

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**PROCESSAMENTO DIGITAL DE FOTOGRAFIAS
AÉREAS PARA ANÁLISE DO USO DO SOLO**

SARA ALVES DE SOUZA

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP

Maio – 2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**PROCESSAMENTO DIGITAL DE FOTOGRAFIAS
AÉREAS PARA ANÁLISE DO USO DO SOLO**

SARA ALVES DE SOUZA

ORIENTADOR: PROF. DR. ZACARIAS XAVIER DE BARROS

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP

Maio - 2005

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, pela educação, perseverança e exemplo de vida.

Aos meus irmãos que sempre torceram por mim e pela conclusão de mais uma etapa em
nossas vidas.

Ao meu companheiro João Bosco e nosso filho Guilherme pela grande paciência e
compreensão.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Zacarias Xavier de Barros, pelas críticas, sugestões, ensinamentos, principalmente por se empenhar em levar adiante essa nossa tarefa acreditando e confiando no nosso êxito.

Ào Prof. Dr. Lincoln G. Cardoso, que sempre esteve pronto a nos ajudar no desenvolvimentos deste estudo.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo apoio financeiro desse trabalho, o que foi de grande valia para conclusão do mesmo.

Ao Eng. Cartógrafo João Bosco Nogueira Junior, pelas informações referentes à questões relacionadas com alguns softwares necessários à execução desse trabalho.

Ao amigo e também Geógrafo, Ronaldo Pollo, pelo apoio durante as atividades no Laboratório de Aerofotogrametria.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Rural e do PPGEA, funcionários da FCA e a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram com mais uma etapa em nossas vidas.

EPÍGRAFE

“O Senhor é meu pastor e nada me faltará...”

Salmos, Cap.23

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	III
LISTA DE FIGURAS	5
RESUMO	6
SUMMARY	8
1 INTRODUÇÃO	9
<i>1.1 Considerações Iniciais</i>	<i>9</i>
<i>1.2 Objetivos</i>	<i>10</i>
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
<i>2.1 Sensoriamento Remoto</i>	<i>11</i>
<i>2.2 Geoprocessamento e SIG</i>	<i>12</i>
<i>2.3 Cartografia</i>	<i>13</i>
<i>2.3.1 Mapas e Cartas</i>	<i>13</i>
<i>2.3.1.1 Mapa</i>	<i>13</i>
<i>2.3.1.2 Carta</i>	<i>14</i>
<i>2.3.2 Componentes da Cartografia</i>	<i>15</i>
<i>2.3.2.1 Escala</i>	<i>15</i>
<i>2.3.2.2 Projeção</i>	<i>15</i>
<i>2.3.2.3 Simbolização e Conteúdo de Mapas</i>	<i>15</i>
<i>2.3.3 Cartografia Digital</i>	<i>16</i>
<i>2.3.3.1 Representação dos Elementos do Mundo Real</i>	<i>16</i>
<i>2.3.3.1.1 Representação Matricial</i>	<i>16</i>
<i>2.3.3.1.2 Representação Vetorial</i>	<i>17</i>
<i>2.4 Fotogrametria</i>	<i>19</i>
<i>2.4.1 Fotografias Aéreas - Fonte de Dados Para Identificação da Cobertura do Solo</i>	<i>20</i>
<i>2.4.1.1 Fotointerpretação</i>	<i>22</i>
<i>2.4.1.2 Processamento de Imagens</i>	<i>23</i>
<i>2.4.1.3 Processamento de Imagens Digitais</i>	<i>24</i>
<i>2.4.1.4 Processamento de Imagens Contínuas</i>	<i>24</i>
<i>2.4.1.5 Digitalização de Imagens</i>	<i>25</i>
<i>2.4.1.6 Técnicas de Processamento de Imagens Digitais</i>	<i>26</i>
<i>2.4.1.5 Georreferenciamento de Imagens</i>	<i>28</i>
<i>2.5 Controle de Qualidade</i>	<i>29</i>
<i>2.5.1 Controle de Qualidade em Cartografia</i>	<i>30</i>
<i>2.5.2 Legislação Cartográfica no Brasil</i>	<i>32</i>
<i>2.5.3 Qualidade da Classificação</i>	<i>34</i>
<i>2.5.4 Exatidão ou Acurácia Posicional</i>	<i>34</i>
3 MATERIAIS E MÉTODOS	38
<i>3.1 Área de Estudo do Município de Botucatu - SP</i>	<i>38</i>
<i>3.1.1 Definição da Área de Estudo</i>	<i>39</i>
<i>3.1.2 Descrição dos Produtos Cartográficos Analisados</i>	<i>39</i>

3.1.3 Georreferenciamento da Carta de Referência e das Fotografias Aéreas	40
3.1.3.1 Geração do Gríde Vetorial	40
3.1.3.2 Georreferenciamento da Carta Matricial.....	45
3.1.3.3 Georreferenciamento das Fotografias Aéreas.....	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1.1 Processamento das Imagens.....	53
4.1.2 Classificação Não Supervisionada	55
4.1.3 Qualidade da Classificação.....	58
4.1.4. Classificação Pela Interpretação Visual dos Mosaicos	59
4.1.5 Controle de Qualidade Posicional	62
5.COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
ANEXOS	71
<i>I – Distribuição Qui Quadrado χ^2</i>	<i>71</i>
<i>II – Mosaicos Georreferenciados (1972 – 2000).....</i>	<i>72</i>
<i>III – Mapas Temáticos de Classificação Não Supervisionada</i>	<i>72</i>
<i>IV – Cartas Temáticas de Classificação Não Supervisionada Com Aplicação de Filtro (1972-2000).....</i>	<i>72</i>
<i>V – Cartas Temáticas de Classificação Pela Interpretação Visual.....</i>	<i>72</i>

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Padrões de exatidão planimétrica (BRASIL, 1984)-----	33
Tabela 2 – Padrões de exatidão altimétrica (BRASIL, 1984)-----	33
Tabela 3 – Coordenadas geodésicas e UTM – Córrego Alegre. -----	42
Tabela 4 – Áreas resultantes da classificação visual – anos de 1972 e 2000.-----	61
Tabela 5 – Coordenadas dos pontos de referência, mosaicos 1972 e 2000, no Datum Córrego Alegre, Fuso 22-----	62
Tabela 6 – Diferença entre as coordenadas (Referência – 1972) -----	63
Tabela 7 – Diferença entre as coordenadas (Referência – 2000) -----	63
Tabela 8 – Resultados para a análise de precisão (Resultante – 1972)-----	63
Tabela 9 – Resultados para a análise de precisão (Resultante – 2000)-----	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação Matricial (detalhe da folha 1:50.000, “Arealva” – IBGE).....	17
Figura 2 – Representação Vetorial (detalhe da folha 1:50.000, “Arealva” – IBGE).	18
Figura 3 – Elementos de Representação Vetorial.....	19
Figura 4 – Detalhe de coordenadas para o canto de quadrícula – carta Barra Bonita.	41
Figura 4 – Definição do sistema de coordenadas.	42
Figura 5 – Parâmetros para o sistema UTM.	43
Figura 6 – Parâmetros para o elipsóide internacional.....	43
Figura 7 – Níveis de informações.....	44
Figura 8 – Tela de informações sobre atributos e propriedades das informações armazenadas.....	44
Figura 9 – Gride gerado para o município da área de estudo.....	45
Figura 10 – Carta matricial do município de Barra Bonita.	46
Figura 11 – Fases de georreferenciamento das cartas matriciais.....	47
Figura 12 – Tela de resíduos dos pontos selecionados.....	48
Figura 13 – Gride vetorial e carta matricial inserida.	48
Figura 14 – Detalhe da carta matricial georreferenciada de Barra Bonita.	49
Figura 15a – Fotografias pancromáticas e em tons de cinza do ano de 1972.....	50
Figura 15b – Fotografias coloridas e em tons de cinza do ano de 2000.....	51
Figura 16 – Detalhe da carta matricial de Barra Bonita e respectiva fotografia aérea.....	52
Figura 17a – Ponto bem definido na carta matricial de Barra Bonita.	53
Figura 17b – Ponto homólogo na fotografia aérea.	53
Figura 18 – Mosaicos e histogramas para os anos de 1972 e 2000.	54
Figura 19 – Mosaicos e histogramas com manipulação do contraste para os anos de 1972 e 2000.	55
Figura 20 – Imagens da classificação não-supervisionada para os anos de 1972 e 2000....	56
Figura 21 – Exemplos de <i>Pixels</i> dispersos.	57
Figura 22 – Resultado da classificação e aplicação de filtro para os anos de 1972 e 2000. 57	
Figura 23 – Resultado da classificação e aplicação de filtro para os anos de 1972 e 2000. 58	
Figura 24 – Exemplos de <i>pixels</i> alocados em erroneamente – Erro de inclusão para os anos de 1972 e 2000.....	59
Figura 25 – Mapa temático gerado a partir da interpretação visual -1972.....	60
Figura 26 – Mapa temático gerado a partir da interpretação visual -2000.....	61

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo principal utilizar uma metodologia apoiada em técnicas de geoprocessamento para identificar e quantificar o tipo de cobertura vegetal encontrada em parte do município de Botucatu – SP, desta forma o mesmo foi dividido em três fases.

Na primeira fase, efetuou-se o levantamento dos dados e a preparação dos mesmos para o georreferenciamento.

Na segunda fase, as fotos foram georreferenciadas tendo por base a carta topográfica rasterizada do IBGE na escala 1:50.000. Nesse processo foram utilizados três softwares (*MicroStation, Image Analyst e ERDAS*). Após esse processo montou-se um mosaico da área de estudo para o ano de 1972 e 2000, efetuou-se o tratamento digital dos produtos e procedeu-se a etapa de classificação não supervisionada para ambas as épocas.

Na terceira fase, foram geradas cartas temáticas que propiciaram a investigação das mudanças ocorridas no período de 28 anos para a área. Os resultados obtidos propiciaram a verificação e constatação da qualidade da classificação não supervisionada obtida.

De acordo com os resultados obtidos, chegou-se à conclusão de que na fase de georreferenciamento das fotografias aéreas, a metodologia proposta mostrou-se eficiente uma vez que a mesma foi baseada em fundamentos científicos de análises de resíduos do processo, propiciando a utilização de cartas matriciais como fonte de referência. Assim, a etapa de coleta de dados em campo não mais necessita ser executada acarretando em economia, agilidade no processo e conseqüente redução de custos.

A classificação não supervisionada não se mostrou satisfatória devido a erros de inclusão e omissão de *pixels* decorrentes do classificador utilizado.

Através da interpretação visual dos mosaicos obtiveram-se dados acerca das alterações do uso do solo para os anos de 1972 e 2000. Os dados mostraram que no período de 28 anos algumas áreas tais como: rios, campo-cerrado, dentre outras sofreram significativas reduções. Enquanto que, áreas ocupadas com cana-de-açúcar e eucalipto aumentaram significativamente.

SUMMARY

This work aimed to apply geoprocessing techniques to identify and to quantify the types of vegetal coverings in part of the county Botucatu – SP.

The first phase comprised the surveying and preparation of data for georeferencing.

In the second phase, the photos have been georeferenced based on the digital topographic map of the IBGE in 1:50.000 scale. In this process, two had been used softwares have been used (MicroStation, Image Analyst and ERDAS). After this, it has been set mosaic of the study area for the year of 1972 and 2000, the products have received the digital treatment and have been classified through unsupervised classification.

In the third phase, thematic maps have been generated, which allowed investigating the charges for the period of 28 years. The results have propitiated the verification of the accuracy of the classification.

According to the results, it has been stated that suggested methodology for georeferencing has been efficient, statistically based on the analyses of residues, allowing the use of digital maps as reference collecting field data should any more been executed, resulting in economy, agility and cost effective.

The results of the unsupervised classification have not been satisfactory due to the errors of inclusion and the omission of pixels as consequence of the classifier.

The visual interpretation of the mosaics allowed obtaining the land use changes for the years of 1972 and 2000.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

Os resultados dos estudos da cobertura vegetal do solo podem ser considerados como instrumentos de grande importância para planejamentos de um modo geral, uma vez que um determinado tipo de cobertura vegetal pode influenciar na manifestação de fenômenos como, erosão, infertilidade, desertificação, dentre outros.

Durante várias décadas, o homem gerenciou os recursos naturais de maneira inadequada o que acarretou em sérios problemas ambientais tais como:

- Mudanças climáticas (excesso e/ou escassez de chuvas) ;
- A substituição de matas nativas por florestas artificiais, para fins comerciais, tem provocado a escassez da fauna além de mudanças no micro-clima da região;
- Assoreamento de rios e córregos, dentre muito outros problemas.

Atualmente, questões ligadas ao meio ambiente têm suscitado várias discussões entre os diferentes segmentos da sociedade. Profissionais de diversas áreas têm se empenhado em desenvolver um planejamento adequado e diferenciado que vá de encontro às necessidades de explorar os recursos naturais de maneira adequada e para isso utilizam-se de ferramentas, tecnologias e metodologias apropriadas.

Dentre as tecnologias utilizadas para a manipulação de informações pode-se citar o uso da informática e técnicas computacionais que propiciam um melhor gerenciamento e análise de dados, além de agilizar todo o processo.

No presente trabalho, utilizou-se o processamento digital de fotografias aéreas para investigar as alterações provocadas na cobertura vegetal de uma área do Município de Botucatu – SP, considerando-se um período de 28 anos e adotando-se sete classes de uso do solo para análises (eucalipto, cana-de-açúcar, campo ou cerrado, rio, pastagem, mata ciliar e área urbana) com maior representatividade no município.

Foram utilizados como dados fontes, fotografias aéreas analógicas tomadas em dois períodos distintos – ano de 1972 (fotografias pancromáticas) e ano de 2000 (fotografias coloridas) as quais foram transformadas em imagens digitais (scanerização) e georreferenciadas. Após essas etapas, as mesmas passaram por um processo de classificação não supervisionada das áreas de interesse através do aplicativo *Image Analyst* propiciando a geração de cartas temáticas de uso e cobertura do solo para ambas as épocas e a avaliação da qualidade de suas informações.

1.2 Objetivos

Os principais objetivos deste trabalho são:

- Utilizar uma metodologia apoiada em técnicas de tratamento digital de imagens para identificar e quantificar o tipo de cobertura vegetal encontrada em parte do município de Botucatu – SP a partir de fotografias aéreas;
- Efetuar uma análise temporal sobre a evolução dessa cobertura vegetal num período de 28 anos (1972 e 2000).

Considerando o aspecto mais geral, podem-se evidenciar os seguintes objetivos:

- Definir quais os tipos predominantes de vegetações encontradas na área de estudo em ambos os períodos (1972 e 2000);
- Comparar a eficiência dos resultados da metodologia de tratamento de imagens digitais com a interpretação visual do uso do solo;
- Através de métodos estatísticos, avaliar a qualidade posicional dos produtos gerados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sensoriamento Remoto

Segundo Novo (1989), o Sensoriamento Remoto pode ser definido como sendo a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves e espaçonaves, que têm por objetivo o estudo das interações no ambiente terrestre, entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas diversas manifestações, sem que haja o contato físico direto.

Amaral (1975) afirma que, o sensoriamento remoto pode ser definido como a aplicação de determinados dispositivos os quais, colocados em aviões ou satélites, permitem obter informações acerca de objetos ou fenômenos na superfície ou subsuperfície da Terra. Numa análise mais rigorosa, o sensoriamento remoto mede as trocas energéticas entre aqueles fenômenos ou objetos com o meio ambiente. Essas trocas energéticas manifestam-se particularmente por emissão ou modificação de ondas eletromagnéticas e perturbações dos campos magnéticos e gravimétricos.

Para a obtenção de uma imagem de satélite é necessário que o sistema sensor possua mecanismos para captar, registrar e interpretar a REM (Radiação eletromagnética) emitida pelo alvo. Segundo leis físicas, todo corpo acima de 0 K emite energia, portanto essa energia pode ser associada a radiação eletromagnética. Essa mesma energia pode mover-se à

velocidade da luz na forma de ondas ou partículas eletromagnéticas e por isso não necessita de meio material para se propagar.

O sistema que envolve o processo de produção de produtos do sensoriamento remoto por satélite é um tanto complexo, e não serão utilizados no presente trabalho, portanto não serão abordados.

2.2 Geoprocessamento e SIG

O geoprocessamento pode ser entendido como a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação sobre fenômenos geograficamente identificados (Câmara & Medeiros, 1996).

Para Rocha (2000) citado por Dainese (2001), um sistema de geoprocessamento é, geralmente, destinado ao processamento de dados referenciados geograficamente ou georreferenciados, desde a sua coleta até a geração de saídas na forma de mapas convencionais, relatórios, arquivos digitais, etc., devendo prever recursos para a sua estocagem, gerenciamento, manipulação e análise. O geoprocessamento procura abstrair o mundo real, transferindo ordenadamente as suas informações para o sistema computacional. Esta transferência é feita sobre bases cartográficas, através de um sistema de referência apropriado.

Uma das formas mais aplicadas atualmente no geoprocessamento se dá através do uso dos chamados Sistemas de Informações Geográficas ou SIGs, que, segundo Goodchild (1985), são definidos como o gerenciamento, análise e manipulação de informação referenciada espacialmente em uma síntese de soluções de problemas.

Finalmente o SIG, segundo Bernardy (2002), pode ser postulado como um conjunto de métodos, ferramentas e atividades que atuam de forma coordenada e sistemática para processar informações, tanto gráficas quanto descritivas das variáveis com a finalidade de satisfazer diversos propósitos, entre os quais, os sociais, os ambientais, os econômicos e os estruturais. Nesse enfoque, possibilita de forma eficiente, identificar a situação pretendida e atual para definir os cenários e as potencialidades do território, permitindo traçarem diretrizes.

A análise temporal em geoprocessamento consiste da comparação de dados de diversas épocas por meio de aplicação de métodos univariados e multivariados de análise estatística.

2.3 Cartografia

Para Robinson et. al. (1985), a representação gráfica de relações espaciais e formas espaciais é o que nós chamamos de mapas, e, muito simplesmente, cartografia é a construção e estudo de mapas em todos os seus aspectos. Isto inclui o ensino de habilidades no uso de mapas; o estudo da história da Cartografia; a coleta, reunião e manipulação de dados, o projeto e o preparo dos mapas, cartas, plantas e atlas.

O escopo da Cartografia é identificado como tendo quatro categorias:

- Coleta e seleção de dados para mapeamento;
- Manipulação e generalização de dados, projeto e construção do mapa;
- Leitura e visualização do mapa;
- Resposta ou interpretação dos dados.

Desta forma, a Cartografia pode ser entendida como sendo o campo que está envolvido com a comunicação gráfica de relações e distribuições espaciais e inclui a análise e manipulação de dados geográficos para realçar a representação.

2.3.1 Mapas e Cartas

Não existe uma diferença rígida entre os conceitos de mapa e carta. É, portanto, difícil estabelecer uma separação definitiva entre os significados dessas designações.

Para tentar descrever melhor os significados entre mapas e cartas, tem-se as definições do Dicionário Cartográfico.

2.3.1.1 Mapa

Representação gráfica, em geral uma superfície plana e numa determinada escala, com a representação de acidentes físicos e culturais da superfície da Terra, ou de um planeta ou satélite. As posições dos acidentes devem ser precisas, de acordo, geralmente, com um sistema de coordenadas. Serve igualmente para denominar parte ou toda a superfície da esfera celeste.

O mapa, portanto, pode ou não ter caráter científico especializado e é frequentemente, construído em escala pequena, cobrindo um território mais ou menos extenso, tendo como uma definição simples, a representação dos aspectos geográficos naturais ou artificiais da Terra destinada a fins culturais, ilustrativos ou científicos.

2.3.1.2 Carta

A carta é a representação dos aspectos naturais e artificiais da Terra, destinada a fins práticos da atividade humana, principalmente a avaliação precisa de distâncias, direções e a localização geográfica de pontos, áreas e detalhes; representação plana geralmente em média ou grande escala, de uma superfície da Terra, subdividida em folhas, de forma sistemática, obedecendo um plano nacional ou internacional. Nome tradicionalmente empregado na designação do documento cartográfico de âmbito naval. É empregado no Brasil, também como sinônimo de mapa em muitos casos.

Existem muitas classificações e subdivisões dos produtos cartográficos sejam eles cartas ou mapas, tais como cartas geográficas, topográficas, planimétricas, geológicas, geomorfológicas, meteorológicas, cartas de solo, de vegetação, uso da Terra, etc.,.

As definições das cartas mais importantes que serão abordadas nesse trabalho são:

- **Cartas topográficas:** São aquelas confeccionadas mediante um levantamento topográfico regular ou compilados de cartas topográficas existentes e que incluem os acidentes naturais e artificiais, permitindo facilmente a determinação de altitudes;
- **Cartas de vegetação (temática):** São aquelas que representam as características e a distribuição da cobertura vegetal;
- **Cartas de uso da Terra (temática):** São aquelas que representam a classificação e distribuição geográfica dos diversos usos a que está sujeita a superfície da Terra.

2.3.2 Componentes da Cartografia

A cartografia pode ser subdividida de muitas maneiras como, por exemplo, a cartografia básica, temática, e especial, devendo o iniciante em cartografia familiarizar-se com alguns componentes principais, num sentido bem geral.

2.3.2.1 Escala

A representação de uma área em um mapa é feita num tamanho reduzido. Esta redução de escala para um tamanho adequado, de acordo com as finalidades do mapa, é a base de muitos usos qualitativos das cartas. Assim, a escala é tão fundamental que é considerada um dos três atributos imprescindíveis de um mapa ou carta juntamente com a projeção e simbolização.

2.3.2.2 Projeção

Um aspecto fundamental da cartografia é de entender e tentar corrigir os problemas relacionados com a transformação da superfície esférica (Terra) para uma superfície plana (o papel). Isto é chamado de projeção. Existem uma variedade de maneiras diferentes de representar uma esfera num pedaço de papel, porém deve-se ter conhecimento desde o início do que uma esfera pode somente ser produzida sem deformações numa outra esfera. Sendo assim, todas as projeções têm deformações, imperfeições e problemas.

2.3.2.3 Simbolização e Conteúdo de Mapas

Um mapa não pode mostrar tudo o que existe em uma realidade qualquer. Tampouco pode conter todos os detalhes que existem numa fotografia aérea. Mas o mapa difere de uma fotografia no sentido que ele pode ser seletivo e fazer sobressair dois ou mais temas, os quais sejam seus objetivos.

Um mapa pode ainda mostrar coisas que não são visíveis em fotografias, tais como divisões políticas, densidades demográficas, ou formações geológicas subterrâneas.

Por entender o que deve aparecer no mapa, isto é, o conteúdo do mapa, o seu elaborador se dispõe a selecionar os símbolos necessários para fazer a sua mensagem tão comunicativa quanto for possível.

2.3.3 Cartografia Digital

A coleta de informações sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, naturais, propriedades, animais e plantas sempre foi uma parte importante das atividades das sociedades organizadas. Até recentemente, isto era feito apenas em documentos e mapas em papel, dificultando uma análise que combinasse diversos mapas e dados. Com o desenvolvimento da ciência e tecnologia de Informática, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional.

2.3.3.1 Representação dos Elementos do Mundo Real

Para a representação geométrica dos elementos do mundo real deve-se considerar duas classes: a de representação matricial e a de representação vetorial. A representação matricial consiste no uso de uma malha quadriculada regular sobre a qual se constrói, célula a célula, o elemento a ser representado. A vetorial tenta reproduzir um elemento ou objeto através de três formas básicas: pontos, linhas, áreas ou polígonos.

2.3.3.1.1 Representação Matricial

Nesta representação, o elemento é mostrado como uma matriz de n linhas por m colunas, e cada célula possui um número de linha e coluna, além de um valor que corresponde a um determinado atributo.

A representação matricial supõe que o espaço pode ser tratado como uma superfície plana, onde cada célula está associada a uma porção do terreno. A Figura 1 mostra uma representação matricial de um detalhe extraído de uma carta 1:50.000 – IBGE da região de Arealva.

Câmara (1996) descreve alguns tipos de possíveis representações matriciais:

- Grade Regular: uma grade regular é uma matriz de números reais;
- Imagem em Tons de Cinza: imagem representada através de uma matriz onde os seus valores representam os valores de cinza da imagem;
- Imagem Temática: representação matricial de um geo-campo temático. Por exemplo: numa imagem temática, um elemento da matriz de valor 2 pode estar associado ao tema “Floresta Ombrófila”;
- Imagem Sintética (ou Codificada): representação de uma imagem em cores, utilizada para mostrar imagens em composição colorida em placas gráficas falsa-cor.



Figura 1 – Representação Matricial (detalhe da folha 1:50.000, “Arealva” – IBGE).

2.3.3.1.2 Representação Vetorial

Na representação vetorial, a localização e a aparência gráfica de cada objeto são representadas por um ou mais pares de coordenadas.

O modelo vetorial é bastante intuitivo para engenheiros e projetistas. Para sua representação são considerados três elementos gráficos - ponto, linha e área ou polígono (Câmara, 1996):

- Ponto: é um par ordenado (x,y) de coordenadas espaciais. Além das coordenadas, outros dados não-espaciais (atributos) podem ser arquivados para indicar de que tipo de ponto se está tratando;
- Linhas: são um conjunto de pontos conectados. Além das coordenadas dos pontos que compõem a linha, devem-se armazenar informações que indiquem de que tipo de linha se está tratando, ou seja, a que atributos ela está associada;
- Polígono: é a região do plano limitada por uma ou mais linhas, conectadas de tal forma que o último ponto de uma linha seja idêntico ao primeiro da próxima.

A Figura 2 mostra a representação vetorial da mesma área apresentada na Figura 2.1 (matricial).



Figura 2 – Representação Vetorial (detalhe da folha 1:50.000, “Arealva” – IBGE).

Na Figura 3 observam-se os três tipos de representação do elemento gráfico.

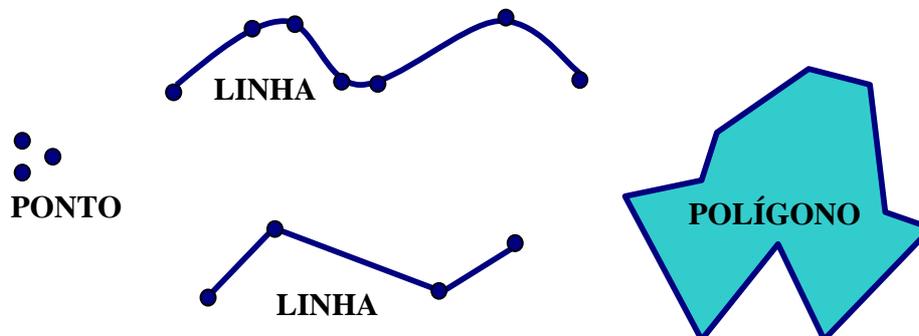


Figura 3 – Elementos de Representação Vetorial

2.4 Fotogrametria

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

Embora originalmente a Fotogrametria se ocupasse de analisar fotografias, esta definição atual também engloba dados provenientes de sensores remotos. Esta definição também inclui duas áreas distintas segundo Tommaselli (1999):

- Fotogrametria (métrica), num sentido mais restrito, referindo-se aos métodos de obtenção de dados quantitativos, como coordenadas, áreas, etc., a partir dos quais são elaborados os mapas e cartas topográficas;
- Fotogrametria interpretativa que objetiva principalmente o reconhecimento e identificação de objetos e o julgamento do seu significado, a partir de uma análise sistemática e cuidadosa de fotografias.

Outra classificação que pode ser adotada refere-se à participação instrumental para medição e redução dos dados: os métodos mais antigos de processamento dos dados fotogramétricos requeriam instrumentos analógicos; era a fotogrametria analógica.

Sabe-se que atualmente já existem câmaras digitais que geram fotografias digitais, automatizando todo o processo de aquisição.

Segundo Tommaselli (1999), a Fotogrametria pode ser:

- Fotogrametria aérea (ou Aerofotogrametria) é uma subdivisão da Fotogrametria, na qual as fotografias do terreno são tomadas por uma câmara de precisão montada em uma aeronave. Essas serão os tipos de fotografias utilizadas nesse trabalho;
- Fotogrametria Terrestre: quando as fotografias são tomadas de uma posição fixa no terreno (normalmente conhecida);
- Fotogrametria Espacial: compreende todos os casos de fotografias ou imagens extraterrestres e as medições subsequentes, na qual a câmara estiver fixada na Terra, na Lua, em um planeta ou num satélite artificial;
- Fotogrametria a Curta-distância: é utilizada na Arquitetura, Medicina, Indústria, Engenharia e pressupõe a proximidade entre a câmara e o objeto a ser fotografado.

Atualmente, com o avanço das tecnologias e a potência dos computadores para aplicações gráficas está em implantação a fotogrametria digital, reduzindo a participação instrumental apenas à fase de digitalização das fotografias em “scanner”.

2.4.1 Fotografias Aéreas - Fonte de Dados Para Identificação da Cobertura do Solo

De acordo com Temba (2000) citando (Ray,1963) a fotografia aérea é um registro instantâneo dos detalhes do terreno que se determina principalmente pela distância focal da lente câmara, pela altura de vôo do avião no momento da exposição do filme e filtros usados.

Segundo Ricci (1965), o uso de fotografias aéreas como instrumento enriquecido do conhecimento humano nasceu da necessidade de mapear grandes áreas com economia de tempo e despesas. A utilização dessa técnica teve início durante a 1º guerra mundial, e seus princípios foram largamente desenvolvidos em decorrência de dois grandes conflitos armados que flagelaram a humanidade.

Para Garcia (1982), a fotografia aérea tem sido usada intensivamente como um sensor remoto na identificação e mapeamento dos recursos naturais. Pelo potencial de utilização, as fotografias aéreas prestam-se como ferramenta de trabalho nos mais diferentes campos, tais como: Geografia, Geologia, Hidrologia, Ecologia, etc.

O uso de fotografias aéreas verticais dentre os produtos do sensoriamento remoto, se tornou cada vez mais freqüente nos projetos de levantamentos, planejamento e explorações do solo, principalmente porque substitui com vantagens outras bases cartográficas, além da riqueza de detalhes que oferece, eliminando assim as dificuldades de acesso em determinadas áreas, proporcionando uma visão tridimensional, por aumentar o rendimento e a precisão do mapeamento.

Quando o resultado do trabalho de fotointerpretação não requer exatidão elevada, pode-se utilizar de métodos onde as feições dos objetos são diretamente traçadas sobre folhas de poliéster ou *overlays* sobrepostos às fotografias aéreas, caso contrário, pode-se utilizar de um *scanner* para copiá-las e a interpretação feita por um programa de análise de imagens.

Para se manter um nível satisfatório de exatidão, há necessidade de se plotar alguns pontos de controle da fotografia (pontos cujas coordenadas são conhecidas), distribuídos uniformemente através dela, no decalque (*overlay*) (Wolf, 1983).

Para Farret (1996), trabalhando-se diretamente sobre fotografias aéreas de pequeno formato não retificadas, a melhor geometria de pontos de controle é um ponto em cada um dos cantos da fotografia.

Uma fotografia aérea, não pode ser considerada como um mapa, pois possui variações de escala e deslocamentos devido ao relevo. Além disso, pode conter distorções causadas pela inclinação da câmara e pelo sistema de projeção que apresenta. Por meio do controle combinado entre pontos da fotografia com coordenadas conhecidas, erros dessas fontes podem ser minimizados. Se variações do terreno são moderadas e não houver inclinação exagerada da câmara, resultados exatos podem ser alcançados (Wolf, 1983).

Já a ortofoto é uma fotografia que apresenta a imagem das feições projetadas ortogonalmente, com uma escala constante. Não apresenta os deslocamentos devido ao relevo e a inclinação da câmara e por isso é geometricamente equivalente a uma carta.

A principal vantagem do uso de ortofotos é a possibilidade de medição de ângulos, distâncias, áreas, diretamente sobre a mesma, já que elas possuem uma escala constante. Além

disso, possuem uma vasta riqueza pictorial permitindo fácil interpretação, e por ser uma fotografia em projeção ortogonal apresenta uma riqueza de detalhes cartográficos encontrado em cartas.

2.4.1.1 Fotointerpretação

Fotointerpretação pode ser definida como sendo o ato de se examinar imagens fotográficas de objetos com o propósito de identificá-los e avaliar o seu significado. Ela deve apoiar-se no princípio da convergência de evidências, segundo o qual vários elementos de reconhecimento levam a uma determinada conclusão, que provavelmente será a correta (Colwell, 1952).

Segundo Souza (2000), as fotografias aéreas mostram apenas a superfície do solo, que muitas vezes não está visível. Por outro lado, a presença de padrões, tais como os de relevo, drenagem, erosão e vegetação, permite ao fotointérprete fazer inferências sobre a distribuição dos solos e material de origem, porém, o trabalho de campo não pode ser substituído completamente.

Para Amaral & Audi (1972), a fotografia aérea apresenta-se como material de trabalho indispensável no levantamento de solos, proporcionando ganho de tempo, precisão de limites e real visão global da paisagem com riqueza de detalhes. Desta maneira, não serve apenas como base cartográfica preliminar, para auxiliar os trabalhos de campo e traçado de roteiros mais interessantes, mas também possibilita a separação das unidades de solo diretamente sobre ela.

Diversos trabalhos de análise temporal utilizam as fotografias aéreas convencionais como fonte de dados, sobretudo aqueles que abrangem um período anterior ao uso corrente das imagens de satélite. Esses dados podem ser convertidos e manipulados por meio de técnicas de geoprocessamento, que coletam e tratam informações georreferenciadas (Parise,1999).

2.4.1.2 *Processamento de Imagens*

Considerando a aplicação em sensoriamento remoto, uma imagem pode ser definida como sendo o registro contínuo ou discreto de uma vista bidimensional. O registro é feito por um sensor geralmente acoplado a uma plataforma aérea ou orbital. Dependendo das características do sistema sensor utilizado na aquisição dos dados (sistema fotográfico, imageamento eletro-óptico), a imagem será registrada na forma contínua ou discreta (Curran,1988).

Desta forma tem-se:

- **Imagem discreta:** seus detalhes são mantidos em unidades digitais ou discretas e que podem ser tratadas e manipuladas quantitativamente o que implica em se registrar a informação da cena observada pelo sensor (sistema eletro-óptico) em várias parcelas discretas que são transformadas em impulsos elétricos e posteriormente codificadas e armazenadas em meio magnético na forma digital, podendo ser tratadas e manipuladas somente por programas computacionais. As técnicas de processamento dessas informações são denominadas processamento digital de imagens. Imagens multiespectrais adquiridas pelo sensor TM do satélite Landsat, são exemplos de imagens discretas, que podem ser transformadas para a forma contínua.
- **Imagem contínua:** a informação é registrada como um sinal contínuo representando a exposição sobre a cena observada por um sensor fotográfico, cujo produto final apresentado para análise são dados analógicos, como as imagens em cópia de papel ou transparências, cujas técnicas de processamento nesta fase são denominadas de processamento de imagens contínuas. Fotografias aéreas, nas quais seus detalhes são registrados e exibidos como um sinal contínuo que podemos ver e interpretar são exemplos de imagens contínuas.

Assim como as imagens podem ser adquiridas tanto como registro contínuo quanto discreto, as suas formas de processamento também podem ser implementadas de maneira específica para cada formato.

2.4.1.3 Processamento de Imagens Digitais

O processamento digital pode ser entendido como o conjunto de procedimentos relativos à manipulação e análise de imagens através de computador, compreendendo basicamente a entrada de dados, o realce (manipulação do contraste), a análise estatística e a geração de saídas que podem ser imagens em tons de cinza ou coloridas (Quintanilha,1990).

O objetivo principal do processamento digital de imagens, segundo Crósta (1992), é o de remover barreiras, inerentes ao sistema visual humano (decorrente do grande volume de informações presentes nas imagens de várias regiões do espectro), facilitando a extração a partir das imagens. Neste contexto, o processamento digital deve ser encarado como um estágio preparatório, embora quase sempre obrigatório, da atividade de interpretação das imagens de sensoriamento remoto.

2.4.1.4 Processamento de Imagens Contínuas

No processamento de imagens contínuas existem técnicas de correção e realce como por exemplo:

- **Modificação de contraste:** nesta técnica, a escala de tons de cinza de uma imagem é otimizada através do aumento de contraste quando se pretende identificar mudanças tonais sutis, ou através da diminuição de contraste para diferenciar detalhes com tons de cinza muito escuros ou muito claros;
- **Realce de bordas:** ideal para identificação em mudanças bruscas de declividade do terreno e limites de texturas;

- **Filtragem espacial e direcional:** usada para a remoção de ruídos na imagem.

2.4.1.5 Digitalização de Imagens

A exigência básica de muitos procedimentos de processamento de imagem é a capacidade de transformação da imagem entre os estados contínuo e discreto. Por exemplo, uma imagem contínua pode ser convertida em dados discretos para análise digital e, em seguida, convertida de volta à forma contínua para análise visual (Curran,1998).

O processo de digitalização de imagem analógica (fotografias, mapas, etc.) pode ser realizado através de um *scanner* periférico que transforma a imagem em uma matriz bidimensional com o número de linhas e colunas e tamanho de cada célula pré-definidos, atribuindo a cada célula um valor de nível de cinza proporcional à tonalidade da imagem original. Esta matriz é então convertida para o formato digital gráfico, podendo ser lida e manipulada por sistemas de processamentos digitais (Crosta,1992).

Os elementos da imagem chamados de pontos de malha e células, respectivamente, que carregam valores de níveis de cinza associados, são mais freqüentemente referidos como *pixels*. O valor de intensidade, ou nível de cinza associado a cada *pixel* é registrado como um número digital ou DN (Digital Number) (Sousa,2000).

O valor do DN depende do nível de energia eletromagnética proveniente da superfície da Terra que o sensor recebe e do número de níveis de intensidade que tiver sido usado para descrever a escala de intensidade da imagem. Muitas das imagens de sensoriamento remoto são codificadas em 8 bits (2^8), que representa uma amplitude de intensidade de 256 níveis de cinza, distribuídos no intervalo de 0 a 255, que deve abranger do mais baixo ao mais alto nível de radiância ou retorno de radar recebidos pelo sensor (Curran,1998).

Para imagens digitalizadas por meio de *scanner* o princípio de atribuição de DN's não é diferente, ou seja, a quantidade de níveis de cinza será sempre representada por uma potência de 2. Portanto uma fotografia digitalizada e codificada em 8 bits será exibida com 256 níveis de cinza (Sousa, 2000).

2.4.1.6 Técnicas de Processamento de Imagens Digitais

As técnicas de processamento de imagens digitais, segundo Novo (1995), são divididas em três categorias: pré-processamento (preparação da imagem), realce e classificação.

As técnicas de pré-processamento referem-se ao conjunto de operações realizadas com o objetivo de corrigir distorções e degradações dos dados da imagem para criar uma representação mais fiel da cena original. Nesta fase, algumas correções podem ser efetuadas, como por exemplo:

- **Correção radiométrica:** são usadas para eliminar ruídos presentes na imagem e que influenciam não só seu aspecto, como também o resultado dos processamentos porventura utilizados. Esses ruídos podem ser causados, por exemplo, pela descalibração dos detetores do sistema sensor, pela presença de muitos valores fora da sua faixa de detecção, ou ainda, pela interferência da atmosfera (Quintanilha, 1990);
- **Correção geométrica:** tem como objetivo minimizar as distorções geométricas provenientes das características do sensor utilizado e das variações decorrentes do seu movimento durante a captação da imagem. Este tipo de correção é feito por programas específicos que têm a função de organizar os *pixels* da imagem em relação a determinados sistemas de projeção cartográfica, através de técnicas de reamostragem. Segundo Novo (1995), isto implica numa reformatação da cena em uma base cartográfica, onde são utilizados pontos de controle no terreno, facilmente identificáveis na base cartográficos e na cena a ser corrigida geograficamente. Após o ajuste, se faz necessário o cálculo dos novos níveis de cinza da imagem corrigida, e este procedimento pode ser executado através dos seguintes procedimentos: alocação do vizinho mais próximo, interpolação bilinear e convolução cúbica.

As técnicas de realce visam melhorar a qualidade da imagem com relação a aspectos subjetivos de avaliação do observador, preparando a imagem para posterior interpretação

visual. De maneira geral, pode-se reunir as técnicas de realce em três conjuntos de operações: manipulação de contraste, filtragem digital e realce espectral descrita a seguir:

- **Manipulação de contraste:** Segundo Quintanilha (1990) esta é a primeira atividade ou manipulação a ser conduzida sobre a imagem, cujo objetivo é modificar os níveis de cinza de tal modo que se obtenha um histograma com a forma desejada pelo usuário. A idéia é redistribuir os valores de níveis de cinza na imagem de modo a melhorar a qualidade da visualização da informação nela contida.
- **Filtragem digital:** Um conceito importante na filtragem digital é a frequência espacial, que é dada pela relação entre um *pixel* e seus vizinhos, estabelecida na transição de um padrão de comportamento na imagem, para outro. Com base neste conceito, definem-se áreas de altas e baixas frequências espaciais na imagem. Uma área de altas frequências espaciais é caracterizada pela mudança abrupta dos níveis de cinza em um número relativamente pequeno de *pixels* (por exemplo, ao cruzar rodovias ou limites de campos). Quando os níveis de cinza variam apenas gradualmente por um número relativamente grande de *pixels* tem-se a ocorrência de baixas frequências (por exemplo, grandes campos agrícolas e corpos d'água). Para eliminar esses efeitos existem filtros específicos como por exemplo, a) filtros passa-baixa que têm a função de eliminar altas frequências da imagem, deixando passar somente as baixas frequências, b) filtros passa-alta que diminuem os componentes de baixa frequência espectral e ressaltam os de alta frequência.

O objetivo das técnicas de classificação é substituir a análise visual da imagem pela análise quantitativa dos níveis de cinza, possibilitando o reconhecimento automático de objetos da cena.

A classificação digital procura eliminar a subjetividade do processo de mapeamento temático e tornar possível a repetitividade do mesmo posteriormente. A maioria das técnicas disponíveis de classificação digital baseia-se apenas no agrupamento de valores de intensidade

espectral (níveis de cinza), não levando em conta a organização espectral dos *pixels* (textura e forma) (Sousa, 2000).

Um processo de classificação é, geralmente, dividido em duas fases: treinamento onde os critérios pelos quais os padrões são reconhecidos e definidos, e a classificação propriamente ditam, através de uma regra de decisão.

A identificação dos diversos materiais na superfície terrestre é possibilitada devido ao comportamento específico que os mesmos possuem ao longo do espectro eletromagnético. Isto permite delinear-los, separando-os em diversos grupos que irão constituir-se em unidades de mapeamento para posterior identificação e confirmação no local, permitindo a elaboração do mapeamento da superfície terrestre com maior grau de certeza (Crosta,1992).

As técnicas de classificação são divididas em: classificação supervisionada e classificação não supervisionada.

Na classificação supervisionada deve-se haver um conhecimento prévio de algumas áreas que se deseja avaliar, ocasionando a seleção de amostras de treinamento confiáveis.

Nesta técnica, são identificados alguns *pixels* das classes e informados ao computador, ao qual cabe a tarefa de localizar os demais *pixels* daquela classe, baseando-se em algumas regras estatísticas preestabelecidas.

Alguns métodos interativos mais comuns de classificação supervisionada são a classificação por paralelepípedo e classificação por Máxima Verossimilhança.

Na classificação não supervisionada, o classificador não utiliza, a priori, nenhum conhecimento sobre as classes existentes na imagem e define, sem a interferência do analista, a estratificação da cena, atribuindo a cada *pixel* uma determinada classe. Neste tipo de classificação, o algoritmo baseia-se na análise de agrupamentos onde são identificados no espaço de atributos as manchas (clusters) formadas por *pixels* com características espectrais similares (Dainese,2001).

2.4.1.5 Georreferenciamento de Imagens

Convertidas para o formato digital, as fotografias aéreas podem ter suas feições digitalizadas diretamente em tela de forma manual, utilizando-se o cursor do computador. Para isso, dependendo da precisão requerida para aplicação em mapeamento ou junção de imagens

para representar uma cena completa (mosaico), distorções geradas por atividades dinâmicas dos sistemas sensores necessitam ser corrigidas e um sistema de projeção cartográfica de referência precisa ser estabelecido.

Para correção geométrica, uma das formas pelas quais é calculada a relação entre dois sistemas de coordenadas se faz através da definição de pontos de controle no terreno, que devem ser reconhecíveis tanto no mapa como na imagem (Crosta,1992).

No caso de fotografias aéreas verticais, a primeira condição exigida é a existência de mapa planimétrico ou planialtimétrico confiável e em escala adequada na área em questão, visto que os pontos de controle deverão ser identificados em ambos, imagem e mapa (Crosta,1992).

A forma mais confiável de obtenção de pontos de controle é através de levantamento de campo, utilizando métodos geodésicos ou rastreamento de satélites de posicionamento. Porém, quando existem limitações para o uso destes métodos, a alternativa mais comum é a utilização de mapas em grande escala como fonte de dados (Delmiro,1996).

2.5 Controle de Qualidade

Os conceitos de qualidade e as formas de seu controle são assuntos complexos. Desta forma, neste capítulo, são abordados os tópicos essenciais para o desenvolvimento do trabalho, com o objetivo de apresentar fundamentação teórica sobre o controle de qualidade e sua aplicação em cartografia. Para tanto, apresenta-se alguns conceitos da cartografia digital e suas formas de representação, tendo em vista a realidade atual, onde os produtos cartográficos são voltados para SIGs. Apresentam-se também conceitos de qualidade de dados cartográficos.

A palavra “qualidade” tem múltiplos significados, e o seu uso é dominado por dois desses significados (Juran,1991): consiste nas características do produto que vão ao encontro das necessidades dos clientes e, dessa forma, proporciona a satisfação dos mesmos; é a ausência de falhas.

Assim, o produto é o resultado de qualquer processo e sua característica é uma propriedade que visa atender a certas necessidades do cliente.

Segundo Juran (1991), o Glossário da Organização Européia para o Controle da Qualidade publicado em 1981, apresenta a seguinte definição para qualidade: “A totalidade

das características de um produto ou serviço relacionadas com sua habilidade em satisfazer uma determinada necessidade”.

No processo de industrialização, dois fatores podem ser destacados: de um lado, a necessidade crescente da busca da qualidade; de outro, o aumento da produção, com conseqüente diminuição dos custos (Telles & Rodrigues, 1990). Na busca de um equilíbrio entre qualidade e quantidade, desenvolveu-se a inspeção com a ajuda da estatística, surgindo assim a técnica denominada controle de qualidade, que pode ser aplicada em todas as áreas, inclusive à cartografia. Essa técnica tem na probabilidade e estatística uma forte aliada na busca de seus objetivos.

Para satisfazer as necessidades dos usuários é imperativo um cuidado maior nos processos que norteiam o produto, pois caso ocorram erros, haverá perda na qualidade e conseqüentemente, aumento no custo final (Burity, 1999).

A qualidade de um produto é afetada por vários fatores, dentre os quais destacam-se o mercado para o qual o produto é dirigido, o homem que o produz, o dinheiro disponível para a produção, o tipo de administração e os materiais, máquinas e métodos empregados na produção.

O termo “controle”, por sua vez, pode ser entendido como sendo a fixação de padrões de qualidade, comparação do que foi produzido com estes padrões, ação rápida quando tais padrões não são verificados e o planejamento para a melhoria desses padrões (Telles & Rodrigues, 1990). Diferentemente da inspeção tradicional que verifica a qualidade do produto final, um controle de qualidade moderno deve atuar em todas as fases do processo produtivo. A diretriz do controle de qualidade é evitar, no processo de produção, itens de qualidade insatisfatória.

2.5.1 Controle de Qualidade em Cartografia

O processo de produção de documentos cartográficos é, em sua essência, bastante complexo. Envolve operações e métodos específicos, utilizando instrumentos sofisticados e precisos, com pessoal altamente qualificado para operá-los. Face a essa complexidade e à

natureza do produto final obtido, torna-se necessária a adoção de procedimentos de controle que garantam sua qualidade.

O controle de qualidade de um produto cartográfico é um procedimento extremamente importante e não se conhece efetivamente como tem sido realizado no Brasil. Uma parcela de responsabilidade pode ser atribuída ao próprio produtor do mapa, outra aos usuários e contratantes destes produtos e a última ao processo de fiscalização. Pode-se supor que o custo e o tempo necessário para a realização do controle de qualidade em cartografia sejam fatores que dificultam a sua execução.

Com o avanço da tecnologia digital e a inserção da cartografia neste contexto, a falta de normas adequadas, parâmetros de avaliação e conversão de dados começaram a surgir (Leal & Dalmolin, 1999). Na medida em que a tecnologia utilizada nos procedimentos de mapeamento se desenvolve com espantosa velocidade, o número de usuários não especialistas em mapeamento também aumenta, e justamente em função de um certo despreparo dos mesmos, a questão da qualidade geométrica é muitas vezes esquecida, ou simplesmente considera-se que o produto utilizado é “geometricamente adequado”.

É lógico que cada aplicação tem sua tolerância e, a medida que ela é menos exigente, esta preocupação pode se tornar desprezível. Mas, mesmo assim, é importante conhecer a qualidade do produto final.

Um produto qualquer poderá ser identificado como satisfatório ou não para o fim a que se destina quando submetido a um teste de controle de qualidade. Porém, a inspeção completa não eliminará o risco de existirem itens defeituosos, nem mesmo permitirá uma avaliação dos riscos de ambas as partes, tanto do usuário como do produtor. É natural que tanto o consumidor como o produtor deseje fixar, com base em sua experiência anterior e razões econômicas, os riscos a que estarão expostos ao adotarem um critério de decisão; isso é alcançado na inspeção por amostragem. Portanto, a qualidade de uma carta pode ser abordada considerando dois pontos distintos: o do usuário e do produtor. Segundo Leal e Dalmolin (1999), na literatura estrangeira observa-se que os procedimentos adotados para auferir a qualidade de uma carta consideram estas duas posições e analisam o risco do consumidor ou usuário e o risco do produtor.

Risco do usuário: é dado pela existência da possibilidade de se aceitar uma carta desqualificada a partir da execução dos testes de controle de qualidade no qual utilizou-se uma amostra de boa qualidade;

Risco do produtor: é dado pela existência da possibilidade de se rejeitar uma carta qualificada, a partir da execução do teste de controle de qualidade com uma amostra de qualidade ruim.

O usuário poderá, por exemplo, fixar seu risco em 10%, o que significa que, em uma série de cartas apresentadas para inspeção, uma carta, em cada dez aceita, será de má qualidade; o valor do risco é fixado tendo em vista as conseqüências perturbadoras que lhe trará a utilização de um produto de má qualidade. O produtor poderá, de sua parte, fixar seu risco, por exemplo, em 5%, isto é, de uma série de cartas de boa qualidade apresentadas, uma em cada vinte será rejeitada como sendo de má qualidade; ele assim o faz, tendo em vista a perturbação e prejuízo que lhe trará a rejeição do material de boa qualidade (Lourenço Filho, 1982). Segundo o mesmo autor, o usuário, muito compreensivelmente, tentará reduzir seu risco, se possível a zero; por seu lado, o produtor tentará agir de maneira semelhante. Contudo, para amostras de tamanho n fixado, não é possível reduzir simultaneamente ambos os riscos; a redução de um deles acarreta o aumento do outro.

Também os interessados desejarão reduzir, ao mínimo compatível com os riscos anteriormente escolhidos, a quantidade a inspecionar. Pretenderá para isso, fixar o tamanho n da amostra o menor possível. Mas desse modo poderão diminuir o poder discriminante na separação de produtos de boa e de má qualidade. A diminuição do custo de inspeção acarretaria, então, o aumento do custo das decisões errôneas.

2.5.2 Legislação Cartográfica no Brasil

No caso do Brasil, as normas que norteiam a produção de produtos cartográficos podem ser encontradas no Decreto Lei nº 89.817, de 20 de junho de 1984, publicado no Diário Oficial da União de 22 de junho de 1984, o qual estabelece as Instruções Reguladoras de Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Somente a partir da publicação deste Decreto

passou-se a ter um embasamento técnico e legal para a classificação de documentos cartográficos quanto à sua exatidão.

No âmbito do controle de qualidade na cartografia, faz-se necessário uma análise mais aprofundada dos capítulos II e III do respectivo decreto, pois os mesmos contêm as normas que estabelecem a classificação de uma carta quanto à exatidão e os elementos obrigatórios que nela devem constar.

Segundo o Decreto, toda carta elaborada no Brasil deve ser classificada de acordo com as Instruções Reguladoras de Normas Técnicas da Cartografia Nacional, a qual estabelece que os padrões de exatidão planimétricos ou horizontais são definidos em função do denominador da escala da carta, enquanto que para os padrões de exatidão altimétricos ou verticais são definidos em função da equidistância entre as curvas de níveis.

Entende-se por Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC um conjunto de critérios e normas estabelecidas e que norteiam os processos de determinação e quantificação da exatidão de uma carta. As cartas, segundo a sua exatidão posicional e precisão, devem ser classificadas nas classes A, B e C, de acordo com as Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Padrões de exatidão planimétrica (BRASIL, 1984)

Classe	PEC (mm x DE)	EP (mm x DE)
A	0,5	0,3
B	0,8	0,5
C	1,0	0,6

Tabela 2 – Padrões de exatidão altimétrica (BRASIL, 1984)

Classe	PEC	EP
A	1/2 eq	1/3 eq
B	3/5 eq	2/5 eq
C	3/4 eq	1/2 eq

Onde:

PEC = Padrão de exatidão cartográfica.

DE = Denominador da escala da carta.

eq = Equidistância entre as curvas de níveis.

EP = Erro padrão

2.5.3 Qualidade da Classificação

Dainese (2001) em seu trabalho sobre sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao estudo temporal do uso da terra e na comparação entre classificação não supervisionada e análise visual cita algumas formas de como se deve proceder ao controle de qualidade para validação da exatidão do mapeamento resultante da aplicação destas técnicas.

Segundo o mesmo autor, citando Congalton (1991), atualmente as técnicas usadas na exatidão de mapeamento têm como ponto de partida a construção de uma matriz de erros. Essa matriz representa a distribuição da porcentagem de *pixels* classificados correta e erroneamente e possui três objetivos básicos: a) oferece dados que permitem o ajuste das áreas das classes obtidas por algum tipo de classificação; b) cálculo de parâmetros de exatidão geral da classificação e c) identificação de erros específicos que afetam cada uma das categorias.

A exatidão geral pode ser calculada através da divisão dos números de unidades amostrais classificadas corretamente numa categoria pelo número total de unidades amostrais dessa categoria, derivado dos dados de referência, indicando a probabilidade de uma unidade de referência estar classificada corretamente, o que caracteriza uma medida do erro de omissão. Entretanto, caso o total de *pixels* classificados corretamente numa categoria seja dividido pelo total de *pixels* nessa categoria, isso representa a probabilidade de um *pixel* classificado no mapa ser a categoria no terreno, caracterizando uma medida de inclusão.

Erros de inclusão ocorrem quando um ponto é classificado como sendo de uma classe A, quando na verdade é de outra; e erros de omissão ocorrem quando um ponto é classificado como pertencente a outra categoria quando ele é membro da classe A .

A partir das matrizes de erros, a concordância entre o mapeamento e a verdade terrestre pode ser mais criteriosamente estudada com a utilização de análises estatísticas multivariadas.

2.5.4 Exatidão ou Acurácia Posicional

Na cartografia e ciências afins, a qualidade dos seus produtos depende dos vários parâmetros descritos anteriormente. Intuitivamente, o que vem à mente em primeira instância é a qualidade posicional, e ela é, sem dúvida, um dos mais importantes parâmetros de

qualidade de um produto cartográfico. Quando se trata desse assunto, termos como precisão e acurácia (ou exatidão) são, geralmente, encontradas na bibliografia específicas. Portanto faz-se necessário a definição dos mesmos nessa seção, para evitar dúvidas que eventualmente possam ocorrer.

O *Federal Geographic Data Comitee*, através do *Geospatial Accuracy Standards*, define acurácia como sendo a proximidade de um valor estimado (medido ou calculado) comparado com seu valor “verdadeiro”, ou aceito como verdadeiro, de uma grandeza particular. Para Gemael (1994), o termo precisão está vinculado apenas a efeitos aleatórios (à dispersão das observações), enquanto que a acurácia vincula-se a ambos, efeitos aleatórios e sistemáticos.

Nas ciências de mapeamento a posição de uma entidade do mundo real é descrita por valores em um sistema de coordenada apropriado. Exatidão posicional representa a proximidade desses valores para a posição “verdadeira” da entidade naquele sistema (Drummond, 1997).

Galo & Camargo (1994), baseados em Merchant (1982), aplicam o método para verificação da exatidão cartográfica de uma carta baseada na análise estatística das discrepâncias entre coordenadas medidas na carta com as tomadas como de referência. Nas equações a serem apresentadas a seguir, a variável X pode representar qualquer uma das coordenadas, sejam elas planimétricas ou altimétrica.

Para a análise da precisão de um produto cartográfico, deve-se primeiramente calcular e avaliar estatisticamente as discrepâncias entre as coordenadas de referência (X_i) e as coordenadas observadas na carta (X_i^c), calculadas para cada ponto i por:

$$\Delta X_i = X_i - X_i^c \quad (1)$$

A média ($\Delta \bar{X}$), bem como a variância ($S_{\Delta X}^2$) das discrepâncias amostrais, podem ser calculadas, respectivamente, por:

$$\overline{\Delta X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta X_i \quad (2)$$

$$s_{\Delta X}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta X_i - \overline{\Delta X})^2 \quad (3)$$

Onde n é o tamanho da amostra.

A análise da precisão é realizada através da comparação entre o desvio padrão das discrepâncias com o Erro Padrão (EP) especificado pelo PEC (Tabela 1), esperado para a carta na classe que se deseja testar. O teste de hipótese a ser formulado é o seguinte:

$$H_0 : S_{\Delta X}^2 = \sigma_X^2, \text{ contra} \quad (4)$$

$$H_1 : S_{\Delta X}^2 > \sigma_X^2 \quad (5)$$

onde σ_X corresponde ao desvio padrão ou erro padrão esperado para a coordenada X em questão. Considerando o valor correspondente da resultante EP, assumindo ser igual para cada uma das componentes horizontais tem-se:

$$\sigma_X = \frac{EP}{\sqrt{2}} \quad (6)$$

A próxima etapa consiste em aplicar-se o teste Qui-quadrado amostral:

$$\chi_X^2 = (n-1) \frac{S_{\Delta X}^2}{\sigma_X^2} \quad (7)$$

A hipótese nula é aceita se o valor calculado através da expressão (7) satisfaz a seguinte condição:

$$\chi_X^2 \leq \chi_{(n-1, \alpha)}^2 \quad (8)$$

Caso a expressão anterior não seja atendida, ou seja, se o valor de Qui-quadrado calculado for maior que o valor de Qui-quadrado tabelado para $n - 1$ graus de liberdade a um intervalo de confiança α , então rejeita-se a hipótese nula de que a carta atende a precisão preestabelecida.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão descritos os materiais disponíveis, metodologias empregadas nas etapas de georreferenciamento e análises dos resultados dos produtos gerados.

3.1 Área de Estudo do Município de Botucatu - SP

Com intuito de aplicar os conceitos apresentados sobre Cartografia, Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, propôs-se um estudo de caso. Para tanto, foram utilizadas fotografias aéreas do município de Botucatu – SP com datas de voo de 1972 e 2000, as quais foram georreferenciadas utilizando-se como referência uma carta em formato matricial do município de Botucatu -SP, adquirida por processo de digitalização automática via *scanner* à partir de carta topográfica analógica na escala 1:50.000 da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE – Folha SF-22-Z-B-VI-1.

3.1.1 Definição da Área de Estudo

A área de estudo compreende a parte norte do Município Botucatu – SP que pertence a XI Região de Governo do Estado de São Paulo e está situado na região Centro-Sul à aproximadamente 232 km da capital do estado de São Paulo. A área da folha do IBGE utilizada neste trabalho é delimitada pelas coordenadas geodésicas de $48^{\circ} 30' 00''$ à $48^{\circ} 15' 00''$ de longitude W Gr. $22^{\circ} 30' 00''$ e $22^{\circ} 45' 00''$ de latitude Sul.

3.1.2 Descrição dos Produtos Cartográficos Analisados

O mapeamento empregado na realização do trabalho consiste de quatro cartas na escala de 1:40.000 geradas à partir da classificação dos mosaicos formados por fotografias aéreas com datas de vôo de 1972 e 2000 e duas cartas geradas pela delimitação das áreas de estudo e resultantes da interpretação visual das classes de uso do solo.

As características para as fotografias aéreas são citadas abaixo.

- Número de fotografias: 8 para ano de 1972 e 6 fotografias para o ano de 2000;
- Escala da fotografia: 1:25.000 para ano de 1972 e 1:30.000 para o ano de 2000;
- Distância Focal Calibrada: 152,45 mm para ano de 1972 e 152,755 mm para o ano de 2000.

As cartas geradas são citadas abaixo.

- 02 Cartas contendo em cada uma o mosaico georreferenciado e tratado da área de estudo para os anos de 1972 e 2000 (Anexo II);
- 04 Cartas temáticas resultantes do processo de classificação não supervisionada para os anos de 1972 e 2000 (Anexo III);
- 02 Cartas temáticas resultantes do processo de classificação não supervisionada e aplicação de filtragem digital para os anos de 1972 e 2000 (Anexo IV);
- 02 Cartas temáticas resultantes do processo de classificação à partir de fotointerpretação visual para os anos de 1972 e 2000 (Anexo V);

As características dos produtos gerados são os seguintes:

- Projeção: UTM;
- Datum: Córrego Alegre;
- Fuso: 22°;
- Meridiano Central: 51° W. Gr.;
- Escala: 1:40.000;
- Formato: Vetorial em extensão DWG.

3.1.3 Georreferenciamento da Carta de Referência e das Fotografias Aéreas

Nesta etapa do trabalho, executou-se primeiramente a geração de um gride em formato vetorial, contendo as coordenadas UTM, Córrego Alegre dos cantos de quadrícula para a folha da carta de Barra Bonita - SP, o qual foi utilizado para o georreferenciamento da carta matricial do mesmo município.

Para o georreferenciamento das fotografias aéreas, tornou-se necessário a obtenção de coordenadas de pontos de apoio bem definidos (obtidas da carta matricial) a serem utilizadas como referência para posteriormente atribuí-las aos seus homólogos nas fotos, ou seja, a utilização de um produto cartográfico disponível em escala adequada para a extração das respectivas coordenadas para o georreferenciamento. Esta foi a opção escolhida para a execução deste trabalho, uma vez que o processo de coleta de dados em campo seria uma tarefa que demandaria tempo e disponibilidade de equipamento.

3.1.3.1 Geração do Gride Vetorial

Como a carta matricial a ser georreferenciada foi gerada por processo de digitalização automática via scanner à partir de carta topográfica analógica na escala 1:50.000 da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, a qual possuem as seguintes características: projeção UTM, referencial horizontal Córrego Alegre, meridiano central 51° W. Gr. e fuso 22°, procedeu-se a configuração do software *MicroStation* com parâmetros referentes a esses dados.

Ressalta-se que, as coordenadas do canto de quadrícula da carta de referência são geodésicas, como pode ser observado na Figura 4 . Portanto, houve a necessidade de transformá-las em coordenadas UTM e *Datum* Córrego Alegre. Para isso utilizou-se o software *Data-GEOSIS 1.32*.

O Sistema Geodésico Brasileiro – SGB especifica que, todos os produtos cartográficos elaborados devem estar referenciados ao *South American Datum 1969 – SAD69*. Porém, como a maioria do mapeamento sistemático existente no Brasil, principalmente os disponíveis para execução deste trabalho encontram-se referenciados ao *Datum* Córrego Alegre, optou-se pela execução de todo o estudo nesse referencial.

Esta opção em nada afetará a conclusão dos estudos, uma vez que as cartas geradas estarão no mesmo sistema de referência e que o objetivo principal deste trabalho é o de contribuir com o desenvolvimento de metodologia para a classificação e uso do solo para uma determinada região à partir de fotografias aéreas de épocas distintas e respectivas avaliações dos resultados levando-se à conclusões sobre mudanças temporais tais como: aumento ou diminuição dos tipos de culturas, uso do solo e conseqüentes impactos socioeconômicos e ambientais.

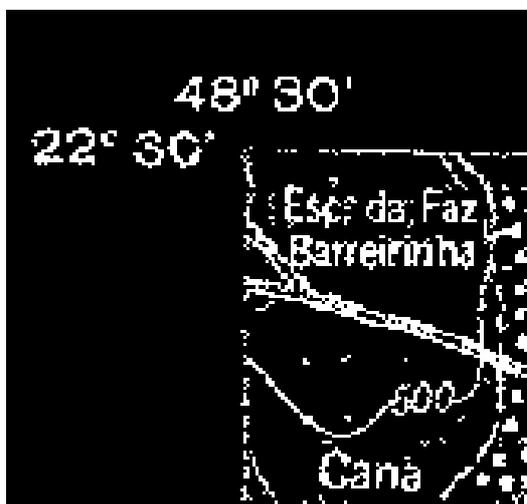


Figura 4 – Detalhe de coordenadas para o canto de quadrícula – carta Barra Bonita.

Na Tabela 3 são mostrados os valores das coordenadas geodésicas com as respectivas coordenadas transformadas para o sistema UTM, Datum Córrego Alegre dos cantos de quadrícula para a carta matricial utilizada.

Tabela 3 – Coordenadas geodésicas e UTM – Córrego Alegre.

MUNICÍPIO	Coordenadas Geodésicas		Coordenadas UTM (m)	
	Latitude	Longitude	E	N
Barra Bonita	-22 ⁰ 30' 00"	-48 ⁰ 30' 00"	757206.4906	7509647.7232
	-22 ⁰ 30' 00"	-48 ⁰ 15' 00"	782940.5662	7509196.2161
	-22 ⁰ 45' 00"	-48 ⁰ 15' 00"	782428.7706	7481499.5082
	-22 ⁰ 45' 00"	-48 ⁰ 30' 00"	756741.3508	7481954.9399

Com o auxílio do software *MicroStation* da *Bentley Systems* procederam-se as etapas para a configuração do arquivo vetorial do gride gerado. Através do aplicativo *MGE – Modular Gis Enviroment* da *Intergraph Corporation* em seu módulo *Coordinate System Operations* foram configuradas as opções do sistema de projeção para UTM e *Datum* Córrego Alegre bem como o Elipsóide adotado como pode ser observado na Figura 4 .

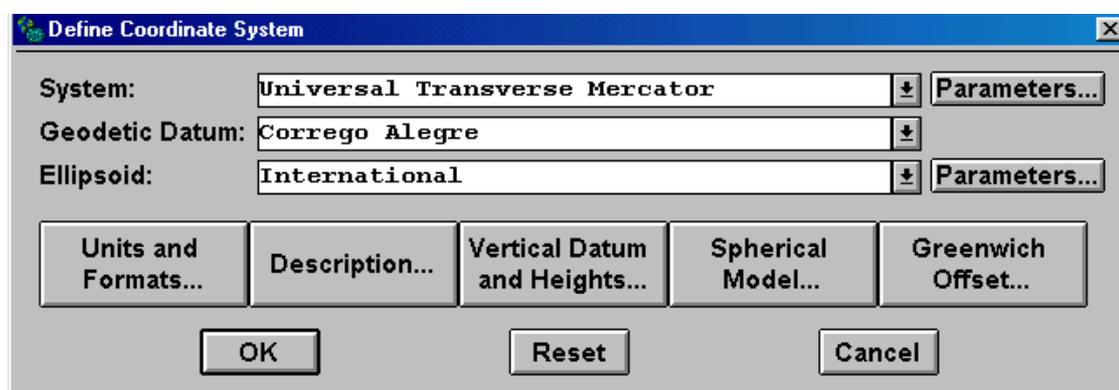
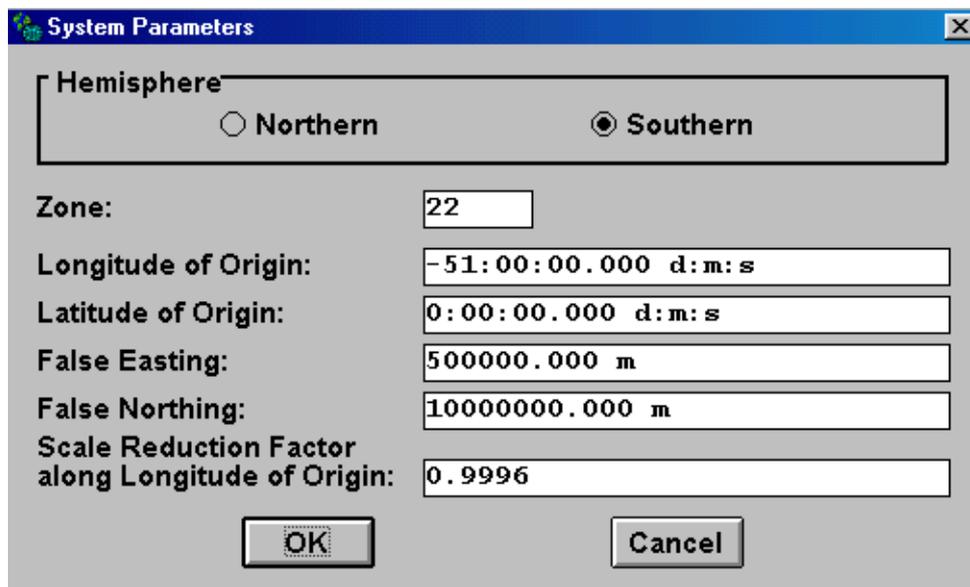


Figura 4 – Definição do sistema de coordenadas.

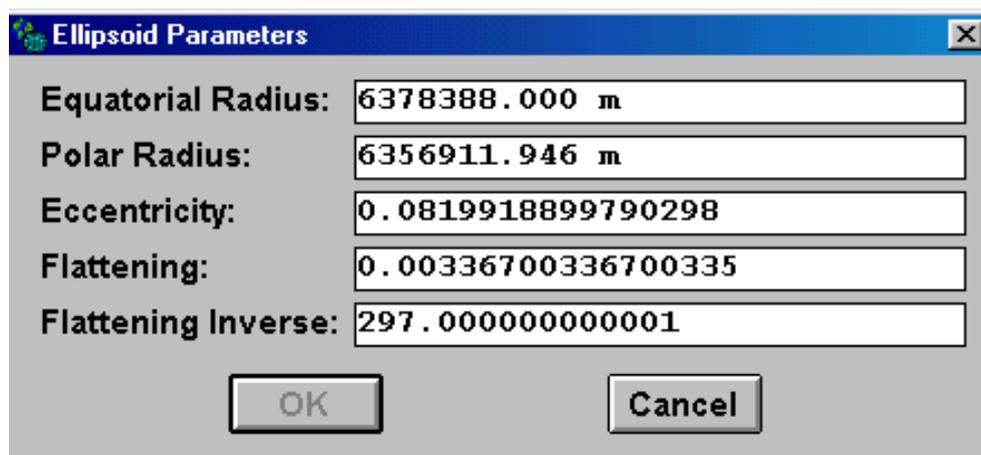
Os parâmetros para o sistema UTM foram configurados conforme os valores constantes da Figura 5 .



System Parameters	
Hemisphere	
<input type="radio"/> Northern	<input checked="" type="radio"/> Southern
Zone:	22
Longitude of Origin:	-51:00:00.000 d:m:s
Latitude of Origin:	0:00:00.000 d:m:s
False Easting:	500000.000 m
False Northing:	10000000.000 m
Scale Reduction Factor along Longitude of Origin:	0.9996
OK Cancel	

Figura 5 – Parâmetros para o sistema UTM.

Os parâmetros tais como: semi-eixo maior, semi-eixo menor, excentricidade e achatamento do Elipsóide Internacional adotado são mostrados na Figura 6 .



Ellipsoid Parameters	
Equatorial Radius:	6378388.000 m
Polar Radius:	6356911.946 m
Eccentricity:	0.0819918899790298
Flattening:	0.00336700336700335
Flattening Inverse:	297.000000000001
OK Cancel	

Figura 6 – Parâmetros para o elipsóide internacional.

Uma vez executadas essas configurações, elaborou-se o gride de referência para o georreferenciamento das cartas matriciais.

As informações foram armazenadas em níveis criados à partir de propriedades e atributos específicos tais como: linhas do quadriculado, divisa de município, textos, etc. Na Figura 7 são mostrados os 63 níveis de informações que podem ser utilizados no *MicroStation* e na Figura 8 são mostrados os atributos e propriedades da linha que representa o limite do Município de Botucatu.

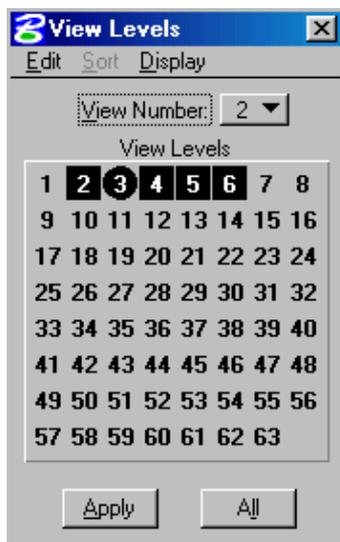


Figura 7 – Níveis de informações.

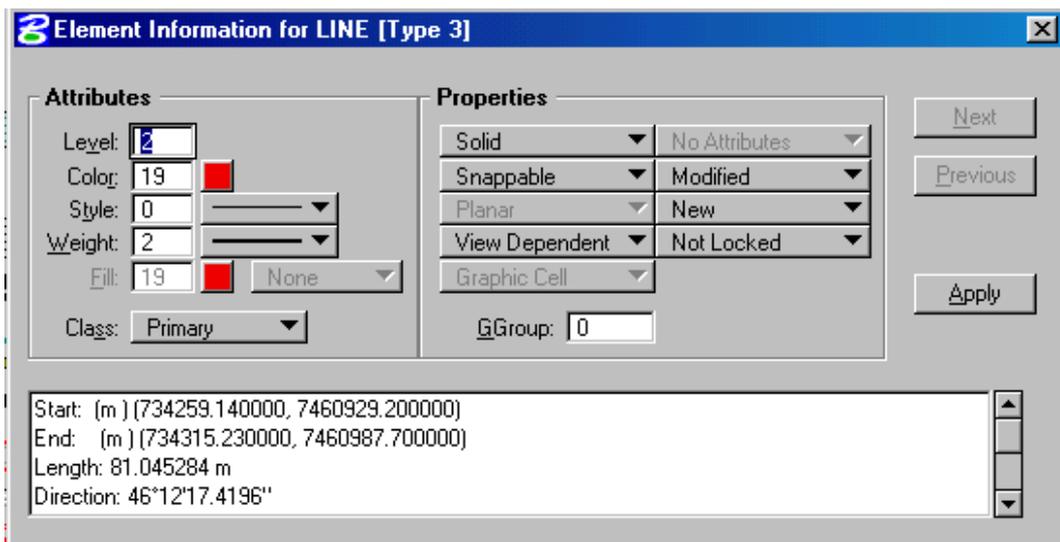


Figura 8 – Tela de informações sobre atributos e propriedades das informações armazenadas.

Gerou-se dessa forma, um gride vetorial com coordenadas UTM, Córrego Alegre para a carta do município da área de estudo, mostrado na Figura 9 onde pode-se observar o limite do município de Botucatu, bem como informações de coordenadas para um ponto selecionado do gride.

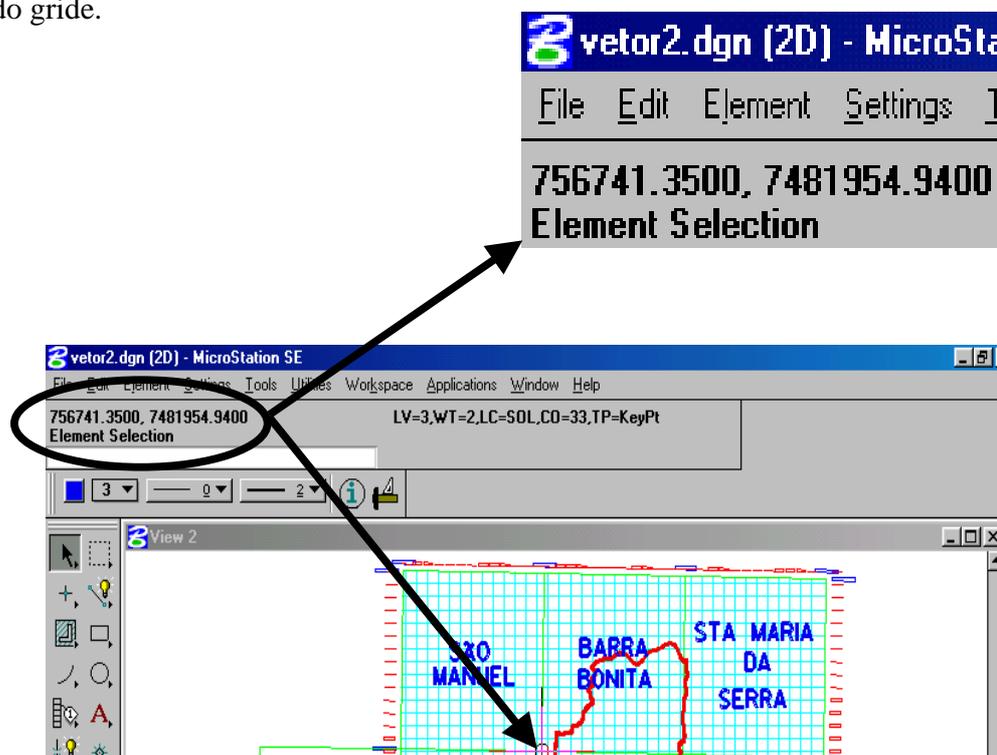


Figura 9 – Gride gerado para o município da área de estudo.

3.1.3.2 Georreferenciamento da Carta Matricial

Para o georreferenciamento da carta em formato matricial à partir das coordenadas do gride gerado utilizou-se o aplicativo *Image Analyst* da *Intergraph Corporation*. Esse aplicativo foi escolhido uma vez que o mesmo gera um relatório de resíduos após o ajustamento dos pontos escolhidos para o georreferenciamento fornecendo condições de avaliação da qualidade do trabalho e, caso necessário, pode-se efetuar alterações na posição ou até mesmo escolher novos pontos de referência com qualidade satisfatória.

Cruzamentos de rodovias, cantos de cercas, cordões de calçadas, etc., podem ser considerados como sendo pontos bem definidos e devem ser escolhidos como pontos de referências para assegurar a correta atribuição dos valores das coordenadas. A escolha desses

pontos, geralmente não é uma tarefa fácil de se executar, uma vez que nem sempre é possível encontrar tais feições nos produtos cartográficos disponíveis em função de efeitos da temporalidade que pode afetar a identificação dos mesmos.

Na Figura 10 é mostrada a carta matricial do Município de Barra Bonita que foi utilizada nesse trabalho.

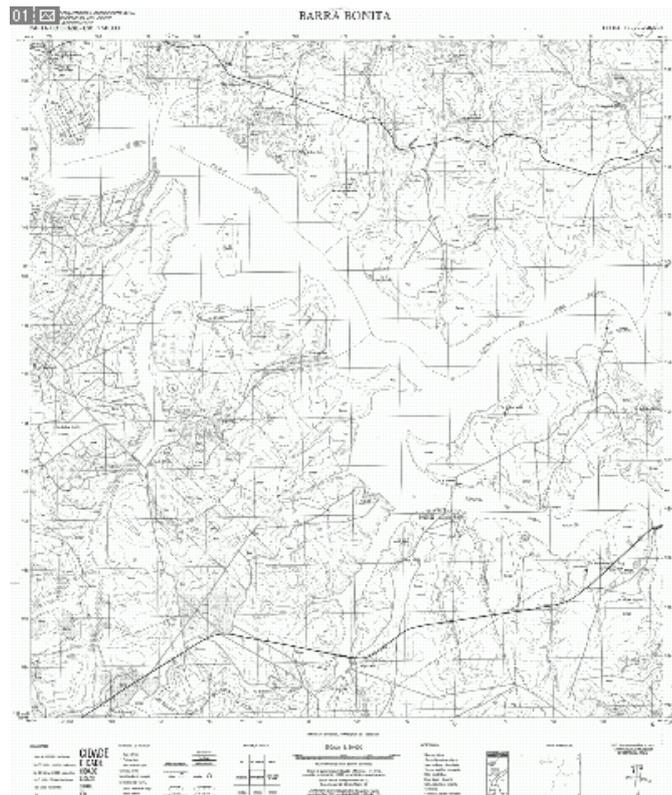


Figura 10 – Carta matricial do município de Barra Bonita.

A seguir é mostrada na Figura 11 as janelas do aplicativo e os pontos de referência adotados no georreferenciamento da carta matricial do Município de Barra Bonita.

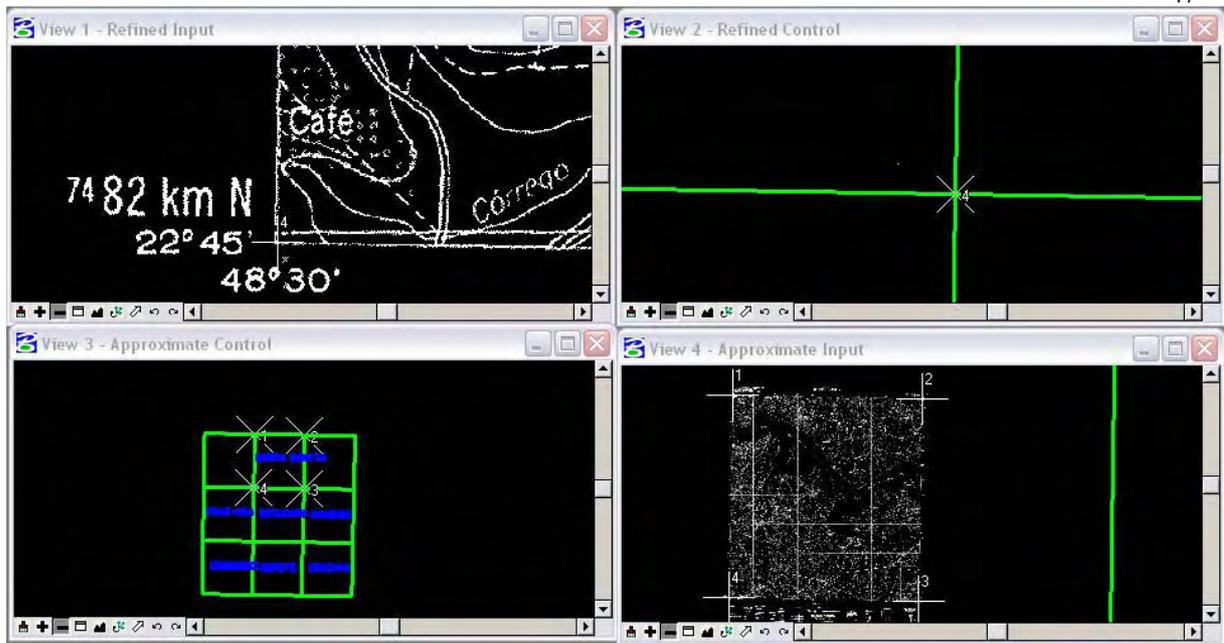


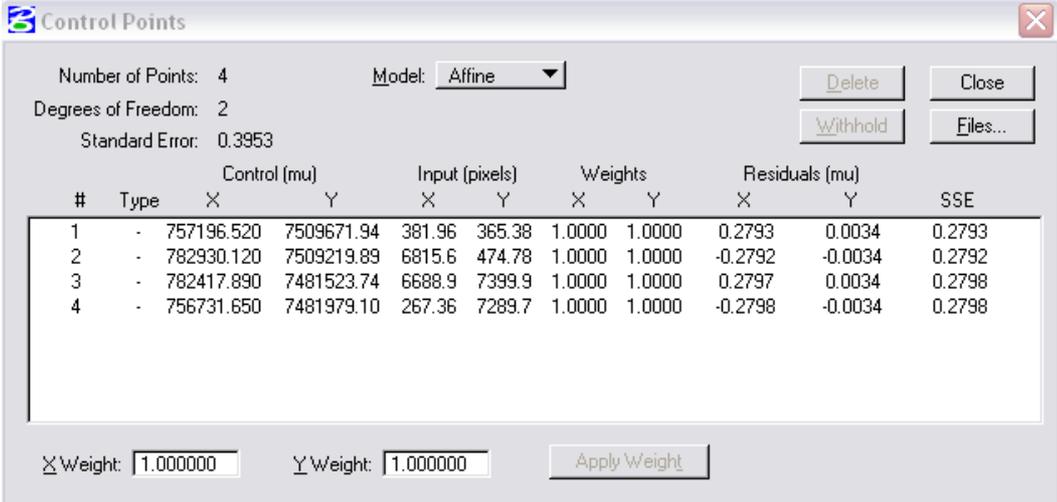
Figura 11 – Fases de georreferenciamento das cartas matriciais.

As etapas seguidas para o georreferenciamento foram as seguintes:

- Com o auxílio do aplicativo *Image Analyst*, abriu-se o arquivo do gride vetorial gerado e utilizado como referência;
- Na “View 3” selecionou-se o primeiro ponto de referência. Essa janela fornece a posição aproximada do ponto de controle selecionado;
- Automaticamente é mostrado na “View 2” a posição refinada do ponto de controle. Deve-se, então, selecioná-lo clicando sobre o mesmo. O software automaticamente irá atribuir um número de identificação para o referido ponto;
- Na “View 4”, deve-se selecionar o ponto homólogo na carta matricial. Assim como para o arquivo vetorial, essa View irá fornecer a posição aproximada do ponto a ser atribuído o valor da coordenada;
- Finalmente na “View 1” é mostrada a posição refinada do ponto. Deve-se então, posicionar o cursor no local que será atribuído o valor da coordenada e clicar sobre o mesmo;

Pelo menos quatro pontos devem ser selecionados, uma vez que dentre as opções do aplicativo, o modelo de transformação e ajustamento da carta georreferenciada escolhido foi a transformação Afim. Desta forma, os passos descritos anteriormente devem ser seguidos para os demais pontos selecionados. Ressalta-se que, à partir do terceiro ponto, uma vez

selecionada a opção de transformação Afim, automaticamente o aplicativo irá determinar na “View 1” a posição ideal do ponto na carta matricial e gerará um relatório de resíduos para os pontos selecionados como pode ser observado na Figura 12;



Control Points

Number of Points: 4 Model: **Affine**

Degrees of Freedom: 2

Standard Error: 0.3953

#	Type	Control (mu)		Input (pixels)		Weights		Residuals (mu)		SSE
		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
1	-	757196.520	7509671.94	381.96	365.38	1.0000	1.0000	0.2793	0.0034	0.2793
2	-	782930.120	7509219.89	6815.6	474.78	1.0000	1.0000	-0.2792	-0.0034	0.2792
3	-	782417.890	7481523.74	6688.9	7399.9	1.0000	1.0000	0.2797	0.0034	0.2798
4	-	756731.650	7481979.10	267.36	7289.7	1.0000	1.0000	-0.2798	-0.0034	0.2798

X Weight: Y Weight:

Figura 12 – Tela de resíduos dos pontos selecionados.

Na Figura 12 são mostradas as coordenadas atribuídas a cada ponto, os resíduos e os seus respectivos desvio-padrão. Caso constatado que qualquer ponto não apresente valores satisfatórios, pode-se alterar sua posição na carta matricial, ou até mesmo eliminá-lo do conjunto e escolher um novo ponto para substituí-lo até se obter valores com qualidade satisfatória.

Na Figura 13 observa-se o gride vetorial gerado com a respectiva carta matricial georreferenciada e inserida ao mesmo.

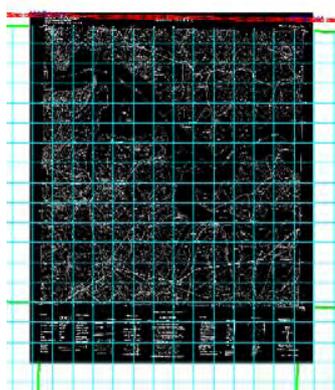


Figura 13 – Gride vetorial e carta matricial inserida.

A seguir é mostrado na Figura 14 um detalhe da carta matricial georreferenciada do Município de Barra Bonita bem como as coordenadas de um ponto selecionado.

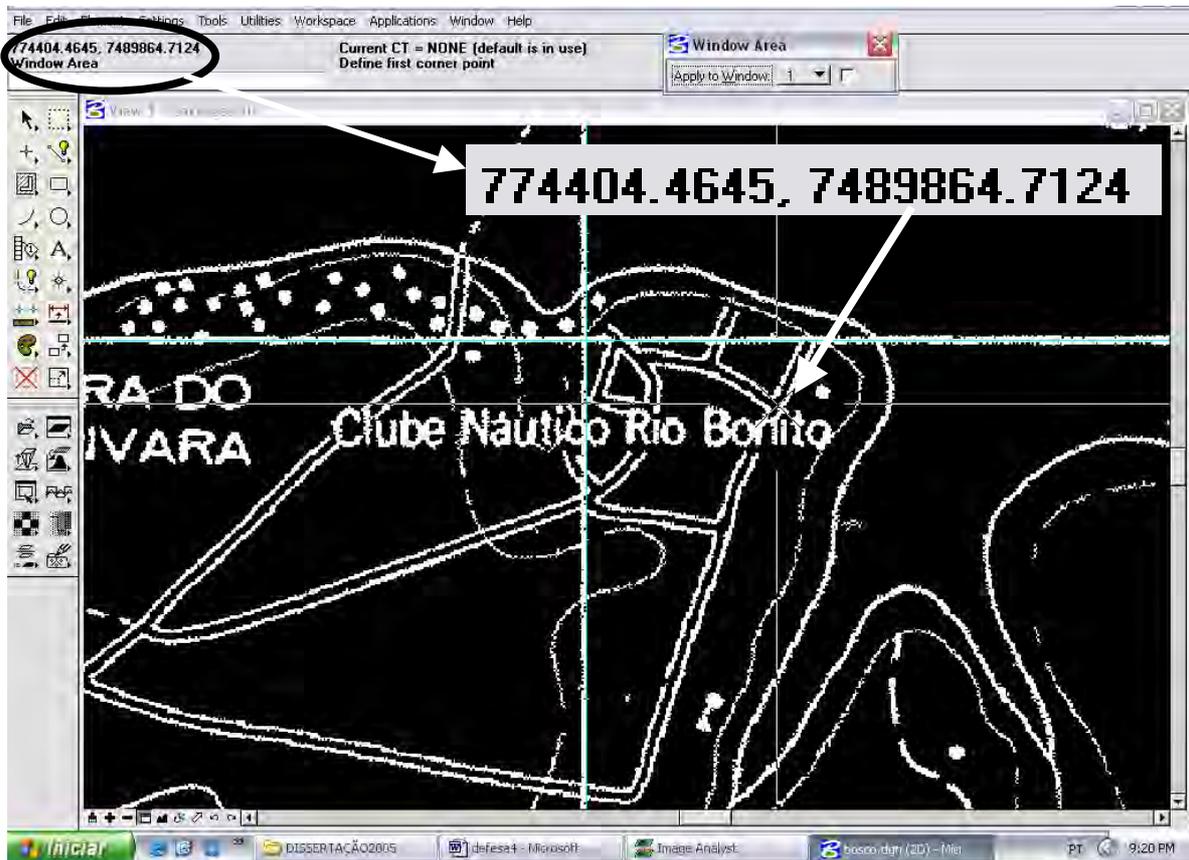


Figura 14 – Detalhe da carta matricial georreferenciada de Barra Bonita.

3.1.3.3 Georreferenciamento das Fotografias Aéreas

Um dos objetivos deste trabalho é a análise de uso e cobertura do solo para uma determinada área da região de Botucatu-SP à partir de fotografias aéreas tomadas nos anos de 1972 e 2000. Desta forma, as mesmas devem estar georreferenciadas para propiciar a classificação do uso da terra e geração de carta temática da área avaliada onde serão

representados os tipos de cobertura além de fornecer informações acerca de aumento ou diminuição de áreas cultivadas, perímetros, etc.

O primeiro passo de todo o processo consiste na transformação das fotografias aéreas da forma analógica para a digital. Desta forma, procedeu-se a digitalização das mesmas com o auxílio do Scanner Genius Vivid Pro II, adotando-se a resolução de 400 dpi para as fotografias digitalizadas.

O próximo passo consistiu na transformação das fotografias aéreas coloridas digitalizadas em novas fotografias em tons de cinza variando de 0 à 256, para tornar computacionalmente viável a sua classificação através de um software específico, o que não seria adequado à partir de fotografias com combinações de milhões de cores. Nas Figura 15a e 15b são mostradas fotografias coloridas e transformadas para tons de cinza de uma mesma região para os anos de tomada de 1972 e 2000 respectivamente.

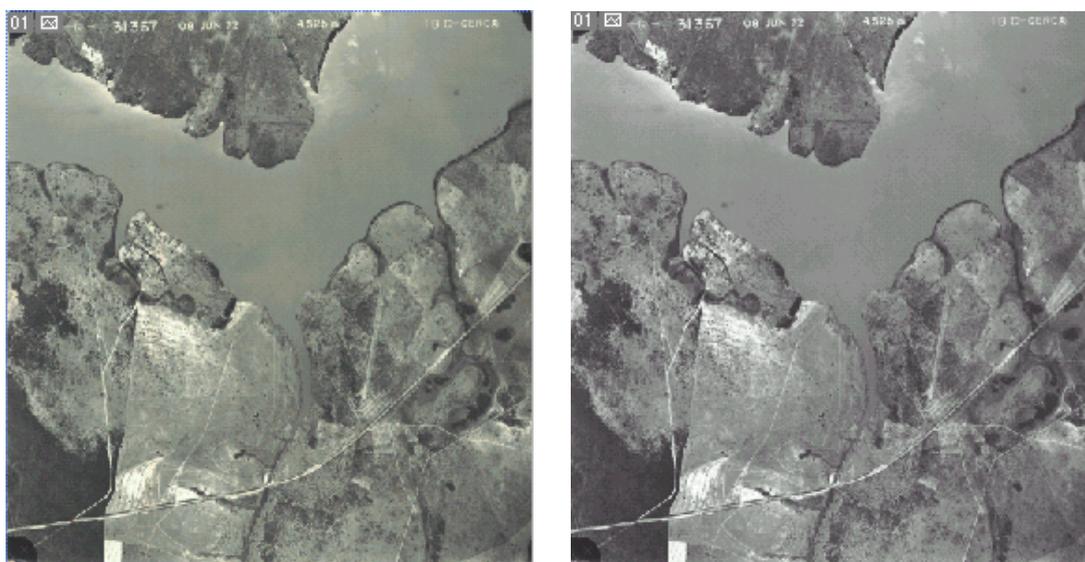


Figura 15a – Fotografias pancromáticas e em tons de cinza do ano de 1972.



Figura 15b – Fotografias coloridas e em tons de cinza do ano de 2000.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De forma análoga à metodologia adotada na seção 3.1.3.2 referente ao georreferenciamento da carta matricial, procedeu-se o georreferenciamento das fotografias aéreas, sendo utilizado como fonte de referências as cartas matriciais para extração de coordenadas de pontos de controle, otimizando-se o processo, reduzindo-se tempo e custos, uma vez que eliminou-se a necessidade de deslocamento até o campo para coleta de dados de coordenadas dos pontos de controle.

Na Figura 16 é mostrado um detalhe da carta matricial de Barra Bonita com a respectiva fotografia aérea a ser georreferenciada.



Figura 16 – Detalhe da carta matricial de Barra Bonita e respectiva fotografia aérea.

Um fator importante na escolha dos pontos de referências, está no fato de que os mesmos devam ser bem definidos. A seguir na Figura 17a é mostrado um ponto de controle de

referência bem definido escolhido na carta matricial e na Figura 17b seu homólogo na fotografia aérea.

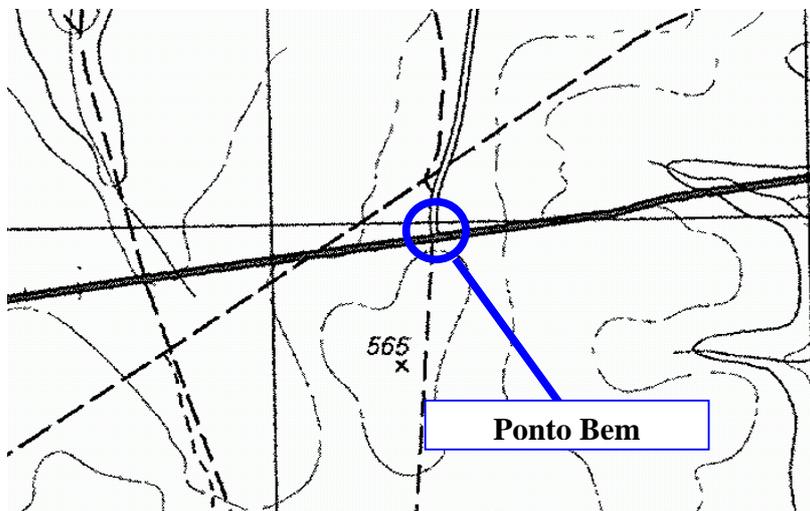


Figura 17a – Ponto bem definido na carta matricial de Barra Bonita.



Figura 17b – Ponto homólogo na fotografia aérea.

4.1.1 Processamento das Imagens

Com o processo de atribuição de coordenadas de pontos de controle selecionados de um produto georreferenciado, solucionou eventuais problemas de distorções geométricas

provenientes das características do sensor utilizado e das variações decorrentes de seu movimento durante a captação da imagem, ou seja, efetuou-se a correção geométrica das fotografias.

Os *pixels* de cada fotografia foram reorganizados em relação ao sistema de projeção UTM da carta de referência, e após este ajuste os novos níveis de cinza de cada imagem corrigida foram determinados pela alocação do vizinho mais próximo.

Após o georreferenciamento das fotografias, com o auxílio do software *ERDAS Imagine 8.3.1* gerou-se um mosaico da área de estudo para cada ano de 1972 e 2000 para propiciar o seu processamento e posterior classificação.

Na Figura 18 são mostrados os produtos obtidos do processo de mosaicagem das fotos individuais para os anos de 1972 e 2000 e seus respectivos histogramas.

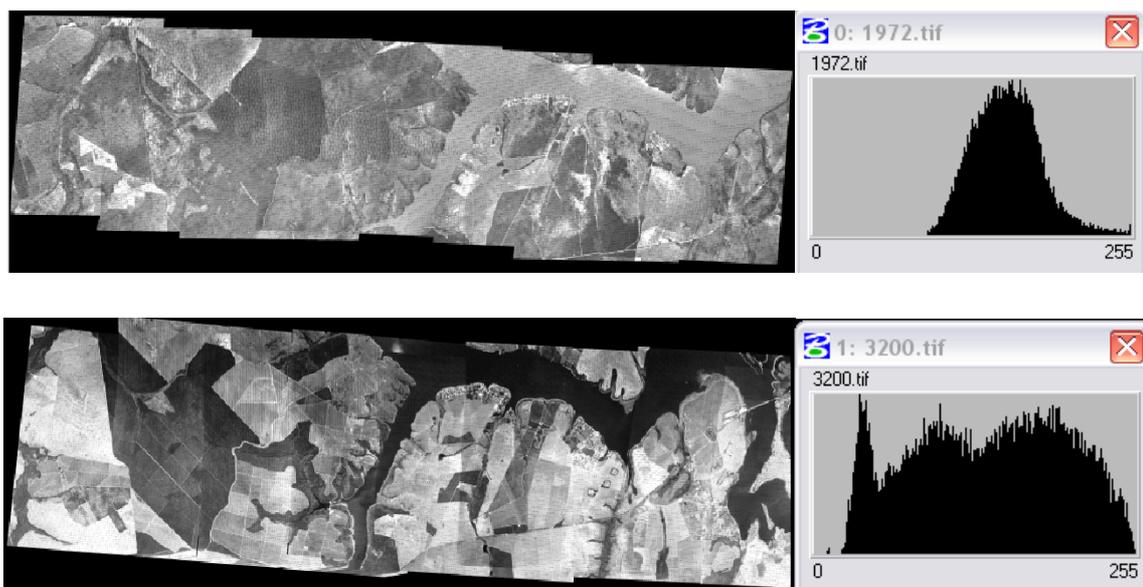


Figura 18 – Mosaicos e histogramas para os anos de 1972 e 2000.

Os histogramas são gráficos que representam a frequência de ocorrência de *pixels* para cada valor possível de número digital, ou seja, fornecem a informação sobre quantos *pixels* na imagem possui cada nível de cinza.

Analisando-se os histogramas das cenas de 1972 e 2000, percebe-se que os mesmos demonstram que os *pixels* não apresentam uma distribuição de níveis de cinza em todo o intervalo de 0 a 255, desta forma executou-se a manipulação através do aumento de contraste

nas mesmas de forma a melhorar a qualidade da visualização das informações contidas nas cenas. Os resultados podem ser observados na Figura 19.

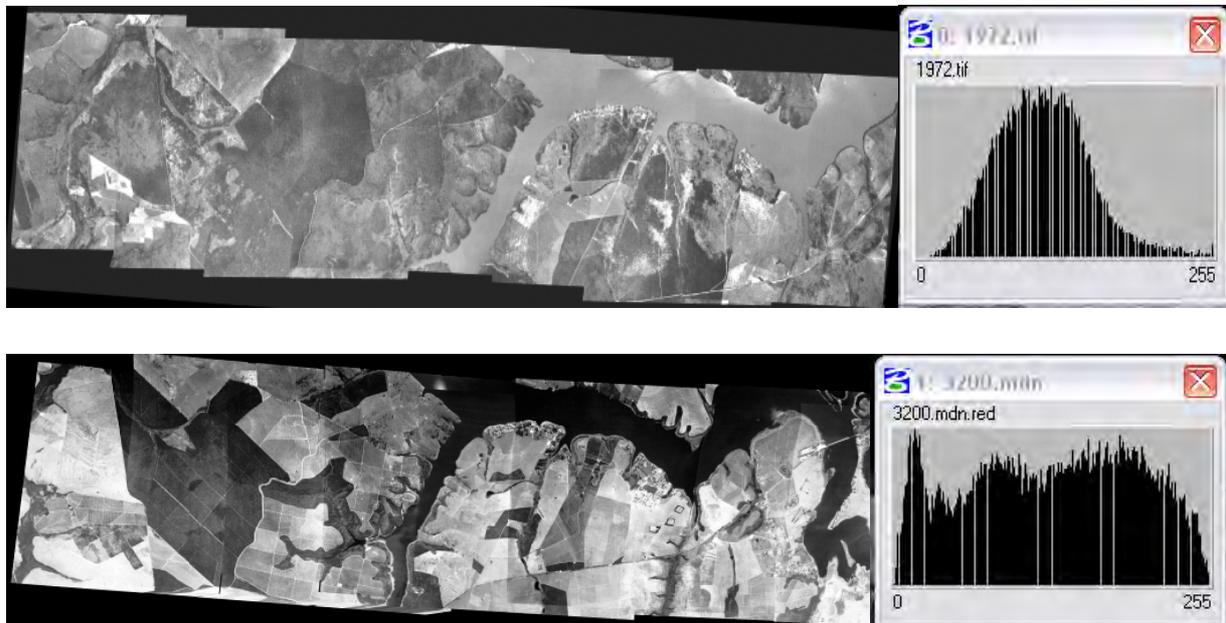


Figura 19 – Mosaicos e histogramas com manipulação do contraste para os anos de 1972 e 2000.

4.1.2 Classificação Não Supervisionada

Com intuito de substituir a análise visual das imagens, efetuou-se o reconhecimento automático dos objetos da cena pela análise quantitativa dos níveis de cinza através da técnica de classificação não supervisionada uma vez que não se tinha um prévio conhecimento de algumas áreas a serem avaliadas, portanto, não sendo possível a seleção de amostras de treinamento.

Para este procedimento, utilizou-se o aplicativo *Image Analyst* da *Intergraph Corporation*, que executa a estratificação da cena, sem a interferência do usuário, atribuindo a cada *pixel* uma determinada classe através da análise de agrupamentos de *pixels* com características espectrais similares. Para isto, foram utilizadas as cenas tratadas e que sofreram as correções anteriormente efetuadas, determinando-se o número de cinco classes de interesse do uso do solo para a cena de 1972 e seis classes para o ano de 2000.

Na Figura 20 podem ser observados os resultados obtidos da classificação não supervisionada das cenas de interesse, para os anos de 1972 e 2000, respectivamente.

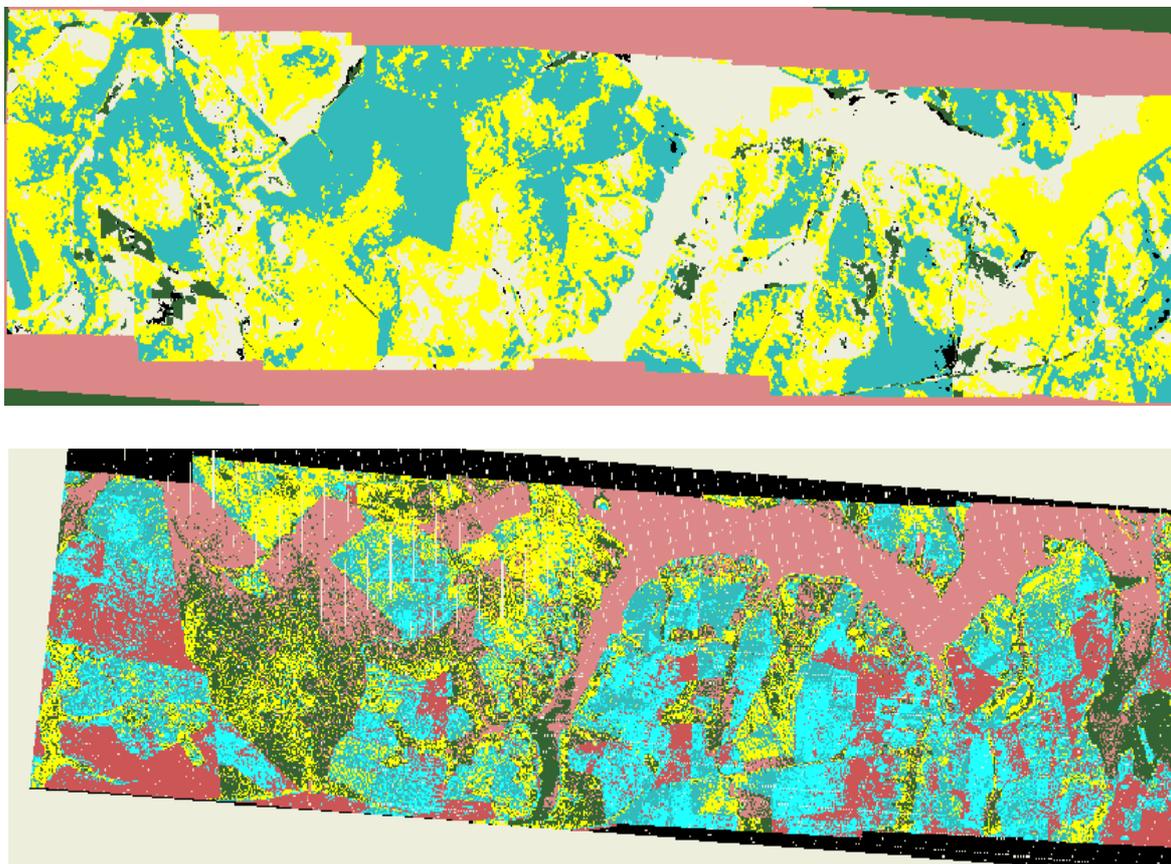


Figura 20 – Imagens da classificação não-supervisionada para os anos de 1972 e 2000.

Analisando-se as imagens resultantes das classificações, decidiu-se por aplicar um filtro de mediana para agrupar os *pixels* alocados em uma determinada classe e que encontravam-se pouco dispersos, ou seja, espacialmente próximos.

Exemplos destes *pixels* poucos dispersos podem ser observados na Figura 21.

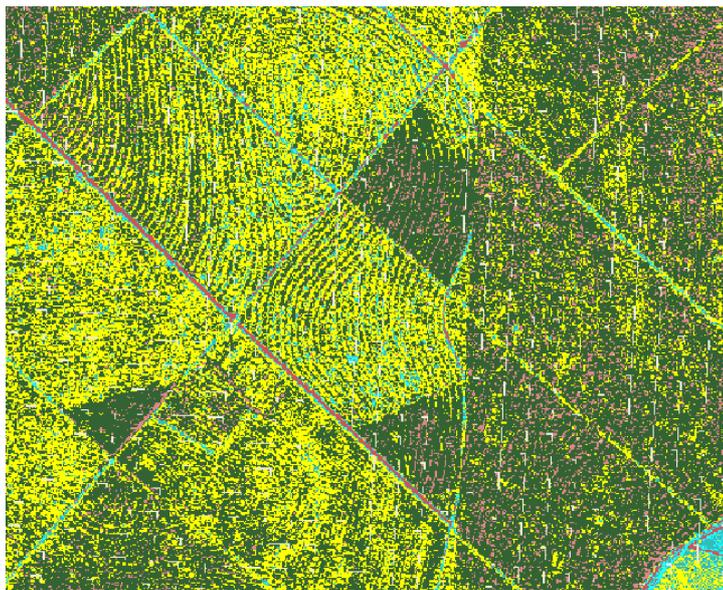


Figura 21 – Exemplos de *Pixels* dispersos.

Na Figura 22 são mostradas as cenas de 1972 e 2000 classificadas e com a aplicação do filtro. Na Figura 23 , pode-se observar o mesmo detalhe da Figura 21 após o agrupamento dos *pixels* pouco dispersos e que agora apresentam uma distribuição mais homogênea.

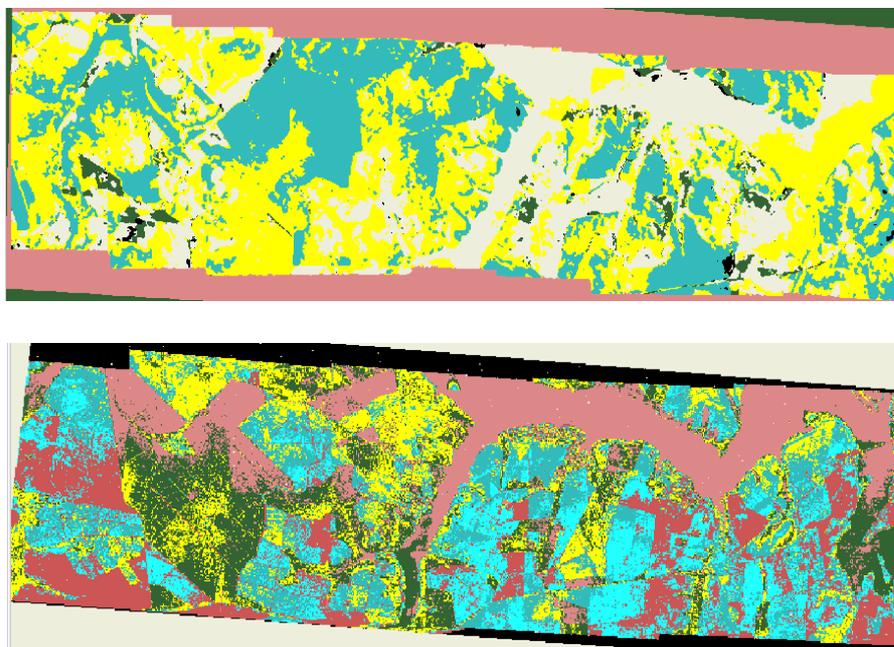


Figura 22 – Resultado da classificação e aplicação de filtro para os anos de 1972 e 2000.

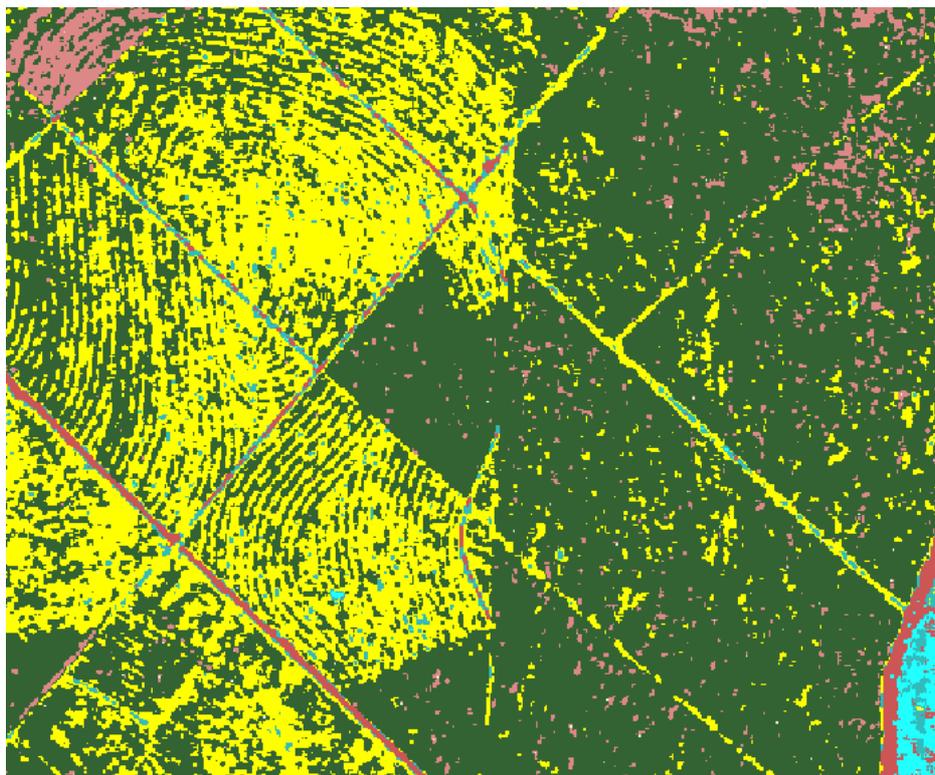


Figura 23 – Resultado da classificação e aplicação de filtro para os anos de 1972 e 2000.

4.1.3 Qualidade da Classificação

Para verificação da qualidade da classificação, pode-se utilizar de métodos estatísticos nos quais são quantificadas as porcentagens do número total de *pixels* corretamente e erroneamente classificados bem como as porcentagens dos erros de inclusão e omissão para cada classe.

Porém, nos resultados obtidos, comparando-se visualmente as imagens classificadas com os seus respectivos mosaicos (cobertura aerofotogramétrica), observou-se que um grande número de *pixels* foi erroneamente classificado em determinadas classes, quando na verdade pertenciam às mesmas. Este fato pode levar à quantificação de áreas de forma incorreta e imprecisa fazendo com que, qualquer conclusão acerca de aumento ou diminuição das áreas de cobertura de uma determina cultura esteja equivocada.

Na figura 24 são mostrados alguns exemplos de pixels erroneamente alocados em classes que não pertencem.

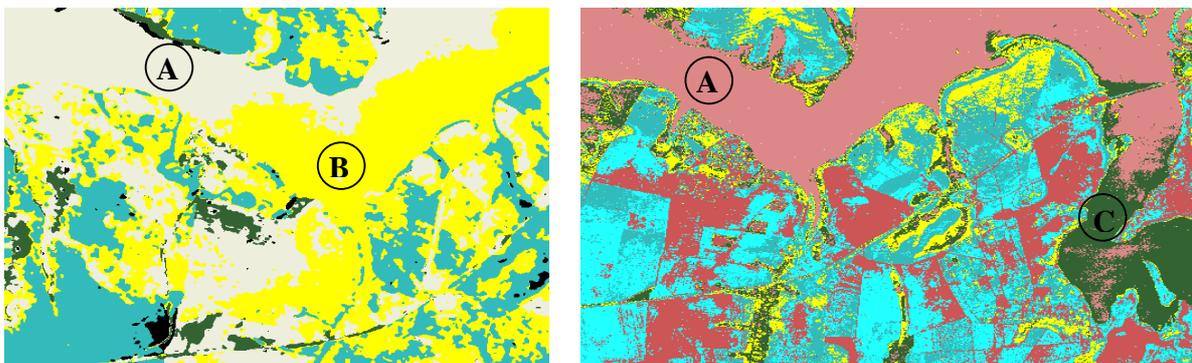


Figura 24 – Exemplos de *pixels* alocados em erroneamente – Erro de inclusão para os anos de 1972 e 2000.

Uma consequência do erro de inclusão mostrado na Figura 22 é a diminuição das áreas caracterizadas pela classe “A” para os anos de 1972 e 2000 e aumento das áreas caracterizadas pelas classes “B” para o ano de 1972 e “C” para o ano de 2000.

4.1.4. Classificação Pela Interpretação Visual dos Mosaicos

Com o auxílio do software AutoCAD Map, foram confeccionados dois novos arquivos vetoriais, na projeção UTM, Datum Córrego Alegre, na escala 1:40.000, nos quais foram criados níveis de informações específicos para se armazenar os polígonos resultantes das delimitações das áreas comuns para uma determinada classe de cobertura do solo.

A criação dos níveis se deu, para otimizar o processo de consulta e visualização das classes em separado e ou conjuntamente. Para isto, basta apenas “desligar” ou “ligar” os níveis desejados.

Após a preparação dos arquivos vetoriais, inseriu-se o mosaico de 1972 em um dos arquivos vetoriais e sobre o mesmo procedeu-se a delimitação dos polígonos das classes identificadas neste produto.

Em função das fotografias aéreas de 1972 e 2000 possuírem características diferentes (escala de vôo, distância focal, etc), as regiões imageadas para cada época são diferentes, ou

seja, há uma diferença em suas áreas de recobrimento. Porém, é necessário que as áreas a serem avaliadas possuam os mesmos limites para ambos os anos para que as análises e comparações da evolução temporal das culturas sejam efetuadas. Para solucionar este problema, delimitou-se com o auxílio do software AutoCAD, um limite comum para os dois mosaicos.

A utilização do software AutoCAD, agilizou e facilitou a interpretação visual devido ao grande número de ferramentas que possui, principalmente as janelas de zoom que o mesmo disponibiliza, aumentando o número de detalhes perceptíveis ao olho humano, fazendo com que a conclusão de que a área analisada pertença a uma determinada classe seja mais confiável.

Com a conclusão da interpretação e geração de todos os polígonos constantes do limite comum para ambos mosaicos, pôde-se, através do comando “list” do software, quantificar os totais de áreas classificadas para as classes da mesma.

Analogamente ao que foi executado para o ano de 1972, procedeu-se para o mosaico de 2000, obtendo-se da mesma forma, as áreas das classes para esta imagem tornando-se possível as análises e comparações da evolução temporal do uso e cobertura do solo para esta região neste intervalo de tempo (1972-2000).

Nas Figuras 25 e 26 são mostrados os mapas temáticos resultantes da classificação à partir da interpretação visual dos mosaicos georreferenciados.

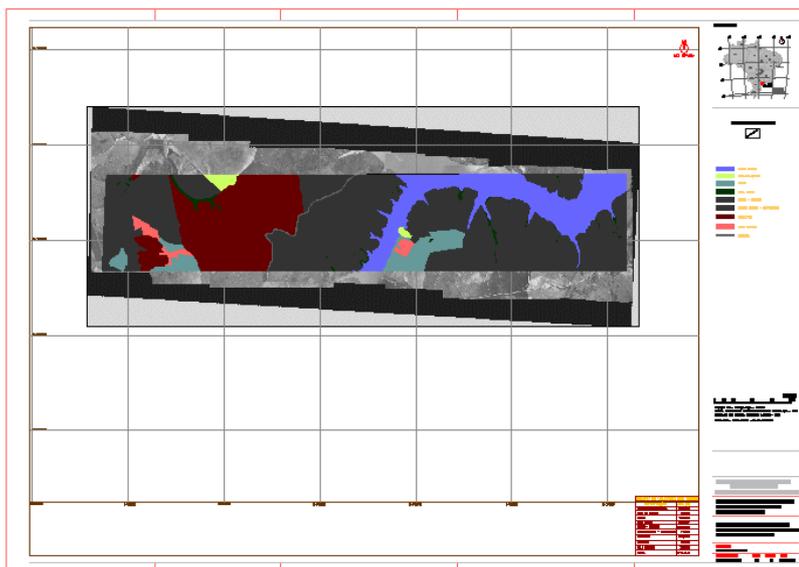


Figura 25 – Mapa temático gerado a partir da interpretação visual -1972.

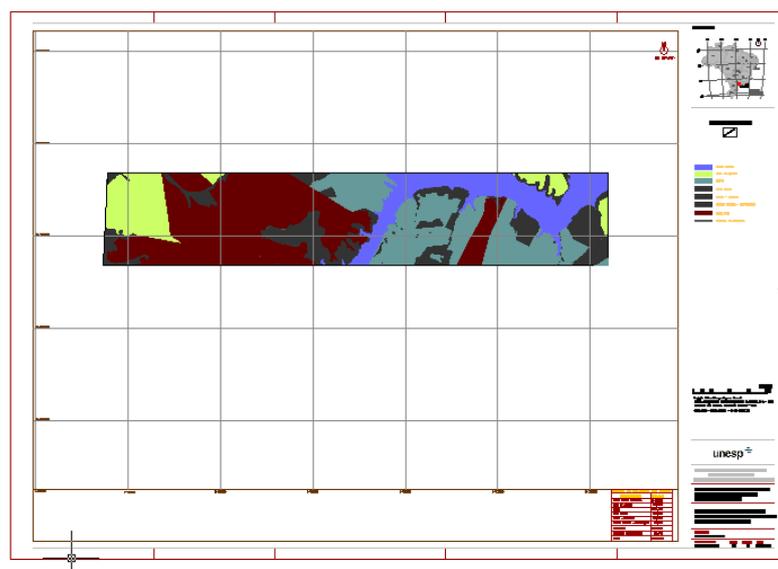


Figura 26 – Mapa temático gerado a partir da interpretação visual -2000.

Na Tabela 4 são mostrados os resultados de quantificação das áreas resultantes do processo de interpretação visual dos mosaicos, a porcentagem de cada classe em relação à área total, além das porcentagens de variações das mesmas, para o ano de 2000 em relação ao ano de 1972 decorrentes da evolução temporal do uso e cobertura do solo.

Tabela 4 – Áreas resultantes da classificação visual – anos de 1972 e 2000.

CLASSES	1972		2000		VARIÇÃO 1972 - 2000 (%)
	ÁREA (ha)	% DA ÁREA TOTAL	ÁREA (ha)	% DA ÁREA TOTAL	
Curso d'água principal	1.311,3965	14,9075	1.242,7953	14,1277	-0,7798
Cana de açúcar	67,7810	0,7705	921,7973	10,4787	+9,7081
Pastagem	452,5716	5,1446	1.866,4195	21,2168	+16,0721
Mata ciliar	224,1869	2,5484	960,0215	10,9132	+8,3647
Campo – cerrado	4.785,2698	54,3974	439,3244	4,9941	-49,4033
Mancha urbana – edificações	94,2321	1,0712	212,1084	2,4111	+1,3399
Eucalipto	1.721,2500	19,5666	3.123,9181	35,5117	+15,9450
Estradas	18,3933	0,2090	30,4798	0,3464	+13,3739
Solo exposto	121,7831	1,3843	0,0000	0,00	-
TOTAL	8.796,8643	99,9995	8.796,8643	99,9997	0,00

4.1.5 Controle de Qualidade Posicional

As etapas executadas para o controle de qualidade posicional, consistiram do pré-planejamento, para a determinação do tamanho da amostra, seleção e distribuição dos pontos de controle e a aplicação dos testes estatísticos para cada carta avaliada.

A determinação do tamanho da amostra para a execução do controle de qualidade posicional dos mosaicos gerados, e conseqüentemente das cartas temáticas do uso e cobertura do solo para os anos de 1972 e 2000 vetorizadas sobre as mesmas, obedeceram aos seguintes critérios:

- Escolha de pontos bem definidos tanto na carta de referência (raster) quanto nos mosaicos;
- Cuidado para que os pontos de referência ficassem distantes dos pontos de controle utilizados na fase de georreferenciamento dos mosaicos e que, se possível, estivessem presentes em ambos os mosaicos (1972 e 2000);
- Distribuição homogênea dos pontos, de forma a recobrir toda área em questão.

Desta forma, determinou-se 07 pontos de controle para o mosaico de 1972 e 06 pontos de controle para o mosaico de 2000.

Com o auxílio do software AutoCAD, procedeu-se a coleta das coordenadas de cada ponto de controle na carta georreferenciada de Barra Bonita, em formato matricial, utilizada como referência para os cálculos estatísticos do controle de qualidade posicional.

As coordenadas dos pontos homólogos foram obtidas nos mosaicos com o auxílio do mesmo software, e podem ser observadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Coordenadas dos pontos de referência, mosaicos 1972 e 2000, no Datum Córrego Alegre, Fuso 22

Ponto	Referencia – Raster		Mosaico – 1972		Mosaico - 2000	
	Coordenadas		Coordenadas		Coordenadas	
	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)
1	765.699,88	7.488.211,53	765.697,54	7.488.223,81	765.703,25	7.488.219,40
2	774.049,65	7.488.326,39	774.094,60	7.488.307,69	774.038,75	7.488.294,87
3	774.272,15	7.489.655,38	774.274,64	7.489.620,04	774.265,24	7.489.654,91
4	770.976,25	7.490.608,09	771.018,63	7.490.651,17	770.961,43	7.490.640,34
5	777.626,13	7.490.211,97	777.645,66	7.490.199,04	Não há homólogo	Não há homólogo
6	759.195,99	7.488.681,40	759.186,90	7.488.673,40	759.162,98	7.488.698,72
7	767.648,73	7.489.617,63	767.622,15	7.489.657,60	767.671,03	7.489.622,91

Com as coordenadas dos pontos de controle obtidas da carta matricial, e as coordenadas dos mosaicos, efetuou-se o cálculo das suas discrepâncias. O resultado deste cálculo bem como as médias e desvios-padrão são mostrados nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6 – Diferença entre as coordenadas (Referência – 1972)

Ponto	ΔE (m)	ΔN (m)	$\Delta Resultante$ (m)
1	2,34	-12,28	12,50
2	-44,95	18,70	48,68
3	-2,49	35,34	35,36
4	-42,38	-43,68	60,86
5	-19,53	12,93	23,42
6	9,09	8,00	12,10
7	26,58	-39,97	48,00
Média	-10,19	-2,99	34,42
Desvio	26,68	30,06	19,09

Tabela 7 – Diferença entre as coordenadas (Referência – 2000)

Ponto	ΔE (m)	ΔN (m)	$\Delta Resultante$ (m)
1	-3,37	-7,87	8,56
2	10,90	31,52	33,35
3	6,91	0,47	6,92
4	14,82	-32,25	35,49
6	33,01	-17,32	37,28
7	-22,30	-5,28	22,92
Média	6,66	-5,12	24,08
Desvio	18,54	21,29	13,62

A seguir são apresentados nas Tabelas 8 e 9 os resultados para os testes estatísticos de Análise de Precisão efetuados para os mosaicos de 1972 e 2000, respectivamente, considerando-se o intervalo de confiança de 90% e os 07 pontos determinados pela distribuição homogênea para o ano de 1972 e 06 pontos para o ano de 2000.

Tabela 8 – Resultados para a análise de precisão (Resultante – 1972)

		Planimetria	
Precisão	$\chi^2_{6;10\%}$	10,64	
	$\chi^2_{Resultante}$	Classe A	15,18
		Classe B	5,46
		Classe C	3,79
Classe obtida		B	

Tabela 9 – Resultados para a análise de precisão (Resultante – 2000)

		Planimetria	
Precisão	$\chi^2_{5;10\%}$	9,24	
	$\chi^2_{\text{Resultante}}$	Classe A	6,44
		Classe B	2,32
		Classe C	1,61
Classe obtida		A	

Com relação à análise de precisão à partir dos resultados mostrados na Tabela 8, o mosaico de 1972 e conseqüentemente a carta temática gerada à partir do mesmo, enquadraram-se na classe “B”, segundo o PEC, para planimetria, uma vez que o valor de Qui Quadrado calculado para a classe “B” é menor que o seu valor tabelado (10,64).

Com relação à análise de precisão à partir dos resultados mostrados na Tabela 9, o mosaico de 2000 e conseqüentemente a carta temática gerada à partir do mesmo, enquadraram-se na classe “A”, segundo o PEC, para planimetria, uma vez que o valor de Qui Quadrado calculado para a classe “A” é menor que o seu valor tabelado (9,24).

As classificações dos mosaicos, segundo o PEC, nos levam a concluir que as informações contidas nos mosaicos e cartas temáticas de interpretação visual são satisfatórias quanto as suas qualidades posicionais.

5.COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

Os resultados obtidos na fase de georreferenciamento da carta de referência e das fotografias aéreas, foram satisfatórios, uma vez que utilizou-se de softwares que propiciaram a conversão dos dados e configuração dos parâmetros de todo o processo de geração do gride vetorial usado como base para o georreferenciamento da carta matricial fornecendo condições de verificação da qualidade do processo através da análise de seus resíduos.

As fotografias aéreas foram georreferenciadas à partir da carta matricial e, uma vez que, a mesma mostrou-se satisfatoriamente precisa no que diz respeito aos seus resíduos, conclui-se que as fotografias aéreas, resguardados os corretos procedimentos de georreferenciamento e análises de resíduos, também mostraram-se com qualidade posicional satisfatória. Isto se comprova pelo resultado do controle de qualidade posicional dos mosaicos oriundos da concatenação das fotografias aéreas individuais.

Para o processamento digital das imagens, foram seguidos os passos necessários para a obtenção de um produto final corrigido de eventuais problemas oriundos dos sistemas sensores, conversão de dados analógicos para digitais, etc. Para isto foram utilizadas técnicas apropriadas, tais como, equalização de histograma, aplicação de filtro, etc. concluindo-se que os produtos finais (mosaicos) encontraram-se em condições de serem utilizados na fase de classificação não supervisionada.

O resultado da classificação não supervisionada não se mostrou satisfatório, uma vez que, através da avaliação conjunta dos mosaicos com a imagem gerada pelo classificador, notou-se um grande número de *pixels* erroneamente alocados em classes que não pertenciam. Esta

ocorrência é um fato previsível quando se utiliza de classificadores pela técnica não supervisionada. Desta forma, decidiu-se por executar a classificação apoiada na interpretação visual dos mosaicos.

A classificação pela interpretação visual, foi executada com o auxílio do software AutoCAD, que mostrou-se uma ferramenta de grande utilidade para este processo, uma vez que através de seus recursos, pôde-se visualizar as feições de interesse com um elevado grau de detalhamento, resultando em uma interpretação mais condizente com a realidade do que as geradas pela classificação não supervisionada.

Com relação ao controle de qualidade posicional, os produtos obtidos foram classificados de acordo com o PEC nas classes A (2000) e B (1972) comprovando-se que os critérios para os seus georreferenciamentos foram rigorosamente efetuados.

Da classificação pela interpretação visual dos mosaicos e geração dos polígonos de áreas de uso do solo, analisando-se a Tabela 4 conclui-se que:

- Para a classe que caracteriza o rio principal, constatou-se que em 1972, o mesmo ocupava 14,90% da área total estudada (8.796,8643 ha). Durante o período de 28 anos ele sofreu uma redução de 0,78%, passando assim, a ocupar uma área de 14,12% no ano de 2000. Esse resultado mostra claramente os efeitos causados pela retirada de mata ciliar no entorno do rio;
- A classe que caracteriza áreas de campo-cerrado foi a que maior impacto sofreu nesse período. Em 1972, ela representava 54,39% da área total considerada e em 2000 estava com apenas 5%, houve portanto, uma redução de 49,40% da área total. Pode-se afirmar que essa área coberta pela vegetação nativa da região deixou de existir para ceder lugar ao cultivo de cana, pastagem e principalmente ao eucalipto, cultura essa que, desde o final da década de 60 vem ocupando áreas significativas no município graças à incentivos fiscais patrocinados pelo Governo Federal;

Apesar da área de estudo ser reduzida, conclui-se que a metodologia empregada neste trabalho pode ser aplicada à áreas de qualquer extensão e serve de parâmetro para o aprimoramento dos estudos sobre a utilização de técnicas de tratamento digital de imagens para a verificação do uso do solo.

Apesar de alguns resultados não apresentarem-se satisfatórios, isto serve de estímulo para novas pesquisas e investigações científicas, uma vez que, um trabalho não necessariamente necessita da obtenção de resultados sempre positivos.

Assim fica como sugestão a continuidade dos estudos aqui desenvolvidos no intuito de se aprimorar a metodologia proposta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, A.Z., AUDI, R. Fotopedologia. In: MONIZ, A.C. *Elementos de Pedologia*. São Paulo: EDUSP/Polígono, 1972. p. 429-442.

AMARAL, G., *Sensores Remotos Aplicação em Geociências*, Instituto de Geociências – USP, São Paulo, 1975.

BERNARDY, R.J., LOCH, C., *Análise do Uso da Terra Através de Geoprocessamento Para Gestão Territorial do Estado de Santa Catarina*, Florianópolis 2002. Disponível em: http://www/geodesia.ufsc.br/Geodesi-online/ARQUIVO/COBRAC_2002/120/120HTM. Acesso em 21/11/2003.

BURITY, E. F. *A Carta Cadastral Urbana – Seleção de Dados a Partir da Análise das Necessidades dos Usuários*. 1999. (Dissertação de Mestrado - Instituto Militar de Engenharia) - Rio de Janeiro.

CÂMARA, G., FREITAS, U.M., SOUZA, R.C.M, GARRIDO, J. SPRING: Integrating Remote Sensing and GIS by Object – Oriented Data Modelling *Computers and Graphics*, vol.15, n. 6, July 1996.

COLWELL, R.N. *Photographic interpretation for civil purposes*. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Photographic Interpretation*. 2.ed. Washington, 1952. p. 535-602.

CONGALTON, R.G., MEAD, R.A. A review of assessing the accuracy of classifications of remote sensed data. *Remote Sensing of Enviroment*, v.37, n.1, p.35-46, 1991

CRÓSTA, A.P. *Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Campinas: GI/UNICAMP, 1972. 170p.

CURRAN, P. J. *Principles Of Remote Sensing*. London: Longman, 1988.

DAINESE, R.C., *Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicado ao Estudo Temporal do Uso da Terra e na Comparação Entre Classificação Não-Supervisionada e Análise Visual*. (Dissertação) – Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2001.

DELMIRO, M.A.T. *Mosaico de Imagens Para Sistemas de Informações Geográficas*. In: Semana Estadual de Geoprocessamento. Rio de Janeiro. “ Geoprocessamento: Mito & Realidade”. 1996.

FARRET, J.C; GIOTTO, E. *Aplicabilidade do georreferenciamento de Aerofotos de Pequeno Formato na Formação de Bancos de Dados Espaciais – Uma Alternativa Para o Cadastro Técnico Rural Municipal*. *Ciência Rural*, v27, n.4, p.577-581, abr.1997.

GALO, M. CAMARGO, P. O. *Utilização do GPS no Controle de Qualidade de Cartas*, In: 1º Cobrac – Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, Florianópolis, SC, 1994.

GARCIA, G.J., *Sensoriamento Remoto “Princípios de Interpretação de Imagens”*, Editora Nobel, São Paulo, 1982. p47.p75.p84.

JURAN, J. M. GRYNA; FRANK M., *Controle de Qualidade. Handbook. Conceitos, Políticas e Filosofia da Qualidade*. McGraw-Hill, São Paulo. 1991.

LEAL, E. da M., DALMOLIN Q. *Análise da Qualidade Posicional em Bases Cartográficas Geradas em CAD*. In: GISBRASIL 99, V Congresso e Feira para Usuários em Geoprocessamento da América Latina, Salvador, BA, 1999.

LOURENÇO FILHO, R. C. B., *Controle Estatístico de Qualidade*. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 1982, 223p.

NOVO, E.M.L.M. *Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações*. São Paulo. Ed. Edgard Blucher, 1989. 308p.

PARISE, J. O.F., *Análise Temporal do Uso da Terra Em Uma Microbacia Hidrográfica no Município de Piracicaba –SP, Por Meio de Técnicas de Geoprocessamento*. (Dissertação) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP, Piracicaba, 1999.

QUINTANILHA, J.A. *Erros em Bases Digitais de Dados Espaciais Para Uso Em Sistemas de Informação Geográfica*. São Paulo, 1996. 236p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

RICCI, M., PETRI, S. – *Princípios de Aerofotogrametria*, Editora Companhia Editora Nacional, São Paulo, 1965.

SOUSA, A.A., *Tratamento Digital de Fotografias Aéreas Verticais Como Uma Alternativa à Análise Estereoscópica de Bcias Hidrográficas*. (Tese) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo – Piracicaba, 2000.

TELLES, J. D. L., RODRIGUES T. S. *Controle da Qualidade de Documentos Cartográficos*, 1990. (Projeto de Fim de Curso) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.

TEMBA, P. *Fundamentos de Fotogrametria*, Universidade Federal de Minas Gerais, BH 2000.

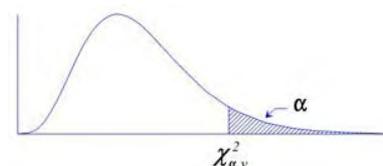
TOMMASELLI, A.M.G., *Fotogrametria Básica*, cap-4, 1999. disponível em: (www.prudente.unesp.br/fotogrametria) Acessado em 13/08/2003.

WOLF, P.R. *Elements Of Photogrammetry*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1983. 628p.

ANEXOS

I – Distribuição Qui Quadrado χ^2

Distribuição de Qui-quadrado



$\alpha \rightarrow$ v\l	0.999	0.995	0.990	0.975	0.950	0.900	0.500	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005	0.001
1	0.000002	0.000039	0.000157	0.000982	0.004	0.016	0.455	2.705	3.841	5.023	6.634	7.877	10.81
2	0.002	0.01	0.02	0.05	0.10	0.21	1.39	4.61	5.99	7.38	9.21	10.60	13.81
3	0.02	0.07	0.12	0.22	0.35	0.58	2.37	6.25	7.82	9.35	11.34	12.84	16.26
4	0.09	0.21	0.30	0.48	0.71	1.06	3.36	7.78	9.49	11.14	13.28	14.86	18.47
5	0.21	0.41	0.55	0.83	1.15	1.61	4.35	9.24	11.07	12.83	15.09	16.75	20.51
6	0.38	0.68	0.87	1.24	1.64	2.20	5.35	10.64	12.59	14.45	16.81	18.55	22.46
7	0.60	0.99	1.24	1.69	2.17	2.83	6.35	12.02	14.07	16.01	18.48	20.28	24.32
8	0.86	1.34	1.65	2.18	2.73	3.49	7.34	13.36	15.51	17.53	20.09	21.96	26.12
9	1.15	1.74	2.09	2.70	3.33	4.17	8.34	14.68	16.92	19.02	21.67	23.59	27.88
10	1.48	2.16	2.56	3.25	3.94	4.87	9.34	15.99	18.31	20.48	23.21	25.19	29.59
11	1.83	2.60	3.05	3.82	4.58	5.58	10.34	17.28	19.68	21.92	24.72	26.76	31.26
12	2.21	3.07	3.57	4.40	5.23	6.30	11.34	18.55	21.03	23.34	26.22	28.30	32.91
13	2.62	3.57	4.11	5.01	5.89	7.04	12.34	19.81	22.36	24.74	27.69	29.82	34.53
14	3.04	4.08	4.66	5.63	6.57	7.79	13.34	21.06	23.68	26.12	29.14	31.32	36.12
15	3.48	4.60	5.23	6.26	7.26	8.55	14.34	22.31	25.00	27.49	30.58	32.80	37.70
16	3.94	5.14	5.81	6.91	7.96	9.31	15.34	23.54	26.30	28.85	32.00	34.27	39.25
17	4.42	5.70	6.41	7.56	8.67	10.09	16.34	24.77	27.59	30.19	33.41	35.72	40.79
18	4.91	6.27	7.02	8.23	9.39	10.86	17.34	25.99	28.87	31.53	34.81	37.16	42.31
19	5.41	6.84	7.63	8.91	10.12	11.65	18.34	27.20	30.14	32.85	36.19	38.58	43.82
20	5.92	7.43	8.26	9.59	10.85	12.44	19.34	28.41	31.41	34.17	37.57	40.00	45.31
21	6.45	8.03	8.90	10.28	11.59	13.24	20.34	29.62	32.67	35.48	38.93	41.40	46.80
22	6.98	8.64	9.54	10.98	12.34	14.04	21.34	30.81	33.92	36.78	40.29	42.80	48.27
23	7.53	9.26	10.20	11.69	13.09	14.85	22.34	32.01	35.17	38.08	41.64	44.18	49.73
24	8.09	9.89	10.86	12.40	13.85	15.66	23.34	33.20	36.42	39.36	42.98	45.56	51.18
25	8.65	10.52	11.52	13.12	14.61	16.47	24.34	34.38	37.65	40.65	44.31	46.93	52.62
26	9.22	11.16	12.20	13.84	15.38	17.29	25.34	35.56	38.89	41.92	45.64	48.29	54.05
27	9.80	11.81	12.88	14.57	16.15	18.11	26.34	36.74	40.11	43.19	46.96	49.64	55.48
28	10.39	12.46	13.56	15.31	16.93	18.94	27.34	37.92	41.34	44.46	48.28	50.99	56.89
29	10.99	13.12	14.26	16.05	17.71	19.77	28.34	39.09	42.56	45.72	49.59	52.34	58.30
30	11.59	13.79	14.95	16.79	18.49	20.60	29.34	40.26	43.77	46.98	50.89	53.67	59.70
35	14.69	17.19	18.51	20.57	22.47	24.80	34.34	46.06	49.80	53.20	57.34	60.27	66.62
40	17.92	20.71	22.16	24.43	26.51	29.05	39.34	51.81	55.76	59.34	63.69	66.77	73.40
50	24.67	27.99	29.71	32.36	34.76	37.69	49.33	63.17	67.50	71.42	76.15	79.49	86.66
60	31.74	35.53	37.48	40.48	43.19	46.46	59.33	74.40	79.08	83.30	88.38	91.95	99.61
120	77.76	83.85	86.92	91.57	95.70	100.62	119.33	140.23	146.57	152.21	158.95	163.65	173.6

II – Mosaicos Georreferenciados (1972 – 2000)

III – Mapas Temáticos de Classificação Não Supervisionada

*IV – Cartas Temáticas de Classificação Não Supervisionada Com Aplicação de Filtro
(1972-2000)*

V – Cartas Temáticas de Classificação Pela Interpretação Visual