, Cambissolo e Neossolo.

## ABSTRACT

The scope of this work is to use the process of Mono-Differential Restitution, developed by MAKAROVIK ( 1973 ) using the “Monorestituidor Digital” software ( MITISHITA 1997 ), in soil survey.

Due to the fact that the Mono-Differential Restitution uses an unique aerial photography for rectifying the vectorial files, an alternative method was used for visualizing the regional relief. It was obtained through the use of a slope class map and the topographic curves obtained by a set of planialtimetric coordinate system.

In this work, a regional aerophotography containing the study area with 1000 ha, a slope class map; topographic curves coordinate points and the calibration data of the camera were used.

The rectification of the drainage files and the physiographic units made it possible to have a complete analysis over the similar unit groups, according to the drainage and relief.

The results obtained showed that the aerial photographs could provide most of the information needed to create the 31 polygons of different soil classes.

## 1. INTRODUÇÃO

O mapeamento de regiões e propriedades agrícolas como apoio à tomada de decisão tem sido continuamente negligenciada. Levantamentos de solos, aptidão agrícola, erodibilidade e escolha de áreas às atividades mais adequadas são poucos no Brasil e nos Países do Terceiro Mundo. Segundo ZINCK (1990), a cobertura por mapeamentos de solos no Brasil é de 100% em escalas menores que 1:250.000, 15% em escalas entre 1:50.000 e 1:100.000, e desconhecidas para escalas maiores.

Desta forma torna – se de extrema importância o desenvolvimento de técnicas que possam ser úteis na melhoria dos índices de mapeamento de solos no país, quer seja a nível regional ou de propriedade.

Dentro deste aspecto existem diversos trabalhos utilizando fotografias aéreas, imagens de satélite e outros tipos de informações da paisagem como relevo e drenagem para a confecção de mapas de solos em diversas escalas. A limitação deste método é a necessidade de se trabalhar com fotografias analógicas e a interpretação das informações das fotografias em estereoscópio visto a dificuldade na disponibilidade de restituidores fotogramétricos.

O surgimento da informática e de softwares gráficos possibilitou a adaptação destas técnicas ao domínio digital.

Dentro deste aspecto surge a possibilidade de se trabalhar com a monorestituição digital, facilmente adaptável aos métodos de levantamento de solos e de custo acessível a nível de hardware e software.

A monorestituição digital utiliza, no seu desenvolvimento matemático, das equações de colinearidade na forma inversa para a retificação das entidades de

interesse. A formulação matemática demonstra a necessidade da utilização de coordenadas Z de terreno para a correta determinação da posição da entidade.

Dentro deste aspecto, procurou-se utilizar o processo de monorestituição como uma ferramenta de apoio ao levantamento de solos. A idéia básica é de que este tipo de mapeamento utiliza informações de drenagem e relevo para a identificação e traçado de Unidades Fisiográficas na paisagem. Como as informações de relevo são indispensáveis ao processo da Monorestituição, pode-se considerar a etapa de obtenção destes dados altimétricos como sendo comum a ambos propósitos.

Ainda a nível de levantamento cartográfico pode – se utilizar o processo da monorestituição com grande economia para a identificação e mapeamento de entidades agrícolas e cadastrais como talhões, limites de propriedades, estradas e qualquer entidade que esteja visível sobre as fotografias agilizando de forma eficiente no mapeamento rural.

### **1.1. Objetivos**

- Utilizar a Monorestituição digital como uma ferramenta de apoio levantamento de solos.

### **1.2. Justificativas**

A metodologia poderá tornar possível o mapeamento de solos em regiões onde se disponha de cobertura fotogramétrica.

Em levantamentos de solos realizados a nível de propriedade agrícola a escala de representação é grande. Neste tipo de levantamento é freqüente o uso de fotografias aéreas analógicas, algumas vezes ampliadas e que em muitos casos serve de mapa base para o mapeamento. Neste caso, tanto os limites de solos como

posicionamento de estrada, parcelas agrícolas e outras sofrem distorções. Neste sentido o uso da monorestituição digital, como proposto neste trabalho corrige tais distorções e auxilia no processo de mapeamento já que principalmente as informações de relevo, que são fundamentais para estudos de solos são indispensáveis no processo da monorestituição.

## **2.0 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Estrutura de dados**

A representação de entidades, quando se realiza mapeamentos de dados geográficos, implica na representação dos elementos de interesse. Esta representação pode ser feita por três entidades geométricas: o ponto, a linha e o polígono. A armazenagem destes dados pode ser realizado em meio magnético e em estruturas diferentes: matricial ou vetorial. (BURROUGH, 1989).

#### **2.1.1 Estrutura Vetorial ou Poligonal**

A estrutura vetorial é representada pela união de pontos que formam linhas e polígonos. Segundo BURROUGH (1989), a estrutura vetorial se baseia em coordenadas cartesianas e nos postulados da geometria Euclidiana. O ponto com coordenadas  $(X, Y)$  ou  $(X, Y, Z)$  é a entidade fundamental desta estrutura.

#### **2.1.2 Estrutura Matricial ou Raster**

A estrutura matricial é composta por uma matriz de células denominadas pixels ( Picture elements ), que representam entidades da superfície física do terreno. Cada pixel é referenciado por sua linha e coluna dentro da matriz de células, e assume um valor de cinza que varia de 0 a 255 em uma estrutura binária.

### **2.2 Sistemas de Coordenadas**

Dentro do conceito de sistemas de coordenadas em fotogrametria utiliza – se de dois sistemas, o espaço imagem e o espaço objeto .

O espaço imagem, quando se trabalha com o negativo, é a região compreendida entre o ponto nodal posterior e o plano do negativo. Quando se utiliza do diapositivo, o espaço imagem pode ser definido como a região entre o ponto nodal anterior e o plano do diapositivo, LUGNANI(1987).

O espaço objeto é considerado como a região compreendida entre a superfície física do terreno e o ponto nodal anterior. O espaço objeto consiste na região de observações geodésicas. A figura 1 apresenta a representação do espaço imagem-objeto.

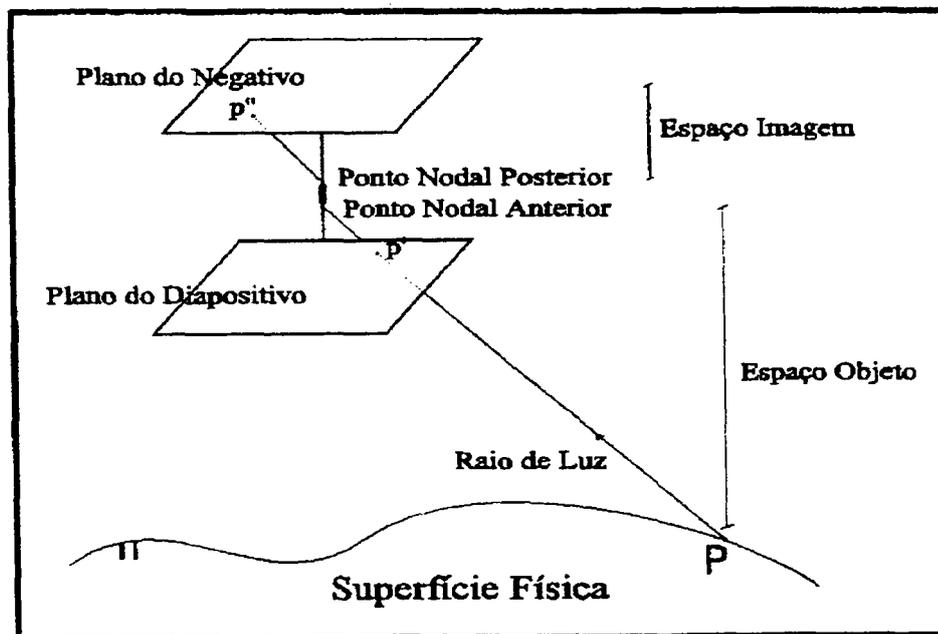


Figura 1 Representação do espaço imagem – objeto.

### 2.2.1.1 Referencial Instrumental ou de Comparador

Os dois tipos de comparadores existentes são o estereocomparador e o monocomparador.

Os monocomparadores utilizam uma fotografia para realizar as medidas das coordenadas dos pontos de interesse ao passo que os estereocomparadores utilizam o par estereoscópico e medem coordenadas de modelo de pontos homólogos.

A orientação da fotografia na placa de suporte é feita através de movimentos de rotação e translação nos eixos X e Y.

A transformação das coordenadas do referencial instrumental de placa para o referencial fiducial é feita através de transformações matemáticas. A Transformação Afim Geral no Plano tem sido a mais utilizada em diversas aplicações da fotogrametria.

As equações da transformação afim geral no plano, segundo LUGNANI, ( 1987 ) são descritas a seguir:

$$\begin{bmatrix} X_f \\ Y_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} \quad ( 1 )$$

onde:

$X_f$  e  $Y_f$  = Coordenadas lidas ( observadas ) dos pontos no referencial fiducial;

$X$  e  $Y$  = Coordenadas calibradas dos pontos no referencial instrumental;

$a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $c_1$ ,  $c_2$  = Parâmetros de transformação do sistema instrumental para o sistema fiducial.

### **2.2.1.2 Referencial Fiducial**

O referencial fiducial está associado às marcas fiduciais presentes em câmaras fotogramétricas. A função das marcas fiduciais é o restabelecimento da

geometria projetiva, correção do trabalho do filme e materialização do referencial fiducial na fotogrametria analítica e digital .

Segundo MITISHITA(1997), o número de marcas fiduciais e a disposição das mesmas no plano focal variam em função do tipo de câmara e das necessidades de precisão esperadas de cada câmara. A maioria dos cones em utilização no Brasil possuem quatro marcas fiduciais. Estes cones foram fabricados até o final da década de 70, onde se utilizavam métodos fotogramétricas analógicas e semi-analíticos. Com o desenvolvimento de métodos analíticos na fotogrametria, tornou-se necessário a introdução de cones com maior número de marcas fiduciais para melhor controle e modelagem das deformações do filme. Assim surgiram no mercado câmaras com oito, doze e dezesseis marcas fiduciais.

O sistema fiducial é cartesiano bidimensional, com origem no centro fiducial. O eixo X é orientado positivamente na direção da linha de vôo, tal que seja coincidente com a linha que une as marcas fiduciais opostas que mais se aproximam do eixo horizontal da câmara. O eixo Y é perpendicular ao eixo X e destrógiro, ou seja, sua orientação é positiva e obtida por uma rotação de  $90^\circ$  no sentido anti-horário. A figura 2 apresenta o sistema fiducial de uma fotografia aérea.

Na prática não existe a condição de construção de um referencial perfeitamente ortogonal, para isto torna-se necessária a adoção de modelos matemáticos para a correção destes desvios.

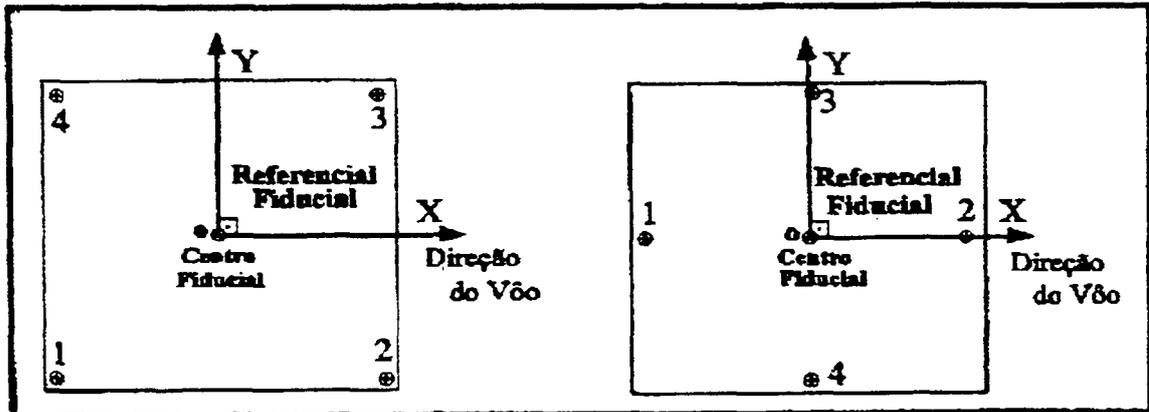


Figura 2: Referencial Fiducial.

### 2.2.1.3 Referencial Fotogramétrico

O referencial fotogramétrico é similar ao referencial fiducial diferindo deste apenas na origem adotada e no fato do referencial fotogramétrico ser tridimensional, como mostra a figura 3.

A origem do sistema fotogramétrico pode ser o ponto nodal anterior, quando se trabalha com o diapositivo ou posterior, quando se trabalha com o negativo. O sistema é cartesiano tridimensional destrógiro e tem seus eixos  $O_{xp}$  e  $O_{yp}$  paralelos aos eixos  $O_{xf}$  e  $O_{yf}$  do referencial fiducial. O eixo  $O_{zp}$  é perpendicular ao plano da foto, com a orientação que torne o sistema destrógiro.

Na prática os dois pontos nodais são utilizados em conjunto com a adoção da distância focal calibrada e adotando o centro óptico.

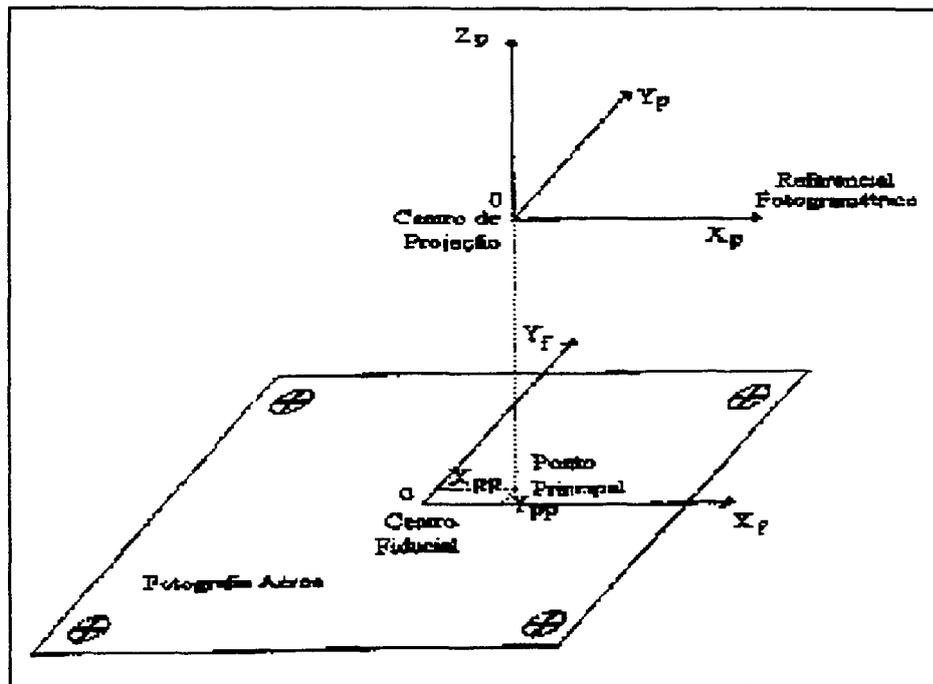


Figura 3: Referencial Fotogramétrico.

Para a correta determinação do referencial, é necessário que se disponha das coordenadas do ponto principal no referencial fiducial. Estes valores podem ser obtidos do certificado de calibração da câmara aérea.

Quando se realiza observações monoscópicas, no diapositivo ou no negativo,  $Z_p$  é constante, igual a distância focal calibrada da câmara, positiva ou negativa respectivamente. A transformação do referencial fiducial para o fotogramétrico é dada por:

$$X_p = X_f - x_0 \quad (2)$$

$$Y_p = Y_f - y_0$$

onde:

$x_p, y_p$  = Coordenadas no referencial fotogramétrico

$X_f, Y_f$  = Coordenadas no referencial fiducial

$x_0, y_0$  = Coordenadas do ponto principal no referencial fiducial

## **2.2.2 Referenciais do Espaço Objeto**

Referenciais do espaço objeto são aqueles utilizados na determinação de coordenadas de pontos, na superfície física da Terra. Estes pontos podem ser representados por modelos locais como o referencial topográfico ou modelos geométricos usados em substituição da superfície real da Terra.

Dentre os diversos referenciais utilizados em cartografia podem ser citados o referencial geodésico cartesiano tridimensional local, o referencial UTM e o LTM.

Maiores informações sobre os sistemas de referência do espaço objeto podem ser encontrados em TORGE ( 1980 ), VANICEK & KRAKIWSKY ( 1986).

### **2.2.2.1 Referencial Geodésico Cartesiano Local**

O referencial Geodésico Cartesiano local é o referencial utilizado no processo da monorestituição, na etapa de relacionamento entre pontos do espaço – imagem e espaço – objeto.

Segundo ANDRADE ( 1977 ), pode ser definido como um referencial com origem O, sobre a normal ao elipsóide passando pela estação de observação. O eixo OZL é coincidente com a normal passante pela estação de origem. O eixo OYL é coincidente com o meridiano passante pela estação de origem, orientado positivamente para o polo norte geodésico C. I. O ( origem convencional internacional do polo ) e o eixo OXL é coincidente com a direção que torna o sistema cartesiano destrógiro ( leste ).

### **2.2.2.2 Referencial LTM**

O sistema LTM pode ser considerado como um caso particular do sistema UTM. Pode ser utilizado para mapeamento de pequenas áreas em levantamentos em

escalas grandes. Possui fusos de 1 grau de amplitude, meridiano central de 30 ' ( minutos ) e coeficiente de deformação linear  $K_0$  de 0,999995.

O sistema, proposto por CARVALHO,(1984) é adequado para mapeamento em escalas grandes e vem sendo utilizado em mapeamentos locais de pequenas áreas onde a sistematização não se faz necessária (MITISHITA, 1997).

### 2.3 Equações de Colinearidade

As equações de colinearidade podem ser consideradas como o modelo matemático mais utilizado na fotogrametria. O desenvolvimento matemático deste modelo parte do princípio de que um raio de luz refletido como um ponto imagem, parte de um ponto da superfície real, passando pelo centro óptico, sem que haja desvios na sua trajetória. Na prática, esta condição não é satisfeita pois existem fatores que fazem com que o raio de luz se desvie de seu trajeto retilíneo. As razões para que hajam estes desvios assim como os modelos para suas correções podem ser encontrados no item 2.4.

A figura 4 ilustra a condição de colinearidade que será utilizada no desenvolvimento do modelo matemático destas equações.

Da figura 4, tem-se:

$[X', Y', Z']^T$  = Coordenadas no referencial fotogramétrico do ponto P no espaço objeto;

$[x, y, z]^T$  = Coordenadas no referencial fotogramétrico do ponto p no espaço imagem;

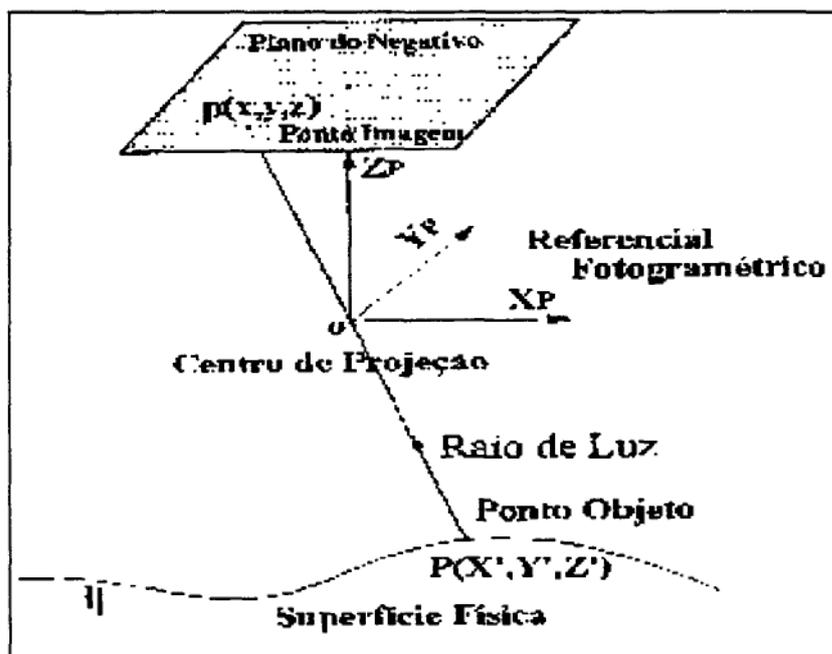


Figura 4: Condição de colinearidade.

A condição de colinearidade é dada, matematicamente, pela equação da reta no espaço, expressa por :

$$\frac{x}{X'} = \frac{y}{Y'} = \frac{z}{Z'} \quad (3)$$

A correção dos erros sistemáticos pode ser realizada com a parametrização ou pré-correção dos mesmos permitindo a aplicação da condição teórica de colinearidade. Assim, tem-se duas equações linearmente independentes, expressas em função de  $z$ , dadas por:

$$x = z \frac{X'}{Z'} \quad (4)$$

$$y = z \frac{Y'}{Z'}$$

Nas câmaras fotogramétricas  $z$  é constante e igual a distância focal calibrada para qualquer ponto imagem do negativo. Substituindo, tem-se:

$$x = c \frac{X'}{Z'} \quad (5)$$
$$y = c \frac{Y'}{Z'}$$

As equações ( 5 ) possibilitam o relacionamento de pontos no espaço objeto com pontos no espaço imagem, porém apresentam o inconveniente de terem os pontos do espaço objeto vinculado ao referencial fotogramétrico, que se encontra ligado com a estação de exposição da aerofoto. Por finalidades práticas é desejável que os pontos do espaço objeto estejam ligados com o referencial geodésico cartesiano tridimensional local conforme ilustra a figura 5.

As diferenças físicas existentes entre o referencial fotogramétrico e o geodésico podem ser definidas como um fator de escala, três rotações e três translações. Estes parâmetros podem ser modelados, matematicamente, através de uma transformação de similaridade no espaço.

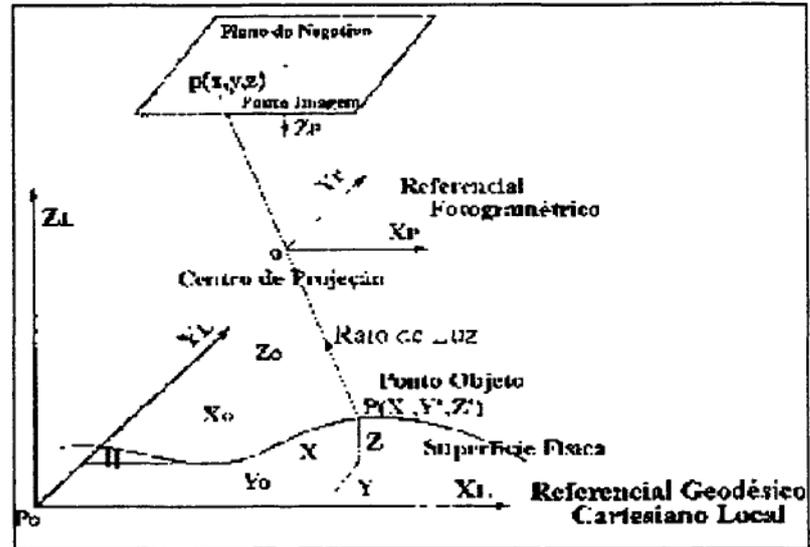


Figura 5: Introdução do referencial geodésico local nas equações de colinearidade.

A transformação de similaridade no espaço pode ser dada por:

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \lambda M \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

onde:

$$M = R_z(\chi) \cdot R_y(\phi) \cdot R_x(\omega) = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{aligned}
m_{11} &= \cos \phi \cos \kappa ; \\
m_{12} &= \cos \omega \sin \kappa + \sin \omega \sin \phi \cos \kappa ; \\
m_{13} &= \sin \omega \sin \kappa - \cos \omega \sin \phi \cos \kappa \\
m_{21} &= -\cos \phi \sin \kappa ; \\
m_{22} &= \cos \omega \cos \kappa - \sin \omega \sin \phi \sin \kappa ; \\
m_{23} &= \sin \omega \cos \kappa + \cos \omega \sin \phi \sin \kappa ; \\
m_{31} &= \sin \phi ; \\
m_{32} &= -\sin \omega \cos \phi ; \\
m_{33} &= \cos \omega \cos \phi
\end{aligned} \tag{8}$$

$$R_x(\omega) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & \sin \omega \\ 0 & -\sin \omega & \cos \omega \end{bmatrix} \tag{9}$$

$$R_y(\phi) = \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & -\sin \phi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \phi & 0 & \cos \phi \end{bmatrix} \tag{10}$$

$$R_z(\chi) = \begin{bmatrix} \cos \chi & \sin \chi & 0 \\ -\sin \chi & \cos \chi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{11}$$

onde:

$\lambda$ = fator de escala;

$(\chi, \phi, \omega)$ = ângulos eulerianos que representam as rotações necessárias para tornar os referenciais paralelos;

$(X_0, Y_0, Z_0)$ = Coordenadas da estação de exposição, representando as translações necessárias para a coincidência dos referenciais;

$(X, Y, Z)^T$  = Coordenadas de pontos no referencial geodésico local;

M = matriz de rotação;

$$x = c \frac{m_{11}(X - X_0) + m_{12}(Y - Y_0) + m_{13}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} \quad (12)$$

$$y = c \frac{m_{21}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{23}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)}$$

As equações 12 são denominadas equações de colinearidade e possibilitam o relacionamento matemático de coordenadas de pontos no espaço imagem e espaço objeto.

## 2.4 Erros sistemáticos da imagem fotográfica

Para utilizar corretamente as equações de colinearidade nas suas diversas funções, é necessária a eliminação dos erros sistemáticos da imagem fotográfica que são: o trabalho do filme, a decentragem do sistema óptico, as distorções de lentes e a refração fotogramétrica.

### 2.4.1 Trabalho do filme

O trabalho do filme se refere a deformações devidas a variações das condições atmosféricas como temperatura, pressão e umidade existentes entre o momento da tomada da fotografia e da sua utilização. Outra fonte de deformação é a falta de planificação do negativo no instante de tomada da foto. O modelamento matemático para a correção do trabalho do filme é descrito a seguir.

Segundo MITISHITA (1997), podem ser utilizados três modelos para a correção das distorções do filme. Os modelos utilizados são indicados para câmaras com quatro, oito e mais de oito marcas fiduciais, respectivamente.

O modelo da transformação afim, admite que as deformações estão somente no domínio linear ( ANDRADE, 1981). A formulação matemática é dada por:

$$xf = a_1x_i + a_2y_i + x_0$$

( 13 )

$$yf = a_3x_i + a_4y_i + y_0$$

O modelo da transformação projetiva no plano admite um maior grau de deformação linear, LUGNANI( 1987) e é expresso por:

$$xf = \frac{a_1x_i + a_2y_i + a_3}{a_4x_i + a_5y_i + 1}$$

( 14 )

$$yf = \frac{a_6x_i + a_7y_i + a_8}{a_4x_i + a_5y_i + 1}$$

O modelo da transformação polinomial tem sido utilizado na modelagem de possíveis deformações não lineares presentes nas imagens, MERCHANT (1979).

A formulação matemática para o polinômio de segundo grau pode ser dada por:

$$xf = a_0 + a_1x_i + a_2y_i + a_3x_iy_i + a_4x_i^2 + a_5y_i^2 \quad (15)$$

$$yf = b_0 + b_1x_i + b_2y_i + b_3x_iy_i + b_4x_i^2 + b_5y_i^2$$

## 2.4.2 Distorções de lentes

A componente presente nas deformações causadas pelas lentes pode ser decomposta em distorção radial simétrica e distorção descentrada. A seguir as componentes serão descritas separadamente.

### 2.4.2.1 Correção da distorção radial simétrica

A correção da distorção radial simétrica pode ser definida como sendo a parcela não desejável da refração sofrida por um raio de luz ao atravessar um sistema de lentes, ANDRADE (1998).

As fórmulas para sua correção são:

$$X' = x - \delta x_s \quad (16)$$

$$Y' = y - \delta y_s$$

$$\delta x_s = (k_0 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6)x$$

$$\delta y_s = (k_0 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6)y$$

$$r = (x^2 + y^2)^{1/2}$$

onde:

$(X', Y')^T$  = Coordenadas no sistema fotogramétrico corrigidas da distorção radial simétrica

$(x, y)^T$  = Coordenadas no sistema fotogramétrico

$(k_0, k_1, k_2, k_3)$  = Parâmetros matemáticos que descrevem a distorção radial simétrica para a distância focal calibrada .

### 2.4.2.2 Correção da distorção descentrada

Segundo ANDRADE ( 1998 ), a impossibilidade do fabricante de lentes em alinhar perfeitamente os eixos ópticos que compõem uma objetiva, resulta em deslocamentos na imagem. Trata-se da distorção descentrada, que é composta pelas distorções tangencial e radial assimétrica.

A distorção descentrada pode ser corrigida com as seguintes fórmulas:

$$X'' = X' - \delta xd \quad ( 17 )$$

$$Y'' = Y' - \delta yd$$

$$\delta xd = P_1(r'^2 + 2X'^2) + 2P_2X'Y'$$

$$\delta yd = P_2(r'^2 + 2Y'^2) + 2P_1X'Y'$$

onde :

$(X'', Y'')^T$  = Coordenadas no sistema fotogramétrico corrigidas da distorção descentrada

$(X', Y')^T$  = Coordenadas no sistema fotogramétrico corrigidas da distorção radial simétrica

$(P_1, P_2)$  = Parâmetros matemáticos que descrevem a distorção descentrada, obtidos do certificado de calibração.

## 2.5 Correção da refração fotogramétrica

A refração fotogramétrica se baseia no princípio de que um raio de luz sofre um desvio em sua trajetória teórica de colinearidade entre o espaço imagem e o espaço objeto, passando pelo centro perspectivo, devido as diferenças de intensidade nos índices de refração da atmosfera.

As fórmulas para a correção da refração fotogramétrica segundo (ANDRADE, 1977) são:

$$X''' = X'' - \delta x_r \quad (18)$$

$$Y''' = Y'' - \delta y_r$$

$$\delta x_r = \varepsilon_{45} (1 + r''^2/c^2)x''$$

$$\delta y_r = \varepsilon_{45} (1 + r''^2/c^2)y''$$

onde:

$(X''', Y''')^T$  = Coordenadas no sistema fotogramétrico corrigidas da refração fotogramétrica;

$(X'' Y'')^T$  = Coordenadas no sistema fotogramétrico corrigidas da distorção descentrada;

$(\varepsilon_{45})$  = Parâmetro de refração fotogramétrica média para um ângulo nadiral de 45 graus.

## 2.6 Resseção Espacial de uma Aerofoto

Uma das etapas mais importantes para o trabalho fotogramétrico é a determinação da atitude da câmara no momento da exposição da fotografia. A esta etapa, dá-se o nome de recessão espacial.

A resseção espacial pode ser considerada como a aplicação mais simples das equações de colinearidade. Consiste em determinar os parâmetros de orientação de uma aerofoto no espaço,  $(\kappa, \varphi, \omega)$  bem como seu posicionamento,  $(X_0, Y_0, Z_0)$ , em relação ao referencial geodésico cartesiano local (MITISHITA, 1997).

Os parâmetros de orientação podem ser obtidos utilizando as equações de colinearidade na forma direta, através da resolução de um sistema de equações. Cada ponto com coordenadas conhecidas em ambos os referenciais (Geodésico e fotogramétrico), dá origem a duas equações. Com três pontos tem-se solução única, três equações e três incógnitas. A figura 6 demonstra o posicionamento de uma aerofoto no espaço.

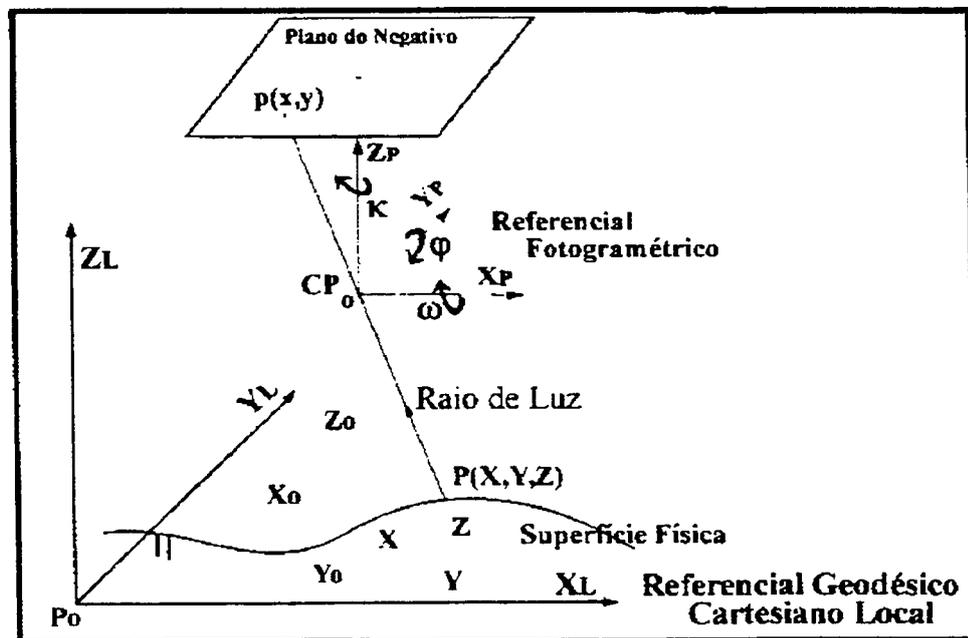
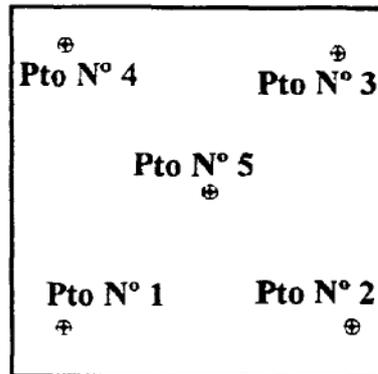


Figura 6: Posicionamento de uma aerofoto no espaço.

Na prática utiliza-se um maior número de pontos, com uma distribuição uniforme ao longo da aerofoto visando assegurar a correta determinação dos parâmetros de orientação, detectar possíveis erros grosseiros e analisar as precisões obtidas (MITISHITA, 1997).

A condição ideal de distribuição dos pontos para resseção espacial em uma aerofoto é mostrada na figura 7.



**Figura 7: Distribuição ideal de pontos em uma aerofoto para resseção espacial**

As equações de colinearidade na forma direta, contêm fotocoordenadas de pontos no referencial fotogramétrico no primeiro membro e coordenadas geodésicas no segundo membro. Considerando uma certa precisão na determinação de ambas as coordenadas, pode-se empregar o ajustamento paramétrico com injunções de peso como o método mais adequado na resolução do sistema (MITISHITA, 1997).

## 2.7 Equações de Colinearidade Inversa

As equações de colinearidade inversa possibilitam a determinação de coordenadas do espaço objeto, em função de observações no referencial fiducial, de parâmetros de orientação das aerofotos e de coordenadas Z no terreno.

$$X = f(c, \kappa, \varphi, \omega, X_0, Y_0, Z_0, x, y, Z)$$

( 19 )

$$Y = f(c, \kappa, \varphi, \omega, X_0, Y_0, Z_0, x, y, Z)$$

onde:

$[x, y]^T$  = Coordenadas de pontos no referencial fotogramétrico;

$[X, Y, Z]^T$  = Coordenadas de pontos no referencial geodésico cartesiano local;

$(\kappa, \phi, \omega, X_0, Y_0, Z_0)$  = Parâmetros de orientação exterior de uma aerofoto no espaço;

$c$  = distância focal da câmara.

Considerando-se o modelo de colinearidade inverso, o referencial cartesiano tridimensional  $(W, U, T)$ , com origem no centro de projeção da aerofoto, paralelo ao referencial cartesiano tridimensional local  $(X, Y, Z)$  (LUGNANI, 1987), conforme mostrado na figura 8.

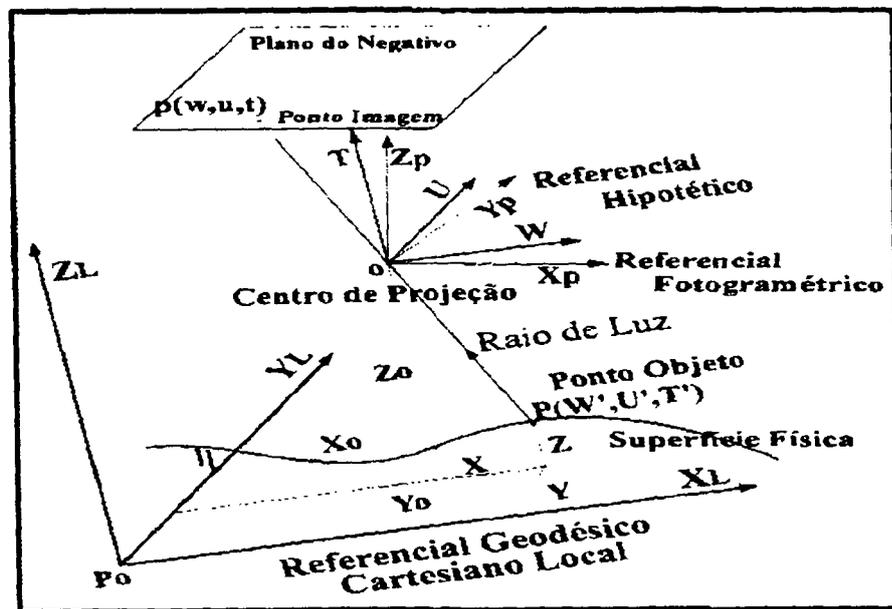


Figura 8: Demonstração das equações de colinearidade inversa.

onde:

$[w', u', t']^T$  = Coordenadas do ponto  $P$  no espaço objeto no referencial hipotético

$[w, u, t]^T$  = Coordenadas do ponto  $p$  no espaço imagem no referencial hipotético

Considerando para fins de dedução do modelo de colinearidade inversa, o referencial hipotético cartesiano tridimensional (  $W, U, T$  ), com origem no centro de projeção da aerofoto, paralelo ao referencial geodésico cartesiano tridimensional local

(  $X, Y, Z$  ) ( LUGNANI, 1987 ), conforme mostra a figura 8.

A equação de colinearidade do ponto  $P$ , centro de projeção, e ponto imagem  $p$ , pode ser dada por:

$$\frac{w}{w'} = \frac{u}{u'} = \frac{t}{t'} \quad (20)$$

Da equação 20 podem ser obtidas duas equações linearmente independentes, descritas por:

$$w' = \frac{t' \cdot w}{t} \quad (21)$$

$$u' = \frac{t' \cdot u}{t}$$

As equações 21 permitem o relacionamento de pontos do espaço imagem com pontos no espaço objeto no referencial cartesiano tridimensional hipotético. Porém apresentam as coordenadas do ponto do espaço imagem num referencial aleatório.

As equações 21 transformam coordenadas de pontos no referencial fotogramétrico para o referencial geodésico local. Pode-se utiliza-las na

transformação de coordenadas de um ponto  $p$  no espaço imagem, com coordenadas no referencial hipotético,  $(w, u, t)$  para o referencial fotogramétrico da seguinte forma:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \lambda M \begin{bmatrix} w \\ u \\ t \end{bmatrix} \quad (22)$$

A inversa é dada por:

$$\begin{bmatrix} w \\ u \\ t \end{bmatrix} = k M^T \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (23)$$

Substituindo  $z$  pela distância focal  $c$  e escrevendo de forma algébrica, tem-se:

$$\begin{aligned} w &= k(m_{11}x + m_{21}y + m_{31}c) \\ u &= k(m_{12}x + m_{22}y + m_{32}c) \\ t &= k(m_{13}x + m_{23}y + m_{33}c) \end{aligned} \quad (24)$$

A diferença entre o referencial hipotético  $(W, U, T)$  e o geodésico local,  $(X, Y, Z)$  é devida a origem adotada. Assim, pode-se expressar as coordenadas do ponto  $P$   $(w', u', t')$  no referencial hipotético em função das coordenadas no referencial geodésico cartesiano local, dadas por:

$$w' = X - X_0$$

$$u' = Y - Y_0 \quad (25)$$

$$t' = Z - Z_0$$

Substituindo as equações 39 e 40 na 36, tem-se:

$$X = X_0 + (Z - Z_0) \frac{m_{11}x + m_{21}y + m_{31}c}{m_{13}x + m_{23}Y + m_{33}c} \quad (26)$$

$$Y = Y_0 + (Z - Z_0) \frac{m_{12}x + m_{22}yy + m_{32}c}{m_{13}x + m_{23}y + m_{33}c}$$

As equações 26 são conhecidas como equações de colinearidade inversa e permitem a determinação de coordenadas planimétricas de pontos no referencial geodésico cartesiano local a partir de coordenadas no referencial fotogramétrico, parâmetros de orientação exterior de uma aerofoto e coordenada ( $Z$ ) do ponto no referencial geodésico local.

## 2.8 Monorestituição

O processo da monorestituição utiliza apenas uma fotografia aérea para a restituição das entidades de interesse. A formulação matemática foi desenvolvida por MAKAROVIK (1973). A determinação de coordenadas planimétricas no terreno é realizada através das equações de colinearidade na forma inversa e de coordenadas

Z obtidas de um MDT. O processo é feito de modo iterativo e consta das seguintes etapas:

- I. As coordenadas do centro de projeção ( $X_0, Y_0, Z_0$ ), assim como os ângulos de rotação da câmara ( $\chi \ \varphi \ \omega$ ), são determinados através da resseção espacial.
- II. Utilizando as coordenadas do ponto, no referencial fotogramétrico, e as equações de colinearidade na forma inversa, determina-se as coordenadas planimétricas aproximadas do ponto. Nesta etapa, a coordenada altimétrica do ponto é inferida como zero.
- III. De posse das coordenadas do ponto no referencial adotado, busca-se no modelo digital do terreno a cota aproximada do ponto. O processo é realizado por interpolação.
- IV. A coordenada planimétrica do ponto é novamente determinada através da equação de colinearidade inversa, e, novamente, interpolando a coordenada altimétrica no MDT.
- V. O número de iterações realizado no processo é função da precisão que se deseja obter, ou seja, se repete até que a diferença entre os valores de duas iterações sucessivas esteja dentro do limite estabelecido.

A figura 9 ilustra a determinação das coordenadas planimétricas de um ponto através de coordenadas no referencial fotogramétrico e coordenadas altimétricas obtidas em um modelo digital de terreno.

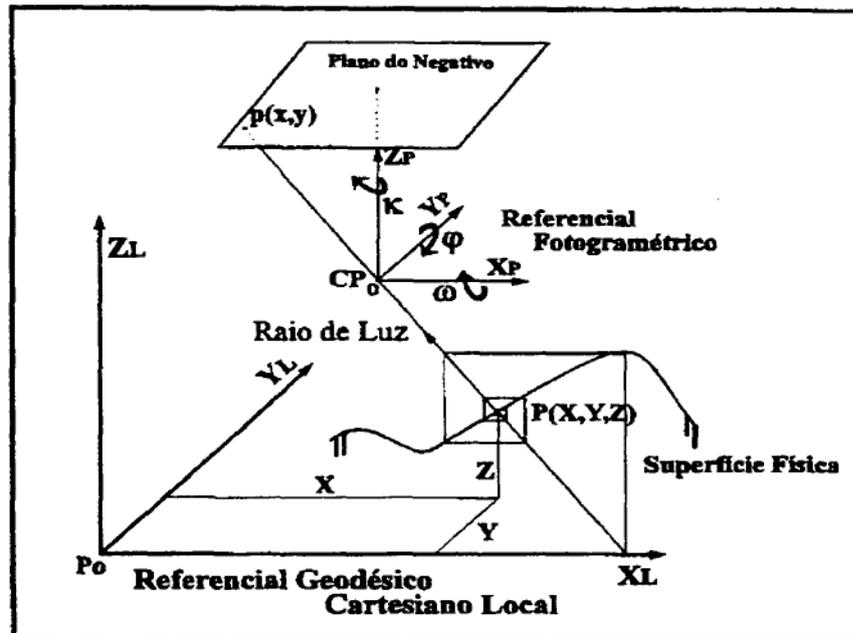


Figura 9: Determinação de  $(X, Y)$  em função de  $Z$ . Fonte: MITISHITA (1997)

## 2.9 Modelo Digital do Terreno

O modelo Digital do Terreno pode ser utilizado como uma base para a obtenção das curvas de nível ou mapa de classes de declive que são indispensáveis na interpretação do relevo da região.

Conforme PETTINATI (1983), o processo de modelagem matemática de superfícies envolve três etapas distintas descritas a seguir.

- A Obtenção de informações da superfície real que possibilitem a caracterização matemática do modelo;
- a elaboração do modelo matemático, composto por estrutura de dados e funções de interpolação que simulem o comportamento da superfície real, e
- a utilização do modelo em substituição da superfície real.

## **2.9.1 Método de coleta de dados**

Os métodos de coleta de dados, referem-se a forma como os pontos são amostrados e podem ser divididos em malha regular, malha irregular, pontos aleatórios, perfilamento e curvas de nível.

### **2.9.1.1 Malha Regular**

A amostragem por malha regular de pontos é um caso particular de obtenção de dados de pontos tridimensionais em um espaçamento pré - determinado entre linhas e colunas. Este tipo de amostragem é utilizado por sistemas analíticos e digitais que permitem a determinação exata do espaçamento entre os pontos. A desvantagem deste método diz respeito a densificação de pontos em regiões onde são desnecessários, como em regiões planas e na falta de informação em áreas onde são importantes, como em regiões mais acidentadas. Outro problema é a possibilidade da não coincidência de pontos com os aspectos naturais do terreno, como em canais de drenagem ou divisores de água.

### **2.9.1.2 Malha irregular**

Consiste na forma mais genérica de obtenção de dados por topografia ou aerofotogrametria. Neste processo não é levado em consideração um espaçamento pré-determinado entre pontos no perfil. Os espaçamentos são definidos em função do tipo de relevo presente na região amostrada.

### **2.9.1.3 Pontos Aleatórios**

Os pontos são observados nas regiões de maior descontinuidade do relevo, como em rios, declives, taludes, espigões.

#### **2.9.1.4 Perfilamento**

Os dados são coletados ao longo de perfis. O registro dos pontos pode ser feito por tempo, distância ou por controle do operador. Com a fixação da coordenada Y, pode-se ler o par ( X,Z ). Com a fixação da coordenada X, pode ser lido o par ( Y, Z ).

#### **2.9.1.5 Perfis irregulares associados a pontos independentes**

Segundo MITISHITA (1997), esta é a forma mais eficiente para a obtenção das informações para modelamento de superfícies. Coleta – se pontos na forma de perfis irregulares como apresentado em 2.10.1.2 e nas regiões de descontinuidade de relevo é feita a amostragem por pontos independentes.

#### **2.9.1.6 Curvas de nível**

As curvas de nível podem ser definidas como isolinhas de mesma cota na superfície do terreno. Desta forma representam a superfície real da região estudada.

A amostragem de um relevo pode ser realizada utilizando curvas de nível. Caso as cartas estejam no formato analógico, elas podem ser digitalizadas via mesa digitalizadora ou “escanerizadas”.

### **2.10 Levantamento de Solos**

O levantamento de solos pode ser amplamente beneficiado pelo auxílio das fotografias aéreas. A presença de elementos de identificação facilita e agiliza o trabalho de delineamento das classes de solos que de outra forma seria lento e dispendioso.

A seguir será feita uma breve descrição das principais classes de solos presentes na área de estudo, segundo o Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná,( EMBRAPA, 1984).

As classes a serem descritas são o Latossolo Vermelho Escuro, o Podzólico Vermelho Amarelo, o Cambissolo, os Solos Litólicos.

### **2.10.1.1 Latossolo Vermelho Escuro**

Sob esta denominação estão compreendidos solos minerais, com horizonte B latossólico, de textura argilosa ou média, ricos em sesquióxidos, porém com teores de óxido de ferro, titânio e manganês menores que os do Latossolo Roxo . São muito profundos, muito porosos e permeáveis, bem a acentuadamente drenados quando de textura argilosa e acentuadamente a fortemente drenados quando de textura média. A seqüência de horizontes é A, B, C, sendo a espessura de A + B maior que 3 metros. A seguir é feita uma breve descrição destes horizontes.

O horizonte A pode ser descrito como um horizonte mineral, superficial, de concentração de matéria orgânica decomposta e perda ou decomposição principalmente de componentes minerais. As características do horizonte A são influenciadas pela matéria orgânica.

O horizonte B pode ser descrito como um horizonte mineral formado sob o horizonte A, e, comparativamente bastante afetado por transformações pedogenéticas, em que pouco ou nada resta da estrutura original da rocha e, mesmo quando remanescentes desta estrutura estejam bem evidentes, prevalece maior expressão de alteração do material parental de sua condição original.

O horizonte C pode ser entendido como um horizonte ou camada mineral inconsolidado sob o *solum*, relativamente pouco afetados por processos

pedogenéticos, a partir do qual o *solum* pode ou não ter sido formado, sem ou com pouca expressão de propriedades identificadoras de qualquer outro horizonte principal.

São solos preponderantemente álicos e distróficos, portanto, fortemente a extremamente ácidos.

São características destes solos, os baixos teores de silte, a baixa relação silte/argila e a absoluta ausência de minerais primários facilmente intemperisáveis, que constituem fonte ou reserva potencial de nutrientes para as plantas.

O gradiente textural, expresso pela razão entre o conteúdo de argila do horizonte B (sem o B<sub>3</sub>), pela média de argila do horizonte A é baixo, evidenciando distribuição de argila relativamente uniforme no *solum*.

Estes solos ocorrem predominantemente em áreas de relevo suave ondulado e praticamente planos, com declives que variam de 1 a 8 %.

O Latossolo Vermelho Escuro está classificado no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos de 1999, como Latossolos - Vermelho.

### **2.10.1.2 Podzólico Vermelho Amarelo**

Sob esta denominação estão compreendidos solos minerais, não hidromórficos, com B textural ( Bt ), argila tanto de atividade baixa quanto alta, seqüência de horizontes A, Bt, C e com variedades eutróficas( alta concentração de bases ) , distróficas( baixa concentração de bases ) e álicas ( saturação por alumínio, Al<sup>+3</sup> ).

O horizonte B textural é um horizonte mineral subsuperficial onde houve incremento de argilas resultante da acumulação devido a processos de iluvião e/ou formação *in situ* e/ou herdado do material de origem e/ou infiltração de argilas no

perfil. O conteúdo de argilas no horizonte B textural é expressivamente maior que o do horizonte A.

Além da presença obrigatória de um horizonte B textural, apresentam, via de regra uma relação  $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$  (  $K_i$  ), relativamente elevada enquanto que as demais características são bastante variáveis.

A profundidade do solum ( A + B ) desta classe varia desde 100 cm a 200 cm ou mais. O horizonte A, que pode ou não apresentar  $A_2$  tem também espessura bastante variável, atingindo principalmente nas variedades que apresentam  $A_2$ , até 100 cm ou um pouco mais, enquanto que nas variedades onde este horizonte  $A_2$  não se faz presente, chega a atingir em torno de 200 cm.

A coloração é também bastante variável entre as diversas unidades desta classe, indo desde vermelho escuro até vermelho amarelada. Ao longo de um mesmo perfil, a intensidade de variação de cores vai depender porém, da unidade considerada, sendo que nas variedades abrupticas, estas variações são bastante intensas, passando de uma coloração clara ou pálida no horizonte A para avermelhada no Bt, enquanto que para a maioria das demais unidades tais variações são menos acentuadas.

O Podzólico Vermelho Amarelo presente na área de estudo foi classificado no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos de 1999, como Argissolo.

### **2.10.1.3 Cambissolos**

Compreende solos minerais não hidromórficos, com horizonte B câmbico, que é um horizonte subsuperficial que sofreu alteração física e química em grau não muito alto, porém o suficiente para o desenvolvimento de cor ou de estrutura. São rasos ou medianamente profundos, moderadamente a bem drenados, com

seqüência de horizontes A, B, C, com transições normalmente claras entre os horizontes e derivados de materiais relacionados a rochas de composição e natureza bastante variável.

São solos com um certo grau de evolução, porém não o suficiente para meteorizar completamente os minerais primários de mais fácil intemperização como o feldspato, mica, horblenda, augita, e outros e não possuem acumulações significativas de óxidos de ferro, húmus e argilas, que permitam identifica-los como possuindo B textural.

Embora alguns solos desta classe possuam espessura superior a 150 cm, ou inferior a 80 cm, a maioria dos perfis examinados são medianamente profundos, entre 80 a 120 cm, sendo que a espessura do horizonte A varia normalmente de 30 a 60 cm, o mesmo ocorrendo com o horizonte subsuperficial ( B ).

Conforme já mencionado, esta classe é composta por solos pouco evoluídos, possivelmente devido à topografia acidentada ou ao material de origem bastante resistente ao intemperismo, ou às superfícies geomórficas tão jovens, que o tempo de atuação dos processos pedogenéticos não foi suficiente para uma intemperização mais profunda do solo, o que explica a presença de minerais primários menos resistentes ao intemperismo nas frações areia grossa e fina e os altos teores de silte.

O Cambissolo presente na área de estudo permanece com a mesma denominação no novo sistema de classificação de solos de 1999.

#### **2.10.1.4 Solos Litólicos**

Compreendem solos minerais, pouco desenvolvidos, que a partir de uma profundidade que varia entre 20 a 80 cm, apresentam rochas consolidadas, pouco ou nada meteorizadas. Este conceito abrange desde solos com horizonte A diretamente

sobre a camada rochosa, até solos com horizonte B relativamente desenvolvidos, porém pouco espesso. A designação aqui empregada é extensiva também a solos que não apresentam rochas consolidadas próximas à superfície, porém com grande quantidade de cascalho, calhaus e matacões, pouco ou nada decompostos.

São solos que apresentam pouca evidência de desenvolvimento de horizontes pedogenéticos.

São formados a partir de diferentes materiais de origem, sendo que no Estado do Paraná, são desenvolvidos de rochas eruptivas básicas e intermediárias, rochas ígneas ácidas, folhelhos, filitos e arenitos.

As características morfológicas deste solos restringem-se praticamente as do horizonte A, o qual varia normalmente entre 15 e 40 cm de espessura, sendo que a cor, textura, estrutura e consistência dependem do tipo de material de origem do solo.

Abaixo do horizonte A ocorrem calhaus e pedras ou ainda, materiais semi-alterados das rochas em mistura com material deste horizonte, por onde penetram as raízes, concorrendo para que a profundidade efetiva destes solos alcance, na maioria dos casos, mais de 80 cm. Não é de todo incomum, por outro lado, a presença de um pequeno horizonte B em início de formação, o qual dificilmente atinge uma espessura maior que 20 cm.

Por serem solos que ocorrem em sua maioria em locais de topografia acidentada, normalmente em relevo forte ondulado e montanhoso e devido à pequena espessura dos perfis, são muito susceptíveis à erosão. Algumas unidades de mapeamento, porém, situam – se em áreas de relevo menos acidentado, o que atenua, em parte, os efeitos provocados por este fenômeno.

Os solos Litólicos presente na área de estudo foram classificados como Neossolos na nova classificação de solos de 1999.

### **2.10.2 Análise da Drenagem e Relevo para Estudos de Solos**

Diversos trabalhos têm sido realizados no campo da Pedologia utilizando fotografias aéreas, levando em consideração parâmetros de drenagem e declividade.

Segundo LUEDER ( 1959 ) a drenagem, depois do relevo, pode ser considerada como a maior fonte de informação em relação as reais condições do solo.

FROST ( 1960 ) cita que a maneira pela qual a água atinge a superfície do solo mostra indícios do material de origem na sua composição. RAY ( 1963 ), nesta mesma linha de raciocínio comenta que a densidade de drenagem num dado ambiente está relacionada com a resistência dos materiais de origem a erosão.

A drenagem e o relevo são parâmetros de grande valor para estudos de solos, pois além de estarem diretamente ligados às características da classe de solo presente, podem ser obtidos diretamente da análise e interpretação de fotografias aéreas. A seguir, os parâmetros serão estudados individualmente.

### **2.10.3 Drenagem para Estudos de Solos**

A drenagem, sendo aqui representada como a soma dos canais permanentes e temporários é o resultado da relação Infiltração / Deflúvio e pode ser considerada como um reflexo das condições internas dos solos a que estão sobrepostas. Solos com menor capacidade de infiltração, terão uma maior quantidade de canais.

A utilização da rede de drenagem superficial como parâmetro de diferenciação de classes de solos vem sendo utilizada desde a década de 60 e pode ser

considerada como uma das mais importantes variáveis neste campo. Estas constatações são corroboradas por FRANÇA (1968), SILVA et al ( 1988), VETORAZZI ( 1988 ), ROCHA ( 1993), BECEGATO ( 1999 ) e outros.

Os parâmetros utilizados na avaliação da composição da rede de drenagem, conforme propostos por STRAHLER (1957), são:

- a) A ordem de ramificação ( $w$ ):
- b) O número total de segmentos de rios (  $N_w$ ,  $N_t$  ): corresponde ao número de segmentos de rios em cada ordem e ao número total da amostra.
- c) Comprimento total de rios (  $L_w$ ,  $L_t$  ): correspondem ao comprimento dos segmentos de rios de cada ordem e ao comprimento total de segmentos de rios em Km.

Segundo RAY & FISCHER ( 1960 ),

- d) Comprimentos médios de segmentos de rios (  $L_{mc}$  ): correspondem à relação entre a soma dos comprimentos de rios de cada ordem ( $L_w$ ) e o número de segmentos de rios da respectiva ordem ( $N_w$ )

Na análise do padrão de drenagem os parâmetros propostos por HORTON, (1945) são:

- a) densidade de drenagem ( $D_d$ ): calculada pela relação entre o comprimento total de canais ( $L_t$ ) e a área da amostra ( $A$ );
- b) Freqüência de rios ( $C_f$ ): composta pela relação entre o número total de rios ( $N_t$ ) e a área ( $A$ );
- c) Razão de textura ( $T_c$ ): calculada pela relação entre o número total de segmentos de rios ( $N_t$ ) e o perímetro ( $P$ ) da bacia;

A análise da rede de drenagem tem sido bem documentada na literatura. FURTADO et al (1996), encontrou resultados positivos na avaliação de classes de

solos, trabalhando com os parâmetros densidade de drenagem, frequência de rios e razão de textura em fotografias aéreas na região de Capanema no Pará. As classes de solos presentes na região foram o Latossolo Amarelo Álico, Podzólico Amarelo Álico, Glei Pouco Húmico, Solos aluviais e Areias Quartzosas.

DEMATTE e DEMETRIO (1998), estudou solos em quatro regiões do Paraná, desenvolvidos em rochas eruptivas ácidas e básicas, utilizando fotografias aéreas na escala 1:25.000, nas quais foram locadas amostras circulares de 10 Km<sup>2</sup>. Os parâmetros analisados foram a densidade de drenagem, o número de segmentos de rios de primeira ordem e o comprimento total da rede de drenagem. A densidade de drenagem é obtida pela relação entre o comprimento total de rede no interior da amostra circular e a área da mesma (em Km<sup>2</sup>). As classes de solos estudadas foram o Brunizem Avermelhado, Terra Roxa Estruturada e o Latossolo Roxo para as rochas eruptivas básicas e o Latossolo Bruno e a Terra Bruna Estruturada para as rochas eruptivas ácidas. Concluiu-se que os dados quantitativos da rede de drenagem foram eficientes na discriminação de unidades de solos.

As densidades de drenagem obtidas para os diferentes tipos de solos foram: 7,65 para Brunizem Avermelhado; 3,41 para Terra Roxa Estruturada; 1,14 para Latossolo Roxo; 3,62 para Latossolo Bruno e 8,40 para Terra Bruna Estruturada.

FRANÇA e DEMATTE (1990), estudou a drenagem de solos de uma área na região de Iracemápolis, estado de São Paulo, utilizando os parâmetros ordem de ramificação, textura de drenagem (expressa pela razão entre o número de segmentos de primeira ordem e o perímetro da bacia), número, comprimento total e comprimento médio de segmentos de rios em amostras circulares e em bacias. Os resultados demonstraram a possibilidade de separação entre Latossolos e Solos Podzólicos, e também na separação de amostras compostas por associações de

ambos os tipos de solos. A densidade de drenagem foi o parâmetro mais eficiente na discriminação dos solos em questão.

A densidade de drenagem obtida foi de 1,00 a 1,15 para Latossolos e 3,63 a 4,53 para Podzólicos.

A frequência de rios foi de 0,84 a 1,0 para Latossolos e 7,13 a 11,83 para Podzólicos.

SILVA e PFEIFER (1986-88) utilizou amostras circulares de 2,5 Km<sup>2</sup> em uma área do Parque Estadual de Carlos Botelho, São Paulo, constituído de cinco unidades de mapeamento: Latossolo Vermelho-Amarelo; Latossolo Vermelho-Amarelo intergrade para Podzólico Vermelho-Amarelo; Podzólico Vermelho-Amarelo intergrade para Latossolo Vermelho-Amarelo; Litossolos substrato granito-gnaiss. Os resultados demonstraram que:

1. A análise quantitativa dos padrões de drenagem revela comportamentos hidrológicos distintos entre as unidades de mapeamento;
2. As características quantitativas possibilitaram diferenciar os solos com B - Textural dos solos com B – Latossólico;
3. O número de rios, a sua frequência, e seu comprimento foram os parâmetros dimensionais que mais influenciaram na diferenciação das unidades de solos, distinguindo os solos bem desenvolvidos dos pouco desenvolvidos.

CARVALHO et al (1992), estudando solos da Serra do Mar no estado de São Paulo, utilizaram bacias de terceira ordem de ramificação na diferenciação das unidades de mapeamento Latossolo Vermelho-Amarelo e associação Latossolo Vermelho-Amarelo + Solos Litólicos. Os resultados demonstraram que para a unidade de solo Latossolo Vermelho-Amarelo + Solo Litólico havia uma maior

densidade de drenagem, fator que pode ser explicado pela menor relação infiltração / deflúvio.

BARROS et al (1996), avaliou as variáveis dimensionais de bacias de terceira ordem de ramificação no Município de Itobi, estado de São Paulo, através de técnicas de fotointerpretação. Os resultados demonstraram que a metodologia foi eficiente na determinação das unidades Podzólico Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho- Amarelo. As variáveis dimensionais que mais contribuíram das bacias são as apresentadas conforme a seguinte ordenação: Área ( A ); Perímetro ( P ); Comprimento do rio principal ( RP ); e maior comprimento da bacia ( CR ).

SILVA e PFEIFER (1986), procurou testar a sensibilidade dos índices que compõem a rede de drenagem obtidos em amostras circulares, na diferenciação de três unidades de solos mapeadas a nível de reconhecimento no Município de São Manuel, estado de São Paulo. Concluiu-se que:

1. As variáveis número e comprimento total de segmentos de rios correlacionados até a terceira ordem e ramificação permitiram discriminar os solos com valores decrescentes na seqüência: Terra Roxa Estruturada( TE ), Latossolo Vermelho-Amarelo ( Lva), Regossolo intergrade para Podzólico Vermelho--Amarelo e intergrade para Latossolo Vermelho-Amarelo ( RPV – RLV );
2. A razão de ramificação (Rb) e a de comprimentos totais (RLw) foram sensíveis para diferenciar a unidade de solo TE das unidades RPV – RLV e LVa;
3. O comprimento total de rios foi mais eficiente que o número total de rios para diferenciar os solos. O número total de rios discriminou apenas a TE dos solos RPV – RLV e LVa, enquanto o comprimento total de rios discriminou também os solos RPV e RLV dos solos LVa;

4. A densidade de drenagem foi mais eficiente que a frequência de rios e a razão de textura na diferenciação dos solos nas mesmas proporções que as variáveis da composição da rede, comprimento e número total de rios, decorrentes da amostragem circular.

Segundo PARVIS(1950), citado por FRANÇA(1990), a obtenção de dados sobre propriedades de solos deve ser baseada em bacias de terceira ordem de ramificação, pois para bacias de ordem superior as informações dizem respeito mais ao substrato que ao solo propriamente dito.

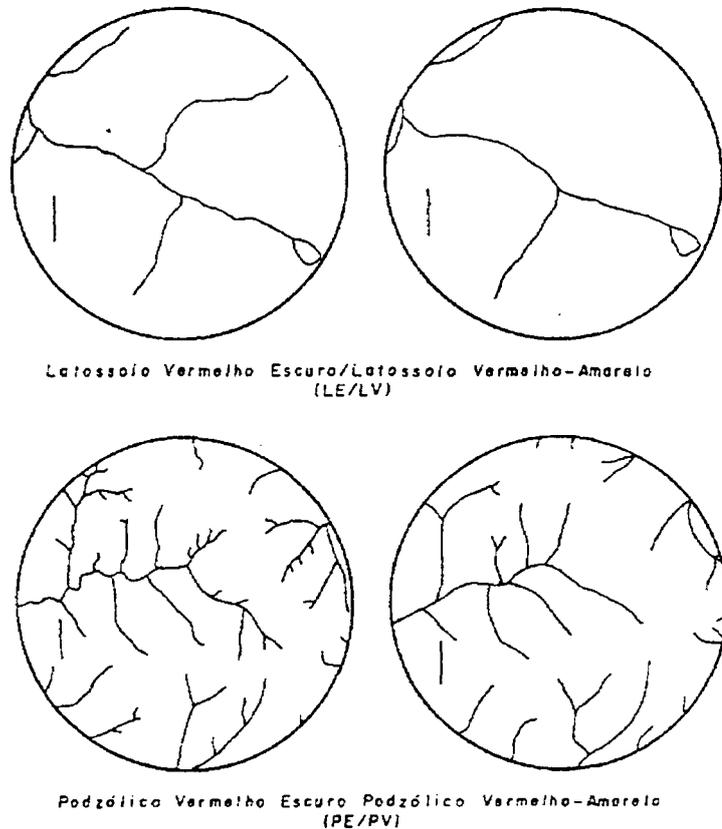
Dentro desta abordagem, KRISHNAMURTHY et al (1996), trabalharam com três bacias da região de Karnataka, Índia, estudando três diferentes tipos de material de origem. Utilizaram a mesma metodologia proposta por STRAHLER(1957). O estudo dos padrões da drenagem demonstrou ser possível a delimitação dos três substratos presentes na área, Gnaisse, Xisto e Granito, que apresentaram, respectivamente, padrões de drenagem dendrítico a sub-dendrítico, treliça e paralelo a retangular.

SANTIL(1995), trabalhando na bacia do Ribeirão Santo Anastácio, oeste de São Paulo, avaliou os parâmetros de drenagem na discriminação entre solos Podzólicos e Latossolos. Os parâmetros número total de rios, comprimento total de rios, densidade de drenagem, frequência de rios e razão de textura foram eficientes na separação das unidades de solo presentes na área. A figura 10 mostra os padrões de drenagem para solos Podzólicos e Latossolos.

#### **2.10.4 Relevo em Estudos de Solos**

A utilização das informações do relevo é de grande utilidade nos levantamentos de solos. Uma das formas de se avaliar parâmetros do relevo é a utilização de curvas de nível. As curvas de nível podem ser obtidas pela interpolação

do MDT, que pode ser obtido de diversas formas, entre elas a Varredura monoscópica de pontos homólogos nas fotografias aéreas.



**Figura 10 Padrões de drenagem de solo Podzólico e Latossolo.**

Fonte: SANTIL ( 1995 )

Os trabalhos relacionando solos e relevo, são abundantes na literatura. KEMPER (1979), trabalhando em uma área no centro do Piauí, utilizou fotografias aéreas associadas a informações de relevo na determinação de classes de solos. Foi possível delimitar unidades da paisagem compostas por Latossolos em áreas com relevo entre 1 e 5 %. Obteve também informações sobre solos periodicamente inundados, que ocorrem em áreas de relevo plano. Estes solos apresentam características de sedimentação de partículas finas devido ao fato de a água não escorrer ou drenar no perfil do solo, permanecendo assim constantemente alagadas.

ROCHA (1982), estudando a área da bacia sedimentar de Curitiba, cita que as planícies aluviais podem ser facilmente determinadas em fotografias aéreas devido a elementos como diques, canais abandonados, planícies de inundação e a seu relevo praticamente plano. Estes elementos, quando bem analisados são extremamente úteis pois os grupos de solos que ocorrem nestas unidades possuem características distintas. Foi determinado também que em vertentes abruptas e curtas, ocorreram Cambissolos, enquanto em vertentes moderadas e longas houve ocorrência de solos Rubrozem, muitas vezes com caráter de transição para Podzólico.

SHERSTHA et al (1988), trabalhando com levantamento de solos em Larisa, na Grécia, utilizou fotografias aéreas na determinação da drenagem e relevo para determinação de classes homogêneas. Os parâmetros de drenagem adotados foram a intensidade de drenagem, em Km de comprimento por Km<sup>2</sup> de unidade de mapeamento; comprimento máximo do canal principal; freqüência em porcentagem de solos relacionado com a fisiografia e a posição dentro do relevo.

O resultado demonstra que três unidades puderam ser delimitadas;

- T11 : padrão de drenagem sub – paralelo, com relevo de 10 % ;
- T12 : padrão de drenagem treliça, com relevo menor que 10 % ;
- T13 : padrão de drenagem irregular, com relevo maior que 10 % .

ADU (1981), trabalhando na região da Bacia do Rio Nasia, em Gana, encontrou cinco unidades reconhecíveis na paisagem de acordo com o relevo;

1. Escarpas: caracterizadas por região muito dissecada, relevo montanhoso, com declividades maiores que 30 %;
2. Terras altas: região bem dissecada, com declividade variando entre 16 e 30 %;

3. Relevo de Piedmont : é uma zona de acumulação, onde materiais carreados das partes mais altas se deposita. A declividade varia de 8 a 16 %.
4. Região de relevo suave ondulado: declividades variando entre 2 a 8 %;
5. Bacia do rio Nasia: caracterizado por regiões com declividade entre 0 a 2 %.

CARVALHO et al ( 1990 ), utilizaram os seguintes parâmetros de relevo no levantamento de classes de solos:

Segundo SCHUMM ( 1956 ), a altitude média ( HM em metros ); amplitude altimétrica ( H em metros ); razão de relevo ( Rr ).

Segundo STRAHLER ( 1952 ), a integral hipsométrica ( IH ).

Segundo VIEIRA ( 1978 ) a integral volumétrica ( IV ).

Os autores obtiveram resultados positivos em relação aos parâmetros avaliados na seguinte ordem de importância: HM, H, IH, Rr, e IV

CARVALHO et al ( 1992 ) encontraram os seguintes valores para dados de relevo em solos da Serra do Mar em Picinguaba:

Para Latossolo Vermelho – Amarelo a altitude média foi de 610 a 748 metros e a amplitude altimétrica 409 a 447. A razão de relevo variou entre 0,337 e 0,339.

Para Associação entre Latossolo Vermelho – Amarelo e Litólicos os valores foram de 409 a 528 de altitude média e 203 a 245 para amplitude altimétrica. A razão de relevo teve valores entre 0,200 e 0,307.

De acordo com CARVALHO et al ( 1990 ) os valores de índices de relevo no município de Botucatu apresentaram os seguintes valores:

Para Latossolo Vermelho – Amarelo os valores da altitude média foram de 837 a 860. Para amplitude altimétrica os valores foram de 58 a 72 e para razão de relevo de 0,04 a 0,06. Para solos litólicos os índices foram de 624 a 643 metros para altitude média; 74 a 285 metros para amplitude altimétrica e 0,11 a 0,14 para razão

de relevo. Para solo de transição entre Podzólico e Latossolo Vermelho – Escuro os índices foram de 504 a 527 metros de altitude média; 86 a 103 metros para amplitude altimétrica e 0,03 a 0,05 para razão de relevo.

### **2.10.5 Delimitação de Unidades Fisiográficas (U. F. )**

A delimitação de unidades fisiográficas para levantamentos de solos visa identificar diferentes feições presentes na paisagem e que sejam identificáveis em fotografias aéreas. Para tal utiliza-se diferentes fontes de informação como a drenagem, o relevo, a posição na paisagem, a tonalidade fotográfica, o uso do solo.

BRINK et al (1966), define as unidades fisiográficas como unidades de mapeamento morfológico, ou como uma área com padrão definido de fisionomias do terreno que estão geneticamente correlacionadas.

Segundo BURINGH(1960), a maior parte das características da paisagem está, de alguma forma, associada às condições de diferentes classes de solos.

GOOSEN (1967), cita que qualquer elemento na paisagem pode estar relacionado a uma unidade de mapeamento de solo, e, qualquer mudança no elemento, pode estar associada a uma mudança na classe de solo.

### **2.10.6 Análise de elementos na delimitação de U. F.**

A análise de elementos é uma técnica de levantamento que se utiliza de detalhes identificáveis em fotografias aéreas, visando agilizar o processo de aquisição de informações sobre as diferentes classes de solos presentes na região.

Segundo GOOSEN (1967), a análise de fotografias aéreas em relação a elementos individuais, desenvolvido por BURINGH (1960), está baseado no fato de que a maior parte das características da superfície da Terra está de alguma forma relacionado com as condições da classe de solo presente. Para alguns elementos,

como o relevo, a correlação é direta, enquanto que para outros, como o uso do solo, a correlação é menor. O relevo desempenha um papel importante na determinação da natureza e magnitude dos diferentes processos de formação de solos, tais como a erosão e a drenagem.

### **2.10.7 Análise de Agrupamentos para Levantamentos de solos**

A análise de Agrupamentos ou análise de clusters tem grande utilização em trabalhos de levantamentos de solos.

A idéia básica é a de agrupar classes de solos ou unidades fisiográficas em classes homogêneas, tendo como parâmetros de diferenciação elementos da paisagem observáveis em fotografias aéreas ou de outras fontes.

Diversos autores têm se utilizado desta técnica em levantamentos pedológicos.

VETTORAZZI (1988), utilizando a análise de agrupamentos verificou a separação de cinco classes de solo; solos Litólicos, Latossolos com rede de drenagem ausente, Latossolos com rede de drenagem definida, solos com B textural, predominando Podzólicos Vermelho Amarelo, associações entre solos com B textural, e, entre estes e solos com B latossólico.

CARVALHO et al (1990), utilizou a análise de agrupamentos e a análise de componentes principais na delimitação de classes de solos, no município de Botucatu - SP. Os resultados demonstraram a separação de três classes correspondentes a solos litólicos, latossolo vermelho amarelo fase arenosa e regossolo intergrade para latossolo vermelho amarelo.

NANNI ( 1997), visando a realização de um levantamento de solos a nível de semi – detalhe no município de Ivatuba - PR, utilizou a análise de agrupamentos para

a delimitação de unidades fisiográficas, cujos limites e subdivisões não se restringissem apenas ao critério do fotointérprete . Para tal foi utilizada uma matriz de dados obtida do cruzamento entre informações de relevo, drenagem e imagens do satélite TM – LANDSAT, nas bandas 3, 4, 5, 7. Os resultados demonstraram a separação de 62 polígonos, correspondentes a nove unidades fisiográficas presentes na região.

### **2.10.8 Levantamento de Campo**

Após a delimitação das unidades fisiográficas, torna-se necessária a realização de um levantamento de campo. O objetivo é a verificação dos solos presentes nas U.F., a descrição de perfis característicos das unidades de solos presentes e a coleta de amostras para a realização de análises de laboratório visando a determinação de parâmetros físicos e químicos.

O procedimento adotado atualmente é baseado nas recomendações da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Os procedimentos citados a seguir são propostos por LEMOS (1996).

A descrição morfológica de perfis de solo é constituída pelo registro metodizado das suas características, através do estudo e do exame do solo em seu meio e condição naturais.

As descrições completas dos solos, que devem ser feitas quando do estudo do perfil no campo, devem incluir a identificação dos horizontes e as descrições das características morfológicas de cada um, individualmente, caracterizando a espessura, cor, textura, estrutura, consistência, transição entre horizontes e demais características.

Uma vez descrito o perfil de solo, deve – se proceder à coleta de amostras de horizontes ou camadas de perfis que serão enviadas ao laboratório para serem submetidas às análises químicas, físicas e mineralógicas.

As amostras para caracterização analítica de fertilidade devem ser coletadas das partes superficial e subsuperficial do solo. As amostras da parte superficial devem ser coletadas de uma profundidade de 0 a 20 cm. As amostras de subsuperfície devem ser coletadas de 50 a 70 cm, e de 100 a 120 cm.

As profundidades aqui mencionadas podem variar em função da espessura e das características morfológicas do solo.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 ESCOLHA DA ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo localiza-se no Segundo Planalto Paranaense, sendo pertencente ao município de Carambeí, denominada Fazenda Esteio e constituindo uma área de aproximadamente 1000 ha.

A vegetação presente é do tipo Subtropical Perenifólia entremeada de vegetação de campo.

O clima da região pode ser inserido no tipo Cfb, subtropical úmido, sem estação seca, com verões brandos e geadas freqüentes.

A escolha desta área se deve a diversos motivos, como a utilização de tecnologia de ponta, a grande variabilidade dos solos presentes, os experimentos recentes realizados em relação a agricultura de precisão e, principalmente, a disponibilidade de fotografias aéreas recentes e todo o material complementar como apoio de campo e imagens digitais.

As tecnologias utilizadas são uso de plantio direto, correções e adubações localizadas e uso de sementes melhoradas.

A agricultura de precisão pode ser entendida como a aplicação de insumos e sementes em locais pré-determinados em relação a condições específicas de solos como a fertilidade. Estas operações localizadas são possíveis graças ao conhecimento detalhado da área e ao uso de máquinas como tratores e colheitadeiras acopladas a um GPS ( Global Positioning System ).

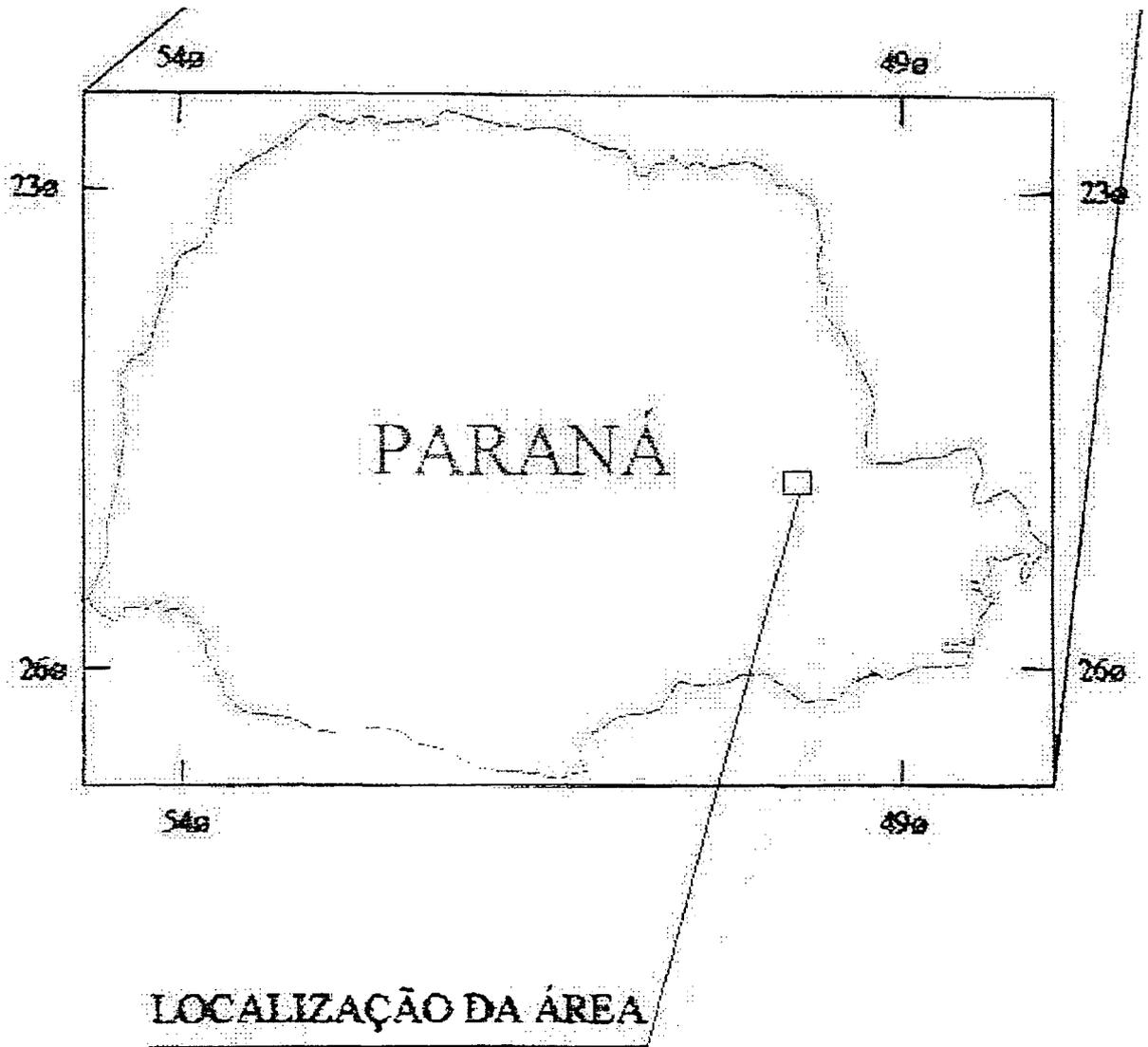


Figura 11: Área de estudo.

### 3.2 MATERIAIS

O desenvolvimento deste trabalho contará com os seguintes materiais para a sua realização:

- Fotografias aéreas analógicas e digitais da área de estudo em escala 1:25.000, do voo do Paraná - Cidade de 1997;

- Grade regular de pontos com coordenadas x, y, z, espaçados de 30 metros no terreno, totalizando 34.000 pontos em coordenadas LTM conforme exemplo abaixo;

200610.0000	2233230.0000	833.6546
200640.0000	2233230.0000	833.1517
202380.0000	2233290.0000	883.9481
202410.0000	2233290.0000	882.8879
202440.0000	2233290.0000	882.8812
202470.0000	2233290.0000	883.4092
202500.0000	2233290.0000	883.4427

- Pontos obtidos por aerotriangulação ;
- Software Microstation, com o módulo de gerenciamento de imagens DESCARTES;
- Software Monorestituído Digital;
- Software STATISTICA;
- Software DATA-GEOSIS;
- Microcomputador;
- Receptor GPS;
- Estereoscópio de espelhos;

### 3.3 METODOLOGIA

A metodologia descrita representa os procedimentos utilizados relativos ao processo de Monorestituição quanto ao seu funcionamento e, especificamente, quanto a sua adequação ao Levantamento de solos.

As etapas a seguir compõem a metodologia proposta:

- Traçado da rede de drenagem;
- Geração das curvas de nível;
- Geração do mapa de declividades;
- Registro das fotografias aéreas;
- Sobreposição dos vetores às fotografias aéreas;
- Mapeamento e Caracterização das unidades fisiográficas;
- Retificação dos arquivos vetoriais;
- Coleta de dados das unidades fisiográficas;
- Análise de Agrupamentos;
- Caracterização Pedológica das Unidades Fisiográficas;

### **3.3.1 Traçado da rede de drenagem**

A determinação da rede de drenagem consiste em uma etapa importante no levantamento de solos pois gera uma primeira compartimentação das diferentes unidades fisiográficas presentes na região.

A interpretação dos canais será obtida em estereoscópio de espelhos, visto que são informações dependentes do relevo e desta forma visíveis através de visão tridimensional.

A rede de drenagem será extraída através de fotografias analógicas recobertas de um papel poliéster e de sua posterior digitalização nas imagens digitais. Estas duas etapas são descritas, pormenorizadamente, na seqüência.

#### **3.3.1.1. Traçado analógico da rede de drenagem**

Para esta etapa serão utilizadas fotografias analógicas sobrepostas de um papel poliéster onde serão traçados os canais de drenagem, cursos de água, perenes ou temporários, desde que constantes do sistema de drenagem, conforme orientação de LUEDER ( 1959 ) e RAY ( 1963).

O resultado desta etapa será um filme que sobreposto à fotografia define a rede de drenagem.

#### **3.3.1.2. Traçado digital da rede de drenagem**

À partir do poliéster obtido da interpretação das fotografias analógicas, será realizada a digitalização dos canais no software Microstation, sobre a fotografia digital. A visualização dos canais de drenagem será feita seguindo a orientação das fotografias analógicas sobrepostas do poliéster contendo a drenagem, e, observando-se, nas imagens digitais, o comportamento e os padrões do terreno.

A base para a digitalização da drenagem será a fotografia analógica sobreposta do poliéster onde estejam representados os canais.

Para facilitar as análises dos variáveis de drenagem os canais serão digitalizados segundo sua ordem de ramificação, ou seja, separados os canais de primeira, segunda e terceira ordem. Um canal de segunda ordem é o resultado da união de dois ou mais canais de primeira ordem. Um canal de terceira ordem é formado pela união de dois ou mais canais de segunda ordem.

Através das informações das bacias de drenagem, serão separadas todas as classes que possam ser identificadas. Esta segmentação será o primeiro passo para a delimitação das Unidades Fisiográficas existentes.

### **3.3.2 Geração do mapa de declividades ( Separação em áreas homogêneas)**

O objetivo do mapa de declividades será o de fornecer uma primeira idéia da conformação do relevo que apoiará a separação de grandes unidades com características semelhantes, que podem ser indicativas de mudanças de classes de solos.

As classes utilizadas serão divididas em declividades de 0 a 3 %, 3 a 8 %, 8 a 12 %, 12 a 20 %, 20 a 45 % e > 45%, segundo EMBRAPA, ( 1999 )

O mapa será gerado através do Software DATA GEOSIS e utilizará da malha regular de pontos com coordenadas X,Y,Z, no referencial cartográfico adotado, com 34.000 pontos.

Como não é possível a sobreposição direta das informações do mapa de declividades, visto se tratar de arquivo matricial, será realizada uma separação visual do mapa em classes homogêneas de relevo, visando a sobreposição do arquivo

sobre as fotografias e maior facilidade de interpretação dos dados para o traçado das unidades fisiográficas.

Desta forma serão separadas, manualmente, grandes unidades referentes ao relevo presentes na área e que podem indicar mudanças de solos segundo proposto por GOOSEN ( 1967).

Estas unidades serão numeradas segundo sua classe de relevo para posterior análise com os demais níveis de informação.

### **3.3.3 Geração das curvas de nível**

A necessidade da visualização e interpretação de formas e padrões que podem ser indicativos da presença de diferentes classes de solos levou à busca de uma forma mais precisa para a representação do relevo.

As curvas de nível foram eleitas como o meio mais adequado para esta finalidade por se tratar de entidades vetoriais facilmente sobrepostas às fotografias no formato digital.

Após a delimitação manual das grandes unidades de relevo presentes, através da utilização do mapa de declividades, as curvas de nível serão utilizadas na demarcação mais precisa dos limites entre as unidades fisiográficas, através de interpretação visual.

As curvas também fornecem informações sobre classes de solos que não podem ser identificadas pelas classes de declive, como informações sobre a conformação das encostas, dados sobre as vertentes e a paisagem como um todo.

A escolha do espaçamento das curvas de nível será baseada na relação entre a melhor qualidade visual possível dos arquivos vetoriais sobrepostos às fotografias, em contrapartida com o menor espaçamento possível.

As curvas de nível serão obtidas com o auxílio do software Data Geosis, com diferentes espaçamentos; 1, 2, 5 e 10 metros de equidistância entre curvas, com vistas a obter a relação mais adequada entre qualidade visual e espaçamento.

### **3.3.4 Registro das fotos aéreas**

Para que se possa obter o traçado das unidades fisiográficas será necessária a visualização simultânea das informações de drenagem e relevo da região, informações estas que deverão ser sobrepostas às imagens digitais para que se possa utilizar as características presentes relativas às fotografias aéreas.

Como o nível de informação do relevo, se situa em um referencial cartográfico, será necessário o registro da fotografia aérea em relação ao mesmo, para a sobreposição do arquivo vetorial.

O registro da fotografia aérea será realizado através do software gerenciador de imagens Descartes, transformando a fotografia para o referencial adotado. Para a realização desta etapa, serão utilizados pontos de coordenadas conhecidas em ambos os referenciais, UOR e LTM, que estão marcados nas fotografias.

A transformação utilizada será a transformação afim no plano, presente no software DESCARTES.

A qualidade do processamento do registro será visualizada pela análise dos resíduos da transformação utilizada.

### **3.3.5 Mapeamento e Caracterização das unidades fisiográficas**

Através dos mapas da rede de drenagem, das informações das fotografias, do mapa de classes de declive e das curvas de nível, será realizada uma nova compartimentação da área, desta vez em relação ao relevo, visto que a drenagem é

utilizada anteriormente para uma separação prévia de todas as unidades que pudessem ser visualizadas . Estas são denominadas de unidades fisiográficas, que podem ser entendidas, como unidades de mapeamento morfológico, ou como "uma área com padrão definido de fisionomias do terreno que estão geneticamente relacionada", BRINK et al ( 1966 ).

Segundo GOOSEN ( 1967 ), este procedimento se baseia nos fundamentos da análise de elementos, a qual parte do princípio de que qualquer elemento da paisagem pode estar relacionado a uma unidade de mapeamento de solo, e, qualquer mudança no elemento pode estar relacionada a uma mudança de classe de solo.

Desta forma foram analisadas mudanças de relevo que possam ser identificadas e que em conjunto com informações das fotografias possam identificar uma classe de solo. As mudanças de relevo foram analisadas através da visualização do relevo com o auxílio do mapa de declividades e das curvas de nível.

A seguir cada unidade será numerada e os arquivos que se encontravam no referencial UOR, serão retificados pelo software Monorestituídor digital para que se procedesse a coleta de dados das variáveis envolvidas.

### **3.3.6 Retificação dos arquivos vetoriais**

Para que fosse possível a coleta dos dados das variáveis que foram utilizadas na análise de agrupamentos foi necessário que os arquivos vetoriais estejam em um referencial cartográfico, visto que os valores das variáveis foram coletados em metros, para a utilização dentro da análise estatística.

Para que isto ocorra, as cartas referentes as unidades fisiográficas e a drenagem serão retificados no através do software Monorestituição digital.

Na seqüência são demonstradas as fases deste procedimento.

### **3.3.6.1. Orientação interior**

A orientação interior visa a definição do referencial fotogramétrico da fotografia.

A forma para sua realização consiste na leitura das marcas fiduciais no referencial de máquina. De posse das coordenadas será realizada uma transformação matemática, no caso a transformação afim no plano, para a definição do referencial fiducial. A transformação para o referencial fotogramétrico será feita através de uma translação.

### **3.3.6.2. Orientação espacial aproximada**

A orientação espacial aproximada tem como objetivo a determinação de um modelo matemático aproximado para ser empregado na transformação de pontos do referencial fotogramétricos para coordenadas planas no referencial geodésico local e detectar possíveis erros grosseiros nos pontos de apoio.

A transformação projetiva no plano é utilizada como o modelo matemático para esta etapa e fornece coordenadas geodésicas locais no plano que serão utilizadas no processo iterativo de transformação entre os espaços imagem e objeto.

Segundo MITISHITA ( 1997 ), a transformação projetiva pode aproximar os valores de superfície e apresentar resultados satisfatórios para as necessidades da aplicação, principalmente quando não se tratar de relevo acidentado.

As equações da transformação projetiva são dadas por:

$$XL = \frac{a1x_p + a2y_p + a3}{a4x_p + a5y_p + 1} \quad (27)$$

$$YL = \frac{a6x_p + a7y_p + a8}{a4x_p + a5y_p + 1}$$

onde:

XL, YL : coordenadas dos pontos no referencial geodésico local

X<sub>p</sub>, y<sub>p</sub> : coordenadas dos pontos no sistema fotogramétrico

a1,a2,a3,a4,a5,a6,a7,a8: parâmetros de transformação

### 3.3.6.3. Orientação espacial exata

A orientação espacial exata consiste na determinação dos parâmetros de orientação exterior da fotografia aérea (  $\kappa$ ,  $\varphi$ ,  $\omega$ ,  $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$  ). Para a determinação destes parâmetros serão utilizadas as coordenadas dos pontos fotogramétricos no sistema fotogramétrico e na projeção cartográfica adotada, as equações de colinearidade na forma direta, através do ajustamento paramétrico com injunções de peso. Os resultados da orientação são de vital importância pois entram diretamente no processo de retificação planimétrica.

### 3.3.6.4. Transformação entre referenciais

Para proceder a transformação entre o referencial de máquina e o referencial cartográfico será utilizado o processo da monorestituição proposto por MAKAROVIK, (1973 ), através do software Monorestituidor digital desenvolvido por MITISHITA, ( 1998), que consiste em um processo iterativo dividido nas seguintes etapas:

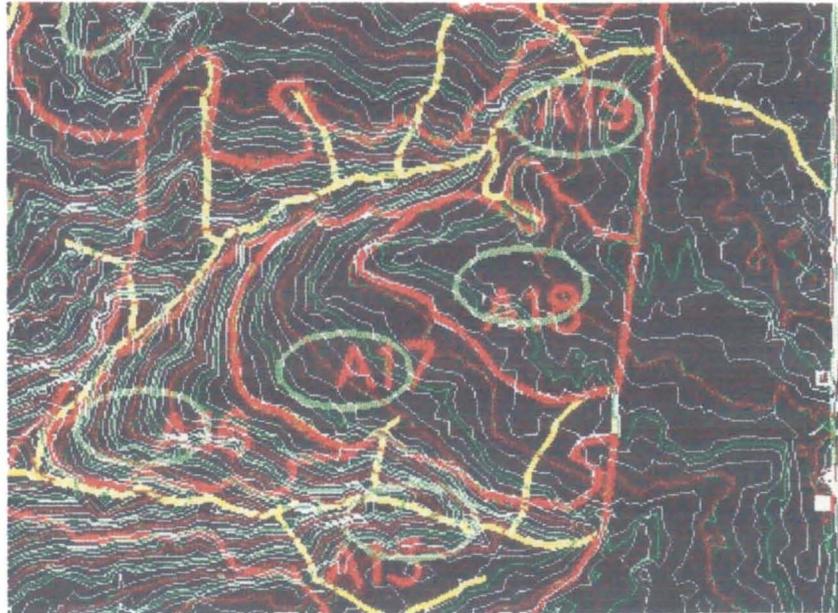
- 1) Os pontos que definem as entidades vetoriais da rede de drenagem e das unidades fisiográficas serão obtidos diretamente sobre as fotografias aéreas.
- 2) Os arquivos serão transformados do referencial de máquina para o referencial fiducial e posteriormente para o referencial fotogramétrico. Nesta etapa serão corrigidos os erros sistemáticos da imagem.
- 3) As coordenadas fotogramétricas são transformadas para coordenadas cartográficas aproximadas através da transformação projetiva no plano.
- 4) Com as coordenadas cartográficas aproximadas dos pontos determina-se a coordenada altimétrica no modelo digital de terreno, através de uma interpolação em um Modelo Digital de Terreno.
- 5) De posse das coordenadas fotogramétricas e altimétrica aproximadas dos pontos e através das equações de colinearidade inversa são determinadas os primeiros valores das coordenadas de terreno dos pontos.
- 6) Como as coordenadas obtidas na etapa anterior são aproximadas pois a cota altimétrica é interpolada no MDT, e os valores iniciais são obtidos através do item 3, procede-se a uma nova iteração.
- 7) O fim do processo se dá quando a diferença das coordenadas calculadas está dentro do limite estabelecido.

### **3.3.7 Coleta de Dados das Unidades Fisiográficas**

De posse do arquivo retificado das unidades fisiográficas, contendo a drenagem será possível a sobreposição das curvas de nível para a coleta das variáveis da análise.

A coleta destas variáveis será realizada utilizando-se das ferramentas gráficas do software Microstation, como comprimento de linhas e determinação de cotas.

Para a coleta de dados, uma ou mais amostras elípticas serão sobrepostas em cada unidade fisiográfica. O critério para a determinação do número de amostras utilizadas foi a área da U.F. ( Unidades Fisiográficas ). A utilização deste tipo de amostra ao invés de uma amostra circular se deve ao fato da amostra elíptica se adequar com melhor tolerância aos limites das U. F., como ilustra a figura 12.



**Figura 12: Amostras elípticas para coleta das variáveis da análise.**

A utilização de uma amostra elíptica leva a uma nova consideração que é a orientação da elipse. Para tal utilizou – se a elipse orientada com seu semi – eixo maior no sentido da maior declividade da região. Esta orientação será determinada utilizando – se as curvas de nível.

Dentro de cada elipse e utilizando-se as ferramentas do software Microstation, serão coletadas as variáveis utilizadas na análise de agrupamentos.

Estas variáveis são relativas a rede de drenagem e ao relevo da área e são descritas a seguir.

Quanto a rede de drenagem serão analisadas:

- a) A ordem de ramificação (  $w$  )
- b) Comprimento total de rios (  $L_w, L_t$  ): correspondem ao comprimento dos segmentos de rios de cada ordem e ao comprimento total de segmentos de rios em Km. Os dados serão obtidos através de medições com o auxílio do software Microstation.
- c) O número total de segmentos de rios (  $N_w, N_t$  ): corresponde ao número de segmentos de rios em cada ordem e ao número total da amostra. Os dados serão obtidos da contagem manual dos canais.
- d) Densidade de drenagem (  $Ddc$  ): calculada pela relação entre o comprimento total de canais (  $L_t$  ) e a área da amostra (  $A$  ).
- e) Frequência de rios (  $Cf$  ): composta pela relação entre o número total de rios (  $N_t$  ) e a área.

Quanto ao relevo as variáveis analisadas são:

- a) A altitude média(  $H_m$  em metros ): a média entre as cotas extremas.
- b) Amplitude altimétrica (  $H$  em metros ): diferença entre os valores das cotas, tomadas nas extremidades das elipses.
- c) Razão de relevo(  $R_r$  ): a razão entre diferença de cota entre os pontos extremos e a distância horizontal entre estes pontos.

### **3.3.8 Análise de Agrupamentos**

A análise de agrupamentos visa separar grupos semelhantes de indivíduos, neste caso, classes de solos.

A metodologia para a execução desta análise consiste em uma série de etapas que são descritas a seguir.

- Construção de uma matriz de dados, onde as colunas se referem às variáveis envolvidas e as linhas são reservadas às amostras;
- Opcionalmente pode – se padronizar a matriz de dados;
- Calcula – se, então, os valores de um coeficiente de semelhança para medir as similaridades entre os pares de elementos;
- Usa – se um método de agrupamento para processar os valores do coeficiente de semelhança, o que resulta em um diagrama chamado de dendrograma ou fenograma, que mostra a hierarquia de similaridade entre todos os pares de elementos. Os agrupamentos podem ser definidos através deste diagrama.

Após a montagem da matriz de dados, onde as linhas corresponderam as unidades fisiográficas e as colunas às variáveis, optou – se pela não padronização da matriz, pelo fato de todos os valores envolvidos situarem – se na mesma unidade, metros.

A determinação do coeficiente de semelhança, que mede a similaridade entre cada par de indivíduos foi feita através da distância Euclidiana média, visto ter sido utilizada em diversos trabalhos similares como em VETORAZZI ( 1988 ); ROCHA ( 1993 ); BECEGATO ( 1999).

A formulação pode ser dada por:

$$d_{ij} = \left[ \sum_{i=1}^n (x_{ij} - x_{ik})^2 / n \right]^{1/2} \quad (28)$$

onde:

$d_{ij}$  = Distância euclidiana média

$n$  = número de variáveis

$X_{ij}$  = valor do elemento  $i$  para a célula  $j$  ( observação)

$X_{ik}$  = valor do elemento  $i$  para cada célula  $k$

Após a obtenção do coeficiente de semelhança procede – se à escolha do método de agrupamento. O método utilizado foi o hierárquico, que segundo JOHNSON & WICHNER ( 1990 ) pode se valer de três métodos de ligação, a simples ( utiliza o vizinho mais próximo ), a completa ( utiliza o vizinho mais distante ) e a média.

### **3.3.9 Caracterização Pedológica das Unidades Fisiográficas**

A caracterização pedológica das U.F. foi realizada através do levantamento de campo, onde serão coletadas amostras de solo nas profundidades de 0 a 20 cm, 50 a 70 cm, 100 a 120 cm. Tais amostras serão enviadas ao Laboratório de solos da UFPR, onde serão submetidas a análise química e física para determinação de suas características.

A outra etapa do levantamento consiste na descrição morfológica de perfis típicos e representativos das várias unidades de solos presentes na região. Os parâmetros avaliados nesta descrição podem ser visualizados no item 2.11.8.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Traçado e análise da rede de drenagem superficial

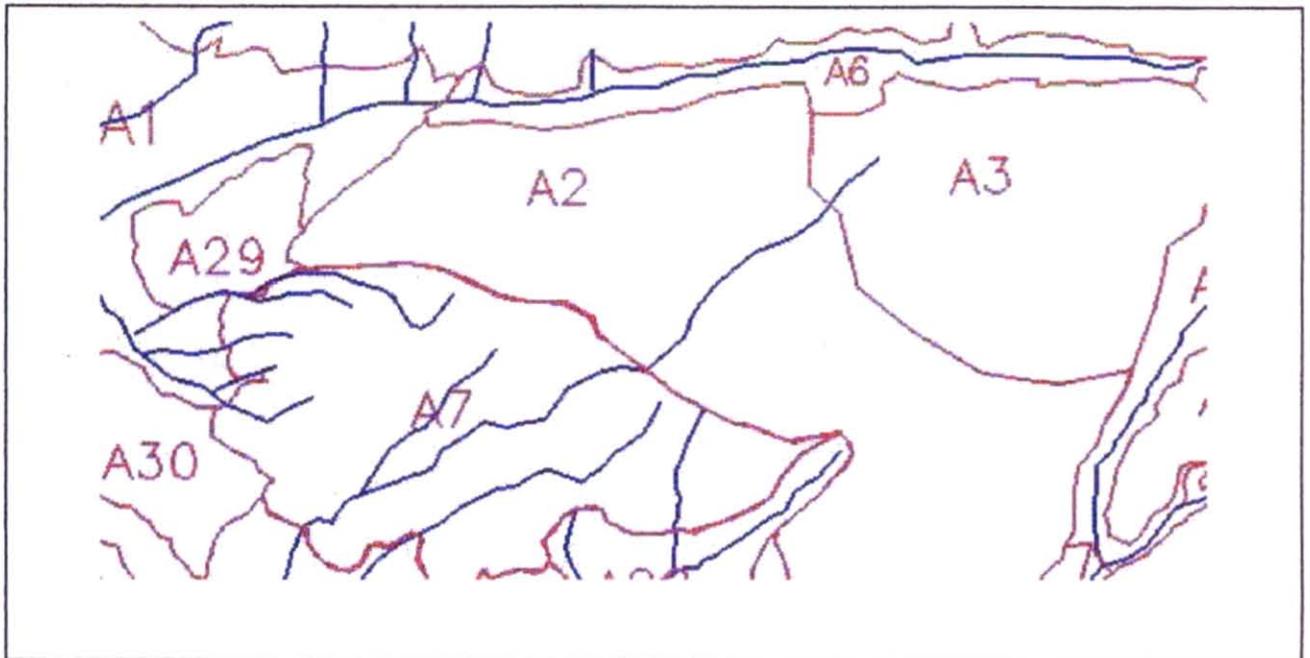
As características utilizadas quanto a rede de drenagem neste trabalho foram de ordem quantitativa associada a elementos visíveis nas fotografias aéreas e aos grupos de solos ali presentes.

Esta consideração fornece uma primeira delimitação das Unidades Fisiográficas presentes na área e é corroborada por ROCHA ( 1993 ).

O padrão de drenagem de uma área, geralmente reflete as condições de permeabilidade do solos nela presente. Desta forma solos com permeabilidade elevada terão, via de regra, alta capacidade de infiltração e conseqüentemente baixa quantidade de canais de drenagem superficial. Esta constatação pode ser facilmente visualizada com a análise da unidade A3 do mapa de unidades fisiográficas, onde foi constatada a presença de Latossolo Vermelho Escuro. A unidade A7, em contrapartida, demonstra uma situação de drenagem onde ocorre Cambissolo. A figura 13 demonstra as diferenças da drenagem nas duas unidades.

A classe A6, presente na figura 13, demonstra uma situação onde a rede de drenagem orientou de forma decisiva na delimitação de uma unidade fisiográfica, neste caso um Cambissolo.

Desta forma pode-se estimar com confiança diferenças de solos ocorridos na paisagem.

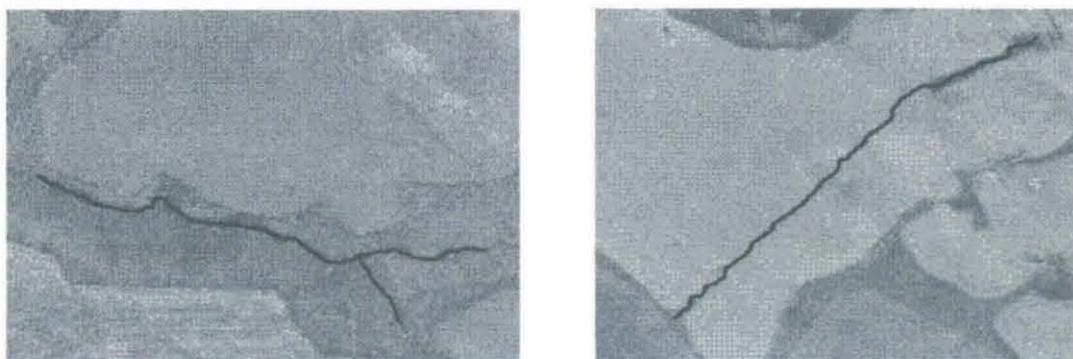


**Figura 13: Diferença entre padrões de drenagem para dois tipos de solos.**

A utilização da Monorestituição Digital necessitou de algumas adaptações no que se refere ao traçado da rede de drenagem, visto que esta, não pode ser visualizada em uma fotografia singular. Para tal foram decalcados os diversos canais representativos da mesma com um estereoscópio de espelhos para posterior digitalização monoscópica.

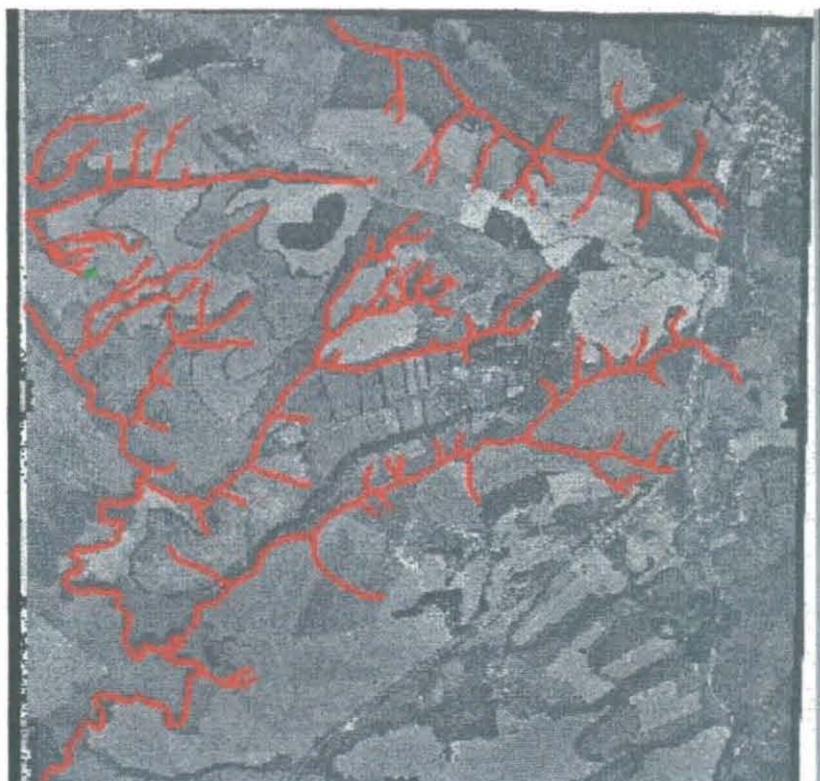
O resultado desta etapa levou a crer que o traçado direto sobre a imagem digital não é a forma mais adequada para a realização desta tarefa, devido a existência de um grande número de canais que não puderam ser visualizados diretamente. Alguns canais podem ser vistos diretamente sobre a imagem, mas o conjunto não poderia ser obtido da simples observação da imagem. Deve ser observado que a vegetação de campo presente fornece a possibilidade desta visualização de padrões indicativos da presença da rede de drenagem, mas que a presença de outro tipo de vegetação, como vegetação de grande porte, pode prejudicar significativamente esta interpretação.

A figura 14 demonstra esta constatação, sendo que a figura à esquerda mostra os canais visíveis sobre as fotos e a figura à direita mostra uma situação onde não é possível o traçado direto.



**Figura 14: Canais de drenagem aparentes e não aparentes sobre a fotografia singular.**

A figura 15 ilustra a rede de drenagem obtida através da digitalização monoscópica.



**Figura 15: Rede de drenagem da área de estudo, obtida monoscopicamente.**

## 4.2 Geração do mapa de declividades

A geração do mapa de declividades objetivou uma primeira segmentação da área de estudo em grandes unidades homogêneas em relação ao relevo.

A segmentação gerada nesta etapa do processo pode ser visualizado na figura 16.

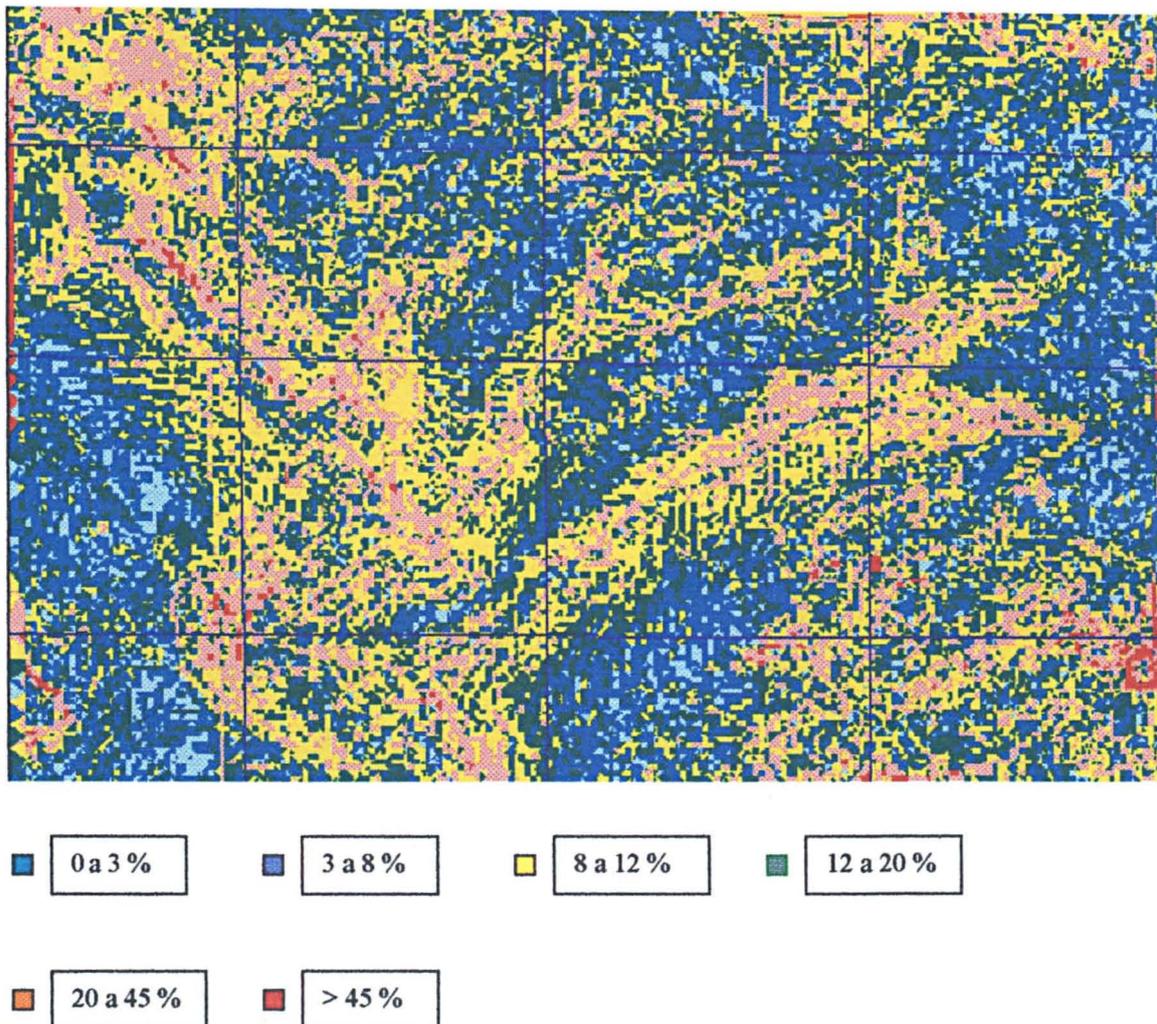
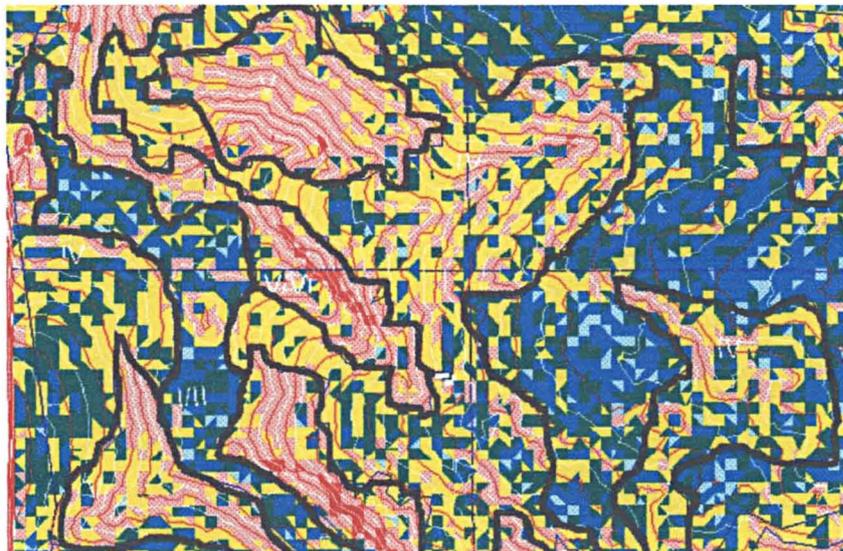


Figura 16: Classes de declive.

O arquivo gerado pelo software Data-Geosis forneceu uma boa caracterização das diferentes fases de relevo. A limitação imposta foi a de que o sistema fornece um

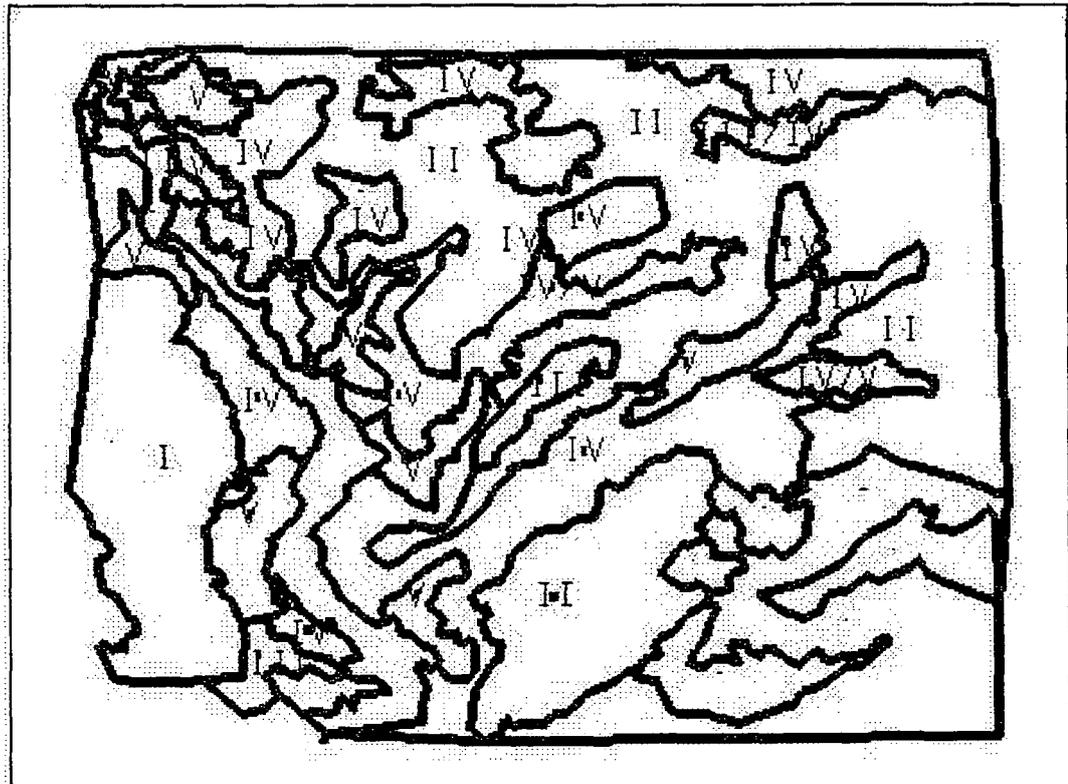
mapa com os polígonos preenchidos com cores "sólidas", decorrentes do fato de se tratar de um arquivo no formato matricial, ao invés de entidades vetoriais indicativos das classes. Como o objetivo do trabalho é de analisar conjuntamente características de relevo, drenagem e padrões presentes nas fotografias, não foi possível a utilização de tal arquivo sobreposto às mesmas. Para contornar tal detalhe foi realizada uma classificação manual de todas as mudanças de classes de relevo visíveis sobre o mapa, como ilustra a figura 17.



**Figura 17: Mapa de declividades separado manualmente em áreas homogêneas em relação ao relevo.**

Buscou-se separar as unidades presentes nas cinco classes de declividade, que poderiam ser indicativas de mudanças de classe de solos, gerando uma série de polígonos representantes das diversas classes de declive.

A carta referente a esta segmentação pode ser vista na figura 18, e mostra uma área parcial ampliada.



I	0 a 3 %
II	3 a 8 %
III	8 a 12 %
IV	12 a 20 %
V	20 a 45 %

**Figura 18: Segmentação de unidades semelhantes em relação as fases de relevo.**

### **4.3 Geração das curvas de nível**

A geração das curvas de nível constituiu uma forma de visualizar e analisar mais detalhadamente o relevo e a paisagem da área de estudo, os quais podem indicar mudanças nas classes de solos. A forma vetorial das curvas permitiu grande versatilidade na sua sobreposição às fotos, e possibilitou que detalhes das imagens fossem analisados em conjunto com os arquivos vetoriais. Dentro do aspecto da análise das unidades fisiográficas, o resultado foi positivo pois permitiu a separação de diversas classes de solos em função do relevo presente. Assim unidades constituídas por Latossolos puderam ser facilmente identificadas nas regiões mais altas e de maior equidistância entre curvas. Unidades constituídas por Podzólicos

puderam ser separadas pela conformação do relevo e por sua posição na paisagem, enquanto solos Litólicos foram identificados nas áreas de relevo mais acidentado e menor eqüidistância entre curvas.

Dentro deste aspecto é importante salientar a necessidade da escolha da eqüidistância mais adequada entre as isolinhas.

Foram geradas curvas com diversos espaçamentos e analisadas aquelas que se adequaram da melhor forma ao objetivo proposto.

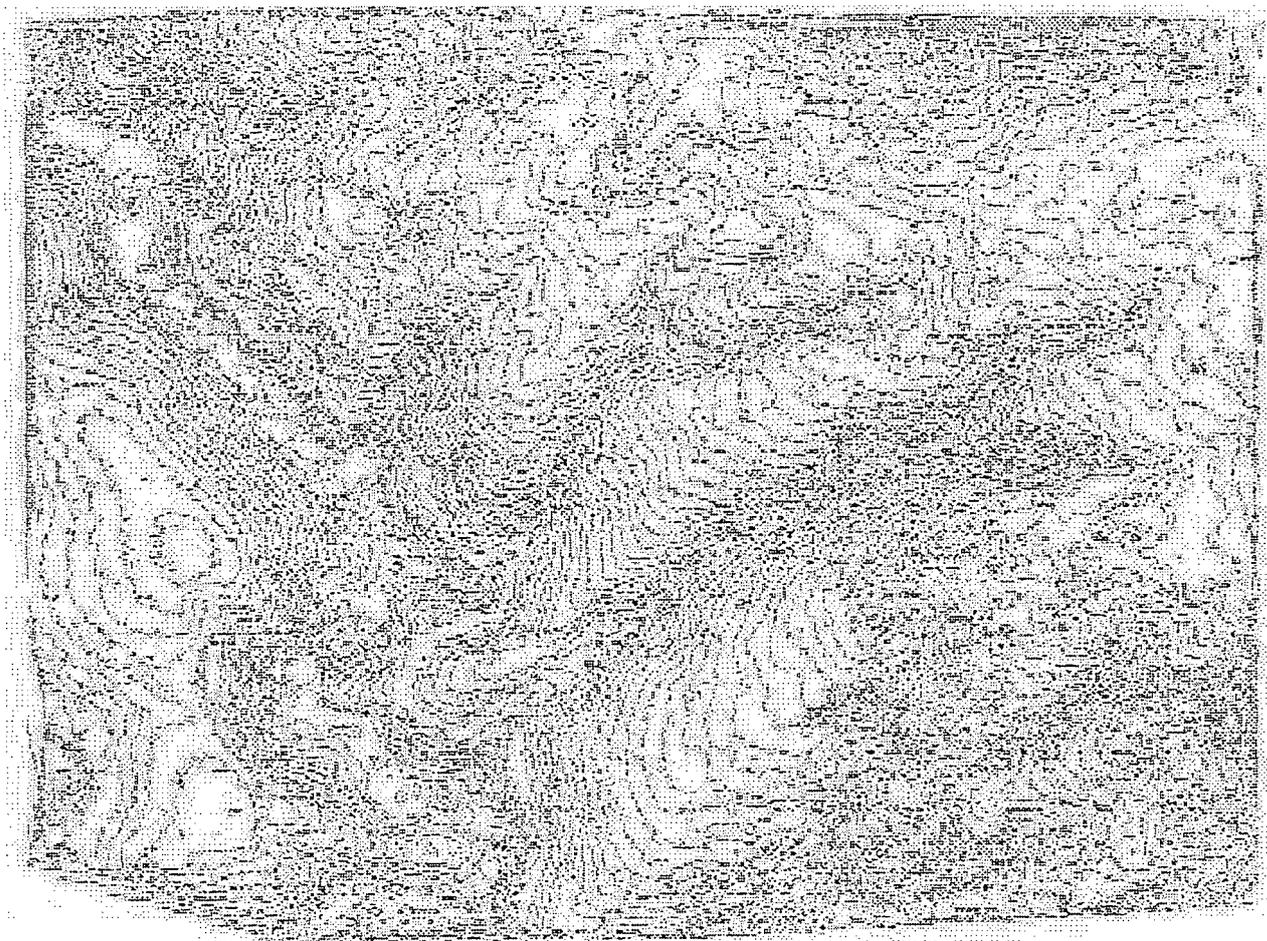
Foram gerados quatro arquivos com 10, 5, 2 e 1 metro de espaçamento.

Da análise dos diferentes espaçamentos diversas observações puderam ser feitas:

- O arquivo de eqüidistância de 10 metros representou o relevo e o comportamento geral da paisagem, porém forneceu detalhamento insuficiente para a determinação de limites entre unidades fisiográficas.
- O arquivo com curvas espaçadas de 5 metros forneceu uma visualização superior ao de 10 metros, porém apresentou a mesma limitação relativa aos limites.
- O arquivo de eqüidistância de 2 metros possibilitou uma separação adequada de limites de unidades fisiográficas sem o comprometimento da qualidade visual da fotografia.
- O arquivo com curvas de 1 metro poderia ser útil em uma separação mais detalhada, porém teve sua utilização prejudicada devido ao fato de os vetores serem muito próximos impedindo a visualização de detalhes das fotografias aéreas.

A figura 19 demonstra a carta referente as curvas de nível espaçadas de 5 metros. O espaçamento de 5 metros foi representado apenas por fins estéticos

nesta figura, visto que o arquivo de 2 metros não apresenta qualidade visual adequada para a representação neste formato.



**Figura 19: Curvas de nível com 5 metros de equidistância.**

#### **4.4 Registro das fotografias aéreas**

O registro das fotografias foi realizado através do software gerenciador de imagens Descartes. O processo consiste na leitura de pontos notáveis na imagem dos quais se disponha de coordenadas em um referencial cartográfico.

Como se dispunha de pontos aerotriangulados, o registro das imagens foi simplificado sendo necessária apenas a localização dos pontos marcados nas imagens aos quais se relacionou às coordenadas no referencial de terreno.

#### **4.5 Mapeamento e caracterização das unidades fisiográficas**

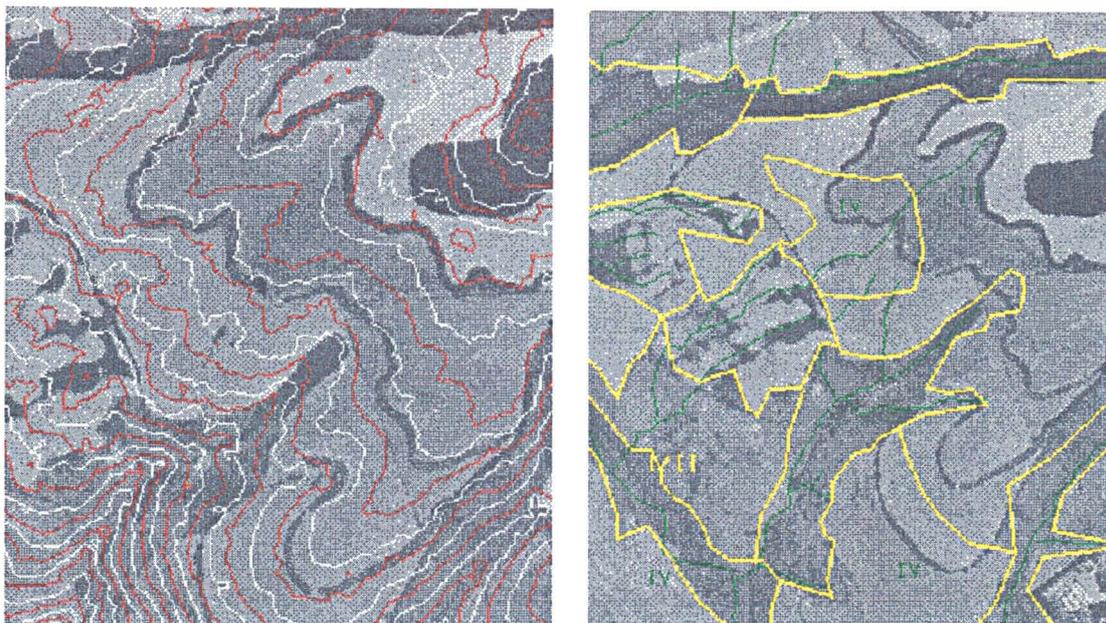
O mapeamento das unidades fisiográficas seguiu as orientações sugeridas por GOOSEN ( 1967 ).

A sobreposição dos vetores da rede de drenagem e das curvas de nível foi uma etapa que necessitou algumas adaptações. Isto se deve ao fato de cada arquivo se situar em um referencial, a rede de drenagem em coordenadas UOR ( Units of Resolution ), equivalentes ao referencial das fotografias aéreas, onde foram traçadas e as curvas de nível que foram geradas através de um arquivo de pontos no referencial LTM, e portanto, a ele associado.

Para contornar tal situação foram dispostas duas janelas do Microstation, uma delas contendo a fotografia com os vetores da rede de drenagem, a outra contendo as curvas de nível.

De posse destes dois arquivos situados lado a lado foram separados, visualmente, os limites das classes de solos presentes.

A figura 20 ilustra a visualização das duas janelas paralelas para o traçado das classes de interesse.



**Figura 20: Exemplo da visualização das informações de drenagem e relevo.**

Depois de separadas as áreas caracterizadas pela drenagem, buscou-se elementos definidores de mudanças em relação ao relevo. Estas mudanças puderam ser claramente visíveis através das curvas de nível e dos padrões das fotografias aéreas. Outra informação relevante que pode ser visualizada foi o uso do solo. Embora não sendo uma informação confiável para algumas aplicações como em áreas de cobertura florestal, demonstrou-se coerente quando se trata de ambiente agrícola.

Foram identificadas 31 polígonos correspondentes a diversas Unidades Fisiográficas.

O anexo 1, demonstra as Unidades Fisiográficas obtidas através da metodologia proposta.

Pode ser notada a grande incidência de solos ARGISSOLOS nos finais das encostas, de LATOSSOLOS em pequena quantidade nas partes mais altas, de CAMBISSOLOS nas meia-encostas. Os NEOSSOLOS se apresentaram em pequena

quantidade nas áreas de relevo mais acidentado, e, geralmente associados aos CAMBISSOLOS.

A metodologia mostrou-se válida para os objetivos propostos, tendo sido possível mapear com boa quantidade de detalhes as diferentes classes de solos.

#### **4.6 Retificação dos arquivos vetoriais**

Depois de obtidas as Unidades Fisiográficas da região foi necessária a retificação do arquivo vetorial contendo estas e a drenagem. Tal procedimento é utilizado baseado no fato de serem necessárias informações em um referencial cartográfico para a coleta das variáveis empregadas na análise de agrupamentos. Outra função da retificação é a de fornecer uma base cartográfica que poderá ser incorporada a um sistema de informações geográficas.

A retificação dos arquivos vetoriais contou com as seguintes etapas:

##### **4.6.1 Orientação interior**

A orientação interior foi obtida mediante a aplicação do modelo da transformação afim geral no plano e obteve resultados satisfatórios, dentro da precisão requerida pelo levantamento. Esta orientação permite o relacionamento entre pontos nos referenciais gráfico e fiducial. Os resíduos resultantes do processo de ajustamento podem ser visualizados na tabela 1 .

Tabela 1: Resíduos da Orientação interior.

<b>Resíduos da orientação interior</b>			
Marca fiducial	Resíduo em x	Resíduo em y	Resultante
1	0,003	-0,004	0,005
2	0,003	-0,004	0,005
3	-0,003	0,004	0,005
4	-0,003	0,004	0,005

#### 4.6.2 Orientação espacial aproximada

Os resultados da orientação aproximada, demonstram os valores obtidos pela utilização do modelo da transformação projetiva no plano e se encontram na tabela 2. Para a transformação foram utilizados 15 pontos aerotriangulados e referidos ao referencial LTM. Os resíduos são visualizados em metros.

Tabela 2: Resíduos da orientação espacial aproximada.

<b>Resíduos da orientação espacial aproximada</b>			
Ponto	V x	V y	RV x y z
3006	-6,363	-7,938	10,173
3007	4,969	10,037	11,200
3008	-0,283	7,862	7,868
3009	3,810	-2,446	4,528
3010	-0,580	0,199	0,614
3011	7,678	-12,315	14,513
3012	3,434	9,474	10,077
3013	-1,256	-0,939	1,568
3014	-4,897	-11,099	12,131
3015	-7,739	-0,931	7,795
3016	-1,741	4,884	5,185
3017	-7,864	2,115	8,144
3018	2,440	-6,975	7,390
3019	3,173	-0,781	3,267
3020	5,198	8,851	10,265

O erro médio apresentado pelo ajustamento reflete a precisão alcançada pela transformação projetiva no plano que visa determinar erros grosseiros presentes e fornecer valores aproximados para a orientação espacial exata.

Os erros médios calculados, em metros são:

$$V_x = 4,959 \quad V_y = 7,338$$

### 4.6.3 Orientação espacial exata

A orientação espacial exata determinou os parâmetros de orientação da fotografia ( $\kappa$ ,  $\varphi$ ,  $\omega$ ) e o seu posicionamento ( $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$ ) utilizando o modelo das equações de colinearidade. A tabela 3 demonstra os valores dos resíduos para os 15 pontos utilizados.

Tabela 3: Resíduos da orientação espacial exata.

Resíduos da orientação espacial exata			
Ponto	V x	V y	V z
3006	0,033	0,104	0,074
3007	-0,188	-0,177	-0,127
3008	-0,282	-0,185	-0,118
3009	-0,209	-0,166	-0,023
3010	0,513	0,288	0,107
3011	0,329	-0,025	-0,025
3012	-0,081	0,173	0,060
3013	0,162	0,021	-0,004
3014	0,061	-0,058	0,022
3015	-0,184	-0,159	0,083
3016	0,060	0,028	-0,010
3017	-0,291	-0,153	0,069
3018	-0,151	0,203	0,038
3019	0,065	0,190	-0,101
3020	0,163	-0,025	-0,047

O erro médio em metros apresentado nas coordenadas foi:

$$V_x = 0,230 \quad V_y = 0,151 \quad V_z = 0,074$$

#### **4.7 Coleta de dados das Unidades Fisiográficas.**

A coleta de dados foi realizada através da utilização das ferramentas gráficas do Software Microstation. A utilização de tais funções facilitou o processo de obtenção das variáveis envolvidas.

A utilização das amostras elípticas como unidade amostral demonstrou ser uma alternativa extremamente interessante em comparação com amostras circulares. Pode ser observado que na maioria das unidades delineadas as amostras elípticas se adaptaram melhor aos limites traçados que as amostras circulares.

A tabela 4 mostra as variáveis coletadas nas diversas unidades em relação a rede de drenagem e a tabela 5 mostra as variáveis de relevo para as mesmas classes.

Tabela 4: Índices de drenagem da área de estudo.

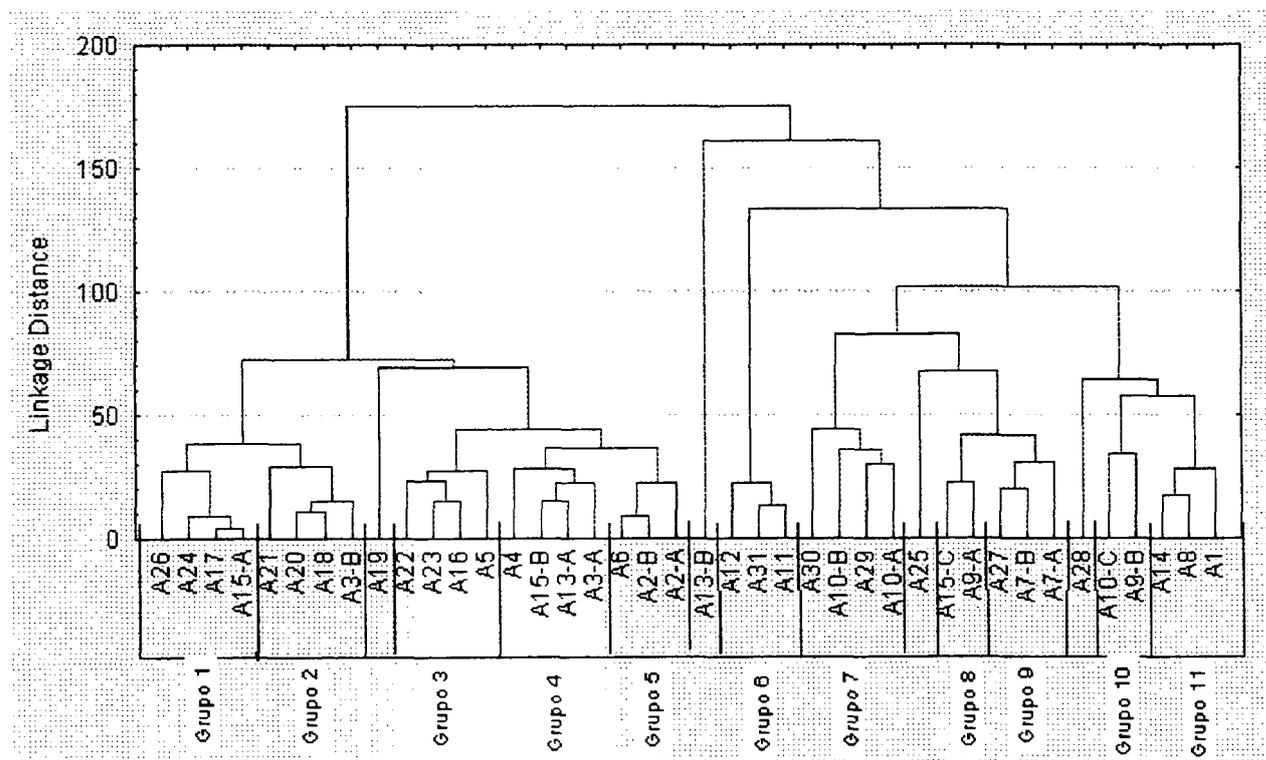
Índices de drenagem da área de estudo													
Amostr a	Ordem de ramific ação (w)	N. de Rios de cada ordem(Nw)			Rios da amos tra (Nt)	Comp. Dos Rios de cada ordem(LW)			Comp total da amostr a(Lt) Em Km	Área (Km <sup>2</sup> )	Densidade de drenagem (Lt/area)	Frequênci a de Rios (Nt/area)	
		Nw1	Nw2	Nw3		Lw1	Lw2	Lw3					
A1	2	6	3	1	10	1.707	1.392	0.312	3.411	0.11600	29.4051	86.2069	
A2 -A										0.11600			
A2 -B	1	1	0	0	1	2.101	0.000	0.000	2.101	0.11600	18.11207	8.62069	
A3 -A	1	2	0	0	2	0.339	0.000	0.000	0.339	0.11600	2.922414	17.24138	
A3 -B										0.11600			
A4	3	4	1	1	6	0.694	0.115	0.772	1.580	0.11600	13.62155	51.72414	
A5	3	10	2	1	13	1.356	0.454	0.764	2.574	0.11600	22.18966	112.069	
A6	2	2	1	0	3	1.567	0.328	0.000	1.895	0.11600	16.33621	25.86207	
A7 - A	1	9	1	0	10	1.616	0.162	0.000	1.778	0.11600	15.32759	86.2069	
A7 - B										0.11600			
A8	1	2	1	0	3	0.693	0.139	0.000	0.832	0.11600	7.172414	25.86207	
A9 -A										0.11600			
A9 -B	1	1	0	0	1	0.139	0.000	0.000	0.139	0.11600	1.198276	8.62069	
A10 -A										0.11600			
A10 -B										0.11600			
A10 -C	1	3	0	0	3	1.136	0.000	0.000	1.136	0.11600	9.793103	25.86207	
A11	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.11600	0	0	
A12	3	2	1	1	4	0.454	0.209	0.327	0.990	0.11600	8.534483	34.48276	
A13 -A										0.11600			
A13 -B	3	14	4	1	19	1.661	0.861	4.367	6.889	0.11600	59.38621	163.7931	
A14	2	3	1	0	4	0.411	1.045	0.000	1.456	0.11600	12.55172	34.48276	
A15 -A										0.11600			
A15 -B										0.11600			
A15 -C	1	2	0	0	2	0.340	0.000	0.000	0.340	0.11600	2.931034	17.24138	
A16	0	0	0	0		0.000	0.000	0.000	0.000	0.11600	0	0	
A17	1	0	0	1	1	0.290	0.000	0.000	0.290	0.11600	2.5	8.62069	
A18	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.11600	0	0	
A19	2	7	1	0	8	1.613	1.036	0.000	2.649	0.11600	22.83621	68.96552	
A20	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.11600	0	0	
A21	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.11600	0	0	
A22	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.11600	0	0	
A23	1	1	0	0	1	0.387	0.000	0.000	0.387	0.11600	3.336207	8.62069	
A24	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.11600	0	0	
A25	3	5	1	1	7	0.599	1.332	0.650	2.581	0.11600	22.25	60.34483	
A26	2	2	1	0	3	0.884	0.096	0.000	0.980	0.11600	8.448276	25.86207	
A27	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.11600	0	0	
A28	3	7	2	1	10	1.540	0.669	0.348	2.557	0.11600	22.0431	86.2069	
A29	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.11600	0	0	
A30	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.11600	0	0	
A31	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.11600	0	0	

Tabela 5: Índices do relevo da área de estudo.

Índices de relevo da área de estudo						
Amostra	Alt maior	Alt menor	Ampl Altim.	Alt média	Distância máxima	Razão de relevo
A1	912.000	836.000	76.000	874.000	489.000	0.16239
A2 -A	968.000	960.000	8.000	964.000	470.000	
A2 -B	972.000	952.000	20.000	962.000	471.000	0.04246
A3 -A	992.000	980.000	12.000	986.000	471.000	0.02548
A3 -B	1018.000	1006.000	12.000	1012.000	470.000	
A4	1006.000	972.000	34.000	989.000	470.000	0.07234
A5	1002.000	944.000	58.000	973.000	489.000	0.06350
A6	976.000	958.000	18.000	967.000	476.000	0.03782
A7 - A	955.000	894.000	61.000	924.500	489.000	0.07612
A7 - B	942.000	902.000	40.000	922.000	490.000	
A8	918.000	826.000	92.000	872.000	489.000	0.13074
A9 -A	955.000	928.000	27.000	941.000	489.000	
A9 -B	955.000	864.000	91.000	909.500	489.000	0.08445
A10 -A	926.000	895.000	31.000	910.000	489.000	
A10 -B	900.000	888.000	12.000	894.000	491.000	
A10 -C	932.000	854.000	78.000	893.000	490.000	0.04573
A11	850.000	815.000	35.000	832.500	489.000	0.11129
A12	862.000	822.000	40.000	842.000	489.000	0.05544
A13 -A	994.000	968.000	26.000	981.000	489.000	
A13 -B	1008.000	848.000	160.000	928.000	489.000	0.04216
A14	906.000	822.000	84.000	864.000	489.000	0.09205
A15 -A	1010.000	988.000	22.000	999.000	489.000	
A15 -B	984.000	962.000	22.000	973.000	489.000	
A15 -C	1014.000	910.000	104.000	962.000	489.000	0.04932
A16	990.000	950.000	40.000	970.000	489.000	0.10935
A17	1010.000	990.000	20.000	1000.000	489.000	0.05517
A18	1025.000	1014.000	11.000	1019.500	485.930	0.02264
A19	1028.000	948.000	80.000	988.000	489.000	0.05663
A20	1030.000	1010.000	20.000	1020.000	489.000	0.05064
A21	1044.000	1022.000	22.000	1033.000	489.000	0.02280
A22	996.000	938.000	58.000	967.000	489.000	0.06423
A23	1000.000	955.000	45.000	977.500	489.000	0.05847
A24	1008.000	994.000	14.000	1001.000	490.000	0.04471
A25	992.000	906.000	86.000	949.000	491.000	0.04565
A26	1026.000	988.000	38.000	1007.000	489.000	0.03506
A27	955.000	912.000	43.000	933.500	489.000	0.05204
A28	954.000	826.000	128.000	890.000	489.000	0.09684
A29	915.000	874.000	41.000	894.500	489.000	0.10425
A30	895.000	858.000	37.000	876.500	490.000	0.10866
A31	846.000	822.000	24.000	834.000	491.000	0.13488

## 4.8 Análise de agrupamentos

O resultado da análise de agrupamentos demonstra a formação de quinze grupos relativos as unidades fisiográficas da área.



**Figura 21: Análise de agrupamentos das Unidades Fisiográficas.**

Analisando a figura 21, relativa a análise de agrupamentos, o anexo 1, e as tabelas 4 e 5, podem ser identificados os seguintes Grupos, que após levantamento de campo foram classificadas como se segue:

O grupo 1, englobando as unidades A26, A24, A17 e A15-A, consiste de solos de horizonte B câmbico com inclusão de Latossolo Vermelho Amarelo, representado pela unidade A17, ocupando a posição do terço médio da paisagem.

A altitude média destas unidades se situa em torno de 1000 metros e a amplitude altimétrica tem valor de 14 a 38 metros.

A densidade de drenagem está entre 0 e 8,44 e a frequência de rios entre 0 e 86,2.

O grupo 2, engloba as unidades A21, A20, A18 e A3-B, consiste de solos da classe dos Latossolos Vermelhos ocupando a parte do terço superior das encostas.

São solos desenvolvidos em suas características pedogenéticas e possuem textura argilosa, nas unidades 21 e 3-B e média nas unidades 18 e 20.

A altitude média para esta classe está entre 1019 e 1033 metros e a amplitude altimétrica se situa entre 20 e 22 metros.

A densidade de drenagem e a frequência de rios desta classe é de valor 0.

O grupo 3 consiste das unidades A22, A23, A16 e A4 e é constituído de Cambissolos com inclusão de Neossolo.

A altitude média destas unidades de 970 metros e a amplitude altimétrica está entre 40 e 58 metros.

A densidade de drenagem está entre 0 e 13,62 e a frequência de rios entre 8,6 e 51,7.

O grupo 4 consiste das unidades , A15-B, A13-A e A3-A e A5, e é constituído de Cambissolos.

A altitude média destas unidades é de 984 a 992 metros e a amplitude altimétrica tem valores de 12 a 26 metros.

A densidade de drenagem desta classe é de 2,9 a 22,15 e a frequência de rios é de 17,2.

O grupo 5 engloba as unidades A6, A2-A e A2-B, consiste em Cambissolos com inclusão de Argissolos e demonstra a influência da posição da classe A4 sobre a

amostra A2-B, que a princípio participaria da classe A2, relativa a um Argissolo, mas que possui características que a levam a classificação de Cambissolo.

A altitude média desta classe é de 965 metros e a amplitude altimétrica é de 12 a 20 metros.

A densidade de drenagem esta entre 16,33 e 18,11 e a frequência de rios entre 8,6 e 25,8.

A unidade A2-A pode ser classificada como um Cambissolo com caráter podzólico.

O grupo 6 , constituído das amostras A12, A31 e A11 é formado por Cambissolos e ocupam as posições do terço inferior do relevo.

A altitude média deste grupo é de 835 metros e a amplitude altimétrica é de 24 a 40 metros.

A densidade de drenagem desta classe é de 8,53 e a frequência de rios é de 34,5.

O grupo 7, constituído das unidades A30, A10-B, A29 e A10-A é formado por Argissolos e ocupa a posição do terço médio na paisagem.

A altitude média deste grupo é de 894 a 910 metros e a amplitude altimétrica é de 12 a 41 metros.

A densidade de drenagem e frequência de rios desta classe é de 0.

O grupo 8 é constituído das unidades A15-C e A9-A e é composta Argissolos

A altitude média deste grupo é de 941 a 962 metros e a amplitude altimétrica é de 27 a 30 metros.

A densidade de drenagem desta classe varia entre 0 e 2,9 e a frequência de rios é de 17,24

O grupo 9, constituído pelas unidades , A27, A7-B e A7-A , é formado por Cambissolos .

A altitude média deste grupo é de 922 a 941 metros e a amplitude altimétrica é de 43 a 61 metros.

A densidade de drenagem é de 15,3 e a frequência de rios é de 86,2.

O grupo 10 é constituído das unidades A10-C e A9-B e é formado de Argissolos e ocupam a parte média das encostas.

A altitude média deste grupo é de 893 a 909 metros e a amplitude altimétrica é de 78 a 91 metros.

A densidade de drenagem desta classe varia de 1,9 a 9,7 e a frequência de rios varia de 8,6 a 25,86.

O grupo 11, formado pelas amostras A14, A8 e A1 é formada por Cambissolos, situados na posição de terço inferior da paisagem.

A altitude média deste grupo é de 864 a 874 metros e a amplitude altimétrica é de 76 a 92 metros.

A densidade de drenagem desta classe está entre 7,17 e 29,4 e a frequência de rios entre 25,8 a 86,2.

Este grupo não possui amostra de campo por se tratar de áreas de campo nativo sem atividade agrícola.

Finalmente pode-se agrupar as unidades A19, A13-B, A25, e A28 como grupo 12, compreendendo Neossolos.

A altitude média para este grupo foi de 928 a 1007 metros e a amplitude altimétrica ficou entre 38 e 160 metros.

A densidade de drenagem desta classe está entre 22,04 e 59,4 e a frequência de rios entre 60,34 e 163,7. Este grupo não conta com amostra de campo.

Da análise da tabela 5 referente aos índices de relevo pode-se observar que as variáveis que mais auxiliaram na separação de classes foram a altitude média e a amplitude altimétrica, o que concorda com CARVALHO ( 1990 ).

Da análise dos valores das variáveis de drenagem e relevo das quatro classes representativas dos solos da região pode-se perceber o agrupamento de 4 faixas de valores para cada tipo de solo presente.

Os Latossolos de textura argilosa tiveram valores de amplitude altimétrica situados entre 11 e 22 e altitude média entre 1019 e 1039.

A densidade de drenagem desta classe se situa em valores próximos de zero, o mesmo acontecendo para frequência de rios, o que concorda com CARVALHO et al (1990 ) e SILVA et al ( 1996 ).

A classe referente ao Latossolo de textura média teve amplitude altimétrica de 12 e altitude média de 986.

Os Argissolos tiveram valores de amplitude altimétrica situados entre 37 e 41 e altitude média entre 876 e 894 para o grupo 11. Os valores de altitude média e amplitude altimétrica foram, para o grupo 4, respectivamente de 1000 e entre 14 a 20 metros.

A densidade de drenagem está entre valores de 0 a 9,7 e a frequência de rios entre 0 e 25,8 o que concorda com SILVA et al ( 1986 ) e FRANÇA et al (1990 ).

Os solos de horizonte câmbico tiveram valores de amplitude altimétrica situados entre 18 e 92 e altitude média entre 832 e 1007 metros.

A densidade de drenagem está entre 8,4 a 22,1 e a frequência de rios entre 86,20, concordando com DEMATTÉ e DEMÉTRIO ( 1998 ).

Os Neossolos tiveram valores de altitude média entre 890 e 928. A variável de amplitude altimétrica teve peso importante na separação destas unidades situando-se entre 128 e 160 metros.

A densidade de drenagem desta classe se situa entre 22,04 e 59,4 e a frequência de rios entre 60,34 e 163,7.

#### **4.9 Caracterização Pedológica das U.F.**

O levantamento de campo para a classificação das unidades fisiográficas em termos de classes de solos permitiu a identificação de 5 classes, quais sejam:

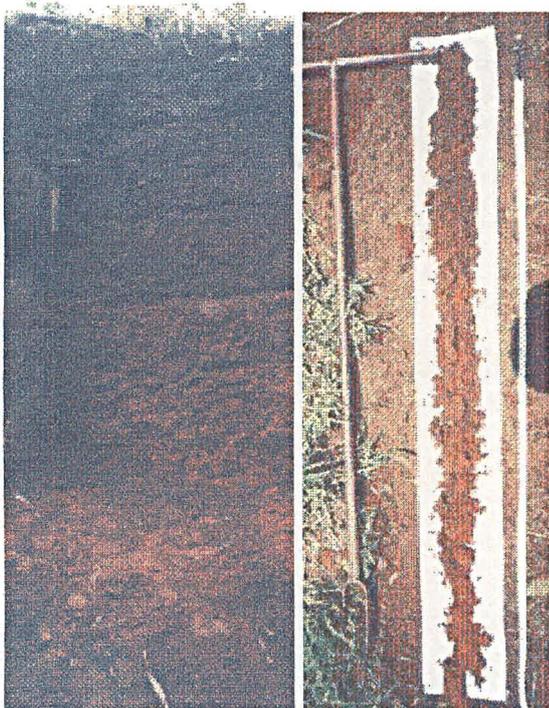
- Latossolo Vermelho textura argilosa;

São solos constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, exceto H hístico.

São solos em avançado estado de intemperização, muito evoluídos. Variam de fortemente a bem drenados. São normalmente muito profundos, com profundidade raramente inferior a um metro. Têm seqüência de horizontes A, B e C, com pouca diferenciação de horizontes e transições usualmente difusas ou graduais.

O conteúdo de argila no horizonte A é de 46% e no horizonte B 54%. A relação de textura entre B e A é de 1,17. A relação silte / argila é de 0,3. A coloração é 2,5 YR 3 / 4.

A figura 22 mostra um perfil de um Latossolo Vermelho textura argilosa e a figura 24 mostra a posição deste solo na paisagem.



**Figura 22: Latossolo Vermelho textura argilosa.**



**Figura 23: Paisagem associada a Latossolos**

- Argissolo;

Compreende solos constituídos de material mineral que tem como características diferenciais argila de atividade baixa e horizonte B textural imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico.

Parte dos solos desta classe apresenta um evidente incremento no teor de argila, com ou sem decréscimo do horizonte B para baixo do perfil. A transição entre os horizontes A e Bt é usualmente clara, ou abrupta ou gradual.

A figura 25 demonstra um perfil de argissolo e a figura 26 a posição ocupada por esta classe de solo na paisagem.

O conteúdo de argila no horizonte A é de 12 % e no horizonte B 18 %. A relação entre os horizontes B e A é de 1,5. A relação silte / argila é de 0,4. A coloração é 7,5 YR 4 / 4.



**Figura 24: Argissolo**



**Figura 25: Paisagem associada a Argissolos.**

- Cambissolo;

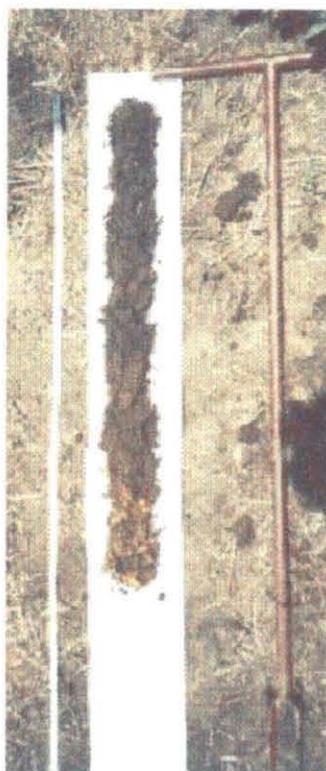
Os Cambissolos são solos constituídos por qualquer material mineral, com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial. Tem seqüência de horizontes A ou hístico, Bi , C com ou sem R.

A figura 27 e 28 demonstram, respectivamente um cambissolo profundo e um cambissolo raso e a figura 29 demonstra a ocorrência deste tipo de solo na paisagem.

O conteúdo de argila no horizonte A é de 14 % e o horizonte B 18 %. A relação entre os horizontes B e A é de 1,36. A relação silte / argila é de 0,56. A coloração é 7,5 YR 5 / 4.



**Figura 26: Cambissolo**



**Figura 27: Cambissolo Raso**



**Figura 28: Paisagem associada a Cambissolos e Neossolos**

- Neossolo.

Os Neossolos compreende solos constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso com pequena expressão dos processos pedogenéticos em consequência da baixa intensidade de atuação destes processos, que não conduziram, ainda, a modificações expressivas do material originário, de características do próprio material, pela sua resistência ao intemperismo ou composição química, e do relevo, que podem impedir ou limitar a evolução destes solos.

O conteúdo de argila no horizonte superficial é de 10. A relação silte / argila é 1,0. A coloração é 7,5 YR 3 / 2.

A figura 30 demonstra um perfil de um Neossolo. A posição na paisagem, geralmente está associada ao relevo demonstrado na figura 29 ou em solos mais declivosos.



**Figura 29: Solo Litólico ( Neossolo )**

## 5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Pode – se concluir deste trabalho que:

A metodologia se mostrou válida para a restituição de unidades fisiográficas como auxílio no mapeamento de solos a nível de propriedade, gerando um mapa retificado e georreferenciado.

O fato da monorestituição utilizar uma fotografia singular pode ser compensado na restituição de canais de drenagem, utilizando o processo manual de extração sobre fotografias aéreas analógicas e estereoscopia.

O mapeamento das Unidades Fisiográficas mostrou ser válido utilizando a monorestituição complementada de informações de relevo.

O arquivo gerado será de grande utilidade pois oferece, além de uma segmentação de Unidades Fisiográficas, a possibilidade da restituição de outras feições da propriedade como talhões, estradas e divisas.

A possibilidade de geração de um arquivo retificado e digital possibilita uma interface direta com softwares de Sistema de Informações Geográficas, item cada vez mais comum a nível de propriedade agrícola de médio e grande porte.

O custo relativamente baixo de implantação do projeto poderá vir a ser uma grande colaboração no mapeamento e classificação de solos em um futuro próximo, melhorando as condições do ecossistema como um todo.

Recomenda-se como sugestões:

A verificação da possibilidade de aplicação da metodologia a fotografias de pequeno formato para uso em regiões sem cobertura fotogramétrica.

A avaliação da área máxima mapeável considerada economicamente viável para este método.

A utilização de fotografias aéreas digitais para agilizar o processo.

A utilização de técnicas de extração automática da rede de drenagem, visando não apenas o aumento do rendimento, mas a utilização conjunta com fotografias digitais.

A utilização de um mapa de declividades de forma que possa ser sobreposto diretamente sobre as fotografias aéreas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADU, S.V. The geomorphology, soils, water resources and land use potential of the Nasia River Basin, Ghana. **ITC Journal**, 1981 – 4, pp 498 – 525.
- ANDRADE, J.B. **Photogrametric Refraction**. Columbus, Ohio, 1977 PhD Dissertation, Departament of Geodetic Science, The Ohio State University.
- ANDRADE, J. B. ; OLIVAS, M. A . Calibração de Câmaras Aerofotogramétricas. Boletim UFPR, Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, 1981 Curitiba N 26 p 01 – 39.
- ANDRADE, J.B. **Fotogrametria**, Curitiba, 1998.
- BARROS, Z.X.; Campos,S.;Cardoso, L.G. Distribuição espacial dos solos no município de Itobi – SP de acordo com agrupamentos de variáveis dimensionais. **Engenharia Agrícola**, v. 16. n 1 p 35 – 44. 1996.
- BECEGATO, V.A . **Análise de agrupamentos em ambiente de geoprocessamento na discriminação de unidades fisiográficas para estudos de solos**. Curitiba 1999. ( Dissertação Mestrado – Universidade Federal do Paraná ).
- BRINK, A.B.; MABBUTT, J.A. ; WEBSTER, R.; BECKETT, P.H.T. Report of the Working Group on Land Classification and Data Storage. Christchurch, **Mexe Rep**. 1966, 95p.
- BURROUGH, P.A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assesment**. Clarendon : Press – Oxford, 1989.
- BURINGH, P. 1960. The Aplication of Aerial photographs in Soil Surveys in : Manual of photographic interpretation. Washington, p 663 – 6.
- CARVALHO, F. R. **Cadastro Geoambiental Polivalente Projeção TM ( Conforme de Gauss )** . Informativo COCAR. Ano VI, Dezembro de 1984.

- CARVALHO, W.A.;FRANÇA, G.V.; CURI, P.R. Aplicação de análise multivariada na discriminação de unidades de solo, mediante parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas, em Botucatu, SP. **R. bras. Ci. Solo**. Campinas, 14: 195 – 203. 1990
- CARVALHO, W. A. ;PEREIRA, M.A.; PFEIFER, R.M. Fotointerpretação de bacias hidrográficas na discriminação de solos do parque estadual da serra do mar, núcleo de Picinguaba, SP. **Científica**, São Paulo, 20 ( 1 ): 27 – 42, 1992.
- CORTES, J.B.R. **O uso de fotografias aéreas de pequeno formato digitalizadas em mapeamento topográfico planimétrico**, Curitiba, 1998. Dissertação Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná.
- DEMATTE, J.A .M.; DEMÉTRIO, V.A. Caracterização de solos por padrões de drenagem e sua relação com índices de intemperismo. **Pesq. Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n 1, p 87 – 95, jan 1998.
- EMBRAPA. Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Paraná, **Boletim técnico 57**, SNLCS, Curitiba, 1989.
- FRANÇA, G.V. **Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, 1968, 151 p. ( Tese de Doutorado ).
- FRANÇA, G.V.; DEMATTÊ, J.A.M. Parâmetros da rede de drenagem de solos da região de Iracemópolis (SP). **An ESALQ**, Piracicaba, 47(parte 2):541 – 555,1990.
- FURTADO, A.M.M.;RODRIGUES ,T.E.;SANTOS ,P.C.T.C. Análise quantitativa em amostras circulares do igarapé do segredo, Capanema, Pará, utilizando fotografias aéreas e imagens Landsat. **Boletim da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará**, Belém ( 25 ): 43 – 59, jan / jun. 1996.

- GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações**. Curitiba: Editora da Universidade Federal do Paraná, 1994.
- GOOSEN, D. Interpretação de fotos aéreas y su importância en levantamento de Suelos. **Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación**, 1968. 58 p. (Boletín sobre suelos, 6 ).
- HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins; Hydrophysical approach to quantitative morphology, **Bul. Geol. Soc Amer.**, 56, 275 – 370, 1945.
- KEMPER, B. Examples of photo interpretation in soil surveys for na agricultural land Development project in North - East Brazil. **ITC Journal**, 1979 – 2.
- KRISHNAMURTHY, ; J. SRINIVAS, G. ; JAYARAMAN, V. ; CAHDRASEKHAR M. Influence of rock types and structures in the development of drainage networks in typical hardrock terrain. **ITC Journal**, 1996 – 3 / 4.
- LEMONS, R.C. ; SANTOS, R. D. Manual de descrição e coleta de solo no campo 2 ed Campinas: SNLCS / SBCS, 1984 37 p.
- LUEDER, D R. **Aerial photographic interpretation: principles and aplicaciones**. New York, McGraw – Hill 1959. 462 p.
- LUGNANI, J.B. **Introdução à fototriangulação**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1987.
- MAKAROVIC, B. Digital Mono – Ploters. **ITC Journal**, vol 1, 1973, pp. 101 – 122.
- MERCHANT, Dean C. **Analytical Photogrammetry. Theory and Practice, part I** Columbus, Ohio, 1979. Department of Geodetic Science, The Ohio State University.

**MITISHITA, E.A. Monorestituição Digital de Aerofotos Associada com Sistema de**

**Computação Gráfica C.A.D.** , para fins de Mapeamento na Área Florestal.

Curitiba, 1997. Tese ( Doutorado em Ciências Florestais) Engenharia Florestal,

Universidade Federal do Paraná.

**NANNI, M. R . Delimitação de unidades fisiográficas para estudos de solos**

**utilizando análise multivariada e técnicas de sensoriamento remoto.**

Curitiba, 1995. 184 p . ( Mestrado – Universidade Federal do Paraná ).

**PARVIS, M. Drainage pattern significance in airphoto identification of soils and**

**Bedrocks. Photogrammetric Engineering, Washington, 16:387-409,1950.**

**PETINATTI, F. Modelamento digital e Representação Gráfica de Superfícies.**

São Paulo, 1983. Dissertação ( Mestrado em Engenharia ) – Escola Politécnica da

Universidade de São Paulo – USP.

**RAY, R.G.; & FISCHER, W.A. Quantitative photography: a Geologic research tool.**

**Photogrammetric Engineering, Falls Church, 26 (1) : 143 –150, 1960.**

**RAY, R.G. Fotografias aéreas na Interpretação e mapeamento Geológico.**

Tradução de Jesuino Felicíssimo Junior. São Paulo, Instituto Geográfico e

Geológico, 162 p. 1963.

**ROCHA, H.O. Estudo das feições morfológicas e dos solos através de fotos aéreas**

**e procedimentos de campo em duas áreas na bacia sedimentar de Curitiba. II**

**Simpósio Bras. De Sens. Remoto, Brasília, 1982.**

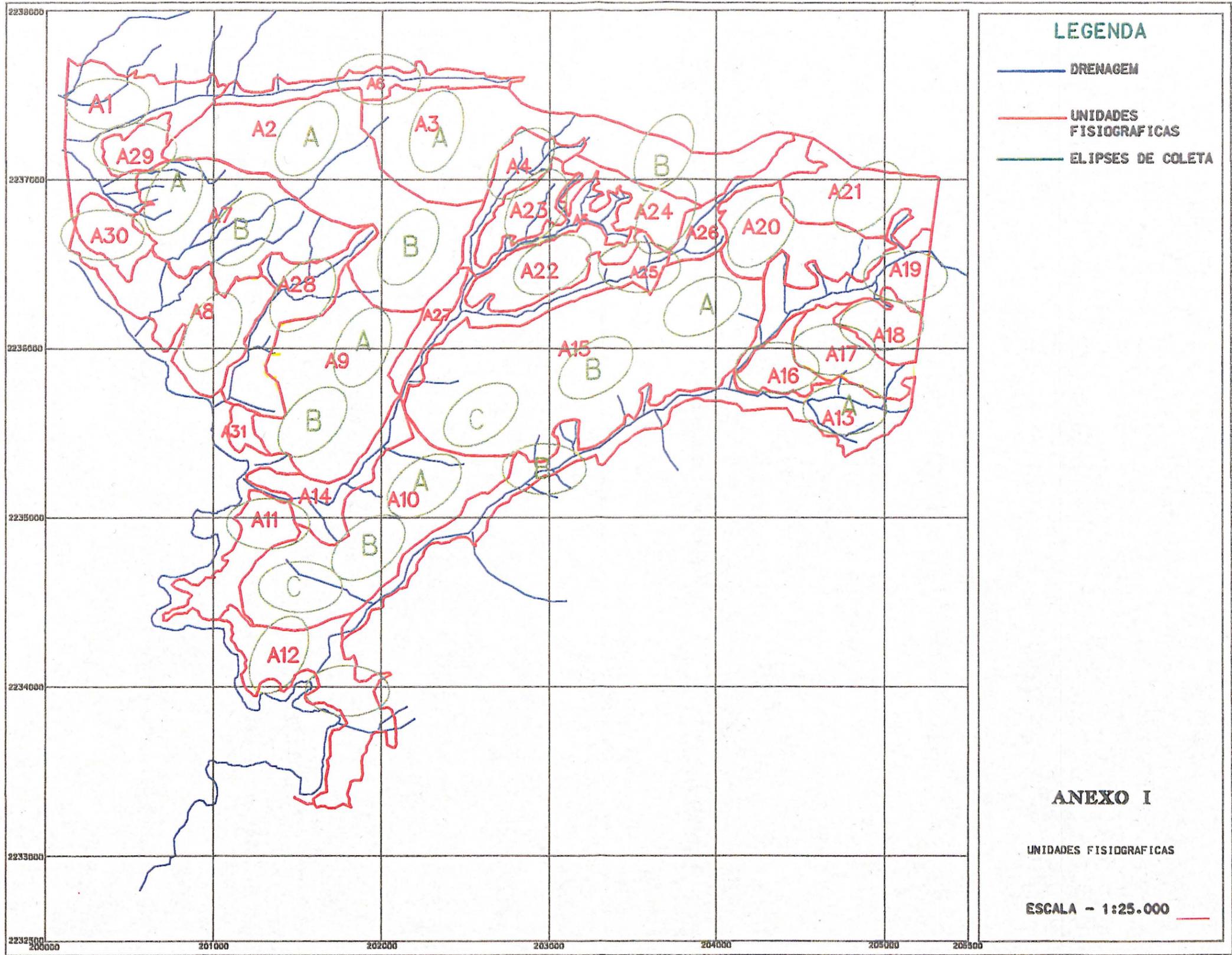
**ROCHA, H. O . Integração de dados através de agrupamentos e interpretação de**

**imagens orbitais para levantamento de solos.** Curitiba, 1993. 106 p. Tese

Professor ( Titular – área de conhecimento Fotointerpretação e levantamento de

solos ) – Universidade Federal do Paraná.

- SILVA, D.M.; PFEIFER, R.M. Fotointerpretação de amostras circulares de redes de drenagem dos solos do parque estadual de Carlos Botelho – SP. **Silvic. S Paulo**, São Paulo, 20 / 22: 17 – 24, 1986 / 88.
- SANTIL, F.L.P.; Carvalho, W.A . Sensoriamento Remoto aplicado a rede de Drenagem na discriminação de solos com horizonte B latossólico e B textural. **Revista brasileira de cartografia**, n46, out 1995.
- SHERTA, D.; NIEUWENHUIS, E. ; STAJNSSENS, M. Soil survey in the Larisa area Greece, **ITC Journal**, 1988 – 3.
- STRAHLER, A. N. Hypsometric analysis of erosional topography. **Bull. Geol. Soc.Am.**, Colorado, 63 : 1117 – 1141, 1952.
- STRAHLER, A.N. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. **Transaction American Geophysical Union**, Vol 38, No 6, December 1957.
- SCHUMM, S.A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Bul. Geol. Soc. Am.**, 67 : 597 – 646, 1956.
- TORGE, W. **Geodesy**. Walter de Gruyter, Berlin, 1980.
- VANICEK, P & KRAKIWSKY, E. **Geodesy: The concepts**. Elsevier, Amsterdam, 2° ed, 1986.
- VETORAZZI, C. A . **Interpretação de imagens TM/Landsat – 5, em duas escalas, na Caracterização fisiográfica para mapeamento de solos**. Piracicaba, 1988. 1984 p. ( Doutorado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” /USP ).
- VIEIRA, N.M. **Estudo geomorfológico das voçorocas de Franca ( SP )**. Rio Claro, UNESP, 1978. 225p. ( Tese de Doutorado ).
- ZINCK, J.A. Soil Survey: ephistemology of a vital discipline. **ITC Journal**, 1990 – 4.



**LEGENDA**

- DRENAGEM
- UNIDADES FISIOGRAFICAS
- ELIPSES DE COLETA

**ANEXO I**

UNIDADES FISIOGRAFICAS

ESCALA - 1:25.000