



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

**ANÁLISES TEMPORAIS E ESPACIAIS DO USO DA TERRA,
POR MEIO DE GEOTECNOLOGIAS,
NO MUNICÍPIO DE PIRAPÓ - RS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Juliano Andres

**Santa Maria, RS, Brasil
2006**

**ANÁLISES TEMPORAIS E ESPACIAIS DO USO DA TERRA,
POR MEIO DE GEOTECNOLOGIAS,
NO MUNICÍPIO DE PIRAPÓ - RS**

por

Juliano Andres

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Geomática da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como
requisito parcial para a obtenção do título de
Mestre em Geomática

Orientador: Prof. Dr. José Américo de Mello Filho

**Santa Maria, RS, Brasil
2006**

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a dissertação de mestrado intitulada

**ANÁLISES TEMPORAIS E ESPACIAIS DO USO DA TERRA,
POR MEIO DE GEOTECNOLOGIAS,
NO MUNICÍPIO DE PIRAPÓ - RS**

elaborada por
Juliano Andres

como requisito parcial para obtenção do Título de
Mestre em Geomática

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. José Américo de Mello Filho
(presidente)

Prof^a. Dr^a. Liane de Souza Weber

Prof. Dr. Rudiney Soares Pereira

Santa Maria, 18 de setembro de 2006

DEDICATÓRIA

“Se teus projetos têm prazo de um ano, semeie trigo. Se teus projetos têm prazo de dez anos, plante árvores frutíferas. Se teus projetos têm prazo de um século, então educa. Semeando trigo terás uma colheita. Plantando árvores frutíferas terás cem colheitas. Mas educando alguém, colherás mais de cem vezes. Se deres um peixe a uma pessoa, ela comerá uma vez. Se ensinar a pessoa a pescar, ela colherá a vida inteira.”

Kuan Tseu (século VII a.C.)

Aos meus pais Bento Castilho e Olga:

Por me educarem.

Por se privarem da minha ausência.

Por me ajudarem nessa caminhada até aqui.

Devo o que sou a vocês!

Esse trabalho é dedicado a vocês!

AGRADECIMENTOS

Ao professor José Américo pelo aprendizado constante, por disponibilizar o laboratório para a elaboração dos trabalhos, pela orientação, pelo incentivo, e principalmente, pela amizade.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geomática por possibilitarem novos conhecimentos.

À Universidade Federal de Santa Maria por me proporcionar novos horizontes.

Aos milhões de brasileiros que pagam seus impostos para garantir o ensino público e gratuito.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

Aos meus familiares que sempre estiveram ao meu lado apoiando nessa caminhada.

À minha noiva Sandra Izabel, por ser minha fonte de apoio e incentivo constantes.

Aos meus amigos do apartamento 73 da Casa do Estudante I, por estarem juntos nessa caminhada e pelo apoio nos momentos de dificuldade.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Geomática
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

ANÁLISES TEMPORAIS E ESPACIAIS DO USO DA TERRA, POR MEIO DE GEOTECNOLOGIAS, NO MUNICÍPIO DE PIRAPÓ – RS

Autor: Juliano Andres
Orientador: José Américo de Mello Filho
Santa Maria, 18 de setembro de 2006

A pesquisa objetivou realizar análises temporais e espaciais do uso da terra no município de Pirapó – RS, com emprego de Geotecnologias. A metodologia foi dividida em cinco etapas: na primeira etapa foram realizados diagnósticos de uso da terra considerando os anos de 1975, 1991 e 2005; na segunda etapa foi utilizado o processo de monitoria para verificar as mudanças de uso da terra nos últimos 30 anos; na terceira etapa foi realizada uma avaliação de uso da terra potencial; na quarta etapa foram apontadas áreas de conflito entre uso da terra potencial e uso da terra em 2005; na última etapa foram quantificados todos os resultados por processo de assinatura. A primeira etapa foi realizada por meio do Sensoriamento Remoto e as demais por meio do Geoprocessamento. Os resultados demonstram que houve grandes mudanças na utilização das terras no município de Pirapó - RS nos últimos 30 anos, e ainda, que existem usos da terra mais intensos do que o recomendado. Esses fatores podem levar a deterioração do solo em poucos anos.

Palavras-chave: Geoprocessamento; Sensoriamento Remoto; Uso da Terra; Análises Espaciais; Análises Temporais.

ABSTRACT

Master's Thesis

Programa de Pós-Graduação em Geomática

Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

TEMPORAL AND SPATIAL ANALISYS OF LAND USE IN PIRAPÓ-RS USING GEOTECHNOLOGIES

Author: Juliano Andres

Advisor: José Américo de Mello Filho

Santa Maria, September 18th, 2006

The objective of the research was to make temporal and spatial analysis of land use, in Pirapó-RS, through the use of geotechnologies. The methodology was basically divided into 5 steps: in the first step, diagnoses of land use were made considering the years 1975, 1991 and 2005; in the second step, the land use was monitored taking into consideration the last 30 years; in the third step, an evaluation of the potential land use was made; in the fourth step, the conflict areas of potential land use and the land use in 2005 were monitored; and, in the last step, these results were spatialized and quantified through the signature process. In the first step, Remote Sensing was used, and, in the other ones, Geoprocessing was used. The results demonstrate that a great change happened in the last 30 years considering the land use in the area of study, and that there are some land uses more intense than the recommended use. These factors can contribute to soil deterioration in few years.

Key-words: Geoprocessing; Remote Sensing; Land Use; Spatial Analysis; Temporal Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Órbita Polar de Satélites.	19
Figura 02 - Resolução Espacial do Sensor CCD do Satélite CBERS.....	20
Figura 03 – Média Ponderada.	23
Figura 04 – Ambiente de Avaliação do Aplicativo SAGA.....	24
Figura 05 – Lógica Booleana.....	25
Figura 06 – Ambiente de Monitoria do Aplicativo SAGA.	26
Figura 07 – Solo Deteriorado.....	32
Figura 08 – Perdas de Solo Submetido a Diferentes Práticas de Uso da Terra.	35
Figura 09 – Imagem Orbital da Ligação da Laguna dos Patos ao Oceano Atlântico.	36
Figura 10 – Município de Pirapó - RS. Localização Geográfica no Estado do Rio Grande do Sul.	41
Figura 11 – Município de Pirapó - RS. Vista Tridimensional.....	42
Figura 12 – Município de Pirapó - RS. Vista Tridimensional.....	42
Figura 13 – Árvore de Decisão para Avaliação de Riscos de Deterioração do Solo.	49
Figura 14 – Árvore de Decisão para Definição do Uso da Terra Potencial.	50
Figura 15 – Município de Pirapó - RS. Mapa de Uso da Terra 1975.....	53
Figura 16 – Município de Pirapó - RS. Área das Classes de Uso da Terra 1975.	54
Figura 17 – Município de Pirapó - RS. Mapa de Uso da Terra 1991.....	55
Figura 18 – Município de Pirapó - RS. Área das Classes de Uso da Terra 1991.	56
Figura 19 – Município de Pirapó - RS. Mapa de Uso da Terra 2005.....	57
Figura 20 – Município de Pirapó – RS. Área das Classes de Uso da Terra 2005. ...	58
Figura 21 – Município de Pirapó – RS. Área das Classes de Uso da Terra ao Longo do Tempo.	59
Figura 22 – Município de Pirapó – RS. Mapa de Monitoria de Lavoura entre 1975 e 1991.	60
Figura 23 – Município de Pirapó – RS. Mapa de Monitoria de Campo entre 1975 e 1991.	61
Figura 24 – Município de Pirapó – RS. Mapa de Monitoria de Floresta entre 1975 e 1991.	62

Figura 25 – Município de Pirapó – RS. Mapa de Monitoria de Lavoura entre 1991 e 2005.	63
Figura 26 – Município de Pirapó – RS. Mapa de Monitoria de Campo entre 1991 e 2005.	64
Figura 27 – Município de Pirapó – RS. Mapa de Monitoria de Floresta entre 1991 e 2005.	65
Figura 28 – Município de Pirapó - RS. Mapa de Riscos de Deterioração do Solo....	66
Figura 29 - Município de Pirapó - RS. Mapa de Proximidades.	67
Figura 30 – Município de Pirapó - RS. Mapa de Uso da Terra Potencial.	68
Figura 31 – Município de Pirapó - RS. Áreas das Classes de Uso da Terra Potencial.	69
Figura 32 – Município de Pirapó - RS. Mapa de Conflitos entre Lavoura Potencial e Solo Exposto.	71
Figura 33 – Município de Pirapó - RS. Mapa de Conflitos entre Campo Potencial e Lavoura.	72
Figura 34 – Município de Pirapó - RS. Mapa de Conflitos entre Campo Potencial e Solo Exposto.	73
Figura 35 – Município de Pirapó - RS. Mapa de Conflitos entre Floresta Potencial e Campo.	74
Figura 36 – Município de Pirapó - RS. Mapa de Conflitos entre Floresta Potencial e Lavoura.	75
Figura 37 – Município de Pirapó - RS. Mapa de Conflitos entre Floresta Potencial e Solo Exposto.	76
Figura 38 – Município de Pirapó - RS. Áreas dos Conflitos de Uso da Terra.	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Resolução Espectral do Sensor CCD do Satélite CBERS.	20
Quadro 02 – Níveis de Intensidade de Uso da Terra e Classes de Capacidade de Uso da Terra.	38
Quadro 03 – Conflitos entre Uso da Terra e Classes de Capacidade de Uso da Terra.....	39
Quadro 04 – Notas para Avaliação das Áreas de Riscos de Deterioração do Solo.	49
Quadro 05 – Níveis de Uso da Terra e Classes de Capacidade de Uso da Terra na Área de Estudo.....	51
Quadro 06 – Conflitos de Uso da Terra na Área de Estudo.	51

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CBERS – China - Brazil Earth Resources Satellite

CCD – Charge-Coupled Device

DSG – Divisão de Serviços Geográficos

DPI – Dots per Inches

FOV – Field of View

GNSS – Global Navigation Satellite Systems

GPS – Global Position Systems

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFOV – Instantaneous Field of View

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LandSat – Land Remote Sensing Satellite

MNT – Modelo Numérico do Terreno

RBV – Return Deam Vidicon

SAGA – Sistema de Análise Geo-Ambiental

SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas

TM – Thematic Mapper

UTM – Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Geotecnologias	15
2.1.1 Sensoriamento Remoto	17
2.1.2 Geoprocessamento.....	22
2.1.3 Aplicações de Geotecnologias no Estudo do Uso da Terra	29
2.2 Uso da Terra e Deterioração do Solo.....	31
3 METODOLOGIA.....	40
3.1 Caracterização Geográfica da Área de Estudo	40
3.2 Materiais e Métodos.....	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
4.1 Monitoramento do Uso da Terra no Município de Pirapó - RS.....	53
4.2 Avaliação de Uso da Terra Potencial no Município de Pirapó - RS	66
4.3 Conflitos de Uso da Terra no Município de Pirapó - RS.....	71
5 CONCLUSÕES	79
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

1 INTRODUÇÃO

As Geotecnologias constituem-se em um conjunto de ciências e técnicas para a análise espacial dos fenômenos sobre superfície terrestre, as quais têm sido utilizadas nos mais diversos campos de estudo. Esse fato é evidenciado em pesquisas desenvolvidas nas ciências rurais, da saúde, da terra, entre outras, o que evidencia o seu caráter transdisciplinar. A difusão das mesmas ainda é restrita, porém a tendência é que a sua abrangência seja ampliada.

Dentre as Geotecnologias pode-se destacar a Cartografia Digital, a Fotogrametria Digital, o Sistema de Posicionamento por Satélites, o Sensoriamento Remoto, os Sistemas Geográficos de Informações e o Geoprocessamento. Todo esse conjunto de ciências e técnicas permite que sejam realizadas as mais diversas análises, as quais possibilitam ao homem planejar com mais eficiência o espaço em que se encontra. O desenvolvimento e as aplicações das Geotecnologias são transdisciplinares, dessa forma, surge a necessidade de uma ciência transdisciplinar para tratá-las, nesse intuito origina-se uma nova ciência denominada Geomática.

O presente trabalho utiliza as análises do Sensoriamento Remoto e do Geoprocessamento. O Sensoriamento Remoto consiste na ciência que estuda a coleta e a utilização de informações da superfície terrestre, obtidas sem o contato físico, a partir de sensores que efetuam a captação de ondas eletromagnéticas emitidas, difracionadas ou especialmente as refletidas pelos objetos sensorizados, e após a decodificação dos dados obtidos, obtém-se a imagem da área recoberta. O Geoprocessamento diz respeito ao processamento informatizado de dados georreferenciados ou da superfície terrestre, e pode ser definido como o conjunto de tecnologias de coleta e tratamento de informações espaciais e de desenvolvimento.

Dessa forma, os resultados obtidos por meio das Geotecnologias são espaciais, ou seja, possuem referência no espaço, o que facilita a interpretação e a tomada de decisões a partir dos mesmos, esse fato justifica a tendência de difusão das Geotecnologias, pois o planejamento sobre fenômenos espacializados possui diretrizes mais concretas que fenômenos simplesmente quantificados.

As análises por meio das Geotecnologias são diversas, nesse trabalho são enfatizadas três: monitoria, avaliação e assinatura. A monitoria permite a compreensão dos fenômenos ao longo do tempo, a qual é utilizada para verificar

áreas de expansão urbana, expansão de focos de incêndio, desmatamentos, uso da terra entre outros. A avaliação consiste em uma análise complexa, a qual é aplicada para avaliar áreas propícias para a expansão urbana, áreas de risco de deterioração do solo, áreas propícias para instalação de indústrias, áreas propícias para exploração agrícola entre muitas outras. A assinatura permite que seja realizada, além da análise espacial, a quantificação dos fenômenos, o que pode auxiliar na interpretação dos resultados e no planejamento do espaço geográfico.

O uso da terra, compreendido como a forma que o homem utiliza a superfície terrestre, é um aspecto que necessita de análises e de planejamento. Dessa forma, esta pesquisa busca aplicar as análises de monitoria, avaliação e assinatura no uso da terra do município de Pirapó, para que seja possível compreender as mudanças ocorridas ao longo do tempo, a situação atual e a situação ideal na utilização das terras em seu território. As análises realizadas permitem que seja elaborado um planejamento com o objetivo de se amenizarem os processos de deterioração do ambiente, o que possibilitará manter o equilíbrio entre homem e meio.

Assim, o objetivo geral desse trabalho é analisar o uso da terra no município de Pirapó, no tempo e no espaço, no período de 1975 a 2005, utilizando-se como suporte as Geotecnologias. Os objetivos específicos são: criar uma base de dados digital e georreferenciada para a área de estudo; elaborar cartas de diagnóstico do meio físico; elaborar cartas de riscos de deterioração ambiental; e elaborar cartas de conflitos de uso da terra.

A justificativa da pesquisa leva em consideração que o desenvolvimento de pesquisas deve visar atender as necessidades da sociedade, pois a pesquisa por si só possui apenas caráter científico, porém o retorno para as pessoas que investem nela não é atendido. Outro aspecto a considerar é o fato de que pesquisas sobre assuntos já trabalhados na mesma área de estudo, tornam-se repetitivas e deixam de atender outras carências, também prioritárias. A conscientização dos aspectos relatados levou às escolhas do tema (uso da terra) e da área de estudo (município de Pirapó, RS).

O uso da terra é um aspecto fundamental na ocupação do espaço pelo homem, por meio dele é possível verificar a forma com que a sociedade está utilizando a superfície terrestre e indicar soluções para que essa ocupação não provoque maior deterioração do ambiente e mantenha o equilíbrio entre homem e

meio. Quanto ao município de Pirapó, assim como grande parte dos municípios gaúchos, possui uma carência de pesquisas científicas. A visão de que essa área de estudo sofreu profundas modificações no uso da terra nas últimas décadas e necessita de ajustes na ocupação do território, impulsionou o desenvolvimento de estudos, os quais resultaram no presente trabalho.

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, considerando os elementos textuais: o primeiro constitui-se na introdução; o segundo na revisão bibliográfica, onde são abordados os conceitos e teorias fundamentais à pesquisa, tanto no que se refere as Geotecnologias, quanto ao uso da terra e deterioração do solo; o terceiro capítulo diz respeito a metodologia, na qual é realizada uma caracterização geográfica da área de estudo e são descritos os meios de coleta, processamento e análise dos dados; a quarta parte apresenta os resultados encontrados e as discussões a cerca dos mesmos, inicialmente as monitorias de uso da terra no período 1975 a 2005, em segundo a avaliação de uso da terra potencial, e após, os conflitos entre uso da terra potencial e uso da terra em 2005; e o quinto capítulo consiste nas conclusões, no qual também são tratadas algumas considerações e recomendações a cerca do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para organizar os textos elaborados para a revisão bibliográfica o presente capítulo foi dividido em duas partes. Na primeira trata-se sobre as Geotecnologias, onde se faz um apanhado histórico para compreender as suas origens. Nesse mesmo sub-capítulo é realizada uma revisão sobre os temas de fundamental importância relacionados ao Sensoriamento Remoto e ao Geoprocessamento, tendo em vista que essas duas ciências são as mais utilizadas dentre as Geotecnologias para o desenvolvimento desse trabalho. O encerramento desse sub-capítulo aborda alguns estudos do uso da terra que buscam aplicações por meio do Sensoriamento Remoto e do Geoprocessamento.

O segundo sub-capítulo busca conceitos e teorias sobre uso da terra, onde são definidas algumas terminologias e são analisados alguns efeitos do uso da terra não planejado sobre a deterioração do solo e do ambiente. O encerramento desse capítulo aponta para a diminuição dos efeitos de deterioração do solo e do ambiente por meio de um planejamento do uso da terra. Essa pesquisa consiste em uma continuidade dos trabalhos iniciados no curso de Especialização em Geomática, desse modo, alguns conceitos e teorias que foram tratados por Andres (2005) serão retomados.

2.1 Geotecnologias

O termo Geotecnologia tem levado os pesquisadores a muitas discussões a cerca de seu significado. Sabe-se que sua origem está em Tecnologias de Geo-Informação, portanto, pode-se dizer que são tecnologias para a análise de informações do espaço geográfico ou da superfície terrestre. A principal dificuldade em conceituar as terminologias utilizadas nessa área de estudo está relacionada ao seu recente surgimento, além do rápido desenvolvimento de suas técnicas e teorias nas últimas décadas (SILVA, 1999).

Uma das preocupações mais remotas da humanidade é conhecer a superfície terrestre. Os povos primitivos tinham a necessidade de saber quais eram as porções do espaço geográfico que possuíam frutos para coleta, animais para

caça e peixes para a pesca, dessa forma, desenhavam figuras (hieróglifos) nas cavernas para indicar os caminhos que deveriam percorrer para encontrá-los (ASSAD & SANO, 1998).

Os levantamentos e as representações de porções da superfície terrestre foram sendo aperfeiçoados e tiveram grandes avanços com o surgimento de aparelhos para mensuração de áreas, em especial o Teodolito. Por meio dessas inovações inicia-se a elaboração das primeiras plantas e cartas topográficas, o que deu origem a ciência denominada Topografia (ESPARTEL, 1974).

A descoberta da forma terrestre e a preocupação em representar os mapeamentos em relação à Terra, levaram a criação de sistemas de coordenadas capazes de referenciar qualquer porção da superfície em relação ao todo. A elaboração de sistemas de coordenadas métricas, capazes de apresentar a terra em um plano permitiu maior precisão no georreferenciamento dos mapas. Devido a essas preocupações surge a Cartografia (DREYER-EIMBCKE).

Com o surgimento do balão a gás e da câmara fotográfica, algumas pessoas coletavam fotografias da superfície terrestre. A interpretação dessas fotografias com a finalidade de retirar informações espaciais e realizar mapeamentos originou a Fotointerpretação. A partir de câmaras aerofotogramétricas essa ciência foi aperfeiçoada devido a visão estereoscópica. Com a construção de aparelhos capazes de utilizar os aerofotogramas para obter a posição precisa de objetos e fenômenos (além de mensurá-los), origina-se a Fotogrametria (LILLESAND & KIEFER, 1994).

Mais tarde foram lançados ao espaço satélites artificiais de órbita terrestre, em alguns foram acoplados sensores capazes de captar informações da Terra. A coleta, o tratamento, o processamento e a utilização das imagens produzidas por esses sensores deram origem a uma nova ciência denominada de Sensoriamento Remoto (MOREIRA, 2005). Outros satélites foram equipados com sensores para auxiliar no posicionamento sobre a superfície terrestre, originado o Sistema de Posicionamento por Satélites (ROCHA, 2000).

A informatização em todas as áreas permitiu o desenvolvimento de sistemas capazes de auxiliar na elaboração de mapas em meio digital, surgindo a Cartografia Digital. Os sistemas foram aperfeiçoados e passaram a armazenar vários mapas em planos de informação em um mesmo ambiente computacional, esses foram denominados Sistemas Geográficos de Informações. O processamento desses

planos de informação com o objetivo de realizar novas análises originou o Geoprocessamento (ASSAD & SANO, 1998).

O surgimento de uma nova ciência não implica que a anterior tenha sido ultrapassada, pelo contrário, todas se modernizaram paralelamente e se complementam. As operações astronômicas, amplamente utilizadas até o final do século passado, são hoje usadas raramente, sendo substituídas pelos sistemas GNSS (Global Navigation Satellite Systems), entre os quais se destaca o Sistema de Posicionamento Global (GPS). Na Topografia existe a Estação Total; na Fotointerpretação e na Fotogrametria existem sistemas computacionais e câmaras digitais; no Sensoriamento Remoto existem inúmeros sensores com as mais diversas resoluções espaciais, temporais, radiométricas e espectrais; a cada dia são elaborados novos Sistemas Geográficos de Informações capazes de realizar os mais diversos processamentos.

A todo esse conjunto de técnicas e ciências de análise do espaço geográfico atribui-se o nome de Tecnologias de Geo-Informação ou Geotecnologias, e a ciência que passou a estudar o desenvolvimento e as aplicações das mesmas denomina-se Geomática. As Geotecnologias são multidisciplinares por servirem de suporte a pesquisas em diversas áreas do conhecimento: são utilizadas na própria geografia, como também às áreas da saúde, florestal, agrônômica, turismo, industrial, comercial, ou seja, a qualquer área que tenha dados passíveis de serem espacializados (ROCHA, 2000).

Esse trabalho enfatiza o Sensoriamento Remoto e o Geoprocessamento, uma vez que essas duas ciências serviram de suporte técnico e teórico para o desenvolvimento da pesquisa.

2.1.1 Sensoriamento Remoto

O sensor remoto diz respeito a um sistema capaz de captar e quantificar a radiação eletromagnética emitida ou refletida por objetos da superfície terrestre, sem haver o contato direto com os mesmos. A energia que incide sobre os objetos pode ter origem no sol ou no próprio sensor. Os sensores que utilizam a energia proveniente do sol denominam-se “passivos”, enquanto que os sistemas que emitem

radiação chamam-se “ativos”, esses últimos dizem respeito aos equipamentos que operam na faixa do radar (MOREIRA, 2005).

Para Novo (1999) o sensor remoto pode definir todos os sistemas que obtém informações sem necessitar do contato físico com os objetos ou alvos. Para a autora existem diversos tipos de sensores remotos, inclusive os nossos olhos, que captam os aspectos de objetos sem tocá-los, processa as imagens e as armazena no cérebro. Os sensores que coletam informações da superfície terrestre possuem os mesmo princípios, porém eles processam e armazenam as imagens em meio digital, por meio de uma memória virtual.

No meio científico sempre há uma dificuldade em elaborar e determinar conceitos e teorias. Assim, no Sensoriamento Remoto existe uma série de definições, sendo que a maior dificuldade está a cerca da delimitação de seu campo de estudo. Devido a esse motivo, a Assembléia Geral das Nações Unidas de 09 de dezembro de 1986 regulamentou o Sensoriamento Remoto como ciência, e elaborou a Resolução 41/61 para estabelecer os seus princípios e aplicações, tal documento previa a aplicação dessa ciência em três grandes áreas: gestão dos recursos naturais, uso da terra e proteção do meio ambiente. No mesmo encontro ficou previsto que todas as nações deveriam ter acesso aos dados e produtos originados pela captação de informações da superfície terrestre.

As concepções sobre Sensoriamento Remoto são diversas, tanto que alguns autores compreendem que essa ciência abrange todos os sistemas sensores que captam informações da Terra, inclusive as câmaras fotográficas aerotransportadas. O autor Rocha (2000) define essa ciência como a aplicação de dispositivos que são colocados em satélites ou aeronaves para obter informações sobre objetos e fenômenos que se encontram na superfície terrestre, sem entrar em contato direto com os mesmos. O Sensoriamento Remoto é considerado por Lillesand & Kiefer (1994), como a ciência e a arte de obter informações sobre objetos, áreas ou fenômenos que ocorrem sobre a superfície terrestre, os quais são transformados em dados e permitem realizar as mais diversas análises.

Pode-se afirmar que o Sensoriamento Remoto não deve ser compreendido apenas como um simples imageamento da superfície terrestre, uma vez que ele permite realizar análises mais complexas. Nesse intuito, Menezes & Madeira Netto (2001, p. 11), referindo-se ao Sensoriamento Remoto ressalta que:

“Esses “olhos” conseguiram superar a visão do homem, estendendo a sua capacidade de identificar os objetos terrestres muito além dos comprimentos de onda da luz normalmente percebidos. Com as imagens, tomadas em bandas espectrais, contidas no visível, no infravermelho refletido, no infravermelho termal e no domínio das microondas, a superfície terrestre, coberta pela vegetação, pelos afloramentos de rochas, pelos solos e corpos d’água, passou a ser identificada com formas que desconhecíamos.”

Para Erbert (2001) a utilização de dados de Sensoriamento Remoto para trabalhos técnicos ou para pesquisas demanda o conhecimento de quatro características essenciais, as quais são mais conhecidas como resoluções (temporal, espacial, espectral e radiométrica).

A resolução temporal corresponde ao intervalo de tempo que o sensor remoto leva para a tomada de dados sobre a mesma superfície, considerando duas datas distintas. No caso dos satélites de órbita polar a resolução espacial é resultado da combinação dos movimentos de rotação da terra e órbita do satélite, para satélites geoestacionados ou dirigidos a resolução temporal depende do operador. Quanto menor o tempo que o satélite leva para imagear a mesma superfície, melhor sua resolução temporal (ERBERT, 2001). A figura 1 apresenta uma ilustração de um satélite com órbita polar em volta a Terra.

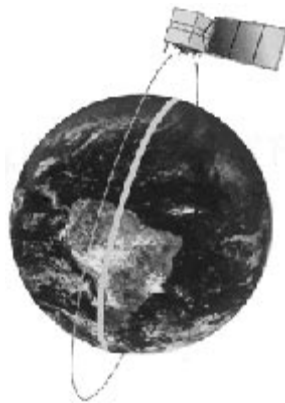


Figura 01 - Órbita Polar de Satélites.
Fonte: INPE, 2005.

A resolução espacial diz respeito a menor porção da superfície terrestre identificada durante a tomada dos dados pelo sensor remoto, a extensão dessa superfície é determinada pelo campo de visada instantâneo (IFOV – *Instantaneous Field of View*). A extensão da resolução espacial sobre o produto ou imagem final corresponde a célula ou pixel. Quanto menor a superfície do terreno representada em um pixel, melhor a resolução espacial da imagem; quanto maior a área do

terreno representada em um pixel, menor a resolução espacial (ERBERT, 2001). Uma ilustração sobre a resolução espacial sobre a imagem é tratada por Andres (2005, p. 23), onde o autor ampliou uma imagem do sensor CCD (Câmara de Alta Resolução) do CBERS (Satélite do convênio entre Brasil e China). A ilustração encontra-se na figura 2.

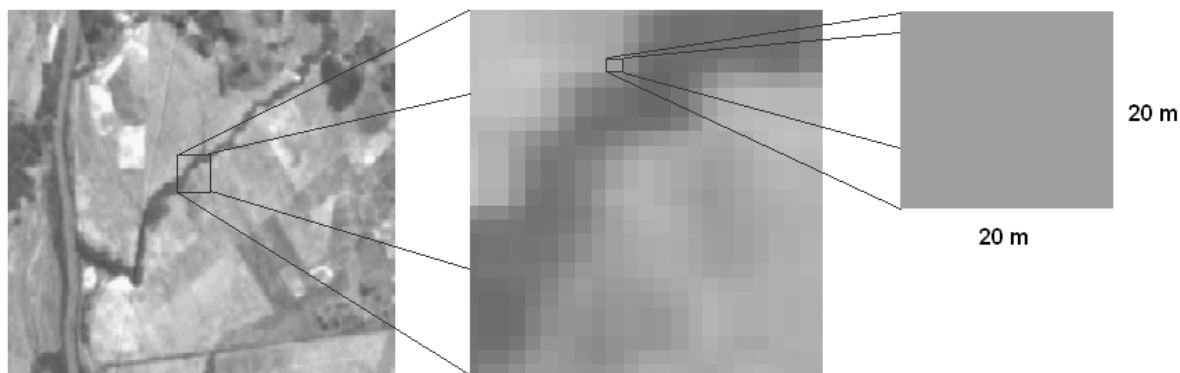


Figura 02 - Resolução Espacial do Sensor CCD do Satélite CBERS.
Fonte: Andres, 2005.

A resolução espectral diz respeito a capacidade que o sensor remoto possui de individualizar a energia eletromagnética refletida pelos objetos em canais de captação do espectro eletromagnético. Os canais de captação podem estar na faixa dos comprimentos de onda visíveis ao olho humano (380 a 740 nm), no infravermelho próximo (740 a 3.000 nm), no infravermelho médio (3.000 a 7.000 nm) e no infravermelho termal (7.000 a 15.000 nm). Quanto maior o número de canais de captação se diz que o sensor possui melhor resolução espectral, quanto menor o número de canais, menor a resolução espectral (ERBERT, 2001). Para exemplificar a resolução espectral do sensor CCD do satélite CBERS, elaborou-se o quadro 1.

Bandas	Intervalo de Comprimento de Onda (nm)
1	510 – 730
2	450 – 520
3	520 – 590
4	630 – 690
5	770 – 890

Quadro 01 - Resolução Espectral do Sensor CCD do Satélite CBERS.
Fonte: INPE, 2005.

A resolução radiométrica é definida pela capacidade dos sensores em individualizar valores digitais nas células de uma imagem, os valores digitais são

quantificados por números digitais, os quais variam de acordo com cada sensor. Quanto maior a quantidade de números digitais em uma imagem, melhor a resolução radiométrica; quanto menor a quantidade de números digitais, menor a resolução radiométrica do sensor (ERBERT, 2001). Esses valores digitais, no momento da apresentação final das imagens, são convertidos em cores ou tons de cinza, no primeiro caso obtêm-se imagens coloridas, no segundo imagens em preto e branco. Em geral os sensores possuem 8 bits de resolução espectral, o que resulta em 256 números digitais que variam de 0 a 255, os sensores dos satélites Quick Bird e Ikonos possuem atualmente as melhores resoluções radiométricas (11 bits ou 2.048 números digitais).

Os produtos finais do Sensoriamento Remoto podem ser imagens na cor visível ao olho humano, ou imagens em falsa cor. A cor visível ao olho humano é resultado da composição das bandas espectrais ou canais de captação de acordo com o comprimento de onda da cor correspondente. As imagens falsa cor são obtidas pela inversão das cores nos canais de captação, ou mesmo, pela atribuição de cores aos canais de captação no infravermelho próximo, infravermelho médio e infravermelho termal (ROCHA, 2000).

Frente as inúmeras análises que o Sensoriamento Remoto oferece, o diagnóstico do uso da terra é apenas uma de suas aplicações. Ao se compor uma imagem na cor visível ao olho humano é possível realizar a seleção manual das classes de uso da terra, uma vez que as cores dos objetos diretamente no terreno são as mesmas que se apresentam na imagem final, essa técnica também pode ser realizada em imagens falsa cor. Essa forma de individualizar as classes de uso da terra é denominada de classificação manual, a qual possui vantagens devido a maior precisão nos resultados, e desvantagens devido ao tempo que a sua execução demanda (BORGES *et al*, 2003).

Uma prática cada vez mais presente no campo de estudo do Sensoriamento Remoto é a classificação digital, a qual consiste na seleção manual de amostras sobre cada uma das classes de uso da terra, e após isso, o aplicativo computacional individualiza automaticamente todas as classes na extensão da imagem. A classificação digital possui vantagens pela rapidez na execução e desvantagens por ser menos precisa que a classificação manual (ROCHA, 2000).

2.1.2 Geoprocessamento

Ao se tratar sobre conceitos e teorias do Geoprocessamento deve-se rever as definições sobre os Sistemas Geográficos de Informações, tendo em vista que qualquer tipo de processamento de informações espaciais ocorre em um SGI. De maneira simples, Assad & Sano (1998) trata os Sistemas Geográficos de Informações como sistemas computacionais que são responsáveis pelo tratamento e processamento de dados geográficos, já para Rocha (2000) ele constitui-se em um sistema capaz de armazenar, processar e apresentar informações espaciais, com determinado objetivo.

Os Sistemas Geográficos de Informações armazenam a representação gráfica de dados espaciais, ou seja, dados que possuem referência em relação a superfície terrestre numa determinada projeção cartográfica, e ainda, possibilitam associar atributos não espaciais relacionados aos mesmos (BURROUGH & MACDONNELL, 1998). Nesse mesmo intuito, Mello Filho (2003) ressalta que o SGI permite trabalhar com dados geográficos (espaciais) e não geográficos (metadados), os metadados são relacionados aos dados espaciais por meio de geocódigos, o que possibilita acessar os metadados a partir dos dados espaciais, bem como elaborar mapas temáticos a partir de tabelas alfanuméricas.

Ao se considerar que o SGI permite a espacialização de dados não geográficos (metadados), pode-se dizer que o sistema os transforma em dados geográficos (espaciais). Nesse intuito, Veiga *in* Xavier-da-Silva (2004) define que “os Sistemas Geográficos de Informações são ferramentas que manipulam objetos (ou feições geográficas) e seus atributos (ou registros que compõem um banco de dados) através do seu relacionamento espacial (topologia)”.

O Geoprocessamento constitui-se no processamento digital de dados referenciados geograficamente, ou seja, processamento entre planos de informação em um Sistema Geográfico de Informações (VEIGA *in* XAVIER-DA-SILVA, 2004). Ao se analisar o sentido etimológico da palavra Geoprocessamento, geo significa Terra e processamento o ato de processar, assim, seu significado é processamento de informações da Terra (superfície terrestre).

Apesar da difusão do Geoprocessamento, muitos pesquisadores ainda o vêem como uma simples técnica de elaboração de mapas digitais, ou mesmo, como uma simples técnica de cruzamento de mapas, porém a sua aplicação permite

análises além da simples espacialização de fenômenos. Por meio do Geoprocessamento é possível extrair informações intrínsecas aos objetos e acontecimentos sobre a superfície terrestre, as quais permitem o planejamento e gestão do espaço composto pelo homem e pelo meio físico (espaço geográfico). Nesse sentido, Mello Filho (2003) define o Geoprocessamento:

“compreende-se Geoprocessamento como uma área do conhecimento científico que emprega os fundamentos conceituais e temáticos da Geografia, por meio da aplicação sistemática de técnicas matemáticas e computacionais, para tratamento e manejo de dados e informações, com o objetivo de entender os fenômenos da natureza e propiciar ao homem as mais adequadas tomadas de decisão sobre questões ambientais”.

O Geoprocessamento, além da técnica, possui fundamentos científicos, dentre os quais estão as análises finais e os fundamentos do ato de processamento. Dos fundamentos de processamento pode-se destacar a perspectiva Bayseana, a Lógica Nebulosa, a Teoria da Média Ponderada e a Lógica Booleana. Nesse trabalho serão abordadas as duas últimas.

A Média Ponderada constitui-se em um resultado final obtido após a atribuição de pesos para fatores e notas para os seus atributos, a qual se difere da Média que apenas considera o somatório de todos os fatores. A utilização da Média Ponderada no Geoprocessamento se dá no processo de avaliação, na qual são atribuídos pesos para os planos de informação e notas para cada uma de suas classes (MELLO FILHO, 2003). A Teoria da Média Ponderada em Geoprocessamento torna-se mais clara por meio da figura 3.

$$MP_n = \sum_k^n [P_k (N_k)] / \sum_k^n P_k$$

Figura 03 – Média Ponderada.
Fonte: Mello Filho, 2003.

Na figura 3, o “MP_n” significa média ponderada, “P_k” o peso atribuído ao plano de informação, “N_k” a nota atribuída a classe e “n” o número de planos de informação do processamento. A avaliação permite considerar todos os aspectos ambientais e suas intensidades para realizar prospecções ou prognósticos ambientais, esses prognósticos definem as áreas de risco ou de potencial (LAGEOP,

1999). Como exemplo, avaliações de áreas de potencial para a expansão urbana, de potencial para expansão agrícola, de risco de enchentes, risco de deterioração do solo, entre outros. Na figura 4 pode-se visualizar o ambiente de avaliação do Sistema de Análise Geo-Ambiental (SAGA¹), onde são atribuídos os pesos para os planos de informação e notas para suas categorias.

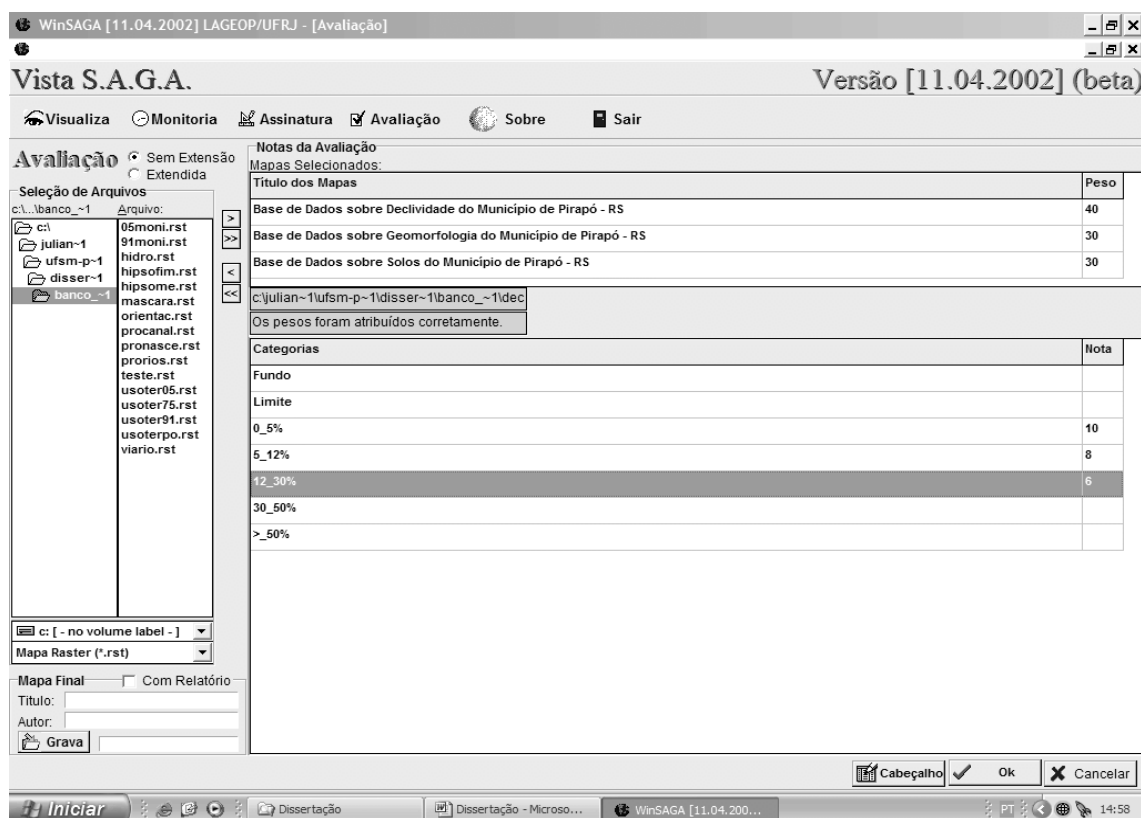


Figura 04 – Ambiente de Avaliação do Aplicativo SAGA.

A Lógica Booleana, também conhecida como teoria dos conjuntos, baseia-se em quatro regras algébricas: *and*, *not*, *or*, *xor*. Por meio dessas regras é possível realizar inclusões ou exclusões de polígonos, sendo possível desenvolver diversas análises de Geoprocessamento (BURROUGH & MACDONNELL, 1998). A figura 5 exemplifica as análises possíveis pela Lógica Booleana.

¹ SAGA é o Sistema de Análise Geo-Ambiental desenvolvido pelo Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

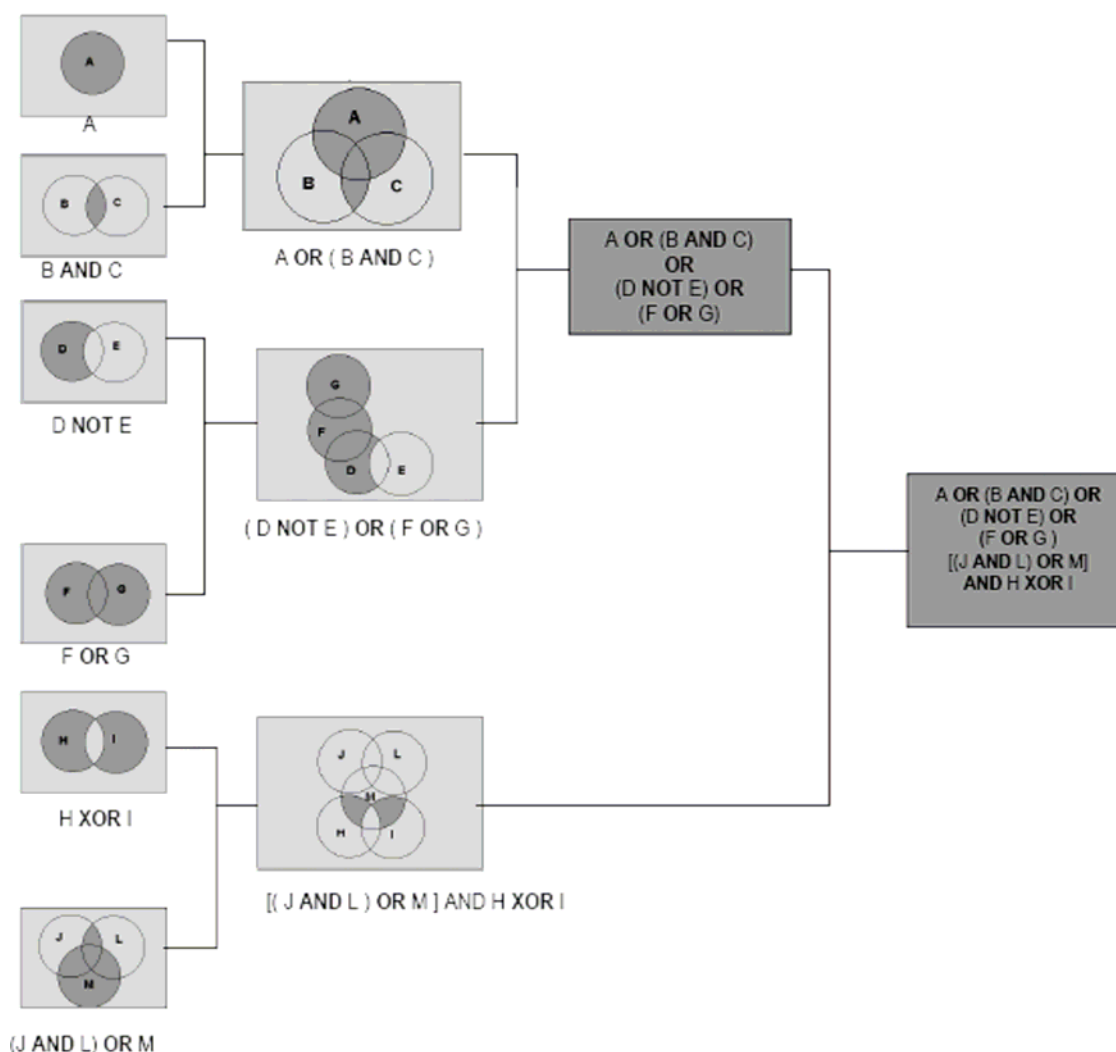


Figura 05 – Lógica Booleana.
Fonte: Burrough, 1990.

O processo de monitoria baseia-se na Lógica Booleana para fazer as análises: por meio da regra *and* a monitoria espacializa as áreas que “permaneceram” e pela regra *or* as áreas que “deixaram de ser” e que “tornaram-se”. A monitoria tem a finalidade de realizar o monitoramento da evolução de um evento ou fenômeno sobre a superfície terrestre ao longo do tempo, a qual auxilia no conhecimento de modificações e pode apoiar na busca de soluções para problemas que possam ter surgido (COSTA *in* XAVIER-DA-SILVA, 2004). Um exemplo de aplicação da monitoria é a verificação da expansão de áreas de lavoura em duas épocas distintas: serão verificadas áreas que eram lavouras e “deixaram de ser” lavouras nesse intervalo de tempo, áreas que eram lavouras e “permaneceram” sendo lavouras, e áreas que não eram lavouras e “tornaram-se” lavouras entres as duas épocas. A figura 6 mostra o ambiente de monitoria do aplicativo SAGA.

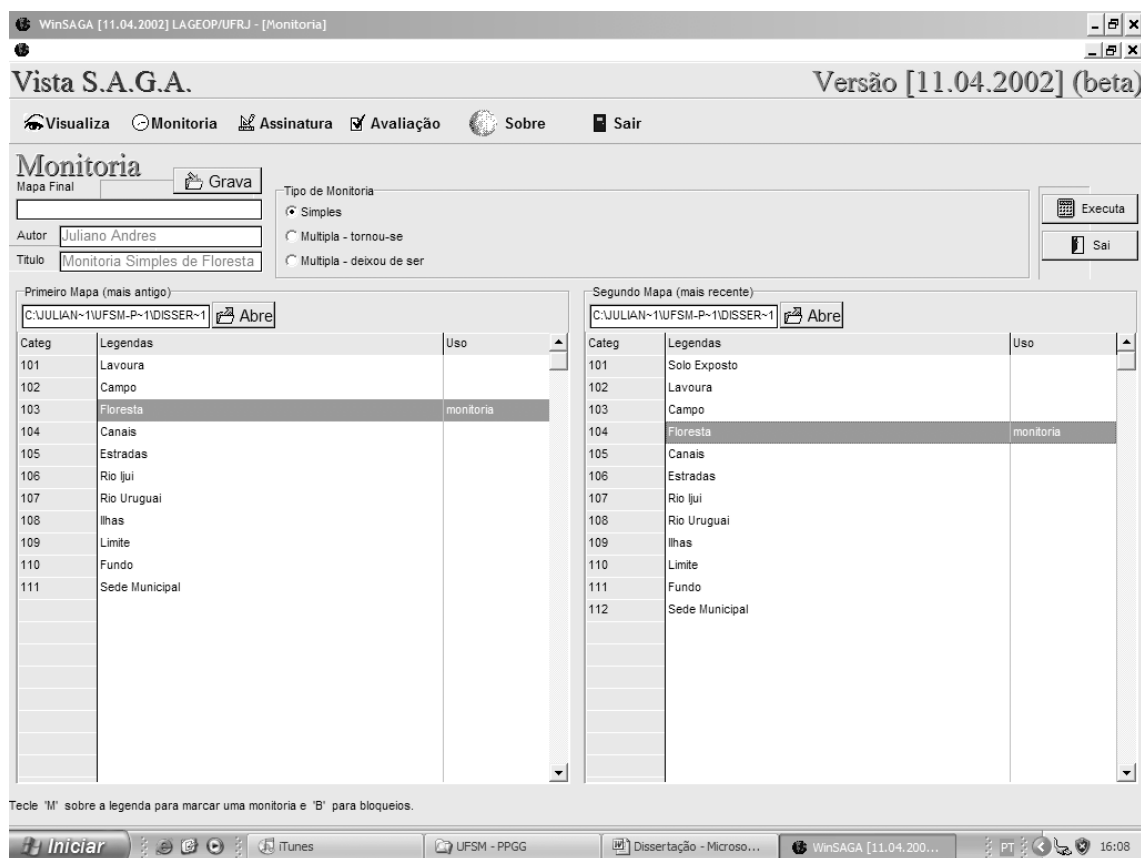


Figura 06 – Ambiente de Monitoria do Aplicativo SAGA.

Outro processamento, não abordado pela Média Ponderada e pela Lógica Booleana, é a assinatura, a qual diz respeito a leitura digital do número de células de determinada matriz matemática, em outras palavras, é a contagem do número de pixels contidos em uma imagem no formato raster. Por meio da leitura digital e da resolução espacial é possível quantificar as ocorrências de cada uma das classes dos planos de informação. Por tanto, a assinatura permite a análise quantitativa dos dados, além da análise espacial obtida por outros processamentos (COSTA *in* XAVIER-DA-SILVA, 2004).

As análises de avaliação, monitoria e assinatura podem ser realizadas por meio de dados vetoriais ou matriciais. A vantagem de se utilizar dados vetoriais é a precisão dos dados no momento do processamento, porém a precisão torna-se nula no momento da sua transformação em imagem ou da sua impressão. Já os dados matriciais são menos precisos no momento do processamento, porém não perdem qualidade de imagem na apresentação final, além disso, a análise desses ocorre célula a célula, o que diminui a possibilidade de erro por parte do sistema (BURROUGH & MACDONNELL, 1998).

Ao se trabalhar com Geoprocessamento é necessário o conhecimento das quatro escalas de abordagem: de razão, de intervalo, ordinal e nominal. A escala de razão está ligada as operações numéricas, por meio da qual são quantificados os fenômenos atribuindo-se números: nas contagens (população), na quantidade (peso), na extensão (área), e na alteração (velocidade); a ausência de qualquer ocorrência é quantificada pelo número zero. A escala de intervalo também realiza operações numéricas, porém nessa são definidos intervalos de ocorrências, o que resulta em classes. As duas escalas tratadas nesse parágrafo são utilizadas com maior freqüência no Geoprocessamento (MELLO FILHO, 2003).

Na escala ordinal são hierarquizadas as ocorrências, organizando-as de acordo com a ordem de importância, nela está indefinido o valor e a extensão dos intervalos. A escala nominal não visa a quantificação de categorias, assim, permite apenas agrupar as entidades ambientais por similaridade, localização, forma, extensão ou funcionamento, por esse motivo essa escala é a que tem menor poder de manipulação de dados. Enquanto que as escalas de razão, de intervalo e ordinal possuem caráter quantitativo, a escala nominal possui apenas caráter qualitativo (MELLO FILHO, 2003).

A execução do Geoprocessamento pode ser dividida basicamente em três etapas, as quais podem ser sub-divididas em sub-etapas: Pré-Geoprocessamento (coleta de dados), Geoprocessamento (tratamento e manipulação dos dados), e Pós-Geoprocessamento (análise e apresentação de informações ou resultados). A etapa de Pré-Geoprocessamento, também conhecida como coleta de dados, diz respeito a investigação, organização e aquisição de dados, essa etapa pode ser considerada a mais complexa, uma vez que esses dados encontram-se em meio digital (mapas digitais, fotografias aéreas digitais, imagens de satélite e planilhas alfanuméricas) ou em meio analógico (mapas, aerofotogramas, textos e tabelas) (PEREIRA JUNIOR *in* XAVIER-DA-SILVA, 2004).

A fase de Pré-Geoprocessamento compreende, também, a construção da base cartográfica georreferenciada, a qual necessita de boa precisão, pois sobre a mesma serão inseridos e espacializados todos os demais dados (analógicos e digitais) da pesquisa (MELLO FILHO, 2003). A elaboração dessa base cartográfica no meio digital pode ser realizada pela utilização de cartas topográficas desenvolvidas pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) ou pela DSG (Divisão de Serviço Geográfico) do Exército, as quais se encontram nas

escalas 1:100.000, 1:50.000 e, para algumas regiões, 1:25.000. Elas possuem boa confiabilidade devido a serem elaboradas por meio de restituição aerofotogramétrica, além de possuírem referência espacial. Algumas cartas topográficas encontram-se em meio digital, o que facilita o trabalho do pesquisador. Quando as cartas estão em meio analógico, necessitam de conversão para o meio digital para que possam ser inseridas no sistema. A base cartográfica deve ser georreferenciada por meio de pontos coletados pelo Sistema de Posicionamento por Satélite ou pelas próprias coordenadas da carta topográfica.

O Pré-Geoprocessamento torna-se rápido se os dados necessários estiverem no formato digital, desse modo, basta realizar o ajuste espacial dos mesmos a partir da base cartográfica. Porém, se os dados estiverem em formato analógico, essa etapa pode tornar-se trabalhosa, pois eles necessitam de digitalização para serem inseridos ao sistema em que se encontra a base cartográfica. O processo de digitalização pode ser dividido em manual ou automático (MELLO FILHO, 2003).

A digitalização manual é realizada via mesa digitalizadora, onde são tomados pontos de apoio para o georreferenciamento, e após, são registrados os pontos, linhas e polígonos dos dados analógicos sobre a mesa. Nesse caso, todos os dados são registrados no formato vetorial e não se torna necessária a sua modificação. A digitalização automática consiste na escanerização dos dados analógicos, os quais são georreferenciados diretamente no sistema, nesse caso pode-se trabalhar com os dados em formato raster (formato da imagem de escanerização) ou proceder com a digitalização em tela (ROCHA, 2000).

A segunda etapa, de Geoprocessamento propriamente dito, compreende o tratamento e a manipulação dos dados, ela inicia no momento em que todos os dados estiverem organizados na forma de planos de informação em um mesmo sistema. A partir dos dados é possível realizar várias análises espaciais, as quais podem ser classificadas em diagnósticos e prognósticos, os diagnósticos compreendem a análise de dados para compreender o passado e o presente, enquanto que os prognósticos utilizam dados para simular situações ideais ou futuras (PEREIRA JUNIOR *in* XAVIER-DA-SILVA, 2004). De posse dessas análises espaciais é possível entender os fenômenos que ocorrem, e a partir deles, tomar as decisões necessárias para planejar e gerenciar o ambiente (MELLO FILHO, 2003).

As formas de análise espacial por Geoprocessamento são as mais diversas e numerosas, porém esse trabalho utiliza três: a monitoria que consiste na análise de dados ao longo do tempo e está baseada na Lógica Booleana; a avaliação que busca avaliar áreas de risco e potencial e está alicerçada na Média Ponderada; e ainda, a assinatura que busca a contagem das células de matrizes nas imagens para a quantificação de ocorrências.

A última etapa consiste no Pós-Geoprocessamento, que equivale a apresentação dos diagnósticos e prognósticos, bem como as conclusões sobre os mesmos (PEREIRA JUNIOR *in* XAVIER-DA-SILVA, 2004). O autor Mello Filho (2003) divide a exibição dos resultados em duas formas: na apresentação de mapas, tabelas e relatórios diretamente ao público alvo; na saída de arquivos digitais para serem transferidos e lidos em outros sistemas, e assim servirem para outras análises de Geoprocessamento.

Na apresentação dos resultados ou Pós-Geoprocessamento, os dados passam a serem tratados pela terminologia informações. As informações, conforme Pinto & Lombardo (2000), são o elo entre a pesquisa e seu público alvo (setores de planejamento e população envolvida), nessa etapa o pesquisador apresenta os mapas e relatórios finais (resultados), bem como expõe suas conclusões a cerca de seu trabalho.

2.1.3 Aplicações de Geotecnologias no Estudo do Uso da Terra

Os estudos sobre Geotecnologias aplicadas ao uso da terra têm sido largamente utilizados em pesquisas no mundo inteiro, porém se percebe que a diversidade delas não é muito visível. A maior parte dos pesquisadores utiliza o Sensoriamento Remoto para diagnósticos do uso da terra e o Geoprocessamento para monitorar mudanças do uso da terra ao longo de um intervalo de tempo, definido por duas datas distintas.

Nesse sentido, Liu & Tiam (2005) realizou um processo de monitoria entre os anos de 1990 e 2000 em parte do território chinês, na qual o autor utilizou imagens do satélite LandSat (Land Remote Sensing Satellite) das duas datas para os diagnósticos de uso da terra, e após, espacializou as mudanças pelo processo de monitoria. O autor coloca algumas limitações durante a análise, tal como, a

resolução espacial de 30 metros dos sensores do satélite, além das mudanças mais significativas terem ocorrido na década de 80, não sendo observável muitas mudanças no período em análise. Pela pesquisa concluiu-se que as maiores mudanças ocorreram no norte da área de análise e no norte de Xinjiang.

Outra pesquisa sobre monitoramento foi realizada por Andrade (2004), onde a análise foi realizada no semi-árido do Ceará. No estudo foram utilizadas imagens do sensor TM do satélite LandSat 5 dos anos de 1985 e 1994 para diagnosticar o uso da terra nessas duas datas. Após o autor aplicou técnicas de monitoria para espacializar as mudanças ocorridas. No mesmo estudo, é ressaltada a importância de se preocupar com a cobertura vegetal, pois o uso da terra é fator determinante nos processos de deterioração do solo, assim a proteção e conservação de recursos naturais é indispensável no equilíbrio entre homem e meio. Nessa pesquisa foi constatado que as áreas de vegetação nativa diminuíram drasticamente, sendo que as áreas de desmatamento e solo exposto aumentaram nesse período. Foi possível concluir que nesse período o uso da terra contribuiu para a deterioração do solo no semi-árido cearense.

Uma pesquisa sobre conflitos de uso da terra foi desenvolvida por Calheiros (2000). A autora observou que o litoral sul de Alagoas possuía grandes extensões de cultivo de cana-de-açúcar e exploração de côco, as quais passaram a ser utilizadas para o turismo, assim, a sua pesquisa utilizou técnicas de Geoprocessamento para definir as áreas de conflito entre usos da terra para a agricultura e para o turismo. Através do levantamento do uso da terra, pela aplicação do Geoprocessamento, utilização de imagens de satélite LandSat 5 e de cartas temáticas existentes e outras elaboradas durante a pesquisa, Calheiros (2000) observou que o turismo provocou grandes mudanças na ocupação do solo nessa área, a qual tradicionalmente sempre foi explorada apenas pela agricultura. Essas mudanças geraram um conflito social, assim, é necessário um planejamento para que seja possível consorciar o uso agrícola com o uso turístico.

Uma análise de avaliação de uso da terra potencial pelo Geoprocessamento foi desenvolvida por Fujihara (2002) na microbacia hidrográfica do ribeirão Itambi, no estado de São Paulo. O autor coloca que o Geoprocessamento foi fundamental para a espacialização e para as análises do trabalho. Por meio de diagnósticos do meio físico (solo, topografia e processos erosivos) o autor realizou o prognóstico de uso da terra potencial, o qual se baseou na Classificação Americana com classes de I a

VIII. A maior parte do território teve potencial para pastagem, uso que predomina na microbacia pela verificação a campo. As explicações para os processos erosivos acentuados estariam no manejo inadequado das áreas de criação de gado, o que evita a proteção do solo pela cobertura vegetal das gramíneas.

Na República Costa do Marfim, oeste africano, desenvolveu-se uma pesquisa tratando sobre avaliação de geopotencialidade agroterritorial pelo Geoprocessamento. Esse trabalho, desenvolvido por Kouakou (XAVIER-DA-SILVA & ZAIDAN, 2004), buscou considerar tanto os aspectos do meio-físico, quanto os humanos, para elaborar zoneamentos de potencial do uso da terra e apontar áreas de incongruências do uso da terra (conflitos). O autor considerou que esse país sofreu muitas mudanças na ocupação das terras devido o aumento da população, assim, os solos passaram a ser utilizados de forma intensiva, o que gerou a deterioração do mesmo em muitas porções. Ao final da pesquisa, conclui-se que o Geoprocessamento possibilitou um zoneamento eficaz para a utilização das terras, além de apontar as áreas que estão sendo utilizadas de forma mais intensiva que o recomendado.

2.2 Uso da Terra e Deterioração do Solo

O uso da terra consiste na relação entre a camada da litosfera denominada solo e os atributos naturais e antrópicos sobre ele contidos. O solo constitui-se em fator determinante para a vida na superfície terrestre, pois dele provém os alimentos para plantas, animais e para o próprio homem. Com essas considerações, Lepsch (2002), aponta que cientistas têm se preocupado cada vez mais com a utilização desse recurso natural, pois quando seu uso é desordenado pode resultar na sua deterioração, e por conseqüência, na deterioração do ambiente. Nesse intuito Lepsch (2002) coloca que cada pesquisador estuda o solo sobre um olhar diferente:

Geólogos podem entendê-lo como parte de uma seqüência de eventos geológicos no chamado ciclo geológico. Para o Engenheiro de Minas ele é mais um material solto que cobre os minérios e que necessita ser removido. O Engenheiro de Obras, normalmente, considera-o como parte da matéria-prima para a construção de aterros, estradas, barragens e açudes. Químicos podem considerá-lo como a porção de material sólido que pode ser analisado em todos os seus constituintes elementares. Físicos o vêem como uma massa de material cujas características mudam em função de

variações de temperatura e conteúdo. Para o historiador e arqueólogo ele é um gravador do passado.

Para Marques (1971) o uso da terra consiste no conjunto formado pelo solo e os atributos sobre ele contidos, onde o autor considera o solo como a camada da litosfera que contém matéria viva, e suporta, ou tem a capacidade de suportar os seres vivos; e os atributos como as coberturas vegetais, o uso natural, o clima, a topografia e a presença ou ausência de atividades antrópicas.

O aumento significativo da população e a busca de recursos para a sobrevivência fizeram com que o recurso solo fosse cada vez mais explorado, ocasionando o seu desgaste físico. Na região Sul do Brasil, o uso de práticas inadequadas (desmatamento, queimadas e mobilização) fez com que muitas áreas fossem praticamente inutilizadas para a exploração agrícola (SOUZA CRUZ, 2006). Um exemplo pode ser visto na figura 7, a qual apresenta um solo totalmente deteriorado.



Figura 07 – Solo Deteriorado.
Fonte: Souza Cruz, 2006.

Relatos comprovam que os solos são exploradas há aproximadamente 9.000 anos, quando o homem passou a se fixar em locais da superfície para retirar recursos pela sua exploração. Um dos fatores da deterioração do solo é o processo de experimentação, tendo em vista que não se planeja o uso da terra antes da exploração do solo, isso leva tanto a insucessos nos empreendimentos agrícolas, quanto a danos ambientais (AZEVEDO & DALMOLIN, 2004).

No meio natural, os recursos consistem em sistemas que devem manter um determinado equilíbrio entre entrada e saída de energia, caso ocorra o desequilíbrio passa a haver deterioração do recurso e de todo o ambiente. Desse modo, o recurso solo mantém o equilíbrio pelos processos de intemperismo (formação de solos) e de erosão e lixiviação (perda de solos). Pelo equilíbrio entre formação e perda de solos é que se mantém a camada responsável por dar suporte as plantas, aos animais e ao homem (ROSS, 1997).

O intemperismo, responsável pela formação de solos, constitui-se em um processo lento, o qual pode levar milhares ou milhões de anos para formar uma pequena camada de 10 centímetros de solo. O intemperismo pode ser dividido em três grupos quanto ao seu processo: físico, químico e biológico. O intemperismo físico ocorre em diversos locais com características diferentes: nos locais com gradiente térmico anual elevado ocorre pela cristalização de sais, pois no momento da precipitação os sais são transportados e depositados nas fendas das rochas, onde cristalizam e se dilatam, provocando a desagregação de partes da rocha; nos locais com baixas temperaturas em algumas épocas do ano (abaixo de 0° C) ocorre pela congelação ou gelividade, pois a água depositada em fendas de rochas congela e expande seu volume, provocando a desagregação de partículas; nos locais com gradiente térmico diário elevado ocorre pela esfoliação esferoidal, a dilatação e contração da rocha devido ao calor seguido do frio fazem com que a rocha sofra esfoliação de fragmentos; nos locais de turbilhonamento da água durante o escoamento ocorre o marmitamento das rochas (GUERRA & CUNHA, 2003).

O intemperismo químico ocorre pela perda de minerais contidos na rocha devido a reações com soluções aquosas, dentre os quais pode-se citar a oxidação, a dissolução ou carbonação, a hidratação e a hidrólise. O intemperismo biológico ocorre devido a influências de pequenas plantas (fixação de líquens e musgos em torno das rochas que facilitam as reações químicas) e grandes plantas (fixação de raízes que ocasionam a desagregação de partes das rochas), as quais contribuem significativamente para a formação dos solos (GUERRA & CUNHA, 2003).

A erosão e a lixiviação, responsáveis pelas perdas de solos, são processos lentos que podem se acelerar com intervenções antrópicas, os quais podem levar poucos anos para a perda de uma camada de 10 centímetros de solo. A lixiviação ocorre durante a infiltração da água precipitada no solo, a qual pode carregar partículas e nutrientes do mesmo, provocando a deterioração do solo e a

contaminação dos lençóis freáticos; quanto mais porosos os solos, estão mais suscetíveis ao processo de lixiviação (GUERRA & CUNHA, 2003).

A erosão é o processo que possui influências mais significativas na perda de solo, ela é responsável pela desagregação, transporte e arrastamento de partículas do solo sobre a superfície, sendo classificada em eólica e hídrica. A erosão eólica ocorre pela remoção e transporte de partículas do solo pelo vento, a qual é mais significativa em áreas desprovidas de cobertura vegetal, ou mais conhecidas como de solo exposto. A erosão hídrica é provocada pelas ações da água durante a precipitação e o escoamento: desagregação de partículas do solo pelas gotas de chuva, desagregação de partículas pelo escoamento, e carregamento de partículas pelo escoamento; essa erosão pode ser classificada em laminar, em ravina ou em voçoroca: a erosão laminar inicia pelo impacto das gotas de chuva diretamente sobre o solo e continua no escoamento superficial da água uniformemente sobre a litosfera, a erosão em ravinas ocorre quando a mistura de água e de sedimentos atinge uma velocidade maior e passa a formar pequenos canais, e a erosão em voçorocas ocorre pelo aprofundamento do vale da ravina (GUERRA & CUNHA, 2003).

O equilíbrio entre perda e formação de solo decorre de processos naturais, os quais podem ser modificados pela ação antrópica, assim, tornam-se necessários cuidados na exploração do solo para que os processos de erosão e lixiviação não sejam mais intensos que os processos de intemperismo. Se não houver um planejamento para o uso da terra, pode haver um desequilíbrio no sistema formado pelo recurso solo, resultando na deterioração do mesmo, o que irá afetar o ambiente (LEPSCH, 2002).

Devido a deterioração do solo estar diretamente ligada ao uso da terra, Lepsch (2002, p. 173) mensurou a intensidade do uso da terra em oito níveis ou classes:

- 1 - vida silvestre e ecoturismo
- 2 - reflorestamento
- 3 - pastoreio moderado
- 4 - pastoreio intensivo
- 5 - cultivo restrito
- 6 - cultivo moderado
- 7 - cultivo intensivo
- 8 - cultivo muito intensivo com solo exposto

Pela análise do autor, quanto maior o número atribuído, maior é a intensidade do uso e maior é sua influência sobre os processos erosivos. Desse modo, as áreas de vida silvestre e ecoturismo são as menos suscetíveis a deterioração do solo, enquanto que as áreas de cultivo com solo exposto possuem altíssimo risco.

Nesse mesmo intuito, Lepsch (2002) desenvolveu novos estudos visando a influência de fatores naturais e antrópicos sobre os processos de deterioração dos solos, para isso o autor submeteu o mesmo tipo de solo em características semelhantes, porém com diferentes intensidades de uso da terra. Para o estudo utilizaram-se áreas de mata (vida silvestre e ecoturismo), de pastagem (pastoreio moderado), de cafezal (cultivo restrito) e de algodão (cultivo intensivo). Os resultados da pesquisa apresentam-se na figura 8.

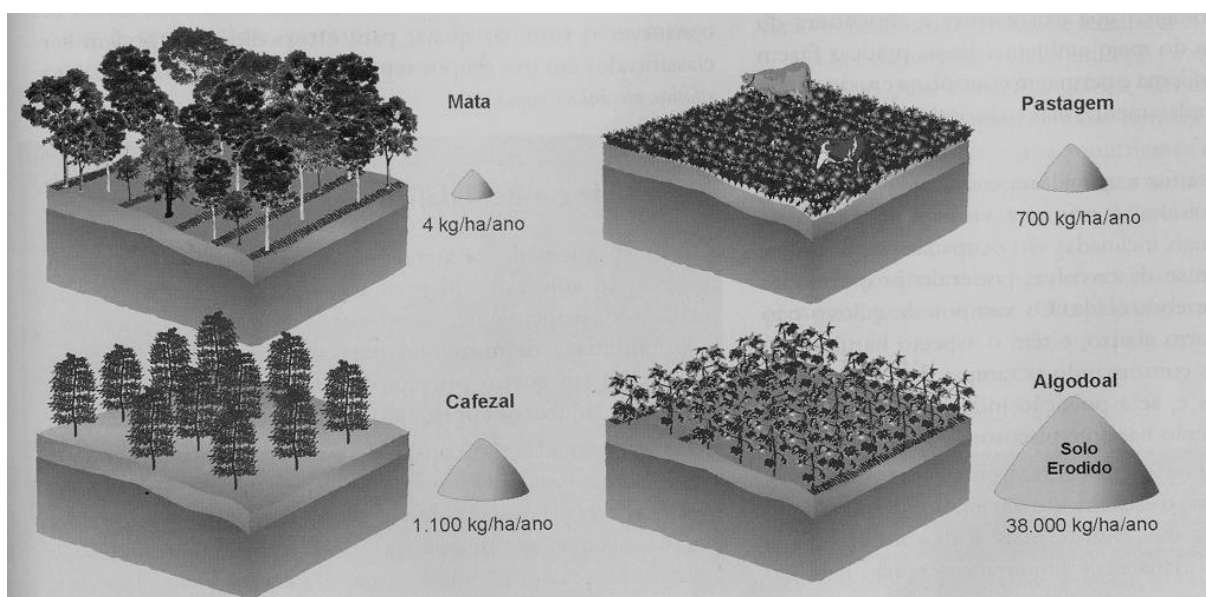


Figura 08 – Perdas de Solo Submetido a Diferentes Práticas de Uso da Terra.

Fonte: Lepsch, 2002.

Segundo a figura 8, proposta por Lepsch (2002), as áreas de mata perdem em torno de 4 kg de partículas de solo ou nutrientes ao ano, as áreas de pastagem cerca de 700 kg, as áreas com cultivo de café 1.100 kg e as áreas com cultivo de algodão podem perder até 38.000 kg de solo ao ano. Dessa modo, ficam evidentes as influências que uso da terra exerce sobre os processos de deterioração do solo e do ambiente.

Para comprovar a grande massa de solos perdida pelo uso intensivo da terra basta observar a figura 9, a qual consiste em uma imagem na composição visível ao

olho humano (BGR-123) do sensor TM do satélite LandSat, onde se percebe os sedimentos em suspensão que são carregados pela bacia hidrográfica do Rio Guaíba, passam pela Laguna dos Patos e são depositados no Oceano Atlântico.



Figura 09 – Imagem Orbital da Ligação da Laguna dos Patos ao Oceano Atlântico.

As intervenções antrópicas sobre a natureza podem provocar conseqüências drásticas no que se refere a deterioração, pois como se observou o uso da terra de forma intensiva acelera os processos de deterioração do solo. Considerando que as lavouras temporárias são indispensáveis para a produção dos meios de subsistência, deve-se planejar quais locais podem ser destinados para usos da terra mais intensos no intuito de amenizar tais processos (ROSS, 1997). Esse planejamento de uso da terra constitui-se na avaliação do uso da terra potencial e na indicação de técnicas conservacionistas (plantio direto, terraços em nível e outros) para as áreas de usos mais intensos (MARQUES, 1971).

O processo de avaliação de uso da terra potencial considera vários aspectos: geologia e geomorfologia (ligadas ao tipo de rocha, as unidades de relevo e a espessura do solo), tipo de solo, nascentes (seus arredores não devem ser submetidos aos usos intensos para que elas não evoluam para voçorocas), declividade (áreas declivosas são mais susceptíveis a deterioração e devem ser submetidas a usos menos intensos), proximidades de canais (devem ser áreas de preservação ou recuperação ambiental para não haver assoreamento dos rios) entre outros aspectos. O uso da terra potencial indica a forma que o solo deve ser ocupado para provocar o mínimo de deterioração possível (MARQUES, 1971).

Para se realizar avaliações de uso da terra potencial os pesquisadores criaram classes, as quais se constituem em critérios para avaliar cada porção da superfície. Não existe uma única classificação de uso da terra potencial, pois cada região possui aspectos particulares no que refere ao meio natural, porém a Classificação Americana é a mais utilizada atualmente, sendo recomendada por autores como Marques (1971), Lepsch (1983), Emater (2000) e Lepsch (2002). A seguir são descritas as oito classes de uso da terra potencial com seus critérios de seleção:

- Classe I – terras com limitações muito pequenas no que diz respeito à suscetibilidade à erosão; solos profundos, produtivos, fáceis de serem trabalhados e quase planos; não suscetíveis a inundações; sujeitos à erosão por lixiviação (lavagem pela infiltração de água) e deterioração da estrutura (compactação).
- Classe II – terras com limitações moderadas apresentando pequenos riscos de degradação; áreas ligeiramente inclinadas ou excesso de água no solo; importante a aplicação de práticas conservacionistas simples.
- Classe III – terras com declives mais pronunciados correndo maior risco de erosão, portanto com maiores limitações; a sua utilização depende de técnicas de conservação.
- Classe IV – terras com severas limitações, pouco recomendáveis para usos mais intensos tal como agricultura; recomendável a utilização por pastagens ou florestas e lavouras apenas ocasionalmente e em pequenas áreas aliadas a práticas conservacionistas.
- Classe V – terras desfavoráveis para a agricultura; terreno quase plano pouco sujeito à erosão; terras com problemas de encharcamento ou com fragmentos de rochas na superfície.
- Classe VI – terras com sérias limitações com respeito à erosão; não devem ser utilizadas de forma intensa; recomendáveis apenas para florestamento, ou pastagens aliadas a técnicas de conservação.
- Classe VII – terras com limitações permanentes e severas, mesmo quando usados para pastagens e reflorestamento; áreas declivosas, erodidas, ressecadas ou pantanosas; aconselhável o reflorestamento onde a vegetação nativa foi retirada.
- Classe VIII – terras onde não é aconselhável lavoura, pastagem ou floresta comercial; devem ser reservadas para proteção da fauna e flora silvestre e recreação controlada; áreas declivosas, coroas de nascentes ou margens de canais fluviais

De acordo com as características locais, essas classes necessitam adequação para avaliar a potencialidade de uso da terra. Para Lepsch (2002) existem duas formas de classificação, uma *técnica* e outra *natural*: a classificação *técnica* leva em consideração o solo e seus atributos, a qual serve de base para o planejamento na utilização das terras, e se refere tanto ao uso atual como ao uso potencial; a classificação *natural* considera apenas a natureza do solo, considerando

a composição mineralógica e os horizontes para dividir as classes de solos. Já para Marques (1971) existem três formas de classificação:

- classificação de terras em termos de suas características intrínsecas ou físicas;
- classificação de terras em termos de seu uso atual e das características dela decorrentes;
- classificação de terras em termos de suas potencialidades para diferentes usos, como é o caso, por exemplo, da classificação de terras em termos das produções de milho, que possam ser esperadas com um determinado sistema de manejo dos solos.

Ao se analisar as propostas de classificação de Marques (1971) e Lepsch (2002), percebe-se determinada semelhança entre ambas. A primeira classificação proposta por Marques (1971) é semelhante à classificação *natural* proposta Lepsch (2002). A segunda classificação (diagnóstico de uso da terra atual) e a terceira classificação (prognóstico de uso da terra potencial) propostas por Marques (1971) assemelham-se a classificação *técnica* de Lepsch (2002). De posse dos oito níveis de intensidade de uso da terra atual e das oito classes de avaliação do uso da terra potencial, Lepsch (2002) elaborou uma tabela com o uso da terra recomendado para cada uma das classes de potencialidade, a qual pode ser vista no quadro 2.

Classes de capacidade de uso da terra	Nível de intensidade do uso da terra →							Retirada da superfície do solo
	Vida silvestre e ecoturismo	Reflorestamento	Pastoreio		Cultivo			
			Moderado	Intensivo	Restrito	Moderado	Intensivo	
I	X	X	X	X	X	X	X	X
II	X	X	X	X	X	X	X	
III	X	X	X	X	X	X		
IV	X	X	X	X	X			
V	X	X	X	X				
VI	X	X	X					
VII	X	X						
VIII	X							

Quadro 02 – Níveis de Intensidade de Uso da Terra e Classes de Capacidade de Uso da Terra.

Fonte: Lepsch, 2002.

Por meio do quadro 2 é possível realizar verificações pontuais para analisar se o uso da terra atual está conforme o recomendado (uso potencial), e caso não esteja, faz-se necessário o apontamento de conflitos do uso da terra, para isso basta adaptar a tabela de Lepsch (2002) conforme o quadro 3.

Classes de capacidade do uso da terra	Nível de intensidade do uso da terra →							Retirada da superfície do solo
	Vida silvestre e ecoturismo	Reflorestamento	Pastoreio		Cultivo			
			Moderado	Intensivo	Restrito	Moderado	Intensivo	
I								
II								X
III							X	X
IV						X	X	X
V					X	X	X	X
VI				X	X	X	X	X
VII			X	X	X	X	X	X
VIII		X	X	X	X	X	X	X

Quadro 03 – Conflitos entre Uso da Terra e Classes de Capacidade de Uso da Terra.

Pela análise do quadro 3 percebe-se que as áreas com maior número de conflitos sempre serão as de cultivo intensivo ou retirada da superfície do solo, enquanto que as áreas com vida silvestre e ecoturismo não possuem nenhum conflito, isso quer dizer que esse último uso pode ser desenvolvido em qualquer área.

Ao se realizar um planejamento de uso da terra adequado, com espacialização do uso da terra potencial e indicação de técnicas conservacionistas, os processos de deterioração do solo podem ser reduzidos drasticamente. Esse planejamento não pode ser pontual, e sim, regionalizado e que considere uma unidade ambiental (município, bacia hidrográfica ou ecossistema). O planejamento de uso da terra só terá valor se colocado em prática, desse modo, a gestão ou gerenciamento do uso da terra é tão importante quanto o seu planejamento (MARQUES, 1971).

3 METODOLOGIA

O presente capítulo trata a cerca da metodologia empregada no trabalho, o qual está estruturado em dois sub-capítulos: o primeiro diz respeito a caracterização geográfica da área de estudo, onde são revistos os aspectos naturais e humanos do município de Pirapó; na segunda parte são tratados os materiais e métodos empregados na pesquisa. Alguns aspectos tratados por Andres (2005) serão retomados, tendo em vista que essa pesquisa consiste em uma seqüência dos trabalhos iniciados no curso de especialização em Geomática.

3.1 Caracterização Geográfica da Área de Estudo

O território do município de Pirapó possui uma área de aproximadamente 292 Km², estando na média de extensão ao se considerar os demais municípios do Rio Grande do Sul. O município está localizado na macrorregião geográfica noroeste e na microrregião geográfica de Santo Ângelo (Missões) do estado do Rio Grande do Sul. A localização geográfica de Pirapó o insere no fuso UTM 21, que tem como meridiano central 57° de longitude oeste, entre as coordenadas planas da projeção Universal Transversa de Mercator E de 658.500 e 684.000 m e S de 6.881.800 e 6.905.300 m.

A população total do município é de 3.349 pessoas, segundo o Censo Demográfico 2000. Desse total, 712 pessoas moram na cidade, ou seja, apenas 21,26% da população é urbana, o que corresponde a uma das taxas de urbanização mais baixas dos municípios brasileiros (IBGE, 2000).

O município possui como limites políticos: ao norte o município de Roque Gonzales, ao leste o município de Dezesesseis de Novembro, ao sul o município de São Nicolau e a oeste o município de Concepción dela Sierra (República Argentina). Os aspectos políticos e de localização geográfica podem ser vistos na figura 10, a qual consiste no mapa do município adaptado por Andres (2005) a partir do mapa de limites territoriais do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

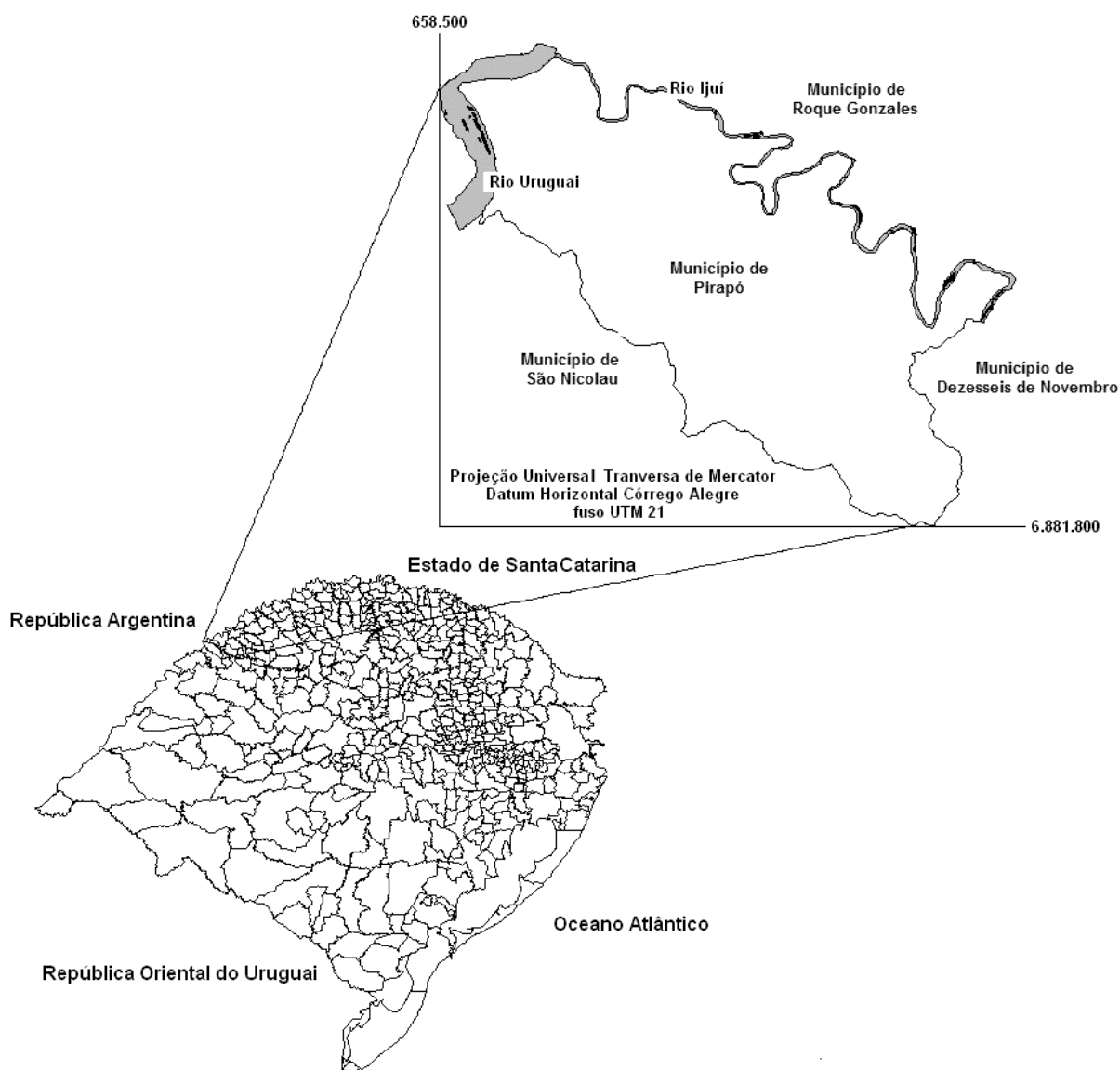


Figura 10 – Município de Pirapó - RS. Localização Geográfica no Estado do Rio Grande do Sul.
Fonte: Andres, 2005.

No que se refere aos aspectos geológicos, o município de Pirapó está na área de planaltos e chapadas da bacia sedimentar do Paraná, formados por derrames fissurais ocorridos no período geológico Jurássico (ROSS, 1985). As altitudes são pouco elevadas devido a presença de dois rios de grande porte (Rio Uruguai e Rio Ijuí). O gradiente altimétrico e as declividades são pouco significativos na maior parte da área, exceto em alguns setores. Para visualizar esses aspectos elaboraram-se as figuras 11 e 12, as quais se constituem em vistas tridimensionais do município.

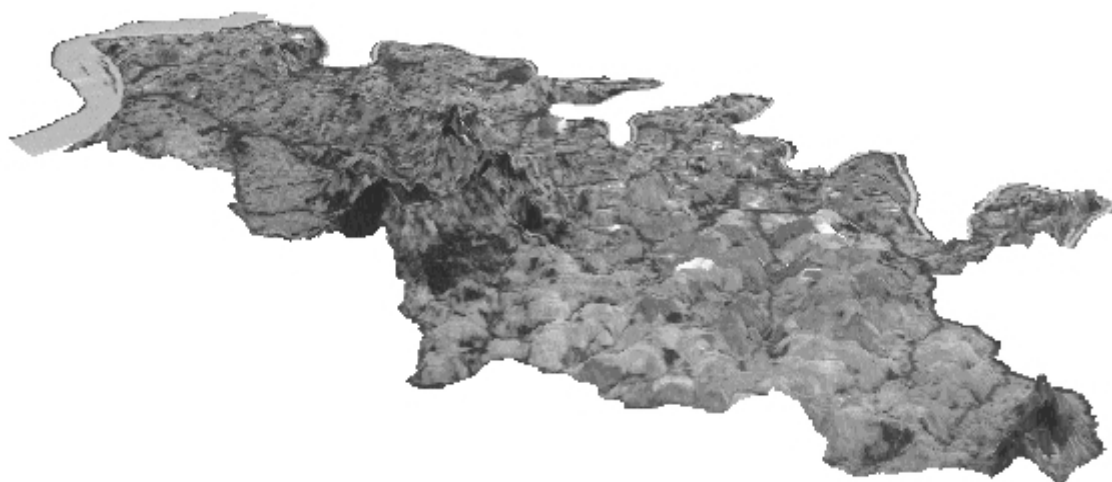


Figura 11 – Município de Pirapó - RS. Vista Tridimensional.
Exagero Vertical 10 Vezes. Orientação Sul – Norte. Elevação 30°.



Figura 12 – Município de Pirapó - RS. Vista Tridimensional.
Exagero Vertical 10 Vezes. Orientação Sudeste - Noroeste. Elevação 45°.

A primeira vista (figura 11) foi projetada no sentido sul-norte, mesmo sentido da orientação cartográfica; pela sua visualização percebem-se a presença de duas áreas de morros (centro-sul e sudeste) e o restante do município como áreas planas. A figura 12 foi projetada no sentido sudeste-noroeste para verificação dos aspectos já citados, e ainda, para observar o alinhamento dos morros.

A determinação do clima de Pirapó (Cfa) se deu segundo a classificação de Köppen:

C – temperatura média do mês mais frio entre -3° e 18° C, e do mês mais quente superior a 10° C;

f – nenhuma estação seca, úmido todo ano;

a – verão quente com temperatura média superior aos 22° C.

De acordo com Andres (2005, p. 13) “o município de Pirapó possui como normal climatológica a temperatura média anual entre 18° e 20° C. As médias do mês de julho estão entre -3° e 18° C e as do mês de janeiro entre 28° e 32° C. As precipitações são regulares durante todo o ano, sem estação seca definida, sendo que os índices pluviométricos anuais encontram-se entre 1.500 e 1.750 mm”. Esse clima é mais conhecido como Subtropical Úmido, com as quatro estações do ano bem definidas (inverno, outono, verão e primavera).

A história do município de Pirapó está ligada as Missões, região que foi habitada por povos tupis-guaranis até o início do século XVII, assim, os nomes de alguns rios e cidades foram herdados dos mesmos, é o caso de Pirapó que significa salto do peixe (pira-peixe, pó-salto), além de muitos outros (Uruguai, Ijuí, ...). A chegada de europeus se deu pelos padres jesuítas que tinham o intuito de catequizar os índios, porém sua missão era fixar o território espanhol conquistando a amizade dos povos nativos, esse processo foi denominado de “missões”, o que originou o nome utilizado até hoje para representar toda a área (PESAVENTO, 1982).

Em meados do século XVII os bandeirantes portugueses expulsaram os padres jesuítas e as tribos das missões orientais (leste do Rio Uruguai – atual noroeste do Rio Grande do Sul), os quais migraram para as missões ocidentais (oeste do Rio Uruguai – sul do Paraguai e norte da Argentina). Nessa mesma investida dos bandeirantes, alguns indígenas foram capturados para serem usados como escravos (PESAVENTO, 1982).

Os jesuítas e as tribos que haviam sido expulsos retornam em 1682 às missões orientais, fundando sete reduções, as quais se somaram as outras quatorze das missões ocidentais. Essas reduções eram cidades com construções monumentais feitas de rochas de arenito (PESAVENTO, 1982). Nas reduções os indígenas viviam em regime de comunidade, os quais eram orientados e fiscalizados pelos padres jesuítas. As atividades econômicas constituíam-se na produção de erva mate e extração de couro do gado criado, esse último produto era exportado para Buenos Aires (COTRIM, 1995).

Devido ao regime de comunidade, as missões passaram a ser unidades desenvolvidas para a época, pois tinham determinada autonomia em relação à coroa espanhola, e passaram a exportar seus produtos para alguns países da Europa. As missões passaram a se constituir no primeiro Estado autônomo da América Latina, o que passou a ser uma tragédia para o absolutismo monárquico português e espanhol, o que levou os dois países a extinguirem as missões no final do século XVIII, confiscando o território (PESAVENTO, 1982). A partir de então, se estendeu a disputa entre portugueses e espanhóis pelas terras missioneiras, a qual foi herdada pelos países luso-espanhóis. Por fim, o Paraguai ficou com a única redução a oeste do Rio Paraguai, o Brasil ficou com as sete reduções orientais ao Rio Uruguai, e a Argentina ficou com as treze reduções entre o Rio Uruguai e o Rio Paraguai (COTRIM, 1995).

As reduções que ficaram em território brasileiro passaram a se chamar “sete povos das missões”, e todo o território que pertencia aos povos missioneiros de região das missões. No início do século XIX as missões foram ocupadas por imigrantes europeus (alemães, poloneses e italianos), sendo poucos os resquícios dos povos indígenas (PESAVENTO, 1982). A miscigenação entre esses quatro povos é que caracteriza os atuais habitantes da área, a qual passou a ser denominada de Microrregião Geográfica das Missões pelo IBGE, a qual abrange atualmente 16 municípios, sendo Pirapó um deles.

O município de Pirapó foi pouco povoado até a década de 1970, quando se abriram novas frentes de colonização e o território foi sendo ocupado. A vegetação original era constituída por Floresta Subcaducifólia Subtropical. Nessa década as áreas de florestas que predominavam no município foram cedendo lugar para lavouras, implementadas por pequenos agricultores que visavam a utilização das terras por culturas temporárias, incentivados pelos programas governamentais de

incentivo à produção e exportação, especialmente de soja. A agricultura foi se difundindo e, em rápido processo, passou a ser a base da economia do município, atingindo o auge no final dos anos 1980 e início da década de 1990.

A crise no setor agrícola provocada pelas secas constantes, pelo desgaste dos solos e pela desvalorização dos produtos agrícolas, provocou a migração de grande parte da população para centros urbanos. As áreas de lavoura foram se transformando em pastagens e os agricultores passaram a criar gado de corte e de leite. A população jovem continuou migrando para as cidades e, como consequência, a faixa etária das pessoas que continuaram a habitar o município ficou relativamente alta. A situação, nestes meados da primeira década de 2000, configura-se com a maior parte das terras de Pirapó ocupadas por campos, sendo a pecuária a principal base da economia do município.

3.2 Materiais e Métodos

A primeira etapa de uma pesquisa é buscar material bibliográfico referente ao tema a ser trabalhado, por meio do qual são definidos conceitos, teorias e os métodos a serem utilizados. Para o desenvolvimento desse trabalho elaborou-se uma revisão bibliográfica sobre uso da terra e Geotecnologias. No que se refere ao uso da terra, tratou-se sobre os enfoques geográficos sobre diagnóstico e planejamento do uso da terra, e ainda, sobre a deterioração do solo e do ambiente decorrentes do uso da terra sem planejamento. As Geotecnologias foram estudadas detalhadamente, tendo em vista a sua importância para a corrente pesquisa. Inicialmente buscou-se uma fundamentação teórica sobre Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento; após procurou-se as aplicações atuais das duas ciências em estudos sobre uso da terra, verificando algumas metodologias empregadas; e ainda, foram abordadas as técnicas de Geotecnologias.

Em um segundo momento, procedeu-se a elaboração de uma base cartográfica digital para município de Pirapó, a qual iniciou com a digitalização das cartas topográficas elaboradas pela DSG do Exército, construídas com referência espacial, por meio de restituição aerofotogramétrica, e foram utilizadas na escala 1:50.000. As cartas que mapeiam o município de Pirapó são Foz do Ijuí - folha SG.21-Z-D-IV-3, São Nicolau - folha SG.21-X-B-I-1, Roque Gonzales - folha SG.21-

X-B-I-2 e Porto Lucena - folha SG.21-Z-D-IV-4. Essa digitalização foi em *scanner* de mesa, sendo que aplicou-se uma resolução de 127 DPI, que corresponde a 50 pontos por centímetro, assim cada célula passou a representar 0,2 mm na carta (erro gráfico) e 10 metros no terreno.

Após, realizou-se a conversão das cartas para o formato *grib*, o qual se constitui no formato nativo do SPRING. As imagens foram inseridas no aplicativo citado, onde se procedeu o georreferenciamento que teve como base as coordenadas planas das cartas e datum horizontal Córrego Alegre, tomando-se 80 pontos para que o erro espacial não fosse muito representativo, o qual foi de 0,21 pixel, que diz respeito a 2,1 metros no terreno. Ainda no aplicativo SPRING, procedeu-se a digitalização manual em tela do limite do município, da rede de drenagem e das curvas de nível, todas as informações passíveis de serem coletadas das cartas topográficas.

Para o diagnóstico de uso da terra da década de 1970, buscou-se junto ao INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) a imagem do sensor RBV do satélite LandSat 1, a qual foi obtida em 01 de junho de 1975, nas bandas 1 (475 – 575 nm), 2 (580 – 680 nm) e 3 (690 – 830 nm), com resolução espacial de 80 m. A mesma foi georreferenciada e composta no aplicativo SPRING, onde se atribui a cor azul para a banda 1, a cor verde para a banda 2 e a cor vermelha para a banda 3, dessa maneira foi possível distinguir três classes de uso da terra: lavoura, campo e floresta. As classes de uso da terra foram individualizadas por meio de classificação digital e, posteriormente, sofreram alguns ajustes manuais devido a ocorrência de alguns ruídos na composição da imagem. O diagnóstico de uso da terra resultou em três classes: lavoura, campo e floresta. O plano de informação resultante do diagnóstico de uso da terra foi inserido no ambiente do aplicativo SAGA para a quantificação das classes pelo processo de assinatura.

Posteriormente, foi realizado o diagnóstico de uso da terra para a década de 1990, com imagens do sensor TM do satélite LandSat 5, obtidas em 23 de agosto de 1991, nas bandas 1 (450 – 520 nm), 2 (520 – 600 nm), 3 (630 – 690 nm), 4 (760 – 900 nm) e 5 (1550 – 1750 nm), com resolução espacial de 30 m, as quais foram fornecidas pela GLCF (Global Land Cover Facility). A imagem foi georreferenciada no aplicativo SPRING, onde também foram feitas as composições, uma na cor visível ao olho humano (azul – banda 1; verde – banda 2; e vermelho – banda 3), e outra falsa cor (azul – banda 3; verde – banda 4; e vermelho – banda 5), sobre as

quais procedeu a classificação do uso da terra em quatro classes: solo exposto, lavoura, campo e floresta. A quantificação das classes foi realizada pelo processo de assinatura no ambiente do aplicativo SAGA.

No diagnóstico do uso da terra de 2005 foram utilizadas imagens coletadas pelo sensor CCD do satélite CEBRS, tomadas no dia 09 de agosto de 2005, às 13h29min. Esse sensor possui cinco canais espectrais, assim foram realizadas algumas composições para diagnosticar o uso da terra: azul - banda 1, verde - banda 2, vermelho - banda 3 para utilizar a melhor resolução espacial com o canal 1 pancromático; azul - banda 2, verde - banda 3, vermelho - banda 4 para a visualização da cor real ao olho humano; azul - banda 4, verde - banda 3, vermelho - banda 2 para individualizar as áreas de solo exposto; azul - banda 2, verde - banda 3, vermelho - banda 5 para diferenciar os tipos de vegetação, em especial as vegetações das áreas de campo e das áreas de lavoura. O diagnóstico de uso da terra resultou em quatro classes: solo exposto, lavoura, campo e floresta. Para a quantificação das classes de uso da terra utilizou-se o processo de assinatura do aplicativo SAGA.

Para a análise comparativa e para o monitoramento de uso da terra foram consideradas três classes, pois o diagnóstico de 1975 permitiu que fossem individualizadas as classes lavoura, campo e floresta. Dessa forma, nos diagnósticos de uso da terra de 1991 e 2005 as classes de solo exposto e lavoura foram consideradas como lavoura.

A etapa seguinte constitui-se no monitoramento do uso da terra, para o qual foram realizados seis processos de monitoria. As primeiras monitorias foram realizadas entre as classes de uso da terra de 1975 e 1991, primeiramente entre as classes lavoura, após campo e, por último, floresta. Em um segundo momento, procedeu-se as monitorias entre as classes de uso da terra de 1991 e 2005, iniciando com as classes lavoura, campo, e finalmente, floresta. Para a quantificação dos resultados das monitorias utilizou-se o processo de assinatura. Cada monitoria resultou em quatro classes: “permaneceu”, “deixou de ser”, “tornou-se” e “fora de análise”. Por exemplo, a monitoria das áreas de florestas entre 1975 e 1991 resultou em áreas que eram florestas em 1975 e “permaneceram” sendo florestas em 1991, áreas que eram florestas e “deixaram de ser” florestas, e áreas que não eram florestas e “tornaram-se” florestas nesse período; as áreas “fora de análise” dizem respeito aos locais que não eram florestas nas duas datas (1975 e 1991).

A base cartográfica criada no SPRING permitiu a elaboração das bases de dados para a avaliação de uso da terra potencial. Por meio da distribuição das curvas de nível e da rede de drenagem elaborou-se a compartimentação geomorfológica. A partir das curvas de nível, com equidistância altimétrica de 20 m, gerou-se o modelo numérico do terreno (MNT), o qual se constitui de vários pontos com valores de coordenadas de latitude, longitude e altitude. A partir do MNT foram criadas as bases de dados de declividade (cinco classes: 0-5%, 5-12%, 12-30%, 30-50% e mais de 50%), de hipsometria (dividido em classes com intervalo de 20 metros) e de orientação de vertentes (em cinco classes: norte, oeste, leste, sul e áreas com baixa inclinação).

A base dados sobre os solos do município de Pirapó foi desenvolvida a partir do mapa de solos elaborado pela EMATER em 2001, o qual se constitui no aprimoramento do mapa de solos do Projeto Radam Brasil. Para a elaboração do mapa de solos foram realizadas algumas verificações de campo. A base de dados sobre proximidades foi elaborada pelo rastreamento por *buffers*, ou faixas de proximidades. As proximidades de canais foram de 50 m, dos rios de 100 m e as proximidades de nascentes de 100 m.

Todas as bases de dados elaboradas para a avaliação (geomorfologia, declividade, hipsometria, orientação de vertentes, solos, proximidades de rios, proximidades de canais e proximidades de nascentes) foram exportadas com 10 metros de resolução, pois o aplicativo SAGA realiza o processamento célula a célula, assim, todos os planos de informação devem ter a mesma resolução espacial e a mesma extensão. Para se obter os 10 metros de resolução os planos de informação foram exportados no formato Tiff, na escala 1:200.000 e com a resolução de 508 DPI, o que corresponde a cerca de 50 pontos por centímetro. Os planos de informação foram editados no aplicativo Photoshop, onde também foram recortados entre as coordenadas N de 6.880.000 e 6.907.000, e E de 657.000 e 688.000; assim eles passaram a representar 27.000 metros de extensão no alinhamento N-S e 31.000 metros no alinhamento E-O, formando imagens planimétricas com 2.700 por 3.100 células.

Essas bases de dados foram inseridas no ambiente do aplicativo CriarSAGA para a conversão do formato Tiff para o formato Raster controlado (nativo do SAGA), nesse mesmo aplicativo foram realizadas as edições finais. Após a conversão dos planos de informação, os mesmos foram inseridos no aplicativo VistaSAGA para

avaliação de uso da terra potencial. Inicialmente foi realizada a avaliação de riscos de deterioração do solo, utilizando as bases de dados sobre geomorfologia, declividade, hipsometria, orientação de vertentes e solos. Os pesos para cada plano de informação foram atribuídos de acordo com a árvore de decisão da figura 13.

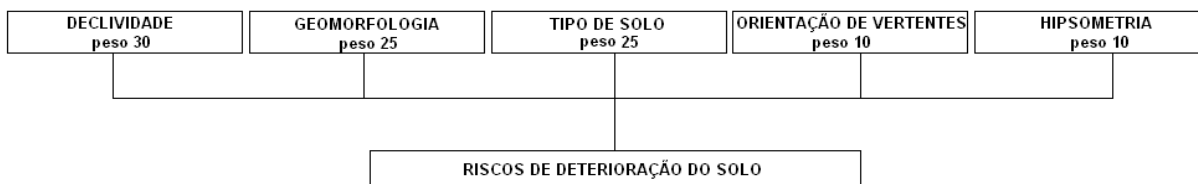


Figura 13 – Árvore de Decisão para Avaliação de Riscos de Deterioração do Solo.
Fonte: Andres, 2005.

O plano de informação declividade recebeu o maior peso (30), pois se considerou que a declividade é a que mais influencia nos processos de deterioração do solo. As bases de dados de geomorfologia e tipo de solo receberam pesos intermediários (25). Os planos de informação orientação de vertentes e hipsometria receberam os menores pesos (10), pois se considerou que os mesmos são os que menos influenciam na deterioração do solo.

As notas para cada uma das classes dos planos de informação foram atribuídas de acordo com o quadro 4.

Declividade		Geomorfologia		Tipo de Solo		Orientação de Vertentes		Hipsometria	
Classe	Nota	Classe	Nota	Classe	Nota	Classe	Nota	Classe	Nota
0-5 %	2	Planícies	2	Neossolo Litólico	10	Pouca Inclinação	3	< 100 m	10
5-12 %	4	Várzea Rio Ijuí	4	Latossolo Vermelho	6	Sul	4	> 100 m	8
12-30%	6	Várzea RioUruguai	4	X	X	Leste	4	X	X
30-50%	8	Morros Residuais	10	X	X	Oeste	2	X	X
>50%	10	X	X	X	X	Norte	2	X	X

Quadro 04 – Notas para Avaliação das Áreas de Riscos de Deterioração do Solo.
Fonte: Andres, 2005.

Para o plano de informação de declividade atribui-se notas mais elevadas para as classes mais declivosas, pois se considerou que as mesmas possuem maior risco de deterioração do solo. Para a base de dados sobre compartimentação

geomorfológica atribuiu-se nota baixa para as áreas de planícies, nota mais elevada para as várzeas devido às enchentes e a maior nota para as áreas de morros, pois se considerou estas como as mais suscetíveis à deterioração. Para o plano de informação tipo de solo atribui-se nota alta para o Neossolo Litólico devido à sua pouca espessura e suscetibilidade ao afloramento da rocha mãe, e nota baixa para o Latossolo Vermelho, pois esse possui menos riscos devido aos horizontes bem desenvolvidos. Para a base de dados orientação de vertentes atribui-se nota intermediária às áreas de pouca inclinação, nota mais alta para as vertentes que recebem menos insolação (sul e leste) e nota mais baixa para as vertentes que recebem maior insolação (norte e oeste), pois a menor quantidade de energia dificulta o processo de intemperismo e faz com que a formação do solo seja mais demorada. No plano de informação hipsometria atribui-se a maior nota para áreas com altitudes inferiores aos 100 m, pois estas são suscetíveis a inundações, enquanto que as demais classes receberam nota mais baixa.

O processo de avaliação de riscos de deterioração de solos gerou seis notas finais, as quais foram de 4 a 9. As notas 7, 8 e 9 tiveram pouca representatividade e foram agrupadas na classes altíssimo risco, a nota 6 originou a classe alto risco, a nota 5 a classe médio risco e a nota 4 baixo risco de deterioração do solo. Por meio dos planos de informação de riscos de deterioração do solo e o de áreas de proximidades elaborou-se a avaliação de uso da terra potencial, associando-se as áreas que deverão ser cobertas por florestas, por campos, por lavouras e as que correm menor risco de deterioração do solo quando submetidas a prática de agricultura com solo exposto. A árvore de decisão sobre a avaliação de uso da terra potencial pode ser vista na figura 14.

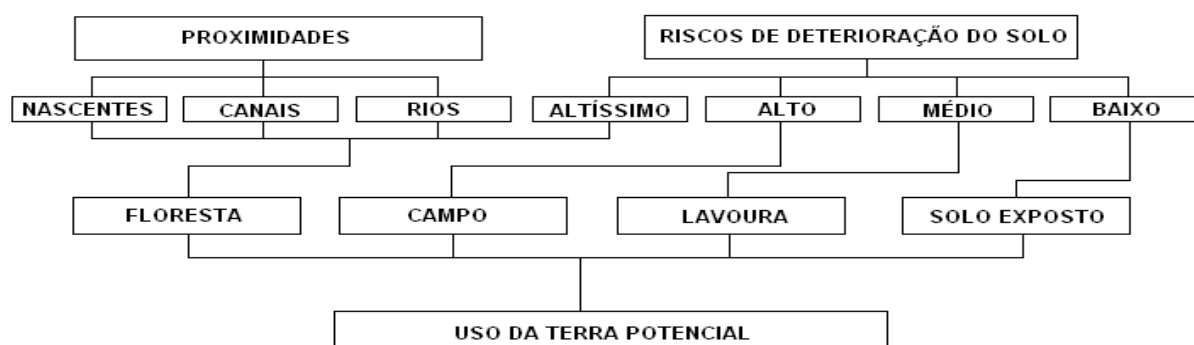


Figura 14 – Árvore de Decisão para Definição do Uso da Terra Potencial.
Fonte: Andres, 2005.

Os mapas de uso da terra potencial e de diagnóstico do uso da terra de 2005 foram inseridos no aplicativo VistaSAGA, ambiente em que o Geoprocessamento prosseguiu com o uso da Lógica Booleana para espacializar áreas de conflito entre classes de uso da terra potencial e uso da terra em 2005. Para essa etapa adaptou-se a tabela proposta por Lepsch (2002) para as condições da área de estudo, a qual conta com quatro níveis de uso da terra em 2005 e quatro classes de uso da terra potencial. A relação entre classes de uso potencial e uso em 2005 pode ser vista no quadro 5.

Classes de Uso da Terra Potencial	Níveis de Uso da Terra em 2005			
	Floresta	Campo	Lavoura	Solo Exposto
Solo Exposto	X	X	X	X
Campo	X	X	X	
Lavoura	X	X		
Floresta	X			

Quadro 05 – Níveis de Uso da Terra e Classes de Capacidade de Uso da Terra na Área de Estudo.
Fonte: Andres, 2005.

Por meio da relação do quadro 5, apontaram-se os possíveis conflitos entre uso da terra potencial e uso da terra em 2005 no município de Pirapó. Assim elaborou-se o quadro 6.

Classes de Uso da Terra Potencial	Níveis de Uso da Terra em 2005			
	Floresta	Campo	Lavoura	Solo Exposto
Solo Exposto				
Lavoura				X
Campo			X	X
Floresta		X	X	X

Quadro 06 – Conflitos de Uso da Terra na Área de Estudo.
Fonte: Andres, 2005.

Pelo quadro 6 percebe-se que ocorrem seis tipos de conflito de uso da terra: lavoura potencial com solo exposto, campo potencial com lavoura, campo potencial com solo exposto, floresta potencial com campo, floresta potencial com lavoura e floresta potencial com solo exposto. Os seis conflitos de uso da terra foram espacializados e quantificados.