

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO E
METEOROLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

**APLICAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA
DETERMINAÇÃO DA EVOLUÇÃO DA MATA NATIVA
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORQUETA – RS,
ENTRE 1985 E 1995**

CLAUDETE REMPEL

Porto Alegre, agosto de 2000

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO E
METEOROLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

**APLICAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA
DETERMINAÇÃO DA EVOLUÇÃO DA MATA NATIVA
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORQUETA – RS,
ENTRE 1985 E 1995**

CLAUDETE REMPEL
Bióloga

Orientadora: Prof^a Dr^a Dirce Maria Antunes Suertegaray

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre em Sensoriamento Remoto,
área de concentração em Análise Ambiental

Porto Alegre, agosto de 2000

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha mãe que, com seu exemplo de conduta e liderança, me fez ser o que hoje sou.

Também agradeço:

- aos professores João Batista Siqueira Harres, Hamilton César Zanardi Grillo e André Jasper pelo apoio, coleguismo, por confiarem e apostarem em mim;
- à Fundação Estadual de Proteção Ambiental – FEPAM, pela cedência da imagem de satélite;
- ao ex-aluno e agora colega Rafael Rodrigo Eckhardt pelo auxílio em campo;
- à professora Dirce Suertegaray, pela orientação e indicação da melhor direção a ser seguida;
- ao Centro Estadual de Sensoriamento Remoto, na pessoa do seu coordenador, professor Jorge Ducatti;
- em especial, mas muito especial mesmo, à colega e amiga Rejane Valdameri, pelas incontáveis horas de auxílio, tanto didático como pessoal

e também ao meu amor,

sem ele, não sei se algo teria sentido...

APLICAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA DETERMINAÇÃO DA EVOLUÇÃO DA MATA NATIVA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORQUETA – RS, ENTRE 1985 E 1995 ¹

AUTORA: Claudete Rempel

ORIENTADORA: Prof^a Dr^a Dirce Maria Antunes Suertegaray

SINOPSE

O conhecimento atualizado da cobertura vegetal de bacias hidrográficas é importante para o estudo de processos ecológicos como por exemplo, deslocamento de espécies ou erosão do solo. Uma forma de estimar esta informação é através de técnicas de sensoriamento remoto, especialmente em países em desenvolvimento, onde a cobertura vegetal de aerofotogrametria está desatualizada.

A demonstração de que o Sensoriamento Remoto é uma ferramenta para verificação da quantidade de mata nativa existente na Bacia Hidrográfica do Rio Forqueta, bem como a análise do processo de desmatamento da mata no período de 1985 a 1995 constituem o foco central do presente trabalho. A área a ser pesquisada encontra-se inserida entre as latitudes 29°30' e 28°49'S e as longitudes 52°00' e 52°45'W no nordeste do estado do Rio Grande do Sul, na região denominada Encosta da Serra Geral.

As etapas a serem seguidas para a construção desta análise são:

1ª etapa: Classificação das áreas (classes) de vegetação e uso do solo em campo. Esta etapa seguirá a metodologia proposta por Jasper, A. e Feldens, L. (1999). Foram escolhidas, para a classificação supervisionada, feições de mata nativa original (decidual e ombrófila mista), vegetação nativa secundária em estágio

¹ Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Centro de Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, (84p.), agosto, 2000

primário, florestas artificiais, campo e área de plantio.

2ª etapa: Análise temporal das imagens com classificação digital não supervisionada – Isodata – e supervisionada – Máxima Verossimilhança Gaussiana – das imagens LANDSAT 345 de outubro de 1995 e maio de 1985, utilizando o programa IDRISI, além da quantificação das diferentes classes para as duas datas, visando a comprovação dos dados levantados em campo e a indicação do grau de desmatamento da área em estudo.

APPLICATION OF REMOTE SENSING FOR EVOLUTION DETERMINATION OF NATIVE FOREST WATERSHED OF FORQUETA RIVER – RS, BETWEEN 1985 AND 1995 ¹

AUTHOR: Claudete Rempel

ADVISOR: Prof^a Dr^a Dirce Maria Antunes Suertegaray

ABSTRACT

The modern knowledge about the vegetal cover of the hydrographic basins is very important to study ecological processes as, displacement of the species or soil erosion. A way estimate this information is through sensorial remote techniques, mainly in developing countries where the aerophotogrametry of is arachaic.

The evidence that the remote rensing is a good proxy to confirm the amount of original forest in the Hydrographic Basin of the Forqueta River, as well as the analysis of the deforestation process through 1985-1995, are the focus of the present research. The study area lies between the latitudes 19°30´ and 28°49´S and the longitudes 52°00´ and 52°45´W on the nrotheast Rio Grande do Sul State, in the region called Encosta da Serra Geral.

The steps that are being followed in order to develop this analysis are:

1nd stage: Classification of the vegetation areas (categories) and use of the soil in the field. This stage follows the methodology proposed by Jasper, A. and Feldens, L. (1999). There were selected, for the supervised classification, original native forest features (decidual and mixed ombrófila wood), native secondary vegetation in primary stage, artificial forests, field and farming area.

¹ Master of Science Thesesis, Centro de Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, (84p.), agosto, 2000

2nd stage: Temporal analysis of the images with a no supervised digital ranking – Isodata – and supervised – Gaussian Maximum Verisimilitude – of the images LANDSAT 345 of October, 1995 and May 195, using the IDRISI Program, besides the quantification of the different categories for the two dates, to support the surveyed data and the deforestation index of the study area.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO

2 JUSTIFICATIVA E DESCRIÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

3 SENSORIAMENTO REMOTO COMO FERRAMENTA PARA ANÁLISE AMBIENTAL

3.1 O processo de aquisição de informações

3.2 Características espectrais dos alvos e sistemas sensores

3.3 Imagens digitais

3.3.1 Atributos da imagem

3.3.2 Características das imagens digitais

3.3.3 Utilização de imagens digitais

3.3.3.1 Processamento de imagens digitais

3.3.3.2 Classificação digital de imagens

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 A Classificação pelo Método da Máxima Verossimilhança

4.2 Aquisição e análise dos dados

4.2.1 Dados de Sensoriamento Remoto

4.2.2 Dados Biológicos

4.2.3 Análise temporal de imagens com classificação digital

5 RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

6 CONCLUSÕES

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1** – Região do Vale do Taquari (Banco de Dados/UNIVATES, 1999)
- Figura 2** – Vegetação da Região Sul (Geografia do Brasil, Região Sul, 1990)
- Figura 3** – Fotografias da área de estudo
- Figura 4** – Bacia Hidrográfica do Rio Guaíba (FEPAM, 1998)
- Figura 5** – O processo de aquisição de informações com técnicas de sensoriamento remoto (Swain e Davis, 1981)
- Figura 6** – Efeitos atmosféricos em relação ao comprimento de onda (Swain e Davis, 1981)
- Figura 7** – Resposta espectral em função do comprimento de onda para solo arenoso, solo argiloso, água suja e água limpa (Kiefer Lillesand)
- Figura 8** – Floresta Ombrófila Mista
- Figura 9** – Floresta Estacional Decidual Original
- Figura 10** – Mata Estacional Decidual em Estágio Secundário
- Figura 11** – Mata Artificial
- Figura 12** – Área de Plantio
- Figura 13** – Área de Solo Exposto
- Figura 14** – Pontos coletados (acima imagem de 1985, abaixo imagem de 1995)
- Figura 15** – Bacia Hidrográfica do Rio Forqueta, Imagem LANDSAT TM 5 de 04/05/85
- Figura 16** – Bacia Hidrográfica do Rio Forqueta, Imagem LANDSAT TM 5 de 20/10/85 (cedida pela FEPAM)
- Figura 17** – Histograma da Imagem de 1985
- Figura 18** – Histograma da Imagem de 1995
- Figura 19** – Classificação Isodata da Imagem de 1985
- Figura 20** – Classificação Isodata da Imagem de 1995
- Figura 21** – Classificação Supervisionada por Máxima Verossimilhança Gaussiana da Imagem de 1985
- Figura 22** – Classificação Supervisionada por Máxima Verossimilhança Gaussiana da Imagem de 1995
- Figura 23** – Comparação das áreas com solo exposto (e 1995; d 1985) onde em campo comprovou-se existir Floresta artificial

ÍNDICE DE FIGURAS

Tabela 1 – Características do sistema sensor utilizado no presente estudo

Tabela 2 – Classes obtidas para a classificação supervisionada

Tabela 3 – Área (em km²) obtidas para as classes nas classificações pelos métodos Isodata e Máxima Verossimilhança Gaussiana – MaxVer da imagem de 1985

Tabela 4 – Área (em km²) obtidas para as classes nas classificações pelos métodos Isodata e Máxima Verossimilhança Gaussiana – MaxVer da imagem de 1995

Tabela 5 – Classes que aumentaram e diminuiram nas imagens de 1985 e 1995

1. INTRODUÇÃO

Sensoriamento Remoto pode ser definido como a ciência e a técnica de obtenção de dados a respeito de objetos à distância, isto é, sem a necessidade de estar em contato direto com os mesmos. Esses objetos de interesse, genericamente designados por “alvos” são geralmente corpos d’água, tipos de vegetação, solos, rochas e outros.

Inicialmente, essa técnica restringiu-se à interpretação visual de fotografias aéreas. No pós II Guerra Mundial e com o surgimento da era espacial, na década de 70, os progressos realizados no desenvolvimento de sensores eletrônicos e na disponibilidade de computadores digitais, fizeram com que o sensoriamento remoto adquirisse uma nova dimensão. A disponibilidade de imagens tomadas simultaneamente em diversas faixas do espectro eletromagnético e de uma maneira repetitiva aumentou muita a quantidade e confiabilidade dos dados assim obtidos. Ainda, sendo disponíveis em formato digital, as imagens tornaram-se suscetíveis a serem processadas e classificadas em computadores, segundo algoritmos diversos, criando novas possibilidades de utilização prática de sensoriamento remoto bem como abrindo novas áreas para pesquisa científica.

Hoje, uma parcela significativa do estudo dos recursos naturais faz uso de imagens de satélite. Mediante o sensoriamento remoto é possível acompanhar fenômenos que se desenvolvem em grandes áreas sobre a superfície da Terra. Um exemplo é o estudo dos efeitos da cobertura vegetal em bacias hidrográficas nos processos ecológicos evolutivos.

A deterioração ambiental é decorrente, em parte, da ausência de propostas integradas de planejamento e gerenciamento de sistemas de produção agrícola, em especial estudos de avaliação de capacidade de suporte das diversas classes de

USO.

O planejamento surge como uma ferramenta opcional na tentativa de minimizar possível desequilíbrio causado pelas políticas e ações adotadas, apoiadas na maior parte dos casos em modelos de desenvolvimento nos quais se considera a maximização do benefício monetário. Assim, o planejamento e gestão dos recursos naturais são setoriais e fragmentários, sem elevar em conta suas interações com o ambiente (físico e sócio-econômico), onde o homem não é considerado um componente do ecossistema. Como consequência desta visão mecanicista, o mundo encontra-se hoje em profunda crise, que é complexa e multidimensional, afetando todos os setores da sociedade.

Desde o início da colonização do Brasil, a ocupação do território realizou-se às expensas da fertilidade e produtividade natural aparente de áreas florestais, inicialmente ao longo da região nordeste do país. A partir da década de 50, o país é fortemente marcado pelo desenvolvimento industrial e as degradações ambientais continuaram a ser vistas como normais ou esperadas por parcela considerável da população e dos diferentes escalões decisórios da vida nacional.

Resultados negativos do impacto da ocupação antrópica inadequada sobre o meio físico são representados por processos de erosão acelerada dos solos, perda da reserva de seus nutrientes, contaminação físico-química dos recursos hídricos e possíveis modificações estruturais dos sistemas hidrográficos (como, por exemplo, assoreamento, reservatórios e canais fluviais).

Para monitoramento da dinâmica das bacias hidrográficas é necessário a utilização de sistemas de alta capacidade para o tratamento de imagens digitais e análise de informações multi-temáticas.

A demonstração de que o Sensoriamento Remoto é uma ferramenta para verificação da quantidade de mata nativa existente na Bacia Hidrográfica do Rio Forqueta, bem como a análise do processo de desmatamento da mata no período de 1985 a 1995, contribuindo, assim, com o Banco de Dados Ambientais da Região do Vale do Taquari são os objetivos do presente trabalho. A área a ser pesquisada corresponde a Bacia Hidrográfica do Rio Forqueta – e encontra-se inserida entre as

latitudes 29°30' e 28°49' S e as longitudes 52°00' e 52°45' W. Situa-se no nordeste do estado do Rio Grande do Sul, abrangendo, entre outros, os municípios: Soledade, Pouso Novo, Marques de Souza, Arroio do Meio, Travesseiro e Lajeado, ocupando uma área aproximada de 2.800 km².

Os procedimentos para a coleta e análise dos dados baseiam-se em técnicas de Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e Trabalho de Campo.

As etapas a serem seguidas são:

1ª Etapa: Classificação das áreas (classes) de vegetação e uso do solo em campo. Esta etapa seguirá a metodologia proposta por Jasper, A. e Feldens, L. (1999).

O procedimento para classificação das áreas de campo é através de um levantamento de flora da área, considerando a vegetação nativa e exótica. Para o levantamento da flora são realizadas atividades de campo com processos de amostragem por quadrante (no caso de vegetação exótica) e por transecto linear (no caso da vegetação nativa). As classes que são objetivo de estudo são marcadas através do GPS (Global Position System) em saídas a campo.

2ª Etapa: Análise temporal de imagens com classificação digital.

Para alcançar os objetivos realiza-se análise cronológica de 2 imagens de satélite LANDSAT Thematic Mapper, bandas 3, 4 e 5 da área da bacia do Rio Forqueta, escala 1:100.000. Uma de 04 de maio de 1985, adquirida junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, e outra de 25 de outubro de 1995, cedida pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental – FEPAM. Esta diferença temporal permite uma análise espacial das alterações da cobertura vegetal ocorridas na bacia do rio Forqueta num período de 10 anos.

Uma vez determinada a área da Bacia Hidrográfica do Rio Forqueta, através da digitalização de seu contorno no programa AUTOCAD, é feita a georreferência das imagens utilizando pontos de referência distribuídos na área mapeada. O posicionamento dos pontos de controle em coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) é determinado em cartas topográficas (DSG).

Posteriormente é realizado uma classificação automática, não supervisionada, Isodata (*cluster*) para identificação, de forma rápida, aglomerados de *pixels* com características espectrais semelhantes, para facilitar a posterior classificação supervisionada. A classificação Isodata é uma ferramenta de extrema importância, pois a utilização do processo é indicado para a identificação de áreas homogêneas para que, na classificação supervisionada saiba-se de onde retirar as amostras.

Foram escolhidas, para a classificação supervisionada, feições nativas originais (mata decidual e de araucárias e campos de cima da serra), vegetação nativa secundária em estágio primário, floresta artificial, área de plantio, solo exposto e sombra.

Após a classificação das duas imagens, estas são utilizadas para realizar-se análise da evolução das classes mencionadas.

O resultado final dessa pesquisa auxiliou na incrementação de dados para o Banco de Dados Regional do Centro Universitário Univates, de Lajeado – RS.

2 JUSTIFICATIVA E DESCRIÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

O rápido crescimento da população humana é um dos principais fatores responsáveis pela devastação ambiental. Isso porque o aumento do número de pessoas significa extrair cada vez mais da natureza o que for possível para que os seres humanos sobrevivam.

Passam a ser necessárias quantidades cada vez maiores de recursos naturais para a produção de alimento, roupas, casas, transportes, entre outros, fato que decorre do consumo crescente de energia e materiais diversos. Conseqüentemente os recursos disponíveis da Terra, que a natureza levou milhões de anos para formar, vão se esgotando em ritmo acelerado. É o caso dos metais, combustíveis fósseis, da madeira, da água e outros.

Por outro lado, da utilização dos recursos naturais ficam os resíduos que são introduzidos no ambiente, desequilibrando-o.

A intensificação da pressão de exploração agro-silvo-pastoril no território brasileiro tem suscitado a atenção da sociedade, em especial, dos segmentos diretamente ligados ao planejamento agrícola e ambiental, face às significantes alterações que têm provocado nos cenários naturais.

Neste contexto, as atividades agropecuárias são reconhecidas como o vetor de transformações de maior amplitude, por constituírem fontes potenciais de distúrbios sobre o ambiente, fundamentalmente quanto a modificações de elementos componentes da estrutura física dos ecossistemas e das de paisagem como um todo. Uma das alternativas que se apresenta para subsidiar políticas voltadas às soluções destes problemas é a adoção de estudos integrados ao nível de bacias hidrográficas (Valerio Filho, M. 1995).

A preservação dos recursos naturais, apesar de estar prevista por legislação específica em relação ao desmatamento e a questão dos recursos hídricos, caracteriza-se como um problema crônico, por falta de consciência de preservação de muitos.

A região geográfica do Vale do Taquari (Fig. 1), onde está inserida, na sua maior extensão, a **Bacia Hidrográfica do Rio Forqueta**, atualmente está constituída por 40 municípios. Hoje com uma densidade de 52 hab/km², índice elevado quando se considera não se tratar de região metropolitana, a região possui 3,07% da população do Estado do Rio Grande do Sul (302.724 habitantes, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 1994). O Vale do Taquari é uma região reconhecida como tal pelo Governo do Estado do Rio Grande do Sul por força da instalação, em dezembro de 1991, do Conselho de Desenvolvimento do Vale do Taquari – CODEVAT, órgão regional que estabelece o foro de discussão do planejamento das iniciativas sócio-econômicas e culturais de abrangência supramunicipal.

A região do Vale do Taquari apresenta características fisionômicas muito particulares: uma parte dela está localizada na encosta inferior do Planalto Meridional e outra na Depressão Central. A área localizada na encosta inferior do Planalto Meridional é caracterizada pelo escarpamento acentuado devido à dissecação provocada pelo curso inferior do rio Taquari, formando assim pontos de grande aclave e porções com os típicos morros testemunhos, como é o caso do Roncador e do Roncadorzinho. Originalmente desenvolvia-se nesta área a Floresta Estacional Decidual ou Semi-Decidual, cuja superfície mapeada é de aproximadamente 31.000 km², ocupando assim a maior parte da vertente sul do Planalto das Araucárias e as áreas dos terraços aluviais do rio Jacuí e seus respectivos afluentes (Fig. 2) (Levantamento de Recursos Naturais, IBGE, 1986, *in* Jasper, 1997). Os solos que se formam nestas encostas são muito utilizados para a silvicultura e fruticultura, principalmente devido às limitações quanto à declividade exigindo dessa maneira práticas intensivas de conservação do solo. Uma pequena porção do Vale do Taquari localiza-se na região da Depressão Central Gaúcha, onde formam-se terraços aluviais que também estavam cobertos pela Floresta Estacional Decidual, hoje muito modificados por ação antrópica e utilizados para

plântio de sementes.

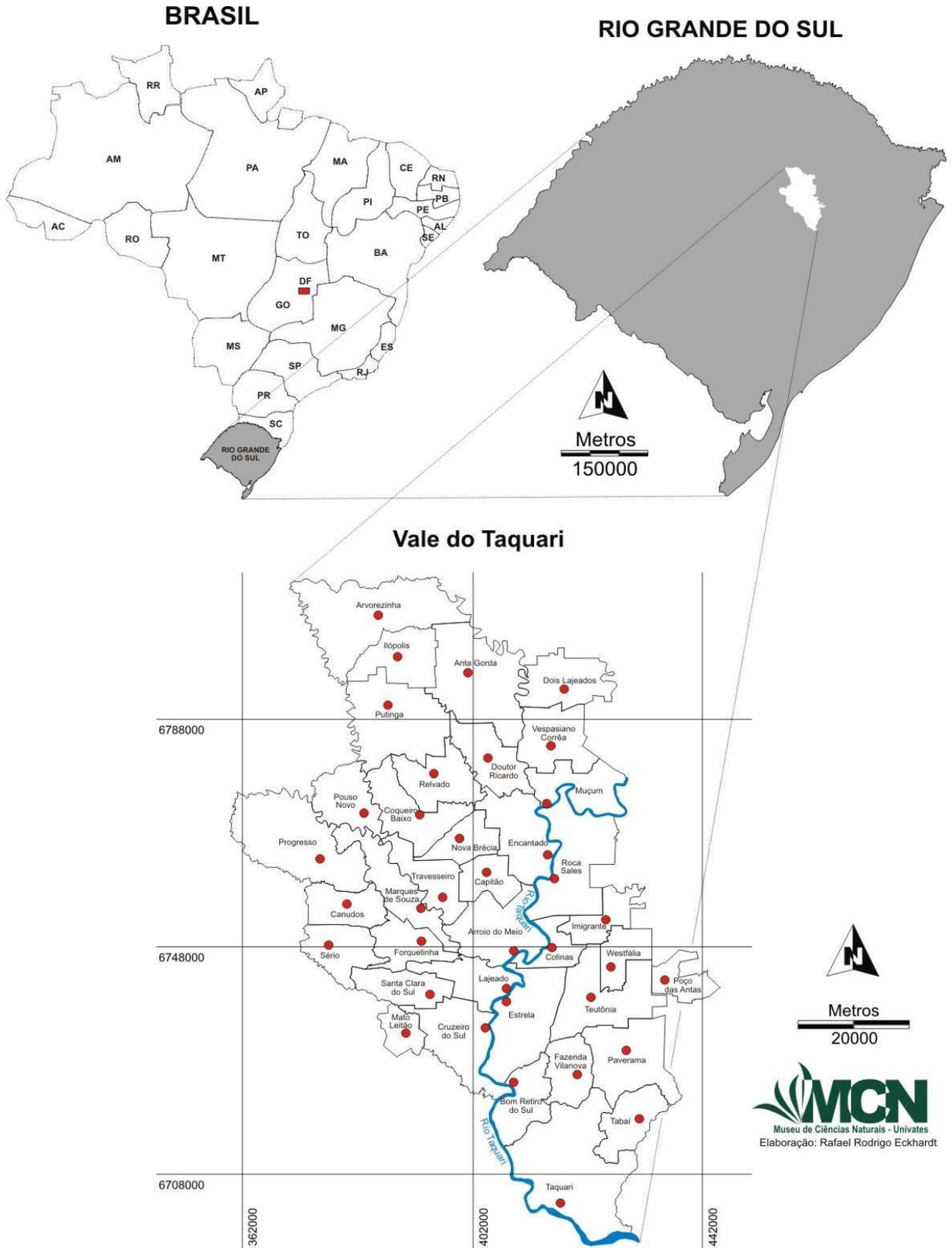


Figura 1 – Região do Vale do Taquari (Banco de Dados/UNIVATES, 1999)

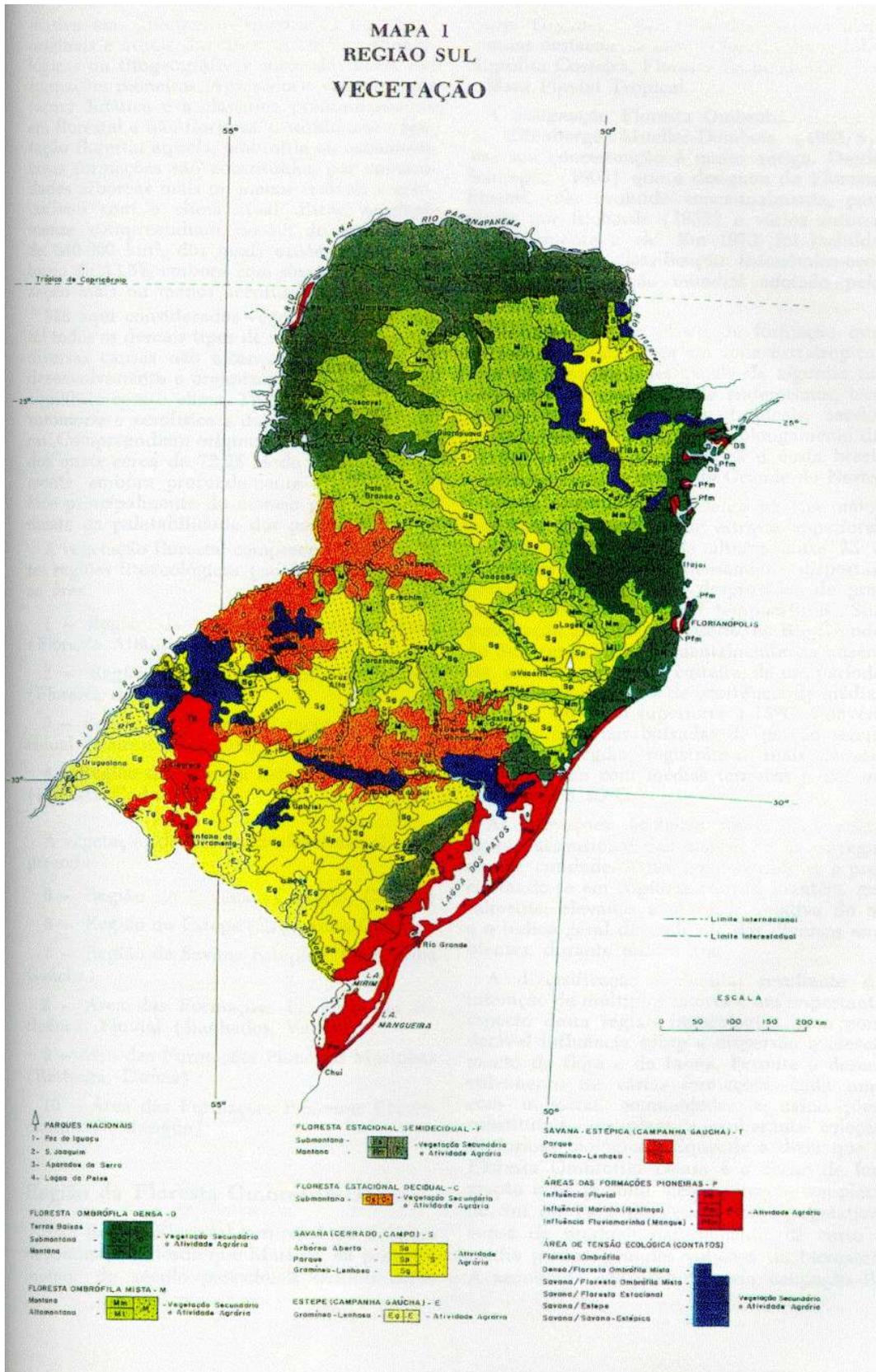


Figura 2 – Vegetação da Região Sul (Geografia do Brasil – Região Sul, 1990)

A bacia hidrográfica do Rio Forqueta, além de estar localizada nas duas regiões fisionômicas da região do Vale do Taquari, apresenta, nas suas nascentes, vegetação do tipo ombrófila mista. Este tipo de floresta, também conhecida como “mata-das-araucárias”, é um tipo de vegetação do planalto meridional, onde ocorria com uma abrangência de 250.000 km², distribuída nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Minas Gerais (Levantamento de Recursos Naturais – IBGE, 1986).

Rambo (1994) descreve a formação biológica da região do Vale do Taquari como bastante singular, principalmente devido a sua localização intermediária entre o “Planalto das Araucárias” e a “Depressão Central Gaúcha”. Rambo (1961) define que a Encosta da Serra serve de condutor gradativo da Mata Atlântica para a região central do Estado seguindo o caminho iniciado a partir do “Portal de Torres”.

Assim devido a origem bastante singular da Encosta da Serra, a região do Vale do Taquari torna-se extremamente interessante. Até hoje, todavia, persiste uma grande dúvida quanto à verdadeira natureza, Decidua ou Semidecidual, da vegetação que cobre maior parte do Vale do Taquari, a qual foi gerada principalmente pela mescla destes dois grupos fitossociológicos, justamente nesta área, onde a cobertura vegetal original destaca espécies arbóreas como a Corticeira (*Erythrina cristagalli* L.), o Salgueiro (*Salix humboldtiana* Willd.), o Ingá (*Inga uruguensis* H. G. Arn), a Guajuvira (*Patagonula americana* Benth). O trabalho realizado por Freitas (1999) na cidade de Lajeado, conclui que a maioria das espécies *Orchidaceae* encontradas na região são típicas de formações semidecíduais e as espécies que ocorrem em formações decíduais apresentam dispersão em praticamente todo o Estado. Isto sugere que a formação fitoecológica do município de Lajeado e de parte da Bacia Hidrográfica do Rio Forqueta seja Estacional Semidecidual. Como as espécies que foram encontradas no local do trabalho são tipicamente semidecíduais, leva a crer que existam pontos onde ocorrem a mescla das duas formações, dando origem a “ilhas” de Floresta Estacional Semidecidual na Floresta Estacional Decidual.

A estrutura da Floresta Estacional Decidual é representada por dois extratos arbóreos distintos: um, emergente, aberto e decíduo, com altura variando entre 25 e

30m, e outro, dominado pelo anterior (por estar abaixo deste) e contínuo, de altura não superior a 20m, formado principalmente de arvoretas (Levantamento de Recursos Naturais – IBGE, 1986).

O extrato dominado, com uma marcada diversidade florística, apresenta faces distintas, em função de pequenas variações ambientais determinadas por parâmetros litológicos, geomorfológicos, edáficos e climáticos (Levantamento de Recursos Naturais – IBGE, 1986).

Dentre o abundante contingente de epífitas encontramos as *Bromeliaceae*, as *Orchidaceae* e as *Cactaceae* que, de acordo com as preferências de luminosidade e umidade de cada espécie, apresentam-se distribuídas nos vários estratos componentes das matas (Dajoz, 1983). Porém, grande parte dessa cobertura vegetal foi erradicada, sendo substituída por culturas cíclicas e pastagens, de maneira que atualmente persistem apenas áreas cobertas, e não pela flora original com vários estratos mas com um desbastamento bastante acentuado e submata.

As norte da Bacia Hidrográfica do Rio Forqueta, na região mais alta da área estudada, a vegetação dominante pertence a Floresta Ombrófila Mista. A área onde se contempla, no Brasil, a coexistência de representantes das floras tropical (afro-brasileira) e temperada (austro-brasileira) com marcada relevância fisionômica de elementos *Coniferales* e *Laurales* é o denominado Planalto Meridional Brasileiro, que se define pela área de dispersão natural do pinheiro-brasileiro ou pinheiro-do-paraná, a *Araucaria angustifolia*. A Floresta Ombrófila Mista, conforme Leite e Sohn (1986) e Teixeira e Coura Neto (1986), está reduzida a pouco mais de 10% (20.000 km²) da sua área original. Os cerca de 90% (155.000 km²) integram a área de produção de alimento, principalmente grãos e, juntamente com áreas das regiões Florestais Estacionais e grande parte das áreas de Savana Gramíneo-lenhosa, constituem um dos mais importantes celeiros do País. Não obstante isto, a região das araucárias, no seu conjunto, não possui os melhores solos agrícolas do Sul do País. Seus solos de melhor qualidade, e intensamente utilizados, são aqueles de relevo suave, derivados do basalto, geralmente situados abaixo dos 800 m de altitude. Neles geralmente não ocorrem relictos florestais nem há áreas abandonadas, à proliferação da vegetação secundária: pratica-se o rodízio

trigo/soja/trigo com intercalação, principalmente, de milho (Levantamento de Recursos Naturais – IBGE, 1986).

A Floresta Ombrófila Mista divide-se em três extratos distintos: Sub-montana, Montana e Alto-Montana. A floresta sub-montana confunde-se, muitas vezes, com a Floresta Estacional Decidual. Ao sul, a formação montana, limita-se com as regiões da Floresta Estacional Decidual ou Semidecidual, na Serra Geral, em altitudes de 400 a 800 m, formando uma linha extremamente sinuosa que acompanha as bordas superiores dos vales, formados pela rica rede hidrográfica. Em toda esta área limítrofe houve uma maior ou menor interpenetração de espécies típicas de cada floresta, sempre com exceção da *Araucaria angustifolia* que, raramente é encontrada em altitudes inferiores a 400 m acima do nível do mar. Os elementos da Floresta Estacional que mais se destacaram por sua penetração na Floresta Ombrófila Mista são: *Parapiptadenia rigida* (angico-vermelho), *Luehea divaricata* (açoita-cavalo), *Myocarpus frondosus* (cabriúva), *Cabralea conjerana* (canjerana) e *Patagonula americana* (guajuvira) (Levantamento de Recursos Naturais, IBGE, 1986).

Dentre as espécies mais comuns nos povoamentos secundários da Floresta Ombrófila Mista destacam-se: a bracatinga (*Mimosa scabrella*), o canela-guaicá (*Ocotea yuberula*), o vassourão-branco (*Piptocarpha angustifolia*), o angico-branco (*Anadenanthera colubrina*), o vassourão-preto (*Vernonia discoor*), café-do-mato (*Casearia sylvestris*), vassouras (*Baccharis* spp.) e samambaia-das-taperas (*Pteridium aquilinum*).

O avanço das culturas antrópicas, que aumenta rapidamente, se estende desde as porções mais altas até as zonas de terraços dos arroios, de maneira que, onde o relevo permite, as plantações se estendem até as margens dos cursos d'água, conforme pode ser observado nas fotografias da Fig. 3 a seguir. Assim, ao longo destes cursos d'água, são ímpares os locais onde se preserva a porção mínima de mata ciliar estabelecida em leis estaduais e federais (Jasper, 1997).



Fig 3c – Mescla de vegetação nativa original, secundária e plantio



Figura 3d – Aspectos fitoecológicos da área de estudo (diversidade de formações) continua ...



Fig. 3e – Várzea do rio Forqueta – município de Marques de Souza. Percebe-se que a mata ciliar é espessa e que o plantio estende-se praticamente até a barranca do rio.



Fig. 3 f – Diversidade fitoecológica da região

Figura 3 – Aspectos fitoecológicos da área de estudo (diversidade de formações)



Fig. 3 a – Rio Forqueta – Divisa entre os municípios de Lajeado(e) e Arroio do Meio(d.)



Fig. 3 b – Relevo bastante acidentado e vegetação dispersa

Figura 3 – Aspectos fitoecológicos da área de estudo (diversidade de formações)
continua...

Em locais com progressivo abandono de áreas agrícolas, passaram a predominar as vegetações pioneiras, porém não são suficientes para conter a ação erosiva dos cursos d'água nos períodos de maior precipitação pluviométrica. Em outras porções podem ser verificados grupamentos remanescentes que ocupam as encostas mais íngremes e áreas de difícil acesso, o que não colabora no momento da absorção do impacto das chuvas. Nestas formações podem ser encontradas várias espécies adaptadas à estacionalidade, como é o caso do Angico (*Parapiptadenia rigida* Benth.), do Cedro (*Cedrella fissilis* Vell.) e da Cabriúva (*Myocarpus frondosus* Fr. Allem.) (Levantamento de Recursos Naturais, IBGE, 1986, in Jasper, 1997).

Reitz et al (1983) demonstram que o Rio Grande do Sul apresentava, até a metade do século passado, uma cobertura vegetal representativa que teve um declínio em termos percentuais muito grande, principalmente a partir das imigrações alemã e italiana, sendo que hoje os resquícios de mata nativa do Estado se resumem às regiões marginais dos rios, às áreas de maior altitude e de algumas zonas preservadas.

O mesmo processo ocorre com o Vale do Taquari, que assim como todo o Rio Grande do Sul, apresentava até meados do século uma cobertura vegetal muito rica, que teve um acentuado desmatamento, principalmente a partir das imigrações alemã e italiana (Jasper, 1997).

Embora bastante acidentada, a região do Vale do Taquari também apresenta vastas planícies ao longo do Rio Taquari e seus afluentes. Entremeiam as planícies inúmeras encostas agricultáveis, unindo todo esse complexo pelas ramificações dos afluentes diretos e indiretos do rio Taquari. Como já foi mencionado, a Bacia Hidrográfica do Rio Forqueta pertence à Bacia Hidrográfica do Taquari-Antas que, por sua vez, pertence à Bacia Hidrográfica do Guaíba (Fig. 4).

A Bacia Hidrográfica do Guaíba é a mais importante das três regiões hidrográficas do Estado. Ela abrange uma área de 85.950 km² e está dividida em 8 sub-bacias: Alto Jacuí, Taquari-Antas, Pardo Baixo Jacuí, Vacacaí, Caí, Sinos, Gravataí e Guaíba, envolvendo a 30% da área total do Estado.

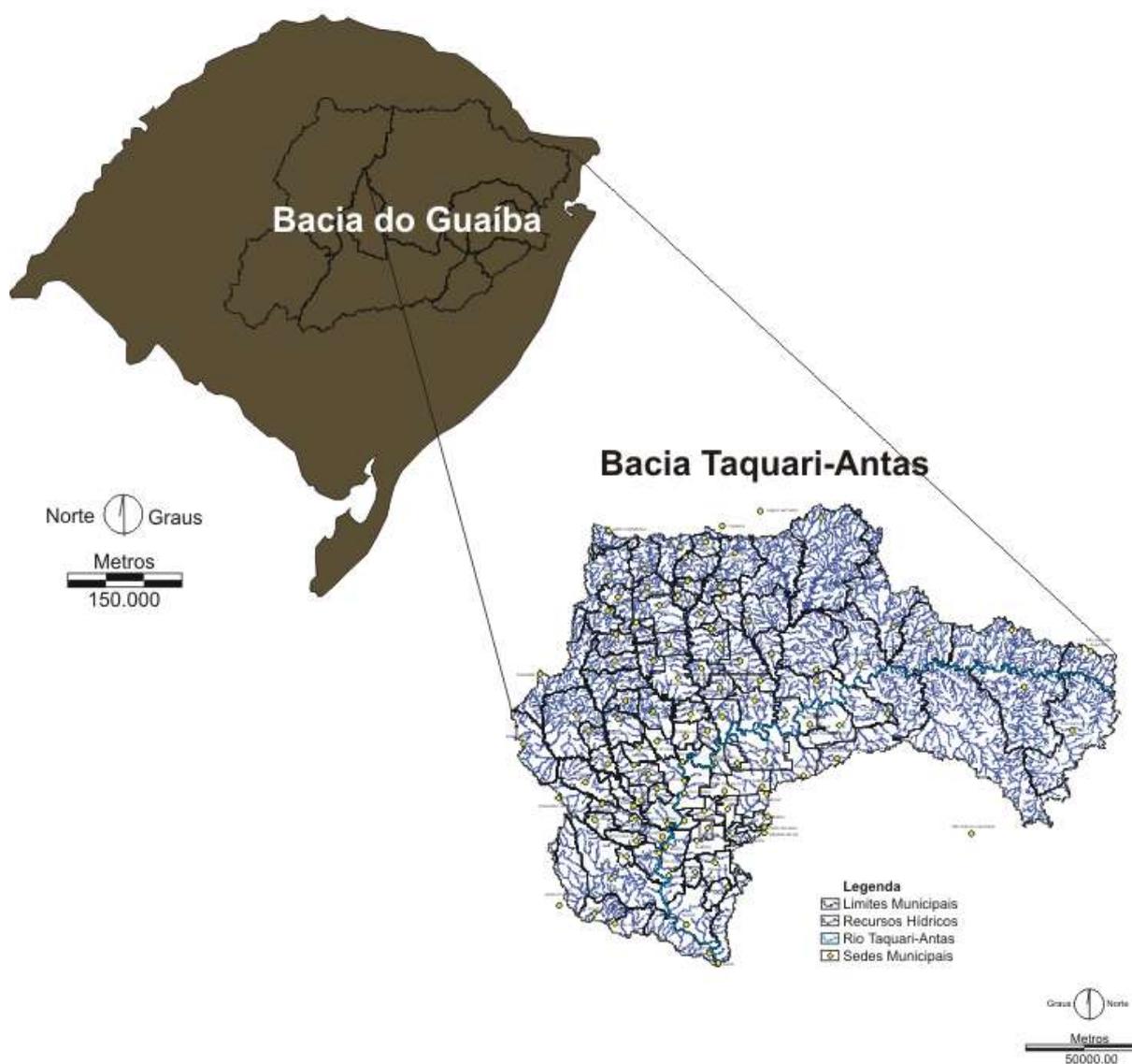


Figura 4 – Bacia Hidrográfica do Rio Guaíba (FEPAM, 1998)

Visando melhorar as condições ambientais da Bacia Hidrográfica do Guaíba, necessárias para o desenvolvimento racional dos recursos naturais, nas áreas urbanas e rurais, e também executar o manejo ambiental sustentado da produção agrícola, pecuária, florestal e industrial o Governo do Estado desenvolve o PRÓ-GUAÍBA – Programa para o Desenvolvimento Racional, Recuperação e Gerenciamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Guaíba.

Levando em conta que o Vale do Taquari apresenta uma malha hidrográfica complexa que sofre constante influência antrópica e muitas vezes apresenta o seu curso natural extremamente alterado, a determinação da cobertura vegetal, sua ecologia e evolução é importante, pois permite estabelecer a verdadeira situação da distribuição da cobertura vegetal da região, contribuindo, assim, para atingir algumas das metas a que se propõe o PRÓ-GUAÍBA.

Observa-se que a biodiversidade original da região sofre um processo acentuado de degradação e necessita ser estudada o mais breve possível, viabilizando a implantação de linhas de pesquisa que possibilitem a sua conservação.

Nesse contexto, verifica-se a inexistência de estudos específicos e expressivos da cobertura vegetal da região do Vale do Taquari.

Confrontando o quadro de rápida degradação dos ambientes naturais com a inexistência de dados precisos, a única maneira de criar um acervo que ilustre a representatividade da composição original do Vale do Taquari é a implantação de atividades de análise e interpretação de dados (imagens de satélite, fotos aéreas e saídas a campo), fornecendo assim subsídios para estudos que permitam elaborar um banco de dados sobre o estado da conservação da biodiversidade.

Uma região de tamanha importância ecológica, como é o Vale do Taquari, conta com uma única instituição científica desenvolvendo trabalhos ambientais: o Museu de Ciências Naturais do Centro Universitário Univates, de Lajeado. Este Museu conta com um laboratório de Zoologia e um Herbário, que teve sua origem no convênio firmado entre a Prefeitura Municipal de Lajeado e o Centro Universitário Univates, para que fosse realizado levantamento zoobotânico da área do Jardim Botânico de Lajeado (JBL), atividade iniciada em janeiro de 1996, com coletas e identificação de material botânico e zoológico. Neste, estão sendo realizadas coletas sistemáticas na área do Jardim Botânico de Lajeado e em toda a região do Vale do Taquari para que seja possível estabelecer o panorama de flora e fauna regional, o qual auxiliará a implantação das coleções do Jardim Botânico de Lajeado, além de suprir algumas lacunas de informações sobre vegetação e zoologia da região existentes junto aos centros de pesquisa nacionais.

Para incrementar os dados ambientais do Museu de Ciências Naturais, bem como da região do Vale do Taquari, inúmeras são as propostas metodológicas para a investigação. A partir da década de 60, iniciaram-se várias tentativas de ações integradas de investigação de sistemas ecológicos complexos. Uma destas proposições refere-se à técnica de superposição de mapas temáticos. Informações descritivas do ambiente, traduzidas na forma de mapas, eram superpostos manualmente, procurando-se o reconhecimento e caracterização de unidades estruturais básicas.

Apesar de factível, esta metodologia é condicionada por limitações físicas quanto ao número de mapas passíveis de superposição simultânea, e apresenta uma certa fragilidade quando comparada à uma abordagem empírico-analítica quantitativa (Valerio Filho, M. 1995).

Para Lima et al. (1996) é necessário, primeiramente, realizar o diagnóstico ambiental, caracterizando e quantificando os principais processos de degradação, os elementos e as propriedades que podem ser recuperadas, e os manejos adequados com os recursos potenciais e com a conservação dos recursos naturais. Somente após efetuar esse diagnóstico é possível oferecer subsídios para implementação de um sistema de conservação e regeneração da mata nativa.

Amaral et al. (1995) dizem que o zoneamento geoambiental de Bacias Hidrográficas pode ser considerado um ponto de partida para um planejamento racional dos recursos naturais, adequado pelas suas potencialidades e pelo equilíbrio ambiental.

Também segundo Amaral et al. (1995) o conhecimento do meio natural de uma Bacia Hidrográfica (no caso da sua pesquisa, da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú – CE) é uma prévia para a identificação das potencialidades naturais a fim de obter-se um desenvolvimento sustentável, ou seja, um equilíbrio entre o potencial ecológico e a exploração biológica.

A partir da década de 70, avanços tecnológicos relativos à aquisição e armazenamento de informações propiciaram um progresso expressivo na implementação de estudos integrados. Neste sentido, a disponibilidade de dados de

sensoriamento remoto ao nível orbital através do sistema Landsat (a partir de 1972) e, mais recentemente, o sistema Spot, e de estruturas computacionais auxiliares como os sistemas de tratamento de imagens digitais e de informação geográficas permitiram uma maior agilidade na coleta de dados e análise integrada as informações ambientais.

Através a análise da situação apresentada nos últimos anos, será possível traçar cenários futuros e apresentar sugestões que busquem a preservação ambiental e a qualidade de vida da população do Vale do Taquari.

Considerando que o manejo de bacias hidrográficas deve ser entendido como um conjunto de procedimentos resultante de trabalho integrado, multi e interdisciplinar, que deve ser conduzido para identificar opções de solução aos problemas que alteram os sistemas ambientais, que na maior parte dos casos conduzem à deterioração de seus recursos naturais e de seus sistemas produtivos, a determinação da evolução da mata nativa da bacia hidrográfica do Rio Forqueta – RS, pode ser considerado um ponto de partida para um planejamento que visa o aproveitamento racional dos recursos naturais, adequado pelas suas potencialidades e pelo equilíbrio ambiental.

Inúmeros são os trabalhos que utilizam técnicas de sensoriamento remoto para análise e classificação do uso e monitoramento do solo. Hoje, associada a esta técnica encontra-se a ferramenta geoprocessamento, que é muito versátil e de grande contribuição no desenvolvimento de trabalhos que utilizam sensoriamento remoto, em especial no que se refere ao monitoramento do meio ambiente e do meio físico.

Para Moncerat & Pinto (1996), o uso de imagens de satélite tem sido objeto de inúmeras aplicações no monitoramento e mapeamento de recursos terrestres. Ainda, segundo o autor, o sistema de informações geográficas (GIS) tem sido cada vez mais empregado na avaliação de recursos agrícolas nos últimos anos e tem se mostrado uma ferramenta bastante eficaz.

O estudo de áreas com vegetação nativa através de técnicas de sensoriamento remoto mostra-se muito importante pois, devido ao progressivo

desgaste dos recursos naturais, torna-se necessário preservar o que ainda resta e tentar recuperar o que for possível. A verificação de regiões com mata nativa pode ser utilizada para a determinação de Áreas de Proteção Ambiental. As áreas de preservação permanente (APP) foram definidas pelo Código Florestal (Brasil, 1965). Posteriormente, de acordo com a Lei número 6.938 (Brasil, 1981), estas áreas foram consideradas reservas ecológicas.

Segundo Costa (1995), as APPs foram criadas para proteger o ambiente natural, o que significa que não são áreas apropriadas para alteração de uso da terra, devendo estar cobertas com a vegetação original. A cobertura vegetal nestas áreas irá atenuar os efeitos erosivos e a lixiviação dos solos, contribuindo também para regularização do fluxo hídrico, redução do assoreamento dos cursos d'água e reservatórios, e trazendo benefícios para a fauna.

A utilização de técnicas de sensoriamento remoto e georreferenciamento para determinação de áreas com vegetação nativa na Bacia Hidrográfica do Rio Forqueta constitui o foco central do presente projeto.

3. SENSORIAMENTO REMOTO COMO FERRAMENTA PARA ANÁLISE AMBIENTAL

Embora considerando o dado de campo como fundamental, o processo de aquisição de informações a respeito da cobertura vegetal de bacias hidrográficas, por meio diferentes ao sensoriamento remoto geralmente são onerosos, tanto em custos como em tempo. Para que as saídas de campo possibilitem uma adequada descrição da bacia, o seu número deve ser suficiente para cobrir representativamente toda a área, multiplicando os custos em função do número de pontos de amostragem. A alternativa apresentada pelo uso de imagens de satélite se mostra vantajosa neste sentido, mas deve-se considerar as características das mesmas para avaliar seus resultados e poder compará-los com outras técnicas de coleta de informação. Frequentemente a perda de detalhe é compensada pelo ganho na área coberta e pela economia obtida em custo e tempo na execução da tarefa.

Stafford (1975) utilizou a fotografia aérea para determinar mudanças na cobertura superficial em bacias hidrográficas e concluiu que ela é uma excelente ferramenta, quando existe uma cobertura aerofotogramétrica periódica da área. Também comenta que a fotografia aérea é vantajosa na determinação da área ocupada por cada uma das classes de uso do solo e que outras técnicas de sensoriamento remoto deveriam ser utilizadas em estudos similares dentro das limitações próprias de cada sensor.

A definição de Sensoriamento Remoto é geral e frequentemente conduz a questões polêmicas tais como qual a distância a partir da qual as medições passam a ser consideradas como sendo de sensoriamento remoto ou quanto à natureza dos fenômenos medidos. Faz-se então necessário esclarecer que o termo sensoriamento remoto é atualmente restrito aos sistemas e técnicas envolvidas na utilização da energia eletromagnética refletida e/ou emitida pelo objeto de interesse,

incluindo-se as frequências relativas à região visível, ao infravermelho (refletido e emitido) e microondas, medidas a partir de aeronaves ou satélites, e utilizadas com o objetivo de estudar o ambiente mediante o registro e análise da interação entre a energia eletromagnética e os elementos que compõem a cobertura da superfície da Terra.

Devido à altitude da órbita dos satélites, as imagens obtidas por sensoriamento remoto, estão geralmente em escalas menores às disponíveis por outros meios, possibilitando a cobertura de grandes áreas. Isto facilita a observação e o estudo da cobertura superficial ao longo de grandes áreas e oferece uma alternativa que foge das observações pontuais, comumente feitas nos métodos convencionais. A grande vantagem deste fato é que levantamentos que antes eram feitos de forma pontual, e que para cobrir grandes áreas avultavam grandes custos, com as novas técnicas de sensoriamento remoto podem ser feitos com maior facilidade e menores investimentos em capital e trabalho.

3.1 O processo de aquisição de informações

Existe uma variedade de processos envolvidos no sensoriamento remoto como técnica de aquisição de informações (Fig. 5). Alguns deles podem ser englobados num conjunto denominado coleta de dados, outros estão incluídos dentro da análise e interpretação destes. Efetua-se primeiro a coleta de dados, tentando, de uma maneira simplificada, ilustrar a aquisição de informações através de sensores colocados a bordo de satélites.

O processo se origina na emissão de radiação eletromagnética por parte de uma fonte de energia. A fonte natural utilizada para esta finalidade é o Sol. A radiação eletromagnética proveniente do Sol se propaga através do espaço em direção à Terra. No seu caminho atravessa a atmosfera com a qual interage de duas maneiras distintas, através de processos conhecidos como espalhamento e absorção de energia. O espalhamento ocorre quando a radiação solar é refletida ou refratada por partículas presentes na atmosfera. Nele a energia não é atenuada e sim redirecionada, não ocorrendo perda de energia. Já no fenômeno da absorção, uma parcela da radiação é absorvida pela atmosfera com o que esta é aquecida.

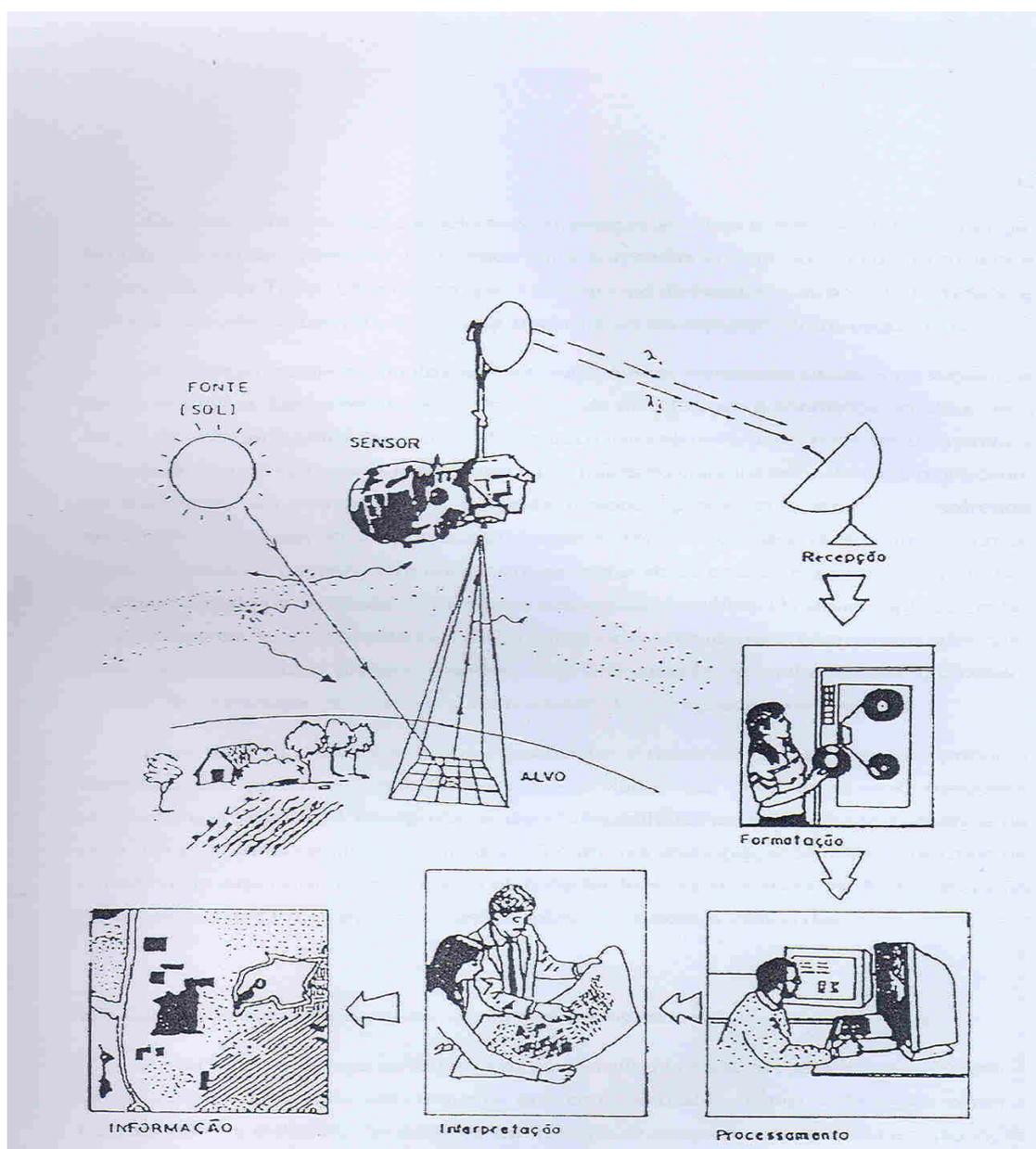


Figura 5 – O processo de aquisição de informações com técnicas de sensoriamento remoto (Swain e Davis, 1981)

Os efeitos atmosféricos são seletivos em relação ao comprimento de onda da energia. Na fig. 6 pode ser apreciada a diferença entre a irradiância solar no topo da atmosfera e na superfície da Terra. Observa-se que a energia, ao atravessar a atmosfera, é afetada com maior intensidade em algumas regiões do espectro eletromagnético.

A radiação incidente, finalmente, interage com os elementos situados na superfície da Terra (alvos). Como resultado, e dependendo da natureza e condições do alvo, uma fração da energia é refletida, outra é absorvida e uma terceira parte pode ser transmitida através do alvo. A radiação que é refletida, nas faixas do visível e infra-vermelho próximo, ou reemitida, em comprimentos de onda maiores, atravessa a atmosfera, sofrendo novamente os efeitos atmosféricos, até chegar ao sensor localizado no satélite. O sensor registra esta energia junto com outras provenientes da atmosfera e a transforma em um sinal passível de transmissão à Terra para subsequente análise. Os sinais captados pelas estações terrestres são formatados em fitas magnéticas compatíveis com computador para posteriormente serem pré-processados, com a finalidade de melhorar sua qualidade, através de eliminação de ruídos e da introdução de correções geométricas.

Estas fitas são distribuídas aos especialistas e usuários, os quais, na fase prévia à interpretação, podem melhor adequar esses dados aos seus interesses, mediante processamento digital. A interpretação dos dados colhidos pode ser feita visualmente ou pelo uso de rotinas computacionais que ajudam, por exemplo, mediante algoritmos de classificação supervisionada ou não, a elaboração de imagens temáticas. A interpretação e análise dos dados conduz a conclusões sobre a natureza e estado dos alvos.

3.2 Características espectrais dos alvos e sistemas sensores

A radiação incidente no alvo é em parte refletida pela sua superfície e o resto é transmitida ou absorvida pelo material que compõe o alvo. Tanto a absorção, como a transmissão e a reflexão, são seletivas em relação ao comprimento de onda e específicas para cada tipo particular de material, em função de sua estrutura

atômica e molecular. Esta relação está detalhadamente descrita em Slater (1980). De uma maneira simplificada, o balanço energético no alvo pode ser equacionado da seguinte forma: energia incidente = â refletida + â transmitida + â absorvida.

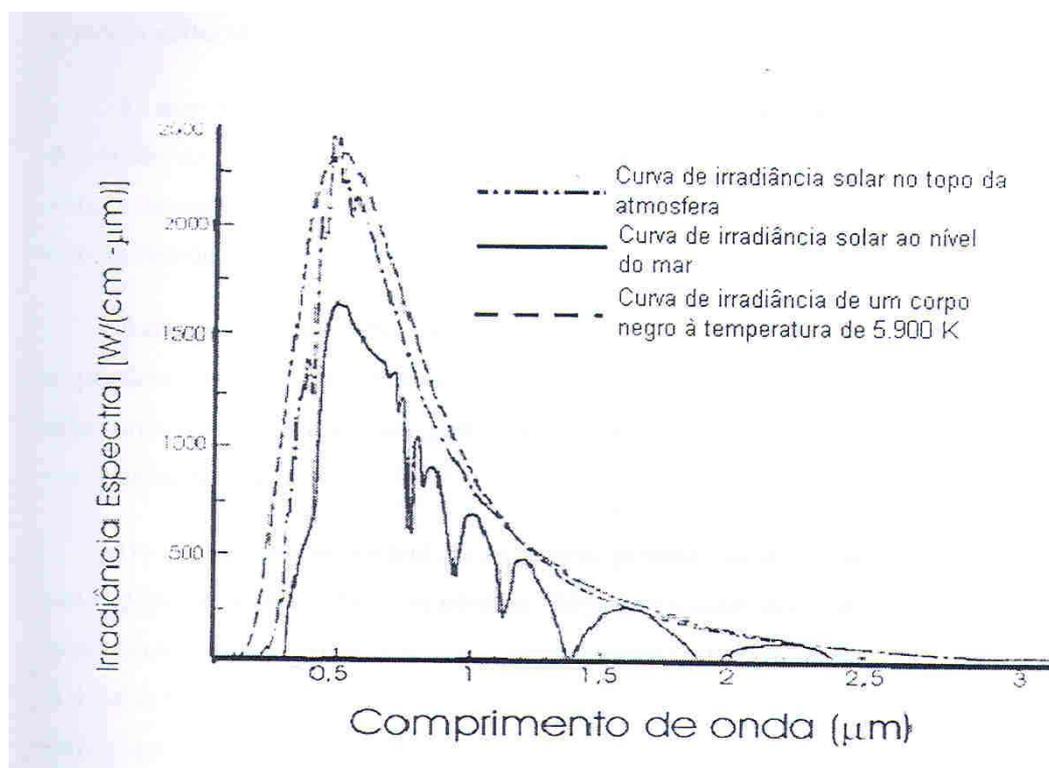


Figura 6 – Curva de irradiância solar (Slater, 1980 *in* Novo, 1989)

O objetivo básico do sensoriamento remoto é o estudo de alvos a partir da energia proveniente dos mesmos que é captada pelo sensor em determinadas faixas de comprimento de onda. No caso mais geral, isto corresponde à combinação da energia refletida e da emitida pelo alvo.

Já que a radiação refletida por cada material que ocupa a superfície terrestre depende da natureza e do estado do mesmo, aplicação de técnicas de sensoriamento remoto exige o conhecimento e compreensão das características espectrais desta ampla variedade de elementos e dos fatores que as influenciam.

A distribuição da reflectância ao longo do espectro visível para alvos típicos da superfície da Terra pode ser verificada na Fig. 7. Embora a representação gráfica seja uma generalização, ela serve para ilustrar as diferenças entre as grandes

categorias de alvos.

Dentro da região visível do espectro, grande parte da radiação é absorvida pelos pigmentos nas folhas das plantas. Há pouca transmissão de energia. A energia que não é absorvida pela planta é principalmente refletida. Nas faixas em torno de 0,45 μm e 0,65 μm , o que corresponde às cores azul e verde do visível, a reflectância é baixa. Isto é causado pela alta absorção da energia por parte da clorofila nestes comprimentos de onda. Entre estes picos de absorção se encontra uma região de relativa alta reflectância, com seu pico localizado em torno de 0,54 μm , o que corresponde à cor verde. Por este motivo, as folhas da vegetação sadia são verdes para o olho humano. Quando a planta se encontra em uma situação de deficiência hídrica, sua produção de clorofila cai, o que diminui a quantidade de energia absorvida nas faixas em torno de 0,45 μm e 0,65 μm . Em tal estado, as folhas da planta têm maior reflectância, particularmente na região correspondente à cor vermelha, dando uma coloração amarela/alaranjada à folha.

Se na parte do visível do espectro diferentes tipos de vegetação mostram respostas espectrais muito similares entre si, na região do infra-vermelho próximo culturas diferentes produzem diferenças na reflectância. Por essa razão, essa região do espectro eletromagnético é de grande importância no processo de discriminação de tipos diferentes de vegetação.

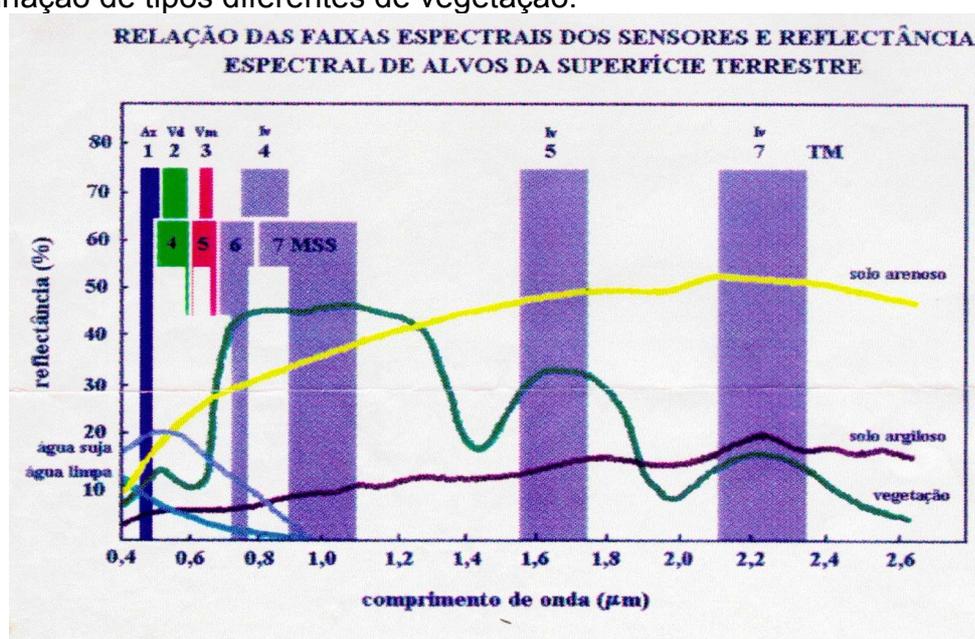


Figura 7 – Resposta espectral em função do comprimento de onda para vegetação, solo arenoso, solo argiloso, água suja e água limpa (Ciência Hoje, 1988, p. 48)

Três bandas na absorção, devido à água contida na planta, aparecem na faixa do infravermelho médio, em 1,4 μ m, 1,9 μ m e 2,7 μ m, sendo que a maior corresponde a 2,7 μ m. Entre elas ocorrem dois picos de reflectância, localizados em torno de 1,6 μ m e 2,2 μ m. A absorção de energia incidente no infravermelho médio depende da quantidade de água na folha que, por sua vez, é função da porcentagem do teor de umidade e espessura da folha.

O teor de umidade tem uma grande influência na resposta espectral da vegetação. Na medida em que o seu valor decresce, aumenta marcadamente a reflectância no infravermelho médio.

De um modo geral, a reflectância dos vários tipos de solos cresce na medida em que o comprimento de onda aumenta, particularmente na parte visível e no infravermelho próximo do espectro. A transmitância em solos é nula, conseqüentemente a energia incidente é absorvida ou refletida.

A complexa mistura de materiais que formam os solos afeta tanto suas características de absorção como de reflectância. A maioria dos solos apresenta, de forma geral, um comportamento similar ao representado na Fig. 7. Como acontece na vegetação, o efeito da água é determinado na resposta espectral dos solos. Ela é responsável pelos picos de absorção situados em torno de 1,4 μ m, 1,9 μ m e 2,7 μ m. O teor de umidade está diretamente relacionado à granulometria do solo. As areias, por serem bem drenadas, mostram alta retenção de umidade em função de serem mal drenadas. O tamanho das partículas também age de outra maneira no balanço de energia dos solos. Mantendo constante a composição do solo, quanto menor for o tamanho da partícula, sua superfície será mais plana e lisa, fazendo com que a energia refletida seja maior.

Outros fatores que afetam a reflectância dos solos são o teor de matéria orgânica e de óxidos de ferro. Devido a esta complexidade de parâmetros torna-se difícil discriminar as componentes individuais do solo que afetam sua reflectância em determinados momentos ou situação geográfica. No entanto, a discriminação dos solos expostos em relação a outros alvos, torna-se relativamente fácil.

A água pura tem baixa reflectância na região visível do espectro, absorve praticamente a totalidade da radiação incidente nas regiões do infravermelho médio e próximo. Nessas últimas portanto, quase nenhuma energia é refletida. Sua reflectância é maior nos comprimentos de onda correspondentes à porção visível do espectro. No caso da água, uma pequena parcela de energia incidente é refletida pela superfície do corpo de água, outra parte é refletida pelo material que forma o fundo. A parcela mais importante é a refletida por materiais em suspensão quando existentes.

A clorofila, quando presente na água, também afeta sua resposta espectral. Existem outros fatores que alteram a reflectância da água. Eles podem estar presentes na forma de materiais em suspensão ou dissolvidos e seus efeitos são muito variados, dependendo do material.

As características acima citadas são de interesse no posicionamento das faixas dentro do espectro óptico onde os sensores deverão operar. Sendo o objetivo dos sensores identificar e discriminar melhor os elementos na superfície terrestre, os sensores são localizados em regiões onde a resposta espectral dos alvos é de significativa diferença.

3.4 Imagens digitais

Um sistema sensor a bordo de um satélite registra, de uma forma contínua, a radiação refletida e/ou emitida pela porção de superfície da Terra, que está sendo recoberta, e dentro de um campo de visada instantâneo (IFOV). Desta forma, é gerado um sinal que pode ser registrado por uma antena receptora na Terra, na forma de um sinal analógico. Posteriormente este sinal é discretizado e colocado na forma digital. Logo, uma imagem digital consiste de uma série de elementos discretos, chamados de *pixels* (do inglês *picture element*). Associado a cada *pixel* temos um número que, de alguma maneira, representa a radiância média emitida, ou refletida, pela área coberta pelo *pixel*. Isto torna a imagem possível de ser manipulada através de computadores. Quando uma dessas imagens é apresentada numa unidade visualizadora de imagens, a cada ponto

na tela corresponderá um valor digital de brilho (nível de cinza), representativo da radiação média do *pixel* no terreno.

Pode-se entender uma imagem digital como sendo uma matriz de **I** linhas e **J** colunas onde para cada posição (I_1, I_2), com $0 \leq I_1 \leq I-1$ e $0 \leq I_2 \leq J-1$, existe um valor discreto **x** representando a radiância média correspondente a tal posição na imagem. No uso das imagens multiespectrais é necessário um número de matrizes igual ao número de bandas que a compõem, isto é, para cada posição (I_1, I_2) na imagem corresponde um vetor p-dimensional **x** (p sendo igual ao número de bandas) cujos elementos são os níveis de cinza em cada uma delas.

Na tabela 1 a seguir, encontra-se as características do sensor LANDSAT TM5, utilizado no presente estudo.

Tabela 1 – Características do sistema sensor utilizado no presente estudo

| Característica | Sensor Landsat TM5 |
|--|---|
| Altitude (km) | 795 |
| Bandas espectrais (nm) | [1] 0,45 – 0,53 [2] 0,52 – 0,60 [3] 0,63 – 0,69 [4] 0,76 – 0,90 [5] 1,55 – 1,75 [6] 10,4 – 12,5 [7] 2,08 – 1,35 |
| IFOV (m) | 30 x 30 (Bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7) 120 x 120 (Banda 6) |
| Resolução espectral (m) | 30 x 30 (Bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7) 120 x 120 (Banda 6) |
| Resolução radiométrica (<i>bits/pixel</i>) | 8 |

Fonte: Schowengerdt (1983)

3.3.1 Atributos da Imagem

A análise e interpretação de uma imagem exige a exploração das diferentes maneiras de captar informação da cena, ou seja, a exploração dos atributos da imagem. Eles podem ser classificados como espectrais, espaciais, temporais e

contextuais.

Os atributos espectrais se referem ao valor da energia refletida ou emitida por cada *pixel* nas bandas espectrais disponíveis. Os atributos espectrais são o meio mais simples de se obter informação de uma imagem, em função do variado comportamento espectral dos alvos na Terra ao longo do espectro eletromagnético e da facilidade de serem quantificados, fato que é especialmente importante nos processos de classificação assistidos por computador.

Por atributos espaciais se entendem as associações geométricas entre os *pixels* e suas respostas espectrais, como por exemplo: a forma, a textura, a dimensão ou linhamentos. A representação bidimensional da imagem evidencia tais associações, pois nela passam a se identificar conjunto de *pixels* com respostas espectrais diferentes ou similares que podem formar manchas ou linhas, que possuem tamanho, forma ou direção passíveis de interpretação.

Os atributos temporais se referem às variações nos demais atributos de uma imagem em relação ao tempo. Por exemplo, alvos como a vegetação se comportam de maneira diferente em cada estágio de seu ciclo de crescimento, pelo que a análise destas variações pode ser uma fonte de informação no estudo de imagens multiespectrais de uma mesma área em diferentes épocas do ano. A resposta espectral dos alvos pode ser alterada ao longo do tempo por fatores como chuvas, umidade, ação antrópica ou processos naturais.

Os atributos de contexto se referem à relação existente entre a resposta espectral de um *pixel* e a região circunvizinha na imagem. Landgrebe (1978) afirma que os *pixels* espacialmente próximos têm suas respostas espectrais altamente correlacionadas, pelo que existe uma quantidade de informação a respeito de um *pixel* contida na sua vizinhança imediata. Da mesma forma, o restante da cena fornece alguma informação a respeito do *pixel*, embora a sua avaliação seja mais difícil.

A distribuição espacial dos diferentes alvos que compõem uma cena natural não é aleatória. Elementos de mesma natureza tendem a aparecer agrupados, indicando existir uma probabilidade conjunta de ocorrência entre eles.

Naturalmente, tais distribuições variam de cena para cena, pela que a probabilidade conjunta deve ser estimada para cada uma delas. No entanto, considerando este fator, pode-se fazer uso do contexto espacial dos elementos para deduzir informações a respeito dos alvos que formam a cena.

3.3.2 Características das Imagens Digitais

Quando um sistema sensor é projetado, uma série de decisões devem ser tomadas que vão definir as características das imagens digitais por ele obtidas. São levantadas questões como: a que intervalo de tempo (período) deve o satélite passar sobre o mesmo ponto na Terra (resolução temporal), ou quanto e que tipo de sensores deve ele carregar (resolução espectral). Tais características influenciam diretamente o processo de interpretação e o proveito que o usuário pode obter de uma imagem.

A resolução temporal de uma imagem é o tempo transcorrido entre duas passagens sucessivas do satélite sobre o mesmo ponto na Terra. Quanto menor for a resolução temporal do satélite, melhor se poderá acompanhar fenômenos com mudanças mais rápidas. Isto é útil em estudos, como por exemplo, monitoramento do fluxo de sedimentos em um corpo de água ou identificação de tipos de culturas vegetais, seu estágio de desenvolvimento, detectar mudanças na cobertura vegetal como passar do tempo, que é ponto central do presente estudo. O satélite utilizado no presente estudo, LANDSAT TM 5, tem resolução temporal de 16 dias.

A resolução espacial determina a densidade de *pixels* por unidade de área representada na imagem. Para uma área constante, quanto mais *pixels* forem utilizados para representar esta área, maior será a resolução espacial empregada. Uma consequência do aumento da resolução espacial é a diminuição do *pixel*. Por isso, quanto maior for a resolução espacial de uma imagem, maior é o grau de detalhamento que se pode obter dos objetos da imagem. A resolução espacial das imagens em sensoriamento remoto não pode ser aumentada livremente, pois existem outros fatores que a restringem, como o aumento da quantidade de dados a serem manipulados e armazenados ou o fato de que alguns países possuem

áreas, militares ou estratégicas, que não desejam que sejam conhecidas em detalhe pela maioria do público.

Existe uma grande variedade de fatores que alteram a resposta espectral de alvos como solo, elevação solar, umidade e vegetação ou água, ao longo de todo o espectro eletromagnético ou em regiões específicas dele. A ação da atmosfera também prejudica o processo de aquisição de informação em alguns comprimentos de onda. Por estes motivos, o posicionamento das bandas nas quais os sensores trabalharão, dentro do espectro, torna-se importante e deve ser cuidadosamente escolhido, segundo os fins pretendidos. A filosofia da escolha das bandas para os sensores tende a selecionar regiões do espectro onde os processos específicos da interação entre a energia eletromagnética e o material constituinte de alguns alvos resultem em características espectrais particulares. Assim, em muitos casos, as pesquisas dos materiais sobre a Terra podem ser mais eficientes quando realizadas em bandas estreitas. As limitações que restringem a escolha destas bandas são resultados da complexidade de parâmetros como o tamanho do *pixel*, a transmissão óptica, a atenuação atmosférica, a relação entre o ruído e o armazenamento de dados (Kaufmann et al., 1986). Desta maneira, a escolha das bandas nas quais os sensores trabalham define a resolução espectral do sistema sensor e, conseqüentemente, da imagem.

3.3.3 Utilização de Imagens Digitais

3.3.3.1 Processamento de Imagens Digitais

Por tratamento de imagem sob forma digital, entende-se uma série de operações realizadas em computadores, tais como filtragem, manipulação de contraste e classificação. A imagem na forma digital possui vantagem de ser suscetível a inúmeras formas de manipulação mediante o uso do computador, o que se deve ao fato dela ser representada por um arranjo de números, que permite a implementação de algoritmos segundo as necessidades do estudo realizado.

Uma transformação largamente empregada nas imagens digitais é o processo de filtragem. A filtragem espacial é uma transformação do *pixel* não

somente em função do seu número digital, mas também dos valores dos *pixels* vizinhos a ele. O efeito que a filtragem tem sobre a imagem pode ser: a eliminação de ruídos presentes nos dados originais, suavização ou realçamento da imagem e manipulação de contraste da imagem.

3.3.3.2 Classificação Digital de Imagens

A parte da manipulação digital de imagens que mais interessa ao presente estudo é aquela referida aos processos de classificação e, em especial, à classificação multiespectral. O processo de classificação digital visa a substituir a interpretação visual, que envolve critérios subjetivos, por um conjunto de decisões objetivas (Schowengerdt, 1983). A implementação de processos de classificação em computadores pretende auxiliar e, se for necessário, substituir o analista nas situações em que ele tenha uma interpretação muito vaga ou ambígua no processo de classificação da cena. Ela proporciona um processo alternativo mais quantitativo e que pode ser repetido várias vezes fornecendo sempre o mesmo resultado, o que não acontece com as classificações visuais onde a interpretação do analista, baseada em critérios subjetivos, tem um papel decisivo no produto final da classificação.

A finalidade do processo de classificação é atribuir um indivíduo, descrito por um vetor de estado, a uma entre várias classes especificadas previamente. Quando aplicado a imagem digital, o processo de classificação multiespectral é o de atribuir um *pixel* a uma das várias possíveis classes pré-determinadas que se suspeita existir na imagem. O produto final, que se deriva deste processo, é uma imagem temática na qual cada *pixel* está representado como membro de uma classe. As maneiras de realizar esta tarefa são diversas. Existem vários algoritmos de classificação digital, alguns deles baseados em princípios da teoria de decisão estatística e outros de natureza essencialmente determinística. Todos eles procuram tornar o processo de mapeamento da superfície terrestre menos subjetivo e capaz de ser repetido sistematicamente, sem comprometer o produto da classificação.

Uma classificação estatística muito difundida nos estudos de sensoriamento remoto é a Máxima Verossimilhança Gaussiana, baseada na teoria de Bayes, onde se assume que os níveis digitais dos *pixels* na imagem seguem uma distribuição normal. As diferentes classes são caracterizadas pelo vetor média e a matriz de covariância que são estimados a partir de amostras de cada classe na imagem. Isto é realizado pelo operador do sistema que, com conhecimento de certas áreas da cena, pode identificar grupos de indivíduos pertencentes às classes e com eles alimentar a informação necessária para estimar os parâmetros.

A aplicação dos processos de classificação de imagens de satélite tem tido largo emprego no estudo dos recursos naturais, e tornou-se um aliado importante nos estudos de bacias hidrográficas. Em se tratando de informação do estado da cobertura superficial de bacias e sua tradução e parâmetros de modelos hidrológicos, o trabalho de coleta de dados por via convencional é difícil e consome muito tempo, especialmente em grandes áreas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 A Classificação pelo Método da Máxima Verossimilhança

O problema da classificação de cada *pixel* na cena pode ser abordado do ponto de vista da teoria de decisão estatística, considerando que a reflectância (na forma de número digital) associado a um *pixel* constitui-se em uma variável aleatória. A hipótese de normalidade para *pixels* em uma classe será também assumida no presente estudo. Essa suposição é justificada pelas observações realizadas até hoje utilizando imagens de cenas naturais, podendo ser entendida como uma consequência do teorema do limite central.

O processo de classificação pelo Método da Verossimilhança Gaussiana é considerado puramente espectral. Devido ao fato da classificação do *pixel* depender unicamente do vetor dos níveis de cinza em cada banda, exclusivamente atributos espectrais da imagem estão sendo explorados. Neste caso, não está se considerando a posição relativa do *pixel* na imagem, a provável classificação dos

seus vizinhos, ou qualquer outro tipo de informação espacial, temporal ou contextual a respeito do pixel. A função discriminante utilizada neste processo utiliza informação somente no espaço multiespectral definido pelas bandas da imagem, como os vetores de médias, as matrizes de covariância e os vetores de estado dos *pixels*.

As imagens de satélite que cobrem a área-alvo são da órbita/ponto 222-080, de 04/05/85 e 23/10/95, do sensor Thematic Mapper do LANDSAT-5, cuja hora aproximada de passagem sobre o local é 9h45min, nas bandas 3, 4 e 5, escala 1:100 000.

Visando aprimorar a análise digital foi realizada, primeiramente, uma classificação não supervisionada, Isodata.

A classificação das imagens, que demonstram a evolução da mata nativa, foi feita através do que se pode denominar de classificação computadorizada ou digital da imagem de satélite. Com base em amostras coletadas na tela do visualizador de imagens do equipamento utilizado e confirmadas em observação *in loco* por ocasião do trabalho de campo, ou seja, de observação visual direta na bacia hidrográfica, foi feita uma classificação supervisionada.

4.2 Aquisição e análise dos dados

Um trabalho de sensoriamento remoto aplicado tem uma peculiaridade, no que se refere à aquisição dos dados. Nesse tipo de trabalho existem dois tipos de dados que são: os **dados de sensoriamento remoto**, os quais são adquiridos por intermédio de sensores, e outro tipo de dados que são atinentes à ciência ou à técnica a qual o Sensoriamento Remoto está sendo aplicado, ou seja, dados que são adquiridos através dos produtos do Sensoriamento Remoto e outras fontes além dos **dados ambientais**, que são adquiridos e analisados em campo.

4.2.1 Dados de Sensoriamento Remoto

A presente pesquisa não tem por objeto de trabalho a coleta ou aquisição de

dados de sensoriamento remoto, mas a interpretação e a análise destes. Entretanto, na intenção de tornar mais clara ainda a proposta de trabalho, é mister esclarecer que nesta, foram empregados, do sensoriamento remoto, dados adquiridos através de sistemas formadores de imagens. Imagens estas geradas por sensores do tipo em que todos os *pixels* são adquiridos por varredura, que neste caso, são as imagens de satélite do sensor TM do LANDSAT-5.

Quanto à análise dos dados de sensoriamento remoto, foram empregadas as duas metodologias possíveis que são a análise visual e a análise digital, através da qual foram classificadas as imagens selecionadas. As abordagens adotadas foram a qualitativa, para a análise visual, e a quantitativa para a análise digital.

A análise visual das imagens de satélite permitiu traçar planos de rotas para saídas a campo e a análise digital constitui-se de uma classificação não-supervisionada, pelo método Isodata, e supervisionada, pelo Método da Máxima Verossimilhança Gaussiana.

4.2.2 Dados Biológicos

Os dados biológicos analisados na presente pesquisa podem ser agrupados em duas categorias, uma composta por aqueles adquiridos através dos produtos do Sensoriamento Remoto e outra, pelos dados adquiridos em campo.

A classificação das áreas de vegetação e uso do solo, em campo e na classificação supervisionada, na área da Bacia Hidrográfica do Rio Forqueta seguirá a metodologia proposta por Jasper, A. e Feldens, L. (1999), embora adaptada à realidade da área em questão.

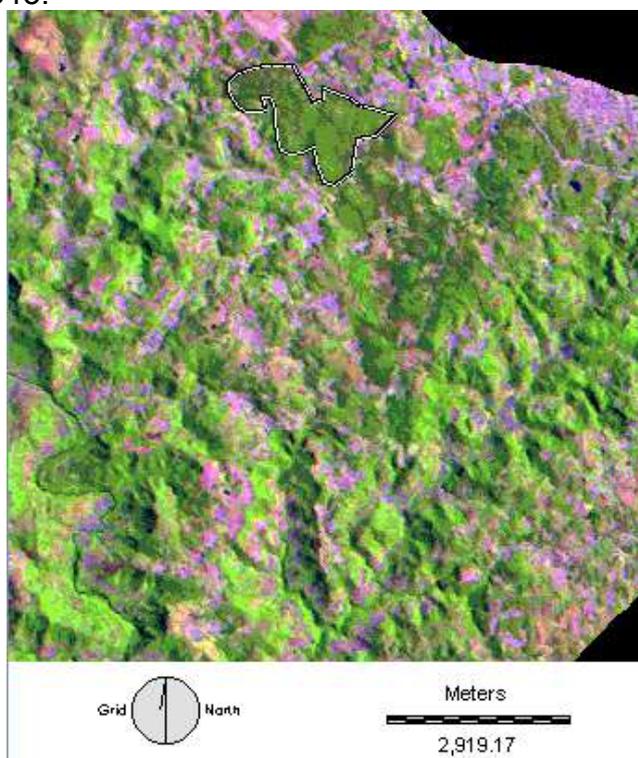
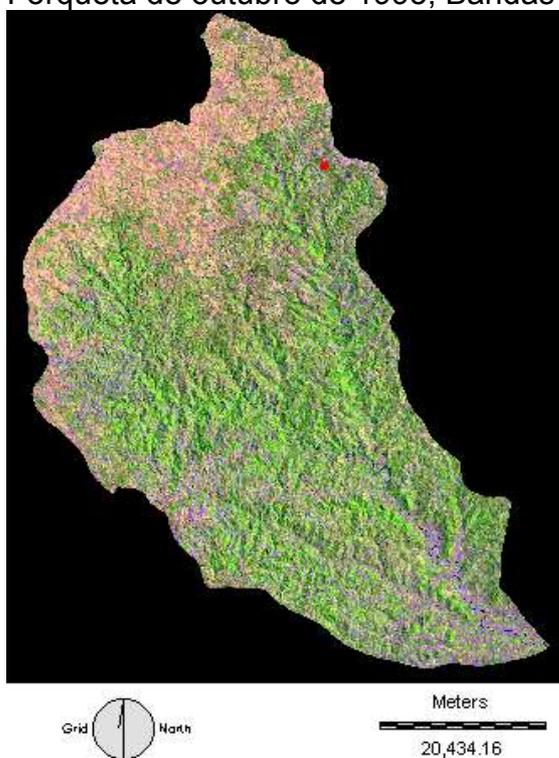
As classes obtidas para a classificação são:

- Floresta Ombrófila Mista (FOM) – Mata de Araucária
- Floresta Ombrófila Mista (FOM) – Campos de Cima da Serra
- Floresta Estacional Decidual (FED) – Nativa Original
- Floresta Estacional Decidual (FED) – Estágio Secundário em nível

primário de reconstituição

- Mata artificial
- Área de plantio
- Solo exposto

As figuras de 8 a 13 mostram, como fotografias e descrições, aspectos das classes da área de estudo, utilizando a imagem da Bacia Hidrográfica do Rio Forqueta de outubro de 1995, Bandas 345.



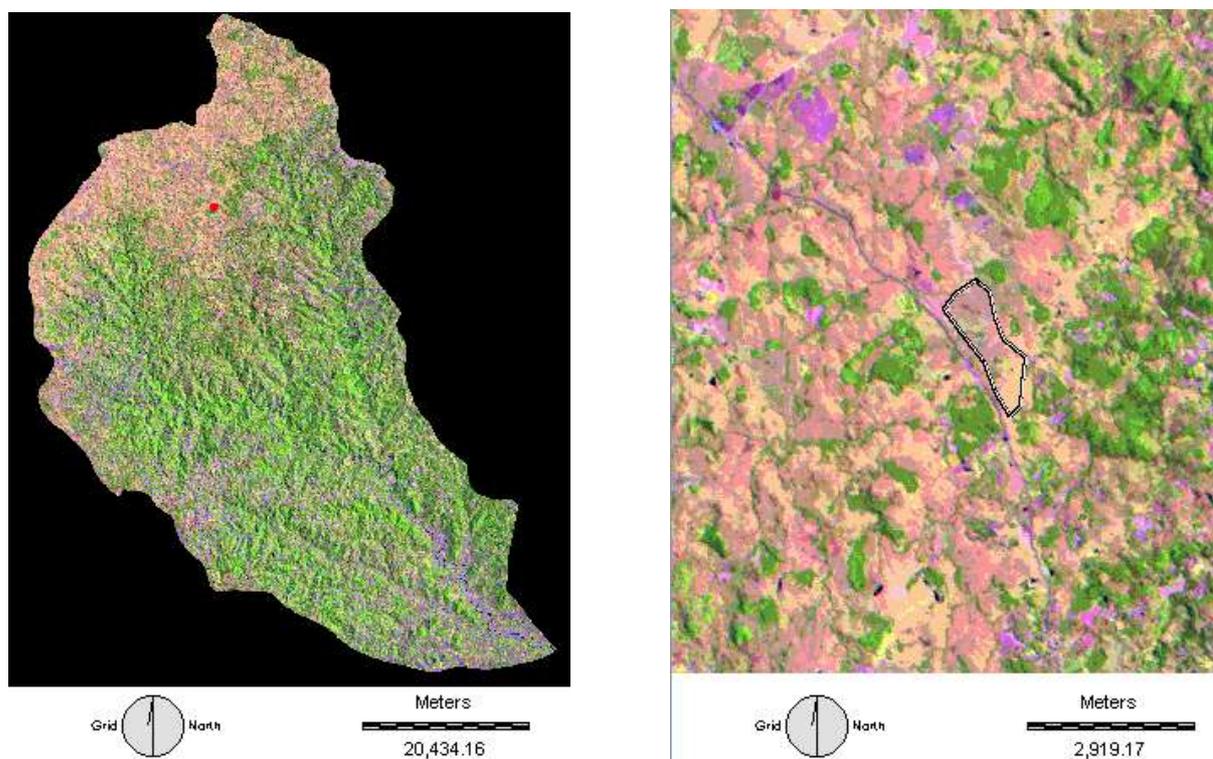


Figura 8 – Mata nativa original do tipo Ombrófila Mista

O elemento principal desta Floresta é a *Araucaria angustifolia* (pinheiro) que, pela sua relevante importância fitogeográfica e comercial, tem sido muito cortada para fins industriais (madeira, celulose e outros). A mata-das-araucárias limita-se com a Floresta Estacional Decidual, formando uma linha sinuosa imperceptível que acompanha as bordas superiores dos valres, formados pela rica rede hidrográfica que drena os planaltos citados. Em toda essa área limítrofe houve uma maior ou menor interpretação de espécies típicas da Floresta Decidual, sempre com exceção da *Araucaria angustifolia*. Pode-se verificar dois extratos distintos: um arbóreo composto pela vegetação presente na Floresta Estacional Decidual e outro rasteiro, composto por gramíneas. O extrato arbóreo foi designado como Mata de Araucária enquanto que o rasteiro por Campos de Cima da Serra.



Fig. 8a – FOM – Mata de Araucária inserida em campo



Fig. 8b – FOM – Mata de Aracúária densa



Fig. 8c – FOM – Campos de Cima da Serra



Fig. 8d – FOM – Campos de Cima da Serra

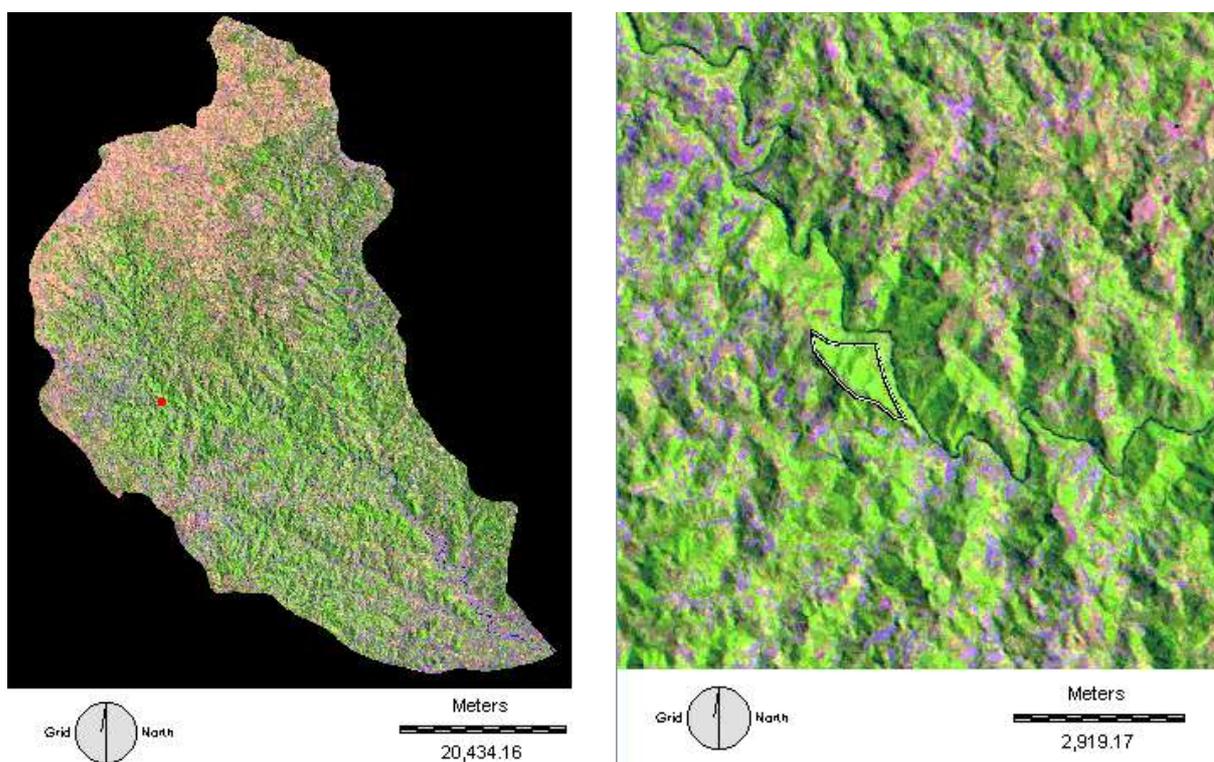


Figura 9 – Vegetação Nativa Original do tipo Floresta Estacional Decidual

A Floresta Estacional Decidual com presença de espécimes típicos da região. Este ecótono se caracteriza pela presença abundante de espécies arbóreas nativas, não apresentando sinais claros de degradação ou retirada de madeira. Existem pouquíssimos pontos onde remanesce este tipo de formação. Exemplos de espécies encontradas: *Parapiptadenia rigida* (angico), *Luehea divaricata* (açoita-cavalo), *Myrocarpus frondosus* (cabriúva), *Cabralea canjerana* (canjerana), *Patagonula americana* (guajuvira), *Arecastrum romanzoffianum* (jerivá), *Erythrina cristagalli* (corticeira), *Cedrela fissilis* (cedro).



Fig. 9a – Floresta Estacional Decidual totalmente preservada, observa-se que logo a frente a vegetação já foi alterada



Fig. 9b – Vegetação nativa permeada por áreas desbastadas para plantio



Fig. 9c – Estrada do interior imersa em vegetação nativa

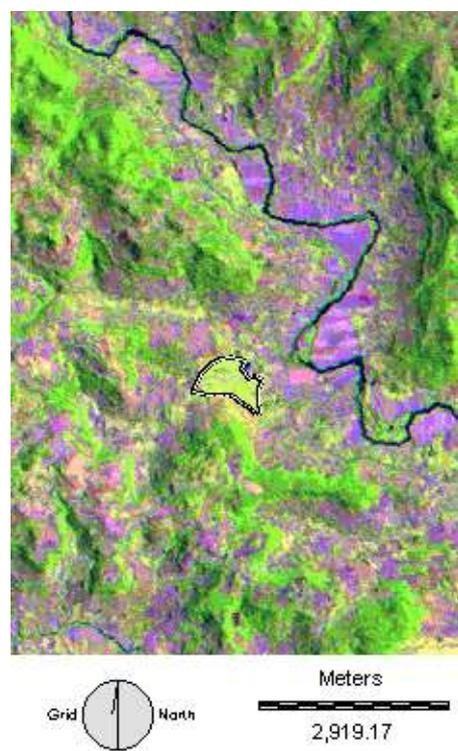
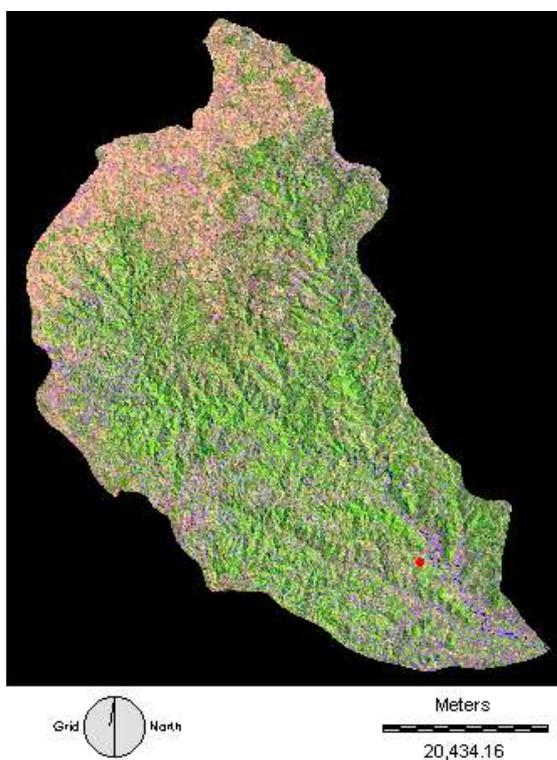


Figura 10 – Floresta Estacional Decidual – Vegetação Nativa Secundária

Esse tipo de formação se desenvolve em área que já sofreram a retirada total de sua cobertura vegetal e estão em franco processo de regeneração. Pode-se definir 3 subdivisões típicas para ela:

- em estágio primário de regeneração: áreas onde recentemente houve a retirada da cobertura original e após o abandono se inicia o processo de regeneração. Dominam as Gramíneas e as Vassouras (*Baccharis dracunculifolia* DC).
- em estágio secundário de regeneração: áreas abandonadas a um pouco mais de tempo e onde dominam pequenas árvores, como é o caso da Canela-merda (*Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez).
- em estágio terciário (avançado) de regeneração: representa uma vegetação secundária quase que totalmente tomada pelos representantes da vegetação original.



Fig. 10a – Na porção central encontra-se área em estágio primário de regeneração



Fig. 10b – Áreas de vegetação primária surgem em áreas de plantio abandonadas



Fig. 10c – Vegetação secundária em estágio terciário de regeneração



Fig. 10d – Área com mata estacional decidual nativa original ao fundo mesclada com vegetação secundária em estágio primário e secundário de regeneração



Figura 11 – Floresta Artificial

A Floresta Artificial é representada por espécies exóticas, como o Pinus (*Pinus elliotti* L.) e o Eucalipto (*Eucalyptus amygdalina* Labill.) introduzidas na área de maneira linear para a utilização posterior sob forma energética ou industrial.



Fig. 11a - *Pinus elliotti*



Fig. 11b - *Eucalyptus amygdalina*



Fig. 11c - *Eucalyptus amygdalina*

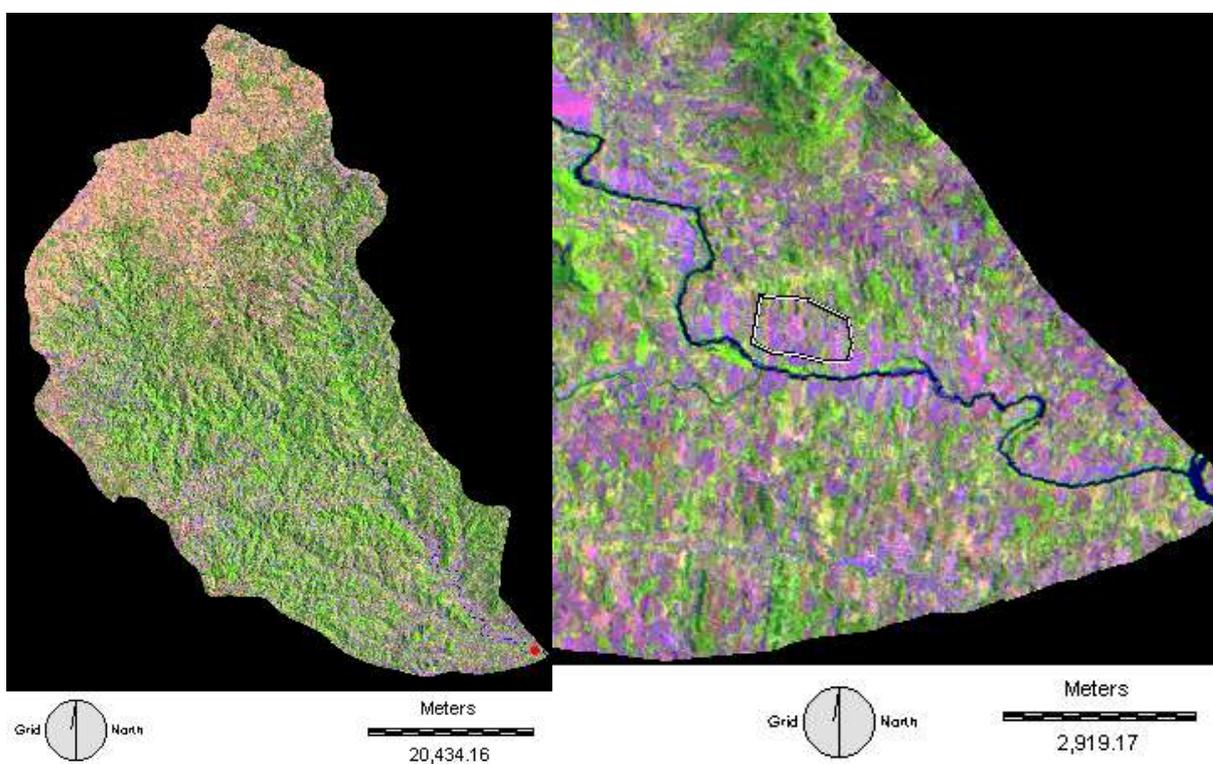


Figura 12 a – Área de plantio às margens do Rio Forqueta

A área de plantio caracteriza-se por culturas perenes e policultura, considerando que é constituída basicamente por minifúndios, porém apresenta também áreas com plantio de culturas cíclicas. Nas áreas do Planalto das Araucárias, originalmente ocupada pela Floresta Estacional Decidual e pela Floresta Ombrófila Mista, as lavouras de trigo e soja ocupam áreas deflorestadas e campos. Outras culturas como o milho, feijão, mandioca (utilizada principalmente para o gado), fumo, batata e outros são plantadas principalmente em tratos dos minifúndios, geralmente nas áreas florestais.



Fig. 12a – Área de plantio às margens do Rio Forqueta



Fig. 12 b – Cultivo de milho em estágio avançado



Fig. 12 c – Cultivo de milho no início do crescimento

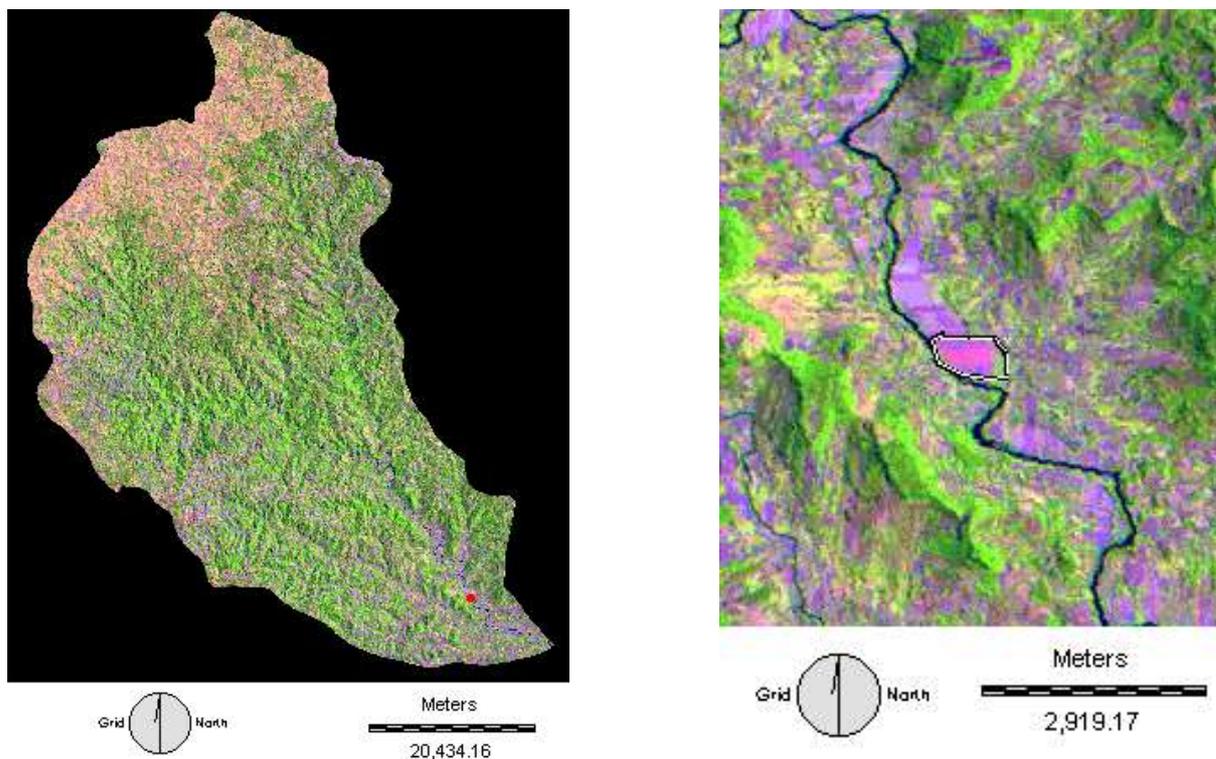


Figura 13 – Solo exposto

As pastagens e/ou campo limpo ocupam as áreas do contato originalmente cobertas pela floresta e são formadas por espécies gramíneas perenes (*Paspalum notatum*, grama-forquilha), há muito implantadas, apresentando atualmente uma composição florística muito variada, incluindo a presença de espécies nativas de grande adaptação ao pastoreio, constituído, principalmente, de gado leiteiro.

Além do campo para pastoreio é comum encontrar-se solos expostos prontos para o plantio de pequenas áreas e/ou silvicultura.

Fig. 13a – Solo exposto sendo preparado para o plantio junto à várzea do



rio Forqueta



Fig. 13b – Solo exposto sendo preparado para o plantio

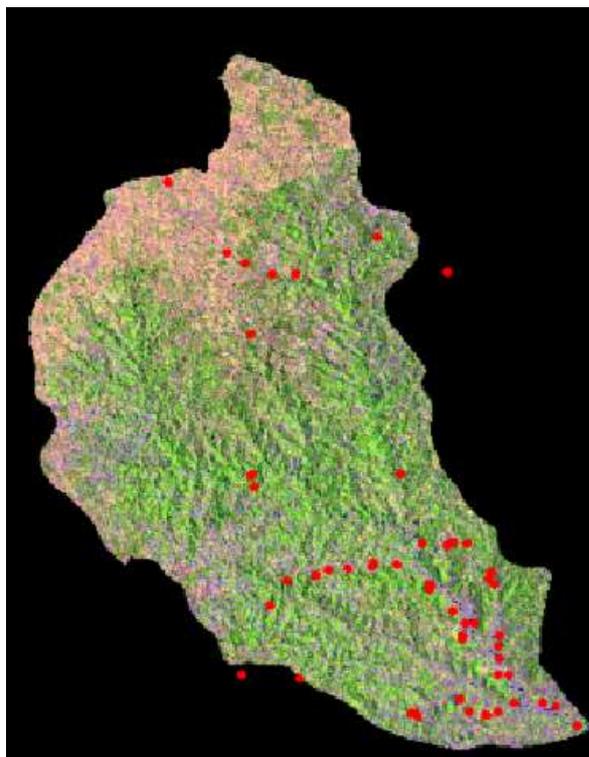
Fig. 13 c – Retirada da vegetação primária e deixando o solo exposto



Na Fig. 14 a seguir, pode-se observar a distribuição espacial dos pontos de coleta de dados em campo. Os pontos de visitação a campo e as perspectivas inormações coletadas encontram-se em Anexo (Anexo 1).

Para que se pudesse chegar a uma representatividade de dados significativa realizou-se levantamento da flora local, considerando a vegetação nativa e exótica. Para o levantamento da flora foram realizadas atividades de campo.

Figura 14 – Pontos coletados em campo (imagem de 1995)



4.2.3 Análise temporal de imagens com classificação digital

Para alcançar os objetivos realizou-se análise cronológica de 2 imagens de satélite Landsat TM-5, bandas 3, 4 e 5 da região da bacia hidrográfica do Rio Forqueta, escala 1:100.000 – uma de 1985 (Fig. 15) e outra de 1995 (Fig. 16), com 0,2% de *stretch*. Esta diferença temporal permite uma análise espacial das alterações da cobertura vegetal ocorridas na bacia do rio Forqueta num período de 10 anos.

Uma vez determinada a área da Bacia Hidrográfica do Rio Forqueta, através da digitalização de seu contorno no programa AUTOCAD, foi feita a georreferência das imagens utilizando pontos de referência distribuídos na área mapeada. O posicionamento dos pontos de controle em coordenadas UTM (*Universal Transverse Mercator*) foi determinado pelas cartas topográficas (DSG).

Posteriormente foi realizada uma classificação automática, não supervisionada, Isodata (*cluster*) para identificar, de forma rápida, aglomerados de *pixels* com características espectrais semelhantes, para facilitar a posterior classificação supervisionada. A classificação Isodata é uma ferramenta de extrema

importância, pois a utilização do processo é indicado para a identificação de áreas homogêneas para que, na classificação supervisionada saiba-se de onde retirar as amostras.

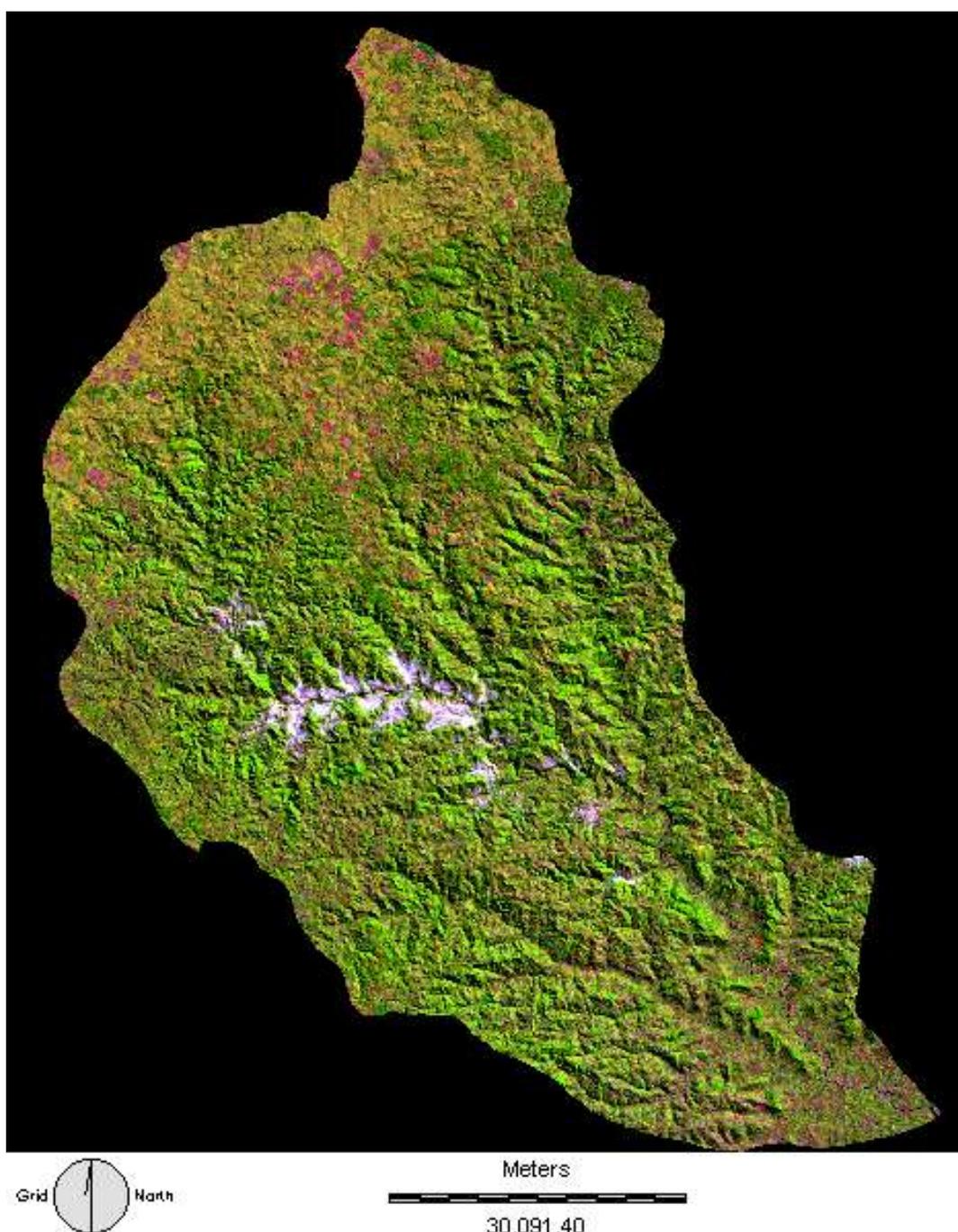


Figura 15 – Bacia Hidrográfica do Rio Forqueta, Imagem LANDSAT TM5 de 04/05/85, composição colorida 345, ângulo de elevação solar de 31°

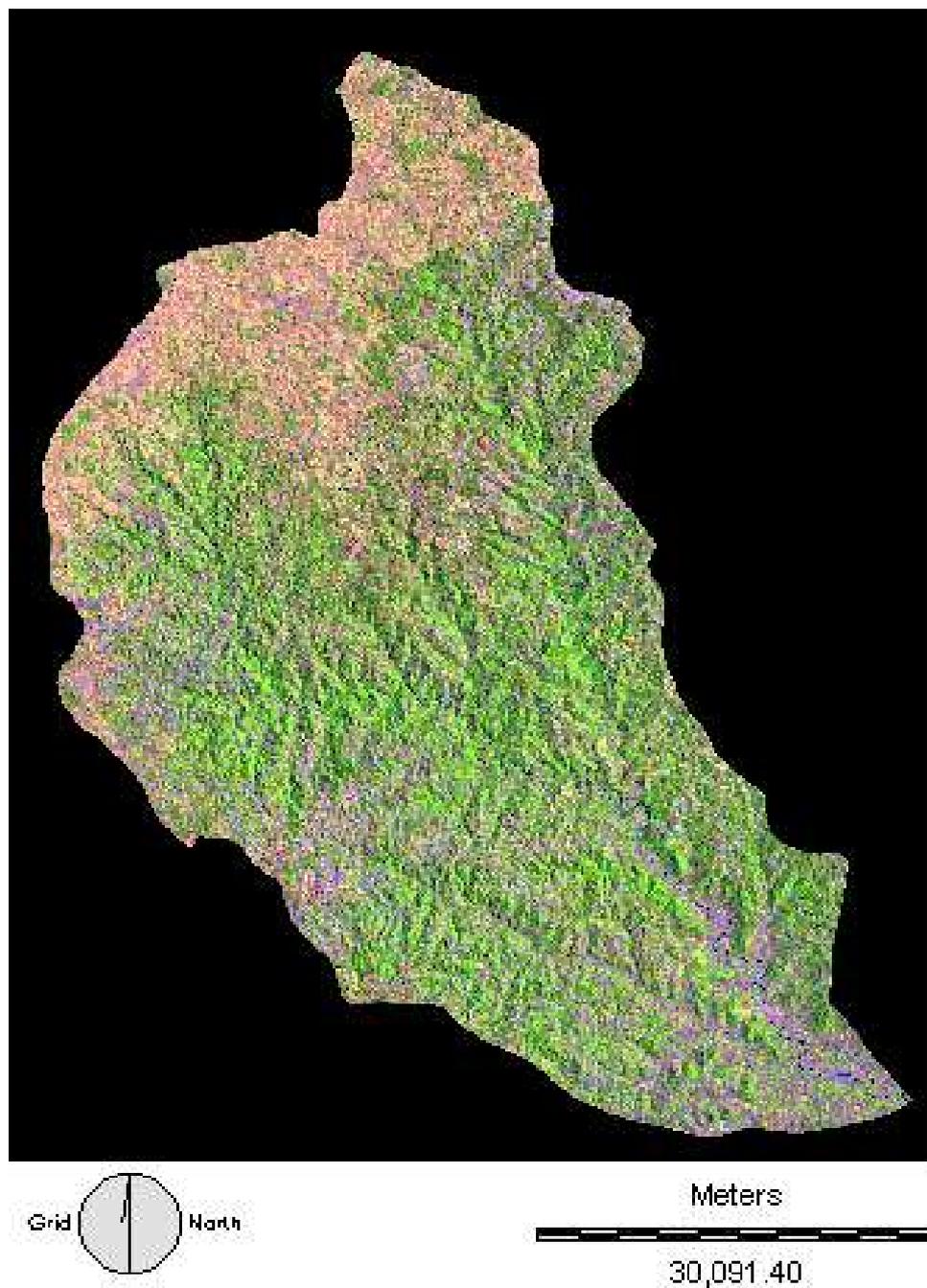
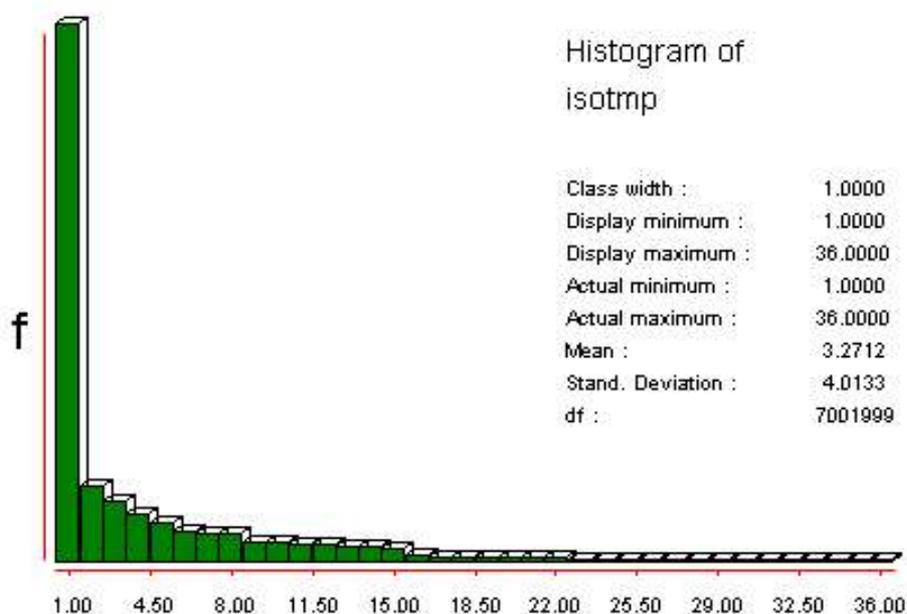


Figura 16 – Bacia Hidrográfica do Rio Forqueta, Imagem LANDSAT TM5, 222-080, Ângulo de Elevação Solar 46° , Azimute 74, de 20/10/95 (cedida pela FEPAM),, composição colorida 345

Figura 17 – Histograma da Imagem de 1985



Com base na análise dos histogramas das imagens (Figs. 17 e 18) foi estipulado um número de 9 classes para a imagem de 1985 (Fig. 19) e 8 classes para a imagem de 1995 (Fig. 20). A primeira classe (*Cluster 1*) observada nestas figuras não constitui classe observada em campo, apenas determina a área externa da bacia hidrográfica.

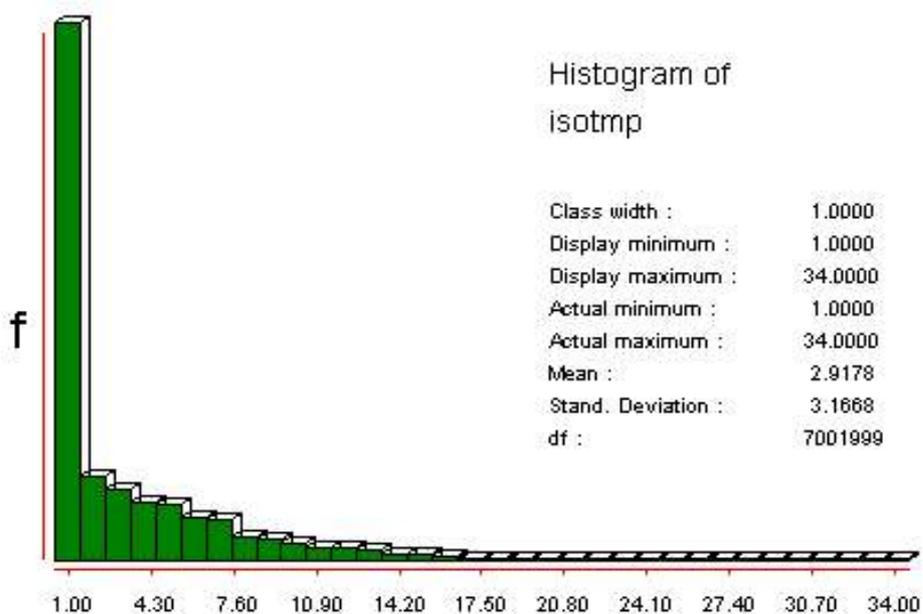


Figura 18 – Histograma da Imagem de 1995

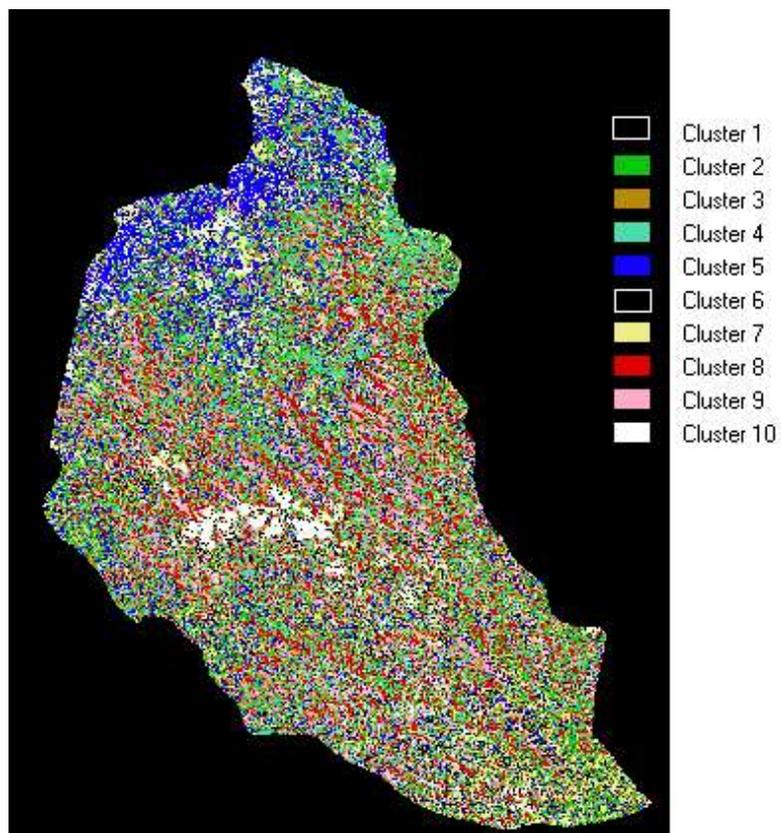


Figura 19 – Classificação Isodata da Imagem de 1985

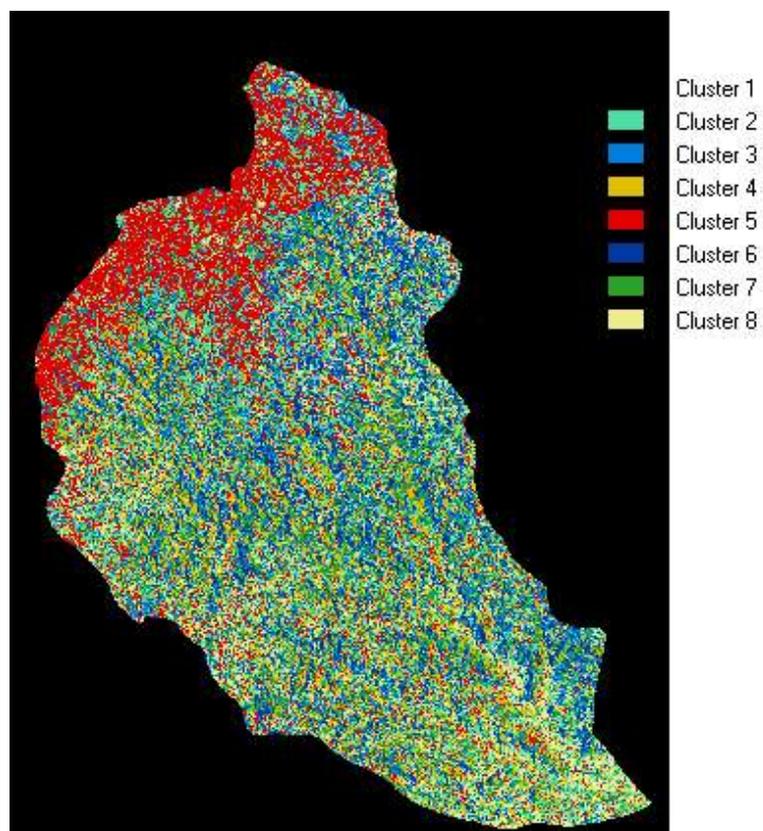


Figura 20 – Classificação Isodata da Imagem de 1995

A classificação supervisionada, através da Máxima Verossimilhança Gaussiana, baseada nas classes obtidas na classificação não supervisionada e com dados obtidos em campo, foi feita também com um número de 9 classes para a imagem de 1985 e com 8 para a imagem de 1995.

As classes escolhidas para a classificação através da máxima verossimilhança gaussiana estão expressas na tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Classes escolhidas para a classificação supervisionada

| Imagem de 1985 | Imagem de 1995 |
|---|---|
| - Floresta Ombrófila Mista (FOM) – Mata de Araucária | - Floresta Ombrófila Mista (FOM) – Mata de Araucária |
| - Floresta Ombrófila Mista (FOM) – Campos de Cima da Serra | - Floresta Ombrófila Mista (FOM) – Campos de Cima da Serra |
| - Floresta Estacional Decidual (FED) – Nativa Original | - Floresta Estacional Decidual (FED) – Nativa Original |
| - Floresta Estacional Decidual (FED) – Estágio Secundário em nível primário de reconstituição | - Floresta Estacional Decidual (FED) – Estágio Secundário em nível primário de reconstituição |
| - Floresta Artificial | - Floresta Artificial |
| - Nuvens | - Área de Plantio |
| - Área de Plantio | - Solo Exposto |
| - Solo Exposto | - Sombra |
| - Sombra | |

As imagens obtidas na classificação supervisionada podem ser observadas nas Figs. 21 e 22 a seguir.

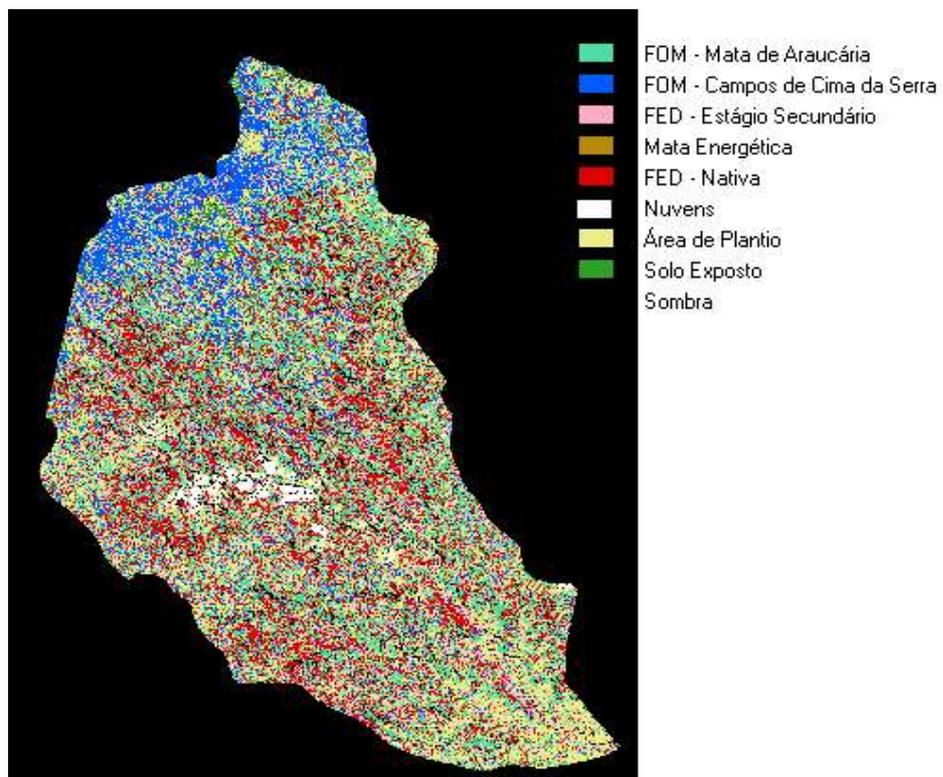


Figura 21 – Classificação Supervisionada por Máxima Verossimilhança Gaussiana da Imagem de 1985

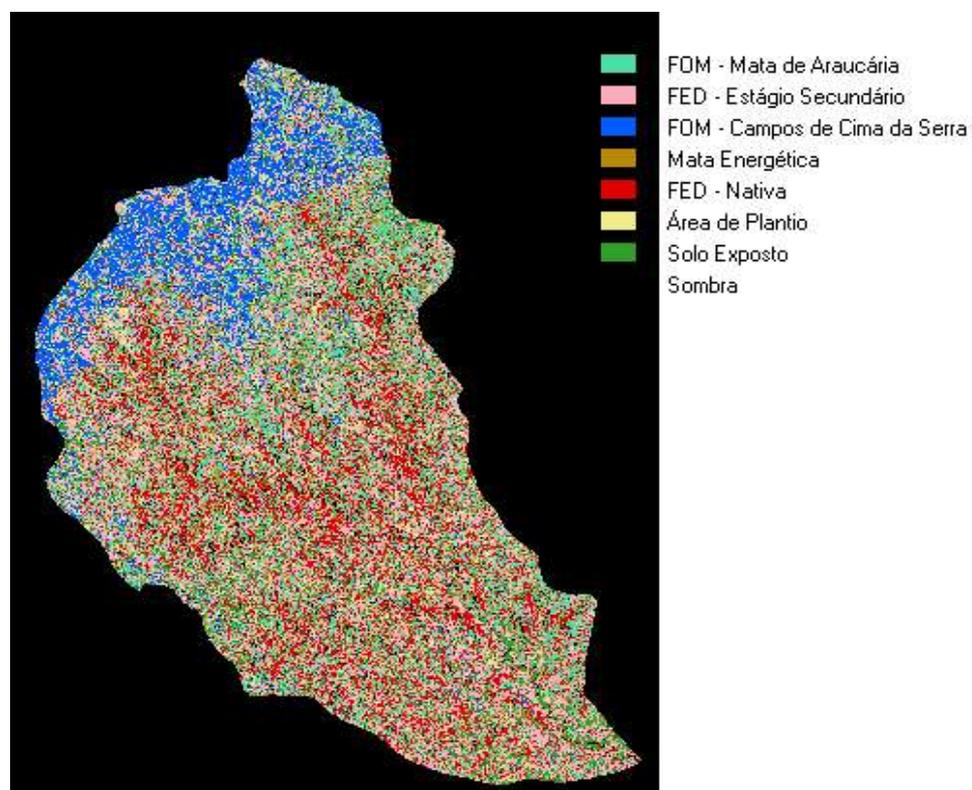


Figura 22 – Classificação Supervisionada por Máxima Verossimilhança Gaussiana da Imagem de 1995

5 RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

A diferença entre o número de classes utilizadas nas classificações e o número de classes observadas em campo deve-se a fatores, tais como:

- a) na imagem de 1985 aparece uma classe que não está presente na imagem de 1995 – as nuvens – portanto, o número de classes de 1985 é superior ao de 1995;
- b) na classificação Isodata, a área externa à bacia também é contada como uma classe, ou cluster, portanto, o número de classes na classificação não supervisionada é superior à classificação supervisionada;
- c) para a classificação supervisionada ser coerente com a realidade de campo e pelas características fisionômicas peculiares da região estudada, seria interessante a digitalização das curvas de níveis para que se pudesse estabelecer o modelo numérico do terreno e assim minimizar os efeitos da sombra na classificação, porém, para efeitos de verificação da possibilidade de utilização do Sensoriamento Remoto como ferramenta para análise ambiental, e considerado que a digitalização das curvas de níveis, numa escala de 1.50.000 seria muito demorada, optou-se pela realização de uma classificação menos acurada, atribuindo-se à classificação a classe “sombra”.

Com base na análise dos histogramas das imagens (Figs. 11 e 12) pode-se constatar que o número de classes observadas é semelhante ao que o comprovado em campo. As imagens produzidas pelos dois classificadores são semelhantes, ou melhor, demonstram áreas homogêneas.

A análise das áreas obtidas nas classificações não supervisionada e

supervisionada (tabelas 3 e 4) permite observar que o número de classes escolhido é coerente, quando comparado ao número de classes observado em campo.

Tabela 3 – Área (em km²) obtidas para as classes nas classificações pelos métodos Isodata e Máxima Verossimilhança Gaussiana – MaxVer da imagem de 1985

| Isodata da Imagem de 1985 | | MaxVer da Imagem de 1985 | |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Cluster | Área (km ²) | Classe | Área (km ²) |
| 1 | 3.501,73 | Área externa | 3.501,73 |
| 2 | 380,10 | FOM – Mata de Araucária | 623,07 |
| 3 | 348,67 | FOM – Campos de Cima da Serra | 340,45 |
| 4 | 404,27 | FED – Nativa | 537,08 |
| 5 | 373,98 | FED – Estágio Secundário | 260,63 |
| 6 | 193,53 | Floresta Artificial | 56,73 |
| 7 | 275,57 | Nuvens | 39,08 |
| 8 | 353,98 | Área de Plantio | 730,00 |
| 9 | 273,79 | Solo Exposto | 65,75 |
| 10 | 194,37 | Sombra | 145,46 |

Tabela 4 – Área (em km²) obtidas para as classes nas classificações pelos métodos Isodata e Máxima Verossimilhança Gaussiana – MaxVer da imagem de 1995

| Isodata da Imagem de 1985 | | MaxVer da Imagem de 1985 | |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Cluster | Área (km ²) | Classe | Área (km ²) |
| 1 | 3.455,56 | Área externa | 3.455,56 |
| 2 | 480,01 | FOM – Mata de Araucária | 467,88 |
| 3 | 401,26 | FOM – Campos de Cima da Serra | 300,49 |
| 4 | 349,88 | FED – Nativa | 474,26 |
| 5 | 371,20 | FED – Estágio Secundário | 764,26 |
| 6 | 344,25 | Floresta Artificial | 153,73 |
| 7 | 325,71 | Área de Plantio | 231,06 |
| 8 | 317,06 | Solo Exposto | 356,92 |
| 9 | 255,06 | Sombra | 96,14 |

A comparação das áreas obtidas para as classes na imagem de 1985 com as áreas obtidas para as mesmas classes na imagem de 1995 (tabela 5), permite inferir as observações que seguem,

Tabela 5 – Comparação entre as áreas obtidas para as classes determinadas nas imagens de 1985 e 1995

| MaxVer da Imagem de 1985 | | MaxVer da Imagem de 1995 | | % de variação (85/95) |
|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Cluster | Área (km ²) | Classe | Área (km ²) | |
| Área externa | 3.501,73 | Área externa | 3.455,56 | ... |
| FOM – Mata de Araucária | 623,07 | FOM – Mata de Araucária | 467,88 | -24,91% |
| FOM – Campos de Cima da Serra | 340,45 | FOM – Campos de Cima da Serra | 300,49 | -11,59% |
| FED – Nativa | 537,08 | FED – Nativa | 474,26 | -11,70% |
| FED – Estágio Secundário | 260,63 | FED – Estágio Secundário | 764,26 | 193,30% |
| Floresta Artificial | 56,73 | Floresta Artificial | 153,73 | 169,22% |
| Nuvens | 39,08 | | | ... |
| Área de Plantio | 730,00 | Área de Plantio | 231,06 | -68,34% |
| Solo Exposto | 65,75 | Solo Exposto | 356,92 | 442,84% |
| Sombra | 145,46 | Sombra | 96,14 | -50,08% |

Fazendo uma análise numérica comparativa entre as imagens de 1985 e 1995 (tabela 6) pode-se concluir que houve uma variação de 891 km² na cobertura vegetal.

Tabela 6 – Classes que aumentaram e diminuiram nas imagens de 1985 e 1995

| Aumentaram | Área (km ²) | Diminuíram | Área (km ²) |
|--------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| FED – Estágio Secundário | 503,84 | FOM – Mata de Araucária | 155,19 |
| Floresta Artificial | 96,00 | FOM – Campos de Cima da Serra | 39,46 |
| Solo Exposto | 291,17 | FED – Nativa | 101,90 |
| | | Área de Plantio | 498,94 |
| | | Sombra | 95,47 |

- a) a área de Floresta Ombrófila Mista – Mata de Araucária – diminuiu, como diminuiu em todo o Estado, devido, provavelmente, à intensa ação

- antrópica, desenvolvida a partir de 1874, quando se iniciou a colonização desta área;
- b) quanto à Floresta Ombrófila Mista – Campos de Cima da Serra – a imagem de 1985 é de maio, época em que as *Gramineae* apresentam-se mais desenvolvidas
- c) a Floresta Estacional Decidual – nativa – também diminuiu. O principal motivo da diminuição de 11,7% dessa classe deve-se ao fato de o desmatamento progressivo para plantio e extração de madeira, fato que pode-se contrastar com o aumento da floresta estacional em estágio primário (que surge principalmente em locais de plantio abandonado) e de solo exposto (que está sendo preparado para o plantio);
- d) em contraponto, a Floresta Estacional Decidual – estágio secundário – praticamente triplicou (aumento de 193%). Fato este provavelmente relacionado ao abandono progressivo dos trabalhadores rurais, rumo à procura de melhores oportunidades em grandes centros comerciais e industriais;
- e) a diminuição da região contribui, também, ao aumento da Floresta Estacional Decidual – Estágio Secundário;
- f) a Floresta Artificial apresentou considerável incremento e acredita-se que a área atual (2000) é ainda maior, dados este observado em campo, considerando que, em várias áreas onde hoje comprovou-se existir floresta artificial, em 1995 apresentava solo exposto, enquanto que em 1985 estava coberto por mata nativa (Fi. 23);
- g) o solo exposto ficou 6,5 vezes maior devido, primeiramente, à época (outubro, da imagem de 1985) ser o período de preparo da terra para o plantio, deixando o solo descoberto. Além disso, constatação feita na item “f” contribui para a explicação do aumento no solo exposto de 1985 para 1995;
- h) quanto a região de sombra, a diminuição de cerca de 20% pode-se atribuir, primeiramente, devido à elevação solar, considerando que na imagem de

1995 o sol está mais elevado do que em 1985, fato que faz com que a imagem de 1995 seja bem mais “suave” do que a de 1985, com bem menos influência da sombra do relevo e da vegetação. Parte da diminuição também pode-se atribuir ao fato da mata nativa original estar sendo progressivamente substituída por capoeirões ou região de plantio, o que digitalmente diminui o contraste, considerando que a mata original possui vários dosséis e que eliminando-se este fator, a sombra também diminui;

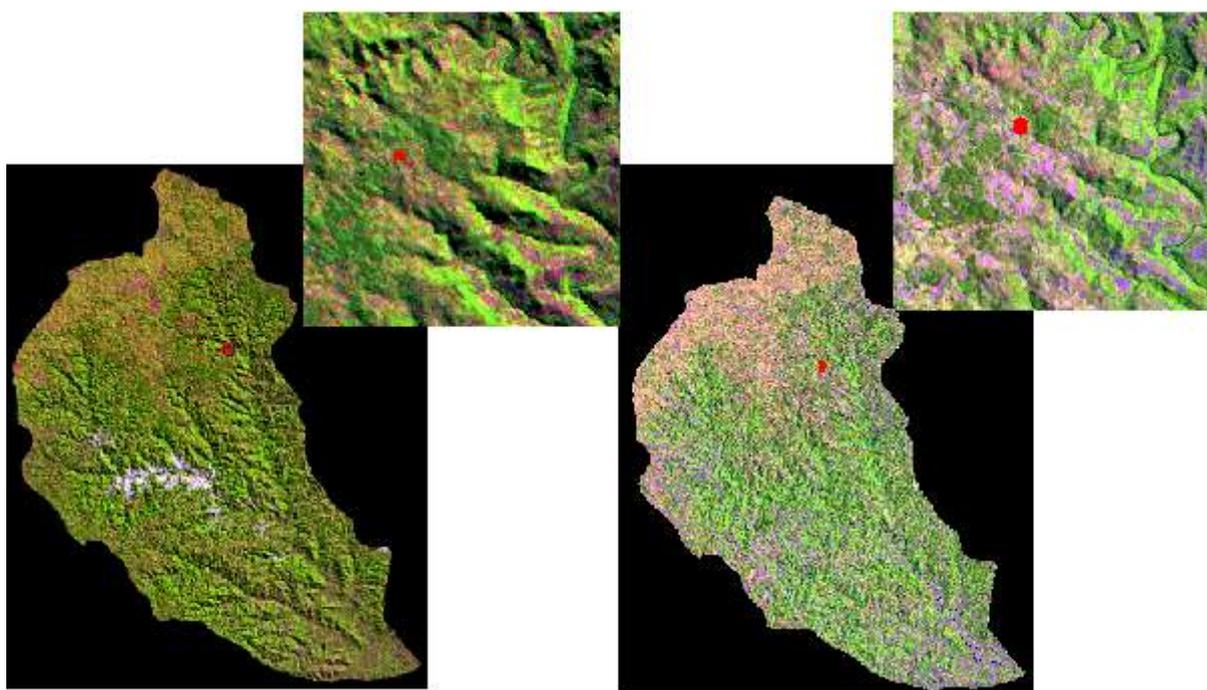


Figura 23 – Comparação das áreas com solo exposto (e 1995; d 1985) onde em campo comprovou-se existir Floresta artificial

- i) na área coberta por nuvens na imagem de 1985, pode-se observar através da comparação com a imagem de 1995, que há Floresta Estacional Decidual – nativa e em estágio secundário – portanto, acrescidas a estas classes, a área correspondente, a análise geral não varia.

6 CONCLUSÕES

Os dados aqui apresentados comprovam que através de técnicas de Sensoriamento Remoto o levantamento ambiental é eficaz e pode ser utilizado para comparação da situação do meio ao longo do tempo.

Na área de estudo, o avanço das culturas antrópicas não foge à regra de todo o Estado e se estende desde as porções mais altas até as zonas de terraços dos rios, de maneira que, onde o relevo permite, as plantações se estendem até a margem dos cursos d'água e também do coletor de água das micro-bacias. Assim, em toda a extensão da área estudada, são ímpares os locais onde se preserva a mata original, a qual realmente só persiste em zonas mais altas, em aclives acentuados.

Nos locais abandonados pelos pequenos agricultores, passaram a dominar as vegetações pioneiras, com o predomínio de *Gramineae* como o Capim-de-burro (*Cynodon dactylon*), o Capim-grama (*Stenotachrum secundatum*), Capim-navalha (*Scleria secans*) e principalmente áreas com a cobertura da Vassoura (*Baccharis dracunculifolia*), que todavia não são eficientes para conter algumas ações erosivas em períodos de maior precipitação pluviométrica. Em outras porções podem ser verificados grupamentos remanescentes que ocupam as encostas mais íngremes e áreas de difícil acesso, o que não colabora no momento da absorção do impacto das chuvas.

Através da análise dos dados levantados em campo pode-se verificar que a área de estudo apresenta uma diversidade expressiva de formações vegetais, as quais foram detalhadamente descritas no momento da definição das classes. Os dados digitais foram comprovados pela realidade de campo.

A colonização das áreas, mais altas, de ocorrência de mata foi iniciada em

1874 pelos imigrantes italianos. Antes disso, habitavam o lugar estancieiros, criadores de gado. Dentro de pequenas propriedades rurais, os colonizadores italianos e posteriormente por alemães, promoveram o desmatamento da floresta e implantação de policultura do trigo, milho, feijão, videira e pequenas áreas de pastagem, utilizando um manejo rudimentar do solo. Assim, por se tratar de solos pouco profundos, distróficos, pedregosos e de alta erosão, passou a ocorrer uma gradual degradação destes terrenos, ocasionando a diminuição dos rendimentos agrícolas. A solução encontrada pelos colonos foi a do desbravamento de novos trechos de floresta que, após cultivos sucessivos, eram abandonados, ainda mais considerando-se que estas áreas somente podiam ser trabalhadas manualmente em face do relevo acidentado. Mais tarde surgiu o interesse comercial madeireiro, centralizado na extração intensiva da *Aracuraria angustifolia*, cujo resultado inevitável foi a supressão desta espécie quase que por completo, mesmo nas áreas florestais remanescentes, raramente encontradas em meio aos cultivos agrícolas, que aí vigoram hoje em dia.

Nos vales inferiores ocorreu idêntico processo de ocupação agrícola, com a diferença que, neste caso, as florestas residuais são pouco mais freqüentes e a agricultura, desativada, foi sendo lentamente substituída pela vegetação secundária, que se tornou predominante.

As áreas que dominam a cobertura vegetal são as porções de regeneração, variando em seus diversos estágios, sendo que em muitos pontos o abandono da agricultura contribui para o processo de recuperação, pelo menos em parte, da cobertura arbórea. A cobertura por vegetação original propriamente dita fia quase que restrita aos pontos de acentuado declive, justamente devida a atividade histórica de cultivo que prioriza áreas não tão íngremes.

Assim, a área da Bacia Hidrográfica do Rio Forqueta representa de maneira muito expressiva a realidade do restante da região do Vale do Taquari, constituindo-se em um local onde ocorre uma recuperação rápida da cobertura vegetal e onde também é possível a visualização de regiões quase totalmente preservadas.

O valor, principalmente ambiental, da área é muito grande, por se constituir em um refúgio para espécies vegetais e animais, principalmente no que se refere a

não utilização renovada do solo, à reduzida ação antrópica, permitindo uma regeneração constante das características originais.

Como resultado final deste trabalho, pode-se concluir que técnicas de Sensoriamento Remoto são muito úteis para análise ambiental, especificamente, para constatação mais rápida e eficaz da evolução da mata nativa, em bacias hidrográficas. Para melhores resultados e minimização do efeito da sombra, deve-se prever a utilização de imagens em escala maiores bem como digitalização das curvas de níveis da região de estudo, para elaboração do modelo numérico do terreno, diminuindo, assim, o efeito da sombra e obtendo-se uma classificação mais acurada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) AMARAL, S. et al. Zoneamento Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú – CE, utilizando técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, BA – 14-19 de abril de 1996.**
- 2) ANTUNES, A. F. B. & MULLER, M. V. Uso de imagens LANDSAT TM5 para mapeamento digital na área de proteção ambiental de Guaraqueçaba – PR. **VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador – BA – 14-19 de abril de 1996.**
- 3) CIÊNCIA HOJE. SBPC, 1988, p. 48
- 4) CITADINI-ZANETE, V. 1984. Composição Florística e Fitossociologia da Vegetação Herbácea Terrícola de uma Mata de Torres, Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia**, Sér. Bot. Porto Alegre, n. 32, p. 23-62.
- 5) COSTA, T. C. C., SOUZA, M. G., BRITES, R. S. Delimitação e caracterização de áreas de preservação permanente, por meio de um sistema de informações geográficas (SIG). **VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador – BA – 14-19 de abril de 1996.**
- 6) DAJOZ, R. 1983. **Ecologia Geral**. 4.ed. Petrópolis, Vozes.
- 7) FELDENS, L. P. 1989. **A Dimensão Ecológica da Pequena Propriedade no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura e Abastecimento, Governo do Estado do Rio Grande do Sul.
- 8) FOLHA SH. 22 Porto Alegre e Parte das Folhas SH 21, Uruguaiana e SI 22: Ecologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Uso potencial da Terra. Rio de Janeiro, IBGE, 1986. P. 541-632 (Levantamento de Recursos Naturais, 33)
- 9) FREITAS, E. M. 1999. **Orchidaceae como Indicadora da Presença de Floresta Estacional Semidecidual em Áreas de Floresta Estacional Decidual no Município de Lajeado, Rio Grande do Sul**. Lajeado, Trabalho de Conclusão da Especialização em Biologia com ênfase em Planejamento e Gestão Ambiental, UNIVATES, Lajeado.

- 10) FUNDAÇÃO Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Geociências, Geografia do Brasil. Rio de Janeiro, IBGE, 1990.
- 11) JASPER, A. 1997. **Determinação da Biodiversidade da Encosta do Planalto Meridional, na Região do Vale do Taquari – RS – BR**. Lajeado, UNIVATES (Projeto de Pesquisa).
- 12) JASPER, A. & FELDENS, L. 1999. **Levantamento Fitossociológico de Linha Araçá - município de Progresso - RS - propriedade de Sr. Hans Wilhelm Cremer**. Lajeado, UNIVATES (Projeto de Pesquisa)
- 13) JUSTUS, J. O.; MACHADO, M. L. A.; FRANCO, M. S. M. 1986. Geomorfologia. In: **Levantamento de Recursos Naturais**. São Paulo, Nacional, 33, p.313-404. II.
- 14) KAUFMANN, A. 1986. **Design of Spectral and Panchromatic Sensing and Remote Sensing**. Vol. 47, 6, jun, 1986.
- 15) LANDGREBE, D. A. 1980. **The Development of a Spectral-Spatial Classifier for Earth Observational Data**. Pattern Recognition, vol 12, p. 165-175.
- 16) LEITE, P. F. & SOHN, S. Vegetação: as regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos. Estudo fitogeográfico. In: Folha SG-22 Curitiba, parte da folha SG-21. Asunción e fola SG-23 Iguape, IBGE, no prelo.
- 17) LILLESAND, T. M. & KIEFER, R. W. 1979. **Remote Sensing and Image Interpretation**. New York, John Wiley.
- 18) LIMA, S. do C. et al. A Implantação de um Sistema de Informações Geográficas para Subsidiar os Estudos de Sustentabilidade Ambiental dos Agrossistemas nos Cerrados. **VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, BA – 14-19 de abril de 1996**.
- 19) MONCERATT, A. E. & PINTO, S. dos A. F. Caracterização e Adequação do Uso da Terra Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas. **VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, BA – 14-19 de abril de 1996**.
- 20) NOVO, E. M. L. de M. 1989. **Sensoriamento Remoto – Princípios e Aplicações**. São Paulo, Edgard Blücher.
- 21) RAMBO, B. 1961. Migration routes of the South Brazilian Rain Forest. **Pesquisa. Botânica**. 5:12, Porto Alegre. p. 5-14.
- 22) _____. 1994. **Fisionomia do Rio Grande do Sul**. São Leopoldo. UNISINOS, 487 p.il.
- 23) _____. 1951. A imigração da selva higrófila no Rio Grande do Sul. **Anais Botânicos do Herbário “Barbosa Rodrigues”**. Itajaí, SC. N. 3. p. 55-91.

- 24) RAVEN, P. H. et al. 1978. **Biologia Vegetal**. 2.ed. Rio de Janeiro, Guanabara Dois.
- 25) REITZ, R. et al. 1983. **Projeto Madeira do Rio Grande do Sul**. Itajaí, Herbário Barbosa Rodrigues.
- 26) SCHOWENGERDT, R. A. 1983. **Techniques for Image Processing and Classification**. Londres-Inglaterra, Academic Press. Inc.
- 27) SLATER, P. N. 1980. **Remote Sensing. Optica and Optical Systems Reading**. Addison-Wesley.
- 28) STAFFORD, D. et al. 1973. **Utilization of Aerial Photographs for Measuring Land Use Changes in Water-Resources Management**. American Water Resources Association, junho de 1973, Proc. n. 17 Urbana Illinois.
- 29) SWAIN, P. H. et al. 1981. **Contextual Classification of Multispectral Image Data**. Pattern Recognition. Vol. 13, n. 6, 429-441.
- 30) TEIXEIRA, M. B. & COURA NETO, A. B. 1986. Mapa de vegetação do Rio Grande do Sul. In: **Relatório de Recursos Naturais do IBGE**, p. 541-620 il.
- 31) VALERIO FILHO, M. 1995. Gerenciamento de Bacias Hidrográficas com Aplicação de Técnicas de Geoprocessamento. In: **Análise Ambiental – estratégias e ações**. São Paulo, Centro de Estudos Ambientais- UNESP.
- 32) VIEIRA, E. F. & RANGEL, S. R. S. 1984. **Rio Grande do Sul: geografia física e vegetação**. Porto Alegre, Sagra. 184 p.il.

ANEXO 1

PONTOS COLETADOS EM CAMPO

| | COORDENADAS UTM | CLASSIFICAÇÃO |
|----|----------------------------|--|
| 1 | 392899 6747788 | Mata nativa original tipo Floresta Estacional Decidual |
| 2 | 368963 6773009 | Mata nativa secundária em estágio primário de reconstituição |
| 3 | 368428 6774302 | Mata nativa original tipo Floresta Estacional Decidual |
| 4 | 385896 6774008 | Mata nativa original tipo Floresta Estacional Decidual |
| 5 | 368589 6774480 | Mata nativa original tipo Floresta Estacional Decidual |
| 6 | 389320 6760959 | Mata nativa original tipo Floresta Estacional Decidual |
| 7 | 393037 6755440 | Campo |
| 8 | 393098 6755440 | Mata nativa secundária em estágio primário de reconstituição |
| 9 | 385998 6746008 | Contato da mata nativa com área de plantio |
| 10 | 395904 6745993 | Mata nativa original tipo Floresta Estacional Decidual |
| 11 | 393924 6746451 | Mata nativa original tipo Floresta Estacional Decidual |
| 12 | 395881 6746451 | Mata nativa original tipo Floresta Estacional Decidual |
| 13 | 392899 6747788 | Mata nativa original tipo Floresta Estacional Decidual |
| 14 | 406503 6744783 | Rio Forqueta |

| | COORDENADAS UTM | CLASSIFICAÇÃO |
|----|----------------------------|--|
| 15 | 398632 6750821 | Campo limpo |
| 16 | 397463 6752739 | Mata nativa secundária em estágio primário de reconstituição |
| 17 | 397370 6754255 | Mata nativa original tipo Floresta Estacional Decidual |
| 18 | 397452 6755518 | Plantio |
| 19 | 396879 6761489 | Mata nativa secundária em estágio primário de reconstituição |
| 20 | 396304 6762043 | Floresta artificial - Eucalipto |
| 21 | 396394 6762943 | Floresta artificial - Pinus |
| 22 | 393668 6766250 | Floresta artificial - Pinus |
| 23 | 392055 6766438 | Mata nativa original tipo Floresta Estacional Decidual |
| 24 | 391296 6766179 | Mata nativa original tipo Floresta Estacional Decidual |
| 25 | 394629 6756788 | Pastagens |
| 26 | 402590 6747392 | Mata nativa secundária em estágio primário de reconstituição |
| 27 | 403958 6747000 | Pastagens |
| 28 | 397312 6746360 | Mata nativa secundária em estágio primário de reconstituição |
| 29 | 393484 6749217 | Plantio |
| 30 | 388049 6745728 | Mata nativa secundária em estágio primário de reconstituição |

| | COORDENADAS UTM | CLASSIFICAÇÃO |
|----|----------------------------|--|
| 31 | 387645 6746110 | Paredão com mata nativa – Floresta Estacional Decidual |
| 32 | 387180 6746091 | Mata nativa secundária em estágio primário de reconstituição |
| 33 | 399166 6747534 | Mata nativa secundária em estágio primário de reconstituição |
| 34 | 392107 6758459 | Contato da mata nativa com área de plantio |
| 35 | 389297 6761444 | Mata nativa original tipo Floresta Estacional Decidual |
| 36 | 397182 6750744 | Pastagens (várzea de Marques de Souza) |
| 37 | 391412 6798437 | Mata nativa original tipo Floresta Ombrófila Mista (Campos de Cima da Serra) |
| 38 | 388470 6766352 | Fio Fão – mata nativa original |
| 39 | 368585 6791069 | Contato de Floresta Ombrófila Mista (mata de araucária) com Floresta Artificial (Eucaliptos) |
| 40 | 365765 6800778 | Mata nativa original tipo Floresta Ombrófila Mista (Campos de Cima da Serra) |
| 41 | 355873 8680904 | Campo limpo (próximo a capão de mato) |
| 42 | 367853 6799441 | Mata nativa original tipo Floresta Ombrófila Mista (mata de araucária) |
| 43 | 371029 6798284 | Floresta Artificial - eucalipto (ao lado plantação de fumo) |
| 44 | 373836 6798284 | Mata nativa em estágio secundário de reconstituição |
| 45 | 383167 6802601 | Mata nativa original tipo Floresta Ombrófila Mista (mata de araucária) |
| 46 | 393548 6756909 | Plantação - várzea |

| | COORDENADAS UTM | CLASSIFICAÇÃO |
|----|----------------------------|--|
| 47 | 389582 6761355 | Mata nativa original tipo Floresta Estacional Decidual |
| 48 | 385599 6763778 | Campos |
| 49 | 382839 6764040 | Floresta Artificial |
| 50 | 382515 6763595 | Mata nativa em estágio primário de reconstituição |
| 51 | 379884 6763494 | Plantação – milho e fumo |
| 52 | 377557 6763208 | Floresta artificial - eucalipto |
| 53 | 376011 6762561 | Mata nativa em estágio secundário de reconstituição |
| 54 | 372710 6761994 | Mata nativa original tipo Floresta Ombrófila Mista – Mata de Araucária |
| 55 | 370809 6758897 | Mata nativa original tipo Floresta Ombrófila Mista – Mata de Araucária |
| 56 | 367385 6750700 | Floresta artificial - pinus |
| 57 | 374210 6750426 | Mata nativa original tipo Floresta Estacional Decidual |