

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

**ANÁLISE DA RESPOSTA ESPECTRAL DA
VEGETAÇÃO DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL
(APA) DO IBIRAPUITÃ EM IMAGENS DO SENSOR
EOS/MODIS ASSOCIADAS AO SOLO E AOS
ELEMENTOS DO CLIMA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Carline Biasoli Trentin

Porto Alegre, RS, Brasil – 2011

ANÁLISE DA RESPOSTA ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO DA
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (APA) DO
IBIRAPUITÃ EM IMAGENS DO SENSOR EOS/MODIS
ASSOCIADAS AO SOLO E AOS ELEMENTOS DO CLIMA

por

Carline Biasoli Trentin

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Área de Concentração em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Sensoriamento Remoto.**

Orientadora: Dra. Eliana Lima da Fonseca
Co-orientadora: Dra. Tatiana Mora Kuplich

Porto Alegre, RS, Brasil

2011

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**Análise da resposta espectral da vegetação da Área de Proteção
Ambiental (APA) do Ibirapuitã em imagens do sensor
EOS/MODIS associadas ao solo e aos elementos do clima**

elaborada por
Carline Biasoli Trentin

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Sensoriamento Remoto

Comissão Examinadora:

Eliana Lima da Fonseca, Dra. (UFRGS)
(Presidente/Orientadora)

Tatiana Mora Kuplich, Dra. (INPE)
(Co-Orientadora)

Diógenes Salas Alves, Dr. (INPE)

Ricardo Wanke de Melo, Dr. (UFRGS)

Dejanira Luderitz Saldanha, Dra. (UFRGS)

Porto Alegre, 11 de Março de 2011.

CIP - Catalogação na Publicação

Trentin, Carline Biasoli

ANÁLISE DA RESPOSTA ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO DA
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (APA) DO IBIRAPUITÃ EM
IMAGENS DO SENSOR EOS/MODIS ASSOCIADAS AO SOLO E AOS
ELEMENTOS DO CLIMA / Carline Biasoli Trentin. --
2011.

73 f.

Orientadora: Eliana Lima da Fonseca.

Coorientadora: Tatiana Mora Kuplich.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Centro Estadual de Pesquisas em
Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Programa de Pós-
Graduação em Sensoriamento Remoto, Porto Alegre, BR-
RS, 2011.

1. comportamento espectral. 2. variáveis
climáticas. 3. vegetação campestre. I. Fonseca,
Eliana Lima da, orient. II. Kuplich, Tatiana Mora,
coorient.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Aos meus pais
Dimas e Neiva Trentin

AGRADECIMENTOS

A *Deus*, pela vida.

Aos meus *pais* e aos meus *irmãos*, pelo amor, carinho e apoio incondicional.

À *Universidade Federal do Rio Grande do Sul* e ao *Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto*, pela possibilidade de cursar um ensino superior gratuito e de qualidade.

Aos *professores e colegas* do curso de pós-graduação em Sensoriamento Remoto, do laboratório de Geotecnologias Aplicadas, LEAA, e em especial às orientadoras, *Eliana Fonseca*, e *Tatiana Kuplich*, pelos ensinamentos, sugestões e amizade.

À *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)*, pela oportunidade de bolsa de pós-graduação.

Ao *Programa Nacional de Cooperação Acadêmica (PROCAD)/CAPES*, pela possibilidade de intercâmbio com Programa de Pós-graduação do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Ao *INPE*, e em especial aos *pesquisadores, colegas e amigos*, pela estrutura disponibilizada, pela recepção, hospitalidade e contribuição durante o período em São José dos Campos/SP.

Aos *verdadeiros amigos* que sempre estiveram presentes, compartilhando e apoiando nos momentos difíceis, em especial *Daniela, Eléia, Hugo, Magno, Miguel, Vanessa* e *Vianei*.

Enfim, à todos que de alguma forma contribuíram na realização deste trabalho.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Análise da resposta espectral da vegetação da Área de Proteção Ambiental (APA) do Ibirapuitã em imagens do sensor EOS/MODIS associadas ao solo e aos elementos do clima

AUTORA: CARLINE BIASOLI TRENTIN
ORIENTADORA: ELIANA LIMA DA FONSECA
CO-ORIENTADORA: TATIANA MORA KUPLICH

Porto Alegre, 11 de Março de 2011

O conhecimento da fenologia é baseado nas observações de períodos de desenvolvimento da planta. Mudanças intra e interanuais na temperatura e precipitação podem influenciar diretamente as diferentes fases da fenologia, assim como as condições de umidade dos diferentes tipos de solo ao qual a vegetação está associada. O sensoriamento remoto é uma ferramenta que torna possível a aquisição de informações para análise espacial e temporal da vegetação. Este trabalho apresenta um estudo sobre as variações da resposta espectral da vegetação campestre natural na Área de Proteção Ambiental (APA) do Ibirapuitã, localizada no bioma Pampa, avaliando suas relações com os elementos do clima. Para isso, a metodologia compreendeu a coleta de dados climáticos de temperatura média do ar e precipitação pluvial; dados orbitais a partir de imagens de média resolução espacial do sensor MODIS para o período de 2000 a 2009, com posterior estimativa da correlação estatística entre estes dados. Além disso, utilizou-se o produto SRTM para auxiliar definição da grade amostral, em função da altimetria e solo. Os resultados mostraram os períodos de crescimento/desenvolvimento da vegetação campestre natural associados às estações do ano, com um período de crescimento nas estações quentes, diminuição da reflectância na região espectral do visível e aumento da reflectância no infravermelho próximo. Observou-se também, um período de senescência na estação fria do ano, onde o comportamento espectral da vegetação apresenta um aumento da reflectância na região espectral do visível e diminuição da reflectância no infravermelho próximo. As diferenças na reflectância da vegetação para cada tipo de solo foi observada para solos mais profundos, capazes de armazenar mais água. De maneira geral, verificou-se que a resposta espectral da vegetação campestre apresentou relação com as variações de temperatura média do ar e precipitação na região, respondendo às variáveis meteorológicas com um atraso aproximado de dezesseis (16) dias. Verificou-se assim que dados MODIS do infravermelho próximo, são adequados para monitorar o início da estação de máximo crescimento da vegetação campestre natural da APA do Ibirapuitã que se inicia na primavera. Este período está relacionado com a temperatura média do ar.

Palavras-chave: comportamento espectral, variáveis climáticas, vegetação campestre

ABSTRACT

Master Dissertation
Program of Post Graduation on Remote Sensing
Federal University of Rio Grande do Sul – Brazil

Analysis of the spectral response of the vegetation in the Ibirapuitã environmental protected area (APA) using EOS / MODIS image sensor associated with soil and climate elements

AUTHORA: CARLINE BIASOLI TRENTIN
ADVISORA: ELINA LIMA DA FONSECA
CO-ADVISORA: TATIANA MORA KUPLICH
Porto Alegre, March 11th, 2011

The knowledge of phenology is based on observations of periods of plant development. Inter-annual changes in temperature and rainfall may directly influence the different stages of phenology, as well as the moisture conditions of different soil types to which the vegetation is associated. Remote sensing is a tool which allows the acquisition of information for spatial and temporal analysis of vegetation. This work has aimed to study the variations of the natural grassland spectral response in the Ibirapuitã environmental protected area, which belongs to the Pampa biome, evaluating their relationship with the elements of climate. The methodology has consisted of collection of meteorological data, such as air temperature and rainfall, and orbital data from medium spatial resolution MODIS images, which covered the period from 2000 to 2009. It has also performed a statistical correlation among those data. In addition, a SRTM-defining product has employed as sampling grid, depending on elevation and soil. The results have showed periods of growth and development of natural grassland vegetation associated with the seasons, with a growth period during the warm seasons, and with a decrease of the reflectance in the visible spectrum and with an increase in the near infrared one. It was also observed a period of senescence during the cold season, where the spectral characteristics of the vegetation present a increase of the reflectance in the visible spectrum and with an decrease in the near infrared one. The differences in reflectance of vegetation in each soil type have showed most prominent in the deeper ones, which have a large water storage capacity. Overall, it has been observed a tight coupling between the spectral response of grassland vegetation and changes in air temperature and rainfall in the study area, so that the former has responded to the meteorological variables with a delay of approximately sixteen (16) days. Near-infrared MODIS data have been showed suitable to monitor the beginning of the season of maximum growth of natural grassland vegetation in the APA of the Ibirapuitã of which begins in spring. This period is mainly related to air temperature.

Keywords: spectral analysis, climate variables, grassland

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Distribuição espacial do bioma Pampa no estado do Rio Grande do Sul.....	14
Figura 2.2: Exemplo de uma topossequência de solos, indicando a ocorrência de diferentes classes de solo em relação à topografia.....	16
Figura 2.3: Temperatura do ar média anual no estado do Rio Grande do Sul	18
Figura 2.4: Precipitação pluvial média anual no estado do Rio Grande do Sul.....	18
Figura 2.5: Efeitos do fenômeno La Niña (A) nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro e (B) nos meses de junho, julho e agosto	20
Figura 2.6: Efeitos do fenômeno El Niño (A) nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro e (B) nos meses de junho, julho e agosto	20
Figura 2.7: Curva média da produção de forragem total no bioma Pampa nos diferentes períodos do ano	23
Figura 2.8: Curva espectral média típica de uma folha verde	27
Figura 3.1: Localização da APA do Ibirapuitã / RS.....	32
Figura 3.2: Cenas do sensor MODIS na grade de referenciamento das imagens. Em destaque, a cena utilizada no trabalho.....	34
Figura 3.3: Localização das estações meteorológicas distribuídas no entorno da APA do Ibirapuitã	36
Figura 4.1: Grade amostral em função do tipo de solo na APA do Ibirapuitã	39
Figura 4.2: Imagem TM/Landsat composição colorida 543 (RGB) e localização dos pontos amostrais na APA do Ibirapuitã	40
Figura 4.2: Precipitação pluvial acumulada e temperatura média do ar a cada 16 dias ao longo do ano na APA do Ibirapuitã no período de 2000 a 2009	41
Figura 4.3: Variação da temperatura média do ar ao longo dos anos de 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 e 2009 na APA do Ibirapuitã.....	43
Figura 4.4: Variação da precipitação pluvial média ao longo dos anos de 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 e 2009 na APA do Ibirapuitã.....	44
Figura 4.5: Reflectância espectral da vegetação campestre natural da APA do Ibirapuitã na banda do azul nos anos de 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 e 2009, nos solos Argissolo (PE), Neossolo (Re) e Planossolo (PL).....	46
Figura 4.6: Reflectância espectral da vegetação campestre natural da APA do Ibirapuitã na banda do vermelho nos anos de 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 e 2009, nos solos Argissolo (PE), Neossolo (Re) e Planossolo (PL)	47

Figura 4.7: Reflectância espectral da vegetação campestre natural da APA do Ibirapuitã na banda do infravermelho próximo nos anos de 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 e 2009, nos solos Argissolo (PE), Neossolo (Re) e Planossolo (PL).....	49
Figura 4.8: Reflectância espectral da vegetação campestre natural da APA do Ibirapuitã na banda do infravermelho médio nos anos de 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 e 2009, nos solos Argissolo (PE), Neossolo (Re) e Planossolo (PL).....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Ocorrência do fenômeno ENOS (El Niño e La Niña) nos anos estudados	19
Tabela 2.2: Características do sensor MODIS	29
Tabela 4.1: Resultado do teste de correlação entre a reflectância das bandas espectrais e precipitação pluvial para cada estação do ano no período de 2000 a 2009.....	52
Tabela 4.2: Resultado do teste de correlação entre a reflectância das bandas espectrais e temperatura média do ar para cada ano no período de 2000 a 2009	53
Tabela 4.3: Resultado do teste de correlação entre a reflectância das bandas espectrais e temperatura média do ar para cada estação do ano no período de 2000 a 2009	56
Tabela 4.4: Resultado do teste de correlação entre a reflectância das bandas espectrais e temperatura média do ar para cada ano no período de 2000 a 2009	58

SUMÁRIO

<i>CAPÍTULO I</i>	12
<i>INTRODUÇÃO</i>	12
1.1 Objetivos	12
1.1.1 Objetivo geral	12
1.1.2 Objetivos específicos.....	13
<i>CAPÍTULO II</i>	14
<i>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</i>	14
2.1 Bioma Pampa	14
2.2 Geomorfologia e Solo	15
2.2.1 Associação entre vegetação e solo	16
2.3 Clima do Rio Grande do Sul	17
2.3.1 Fenômeno ENOS.....	19
2.4 Fotossíntese e produção primária	21
2.4.1 Mudanças climáticas e efeitos na vegetação	21
2.5 Fenologia	22
2.6 Comportamento espectral da vegetação	26
2.7 O sensor MODIS	29
2.8 Projeto SRTM	30
2.9 Análise estatística	31
<i>CAPÍTULO III</i>	32
<i>MATERIAL E MÉTODOS</i>	32
3.1 Área de Estudo	32
3.2 Organização do banco de dados	33
3.3 Definição da grade amostral	34
3.4 Dados de clima	36
3.5 Construção dos perfis espectrais	37
3.6 Análise estatística	37
<i>CAPÍTULO IV</i>	39
<i>RESULTADOS E DISCUSSÃO</i>	39
4.1 Solos e grade amostral	39
4.2 Análise dos dados climáticos	41
4.3 Análise dos perfis espectrais	45

4.4 Relação entre dados espectrais e precipitação pluvial.....	51
4.4.1 Média de 10 anos.....	51
4.4.2 Bandas espectrais e estações do ano	52
4.5.2 Bandas espectrais e estações do ano	57
4.5.3 Tipo de solo.....	61
<i>CAPITULO V</i>.....	62
<i>CONSIDERAÇÕES FINAIS</i>.....	62
<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>.....	64
<i>ANEXO 1</i>.....	70
Coordenadas dos pontos de amostragem	70

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Segundo o quarto relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (2007), a estrutura e função dos ecossistemas têm sido alteradas em decorrência da elevação da temperatura em escalas regional e global. Uma das causas desta elevação da temperatura seria o aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera. A taxa anual de aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera foi a mais elevada durante os últimos 10 anos, sendo que as mudanças no uso da terra têm contribuído com uma parcela significativa dessas emissões. Estima-se que a absorção líquida de carbono pelos ecossistemas terrestres atinja o ápice antes de meados deste século e então diminua ou até mesmo reverta, ampliando a mudança do clima. No entanto, a ausência de informações detalhadas impede uma atribuição mais completa destes fenômenos aos reais causadores.

Estudos utilizando imagens de satélite têm sido realizados com o objetivo de estabelecer a relação entre os fatores climáticos e as diferentes formações vegetais, uma vez que estas imagens possibilitam monitorar continuamente os processos dinâmicos da vegetação. Nos últimos anos, trabalhos relacionados à fenologia tiveram um aumento na sua importância devido ao contexto de mudanças climáticas, as quais podem alterar o início das fases fenológicas, como o período de crescimento e a distribuição da vegetação (MENZEL et al., 2001).

Pesquisas recentes também demonstram uma variação na produção de biomassa aérea da vegetação campestre natural em função do tipo de solo ao qual a vegetação está associada, disponibilidade de nutrientes e água, sendo diferenciada de acordo com as épocas do ano (GIRARDI-DEIRO et al., 1992; BOLDRINI, 1997; SILVEIRA et al. 2005; FONSECA et al. 2006). Entretanto, ainda não existem estudos em escala regional que relacionem a fenologia dos campos e sua produtividade/biomassa à dinâmica climática.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a variação da resposta espectral da vegetação campestre natural da APA do Ibirapuitã detectada em imagens de satélite adquiridas com o sensor EOS – MODIS e verificar sua associação com os elementos do clima em série de 10 anos de dados.

1.1.2 Objetivos específicos

Definir uma grade amostral para monitorar a vegetação campestre natural a partir do SRTM;

Monitorar a resposta espectral da vegetação campestre natural da APA do Ibirapuitã através da construção de perfis espectrais;

Comparar a resposta espectral da vegetação campestre natural para cada tipo de solo identificado;

Verificar a associação dos eventos fenológicos com os dados climáticos de temperatura média do ar e precipitação pluvial em uma série de 10 anos através de análise de correlação.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Bioma Pampa

O bioma Pampa apresenta tipologia vegetal dominante herbáceo/arbustiva, ocupando uma área de 176.496 Km² correspondente a 2,07% do território nacional (IBGE, 2004). Este bioma no Brasil se restringe ao Rio Grande do Sul ocupando originalmente 63% do território do estado (Figura 2.1). Apresenta relevo de planícies, onde se destacam tabuleiros e coxilhas compondo suaves ondulações. A vegetação característica é predominantemente herbácea, com verão quente e seco e inverno frio e úmido (BOLDRINI, 2009). Também se observa a presença de matas ciliares, de composição arbóreo - arbustivo que acompanham o curso dos rios, em mosaicos com os campos.

As diferentes formações vegetais existentes no interior do bioma foram definidas de forma natural pelo tipo de solo, relevo e de forma antrópica devido ao manejo da atividade pastoril. A vegetação campestre é utilizada como suporte forrageiro para a pecuária, sendo a principal fonte de alimento para os animais (RAMBO, 2005).



Figura 2.1: Distribuição espacial do bioma Pampa no estado do Rio Grande do Sul
Fonte: Adaptado de Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (2010)

Os campos do bioma Pampa são fisionomicamente caracterizados pelas gramíneas que constituem o grupo dominante e podem ser subdivididos em: (a) campos de barba de bode, com

vegetação relictual e gramíneas predominantemente estival de metabolismo fotossintético C₄ e poucos representantes do ciclo hibernal com metabolismo fotossintético C₃, (b) campos de solos rasos, onde vegetam gramíneas cespitosas de porte baixo como *Aristida murina*, *A. uruguayensis*, *Bouteloua megapotamica*, *Eustachys brevipila*, *Microchloa indica*, *Tridens hackelii* e *Tripogon spicatus*, (c) campos de solos profundos, destacando-se as gramíneas estivais como o capim-forquilha (*Paspalum notatum*), capim-caninha (*Andropogon lateralis*), cola-de-lagarto (*Coelorachis selloana*), e capim-melador (*Paspalum dilatatum*), e as hibernais como a flechilha (*Stipa setigera*) e o cabelo-de-porco (*Piptochaetium stipoides*), (d) campos dos areais, destacando-se *Axonopus argentinus*, *Elyonurus* sp. (o capim-limão) e *Paspalum nicorae*, além dessas, também se desenvolvem espécies endêmicas e relictual, (e) vegetação savanóide, que apresenta um maior equilíbrio entre gramíneas e compostas sendo comuns espécies de gramíneas cespitosas eretas, como as barbas-de-bode (*Aristida jubata*, *A. filifolia*, *A. spegazzini*, *A. circinalis* e *A. venustula*), *Andropogon ternatus*, *A. selloanus* e *Stipa filifolia*, (f) campos do centro do estado, com representantes de vegetação tropical e subtropical, e (g) campos litorâneos, destacando-se as leguminosas *Stylosanthes leiocarpa*, *Indigofera sabulicola*, *Desmodium adscendens*, *D. barbatum*, *D. incanum*, *Adesmia latifolia*, *Vigna longifolia* e *V. luteola* comuns nesta região (BOLDRINI, 2009).

O bioma Pampa é composto por diversas litologias constituindo os domínios morfológicos do Escudo Sul-riograndense e da Depressão Periférica. No Escudo Sul-riograndense predominam rochas ígneas plutônicas e vulcânicas, além de rochas metamórficas e sedimentares. O relevo apresenta altitudes entre 200 e 400 metros, sendo os topos aplainados e as vertentes dissecadas, com formas dominantes de colinas côncavo-convexas. A depressão periférica compreende terrenos sedimentares, formado por rochas sedimentares mesozóicas, que afloram nas bordas do escudo sul-rio-grandense, sobre as quais atuam processos morfogenéticos como a erosão fluvial (MÜLLER FILHO, 1970).

2.2 Geomorfologia e Solo

O processo de desgaste da superfície do terreno implica na fragmentação mecânica das rochas, na decomposição química e nos processos de intemperismo. O solo é o resultado da ação do intemperismo nas rochas e pelo grau de deposição no terreno. A taxa de denudação é regulada por inúmeros fatores, entre eles o relevo (declividade e altitude). Em regiões elevadas e com vertentes íngremes, a taxa de erosão e denudação são bem distintas das localizadas em regiões de pequena altitude e com vertentes suaves (BIGARELLA, 2003) (Figura 2.2).

No Rio Grande do Sul os tipos de solos são influenciados por diferentes fatores ambientais como a rocha (material de origem), o relevo e o clima (STRECK et al., 2008). Os solos rasos com perfis pouco desenvolvidos ocorrem em áreas de declive com relevo fortemente ondulado, com elevações de 50 a 200 metros de altitude e litologia de rochas vulcânicas. As áreas abrangidas pelos solos com perfis profundos são constituídas por relevos suavemente onduladas e longas extensões planas. São solos geralmente bem drenados e altamente intemperizados, predominantemente de rochas basálticas (EMBRAPA, 2006).

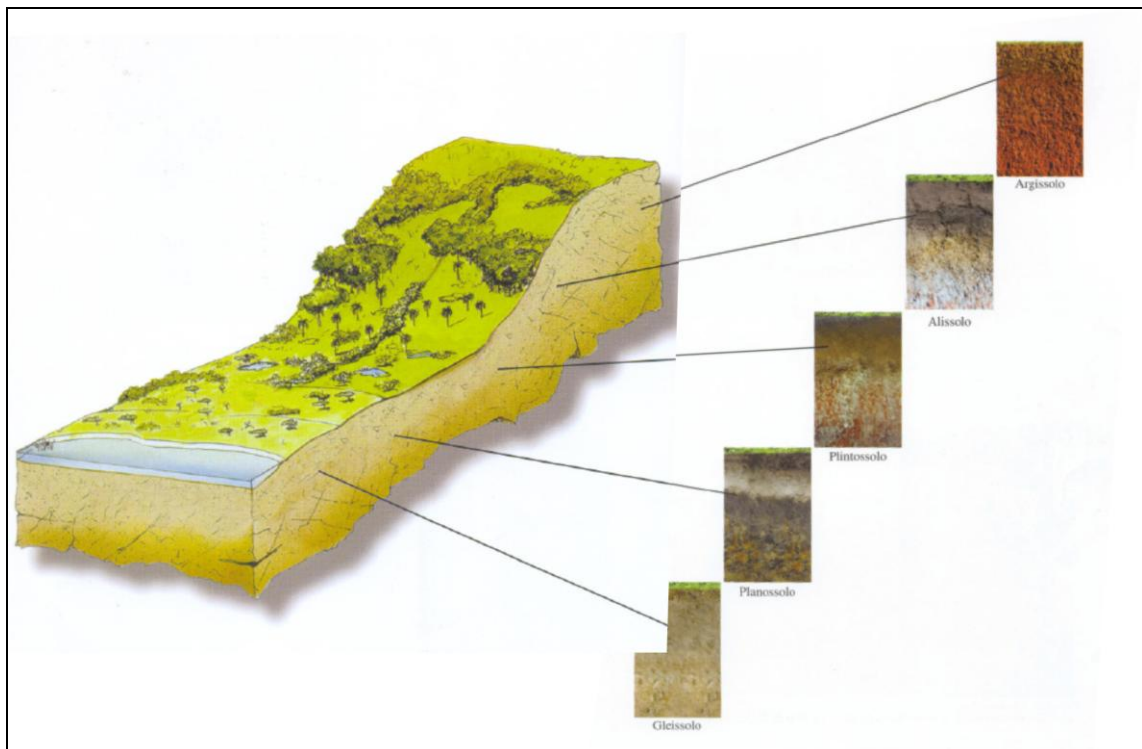


Figura 2.2: Exemplo de uma topossequência de solos, indicando a ocorrência de diferentes classes de solo em relação à topografia

Fonte: Streck et al., 2008

2.2.1 Associação entre vegetação e solo

A variação na produção de biomassa aérea da vegetação campestre natural pode estar associada ao tipo de solo (SILVEIRA et al. 2005), como demonstram os levantamentos florísticos feitos por Girardi-Deiro et al. (1992) e Boldrini (1997). Estes solos variam em função da topografia (CLARK et al. 1999; VELÁQUEZ-ROSAS et al., 2002), uma vez que o processo de formação de solos está relacionado com os processos hidrológicos e erosivos (FLORINSKY e KURYAKOVA, 1996).

A composição florística da vegetação define a alocação de biomassa (e conseqüente produtividade) e está relacionada com o tipo de solo e com a disponibilidade de nutrientes e

água, sendo diferenciada de acordo com as épocas do ano (FONSECA et al., 2006). Essa vinculação se deve principalmente a retenção e disponibilidade de água, profundidade e presença de nutrientes no solo.

Estudos relacionando a vegetação aos diferentes tipos de solo por meio do sensoriamento remoto, têm demonstrado relação entre o desenvolvimento da vegetação e as características de solo e relevo (BITENCURT e GONTIJO, 1993), principalmente em função da capacidade de armazenamento de água no solo em períodos de deficiência e/ou excesso (NICHOLSON e FARRAR, 1994). Além disso, Bettolli et al. (2010) observaram que a taxa de crescimento da vegetação depende do tipo de solo. Esta dependência ocorre para solos profundos, e tem relação com a quantidade de água disponível, sendo que a presença de muitas espécies são indicadores da má drenagem interna dos solos.

Especificamente na APA do Ibirapuitã, alguns trabalhos destacam que as características físico-químicas do solo refletem em uma composição florística diferenciada (SILVEIRA et al., 2005), e as diferenças nos parâmetros nutricionais da vegetação natural em diferentes tipos de solos, são comprovadas pela taxa de degradação da matéria seca. Fonseca et al. (2007), também demonstraram para o bioma Pampa que além do manejo da atividade pastoril, as características do solo subjacente influenciam diretamente a resposta espectral da vegetação.

2.3 Clima do Rio Grande do Sul

O clima do Rio Grande do Sul é subtropical e de acordo com a classificação de Köppen é considerado como Cfa (clima temperado úmido com verão quente) e Cfb (clima temperado úmido com verão ameno). Devido à posição geográfica, é influenciado pela movimentação e os encontro das massas de ar oriundas da região polar e da área tropical continental e Atlântica (NIMER, 1989).

A temperatura do ar média anual é de 17,9°C e apresenta grande variação sazonal, com verão quente e seco e inverno frio e úmido. No verão, principalmente em janeiro, a temperatura média é de 24°C, devido a pequena inclinação dos raios solares. No inverno, principalmente de maio a agosto, a temperatura média se mantém relativamente baixa, oscilando entre 10° e 15°C, em função das sucessivas invasões de frentes polares que trazem, geralmente, abundantes chuvas sucedidas por massa polar, acompanhada de queda de temperatura com a ocorrência de geadas (Figura 2.3). A região mais fria está situada nas maiores altitudes correspondentes aos campos do alto da serra enquanto a região mais quente situa-se no extremo oeste do Estado (NIMER, 1989).

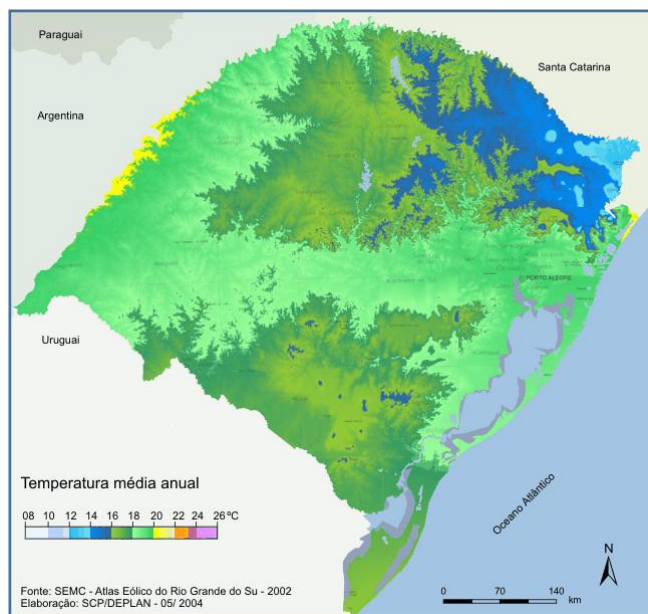


Figura 2.3: Temperatura do ar média anual no estado do Rio Grande do Sul
 Fonte: Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (2010)

A precipitação pluvial média anual é de 1.460mm (Figura 2.4), com frequente déficit hídrico climatológico no período do verão, sendo superior a este valor na metade norte do Estado e inferior na metade sul (BERLATO; FONTANA, 2003). O Estado do Rio Grande do Sul é afetado por diversos sistemas de tempo que são essenciais na determinação da precipitação, como a passagem de sistemas frontais, responsáveis por grande parte da precipitação pluviométrica durante o ano e com maior intensidade no inverno. No verão, a intensidade das chuvas depende da quantidade de umidade acumulada, associada à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (NIMER, 1989; SARTORI, 2003).

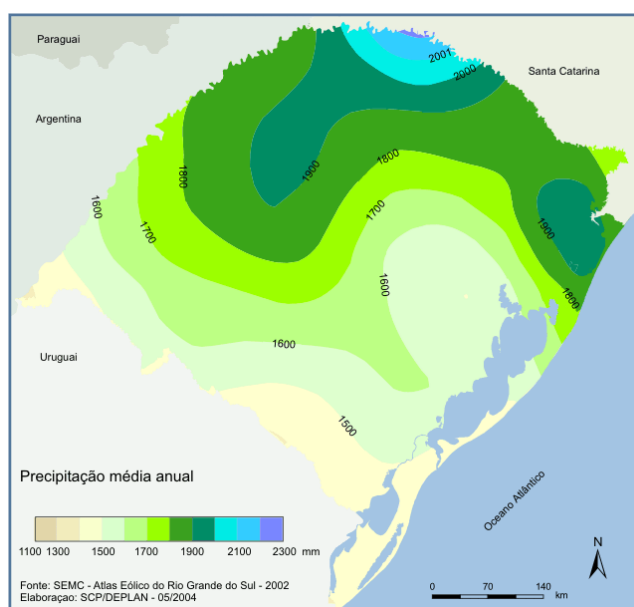


Figura 2.4: Precipitação pluvial média anual no estado do Rio Grande do Sul
 Fonte: Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (2010)

2.3.1 Fenômeno ENOS

O ENOS (El Niño Oscilação Sul) representa um fenômeno de interação atmosfera-oceano, associado às alterações ou anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) e dos ventos alísios na região do Pacífico Equatorial, próximo à costa oeste da América do Sul (CPTEC, 2010). O fenômeno ENOS está relacionado com as mudanças na circulação atmosférica, consequência do resfriamento /aquecimento das águas superficiais na região do Pacífico. Quando a anomalia de TSM é positiva, define-se o El Niño, enquanto a La Niña é caracterizada quando a anomalia de TSM na região é negativa. O fenômeno inicia-se no começo do segundo semestre de um ano e termina no final do primeiro semestre do ano seguinte (Tabela 2.1). A região sul do Brasil é caracterizada por excesso de chuvas em anos de El Niño e estiagem em anos de La Niña (BERLATO; FONTANA, 2003).

Tabela 2.1: Ocorrência do fenômeno ENOS (El Niño e La Niña) nos anos estudados

El Niño	La Niña
2002 – 2003	1998 – 2001
2004 - 2005	-
2006 - 2007	2007 – 2008
2009 - 2010	-
Legenda: Forte Moderada Fraco	Legenda: Forte Moderada Fraco

Fonte: Adaptada de CPTEC/ INPE

O fenômeno La Niña ocasiona a passagem rápida das frentes frias na região Sul do Brasil com tendência de diminuição da precipitação pluvial especialmente na primavera e início do verão e de temperatura abaixo da média, especialmente na primavera (Figura 2.5). Essa diminuição da temperatura e precipitação pode limitar o crescimento e desenvolvimento da vegetação, em função de que a precipitação pluvial em geral é insuficiente para atender as necessidades hídricas das plantas, sendo considerado os efeitos da La Niña desfavoráveis ao crescimento/desenvolvimento da vegetação (BERLATO; FONTANA, 2003).

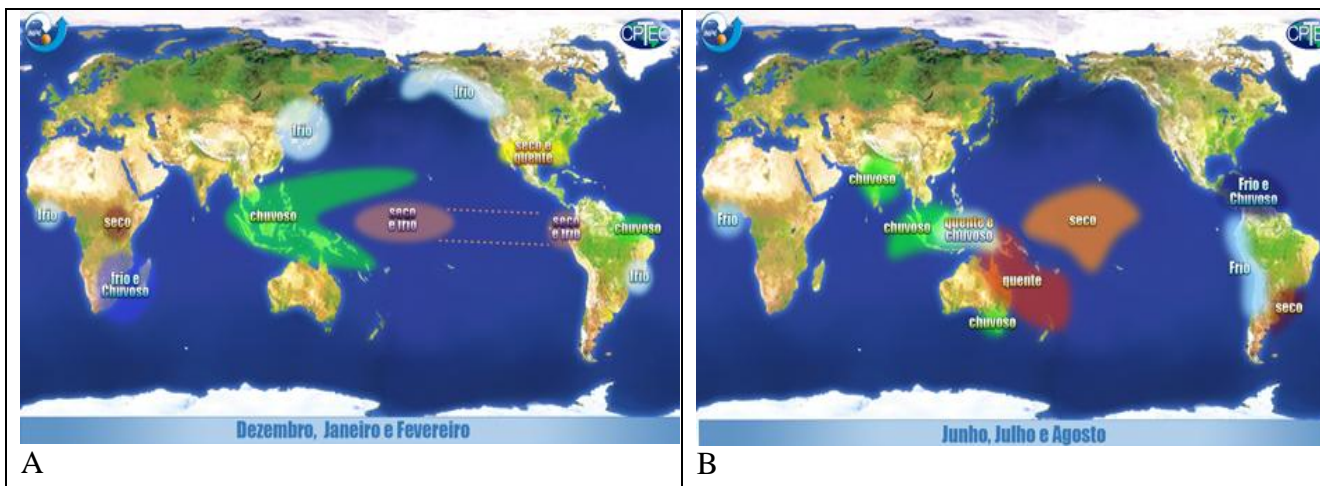


Figura 2.5: Efeitos do fenômeno La Niña (A) nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro e (B) nos meses de junho, julho e agosto

Fonte: CPTEC/ INPE

O fenômeno El Niño, na região Sul do Brasil ocasiona precipitações pluviais abundantes, principalmente na primavera e início do verão e precipitações acima do normal no final do outono e início do inverno do ano seguinte (Figura 2.6). Em anos de El Niño há uma forte tendência de as temperaturas médias mínimas no outono e início do inverno se mostrarem superiores as dos anos neutros. Esse aumento da precipitação resulta num maior vigor da vegetação, principalmente na estação fria, onde as baixas temperaturas com a ocorrência de geadas reduzem o seu crescimento. Dessa forma os efeitos do El Niño são considerados favoráveis ao crescimento/desenvolvimento da planta (BERLATO; FONTANA, 2003).

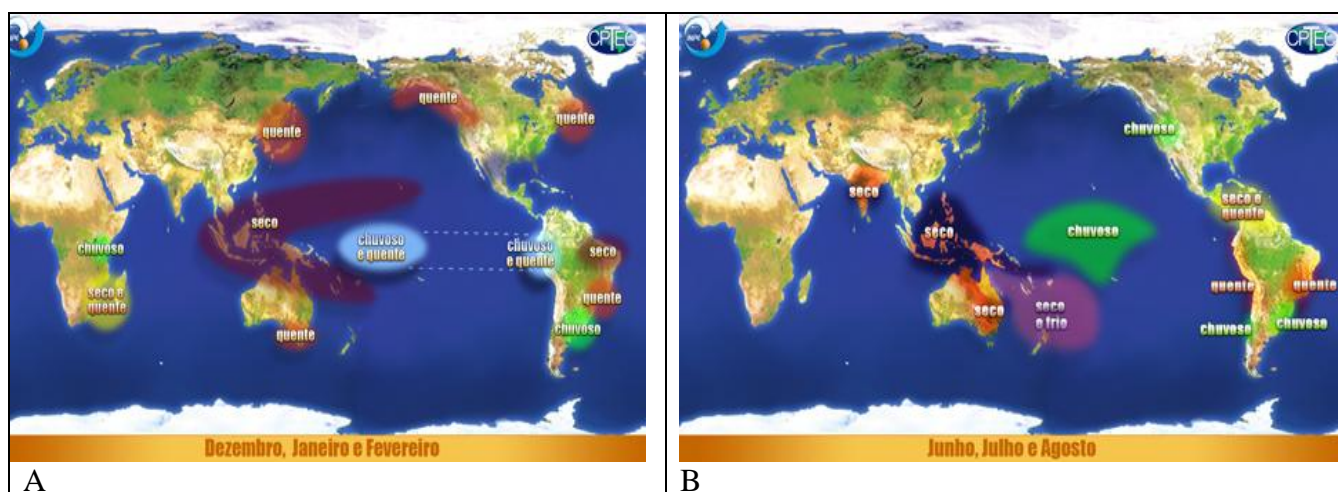


Figura 2.6: Efeitos do fenômeno El Niño (A) nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro e (B) nos meses de junho, julho e agosto

Fonte: CPTEC/ INPE

2.4 Fotossíntese e produção primária

Os ecossistemas terrestres desempenham papel fundamental no ciclo do carbono. A quantidade de carbono a ser fixada pela vegetação depende de vários fatores, entre eles, da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e sua utilização na fotossíntese, da composição florística e da estrutura do dossel que compõe a vegetação. A capacidade da vegetação em acumular carbono provém da atividade fotossintética. As plantas absorvem o gás carbônico e o convertem em biomassa utilizando água e luz solar, liberando oxigênio para a atmosfera.

A quantidade de carbono convertido em carboidratos durante a fotossíntese e fixado à vegetação é chamada de Produção Primária Bruta (PPB). Esta produção é necessária para o crescimento das plantas, onde parte é incorporada aos tecidos vegetais, como folhas, raízes e madeira, e outra parte é convertida novamente em CO₂. A diferença entre a fotossíntese e a respiração vegetal refere-se à Produção Primária Líquida (PPL). Nesse sentido, o balanço de carbono pode ser estimado a partir de mudanças nos estoques de carbono, ou através da medição dos fluxos de CO₂ entre ecossistemas terrestres e atmosfera (IPCC, 2001).

Estudos desenvolvidos na região amazônica ocupados por floresta secundária mostram que o acúmulo de carbono pela vegetação é proporcional a quantidade de biomassa produzida, e a biomassa verde possui relação diretamente proporcional à idade da vegetação secundária (FEARNSIDE e GUIMARÃES, 1996).

As mudanças no clima podem influenciar sensivelmente a composição e funções dos ecossistemas, afetando os fluxos de energia e matérias entre seus componentes (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009).

2.4.1 Mudanças climáticas e efeitos na vegetação

A intensificação das mudanças climáticas nas diferentes regiões do planeta tem afetado a qualidade de vida da população e os ecossistemas terrestres. De acordo com o quarto relatório do IPCC (2007) a concentração de gases do efeito estufa na atmosfera, principalmente gás carbônico (CO₂), tem aumentado em função das atividades humanas. O mesmo relatório ressalta ainda que o ambiente natural tem apresentado sinais de mudança, principalmente em função da elevação da temperatura em escala regional, mas as limitações e ausência de dados impedem uma atribuição mais completa desses fenômenos ao aquecimento da atmosfera. Um dos principais fatores apontados é que o aquecimento recente da atmosfera está afetando os sistemas biológicos terrestres, ocasionando mudanças como a antecipação na emissão de folhas na

primavera, conforme medições feitas com imagens de satélite, a partir da década de 1980 (IPCC, 2007).

A concentração de gases do efeito estufa na atmosfera associadas aos fatores climáticos e as características fisiográficas do terreno afetam a distribuição da vegetação e sua fenologia (ANDERSON et al., 2005), uma vez que as plantas são as principais responsáveis pela absorção de carbono da atmosfera através do processo de fotossíntese.

O carbono retorna para a atmosfera na forma de CO₂ através de processos biológicos (respiração e decomposição da matéria morta). O ciclo de carbono da biosfera terrestre pode afetar os níveis de CO₂ na atmosfera e tornar-se importante para o sistema climático (IPCC, 2007), pois as trocas de CO₂ entre superfície-atmosfera relacionadas à vegetação representam o equilíbrio desses sistemas.

2.5 Fenologia

O conhecimento da fenologia é baseado nas observações de períodos de desenvolvimento da planta (fenofases), como por exemplo, a germinação das sementes, a emergência das gemas, o desenvolvimento das folhas, a floração, a frutificação, a descoloração das folhas e a senescência. A organização dos períodos fenológicos proporciona informações ecológicas importantes sobre a duração média das diferentes fenofases, sobre o local e as diferenças determinadas pelo clima para as espécies em uma área (LARCHER, 2000).

A maioria das espécies vegetais possui ciclos fenológicos relativamente específicos. Por isso o monitoramento da biomassa ao longo do tempo pode fornecer importantes informações sobre a estabilidade do ecossistema natural (JENSEN, 2009). Para o bioma Pampa, aproximadamente 17% das espécies de gramíneas são C₃ em relação ao total de espécies que compõem a pastagem (GOMES, 1996). As espécies C₃ apresentam período de crescimento na estação fria, do outono até a primavera. Em comparação, as espécies de gramíneas C₄ apresentam como estação de crescimento o período que começa na primavera e vai até o outono, período com maior disponibilidade de radiação, já que a sua temperatura base é relativamente alta, o que limita o seu desenvolvimento no inverno. Desta maneira, o predomínio de espécies de gramíneas C₄ explica a maior produção de biomassa nas estações quentes do ano (Figura 2.7), visto que, essas espécies exigem temperaturas mais altas para o seu desenvolvimento (GOMES, 1996).

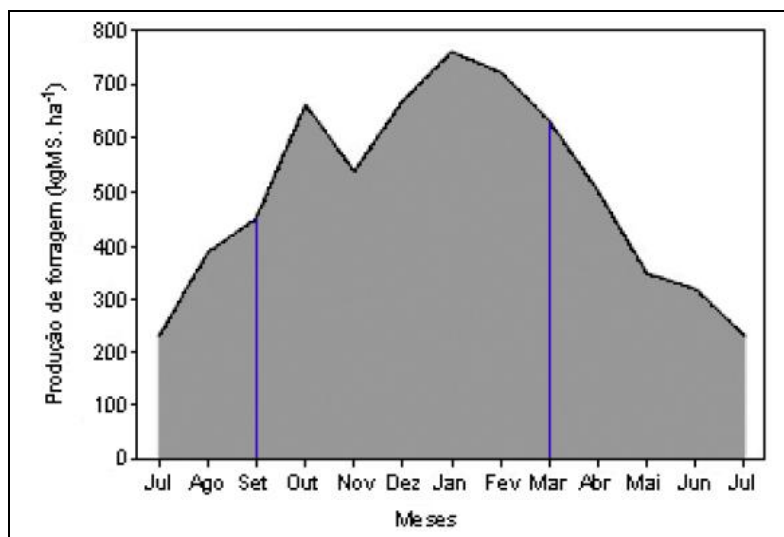


Figura 2.7: Curva média da produção de forragem total no bioma Pampa nos diferentes períodos do ano

Fonte: Adaptado de Machado (1999)

A análise das variações fenológicas em nível regional e sua interligação com os diferentes componentes do meio geográfico, é necessária para a compreensão do funcionamento dos ecossistemas em escala global. Mudanças interanuais na temperatura e precipitação podem influenciar diretamente o status da fenologia, como o período de crescimento e a taxa de acumulação de biomassa (LEE et al., 2002; ANDERSON et al., 2005).

Nos últimos anos, estudos relacionados à fenologia da vegetação têm sido realizados com a utilização de imagens de satélite, possibilitando monitorar os processos dinâmicos da vegetação, suas mudanças e os impactos que isso pode implicar ao meio ambiente. Geralmente estes estudos utilizam índices de vegetação como o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - é um indicador da densidade de biomassa verde e está relacionado com parâmetros de crescimento e desenvolvimento das plantas) e o EVI (Índice de Vegetação Realçado), mostrando grande relação entre a resposta da vegetação e os fatores ambientais, como a sazonalidade.

Entre os trabalhos realizados destaca-se a utilização do NDVI para o monitoramento e identificação do comportamento fenológico, a fim de representar a dinâmica intra-anual da vegetação (ZHANG et al., 2003), proporcionando o reconhecimento do início da estação de crescimento das plantas até a sua senescência e acompanhando o processo fenológico de cada tipologia em diferentes formações florestais e pastagens (WANG e TENHUNEN, 2004). Além disso, é possível verificar as mudanças na fenologia e diminuição de biomassa a partir das variações no comportamento temporal/espectral da vegetação e alteração nos valores de NDVI (BATISTA; SHIMABUKURO; LAWRENCE, 1993).

As mudanças na fenologia da vegetação estão relacionadas com as variáveis do meio físico, como o clima. A relação existente entre o clima e a fenologia combina questões de botânica aplicada com questões meteorológicas. Essa abordagem é baseada no início e na duração de alterações visíveis no ciclo de vida das plantas e procura correlações estatísticas entre fatores climáticos e períodos definidos do desenvolvimento de certas espécies (LARCHER, 2000).

Os padrões fenológicos podem ser influenciados pelos fatores climáticos como pluviosidade, temperatura e fotoperíodo (MORELLATO et al., 2000). Dessa forma, diversos estudos têm sido realizados para compreender o funcionamento dos ecossistemas, e as relações entre a fenologia da vegetação e os fatores climáticos utilizando dados de sensoriamento remoto.

Batista; Shimabukuro; Lawrence (1993) verificaram uma mudança na fenologia de diferentes tipos de vegetação no Brasil (floresta, cerrado e caatinga) com a diminuição da biomassa e queda nos valores de NDVI (AVHRR/NOAA) para anos mais secos, e observaram que a estação seca apresenta valores mais marcantes de mudanças na fenologia da vegetação. Da mesma forma, Canavesi et al. (2005) observaram variações no comportamento temporal/espectral de áreas de cerrado correlacionando com dados de precipitação, onde a vegetação natural respondeu significativamente no início e fim dos períodos mais chuvosos, com um atraso de quatro meses.

Trabalhos apontam a utilização do NDVI como um indicador de regime pluviométrico, como por exemplo, Barbosa (1998) que demonstrou que as distribuições espacial e temporal do NDVI do sensor AVHRR/NOAA e a precipitação mensal na região nordeste do Brasil, têm padrões semelhantes e são estatisticamente correlacionados. Por outro lado, Nicholson e Farrar (1994) concluíram que o NDVI está relacionado linearmente com a precipitação quando a faixa de precipitação mensal está entre 25-200 mm. Após este limite o NDVI aumenta lentamente com o acréscimo de precipitação ou mantém-se constante.

Já Almeida e Batista (1998) analisaram a relação entre precipitação e NDVI derivado de dados AVHRR na bacia do rio Amazonas, encontrando uma baixa correlação entre estas variáveis, verificando que para a Amazônia não se observa uma diferença grande entre ambas as análises, sendo que a maior influência é o tempo de resposta do NDVI à precipitação, que correspondeu a dois meses.

Anderson e Shimabukuro (2007) empregaram o NDVI a fim de registrar a fenologia e a sazonalidade da vegetação para o Estado do Mato Grosso, utilizando correlações com amostras de diferentes formações vegetais e precipitação com os índices de vegetação do produto MOD 13. Observaram que estes produtos mostram-se sensíveis para a detecção da sazonalidade da

vegetação, sendo que os valores de NDVI apresentaram uma boa correlação com a precipitação para a maioria das formações vegetais estudadas.

Na região do cerrado brasileiro, Becera et al. (2007) analisaram a relação do padrão sazonal da precipitação com a dinâmica sazonal da vegetação, a partir do NDVI e EVI em diferentes tipos de fisionomias do cerrado, os quais respondem de forma diferenciada aos padrões de precipitação, sendo que as fisionomias vegetais com maior disponibilidade hídrica são menos alteradas em períodos de menor precipitação (estação seca). Na comparação entre os índices de vegetação, observaram que o EVI mostra maior relação do que NDVI com o padrão de precipitação. Especificamente para o NDVI, estudos indicaram comportamento semelhante ao da precipitação, mostrando uma maior influência da precipitação do mês anterior na resposta do NDVI (LUCAS e SCHULER, 2007).

Outros trabalhos destacam além da precipitação, a relação entre a fenologia e a temperatura. Wang et al. (2003) demonstraram que existe uma relação entre a temperatura e precipitação e o NDVI, sendo que essas relações podem fornecer bases para prever mudanças na produtividade da vegetação associadas às variações registradas na precipitação e na temperatura.

Bencke (2005) verificou a existência de correlação entre as fenofases e as variáveis climáticas temperatura e pluviosidade, para espécies arbóreas em uma floresta semidecídua no estado do Rio Grande do Sul. As análises de correlação mostraram que as fenofases apresentam correlações mais significativas com a temperatura do que com a pluviosidade.

Em estudo desenvolvido para o bioma Pampa se verificou a existência de correlação entre os dados de NDVI com a temperatura, uma vez que o maior desenvolvimento das espécies vegetais encontradas ocorre na estação com maior disponibilidade de radiação e com temperatura base relativamente alta, o que limita o seu desenvolvimento em estações frias (BISSO et al 2009).

Geralmente, no outono ocorre uma diminuição do NDVI devido à diminuição da temperatura. O mesmo acontece no início do inverno em função da senescência da maioria das espécies que formam o campo nativo. Ao final do verão percebe-se um aumento do NDVI devido ao crescimento da vegetação nativa, assim como na primavera pelo rebrote da vegetação nativa, a qual responde ao aumento do fotoperíodo e da temperatura (RIZZI e FONSECA, 2001).

Bettolli et al. (2010) avaliaram a relação entre a produtividade da pastagem e a variabilidade climática e as possíveis implicações das mudanças climáticas futuras para o Uruguai. As correlações simples confirmaram quantitativamente a sensibilidade da vegetação à variabilidade do clima, sendo que a maior associação foi encontrada no outono (principalmente

com as variáveis relacionadas à precipitação) e no verão. Para os cenários futuros estudados, observaram que o aumento na temperatura mínima e máxima aumentaria a probabilidade de estresse da vegetação durante o verão, e no inverno poderiam existir efeitos negativos devido ao excesso hídrico.

As composições anuais de NDVI proporcionam ainda a identificação das variações na cobertura vegetal associadas a mudanças climáticas e ao fenômeno El Niño (BATISTA et al., 1997). Liu et al. (1991), utilizaram dados de NDVI para compreender a sua evolução mensal para anos secos e úmidos, observando que a maior correlação entre o NDVI e a quantidade de precipitação ocorre quando comparado com a precipitação do mês anterior, mostrando ainda que a distribuição da vegetação está relacionada aos impactos provocados pelo El Niño.

2.6 Comportamento espectral da vegetação

O estudo dos diferentes alvos presentes na superfície terrestre por meio da aplicação das técnicas de sensoriamento remoto requer um conhecimento sobre o comportamento espectral de cada um destes alvos. A radiação incidente nos alvos pode interagir de diferentes formas, e é seletiva em relação ao comprimento de onda e específicas para cada tipo de material, em função de sua estrutura atômica e molecular (SLATER, 1980). Em estudos da cobertura vegetal é possível extrair informações sobre a distribuição dos diferentes tipos de vegetação, estrutura do dossel, estado fenológico, condições de estresse, carência de nutrientes, entre outros (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009).

O fluxo radiante ao incidir sobre uma planta pode apresentar três formas de interação: absorvância, refletância e transmitância (NOVO, 2008). Na vegetação, a radiação absorvida pelos pigmentos contidos na folha corresponde a aproximadamente 50% do total que chega até a planta, auxiliando na síntese de compostos ricos em energia (fotossíntese), alterando estruturas moleculares e acelerando reações. A refletância é dada pela quantidade de energia refletida em razão da energia que incide na superfície das folhas ou do dossel. E a transmitância é a razão entre o fluxo transmitido através do dossel e das camadas que constituem a folha pelo fluxo incidente (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009; JENSEN, 2009).

A porção da energia absorvida é a de maior interesse nas pesquisas relacionadas à vegetação. No entanto, em sensoriamento remoto orbital ou suborbital, a absorvância é geralmente estimada a partir da quantificação da porção refletida, devido as restrições tecnológicas dos equipamentos contidos nos satélites, os quais registram a radiação refletida ou emitida pelos alvos da superfície terrestre. Nesse sentido, para se inferir sobre o estado da

vegetação considera-se o comportamento da energia refletida, permitindo uma medida indireta da radiação absorvida pela vegetação (MOREIRA, 2005).

A interação que acontece entre os dosséis vegetais e a energia eletromagnética no processo da fotossíntese está relacionada diretamente com a forma de registro dessas fisionomias pelos instrumentos de sensoriamento remoto (JENSEN, 2009). Cada fisionomia vegetal tem sua característica e estrutura e, respondem de forma diferente à disponibilização dos componentes envolvidos no processo de fotossíntese.

A fotossíntese é o processo de armazenamento de energia pelas plantas que ocorre com a presença de luz (JENSEN, 2009). A integração entre a vegetação e a presença de luz, proveniente principalmente do sol, desencadeia a resposta espectral da vegetação (Figura 2.8). No espectro visível (0,4 e 0,7 μm), a reflectância da vegetação fotossinteticamente ativa está associada à absorção da radiação pelos pigmentos da planta (principalmente pela clorofila) e não é superior a 20% (0,2 μm), sendo que o máximo nessa região corresponde a reflectância na porção verde. As clorofilas *a* e *b*, apresentam dois picos de absorção nos comprimentos de onda do azul (0,420 e 0,435 μm) e do vermelho (0,649 e 0,665 μm). Na região do espectro visível, a radiação é utilizada pelas plantas nos processos fisiológicos de acúmulo de biomassa, justificando a grande absorção apresentada pelas folhas nesta faixa de comprimento de onda (HALL e RAO, 1994).

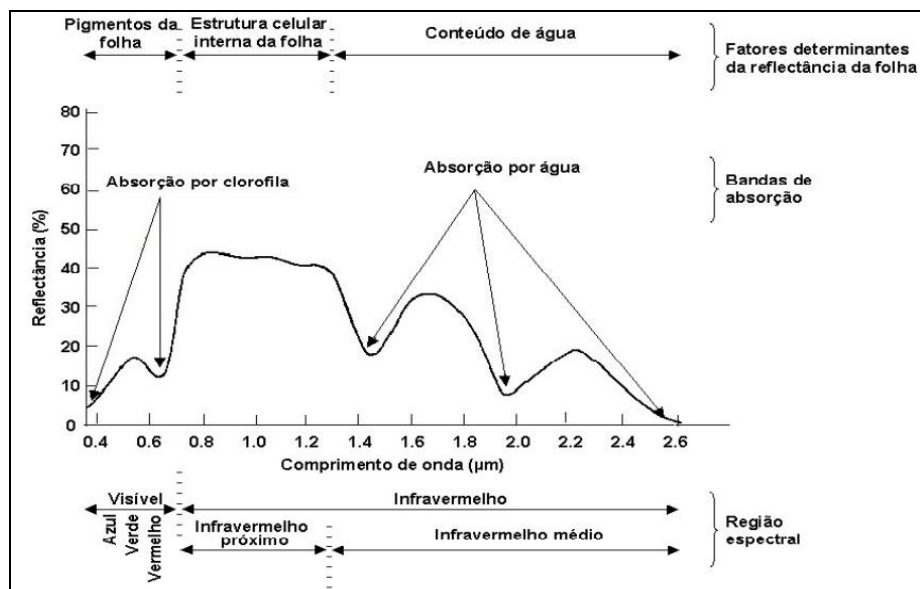


Figura 2.8: Curva espectral média típica de uma folha verde
Fonte: Modificada de Swain e Davis (1978)

A fotossíntese está intimamente relacionada à quantidade de radiação absorvida na região espectral do azul e do vermelho. A capacidade das folhas em realizar fotossíntese aumenta em conjunto com o crescimento da planta até atingir a maturidade fisiológica, a partir da qual, a taxa

fotossintética declina fortemente. Quando a vegetação atinge a fase senescente ocorre menor absorção da energia pelos pigmentos fotossintéticos nessa região caracterizando uma reflectância espectral maior na faixa visível do espectro (MOREIRA, 2005).

No infravermelho próximo, a vegetação apresenta alta reflectância em função das estruturas celulares com dimensões do comprimento de onda da radiação incidente, devido à não utilização desta radiação nos processos de crescimento das plantas. O espalhamento da radiação nesta porção do espectro eletromagnético é utilizado como um processo de resfriamento da folha, evitando o acúmulo de energia no interior da mesma (NOBEL, 1999). Na região do infravermelho médio, a reflectância da vegetação é influenciada pelo conteúdo de água presente nas folhas, sendo destacadas nos comprimentos de onda de 1,4; 1,9; 2,7 μm , (bandas de absorção da água) (GATES, 1965; NOVO, 2008; MOREIRA, 2005).

A reflectância espectral da vegetação, é mais elevada nos intervalos de comprimento de onda entre 0,6 e 1,2 μm , no vermelho e infravermelho próximo. Neste intervalo, a vegetação reflete cerca de 40 a 50% da energia incidente (LILLESAND e KIEFER, 1994).

As variações da resposta espectral da vegetação estão diretamente relacionadas com a quantidade de biomassa aérea da vegetação. Estudos demonstram que existe uma relação direta entre resposta no infravermelho próximo e variáveis relacionadas com biomassa, e uma relação inversa entre a resposta no visível, particularmente no vermelho, e variáveis relacionadas com a biomassa das plantas, ou seja, à medida que um dossel vegetal se desenvolve, a sua reflectância aumenta no infravermelho próximo e absorve cada vez mais no vermelho em função do aumento da fotossíntese (JENSEN, 2009).

À medida que a biomassa de folhas verdes aumenta, ocorre um aumento na quantidade de pigmentos fotossintetizantes e também um aumento na quantidade de espaços intercelulares por área, os quais influenciam diretamente na resposta espectral. O uso de sensoriamento remoto para o monitoramento da biomassa aérea da vegetação campestre é feito através de modelos estatísticos que relacionam a resposta espectral da vegetação com a biomassa aérea disponível no momento da passagem do satélite (BORK et al., 1999; TUELLER, 2001).

A reflectância de um dossel vegetal em imagens de satélite apresenta pequenas diferenças em relação a reflectância medida em uma folha isolada. A arquitetura do dossel (ângulo, distribuição, orientação e espaçamento das folhas), teor de pigmentos, conteúdo de água, grau de senescência e estresse nutricional ou ambiental, aos quais as plantas estão submetidas, são os principais fatores que definem a reflectância de um dossel. Na região do espectro visível a reflectância de uma folha apresenta valores mais altos do que os valores referentes ao dossel. Ao contrário, na região do infravermelho próximo, os valores de reflectância de um dossel são mais

altos e ocorre devido ao espalhamento múltiplo da radiação eletromagnética entre as camadas de folhas (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009).

2.7 O sensor MODIS

O sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) é um dos cinco sensores a bordo dos satélites Terra e Aqua do Sistema de Observação da Terra EOS (*Earth Observing System*) da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). Este sensor possui alta sensibilidade radiométrica (12 bits) e trabalha com 36 bandas espectrais cobrindo desde a região do visível até o infravermelho termal (0,62 a 14,38 μm), e gera imagens com resolução espacial de 250 metros para as bandas 1 e 2; 500 metros para as bandas 3 a 7 e 1000 metros para as outras 29 bandas (Tabela 2.2). Cada cena deste sensor cobre uma faixa de 2330 km de largura (NASA, 2010).

Tabela 2.2: Características do sensor MODIS

Órbita	Altitude de 705 km, cruzando o Equador as 10:30 h em modo descendente (Terra) e as 13:30 h no modo ascendente (Aqua), heliossíncrona, quase polar, circular
Taxa de varredura	20 rpm, ortogonal à órbita
Faixa imageada	2.330 km (ortogonal) por 10 km (direção de voo no nadir)
Telescópio	17,78 cm diâmetro, sem eixo único, focos separados, com planos de desvio intermediários.
Tamanho	1,0 x 1,6 x 1,0 m
Peso	228,7 kg
Potência	162,5 W (media orbital)
Taxa de dados	10.6 Mbps (pico); 6,1 Mbps (media orbital)
Quantização	12 bits
Resolução espacial	250 m (bandas 1-2), 500 m (bandas 3-7) 1000 m (bandas 8-36)
Vida útil	6 anos

Fonte: <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specification>

Essas regiões espectrais foram definidas para minimizar o impacto da absorção de gases atmosféricos. O sensor MODIS possui uma resolução espacial moderada e alta resolução temporal. É constituído de um instrumento eletro-óptico de varredura mecânica (“*Whiskbroom*”)

que utiliza o movimento do satélite para fornecer um imageamento na direção de vôle (*along track*) (NASA, 2010).

O sensor MODIS apresenta entre suas características: a) ampla cobertura espacial e espectral; b) continuidade nas tomadas de medidas nas regiões espectrais; e c) é a primeira ferramenta dos satélites EOS na condução das pesquisas de mudanças globais. As imagens MODIS têm sido utilizadas para a detecção de mudanças antropogênicas e naturais na cobertura vegetal, detecção e monitoramento da superfície terrestre, além de outros usos relevantes para a análise ambiental (NASA, 2010).

Para a vegetação, produtos como índices de vegetação estão disponíveis a cada 16 dias (produto MOD13), sendo calculados a partir dos dados de reflectância diários disponibilizados no produto MOD09. O produto MOD15 representa o índice de área foliar (IAF ou LAI – *leaf area index*) e a fração da radiação fotossinteticamente ativa (FPAR) absorvida pela vegetação da região coberta pela imagem a cada 8 dias. LAI e FPAR estão relacionados com a estrutura do dossel vegetal, sendo importantes indicadores de processos ecológicos, entre os quais a fotossíntese, evapotranspiração e produtividade primária líquida (JUSTICE et al., 1998).

Os produtos MODIS estão disponíveis gratuitamente através do site: (<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>). Para tratar os dados MODIS, existe a necessidade de se utilizar os programas desenvolvidos pela NASA, como o MRT (*MODIS Reprojection Tool*), que tem o objetivo de converter a projeção e o formato do produto, podendo também ser utilizado para realizar a mosaicagem (NASA, 2010).

2.8 Projeto SRTM

O projeto SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) é o resultado de uma missão espacial da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*), DLR (*Agência Espacial Alemã*) e ASI (*Agência Espacial Italiana*) com o objetivo de gerar um Modelo Digital de Elevação (MDE) da Terra usando a interferometria nas bandas C e X (*C/X-Band Synthetic Aperture Radar*), as quais fornecem modelos tridimensionais do terreno (JPL, 2010).

O objetivo deste projeto foi obter a mais completa base de dados topográfica digital de alta resolução da Terra. O projeto SRTM recebeu apoio de campo de levantamentos geodésicos, no qual foi empregado um método denominado Sistema de Posicionamento Global Cinemático (*Kinematic Global Positioning System*), o qual favorece a determinação de linhas de posições dadas por um veículo em movimento (JPL, 2010).

O sobrevôo ocorreu no período de 11 a 22 de fevereiro de 2000, no qual foram percorridas 176 órbitas. O processamento dos dados coletados visou à formação de um MDE mundial. A cobertura foi feita em 80% da área terrestre do planeta, entre latitudes 60° N e 56° S (VALERIANO, 2004).

As imagens SRTM podem ser adquiridas gratuitamente, através da NASA/USGS (*United States Geological Survey*), pelo endereço (<http://photojournal.jpl.nasa.gov/mission/SRTM>), no formato Tiff, com resolução de 3" ou 90 metros para a América do Sul. Para todos os estados brasileiros, estas imagens foram processadas pelo Laboratório de Geoprocessamento do Centro de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com o preenchimento das falhas existentes nos dados originais através de interpolação, convertendo para valores inteiros e para o Datum SAD 69, e posteriormente organizadas em forma de mosaicos com Modelos Digitais de Elevação, disponibilizando-os aos usuários (WEBER; HASENACK; FERREIRA, 2004).

2.9 Análise estatística

Os métodos estatísticos auxiliam na interpretação e comparações entre os dados que tornam-se muito úteis em estudos de sensoriamento remoto, principalmente por meio de análises estatísticas como correlação e regressão (CALLEGARI-JACQUES, 2003).

A medida da intensidade de associação entre duas variáveis quantitativas observadas em um diagrama de dispersão é calculada por meio do coeficiente de correlação (CALLEGARI-JACQUES, 2003). O coeficiente de correlação indica a relação entre duas variáveis que representam dados quantitativos. O coeficiente de correlação de Pearson é uma medida paramétrica do grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas x e y , e é calculado dividindo a covariância de duas variáveis pelo produto dos seus desvios-padrão (TRIOLA, 2008).

Assim, um valor do coeficiente de correlação (r) alto, embora estatisticamente significativo, não implica necessariamente numa relação de causa e efeito. A associação entre o conjunto de dados quantificado por meio do grau de correlação entre as amostras, retorna um valor r que varia entre -1 (correlação negativa perfeita) e +1 (correlação positiva perfeita) (TRIOLA, 2008).

CAPÍTULO III

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

Definiu-se como local para o estudo da fenologia da vegetação campestre, a Área de Proteção Ambiental (APA) do Ibirapuitã (Figura 3.1), A APA está localizada nos municípios de Alegrete (15,22%), Quaraí (12,22%), Santana do Livramento (56,81%) e Rosário do Sul (15,75%) no estado do Rio Grande do Sul com uma área de 318.767 hectares, conforme Decreto de Lei Federal nº. 529 de 20 de maio de 1992 (MMA, 2007).

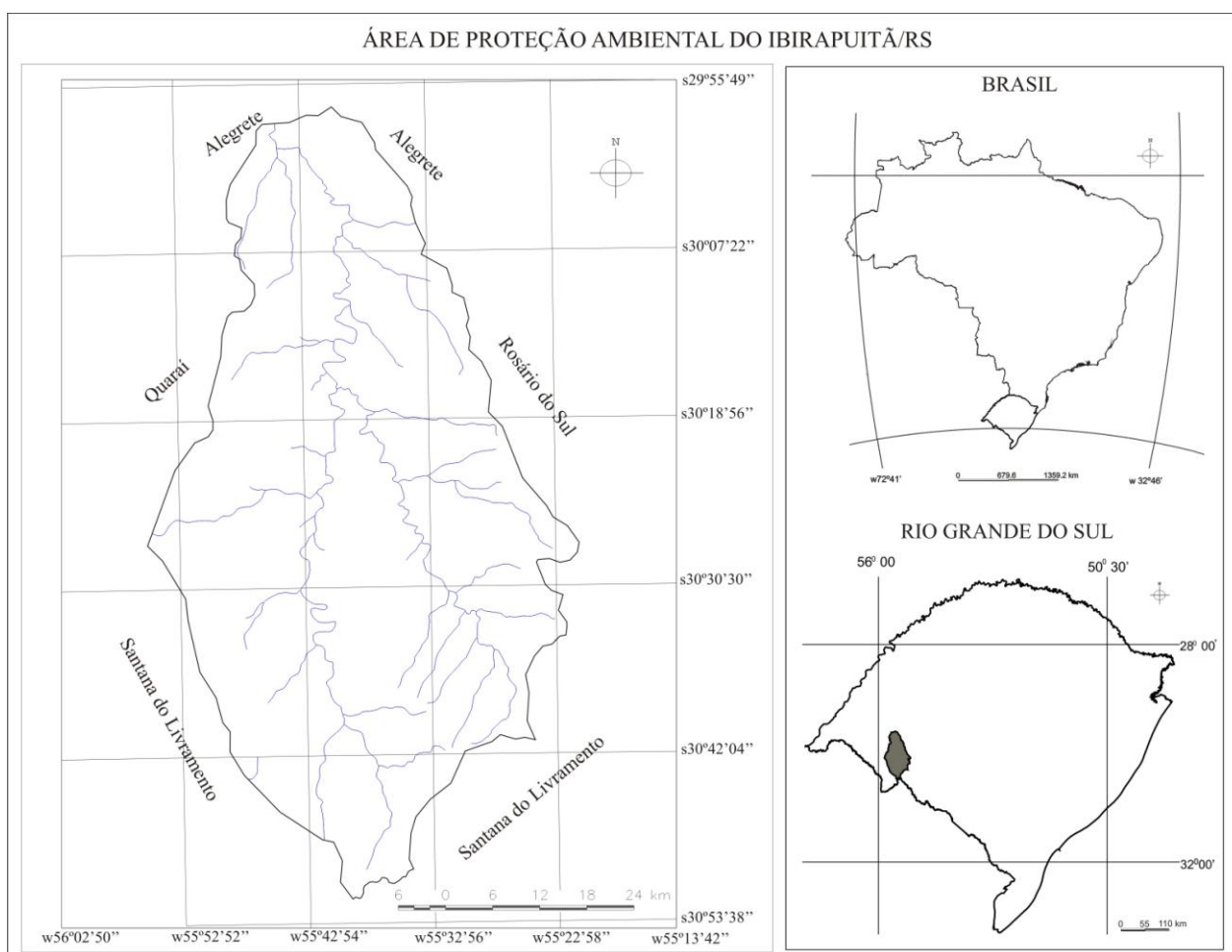


Figura 3.1: Localização da APA do Ibirapuitã / RS

O objetivo de criação da APA foi o de garantir a conservação de expressivos remanescentes de mata aluvial e dos recursos hídricos ali existentes; melhorar a qualidade de vida das populações residentes através da orientação e disciplina as atividades econômicas locais; fomentar o turismo ecológico, a educação ambiental e a pesquisa científica; preservar a

cultura e a tradição; além de proteger espécies ameaçadas de extinção em nível regional do bioma Pampa. É uma unidade de conservação de uso direto gerenciada pelo IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis), sendo a única unidade de conservação federal representante do Bioma Pampa no Brasil (MMA, 2007).

O relevo é plano, suavemente ondulado a ondulado. A vegetação caracteriza-se como estepe gramíneo lenhosa (campo nativo) e floresta estacional decidual aluvial (mata ciliar), sendo a fisionomia caracterizada por extensas planícies de campo limpo (IBAMA, 2010).

Em campos de solos rasos, pedregosos, com baixa retenção de umidade e associados ao déficit hídrico no verão, a vegetação é muito peculiar predominando gramíneas prostradas de porte baixo. Nos campos de solos profundos a vegetação é predominante de gramíneas principalmente as de hábito cespitoso, onde o capim-caninha (*Andropogon lateralis*), a cola-de-lagarto (*Coelorachis selloana*), e o capim-melador (*Paspalum dilatatum*) são as mais representativas (BOLDRINI, 2009).

As formações campestres de espécies cespitosas e baixo valor forrageiro, de crescimento ereto formando touceiras, estão associadas a vegetação de mata subtropical arbustiva, ocorrendo em áreas de relevo mais ondulado, sendo os gêneros de maior ocorrência: *Aristida*, *Eragrostis*, *Paspalum* e *Andropogon*. As espécies rasteiras de alto valor forrageiro, principalmente dos gêneros *Paspalum*, *Axonopus*, *Stipa*, *Briza*, *Desmodium*, *Adesmia*, *Rhynchosia* e *Medicago*, ocorrem em áreas mais planas (FONSECA et al, 2007).

A utilização da terra é predominante de pastagens naturais e/ou manejadas, devido à diversidade de plantas com alto valor forrageiro. As principais atividades econômicas desenvolvidas no interior da APA são a bovinocultura de corte e a ovinocultura, em regime de pastoreio contínuo pela pecuária extensiva. Além da pecuária, também são desenvolvidas outras atividades agrícolas, destacando-se o cultivo de arroz irrigado (MMA, 2007).

3.2 Organização do banco de dados

Para monitorar as variações da resposta espectral da vegetação campestre com imagens de sensoriamento remoto, foi construído um banco de dados geográfico no *software* SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) (CAMARA et al., 1996), disponibilizado pela Divisão de Processamento de Imagens / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DPI / INPE).

Foram utilizadas as imagens de reflectância das bandas do azul, vermelho, infravermelho próximo (NIR) e infravermelho médio (MIR) do produto MOD13 do sensor EOS-MODIS, no período de 2000 a 2009. Estas imagens possuem 250 metros de resolução espacial, resolução

radiométrica de 16 bits e são uma composição de 16 dias existindo 23 composições anuais, permitindo a obtenção de um produto livre da influência das nuvens.

Os produtos MODIS são disponibilizados pelo LP DAAC / NASA (*Land Processes Distributed Active Archive Center*) em arquivos no formato HDF, e cobrem uma área de 10 x 10 graus de latitude e longitude (*tiles*), sendo identificados em uma grade horizontal e vertical. Foi utilizado o arquivo posicionado na célula H13V12, que cobre a área da APA do Ibirapuitã (Figura 3.2).

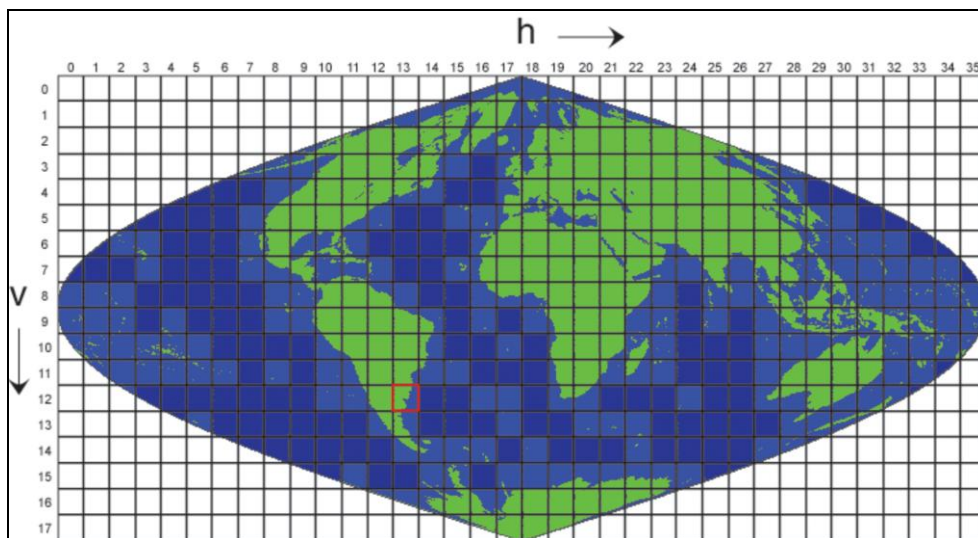


Figura 3.2: Cenas do sensor MODIS na grade de referenciamento das imagens. Em destaque, a cena utilizada no trabalho

FONTE: Adaptada do Programa MRT (2008).

O aplicativo *Modis Reprojection Tools* (MRT), disponibilizado pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) foi utilizado no pré-processamento das imagens MODIS com o objetivo de reprojeter e converter para o formato geotiff. Em seguida as imagens foram importadas para o banco de dados no *software* SPRING.

3.3 Definição da grade amostral

Considerando que a variação florística da vegetação campestre natural está relacionada com as características de solo, topografia e hidrologia (BOLDRINI, 1997; CLARK et al., 1999; VELÁQUEZ-ROSAS et al., 2002; SILVEIRA et al., 2005; GIRARDI-DEIRO et al., 1992; 2003; 2006; FONSECA et al., 2006), foi utilizado o produto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução espacial de 90 metros, disponibilizado pelo Laboratório de Geoprocessamento do Centro de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O

produto SRTM foi utilizado para auxiliar na definição dos pontos amostrais na APA, baseado em estudo desenvolvido por Coelho e Giasson (2010), que utilizaram variáveis geomorfométricas extraídas do SRTM para produção de mapas pedológicos.

O produto SRTM foi importado para o banco de dados no *software* SPRING, onde se gerou o mapa hipsométrico com o fatiamento da imagem. O processo de fatiamento consiste em gerar uma imagem temática a partir de uma grade retangular definindo-se intervalos de valores de altitudes. Os intervalos de classe foram gerados com modo de edição variável, fornecendo o valor da altitude inicial e final na distribuição dos valores das fatias.

Para o fatiamento definiu-se três classes considerando os três tipos de solos predominantes na APA do Ibirapuitã: Basalto superficial (BS), Basalto profundo (BP) e Arenito (AR) (SILVEIRA et al., 2005). Esses solos (Basalto superficial, Basalto profundo e Arenito) correspondem a Neossolo (Re), Argissolo (PE) e Planossolo (PL), respectivamente, de acordo com o sistema brasileiro de classificação do solo. Os Neossolos podem ser solos rasos ou profundos, os Argissolos são solos geralmente profundos a muito profundos e bem drenados, e os Planossolos são solos imperfeitamente ou mal drenados, encontrados em áreas de várzea, com relevo plano a suave ondulado (STRECK et al., 2008).

Foram consideradas: altitudes inferiores a 120 metros como Planossolos, áreas com altitudes entre 120 e 300 metros como Argissolo e altitudes acima de 300 metros como Neossolo. Estas classes foram delimitadas visualmente comparando o produto SRTM e o mapa de solos disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) na escala 1:250.000.

A partir do fatiamento foram traçadas linhas (transectos) acompanhando o perfil do relevo, da maior para a menor altitude. Em seguida escolheu-se 20 amostras aleatórias para cada um dos tipos de solo (Anexo 1), seguindo a orientação das linhas para que se contemplassem os diferentes tipos de solo na APA. Foram considerados apenas os pixels do interior da APA que representam a área de vegetação campestre natural, excluindo-se as matas ciliares e culturas agrícolas. Para auxiliar na escolha das amostras, foi selecionada uma imagem do sensor MODIS correspondente ao período de inverno, na qual é possível distinguir o campo natural de áreas de mata e pastagens plantadas, e outra imagem referente ao período de verão, possibilitando a separação de campo natural de áreas agrícolas. Nos dois casos os pixels foram selecionados com base na interpretação visual das imagens MODIS.

3.4 Dados de clima

Os dados diários de temperatura média do ar e precipitação pluvial foram coletados para o período de estudo (2000 a 2009), provenientes de seis (6) estações meteorológicas do 8º DISME/INMET (Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia) e da FEPAGRO/RS (Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária), distribuídas no entorno da APA do Ibirapuitã (Figura 3.3) nos municípios de Bagé (-31.330°; -54.100°), Quaraí (-30.368°; -56.437°), Santana do Livramento (-30.830°; -55.600°), São Borja (-28.649°; -56.016°), São Gabriel (-30.341°; -54.311°) e Uruguaiana (-29.750°; -57.080°). Os dados diários foram agrupados a cada 16 dias com a finalidade de coincidir com as mesmas resoluções temporais das imagens do produto MOD13. Posteriormente foram importados para o banco de dados do SPRING em formato compatível (.spr).

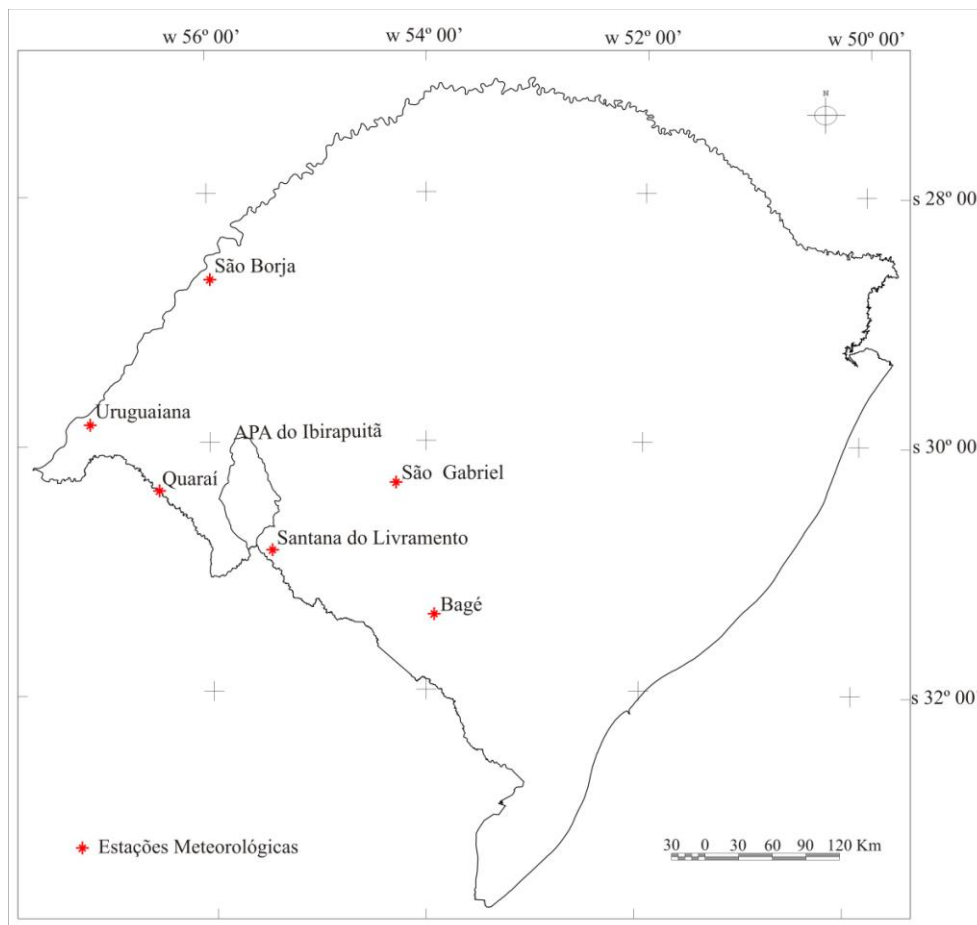


Figura 3.3: Localização das estações meteorológicas distribuídas no entorno da APA do Ibirapuitã

O método do Inverso do Quadrado da Distância (IQD) foi utilizado para realizar a interpolação espacial destes dados, gerando-se mapas espacializados de temperatura. Este método utiliza como fator de ponderação o inverso do quadrado da distância euclidiana entre o ponto conhecido e o estimado. É um interpolador determinístico univariado de médias

ponderadas, sendo considerado simples e de fácil aplicação (MELLO et al., 2003; SILVA et al., 2008). O IQD é definido pela equação 3.1.

$$\hat{Z}_i = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} * Z_i \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} \right)} \quad (\text{Eq. 3.1})$$

em que: \hat{Z}_i é o valor interpolado; Z_i é o valor do atributo amostrado; d_i é a distância euclidiana entre o ponto amostrado e o estimado.

3.5 Construção dos perfis espectrais

Para a extração automática dos valores de reflectância, temperatura e precipitação de cada uma das amostras, utilizou-se o módulo “extração de estatísticas de imagem” disponível no *software* SPRING. Esta ferramenta permite fazer análise estatística a partir de polígonos ou classes temáticas. Para cada um dos 10 anos foram extraídas as médias de reflectância de cada banda espectral para cada um dos 23 dias Julianos, com um total de 60 amostras para cada dia (20 amostras para cada tipo de solo), e posteriormente comparadas com os dados de temperatura média do ar e precipitação pluvial coletados no mesmo período.

Os valores foram exportados para um aplicativo de planilha eletrônica no qual se gerou os gráficos da resposta espectral da vegetação campestre, tendo as datas das imagens em dia Juliano (DJ) no eixo horizontal e os valores da resposta espectral no eixo vertical. Foram gerados gráficos correspondente a cada tipo de solo, primeiro, com todas as amostras para cada variável espectral (fator de reflectância das bandas do azul, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio), e segundo, com os valores médios destas variáveis, compondo um perfil (espectral) anual de variação para cada um dos 10 anos analisados (2000 a 2009). Para cada ano foram analisadas as médias e os pontos de inflexão temporal das curvas espectrais.

3.6 Análise estatística

A análise de correlação de *Pearson* foi utilizada a fim de estabelecer relação entre os dados climáticos (temperatura e precipitação) e reflectância das bandas espectrais do sensor MODIS para cada período do ano e em cada tipo de solo. Foi considerado para cada valor de reflectância a variável climática do período anterior, uma vez observado que a resposta espectral da vegetação sofre influência do período anterior a data de aquisição da imagem.

Este método estatístico avalia a existência de correlação entre duas variáveis quantitativas x e y e supõe que a associação entre as variáveis seja linear. É calculado dividindo a covariância de duas variáveis pelo produto dos seus desvios-padrão. O valor do resultado para as diferentes formas de demonstração dos dados estará sempre entre -1 (correlação negativa) e +1 (correlação positiva), sendo o valor 0 (zero) ausência de correlação (TRIOLA, 2008). O coeficiente de correlação de *Pearson* é calculado pela equação 3.2:

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 \sum y^2}} \quad (\text{Eq. 3.2})$$

Sendo: r o coeficiente de correlação de *Pearson*; x , y as variáveis estudadas

Para testar se o resultado r reflete a tendência de correlação entre os dados foram considerados níveis mínimos de significância para $\alpha = 5\%$ e $\alpha = 1\%$, e utilizando a tabela de valores críticos de r observaram-se os resultados.

CAPITULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Solos e grade amostral

A definição da grade amostral a partir do fatiamento da imagem SRTM considerando os três tipos de solo na APA (Figura 4.1), possibilitou a verificação e análise das diferenças na composição florística da vegetação campestre natural. Considerando que a variação florística da vegetação campestre natural está relacionada com as características de solo e topografia, conforme já observado em estudos desenvolvidos por Boldrini (1997); Clark et al. (1999); Velázquez-Rosas et al. (2002); Silveira et al. (2005); Girardi-Deiro et al. (1992; 2003; 2006) e Fonseca et al. (2006), a definição desta metodologia proporcionou uma análise mais detalhada das diferenças na resposta espectral da vegetação.

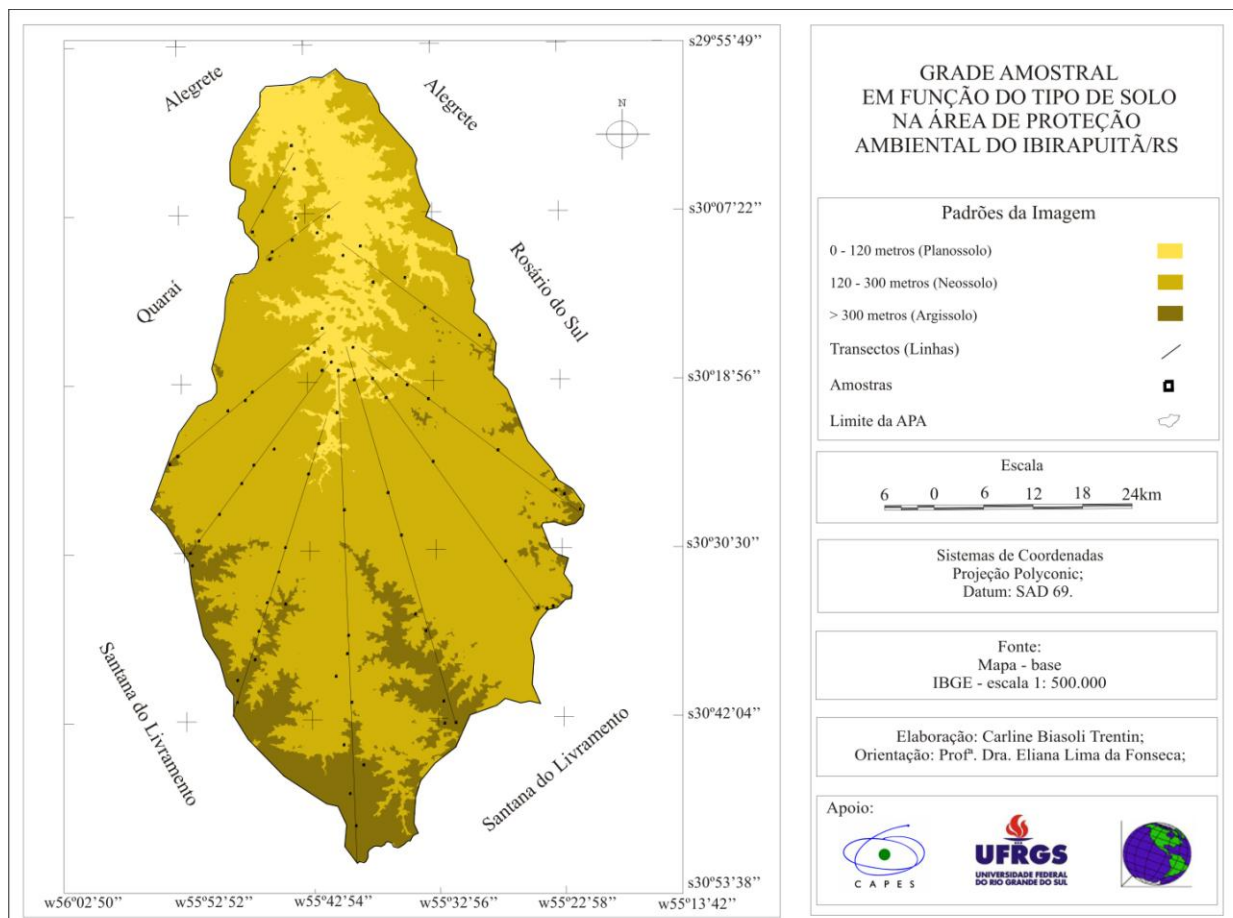


Figura 4.1: Grade amostral em função do tipo de solo na APA do Ibirapuitã

As classes altimétricas no interior da APA variaram entre 20 e 400 metros, aproximadamente. O fatiamento do SRTM possibilitou diferenciar as áreas com maior ou menor altitude, as quais associadas com as características geomorfológicas influenciam no desenvolvimento dos solos, como já observado por Rodrigues e Chaves (2006). As maiores altitudes estão localizadas principalmente na porção sul, enquanto que as menores altitudes encontram-se na porção norte da APA.

As classes definidas apresentaram mesma distribuição espacial na área quando comparado com o mapa de solos do projeto Radam Brasil disponibilizado pelo IBGE. Nos locais com maior altimetria, superiores a 300 metros, os solos são mais desenvolvidos. Nos locais com altimetria mediana, 120 a 300 metros, os solos tendem a ser mais rasos, devido as características de topografia, e nas menores altitudes são observados Planossolos (solos provenientes de arenito), como observado por Silveira et al. (2005).

Para a verificação da localização dos pontos amostrais adquiridos na APA do Ibirapuitã para cada um dos tipos de solo, foi realizada uma combinação de bandas ou composição colorida falsa cor, utilizando a imagem Landsat-5/TM (bandas TM3(B), TM4(R), TM5(G)) a fim de facilitar a identificação e a localização das amostras, considerando principalmente a resposta espectral da vegetação campestre.

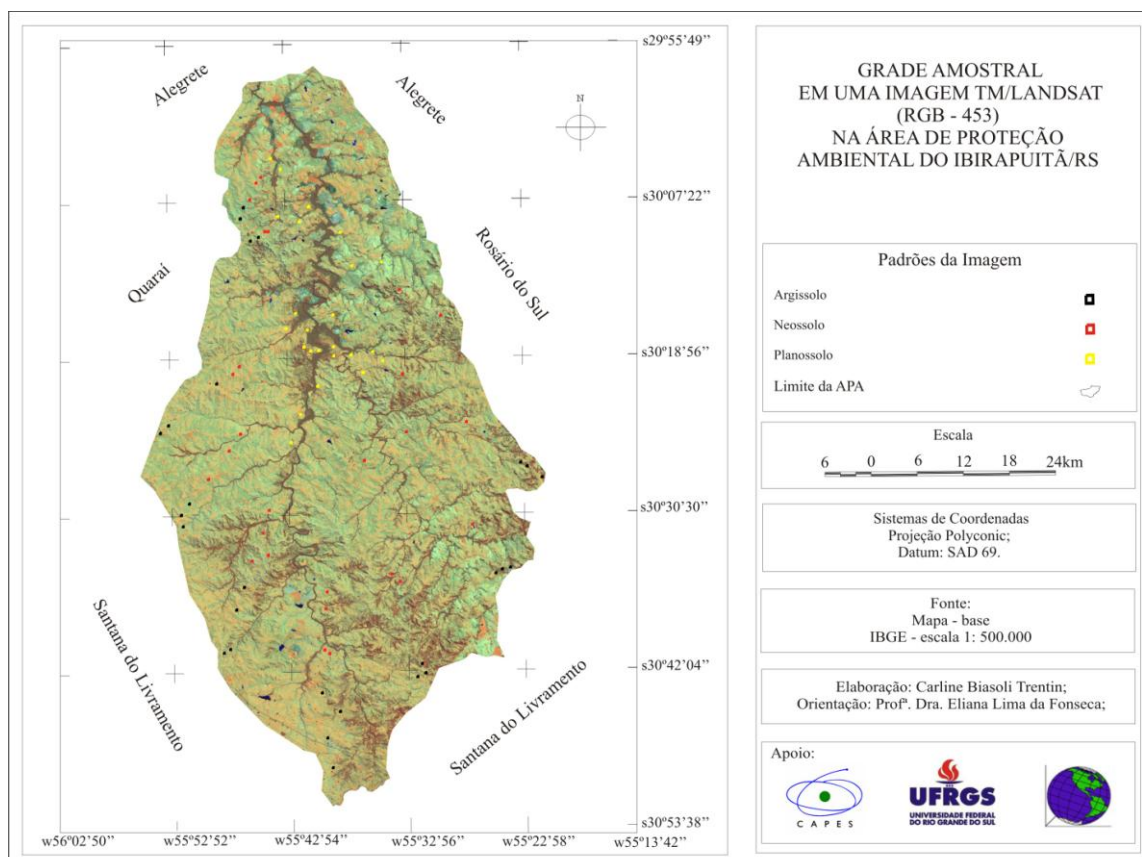


Figura 4.2: Imagem TM/Landsat composição colorida 543 (RGB) e localização dos pontos amostrais na APA do Ibirapuitã

4.2 Análise dos dados climáticos

A análise dos valores médios de temperatura do ar e precipitação pluvial dos últimos dez anos (2000 – 2009) na APA do Ibirapuitã demonstra as características do clima subtropical predominante no estado do Rio Grande do Sul, com altas temperaturas no verão e baixas no inverno, e chuvas distribuídas durante todo o ano, conforme observado por Nimer (1989) onde se destacaram menores volumes de chuva observados no período do verão e inverno, e os maiores valores nos períodos correspondentes ao outono e primavera (Figura 4.2). Conforme descrito por Sartori (2003), na primavera e no outono ocorre a reconfiguração dos sistemas atmosféricos atuantes sobre o sul do Brasil, elevando consideravelmente os índices pluviométricos. Durante o verão, o aumento do gradiente térmico latitudinal aliado ao gradiente horizontal de pressão, acelera o deslocamento das massas de ar polares em direção às latitudes tropicais causando uma diminuição na precipitação da região. No inverno, a diminuição da precipitação pluvial pode estar relacionada com o fortalecimento dos centros de ação das massas de ar, tanto polares quanto tropicais, que podem interferir no deslocamento das massas de ar e das frentes polares.

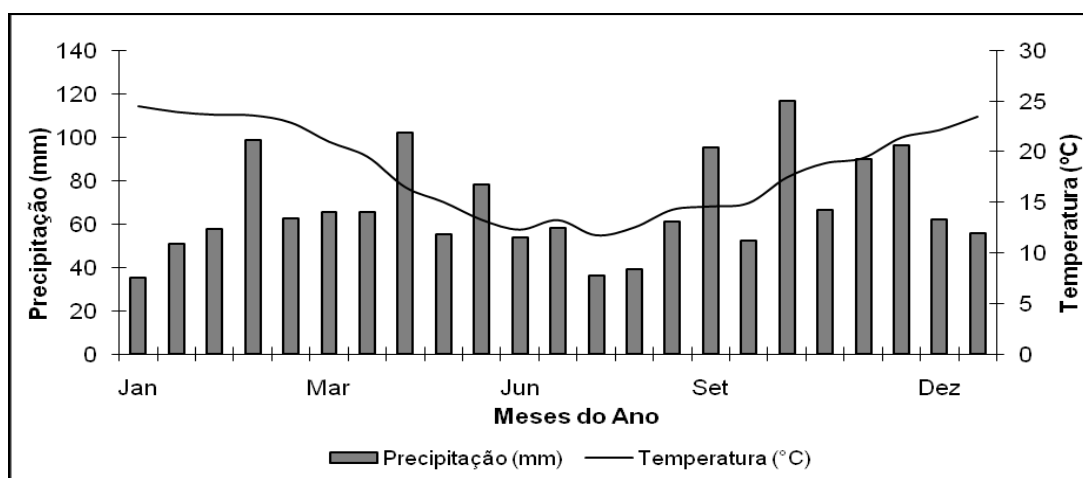


Figura 4.2: Precipitação pluvial acumulada e temperatura média do ar a cada 16 dias ao longo do ano na APA do Ibirapuitã no período de 2000 a 2009

Para cada um dos anos analisados, os dados de temperatura média do ar se mostram mais elevados para o ano de 2001 em relação à média dos demais anos observados, seguido dos anos de 2003, 2004, 2005 e 2006 com valores acima dos 10°, inclusive no inverno (DJ 161 – 241) (Figura 4.3).

Com relação a precipitação pluvial acumulada (Figura 4.4), o maior volume observado foi no ano de 2002, seguido dos anos de 2000, 2001 e 2003, e menor volume nos demais, destacando-se o ano de 2004. Os menores volumes de precipitação pluvial são observados principalmente no período do inverno (DJ 161 – 241), com exceção dos anos de 2005 e 2008,

que nesta época do ano sobressaíram em relação as demais estações. O ano de 2009 foi o ano com maior irregularidade de distribuição da precipitação, apresentando valores mínimos a partir do início do outono (DJ 081 – 241) e valores máximos de precipitação pluvial a partir do início da primavera (DJ 257 – 337).

As características de temperatura e precipitação são influenciadas pela ocorrência do fenômeno ENOS, evidenciando anomalias climáticas relacionadas com o regime de precipitação pluviométrica, embora o regime térmico também possa ser modificado. Os anos de 2000, 2001 e 2008 foram influenciados pelo fenômeno La Niña, que ocasiona a passagem rápida das frentes frias na região Sul do Brasil com tendência de diminuição da precipitação pluvial especialmente na primavera e início do verão e de temperatura do ar abaixo da média, especialmente na primavera (BERLATO e FONTANA, 2003). Os demais anos analisados estiveram sob influência do fenômeno El Niño, que na região Sul do Brasil ocasiona precipitações pluviais abundantes, principalmente na primavera e início do verão e precipitações acima do normal no final do outono e início do inverno do ano seguinte. Em anos de El Niño há uma forte tendência de as médias de temperaturas mínimas no outono e início do inverno se mostrarem superiores as dos anos neutros (BERLATO e FONTANA, 2003).

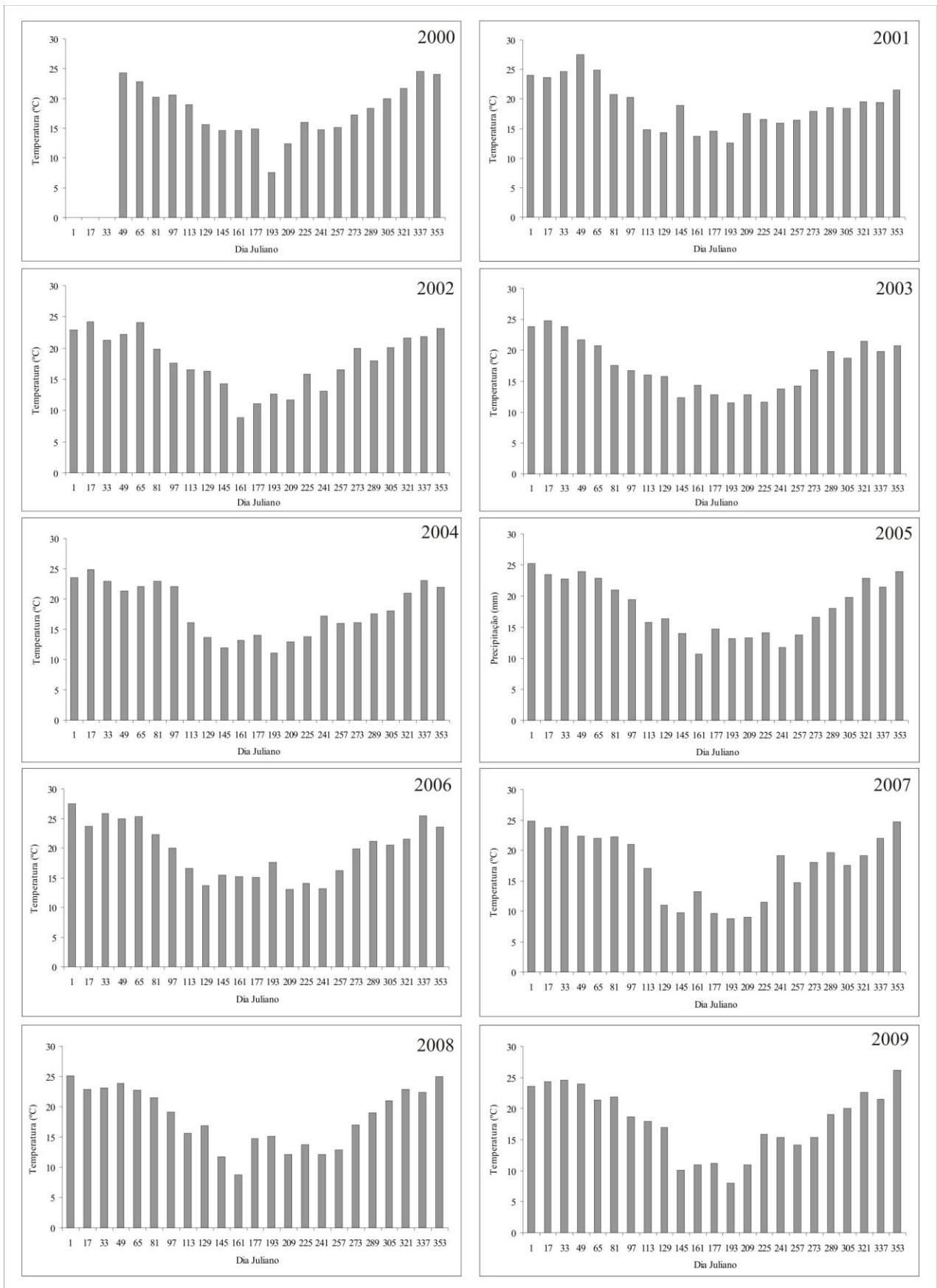


Figura 4.3: Variação da temperatura média do ar ao longo dos anos de 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 e 2009 na APA do Ibirapuitã

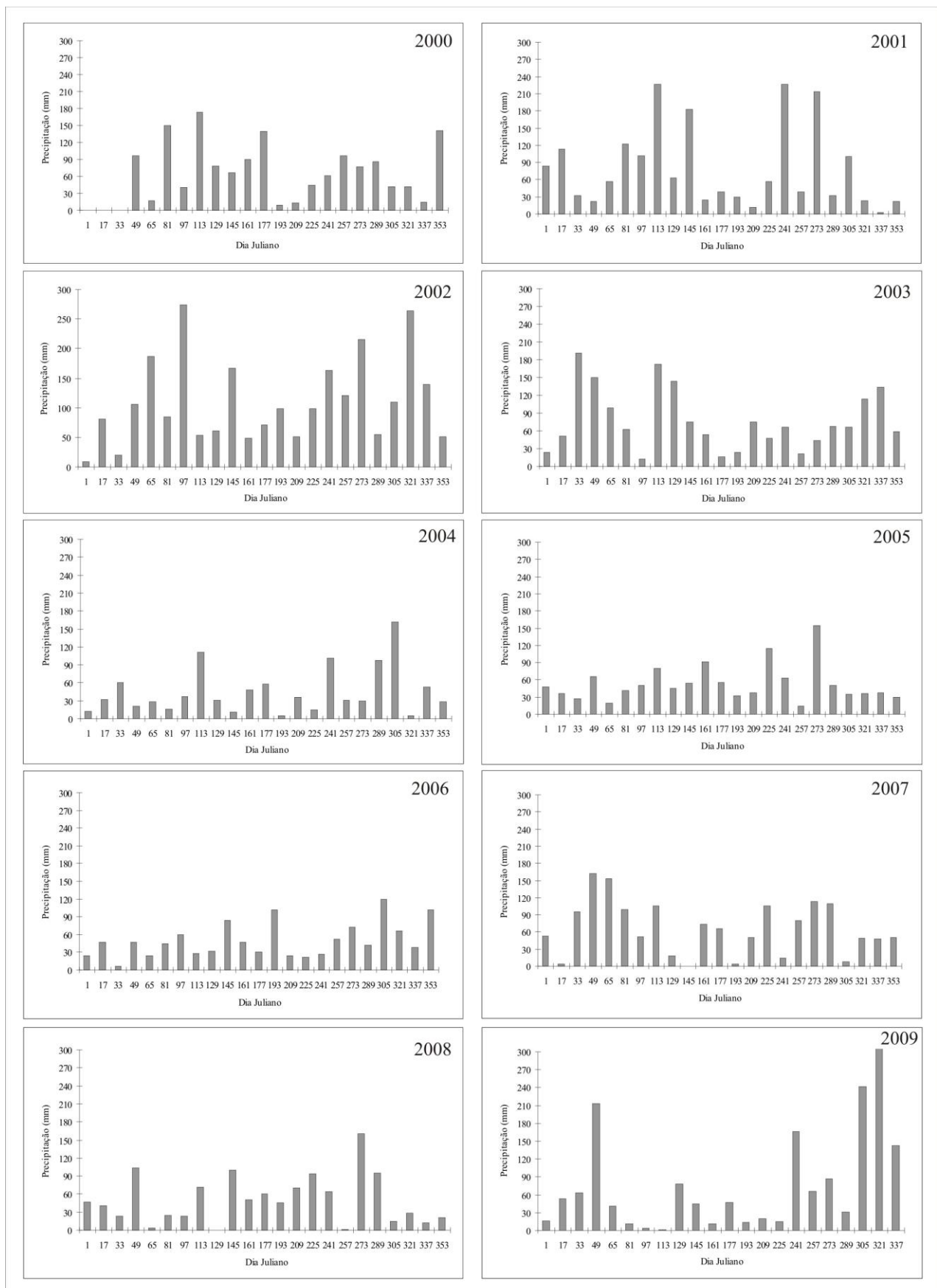


Figura 4.4: Variação da precipitação pluvial média ao longo dos anos de 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 e 2009 na APA do Ibirapuitã

4.3 Análise dos perfis espectrais

Os perfis espectrais de cada uma das bandas do sensor MODIS (azul, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio) nos dez anos analisados (2000 a 2009) apresentaram diferentes padrões de resposta, que podem estar associados aos elementos do clima (temperatura do ar e precipitação). Analisando cada uma das bandas espectrais, observou-se que a região do visível apresenta baixa reflectância da vegetação fotossinteticamente ativa, não ultrapassando os 0,20 nm, devido à absorção da radiação pelos pigmentos da planta, principalmente pela clorofila, apresentando dois picos de absorção nos comprimentos de onda do azul e do vermelho, sendo este o padrão esperado.

Na banda do azul observou-se um aumento da reflectância nos períodos correspondentes ao inverno (DJ 161 – 241) e início do verão (DJ 353 – 065) e uma diminuição na reflectância nos períodos da primavera (DJ 257 – 337) e outono (DJ 081 – 241) (Figura 4.5). Estes dois períodos (verão e inverno) apresentaram os menores volumes de precipitação médios na APA. Inflexões na curva nesta banda, foram observadas nos anos de 2002, 2005, 2007, 2008 e 2009 relacionadas a diminuição da precipitação e aumento da reflectância com atraso de 16 dias.

Em todos os anos, a banda do vermelho apresentou maior reflectância no período correspondente ao inverno, época em que se observou menor volume pluviométrico na região, e menor reflectância no outono, quando o volume pluviométrico geralmente foi maior (Figura 4.2), resultado esperado para esta banda espectral. Ainda nessa banda espectral se verificou alguns pontos de inflexão da reflectância a partir do ano de 2005, com uma diminuição da reflectância na primavera e um aumento da reflectância no verão (Figura 4.6).



Figura 4.5: Reflectância espectral da vegetação campestre natural da APA do Ibirapuitã na banda do azul nos anos de 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 e 2009, nos solos Argissolo (PE), Neossolo (Re) e Planossolo (PL)

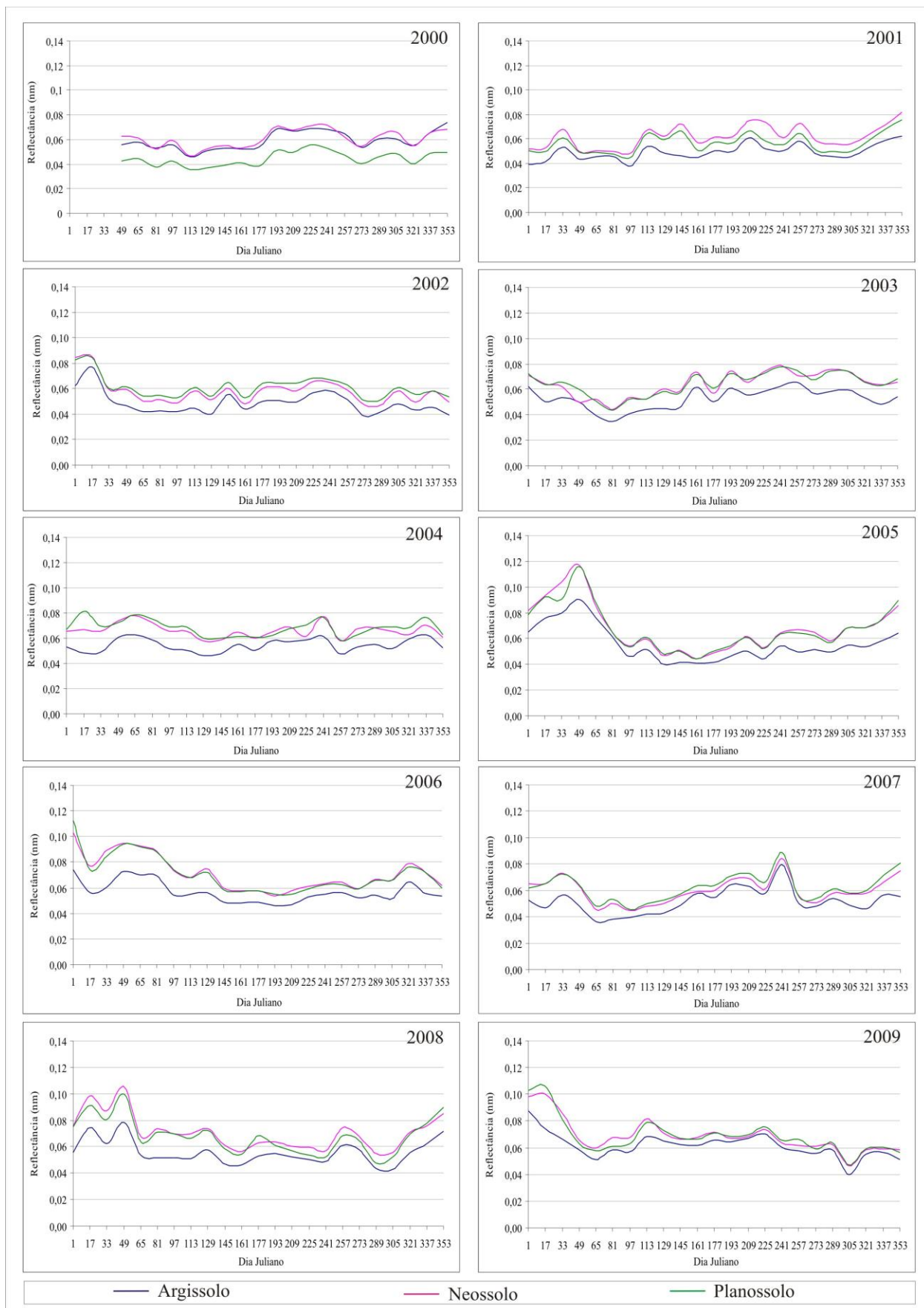


Figura 4.6: Reflectância espectral da vegetação campestre natural da APA do Ibirapuitã na banda do vermelho nos anos de 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 e 2009, nos solos Argissolo (PE), Neossolo (Re) e Planossolo (PL)

A banda do infravermelho próximo apresenta uma maior reflectância da vegetação em relação ao visível, em função do espalhamento da radiação pela estrutura interna das folhas e componentes do dossel (JENSEN, 2009). Nessa banda observou-se para os 10 anos de estudo, que a primavera (DJ 257 – 337) e o verão (DJ 353 – 065) apresentaram valores máximos de reflectâncias enquanto que nos períodos do outono (DJ 081 – 241) e inverno (DJ 161 – 241) foram verificados valores mínimos de reflectância. Essa resposta é característica das espécies de gramíneas C_4 , predominantes na área de estudo, que tem seu período de crescimento na época em que a temperatura média do ar é mais elevada (GOMES, 1996). Na banda do infravermelho próximo, verificaram-se alguns pontos de inflexão nas curvas de reflectância, com maior ou menor expressão, nos 10 anos analisados e nos diferentes períodos do ano (Figura 4.7), representando transições abruptas no clima e conseqüentemente na resposta espectral da vegetação campestre natural.

A banda do infravermelho médio apresenta uma diminuição da reflectância, em relação ao infravermelho próximo, devido à absorção da radiação pela umidade das folhas (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009). Foi observado que os períodos correspondentes ao verão (DJ 353 – 065) e inverno (DJ 161 – 241) apresentaram valores máximos de reflectância, enquanto que os períodos correspondentes à primavera (DJ 257 – 337) e outono (DJ 081 – 241) apresentaram valores mínimos de reflectância (Figura 4.8).

Conforme esperado, na época de maior crescimento/desenvolvimento da vegetação, que para a APA do Ibirapuitã inicia na primavera (MACHADO, 1999), e conseqüente aumento da atividade fotossintética e aumento das folhas verdes, ocorre uma diminuição da reflectância na região do visível e aumento no infravermelho próximo. Para o bioma Pampa Bisso et al. (2010), observaram que os valores mais altos de NDVI ocorrem no período do verão, e decaem no outono, atingindo os valores mais baixos no período do inverno. Foi observado porém nos anos de 2004, 2005 e 2006, com baixa pluviosidade no verão associado as altas temperaturas, que a reflectância das plantas podem decair em função do déficit hídrico, enquanto que no outono ocorre um aumento na reflectância.



Figura 4.7: Reflectância espectral da vegetação campestre natural da APA do Ibirapuitã na banda do infravermelho próximo nos anos de 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 e 2009, nos solos Argissolo (PE), Neossolo (Re) e Planossolo (PL)



Figura 4.8: Reflectância espectral da vegetação campestre natural da APA do Ibirapuitã na banda do infravermelho médio nos anos de 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 e 2009, nos solos Argissolo (PE), Neossolo (Re) e Planossolo (PL)

A ocorrência do fenômeno ENOS (El Niño Oscilação Sul) positivo ou negativo pode influenciar na resposta espectral da vegetação campestre natural da APA do Ibirapuitã, devido as mudanças no regime de precipitação pluvial e na temperatura média do ar. Verificou-se que em anos de La Niña (2000, 2001 e 2008) a resposta espectral da vegetação campestre no infravermelho próximo tende a cair no final da primavera (DJ 257 – 337) e início do verão (DJ 353 – 065), devido a diminuição da precipitação pluvial e aumento da temperatura média do ar na região, e em anos de El Niño tende a aumentar, em função de um aumento da precipitação na região.

Considerando o comportamento espectral da vegetação campestre natural em cada tipo de solo em cada uma das bandas espectrais (Figuras 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8), verificou-se que a vegetação predominante em Planossolos, geralmente apresentou valores menores de reflectância em relação a vegetação predominante em Neossolo e Argissolo em todas as bandas espectrais. A reflectância da vegetação não apresentou diferenças significativas entre os solos Neossolo e Argissolo. Essas diferenças na resposta espectral, podem estar relacionadas ao predomínio da vegetação de porte cespitoso, que apresenta em geral reflectância mais baixa em relação a vegetação de porte rasteiro, principalmente próximo aos cursos de água associadas a vegetação de mata subtropical arbustiva em áreas de relevo mais ondulado e solo mais raso, enquanto que em áreas de relevo mais plano e solo mais profundo predomina a vegetação de porte rasteiro, conforme observado por Trentin e Fonseca (2010).

4.4 Relação entre dados espectrais e precipitação pluvial

4.4.1 Média de 10 anos

Analisando a correlação significativa para dados médios de cada estação no período de 10 anos (Tabela 4.1), sendo considerados significativos os valores de correlação superiores ao nível mínimo de significância de $\pm 0,19$ (para $\alpha = 5\%$) e superior a $\pm 0,25$ (para $\alpha = 1\%$). De maneira geral se observou correlação entre as variáveis, demonstrando que para médias anuais existe um padrão de crescimento/desenvolvimento da planta associado com a precipitação. Apenas a banda do infravermelho próximo mostrou na estação correspondente ao verão (DJ 353 – 065) a inexistência dessa relação. Para tanto, a utilização de dados médios pode não se mostrar eficaz em função das particularidades de cada ano, uma vez que as médias suprimem a variação individual e podem aumentar o coeficiente de correlação.

Tabela 4.1: Resultado do teste de correlação entre a reflectância das bandas espectrais e precipitação pluvial para cada estação do ano no período de 2000 a 2009

	Azul			Vermelho			IVP			IVM		
	PL	Re	PE	PL	Re	PE	PL	Re	PE	PL	Re	PE
Verão	-0,26**	-0,31**	-0,33**	-0,24*	-0,29**	-0,30**	-0,03	-0,01	-0,02	-0,22*	-0,22*	-0,29**
Outono	-0,45**	-0,47**	-0,43**	-0,45**	-0,47**	-0,42**	0,33**	0,43**	0,41**	-0,49**	-0,55**	-0,51**
Inverno	-0,24*	-0,09	-0,12	-0,38**	-0,22*	-0,22*	0,03	0,26**	0,20*	-0,48**	-0,41**	-0,42**
Primavera	-0,39**	-0,36**	-0,34**	-0,29**	-0,38**	-0,30**	-0,15	-0,19*	-0,20*	-0,33**	-0,40**	-0,36**

* - Significativa para $\alpha = 5\%$

** - Significativa para $\alpha = 1\%$

4.4.2 Bandas espectrais e estações do ano

Trabalhos realizados relacionando dados espectrais, principalmente o NDVI com a precipitação pluvial, como por exemplo, Verona; Shimabukuro; Santos (2005), demonstram que a vegetação relaciona-se positivamente com a precipitação, indicando que um possível aumento na quantidade de chuva pode evidenciar um aumento da atividade fotossintética e da reflectância da vegetação, ou diminuição da reflectância quando a precipitação é baixa. Porém, estudos desenvolvidos especificamente para o bioma Pampa mostram que pode não haver correlação entre essas duas variáveis (BISSO et al., 2010).

Os resultados da análise de correlação entre a reflectância da vegetação campestre nas bandas espectrais (azul, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio) e precipitação pluvial para o período de 2000 a 2009 podem ser visualizados na Tabela 4.2. Foi observada a existência de correlação entre a resposta espectral da vegetação com as estações do ano independente do tipo de solo. Para essa análise foram considerados significativos os valores de correlação superiores ao nível mínimo de significância de $\pm 0,44$ (para $\alpha = 5\%$) e superior a $\pm 0,56$ (para $\alpha = 1\%$).

Tabela 4.2: Resultado do teste de correlação entre a reflectância das bandas espectrais e temperatura média do ar para cada ano no período de 2000 a 2009

		Azul			Vermelho			IVP			IVM		
		PL	Re	PE	PL	Re	PE	PL	Re	PE	PL	Re	PE
2000	Outono	0,42	0,43	0,36	0,16	0,19	0,12	0,40	0,62**	0,29	0,37	0,43	0,28
	Inverno	-0,41	-0,22	-0,24	-0,34	-0,16	-0,23	0,03	0,13	0,32	-0,38	-0,19	-0,26
	Primavera	-0,26	-0,26	-0,38	-0,35	-0,34	-0,39	0,43	0,45*	0,46*	-0,23	-0,22	-0,41
2001	Verão	-0,52*	-0,45*	-0,51*	-0,52*	-0,50*	-0,46*	0,06	0,26	0,15	-0,49*	-0,35	-0,49*
	Outono	0,10	0,38	0,41	0,04	0,42	0,57**	-0,66**	-0,29	-0,23	0,08	0,50*	0,47*
	Inverno	-0,65**	-0,63**	-0,56**	-0,64**	-0,71**	-0,69**	-0,24	-0,20	-0,09	-0,59**	-0,63**	-0,54*
	Primavera	0,57**	0,62**	0,51*	0,56*	0,54*	0,51*	0,27	0,41	0,35	0,45*	0,50*	0,48*
2002	Verão	-0,53*	-0,54*	-0,51*	-0,37	-0,64**	-0,49*	-0,33	-0,47*	-0,35	-0,48*	-0,66**	-0,62**
	Outono	0,82**	0,82**	0,75**	0,78**	0,81**	0,83**	0,67**	0,68**	0,71**	0,96**	0,87**	0,90**
	Inverno	-0,58**	-0,52*	-0,90**	-0,88**	-0,78**	-0,60**	0,03	-0,31	-0,08	-0,82**	-0,94**	-0,93**
	Primavera	-0,31	-0,34	-0,50*	-0,14	-0,27	-0,33	-0,57**	-0,75**	-0,65**	-0,30	-0,44	-0,44*
2003	Verão	-0,55*	-0,40	-0,61**	-0,44*	-0,26	-0,40	-0,42	-0,24	-0,51*	-0,59**	-0,55*	-0,63**
	Outono	0,16	0,36	0,27	0,35	0,32	0,42	0,21	0,47*	0,28	-0,02	0,37	0,30
	Inverno	-0,40	-0,26	-0,40	-0,50*	-0,43	-0,56*	0,21	0,26	0,22	-0,62**	-0,40	-0,60**
	Primavera	0,25	-0,32	0,08	0,08	-0,60**	-0,42	0,04	-0,05	-0,03	0,18	-0,27	0,16
2004	Verão	0,52*	-0,79**	-0,78**	0,35	-0,04	-0,75**	0,82**	0,87**	0,65**	0,16	-0,28	-0,71**
	Outono	-0,81**	-0,87**	-0,81**	-0,77**	-0,86**	-0,95**	-0,04	0,34	0,14	-0,68**	-0,76**	-0,82**
	Inverno	-0,40	-0,15	-0,11	0,16	0,18	0,15	0,09	0,26	0,05	-0,35	-0,69**	-0,42
	Primavera	-0,53*	-0,21	-0,23	-0,68**	-0,85**	-0,46*	0,24	-0,04	0,35	-0,15	-0,73**	-0,29
2005	Verão	-0,12	-0,21	-0,23	-0,14	-0,08	-0,25	-0,48*	-0,37	-0,43	-0,13	-0,06	-0,17
	Outono	-0,18	-0,08	0,00	-0,35	-0,25	-0,18	0,03	0,04	0,01	-0,17	-0,07	0,00
	Inverno	-0,65**	-0,70**	-0,64**	-0,60**	-0,64**	-0,60**	0,71**	0,57**	0,67**	-0,52*	-0,53*	-0,43
	Primavera	-0,58**	-0,79**	-0,70**	-0,03	-0,35	-0,50*	-0,40	-0,58**	-0,58**	-0,30	-0,80**	-0,67**
2006	Verão	-0,51*	-0,16	-0,18	-0,77**	-0,53*	-0,43	0,33	0,37	0,30	-0,52*	-0,25	-0,21
	Outono	-0,37	-0,46*	-0,34	-0,06	-0,23	-0,20	-0,30	-0,37	-0,09	-0,31	-0,39	-0,31
	Inverno	-0,57**	-0,47*	-0,58**	-0,14	-0,11	-0,09	0,14	0,04	0,07	-0,42	-0,14	-0,49*
	Primavera	0,84**	0,86**	0,84**	0,68**	0,76**	0,81**	0,87**	0,83**	0,79**	0,73**	0,82**	0,84**
2007	Verão	-0,57**	-0,04	-0,27	-0,22	0,07	-0,19	0,80**	0,80**	0,98**	-0,33	-0,32	-0,39
	Outono	-0,74**	0,04	0,37	-0,67**	-0,52*	-0,38	-0,88**	-0,65**	-0,73**	-0,81**	-0,03	0,11
	Inverno	-0,13	-0,08	0,03	0,62**	0,49*	0,41	0,00	0,14	0,20	0,09	0,11	0,09
	Primavera	0,45*	0,38	0,36	0,42	0,35	0,34	0,35	0,53*	0,48*	0,45*	0,33	0,38
2008	Verão	-0,73**	-0,69**	-0,82**	-0,83**	-0,81**	-0,91**	0,51*	0,44*	0,18	-0,77**	-0,76**	-0,82**
	Outono	0,57**	-0,08	0,01	0,84**	-0,13	-0,48*	0,34	0,20	-0,01	0,62**	-0,34	-0,48*
	Inverno	0,32	-0,29	-0,27	-0,23	-0,55*	-0,53*	-0,27	-0,17	-0,23	0,03	-0,47*	-0,29
	Primavera	-0,67**	-0,69**	-0,82**	-0,69**	-0,71**	-0,80**	-0,50*	-0,41	-0,69**	-0,75**	-0,74**	-0,85**
2009	Verão	-0,74**	-0,47*	-0,74**	-0,64**	-0,40	-0,73**	0,08	0,03	-0,13	-0,66**	-0,70**	-0,82**
	Outono	-0,58**	-0,32	-0,49*	-0,82**	-0,64**	-0,64**	0,90**	0,83**	0,83**	-0,80**	-0,75**	-0,66**
	Inverno	-0,80**	-0,78**	-0,68**	-0,53*	-0,34	-0,33	-0,28	-0,45*	-0,40	-0,71**	-0,71**	-0,65**
	Primavera	0,06	-0,05	0,09	0,32	0,18	0,27	0,27	0,51*	0,73**	0,22	0,16	0,20

* - Significativa para $\alpha = 5\%$

** - Significativa para $\alpha = 1\%$

Para os 10 anos analisados foram destacados padrões de correlação significativa para $\alpha = 5\%$ entre os dados de reflectância e precipitação pluvial independente do tipo de solo onde as amostras estão posicionadas. Observou-se correlação significativa na região espectral do visível, no período correspondente entre o inverno (DJ 161 – 241) do ano de 2001 até o inverno do ano de 2002, e a ausência de correlação significativa para o ano de 2000, e nos períodos correspondentes ao verão (DJ 353 – 065) e outono (DJ 081 – 241) do ano de 2005.

A banda do azul apresentou correlação com nível mínimo de significância para $\alpha = 5\%$ entre o verão (DJ 353 – 065) e outono (DJ 081 – 241) do ano de 2004, no período entre inverno (DJ 161 – 241) e primavera (DJ 257 – 337) dos anos de 2005 e 2006, e entre a primavera do ano de 2008 e inverno de 2009. Por outro lado esta mesma banda não apresentou correlação significativa entre o outono e primavera no ano de 2003. Assim como a banda do vermelho não apresentou correlação significativa para $\alpha = 5\%$ entre a primavera do ano de 2002 e o inverno de 2003, e no outono e inverno do ano de 2006.

Na região espectral do infravermelho próximo (IVP) se destacaram com correlação significativa os períodos correspondentes ao inverno (DJ 161 – 241) e primavera (DJ 257 – 337) dos anos de 2001 e 2003, entre o outono (DJ 081 – 241) e a primavera de 2004, entre o verão (DJ 353 – 065) e com maior destaque o inverno de 2006, e o outono e o inverno dos anos de 2000 e 2008. Bettolli et al. (2010), também identificaram uma maior sensibilidade do crescimento da vegetação natural com a disponibilidade hídrica no outono, porém nessa mesma estação observaram uma diminuição da taxa de crescimento da vegetação devido a diminuição da temperatura média do ar, diferente do que acontece na primavera.

A região espectral do infravermelho médio (IVM) apresentou correlação significativa para $\alpha = 5\%$ entre o inverno (DJ 161 – 241) do ano de 2001 e o inverno de 2002. Já no ano de 2000, e o período entre o verão (DJ 353 – 065) e o outono (DJ 081 – 241) de 2005, não apresentaram correlação significativa ao nível mínimo de significância adotado.

Em alguns anos, a resposta espectral da vegetação campestre natural apresentou correlação relacionado a precipitação acumulada, quando o aumento da precipitação ocasionou um aumento da reflectância no IVP e uma diminuição da precipitação ocasionou a diminuição da reflectância no IVM com atraso de 16 dias. Porém em alguns casos, quando a precipitação diminui a resposta espectral da vegetação campestre apresenta comportamento semelhante as variações de temperatura (Figura 4.3).

Ainda não existem trabalhos que relacionem a resposta espectral da vegetação com dados climáticos utilizando bandas espectrais, porém pesquisas utilizando o NDVI mostram uma baixa correlação entre a precipitação pluvial e o NDVI, provavelmente influenciada pela regularidade

na distribuição de chuvas na região (BISSO et al., 2010). Bettolli et al. (2010), observou ainda que a primavera não apresenta correlações significativas com as variáveis indicadoras de umidade devido a armazenagem de água principalmente em solo profundo, que poderia estar suprindo as necessidades hídricas da vegetação natural em anos onde a precipitação pluvial diminui nessa época do ano.

De maneira geral, a disponibilidade de água para a vegetação influencia na resposta espectral. A diminuição do teor de água dos tecidos verdes promove (a) uma diminuição da reflectância nos comprimentos de onda do visível, em função da disponibilidade hídrica para o processo de fotossíntese, (b) não altera a reflectância nos comprimentos de onda do infravermelho próximo, pois as folhas já formadas não alteram a sua estrutura, a depender do nível do déficit hídrico, e (c) diminui a reflectância nos comprimentos de onda do infravermelho médio. O teor de água dos tecidos modula a reflectância no infravermelho médio, em função da presença de bandas de absorção de água nessa porção do espectro (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009).

A ocorrência do fenômeno ENOS (El Niño Oscilação Sul) positivo ou negativo influencia na relação entre a resposta espectral e a precipitação. Os anos de 2000, 2001 e 2008 foram influenciados pelo fenômeno La Niña, nesse período foi observada correlação entre a primavera (DJ 257 – 337) do ano de ocorrência e o inverno (DJ 161 – 241) do ano seguinte, exceto para o ano de 2000. O fenômeno La Niña ocasiona a passagem rápida das frentes frias na região Sul do Brasil com tendência de diminuição da precipitação pluvial especialmente na primavera e início do verão (DJ 353 – 065). Essa diminuição da precipitação pode limitar o crescimento e desenvolvimento da vegetação, uma vez que a precipitação pluvial em geral é insuficiente para atender as necessidades hídricas das plantas, sendo considerados os efeitos da La Niña desfavoráveis ao crescimento/desenvolvimento da vegetação (BERLATO e FONTANA, 2003).

Os demais anos analisados estiveram sob influência do fenômeno El Niño, que na região Sul do Brasil ocasiona precipitações pluviais abundantes, principalmente na primavera e início do verão e precipitações acima do normal no final do outono (DJ 081 – 241) e início do inverno do ano seguinte. Dessa forma os efeitos do El Niño são considerados favoráveis ao crescimento/desenvolvimento da planta (BERLATO e FONTANA, 2003). Os anos que estiveram sob influencia do fenômeno El Niño, geralmente não apresentaram correlação significativa para $\alpha = 5\%$ no período do outono.

4.4.3 Tipo de solo

Quando considerado o tipo de solo, observou-se que a banda espectral do azul apresenta correlação significativa para $\alpha = 5\%$ geralmente na vegetação predominante em Planossolos, e a banda do infravermelho próximo nos solos Neossolo e Argissolo. Na banda do vermelho e do infravermelho médio não foram observadas diferenças na análise de correlação entre os três tipos de solo. Nos solos de textura arenosa, que apresentam baixa coesão e fertilidade química natural, e baixa capacidade de retenção de água, limitam o desenvolvimento da vegetação (STRECK et al., 2008). Os solos de basalto retém maior quantidade de umidade favorecendo o desenvolvimento da vegetação.

4.5 Relação entre dados espectrais e temperatura média do ar

4.5.1 Média de 10 anos

Para a análise da correlação significativa para dados médios de cada estação no período de 10 anos (Tabela 4.3), foram considerados significativos os valores de correlação superiores ao nível mínimo de significância de $\pm 0,19$ (para $\alpha = 5\%$) e superior a $\pm 0,25$ (para $\alpha = 1\%$). De maneira geral não se encontrou um padrão de correlação significativa para $\alpha = 5\%$. Apenas a banda do infravermelho próximo mostrou essa relação na estação da primavera (DJ 257 – 337), época de rebrote intenso das pastagens nativas quando as plantas realizam mais fotossíntese, aumentando o número de folhas verdes. As demais médias anuais mostram que não existe um padrão de crescimento/desenvolvimento da planta associado com a temperatura média do ar. Para tanto a utilização de dados médios não está sendo eficiente para esta análise em função das particularidades de cada ano, sendo esta uma região instável climaticamente e sofrendo interferências do fenômeno ENOS (El Niño e La Niña).

Tabela 4.3: Resultado do teste de correlação entre a reflectância das bandas espectrais e temperatura média do ar para cada estação do ano no período de 2000 a 2009

	Azul			Vermelho			IVP			IVM		
	PL	Re	PE	PL	Re	PE	PL	Re	PE	PL	Re	PE
Verão	0,07	0,14	0,20*	0,10	0,17	0,20*	-0,06	-0,12	-0,11	0,05	0,16	0,17
Outono	0,26**	0,24*	0,24*	0,23*	0,20*	0,18	0,02	-0,10	-0,10	0,26**	0,26**	0,23*
Inverno	-0,06	0,18	0,08	-0,22*	0,05	-0,15	0,06	0,25**	0,31**	-0,13	-0,01	-0,09
Primavera	-0,26**	-0,15	-0,10	-0,21*	-0,14	-0,08	0,60**	0,39**	0,48**	-0,27**	-0,21*	-0,17

* - Significativa para $\alpha = 5\%$

** - Significativa para $\alpha = 1\%$

4.5.2 Bandas espectrais e estações do ano

Os resultados da análise de correlação entre a reflectância da vegetação em cada tipo de solo nas bandas espectrais (azul, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio) e temperatura média do ar para o período de 2000 a 2009 podem ser visualizados na Tabela 4.4. Para essa análise também foram considerados significativos os valores de correlação superiores ao nível mínimo de significância de $\pm 0,44$ (para $\alpha = 5\%$) e superior a $\pm 0,56$ (para $\alpha = 1\%$).

Para este trabalho foi esperada a existência de correlação entre a resposta espectral e a temperatura média do ar. Considerando outros estudos desenvolvidos para o bioma Pampa se verificou a existência de correlação entre os dados de NDVI com a temperatura média do ar, uma vez que o maior desenvolvimento das espécies vegetais encontradas ocorre na estação com maior disponibilidade de radiação e com temperatura base relativamente alta, o que limita o seu desenvolvimento em estações frias (BISSO et al., 2009), o que também foi observado neste estudo.

Tabela 4.4: Resultado do teste de correlação entre a reflectância das bandas espectrais e temperatura média do ar para cada ano no período de 2000 a 2009

		Azul			Vermelho			IVP			IVM		
		PL	Re	PE	PL	Re	PE	PL	Re	PE	PL	Re	PE
2000	Outono	0,33	0,42	0,52*	0,50*	0,44*	0,56**	0,35	-0,10	0,34	0,68**	0,68**	0,75**
	Inverno	-0,50*	-0,50*	-0,54*	-0,48*	-0,52*	-0,57**	0,55*	0,62**	0,74**	-0,49*	-0,57**	-0,57**
	Primavera	-0,29	-0,09	-0,36	-0,41	-0,17	-0,38	0,60**	0,54*	0,54*	-0,36	-0,24	-0,57**
2001	Verão	-0,36	-0,43	-0,27	-0,34	-0,42	-0,26	-0,36	-0,33	-0,29	-0,41	-0,44*	-0,32
	Outono	-0,19	-0,50*	-0,53*	-0,19	-0,62**	-0,58**	0,53*	0,11	0,07	-0,13	-0,53*	-0,65**
	Inverno	-0,58**	-0,44*	-0,70**	-0,58**	-0,40	-0,74**	0,27	-0,01	-0,15	-0,38	-0,27	-0,56*
	Primavera	-0,54*	-0,43	-0,48*	-0,53*	-0,59**	-0,47*	0,53*	0,42	0,49*	-0,65**	-0,68**	-0,64**
2002	Verão	0,04	-0,21	-0,17	0,03	-0,27	-0,10	-0,71**	-0,79**	-0,78**	0,21	-0,15	-0,01
	Outono	-0,14	-0,43	-0,51*	0,10	-0,37	-0,34	0,62**	0,68**	0,57**	0,45*	0,01	0,01
	Inverno	0,48*	0,35	0,00	0,05	-0,37	-0,31	0,60**	0,52*	0,62**	-0,34	-0,34	-0,74**
	Primavera	-0,59**	-0,57**	-0,59**	-0,53*	-0,61**	-0,57**	0,71**	0,51*	0,66**	-0,52*	-0,73**	-0,64**
2003	Verão	0,53*	0,36	0,63**	0,59**	0,55*	0,62**	0,31	0,13	0,43	0,43	0,36	0,49*
	Outono	-0,81**	-0,72**	-0,76**	-0,81**	-0,70**	-0,71**	0,88**	0,77**	0,78**	-0,66**	-0,60**	-0,59**
	Inverno	-0,78**	-0,67**	-0,78**	-0,82**	-0,70**	-0,81**	0,09	-0,02	0,09	-0,81**	-0,63**	-0,77**
	Primavera	-0,51*	-0,31	-0,43	-0,60**	-0,44*	-0,41	0,90**	0,83**	0,85**	-0,71**	-0,62**	-0,74**
2004	Verão	-0,55*	0,49*	0,50*	-0,19	0,27	0,50*	-0,88**	-0,84**	-0,85**	-0,20	0,39	0,61**
	Outono	0,67**	0,74**	0,68**	0,51*	0,61**	0,69**	-0,15	-0,51*	-0,30	0,62**	0,73**	0,86**
	Inverno	-0,64**	-0,32	-0,25	-0,35	-0,69**	-0,42	0,45*	0,26	0,05	-0,29	-0,24	-0,17
	Primavera	-0,62**	-0,46*	-0,47*	-0,48*	-0,88**	-0,55*	0,23	-0,02	0,22	-0,79**	-0,96**	-0,81**
2005	Verão	0,26	0,22	0,20	0,31	0,33	0,25	-0,50*	-0,45*	-0,42	0,29	0,32	0,18
	Outono	0,88**	0,85**	0,81**	0,87**	0,84**	0,80**	-0,76**	-0,85**	-0,80**	0,90**	0,90**	0,86**
	Inverno	0,12	0,21	0,12	-0,08	-0,01	-0,09	-0,26	-0,17	-0,33	-0,07	0,01	-0,09
	Primavera	0,07	0,00	0,27	0,49*	0,14	0,38	0,88**	0,43	0,60**	0,16	0,08	0,19
2006	Verão	-0,06	-0,04	-0,12	-0,05	-0,05	-0,18	-0,43	-0,48*	-0,50*	0,18	0,33	0,03
	Outono	0,84**	0,72**	0,98**	0,79**	0,76**	0,83**	-0,46*	-0,82**	-0,91**	0,97**	0,88**	0,89**
	Inverno	-0,66**	-0,51*	-0,57**	-0,71**	-0,52*	-0,78**	0,33	0,16	0,22	-0,40	-0,29	-0,19
	Primavera	0,39	0,57**	0,70**	0,16	0,56**	0,65**	0,91**	0,64**	0,72**	0,10	0,30	0,42
2007	Verão	-0,25	-0,73**	-0,74**	-0,46*	-0,73**	-0,71**	0,00	-0,19	-0,15	-0,27	-0,54*	-0,64**
	Outono	-0,57**	-0,45*	-0,04	-0,79**	-0,59**	-0,54*	-0,58**	-0,53*	-0,82**	-0,83**	-0,96**	-0,90**
	Inverno	-0,87**	-0,72**	-0,68**	-0,59**	-0,53*	-0,58**	0,70**	0,81**	0,85**	-0,36	-0,44*	-0,53*
	Primavera	-0,81**	-0,72**	-0,77**	-0,77**	-0,71**	-0,76**	0,48*	0,45*	0,41	-0,72**	-0,68**	-0,74**
2008	Verão	0,42	0,49*	0,41	0,41	0,60**	0,44*	0,15	0,00	-0,13	0,36	0,52*	0,38
	Outono	-0,58**	-0,48*	-0,03	-0,63**	-0,52*	-0,52*	0,72**	0,65**	0,49*	-0,07	0,38	0,51*
	Inverno	-0,42	-0,29	-0,45*	-0,20	0,00	-0,42	0,65**	0,34	0,44*	0,02	0,13	0,05
	Primavera	-0,58**	-0,38	-0,23	-0,48*	-0,22	-0,10	0,57**	-0,07	0,07	-0,47*	-0,25	-0,10
2009	Verão	0,08	0,32	0,06	0,25	0,11	-0,02	0,07	-0,25	-0,50*	0,26	0,33	0,09
	Outono	-0,81**	-0,48*	-0,80**	-0,96**	-0,83**	-0,91**	0,91**	0,84**	0,90**	-0,77**	-0,57**	-0,78**
	Inverno	-0,68**	-0,64**	-0,53*	-0,43	-0,30	-0,26	0,06	-0,16	-0,05	-0,25	-0,09	-0,03
	Primavera	-0,72**	-0,84**	-0,70**	-0,57**	-0,65**	-0,59**	-0,66**	-0,48*	-0,09	-0,31	-0,56**	-0,51*

* - Significativa para $\alpha = 5\%$

** - Significativa para $\alpha = 1\%$

A vegetação campestre natural do bioma Pampa apresenta um ciclo de desenvolvimento anual. A época de crescimento das pastagens nativas se inicia na primavera, com grande produção de biomassa, atingindo seu pico máximo no período do verão. Essa biomassa começa a decair no outono, quando se inicia a época da floração diminuindo a produtividade das folhas e o valor do NDVI, e tem uma acentuada redução no inverno atingindo seu pico mínimo, onde a planta entra em fase de senescência concordando com o período de baixas temperaturas que causam a morte da parte aérea das gramíneas de grande parcela da vegetação, ocasionando uma baixa disponibilidade de biomassa nessa época do ano. (MACHADO, 1999).

De maneira geral, durante a estação quente do ano o desenvolvimento da vegetação é determinado pelas precipitações, e a falta de água limita o crescimento das pastagens. Na estação fria são as baixas temperaturas, com a ocorrência de geadas que mais reduzem seu crescimento, aliadas ao excesso de umidade e a pouca luminosidade. Na primavera a pastagem nativa pode apresentar um teor de umidade superior a 70%, já no outono ou durante uma seca esse teor pode cair para 50% (MACHADO, 1999).

Para os 10 anos analisados foi destacada correlação significativa para $\alpha = 5\%$ entre os dados de reflectância e temperatura média do ar independente do tipo de solo onde as amostras estão posicionadas. Observou-se que na região espectral do visível entre a primavera (DJ 257 – 337) do ano de 2002 até o inverno (DJ 161 – 241) do ano de 2003 (ciclo de desenvolvimento da planta), apresentou correlação significativa para $\alpha = 5\%$. A região do visível também apresentou correlação significativa desde o outono (DJ 081 – 241) no ano de 2006, até a primavera de 2007, além dos períodos correspondentes ao outono e primavera do ano de 2009.

A banda do azul apresentou correlação com nível mínimo de significância para $\alpha = 5\%$ no ano de 2009 no período entre outono (DJ 081 – 241) e primavera (DJ 257 – 337). Por outro lado, não foi observada correlação significativa para esta mesma banda entre o inverno (DJ 161 – 241) no ano de 2005 e verão (DJ 353 – 065) de 2006. A banda do vermelho, não apresentou correlação significativa para $\alpha = 5\%$ no ano de 2002 entre o verão e o inverno. Nestas duas bandas, no período do inverno quando há correlação ela é geralmente negativa. Os demais períodos do ano apresentaram comportamento semelhante, com exceção da primavera no ano de 2006, no verão nos anos 2003 e 2008 e outono nos anos de 2004, 2005 e 2006 (Tabela 4.4).

A região espectral do visível, nas bandas do azul e vermelho, é influenciada pela quantidade/qualidade dos pigmentos fotossintetizantes presentes na planta, que absorvem a radiação nessa faixa de comprimento de onda. Dessa forma, na estação quente onde há maior disponibilidade de biomassa nas folhas, menor será a reflectância nessa região espectral, já na estação fria a morte da parte aérea das gramíneas de grande parcela da vegetação em função das

baixas temperaturas, faz com que a reflectância da vegetação aumente nessa faixa de comprimento de onda.

Na região espectral do infravermelho próximo (IVP) se destacaram com correlação significativa os períodos correspondentes ao inverno (DJ 161 – 241) e primavera de 2000, o ano de 2002 em todas as estações, entre a primavera (DJ 257 – 337) de 2005 e outono (DJ 081 – 241) de 2006, e o ano de 2007 entre outono e primavera. Nessa banda o comportamento espectral da planta é determinado pela interação da radiação com a estrutura celular. Na estação quente, há maior acumulação de biomassa pelas folhas ocasionando um aumento na reflectância. Na estação fria a resposta espectral da vegetação diminui devido a uma baixa disponibilidade de biomassa nessa época do ano, com conseqüente diminuição da reflectância.

A região espectral do infravermelho médio (IVM) apresentou correlação significativa para $\alpha = 5\%$ nos anos de 2000, 2003 e 2007 entre o outono (DJ 081 – 241) e a primavera (DJ 257 – 337). Já os períodos de 2002 entre verão (DJ 353 – 065) e inverno (DJ 161 – 241) (pico máximo e mínimo do desenvolvimento da vegetação), e inverno de 2005 e verão do ano de 2006 não apresentaram correlação significativa ao nível mínimo de significância. A reflectância da vegetação no infravermelho médio é explicada pelo conteúdo de água nos tecidos vegetais, uma vez que a água absorve consideravelmente a radiação incidente nessa região espectral. Dessa forma, o aumento da temperatura média do ar com conseqüente aumento da evapotranspiração e diminuição de água nos tecidos, pode ser um fator que justifique a ausência de correlação significativa em alguns períodos nessa banda espectral.

Trabalhos relacionando as variáveis climáticas e a resposta espectral da vegetação utilizando o NDVI (relação entre as bandas do vermelho e infravermelho próximo) demonstram que para o bioma Pampa, o aumento da temperatura média do ar sucede um aumento nos valores de NDVI ou estes não apresentam mudança significativa (BISSO et al., 2010), e também que as maiores taxas de crescimento da vegetação natural ocorre no verão e na primavera, e o inverno apresenta um valor mínimo de crescimento, devido a diminuição da temperatura média do ar (BETTOLLI et al., 2010).

A relação entre a resposta espectral da vegetação e as variáveis climáticas é explicada devido ao predomínio das espécies de gramíneas C_4 . Essas espécies exigem temperaturas mais altas para o seu desenvolvimento, apresentando como estação de crescimento o período que começa na primavera e vai até o outono, período com maior disponibilidade de radiação, já que a sua temperatura base é relativamente alta, limitando o seu desenvolvimento no inverno. Ao contrário, as espécies de gramíneas C_3 apresentam período de crescimento na estação fria, do

outono até a primavera (GOMES, 1996), e é também no inverno que a precipitação média na APA diminui.

A ocorrência do fenômeno ENOS (El Niño Oscilação Sul) positivo ou negativo pode influenciar na relação entre a resposta espectral e a temperatura média do ar. Os anos influenciados pelo fenômeno La Niña (2000, 2001 e 2008), geralmente não apresentaram correlação significativa para $\alpha = 5\%$ no verão (DJ 353 – 065), em função do aumento da atividade fotossintética com o aumento da temperatura média do ar e a precipitação pluvial em geral é insuficiente para atender as necessidades hídricas das plantas podendo limitar o crescimento e desenvolvimento da vegetação. Os efeitos da La Niña são considerados desfavoráveis ao crescimento/desenvolvimento da vegetação (BERLATO e FONTANA, 2003).

Os demais anos analisados estiveram sob influência do fenômeno El Niño, os quais apresentaram correlação significativa para $\alpha = 5\%$ principalmente no outono. O aumento da precipitação, resultado deste fenômeno, reflete num maior vigor da vegetação, principalmente na estação fria, quando as baixas temperaturas com a ocorrência de geadas reduzem o seu crescimento. Dessa forma os efeitos do El Niño são considerados favoráveis ao crescimento/desenvolvimento da planta (BERLATO e FONTANA, 2003).

4.5.3 Tipo de solo

Quando considerado o tipo de solo, observou-se que a banda espectral do azul apresenta correlação significativa com a temperatura média do ar para $\alpha = 5\%$ no período do verão (DJ 353 – 065) geralmente nos solos Neossolo e Argissolo. A reflectância da vegetação na banda do infravermelho, geralmente apresentou correlação significativa em Planossolo. Nas bandas do vermelho e infravermelho médio não foram observadas diferenças entre os três tipos de solo. Observou-se ainda que nos anos de 2000 e 2001, a vegetação predominante em Argissolo foi a que mais apresentou correlação significativa (Tabela 4.4). Bettolli et al. (2010) também observaram uma relação direta entre o desenvolvimento da vegetação em solo profundo com a temperatura média do ar, em função do armazenamento de água em solos mais profundos que minimizam o estresse hídrico das plantas.

CAPITULO V

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do SRTM para delimitação dos tipos de solo favoreceu a definição de uma grade amostral adequada para o monitoramento da vegetação campestre natural, podendo ser utilizada como uma metodologia de coleta de dados localizados, uma vez que a vegetação apresenta diferenças na composição florística determinada além de outros fatores pelas características do solo e este é influenciado pelo relevo.

A construção dos perfis espectrais/temporais com as bandas do MODIS permitiu identificar os períodos de crescimento/desenvolvimento da vegetação campestre natural associados as estações do ano . Nas estações quentes ocorre o período de crescimento, com uma diminuição da reflectância na região espectral do visível e aumento da reflectância no infravermelho próximo, enquanto na estação fria do ano há um período de senescência, quando o comportamento espectral da vegetação apresenta um aumento da reflectância na região espectral do visível e diminuição da reflectância no infravermelho próximo.

De maneira geral, verificou-se que a resposta espectral da vegetação campestre apresentou relação com as variações de temperatura média do ar e precipitação na região, respondendo a estas variáveis climáticas com um atraso aproximado de dezesseis (16) dias. Constatou-se que as maiores diferenças estão entre o período quente com um aumento na quantidade média de precipitações e o período frio com precipitação média inferior.

Observou-se que para médias anuais existe um padrão de crescimento/desenvolvimento da planta associado com a precipitação em cada estação do ano, o que não foi verificado quando relacionado com a temperatura média do ar. No entanto a utilização de dados médios não está sendo eficiente para esta análise em função das particularidades de cada ano, uma vez que as médias suprimem a variação individual e podem aumentar o coeficiente de correlação, sendo esta uma região instável climaticamente e sofrendo interferências do fenômeno ENOS.

Verificou-se diferenças na reflectância da vegetação em cada tipo de solo, principalmente nos mais profundos e com maior capacidade de armazenamento de água. A vegetação predominante em Planossolo, geralmente apresentou valores mínimos de reflectância em relação ao Neossolo e Argissolo.

Dessa forma recomenda-se um estudo mais aprofundado das características físicas e químicas do solo, com a finalidade de entender as variações da resposta espectral da vegetação encontradas em cada tipo de solo. Além disso, seria interessante a realização de uma análise

individualizada das amostras de solo, com intervalos de variação, a fim de verificar as variações dos valores entre as classes, como sugestão para trabalhos futuros.

Os resultados apresentados mostram que as imagens de satélite, utilizando a banda do infravermelho próximo, são adequadas para monitorar o início da estação de máximo crescimento da vegetação campestre natural da APA do Ibirapuitã que se inicia na primavera, relacionado principalmente com a temperatura.

Assim, para trabalhos futuros recomenda-se um aumento da grade amostral e também a utilização de outras variáveis espectrais como os índices de vegetação NDVI, EVI e NDWI, que podem servir de comparativo para a análise da resposta espectral da vegetação e monitorar seu crescimento/desenvolvimento.

Recomenda-se uma ampliação da análise estatística com a utilização de outros métodos, para que os resultados tenham um maior nível de significância. A utilização da análise de variância (ANOVA) por exemplo, poderia contribuir para uma melhor interpretação das correlações.

Por fim, tendo em vista os resultados obtidos, sugere-se a continuidade deste estudo para o monitoramento da vegetação campestre natural da APA do Ibirapuitã, principalmente no contexto das mudanças climáticas, podendo estabelecer relações entre a mudança do clima na região e os efeitos no desenvolvimento das espécies vegetais na área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADUAN, R. E.; VILELA, M. F.; KLINK, C. A. **Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres – o caso do cerrado brasileiro**. Documentos. Embrapa Cerrados. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003. 30p.

ALMEIDA, E.S.; BATISTA, G.T. Índice de vegetação versus precipitação na Amazônia. **Anais...** VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE. Santos, 1998. p. 1397-1407.

ANDERSON, L. O.; et al. Monitoramento da resposta fenológica através da utilização de imagens fração derivadas do sensor MODIS. **Anais...** XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE. Goiânia, 2005. p. 2811-2818.

ANDERSON, L.O.; SHIMABUKURO, Y. E. Monitoramento da cobertura terrestre: fenologia e alterações antrópicas. In: Bernardo Friedrich Theodor Rudorff; Yosio Edemir Shimabukuro; Juan Carlos Ceballos. (Org.). **Sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2007. p.185-206.

ARAGÃO, L. E. O. C. de; SHIMABUKURO, Y. E. **Perspectivas para o estudo da biogeoquímica do carbono em macro-escala integrando diferentes técnicas: modelagem ecológica, sensoriamento remoto e SIG**. Relatório Técnico, INPE: São José dos Campos, 2004.

ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL. 2010. **Características do território**. Disponível em: <<http://www.scp.rs.gov.br/atlas>>. Acesso em: 19 dez. 2010.

BARBOSA, A.H. **Análise espaço-temporal de índice de vegetação normalizado AVHRR / NOAA e precipitação na região nordeste de Brasil em 1982-1985**. Dissertação de mestrado. INPE: São José dos Campos, 1998.

BATISTA, G. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; LAWRENCE, W. T. The long-term monitoring of vegetation cover in the Amazonian region of northern Brazil using NOAA-AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v.18, n. 15, 1997. p. 3195-3210.

BATISTA, G. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; LAWRENCE, W. T. Monitoramento da cobertura florestal através de índices de vegetação do NOAA-AVHRR. **Anais...** VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE. Curitiba, 1993. p. 030-037

BECERRA, J. A. B.; SHIMABUKURO, Y. E.; ALVALÁ R. C. dos S. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região do cerrado usando índices espectrais de vegetação. **Anais...** XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE. Florianópolis, 2007. p. 3747-3754

BENCKE, C. S. C. **Estudo da fenologia de espécies arbóreas em uma floresta semidecídua no parque estadual de Itapuã, Viamão – RS**. Tese de doutorado. UFRGS: Porto Alegre, 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**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2003. 110 p.

BETTOLLI, M. L.; et al. Pastura natural de salto (Uruguay): relación con la variabilidad climática y análisis de contextos futuros de cambio climático. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, 2010. p.248 - 259.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. v.3. Florianópolis: Ed.UFSC, 2003. p. 877 – 1436.

BISSO, A. B. A.; et al. Análise da variação da resposta espectral da vegetação do bioma pampa, frente às variações da fenologia. **Anais... XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Belo Horizonte, 2009. CD-ROM.

BITENCURT, M. D.; GONTIJO, A. H. F. Utilização de índice de vegetação calculado com dados do Landsat 5 na separação de unidades fitofisiográficas na Serra do Cipó-MG. **Anais... VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, INPE. Curitiba, 1993. p. 216-222.

BOLDRINI, I.I. A flora dos campos do Rio Grande do Sul. *In*: PILLAR, V.P.; MÜLLER, S.C.; CASTILHOS, Z.M.S; JACQUES, A.V.A. (ed). **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009. 403p.

BOLDRINI, I.I. **Boletim do Instituto de Biociências**: campos do Rio Grande do Sul, caracterização fisionômica e problemática ocupacional. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. 39 p.

BORK, E.W.; et al. Rangeland cover component quantification using broad (TM) and narrow-band (1.4 nm) spectrometry. **Journal of Range Management**, v.52, n.3, 1999. p.249-257.

BULHÃO, C. F.; FIGUEIREDO P. S. Fenologia de leguminosas arbóreas em uma área de cerrado marginal no nordeste do Maranhão. **Revista Brasil. Botânica**, v.25, n.3, 2002. p.361-369.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística**: princípios e aplicações. Porto Alegre: Artmed, 2003.

CAMARA G.; et al. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, 1996. p. 395-403.

CANAVESI, V. Dinâmica espectro-temporal MODIS em região de Cerrados e intenso uso agropecuário. **Anais... XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, INPE. Goiânia, 2005. p. 1435-1442.

CLARK, D. B.; PALMER, M. V.; CLARK, D.A. Edaphic factors and the landscape scale distributions of tropical rain forest trees. **Ecology**, v. 80, n. 8, 1999. p. 2662-2675.

CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC/INPE). 2010. El Niño e La Niña. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em 20 ago. 2010.

COELHO, F. F.; GIASSON E. Comparação de métodos para mapeamento digital de solos com utilização de sistema de informação geográfica. **Ciência Rural**, vol.40, n.10, 2010. p. 2099-2106.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação dos solos. Rio de Janeiro, Embrapa solos, 2006. 306 p.

FEARNSIDE, P. M.; GUIMARÃES, W. M. Carbon uptake by secondary forests in Brazilian Amazônia. **Forest Ecology and Management**, 80, 1996. p. 35-46.

FLORINSKY, I.V.; KURYAKOVA, G.A. Influence of topography on some vegetation cover properties. **Catena** 27, 1996. p. 123-141.

FONSECA, E. L.; FORMAGGIO, A.R.; PONZONI, F. J. Estimativa da disponibilidade de forragem do bioma Campos Sulinos a partir de dados radiométricos orbitais: parametrização do submodelo espectral. **Ciência Rural**, v. 37, 2007. p. 1668-1674.

FONSECA, E. L.; SILVEIRA, V. C. P.; SALOMONI, E. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa incidente em biomassa aérea da vegetação campestre natural no bioma Campos Sulinos do Brasil. **Ciência Rural**, v.36, n. 2, 2006. p.656-659.

GATES, D. M. et al. Spectral properties of plants. **Applied Optics**, v. 4, n. 1, 1965. p. 11-20.

GIRARDI-DEIRO, A .M. et al. **Composição florística outonal e relação com a qualidade da forragem em campos naturais na APA do Ibirapuitã, RS.** (Documentos, 50). Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2003. 22p.

GIRARDI-DEIRO, A. M. et al. Composição Florística de Primavera e Qualidade da Pastagem em Campos Naturais na APA do Ibirapuitã. **Revista Científica Rural**, v.11. n.1, 2006. p.116-125.

GIRARDI-DEIRO, A.M.; GONÇALVEZ, J.O.N; GONZAGA, S.S. Campos naturais ocorrentes nos diferentes tipos de solo no Município de Bagé, RS. 2: Fisionomia e composição florística. **Iheringia**, série botânica, v.42, n.1, 1992. p.55-79.

GOMES, K.E. **Dinâmica e produtividade de uma pastagem natural do Rio Grande do Sul após seis anos de aplicação de adubos, diferimentos e níveis de oferta de forragem.** Tese de doutorado. UFRGS: Porto Alegre, 1996. 225p.

HALL, D.O., RAO, K.K. **Photosynthesis.** Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 211p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Mapa da Vegetação do Brasil. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_impresao.php?id_noticia=169>. Acesso em: 19 out. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA (Brasil). **Ecossistemas Brasileiros – Campos Sulinos.** Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/ecossistemas/campos_sulinos.htm>. Acesso em: 08 mar. 2010.

IPCC – Painel Intergovernamental Sobre Mudanças do Clima. **Climate Change 2001: The Scientific Basis.** Third Assessment Report, 2001.

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

JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** Tradução: Epiphany et al. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

Jet Propulsion Laboratory (JPL). 2010. Shuttle Radar Topography Mission. Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>>. Acesso em: 22 set. 2010.

JUSTICE, C. O.; et al. **Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land Remote Sensing for Global Change Research**. IEEE Transactions on geoscience and remote sensing, vol. 36, n. 4, 1998.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima artes e textos, 2000. 531p.

LEE, R.; et al. Evaluating vegetation phenological patterns in Inner Mongolia using NDVI time-series analysis. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 12, p. 2505-2512, 2002.

LIANG L.; SCHWARTZ M.D. Landscape phenology: an integrative approach to seasonal vegetation dynamics. **Landscape Ecology** 24, 2009. p. 465-472.

LILLESAND, T.M.; R.W. KIEFER. **Remote Sensing and Photo Interpretation**. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 1994. 750 p.

LIU,W.T.; XAVIER,A.F.S.; XAVIER,T.M.B.S. Relações da pluviometria na grande São Paulo com índices de vegetação e de umidade de diferença normalizada. **Anais...** V Simpósio Luso Brasileiro de Hidráulica e Recursos Hídricos e IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Rio de Janeiro, 1991. p. 117-123.

LUCAS, A. A.; SCHULER, C. A. B. Análise do NDVI/NOAA em cana-de-açúcar e Mata Atlântica no litoral norte de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 11, n. 6, 2007.p. 607-614.

MACHADO, L.A.Z. **Manejo da pastagem nativa**. Guaíba: Agropecuária, 1999. 158 p.

MELLO, C. R. et al. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, 2003. p. 925-933.

MENZEL, A.; ESTRELLA, N.; PETER, F. Spatial and temporal variability of the phenological seasons in Germany from 1951 to 1996. **Global Change Biology**, v.7, 2001. p.657-666.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Áreas Prioritárias para Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira: Atualização** - Portaria MMA nº9, de 23 de janeiro de 2007. / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Brasília: MMA, 2007. (Série Biodiversidade, 31)

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2005.

MORELLATO, L. P. C.; et al. Phenology of Atlantic rain forest trees: A comparative study. **Biotropica**, v.32, 2000. p.811-823.

MÜLLER FILHO, I. L. 1970. Notas para o Estudo da Geomorfologia do Rio Grande do Sul, Brasil. Publicação Especial nº1. Santa Maria, Imprensa Universitária, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 34p.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer**. Disponível em <<http://modis.gsfc.nasa.gov/>>. Acesso em: 10 nov.2010.

NICHOLSON, S.E.; FARRAR, T.J. The influence of soil type on the relationships between NDVI, rainfall, and soil moisture in semi-arid Botswana. II. NDVI response to rainfall. **Remote Sensing of Environment**, v. 50, 1994. p.107-120.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1989. 422p.

NOBEL, P.S. **Physicochemical and environmental plant physiology**. London: Academic Press, 1999. 474p.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 3 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2008.

PARUELO J.M., JOBBÁGY E.G.; SALA O.E. Current distribution of ecosystem functional types in temperate South America. **Ecosystems**, v. 4, 2001. p. 683-698.

PILLAR, V. D. et al. (org.) **Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009. 403 p.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

RAMBO, B. **A Fisionomia do Rio Grande do Sul: ensaio de monografia natural**. 3.ed. São Leopoldo: Ed UNISSINOS, 2005.

RIZZI, R.; FONSECA E. L. da. Análise da variação espacial e temporal do NDVI no Estado do Rio Grande do Sul através de imagens AVHRR. **Anais... X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. INPE. Foz do Iguaçu, 2001. p. 1735-1737.

RODRIGUES, D.P.; CHAVES, J.M. Relevô como marcador do solo: estudo nas terras indígenas Pankararé – Raso da Catarina (BA). **Anais... VI Simpósio nacional de Geomorfologia – Regional Conference on Geomorphology**. Goiânia, 2006.

SARTORI, M.da G. B. A dinâmica do Clima do Rio Grande do Sul: Indução empírica e conhecimento científico. **Terra Livre**, v.1 n. 20, 2003. pg. 27-49.

SILVA, S. A. et al. Avaliação de interpoladores estatísticos e determinísticos na estimativa de atributos do solo em agricultura de precisão. **Idesia**, v. 26, n. 2, 2008. p. 75-81.

SILVEIRA, V.C.P. et. al. Parâmetros Nutricionais da Pastagem Natural em diferentes tipos de solos na APA do Ibirapuitã, Rio Grande do Sul - Brasil. **Ciência Rural**, v.36, 2006. p.1896 - 1901.

SILVEIRA, V.C.P. et al. Qualidade da pastagem nativa obtida por diferentes métodos de amostragem e em diferentes solos na APA do Ibirapuitã, Brasil. **Ciência Rural**, v.35, n.3, 2005. p.582-588.

SLATER, P.N. **Remote sensing: optics and optical systems**. Reading, MA, Addison-Wesley, 1980. 575p.

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

SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M. **Remote sensing: the quantitative approach**. New York, McGraw-Hill, 1978. 396 p.

TRENTIN, C. B.; FONSECA, E. L. Identificação de diferentes formações campestres no interior da APA do Ibirapuitã – RS. **Anais... XXIV Congresso Brasileiro de Cartografia**. Aracajú, 2010. p. 703- 708.

TRIOLA, M. F. **Introdução a estatística**. Tradução: Flores, V. R. L. de F. 10. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2008.

TUELLER, P.T. Remote sensing of range production and utilization. **Journal of Range Management**, v.54, n.2, 2001. p.A77-A89.

VALERIANO, M. de M. **Modelo Digital de Elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004.

VEGA, M. L. B. P. de la. **Fitomonitoração e modelagem de fotossíntese em jatobá (*Hymenaea courbaril L.*) com redes neurais artificiais**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. 188p.

VELÁZQUEZ-ROSAS, N.; et al. Elevation variation of leaf traits in montane rain forest tree species at La Chinantla, Sourthen Mexico. **Biotropica**, v. 34, n. 4, 2002. p. 534-546.

VERONA, J. D.; SHIMABUKURO, Y. E.; SANTOS, J. R. Potencialidade das imagens-fração multitemporais TM/Landsat na caracterização de variações fenológicas em área de floresta tropical na Amazônia. **Anais... XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. INPE. Goiânia, 2005. p. 713-720.

WANG, Q.; TENHUNEN, J.D. Vegetation mapping with multitemporal NDVI in North Eastern China Transect (NECT). **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 6, n. 1, 2004. p. 17-31.

WANG, J.; PRICE, K. P.; RICH, P. M. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the Central Great Plains. **International Journal of Remote Sensing**, v.24, n.11, 2003. p.2345-2364.

WEBER, E.; HASENACK, H.; FERREIRA, C.J.S. 2004. Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação. Porto Alegre, UFRGS Centro de Ecologia. ISBN 978-85-63843-02-9. Disponível em <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>.

ZHANG, X.; et al. Monitoring vegetation phenology using MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 84, 2003. p. 471-475.

ANEXO 1

Coordenadas dos pontos de amostragem

Planossolos		
Amostras	Longitude	Latitude
1	w 55° 44' 00"	s 30° 04' 06"
2	w 55° 41' 46"	s 30° 08' 54"
3	w 55° 43' 34"	s 30° 08' 23"
4	w 55° 34' 51"	s 30° 11' 50"
5	w 55° 37' 22"	s 30° 12' 13"
6	w 55° 38' 19"	s 30° 09' 37"
7	w 55° 35' 42"	s 30° 18' 27"
8	w 55° 34' 52"	s 30° 19' 08"
9	w 55° 39' 10"	s 30° 15' 42"
10	w 55° 36' 32"	s 30° 19' 58"
11	w 55° 39' 10"	s 30° 18' 30"
12	w 55° 40' 16"	s 30° 18' 18"
13	w 55° 42' 44"	s 30° 25' 40"
14	w 55° 41' 54"	s 30° 23' 10"
15	w 55° 41' 31"	s 30° 18' 30"
16	w 55° 43' 20"	s 30° 16' 40"
17	w 55° 41' 13"	s 30° 16' 48"
18	w 55° 42' 11"	s 30° 15' 33"
19	w 55° 40' 57"	s 30° 07' 41"
20	w 55° 37' 34"	s 30° 18' 39"

ANEXO 1 – Continuação...

Neossolo		
Amostras	Longitude	Latitude
1	w 55° 44' 41"	s 30° 09' 29"
2	w 55° 45' 55"	s 30° 07' 08"
3	w 55° 47' 10"	s 30° 19' 25"
4	w 55° 49' 47"	s 30° 27' 42"
5	w 55° 47' 59"	s 30° 25' 37"
6	w 55° 44' 40"	s 30° 30' 30"
7	w 55° 46' 11"	s 30° 33' 47"
8	w 55° 45' 13"	s 30° 31' 43"
9	w 55° 39' 51"	s 30° 36' 07"
10	w 55° 39' 59"	s 30° 37' 21"
11	w 55° 40' 07"	s 30° 40' 24"
12	w 55° 27' 25"	s 30° 31' 16"
13	w 55° 36' 32"	s 30° 26' 27"
14	w 55° 34' 19"	s 30° 34' 53"
15	w 55° 33' 38"	s 30° 35' 26"
16	w 55° 32' 57"	s 30° 24' 23"
17	w 55° 33' 13"	s 30° 20' 06"
18	w 55° 27' 51"	s 30° 23' 42"
19	w 55° 33' 22"	s 30° 13' 54"
20	w 55° 29' 55"	s 30° 15' 50"

Basalto Profundo		
Amostras	Longitude	Latitude
1	w 55° 46' 45"	s 30° 08' 31"
2	w 55° 45' 55"	s 30° 10' 10"
3	w 55° 51' 59"	s 30° 31' 10"
4	w 55° 51' 25"	s 30° 29' 29"
5	w 55° 52' 08"	s 30° 30' 19"
6	w 55° 53' 06"	s 30° 23' 42"
7	w 55° 48' 57"	s 30° 20' 40"
8	w 55° 48' 40"	s 30° 40' 32"
9	w 55° 47' 34"	s 30° 37' 22"
10	w 55° 46' 52"	s 30° 35' 42"
11	w 55° 40' 23"	s 30° 43' 34"
12	w 55° 38' 53"	s 30° 44' 57"
13	w 55° 39' 33"	s 30° 49' 06"
14	w 55° 25' 29"	s 30° 34' 52"
15	w 55° 24' 57"	s 30° 34' 36"
16	w 55° 32' 15"	s 30° 42' 28"
17	w 55° 31' 51"	s 30° 41' 30"
18	w 55° 22' 44"	s 30° 27' 01"
19	w 55° 21' 29"	s 30° 27' 50"
20	w 55° 23' 17"	s 30° 26' 44"