

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Departamento de Geografia

FILIPPE MELECHI EVANGELISTA

**CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS PARA ESTIMATIVA DOS IMPACTOS DAS
ATIVIDADES SOCIOECONÔMICAS SOBRE A VEGETAÇÃO DO BIOMA PAMPA.**

Porto Alegre

2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Departamento de Geografia

GEO 01128 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO II

**CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS PARA ESTIMATIVA DOS IMPACTOS DAS
ATIVIDADES SOCIOECONÔMICAS SOBRE A VEGETAÇÃO DO BIOMA PAMPA.**

Filipe Melechi Evangelista

Monografia apresentada como
requisito obrigatório para a
obtenção do grau de Bacharel
em Geografia nessa
Universidade.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Eliana Lima da Fonseca

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ulisses Franz Bremer (UFRGS – Depto. de Geografia)

Msc. Ricardo Aranha Ramos (FZB – Fundação Zoobotânica)

Porto Alegre

2010

“Dedico este trabalho à todos que o tornaram possível, que contribuíram concreta e/ou sentimentalmente.”

Agradecimentos

Primeiramente agradeço à minha orientadora Prof.^a Dr^a Eliana Lima da Fonseca, por contribuir não só na construção deste trabalho, mas em minha formação como geógrafo e principalmente no meu crescimento como pessoa.

Aos meus pais, Volnei e Sirlei, que além de me proporcionarem a possibilidade de entrar na universidade, me ensinaram a importância da educação.

À minha irmã Fernanda por me suportar com os piores humores.

À minha namorada Cristiani, por me dar força nos momentos em que mais precisei, e me fazer ir adiante quando nem eu mais tentava.

Aos meus amigos e colegas, principalmente Rafael, Ramiro e Ricardo, que mesmo cada um tendo suas batalhas, sempre estavam dispostos para qualquer ajuda.

Aos colegas do Laboratório de Geotecnologias Aplicadas, pela troca de experiências e mútuo aprendizado.

À todos os professores que tive oportunidade de assistir aula, cada um contribuiu um pouco para minha formação.

*Quando a última árvore tiver caído,
Quando o último rio tiver secado,
Quando o último peixe for pescado,
Vocês vão entender que o dinheiro não se come.
Greenpeace.*

RESUMO

A exploração econômica do bioma Pampa feita de forma tradicional pelos pecuaristas da região permitiu que a preservação do bioma e seu uso econômico coexistissem por um longo período. Devido mudanças na economia mundial, ocorreu uma intensificação das atividades agropecuárias na região, destacando-se recentemente as atividades de silvicultura. O objetivo desse trabalho foi obter cenários de tendência para estimar o nível de degradação do bioma Pampa, com ênfase na influência da silvicultura nesta degradação. Iniciou-se o estudo realizando uma análise sobre o uso e ocupação de solo do município de Pedras Altas e a sua relação com as mudanças econômicas, no período 2001-2006. Verificou-se que as áreas de vegetação natural estão diminuindo frente ao crescimento de áreas para outros usos, porém a silvicultura não se destaca como fomentadora do crescimento econômico identificado neste município. Para os municípios de Pedras Altas, Herval, Pinheiro Machado, Piratini, Santana da Boa Vista e Encruzilhada do Sul foram elaborados cenários de tendência que relacionam variáveis biofísicas e socioeconômicas, no período 1998-2006. Cenários que relacionam o PIB x NDVI mostraram que há relação direta entre as mudanças na vegetação e o crescimento econômico. Os cenários que relacionaram NDVI x atividades do setor primário mostraram que as atividades mais importantes nesta relação foram a soja e a silvicultura. Estimou-se o crescimento das variáveis PIB e silvicultura para o ano de 2010, a partir dos respectivos incrementos obtidos na análise dos cenários. Concluiu-se que para o avanço de estudos utilizando esta metodologia faz-se necessário, em pesquisas posteriores, o aumento do período de tempo analisado, bem como a adição de estudos da distribuição espacial dos fenômenos de mudanças no uso e ocupação de solo.

Palavras-chave: Bioma Pampa. Uso e cobertura da Terra. Construção de cenários. NDVI. Pedras Altas.

ABSTRACT

Economic exploitation of the Pampa biome done traditionally by farmers in the region has allowed the preservation of the ecosystem and its economic use coexisted for a long time. Due to changes in the global economy, there was an intensification of agricultural activities in this region, highlighting recent activities of forestry. The aim of this study was to obtain scenarios trend to estimate the level of degradation of the Pampa biome, with emphasis on the influence of forestry in this degradation. It was conducting an analysis over the land use in the municipality of Pedras Altas and its relationship with the economic changes over the period 2001-2006. It was found that areas of natural vegetation are decreasing when compared with growth areas for other uses, but forestry is not noted as a promoter of economic growth identified in this municipality. For the municipalities of Pedras Altas, Herval, Pinheiro Machado, Piratini, Santana da Boa Vista e Encruzilhada do Sul were prepared trend scenarios, linking biophysical and socioeconomic variables, in the period 1998-2006. The scenarios that related NDVI x GDP showed that there is a direct relationship between changes in vegetation and economic growth. The scenarios that have related NDVI x primary sector activities showed that the most important activities in this regard were soybeans and forestry. We estimated growth of GDP and forestry activities for the year 2010, using the trend obtained in the analysis of scenarios. It was concluded that for the further studies using this methodology is necessary the increase the time period examined, as well as would be interesting to study the spatial distribution of land use changes phenomena.

Keywords: Pampa biome, Land use and cover, Scenario construction. NDVI. Pedras Altas.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1 Bioma Pampa.....	18
2.1.1 Exploração econômica do bioma Pampa.....	19
2.1.2 O clima e a sua influência no crescimento da vegetação do bioma Pampa e espécies exóticas.....	21
2.2 Geotecnologias para estudos em geografia.....	23
2.2.1 Sistemas de Informações Geográficas.....	23
2.2.2 Sensoriamento remoto.....	24
2.2.2.1 Comportamento espectral dos alvos.....	25
2.2.2.2 Índices de vegetação.....	26
2.3 Cenários de tendência.....	27
3 ÁREA DE ESTUDOS.....	29
3.1 Vegetação.....	30
3.1.1 Estepe Arborizada.....	31
3.1.2 Estepe Parque.....	32
3.1.3 Estepe Gramíneo-lenhosa.....	32

3.2	Clima.....	32
3.3	Geologia, Geomorfologia e Solo.....	33
3.4	Hidrografia.....	34
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	35
4.1	Geração dos mapas de uso e cobertura do solo.....	35
4.2	Cálculo e análise das áreas mapeadas.....	38
4.3	Construção de cenários de tendência.....	38
4.3.1	<i>Obtenção dos dados de NDVI.....</i>	39
4.3.1.1	<i>MOD13.....</i>	40
4.3.1.2	<i>VGT-S.....</i>	40
4.3.2	<i>Obtenção dos dados socioeconômicos.....</i>	41
4.3.3	<i>Cenários.....</i>	41
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
5.1	Evolução temporal do uso e ocupação do município de Pedras Altas.....	43
5.2	Análise da evolução das áreas mapeadas no município de Pedras Altas.	49
5.3	Construção dos cenários de tendência.....	52
5.3.1	<i>Cenários NDVI x PIB.....</i>	52

5.3.1.1 Pedras Altas.....	53
5.3.1.2 Pedras Altas, Herval, Pinheiro Machado, Piratini, Santana da Boa Vista e Encruzilhada do Sul.....	54
5.3.2 Cenários NDVI x atividades do setor primário.....	56
5.3.2.1 Agricultura.....	58
5.3.2.2 Pecuária.....	60
5.3.2.3 Silvicultura.....	62
5.4 Aplicação dos cenários.....	64
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	68
REFERÊNCIAS.....	70
ANEXO 1 – Resultados do testes F para os cenários elaborados no estudo.....	77

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Paisagem típica do bioma Pampa.....	20
Figura 2.2 – Paisagem do bioma Pampa alterada pela presença de silvicultura.....	21
Figura 2.3 – Comportamento espectral dos alvos conforme o comprimento de onda.....	26
Figura 3.1 – Localização da área de estudos.....	29
Figura 3.2 – Subgrupos de formação vegetal.....	31
Figura 3.3 – Ocorrência das formações vegetais na Campanha Gaúcha.....	31
Figura 4.1 – Exemplo do padrão observado em campo para as áreas de MCF.....	37
Figura 4.2 – Exemplo do padrão observado em campo para as áreas de MFC.....	37
Figura 5.1 – Mapa de uso e ocupação do município de Pedras Altas para o ano de 1987.....	44
Figura 5.2 – Mapa de uso e ocupação do município de Pedras Altas para o ano de 1994.....	45
Figura 5.3 - Mapa de uso e ocupação do município de Pedras Altas para o ano de 2000.....	46
Figura 5.4 - Mapa de uso e ocupação do município de Pedras Altas para o ano de 2006.....	47
Figura 5.5 – Detalhe das mudanças observadas entre os anos de 1987 (A) e 2006 (B).....	48
Figura 5.7 – Histograma de frequência da ocorrência das áreas das classes MCF, MFC e Outros Alvos nos diferentes anos analisados.....	51

Figura 5.8 - Relação entre os valores do Produto Interno Bruto (PIB) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para o município de Pedras Altas...	53
Figura 5.9 – Gráfico do cenário NDVI x PIB, incluindo o ano de 2007 (em destaque).....	55
Figura 5.10 – Gráfico do cenário NDVI x PIB.....	55
Figura 5.11 – Gráfico do cenário NDVI versus arroz.....	58
Figura 5.12 – Gráfico do cenário NDVI versus milho.....	59
Figura 5.13 - Gráfico do cenário NDVI versus soja.....	59
Figura 5.14 – Gráfico do cenário NDVI versus efetivo bovino.....	61
Figura 5.15 – Gráfico do cenário NDVI versus efetivo ovino.....	61
Figura 5.16 - Gráfico do cenário NDVI versus produção de toras da silvicultura.....	63
Figura 5.17 - Gráfico do cenário NDVI versus produção de toras da silvicultura para celulose.....	63
Figura 5.18 - Tendência de crescimento da variável NDVI no período analisado.....	65
Figura 5.19 - Tendência de crescimento da variável PIB no período analisado.....	65
Figura 5.20 - Tendência de crescimento da variável Madeira em tora produzida pela silvicultura no período analisado.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Bandas espectrais do sensor óptico TM do satélite Landsat 5.....	24
Tabela 2.2 – Bandas espectrais do sensor CCD do satélite CBERS 2B.....	25
Tabela 3.1 – Área e população dos municípios da área de estudos.....	30
Tabela 4.1 – Satélite, sensor, data de aquisição e órbita/ponto das imagens utilizadas.....	36
Tabela 5.1 – Dados socioeconômicos do município de Pedras Altas.....	48
Figura 5.6 – Detalhe das mudanças observadas entre os anos de 1987 (A), 1994 (B), 2000 (C) e 2006 (D).....	49
Tabela 5.2 – Modelo estatístico do cenário NDVI x PIB para Pedras Altas.....	54
Tabela 5.3 – Modelo estatístico do cenário NDVI x PIB da totalidade área de estudos.....	56
Tabela 5.4 – Dados da área de estudos.....	57
Tabela 5.5 – Modelos estatísticos dos cenários de arroz, soja e milho.....	60
Tabela 5.6 – Modelos estatísticos dos cenários de efetivo bovino e efetivo ovino...	62
Tabela 5.7 – Modelos estatísticos dos cenários de produção de toras da silvicultura e produção de toras da silvicultura para celulose.....	64
Tabela 5.8 - Equações de estimativa de tendências.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ENOS - El Niño Oscilação Sul

SIG - Sistema de Informações Geográficas

NDVI - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

EOS - Earth Observation System

SPOT - Satellite Pour l'Observation de la Terre

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

CBERS – China Brazil Earth Resource Satellite

CCD - Charge-coupled device

TM – Thematic Mapper

MCF - Mosaico Campo-Floresta

MFC - Mosaico Floresta-Campo

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática

PIB - Produto Interno Bruto

ENVI - Environment for Visualizing Images

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Eventos Climáticos

LISTA DE SÍMBOLOS

km² - Quilômetro quadrado

°C - Grau Celsius

mm - Milímetro

g/kg – Grama por quilo

m - Metro

km - Quilômetro

R\$ - Real

m³ - Metro cúbico

ha - Hectare

α – Nível de significância estatística

r² - Coeficiente de determinação

F – Teste de Fischer

1 INTRODUÇÃO

Todo processo transformador da realidade produz um impacto, seja ele econômico, social ou ambiental. Este impacto pode ser visto de duas maneiras, positivo ou negativo. O impacto é considerado positivo quando seu efeito transformador é absorvido dentro do ambiente em que se instala e auxilia na direção dos conceitos de equilíbrio e sustentabilidade. É tido como negativo quando altera o ambiente em que ocorre na direção contrária aos conceitos acima mencionados.

Entretanto, um impacto pode beneficiar um lado das variáveis econômicas, sociais e ambientais, sem chegar a uma condição de equilíbrio, pendendo para um lado ou para outro. Essa não será uma boa situação de impacto, pois estará priorizando apenas um lado da questão. Portanto, uma estratégia de desenvolvimento regional que pretenda equacionar o impacto das transformações, deve levar em conta o equilíbrio entre as variáveis, sem ser preservacionista a ponto de se pensar em uma Natureza intocada, mas sustentável a partir dos recursos existentes, viável do ponto de vista econômico e igualitário do ponto de vista social. Para que se possa pensar nessa direção recomendável do equilíbrio entre os três conjuntos de variáveis (econômicas, sociais e ambientais), é extremamente necessário o conhecimento da realidade, das tendências de comportamento e das relações existentes entre o conjunto de variáveis, pois somente assim é possível discutir e planejar os caminhos do desenvolvimento regional.

A exploração econômica sobre a vegetação natural do bioma Pampa se desenvolveu ao longo de três séculos utilizando o pastoreio extensivo para os animais, principalmente gado bovino de corte e ovino (OVERBECK, 2009). Segundo Nabinger (2000) a fisionomia dessa região é o resultado da atividade pastoril que se estabeleceu como sustento para a produção pecuária na Região Sul do Rio Grande do Sul, devido às características da vegetação em termos de composição botânica e o intrínseco valor nutricional dessas plantas para os animais.

Fonseca (2004), explica que o sistema de produção extensivo tradicional da região, de baixo impacto ambiental das pastagens, permitiu que a preservação do

bioma e seu uso econômico coexistissem por um longo período. Porém, a partir de mudanças recentes na economia mundial, caracterizada por uma intensificação das atividades agropecuárias na região, levou a transformações e a substituição da vegetação natural por espécies vegetais exóticas, lavouras temporárias, como o arroz e soja, bem como as espécies arbóreas (FONTOURA, 2000).

O objetivo geral desse estudo é a construção de cenários que relacionem as mudanças físicas e econômicas nos municípios de Pedras Altas, Herval, Piratini, Pinheiro Machado, Santana da Boa Vista e Encruzilhada do Sul, visando estimar o nível de degradação do bioma Pampa em um futuro próximo, com especial interesse nas atividades de silvicultura.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Gerar mapas de uso e ocupação do solo para o município de Pedras Altas ente 1987 e 2006, para análise de mudanças.
- Relacionar as mudanças de uso e ocupação do solo no município de Pedras Altas com dados socioeconômicos.
- Construir séries temporais de imagens de índice de vegetação para os municípios de Pedras Altas, Herval, Piratini, Pinheiro Machado, Santana da Boa Vista e Encruzilhada do Sul.
- Construir cenários de tendência de índice de vegetação versus atividades do setor primário para os municípios de Pedras Altas, Herval, Piratini, Pinheiro Machado, Santana da Boa Vista e Encruzilhada do Sul.

Para a construção dos cenários foi considerada a hipótese de que as imagens de satélite apresentarão variações nos valores de reflectância, diretamente proporcionais às mudanças do uso e ocupação do solo, o que permitirá inferir sobre o tipo de mudança ocorrida nas áreas analisadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Bioma Pampa

O termo bioma (bios, vida, e oma, massa ou grupo) se refere a um conjunto de diferentes ecossistemas que possuem certo nível de homogeneidade entre si: são as comunidades biológicas, ou as populações de organismos da fauna e da flora interagindo entre si e com o ambiente físico (biótopo) (MMA, 2010a). O termo está associado à relação estabelecida entre os conceitos de ecossistemas e paisagens (SUERTEGARAY, 2009).

A biodiversidade abrange toda a variedade de espécies de flora, fauna e micro-organismos; as funções ecológicas desempenhadas por estes organismos nos ecossistemas; e as comunidades, habitats e ecossistemas formados por eles. A biodiversidade é responsável pela estabilidade dos ecossistemas, pelos processos naturais e produtos fornecidos por eles e pelas espécies que modificam a biosfera. Em termos conceituais, biodiversidade é a variabilidade de organismos vivos de todas as origens. O termo diz respeito também ao número de diferentes categorias biológicas e à abundância relativa destas categorias (MMA, 2010a).

O Pampa, como bioma, é a reunião de formações ecológicas que se inter-cruzam em uma formação ecopaisagística única, com intenso tráfego de matéria, energia e vida. Abrange regiões nos três países da América do Sul – cerca de dois terços do estado brasileiro Rio Grande do Sul, as províncias argentinas de Buenos Aires, La Pampa, Santa Fé, Entreríos e Corrientes e a República Oriental do Uruguai. Pampa é um termo de origem quíchua, língua indígena da América do Sul, significa “região plana”, e está associada à paisagem de extensas planícies cobertas de vegetação rasteira (SUERTEGARAY, 2009).

Historicamente, a região do bioma Pampa no Brasil não foi tratada como área sob interesse de preservação (OVERBECK, 2009). Apenas no ano de 2004 o Ministério do Meio Ambiente ratificou a aplicação do termo bioma para o Pampa (SUERTEGARAY, 2009), que no Brasil ocupa uma área de 178.243 km² (MMA,

2010b). A partir do reconhecimento como bioma é possível reconhecer avanços para a sua conservação, como propostas de definição de áreas prioritárias para preservação (Coxilha Pedras Altas, Santana da Boa Vista, etc) (INSTITUTO PAMPA BRASIL, 2010). Ações visando a preservação são urgentes, pois com elas é possível frear a perda de áreas campestres e evitar processos de extinção – porém, a conservação da biodiversidade do Pampa precisa refletir propriedades ecológicas e processos sucessionais, permitindo práticas de manejo adequadas, já que boa parte da variação na fisionomia campestre e na composição das espécies dominantes, parece ser determinada pelos regimes de pastejo e fogo (OVERBECK, 2009). Atualmente, com 53,96% do bioma já degradado, registra-se ainda uma taxa de degradação de 36.400 hectares por ano (MMA, 2010b).

2.1.1 Exploração econômica do bioma Pampa

Para uma avaliação dos impactos sociais, econômicos e ambientais causados pela exploração agropecuária, é muito importante o entendimento do conceito de sistema agrário que, segundo Vissac; Hentgen (1979), é definido pela associação das produções e das técnicas colocadas em prática por uma sociedade com vistas a satisfazer suas necessidades. Um sistema agrário exprime a interação entre um sistema bioecológico representado pelo meio natural e um sistema sociocultural, por intermédio das práticas adquiridas principalmente da experiência e saber técnico.

Para Mazoyer; Roudart (1997), “um sistema agrário é um modo de exploração do meio historicamente constituído e durável, um conjunto de forças de produção adaptado às condições bioclimáticas de um espaço definido e respondendo às condições e necessidades de certo momento. Pode-se definir um sistema agrário como sendo a combinação do meio cultivado; dos instrumentos de produção (materiais e força de trabalho); do modo de artificialização do meio; da divisão social do trabalho entre agricultura, artesanato e indústria; dos excedentes agrícolas e as relações de troca com outros atores sociais; das relações de força e de propriedade que regem a repartição do produto do trabalho, dos fatores de produção e dos bens de consumo; do conjunto de ideias e instituições que permitem de assegurar a reprodução social”.

Segundo Suertegaray (2009), podemos dividir a evolução sócio-econômica no bioma Pampa em três estágios. O primeiro estágio inicia-se no século XVII, quando missionários jesuítas introduziram cavalos e gado na região, originando a pecuária extensiva na região, se estendendo até a implantação das primeiras sesmarias e a consolidação política do território atualmente formador do estado do Rio Grande do Sul. O segundo estágio traz a estabilização da exploração econômica na região do bioma Pampa, principalmente através da pecuária extensiva, tornando esta atividade a mais importante e tradicional forma de uso da terra na região (Figura 2.1). O terceiro estágio corresponde à atualidade, onde as grandes porções de terra ocupadas pela pecuária extensiva, em processo de enfraquecimento, adquirem valor financeiro significativo. Isto levou ao desenvolvimento de outras atividades agrícolas a região. Trata-se da introdução, particularmente, da cultura do arroz e da soja. Esta valorização da terra impulsiona e possibilita uma transformação na forma de apropriação da natureza.



Figura 2.1 – Paisagem típica do bioma Pampa. Fonte: do autor.

A mais nova transformação iniciada na região do bioma Pampa é a promoção do desenvolvimento da silvicultura (Figura 2.2) como forma de crescimento econômico, com o objetivo de transformar a matriz econômica da metade sul do Rio Grande do Sul, histórica e culturalmente pastoril, em região de produção de madeira e celulose. Esta iniciativa estende-se para as regiões do bioma Pampa no Uruguai e Argentina, com a pretensão de tornar o Cone Sul um polo de produção de celulose, para abastecer o mercado internacional (SUERTEGARAY, 2009).



Figura 2.2 – Paisagem do bioma Pampa alterada pela presença de silvicultura. Fonte: do autor.

2.1.2 O clima e a sua influência no crescimento da vegetação do bioma Pampa e espécies exóticas

Os principais elementos que afetam a produção agrícola são os mesmos que influenciam a vegetação natural: entre eles estão a radiação solar, a temperatura e a umidade. Esses parâmetros que vão determinar em larga escala a distribuição global das diferentes formações vegetais, assim como a produtividade destas

atividades de acordo com sua alocação nos diferentes climas do planeta e suas oscilações (IFF, 2010).

As estações de crescimento nas regiões temperadas são determinadas primordialmente pelas condições térmicas, ao contrário dos trópicos, onde são determinadas pelas precipitações. A temperatura do solo é mais importante que a temperatura do ar, porque a temperatura do solo influencia diretamente na germinação das sementes (IFF, 2010).

A vegetação campestre natural do bioma Pampa diminui seu crescimento no inverno, tendo um crescimento intenso nas estações mais quentes do ano. Os cultivos exóticos presentes no bioma possuem diferentes períodos de crescimento, como as culturas de inverno, por exemplo as pastagens de inverno para a pecuária e cereais de inverno como o trigo, que possuem seu crescimento nas estações mais frias. Nas estações quentes os cultivos mais disseminados são o arroz, a soja e o milho, estes dois últimos também influenciados pela precipitação, pelo pouco uso de irrigação nestas lavouras (BERLATO et al., 2003). Já os cultivos na silvicultura, as espécies de Acácias, Pinus, Eucaliptos se comportam de forma diferenciada, por terem um ciclo de cultivo maior. As espécies cultivadas na silvicultura são perenefolias, ou seja, mantêm sua cobertura de folhas independentemente da estação, o que demonstra nestas espécies maior resistência contra as oscilações intra-anuais do clima, o que em conjunto com suas capacidades de dispersão tornam este tipo de cultivo altamente competitivo, em termos ecológicos (ABRAF, 2010).

El Niño e La Niña são denominações para a identificação dos extremos do fenômeno ENOS (El Niño Oscilação Sul), que é uma variação anormal nas características do oceano e da atmosfera na região do Pacífico tropical que influencia o clima em escala global. O El Niño representa o aquecimento das águas com diminuição da pressão atmosférica no Pacífico leste, já o La Niña representa o resfriamento das águas e aumento da pressão atmosférica na mesma região. Quando a ocorrência é de El Niño, sua influência causa na Região Sul do Brasil aumento da precipitação, além do aumento do tempo de permanência das frentes frias vindas do sul. Quando a ocorrência é de La Niña, a tendência na Região Sul do Brasil é de passagens rápidas das frentes frias e diminuição da precipitação e da temperatura média. Em períodos de El Niño o aumento da precipitação no Rio

Grande do Sul se dá especialmente nos meses de outubro e novembro, em conjunto com aumento na temperatura média mensal, o que favorece o crescimento da vegetação campestre natural nos meses subsequentes. Já o outro extremo do fenômeno ENOS, La Niña, é desfavorável, pois trará ao estado características opostas, principalmente a diminuição da precipitação, causando um desenvolvimento menor das espécies nativas em relação ao período de El Niño (BERLATO et al., 2003).

2.2 Geotecnologias para estudos em geografia

2.2.1 Sistemas de Informações Geográficas

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) são hoje instrumentos fundamentais para o processamento dos dados e seu georreferenciamento, permitindo assim o estabelecimento de suas correlações espaciais e a produção de material cartográfico (ROCCHINI et al., 2006). A análise quantitativa da variação de fenômenos espaciais quando feitas em aplicativos de planilha eletrônica não permite um perfeito entendimento da dependência espacial da distribuição, a qual é função da distância onde são observados os fenômenos e da intensidade dos mesmos (CÂMARA et al., 2004), devido a impossibilidade da visualização da distribuição espacial do fenômeno.

Batty (2005) refere-se que a geografia tradicional começa com a descrição de como o físico e as atividades humanas organizam-se em concepções de senso comum do espaço, ilustrado pelo mapa bidimensional. Esse viés espacial se encontra profundamente enraizado na teoria e explica em grande parte porque os sistemas de informação geográfica lidam essencialmente com as estruturas espaciais e físicas em uma seção transversal no tempo. Porém, a variável temporal não pode ser deixada de lado, pois nunca está desatrelada do objeto de estudo da Geografia, o espaço. Um exemplo é o uso integrado dos SIGs em conjunto com dados de sensoriamento remoto permite um melhor entendimento da dinâmica espaço-temporal de uma determinada região (ROCCHINI et al., 2006).

2.2.2 Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto é a tecnologia utilizada para obter informações sobre a superfície terrestre, utilizando as propriedades da radiação eletromagnética em uma ou mais regiões do espectro eletromagnético, refletida ou emitida pelos alvos da superfície da Terra. A utilização desta prática nos permite trabalhar com opções diferenciadas, como a visualização da área de interesse e suas características em distintas escalas e resoluções, que, em conjunto com o uso de variadas regiões do espectro eletromagnético, podem representar algumas das características da superfície estudada (CAMPBELL, 2007). Um exemplo disso são os mapas de uso e ocupação do solo, obtidos a partir de diferentes bandas espectrais, utilizadas de acordo com o interesse e necessidade do estudo. Diferentes bandas mostrarão diferentes características, possibilitando ao pesquisador a interpretação destas diferentes representações, através de diferentes classificações. Alguns dos satélites mais utilizados para obtenção destas informações qualitativas da superfície são os satélites Landsat 5 (Tabela 2.1) e CBERS 2B (Tabela 2.2), principalmente por sua cobertura periódica da superfície e sua resolução espacial, o que gerou uma grande biblioteca de imagens, possibilitando o estudo em escala temporal extensa (FONSECA, 2004).

Tabela 2.1 – Bandas espectrais do sensor óptico TM do satélite Landsat 5.

Bandas do sensor TM (óptico)	Comprimento de Onda (µm)
Banda 1	0,450 – 0,520 (Azul)
Banda 2	0,520 – 0,600 (Verde)
Banda 3	0,630 – 0,690 (Vermelho)
Banda 4	0,760 – 0,900 (IV Próximo)
Banda 5	1,550 – 1,750 (IV Médio)
Banda 7	2,080 – 2,350 (IV Médio)

Fonte: Lillesand et al.,2004.

Tabela 2.2 – Bandas espectrais do sensor CCD do satélite CBERS 2B.

Bandas do sensor CCD	Comprimento de Onda (µm)
Banda 1	0,510 – 0,730 (Pancromática)
Banda 2	0,450 – 0,520 (Azul)
Banda 3	0,520 – 0,590 (Verde)
Banda 4	0,630 – 0,690 (Vermelho)
Banda 5	0,770 – 0,890 (IV Próximo)

Fonte: INPE, 2010a.

O sensoriamento remoto, quando utilizado em conjunto com métricas de padrão de paisagem, é um método poderoso para o estudo da dinâmica ecológica à escala da paisagem através da análise multi-temporal. Das características do ecossistema mais facilmente identificadas através de sensoriamento remoto, a fisionomia e o padrão espacial da vegetação estão entre os mais importantes, pois caracterizam a paisagem tanto estrutural como funcionalmente. A descrição da forma, tamanho e arranjo espacial das manchas de vegetação na paisagem pode ser utilizada para interligar o padrão observado com os processos ecológicos que podem ter gerado isso (ROCCHINI et al., 2006).

2.2.2.1 Comportamento espectral dos alvos

As imagens de satélite também podem ser utilizadas com o fim de monitorar e quantificar alguma característica biofísica dos alvos da superfície. Nestes casos, as imagens são utilizadas como fontes de dados quantitativos, já que a radiância detectada é convertida em valores numéricos, expressa sob a forma de um indicador (FONSECA, 2004). Com base no conhecimento da resposta espectral da vegetação, dos fatores ecológicos que alteram esta resposta, bem como da distribuição dos valores numéricos da imagem, tornam-se possíveis estudos quantitativos que visam inferir sobre uma determinada cobertura vegetal (GOEL, 1988). Cada alvo da superfície terrestre tem um padrão de resposta espectral que permite o seu monitoramento utilizando dados de sensoriamento remoto (Figura 2.3).

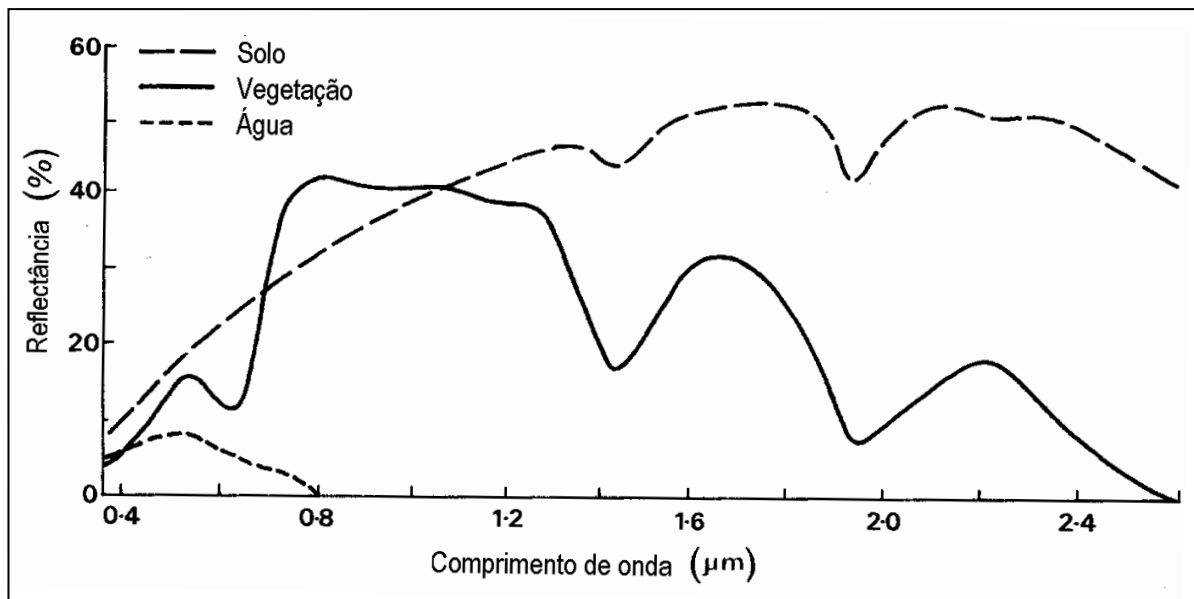


Figura 2.3 – Comportamento espectral dos alvos conforme o comprimento de onda. Fonte: Adaptado de Chuvieco, 1995.

2.2.2.2 Índices de vegetação

Os índices de vegetação são combinações matemáticas da resposta espectral de diferentes bandas do espectro eletromagnético, sendo que os principais índices citados na literatura utilizam os valores da reflectância em duas faixas de comprimento de onda, o vermelho e o infravermelho próximo. O contraste da resposta da vegetação nestes comprimentos de onda faz com que a vegetação seja realçada em relação aos demais alvos, facilitando a sua identificação e o seu monitoramento. Além disso, os índices de vegetação têm como vantagens condensar o volume de dados a ser analisado e permitir a quantificação e a avaliação de diferenças nas condições de crescimento, com base nas relações existentes entre estes índices e as variáveis biofísicas da vegetação, bem como, com as características estruturais e fisiológicas da mesma. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é um dos índices de vegetação mais citados em trabalhos científicos, provavelmente devido à sua variação finita (-1 a 1) que facilita a interpretação dos resultados. Estudos empíricos mostram que este índice apresenta correlações significativas com as variáveis biofísicas da vegetação, principalmente

com aquelas que descrevem a fração responsável pela fotossíntese, tais como biomassa verde e índice de área foliar (CAMPBELL, 2007).

A partir do sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) instalado nos satélites EOS (Earth Observation System) Terra e Aqua, disponibiliza-se o produto MOD13, que contém as imagens pré-processadas com valores de NDVI calculados para cada pixel. Estas imagens possuem 250 metros de resolução espacial e são uma composição do NDVI máximo em 16 dias, permitindo a obtenção de um produto livre da influência das nuvens (NASA, 2010). Outro produto que oferece imagens pré-processadas com valores de NDVI é o VGT-S, obtido através do sensor Vegetation instalado nos satélites SPOT 4 e 5 (Satellite Pour l'Observation de la Terre), possuindo resolução espacial de 1 km e resolução temporal de 10 dias. O produto é apresentado como uma imagem síntese que representa o NDVI máximo da área durante o período imageado (CNES, 2010)

2.3 Cenários de tendência

Simulações de modelos cobrem uma faixa de futuros possíveis (IPCC, 2007). O objetivo da modelagem é, dessa forma, compreender melhor os processos que ocorrem em um sistema natural. Modelos matemáticos são largamente empregados na predição de, por exemplo, processos erosivos. A principal vantagem da aplicação de modelos reside na possibilidade do estudo de vários cenários futuros diferentes e de forma rápida, muitos deles ainda não explorados em experimentos reais (MACHADO et al., 2003).

A maior limitação ao uso de modelos é a dificuldade em trabalhar grande quantidade de dados que descrevem a heterogeneidade dos sistemas naturais. Por essas razões, Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) são empregados na criação do banco de dados para a construção dos modelos matemáticos que possibilitam a criação dos cenários de tendência (MACHADO et al., 2003).

A partir da criação dos modelos matemáticos, torna-se possível a próxima etapa da análise, a inferência sobre a “população” da qual foram obtidos os dados. Com isso, podemos definir que quando se analisa um determinado período de um dado que possui uma série temporal, temos os objetivos básicos de modelar o fenômeno sob consideração, obter conclusões em termos estatísticos e avaliar a adequação do modelo em termos de previsão (MORETIN et al., 1987).

3 ÁREA DE ESTUDOS

A área de estudos (Figura 3.1 e Tabela 3.1) compreende os municípios de Pedras Altas, Herval, Pinheiro Machado, Piratini, Santana da Boa Vista e Encruzilhada do Sul, pertencentes à mesorregião Sudeste Rio-Grandense, dois municípios (Pedras Altas e Herval) pertencendo à microrregião Jaguarão e o restante pertencendo à microrregião Serra do Sudeste (IBGE, 2010a). Os municípios foram selecionados por suas características físicas e socioeconômicas, que os caracterizam interessantes e válidos para a observação do processo de transformação analisado neste estudo. Cabe salientar que o município de Pedras Altas passa a existir somente em 16 de abril de 1996, com sua emancipação do município de Herval.

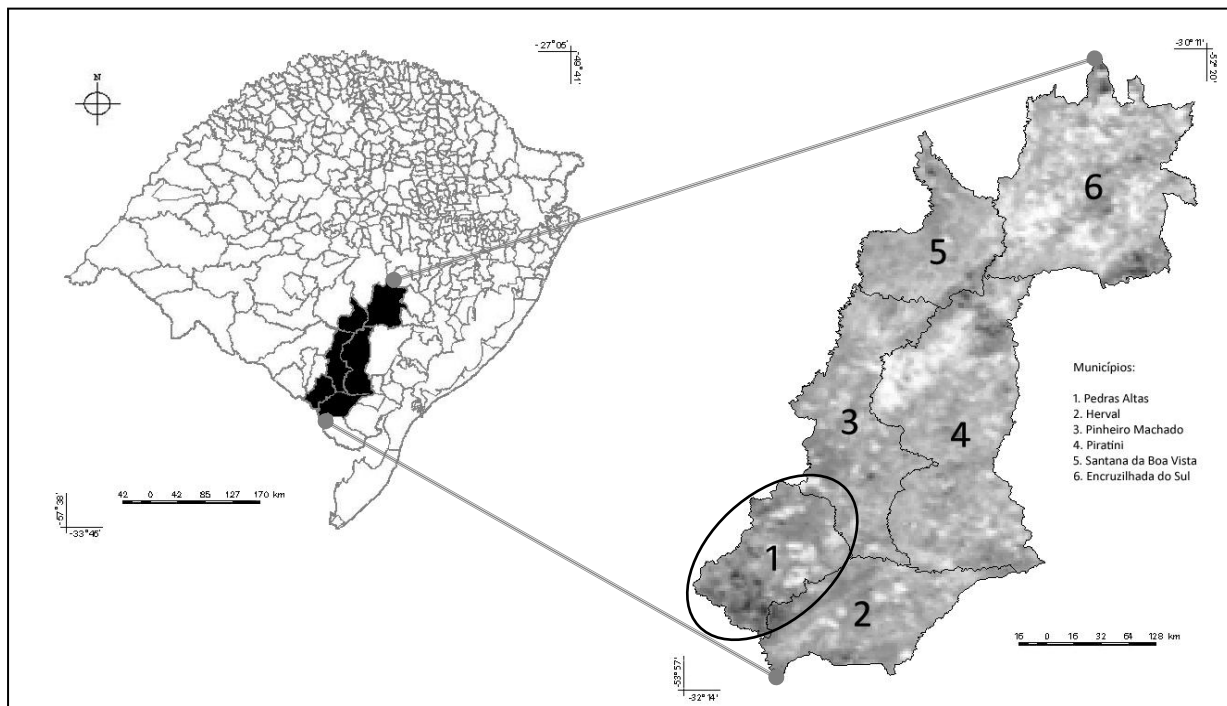


Figura 3.1 – Localização da área de estudos (em destaque município de Pedras Altas).

Tabela 3.1 – Área e população dos municípios da área de estudos.

Município	Área (km²)	População (hab)
Pedras Altas	1.376	2.638
Herval	1.758	7.120
Pinheiro Machado	2.228	13.152
Piratini	3.561	21.180
Santana Boa Vista	1.421	8.891
Encruzilhada do Sul	3.439	25.154

Fonte: IBGE, 2010b.

3.1 Vegetação

Segundo a classificação universal da vegetação utilizada por Veloso (1991) para classificar as formações vegetais brasileiras, a área de estudo é classificada como Estepe (Campos Gerais e Campanha Gaúcha), que pode ser dividida em três subgrupos de formação, arborizada, parque e gramíneo-lenhosa (Figura 3.2), ocorrendo de acordo com dois diferentes tipos de relevo: o pediplano gaúcho-Campanha Gaúcha (onde está localizada nossa área de estudos) (Figura 3.3) e o planalto meridional-Campos Gerais.

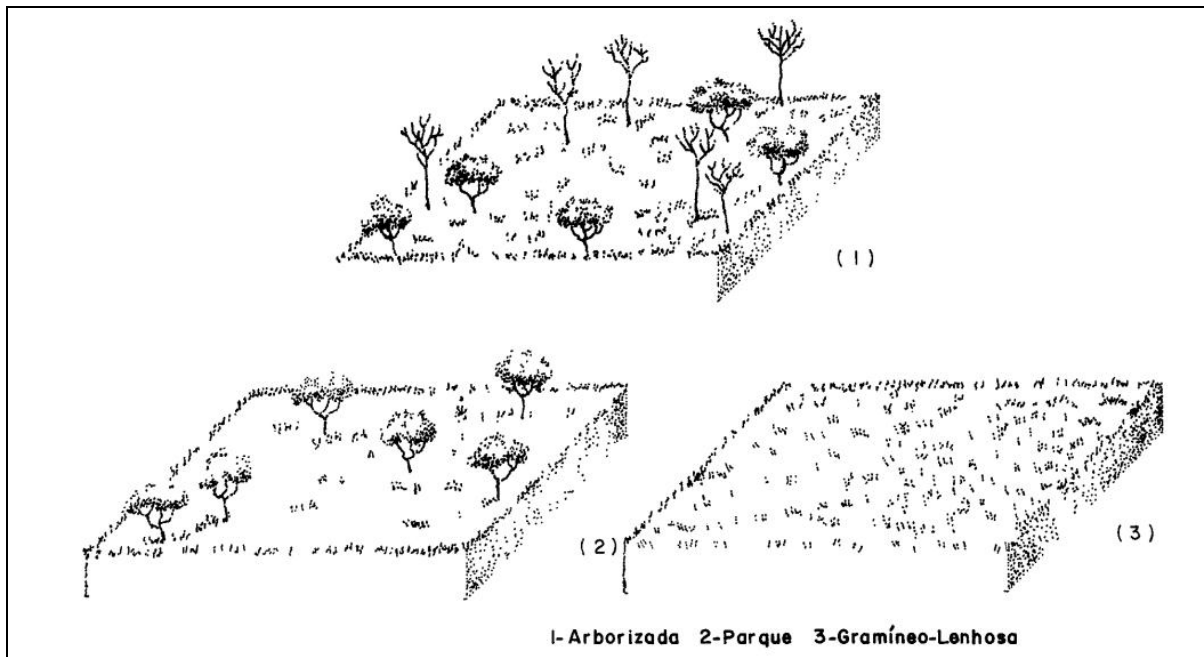


Figura 3.2 – Subgrupos de formação vegetal. Fonte: Veloso, 1991.

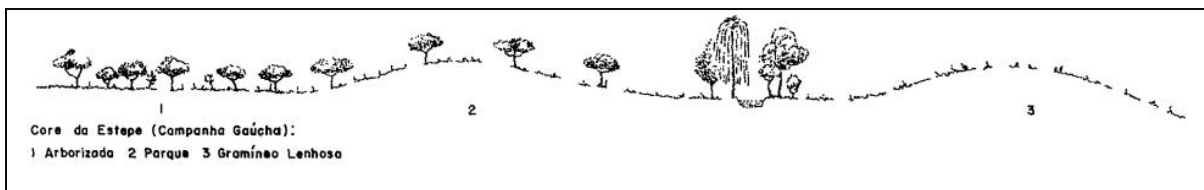


Figura 3.3 – Ocorrência das formações vegetais na Campanha Gaúcha. Fonte: Veloso, 1991.

A flora é predominantemente gramíneo lenhosa, sendo a florística da campanha gaúcha semelhante ao planalto meridional, principalmente pela intensa atuação do pastoreio juntamente com o uso do fogo, mas diferencia-se do planalto meridional pelo não ocorrência da espécie *Araucaria angustifolia* (VELOSO, 1991).

3.1.1 Estepe Arborizada

Subgrupo caracterizado pela domínio de solos rasos litólicos, com afloramentos rochosos, medianamente profundos. As principais espécies arbóreas são fanerófitas de menor estatura (micro e nano): pau-ferro, espinilho, aroeira-salsa, bugueiro, taleiro, branquilha, coronilha, que ocorrem dispersas nos afloramentos

rochosos, e também ligadas às matas-de-galeria. As gramíneas e arbustos presentes podem ser divididos entre as espécies originais (macega, capim-canilha, capim barba-de-bode) e espécies invasoras (grama-forquilha, grama-tapete, vassouras, alecrim, caraguatá, chirca), estas última ocorrendo principalmente pelo uso do terreno pela agropecuária e a consequente degradação do solo (VELOSO, 1991).

3.1.2 Estepe Parque

Também chamado de campo sujo, este subgrupo caracteriza-se pela presença de espécies arbóreas (as principais sendo o bugueiro, a aroeira-salsa e o pau-ferro) bastante dispersas. Esta fisionomia pode estar ligada à ação antrópica com a intenção de aumentar os campos para pastoreio. Nos estrato gramíneo/arbustivo as espécies principais são as mesmas da formação este arborizada, mas com algumas outras espécies, como a grama-forquilha, a grama-jesuíta e o capim-flechinha, similar as estepes uruguaias e argentinas, que possuem estas últimas espécies como elementos nativos (VELOSO, 1991).

3.1.3 Estepe Gramíneo-lenhosa

Chamada também de campo limpo, esta formação tem como característica a coloração acinzentada nos períodos de inverno. Apresenta um estrato herbáceo com espécies adaptadas à ambientes relativamente secos, além da compactação superficial do solo, pela ação das queimadas e do pisoteamento do gado. Há também a ocorrência das matas-de-galeria, de baixo porte (VELOSO, 1991).

3.2 Clima

A região Sul do Rio Grande do Sul possui uma temperatura média anual de aproximadamente 17,75°C, com alto contraste de temperatura entre inverno (média

de 12,5°C) e verão (média de 23°C) e estações de transição com temperaturas semelhantes, porém mais quente em abril (18,5°C) do que em outubro (17°C) (IRACEMA et al., 2009).

A distribuição de chuvas é uniforme ao longo do ano, com alguma tendência de chuvas mais fortes no inverno. A média mensal no verão é de 120mm enquanto que no inverno é de 145mm. A quantidade de chuva anual total para a região é em média de 1400mm. A umidade específica, que mostra a quantidade de vapor d'água no ar, é maior no verão (média mensal de 16g/kg) do que no inverno (média mensal de 9g/kg) (IRACEMA et al., 2009).

O regime de ventos da região é determinado principalmente pelo sistema de alta pressão do Atlântico Sul, presente durante o ano todo, porém mais forte no inverno. O vento predominante na superfície é de direção leste/nordeste, de fraca intensidade. Assim como toda a região Sul do Brasil, é fortemente influenciada pelos fenômenos El Niño e La Niña (IRACEMA et al., 2009).

3.3 Geologia, Geomorfologia e Solo

Em relação à geologia, a região pertence ao Domínio Morfoestrutural dos Embasamentos em Estilos Complexos da Província Mantiqueira, que são formados por filitos, filitos grafitosos, micaxistos, quartzitos e calcários, dobrados com baixa amplitude topográfica, juntamente com o embasamento arqueano, correspondendo ao Escudo Sul-Rio-Grandense e pertencendo à região geomorfológica do Planalto Sul-Rio-Grandense, conhecido também como Serra de Sudeste (CUNHA et al., 2001).

Possui relevo plano a forte ondulado, com altura podendo atingir até 500m positivos, em relação ao nível médio dos mares, e a paisagem é dominada por uma forma de relevo reconhecida regionalmente como coxilhas, feições resultantes do efeito mamelonizador decorrente da umidificação do clima atual (SUERTEGARAY, 2009). Os solos são originados a partir de granitos, migmatitos e granitoides, com predomínio de Neossolos Litólicos Distro-úmbricos fragmentários ou típicos e Neossolos Regolíticos Distro-úmbricos lépticos ou típicos, Cambissolos Háplicos

Distróficos e Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos úmbricos (STRECK et al., 2008).

3.4 Hidrografia

Pertence a bacia hidrográfica do sudeste, que se estende desde o arroio Chuí até o estado de São Paulo. Na área de estudos a característica da hidrografia é a formação de pequenas redes de drenagem que desaguam na Laguna dos Patos ou na lagoa Mirim (CUNHA et al., 2001). Os dois principais rios presentes na área de estudos são o rio Camaquã, ao norte, e o rio Jaguarão, ao sul (IBGE, 2010c).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Geração dos mapas de uso e cobertura do solo

Primeiramente foi definida a área do município de Pedras Altas como início dos estudos, visando confirmar a hipótese de diminuição das áreas remanescentes do bioma Pampa, trabalhando com maior detalhe em uma seção específica da totalidade da área de estudos.

Para isto foi realizado o mapeamento do uso e cobertura do solo do município de Pedras Altas utilizando procedimentos de interpretação visual de imagens de satélite. Para isso foram utilizadas imagens de satélite obtidas a partir do catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2010b). Foram utilizadas imagens provenientes de dois diferentes satélites: Landsat 5, sensor TM (Thematic Mapper), com 30 m de resolução espacial, 185 km de largura da faixa imageada e 16 dias de resolução temporal (LILLESAND et al., 2004); e CBERS 2B (China Brazil Earth Resource Satellite), sensor CCD (Charge-coupled device), com 20 m de resolução espacial, 113 km de largura da faixa imageada e 26 dias de resolução temporal (INPE, 2010a). Ressalta-se que as diferentes resoluções espaciais dos sensores utilizados não prejudicam o andamento do estudo.

O período de estudo foi definido em função da disponibilidade de imagens. Foram utilizadas imagens adquiridas em quatro diferentes anos: 1987, 1994, 2000 e 2006. Não foram utilizadas imagens de outros anos devido à ausência de imagens livres de nuvens sobre a área de interesse. A Tabela 4.1 apresenta a data de aquisição e o sensor de cada uma das imagens utilizadas.

Tabela 4.1 – Satélite, sensor, data de aquisição e órbita/ponto das imagens utilizadas.

Satélite	Sensor	Data de aquisição	Órbita/Ponto
Landsat 5	TM	27/06/1987	222/82
Landsat 5	TM	27/04/1994	222/82
Landsat 5	TM	14/06/2000	222/82
CBERS 2	CCD	23/04/2006	159/135
CBERS 2	CCD	23/04/2006	159/136

As imagens foram integradas em um banco de dados georreferenciados, que foi montado utilizando o aplicativo Spring, versão 4.3.3 (CÂMARA et al., 2004). As imagens foram georreferenciadas utilizando como referência os dados disponibilizados no aplicativo Google Earth (GOOGLE, 2010), fazendo a transcrição da georeferência de um ponto de uma imagem do Google Earth para o mesmo ponto nas imagens de satélite utilizadas no estudo.

Para entender as características da paisagem da região, e possibilitando um mapeamento mais acurado, foi realizado um trabalho em campo durante os dias 13 e 14 de agosto de 2009. Foram observados os padrões do relevo e da vegetação natural bem como suas interações. Também foi observada a existência e distribuição do cultivo das espécies arbóreas exóticas ao bioma. Durante a realização desse trabalho e com uma análise prévia das imagens foi definida a seguinte legenda para o mapeamento das áreas naturais: “Mosaico Campo-Floresta” (MCF) onde o predomínio é de vegetação campestre com a presença de espécies arbóreas nativas esparsas, e “Mosaico Floresta-Campo” (MFC) onde o predomínio é de espécies arbóreas nativas e a vegetação campestre é esparsa. Áreas de cultivos agrícolas, silvicultura, corpos d’água e manchas urbanas não foram classificadas separadamente nesse mapeamento, sendo agrupados na classe “Outros Alvos”. Nas Figuras 4.1 e 4.2 são mostrados os padrões que definem respectivamente as classes MCF e MFC.



Figura 4.1 – Exemplo do padrão observado em campo para as áreas de MCF. Fonte: do autor.



Figura 4.2 – Exemplo do padrão observado em campo para as áreas de MFC. Fonte: do autor.

Para a interpretação visual foram utilizadas composições coloridas das bandas espectrais posicionadas nas regiões do vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio, pois as mesmas permitem a identificação e a diferenciação dos padrões das formações vegetais (CAMPBELL, 2007). Os limites das classes foram digitalizados na imagem adquirida no ano de 1987 e classificados de acordo com a legenda definida. O mapeamento para os demais anos avaliados foi feito a partir da verificação da permanência ou não do limite digitalizado na data anterior e sempre que necessário foi feito o ajuste do polígono conforme as mudanças observadas.

4.2 Cálculo e análise das áreas mapeadas

Após o término dos mapeamentos do município de Pedras Altas, a área de cada uma das três classes foi quantificada e esses valores foram exportados para um aplicativo de planilha eletrônica, onde foram analisados através de gráficos e comparações entre os anos. Os valores das áreas também foram comparados com dados econômicos do município, a saber: Produto Interno Bruto (PIB) (Reais R\$) municipal e per capita; área colhida de arroz, milho e soja (hectare); efetivo bovino e ovino (cabeças); e produção de toras (m³) para celulose e outros fins, obtidos a partir do site do banco de dados SIDRA (IBGE, 2010d). Destas variáveis os dados socioeconômicos foram obtidos a partir do ano de 2001, função da data de criação do município de Pedras Altas.

4.3 Construção de cenários de tendência

Nesse trabalho a elaboração de cenários de tendência consistiu na criação de gráficos que expressam a relação de variáveis biofísicas versus variáveis econômicas, em um determinado período de tempo (GONÇALVES et al., 2008). Foram analisadas as relações tanto para o estudo de caso de Pedras Altas como também para todos os seis municípios da área de estudos, de forma independente.

Foram construídos cenários de tendência relacionando as variáveis espectrais de índice de vegetação (NDVI) e variáveis socioeconômicas. Sabe-se que o valor do

NDVI é função direta das mudanças do uso e ocupação do solo, uma vez que a imagem de satélite registra as condições da superfície da Terra no momento de sua aquisição. Apesar disso, optou-se por utilizar o NDVI como variável independente para que possam ser feitas estimativas das variáveis socioeconômicas a partir deste índice. Assim sendo, os cenários elaborados consistiram em equações de regressão linear que representam a relação existente entre o NDVI da área do cenário (variável independente) e as variáveis socioeconômicas (variáveis dependentes).

Estatisticamente também se avaliou a significância da equação ajustada. Para essa avaliação se utiliza o teste F (ANEXO 1), obtido a partir da análise de variância da regressão linear. Para esse trabalho foi considerado significativo o F calculado superior ao F determinado por $\alpha = 10\%$, devido às características heterogêneas das formações naturais presentes e das áreas alteradas. Utilizou-se o valor do coeficiente de determinação (r^2) para avaliar a utilidade da reta ajustada (CALLEGARI-JACQUES, 2003). Para essas análises foi utilizado o pacote estatístico SPSS Statistics 19 (SPSS, 2010).

4.3.1 Obtenção dos dados de NDVI

Foram utilizados dados de NDVI obtidos a partir dos produtos do sensor MODIS e do sensor Vegetation (CNES, 2010), que disponibilizam imagens de NDVI já processadas. Foi utilizado o valor de NDVI médio de toda a área representada no cenário, obtidos no período de inverno (última semana de junho e primeira semana de julho) em todos os anos. Optou-se por obter os valores de NDVI no inverno pois nesta estação a vegetação nativa campestre para o seu crescimento em função do frio. Assim sendo estariam em crescimento apenas as formações arbóreas nativas e as áreas de silvicultura. Dessa forma entende-se que seria possível monitorar a substituição de áreas com predomínio de vegetação campestre por áreas de silvicultura.

Para facilitar a visualização das relações gráficas, bem como a construção das equações dos modelos, optou-se por trabalhar com o NDVI escalonado entre 0 e 100, ao invés de 0 e 1 como é padrão dessa variável. Para tanto os valores

originais de NDVI foram multiplicados por 100 em um aplicativo de planilha eletrônica.

4.3.1.1 MOD13

Para a construção do cenário para Pedras Altas foram utilizadas as imagens de máximo índice de vegetação do produto MOD13 do sensor MODIS (NASA, 2010), para os anos de 2001 a 2007, em função da disponibilidade de imagens, não existindo imagens anteriores ao ano 2000 neste produto. Estes produtos são fornecidos em arquivos no formato HDF, cobrindo uma área de 10 x 10 graus de latitude e longitude cada arquivo, sendo identificados em uma grade horizontal e vertical (MODIS LAND, 2010). Foram utilizados os arquivos posicionados na célula H13V12, que cobrem completamente a área de estudos. As imagens foram processadas no aplicativo Modis Reprojections Tools (MRT, 2010), onde foi feita a transformação da projeção convertendo da projeção sinusoidal para projeção geográfica, sem perda do georreferenciamento original. Após esta transformação as imagens de NDVI foram salvas em arquivos no formato geotiff, as quais foram importadas para um banco de dados geográficos, criado no aplicativo Spring 4.3.3 (CÂMARA et al., 2004).

Para a extração dos valores estatísticos de NDVI, foi utilizado o vetor do contorno do município de Pedras Altas (IBGE, 2010e) e o módulo de extração de estatísticas de imagem do aplicativo Spring, obtendo-se dessa forma o valor médio de todos os pixels que estão no interior do perímetro do município, para cada ano estudado. Para as análises de cenário, estes valores foram exportados para um aplicativo de planilha eletrônica.

4.3.1.2 VGT-S

Para a construção dos cenários de todos os municípios da área de estudos foram utilizadas imagens do produto VGT-S do sensor Vegetation (CNES, 2010), em função de existirem dados disponíveis desde 1998, permitindo uma análise em um

tempo maior. Os mosaicos de imagens deste produto são distribuídos em dez regiões de interesse predefinidas, em escala global. A área de estudos está incluída no mosaico da região de interesse S-America (VEGETATION, 2010). Estas imagens são distribuídas no formato HDF, e para possibilitar o trabalho com as mesmas, foi necessário o uso do aplicativo VGTEExtract (VGTEXTRACT, 2010), convertendo-as para o formato geotiff, mantendo seu georreferenciamento na projeção geográfica. Neste formato foi possível importar as imagens para o aplicativo ENVI 4.7 (ITT VIS, 2010). A partir do vetor do polígono da área de estudos (IBGE, 2010e), que representa o contorno da totalidade da área de estudos como se os seis municípios formadores dela fossem um só, foi extraído das imagens o valor estatístico do NDVI médio dos pixels formadores da área de estudos, em cada ano analisado. Os dados estatísticos foram então exportados para o aplicativo de planilha eletrônica para as análises de cenários.

4.3.2 Obtenção dos dados socioeconômicos

Para o cenário de Pedras Altas, a variável socioeconômica utilizada foi o PIB do município, no período 2001-2007. Para os cenários elaborados para a área de estudos foram selecionadas oito variáveis, no período 1998-2007, a saber: PIB; área colhida de milho; área colhida de arroz; área colhida de soja; efetivo bovino; efetivo ovino; madeira em tora produzida pela silvicultura e madeira em tora para celulose produzida pela silvicultura. Cabe salientar que a variável madeira em tora para celulose produzida pela silvicultura está contida na variável madeira em tora produzida pela silvicultura, trate-se de uma especificação da produção. Para utilização dos dados econômicos da área de estudo foi necessário o somatório dos dados individuais dos municípios em uma única variável, que representa o dado para toda a área de estudos. Todas as variáveis foram obtidas através do banco de dados SIDRA (IBGE, 2010d).

4.3.3 Cenários

Primeiramente elaborou-se dois cenários relacionando as variáveis NDVI versus PIB, um elaborado para o município de Pedras Altas e o outro para a área de estudos inteira. Esses cenários permitem uma análise semelhante nas duas áreas de interesse, verificando o efeito da economia nas mesmas. Posteriormente, foram elaborados outros sete diferentes cenários para toda a área de estudos, a fim de se verificar as mudanças do uso e ocupação do solo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Evolução temporal do uso e ocupação do município de Pedras Altas

Podem ser identificadas algumas características na ocorrência das classes na área estudada. Na classificação realizada na imagem do ano de 1987 (Figura 5.1), nota-se uma distinção entre as áreas ocupadas pelas classes MFC e Outros Alvos. A maior parte das áreas de MCF estão presentes a nordeste do município, de forma bastante agrupada e com pouquíssima presença próxima de áreas da classe outros alvos. Já nas partes sul, sudoeste, oeste e noroeste do município, a ocorrência de áreas da classe outros alvos é grande, porém bastante fragmentada intercalando-se com áreas da classe MCF. A classe MCF é a que apresenta maior área, presente em maior grau no centro e norte do município, mas com presença em todas as outras partes também.

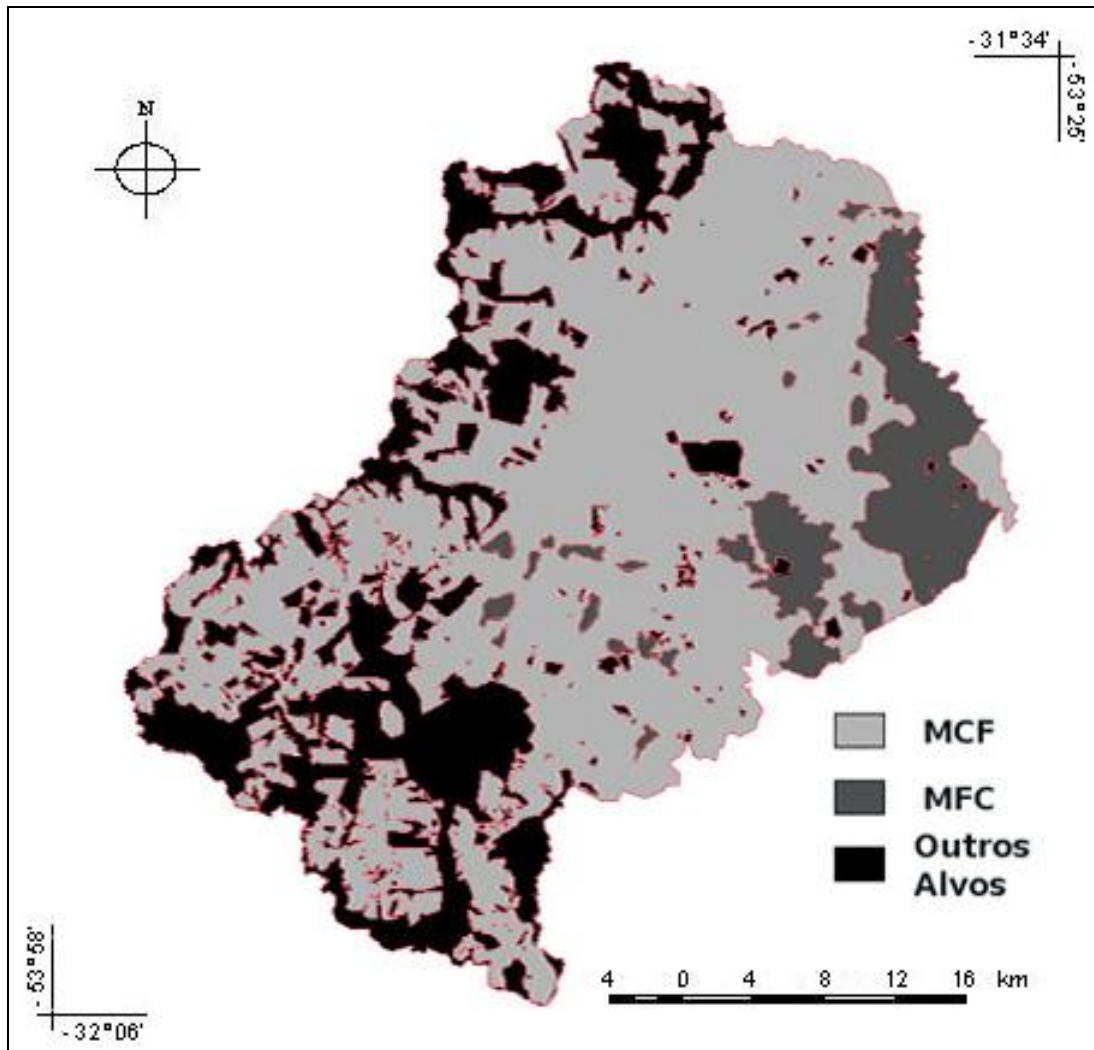


Figura 5.1 – Mapa de uso e ocupação do município de Pedras Altas para o ano de 1987.

No ano de 1994 (Figura 5.2), há pouca alteração nas áreas da classe MFC, as mudanças mais significativas ocorrem nas áreas referentes à MCF e outros alvos, existindo um aumento de área da primeira em detrimento da última. A redução de áreas da classe outros alvos ocorre principalmente à oeste e à noroeste, mas na parte sul vemos um aumento da área desta classe sobre áreas que pertenciam a classe MCF.

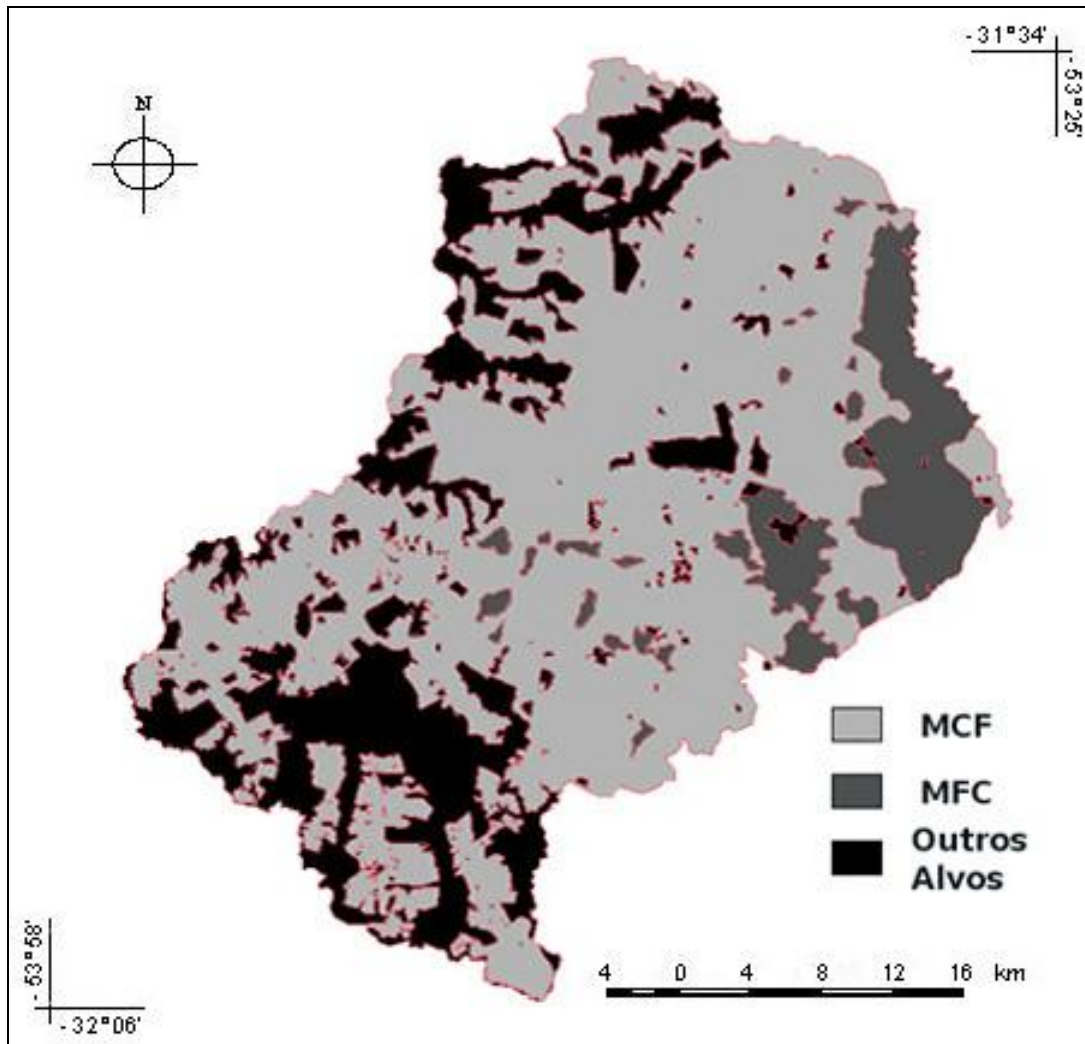


Figura 5.2 – Mapa de uso e ocupação do município de Pedras Altas para o ano de 1994.

No ano 2000 (Figura 5.3), diferentemente da estabilidade entre 1987 e 1994, nota-se uma pequena redução da área de MFC ao leste, com a área sendo agregada a classe MCF. O que se destaca é o aumento considerável das áreas de classe outros alvos no sul do município, o que começa a caracterizar uma tendência de domínio da classe outros alvos. Também é importante salientar que apesar de que em menor quantidade que na parte sul, também houve acréscimo de área na classe outros alvos nas partes oeste e noroeste do município.

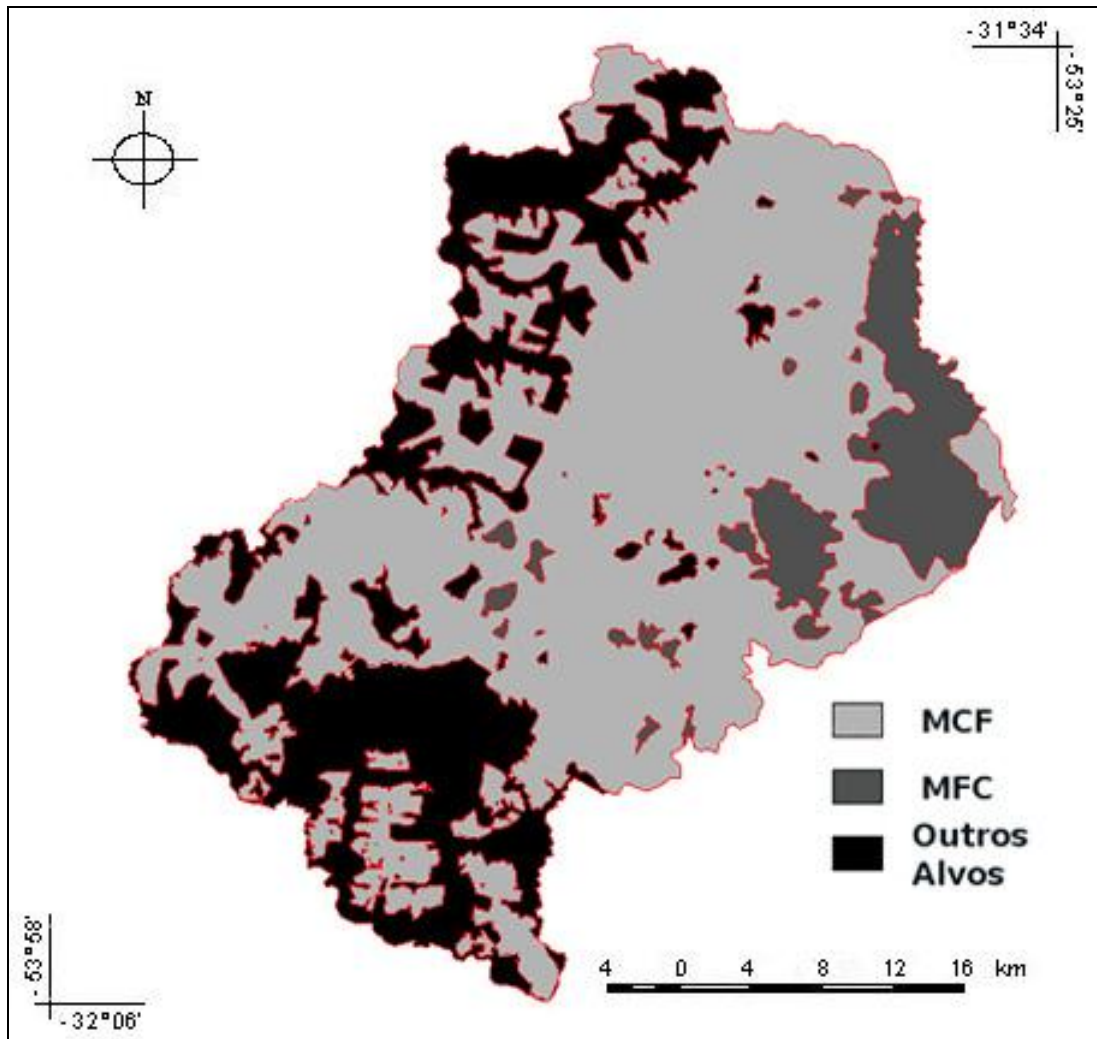


Figura 5.3 - Mapa de uso e ocupação do município de Pedras Altas para o ano de 2000.

Em 2006 (Figura 5.4) observa-se o aparecimento de áreas da classe outros alvos na parte leste, principalmente substituindo áreas que pertenciam a classe MCF, em áreas que sofreram pouca ou nenhuma alteração nas classificações anteriormente analisadas. Nas áreas da classe MFC, observa-se novamente uma diminuição na parte leste, porém também se nota o aparecimento de uma área de MFC na parte noroeste, onde sempre houve pouca presença de áreas desta classe. Também no noroeste mudanças nas áreas da classe outros alvos são observadas, porém visualmente não é possível precisar se houve aumento ou redução de áreas. Na parte sul novamente percebe-se a expansão das áreas da classe outros alvos, expandindo-se em maior grau também para sudoeste.

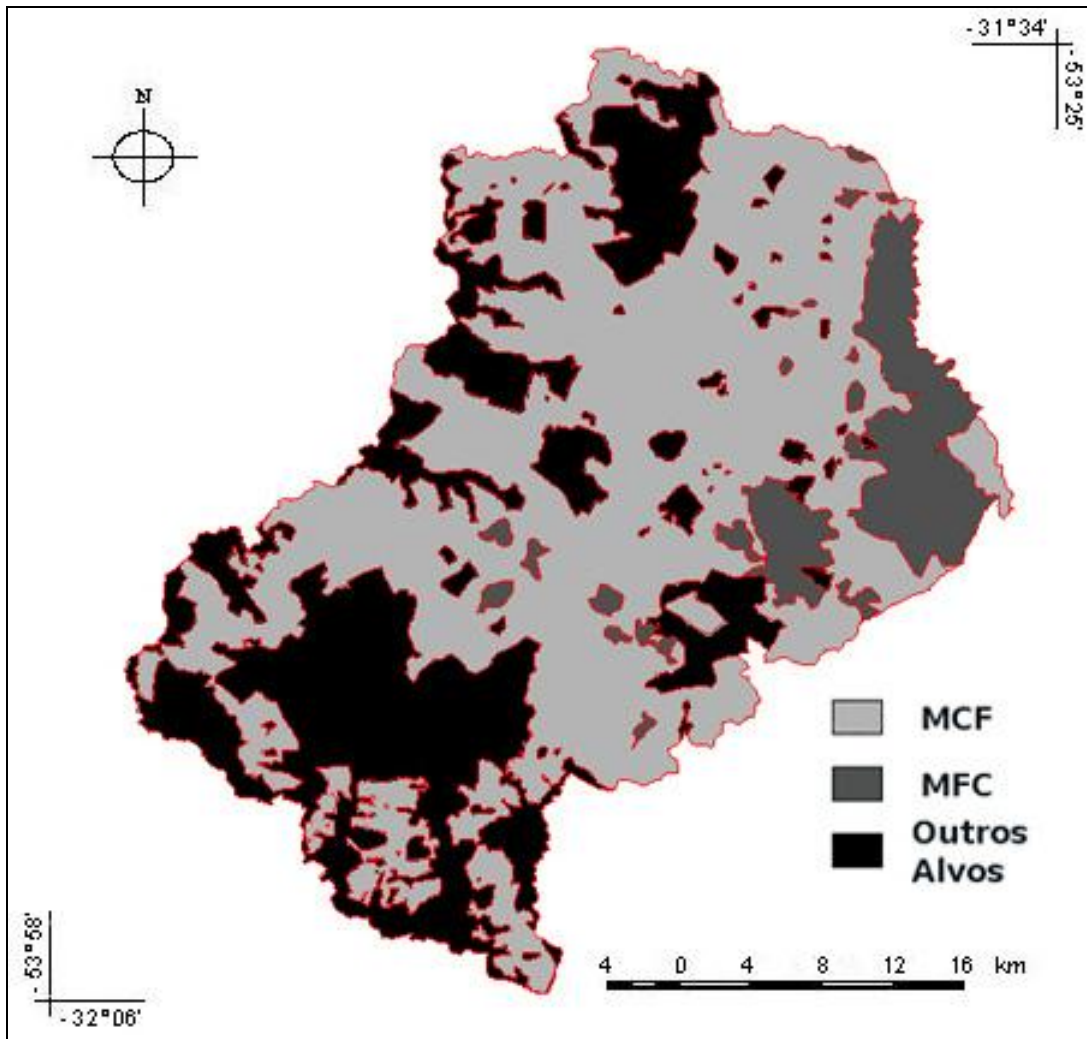


Figura 5.4 - Mapa de uso e ocupação do município de Pedras Altas para o ano de 2006.

Para um melhor entendimento das mudanças observadas foram selecionadas duas áreas que permitem observar diferentes mudanças ocorridas no período analisado. A primeira área (Figura 5.5), que fica na parte leste do município, com ponto central de coordenadas: longitude $-53^{\circ} 37' 12''$ e latitude $-31^{\circ} 54' 14''$, permite observar uma mudança ocorrida na imagem mais recente, do ano de 2006, onde uma área que até então aparecia como área de predominância do campo (classificada como MCF), vai passar a se configurar como uma área de cultivo (classificada como outros alvos). Nos trabalhos em campo foi verificado que essa área foi transformada em área de silvicultura recentemente e ainda não sofreu o primeiro processo de corte. Por essa razão não existe a quantificação da produção de toras nos dados econômicos de produção agropecuária do município (Tabela 5.1).

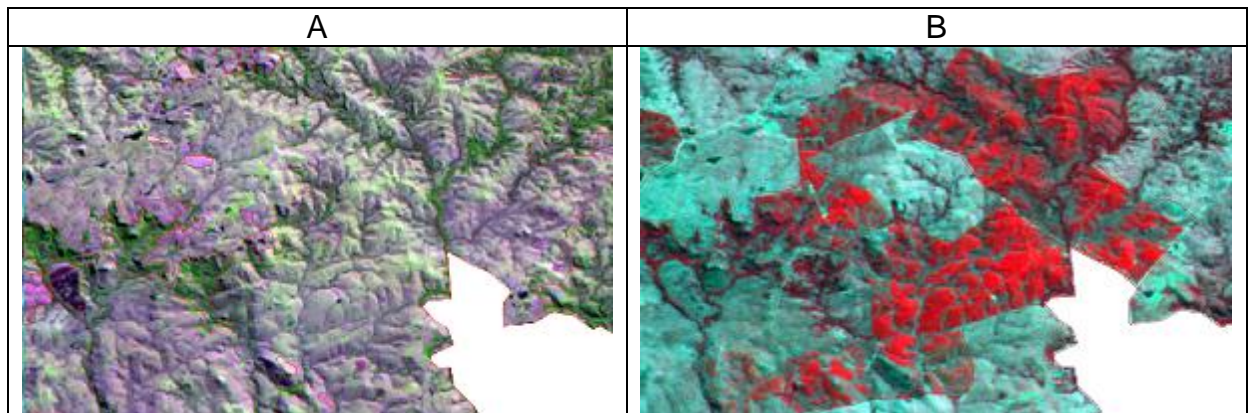


Figura 5.5 – Detalhe das mudanças observadas entre os anos de 1987 (A) e 2006 (B).

Tabela 5.1 – Dados socioeconômicos do município de Pedras Altas.

Ano	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Arroz - Área colhida (ha)	500	2.500	2.500	1.953	2.156	2.300	2.300
Milho - Área colhida (ha)	100	1.000	1.000	1000	1.000	1.500	1.500
Soja - Área colhida (ha)	100	700	700	1.700	1.700	2.200	2.200
Prod. toras - Celulose (m³)	0	0	0	0	0	0	0
Prod. toras - Outros fins (m³)	0	0	0	0	0	0	0
Efetivo bovino (cabeças)	87.421	90.725	97.421	103.246	105.145	105.346	105.424
Efetivo ovino (cabeças)	70.145	74.664	80.387	84.597	87.176	88.105	88.125
PIB (R\$ x 1000)	9.800	16.776	24.075	26.922	27.677	30.243	37.066

A segunda área (Figura 5.6), de ponto central: longitude $-53^{\circ} 33' 14''$ e latitude $-31^{\circ} 53' 21''$, fica localizada também ao leste do município. Nessa área podemos perceber a mudança gradativa da predominância de MFC transformando-se em área de MCF. Através dos dados do município sabemos que a produção pecuária vem aumentando (Tabela 5.1), o que faz com que as áreas de predominância de floresta (MFC) sofram pressão e sejam transformadas.

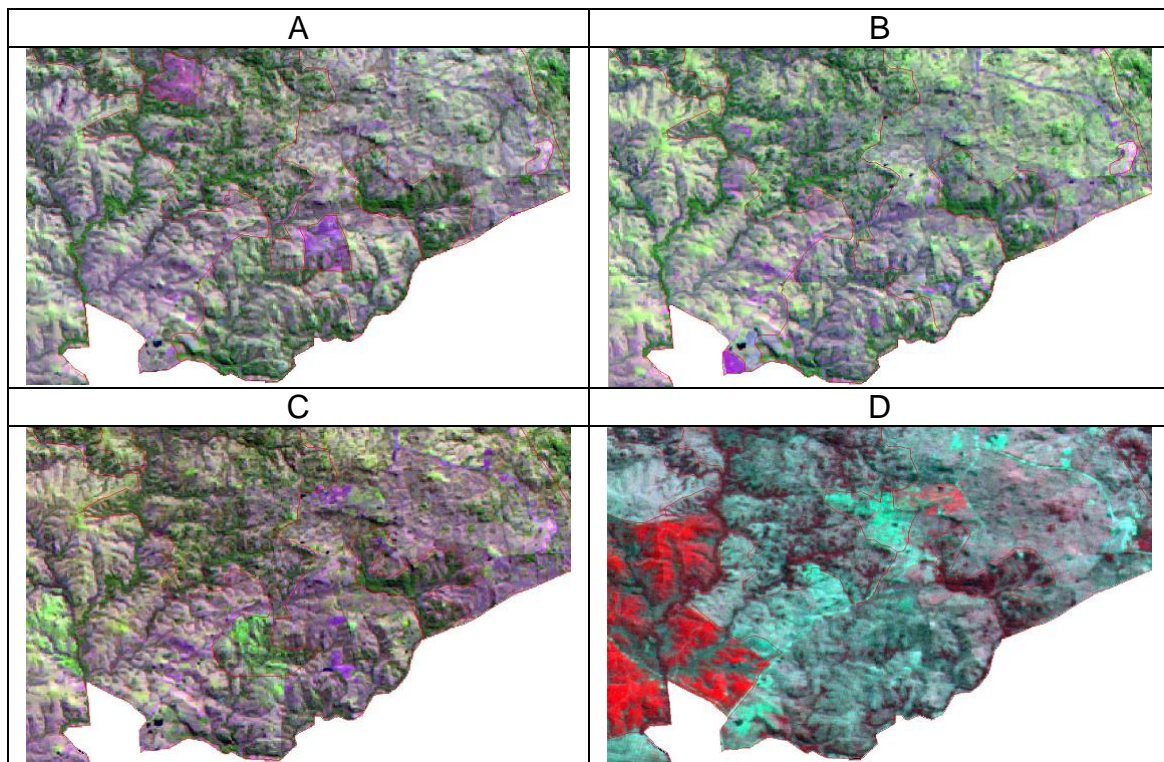


Figura 5.6 – Detalhe das mudanças observadas entre os anos de 1987 (A), 1994 (B), 2000 (C) e 2006 (D).

5.2. Análise da evolução das áreas mapeadas no município de Pedras Altas

A análise dos números absolutos do total das áreas de cada classe nos diferentes anos analisados permite verificar se há alguma tendência de aumento ou diminuição das áreas, o que torna importante também a correlação com os dados socioeconômicos do município, permitindo assim verificar quais os motivos da tendência observada. Os resultados dessa análise são apresentados na Figura 5.7. Duas tendências são visíveis: a queda da quantidade de área da classe MCF e o

aumento de área da classe Outros Alvos. As tendências observadas têm relação entre si e podem ser explicadas através dos dados também. As áreas totais de ambas as classes vem se aproximando de valor, em 1987 a área total da classe MCF era de aproximadamente 1060 km², (65% da área total) cerca de 660 km² maior do que a área total de Outros Alvos, 400 km² (25% da área total). Em 2006 essa diferença é de 457 km², caracterizando uma queda de 203 km², com as áreas de MCF representando 59% da área total e as áreas de Outros Alvos representando 31%. Só para efeito de comparação, o valor da queda da área de MCF é maior do que o total de área da classe MFC (152 km², ou 10% da área total). Analisando os dados socioeconômicos do município (Tabela 5.1), verifica-se que tanto as atividades ligadas às áreas de MCF (efetivo de bovinos, efetivo de ovinos) quanto às atividades ligadas as áreas de Outros Alvos (cultivo de arroz, milho, soja) cresceram, porém também é possível verificar que o aumento das atividades ligadas as áreas de Outros Alvos é proporcionalmente maior, o que pode explicar a expansão das áreas desta classe.

A área total da classe MFC passou por poucas alterações, tendo uma queda mínima entre os anos de 1987 e 2000 (0,5 km²). Porém, no ano de 2000 houve uma queda na área total de aproximadamente 10 km², que percentualmente não sofreu alteração e se comparada à queda de área da classe MCF é pequena, mas comparando com a diferença 1987-2000 é considerável. No ano de 2006 também ocorre outra queda, porém menor. Estas quedas nos anos mais recentes podem ser um indício de que começa a se caracterizar uma tendência de diminuição das áreas de MFC no município, também em função do aumento das áreas da classe Outros Alvos.

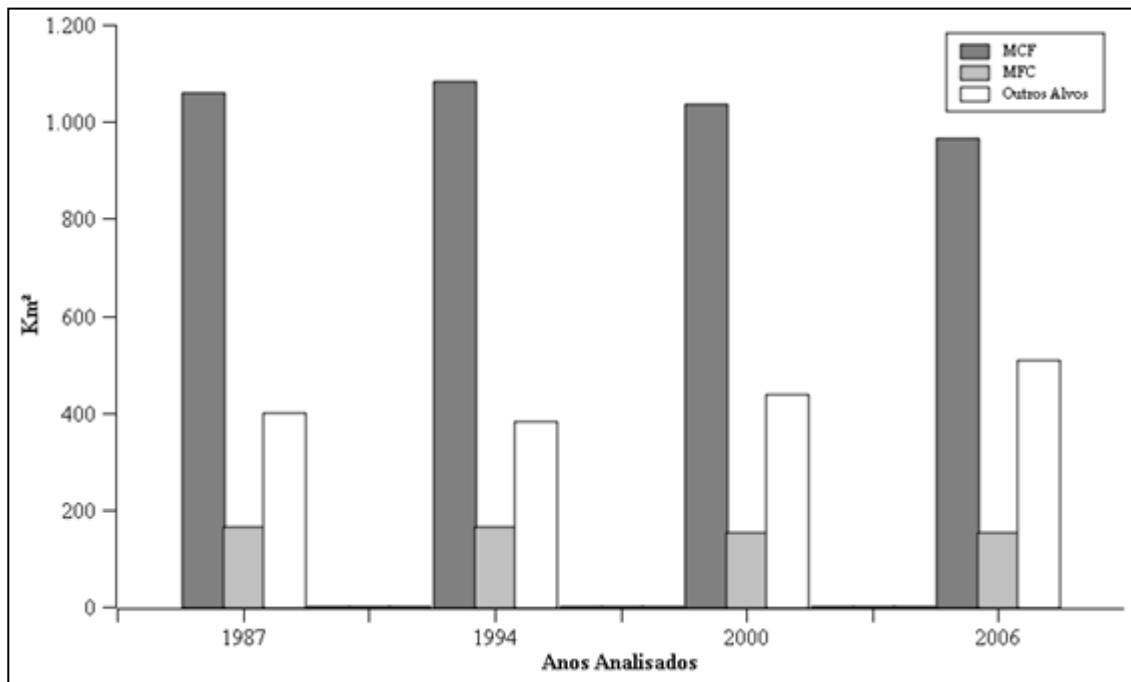


Figura 5.7 – Histograma de frequência da ocorrência das áreas das classes MCF, MFC e Outros Alvos nos diferentes anos analisados.

A análise das imagens de satélite mostra que foram observadas mudanças no uso e cobertura da terra no município de Pedras Altas, as quais são mais visíveis no último período analisado (2000 – 2006). A partir desse entendimento o desafio passa a ser a seleção de variáveis que permita modelar matematicamente as mudanças observadas. Algumas dificuldades foram observadas nessa modelagem. A principal delas é que o município se emancipou em 1996, mas seus indicadores socioeconômicos passaram a ser contabilizados apenas a partir do ano de 2001, dificultando a análise conjunta das imagens de satélite com os dados socioeconômicos.

Outra dificuldade observada é a inexistência de dados de produção de toras (Tabela 5.1), diretamente relacionada com as atividades de silvicultura que foram encontradas com frequência no município durante o trabalho em campo. Isso mostra que a atividade em si ainda não gerou produção e em consequência renda, pois em campo não foi observada nenhuma área onde houvesse ocorrido corte de árvores para a produção de toras.

Os demais dados de produção agropecuária do município possuem um padrão de aumento, bem como os dados do PIB (Tabela 5.1), acompanhando uma

tendência que existe em todo o país, de aumento de produção agrícola e da renda. Acredita-se que o aumento do PIB também possa ter ocorrido devido ao grande comércio de terras que existiu na região, com a venda de propriedades para serem transformadas em áreas de silvicultura. O aumento significativo da área de lavouras (Tabela 5.1), acompanha um quadro geral de expansão agrícola pelo uso do plantio direto, técnica que não provoca o sulcamento da terra, possibilitando a lavoura em áreas de solo raso, como é a característica da área. O aumento desta área plantada justifica o aumento do rebanho bovino e ovino, pois este se consorcia muito bem com a lavoura nas áreas de campo, pois o gado bovino se alimenta da resteva da lavoura e aproveitado com vantagens nos tempos de pousio (FONTOURA et al., 2009).

5.3. Construção dos cenários de tendência

Para o estudo foram determinados dois conjuntos de cenários, o primeiro apresenta cenários da relação PIB x NDVI, para o estudo de caso de Pedras Altas e para a totalidade da área de estudos. Já o segundo conjunto apresenta os cenários que relacionam os dados de uso e ocupação do solo x NDVI, para a totalidade da área de estudos.

5.3.1 Cenários NDVI x PIB

Com base na hipótese de que a substituição da vegetação natural por espécies exóticas elevaria a renda das propriedades rurais buscou-se verificar a relação existente entre as alterações no valor de NDVI das áreas estudadas e as alterações econômicas também ocorridas nestas áreas. Conforme explicado no Item 4.3.1 foram utilizados os valores de NDVI do período de inverno, pois nesta época estariam vegetando apenas as espécies exóticas ao bioma, e o valor total do PIB anual da área.

5.3.1.1 Pedras Altas

Para Pedras Altas, em uma análise exploratória do conjunto de dados verificaram-se valores discrepantes de NDVI em todos os meses do inverno do ano de 2007, em relação aos demais anos analisados. Com base nessa análise optou-se por desconsiderar as variáveis do ano de 2007 devido à força da ocorrência do fenômeno La Niña neste ano (CPTEC, 2010) e a consequente influência do fenômeno nos dados analisados.

Foi criado um cenário de tendência que expressa a relação entre NDVI versus PIB para o município de Pedras Altas (Figura 5.8), utilizando dados dos anos de 2001 a 2006. Verificou-se uma tendência de aumento dos valores de NDVI ao longo dos anos analisados, indicando ser essa variável adequada para o monitoramento proposto. A sua relação com o PIB é crescente, de forma direta, mas o aumento do PIB não é explicado, ainda, pela substituição das áreas de campo por áreas de silvicultura, conforme análise apresentada nos Itens 5.1 e 5.2..

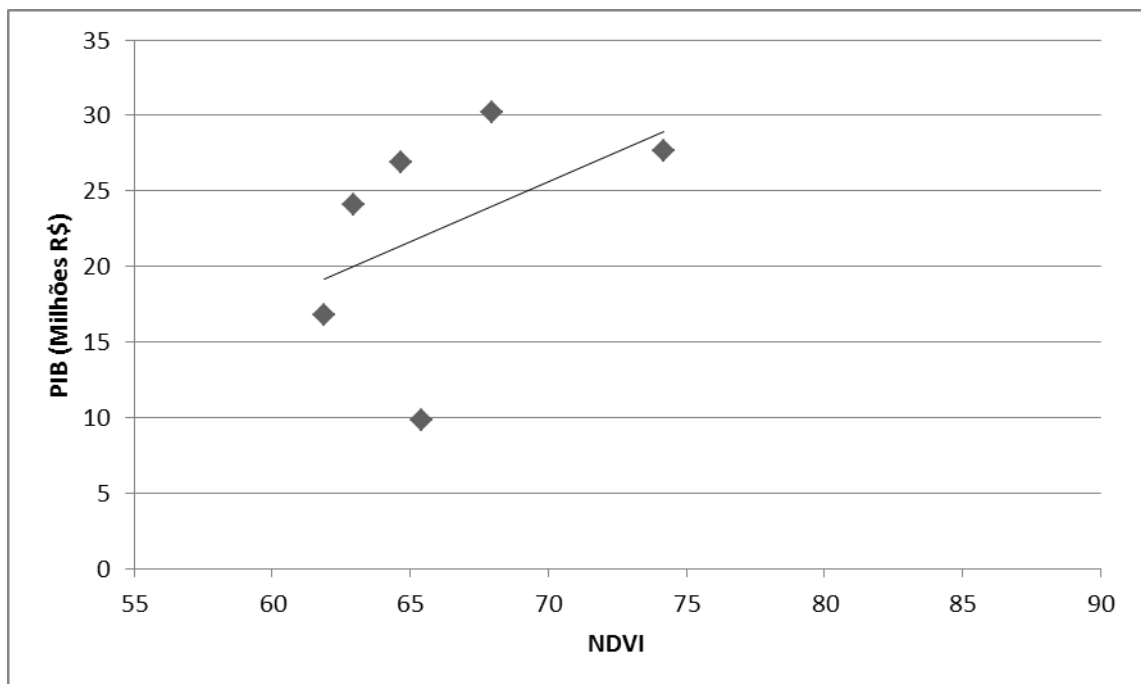


Figura 5.8 - Relação entre os valores do Produto Interno Bruto (PIB) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para o município de Pedras Altas.

Na Tabela 5.2 é apresentada a equação obtida para o cenário de tendência que expressa a relação entre NDVI versus PIB para o município de Pedras Altas, o coeficiente de determinação e o resultado do teste de significância. O cenário obtido não foi significativo ($\alpha = 10\%$) provavelmente pelos poucos anos analisados. Cenários desta natureza foram obtidos por Gonçalves et al. (2008) para a região do semi-árido nordestino. Por essa razão a análise dos cenários foi ampliada para ser feita de forma conjunta para os seis municípios da área de estudos uma vez que a metodologia já foi validada por Gonçalves et al. (2008).

Tabela 5.2 – Modelo estatístico do cenário NDVI x PIB para Pedras Altas.

Variável	Equação	r^2	Significância ($\alpha = 10\%$)
PIB (Milhões R\$)	$PIB = 0,9862 \cdot NDVI - 41,354$	0,2032	Não-significativo

5.3.1.2 Pedras Altas, Herval, Pinheiro Machado, Piratini, Santana da Boa Vista e Encruzilhada do Sul

Foi criado um cenário de tendência que expressa a relação entre NDVI versus PIB para os municípios de Pedras Altas, Herval, Pinheiro Machado, Piratini, Santana da Boa Vista e Encruzilhada do Sul (Figura 5.8), utilizando dados dos anos de 1998 a 2006. Para a criação do cenário NDVI x PIB da totalidade da área de estudos, também optou-se por desconsiderar as variáveis do ano de 2007 devido à força da ocorrência do fenômeno La Niña neste ano (CPTEC, 2010) e a consequente influência do fenômeno nos dados analisados, como pode ser observado na Figura 5.9, que apresenta a relação NDVI x PIB considerando o ano de 2007.

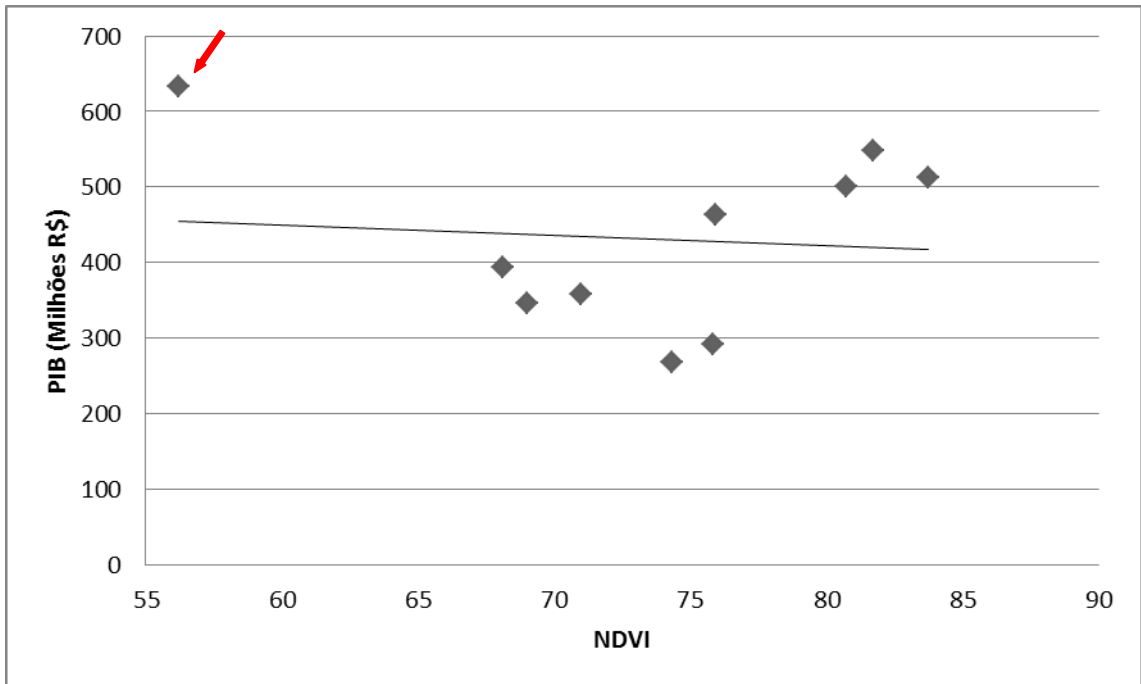


Figura 5.9 – Gráfico do cenário NDVI x PIB, incluindo o ano de 2007 (em destaque).

A Figura 5.10 apresenta o cenário NDVI versus PIB da totalidade da área de estudos, já sem o ano de 2007. A partir deste gráfico pode-se inferir que existe relação entre o aumento do NDVI e o aumento de produção generalizado que ocorre com o passar dos anos, expressado pelo PIB.

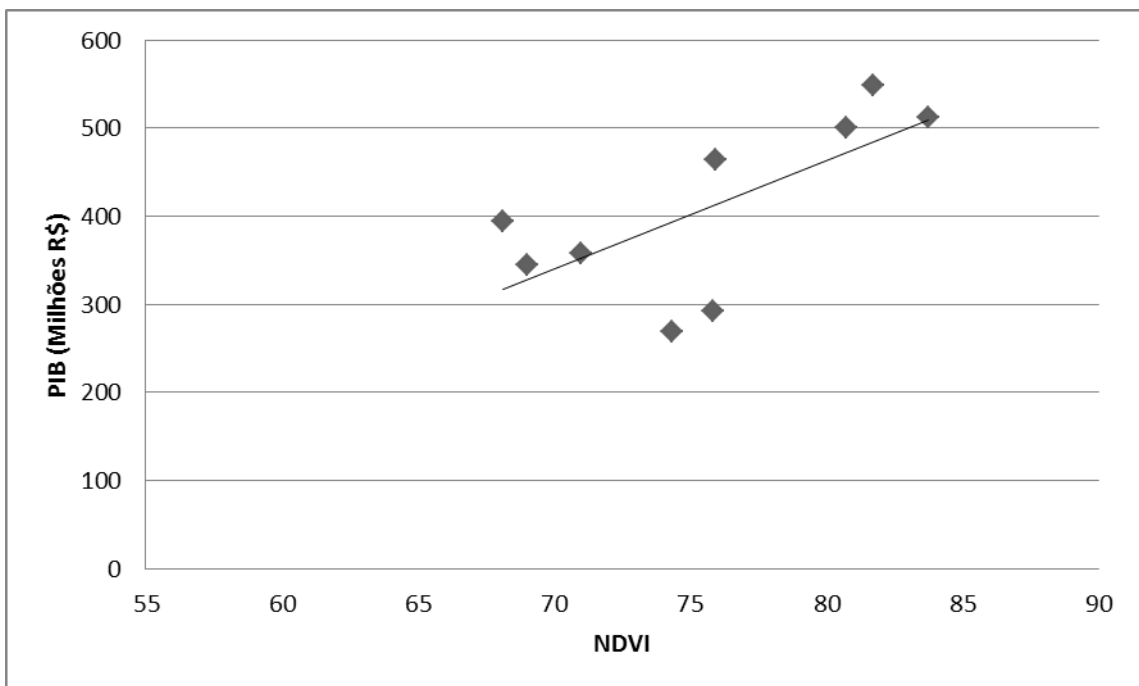


Figura 5.10 – Gráfico do cenário NDVI x PIB.

Na Tabela 5.3 é apresentada a equação obtida para o cenário de tendência que expressa a relação entre NDVI versus PIB para os seis municípios analisados, o coeficiente de determinação e o resultado do teste de significância. O cenário obtido foi significativo ($\alpha = 10\%$) indicando a validade da equação proposta. O maior número de anos analisados permitiu um modelo mais robusto, em relação ao obtido para o município de Pedras Altas, o qual pode ser utilizado para fazer inferência sobre o crescimento da renda dos municípios da área de estudos a partir da expansão das atividades do setor primário sobre as áreas do bioma Pampa.

Tabela 5.3 – Modelo estatístico do cenário NDVI x PIB da totalidade área de estudos.

Variável	Equação	r^2	Significância ($\alpha = 10\%$)
PIB (Milhões R\$)	$PIB = - 515,62 + 12,232.NDVI$	0,4643	Significativo

5.3.2 Cenários NDVI x atividades do setor primário

Com a informação de que as mudanças na economia estão relacionadas com o aumento do NDVI, parte-se para a criação de cenários específicos para algumas atividades de uso e ocupação do solo presentes na totalidade da área de estudos, a fim de verificarmos quais delas estão ou não influenciando neste aumento. Para isto, além da análise dos resultados dos cenários foi realizada em conjunto a análise dos dados absolutos de crescimento (ou decréscimo) das atividades estudadas (Tabela 5.4). Foram analisadas as variáveis de área colhida para as plantações, de efetivo animal para os rebanhos e de produção de toras para a silvicultura. Estas variáveis foram escolhidas por representarem diretamente o aumento ou diminuição da produção destas atividades, o que conseqüentemente representa também as mudanças no valor econômico das atividades. Para representar a silvicultura duas variáveis estão presentes, produção total de toras e produção de toras para celulose, com o intuito de verificar se este uso específico para as toras é o que alavanca o crescimento da silvicultura na área de estudos.

Tabela 5.4 – Dados da área de estudos.

Ano	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Arroz - Área colhida (ha)	5.495	6.885	6.330	4.530	6.540	6.385	5.278	5.532	5.260
Milho - Área colhida (ha)	24.000	32.200	34.500	35.700	36.000	35.100	34.800	16.050	23.750
Soja - Área colhida (ha)	8.045	7.980	8.470	8.850	11.000	15.100	21.954	22.200	22.700
Efetivo bovino (cabeças)	732.888	729.012	737.254	760.890	795.433	820.025	855.643	762.086	743.503
Efetivo ovino (cabeças)	629.388	605.793	582.191	593.426	561.834	579.781	550.992	557.000	566.603
Prod. Toras - Total (m³)	119.004	126.805	166.155	174.193	192.127	207.976	226.794	227.054	226.548
Prod. toras - Celulose (m³)	35.065	36.444	99.041	100.164	124.660	136.652	151.050	146.150	150.089
PIB (R\$ x 1000)	358.195	268.286	292.399	345.329	393.809	463.676	499.774	511.657	548.299
NDVI (x100)	70,97	74,31	75,84	69,01	68,11	75,91	80,71	83,75	81,71

5.3.2.1 Agricultura

As Figuras 5.11, 5.12 e 5.13 demonstram a relação existente entre o índice de vegetação e a área colhida de arroz, milho e soja, respectivamente. A Tabela 5.5 apresenta as equações obtidas para essas relações, o coeficiente de determinação e a significância estatística das equações.

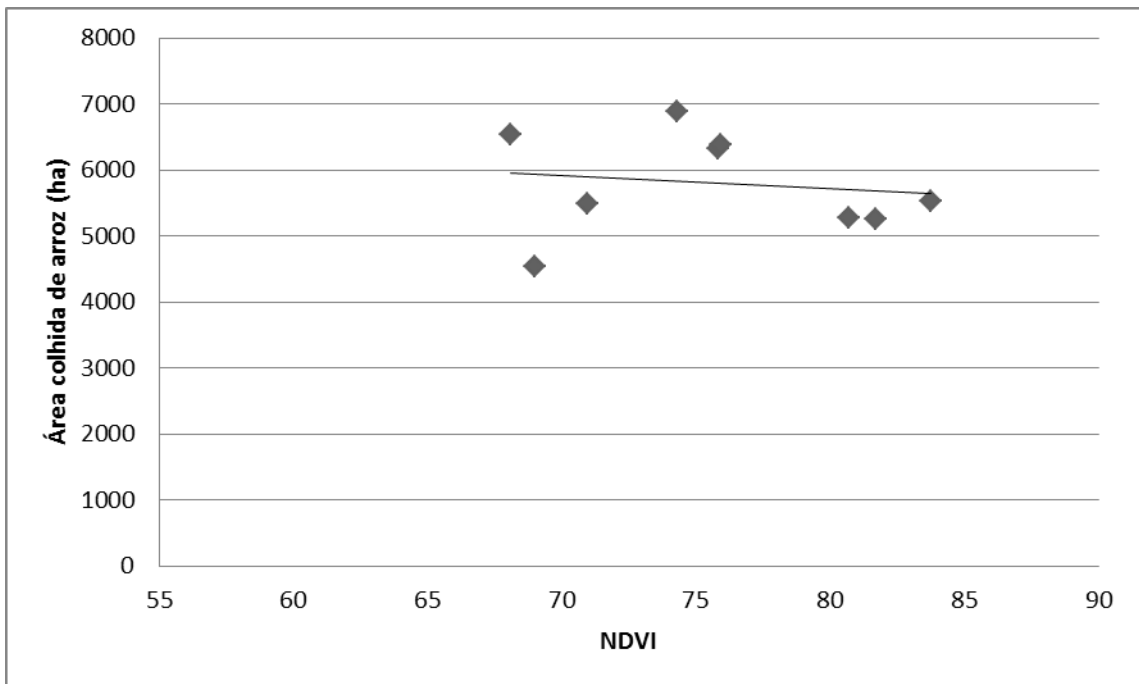


Figura 5.11 – Gráfico do cenário NDVI versus arroz.

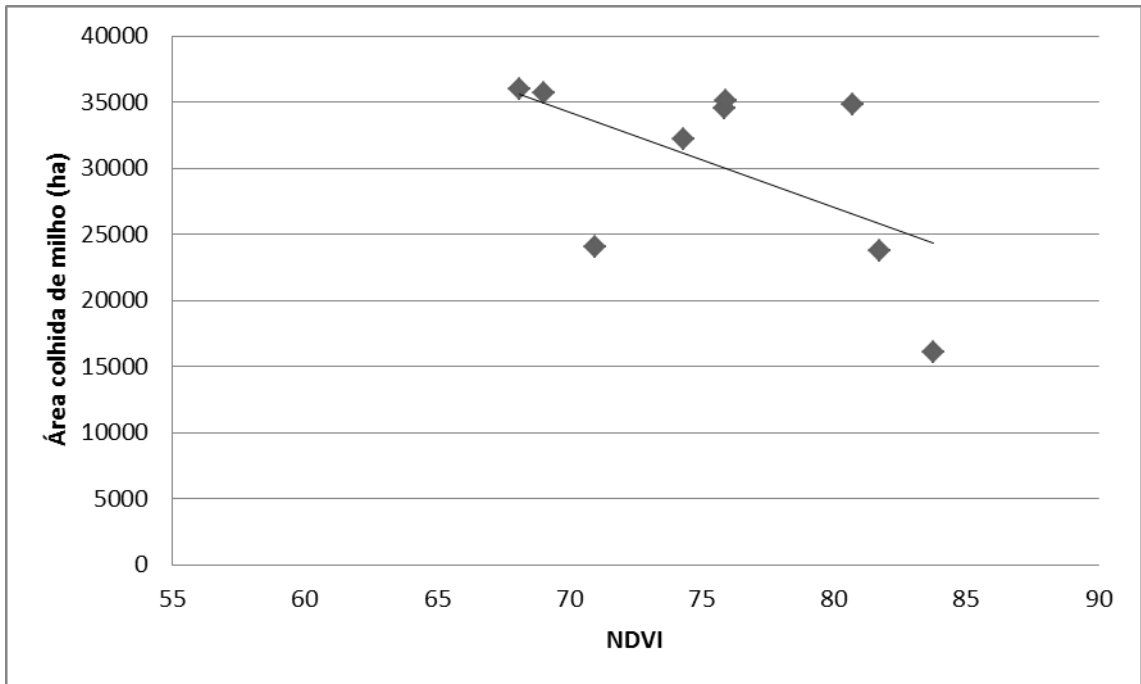
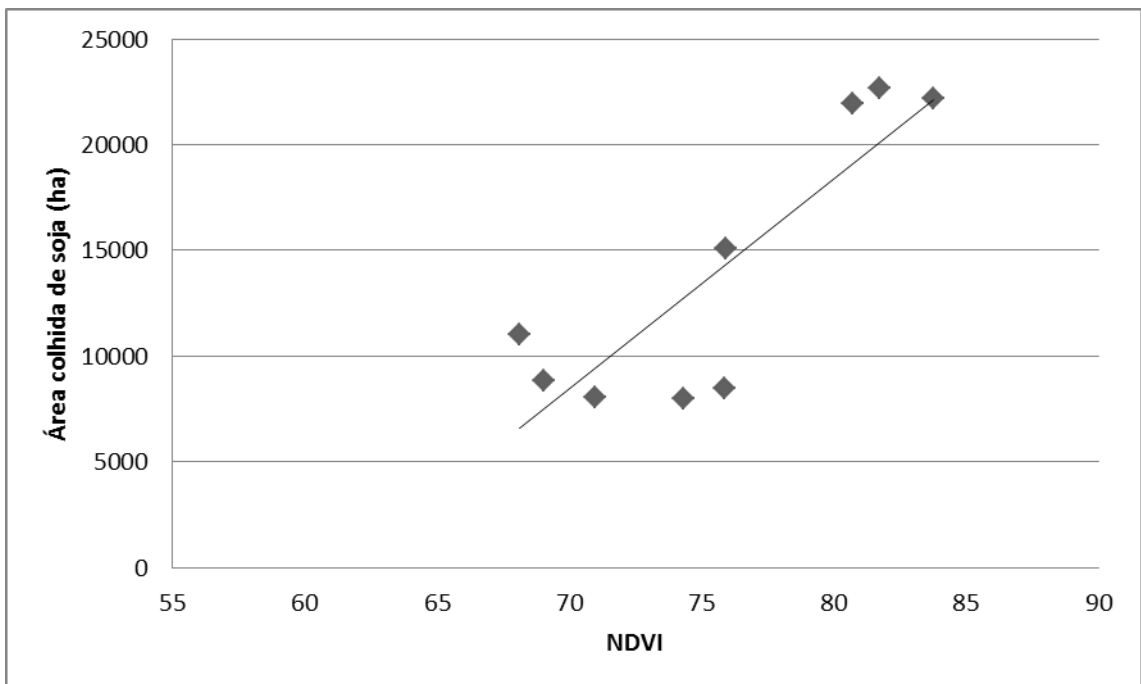


Figura 5.12 – Gráfico do cenário NDVI versus milho.



5.13 - Gráfico do cenário NDVI versus soja.

Tabela 5.5 – Modelos estatísticos dos cenários de arroz, soja e milho.

Variável (y)	Equação	r ²	Significância (α = 10%)
Área colhida de arroz (ha)	$y = -19,789.NDVI + 7299,8$	0,0211	Não-significativo
Área colhida de milho (ha)	$y = -721,06.NDVI + 84742$	0,3190	Não-significativo
Área colhida de soja (ha)	$y = 994,91.NDVI - 61177$	0,7245	Significativo

A área colhida de milho e arroz apresenta um padrão de diminuição nos anos analisados (Tabela 5.4), gerando uma relação negativa com o NDVI (Figuras 5.11 e 5.12), as quais foram não significativas para $\alpha = 10\%$ (Tabela 5.5.). Não são esperadas significância nessas relações, pois o milho e o arroz são cultivos de verão e o NDVI analisado foi obtido no período de inverno.

Para a soja foi observada uma relação positiva e significativa com o NDVI (Figura 5.13 e Tabela 5.5.). Da mesma forma que para o arroz e milho, não eram esperadas relações significativas entre essas variáveis. O que provavelmente está ocorrendo é o cultivo de pastagens de inverno nas áreas onde no verão foram cultivadas com soja, visando o aproveitamento da estrutura de cultivo agrícola. Dessa forma, função do comportamento espectral das áreas de pastagens de inverno (FONSECA et al., 2010), é observado um aumento nos valores do NDVI no inverno o que gerou essa relação com alta significância estatística.

5.3.2.2 Pecuária

As Figuras 5.14 e 5.15 demonstram a relação existente entre o índice de vegetação e o efetivo bovino e efetivo ovino, respectivamente. A Tabela 5.6 apresenta as equações obtidas para essas relações, o coeficiente de determinação e a significância estatística das equações.

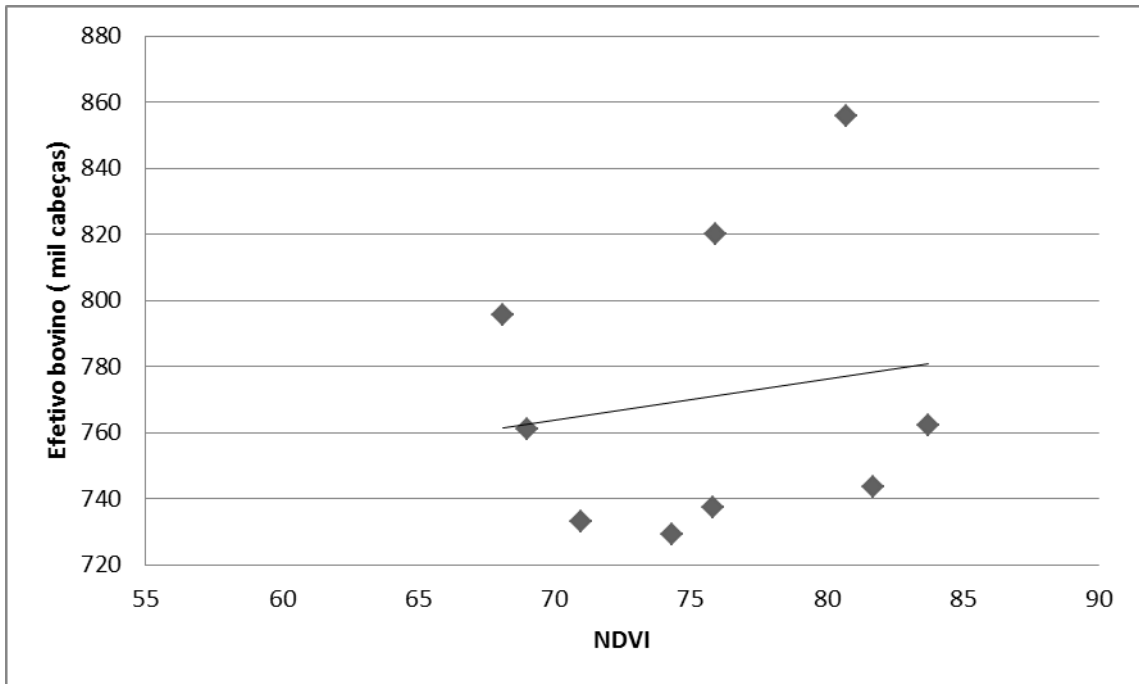


Figura 5.14 – Gráfico do cenário NDVI versus efetivo bovino.

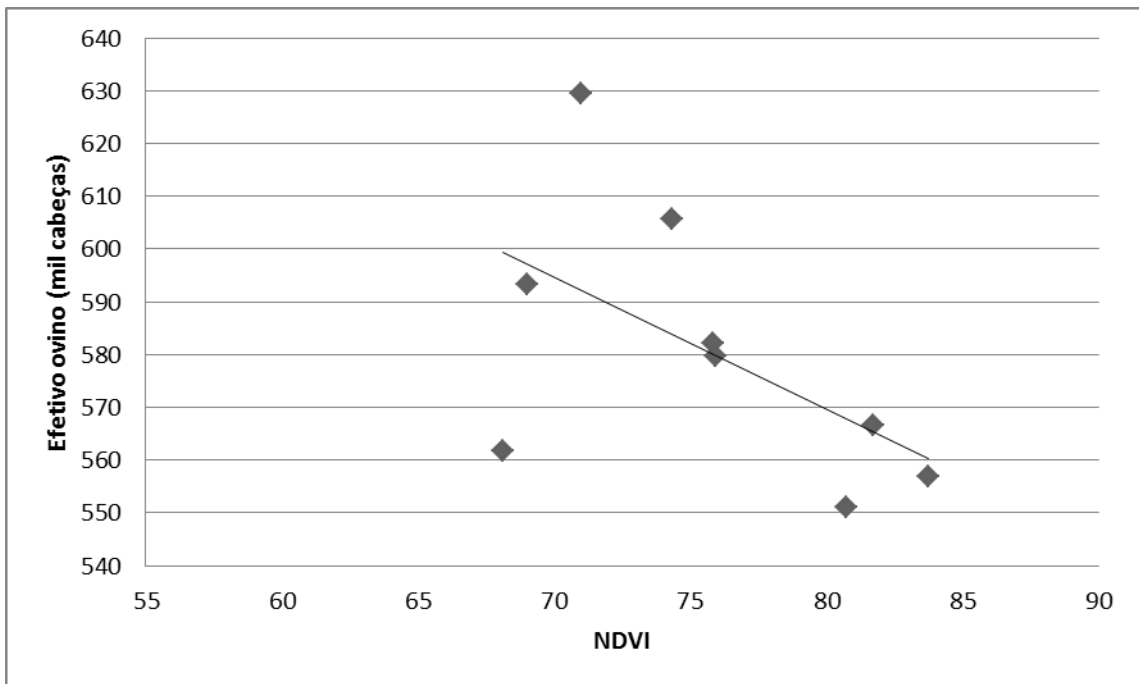


Figura 5.15 – Gráfico do cenário NDVI versus efetivo ovino.

Tabela 5.6 – Modelos estatísticos dos cenários de efetivo bovino e efetivo ovino.

Variável (y)	Equação	r ²	Significância (α = 10%)
Efetivo bovino (cabeças)	$y = 1240,3 \cdot \text{NDVI} + 676985$	0,0252	Não-significativo
Efetivo ovino (cabeças)	$y = -2499 \cdot \text{NDVI} + 769693$	0,3056	Não-significativo

Para o efetivo bovino foi observada uma relação positiva, mas não significativa com o NDVI (Figura 5.14 e Tabela 5.6.) e para o efetivo ovino foi observada uma relação negativa e também não significativa com o NDVI (Figura 5.15 e Tabela 5.6). A produção de animais na região é baseada na produção das pastagens nativas do bioma Pampa, as quais vegetam no período do verão e o NDVI analisado corresponde ao período do inverno. Provavelmente se o NDVI analisado correspondesse ao período de verão as relações fossem significativas. Salienta-se que o ciclo da produção animal é maior que um ano, assim sendo analisar a degradação das áreas do bioma Pampa apenas com dados de produção animal anual pode não ser possível com a metodologia utilizada nesse trabalho.

5.3.2.3 Silvicultura

As Figuras 5.16 e 5.17 demonstram a relação existente entre o índice de vegetação e a produção de toras da silvicultura e produção de toras da silvicultura para a celulose, respectivamente. A Tabela 5.7 apresenta as equações obtidas para essas relações, o coeficiente de determinação e a significância estatística das equações.

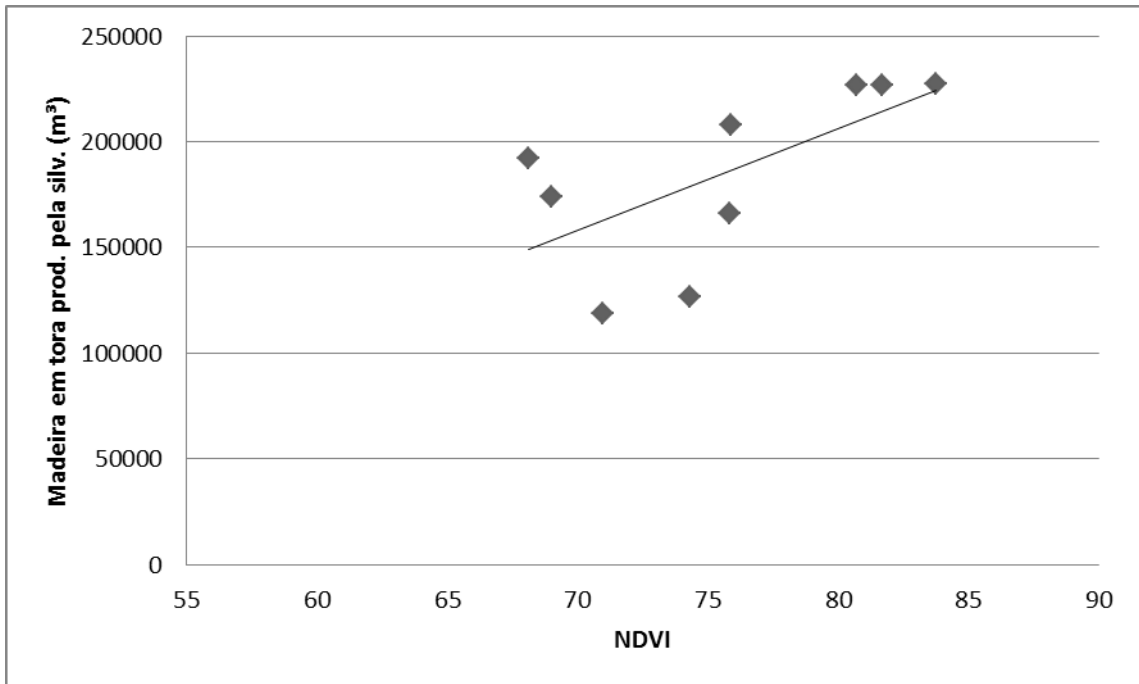


Figura 5.16 - Gráfico do cenário NDVI versus produção de toras da silvicultura.

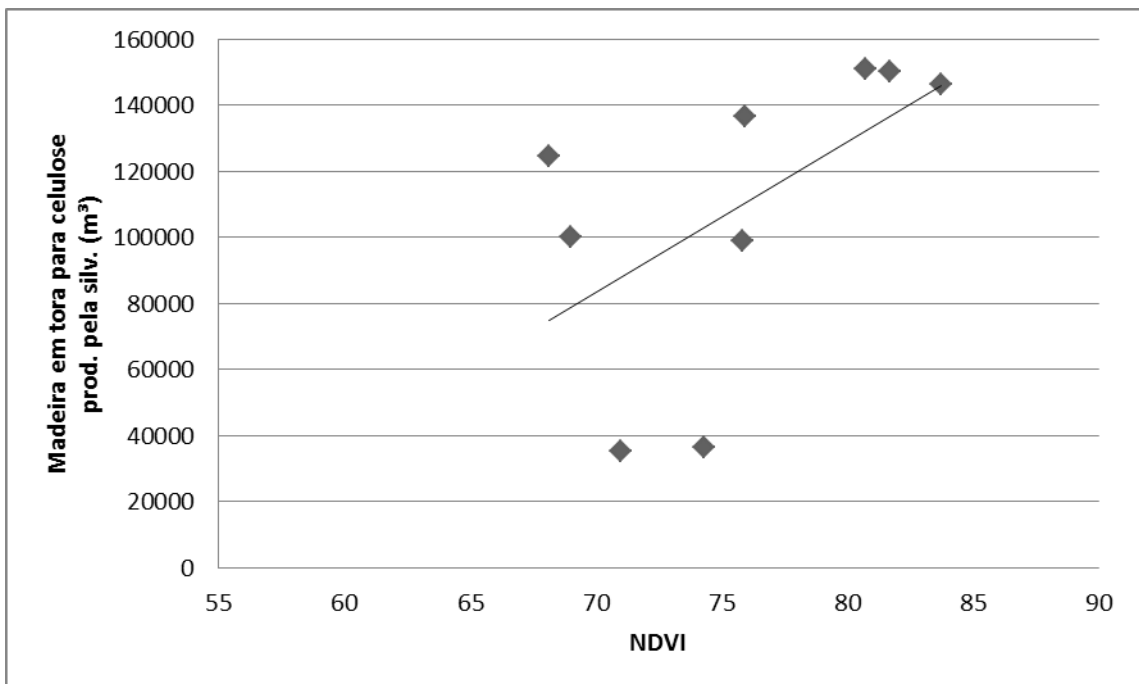


Figura 5.17 - Gráfico do cenário NDVI versus produção de toras da silvicultura para celulose.

Tabela 5.7 – Modelos estatísticos dos cenários de produção de toras da silvicultura e produção de toras da silvicultura para celulose.

Variável (y)	Equação	r ²	Significância (α = 10%)
Madeira em tora produzido pela silvicultura (m ³)	$y = - 177250 + 4794,4.NDVI$	0,4139	Significativo
Madeira em tora para celulose prod. pela silvicultura (m ³)	$y = - 235840 + 4559,2.NDVI$	0,3135	Não-significativo

Para a produção de toras da silvicultura (Figura 5.16) e para a produção de toras especificamente para celulose (Figura 5.17) observamos uma relação positiva, porém somente a produção total de toras da silvicultura é significativa, como apresentado na Tabela 5.7. Analisando especificamente a produção total de toras a significância da relação demonstra a validade da hipótese empregada para construção dos cenários uma vez que o aumento do NDVI do período de inverno está diretamente relacionado com o aumento das áreas de silvicultura, as quais continuam vegetando neste período.

A não significância da relação obtida quando considerada apenas a produção de toras para celulose, permite inferir que o crescimento da produção da silvicultura nessa região não está necessariamente ligado a produção com destino à celulose nos anos avaliados.

5.4 Aplicação dos cenários

Com base nas relações significativas obtidas entre o NDVI e as variáveis PIB e produção de toras é possível estimar a degradação do bioma Pampa devida ao aumento das atividades de silvicultura e o conseqüente aumento da renda. Para tanto foi analisada a tendência no incremento dessas três variáveis no período de 1998 à 2006 (Figuras 5.18, 5.19, 5.20 e Tabela 5.8).

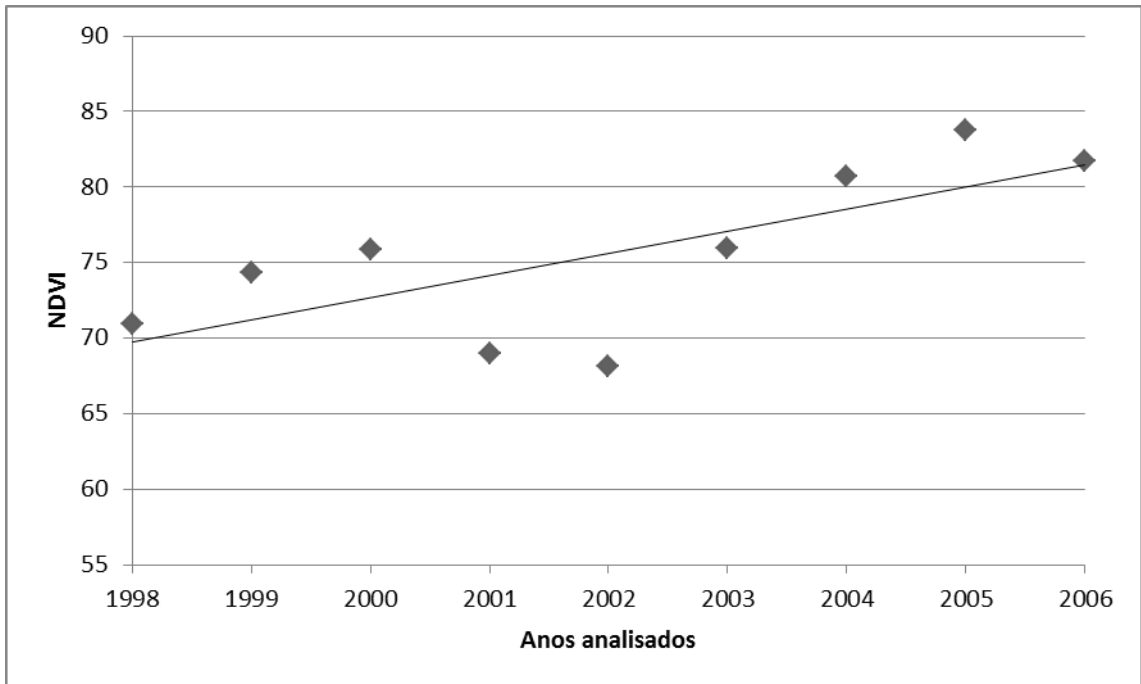


Figura 5.18 - Tendência de crescimento da variável NDVI no período analisado.

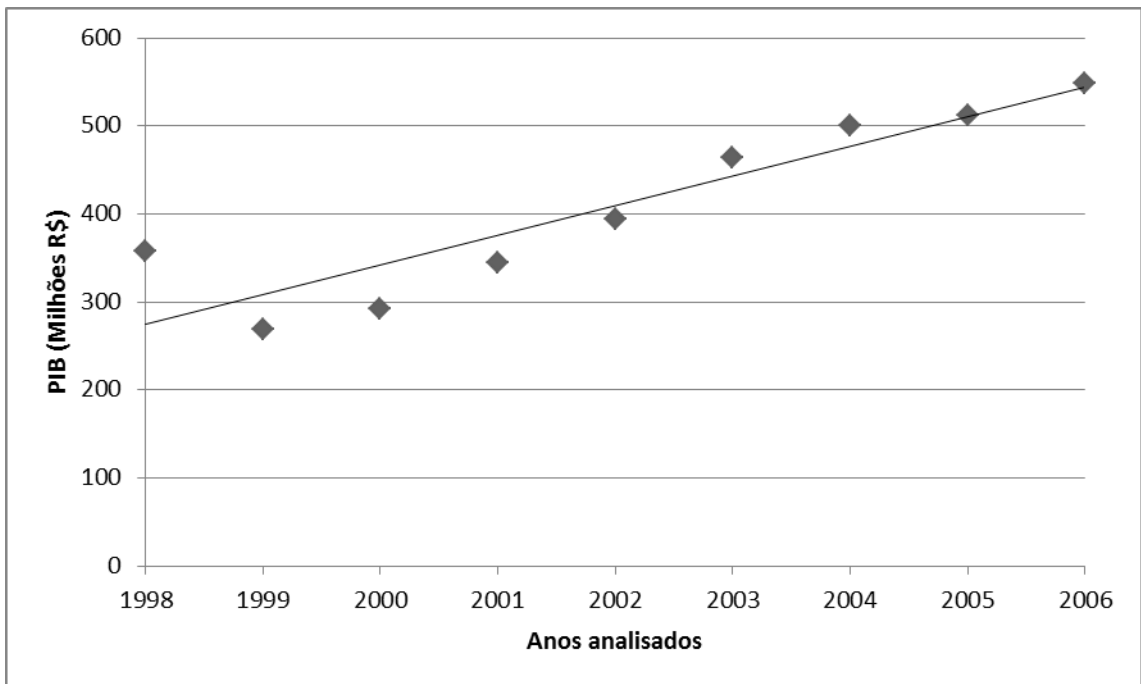


Figura 5.19 - Tendência de crescimento da variável PIB no período analisado.

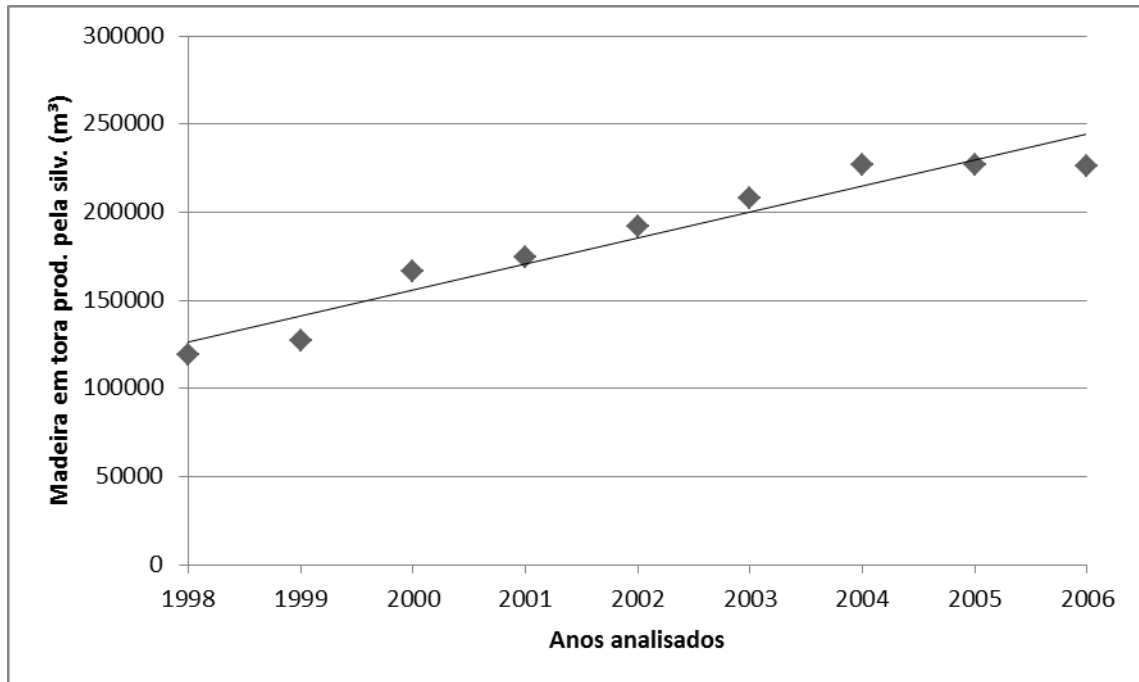


Figura 5.20 - Tendência de crescimento da variável Madeira em tora produzida pela silvicultura no período analisado.

Tabela 5.8 - Equações de estimativa de tendências.

Variável (y)	Equação
NDVI	$y = 1,4654x - 2858,1$
PIB (Milhões R\$)	$y = 33,727x - 67113$
Madeira em tora prod. pela silv. (m³)	$y = 14766x - 3E+07$

Com base na tendência observada para o NDVI (Tabela 5.8) é esperado um aumento nos valores dessa variável nos próximos anos, com um incremento de 1,47 ao ano. O incremento obtido para o NDVI indica a diminuição das áreas naturais, as quais estão sendo substituídas pelas áreas de cultivos, conforme a hipótese feita para a elaboração dos cenários utilizando essa variável (Item 4.3). Isso é comprovado quando analisada a tendência do incremento das variáveis de PIB e Toras (respectivamente com 33,7 milhões de Reais e 14.766 m³ de toras por ano).

Com base nesses resultados, para o ano de 2010, é esperado um PIB de aproximadamente 683 milhões de Reais, sendo obtido considerando o PIB de 2006 acrescido de quatro vezes o incremento calculado para o total da área de estudos.

Da mesma forma, também para o ano de 2010 é esperada uma produção de toras pela silvicultura de 285.612 m³.

Salienta-se que os cenários de estimativa apresentados não possuem a dimensão espacial, a qual poderia ser realizada com o NDVI, juntamente com técnicas de modelagem dinâmica espacial, a qual é feita com aplicativos específicos de análise espacial acoplados a redes neurais.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Através do mapeamento do uso e cobertura do solo do município de Pedras Altas e sua análise relacionada com os dados socioeconômicos do município, foram observadas mudanças no uso e cobertura, sendo estas basicamente compostas pela substituição de áreas de vegetação natural por áreas com outros usos. Esta mudança está relacionada com as mudanças econômicas do município, com o aumento da renda alavancada pelo aumento da produção agropecuária. Apesar de verificadas em campo a existência de área de silvicultura em Pedras Altas, o aumento da renda ainda não é explicado por esta cultura, que no período analisado não apresentou produção significativa no município.

A elaboração e análise dos cenários permitiu verificar que o aumento do índice de vegetação na totalidade da área de estudos está diretamente relacionado ao aumento da produção agropecuária e da renda. As produções mais significativas identificadas foram a soja e a silvicultura. A partir disso pôde-se validar a hipótese de que o aumento das áreas de silvicultura influencia o aumento do NDVI. Com os cenários de tendência elaborados, tem-se em mãos também o valor do incremento de cada atividade, que determina a evolução dos valores das variáveis, segundo o cenário.

Atrelado ao surgimento de novas atividades e ao aumento das produções está o aumento da degradação do bioma, com a diminuição da harmonia entre produção econômica e preservação. Apesar de não se poder afirmar onde exatamente as mudanças irão ocorrer, entende-se que a análise dos cenários obtidos permite subsidiar um planejamento regional sustentável para os remanescentes do bioma em questão, e que a partir deste estudo possa se estabelecer uma metodologia para estudos de construção de cenários de estimativa de impactos das atividades econômicas nos remanescentes do bioma Pampa.

Constatou-se que o tempo de análise nos cenários para toda a área de estudos (nove anos) não permite obter uma série robusta de dados que possibilite a eliminação de tendências externas ao fenômeno observado. Frente a isso a recomendação para estudos posteriores é o aumento do período de tempo

analisado, o que permitirá analisar variabilidades que ocorrem em tempo mais extenso. Também indica-se a inclusão de estudos de distribuição espacial das tendências, o que adicionaria mais um aspecto no cálculo dos cenários. Entende-se que a implantação destas recomendações seria determinante para o aumento do grau de acurácia do estudo.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas – ABRAF **Por dentro do Eucalipto Aspectos sociais, ambientais e econômicos do seu cultivo.** Disponível em: <http://www.abraflor.org.br/duvidas/cartilha.asp#10> Acesso: outubro de 2010.

Batty, M. Approaches to modeling in GIS: Spatial representation and temporal dynamics, **In: GIS, spatial analysis, and modeling** (ed) ESRI Press D. J. Maguire; M. Batty e F. Michael, California – US, p.41-66. 2005.

Berlato, M. A.; Fontana, D. C. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura.** Porto Alegre: UFRGS, 2003. 110p.

Callegari-Jacques, S. M. **Bioestatística: Princípios e Aplicações.** Porto Alegre: Artmed, 2003.

Câmara, G.; Monteiro, A.; Druck, S.; Carvalho, M. Análise espacial e geoprocessamento. **In: Análise espacial de dados geográficos.** Druck, S.; Carvalho, M.; Câmara, G.; Monteiro, A. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. p.21-52.

Campbell, J. B. **Introduction to Remote Sensing.** 4th Edition. NY - US: Guilford Publications. 2007. 626p.

Centre National d'Etudes Spaciales - CNES **Vegetation Products** Disponível em: http://smc.cnes.fr/VEGETATION/A_produits.htm Acesso: setembro de 2010.

Centro de previsão de tempo e eventos climáticos – CPTEC **El Niño e La Niña**
Disponível em: http://enos.cptec.inpe.br/tab_lanina.shtml Acesso: setembro de 2010.

Chuvieco, E. Fig. 2.8 – Signaturas espectrais típicas de distintas cubiertas **In: Fundamentos de Teledetección Espacial**. 2ª Ed. Madrid: Ediciones Rialp, 1995. p.59

Cunha, S. B. da; Guerra, A. J. T. (org.) **Geomorfologia do Brasil**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. 392p.

Fonseca, E. L. **Desenvolvimento de modelo da disponibilidade de fitomassa aérea para formações campestres naturais a partir de dados espectrais orbitais e agrometeorológicos**. São José dos Campos: INPE, Tese de Doutorado. 2004.

Fonseca, E. L.; Caresani, J. R. F.; Varella A. C. Caracterização espectral multitemporal dos cereais de estação fria em imagens de satélite com média resolução espacial. **In: Ciência Rural v.40 nº. 10**. Santa Maria. p.2053-2059

Fontoura, L. F. M. **Macanudo Taurino: uma espécie em extinção**. São Paulo, USP, Tese de Doutorado. 2000.

Fontoura, L. F. M.; Pizzato, F. Recordações do Pampa - estudo das transformações da atividade peucária no Rio Grande do Sul. **In: Anais do 12 Encontro de Geografos de America Latina**. Montevideo - Uruguay. 2009.

Goel, N. S. Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. **In: Remote Sensing Reviews**, v.4, n.1, p.1-212, 1988.

Gonçalves, D. M.; Oyama, M. D.; Vendrame, I. F. Cenários Futuros da Extensão de Áreas Antropizadas nas Mesorregiões do Semi-Árido Nordeste: Estudo Preliminar, **In: Anais do XV Congresso Brasileiro de Meteorologia**. São Paulo - SP. 2008.

Google **Google Earth 5** Disponível em: <http://www.google.com/earth/index.html>
Acesso: setembro de 2010.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) **Divisão Regional**. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/default_div_int.shtm?c=1
Acesso: setembro de 2010(a).

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) **IBGE Cidades@**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1> Acesso: setembro de 2010(b).

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) **Mapas Físicos**. Disponível em: ftp://geofpt.ibge.gov.br/mapas/tematicos/fisico/RS_Fisico.pdf Acesso: outubro de 2010(c).

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/>
Acesso: janeiro 2010(d).

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) **Vetores dos municípios do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <ftp://geofpt.ibge.gov.br/vetores/> Acesso: outubro de 2010(e).

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Fluminense – IFF **Adaptação do texto CLIMA E AGRICULTURA - Seminário sob a coordenação da Profª Eloiza Cristiane Torres da Universidade Estadual de Londrina – UEL.** Disponível em: [http%3A%2F%2Fpesca.iff.edu.br%2Fcurso-de-especializacao-em-pesca-aquicultura-e-ambiente%2Fmeteorologia-aplicada-a-pesca%2Fartigos%2FAdaptacao%2520do%2520texto%2520CLIMA%2520E%2520AGRICULTURA.p](http://3A%2F%2Fpesca.iff.edu.br%2Fcurso-de-especializacao-em-pesca-aquicultura-e-ambiente%2Fmeteorologia-aplicada-a-pesca%2Fartigos%2FAdaptacao%2520do%2520texto%2520CLIMA%2520E%2520AGRICULTURA.pdf)df Acesso: outubro de 2010.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE **Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres – CBERS Câmeras Imageadoras do CBERS-1, 2 e 2B** Disponível em: <http://www.cbears.inpe.br/?content=cameras1e2e2b> Acesso: setembro de 2010(a).

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE Divisão de Geração de Imagens – DGI **Banco de Imagens DGI/INPE** Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/> Acesso: setembro de 2010(b).

Instituto Pampa Brasil **Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição dos Benefícios da Biodiversidade Brasileira** <http://pampabrasil.org.br/site/images/stories/PDF/AP-Conservacao-PAMPA.pdf> Acesso: outubro de 2010.

IPCC – Painel Intergovernamental Sobre Mudanças do Clima 2007. **Mudança do Clima 2007: A Base das Ciências Físicas – Sumário Para os Formuladores de Políticas.**

Iracema F. A.; Cavalcanti [et al.] (org.) **Tempo e Clima no Brasil.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

ITT Visual Information Solutions - ITT VIS **Environment for Visualizing Images – ENVI.** Disponível em: www.ittvis.com Acesso: setembro de 2010.

Lillesand, T. M.; Kiefer, R. W.; Chipman, J. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 5th Edition. Wiley. 2004. 784p.

Machado, R. E.; Vettorazzi, C. A.; Xavier A. C. Simulação de Cenários Alternativos de Uso da Terra em uma Micro Bacia Utilizando Técnicas de Modelagem e Geoprocessamento. **In: Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 27:727-733, 2003.

Mazoyer, M.; Roudart, L. **Historie des agricultures du monde: Du néolithique à la crise contemporaine**. Paris, FR: Seuil, 1997. 531 p.

Ministério do Meio Ambiente – MMA, Portal Brasileiro sobre Biodiversidade - PORTALBio **A Biodiversidade**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=72> Acesso: outubro de 2010(a).

Ministério do Meio Ambiente – MMA, Portal Brasileiro sobre Biodiversidade – PORTALBio **O Pampa**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=72&idMenu=3647> Acesso: outubro de 2010(b).

Modis Land Disponível em: <http://modis-land.gsfc.nasa.gov/> Acesso: setembro de 2010.

Modis Reprojections Tools - MRT Disponível em: https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/tools/modis_reprojection_tool Acesso: setembro de 2010.

Moretin, P. A.; Toloi, C. M. **Séries Temporais**. 2ª ED. São Paulo: Atual, 1987.

Nabinger, C.; De Moraes, A.; Maraschin, G.E. Campos in southern Brazil. **In: Grassland ecophysiology and grazing ecology.** Lelaire, G.; Hodgson, J.; De Moraes, A.; Carvalho, P.C.F.; Nabinger, C. (ed.) Cambridge: CABI Publishing, 2000. cap.18, p.355-376

National Aeronautics and Space Administration - NASA **MOD 13 - Gridded Vegetation Indices (NDVI & EVI)** Disponível em: http://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproducts.php?MOD_NUMBER=13

Acesso: setembro de 2010.

Overbeck, G. E. [et al.] Os Campos Sulinos: um bioma negligenciado. **In: Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade.** Pillar, V. P. [et al.]. Editores. – Brasília: MMA, 2009. 403 p.

Rocchini, D.; Perry, G. L. W.; Salerno, M.; Maccherini, S.; Chiarucci, A. Landscape change and the dynamics of open formations in a natural reserve, **In: Landscape and urban planning.** Nº 77, p. 167–177. 2006.

SPSS Statistics 19. Disponível em: <http://www.spss.com.br/> Acesso: novembro de 2010.

Streck, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul.** 2ª ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222p.

Suertegaray, D. M. A.; Silva, L. A. P. Tchê Pampa: histórias da natureza gaúcha. **In: Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade.** Pillar, V. P. [et al.]. Editores. – Brasília: MMA, 2009. 403 p.

Vegetation - Free Vegetation Products **Regions of interest** Disponível em:
<http://free.vgt.vito.be/roi.php> Acesso: setembro de 2010.

Veloso H. P.; Rangel Filho A. L. R.; Lima J. C. A. **Classificação da Vegetação Brasileira, Adaptada a um Sistema Universal**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991. 124p.

VGTEExtract - version 1.4.1 Disponível em: <http://www.vgt4africa.org/VGTEExtract.do>
Acesso: setembro de 2010.

Vissac, B.; Hentgen, A. **Présentation du Département de Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement**. Paris, FR: INRA / SAD, 1979.

ANEXO 1 – Resultados do testes F para os cenários elaborados no estudo

PIB para Pedras Altas**ANOVA^b**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	63,051	1	63,051	1,052	,363 ^a
	Residual	239,752	4	59,938		
	Total	302,804	5			

a. Predictors: (Constant), NDVI

b. Dependent Variable: PIB

PIB**ANOVA^b**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	37805,858	1	37805,858	6,066	,043 ^a
	Residual	43628,245	7	6232,606		
	Total	81434,102	8			

a. Predictors: (Constant), NDVI

b. Dependent Variable: PIB

ARROZ**ANOVA^b**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	98950,606	1	98950,606	,151	,709 ^a
	Residual	4590696,283	7	655813,755		
	Total	4689646,889	8			

a. Predictors: (Constant), NDVI

b. Dependent Variable: ARROZ

MILHO**ANOVA^b**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1,314E8	1	1,314E8	3,279	,113 ^a
	Residual	2,804E8	7	4,006E7		
	Total	4,118E8	8			

a. Predictors: (Constant), NDVI

b. Dependent Variable: MILHO

SOJA**ANOVA^b**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2,501E8	1	2,501E8	18,412	,004 ^a
	Residual	9,509E7	7	1,358E7		
	Total	3,452E8	8			

a. Predictors: (Constant), NDVI

b. Dependent Variable: SOJA

BOVINOS**ANOVA^b**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3,887E8	1	3,887E8	,181	,684 ^a
	Residual	1,507E10	7	2,153E9		
	Total	1,546E10	8			

a. Predictors: (Constant), NDVI

b. Dependent Variable: BOVINOS

OVINOS**ANOVA^b**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1,578E9	1	1,578E9	3,080	,123 ^a
	Residual	3,586E9	7	5,123E8		
	Total	5,164E9	8			

a. Predictors: (Constant), NDVI

b. Dependent Variable: OVINOS

TORAS**ANOVA^b**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	5,808E9	1	5,808E9	4,943	,062 ^a
	Residual	8,226E9	7	1,175E9		
	Total	1,403E10	8			

a. Predictors: (Constant), NDVI

b. Dependent Variable: TORAS

CELULOSE**ANOVA^b**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	5,252E9	1	5,252E9	3,197	,117 ^a
	Residual	1,150E10	7	1,643E9		
	Total	1,675E10	8			

a. Predictors: (Constant), NDVI

b. Dependent Variable: CELULOSE