

NEYLOR MICHEL

**ZONEAMENTO AMBIENTAL DA REGIÃO
DO LAGO DE ITAIPU UTILIZANDO
A LÓGICA FUZZY**

CAMPINA GRANDE

2012

NEYLOR MICHEL

**ZONEAMENTO AMBIENTAL DA REGIÃO
DO LAGO DE ITAIPU UTILIZANDO
A LÓGICA FUZZY**

Tese apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola da
Universidade Federal de Campina
Grande, como exigência parcial para
obtenção do Grau de Doutor em
Engenharia Agrícola.

Área de Concentração: Irrigação e Drenagem

Linha de Pesquisa: Sensoriamento Remoto

João Miguel de Moraes Neto, Dr.

Orientador

Claudio Leones Bazzi, Dr.

Co-orientador

CAMPINA GRANDE

2012



M623z Michel, Neylor.
Zonamento ambiental da região do lago de Itaipu utilizando a lógica fuzzy / Neylor Michel. - Campina Grande, 2012.
95 f.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2012.
"Orientação: Prof. Dr. João Miguel de Moraes Neto, Prof. Dr. Claudio Leones Bazzi".
Referências.

1. Agrupamento de Dados - Sensoriamento Remoto. 2. Geoprocessamento. 3. Mapas de Risco. 4. Tese - Engenharia Agrícola. I. Moraes Neto, João Miguel de. II. Bazzi, Claudio Leones. III. Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande (PB) IV. Título

CDU 528.8(043)


NEYLOR MICHEL

“ZONEAMENTO AMBIENTAL DA REGIÃO DO LAGO DE ITAIPU
UTILIZANDO A LÓGICA FUZZY”


APROVADA EM: 12/12/2012

BANCA EXAMINADORA

Dr. JOÃO MIGUEL DE MORAES NETO
Centro de Ciência e Tecnologia – CTRN
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



Dr. DEMERVAL ARAÚJO FURTADO
Centro de Ciência e Tecnologia – CTRN
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



Dr. JUAREZ PAZ PEDROZA
Centro de Ciência e Tecnologia – CTRN
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



Dr. MARIA DE FÁTIMA FERNANDES
Centro de Ciência e Tecnologia – CTRN
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



Dr. LÂERCIO MANTOVANI FRARE
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR



Dr. CLAUDIO LEONES BAZZI
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR

AGRADECIMENTOS

Durante o período em que fiz esta pesquisa, foi árdua a jornada de desafios, construção e amadurecimento. Nenhum empreendimento é realizado de forma fácil e sem esforço.

Daisaku Ikeda, discorreu que os grandes empreendimentos são contruídos em meio a muitas dificuldades: “ Ser herói não significa acertar constantemente. É muito mais que isso. O verdadeiro espírito de um herói encontra-se na intensa convicção de enfrentar e vencer as dificuldades em vez de desistir de tudo. Na vida de todos nós poderão surgir situações inesperadas. Poderão manifestar obstáculos ou problemas que jamais havíamos imaginado. É justamente nesses momentos que revelamos o que verdadeiramente carregamos no coração”.

Neste período, aprendi que uma tese ou qualquer outro trabalho é a extensão da vida do autor. Então, para que algo de valor seja produzido, a pessoa deve primeiro criar algo de valor em si. Pessoa e obra são consistentes com o resultado. Por este motivo, agradeço sincera e profundamente a todas as pessoas que muito me encorajaram e me ajudaram a produzir algo de valor em minha vida.

Primeiramente agradeço ao meu orientador Dr. João Miguel de Moraes Neto, por ter me acolhido, para mim, é uma imensa honra e orgulho tê-lo como orientador. Jamais esquecerei de seus preciosos conselhos e sua inestimável confiança. Muito obrigado!

Ao meu segundo orientador, amigo e irmão Dr. Claudio Leones Bazzi, a conclusão deste doutorado não teria sido possível sem suas precisas e incisivas pontuações. Com todo meu esmero, muito obrigado pela paciência a mim demonstrada.

Agradeço em especial aquelas que sempre me apoiaram incondicionalmente, que apostaram em mim mais do que ninguém e que seguramente compartilham da minha alegria, minha esposa e minha mãe. Mais uma etapa foi vencida!!

Quero expressar meu profundo agradecimento a todos aqueles que contribuíram de formas variadas e em diferentes níveis, ao longo do desenvolvimento dos trabalhos que culminaram na conclusão desse doutorado.

Ao grande arquiteto do universo manifesto meu profundo agradecimento pelas bençãos a mim concedidas, sendo uma delas a conclusão desta obra.

*“Cada pessoa em sua existência pode ter duas atitudes:
construir ou plantar.
Os construtores podem demorar anos em suas tarefas, mas um dia terminam aquilo que
estavam fazendo.
Então param e ficam limitados por suas próprias paredes.
A vida perde o sentido quando a construção acaba.
Mas existem os que plantam. Estes, às vezes, sofrem com tempestades, com as estações,
e raramente descansam.
Mas ao contrário de um edifício,
O jardim jamais para de crescer.
E, ao mesmo tempo que exige atenção do jardineiro,
Também permite que, para ele,
A vida seja uma grande aventura.
Os jardineiros sempre se reconhecerão entre si
porque sabem que na história de cada planta
Está o crescimento de toda a Terra.”
(Paulo Coelho)*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE SIGLAS.....	xi
RESUMO.....	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	14
2 OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo Geral	18
2.2 Objetivos Específicos.....	18
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1 Meio Ambiente e a Avaliação Ambiental	19
3.2 Legislação Ambiental Brasileira	21
3.2.1 Política Nacional do Meio Ambiente.....	21
3.2.2 Política Nacional de Recursos Hídricos.....	22
3.2.3 Código Florestal.....	24
3.3 Zoneamento Geoambiental.....	25
3.4 Bacias Hidrográficas como Unidades de Planejamento.....	28
3.4.1 Condicionantes para Alterações Ambientais em Bacias Hidrográficas...	30
3.5 Geoprocessamento e Estudos Ambientais.....	32
3.5.1 Estrutura de um Sistema de Informações Geográficas	33
3.5.2 Sensoriamento Remoto	35
3.5.3 Georreferenciamento e Dados SRTM.....	37
3.5.4 Operações Matemáticas nos Sistemas de Informações Geográficas	38

3.6 Lógica Fuzzy	39
3.6.1 Teoria dos Conjuntos Fuzzy	42
3.6.2 Teoria de Medidas Fuzzy	43
3.6.3 Aplicações da Lógica Fuzzy ao Zoneamento Ambiental	44
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	48
4.1 Localização da Área de Estudo	48
4.2 Características Físico-Geográfica do lago de Itaipu.....	50
4.3 Características Biofísica da região do Lago de Itaipu	51
4.3.1 Economia e Desenvolvimento Oeste do Paraná	52
4.3.2 Qualidade da Água dos municípios do Oeste do Paraná	53
5. MATERIAL E MÉTODOS	55
5.1 Materiais	55
5.2 Metodologia.....	55
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	62
7. CONCLUSÕES	82
8. REFERÊNCIAS	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Abordagens distintas dos estudos de natureza geoambiental	25
Figura 3.2: Visualização parcial A, do Lago de Itaipu em 3D localizado entre Brasil e Paraguai	38
Figura 3.2: Visualização parcial B, do Lago de Itaipu em 3D localizado entre Brasil e Paraguai	38
Figura 3.4: Arquitetura Genérica de um Sistema Fuzzy	41
Figura 4.1: Localização do lago de Itaipu em relação ao Brasil, Paraguai e América do Sul	48
Figura 4.2: Bacia hidrográfica situado entre Brasil e Paraguai	49
Figura 4.3: Classes de solos da bacia do Paraná III no Estado do Paraná	51
Figura 5.1: Mapa de declividade de parte do Lago de itaipu	56
Figura 5.2: Fluxograma Fuzzy C-Means utilizado para elaboração dos mapas de risco	59
Figura 6.1: Tipo de vegetação da região lindeira ao Lago de Itaipu nos anos 1999, 2005 e 2011	62
Figura 6.1A: Tipo de vegetação pastagem / gramínea ampliada no ano de 2011	63
Figura 6.1B: Local 1 pastagem, coordenadas 25° 11' 42" S 54° 22' 18" O	64
Figura 6.1C: Local 2 pastagem, coordenadas 25° 18' 28" S 54° 24' 21" O	64
Figura 6.2: Índice de vegetação da região lindeira ao lago de Itaipu para os anos de 1999, 2005 e 2011	66
Figura 6.3: Declividade empírica da região lindeira ao lago de Itaipu	68
Figura 6.4: Área de interesse com borda de 1500m	69
Figura 6.5: Declividade empírica da área de interesse ao lago de Itaipu	69
Figura 6.6: Tipo de vegetação da área de interesse para os anos de 1999, 2005 e 2011	70
Figura 6.7: Mapa da escala de risco de declividade do tipo de vegetação e declividade da área de interesse do lago de itaipu no ano de 1999	72
Figura 6.8: Mapa da escala de risco de declividade do tipo de vegetação e declividade da área de interesse do lago de itaipu no ano de 2005	72
Figura 6.9: Mapa da escala de risco de declividade do tipo de vegetação e declividade da área de interesse do lago de itaipu no ano de 2011	73

Figura 6.10: Níveis de proteção, da área de interesse para os anos de 1999, 2005 e 2011	75
Figura 6.11: Nível de proteção Alta, da área de interesse para os anos de 1999, 2005 e 2011	75
Figura 6.12: Níveis de proteção da área de interesse do lago de Itaipu para os anos de 1999, 2005 e 2011	75
Figura 6.12A: Local 1 coordenadas 25° 17' 42" S 54° 24' 36" O, risco de proteção Moderadamente Baixa	76
Figura 6.12B: Local 2 coordenadas 25° 18' 02" S 54° 23' 00" O O , risco de proteção Moderadamente Baixa	76
Figura 6.12C: Local 3 coordenadas 25° 16' 56" S 54° 19' 07" O, risco de proteção péssima	77
Figura 6.12D: Local 4 coordenadas 25° 13' 27" S 54° 17' 23" O, risco de proteção péssima	77
Figura 6.13: Nível de proteção Péssima, da área de interesse para os anos de 1999, 2005 e 2011	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Características de Órbita dos Satélites Landsat	37
Tabela 5.1: Níveis de proteção de cobertura vegetal	58
Tabela 6.1: Percentual do tipo de vegetação e área da região lindeira ao lago de Itaipu para os anos avaliados	63
Tabela 6.2: Comparação entre as áreas ocupadas pelas classes de cobertura vegetal entre os anos 1999, 2005 e 2011	66
Tabela 6.3: Percentual do índice de vegetação da região lindeira ao lago de Itaipu entre os anos 1999, 2005 e 2011	67
Tabela 6.4: Modelo de hierarquização de classes de declividade nos processos erosivos	67
Tabela 6.5: Área de risco em função da declividade empírica da região lindeira ao lago de Itaipu	68
Tabela 6.6: Declividade empírica da área de interesse ao lago de Itaipu	70
Tabela 6.7: Percentual e área do tipo de vegetação da área de interesse ao lago de Itaipu para os anos avaliados	71
Tabela 6.8: Percentual dos níveis de declividade em função área de interesse quanto ao tipo de vegetação e declividade da região lindeira ao lago de Itaipu em 1999, 2005 e 2011	71
Tabela 6.9: Percentual do nível de vegetação da área de interesse aplicado lógica Fuzzy	74
Tabela 6.10: Tipos de plantio de mudas em função da declividade	79
Tabela 6.11: Municípios lindeiros ao lago de Itaipu com respectivas área de cultivo	80
Tabela 6.12: Porcentagem de entrada de produtos no CEASA - Foz do Iguaçu	81

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASI	Agenzia Spaziale Italiana
AP	Agricultura de Precisão
BPIII	Bacia do Paraná III
CEASA	Centrais de Abastecimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DEM	Modelo digital de Elevação
DGPS	Sistema Diferencial de Posicionamento Global
DLR	Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt
EUA	Estados Unidos da América
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GPS	Sistema de Posicionamento Global
GRASS	Geographic Resources Analysis Support System
IAPAR	Instituto Agrônomo do Paraná
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LEGAL	Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algebrico
MMA	Ministro de Estado do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NIMA	National Imaging and Mapping Agency
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
RAS	Radar de Abertura Sintética
SEAB	Secretaria de Agricultura e Abastecimento
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SINDAG	Sindicato das Empresas de Aviação Agrícola
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SPRING	Sistema para Processamento de Informação Georeferenciadas
SRTM	Shuttle Radar Topographic Mission
UTM	Universal Transverse Mercator

RESUMO

Informações como declividade e uso dos solos são essenciais para o planejamento ambiental, pois auxiliam na solução de problemas causados por atividades intensas como agricultura e pecuária. O objetivo desta tese foi elaborar um estudo de zoneamento ambiental, no lago de Itaipu, como forma de medida não-estruturante fazendo uso das variáveis declividade e tipo de vegetação. O levantamento de dados foi feito a partir de análise de sensoriamento remoto da região utilizando imagens do satélite Landsat e trabalho de campo. O procedimento de divisão das áreas de risco foi realizado por meio da técnica de agrupamento não supervisionada utilizando a lógica Fuzzy, implementada no algoritmo Fuzzy C-Means. Verificou-se que 7.985ha apresentaram situações não ideais de vegetação, tornando-se áreas de risco quanto ao assoreamento do lago. Considerando a qualidade e a necessidade de manutenção dos recursos hídricos, o presente estudo visou apresentar procedimentos metodológicos que além de proporcionar um estudo da situação real das áreas do entorno ao lago de Itaipu, poderão ser utilizados em outros ambientes, que possuem potencial impacto ambiental relacionada à atividade agrícola. Não somente restrito a determinação das áreas de risco, buscou-se determinar e indicar culturas alternativas para estas regiões, com vistas aos aspectos produtivo, comercial e financeiro e com a sustentabilidade dos produtores.

Palavras-chave: Agrupamento de Dados, Geoprocessamento, Mapas de Risco.

ABSTRACT

Information such as slope and land use are essential for environmental planning, as they help in solving problems caused by intense activities such as agriculture and livestock. The aim of this thesis was to conduct a study of environmental zoning in Itaipu lake as a way to measure non-structural variables making use of the slope and vegetation type. The survey was done from remote sensing analysis of the region using Landsat satellite images and field work. The procedure of splitting the risk areas was performed by unsupervised clustering technique using fuzzy logic, implemented in the Fuzzy C-Means algorithm. It was found that non-ideal situations presented 7.985ha vegetation, becoming hazardous areas on the sedimentation pond. Considering the quality and maintenance requirements of water resources, the present study aimed to present methodological procedures which besides providing a study of the actual situation of the areas around the lake Itaipu, may be used in other environments, which have potential environmental impacts related to agricultural activity. Not only restricted to the determination of risk areas, we sought to determine and indicate alternative crops for these regions, with a view to aspects productive, commercial and financial sustainability and producers.

Keywords: Data Grouping, Geoprocessing, Maps Risk.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil, principalmente com seu extenso território, clima diversificado e solos propícios, possui significativa representatividade na produção de alimentos no mundo. Muitas das áreas produtivas foram projetadas e são exploradas de forma inconsistente, através do desmatamento desordenado e técnicas agrícolas não apropriadas, causando inúmeros problemas ambientais, principalmente aos recursos hídricos. Esta situação se torna ainda mais preocupante quando se considera o recurso natural água que é fundamental tanto para a produção como para a vida humana e o consumo mundial aumentou seis vezes em menos de um século (mais que o dobro das taxas de crescimento da população). Devido a esta demanda, os recursos hídricos em nível global, tendem a se tornar mais escassos Freitas & Santos (1999).

No contexto da influência das atividades antrópicas na qualidade das águas, a agricultura é tida como a principal consumidora e uma das principais poluidoras dos recursos hídricos onde a salinidade e a contaminação por nitrato são os principais indicadores. Ongley *et al.* (2001). Segundo Resende (2002), sob determinadas condições de solo e clima e o uso excessivo ou o manejo inadequado de fertilizantes, podem acarretar o enriquecimento das fontes hídricas, promover a eutrofização e causar sérios prejuízos ao ambiente e à própria saúde humana.

Visando avaliar o impacto agrícola em corpos d'água. Volk *et al.* (2004) estudaram a erosão hidráulica influenciada por condições físicas de superfície do solo e concluíram que, a erosão está diretamente relacionada à cultura praticada. Cordeiro (1999) abordou a questão dos impactos de resíduos, citou que estudos de impactos físicos, químicos e biológicos em rios e a toxicidade do alumínio em peixes.

Para Conceição; Bonotto (2002), em regiões com intensa atividade agrícola a contaminação aquática ou do solo é resultado da disposição inadequada de resíduos, do não tratamento de efluentes e da lixiviação nos solos, onde há aplicação de defensivos agrícolas.

A prática de manejo irregular do solo corresponde ao principal problema de assoreamento de rios e lagos, haja vista que a água de chuva, quando em grande quantidade, ao tocar o solo torna-se um meio de transporte, principalmente para solos soltos ou mal trabalhados. Para Zoccal (2007) certas técnicas são aplicadas para diminuir este processo

erosivo, tais como o terraceamento, as curvas de nível ou sistema de plantio direto, o qual visa um revolvimento mínimo do solo durante as práticas agrícolas.

O estudo de todos os atributos influentes na qualidade da água e de seus reservatórios se faz necessário, considerando o continuado crescimento da população e o aumento da demandas dos recursos hídricos. A conservação de precisão, a qual integra técnicas de conservação do solo e agricultura de precisão, terá um papel crescente durante este novo milênio, segundo Berry (2003). Associado a isto, está o correto manuseio e administração dos corpos d'água, os quais, para Attanasio (2004), possuem entre outros objetivos a reabilitação ou restauração de áreas, que produzem excesso de sedimentos, materiais poluentes e enxurradas; a proteção de áreas sensíveis, significando a combinação de práticas de preservação com práticas de exploração, buscando o desenvolvimento sustentável e o melhoramento dos recursos hídricos.

Para o correto manuseio e administração dos recursos hídricos, inúmeras técnicas, procedimentos e trabalhos de campo vêm sendo desenvolvidos. Para isso, Goldenfum (2004) comenta que o planejamento é fundamental para que possa realizar o gerenciamento apropriado e que atenda os objetivos propostos em qualquer projeto. Para o autor, o monitoramento das microbacias é essencial para se obter resultados satisfatórios.

Leonardo (2003) comenta sobre a importância do monitoramento, pois é essencial para se obter informações sobre as condições do meio e definir perspectivas futuras de tudo aquilo que realmente importa para qualidade da água e dos rios, considerando a sustentabilidade e viabilidade econômica da coleta de dados e análise. Dentro da perspectiva de sustentabilidade, o monitoramento das bacias é fundamental para que se possam melhorar as práticas de manejo, diminuindo a degradação do solo e da água.

Medidas de conservação ambiental vêm sendo implantadas no país através de regulamentações e leis, como a Lei Federal 9.433/97, a qual institui o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e considera a água como um bem de domínio público e sua gestão deve proporcionar o uso múltiplo, ser descentralizada e participativa. Outro importante regulamento criado com vistas a preservação ambiental corresponde a Lei 4.771/65, do código florestal, que determina a largura da faixa da mata ciliar a ser preservada em relação à largura do curso d'água.

Diversos esforços para melhorar a qualidade da água, tais como a mata ciliar, utilização de plantio direto e terraceamento, a quantidade de sedimentos e substâncias poluentes depositados nos corpos d'água ainda são preocupantes. Estes fatores ocorrem, entre outros motivos, devido à má utilização das práticas agrícolas de preparação de solo e o uso

indiscriminado de defensivos. O estado do Paraná apesar de ser o maior produtor de grãos da região sul (Agriannual, 2008), no ano de 2002 foi classificado como o maior consumidor de herbicidas do país (SINDAG, 2002).

A viabilidade de estudos avançados sobre características de solo, planta e demais atributos influentes na qualidade da água são importantes. Inúmeros trabalhos vêm sendo desenvolvidos com estas características, com a aplicação de metodologias que facilitem a solução de problemas encontrados nas práticas agrícolas e no gerenciamento ambiental, com o intuito de diminuir o impacto ambiental e otimizar o uso de insumos e a produtividade (Angelico & Silva, 2006).

Apesar dos benefícios econômicos e ambientais da agricultura de precisão (AP), esta tecnologia vem evoluindo nas últimas décadas, tornando-se fundamental para o sucesso da atividade agrícola. Contudo, a ideal aplicação das técnicas de AP possui um custo elevado, a definição de unidades de manejo é uma alternativa para se viabilizá-la, funcionando como unidade de operação para aplicação localizada de insumos e como indicador para amostragem do solo e da cultura, Rodrigues & Zimback (2002). Vários pesquisadores utilizaram com sucesso unidades de manejo, tais como Rodrigues & Zimback (2002), Johnson *et al.* (2003) e Schepers *et al.* (2004).

A definição de unidades de manejo permite avaliar qualquer atributo do solo e planta, dentre os quais se destacam os atributos físicos e químicos do solo, topografia, disponibilidade hídrica e manejo, Doerge (2000). Esta tecnologia pode ser aplicada para determinar áreas de risco a erosão e áreas não indicadas para prática de certas culturas que exigem altas dosagem de defensivos agrícolas e que possuem alta probabilidade de escoamento superficial.

O sensoriamento remoto é uma ferramenta utilizada em diversas áreas do conhecimento científico, fornecendo informações significativas na obtenção de dados relacionados à investigação de áreas florestais e corpos de água, estudos e gerenciamento costeiro, apoio a levantamentos geológicos e uso do solo, entre outros. Também pode ser utilizado para determinação de unidades de gerenciamento e determinação de áreas de risco através de métodos empíricos ou de agrupamento, Alvarenga (2007).

Para Paterniani (2001) a ciência aplicada à agricultura tem conseguido não somente aumentar a produtividade dos alimentos, mas melhorar a fertilidade do solo, protegendo o meio ambiente, ar, água e terra. Apesar da possível determinação de áreas vulneráveis através de tecnologias disponíveis, é importante ter em mente que a adoção de práticas corretivas e

alternativas nem sempre será possível, considerando a viabilidade econômica e sustentabilidade do proprietário da área.

Determinar alternativas viáveis para substituição de certas áreas cultivadas é uma tarefa complexa e que envolve estudos e experiência de campo, visando avaliar o desenvolvimento da cultura e os aspectos de viabilidade econômica segundo Auler & Carvalho (2005) e Leal *et al.* (2009).

Assim, se faz necessário determinar quais áreas agrícolas possuem influência direta ou indireta na qualidade da água e do lago de Itaipu, visando à aplicação de políticas de subsistência e recomendação de culturas alternativas, as quais são mais indicadas para estas regiões. Para isso, à utilização recursos computacionais, tais como *softwares* e imagens de satélite, os quais permitem determinar a definição de áreas de risco e unidades de manejo diferenciadas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Elaborar o zoneamento ambiental da região do lago de Itaipu como forma de medida não-estruturante de prevenção de desastre natural com utilização da lógica *Fuzzy* através do processamento digital de imagens e sugerir a implantação de culturas alternativas.

2.2 Objetivos Específicos

- Elaborar o zoneamento ambiental da área em estudo utilizando técnicas de processamento de imagens;
- Realizar uma avaliação espaço temporal da degradação ambiental e da cobertura vegetal do período de 1999 a 2011 da área de estudo;
- Determinar regiões mais vulneráveis através da elaboração de mapas de risco utilizando o algoritmo *Fuzzy C-Means*;
- Indicar culturas alternativas para áreas consideradas de risco, considerando aspectos econômicos e ambientais da região.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Meio Ambiente e a Avaliação Ambiental

Quando abordado estudos sobre natureza ambiental, é de fundamental importância compreender, num primeiro momento, o que o termo “meio ambiente” quer retratar. Muitas definições são utilizadas para este termo. Entretanto, deve-se ter a clareza de que: “o meio ambiente consiste em um determinado espaço, onde ocorre a interação entre os componentes bióticos (fauna e flora), abióticos (águas, rocha e ar) e bióticos-abióticos (solo) (ABNT, 1989)”.

Ainda conforme Fornasari Filho & Bitar (1995)

O meio ambiente consiste na interação de componentes abióticos (rochas, ar e água), bióticos (vegetal e animal) e sociais e econômicos (humanos), considerados, respectivamente, em meio físico, biótico e socioeconômico ou antrópico.

Conforme aponta Fornasari Filho & Bitar (1995), os processos do meio físico condicionam em primeiro lugar, as características do meio biológico e sócio-econômico, decorrentes de fluxos de energia e matéria podendo ser deflagrado, acelerado ou retardado por agentes físicos, químicos e biológicos, fauna e flora.

Os meios biológicos destacam-se sendo os ecossistemas naturais - a fauna e a flora - as espécies indicadoras da qualidade ambiental, de valor científico e econômico, ameaçadas de extinção e as áreas de preservação permanente. Os meios sócio-econômico elencam-se como o uso e ocupação do solo e da água, notando-se os sítios e monumentos arqueológicos, históricos e culturais da comunidade. O meio biológico e sócio-econômico, por realimentação, completam a interação com o meio físico, regulando seus processos Fornasari Filho *et al.* (1992) *apud* Fornasari & Bitar (1995).

Processos tecnológicos podem ser definidos como aqueles nos quais ocorrem relações com interferências do homem no meio ambiente, as quais são responsáveis pelas atividades modificadoras do mesmo.

As mudanças impostas ao meio ambiente, decorrentes da ação dos processos do meio físico ou dos processos tecnológicos caracterizam alterações ambientais. Tais alterações

podem ser qualificadas e quantificadas, sendo ou não favoráveis ao ecossistema e à sociedade humana, segundo Tommasi (1994).

O termo ambiente inclui dimensões econômicas, sociais, culturais e de segurança (ambiente social) e o ambiente físico e ecológico, segundo Fornasari Filho & Vasconcelos (1990).

Reportando-se ao processo de avaliação ambiental, compreende-se de que esta refere-se a um conjunto de procedimentos com o objetivo de analisar a viabilidade ambiental para potencialidades do meio quanto ao uso e ocupação e implantação de projetos, planos e programas para sua preservação, conservação e desenvolvimento.

Conforme Macedo (1995), o processo de avaliação ambiental deve ser visto como uma ferramenta que permite avaliar as transformações ambientais de qualquer natureza, sem desconsiderar três dimensões diferentes e complementares. São elas:

1 - Avaliações relativas ao meio ambiente: condizem a qualidade ambiental de um ecossistema, ou seja, a qualidade de vida humana, os indicadores ambientais e o meio ambiente.

2 - Avaliações relativas às atividades transformadoras: Elencam-se como os processos advindos das ações humanas que podem alterar um ecossistema, em qualquer um de seus níveis, podendo caracterizar-se como fator ameaça (adversidades ambientais, impactos negativos) e fator de oportunidade (impactos positivos, benefício) (*Ibid.* 1995).

3 - Avaliações relativas a ambos: Implementação e operação de uma atividade transformadora. Dessa relação decorrem dois processos: Intervenção ambiental e qualquer tipo de atividade que se instale numa determinada região. Alteração ambiental nova configuração ambiental decorrente de pelo mesmo uma intervenção ambiental (*Ibid.* 1995).

Para Macedo (1995) o modelo de avaliação ambiental pode ser de duas maneiras:

1 - Avaliação estrutural: Atende a necessidade de determinar as condições de funcionamento e de capacidade resistente de uma estrutura existente ou projetada, a qual busca aferir e comparar os impactos ambientais decorrentes das atividades transformadoras distintas e suas relações ambientais em um mesmo intervalo de tempo, numa determinada região;

2 - Avaliação temporal: Identifica os impactos ambientais frente a dois cenários, atual e tendencial, com a mesma estrutura ambiental.

Deve-se ter a clareza de que estas formas de avaliação nos possibilitam avaliar uma área em relação às de alterações decorrentes das transformações em que uma região está suscetível.

Quando se reporta ao processo de avaliação ambiental, afirma não se pode deixar de lado o planejamento ambiental, já que este caracteriza-se como um processo de obtenção organizada sobre um conjunto de informações, reflexão sobre problemas e potencialidades de uma determinada região, bem como, definição de metas, objetivos e estratégias de ação, dentre outros pontos básicos e necessários a serem abordados, segundo Lanna (1993).

Dentro deste cenário merecem destaque os elementos normalizadores ambientais, os quais são considerados importantes instrumentos para um planejamento ambiental e cujas aplicações são determinadas por lei.

3.2 Legislação Ambiental Brasileira

As leis ambientais visam assegurar e preservar o meio ambiente, fiscalizar e repreender crimes ambientais, nas suas diferentes formas. Inúmeras são as leis que possuem este objetivo, entretanto pode-se enfatizar as que mais se destacam, como:

– Lei Nº 6.938 (31 de agosto de 1981) – institui a política nacional do meio ambiente, e estabelece normas para a preservação, proteção e melhoria da qualidade ambiental;

– Lei Nº 9.433 (8 de janeiro de 1997) – institui a política nacional de recursos hídricos; e

– Lei Nº 4.771 (15 de setembro de 1965) alterada pela Lei nº 7.803/89 – estabelece o código florestal.

3.2.1 Política Nacional do Meio Ambiente

Conforme rege a Lei 6.398 de 31 de agosto de 1981, a Política Nacional de Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no país, condições ao desenvolvimento sócio-econômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana, atendidos os seguintes princípios:

1. Ação governamental na manutenção do equilíbrio ecológico, considerando o meio ambiente como um patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo;
2. Racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar;
3. Planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais;

5. Controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras;
6. Incentivos ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais;
7. Acompanhamento do estado da qualidade ambiental;
8. Recuperação de áreas degradadas;
9. Proteção de áreas ameaçadas de degradação;
10. Educação ambiental em todos os níveis do ensino, inclusive a educação da comunidade, objetivando capacitá-la para a participação ativa na defesa do meio ambiente .

A Lei Nº 6.938, como mecanismo de concretização da Política, institui o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), presidida pelo Ministro de Estado do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (MMA) e integrada por representantes dos demais Ministérios setoriais, Governos estaduais, Distrito Federal, Confederações Nacionais de Trabalhadores na Indústria, no Comércio e na Agricultura, dentre outros.

O SISNAMA - Sistema Nacional do Meio Ambiente, formado pelos órgãos e entidades da União, dos Estados, do Distrito Federal, dos Municípios, bem como, pelas fundações instituídas pelo Poder Público, torna-se responsável pela proteção e melhoria da qualidade ambiental, e seu órgão superior é o Conselho Nacional do Meio Ambiente.

Alguns instrumentos são intuídos para operacionalização e implementação da Política Nacional do Meio Ambiente, sendo: o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental; o zoneamento ambiental; a avaliação de impactos ambientais; o licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras; os incentivos à produção e instalação de equipamentos e a criação ou absorção de tecnologia, voltadas para a melhoria da qualidade ambiental; a implantação de reservas, parques ecológicos e áreas de proteção ambiental pelo Poder Público Federal, Estadual e Municipal; o sistema nacional de informações sobre o meio ambiente; o cadastro técnico federal de atividades e instrumentos de defesa ambiental; e as penalidades disciplinares ou compensatórias ao não cumprimento das medidas necessárias à preservação ou correção da degradação ambiental.

3.2.2 Política Nacional de Recursos Hídricos

O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), criado pela Lei Nº 9.433/97 - Política Nacional de Recursos Hídricos criou, princípios gerais básicos para a gestão dos recursos hídricos, sendo:

1. A gestão por bacia hidrográfica;

2. A observância aos usos múltiplos;
3. O reconhecimento da água como valor econômico;
4. A gestão descentralizada e participativa; e
5. O reconhecimento da água como bem finito e vulnerável.

Como fundamentos foram estabelecidos:

1. A água é um bem de domínio público,
2. Tratando-se de um recurso natural limitado, dotado de valor econômico; em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais; a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
3. A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
4. A gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Conforme prevê a Legislação, a Política Nacional de Recursos Hídricos tem por objetivos: assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; garantir a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável; e a prevenção a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origens naturais ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

Para assegurar a implementação da política com o cumprimento de seus objetivos algumas diretrizes são levadas em consideração, como a gestão sistemática dos recursos hídricos, associando aspectos de quantidade e qualidade; a gestão de recursos hídricos adequadas às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do País; a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental; a articulação do planejamento de recursos hídricos com o dos setores usuário e com os planejamentos regionais, estaduais e nacionais; a articulação da gestão de recursos com o uso do solo; e a integração da gestão das bacias hidrográficas com a dos sistemas estuarinos e zonas costeiras.

Como instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, a Lei 9433/97 estabeleceu: a) os planos de recursos hídricos b) a outorga de direito de uso dos recursos hídricos; c) a cobrança pelo uso dos recursos hídricos; d) o enquadramento dos corpos de água em classes de uso; e, e) o sistema nacional de informações sobre recursos hídricos.

A determinação da Bacia Hidrográfica é um ponto importante dentro da Política Nacional de Recursos Hídricos e que merece destaque.

3.2.3 Código Florestal

O código florestal conforme lei Nº 4.771/65 alterada para lei Nº 7.803/84, tem por objetivo geral reconhecer que as florestas são bens de interesse comum a todos os habitantes do País, instituindo como áreas de preservação permanente as florestas e demais formas de vegetação natural situada nas seguintes regiões:

1. Ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima seja:

1º – de 30 m (trinta metros) para os cursos d'água de menos de 10 m (dez metros) de largura;

2º – de 50 m (cinquenta metros) para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 m (cinquenta metros) de largura;

3º – de 100 m (cem metros) para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 m (duzentos metros) de largura;

4º – de 200 m (duzentos metros) para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 m (seiscentos metros) de largura;

5º – de 500 m (quinhentos metros) para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 m (seiscentos metros). (Redação determinada pela Lei nº 7.803/89).

2. Ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais;

3. Nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 m (cinquenta metros) de largura (Redação determinada pela Lei nº 7.803/89);

4. No topo de morros, montes, montanhas e serras;

5. Nas encostas ou partes destas, com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive;

6. Nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadores de mangues;

7. Nas bordas dos tabuleiros ou chapadas;

8. Em altitude superior a 1.800m (mil e oitocentos metros), qualquer que seja a vegetação. Redação determinada pela Lei nº 7.803/89.

3.3 Zoneamento Geoambiental

Cendrero (1975), ressalta a importância dos estudos geoambientais, salientando que o planejamento, de acordo com a capacidade das unidades ambientais, permite o máximo uso dos recursos naturais de uma área com um mínimo de dano ambiental.

O zoneamento geoambiental pode ser caracterizado como um instrumento de auxílio no planejamento e no ordenamento territorial, seja em escala regional ou local, pois estudos desta natureza possibilitam a caracterização de áreas quanto às suas aptidões e restrições às atividades já em desenvolvimento e/ou prováveis de serem implantadas, além de indicar porções do terreno com uma maior qualidade ambiental que possam ser preservadas, segundo Grecchi (1998).

De um modo geral, o zoneamento geoambiental pode ser entendido como uma aplicação da geologia ambiental, resultante da interação de caracterizações geológicas, geomorfológicas, hidrológicas, acrescida de informações sobre recursos naturais, científicos e culturais.

Para Montañó (2002) nos últimos anos o zoneamento ambiental tem se destacado como instrumento estratégico do planejamento regional. O autor ressalta que este é fortemente vinculado ao parcelamento do solo e definição de usos específicos.

Diegues (1998) destaca que:

A base do gerenciamento geoambiental, entendida do prisma de ordenação territorial, é constituída pelas técnicas de zoneamento, resultando num plano de ocupação do espaço e uso dos recursos. Esse plano definirá as unidades ambientais em termos de área para uso intensivo, extensivo, preservação e de uso múltiplo. O tipo de uso recomendável dependerá das vocações naturais, das restrições encontradas e das demandas por bens e serviços.

De acordo com Sobreira (1995), os estudos de natureza geoambiental apresentam três formas de abordagem distintas: planejamento e ordenamento territorial, análise dos perigos e riscos naturais e estudos de impactos ambientais conforme pode ser observado na Figura 3.1.

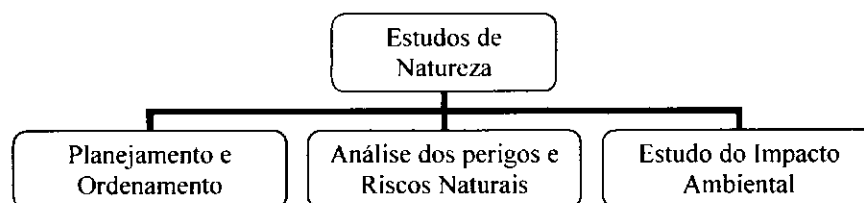


Figura 3.1: Abordagens distintas dos estudos de natureza geoambiental
Fonte: Sobreira (1995)

O autor ressalta ainda que as abordagens, apesar de distintas, apresentam-se interligadas, pois têm como problemática central à intervenção do homem na natureza.

Sobreira (1995), cita três etapas que devem ser atendidas em estudos de natureza geoambiental:

1. Planificação – análise, diagnóstico e recomendação;
2. Ordenamento – normas estabelecidas com base na etapa anterior; e
3. Manejo e gestão – implantação, acompanhamento e controle das atividades do uso do território.

Para Jacinto (2003), o ordenamento territorial é um importante instrumento de gestão ambiental que deve ser aplicado dentro dos princípios do desenvolvimento sustentável.

Espinosa (1993) salienta que os estudos geoambientais são úteis ao planejamento da área territorial e surgem como uma demanda frente ao intenso crescimento e comprometimento das águas, do ar e do solo como receptores de dejetos.

A importância de se considerar os elementos e processos naturais no planejamento ambiental está não só no auxílio à distribuição das atividades humanas, mas também nos possíveis impactos negativos que possam ocorrer Francés (1990) *apud* Sobreira (1995). Outro objetivo mais específico a ser considerado é a definição cartográfica de porções do terreno com maior qualidade ambiental que devam ser preservadas que são constituídas de:

- Proposição de medidas de atuação direcionadas a melhorar, recuperar ou reabilitar os elementos e ou processos do meio natural que se encontrem degradados por atividades incompatíveis com sua vocação de uso (entendidas essas como atividades que causam menor rendimento do meio, causando deterioração desnecessária de seus parâmetros ambientais);
- Delimitação de áreas com elevada produtividade primária, cuja vocação de uso aconselhe sua exclusão do perímetro urbano, evitando sua consolidação ou deterioração por obras de infra-estrutura, polígonos industriais, entre outras;
- Estabelecimento de linhas de atuação para valorização dos recursos naturais insuficientemente aproveitados.

A cartografia geoambiental, como enfatizada por Grecchi (1998), é um importante instrumento de planejamento, seja de enfoque local ou regional, e pode suprir as solicitações ambientais dentro dos processos de planejamento e ordenamento territorial.

No conjunto das mudanças avaliadas na superfície terrestre destaca-se aquela relacionada à cobertura vegetal, considerada por Bertrand (1972, 2004), como síntese da paisagem e fonte vital para sustentação da vida em nosso planeta.

Dentre as metodologias empregadas para identificação e avaliação de mudanças na estrutura e dinâmica da cobertura vegetal entre diferentes datas destaca-se a detecção de mudança espectral a partir do emprego do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). O NDVI de acordo com Sá *et al.* (2008) permite avaliar as condições da vegetação e sua respectiva dinâmica têmporo-espacial. Carvalho Júnior & Silva (2007) consideram ser a detecção de mudança espectral uma nova metodologia para análise de séries temporais.

Lopes *et al.* (2010) afirmam que a simplicidade e alta sensibilidade do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), na avaliação da densidade da cobertura vegetal tornaram possível o monitoramento da vegetação em escala global, fato que elege o NDVI como um indicador biofísico indispensável aos estudos de avaliação e monitoramento sazonal e interanual da degradação do ambiente.

Gurgel (2003) destaca ainda as seguintes aplicações para o NDVI: monitoramento de cultivo agrícola regional, estudos de desertificação, monitoramento de seca, monitoramento ambiental terrestre e estudos globais de balanços de água e energia.

O NDVI é a diferença da refletância no infravermelho próximo (banda 4 do sensor temático do Landsat 5 e 7) e a refletância no vermelho (banda 3 do sensor temático do Landsat 5 e 7); esta diferença é então normalizada pela soma das duas refletâncias como segue, (Equação 3.1):

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{R}}{\text{NIR} + \text{R}} \quad (3.1)$$

Onde:

NDVI é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

NIR a refletância no Infravermelho próximo;

R a refletância no vermelho próximo.

Liu (2007) afirma que o NDVI condensa as informações espectrais e discrimina espaços vegetados e não vegetados, aspecto que torna sua utilização imperativa nos estudos relacionados à cobertura do solo e a degradação da terra.

O índice de vegetação por diferença normalizada varia de -1 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1 maior o vigor da vegetação, mais densa a cobertura vegetal e maior a atividade fotossintética, Santos & Negri (1997).

Santos & Negri (1997) afirmam a estreita correlação do NDVI com variáveis climáticas tais como a precipitação e a temperatura da superfície terrestre. As oscilações entre as estações seca e úmida durante o ano e entre os diferentes anos, com condições de maior ou menor secura, influenciam de forma direta o comportamento fenológico das plantas.

3.4 Bacias Hidrográficas como Unidades de Planejamento

Para Silveira (1993), uma bacia hidrográfica constitui uma área de captação natural de água precipitada, onde os escoamentos convergem para um único ponto. Apresenta como constituintes básicos o conjunto de vertentes e as redes de drenagem, formadas pela confluência dos cursos d'água.

Para Chorley *et al.* (1984), uma bacia hidrográfica é considerada um sistema ou unidade geomorfológica, constituída de divisores de água, encostas, redes de drenagem e um canal principal de maior extensão.

Guerra & Cunha (1996) ressaltam que um fator importante a ser destacado é que, internamente, a bacia está em constante ajuste de seus elementos e formas, em função das mudanças de entrada e saída de energia, que podem ser catalisadas pelo uso inadequado dos componentes do meio pelo homem. Rawat (1987) *apud* Collares (1996) apresenta algumas prováveis modificações em função de input de energia e características intrínsecas de uma bacia. Bacia hidrográfica pode ser definida como uma área topográfica, drenada por um curso de água ou sistema conectado de cursos de água de forma que toda vazão afluyente seja descarregada através de uma simples saída. Polette *et al.* (2004).

Barrow (1998), conceitua amplamente as bacias hidrográficas como unidades biogeográficas com alto grau de integridade funcional, representando sistemas relativamente homogêneos. Para o autor cada bacia é única, com características geológicas, hidrológicas e ecológicas que a caracterizam como uma unidade de paisagem operacional amplamente usada para o planejamento e o manejo integrado, buscando manter a qualidade ambiental e o desenvolvimento sustentável.

A gestão ambiental caminha progressivamente para adotar as bacias hidrográficas como unidades de planejamento e apesar da clara ênfase na questão dos recursos hídricos, é necessário que seja feito um planejamento global que contemple todos os componentes dos recursos naturais e componentes sócio-econômicos Souza *et al.* (1997); Ross & Del Pettre (1998).

Para Montañó (2002), a bacia hidrográfica é considerada a unidade territorial mais adequada por alguns especialistas para uma gestão ambiental integrada que busque adotar práticas sustentáveis, considerando os aspectos físicos e econômicos.

Prochnow (1990) destaca que a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento justifica-se não apenas porque a bacia constitui uma unidade física bem caracterizada, tanto do ponto de vista da integração como da finalidade de seus elementos, mas também porque não há qualquer área de terra, por menor que seja, que não se integre a uma bacia hidrográfica.

Bourlon & Berthon (1993) destacam que a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento não é uma unanimidade internacional. Os autores citam vários países da Europa, como por exemplo, Alemanha, Áustria, Bélgica e Dinamarca que adotam unidades de planejamento com limites administrativos.

Lanna (1993) descreve a bacia como uma das alternativas para o planejamento e gerenciamento ambiental, destacando algumas vantagens e desvantagem. Dentre as vantagens, o autor destaca que a rede de drenagem de uma bacia consiste em um dos caminhos preferências das relações de causa-efeito, particularmente aquelas que envolvem o meio hídrico. Dentre as desvantagens argumenta que nem sempre os limites municipais e estaduais respeitam os divisores da bacia.

Ross; Del Pettre (1998) ressaltam que a gestão ambiental caminha progressivamente para tomar as bacias hidrográficas como unidade de planejamento regional, mas com uma clara ênfase nos recursos hídricos. Advertem, entretanto, sobre a necessidade de uma política que contemple os outros componentes dos recursos naturais (solos, relevo, atmosfera, substrato rochoso, fauna e flora) e os componentes sociais e econômicos, não em termos de bacias hidrográficas, mas também considerando sua interação regional e sua articulação com os problemas nacionais.

Leite (2000) define o gerenciamento de bacia hidrográfica como um instrumento que orienta o poder público e a sociedade, em longo prazo, na utilização e monitoramento dos recursos ambientais - naturais, econômicos e sócio-culturais, na área de abrangência de uma bacia hidrográfica, de forma a promover o desenvolvimento sustentável, constituindo, portanto, parte integrante da gestão de recursos hídricos.

Para Salati (1996), planejar uma bacia hidrográfica significa estruturar um conjunto de procedimentos, os quais devem ser capazes de assegurar um uso ambiental correto de todos os recursos naturais do meio, objetivando:

- Promover o desenvolvimento sustentado da bacia;

- Melhorar a qualidade de vida das populações; e
- Garantir a construção e a preservação ambiental.

Dentro do processo de planejamento de bacias hidrográficas, Salati (1996) salienta a importância da avaliação de impactos ambientais, como uma das mais importantes etapas de planejamento. Para este autor tais avaliações constituem um processo de previsão, destinado tanto à avaliação de um futuro melhor como também à garantia da sobrevivência do homem sobre a Terra. Considera ainda que o planejamento regional de bacias hidrográficas, almeja alcançar um desenvolvimento espacialmente equilibrado, de maneira a criar ligações efetivas entre áreas urbanas e rurais.

3.4.1 Condicionantes para Alterações Ambientais em Bacias Hidrográficas

Segundo Fornassari Filho (1992), as principais alterações registradas no meio ambiente são originadas ou potencializadas por atividades humanas, independente de limites administrativos, topográficos, geomorfológicos ou ecológicos. Estas atividades alteram propriedades ou características do meio físico e podem interferir em usos preexistentes de um determinado ambiente.

Prochnow (1990) cita que os fatores de degradação ambiental de uma bacia são reflexos das condições ambientais predisponentes da área e das opções políticas e econômicas da sociedade nela inserida. Estes fatores podem ser subdivididos em dois grupos:

- Fatores de ordem natural – relacionados à pré-disposição do meio físico a degradação ambiental;
- Fatores de natureza antrópica – resultantes das atividades humanas na organização do espaço (aspectos econômicos, sociais, tecnológicos, políticos e institucionais).

A) Condicionantes de Ordem Natural:

De acordo com Prochnow (1990), os principais condicionantes naturais capazes de induzir alterações nos recursos renováveis de uma bacia hidrográficas são as características geológicas, geomorfológicas, climáticas, hidrológicas, pedológicas, etc.

As características geológicas de uma determinada bacia influenciam diretamente a resistência e a permeabilidade do material rochoso, bem como o tipo de solo residual a ser formado. Os solos, por sua vez, são submetidos a processos intempéricos resultantes das condições climáticas atuantes na área da bacia.

Para este mesmo autor, a configuração geomorfológica e seus mecanismos de evolução definem o modelado da paisagem, conferindo maior ou menor capacidade ao desenvolvimento dos processos de erosão, ravinamento e boçorocamento.

A infiltração da água está relacionada com as condições litológicas, topográficas, pedológicas e fitogeográficas locais, que irão responder pelas diferenças entre os totais de chuva e evapotranspiração, constituindo-se em importantes elementos no balanço hídrico, cujas conseqüências são refletidas, principalmente, no comportamento e estruturação da drenagem.

B) Condicionantes de Natureza Antrópica:

Prochnow (1990), destaca diferentes atividades como principais responsáveis pelas modificações das condições naturais do meio físico, no âmbito de uma bacia hidrográfica. Dentre estas são ressaltadas aqui:

1. As atividades agropecuárias e agroindustriais;
2. O desmatamento;
3. A erosão e o assoreamento; e
4. A ocupação humana.

Atividades Agropecuária acarretam, principalmente, a erosão dos solos cultivadas e a poluição de aquíferos, pelo uso de fertilizantes, pesticidas e herbicidas, e o lançamento de efluentes de animais Doyle (1991); Seager et al. (1992). Além destas, existem as conseqüências secundárias, como o desmatamento e perda de florestas, gerados pelo processo de abertura de clareiras e criação de animais; a perda e desperdício de água utilizada para irrigação de terras, e a diminuição de nutrientes do solo, pelo uso excessivo deste recurso Corson (1993).

A retirada da vegetação provoca o descobrimento do solo, o aumento da erosão e a perda da fertilidade. O solo descoberto é carregado para os mananciais, provocando assoreamento e conseqüências negativas como: a) redução da capacidade de armazenamento, redução da infiltração de água e de recarga de aquíferos subterrâneos; b) aumento do escoamento das águas superficiais, provocando cheias e enchentes; c) aumento da turbidez da água e redução da incidência de luz solar; d) comprometimento da vida aquática; e, e) aumento do risco de poluição dos mananciais.

Prochnow (1990) ressalta que a vegetação tem um papel importante em uma bacia hidrográfica, pois garante a biodiversidade local, protege o solo contra a erosão provocada pelo vento e pela chuva, e contribui para fertilização com o fornecimento da matéria orgânica.

Os processos erosivos são deflagrados pela ocupação do solo e passam a ser controlados por fatores naturais relacionados à chuva, o relevo, o solo e a cobertura vegetal Salomão & Iwasa (1995). Parte dos sedimentos provenientes da erosão são depositados em determinadas posições das vertentes, podendo comprometer a fertilidade dos solos, além de poder atingir o fundo dos vales gerando o assoreamento dos cursos d'água e reservatórios.

Segundo os autores, o assoreamento desequilibra as condições hidráulicas, promove enchentes e perda de capacidade de armazenamento d'água, gerando prejuízos para o abastecimento e a produção de energia.

A ocupação humana constitui um fator decisivo de incremento de processos geradores de impactos como erosão, assoreamento e escorregamento. A ocorrência destes processos é induzida por meio de atividades como o desmatamento, cultivo de terra, construção de obras e criação ou expansão de cidades Salomão & Iwasa (1995).

Conforme Collares (1996), uma das principais conseqüências da erosão, além da perda de terrenos, é o assoreamento que ocorre nos cursos d'água e reservatórios. O principal impacto provocado pelo assoreamento é o desequilíbrio das condições hidráulicas, gerando enchentes, perda de capacidade de armazenamento d'água, incremento de poluente e o prejuízo no abastecimento e produção de energia.

Uma forma de quantificar as modificações introduzidas no meio ambiente, sejam de ordem natural, sejam de natureza antrópica, é por meio da utilização de indicadores ambientais.

3.5 Geoprocessamento e Estudos Ambientais

Na perspectiva moderna de gestão do território, toda ação de planejamento, ordenação ou monitoramento do espaço deve incluir a análise dos diferentes componentes do meio ambiente, incluindo o meio físico-biótico, a ocupação humana e o interrelacionamento destes. Neste contexto, vem se destacando o uso do geoprocessamento e suas ferramentas segundo Câmara & Medeiros (1998).

O termo geoprocessamento pode ser entendido como a tecnologia que utiliza técnicas computacionais para tratamento de informações geográficas. Esta tecnologia utiliza ferramentas computacionais chamadas de sistemas de informações geográficas (SIG), as quais permitem realizar análises espaciais complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ou criar bancos de dados georreferenciados (*Ibid.* 1998).

O geoprocessamento vem influenciando de maneira crescente nas áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicação, energia e planejamento urbano e regional. Com relação aos estudos ambientais os SIG vêm sendo muito empregados na realização de mapeamento temático, diagnóstico ambiental, avaliação e impacto ambiental e ordenamento territorial.

Os SIG's apresentam duas características principais, que são: 1) inserir e integrar, em uma base de dados única, informações espaciais obtidas de dados cartográficos, censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno e, 2) oferecer mecanismos para combinar os vários níveis de informação, por meio de operações de manipulação e análise, por algoritmos, bem como, consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados.

De forma sumarizada, os SIG, podem ser conceituados como sistemas de processamento de dados, que se apóiam em processos gráficos e capturam dados espacialmente referenciados, administrando e processando estes dados para aplicações no campo das geodisciplinas, segundo Lopes (2000).

Autores, tais como Gtz (1991) e Dale & McLaughen (1990), afirmam que o ambiente computacional permite analisar dados de forma integrada, revolucionando o modo como as informações geográficas (fotografias aéreas e imagens de satélite), são manipuladas, as quais são freqüentemente usadas em pesquisas e nos processos de planejamento.

A grande adaptabilidade destes sistemas, fazem com que os SIG tenham grande aplicação, podendo ser utilizados em processos de análise ambientais, planejamento de uso da terra, de recursos hídricos, economia, entre outras finalidades.

3.5.1 Estrutura de um Sistema de Informações Geográficas

De acordo com Câmara & Medeiros (1998), os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) apresentam cinco componentes básicos: 1) interface com o usuário; 2) entrada e integração de dados; 3) funções de processamento gráfico e de imagens; 4) visualização e plotagem e, 5) armazenamento e recuperação de dados na forma de um banco de dados georreferenciados.

De uma maneira geral os componentes dos sistemas de informações geográficas podem ser organizados em quatro categorias: 1) Entrada de dados, 2) Gerenciamento e recuperação de informações, 3) Manipulação e análise e 4) Exibição e produção de saída.

A entrada dos dados de forma contrária aos sistemas de bancos de dados convencionais, os SIG são capazes de armazenar informações variadas, de natureza gráfica, como vetores e imagens. Para isto, é necessário que o SIG conte com módulos ou interfaces que permitam que o usuário possa incorporar dados e visualizá-los graficamente. Uma das formas, mais usuais, que vêm sendo utilizadas para a entrada de dados em SIG é o processo de digitalização semi-automática e automática, que transforma dados gráficos em formato vetorial.

Uma vez formada a base de dados geográficos, o SIG precisa ser capaz de gerenciá-la, objetivando garantir o acesso rápido e eficiente às informações por ele gerenciada, devendo:

- Manter a consistência da base de dados por meio das operações realizadas pelos usuários;
- Controlar o acesso simultâneo aos dados;
- Garantir a integridade da relação gráfico-alfa;
- Executar operações de salvamento (*backup*) e recuperação de informações;
- Garantir a recuperação total ou parcial do banco de dados em caso de falhas; e
- Garantir a segurança no acesso às informações contidas no banco de dados, impedindo acesso não autorizados e limitando o acesso a dados sensíveis.

As funções de manipulação e análise de dados geográficos são agrupadas de acordo com o tipo de dado tratado (correspondente a uma geometria distinta):

- Análise Geográfica – permite a combinação de informações temáticas. Pode ser realizada no domínio vetorial ou matricial (*raster*).
- Processamento Digital de Imagens – permite o tratamento de imagens de satélite e de “*scanners*” para obtenção referentes ao meio físico e cadastrais.
- Modelagem Numérica do Terreno – permite a execução de cálculos como declividade, volume, cortes transversais e linha de visada, por meio da construção de modelos (grade regular ou triangular) a partir de pontos amostrais esparsos ou linhas.
- Modelagem de Redes – consiste tipicamente de cálculo de caminho ótimo e crítico. No sistema de modelagem de redes a determinação do caminho ótimo depende da necessidade do usuário.

As saídas dos dados são enfocadas na forma de duas categorias: 1) Produção – na qual são priorizados a produção otimizada de mapas em papel, tabelas e relatórios e 2) Recursos de Consulta – na qual o interesse gira em torno da resposta interativa do sistema às demandas do usuário.

A apresentação espacial dos dados (mapas) pode ser feita por meio de duas grandes classes:

1. Representação Matricial – na qual o espaço é representado como uma matriz P (m, n) composta de m colunas e n linhas, onde cada célula possui um número de linha, um número de coluna e um valor correspondente ao atributo estudado e, cada célula é individualmente acessada pelas suas coordenadas, como sugere Câmara & Medeiros (1998).

2. Representação Vetorial – na qual são considerados três elementos gráficos: 1) Ponto – Também chamados de elementos pontuais, abrangem todas as entidades geográficas que podem ser perfeitamente posicionadas por um único par de coordenadas X e Y . Além das coordenadas, outros dados não-espaciais (atributos) podem ser arquivados para indicar de que tipo de ponto está se tratando; 2) Linhas, arcos ou elementos lineares – conjunto de pontos conectados. Além das coordenadas dos pontos que compõem a linha, deve-se armazenar informações que indiquem de que tipo de linha se está tratando, ou seja, a que atributo ela está associada; e 3) Área ou polígono - são representados pela lista de linhas que a compõem.

Teixeira *et al.* (1992) descrevem a representação matricial como "a partição do espaço em uma malha com linhas verticais e horizontais espaçadas de forma regular, formando células chamadas de pixel ou quadrícula". Geralmente, os pixels possuem dimensões verticais e horizontais iguais, que define a resolução da malha.

De acordo com Eastman (1998), a forma vetorial é definida por uma série de pontos, linhas e polígonos, os quais formam a representação gráfica das feições. Cada ponto está georreferenciado a um sistema de coordenadas, como latitude/longitude ou a grade de coordenadas UTM (*Universal Transverse Mercator*).

3.5.2 Sensoriamento Remoto

O Sensoriamento Remoto pode ser entendido como um conjunto de atividades que permite a obtenção de informações dos objetos que compõem a superfície terrestre sem a necessidade de contato direto com os mesmos. Estas atividades envolvem a detecção, aquisição e análise da energia eletromagnética emitida ou refletida pelos objetos terrestres e registradas por sensores remotos, conforme Moreira, (2001).

O processamento digital é um recurso viável e indispensável na utilização desses produtos no planejamento de bacias hidrográficas e é bastante adequado para o planejamento ambiental, pois possibilita estudos de monitoramento de áreas, com periodicidade constante segundo Duarte (2003) e Freitas *et al.* (2005).

A observação da terra por meio de satélites é a maneira mais efetiva e econômica de coletar os dados necessários para monitorar e modelar estes fenômenos, especialmente em países de grande extensão territorial. Os satélites empregados para estes propósitos são complexos, dispendiosos e de alto conteúdo tecnológico. Muitos países dependem das imagens obtidas através dos poucos satélites de observação da terra disponíveis, em muitos casos, não inteiramente adequados às peculiaridades do território ou dos recursos naturais investigados. Para maior eficácia, é necessário que os sensores do satélite tenham sido projetados para a aplicação específica desejada. Além do mais, existem as óbvias implicações estratégicas e políticas de se utilizar um satélite que pode não estar disponível ao país sempre que requerido (INPE, 2002).

Segundo Lillesand & Kiefer (1995) sensoriamento remoto é a ciência e a arte de se obter informações sobre um objeto, área ou fenômeno, por meio de análise de dados adquiridos por um sistema que não está em contato com esse objeto, área ou fenômeno.

A partir da década de setenta, com o lançamento dos satélites Landsat, muitas pesquisas têm utilizado informações sobre os diferentes alvos da superfície terrestre, coletados a nível orbital, que são de grande importância no estudo dos recursos naturais, conforme argumentaram Moreira & Assunção (1984).

O Brasil recebe as imagens dos satélites de sensoriamento remoto para todo o território brasileiro e boa parte da América do Sul, através de uma antena de recepção localizada no centro geométrico da América do Sul em Cuiabá/MT (INPE, 2002).

As características espectrais como vegetação, solo e água são de grande interesse e constituem elementos fundamentais e essenciais para análise e interpretação de dados de sensoriamento remoto, conforme aponta Queiroz, (1996).

As plataformas dos satélites Landsat, de origem norte-americana, foi desenvolvida da necessidade de informações dos recursos naturais e meio ambiente da Terra dentro de uma forma global e repetitiva. Na (Tabela 3.1) são apresentadas algumas características dos satélites da série Landsat.

Tabela 3.1: Características de Órbita dos Satélites Landsat utilizadas no estudo

Parâmetros	Satélites		
	Landsat 1,2 e 3	Landsat 3 e 4	Landsat 7
Altitude nominal (km)	920	705	705
Duração da órbita (min)	103	99	99
Nº de órbitas/dia	14	14,5	14
Repetitividade do ciclo (dias)	18	16	16

Fonte: INPE (2007)

As imagens adquiridas pelos sensores devem ser processadas adequadamente para uma posterior interpretação dos elementos terrestre nelas contidos.

As técnicas de processamento de imagens digitais são classificadas em: pré-processamento, técnicas de realce e técnicas de classificação, conforme Novo (1995).

3.5.3 Georreferenciamento e Dados SRTM

Os instrumentos computacionais do geoprocessamento são denominados de Sistemas de Informações Geográficas e permitem a realização de análises complexas ao integrar dados tabulares e geográficos de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados, também automatiza a produção de documentos cartográficos, segundo Camara (2001).

As imagens SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) foi uma missão realizada em conjunto pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e NIMA (*National Imaging and Mapping Agency*), dos EUA, com participação das agências espaciais DLR (*Deutsche Zentrum für Luftund Raumfahrt*), da Alemanha, e ASI (*Agenzia Spaziale Italiana*), da Itália, com objetivo de produzir um Modelo Digital de Elevação (DEM) de alta resolução, cobrindo quase todo o planeta.

Essa missão foi colocada em órbita em fevereiro de 2000, na nave espacial *Endeavour*. A nave levou em seu compartimento de carga um equipamento denominado de Radar de Abertura Sintética (SAR) interferométrico. Ao longo de 11 dias, foi imageada 80% da superfície terrestre, fornecendo modelos tridimensionais com amplitude da grade de 30m recobrando os Estados Unidos e 90m para o resto do planeta. Os dados foram obtidos com uma acurácia absoluta vertical de 16m e a horizontal de 20m (com 90% de confiança), segundo Farr *et al.* (2007).

Devido à falta de documentos topográficos em muitas áreas, a utilização do DEM gerado pela missão do SRTM apresenta-se como uma excelente alternativa.

A utilização de modelos digitais de elevação referentes a altimetria está relacionada à obtenção principalmente de suas variáveis derivadas como declividade, orientação e curvatura, as Figuras 3.2 e 3.3 apresentam uma imagem parcial do lago de Itaipu.

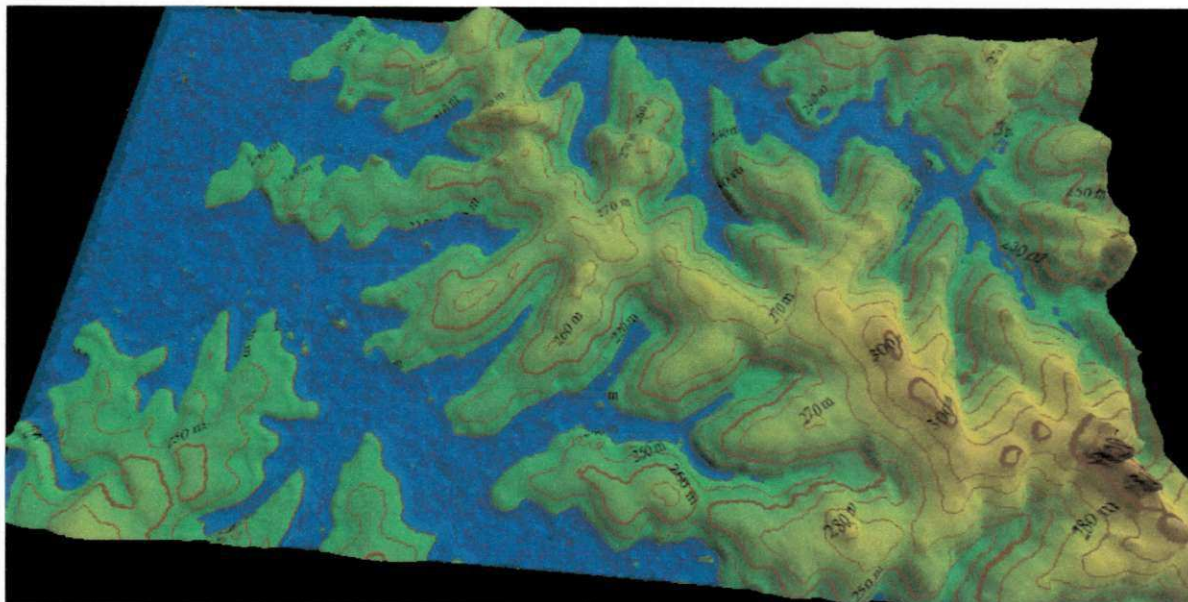


Figura 3.2: Imagem parcial A, do Lago de Itaipu em 3D localizado entre Brasil e Paraguai
Fonte: Itaipu Binacional, 2010

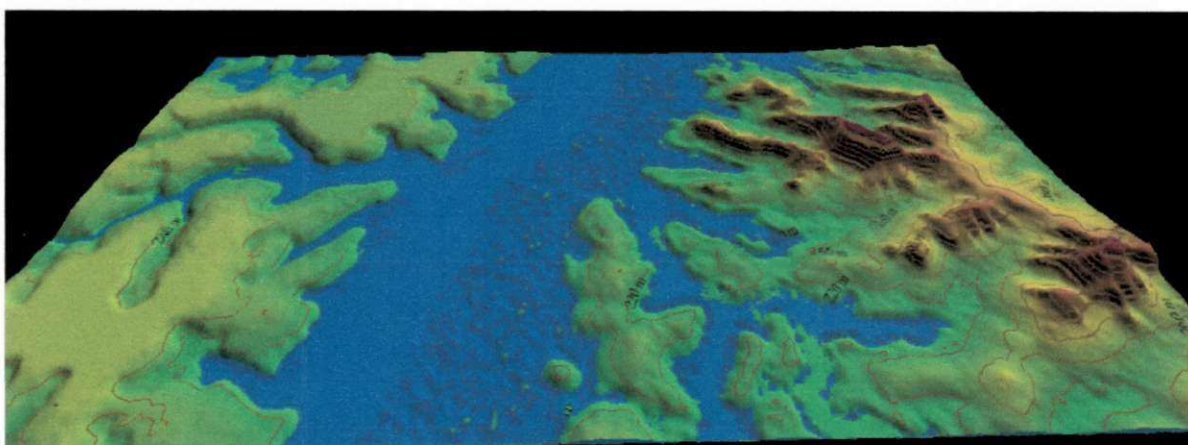


Figura 3.3: Imagem parcial B, do Lago de Itaipu em 3D localizado entre Brasil e Paraguai
Fonte: Itaipu Binacional, 2010

Através da técnica de hipsometria gerada nas figuras 3.2 e 3.3, representamos a elevação do terreno através de cores. As cores utilizadas possuem uma equivalência com a elevação do terreno. O conhecimento da hipsometria de uma região ajudará a reconhecer prováveis fenômenos que nela ocorrem, especialmente quando associado a outros elementos naturais, tais como posição geográfica, deslocamento de ventos e ação das correntes marinhas, entre outros.

3.5.4 Operações Matemáticas nos Sistemas de Informações Geográficas

Os SIG's apresentam funções matemáticas que permitem a realização de operações diversas. Isto é o que distingue esses sistemas de outros tipos de sistemas de informações.

Essas funções realizam análises espaciais, utilizando atributos espaciais ou não das informações armazenadas na base de dados, na tentativa de serem realizados modelamento (simulações) sobre os fenômenos reais, seus aspectos ou parâmetros, conforme Câmara & Medeiros (1998).

Nos estudos de natureza ambiental, um fator muito importante é o tipo de operação empregada, pelos sistemas de informações geográficas, no tratamento dos atributos que serão analisados.

As principais operações existentes em um sistema de informação geográfica são: 1) Operações Pontuais, 2) Operações Booleanas, 3) Operações matemáticas, 4) Operações de Vizinhaça 5) Operações Zonais, e 6) Operações de classificação contínua (operações com fundamentos de lógica *Fuzzy*).

Estas operações permitem que sejam realizadas simulações diversas sobre os dados armazenado nos SIG. As operações booleanas são as tradicionalmente aplicadas na análise espacial de atributos do meio físico. As operações de classificação contínua utilizam técnicas fundamentadas em noções de conjuntos nebulosos (*Fuzzy*) para efetuar análises sobre os dados espaciais considerando suas variações transicionais, e elaborar documentos cartográficos com dados representados em formato numérico, ou seja, as variáveis espaciais como solo, geomorfologia, vegetação, entre outras. Não são manipuladas em formato temático, mas sim numérico. De acordo com Câmara & Medeiros (1998) as operações de classificação contínua substituem os processos tradicionais de elaboração de mapas.

3.6 Lógica *Fuzzy*

Criada por Lofti A. Zadeh no início de 1965, as primeiras aplicações da lógica *Fuzzy* datam de 1974. Essa teoria generaliza os conceitos da Teoria Clássica de Conjuntos. Possui aplicações nas mais variadas áreas, como por exemplo: Avaliações por questionários, Medidas de Incerteza, Inteligência Artificial, Decisão, Processamento de Imagens, Otimização, Análise de Regressão, Reconhecimento de Padrões, etc. Hoje é aplicada nas ciências ambientais, medicina, engenharia e em outras ciências.

A Lógica *Fuzzy* pode ser vista como uma generalização da lógica booleana convencional. A grande diferença entre as duas está no fato de a lógica *Fuzzy* permitir um certo grau de incerteza, isto é, ela aceita a noção de parcialmente verdadeiro ou parcialmente falso, segundo Zimmermann (1987).

De outra forma pode ser definida como a lógica que suporta os modos de raciocínio aproximados ao invés de exatos, como as pessoas estão naturalmente acostumadas a trabalhar. Ela está baseada na teoria dos conjuntos nebulosos. O princípio fundamental da Lógica *Fuzzy* é o princípio da dualidade, que estabelece que dois eventos opostos podem coexistir. Isto é, um elemento pode pertencer, em um certo grau, a um conjunto e, em um outro grau, a um outro conjunto. Em Lógica *Fuzzy* os paradoxos podem ser reduzidos a “meias verdades” ou “meias mentiras”, como se queira, através de uma lógica multivalorada. O verdadeiro (1) e o falso (0) são substituídos por graus de pertinência que podem assumir qualquer valor entre 0 e 1. O valor 0,5 descreve um paradoxo.

A lógica tradicional trabalha com os dois extremos 1 e 0, ou o elemento está no conjunto ou não está. A lógica *Fuzzy* viola estas suposições. De acordo com Zimmermann (1987), um sim ou um não como resposta a determinadas questões é, na maioria das vezes, incompleta. Na verdade, entre a certeza de ser e a certeza de não ser, existem infinitos graus de incerteza (os elementos podem assumir qualquer valor dentro do intervalo [0, 1], valor esse conhecido como grau de pertinência). Esta imperfeição intrínseca à informação representada numa linguagem natural foi tratada matematicamente no passado com o uso da teoria das probabilidades. Contudo, a lógica *Fuzzy*, com base na teoria dos conjuntos *Fuzzy*, tem se mostrado mais adequada para tratar imperfeições da informação do que a teoria das probabilidades, de acordo com Oliveira *et al.* (1999).

De forma mais objetiva e preliminar, a lógica *Fuzzy* pode ser definida como sendo uma ferramenta capaz de capturar informações vagas, em geral descritas em linguagem natural e convertê-las para um formato numérico, de fácil manipulação pelos computadores de hoje em dia, segundo Zadeh & Jamshidi (1997).

Conforme Goldschmidt e Passos (2005) a Figura 3.4 ilustra a arquitetura funcional genérica de um sistema de inferência fuzzy.

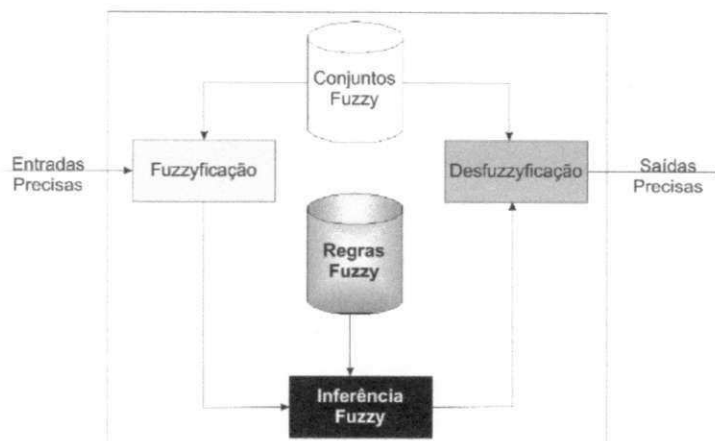


Figura 3.4: Arquitetura Genérica de um Sistema *Fuzzy*
 Fonte: Adaptado de Goldschmidt e Passos (2005)

A lógica *Fuzzy* também pode ser definida como a lógica que suporta os modos de raciocínio que são aproximados, ao invés de exatos, como estamos naturalmente acostumados a trabalhar. Esta lógica baseia-se na teoria dos conjuntos nebulosos e difere dos sistemas lógicos tradicionais em suas características e detalhes. Nessa, o raciocínio exato corresponde a um caso limite do raciocínio aproximado, sendo interpretado como um caso de composição nebulosa, segundo Galvão (1999).

De acordo com Saraiva (2000) a lógica *Fuzzy* é uma teoria matemática a qual utiliza critérios da teoria *Fuzzy* que fazem uso da nebulosidade. Os critérios gerais da teoria são: Teoria dos conjuntos *Fuzzy*, Lógica *Fuzzy*, Teoria de medidas *Fuzzy*.

A teoria dos conjuntos *Fuzzy* é basicamente uma teoria de conceitos graduados, na qual tudo é objeto de gradação ou, de modo figurativo, tudo tem elasticidade. Expressa nebulosidade por meio de conceito da teoria dos conjuntos. O que é chamado de nebulosidade leva em consideração um aspecto de incerteza. Nebulosidade (*fuzziness*) é a ambigüidade que pode ser encontrada na definição de um conceito ou no sentido de uma palavra. Por exemplo, expressões como uma velha pessoa, alta temperatura, ou pequeno número são nebulosas, pois apresentam ambigüidade em seus sentidos e incerteza, conforme Saraiva (2000).

Saraiva (2000) chama atenção para o fato de que nebulosidade não significa o mesmo que probabilidade. Anteriormente, a probabilidade era a única incerteza com que os matemáticos trabalhavam. A incerteza da probabilidade refere-se à incerteza de fenômenos, como simbolizados pelo conceito de aleatoriedade. Aleatoriedade (algo que ocorra sem um plano definido) e nebulosidade diferem em sua natureza, são aspectos diferentes da incerteza.

Saraiva (2000) exemplifica ainda os casos de incerteza de probabilidade, como as expressões: choverá amanhã e jogue os dados e retire um três. Estas expressões contêm

incertezas de ocorrências fenomenológicas. A incerteza de choverá amanhã ocorre causada por uma previsão meteorológica feita antes que amanhã se torne realidade (no tempo). A incerteza desta expressão é esclarecida com a passagem do tempo e a chegada do amanhã. A incerteza de jogar os dados e retirar um três é também o resultado de tentar antes de rolar os dados e, se os dados são rolados e este resultado ocorre, a proposição torna-se certa. Porém a incerteza de pessoas velhas ou altas temperaturas não é esclarecida com a passagem do tempo ou com a ocorrência de um resultado.

3.6.1 Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*

A teoria de conjuntos *Fuzzy* foi introduzida, em 1965, pelo matemático de origem iraniana Lotfi Asker Zadeh, professor da Universidade de Berkley - EUA, com a principal intenção de dar um tratamento matemático a certos termos lingüísticos subjetivos, como “aproximadamente”, “em torno de”, dentre outros. Esse seria um primeiro passo no sentido de se programar e armazenar conceitos vagos em computadores, tornando possível a produção de cálculos com informações imprecisas ou subjetivas, a exemplo do que faz o ser humano.

Para obter a formalização matemática de um conjunto *Fuzzy*, Zadeh baseou-se no fato de que qualquer conjunto clássico pode ser caracterizado por uma função: sua função característica, cuja definição é dada a seguir.

Seja U um conjunto e A um subconjunto de U . A função característica de A é dada por:

$$C_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{se } x \in A \\ 0 & \text{se } x \notin A. \end{cases}$$

Desta forma, C_A é uma função cujo domínio é U e a imagem está contida no conjunto $\{0, 1\}$, com $C_A(x) = 1$ indicando que o elemento x está em A , enquanto $C_A(x) = 0$ indica que x não é elemento de A . Assim, a função característica descreve completamente o conjunto A , já que indica quais elementos do conjunto universo U são elementos também de A .

Permitindo uma espécie de “relaxamento” no conjunto imagem da função característica de um conjunto foi que Zadeh formalizou matematicamente um subconjunto *Fuzzy*.

Seja U um conjunto (clássico) e F um subconjunto *Fuzzy* de U . Nela F é caracterizado por uma função $\mu : U \rightarrow [0, 1]$, chamada função de pertinência do conjunto *Fuzzy* F .

O valor $\mu(x) \in [0, 1]$ indica o grau com que o elemento x de U está no conjunto *Fuzzy* F , com $\mu(x) = 0$ e $\mu(x) = 1$ indicando, respectivamente, a não pertinência e a pertinência completa de x ao conjunto *Fuzzy* F . Do ponto de vista formal, a definição de um subconjunto *Fuzzy* foi obtida simplesmente ampliando-se o contra-domínio da função característica, que é o conjunto $\{0, 1\}$, para o intervalo $[0, 1]$.

Neste sentido, pode-se dizer que um conjunto clássico é um caso particular de conjunto *Fuzzy*. Por exemplo, o conjunto P , dos números pares, tem função característica $CP(n) = 1$ se n é par e $CP(n) = 0$ se n é ímpar. Portanto o conjunto dos pares é um particular conjunto *Fuzzy* já que $CP(n) \in [0, 1]$.

Neste caso foi possível descrever todos os elementos de P a partir da função característica porque todo número natural ou é par senão é ímpar.

3.6.2 Teoria de Medidas *Fuzzy*

De um modo geral pode-se dizer que, em um problema concreto, muitos números que lá aparecem são idealizações de informações imprecisas envolvendo valores numéricos, como são os casos de frases como “em torno de”. Por exemplo, quando se mede a altura de um indivíduo, o que se obtém é um valor numérico carregado de imprecisões. Tais imprecisões podem ter sido causadas pelos instrumentos de medidas, pelos indivíduos que estão medindo, pelo indivíduo que é medido. Finalmente opta-se por um valor preciso (um número real) “ a ” para indicar a altura.

No entanto, seria mais prudente dizer que a altura é em torno de “ a ”. Neste caso, matematicamente, indica-se a expressão em torno de “ a ” por um conjunto *Fuzzy* A , cujo domínio é o conjunto dos números reais. Também é razoável esperar que $A(a) = 1$. A escolha dos números reais como domínio é porque, teoricamente, os possíveis valores para a altura são números reais.

Para definir número fuzzy, é preciso introduzir o conceito de α -níveis (também conhecido como α -cuts) de um conjunto fuzzy A , que são os subconjuntos clássicos dos números reais definidos por:

$$[A]^\alpha = \{x \in : A(x) \geq \alpha\}, \text{ para } \alpha \in [0, 1]$$

Sendo assim, um conjunto Fuzzy A é chamado de número *Fuzzy* quando o conjunto universo, onde A está definido, é o conjunto dos números reais e satisfaz às condições:

1. Todos os α -níveis de A são não vazios.
2. Todos os α -níveis de A são intervalos fechados de \mathbb{R} .
3. O suporte de A , $\{x \in \mathbb{R} : A(x) > 0\} = \text{sup } pA$, é limitado.

A lógica *Fuzzy* aproxima uma função por associações lingüísticas de entrada e saída de dados, aplicando regras *Fuzzy* para a teoria dos conjuntos, com o objetivo de resolver problemas nos quais uma teoria mais rígida teria dificuldade de modelar. Tem a intenção de fornecer um tratamento matemático a certos termos lingüísticos subjetivos, tais como “aproximadamente”, “dentre outros” e “em torno”, conforme Barros & Bassanezi (2006).

Os algoritmos de agrupamento permitem a divisão de um conjunto de dados em k -clusters, tendo como referência um centro de massa ou centróide para cada cluster formado. Neste método, a escolha do valor das classes não é configurável, sendo por isto considerado uma vantagem em relação aos delineamentos empíricos Fridgen *et al.* (2004); Luz (2004).

3.6.3 Aplicações da Lógica *Fuzzy* ao Zoneamento Ambiental

Diversas áreas estão sendo beneficiadas pela tecnologia decorrente da Lógica *Fuzzy*, como a área de desenvolvimento industrial e a área de ciências ambientais, onde são abordados, principalmente, temas voltados aos recursos hídricos e ao uso do solo conforme Gomide & Rocha (1992).

Na área de mapeamento, a representação dos atributos do meio físico em documentos cartográfico é fundamentada em técnicas de lógica booleana. Neste tipo de técnica os atributos retratados apresentam as mesmas características em toda sua extensão espacial. Têm o mesmo comportamento e as mesmas propriedades, não sendo representadas ou consideradas possíveis variações.

Burrough *et al.* (2000) ressaltam que nos métodos tradicionais de mapeamento, os limites entre unidades são tomados como linhas discretas, de forma que retratam a inexistência de gradação entre características das diferentes unidades. O estabelecimento de um limite determina o término e/ou começo abrupto de uma unidade. A execução de mapeamento desta forma implica em uma representação errada do meio, com perda de informações importantes, além de a ocorrência de erro na elaboração de um mapa, pela adoção arbitrária de limite de atributos.

Esta perda é devida ao fato do meio físico se caracterizar como um sistema complexo, e segundo Zadeh (1972), para sistemas complexos os modelos tradicionais fornecem informações de qualidade diminuta, pois não são possíveis de lidar com os conceitos inexatos, ambíguos e/ou vagos, tão comuns em sistemas geológicos. De acordo com Câmara & Medeiros (1998), uma alternativa para o problema acima descrito seria sempre trabalhar com dados em representação contínua, o que na prática, equivale a trabalhar com modelos numéricos de terreno, para representar variáveis espaciais como solo, geomorfologia e vegetação.

Sui (1992) ressalta que a utilização da lógica *Fuzzy* permite acrescentar detalhes de transição gradual, reduzindo assim a perda de informações relacionadas com as atividades de cada parcela analisada, possibilitando uma identificação mais analítica destas unidades.

Neste contexto, trabalhos como os de Burrough (1989), Burrough & Heuvelink (1992); Banai (1993); Altman (1994) e Moreira et al (2001), foram desenvolvidos com aplicação de técnicas de lógica *Fuzzy* para confecção de documentos cartográficos.

De acordo com Moreira *et al.* (2001), as vantagens do modelamento *Fuzzy* são inúmeras quando comparadas aos modelamentos convencionais, os quais forçam os especialistas a definir regras dicotômicas rígidas com contatos normalmente artificiais, que diminuem a habilidade de articular eficientemente soluções para problemas complexos, tão comuns em processos naturais.

Para Davidson *et al.* (1993), a utilização da lógica *Fuzzy*, na avaliação do uso do solo entre outras aplicações, fornece uma metodologia mais satisfatória do que as metodologias que se utilizam outras operações, como a booleana. Burrough (1996) apresenta este fato como evidente, pois o uso pontual da álgebra booleana, como uma lógica simples de verdadeiro ou falsa, de combinação de modelos exatos e rígidos é freqüentemente inapropriado para análise, modelamento e representação de aspectos de naturezas contínuas, como solos, topografias, vegetação e litologias.

Kosko *et al.* (1992) citam que a classificação usando a “lógica *Fuzzy*” na avaliação do uso da terra/solo é menos sensível a perturbações nos dados, ocorrência de ruídos, do que com as aproximações feitas por meio das operações booleanas. Segundo Burrough & Heuvelink (1992), muito menos informações são rejeitadas em todos os estágios de análise, sendo muito melhor para a classificação de variações contínuas. Para os autores, o modelo gerado com a aplicação de inferência de lógica *Fuzzy* ilustra uma representação mais próxima da realidade. Acrescenta ainda que a utilização da lógica fuzzy em estudos de natureza ambiental possibilita a execução de estudos capazes de descrever modificações naturais e

antropogênicas, ocorrentes no meio. Os autores enfatizam que o emprego da lógica possibilita a integração de diferentes tipos de dados, permitindo realizar um balanço entre observações favoráveis e desfavoráveis e, entre efeitos incomensuráveis como impactos sociais, econômicos e biológicos. Ainda possibilita a classificação e quantificação ambiental de atributos de natureza subjetiva.

MacMillan *et al.* (2000) utilizaram a lógica *Fuzzy* para delimitar uma área em elementos de *landforms* que apresentem diferenças significantes com respeito a propriedades do solo. A delimitação da área foi feita por meio de um modelo digital de elevação (DEM), elaborado a partir de coordenadas x, y e z fornecidas por um sistema diferencial de posicionamento global (DGPS) e interpoladas no programa GRASS. Para segmentação da área foram considerados atributos do terreno (gradiente de declividade, perfil e curvatura plana e iluminação relativa) que foram calculados após conversão para atributos de *landforms Fuzzy*, os quais foram expressos em termos de associação de valores com variação contínua entre 0-100.

Burrough *et al.* (2000) utilizou um método de classificação contínua para determinação de *landforms* semelhante ao apresentado por MacMillan *et al.* (2000), denominado de método *Fuzzy C-Means*, juntamente com o auxílio de modelos digitais de elevação do terreno. Este método busca suprir os problemas que comumente são encontrados no mapeamento de unidades do terreno, tanto pelo método tradicional de mapeamento como pela utilização dos SIG, que em sua maioria têm suas funções baseadas em operações booleanas.

Burrough *et al.* (2000) empregou o método de classificação contínua para a segmentação de uma área com 68ha, a qual teve seus dados representados no formato *raster*, por uma malha com 153 linhas por 178 colunas, com células de 5 X 5 metros.

Para segmentação do terreno foram feitas 100.000 observações dos dados x, y e z, os quais foram interpolados pelo programa GRASS, para gerar um modelo de elevação digital. A partir do DEM foram obtidas informações referentes à declividade, o perfil de curvatura, o plano de curvatura, o índice total anual de incidência de radiação solar, o índice de umidade e a distância entre topos. Todos estes atributos foram computados juntamente com a elevação, fornecendo de forma independente informações sobre o terreno.

Moreira *et al.* (2001) apresentaram um exemplo de aplicação da técnica de lógica *Fuzzy*, entre outras, juntamente com a tomada de suporte a decisão para fins de elaboração de documentos cartográficos, voltados para delimitação de cenários potenciais a ocorrência de minerais radioativos. Como ferramentas, os autores, utilizaram o SIG SPRING (Sistema para

Processamento de Informações Georeferenciadas) e a linguagem de programação LEGAL (Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico), para tratar as informações do meio em formato contínuo e delimitar os cenários pretendidos.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 Localização da Área de Estudo

O Lago de Itaipu, originário do termo guarani “pedra que canta”, está situado entre as cidades de Foz do Iguaçu-Pr e Guaíra-Pr, com altitudes de 194m e 220m respectivamente, estando envolvido por um retângulo formado entre os paralelos 25° 15' 19.21" e 54° 33' 47.71" de latitude Sul e 25° 28' 36.94" 54° 42' 56.17" de longitude Oeste, na folha topografia Paraná SG-21-X-B (1:250:000) IBGE (2011).

A região distingue-se por apresentar diversidade de clima, solos e relevo, fornecendo um ambiente favorável para manter um elevado número de espécies vegetais. Verifica-se que o lago de Itaipu está situado na região sul brasileira, fazendo divisa com Brasil e Paraguai (Figura 4.1). Possui uma área de 1.350 km², sendo 770 km no lado brasileiro e 580 Km do lado paraguaio.

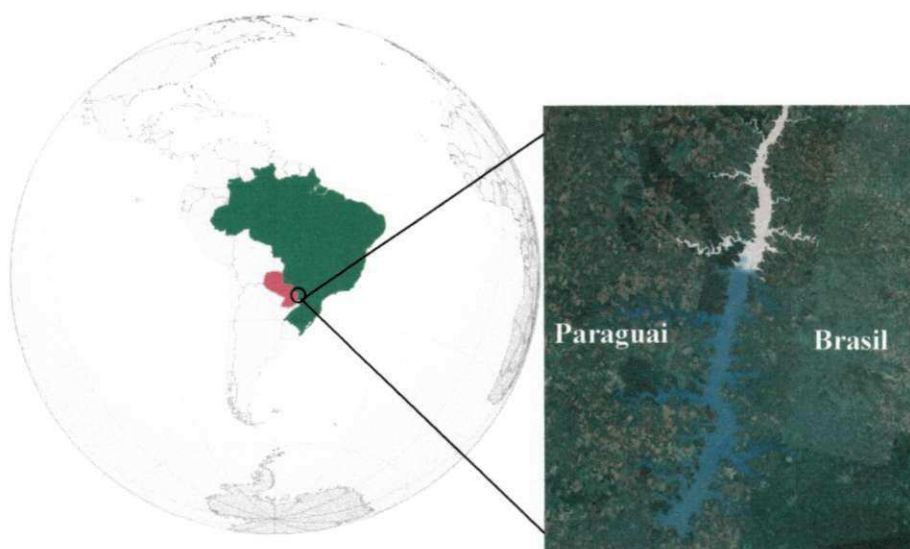


Figura 4.1: Localização do lago de Itaipu em relação ao Brasil, Paraguai e América do Sul.
Fonte: Google Earth (2011), adaptado

A região do entorno do lago foi chamada de “costa oeste”¹ devido à sua localização geográfica e por possuir conformação espacial peculiar originada pela construção da usina hidrelétrica de Itaipu em 1975, ainda considerada a maior usina hidrelétrica do mundo em extensão e que provocou o alagamento de diversas cidades, fazendas, sítios históricos quando da formação do lago (Figura 4.2).

De um total de 23 (vinte e três) municípios com áreas inundadas, 16 (dezesseis) são brasileiros (também conhecida como margem esquerda²) e 07 localizam-se na margem direita (Paraguaiá).

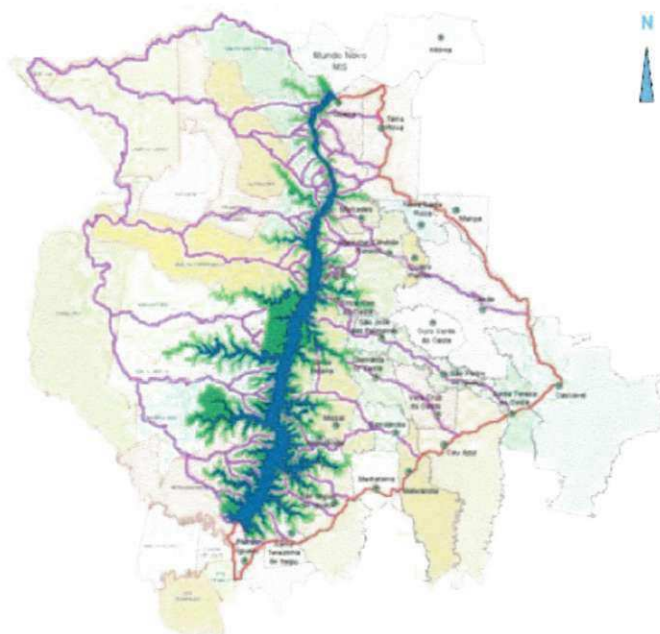


Figura 4.2: Bacia hidrográfica do lago de Itaipu situado entre Brasil e Paraguai
Fonte: Itaipu Binacional (2010)

Na margem direita tem-se as seguintes cidades: Ciudad del Este, ao sul e Hernandarias, Santa Fé, Mbaracayu, San Alberto (Reserva Limoy), Nueva Esperanza e Salto del Guairá, ao norte. Na margem esquerda, os municípios que fazem parte da Costa Oeste são: Diamante D’oeste, Entre Rios D’oeste, Foz do Iguaçu, Guaíra, Itaipulândia, Marechal

¹ O nome Costa Oeste foi dado pelo Governador, com o intuito de unificar uma região que, na sua opinião, possuía em conjunto um grande potencial turístico. Embora questionado por não traduzir claramente sua localização geográfica, já que a Costa Oeste localiza-se no litoral argentino e chileno, o nome vem sendo utilizado com o passar dos anos e começa a dar ênfase para fins de divulgação turística.

² Por razões de integração política regional, a Itaipu Binacional não acata os termos “margem brasileira e margem paraguaia”, referindo-se respectivamente às margens esquerda e direita do lago.

Candido Rondon, Medianeira, Mercedes, Missal, Mundo Novo, Pato Bragado, Santa Helena, Santa Terezinha de Itaipu, São Jose das Palmeiras, São Miguel do Iguaçu e Terra Roxa.

Dentre as características da região da margem esquerda, pode-se afirmar que atualmente conta com aproximadamente 900.000 habitantes que correspondem a municípios relativamente novos, tendo em vista que o mais antigo deles, Foz do Iguaçu, tem sua fundação datada em 1914, e os quatro mais recentes foram criados apenas na década de 90.

4.2 Características Físico-Geográfica do lago de Itaipu

Com uma altitude média de 192m, a Costa Oeste encontra-se no Planalto da Bacia do Paraná, embora regionalmente, sua localização está no Extremo Oeste do Planalto de Guarapuava, este que é considerado o terceiro planalto tem como características as formações geológicas basálticas, as que originaram a solos de rochas vulcânicas e terras argilosas de rochas sedimentares, conforme Freitas (2004).

Transformado aos poucos, o bioma original composto de florestas estacionais Semidecíduais Sub-montanas, apresenta hoje uma mata ciliar lacustre, com vegetação secundária e atividades agrícolas em solo com fertilidade elevada e declividade pouco acentuada em alguns pontos, não apresentando acidentes geográficos considerados relevantes. (*Ibid.* 2004).

O Lago de Itaipu, formado pelo represamento do Rio Paraná, localiza-se na Bacia Hidrográfica que carrega o mesmo nome e tem como principais afluentes os rios Paranapanema, Tibagi, Ivaí, Piquiri e o Iguaçu, formando o complexo hidrográfico considerado o mais importante da região sul do país, com considerável potencial energético, devido ao seu volume de água e declividade do seu curso. A profundidade média de 22 metros, chega alcançar 170 metros nas proximidades da barragem.

Além dos cinco refúgios biológicos e duas reservas, todos localizados as duas margens do lago totalizando 35.858ha, o lago possui uma área de proteção reflorestada com aproximadamente 13 milhões de árvores, o que equivale a 63.376ha e contribui enormemente para o controle do assoreamento e poluição.

O clima é classificado como subtropical úmido, mesotérmico, ausente de estação seca definida, destaca-se com verões quentes e chuvas em todos os meses do ano. A temperatura média registrada em 2010 foi de 24,7° C, com variações máxima e mínima de 44,6° e 1,4° em julho do mesmo ano, respectivamente. A umidade relativa do ar varia de 84%

em junho a 66% no mês de outubro, e a precipitação média mensal é de 130,7mm. Fevereiro é o mês de maior precipitação e agosto o mês mais seco (FREITAS, 2004).

4.3 Características Biofísica da região do Lago de Itaipu

Drenagem: superfície aproximada de 8.383 km², com área de drenagem dos afluentes pertencentes ao território paranaense distribuindo suas águas diretamente no rio Paraná, onde está localizado o reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu.

Hidrografia da bacia e seus afluentes: a bacia hidrográfica do Paraná III localiza-se entre os afluentes do rio Piquiri e do rio Iguaçu. Os principais afluentes da bacia são rio Taturi, rio Chororó, rio Arroio Guaçu, rio São Francisco Verdadeiro, rio São Francisco Falso, rio Paraná, córrego Dois Irmãos, rio São Vicente, rio Ocoí, rio Pinto, rio Passo-Cuê, rio Guabiroba e córrego Matias Almada, segundo Freitas (2004).

Clima: Gericamente as áreas baixas lindeiras ao rio Paraná, próximas a Foz do Iguaçu, predomina o clima tropical, sub-quente, super úmido com sub-seca, enquanto que na microrregião de Cascavel e demais áreas da micro região de Foz do Iguaçu, predomina o clima temperado brando, super úmido, sem estação seca. (*Ibid.* 2004).

Tipos de solos na bacia do Paraná III: O tipo de solo predominante é o latossolo vermelho, que é um solo profundo de alta fertilidade. Em sua grande maioria, compreende terrenos suaves, com solos derivados principalmente dos derrames basálticos, apresenta encostas levemente onduladas, com solos de textura argilosa e ricos em matéria orgânica a

Figura 4.3 apresenta esta divisão em classes.

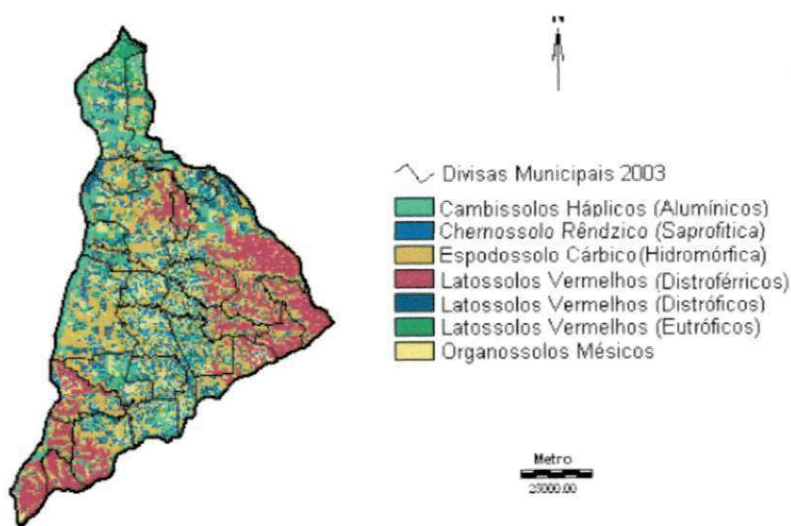


Figura 4.3: Classes de solos da bacia do paraná III no Estado do Paraná
Fonte: Mapa interativo de Zoneamento Ecológico-Econômico do Paraná

Uso do solo: a ausência de planificação na ocupação do solo reduziu drasticamente a cobertura florestal. A atividade agrícola ocupou tanto as áreas que apresentavam boa aptidão como as consideradas marginais, tendo muitas vezes incompatibilidade de uso. Deve ser dado destaque à atividade agropecuária e participação industrial voltada, principalmente, à agroindústria regional (FREITAS, 2004).

Geologia e topografia: dados coletados no registro geológico no estado representam um intervalo de idades superiores a 2.800 milhões de anos até o presente. O embasamento na região Oeste do estado é formado por cobertura sedimentar mesozóica. A topografia da região Oeste do Paraná é caracterizada pelo Terceiro Planalto, que consiste de planícies e montanhas variando de 300 a 800 metros de altitude. As montanhas deste planalto são geralmente mais escarpadas que os dos outros planaltos, segundo Freitas (2004).

Cobertura Florestal: nesta região do estado predomina a floresta estacional semidecidual, o último grande remanescente deste tipo de floresta no Sul do Brasil. No interior, prevalecem às pastagens, com vegetação de pequeno porte caracterizada pela mata pluvial subtropical devastada, intercalada de mata cultivada pela extensa área, como pela diversidade das espécies, segundo Freitas (2004).

4.3.1 Economia e Desenvolvimento Oeste do Paraná

A economia do Oeste do Paraná apresenta um perfil competitivo, e tal fato, conseqüentemente, no Mercosul, deve-se a maneira como foi estruturado seu aparelho produtivo e, de forma mais elevada, o perfil dos custos de produção e de transportes para dispor suas mercadorias próxima dos consumidores dos outros países.

Existem produtos mais sensíveis à competição no Cone Sul³. Entre eles, podem-se destacar os cereais (milho, trigo, arroz, cevada), lácteos (leite, queijo), frutas temperadas (uva, pêssego, pêra, ameixa, maçã, entre outros), hortícolas (alho, batata, cebola), carnes (bovina e couros) e oleaginosas (soja e girassol).

A agropecuária na região Oeste do Paraná não possui uma estrutura de custos muito diferente da média brasileira, apesar das suas características geográficas permitirem uma mecanização mais intensiva e melhoramento da produção de graos.

³ Região composta pelas zonas da América do Sul, ao sul do Trópico de Capricórnio. Apesar de geograficamente incluir o Sul e parte do Sudeste (São Paulo) do Brasil, em termos de geografia política, o Cone Sul é tradicionalmente constituído por Argentina, Chile, Paraguai e Uruguai.

O Gráfico 4.1 apresenta detalhadamente o valor bruto de produção rural do ano de 2011 por município. Pode observar que soja e milho permanecem como o principal tipo de produção. Apesar que outras culturas apresentam grande destaque a inúmeras outras atividades tão ou mais rentáveis como a soja e milho onde o nível de contaminação ao solo é drasticamente inferior.

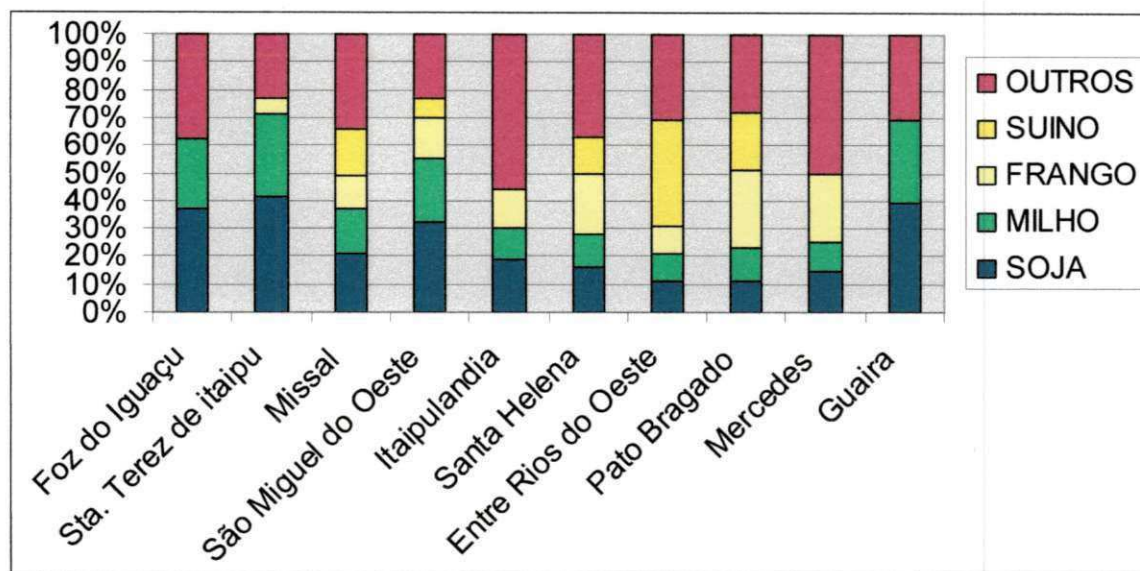


Gráfico 4.1: Principais produções rurais do Estado do Paraná no ano de 2011
Fonte: SEAB (2011), Adaptado.

O item “outros” no gráfico representa que a região está motivada a obter outras fontes de renda mesmo em propriedades pequenas. Desta forma estas produções poderão servir como base e elemento norteador para indicação de cultura alternativas aos locais que forem detectados como área de risco. Tais fatores serão identificados tendo como elemento principal sua localização, tipo de vegetação e a declividade do terreno.

4.3.2 Qualidade da Água dos municípios do Oeste do Paraná

Os indicadores de qualidade de água consistem no emprego de variáveis onde se correlacionam com as alterações ocorridas na bacia/microbacia, sejam estas de origens antrópicas ou naturais. Segundo Mota (2003), para cada uso de água, são exigidos limites máximos de impurezas que a mesma pode conter. Estes limites, quando estabelecidos por órgãos oficiais, são chamados de padrões de qualidade.

A rede de monitoramento da qualidade das águas, tem por objetivo manter um banco de dados com informações sobre a qualidade dos rios, para que seja possível fornecer

subsídios para avaliação de estudos e projetos de aproveitamento de inúmeros usos dos recursos hídricos e para o enquadramento dos corpos de água em classes.

A Bacia do Paraná III elege-se como peculiar nos quesitos de utilização e conservação dos recursos hídricos. A utilização do solo motivaram os mandatários de recursos hídricos desta bacia a se organizarem na forma estabelecida pela lei paranaense de gerenciamento de recursos hídricos, encontrando-se em processo de formação da associação de usuários na eminência de reconhecimento, pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos.

Em decorrência da falta de alguns pontos de monitoramento das águas do Rio Paraná, a Itaipu Binacional elaborou, através do "Programa Cultivando Água Boa", o sub-projeto de "Monitoramento e Avaliação Ambiental do Reservatório e Bacia Hidrográfica de Influência de Itaipu", o qual possui objetivo de readequar, complementar e operacionalizar uma rede de monitoramento e avaliação constituída por estações permanentes e/ou temporárias, com o propósito de fornecer parâmetros ambientais que visem orientar e atestar a melhoria dos aspectos ambientais controláveis.

Assoreamento, consiste no monitoramento das condições da água, sendo executado pela Itaipu Binacional de forma sistemática desde a formação do reservatório e apresenta duas formas de impacto ambiental: o assoreamento e a eutrofização.

O assoreamento é redimensionar ao grande aporte de sedimentos, e a eutrofização que apresentam-se em decorrência do excessivo número de nutrientes, no caso, nitrogênio e fósforo, estes formados por consequência do aporte de sedimentos. De acordo com Itaipu (2004), as estações de monitoramento de sedimentos de Itaipu constataram que:

O Rio Ivaí, o mais importante tributário da Bacia do Paraná III, recebeu em 2002 mais de 2,5 milhões de toneladas de sedimentos; o Rio Piquiri, 900 mil toneladas. O Rio São Francisco Falso despeja por ano 17 mil toneladas de sedimentos no lago de Itaipu, o Rio São Francisco Verdadeiro estima-se um aporte de 60 mil toneladas ano de sedimentos.

Outro fator analisado foi a declividade da área, sendo este um fator importante para determinar a velocidade do escoamento superficial, que determina a velocidade do escoamento e condiciona a maior ou menor oportunidade de infiltração da água e afeta a susceptibilidade para erosão dos solos. Analisando assim o impacto ambiental sobre o reservatório.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Materiais

- Banco de Dados Oracle;
- Imagens do satélite *Landsat 5*;
- Mapas topográficos do IBGE;
- *Software SPRING 5.1*;
- *Software Surfer 10.7*;
- *Software Global Mapper v11.0*; e
- *Software FuzzMe 3.5b*.

5.2 Metodologia

A determinação das áreas de interesse em torno do lago de Itaipu, foram definidas utilizando técnicas de geoprocessamento por meio de imagens do satélite *Landsat 5*, Sensor TM, Bandas 5 (1,55-1,75 μ m), 4 (0,76-0,9 μ m), 3 (0,63-0,69 μ m), o qual permite uma resolução espacial de 30 metros possibilitando a obtenção de análises precisas em relação ao trabalho proposto.

Como base cartográfica para a elaboração dos mapas fundamentais foram utilizados folhas topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1999, 2005 e 2011). Estas folhas foram digitalizadas e georeferenciadas. As imagens selecionadas foram: Órbita 224/ Pontos 77 e 78. Ano-mês-dia L5TM 224/77-1999-07-12 L5TM 224/78-1999-07-12 L5TM 224/77-2005-08-13 L5TM 224/78-2005-08-13 L5TM 224/77-2011-07-13 L5TM 224/78-2011-07-13.

A partir do mapa topográfico digitalizado, por meio do programa *SPRING*, adotou-se a equidistância de 10 metros, para as curvas de nível. Sendo necessárias técnicas de pré-processamento, incluindo a correção atmosférica gerando assim o mapa topográfico. Também foi realizado o aprimoramento do posicionamento geográfico das imagens por meio da correção geométrica, tendo em vista a escala de obtenção proposta. Posteriormente foram realizados os recortes das cenas por meio visual utilizando linhas e colunas de modo a ajustar a área da imagem ao mapeamento geológico disponível. A Figura 5.1 apresenta uma visão superficial e parcial da área de estudo já com o mapa de declividade projetado.



Figura 5.1: Mapa de declividade de parte do lago Itaipu

Visando a representação da distribuição de frequência dos pixels, foi construído o histograma de cada imagem coletada e realizado o realce das imagens, utilizando-se a função de transferência gaussiana, que possibilitou o destaque do contraste da imagem para determinação de contornos desejados, conforme Crosta (1999).

A determinação dos limites das áreas do estudo proposto foram definidas considerando a declividade do terreno e o tipo de vegetação das mesma, adotando métodos empíricos para identificar regiões de risco. Quanto mais próxima ao reservatório ou de seus afluentes, a área foi considerada como prioritária.

Delimitada a região, gerou-se, o mapa topográfico, através do *software Surfer* aplicados ao geoprocessamento. As *layers* consideradas para o zoneamento ambiental foram “declividade” e “tipo de vegetação”.

Para a elaboração do mapa de declividade foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica *IDRISI* e o *Global Mapper*. O *SIG-IDRISI* considera a área trabalhada como uma matriz bidirecional, sendo a determinação da declividade do terreno de cada *pixel* feita em função da distribuição das curvas de nível digitalizadas segundo Guerra (1998).

Na *layer* declividade, quantificou-se o grau de declividade do terreno, de 0° a 90°.

Na *layer* vegetação, identificou-se o tipo de vegetação, através da coloração do *pixel*, sendo possível a identificação tipos de vegetação como:

1. Mata;
2. Pastagem / Gramíneas; e
3. Cultura / Solo Exposto.

Para evidenciar as características da vegetação foi aplicado o índice de vegetação proposto por Campbell (1978), por ser o mais utilizado e denominado Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI).

Como o processo de classificação não supervisionada utilizando o algoritmo Fuzzy *C-Means* permite a adição de inúmeras variáveis, realizou-se o agrupamento utilizando-se as variáveis declividade e índice de vegetação, visando identificar áreas de risco considerando estes dois fatores. Tendo em vista que quanto maior a declividade do terreno maior é o risco de erosão e escoamento superficial e que para análise do índice de vegetação (que é medido entre -1 a 1) deve-se considerar que quanto maior este número, mais densa a vegetação e portanto menor o risco de problemas com erosão, os dados foram normalizados visando adequar os dois índices de forma que quanto maior o índice, menor o risco de problemas.

Para isso, o índice de declividade foi multiplicado por -1 e então foram calculados os dados normalizados para ambos os fatores (Equação 5.1).

$$Pn_i = \frac{P_i}{\bar{P}} \quad (5.1)$$

Em que,

Pn_i – Pixel i normalizado; P_i – Pixel i ; \bar{P} - Média do fator em estudo.

O estabelecimento da classificação empírica sobre a vegetação da região ao lago de Itaipu resultou das variações identificadas pelo NDVI, permitindo assim, a formulação de um índice de cobertura vegetal. Este índice foi determinado em três datas distintas, dando prioridade igualmente às imagens de satélite na expectativa de verificar as mudanças ocorridas em termos de cobertura vegetal entre os períodos analisados.

Os resultados gerados pela aplicação do índice NDVI destacam a vegetação existente na cobertura de solo, sendo apresentados no intervalo de valores de -1 a 1.

As áreas com vegetação geralmente produzem valores altos de NDVI, devido a sua alta refletância no infravermelho próximo e sua baixa refletância no vermelho visível. As áreas de solo exposto resultaram em índices de vegetação próximos de zero. As imagens foram classificadas de -1 a 1 como:

1. Mais Densa (0,3 a 1,0)
2. Intermediária (-0,3 a 0,3)
3. Menos Densa (-1,0 a -0,3)

Realizada a seleção das áreas de interesse, os dados de declividade do solo e tipo/índice de vegetação, foram organizados visando a geração de um arquivo tipo “texto”, com uma identificação única para cada ponto, contendo o tipo/índice de vegetação e declividade.

Com o arquivo gerado, utilizando o *software FuzzMe*, cada ponto foi classificado utilizando o algoritmo *Fuzzy C-Means*. Nele, para cada mapa além das coordenadas geográficas X e Y, a este foi atribuído o valor da declividade do solo e o valor da vegetação. Além destas referências atribui-se um ID único fazendo a identificação do píxel no mapa.

Os dados foram classificados utilizando a lógica *Fuzzy*, definindo as áreas em seis classes classificadas como alta, muito alta, moderadamente baixa, baixa, muito baixa e solo exposto, representando os diferentes graus de proteção oferecidos pela cobertura vegetal ao solo. (Tabela 5.1)

Tabela 5.1: Níveis de proteção de cobertura vegetal

Nível de Proteção	Intervalos de NDVI
Alta	0,8 a 1,0
Moderadamente Alta	0,6 a < 0,8
Moderadamente Baixa	0,4 a < 0,6
Baixa	0,2 a < 0,4
Muito Baixa	> 0 a < 0,2
Solo Exposto	≤ 0

FONTE: Santos & Negri (1997)

Estatisticamente, a técnica *Fuzzy C-Means* minimiza a soma dos quadrados dos erros dentro de cada classe seguindo alguns critérios. O único parâmetro configurado corresponde ao valor de k, o qual corresponde à quantidade esperada ou desejada de classes que se deseja trabalhar. Segundo Venturieri (1996), os dados são agrupados de forma iterativa para a classe mais próxima pelo critério da mínima distância.

O método considera que um conjunto de dados $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ onde x_k , corresponde a um vetor de características $x_k = \{x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kp}\} \in R^p$ para todo $k \in \{1, 2, \dots, n\}$, sendo R^p o espaço p-dimensional. Busca-se encontrar uma pseudo-partição Fuzzy que corresponde a uma família de c conjuntos Fuzzy de X, que representa a estrutura dos dados da

melhor forma possível e é denotado por $P = \{A_1, A_2, \dots, A_C\}$, que satisfaz $\sum_{i=1}^c A_i(x_k) = 1$ e $0 < \sum_{k=1}^n A_i(x_k) < n$, em que $K \in \{1, 2, \dots, n\}$, e n representa o número de elementos de X .

O algoritmo se orienta com parâmetros referentes ao número de agrupamentos que se deseja ter (C), uma medida de distância que define a distância permitida entre os pontos e os centróides ($m \in (1, \infty)$) e um erro utilizado como critério de parada ($\varepsilon > 0$). A pertinência inicial é atribuída aleatoriamente visando iniciar com valores quaisquer, bem como os C centros iniciais que não devem possuir os mesmos valores iniciais devido a problemas que podem ocorrer durante a execução do algoritmo, segundo Bezdek (1981). O funcionamento do algoritmo corresponde ao apresentado na (Figura 5.2).

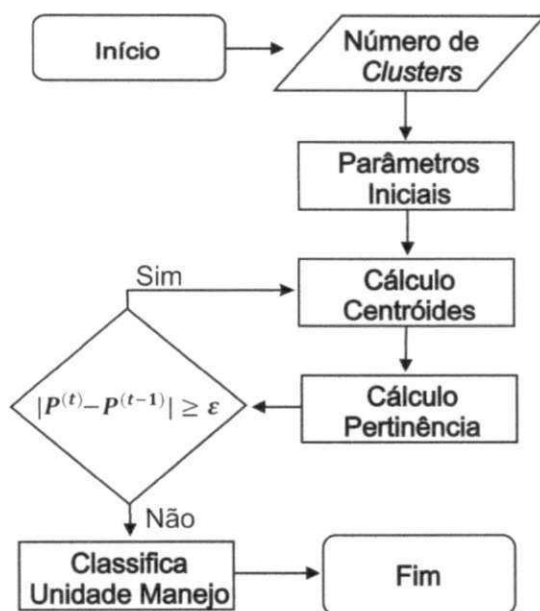


Figura 5.2: Fluxograma *Fuzzy C-Means* utilizado para elaboração de mapas de risco
Fonte: *FuzzMe*

A posição de cada centróide é calculada considerando a distância passada por parâmetro inicialmente. Para cada C , calcula-se $v_1^{(t)}, \dots, v_c^{(t)}$ por (Equação 5.1) para a partição $P^{(t)}$, sendo a iteração $t = \{1, 2, \dots, n\}$. O vetor v_i , corresponde ao centro do agrupamento A_i e é a média ponderada dos dados em A_i . O peso do dado x_k é a m -ésima potência do seu grau de pertinência ao conjunto *Fuzzy* A_i .

$$v_i = \frac{\sum_{k=1}^n [A_i(x_k)]^m x_k}{\sum_{k=1}^n [A_i(x_k)]^m} \quad (5.1)$$

O cálculo do grau de pertinência do elemento x_k à classe A_i (Equação 5.2) é realizado para cada $x_k \in X$ e para todo $i \in \{1, 2, \dots, c\}$, se $\|x_k - v_i^{(t)}\|^2 > 0$.

$$A_i^{(t+1)}(x_k) = \left[\sum_{j=1}^c \left(\frac{\|x_k - v_i^{(t)}\|^2}{\|x_k - v_j^{(t)}\|^2} \right)^{\frac{1}{m-1}} \right]^{-1} \quad (5.2)$$

em que, $\|x_k - v_i^{(t)}\|^2$ representa a distância entre x_k e v_i .

Como critério de parada, compara-se $P^{(t)}$ e $P^{(t+1)}$, sendo que, se $|P^{(t)} - P^{(t+1)}| \leq \varepsilon$ o algoritmo é finalizado e a classificação é realizada considerando a pertinência gerada na última iteração.

Após a computação de I_{yz} , pode ser gerada a matriz de correlação espacial, a qual, pode apresentar além do índice calculado I_{yz} , a significância do teste, considerando a permutação dos dados, onde são realizados vários testes de correlação permutando os valores de uma das variáveis a serem comparadas. Esta técnica é recomendada segundo Assunção (2003), mas exige um grau computacional elevado. Sob a hipótese H_0 , as variáveis aleatórias Y_i , são independentes e identicamente distribuídas e assim todas as permutações dos valores Y_i entre as áreas são igualmente prováveis. Desta forma, o valor de p do teste é dado pela (Equação 5.3):

$$p\text{-valor} = \frac{\text{ContSe}(I^{(j)}) > I^{(1)}, j = 1, \dots, n}{n+1} \quad (5.3)$$

em que: n é o número de permutações; I - corresponde ao índice calculado pela equação (1).

Rejeita-se a hipótese nula com α de significância se p-valor $< \alpha$, ou seja, rejeita-se H_0 com 0,05 se p-valor $< 0,05$.

Desta forma o processo de zoneamento ambiental a partir da fragilidade e vulnerabilidade do meio ambiente natural permite organizar e avaliar a ocupação humana,

bem como a intensidade de exploração. A Inferência Geográfica *Fuzzy* apresenta uma grade de valores relativos, que supera tecnicamente o processo de intersecção de conjuntos espaciais, como operações booleanas de mesma ordem de grandeza. A grande vantagem reside na possibilidade de avaliar o espaço geográfico continuamente e não através de limites rígidos, como em conjuntos de dados estáticos. Tal processo cria uma superfície de decisão, que representa uma variação da grandeza avaliada, como a vulnerabilidade ambiental, oferecendo uma flexibilidade muito maior sobre problemas espaciais.

Para melhor entendimento das interações entre os fatores de produção agrícola, foi seguida a metodologia proposta por Girandin *et al.* (2000) os quais desenvolveram uma metodologia para verificar os princípios da sustentabilidade, avaliando-se indicadores agroecológicos. Desta forma foram avaliadas culturas com viabilidade econômica, ambiental e produtiva que possam substituir culturas existentes.

Como sugestão de fontes alternativas de produção agrícola as áreas que forem identificadas como área de risco, foram utilizados os dados gerados pelo Departamento de Economia Rural do Estado do Paraná por meio da Secretaria de Agricultura e Abastecimento (SEAB), no qual um relatório detalhado é apresentado com o valor bruto de produção rural anual por município. Desta forma foi possível identificar quais os tipos de plantios alternativos apresentam boa adaptação ao solo e comercialização.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após ser realizada a classificação das imagens quanto ao tipo de vegetação para os anos de 1999, 2005 e 2011 (Figura 6.1), verificou-se que para todos os anos a representatividade de mata foi inferior a porção de terra utilizada pela agropecuária e produção agrícola. Apesar da análise visual não permitir identificar a diminuição das áreas de preservação da área em estudo, verificou-se que houve uma diminuição destas áreas, que representavam 23,97% da área total em 1999 e somente 23,03% no ano de 2011 quantificadas na Tabela 6.1.

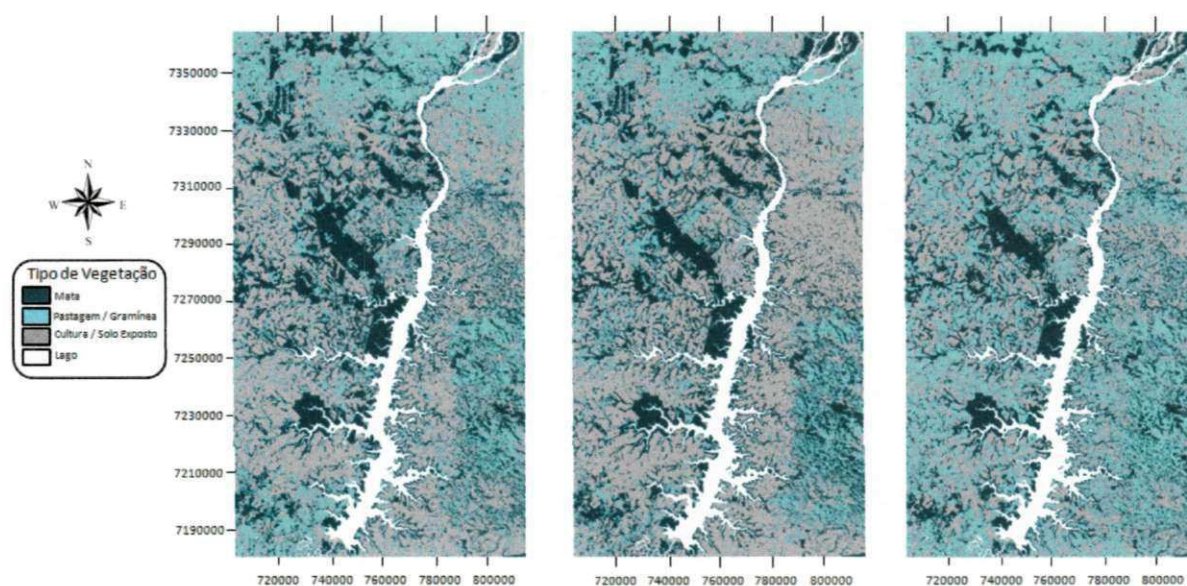


Figura 6.1: Tipo de vegetação da região lindeira ao lago de Itaipu nos anos 1999, 2005 e 2011

Pode-se perceber que a classificação de mata apresentou melhores resultados, considerando que o contraste deste tipo de vegetação é expressivo quando comparado com as demais classificações (pastagens/gramíneas ou culturas/solo exposto), não foi influenciada por fatores climáticos ou temporais, pois permanecem os contrastes em todas as estações do ano e não foi influenciado de forma drástica quando afetado por secas. Embora tenha verificado um decréscimo desta classe vegetal. Para os demais atributos, verificou-se que a classificação das imagens no ano de 2005 que apresentou resultados divergentes, quando comparados com os resultados obtidos para os anos de 1999 e 2011.

Tabela 6.1: Percentual do tipo de vegetação e área da região lindeira ao lago de Itaipu para os anos avaliados

Período	Porcentagem de Mata	Área (ha) de Mata	Porcentagem de Pastagem/ Gramíneas	Área (ha) de Pastagem/ Gramíneas	Porcentagem de Cultura/ SoloExposto	Área (ha) de Cultura/ SoloExposto
1999	23,97%	383.900	19,20%	307.505	56,83%	910.181
2005	23,29%	373.009	15,98%	255.933	60,73%	972.643
2011	23,03%	368.845	31,99%	512.347	44,98%	720.393

Para uma identificação visual mais precisa da Figura 6.1, gerou-se uma ampliação desta, obtendo a Figura 6.1A, na qual pode-se observar dois pontos devidamente identificados como tipo de vegetação em Pastagem ou Gramínea e nas Figuras 6.1B e 6.1C, as fotografias *in loco* da área, cujas coordenadas geográficas dos local 1 é 25° 11' 42" S 54° 22' 18" O e as coordenadas do local 2 em 25° 18' 28" S 54° 24' 21" O.

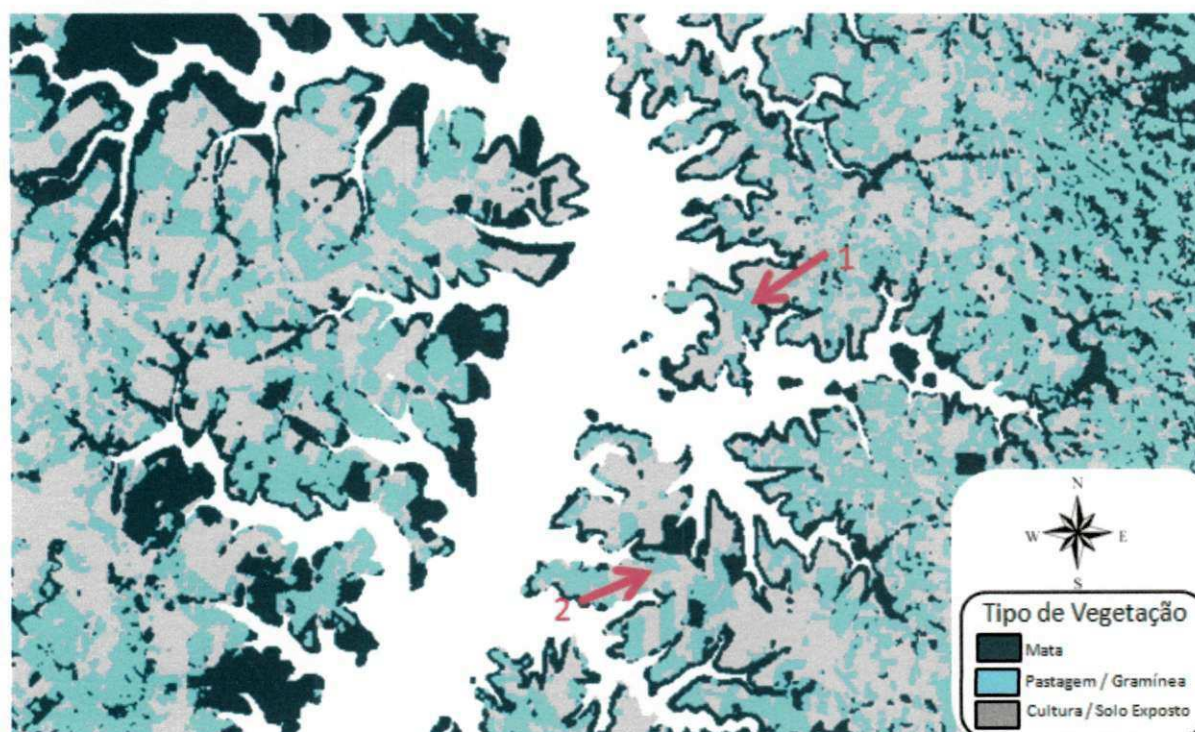


Figura 6.1A: Tipo de vegetação pastagem / gramínea ampliada no ano de 2011



Figura 6.1B: Local 1 pastagem, coordenadas 25° 11' 42" S 54° 22' 18" O



Figura 6.1C: Local 2 pastagem, coordenadas 25° 18' 28" S 54° 24' 21" O

Apesar do pressuposto de que se deve ter o cuidado em obter imagens de satélite de períodos similares, quando há necessidade de comparação temporal entre elas, devido à possibilidade de sofrerem considerável variação durante o ano, e aos ciclos das culturas, utilizou-se de imagens referentes aos meses de julho e agosto para todos os anos estudados. Os resultados obtidos para o ano de 2005 podem ter sido influenciados pelos fatores climáticos anormais ocorridos naquele ano, conforme registros em mídias de circulação nacional que mencionaram sobre a intensidade e prejuízos causados pela longa estiagem ocorrido naquele ano. Dentre estes registros, pode-se citar:

A seca registrada este ano no sul do país provocou perdas maciças. Estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) apontaram quebra na safra 2004/2005 de quase 21% na região. Com isso, a previsão é que a safra brasileira seja reduzida em 5%, ou seja, 113,5 milhões de toneladas.” (Segunda-feira, 12 de setembro de 2005 - 13h31m). Disponível acesso em:
<http://www.paginarural.com.br/noticia/24505/parana-conta-seguro-agricola-para->

e

Agricultores do Paraná temem prejuízo na safra 2004/2005 - Cooperativas enviaram carta ao presidente Lula manifestando preocupação. Segundo o presidente da Organização das Cooperativas do Paraná (Ocepar), o aumento superior a 20% nos custos de produção das lavouras implantadas na safra 2004/2005, a forte retração dos preços no mercado internacional da soja, milho, trigo, algodão, a valorização do real frente ao dólar e as condições climáticas adversas em várias regiões do país, com perdas significativas de produção devido à falta de chuva, são alguns dos fatores que causam apreensão aos produtores do Estado. lembrou ainda que em Estados como Rio Grande do Sul as perdas estimadas já são superiores a 35%. No Paraná e Santa Catarina o índice se aproxima de 15% e no Mato Grosso do Sul atingem 10% nas culturas de milho e soja. As informações são da Agência Brasil. Disponível acesso em:
<http://www.kzuka.com.br/especial/rs/kzukars/19%2c0%2c790841%2c>

Na comparação pontual, considerando o tipo de vegetação obtida, verificou que na (Tabela 6.2) que, somente 81,93% da mata observada em 2005 era a mesma observada no ano de 1999, da qual 11,71% foi transformada em plantações e 6,07% em pastagens. Apesar disso, verificou-se que 5,29% das pastagens e 6,68% das áreas plantadas observadas no ano de 1999, foram restabelecidas como mata no ano de 2005.

Somente 82,68% da mata observada em 2011 era a mesma observada no ano de 1999, sendo que 12,45% foram transformadas em plantações e 7,83% em pastagens. Apesar disso, verificou-se que 7,83% das pastagens e 7,01% das áreas plantadas observadas no ano de 1999, foram restabelecidas como mata no ano de 2011. Na comparação entre os anos de 2005 e 2011, verificou-se que, somente 84,92% da mata observada em 2011 era a mesma observada no ano de 2005, da qual 12,64% foi transformada em plantações e 2,09% em pastagens. Apesar disso, verificou-se que 6,00% das pastagens e 5,57% das áreas plantadas observadas no ano de 2005, foram restabelecidas como mata no ano de 2011.

Tabela 6.2: Comparação entre as áreas ocupadas pelas classes de cobertura vegetal entre 1999, 2005 e 2011

Comparação		Cultura ou Solo Exposto	Mata	Pastagem ou Gramíneas
1999 x 2005	Cultura ou Solo Exposto	-	11,71%	46,87%
	Mata	6,68%	81,93%	5,29%
	Pastagem ou Gramínea	18,84%	6,07%	-
1999 x 2011	Cultura ou Solo Exposto	-	12,45%	61,84%
	Mata	7,01%	82,68%	7,83%
	Pastagem ou Gramínea	18,12%	4,63%	-
2005 x 2011	Cultura ou Solo Exposto	-	12,64%	69,34%
	Mata	5,57%	84,92%	6,00%
	Pastagem ou Gramínea	8,62%	2,09%	-

Para evidenciar as características da vegetação foi avaliado o índice de vegetação, destacando a vegetação existente na cobertura do solo. As imagens foram classificadas em três grupos, nos quais de -1.0 a -0.3 para as condições menos densa, de -0.3 até 0.3 as condições intermediárias e de 0.3 até 1.0 para as mais densas. Este processo resultou na elaboração dos mapas de Índice de Cobertura Vegetal, apresentado na Figura 6.2. Considerando a classificação realizada, verificou-se que as condições climáticas para o ano de 2005 influenciaram de forma visível a avaliação dos dados, considerando que houve uma representatividade maior de vegetação considerada como menos densa, possivelmente causada pela diminuição da vegetação devido a falta de chuvas no período.

Considerando os anos de 1999 e 2011, verificou-se que houve um aumento da área vegetativa considerada mais densa (de 45,40% para 52,93%) e uma redução das áreas consideradas com baixo nível vegetativo (de 46,60% para 40,30%) conforme (Tabela 6.3).

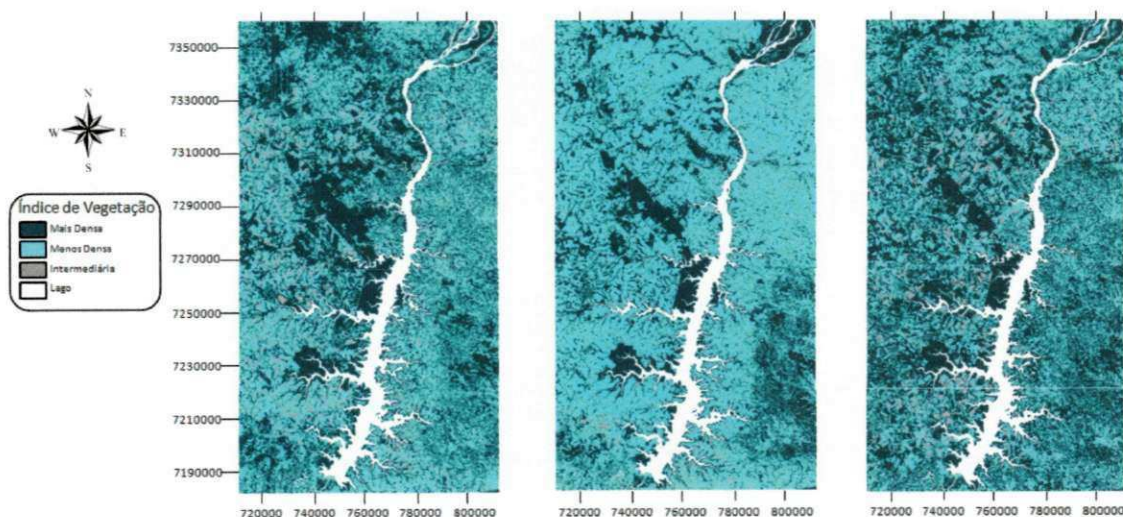


Figura 6.2: Índice de vegetação da região lindeira ao lago de Itaipu para os anos de 1999, 2005 e 2011

Tabela 6.3: Percentual do índice de vegetação da região lindeira ao lago de Itaipu nos anos de 1999, 2005 e 2011

Período	Mais Densa	Intermediária	Menos Densa
1999	45,40%	8,00%	46,60%
2005	34,15%	1,75%	64,10%
2011	52,93%	6,78%	40,30%

Na avaliação referente a declividade do terreno da área de estudo (Figura 6.3), foi considerado o modelo de hierarquização de Classes de Declividades, (Tabela 6.4) relativo à importância de cada classe para o processo erosivo, que indica a intensidade da vulnerabilidade ambiental utilizada por Ross (2004).

Tabela 6.4: Modelo de hierarquização de classes de declividade nos processos erosivos

Categorias Hierárquicas	Classes de declividade
Muito Fraco	até 6°
Fraco	de 6° a 12°
Médio	de 12° a 20°
Forte	de 20° a 30°
Muito Forte	Acima de 30°

Fonte: Ross (2004)

Seguindo o modelo apresentado por Ross (2004), verifica-se que a área em estudo enquadra-se predominantemente em uma declividade classificada de 0 a 12°, representando cerca de 80,28% da área em estudo. Este fato indica que a região apresenta-se com terrenos levemente ondulados, com apenas 15,60% da área contendo declividades entre 12° a 20° (Médio risco), e 3,56% com declividade entre 20° a 30° (Forte risco de erosão) e apenas 0,56% da área com declividade superior a 30° (Risco considerado Muito Forte para erosão). Na Tabela 6.5 encontra-se o total de área em (ha) representada por cada uma das classificações de risco de erosão encontradas na área de estudo e a porcentagem que cada área ocupa em relação à área total da região lindeira ao lago de Itaipu.

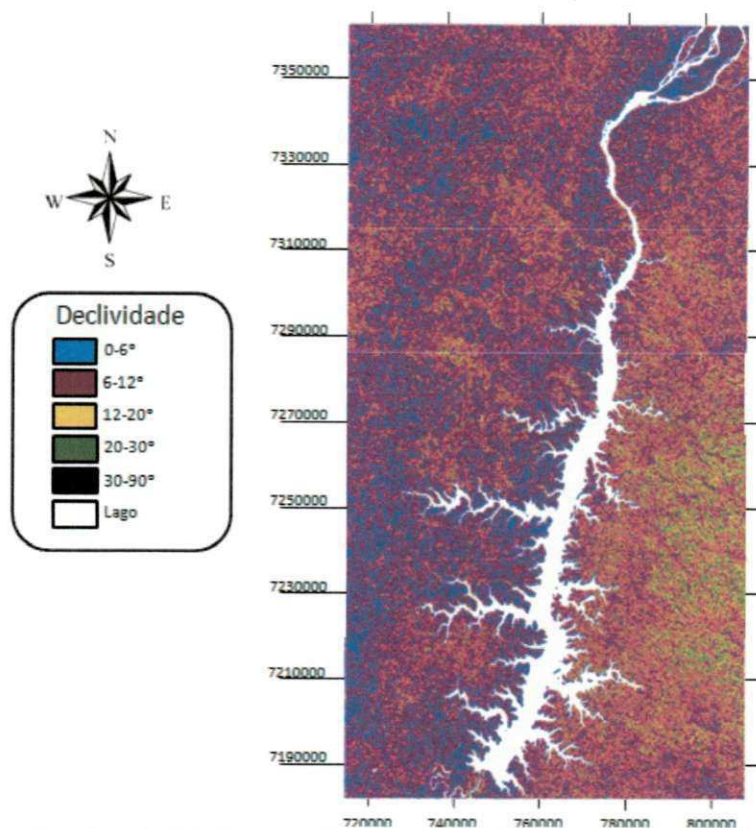


Figura 6.3: Declividade empírica da região limreira ao lago de Itaipu

Tabela 6.5: Área de risco em função da declividade empírica da região limreira ao lago de Itaipu

Declividade	Porcentagem da área total	Área total (ha)
0° até 6°	42,10%	674.268
6° até 12°	38,18%	611.486
12° até 20°	15,60%	249.847
20° até 30°	3,56%	57.016
30° até 90°	0,56%	8.969
Total	100 %	1.601.586 ha

Tendo em vista a viabilidade computacional de análise, assim como identificar regiões com influência direta no lago de Itaipu, foi selecionada uma borda de 1500 metros ao redor do lago (Figura 6.4), chamada de área de interesse, obtendo-se desta os dados referentes ao tipo de vegetação, identificação do nível de cobertura e a declividade.

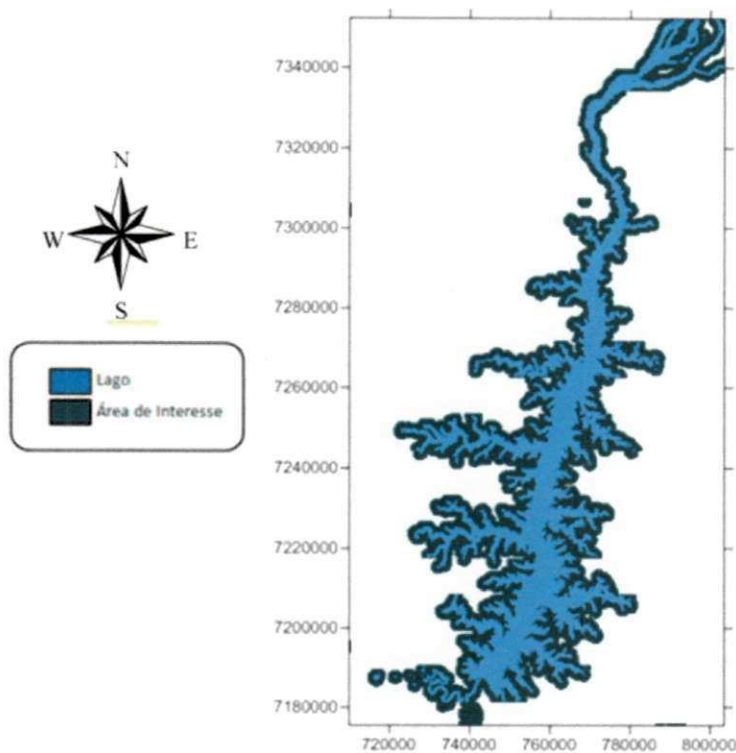


Figura 6.4: Área de interesse com borda de 1500m

Com foco nas características de declividade da área de interesse, a região foi classificada conforme Ross (2004), visando identificar o risco de cada porção da área sem considerar o tipo de vegetação existente (Figura 6.5; Tabela 6.6).

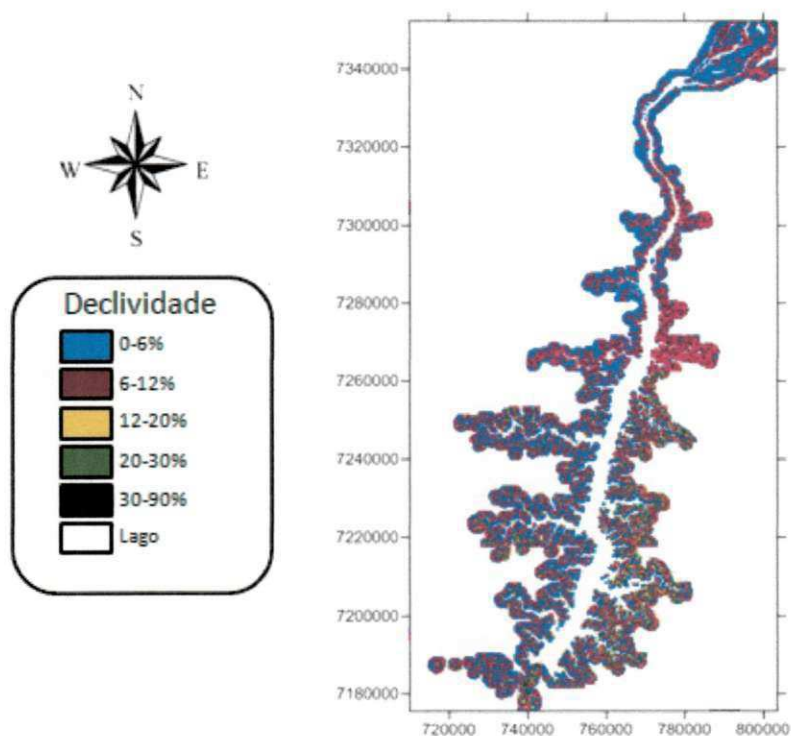


Figura 6.5: Declividade empírica da área de interesse ao lago de Itaipu

De acordo com a (Tabela 6.6), verifica-se que do total da área de interesse (274.545 ha), cerca de 45,95% pode ser considerada de baixo risco, por possuir declividade entre 0 e 6°. Apesar disso, aproximadamente 36,08% da área possui declividade superior a 6°, sendo que destes, 17,98% possui declividade superior a 12°, indicando que há risco considerado forte de erosão e conseqüentemente de assoreamento do lago de Itaipu.

Tabela 6.6: Declividade empírica da área de interesse ao lago de Itaipu

Declividade	Porcentagem da área total	Área total (ha)
0° até 6°	45,95%	126.153
6° até 12°	36,08%	99.042
12° até 20°	13,90%	38.162
20° até 30°	3,40%	9.335
30° até 90°	0,68%	1.853
Total	100 %	274.545 ha

No que diz respeito ao tipo de vegetação da área de interesse, verifica-se que houve um pequeno aumento na quantidade de mata da região considerando os períodos estudados e uma diminuição da área de pastagens/gramíneas e aumento da área de cultivo quando considerado apenas os anos de 1999 e 2011 (Figura 6.6; Tabela 6.7). O ano de 2005 foi desconsiderado para essa análise devido a influência climática observada.

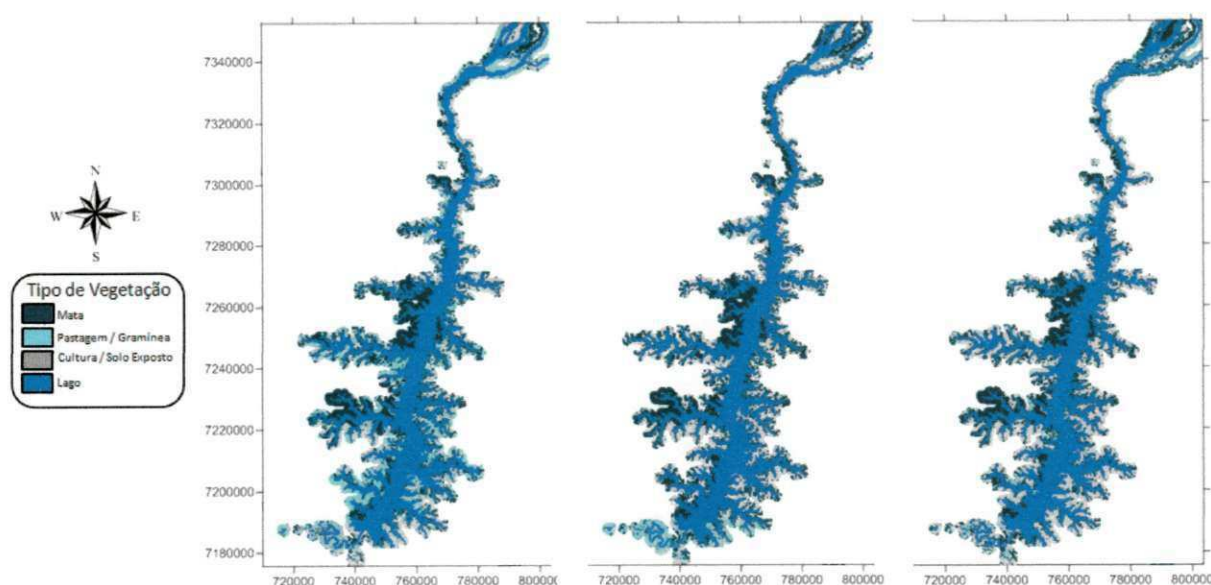


Figura 6.6: Tipo de vegetação da área de interesse para os anos de 1999, 2005 e 2011

Tabela 6.7: Percentual e área do tipo de vegetação da área de interesse ao lago de Itaipu para os anos avaliados

Período	Porcentagem de Mata	Área (ha) de Mata	Porcentagem de Pastagem/Gramíneas	Área (ha) de Pastagem/Gramíneas	Porcentagem de Cultura/SoloExposto	Área (ha) de Cultura/SoloExposto
1999	36,15%	99.248	12,92%	35.471	50,93%	139.826
2005	37,33%	102.488	15,93%	43.735	46,74%	128.322
2011	37,53%	103.037	5,37%	14.743	57,10%	156.765

Da região de interesse foram determinadas as características de tipo de solo (Tabela 6.8) e considerando o nível de declividade realizou-se a classificação conforme Ross (2004). Verificou-se que em áreas onde a declividade apresentou entre 0 e 6 graus, houve aumento tanto de pastagens e gramíneas como de áreas para cultivo ou que se apresentavam com solo exposto. Outro fator interessante é que para regiões onde o risco de erosão foi classificado como médio, houve diminuição de áreas de plantio e pastagens, ocorrendo aumento das áreas de mata. Este fato também ocorreu de forma não conclusiva para áreas consideradas de forte risco de erosão.

Tabela 6.8: Percentual dos níveis de declividade em função área de interesse quanto ao tipo de vegetação e declividade da região lindeira ao lago de Itaipu em 1999, 2005 e 2011

	Cultura ou Solo Exposto			Mata			Pastagem ou Gramíneas		
	1999	2005	2011	1999	2005	2011	1999	2005	2011
Muito Fraco	43,80	47,50	50,10	46,30	46,90	45,80	44,80	47,80	57,60
Fraco	37,50	33,90	36,20	36,80	34,00	36,80	37,10	33,80	31,10
Médio	15,00	13,50	11,40	13,70	13,80	14,10	14,50	13,30	9,50
Forte	3,20	4,20	2,00	2,80	4,40	2,90	3,10	4,20	1,60
Muito Forte	0,50	0,90	0,30	0,40	0,90	0,40	0,50	0,90	0,20

Os mapas das Figuras 6.7, 6.8 e 6.9 apresentam a evolução para cada tipo de classificação (Cultura/Solo Exposto; Mata; Pastagem/Gramínea) para cada ano, nos quais pode-se perceber a evolução de cada um destes fatores em relação ao ano e a declividade verificada.

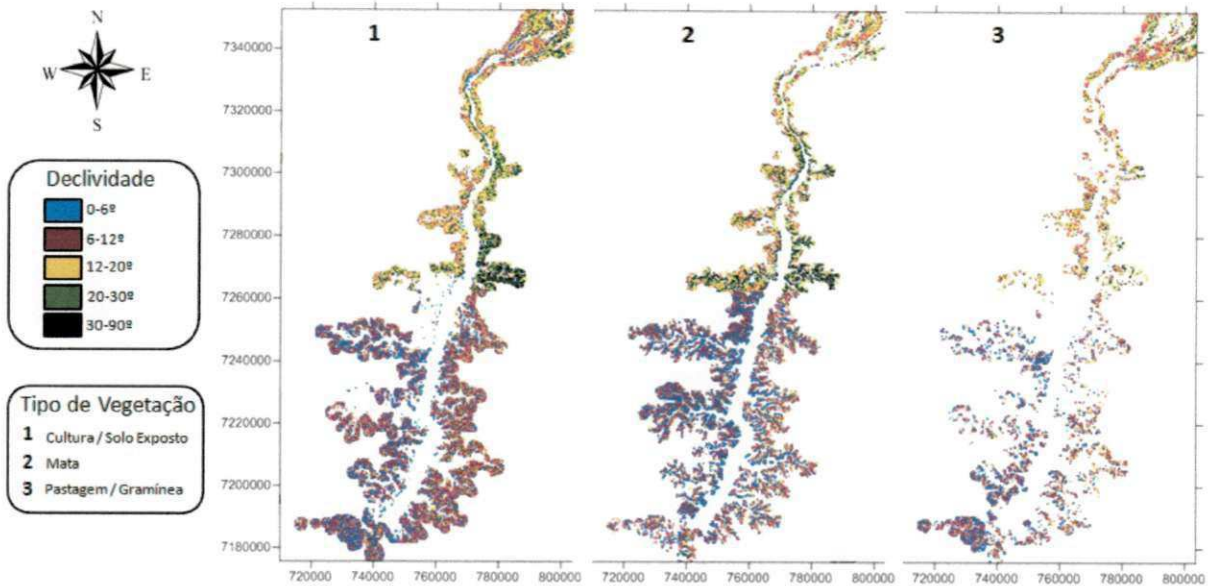


Figura 6.7: Mapa da escala de risco de declividade do tipo de vegetação e declividade da área de interesse do lago de itaipu no ano de 1999

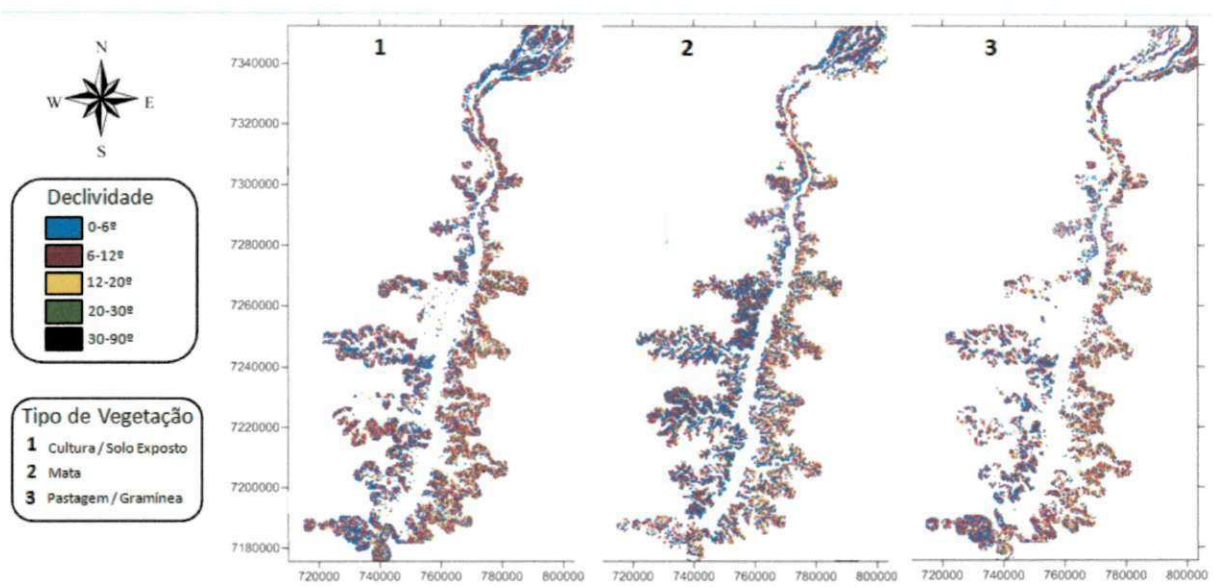


Figura 6.8: Mapa da escala de risco de declividade do tipo de vegetação e declividade da área de interesse do lago de itaipu no ano de 2005

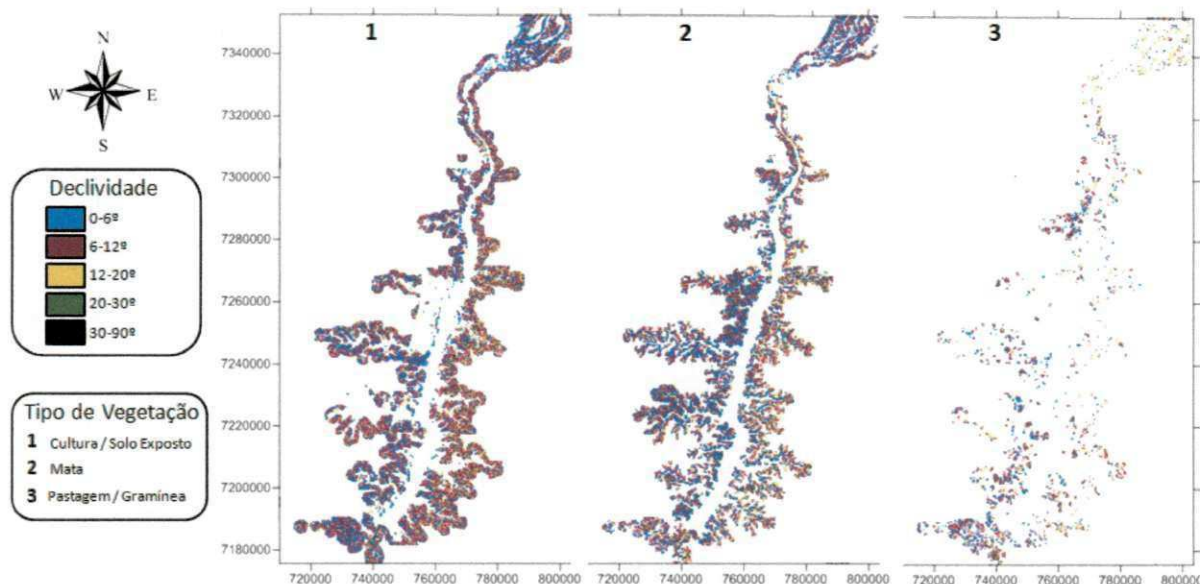


Figura 6.9: Mapa da escala de risco de declividade do tipo de vegetação e declividade da área de interesse do lago de itaipu no ano de 2011

Tendo em vista que os métodos empíricos de classificação podem gerar resultados não satisfatórios, considerando que seus limites podem estar sendo empregados de forma a não realizar a divisão de modo correto, buscou-se realizar a classificação não supervisionada da área de interesse por meio da classificação *Fuzzy C-Means*.

Utilizando dados de declividade e referentes ao índice de vegetação normalizado – NDVI foram geradas 6 classificações considerando que Santos & Negri (1997), apresentaram semelhante classificação quando utilizaram somente dados NDVI.

Na análise temporal (Tabela 6.9), verificou-se que houve um aumento contínuo de áreas consideradas com alto nível de proteção, sendo que representou no ano de 1999 27,3% da área de interesse e em 2011 representou 28,3%. Outro fator importante, corresponde a redução significativa de áreas com situação de risco extremo (classificada como péssima), passando de 5,6% em 1999 para 2,9% em 2011.

Tabela 6.9: Percentual do nível de vegetação da área de interesse aplicado lógica Fuzzy

Nível de Proteção	1999	2005	2011
Alta	27,3%	27,8%	28,3%
Moderadamente Alta	22,7%	17,4%	24,5%
Moderadamente Baixa	19,0%	19,4%	17,2%
Baixa	14,3%	21,3%	17,2%
Muito Baixa	11,1%	10,9%	9,9%

Péssima	5,6%	3,2%	2,9%
Total	100 %	100 %	100 %

A visualização gráfica de todos os dados apresentados na Tabela 6.10 é observada na (Figura 6.10).

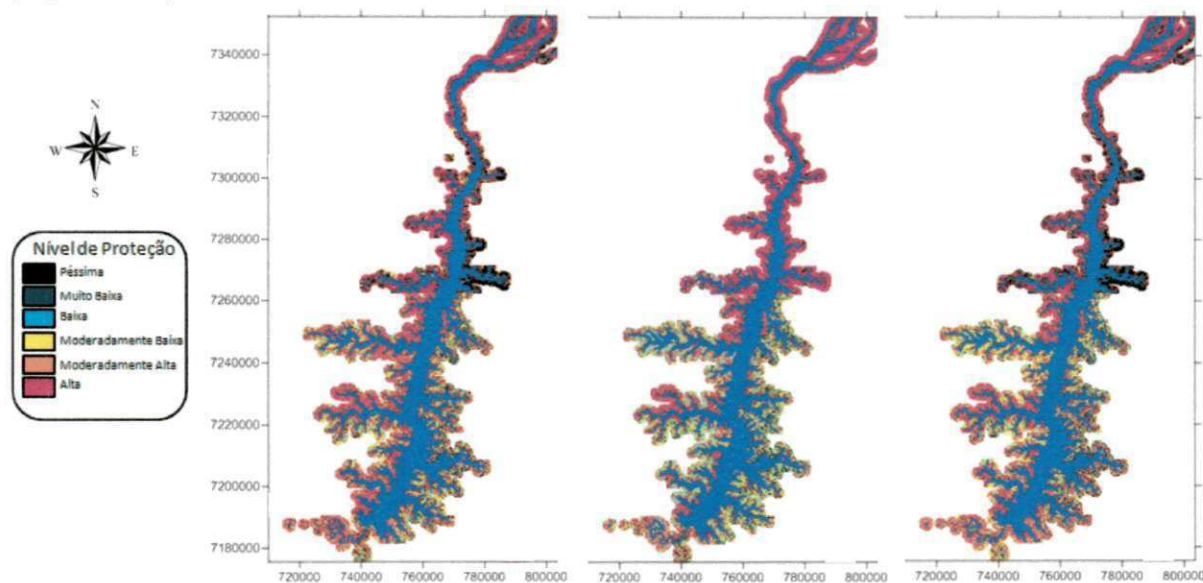


Figura 6.10: Níveis de proteção da área de interesse no lago de Itaipu para os anos de 1999, 2005 e 2011

Houve acréscimo nas classes alta (nenhum risco de erosão) de 27,3% em 1999 para 28,3% em 2011, como para a classe moderadamente alta, aumentou de 22,8% em 1999 para 24,5% em 2011 (Figura 6.11 e Tabela 6.10).

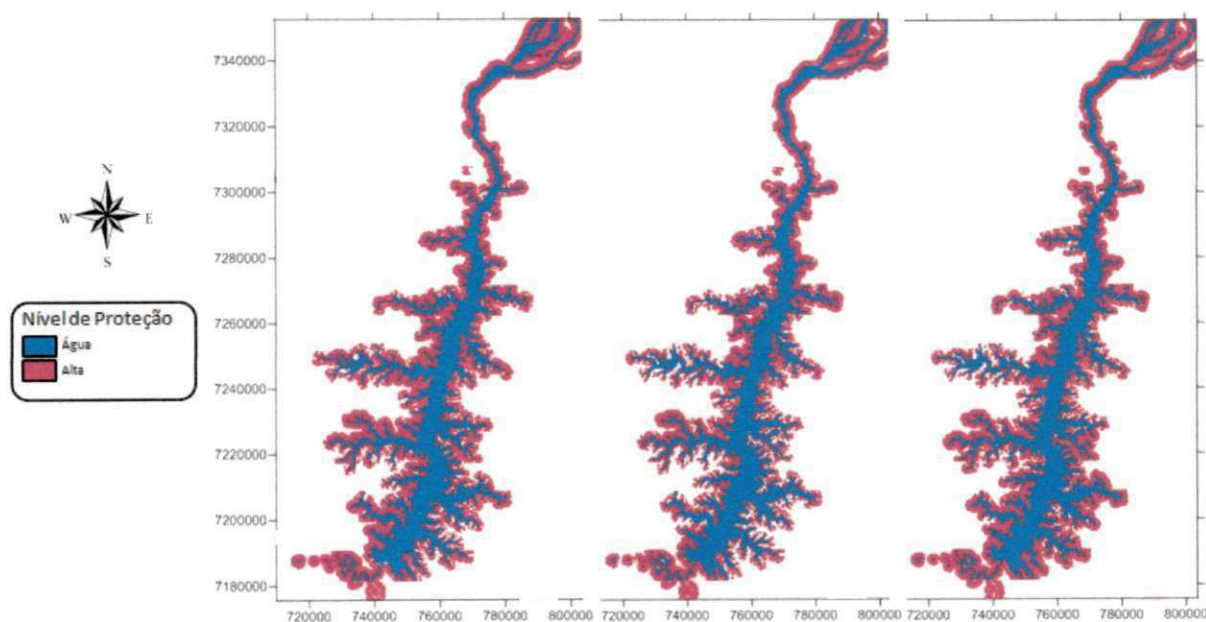


Figura 6.11: Nível de proteção Alta, da área de interesse no lago de Itaipu para os anos de 1999, 2005 e 2011

Para as áreas consideradas de proteção Alta e moderadamente Alta, pode-se verificar que em praticamente toda a margem do lago há uma faixa de proteção.

Para uma análise visual mais concisa da Figura 6.10 realizou-se um trabalho de ampliação, da mesma Figura 6.12 na qual observa-se 4 (quatro) locais específicos denominados: Local 1 e 2 que retratam as áreas identificadas e classificadas predominantemente como risco de proteção moderadamente baixa (Figura 6.12A e 6.12B) e os locais 3 e 4 que representam o risco de proteção referido como péssimo (Figura 6.12C e 6.12D).

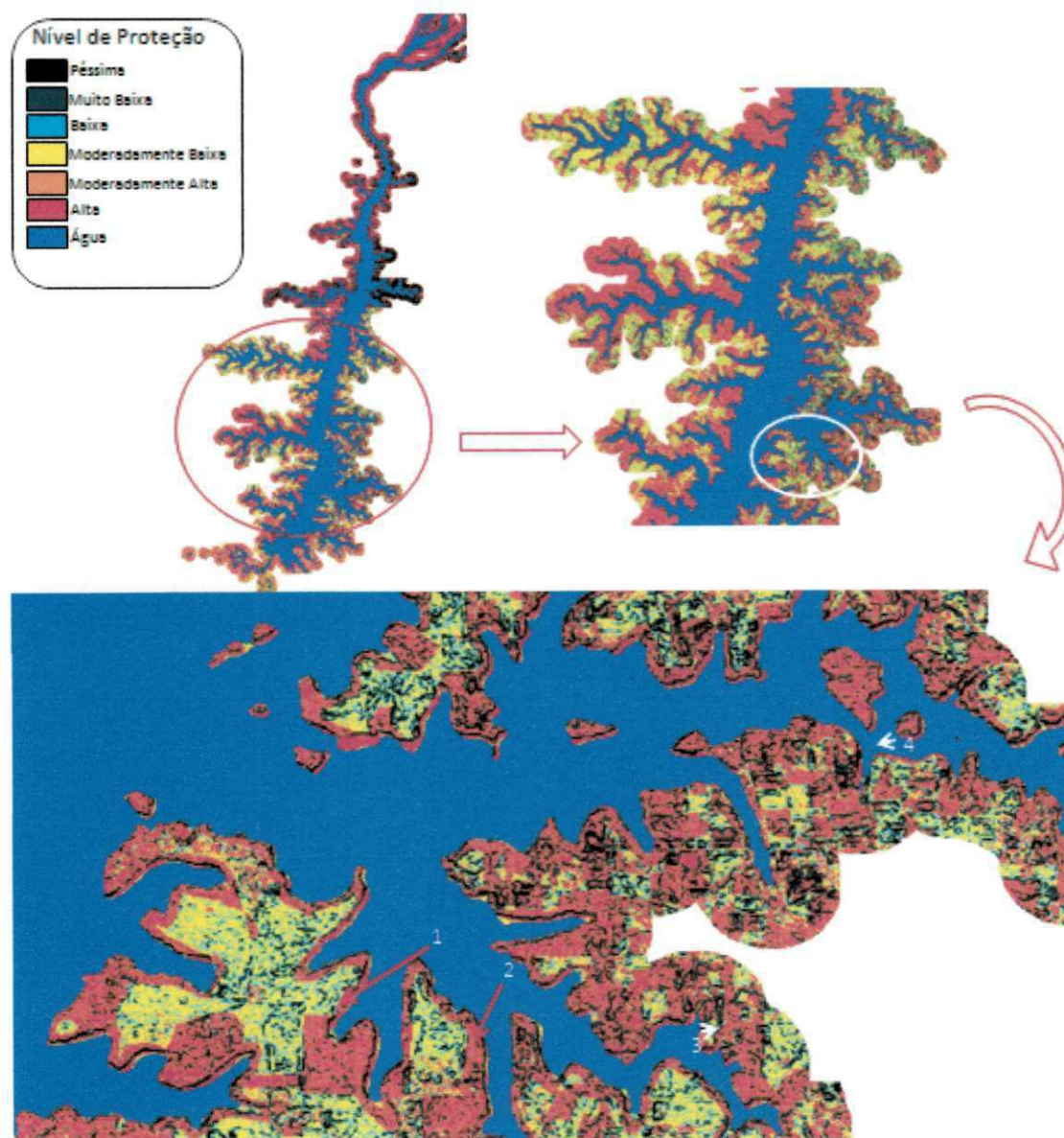


Figura 6.12: Níveis de proteção da área de interesse do lago de Itaipu para os anos de 1999, 2005 e 2011



Figura 6.12A: Local 1 coordenadas $25^{\circ} 17' 42''$ S $54^{\circ} 24' 36''$ O, risco de proteção Moderadamente Baixa



Figura 6.12B: Local 2 coordenadas $25^{\circ} 18' 02''$ S $54^{\circ} 23' 00''$ O, risco de proteção Moderadamente Baixa

O local 3 (Figura 6.12C), possui uma altitude em relação ao nível do lago superior a 30 metros e um comprimento de rampa aproximado em 270 metros, motivo pelo qual o *Fuzzy* identificou como área de risco extremo. Já o local 4 (Figura 6.12D) possui uma altitude de apenas 11 metros, porém, apresenta uma área de solo completamente exposto, exibindo assim o índice de vegetação em -1 (menos um), sendo identificado também como área de risco.



Figura 6.12C: Local 3 coordenadas $25^{\circ} 16' 56''$ S $54^{\circ} 19' 07''$ O, risco de proteção péssima



Figura 6.12D: Local 4 coordenadas $25^{\circ} 13' 27''$ S $54^{\circ} 17' 23''$ O, risco de proteção péssima

Avaliando a área considerada como péssima (risco extremo para erosão), verificou-se que a redução foi constante, 5,6% em 1999 para 2,9% em 2011, o mesmo ocorreu na classificação muito baixa onde representava em 1999 11,1% da área e para 2011 redução em 9,9% ocorrendo um decréscimo na área de risco. A maior representatividade de áreas problemáticas se encontram na margem direita do lago (Figura 6.13). Neste sentido, verifica-se a necessidade de ampliação de programas de proteção e controle nestas áreas consideradas de risco.

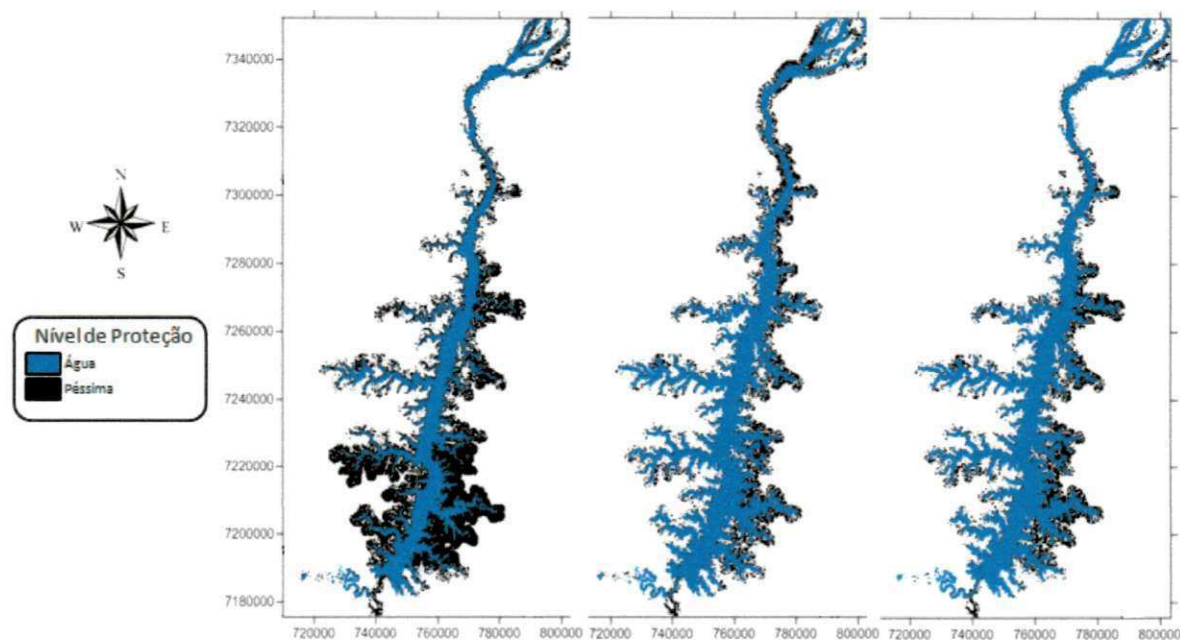


Figura 6.13: Nível de proteção Péssima, da área de interesse para os anos de 1999, 2005 e 2011

Da área total de interesse 274.545ha, foram identificadas 7.985 ha como nível de proteção considerada péssima, representando 2,9% da área de interesse. Desta forma, verifica-se a necessidade de adaptação de culturas alternativas, considerando aspectos econômicos e ambientais da região.

Com o objetivo de identificar possíveis culturas adaptativas e economicamente viáveis à região, foram obtidos e avaliados resultados de trabalhos realizados pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), o qual desenvolve pesquisas, visando avaliar a adaptação de culturas no estado do Paraná, considerando aspectos como o tipo de solo, o clima e o relevo. Dentre os resultados obtidos, tem-se a confecção de mapas indicadores de regiões propícias ao cultivo de uma determinada cultura, intitulado zoneamento agrícola do estado, que considera os riscos climáticos envolvidos no cultivo, características de solo em relação a necessidade da cultura, assim como seu relevo.

Conforme aponta Fachinello (2009), a declividade do terreno corresponde a um aspecto importante que deve ser considerado para indicação de culturas, podendo-se classificá-la em 3 níveis, tendo em vista o desenvolvimento radicular da planta e a movimentação do solo (Tabela 6.10).

Tabela 6.10: Tipos de plantio de mudas em função da declividade

Tipo de Plantio	Nível de Declividade
Em nível	< 3°
Construção de terraços	< 20°
Patamares	>20°

Conforme Fachinello (2009), podem ser utilizados terrenos com declividade de até 20° de declividade para o cultivo de produtos agrícolas, incluindo frutas, pois permite um bom desenvolvimento radicular da planta e contribui para o controle da erosão. Neste sentido, não se recomenda o cultivo em sistemas classificados como Patamares (>20°) pois envolvem grande movimentação de solo e é restrito a áreas que apresentam riscos de erosão.

Por meio dos mapas de zoneamento agrícola fornecidos pelo IAPAR (2010), bem como a utilização de culturas que exigem o mínimo uso de fertilizantes para não gerarem problemas ambientais, foram sugeridas como alternativas de plantio para as áreas selecionadas, as culturas referentes ao abacate, o abacaxi, a banana, o caqui, citros, a goiaba, o maracujá, o morango e o pêssego.

Visando a avaliação das culturas selecionadas, realizou-se uma análise da área atualmente cultivada nos municípios lindeiros ao lago de Itaipu, visando identificar se as culturas já estão sendo cultivadas na região e avaliando-se se a adaptação de uma só cultura em toda a área não pudesse gerar excesso de produção e assim inviabilizá-la economicamente considerando a lei da oferta e da procura. A tabela 6.11 apresenta em hectares a quantidade de plantio de cada cultura nos municípios que margeiam lago de Itaipu.

Das cultura avaliadas, a banana é a que possui maior representatividade produtiva (341 ha), sendo que conforme avaliação feita "*in loco*", toda produção é consumida na região sendo que a produção de baixa qualidade é disponibilizada para fabricação de doces como geleias e balas. Outra cultura bastante explorada na região, correspondo ao citrus, o qual é destinado prioritariamente para consumo "*in natura*".

Quando considerada toda a área cultivada para as culturas sugeridas para região, verifica-se que esta possui 518,5 ha, representando apenas cerca de 14,5% da área de risco, indicada no processo de zoneamento das áreas lindeiras do lago de Itaipu.

Tabela 6.11: Municípios limieiros ao lago de Itaipu com respectivas área de cultivo

Produto	Área (ha)
Abacate	20,9
Abacaxi	26,4
Banana	341,0
Caqui	13,7
Citros	136,5
Goiaba	8,8
Maracujá	9,2
Morango	14,0
Pêssego	9,5

Fonte: cultivo SEAB (2011), adaptado

No aspecto econômico, conforme relatório final do Valor Bruto da Produção Rural (VBP) Paranaense 2010 (SEAB, 2010), aponta-se que a fruticultura do estado representa 2% do VBP. Quando considerada a necessidade de consumo diário de frutas da população paranaense, verifica-se que o consumo corresponde a menos da metade das recomendações nutricionais, conforme recomenda a Organização Mundial da Saúde (2011). Neste sentido, mesmo que a produção de determinada cultura fosse elevada para toda área indicada, a necessidade estadual poderá absorver a demanda, incentivando ainda a produção estadual.

O consumo médio de cada cultura por município não foi encontrado para que pudesse realizar uma análise para o consumo local, porém acredita-se dentre os limitantes do baixo consumo de frutas, estão o elevado custo de transporte incorporado ao produto, sistemas ineficientes de produção, distribuição e comercialização; e desconhecimento da população sobre a importância do consumo regular de frutas para manutenção da saúde.

A carência de produção de frutas na região oeste pode ser verificada quando identificados a origem e quantidade de produtos que foram absorvidos pela população de Foz do Iguaçu por intermédio do CEASA - Foz do Iguaçu no ano de 2010.

Verificou-se que dentre os produtos que poderiam ter sua produção implementada no entorno do lago de Itaipu, a grande maioria são produzidos em outras regiões (Tabela 6.12). Apesar da banana se produzida em maior extensão de área se comparada com as demais, sua produção representa apenas 5,29% do consumido em Foz do Iguaçu no ano de 2010, que é o maior e mais próximo consumidor da fruta.

Tabela 6.12: Porcentagem de entrada de produtos no CEASA - Foz do Iguaçu

Produto	Oeste Paranaense	Outras Regiões
Abacate	1,97%	98,03%
Abacaxi	0,20%	99,80%
Banana	5,29%	94,71%
Caqui	36,95%	63,05%
Citros	4,37%	95,63%
Goiaba	25,49%	74,51%
Maracujá	0,11%	99,89%
Morango	7,62%	92,38%
Pêssego	17,24%	82,76%

Com o objetivo de potencializar a região como produtora de frutas, programas poderiam ser desenvolvidos por órgãos governamentais visando estimular a produção e o consumo na própria região. Neste mesmo contexto, poderiam ser desenvolvidos projetos para construção de agroindústrias de pequeno porte, visando a industrialização do excedente.

7. CONCLUSÕES

Após a realização da análise necessária para a elaboração desta tese, concluiu que:

As ferramentas de geoprocessamento utilizadas possibilitaram realizar as análises propostas de forma satisfatória.

As imagens processadas obtidas pelo satélite *Landsat* (sensor 5) proporcionaram resolução suficiente para análise da região do entorno do lago de Itaipu.

O algoritmo *Fuzzy C-Means*, mostrou-se eficiente para utilização dos objetivos propostos, sendo possível elaborar a análise ambiental da área estudada, identificando-se os tipos de cobertura vegetal, os quais representam as reais condições de conservação e de degradação ambiental da área. Também quanto a classificação das áreas de risco não somente de solos com declividade acentuada mais também onde o índice de vegetação foi classificado como baixo ou nulo.

Verificou-se que apesar do ano de 2011, ter-se 57,1% da área de interesse classificada como cultura ou solo exposto, somente 12,8% da área foi classificada como Muito Baixa ou Péssima para o quesito risco, ou seja, a maior parte da área destinada atualmente a produção agrícola não foi classificada como área de risco considerando a declividade pouco acentuada. Fato similar, foi verificado também para os demais anos avaliados.

Os resultados comprovam que as medidas ambientais adotadas nos últimos anos têm contribuído para a redução de áreas de risco, reduzindo a vulnerabilidade a erosão dos solos. Apesar disso, como a maior representatividade de áreas consideradas de risco, encontram-se na margem direita do lago, verifica-se a necessidade de ampliação de programas de proteção e controle.

Uma grande quantidade de áreas consideradas de risco encontram-se ao final da mata ciliar, em virtude de terrenos com uma determinada declividade ou por serem solos descobertos de proteção vegetal.

Uma alternativa viável para áreas influenciadas seria o reflorestamento com vegetação nativa.

Na análise das culturas alternativas, verificou-se que apesar da área considerada de risco ao entorno do lago de Itaipu ser expressiva, a adaptação destas áreas para o cultivo de frutas pode ser uma alternativa economicamente viável para os produtores que possuem suas propriedades nestas regiões.

Finalmente, espera-se que esta tese sirva de subsídio para o estabelecimento de medidas de preservação, conservação e recuperação das áreas degradadas, assim como, subsídio indispensável para o planejamento ambiental apregoado nos preceitos da sustentabilidade.

8. REFERÊNCIAS

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). Degradação do solo: Terminologia, NBR 10.703. 1989.

AGRIANUAL 2008. FNP. Consultoria e Comércio. Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo, p. 273-303, 2008.

Alonso, H; Francés & Cendrero , A. Enviromental – Geological Mapping and Evaluation in Cantabrian Mounstain, Spain. In: International Congress of the IAEG, 6 Amsterdan, 1990. Anais... Amsterdan VI, p31-35.

Altman, D.; Fuzzy set theoretic approaches for handling imprecision in spatial analysis. International Journal of Geographical Information Systems. V. 8, n. 3, p. 271-289, 1994.

Alvarenga, R. Integração preliminar de Sensoriamento Remoto e de Dados Sísmicos 3D para o reconhecimento Estrutural em Bacias Sedimentares. nais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 1959-1966.

Andrade, L.N.V.; Lopes, H.L. Aplicação de modelos hidrológicos superficiais e subsuperficiais em bacias hidrográficas: Fase I - compilação do banco de dados. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, 2000, Florianópolis. Anais, Florianópolis: UFSC, 2000. p.1-25.

Angelico, J. C.; Da SILVA, I. N.; Eficiência da krigagem na estimativa das variáveis físicas e químicas do solo, . Vol 21, n. 1, p.106-117, 2006.

Attanasio, C.M.; Planos de manejo integrado de microbacias hidrográficas com uso agrícola: Uma abordagem hidrológica na busca da sustentabilidade. São Paulo: USP. 193p. 2004. Tese de Doutorado.

Auler, P. A. M.; Carvalho, S. L. C. de; Marur, C. J.; Gomes, J. C. Efeito de épocas de aplicação de ethephon sobre a antecipação do florescimento do abacaxizeiro Smooth Cayenne na região Noroeste do Paraná. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, 17, 2002, Belém. Anais... Sociedade Brasileira de Fruticultura.

Auzmendi, I.A.; Evangelista, I.M.; Silva, H.P. Síntesis de los conocimientos sobre la hidrogeología de la cuenca del rio Verde e Jacaré, Irecê-BA, Brasil: In: Seminário Internacional CYTED-XVII, 2., 2002, Salvador. Resumos... Salvador: CYTED/UFBA/UEPS/SRH-BA/MMA-SRH/FAPEX, 2002.

Ayers, R.S.; Westcot, D.W.; A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p.

Bahia, Secretaria do Planejamento, Ciência e Tecnologia. Avaliação dos recursos hídricos em bacias hidrográficas do Estado da Bahia: Bacia do Rio Salitre. Salvador, 2v p.101 1986.

Bakhsh, A.; Colvin T. S.; Jaynes D. B.; Kanwar, R. S.; Tim, U.S. Spatial distribution of soil attributes affecting crop yield. St. Joseph: ASAE, 16 p. 1997.

Banai, R; (1993); Fuzziness in geographical information system: contributions from Barrow, C. J. (1998); River Basin Development Planning and Management: A Critical Review. World Development. v.1 (26) p. 171-186, 1998.

Bassanezi, R.C.; Barros, L.C. Tópicos de Lógica Fuzzy e Biomatemática. Campinas, SP: UNICAMP/IMECC, 2006.

Berry, J.K.; Delgado, J.A.; Khosla, R.; Pierce, F.J. Precision conservation for environmental sustainability Journal of Soil and Water Conservation, 58 (6), p. 332-339, 2003.

Bitar, O.Y.; Fornasari Filho, N. & Vasconcelos, M.M.T. Considerações básicas para a abordagem do meio físico em estudos de impacto ambiental. In: BITAR, O.Y. (Coord.). O meio físico em estudos de impacto ambiental. Publicação Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), São Paulo, boletim 56, cap.03, p.09-13, 1990.

Blackmore, S.; The interpretation of trends from multiple yield maps. Computers and electronics in agriculture, Orlando, v.26, p.37-51, 2000.

Bertrand, G. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. Cadernos de Ciências da Terra, São Paulo, nº 13, 1972.

Bertrand, G. Paisagem e Geografia Física global: esboço metodológico. RA'EGA, Curitiba, nº 8, 2004, p. 141 – 152.

Berthon, D.; Bourlon, N. ; Manifestation "Viva a Água", Rio '92. Ministère des Affaires Étrangères, Paris, 43 p, 1993.

Brasil, Ministério da Saúde. Portaria no. 518, de 25 de março de 2004. Diário Oficial, Brasília, Seção 1, 266p. 2004.

Brito, L.T.; Avaliação de impactos das atividades antrópicas sobre os recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Salitre, BA, e classificação das fontes hídricas. Campina Grande:UFCG, 2003. 184p. Tese Doutorado.

Brito, L.T.; Vajapeyam S.; Srinivasan; Silva, A; Gheyi, H. R.; Galvão C. O.; Hermes L. C.; Influência das atividades antrópicas na qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio Salitre, Campina Grande, v. 9, n.4, 2005.

Brown, L.; Flavin, C.; French, H.; Estado do mundo 2000. Tradução H. Mallett. Salvador: UMA Editora, 288p. 2000.

Burrough, P. A. Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation. *Journal of Soil Science*, Vol. 40, 1989, pp. 477-492.

Burrough, P. A.; Heuvelink, G. B. M. The sensitivity of Boolean and continuous (Fuzzy) logical modeling to uncertain data. In: *EGIS 92*, Munich, Germany, 1992. Proceeding: Germany, 1992, pp.1032-1041.

Burrough, P. A.; McDonnell, R. A. *Principles of geographical information systems*. Oxford University Press, 1998.

Burrough, P. A.; Van Gaans, P. F. M; Macmillian, R.A; High-resolution landform, Câmara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J *Computers & Graphics*. "SPRING: Integrating remote sensing, 2000.

Câmara, G. ; & Medeiros, J. S.; - *Geoprocessamento para Projetos Ambientais*. INPE, 1998.
Câmara, G. et al. *Análise Espacial de Dados Geográficos*. São José dos Campos: INPE, (2001). Campinas, SP: Editora da UNICAMP, (2003). *cartografia geoambiental al diagnostico de unidades territoriales*.

Campbell, J.B.; *Introduction to Remote Sensing*. New York: Guilford Press, 550 p. 1987.

Carvalho J.; O.A.; SILVA, N. C. Detecção de Mudança Espectral uma nova metodologia para análise de séries temporais. In: *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, INPE, p. 5635-5641, 2007.

Centrais de Abastecimento (CEASA)
<<http://dw.prohort.conab.gov.br/pentaho/Prohort>> Acesso 10/jul/2012.

Cendrero, A.; *Enviroment Geology of the Santander by Area*. Northern Spain, 1975.

Cendrero, A.; *Tecnicas Y Instrumentos de Analise para la Avaliacion, Planificacion*, 1983.

Cendrero, A. *Desarrollo y Tendencias de la Geologia Ambiental en Europa*, AGID, 1990.

Chorley, R. J. *et al Geomorphology*. London: Methuen & CO. Ltd. 1984

Ciência e Aplicação. ABRH. Editora da Universidade do Rio Grande do Sul. p.727-768, 1993.

Ciência e Aplicação. Coleção ABRH. Ed. Univ. Federal do Rio Grande do Sul. p 167-191, 1998.

Claessen, M. E. C.; (Org.). Manual de métodos de análise do solo. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPq, 1997. 212p.

Collares, E. G.; Degradação Ambiental: Bases Conceituais, Análise e Avaliação. Seminários Gerais. EESC/USP, São Carlos, 1996. 104 p.

Collares, E. G. Avaliação de Alterações em Redes de Drenagem de Microbacias como Subsídio ao Mapeamento Geoambiental de Bacias Hidrográficas: Aplicação na Bacia Hidrográfica do Rio Capivari . SP.. EESC/USP, São Carlos, 2000. 211 p. Tese de Doutorado

Colvin, T.S.; Jaynes, D.B.; Karlen, D.L.; Laird, D.A.; Ambuel J.R. Yield variability within a central Iowa field. International Journal of the American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, v. 40, n. 4, p. 883-889, 1997.

Conceição, F.T.; Bonotto, D. M. Relações hidroquímicas aplicadas na avaliação da qualidade da água e diagnóstico ambiental na bacia do Rio Corumbataí (SP). Geochimica Brasiliensis, p.01-21. 2002.

Cordeiro, J.S.; Importância do tratamento e disposição adequada dos lodos de ETAs. In: REALI, M.A.P (Coord). Noções Gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. Rio de Janeiro: ABES, 1999. cap 1. p.1-19, 1999.

Corson, W.H.; Manual global de ecologia: o que você precisa saber a respeito da crise no meio ambiente; tradução de A G. CAMARU. São Paulo, Augustus. 413p, 1993.

Crosta, A.P.; Processamento Digital de Imagem de Sensoriamento Remoto. Campinas IG/UNICAMP. 170p, 1999.

Dale, P.F.; McLaughen, J, D; lande information management, and introduction with especial reference to cadastral problems in third world countris, Oxford University Press, 259p, 1990.

Davidson, J.; Pedrycz, W.; GOULTER, I.; A fuzzy decision model to design of rural de recursos naturais. Cadernos FUNDAP, São Paulo, n.9, n.16, junho. p.33-45, 1993

Diegues, A. C.; Desenvolvimento sustentado, gerenciamento geoambiental e o de recursos naturais, São Paulo, p 35. 1998.

Dobermann A.; Ping J L.; Adamchuk V.I.; Simbahan G.C.; Ferguson N. R. B.; Classification of crop yield variability in irrigated production fields. Agronomy Journal, 95, 1105-1 120, 2003.

Doerge, T. A.; Management zones concepts. Site-specific management guidelines, Potash & Phosphate Institute, n.2, p.1-4, 2000.

Dors, J.; 1924, Antes que a natureza morra: uma ecologia política; Tradução, Rita Burigermينو. São Doutoramento. Universidade de São Paulo, Ed. do Autor, 1981.

Doyle, D.; Sustainable development : growth without losing ground. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.46, n.1, p.8-12, 1991.

Duarte, S.M.A.; Diagnostico Ambiental e Planejamento da Microbacia Hidrográfica Timbauba no Brejo Paraibano, através de técnicas de fotointerpretação e sistema de informações geográficas. Paraíba: UFPB, 2003 p. 53-58, Dissertação de Mestrado.

Dynia, J.F.; Souza, M. D.; Boeira, R.C.; Lixiviação de nitrato em Latossolo cultivado com milho após aplicações sucessivas de lodo de esgoto, vol.41, n.5, p. 855-862, 2006.

Eastman, J. R.: Idrisi for windows - Exercícios Tutoriais. Tradução para o português por Hasenack, Heinrich. UFRGS, Porto Alegre, RS, 1998.

Espinosa, H.R.M.; Desenvolvimento e Meio Ambiente sob nova ótica, v.1 n.1 p.40-44, 1993

Fachinello, J.C.; Hoffmann, A.; Nachtigal, J.C.; Propagação de plantas frutíferas. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 221 p.

Fachinello, J.C. Guia de rastreabilidade para a cadeia de frutas. Pelotas: Sem Rival, p20,2003.

Fachinello, J.C.; Nachtigal J. C.; Kersten, E.; Fruticultura: Fundamentos e Prática EMBRAPA 2009.

Farr, T.G.; Rosen, P.A.; Caro, E.; Crippen, R.; Duren, R.; Hensley, S.; Kobrick, M.; Paller, M.; Rodrigues, E.; Roth, L.; Seal, D.; Shaffer, S.; Shimada, J.; Umlad, J.; Werner, M.; Oskin, M.; Burbank, D.; Alsdorf, D. The Shuttle Radar Topography Mission. *Review in Geophysics*, v. 45, n. 2, p. 21-35, 2007.

Fornasari, F. N.; Bitar, O.Y.; O meio físico em estudos de impacto ambiental, EIAs. In: BITAR, O.Y. (Coord.). Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), cap. 4.1, p.151-163, 1995.

Fornasari, F. N.; Coord, Alterações do meio físico decorrentes de obras de engenharia. São Paulo. IPT. 162p, 1992.

Fraisse, C.W.; Sudduth, K.A.; Kitchen, N.R.; Delineation of site-specific management zones by unsupervised classification of topographic attributes and soil electrical conductivity. *International Journal of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*, v.44, n.1, p.155-166, 2001.

Freitas, A.C.N. da C. Análise Comparativa do Corredores turísticos no entorno do Lago de Itaipu no Brasil e lago Llanquihue no Chile. Itajaí: UNIVALE, 2004, p.154. Dissertação de Mestrado.

Freitas, S.R.; Melo, M.C.S.; Cruz, C.B.M. Relações entre Maturidade Estrutural da Floresta e Índices de Vegetação da Mata Atlântica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, 2005, Goiânia. Anais... São Jose dos Campos: INP, 2005.

Freitas, M.A.V. de; Santos, A.H.M. Importância da água e da informação hidrológica. In: Freitas, M.A.V. de. (Ed.). O estado das águas no Brasil; perspectivas de gestão e informações de recursos hídricos. Brasília: ANEEL/MME/ MMA-SRH/OMM, p.13-16, 1999.

Galvão, C.O.; Introdução a Teoria dos Conjuntos Difusos. IN Galvão, C. O & Geografia, n. 12, p. 89-121, 1999.

Gestão Ambiental e de Recursos Hídricos na Perspectiva do Desenvolvimento Sustentável, Brasília, 2000.

Girardin, P.; Rockstaller, C.; Werf, H.. Assessment of potential impacts of agricultural practices on the environment: the AGRO*ECO method. Environmental Impact Assessment Review, New York, v.20, p.227-239, 2000.

Goldschmidt, R. R.; Passos, E.; Data mining: Um guia prático. Rio de Janeiro: Campos, 2005.

Goldenfun, J.A.; Variabilidade espaço-temporal dos processos hidrossedimentológicos in Monitoramento de bacias hidrográficas e processamento de dados. Paiva, J.B.D.; Chaudhry, F.H. ; Reis, L.F.R (Orgs). Coletânea – REHIDRO FINEP Ed. RiMA, vol1, 326p, 2004.

Gomide, F.; Rocha, A . A Neurofuzzy Controllers. 2nd International Conference, 1992.

Gomide, F.; Rocha, A. Neurofuzzy Componente Based on Threshold – Grecchi, R. C. Zoneamento geoambiental da região de Piracicaba-SP, com auxílio de geoprocessamento. São Carlos: EESC/USP, 1998, 132p. Dissertação Mestrado.

Gtz, D.G.F.T. Controle da erosão no Paraná. Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo, Eschborn, Gtz p. 268, 1991.

Guerra, A J. T.; Cunha, S. B. Geomorfologia e Meio Ambiente. Beltrand Brasil. Como compatibilizar tal desafio. In: Munoz, Hector Raúl (org.). Interfaces da hidrográficas na América Latina. Ciência e Cultura. p.16-22. Hidrográficas. Revista Águas/CPRM. 1(1):59-66, Lisboa. p. 377-402, 1996.

Gurgel, H.C.; Ferreira, N.J.; & Luiz, A. J.B. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando-se a análise de agrupamentos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 7, nº 1, p. 85-90, 2003.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

<http://www.cbers.inpe.br/sobre_satelite/orbita_cbers1e2e2b.php> acesso em 20/mar/2012.

Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR)

<<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1051>> acesso 15/jul/2012.

Instituto Agrônômico do Paraná, Zoneamento Agrícola do estado do Paraná, 2003.

Itaipu Binacional. Um ano cultivando água boa. *Cultivando água Boa*. Foz do Iguaçu, p.43. 2004.

Itaipu Binacional. Relatório Cultivando Água Boa. Foz do Iguaçu, 2010.

Jacinto, L. R. C. Geoprocessamento e sensoriamento remoto como ferramenta na gestão ambiental de unidade de conservação: O caso da área de proteção ambiental (APA) do Capivari. São Paulo: USP, 2003, p.83-84. Dissertação de Mestrado.

Johnson C. K.; Mortesen D. A.; Wienhold B. J.; Shanhan J. F.; Doran J. W.; Site-specific management zones based on soil electrical conductivity in a semiarid cropping system. *Agronomy Journal*, 95, p. 303-315, 2003.

Kosko, B. *Neural Networks and Fuzzy Systems, A Dynamical Systems Approach to Machine Intelligence*. 1992. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1992.

Passino, K.M.; S. Yurkovich, *Fuzzy Control*, Addison-Wesley, 1998.

Lamparelli, R. A. C.; Rocha, J. V.; Borghi, E. *Geoprocessamento e agricultura de precisão. Fundamentos e aplicações*. Rio Grande do Sul: Agropecuária, 118 p. 2001.

Lanna, A. E. Gestão dos recursos hídricos. In: Tucci, C. E. M. (org). *Hidrologia – Leite, C. M. C. Gestão Ambiental: Uma breve reflexão*, 1993.

Leal, PL; Sturmer, SI; Siqueira, JO. 2009. Occurrence and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in trap Cultures from Soils under different land use systems in the amazon, Brazil. *Journal of Microbiology*. 40(1):111-121.

Leite, J.R.M. Estado de Direito do Ambiente: Uma difícil tarefa. In: (org) *Inovações em Direito Ambiental*. Florianópolis: Fundação Jose Arthur Boiteux, 2000.

Leonardo, H.C.L. Indicadores de qualidade de solo e água para avaliação do uso sustentável da microbacia hidrográfica do rio Passo Cue, Região Oeste do Estado do Paraná. São Paulo: USP, 2003. 121p. Dissertação Mestrado.

Leprun, J.C. Relatório de fim de convênio de manejo e conservação do solo no Nordeste brasileiro, Recife: SUDENE. 1983. 290p.

Lillesand, T.M.; Kieffer, R.W. Remote Sensing and image interpretation. Terceira Ed. John Wiley & Sons, inc, New York, 1995.

Liu, W. T. H. Aplicações de Sensoriamento Remoto. Campo Grande: Editora UNIDERP, 2007.

Lopes, H.; Candeias, A.L.B.; Accioly, L.J.O.; Sobral, M. do C.M. & Pacheco, A.P. Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças na cobertura e uso do solo em bacias hidrográficas. In: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.11, 2010a, p.1210-1219.

Lopes, P.M.S. Estudo dos Atributos do Meio Físico com Base para o Zoneamento Geoambiental das bacias do Rio Passa Cinco e Rio da Cabeça: Escala 1:50.000. São Carlos: EESC/USP, 2000, 136p. Dissertação Mestrado.

Mac Millan, R.A.; Pettapiece, W.W.; Nolan S.C, and T.W. Goddard, A generic procedure for automatically segmenting land forms into land form elements using DEMs, heuristic rules and fuzzy logic. Fuzzy sets syst. p.81-109, 2000.

Macedo, R.K. Equívocos e propostas para a avaliação ambiental. In: Tauk S.M. Análise Ambiental: Uma visão multidisciplinar. 2ª Ed. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista, 67p, 1995.

Molin, J.P.; Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. Engenharia Agrícola, v. 22, n. 1, p. 83-92, 2002.

Mota, S. Urbanização e Meio Ambiente, Abes, Rio de Janeiro, 2003

Montaño, M.; O recurso Hídrico e o Zoneamento Ambiental.: O caso do município de São Carlos. São Carlos: EESC/USP, 2002, 140p. Dissertação de Mestrado. 140 p. 2002

Moreira, M.A.; Assunção, G.V. Princípios básicos, metodológicos e aplicações de sensoriamento remoto na agricultura. São José dos Campos: INPE, 70p, 1984.

Moreira, F. R.; Câmara, G.; Almeida F.R. Técnica de Suporte a Decisão para natural gas networks. Fuzzy Set and Systems. p 241-252, 2001.

- Neves, B.B.; Inventário hidrogeológico básico do Nordeste: Folha 24 - Aracajú-SE. Recife: SUDENE. 284p, 1972. Hidrogeologia 26
- Nikola, K. K.; Foundations of Neural Networks, Fuzzy Systems, and Knowledge Engineering 2ed. Massachusetts Institute of Technology, 1998.
- Novo, E.M.L. de M.; Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações. São Paulo: Edgard Blucher, 307p, 1995.
- Oliveira, R.P.; Scivittaro B.W.; Cultivo de Citros sem sementes, Pelotas-RS. 2011.
- Oliveira, W.; Gama, A.; Igor, A.; Cedraz, B. Lógica Fuzzy. Notas de Álgebra on Fuzzy Logic and Neural Networks – II ZUKA '92. Fukuoka, Japan, 1999.
- Ongley, E.D.; Controle da poluição da água pelas atividades agrícolas. Campina Grande: UFPB, 92p, 2001. FAO. Irrigação e Drenagem, 55.
- Paterniani, E.; Maize breeding in the tropics In: Critical Reviews in Plant Sciences, v.9 p.124-154, 1990.
- Paterniani, E.; Use of heterosis in maize breeding: History, Methods and perspectives – a review. Crop Breeding and applied Biotechnology, v.1. n.2 p. 159-178, 2001.
- Pizarro, F.; Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos. Madrid: Editora Agrícola Española, 521p, 1978.
- Polette, M.; Ribeiro, M.R.; Haymussi, H.; Lamas, H.D.; Araujo, I.; Gerenciamento costeiro integrado e gerenciamento de recursos preservacionistas. Santa Maria: UFSM, 2004, p85-100. Dissertação de Mestrado.
- Primavesi, A. Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. 9.ed. São Paulo: Nobel, 549p, 1988.
- Prochnow, M.C.R. Análise ambiental da sub-bacia do Rio Piracicaba: subsídio ao planejamento e manejo. Rio Claro: UNESP, 1990, p.330. Tese de Doutorado
- Queiroz, J.E.R. Princípios Físicos e Comportamento Espectral de Alvos de Sensoriamento Remoto In: Curso de Especialização em Sensoriamento Remoto Esig, Brasília, DF. Programa de Suporte Técnico a Gestão de Recursos Hídricos, Cap 1, p.15-18, 1996.
- Rawat, J.S. Modeling of Water and Sediment Budget: Concepts and Strategies. In: Anher, F., Geomorphological Models: Teorical and Empirical Aspects. Catena Verlag. p.147-160, 1987.

- Resende, A.V. de; Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato. Brasília: EMBRAPA Cerrados. 29p, 2002.
- Rodrigues, J. B. T.; Zimback, C. R. L. Delimitação de zonas de manejo através da análise e classificação de mapas de produtividade de milho e soja. Energia na Agricultura, Botucatu, v. 17, n. 1, p. 44-61, 2002.
- Ross, J. L. S. Relevo Brasileiro: uma nova proposta de classificação, São Paulo, n. 4, p. 25-39, 1985.
- Ross, J. L. S. Estudo e artografia geomorfológica da Província Serrana de Mato Grosso. São Paulo: USP, 1987, p.21.-24. Tese de Doutorado.
- Ross, J. L. S. O Registro Cartográfico do Fatos Geomórficos e a Questão da Taxonomia do Relevo. In: Revista do Departamento de Geografia – FFLCH-USP, n° 6, São Paulo, 1992.
- Ross, J. L. S. Análise empírica da fragilidade ambiental dos ambientes naturais e antropizados. In: Revista de Hidrologia – Ciência e Aplicação. ABRH. Editora da Universidade do Rio Grande do Sul. p.35-52. p. 337-376. 1998.
- Ross, J. L.S.; Del P. M. E. Recursos e as bacias hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental. In., Revista do Departamento de Geografia. 1998.
- Ross, J. L. S.; Sporn C; Análise comparativa da fragilidade ambiental com três modelos. GEOUSP – Espaço e Tempo. n° 15 p.39-49. 2004.
- Sá, I. I. S.; Galvêncio, J. D.; Moura, M.S.B.; e Sá, I.B. Cobertura vegetal e uso da terra na região Araripe pernambucana. Mercator, Fortaleza, v.9, n° 19, mai./ago, 2010.
- Salati, E. Diagnóstico ambiental sintético de qualidade da água como subsídio para o planejamento regional integrado da bacia hidrográfica do Rio Corumbataí (SP).São Carlos: EESC/USP, 1996, p.199. Tese de Doutorado.
- Salomão, F.X De T.; IWASA, O.Y. Erosão e ocupação rural e urbana. In: Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente. ABGE / IPT – DIGEO. P. 31/57, 1995.
- Santos, A.C. Noções de hidroquímica. In: Feitosa, F.A.C.; Manoel, F.J. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. Recife: CPRM/LABHID. cap.5, p.81-108, 1997.
- Santos, E. Os escudos sul-rio-grandense e catarinense e a Bacia do Paraná. In:Geologia do Brasil. Brasília : DNPM, 1984. p. 331-335.

Santos, P.; Negri, A. J. A comparasion of the normalized difference vegetation index and rainfall for the Amazon and northeastern Brazil. *Journal of applied meteorology*, Washington, v. 36, nº 7, p. 958-965, 1997.

Saraiva, G. J. P. Lógica Fuzzy. *Revista Militar de Ciência e Tecnologia*. Rio de Janeiro. V XII, N 3, 2000.

Schepers A. R.; Shanahan J. F.; Liebig M. A.; Schepers J. S.; Johnson S. H.; Luchiari J. A.; Appropriateness of management zones for characterizing spatial variability of soil properties and irrigated corn yields across years. *Agronomy Journal*, 96, 195-203, 2004.

SEAB Secretaria de Abastecimento do Estado do Paraná. Valor Bruto de Produção Rural Paranaense, 2010.

SEAB Secretaria de Abastecimento do Estado do Paraná. Valor Bruto de Produção Rural Paranaense, 2011.

Seager, J; Jones, F; Rutt, G. Assessment and control of farm pollution. *Journal of the institution of Water and Environmental Management*, v.6, p.48-54, 1992.

SEI - Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. Balanço hídrico do Estado da Bahia. Salvador, 1999. 250p. SEI. Série Estudos e Pesquisa, 45.

Silva, A.B.; Sistemas de Informações Geo-referenciadas: Conceitos e fundamentos. 1999, p236 Campinas SP.

Silva, J.X da. Geoprocessamento para análise Ambiental. Rio de Janeiro: 228p, 2001.

Silveira, A.L.L. da.. Ciclo hidrológico e bacias hidrográficas. In: Tucci, C. E. M. Org. Hidrologia – Ciência e Aplicação. Editora da Universidade do Rio Grande do Sul. P35-52, 1993.

Sindicato Nacional das Industrias de Produtos para Defesa Agrícolas. Estatísticas do setor de Defensivos Agrícolas. <<http://www.sindag.com.br/>> Acesso 13/02/2011

Sobreira, F.G. Estudo Geoambiental do Conselho de Sesimbra – Tese de Doutorado, Departamento de Geologia. Faculdade de Lisboa, 347p. 1995.

Souza, I. S. T. de; Medina, A. I. M. (1997) – Manejo Integrado de Sub-bacias. Souza, Marcos J. N. Geomorfologia e Condições Ambientais dos Vales do Acaraú - Coreau (CE). Tese de Stafford, J. V.; Ambler, B.; Lark, R. M.; Catt, J. mapping and interpreting yield variation in cereal crops. *Computers and Eletronics in Agriculture*, v.14, p.101-19, 1996.

Sudduth, K.A.; Drummond, S.T.; Birrell, S.J.; Kitchen, N.R. Spatial modeling of crop yield using soil and topographic data. *In* Stafford J.V. (ed.) Precision agriculture '97. Proc. Eur. Conf. on Precision Agric., Warwick Univ. Conf. Cent., London. v.1. p. 439-447. 1997.

Sui, D. Z. A Fuzzy GIS Modeling Approach for Urban Land Evolution. *Computer*, p101-115. 1992.

Tommasi, L. R.; Estudo de Impacto Ambiental. São Paulo: Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. CETESB 1994, p.355.

Teixeira, V, H. Geologia de Engenharia / ecv. 1332, Florianópolis, UFSC, Departamento de Engenharia Civil, , 128p, 1992.

Volk, L.B.S.; Cogo, N.P.; Streck, E.V.Erosão Hidráulica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes de seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, p.763-774, 2004.

Zadeh, L.A. Fuzzy-set theoretic interpretation of linguistic hedges. *Journal of Cybernetics*. V. 2, n. 3, p. 4-34., 1972.

Zadeh, L. A & Jamshidi. *Applications of Fuzzy Logic: Towards High Machine*. v.90. p.111-127. 1997.

Zimmermann, H. J. *Fuzzy sets, decision making, and expert systems*. Boston, Kluwer Academic Publishers. 335p, 1987.

Zoccal, J.C. Controle de erosão em estradas rurais *In*: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Presidente Prudente: ABGE 2007 p. 45-46, 2006.