

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**DINÂMICA TEMPORAL DO NDVI DE REMANESCENTES DAS
FITOFISIONOMIAS DA MATA ATLÂNTICA, BACIA DO RIO DOS SINOS, RS**

LETÍCIA CELISE BALLEJO OLIVEIRA

ORIENTADOR: PROF. DR. LAURINDO ANTONIO GUASSELLI

PORTO ALEGRE, NOVEMBRO DE 2013.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**DINÂMICA TEMPORAL DO NDVI DE REMANESCENTES DAS
FITOFISIONOMIAS DA MATA ATLÂNTICA, BACIA DO RIO DOS SINOS, RS**

LETÍCIA CELISE BALLEJO OLIVEIRA

Orientador: Prof. Dr. Laurindo Antonio Guasselli

Banca Examinadora:

**Prof^a. Dr^a. Dejanira Luderitz Saldanha (PPGGEA/UFRGS)
Prof. Dr. Elódio Sebem (Colégio Politécnico/UFSM)
Prof^a. Dr^a. Tatiana Mora Kuplich (CRS/INPE)**

**Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-graduação
em Geografia como requisito
para obtenção do título de
Mestre em Geografia.**

PORTO ALEGRE, NOVEMBRO DE 2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Rui Vicente Oppermann

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Ballejo de Oliveira, Letícia Celise

Dinâmica temporal do NDVI de remanescentes das fitofisionomias da Mata Atlântica, bacia do rio dos Sinos, RS . / Letícia Celise Ballejo de Oliveira. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2013.
[95 f.] il.

Dissertação (Mestrado).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2013.

Orientador(es): Laurindo Antonio Guasselli

1. Dinâmica temporal do NDVI. 2. Séries temporais. 3. Componentes Principais. 4. Fitofisionomias da Mata Atlântica. I. Título.

CDU 911

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Veleida Ana Blank

CRB 10/571

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me privilegiar com seu amor infinito, por ter me sustentado até aqui, e ter me permitido alcançar essa vitória.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, pela oportunidade de obter um ensino de qualidade.

Ao Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM/UFRGS), pela infraestrutura disponibilizada, sem a qual seria impossível desenvolver o presente trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro através da bolsa de mestrado.

Ao meu orientador, Laurindo Antonio Guasselli, pelo apoio e dedicação na orientação.

Aos professores da banca pelas sugestões e correções realizadas

A todos os colegas do Laboratório de Geoprocessamento e Análise Ambiental do CEPSRM.

Aos meus queridos amigos que me acompanham nessa caminhada da vida, principalmente à Isabel Galvão, amiga muito especial que a Geografia me trouxe.

À Alexandre Claro da Costa, pelo amor e paciência.

Aos meus avós Juvina (*in memoriam*) e Getúlio, alicerces em minha vida, agradeço também ao meu avô por sempre me apoiar e incentivar na carreira acadêmica.

E por fim, à minha mãe e à minha irmã, Elda e Gabrielly Ballejo, muito obrigada pelo amor, apoio e compreensão que me ofertam diariamente.

RESUMO

O presente trabalho visa analisar a partir da variação temporal de NDVI, o comportamento da vegetação remanescente das fitofisionomias da Mata Atlântica, na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS. Para isso utilizou-se uma série temporal de imagens de NDVI do sensor MODIS, englobando o período de 2000 a 2011. A partir dessas imagens foram gerados espectros temporais de NDVI para cada fitofisionomia remanescente presente na bacia. Também empregou-se a Análise por Componentes Principais (ACP) no conjunto de imagens. Como resultados, observou-se através da análise da série temporal de NDVI/MODIS, um padrão sazonal das fitofisionomias da Mata Atlântica. Os espectros temporais revelaram a sazonalidade da vegetação influenciada principalmente pela temperatura, onde no inverno o NDVI atingiu seus menores valores e no verão seus maiores valores. A ACP mostrou-se uma técnica eficiente para analisar a variação espaço-temporal do NDVI na bacia dos Sinos, entretanto, foi ineficiente para distinguir as fitofisionomias presentes na bacia. Assim, conclui-se que, a utilização de séries temporais em estudos ambientais envolvendo o Sensoriamento Remoto é um importante recurso no monitoramento temporal dos recursos naturais e na detecção de possíveis alterações da sua dinâmica.

Palavras-Chaves: Dinâmica temporal de NDVI; Análise de Séries Temporais, Componentes Principais; Fitofisionomias da Mata Atlântica.

ABSTRACT

The present work analyzes, from the temporal variation of NDVI, the behavior of the remaining vegetation phytophysiological types of the Atlantic Forest, in the basin of the Rio dos Sinos, RS. For this we used a time series of images of the MODIS NDVI, encompassing the period 2000-2011. From these images were generated spectra temporal NDVI for each vegetation type remaining in this basin. Also we used the Principal Component Analysis (PCA) on the set of images. As a result, it was observed by analyzing the time series of NDVI / MODIS a seasonal pattern of vegetation types of the Atlantic. The temporal spectra revealed the seasonality of vegetation influenced primarily by temperature, where in winter the NDVI reached its lowest values, and in summer the higher values. The PCA proved to be an efficient technique to analyze the spatial-temporal variation of NDVI in the basin of the Sinos. However, it was inefficient to distinguish vegetation types present in the basin. Thus, it is concluded that the use of time series in environmental studies involving remote sensing is an important feature in the temporal monitoring of natural resources and the detection of possible changes in their dynamics.

Key Words: Temporal dynamics of NDVI; Time Series Analysis, Principal Components; Phytophysiological types of the Atlantic Forest.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3. ÁREA DE ESTUDO	16
3.1 Localização e dados Gerais	16
3.2 Caracterização da área de estudo	17
3.2.1 Vegetação	19
3.2.1.1 Floresta Estacional Semidecidual	20
3.2.1.2 Floresta Ombrófila Mista	22
3.2.1.3 Estepe	22
3.2.1.4 Área de transição	23
4. REFERENCIAL TEÓRICO	24
4.1 Mata Atlântica	24
4.2 Sensoriamento Remoto	26
4.3 Comportamento espectral da vegetação	28
4.4 Índices de Vegetação	32
4.4.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	33
4.5 Séries Temporais de NDVI	34
4.6 Análise por Componentes Principais	37
5. METODOLOGIA	39
5.1 Aquisição e processamento das imagens MODIS	39
5.2 Geração dos Espectros Temporais de NDVI	41
5.3 Geracao da Série Temporal – Análise Por Compenentes Principais	44
5.4 Dados Pluviométricos e de Temperatura 465.4 Dados Pluviométricos e de Temperatura	45
5.5 Trabalho de Campo	46

6. RESULTADOS	47
6.1 Análise do padrão espaço-temporal de ocupação da Mata Atlântica na bacia hidrográfica do rio dos Sinos	47
6.2 Variação temporal de NDVI - análise dos espectros temporais	54
6.2.1 Relação dos espectros temporais de NDVI com a Precipitação e Temperatura na bacia do Sinos	71
6.3 Análise da variação de NDVI com base em Análise de Séries Temporais, a partir de Componentes Principais	73
7. CONCLUSÕES	87
8. REFERÊNCIAS	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Localização e relevo da bacia hidrográfica do rio dos Sinos – RS	16
Figura 02 – Mapa das Unidades Geomorfológicas da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS	17
Figura 03 - Distribuição espacial da precipitação mensal na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS, período 1940-2001	19
Figura 04 - Mapa das fitofisionomias que compõem o bioma Mata Atlântica presentes na bacia hidrográfica do rio dos Sinos – RS	20
Figura 05 – Perfil Esquemático da Floresta Estacional Semidecidual	21
Figura 06 - Mapa dos biomas do Rio Grande do Sul	25
Figura 07 – Espectro Eletromagnético	26
Figura 08 - Curvas de reflectância típicas de solo, vegetação e água	27
Figura 09 - Curva espectral de uma vegetação fotossinteticamente ativa	29
Figura 10 - Efeito espectral do secamento progressivo da folha.....	30
Figura 11 - Dinâmica da reflectância de dosséis vegetais simulados em função do aumento da camada de folhas	32
Figura 12 Imagem de NDVI/MODIS, com o limite da bacia hidrográfica do rio dos Sinos	41
Figura 13 - Mapa de localização das amostras remanescentes de Mata Atlântica para cada fitofisionomia da bacia dos Sinos	43
Figura 14 - Mapa do Uso do Solo da bacia do rio dos Sinos	48
Figura 15: Classes de Uso do Solo na bacia dos Sinos – área agrícola, silvicultura e vegetação nativa	49
Figura 16 - Mata Atlântica ocupando as encostas, em destaque área de silvicultura .	49
Figura17 - Mata Atlântica ocupando as encostas, em destaque área de silvicultura ...	50
Figura 18 - Áreas antropizadas e Mata Atlântica ocupando as encostas	50
Figura 19 - Remanescentes de Mata Atlântica sobrepostos ao Mapa Altimétrico da bacia dos Sinos	51
Figura 20 : Imagem fatiada em classes de NDVI/MODIS, correspondente ao inverno (14/09/2000)	53
Figura 21 : Imagem fatiada em classes de NDVI/MODIS, correspondente ao verão (02/02/2005)	53

Figura 22 – Espectro temporal NDVI/MODIS da Floresta Semidecidual de Terras Baixas – amostra 1.1	55
Figura 23 - Espectro temporal NDVI/MODIS da Floresta Semidecidual de Terras Baixas - amostra 1.2.	55
Figura 24 - Espectro temporal NDVI/MODIS da Floresta Semidecidual de Terras Baixas - amostra 1.3	56
Figura 25 - Limite da amostra 1.1 da Floresta Semidecidual de Terras Baixas	57
Figura 26 - Limite da amostra 1.2 da Floresta Semidecidual de Terras Baixas	58
Figura 27 - Limite da amostra 1.3 da Floresta Semidecidual de Terras Baixas	58
Figura 28 - Médias anuais de NDVI/MODIS referentes aos meses de inverno e verão da Floresta Semidecidual de Terras Baixas	59
Figura 29 - Precipitação acumulada mensal período 2000 a 2011, Bacia dos Sinos - RS.	60
Figura 30 - Espectro temporal de NDVI da Floresta Semidecidual Submontana - amostra 2.1	60
Figura 31 - Espectro temporal de NDVI da Floresta Semidecidual Submontana - amostra 2.2	61
Figura 32 - Espectro temporal de NDVI da Floresta Semidecidual Submontana - amostra 2.3	61
Figura 33 - Médias anuais do NDVI referentes aos meses de inverno e verão da Floresta Semidecidual Submontana	62
Figura 34 - Espectro temporal de NDVI da Floresta Semidecidual Montana - amostra 3.1	62
Figura 35 - Espectro temporal de NDVI da Floresta Semidecidual Montana - amostra 3.2	63
Figura 36 - Espectro temporal de NDVI da Floresta Semidecidual Montana - amostra 3.3	63
Figura 37 - Gráfico das temperaturas mensais do município de Campo Bom na bacia dos Sinos, período 2000 a 2009	64
Figura 38 - Médias anuais do NDVI referentes aos meses de inverno e verão da Floresta Semidecidual Montana	64
Figura 39 - Espectro temporal de NDVI da Floresta Ombrófila Mista - amostra 4.1	67
Figura 40 - Espectro temporal de NDVI da Floresta Ombrófila Mista - amostra 4.2	67
Figura 41 - Espectro temporal de NDVI da Floresta Ombrófila Mista - amostra 4.3.	68
Figura 42 - Médias anuais do NDVI referentes aos meses de inverno e verão da Floresta Ombrófila Mista	69

Figura 43 - Espectro temporal de NDVI da fitofisionomia Estepe - amostra 5.1	70
Figura 44 - Espectro temporal de NDVI da fitofisionomia Estepe - amostra 5.2	70
Figura 45 - Espectro temporal de NDVI da fitofisionomia Estepe - amostra 5.3	70
Figura 46 - Variação da precipitação mensal, no período 2000 a 2011, na bacia do rio dos Sinos - RS	71
Figura 47 - Variação da temperatura mensal, no período 2000 a 2011, na bacia do rio dos Sinos - RS	72
Figura 48 – Variação mensal de NDVI/MODIS, no período 2000 a 2011, na bacia do rio dos Sinos	72
Figura 49 - Contribuição das três Principais Componentes (autovetores), geradas por Análise de Séries Temporais (TSA), de 65 imagens de NDVI de inverno	75
Figura 50 - Imagem de NDVI de inverno de maior contribuição na CP1	76
Figura 51 - Imagem de NDVI de inverno de maior contribuição na CP2	77
Figura 52 - Imagem de NDVI de inverno de maior contribuição na CP3	77
Figura 53 - Imagem CP1, da bacia do rio dos Sinos, obtidas por Análise de Séries Temporais (TSA), sobre imagens de NDVI de inverno (2000 a 2011)	78
Figura 54 - Imagem CP2, da bacia do rio dos Sinos, obtidas por Análise de Séries Temporais (TSA), sobre imagens de NDVI de inverno (2000 a 2011)	79
Figura 55 - Imagem CP3, da bacia do rio dos Sinos, obtidas por Análise de Séries Temporais (TSA), sobre imagens de NDVI de inverno (2000 a 2011)	79
Figura 56 - Contribuição das três Principais Componentes (autovetores), geradas por Análise de Séries Temporais (TSA), de 50 imagens de NDVI de verão	82
Figura 57 - Imagem de NDVI de verão de maior contribuição na CP1	83
Figura 58 - Imagem de NDVI de verão de maior contribuição na CP2	83
Figura 59 - Imagem de NDVI de verão de maior contribuição na CP3	84
Figura 60 - Imagem CP1, da bacia do rio dos Sinos, obtidas por Análise de Séries Temporais (TSA), sobre imagens de NDVI de verão (2000 a 2011)	85
Figura 61 - Imagem CP2, da bacia do rio dos Sinos, obtidas por Análise de Séries Temporais (TSA), sobre imagens de NDVI de verão (2000 a 2011)	85
Figura 62 - Imagem CP3, da bacia do rio dos Sinos, obtidas por Análise de Séries Temporais (TSA), sobre imagens de NDVI de verão (2000 a 2011)	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Área e percentual dos remanescentes das fitofisionomias da Mata Atlântica de acordo com a localização por classe altimétrica.....	52
Tabela 02 - Precipitação média no verão na bacia do Sinos, período 2000 a 2011	66
Tabela 03 - Contribuição das três Principais Componentes, geradas por Análise de séries temporais (TSA), de 65 datas de imagens de NDVI de inverno	74
Tabela 04 - Contribuição das três Principais Componentes, geradas por Análise de séries temporais (TSA), de 50 datas de imagens de NDVI de verão	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Imagens de NDVI/MODIS do período de um ano	40
Quadro 02 - Série temporal de imagens NDVI/MODIS	42
Quadro 03 - Série temporal de imagens NDVI/MODIS utilizadas, referentes ao inverno	44
Quadro 04 - Série temporal de imagens NDVI/MODIS utilizadas, referentes ao verão	44

1. INTRODUÇÃO

Em estudos ambientais, a dinâmica das comunidades vegetais é um tema bastante explorado. Porque a vegetação exerce um papel determinante no funcionamento dos ecossistemas terrestres através de sua produtividade primária e da disponibilização de recursos e abrigo às espécies (TOWNSEND et al., 2010), atua no equilíbrio dos processos atmosféricos e na manutenção da temperatura devido a evapotranspiração que promove (CONTI E FURLAN, 2003 apud ROSEMBACK et al., 2010).

São inúmeros os processos ambientais que envolvem dinâmicas das comunidades vegetais, por isso torna-se necessário a utilização de métodos capazes de produzir diagnósticos a respeito dos recursos vegetais e capazes de subsidiar planos de conservação. Para isso torna-se importante entender a dinâmica espaço-temporal de formações vegetais, como as florestas, evidenciando seu comportamento sazonal, para assim, buscar revelar padrões na sua dinâmica.

Nesse contexto, as técnicas de sensoriamento remoto apresentam grande potencial para o mapeamento e avaliação das condições estruturais dos recursos florestais, além do monitoramento dos ciclos anuais da vegetação (PONZONI E SHIMABUKURO, 2009). A partir de técnicas de sensoriamento remoto podem ser obtidas informações provenientes da cobertura vegetal através da análise da interação entre a radiação eletromagnética e a própria vegetação (JENSEN, 2007; PONZONI e SHIMABUKURO, 2009).

Como destaca DeFries e Townshend (1994); Latorre et al. (2007, apud Carvalho Júnior et al., 2008), “o comportamento espectro-temporal da vegetação fornece importantes indícios sobre as fitofisionomias presentes através dos diferentes atributos de fenologia das plantas, como a variação da arquitetura da vegetação, presença de pigmentos na planta, entre outros”.

Com o avanço tecnológico dos últimos anos, os sensores remotos orbitais, foram dotados de características capazes de fornecer parâmetros precisos para monitorar continuamente os recursos florestais. Um exemplo é o sensor MODIS (*MODerate resolution Imaging Spectrometer*) a bordo do satélite Terra que tem se destacado como um importante recurso nos estudos da dinâmica da vegetação. Um dos produtos fornecidos pelo MODIS é o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Baptista e Munhoz (2009) ressaltam que o NDVI é um método de

determinação do vigor da vegetação por meio de diferença normalizada entre o pico de reflectância no infravermelho próximo e a feição de absorção de energia eletromagnética na região do vermelho utilizada na fotossíntese. A aplicação do NDVI em florestas possibilita a análise do seu comportamento sazonal, o diagnóstico de mudanças espaço-temporais e o monitoramento de parâmetros fenológicos.

De acordo com dados do SOS Mata Atlântica, hoje, restam 8,5% de remanescentes florestais acima de 100 hectares do bioma Mata Atlântica. No Rio Grande do Sul, a Mata Atlântica ocupava originalmente uma área de 13.836.988 ha, cerca de 50% do território do estado, atualmente restam apenas 7,9% de remanescentes florestais¹.

Entre as fitofisionomias que compõem a Mata Atlântica, a Floresta Estacional Semidecidual e a Floresta Ombrófila Mista, presentes na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS, constituem-se fonte de estudo, visando principalmente à detecção das alterações antrópicas que o bioma vem sofrendo. A alteração da Mata Atlântica na bacia ocorre desde a chegada dos primeiros colonizadores alemães na região. A floresta começou a ser desmatada para dar lugar à agricultura, sendo que, além da ocupação agrícola com o arroz e a pecuária, áreas florestais foram drenadas e aterradas para o estabelecimento de loteamentos urbanos e industriais.

Atualmente, restam apenas fragmentos de remanescentes das fitofisionomias da Mata Atlântica ao longo da bacia dos Sinos. Esses remanescentes se encontram principalmente nas encostas e nos fundos dos vales, locais com dificuldade de acesso e/ou baixa aptidão agrícola.

Diante disso, técnicas de Sensoriamento Remoto, como o NDVI, podem contribuir na análise da dinâmica temporal desses remanescentes florestais, bem como, auxiliar na detecção de mudanças antrópicas que os mesmos vêm sofrendo.

¹ Fonte: Fundação SOS Mata Atlântica e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, período 2011-2012.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a partir da variação temporal de NDVI, o comportamento da vegetação remanescente das fitofisionomias da Mata Atlântica, na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS.

2.2 Objetivos Específicos

a) Verificar a ocorrência de padrões sazonais para as diferentes fitofisionomias da Mata Atlântica a partir de uma série temporal de imagens de NDVI/MODIS para o período de 2000 a 2011;

b) Analisar a variação de NDVI das fitofisionomias, a partir de espectros temporais;

c) Comparar o comportamento sazonal das diferentes fitofisionomias dos remanescentes de Mata Atlântica na bacia do rio dos Sinos.

d) Relacionar os espectros temporais de NDVI com dados pluviométricos e de temperatura;

e) Analisar o comportamento da vegetação ao longo da série temporal de imagens de NDVI/MODIS de 2000 a 2011, por meio da Análise por Componentes Principais.

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização e dados gerais

A bacia hidrográfica do rio dos Sinos, pertencente à região hidrográfica do Guaíba, localiza-se na região nordeste do Rio Grande do Sul entre as coordenadas geográficas 29°20' a 30°10' de latitude Sul e 50°15' a 51°20' de longitude Oeste (Figura 01). Possui uma área de 3.820 km², correspondendo a 4,5% da região hidrográfica do Guaíba e 1,5% da área total do Estado do Rio Grande do Sul, com uma população aproximada de 975.000 habitantes, sendo que 90,6 % ocupam as áreas urbanas e 9,4 % estão nas áreas rurais². Esta bacia abrange municípios como Campo Bom, Canoas, Gramado, Igrejinha, Novo Hamburgo, São Leopoldo, Sapucaia do Sul, Taquara e Três Coroas. Os principais corpos de água são os rios: Rolante, da Ilha, Paranhana e o rio dos Sinos.

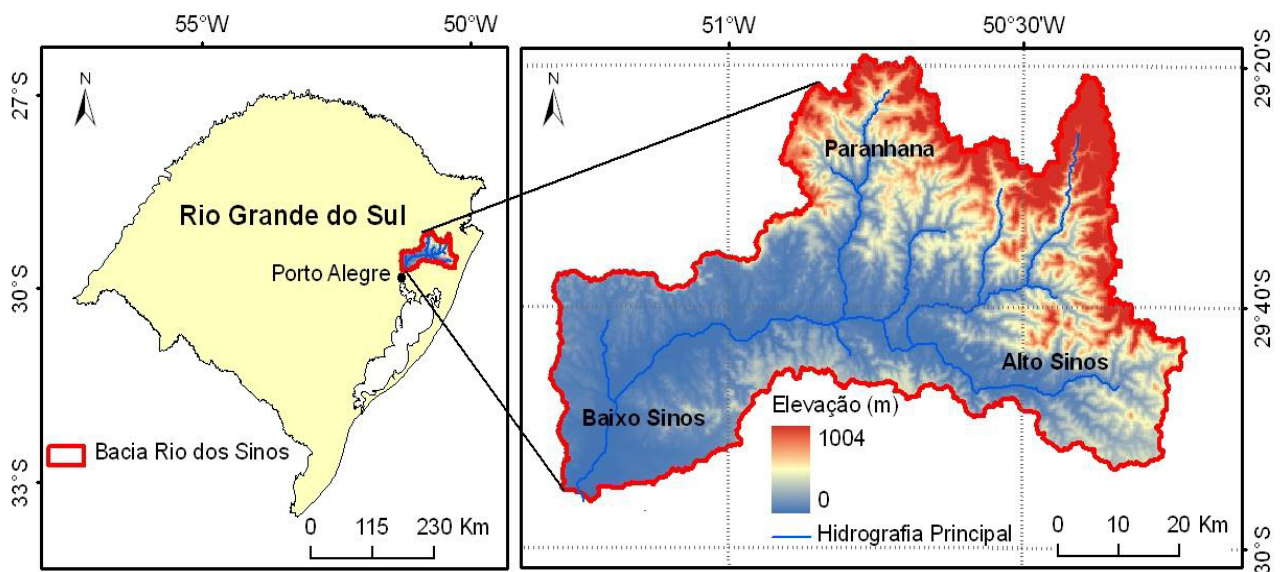


Figura 01: Localização e relevo da bacia hidrográfica do rio dos Sinos - RS.
Fonte: BRUBACHER, et al. (2012).

² Fonte: FEPAM.

3.2 Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio dos Sinos possui uma grande amplitude altimétrica, com áreas que variam de 0 até 1000m de altitude acima do nível médio do mar. A Figura 02 apresenta as características geomorfológicas da bacia.

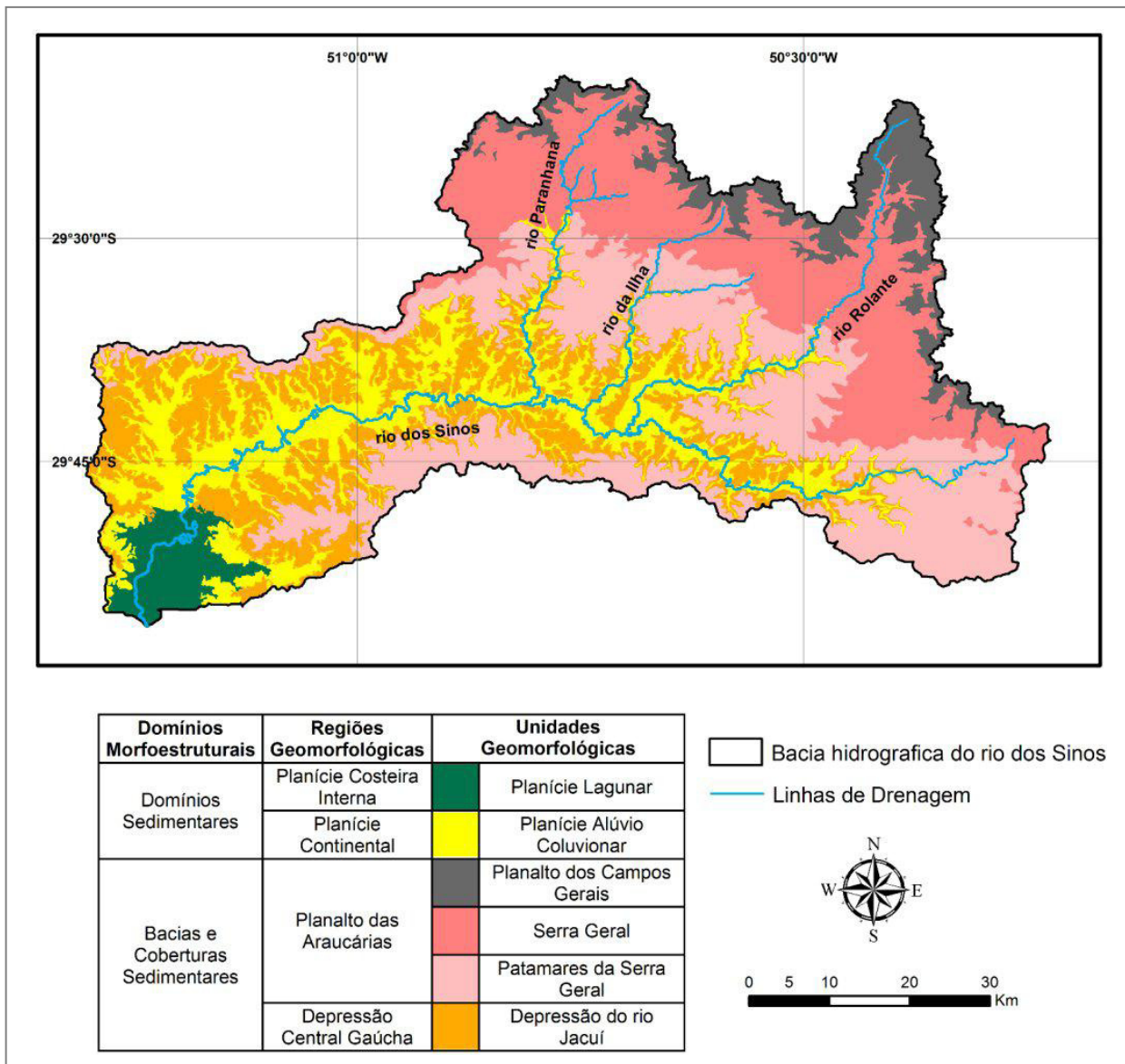


Figura 02: Unidades Geomorfológicas da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS
 Fonte: Luerce et al. 2013.

De acordo com a Figura 02, as Unidades Geomorfológicas (UGs) presentes na bacia são: Planície Lagunar, Planície Alúvio Coluvionar, Planalto dos Campos Gerais, Serra Geral, Patamares da Serra Geral e Depressão do rio Jacuí.

Segundo Luerce et al. (2013), as áreas mais planas com menores altitudes correspondem a UG Planície Lagunar, com altimetria menor de 20m e declividade menor de 2%. Já as áreas de maiores altitudes correspondem a UG dos Planaltos dos Campos Gerais, com altimetria maior que 650 m e declividades maiores de 25%.

A UG de maior predominância na bacia são os Patamares da Serra Geral, que representam 27,2% da bacia (1.005 km²), considerando os seguintes limiares: i) áreas com altimetria entre 60 e 180 m com declividades menores de 12%, ou; ii) áreas com altimetria entre 180 e 650 m com declividades menores de 25%. Essa UG corresponde aos terminais rebaixados da Serra Geral. As formas de relevo predominantes são colinas e morros com pequeno aprofundamento dos vales fluviais e forte controle estrutural (LUERCE et al., 2013).

Em relação ao tipo de clima, segundo Rossato (2011), a bacia dos Sinos localiza-se em uma área de transição entre os tipos de clima Subtropical III e Subtropical IV. O clima Subtropical III caracteriza-se por ser super úmido com uma variação longitudinal das temperaturas médias, as quais variam anualmente entre 17-20°C, a média da temperatura do mês mais frio oscila entre 11-14°C e do mês mais quente entre 23-26°C. O clima Subtropical IV também presente na bacia dos Sinos, caracteriza-se por ser muito úmido, com inverno frio e verão fresco. A temperatura média anual varia entre 14-17°C, com temperatura média do mês mais frio variando entre 8-14°C e a do mês mais quente entre 17-23°C.

A Figura 03 apresenta a variação da precipitação média mensal na bacia dos Sinos. Destaca-se que o quadrimestre mais chuvoso concentra-se de junho a setembro, entretanto, o mês de janeiro também registra altas quantidades de chuva. No entanto, é o mês de setembro que se destaca, registrando índices pluviométricos de até 184 mm. Observa-se que é na porção norte da bacia que se concentram as chuvas, pois de acordo com a Figura 03, é aí que na maioria dos meses, se apresentam os maiores índices pluviométricos.

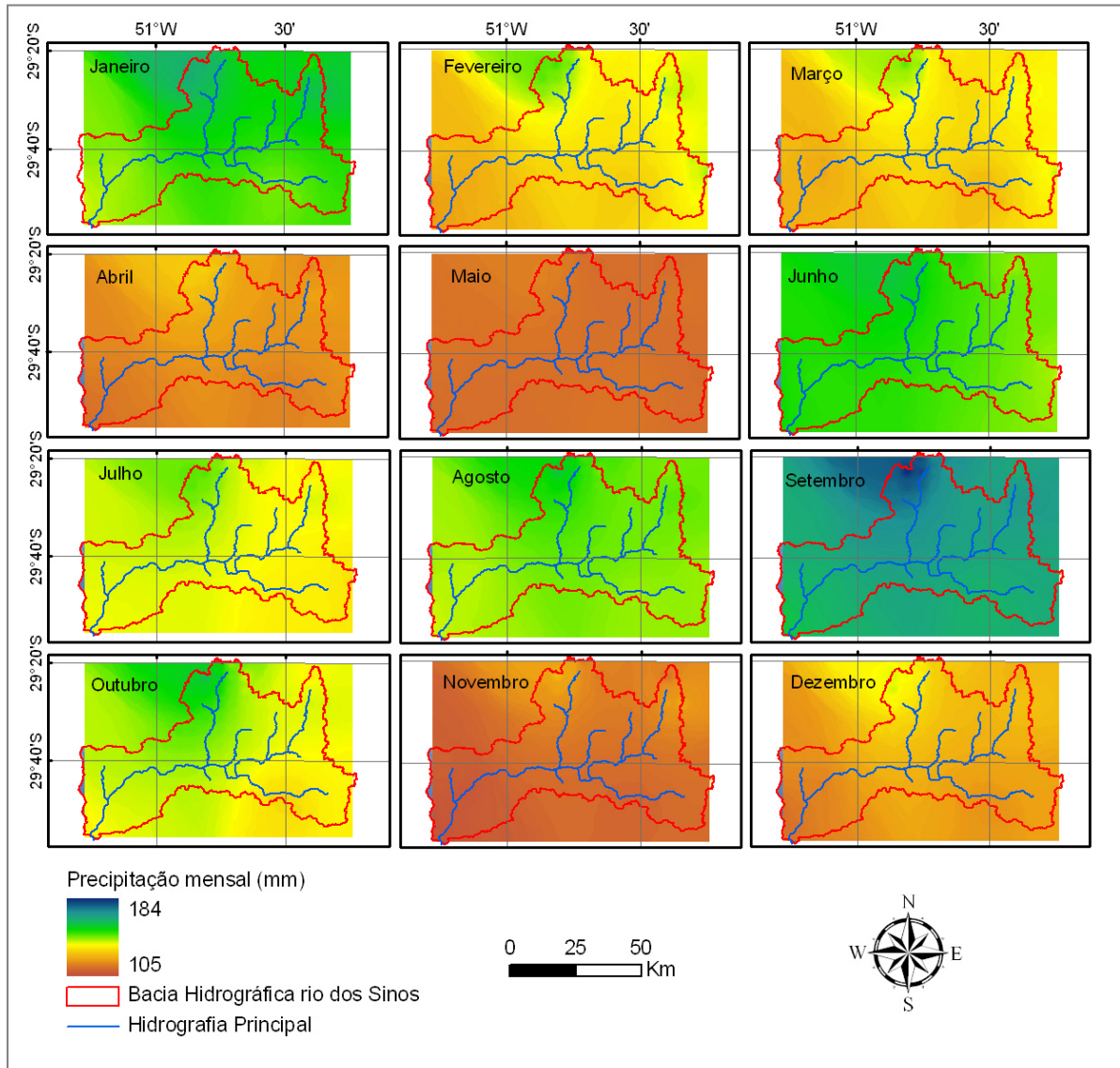


Figura 03: Distribuição espacial da precipitação mensal na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS, período 1940-2001.

Fonte: BRUBACHER, et al. (2012).

3.2.1 Vegetação

Devido ao caráter do presente trabalho, optou-se por descrever um pouco mais detalhadas as características referentes à vegetação presente na bacia dos Sinos.

Na bacia dos Sinos encontram-se remanescentes de Mata Atlântica, representados pelas seguintes fitofisionomias: Floresta Estacional Semidecidual; Floresta Ombrófila Mista; Campos (estepe), (Figura 04).

Na porção oeste da bacia onde a vegetação predominante não corresponde a Mata Atlântica, denomina-se de Área de transição.

Cabe salientar que as áreas de fitofisionomias da Mata Atlântica no mapa (Figura 04) correspondem às áreas originais, sendo que os remanescentes é que representam as áreas florestais existentes atualmente. De acordo com os dados do projeto “SOS Mata Atlântica” (2008), desenvolvido em parceria com o INPE, esses remanescentes florestais totalizam 692,03 km² na bacia dos Sinos.

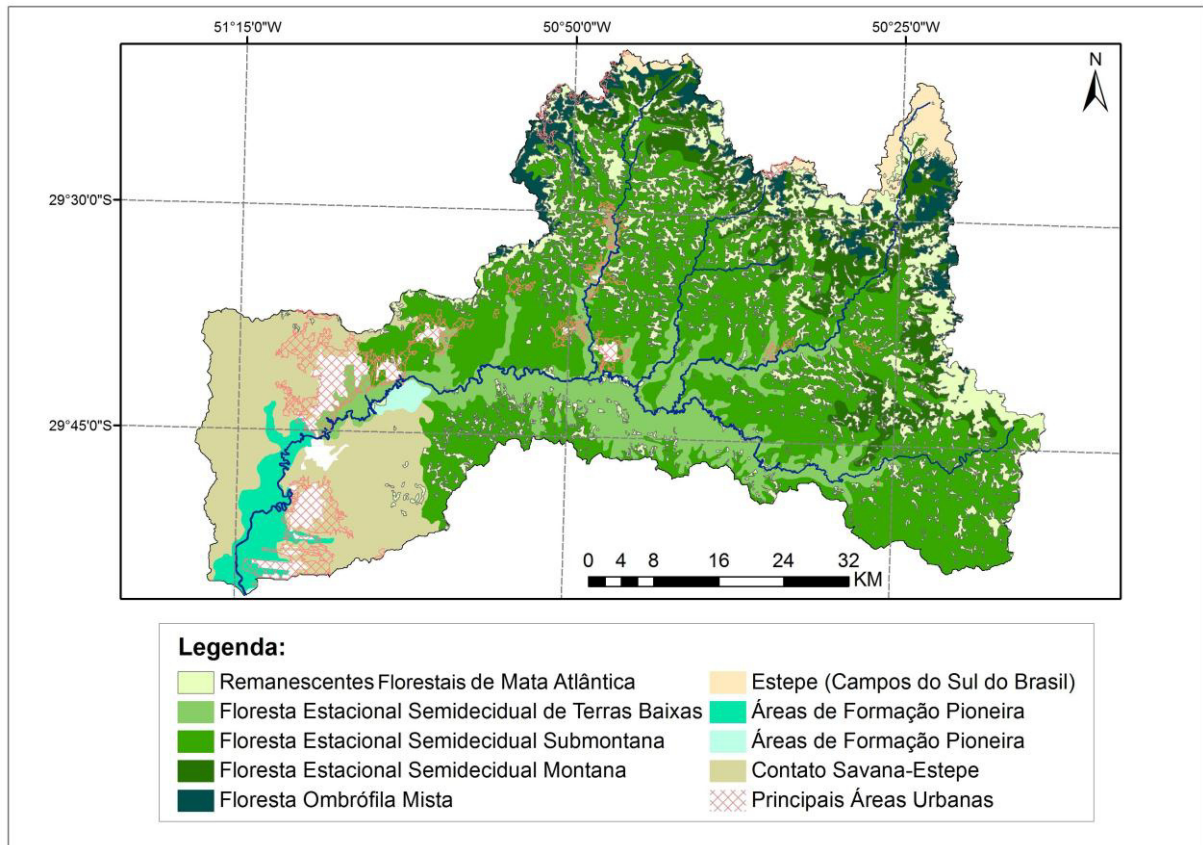


Figura 04: Mapa das fitofisionomias que compõem o bioma Mata Atlântica presentes na bacia hidrográfica do rio dos Sinos - RS.

Fonte: RADAM e Atlas dos Remanescentes da Mata Atlântica.

3.2.1.1 Floresta Estacional Semidecidual

A principal característica da Floresta Estacional Semidecidual está ligada à ocorrência de um clima estacional que determina semideciduidade da folhagem da cobertura florestal. Na zona subtropical correlaciona-se a clima sem período seco, porém com inverno bastante frio (temperaturas médias mensais inferiores a 15° C), que determina repouso fisiológico e queda parcial da folhagem. A percentagem das árvores que perdem as folhas no conjunto florestal situa-se entre 20 e 50% (IBGE, 2012).

A Floresta Estacional Semidecidual, apresenta-se dividida em quatro formações: Floresta Aluvial, Floresta das Terras Baixas, Floresta Submontana e Floresta Montana (Figura 05). Na bacia do rio dos Sinos não ocorre Floresta Aluvial.

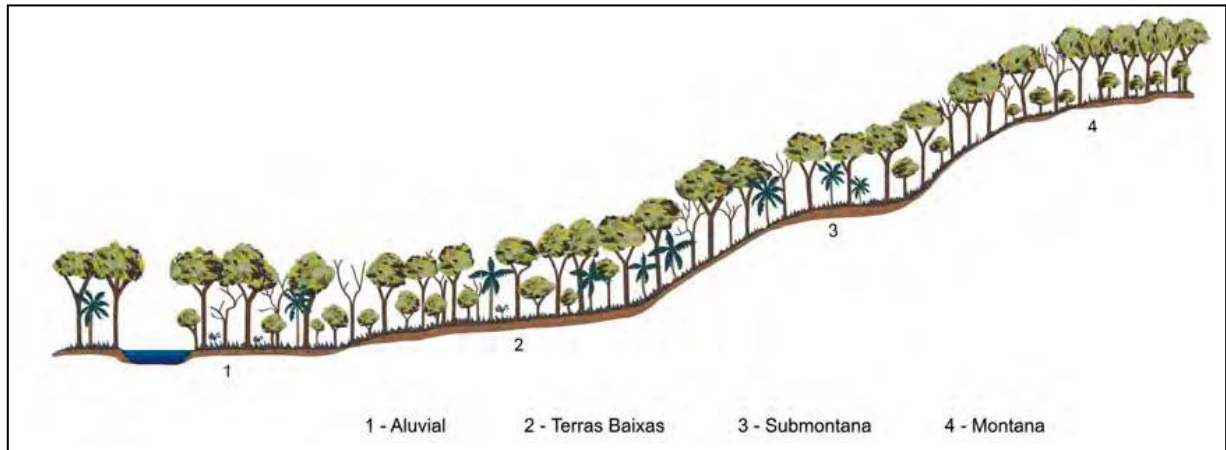


Figura 05: Perfil esquemático da Floresta Estacional Semidecidual
 Fonte: Veloso, Rangel Filho e Lima (1991)

De acordo com IBGE (2012) a formação das Terras Baixas, na bacia dos Sinos está presente, geralmente, em áreas de 5 a 30 m de altitude; a Submontana situa-se na faixa altimétrica que varia de 30 a 400 m; e a Montana ocorre na faixa altimétrica que varia entre 400 a 1 000 m de altitude.

A Floresta Estacional Semidecidual de Terras Baixas está restrita as planícies originalmente inundáveis do rio dos Sinos. Segundo o Levantamento dos Recursos Naturais do Rio Grande do Sul de 1986, realizado pelo Projeto RADAMBRASIL, os agrupamentos residuais dessa floresta estavam restritos as áreas de difícil drenagem, com uma escassa superfície de 33 km², muito desfalcada de seus principais elementos constituintes.

Segundo IBGE (1986), a Floresta Estacional Semidecidual Submontana englobava a maior parte da área da bacia, com 1.720,55 km², correspondendo a 45,92% do total. Ocorria em relevo suave ondulado nas baixas altitudes e em relevo acidentado em altitudes de até 680 metros.

A região da bacia dos Sinos é uma área de antiga colonização alemã. Atualmente, como evidencia o mapa (Figura 04), apresenta raros agrupamentos florestais originais, devido ao intenso desmatamento para fins agrícolas, industriais e urbanos.

A Floresta Montana na bacia dos Sinos, segundo IBGE (1986), está localizada em área acidentada da Serra Geral, formando uma longa, estreita e

sinuosa faixa, de no máximo 5 km de largura, que se limita ao norte, próximo a cota de 800m de altitude, com a região da Floresta Ombrófila Mista. Como ocorreu com a Floresta Submontana, neste caso também a floresta foi sendo derrubada e dando lugar à agricultura de subsistência dos primeiros colonizadores.

3.2.1.2 Floresta Ombrófila Mista

Na borda norte e nordeste da bacia, encontram-se as áreas de Floresta Ombrófila Mista. Essa floresta apresenta uma perenidade expressiva, e a cobertura do dossel apresenta pouca ou nenhuma variação entre estações do ano. É caracterizada por apresentar o estrato superior dominado pela *Araucaria angustifolia*, e o estrato inferior constituído por árvores mais baixas ou arbustos arborescentes. Floresta típica do Planalto Meridional, ocorrendo no RS em altitudes entre 500 m ao oeste a 1.000 m a leste³. Na bacia dos Sinos ela abrangia 7,06% do total da área, cerca de 265,00 km².

3.2.1.3 Estepe

Em algumas áreas no extremo norte da bacia dos Sinos, há a ocorrência da fitofisionomia Estepe, conhecida no Rio Grande do Sul como Campos de Cima da Serra ou Campos de Altitude. De acordo com IBGE (1986), eles desenvolvem-se em altitudes superiores a 800m acima do nível do mar, tanto em áreas de relevo ondulado como forte ondulado. Nestes locais a cobertura herbácea original era e, em extensos trechos, ainda é constituída por gramíneas cespitosas⁴, onde predomina *Andropogon lateralis* (capim-caninha). A vegetação arbórea é constituída por exemplares da *Araucaria angustifolia*, isoladas ou em agrupamentos puros, bem como por capões de variadas dimensões e florestas galerias.

³ Fonte: IBGE. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Rio de Janeiro, 1992. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Inventário Florestal Nacional. Florestas Nativas RS. Brasília, 1983.

⁴ Plantas que crescem lançando novos brotos ou caules de maneira aglomerada.

3.2.1.4 Área de transição

Na porção oeste da bacia existe a área de transição, onde a vegetação predominante não corresponde a Mata Atlântica. É uma região com maior concentração de áreas urbanas em relação às outras áreas da bacia, diante disso, a vegetação original se apresenta descaracterizada em vista das intensas atividades antrópicas.

Cabe salientar, que a vegetação dessa área não será foco do presente estudo.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Mata Atlântica

O bioma Mata Atlântica é uma das florestas mais ricas em biodiversidade de plantas no Planeta. Composta por um mosaico de vegetação, a Mata Atlântica, segundo a lei n. 11.428 de 22/12/2006, é constituída pelas seguintes formações florestais nativas e ecossistemas associados: Floresta Ombrófila Densa, Aberta e Mista; Floresta Estacional Decidual e Semidecidual; Campos de Altitude, mangues e restingas, brejos interioranos e entraves florestais do Nordeste.

Entretanto, apesar da grande diversidade florística e fisionômica, é um dos biomas mais ameaçados do país, restando apenas fragmentos desta outrora extensa área florestada (ROCHA, 1999).

A Mata Atlântica estendia-se originalmente ao longo de 17 Estados (Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Espírito Santo, Bahia, Alagoas, Sergipe, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí). Hoje, restam 8,5% de remanescentes florestais acima de 100 hectares⁵.

No Rio Grande do Sul a Mata Atlântica originalmente abrangia aproximadamente 13.836.988 ha, cerca de 50% da área total do estado (Figura 06). Atualmente, restam apenas 8% em remanescentes florestais do bioma.

Segundo Marcuzzo et al. (1998), quase todas as formações florestais e ecossistemas integrantes da Mata Atlântica estão representados no território gaúcho: a Floresta Ombrófila Densa, localizada na faixa costeira do litoral e nas encostas de Osório a Torres; a Floresta Ombrófila Mista e os Campos de Altitude na região do planalto, com seus capões de araucária; as Florestas Estacionais Deciduais e Semideciduais, que perdem suas folhas, dependendo da estação, na encosta sul da Serra Geral e região do Alto Uruguai; e a vegetação de restinga, presente na maior parte do litoral gaúcho, quase sempre acompanhada de dunas, lagoas e banhados.

⁵ Dados do Relatório do Atlas dos Remanescentes da Mata Atlântica, do SOS Mata Atlântica em parceria com o INPE.

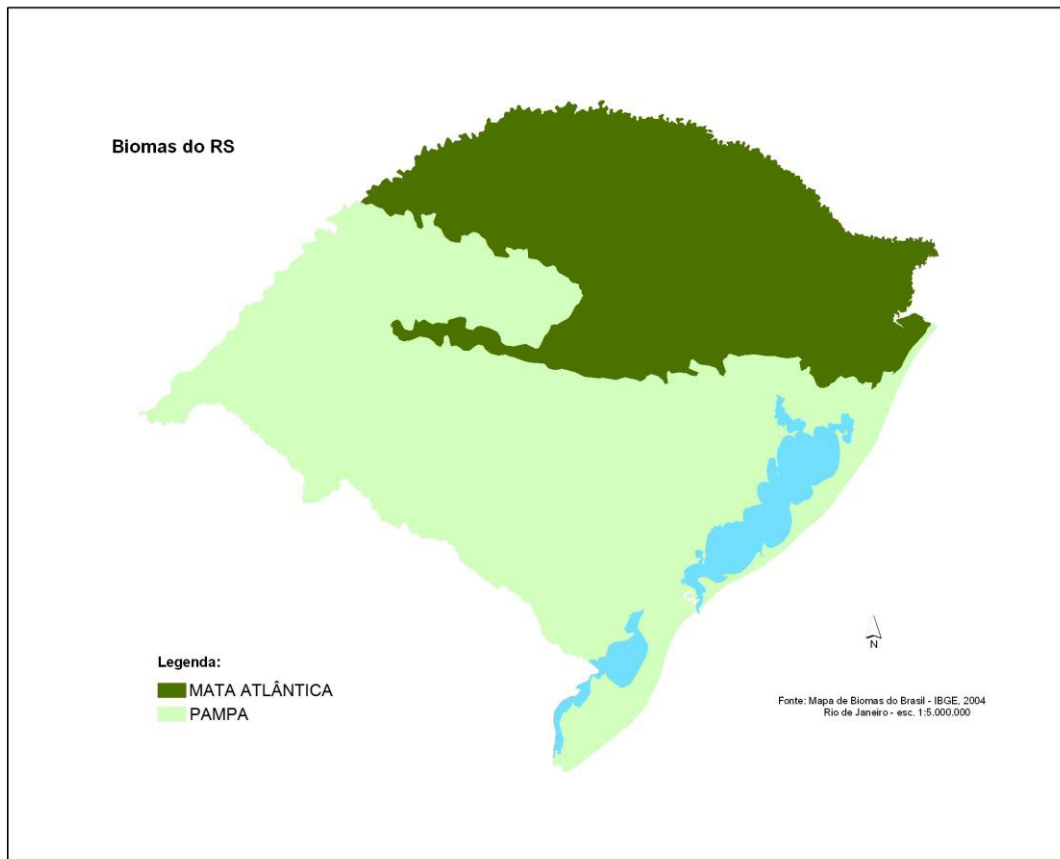


Figura 06: Mapa dos biomas do Rio Grande do Sul.
 Fonte: <http://www.biodiversidade.rs.gov.br/>

Vários pesquisadores da área de sensoriamento remoto têm desenvolvido estudos sobre a Mata Atlântica no estado. Um exemplo é o estudo realizado por Guasselli et al. (2009), que teve por objetivo identificar e quantificar fragmentos de formações florestais nativas da Mata Atlântica no município de Gramado/RS, através da geração de mapas de uso, cobertura e dinâmica do solo nos anos de 2002 e 2007, utilizando imagens SPOT. Dentre os resultados, destaca-se que foi constatado um decremento de 11,88% no total de área coberta por remanescentes de Mata Atlântica.

Dalla Nora e Martini (2010), com base em índices de vegetação (NDVI e EVI) do sensor MODIS/TERRA, analisaram a dinâmica sazonal de duas fitofisionomias do bioma Mata Atlântica (Floresta Estacional Decidual e Floresta Ombrófila Mista) localizadas no Parque Estadual do Turvo/RS e no Parque Nacional das Araucárias/SC. Como resultados, os autores constataram uma relação entre a dinâmica da vegetação e as variações de temperatura na determinação das

variações fenológicas (especialmente no caso da floresta estacional decidual) convergindo com a dinâmica obtida pelos índices de vegetação.

4.2 Sensoriamento Remoto

Pode se definir o sensoriamento remoto como a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados e equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de satélites, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações (NOVO, 2008).

Para Ponzoni e Shimabukuro (2009), dentre os processos que envolvem o sensoriamento remoto, os que merecem maior destaque são aqueles intrínsecos a interação entre a radiação eletromagnética e os diferentes objetos dos quais se pretende extrair alguma informação, como por exemplo, os diferentes recursos naturais, água, solos, rochas e vegetação.

O Sol é a principal fonte de radiação eletromagnética (REM) para o sensoriamento remoto da superfície terrestre. A REM é o meio pelo qual a informação é transferida do objeto ao sensor (NOVO, 2008). Assim estudar e compreender a interação entre a REM e os alvos naturais torna-se essencial.

A REM se propaga em forma de ondas eletromagnéticas com a velocidade da luz e é medida em frequência e comprimento de onda. O espectro eletromagnético representa a distribuição da REM por regiões, segundo o comprimento de onda e frequência (Figura 07).

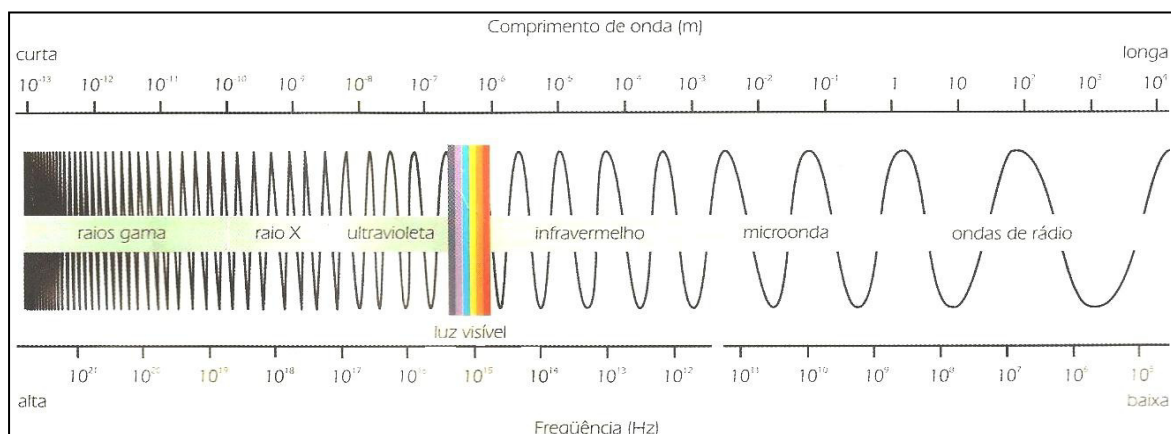


Figura 07. Espectro eletromagnético.
Fonte: Florenzano, 2007.

De acordo com as características bio-físico-químicas dos objetos da superfície terrestre, a quantidade de REM refletida por eles, varia em comprimento de onda ao longo do espectro eletromagnético. Os sensores a bordo dos satélites irão captar esses diferentes comprimentos de onda, que posteriormente irão se transformar em dados.

Portanto, em estudos que envolvem o sensoriamento remoto torna-se essencial a compreensão da variação da energia refletida de cada objeto nas principais regiões do espectro (visível, infravermelho próximo, médio e distante) onde operam a maioria dos sensores.

A variação da energia refletida por estes objetos pode ser representada por meio de curvas de reflectância⁶ espectral, que expressam o comportamento espectral de cada alvo (Figura 08). Desse modo, uma área de floresta irá apresentar uma curva espectral diferente de uma área urbana, de um corpo d'água ou de uma área agrícola. Nas imagens obtidas por sensores remoto, esta diferença na REM refletida pelos objetos faz com que seja possível identificá-los e diferenciá-los, pois são reconhecidos devido à variação da porcentagem de energia refletida em cada comprimento de onda (LINN, 2008).

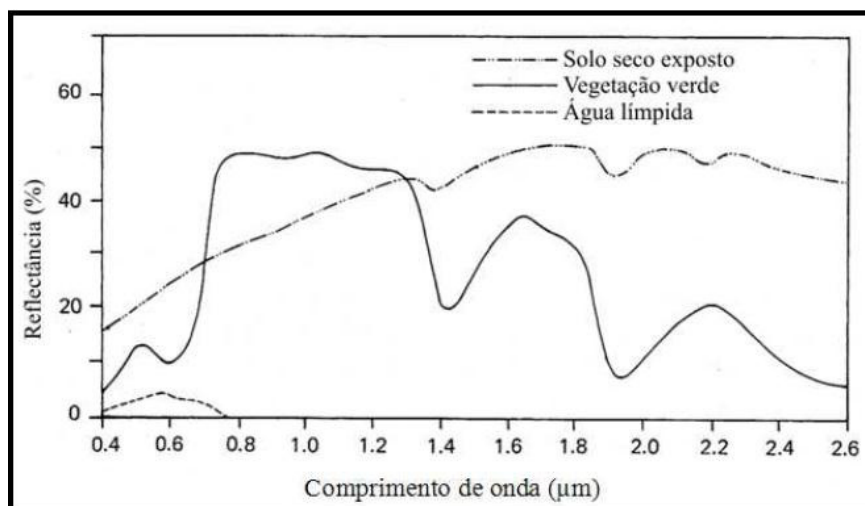


Figura 08. Curvas de reflectância típicas de solo, vegetação e água.
Fonte: Lillesand et al. (2004, apud Linn, 2008).

⁶ Reflectância é uma propriedade de um determinado objeto em refletir a radiação eletromagnética sobre ele incidente (Ponzoni, 2009).

Portanto, conforme destaca Novo (2008), para que possamos extrair informações a partir de dados de sensoriamento remoto, é fundamental o conhecimento do comportamento espectral dos objetos da superfície terrestre e dos fatores que interferem neste comportamento.

4.3 Comportamento espectral da vegetação

O termo comportamento espectral da vegetação é frequentemente utilizado para representar as características de reflectância da REM pelas folhas, plantas individuais e conjuntos de plantas.

Entretanto, um fluxo de radiação incidente sobre dosséis vegetais estará sujeito aos processos de espalhamento e absorção, visto que um dossel⁷ é constituído por muitos elementos da própria vegetação, como folhas, galhos, frutos, flores, etc. O processo de espalhamento, por sua vez, pode ser dividido em dois sub-processos: reflexão e transmissão. O destino do fluxo radiante incidente sobre um destes elementos é então dependente das características do fluxo (comprimentos de onda, ângulo de incidência e polarização) e das características físico-químicas destes mesmos elementos (PONZONI E SHIMABUKURO, 2009).

Dentre todos os elementos constituintes da vegetação, a folha constitui o elemento principal quando se estuda o processo de interação da REM. O comportamento espectral de uma folha é função de sua composição, morfologia e estrutura interna (PONZONI, 2001).

Segundo Gates *et al.* (1965, apud Moreira, 2011), são três os principais fatores que influenciam a quantidade de REM refletida pelas folhas: os pigmentos, os espaços ocupados pela água e pelo ar, e a estrutura celular com dimensões de comprimento de onda da região incidente (grãos de amido, mitocôndrias, ribossomos, núcleo e outros plastídios). O conteúdo de água, idade da folha, posição nodal, condições de iluminação, pubescência e senescência, são outros fatores que afetam a energia refletida pelas folhas.

A curva de reflectância espectral característica de uma vegetação verde sadia é mostrada na Figura 09.

⁷ Termo atribuído ao conjunto de plantas de uma mesma fisionomia distribuídas sobre a superfície terrestre. Exemplo: dossel florestal, dossel de cana-de-açúcar, etc. Fonte: Ponzoni e Shimabukuro, 2009

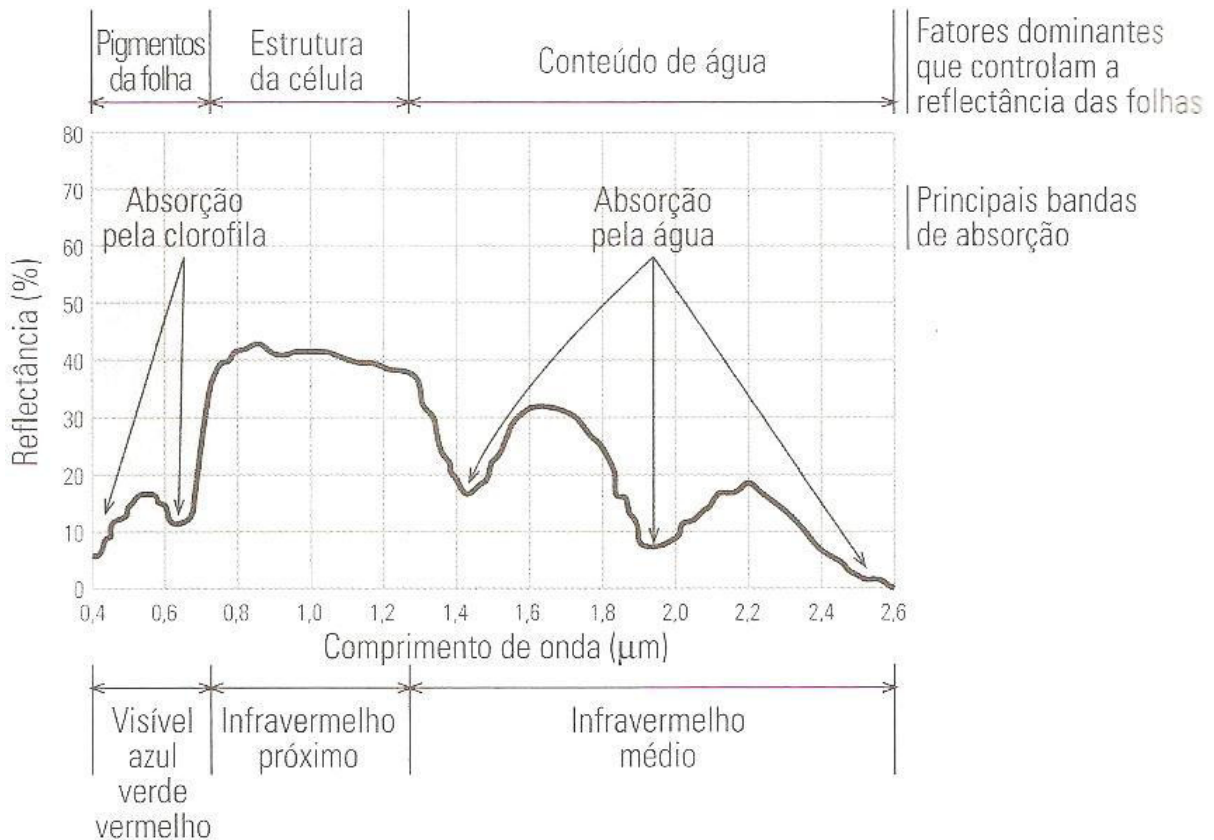


Figura 09. Curva espectral de uma vegetação fotossinteticamente ativa.
Fonte: Araújo (1999 apud Novo, 2008).

A análise da Figura 09 permite decompô-la em três regiões espectrais:

- região do visível: de 0,4 a 0,7 μm. A reflectância é baixa (< que 20%), dominando a absorção da radiação incidente pelos pigmentos da planta em 0,48 e em 0,62 μm (NOVO, 2008). Esses pigmentos, geralmente encontrados nos cloroplastos são: clorofila (65%), carotenos (6%), e xantofilas (29%). Os valores percentuais destes pigmentos existentes nas folhas podem variar grandemente de espécie para espécie. A energia radiante interage com a estrutura foliar por absorção e por espalhamento. A energia é absorvida seletivamente pela clorofila e é convertida em calor ou fluorescência, e também convertida fotoquimicamente em energia estocada na forma de componentes orgânicos através da fotossíntese (PONZONI, 2001). No comprimento de onda de 0,56 μm, há um pequeno aumento de reflectância, responsável pela cor verde da vegetação (NOVO, 2008).

- região do infravermelho próximo: de 0,7 a 1,3 μm. Nessa região a vegetação verde sadia é geralmente caracterizada por uma alta reflectância (de 40 a 60%) (JENSEN, 2009), devido à interferência da estrutura celular (NOVO, 2008). Nesta região existe uma absorção pequena da REM com um considerável espalhamento

interno na folha. A absorção da água é geralmente baixa nessa região (PONZONI, E SHIMABUKURO 2009). Gates *et al.* (1965, apud Ponzoni e Shimabukuro, 2009), determinam que a reflectância espectral de folhas nessa região do espectro eletromagnético é o resultado da interação da energia incidente com a estrutura do mesófilo. Fatores externos à folha, como disponibilidade de água, por exemplo, podem causar alterações na relação água-ar no mesófilo, podendo alterar a reflectância de uma folha nesta região. De maneira geral, quanto mais lacunosa for a estrutura interna foliar, maior será o espalhamento interno da radiação incidente, e conseqüentemente, maior será também a reflectância.

- região do infravermelho médio: de 1,3 a 2,5 μm . A reflectância é dominada pelo conteúdo de água das plantas. Nessa região, encontram-se máximos de absorção pela água, em 1,4 μm , 1,95 μm e 2,7 μm (PONZONI, 2001; NOVO, 2008).

A Figura 07 apresenta as reflectâncias espectrais de amostras foliares de Magnólia em cinco diferentes condições de umidade, compreendidas no intervalo espectral entre 0,4 e 2,5 μm .

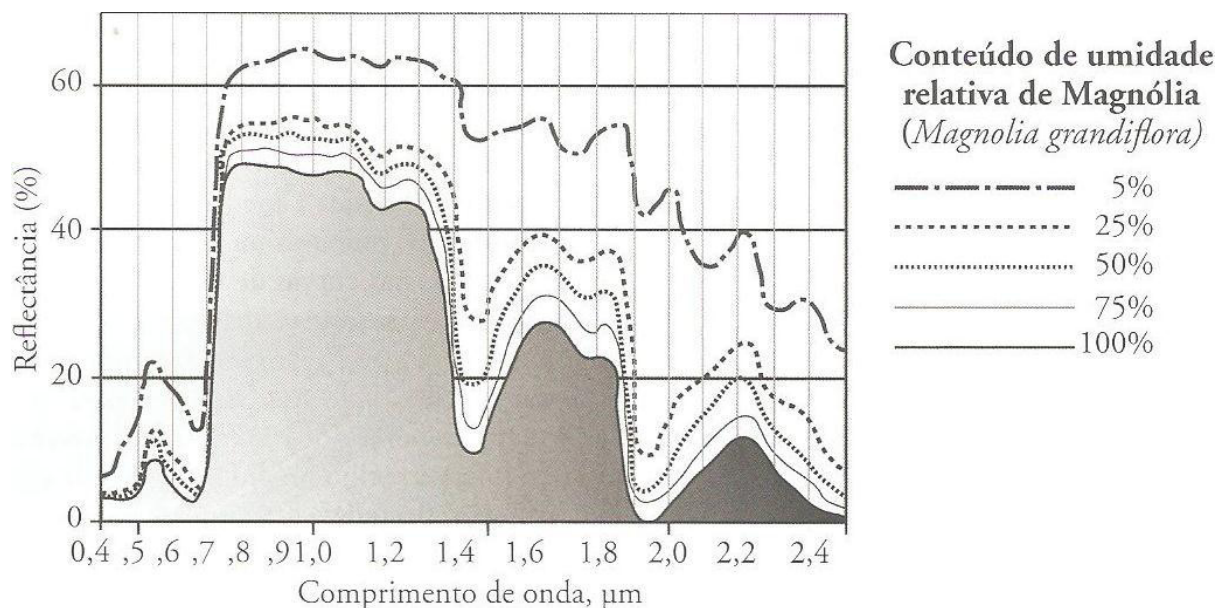


Figura 10. Efeito espectral do secamento progressivo da folha.
Fonte: JENSEN, 2009.

Observa-se na Figura 10, que à medida que o conteúdo de umidade das folhas diminui, a reflectância aumenta em todos os comprimentos de onda. No infravermelho médio aumenta substancialmente, de acordo com Jensen (2009), isso acontece devido à diminuição da água nos espaços de ar intercelular da planta,

fazendo com que a energia do infravermelho médio incidente nas folhas seja mais intensamente espalhada pelas interfaces das paredes celulares.

Observa-se ainda, que os intervalos de comprimentos de onda do infravermelho médio de 1,5 a 1,8 μm e 2,1 a 2,3 μm , são mais sensíveis a mudanças de conteúdo de água na folha, do que os comprimentos de onda do visível e infravermelho próximo. Nota-se que quando o conteúdo relativo de água diminui para 50%, praticamente qualquer porção do visível, do infravermelho próximo ou do infravermelho médio pode fornecer alguma informação útil de reflectância espectral (JENSEN, 2009).

Na região do visível, como já mencionado, a forma da curva de reflectância é explicada pela quantidade de pigmentos fotossintetizantes presentes na folha. Segundo Ponzoni e Shimabukuro (2009), quimicamente espera-se que a diminuição da quantidade de água acarretará a degradação de proteínas e de pigmentos, o que tornará a folha menos apta a absorver REM nessa região espectral, o que por sua vez resultará no aumento da porcentagem de reflectância.

Analisando ainda a Figura 10, na região do infravermelho próximo, observa-se que com a perda de umidade da folha a reflectância aumenta. Considerando que nessa faixa espectral a forma da curva é explicada pela estrutura interna das folhas, a perda da água deve promover alguma alteração nessa estrutura. Para Ponzoni e Shimabukuro (2009), essa alteração é dependente de vários fatores como a densidade das paredes celulares (maior ou menor biomassa), arranjo das células dentro dos tecidos foliares, incluindo também o tempo de manutenção de um determinado teor de umidade.

Portanto, quando se analisa grandes extensões de cobertura vegetal, como florestas, espera-se que, quando comparadas com as curvas de reflectância de apenas uma folha verde sadia, as medições espectrais de várias camadas de folhas sobrepostas apresentem formas muito semelhantes.

Muito do que foi exposto referente às características de reflectância das folhas, também é válido para os dosséis. Porém, Ponzoni e Shimabukuro (2009), afirmam que, na região do visível, uma vez que muito da energia incidente sobre uma folha é absorvida, com o aumento do número de folhas, conseqüentemente haverá a presença de mais pigmentos e assim mais energia será absorvida pela vegetação. Já na região do infravermelho próximo, uma vez que a absorção é

mínima, o aumento de camadas de folhas, implica no aumento do espalhamento e no conseqüente aumento da reflectância da vegetação (Figura 11).

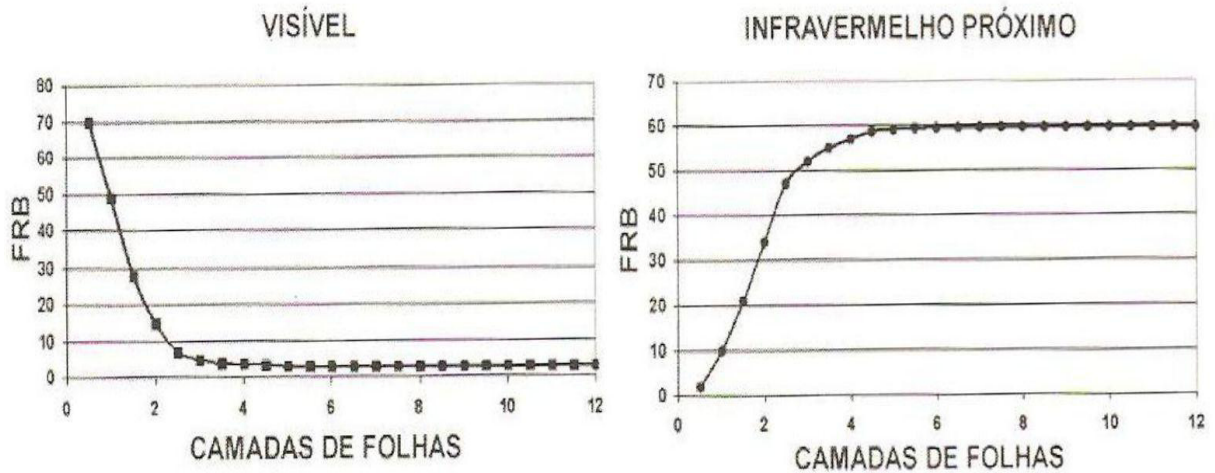


Figura 11 – Dinâmica da reflectância de dosséis vegetais simulados em função do aumento das camadas de folhas.

Fonte: Ponzoni e Shimabukuro, (2009).

A Figura 11 mostra duas situações antagônicas. A primeira correspondente a região do visível, onde a reflectância diminui com o aumento de camadas de folhas. A segunda, na região do infravermelho próximo, onde a reflectância aumenta com o aumento de número de camadas. Moreira (2011) destaca que apesar de ser menor, existe uma relação muito grande entre as medidas da energia refletida por uma folha e por uma cobertura vegetal. Isso porque no dossel de vegetação há predominância das folhas em relação às outras partes da planta.

Portanto, o entendimento do comportamento e da variação espectral de uma folha nas diferentes regiões do espectro eletromagnético possibilita o monitoramento espaço-temporal de, por exemplo, grandes extensões florestais, bem como, a compreensão de mudanças ligadas a fatores externos a planta (umidade, alterações antrópicas, desmatamento, etc.).

4.4 Índices de Vegetação

Os índices de vegetação são técnicas auxiliares no estudo e monitoramento da vegetação por meio do sensoriamento remoto. Esses índices têm como objetivo explorar as propriedades espectrais da vegetação, especialmente nas regiões do visível e do infravermelho próximo (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009). Devido ao

“contraste” de valores de reflectância entre essas duas regiões (quanto maior a densidade de cobertura vegetal, maior a absorção na região do visível e maior a reflexão no infravermelho próximo).

Segundo Jensen (2009, p. 384):

os índices de vegetação são medidas alométricas adimensionais, as quais indicam a abundância relativa e a atividade da vegetação verde, incluindo índice de área foliar (IAF), porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde, radiação fotossinteticamente ativa absorvida.

Jensen (2009), baseado em Running *et al.*, (1994); Huete e Justice, (1999), ainda aponta algumas características de um índice de vegetação ideal:

- maximizar a sensibilidade a parâmetros biofísicos das plantas, preferencialmente de uma forma linear, para que esta sensibilidade seja fidedigna para uma grande amplitude de condições vegetais e para facilitar a validação e a calibração do índice;
- conseguir normalizar ou modelar efeitos externos tais como o ângulo solar, o ângulo de visada e as interferências atmosféricas, de modo a permitir comparações espaciais e temporais;
- normalizar efeitos internos, como as variações no substrato abaixo do dossel, incluindo topografia, solos e diferenças quanto a vegetação senescente;
- ser acoplável a algum parâmetro biofísico mensurável, tais como a biomassa ou o IAF, para fins de validação e de controle de qualidade.

4.4.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Rouse *et al.* (1974) desenvolveram o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI):

$$\text{NDVI} = (\text{IVP} - \text{V}) / (\text{IVP} + \text{V})$$

sendo:

NDVI – Índice de Vegetação de Diferença Normalizada

IVP – Infravermelho próximo

V – Vermelho

Os valores de NDVI variam de -1 a +1, onde normalmente superfícies com alguma vegetação apresentará um valor de NDVI que irá variar de 0 a 1, já para superfícies como água e nuvens o valor geralmente irá ser menor que zero.

Baptista e Munhoz (2009), ressaltam que o NDVI é um método de determinação do vigor da vegetação por meio de diferença normalizada entre o pico de reflectância no infravermelho próximo e a feição de absorção de luz na região do vermelho utilizada na fotossíntese.

Esse índice é utilizado no monitoramento e na construção de perfis sazonal e temporal das atividades da vegetação, permitindo comparações interanuais desses perfis. O perfil temporal do NDVI tem sido utilizado para detectar atividades sazonal, fenológica, duração de período de crescimento, pico verde, mudanças fisiológicas da folha e períodos de senescência (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009).

O NDVI é muito utilizado para estimativas de índices de área foliar (IAF) (Tucker, 1979), radiação fotossinteticamente ativa absorvida (absorbed photosynthetically active radiation - APAR) (Kumar & Monteith, 1981), biomassa da vegetação (Sellers, 1987; Anderson et al., 1993; Dong et al., 2003), produção primária líquida (net primary production NPP) (Goward et al., 1985) e teor de umidade da vegetação (Paltridge & Barber, 1988). Também é utilizado para a detecção de mudanças em larga escala dos processos relativos aos ecossistemas (Braswell et al., 1997; Myneni et al., 1997; 2001). (apud CARVALHO JÚNIOR et al., 2006).

4.5 Séries Temporais de NDVI

A utilização de dados multi-temporais em sensoriamento remoto tornou-se uma ferramenta eficaz e cada vez mais necessária para o monitoramento dos recursos naturais da Terra. Os conjuntos de séries temporais derivadas de sensoriamento remoto têm permitido o monitoramento espaço-temporal das mudanças no uso e cobertura do solo em escalas temporais antes não possíveis (FREITAS et al., 2011).

As séries temporais de índices de vegetação, como o NDVI ou EVI (Enhanced Vegetation Index), tem um grande potencial nos estudos que envolvem a análise e monitoramento de tipos e mudanças da cobertura vegetal. O NDVI é sensível à clorofila e o EVI é sensível as variações na resposta estrutural do dossel, incluindo o

índice de área foliar, a fisionomia da planta e a arquitetura do dossel HUETE et al. (2002, apud CARVALHO JÚNIOR et al., 2006).

Segundo Carvalho Júnior et al., (2006), estudos de séries temporais contínuas de índices de vegetação, inicialmente, foram realizados com o sensor Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR), para diferentes tipos de estudos, como por exemplo: análise da correlação dos padrões de precipitação em larga escala e séries NDVI na região do Sahara-Sahel na África (Tucker et al., 1991); variação espacial e temporal de vegetação (Prince, 1991 a,b); análise dos efeitos antrópicos na vegetação (Wessels et al., 2004), entre outros.

O comportamento temporal da vegetação, sob a ótica do NDVI, fornece importantes informações do dossel vegetal. Estudos como os de Carvalho Júnior et al., (2008) com objetivo de avaliar o emprego de assinaturas espectrais temporais para detectar tipos de savanas no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, comprovaram que séries temporais NDVI são úteis na diferenciação dos tipos de vegetação.

O MODerate resolution Imaging Spectrometer (MODIS) é um dos cinco instrumentos a bordo do satélite TERRA (formalmente conhecido como EOS-AM-1), com uma resolução espacial média (250 m), porém com alta resolução temporal (de 1 a 16 dias). Dados do sensor MODIS tem sido nos últimos anos, largamente utilizados em estudos envolvendo séries temporais de NDVI, onde o intuito é prever a dinâmica da variação da vegetação ao longo do tempo. Na página da NASA são disponibilizados dados do sensor MODIS, como alguns produtos relacionados ao estudo da vegetação, a exemplo das imagens dos índices de vegetação EVI e NDVI.

Carvalho Júnior et al. (2006), obtiveram excelentes resultados utilizando série temporal de NDVI/MODIS para representar o comportamento espectral da Mata Seca na bacia hidrográfica do rio Paranã, situada no nordeste de Goiás e sul de Tocantins. Devido à característica de deciduidade da Mata Seca, os autores propuseram uma metodologia baseada no processamento digital de imagens multitemporais de NDVI do sensor MODIS de forma a detectar e descrever a variabilidade da vegetação fotossinteticamente ativa, tanto espacialmente como temporalmente. A metodologia adotada baseou-se a nas seguintes etapas: (a) confecção de um cubo 3D relativo a série de imagens temporais do índice NVDI, (b) tratamento do ruído presente no espectro do NDVI multitemporal utilizando o método Minimum Noise Fraction (MNF) e (c) análise do espectro do NDVI multitemporal com

a formulação de um índice com o propósito de realçar a presença da Mata Seca. Como resultados, os autores constataram que a Mata Seca apresenta um comportamento espectral do NDVI multitemporal típico, sendo os valores mais altos na época de chuva e mais baixos na época de estiagem, diferenciando-se dos demais tipos de vegetação presentes na bacia. Constataram também que o emprego da detecção de mudanças por subtração permitiu delimitar a região de Mata Seca que se caracteriza por apresentar os valores mais altos em relação as demais vegetações naturais. Essa abordagem permite diferenciar as características sazonais da vegetação e mostrou-se eficaz para a delimitação regional da Mata Seca.

Em outro estudo desenvolvido por Carvalho Júnior et al., (2008), no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, com objetivo de identificar assinaturas temporais do NDVI do sensor MODIS com o propósito de classificar as fisionomias de Cerrado, foi possível distinguir três ambientes: predomínio de Cerrado Denso; composição de Cerrado Ralo e Cerrado Rupestre; e predomínio de campo. No ambiente com predomínio de Cerrado Denso observaram espectros com altos índices de NDVI com valores médios de 0,8 no período chuvoso e 0,62 no período seco. O ambiente com predomínio de campo apresentou uma alta oscilação dos valores de NDVI sendo de 0,60 nas épocas de chuva e 0,35 nas épocas de seca, que representam os índices mais baixos durante o ano e de maior amplitude dos dados. O espectro temporal NDVI do ambiente composto por Cerrado Ralo e Rupestre caracterizou-se por apresentar um comportamento com valores de NDVI intermediários durante todo o ano oscilando entre 0,60 na época da chuva e 0,4 na época seca.

Santana et al. (2010), desenvolveram um trabalho com objetivo de identificar, tratar e modelar as assinaturas temporais de NDVI do sensor MODIS, no período de 2000 a 2008, em seis diferentes alvos: Área de Plantio, Floresta de Galeria, Cerrado, Pastagem, Área Urbana e Floresta Estacional Semidecidual na bacia do rio Paracatu (Sub-Bacia do Rio São Francisco).

Nesse estudo aplicaram modelos matemáticos nas assinaturas temporais com presença de mudanças, considerando cada comportamento de alvo detectado. Os autores, ainda correlacionaram os espectros NDVI-MODIS com a abertura de dossel obtida em campo. Concluíram que o padrão de distribuição dos dados de NDVI apresenta significativa relação com os dados de campo de abertura de dossel,

podendo ser um preciso indicador da mudança do uso da terra entre as séries temporais.

Wagner et al. (2011) por meio de série temporal de NDVI/MODIS analisaram o comportamento da biomassa na ecorregião das Savanas Uruguaias, com objetivo de conhecer a distribuição espacial das formações vegetais, bem como as alterações ocorridas ao longo do tempo. Utilizaram uma coleção de imagens NDVI/MODIS de 2000 a 2009, processada no programa Idrisi Taiga (Clark Labs ©) com o módulo ETM (Earth Trends Modeler). Foram geradas as médias de cada data para toda a área de estudo, compreendendo toda a variabilidade florística, e para cada região geomorfológica. Os resultados mostram coerência na resposta do NDVI médio ao longo do ano com a sazonalidade do clima na região. Tanto na área total, quanto nas amostras os maiores valores de NDVI ocorreram no início da série temporal. Observaram também um padrão de comportamento do NDVI no tempo que perde regularidade após o ano de 2004 (forte estiagem na região), o que pode estar correlacionado com a ocorrência de vários eventos moderados de La Niña a partir desse ano.

Portanto, de acordo com os trabalhos citados, verifica-se a importância do desenvolvimento de estudos que envolvam séries temporais de NDVI, pois as mesmas permitem uma avaliação do comportamento sazonal da cobertura vegetal, bem como, a detecção de mudanças biofísicas e bioquímicas que venham ocorrer na vegetação.

4.6 Análise por Componentes Principais

De acordo com Lee et al. (1990), a Análise de Componentes Principais (ACP) é uma técnica que tem sido utilizada na análise de imagens multiespectrais com o objetivo principal de reduzir a dimensionalidade dos dados. Além disso, esta técnica permite realce de dados para aplicações em recursos naturais e para a detecção de mudanças ocorridas na cobertura do solo. Segundo Jiaju (1988 apud Gomes e Maldonado, 1998), esta técnica é usada por ter a vantagem de realçar a informação da dinâmica entre as datas.

O resultado gerado, através de transformações algébricas da ACP, é um novo conjunto de N imagens descorrelacionadas. Este novo conjunto de imagens apresenta as seguintes características: a primeira componente, denominada de 1ª

Componente Principal (CP1), contém as informações que são comuns a todos os conjuntos de dados de entrada, a 2ª Componente Principal (CP2), contém as feições espectrais mais significantes do conjunto de dados e assim por diante. Portanto, as primeiras componentes irão conter as feições espectrais mais significativas enquanto as CPs de ordens mais altas irão conter as informações menos significativas (CROSTA, 1992).

Neste contexto, Sena (2009) destaca que a ACP tem como vantagem reduzir a dimensionalidade do conjunto dos dados, ou seja, gerar um novo conjunto de imagens, cujas bandas individuais contêm informações não presentes em outras bandas, além de isolar os componentes de ruídos.

Além disso, o uso da ACP em estudos multitemporais apresenta vantagens, pois permite a geração de resultados sem a necessidade de correções atmosféricas ou calibrações sobre os dados (CHAVEZ e MAC KINNON, 1994).

Vários trabalhos têm empregado a Análise por Componentes Principais em estudos relacionados com a vegetação e NDVI. Um exemplo é o estudo realizado por Gurgel (2000), que utilizou a ACP para analisar a variabilidade espaço-temporal do NDVI sobre o Brasil, constatando a potencialidade dessa técnica na caracterização das grandes feições da vegetação que predominam no território brasileiro. Outro resultado encontrado pela autora foi que a ACP aliada ao NDVI caracterizou a variabilidade anual e interanual destas tipologias de vegetação relacionadas com a variabilidade climática.

Fritz et al. (2008) em um estudo para diferenciar e caracterizar comunidades vegetais citam vários autores que utilizam a análise por Componentes Principais. Eastman (1992), por exemplo, propõe este método como uma técnica de detecção de mudança para o uso da análise de séries temporais. Roberts et al. (1994) utilizam as Componentes Principais para determinar diferentes trajetórias fenológicas para mostrar como as comunidades de vegetação podem ser potencialmente classificadas. Hirosawa et al. (1996) usam a ACP para caracterização da cobertura da terra. Lasaporana (2006) propõe o uso de ACP para avaliar anomalias interanuais de vegetação.

Sato et al. (2011) constataram que a ACP permitiu mapear as áreas de mudanças da cobertura florestal da Floresta Nacional do Tapajós de maneira rápida e simples, aliadas à uma série de imagens-fração vegetação, resultantes do modelo linear de mistura espectral.

5. METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos foram executadas as seguintes etapas:

5.1 Aquisição e processamento das imagens MODIS

As imagens NDVI/MODIS foram adquiridas através do site da NASA, <https://wist.echo.nasa.gov/api/>. Para essa aquisição é necessário fazer um cadastramento com o registro das informações pessoais, e incluir as informações das coordenadas da área, além das características relacionadas ao sensor que se deseja adquirir as imagens. São disponibilizados dados do sensor MODIS, como alguns produtos relacionados ao estudo da vegetação, a exemplo das imagens dos índices de vegetação NDVI.

O Quadro 01 mostra a organização de uma base de dados de imagens MODIS correspondentes ao período de um ano.

O produto MODIS selecionado foi o MOD13, do satélite TERRA, imagens de 16 dias, com resolução espacial de 250m e órbita h11v9. Para cobrir a área da bacia dos Sinos foi necessária apenas uma cena.

Foi adquirido um conjunto de 23 imagens por ano (Quadro 01), entre o período de 2000 a 2011, totalizando 276 imagens. Entretanto, após uma seleção este número foi reduzido para 115 imagens referentes aos meses de inverno e verão para a Análise por Componentes Principais e 211 para a geração dos espectros temporais de NDVI. Os fatores que influenciaram a não utilização de todas as imagens foram a presença de nuvens sobre a área de estudo, erro na disponibilização dos arquivos, que impedia a visualização e a inexistência de algumas datas, como por exemplo, as imagens dos primeiros meses do ano 2000 não foram disponibilizadas para download no site da NASA.

Para a geração dos espectros temporais de NDVI foi utilizado um número maior de imagens devido à escolha das amostras em locais específicos, que não estavam cobertos por nuvens e também porque, para a Análise por Componentes Principais não utilizou-se todas as imagens, apenas as correspondentes ao inverno e verão.

Quadro 01 – Imagens de NDVI/MODIS do período de um ano.

Dia juliano	Dia do mês	Mês
001	1	Janeiro
017	17	Janeiro
033	2	Fevereiro
049	18	Fevereiro
065	6	Março
081	22	Março
097	7	Abril
113	23	Abril
129	9	Maio
145	25	Maio
161	10	Junho
177	26	Junho
193	12	Julho
209	28	Julho
225	13	Agosto
241	29	Agosto
257	14	Setembro
273	30	Setembro
289	16	Outubro
305	1	Novembro
321	17	Novembro
337	3	Dezembro
353	19	Dezembro

A seleção das imagens aptas para utilização no estudo foi feita visualmente por meio do software *Environment For Visualizing Images*, - ENVI 4.5 - um sistema de processamento de imagens de sensoriamento remoto desenvolvido pela *RSI (Research Systems Inc)*.

As imagens de NDVI do sensor MODIS são disponibilizadas para download no formato HDF⁸ e projeção sinusoidal, a Figura 12 apresenta um exemplo dessa imagem.

⁸ *Hierarchical Data Format*. O HDF é um formato que permite alta compressão de dados, sem perda de informações. Este formato foi escolhido para facilitar a transferência e disponibilidade das imagens

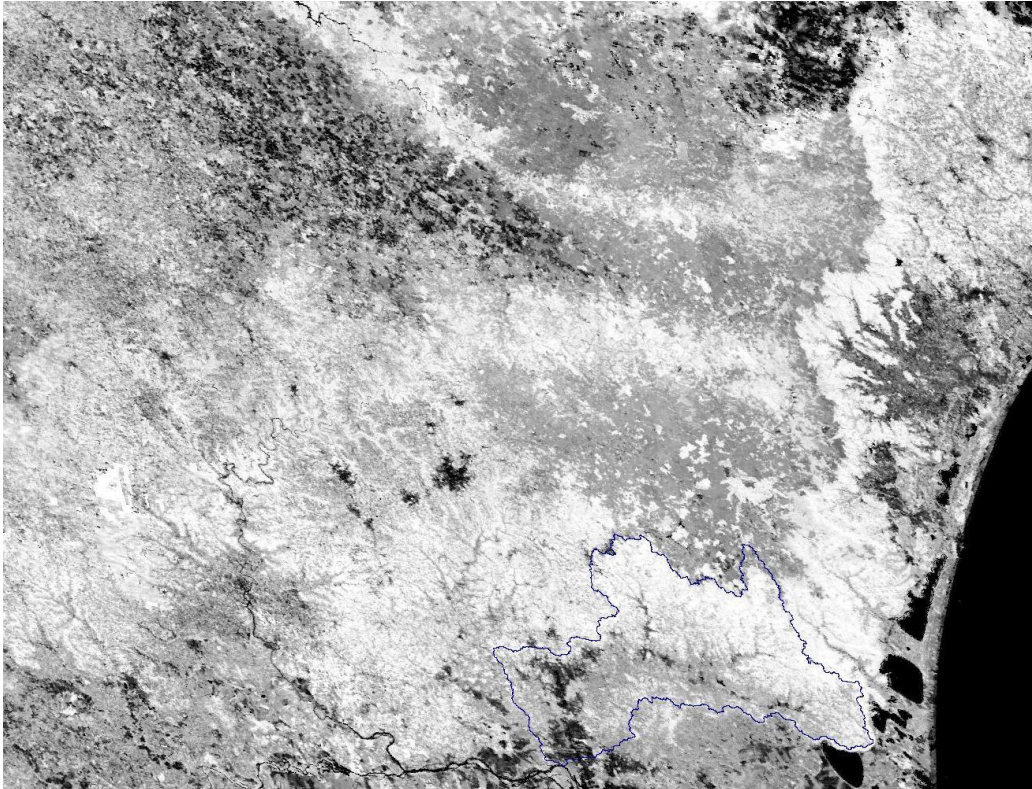


Figura 12: Imagem de NDVI MODIS, com o limite da bacia hidrográfica do rio dos Sinos.

Após o procedimento no ENVI, iniciou-se a reprojeção e o recorte das imagens de acordo com a área de estudo, realizados no software IDRISI (*Clark Labs* ©). Converteu-se do sistema sinusoidal para o sistema UTM (Universal Transversa de Mercator), Datum WGS84, fuso 22 sul.

Os valores de NDVI das imagens MODIS, não são disponibilizados na escala entre -1 e 1, devido à compactação necessária dos arquivos, assim foi necessário realizar a divisão por 10000 de cada uma das imagens, para adaptar com a escala de valores do NDVI, esse procedimento também foi realizado na calculadora do software IDRISI.

5.2 Geração dos Espectros Temporais de NDVI

Esta etapa compreende a geração dos espectros temporais de NDVI, produzidos a partir da série temporal das 211 imagens MODIS do período de 2000 a

MODIS, já que se fosse utilizado outro formato, seria necessário um espaço de armazenamento gigantesco.

2011, para cada fitofisionomia da Mata Atlântica da bacia do rio dos Sinos. O Quadro 02 apresenta as datas das 211 imagens utilizadas nessa etapa.

Quadro 02: Série temporal de imagens NDVI/MODIS.

Dias Julianos	Anos da série temporal											
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
001												
017												
033												
049												
065												
081												
097												
113												
129												
145												
161												
177												
193												
209												
225												
241												
257												
273												
289												
305												
321												
337												
353												

Para gerar os espectros temporais, primeiramente foram selecionadas três amostras de remanescentes de Mata Atlântica para cada fitofisionomia: Floresta Estacional Semidecidual de Terras Baixas, Floresta Estacional Semidecidual Submontana, Floresta Estacional Semidecidual Montana, Floresta Ombrófila Mista e

Estepe, totalizando 15 amostras. A Figura 13 apresenta o mapa de localização de cada uma das 15 amostras na bacia do Sinos.

Após, a amostragem, foi realizado no software ENVI o cálculo da média dos pixels que compunham cada uma das amostras para as 211 datas de imagens. Esses valores foram transferidos para o software EXCEL, e produzidos os gráficos de variação do NDVI para cada fitofisionomia ao longo dos 12 anos da série temporal de imagens NDVI/MODIS.

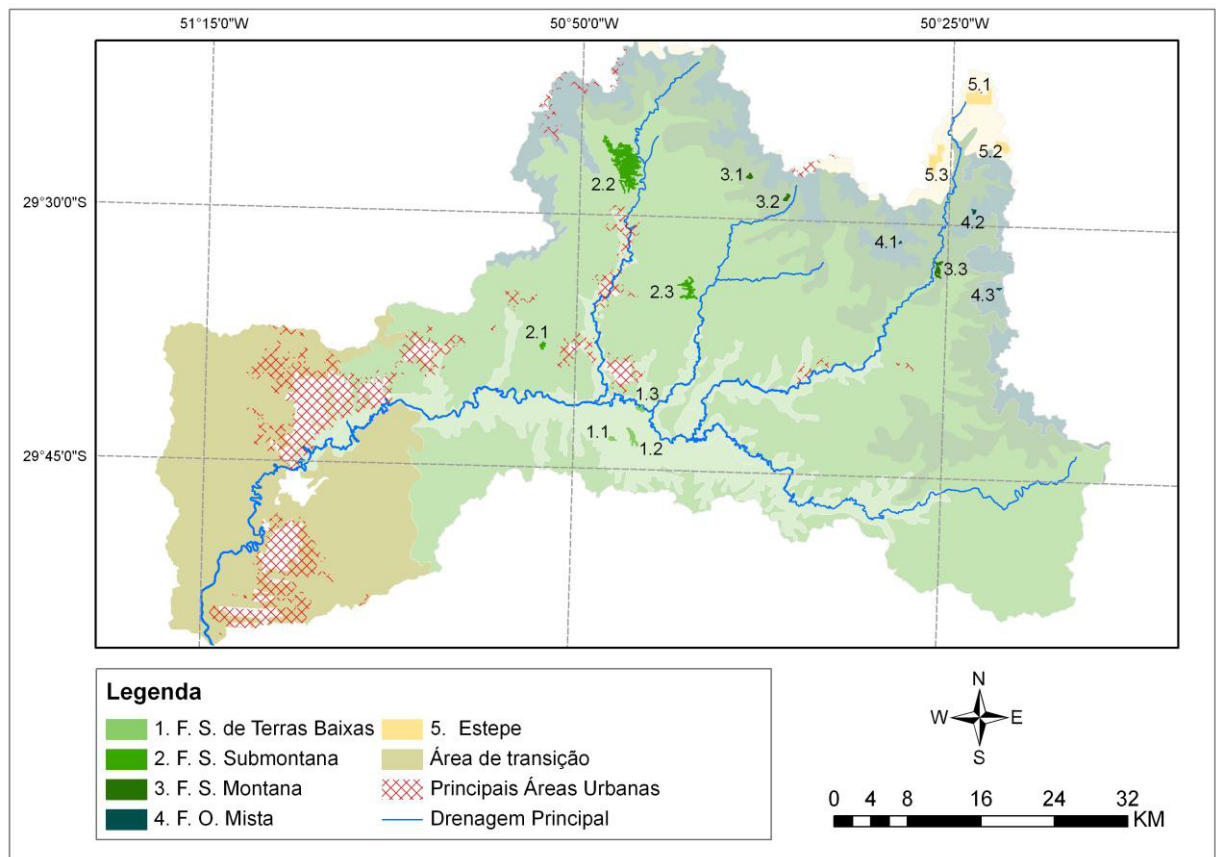


Figura 13: Mapa de localização das amostras remanescentes de Mata Atlântica para cada fitofisionomia da bacia dos Sinos.

As amostras (polígonos) das florestas foram obtidas do “Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica”, em formato *shapefile*. O atlas foi elaborado pela ONG “SOS Mata Atlântica” em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o mapeamento dos remanescentes foi realizado com base nas imagens dos satélites LANDSAT, CBERS E RESOURCESAT-1.

As amostras da fitofisionomia Estepe foram selecionadas visualmente através de imagens de alta resolução espacial, disponíveis no aplicativo Google Earth.

Na seleção das amostras, tanto do atlas como do Google Earth, procurou-se escolher e definir polígonos em áreas mais homogêneas, com bordas longe de áreas de transição de uma fitofisionomia para outra.

5.3 Geração da Série Temporal - Análise de Componentes Principais.

A série temporal de imagens de NDVI engloba um período de 12 anos, do ano 2000 até 2011. O procedimento para gerar as séries temporais foi realizado através do software IDRISI, a partir da ferramenta de Análise de Séries Temporais (TSA). A TSA gera produtos de saída (imagens, tabelas e gráficos) que incluem padrões espaciais e temporais, que podem ser analisados de forma conjunta.

Neste trabalho a série temporal de imagens foi organizada considerando as estações de inverno e de verão. Essa divisão da série temporal visa avaliar a ocorrência de um comportamento de sazonal do NDVI das fitofisionomias da Mata Atlântica. O Quadro 3 e 4 mostra as datas das imagens NDVI/MODIS utilizadas para a série temporal de inverno e verão, respectivamente.

Quadro 3: Série temporal de imagens NDVI/MODIS utilizadas, referentes ao inverno

Ano	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
177												
193												
209												
225												
241												
257												
273												

Quadro 4: Série temporal de imagens NDVI/MODIS utilizadas, referentes verão.

Ano	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
353		2000	2001			2004		2006		2008	2009	
001												
017												
033												
049												
065												
081												

O total de imagens de NDVI utilizadas para a série temporal de inverno foram 65 e para a de verão foram 50 imagens.

A ferramenta de TSA utiliza uma técnica de estatística multivariada que permite obter o menor número de fatores possível, que representem a maior variabilidade do conjunto dos dados.

Como imagens de saída são geradas um conjunto de imagens de Componentes Principais (CP's), indicando o padrão espacial dos principais elementos de variabilidade da série de imagens.

5.4 Dados pluviométricos e de temperatura

Os dados pluviométricos utilizados no presente estudo foram disponibilizados pelo LAF (Laboratório de Sensoriamento Remoto Aplicado à Agricultura e Florestas - INPE). O LAF disponibiliza no site <http://www.dsr.inpe.br/laf/series>, uma ferramenta que permite visualizar uma série de precipitação pluviométrica de qualquer ponto marcado sobre o mapa do Brasil, correspondente ao período de Janeiro de 2000 a Fevereiro de 2013.

Os dados de precipitação disponíveis no LAF são originários do produto 3B43V6 do satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). O TRMM é um projeto em parceria entre a NASA e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA) e foi lançado no ano de 1997, com o objetivo específico de monitorar e estudar através de dados de radar, a precipitação nos trópicos, além de verificar como a mesma influencia o clima global. (KUMMEROW et al. 2000).

O pixel TRMM tem uma área mínima de aproximadamente de 0,25 graus. O gráfico da série temporal de precipitação é formado por 1 pixel TRMM cuja posição é a mais próxima da coordenada geográfica do ponto selecionado sobre o mapa.

Os dados de temperatura foram disponibilizados pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) através do site <http://www.inmet.gov.br>, a partir da estação convencional de Campo Bom, o único município da bacia dos Sinos com dados disponíveis no site. Também utilizou-se dados das estações dos municípios de Caxias do Sul e Porto Alegre, calculando média mensal de temperatura dessas duas estações.

5.5 Trabalho de Campo

O trabalho de campo para reconhecimento da área e do padrão de ocupação da Mata Atlântica, principalmente das florestas, foi realizado em julho de 2012. Percorreu-se a área centro-norte da bacia dos Sinos, passando por municípios como Rolante, Taquara, Três Coroas e São Francisco de Paula. Visitaram-se áreas mais interioranas com predomínio de paisagens naturais para poder realizar o registro fotográfico da vegetação.

6. RESULTADOS

Para uma melhor compreensão das análises realizadas no presente trabalho, os resultados dos objetivos propostos estão organizados da seguinte forma:

- Análise do padrão de ocupação da Mata Atlântica na bacia hidrográfica do rio dos Sinos;
- Variação temporal de NDVI - análise dos espectros temporais;
- Análise da variação de NDVI com base em Análise de Séries Temporais, a partir de Componentes Principais.

6.1 Análise do padrão de ocupação da Mata Atlântica na bacia hidrográfica do rio dos Sinos

Os remanescentes de Mata Atlântica estão distribuídos na bacia hidrográfica do rio dos Sinos em três principais fitofisionomias: Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila Mista e Estepe. A Floresta Estacional Semidecidual possui as classes Terras Baixas, Submontana e Montana, diferenciadas pela a sua localização altimétrica.

Os remanescentes das fitofisionomias da Mata Atlântica estão sendo fortemente alterados. Atualmente representam aproximadamente apenas 15% da área total da bacia⁹. As principais atividades que substituem a vegetação natural são a agricultura e a silvicultura, principalmente nas áreas de encostas com maior declividade. A Figura 14 apresenta o Mapa do Uso do Solo do ano de 2011, na bacia dos Sinos, e evidencia os diferentes padrões de ocupação. O mapa foi elaborado a partir da classificação supervisionada e interpretação visual de uma imagem LANDSAT TM5, datada do dia 05/05/2011.

Como pode-se perceber na Figura 14, a vegetação remanescente concentra-se principalmente em uma borda mais contínua na porção nordeste a sudeste da bacia. Há também fragmentos espalhados na região central próximo ao Médio rio dos Sinos. As figuras 15, 16, 17 e 18 apresentam fotos desse processo de ocupação e de fragmentação das áreas de mata.

⁹ Dados calculados a partir dos shapefiles do Projeto SOS Mata Atlântica.

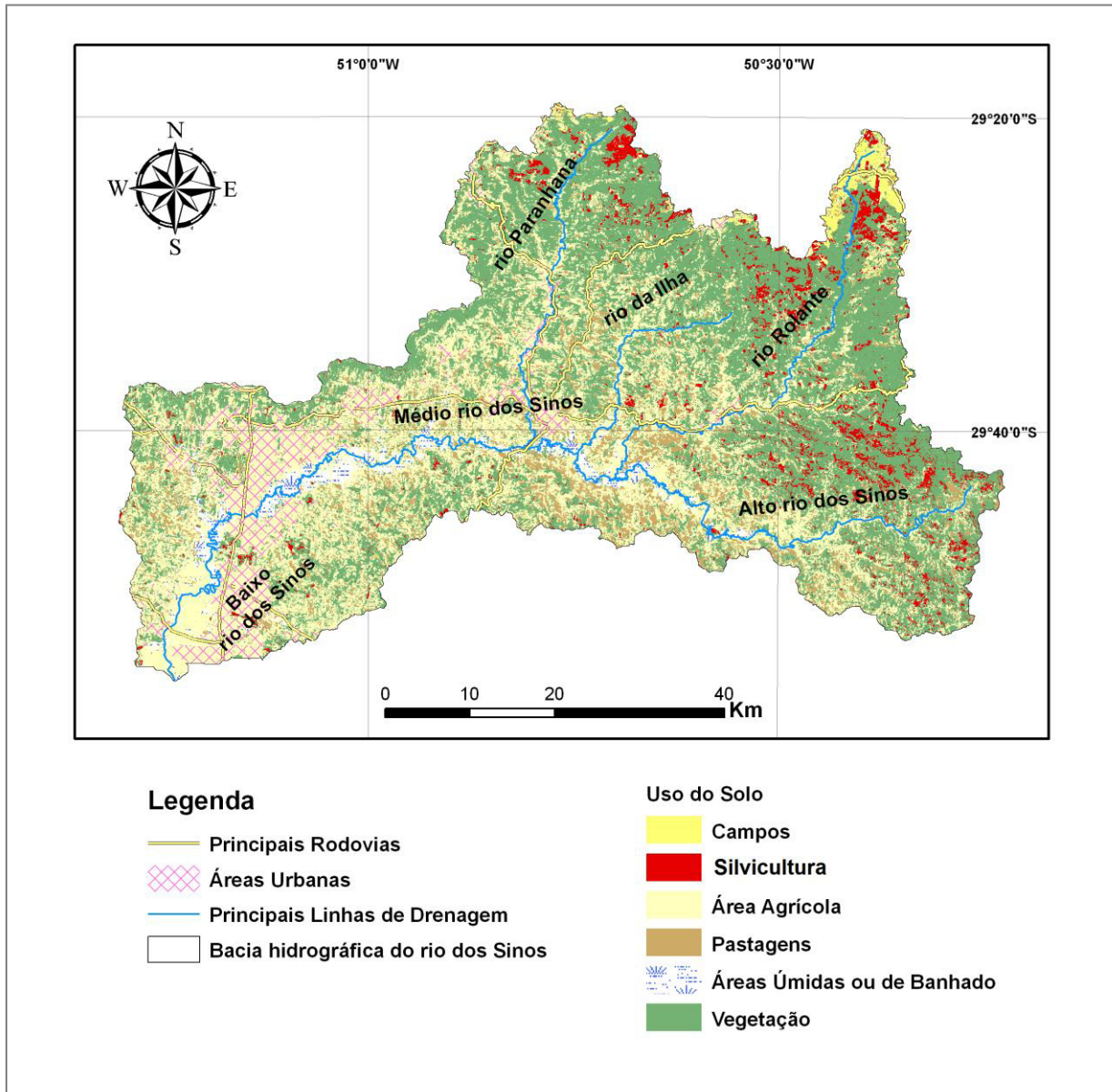


Figura 14: Mapa do Uso do Solo da bacia dos Sinos – Imagem Landsat TM5, composição R4 G5 B3. Elaborado por: Thiago Dias Luerce.

Em primeiro plano na Figura 15, observa-se uma área destinada a atividades agrícolas e em segundo plano em um relevo mais elevado, está presente a Mata Atlântica (vegetação nativa) com interferência de silvicultura.

Nas Figuras 16, 17 e 18, nota-se esse mesmo padrão de ocupação da Mata Atlântica, sempre presente na parte mais elevada e acidentada do terreno. As áreas destacadas pelo círculo em vermelho referem-se à silvicultura.

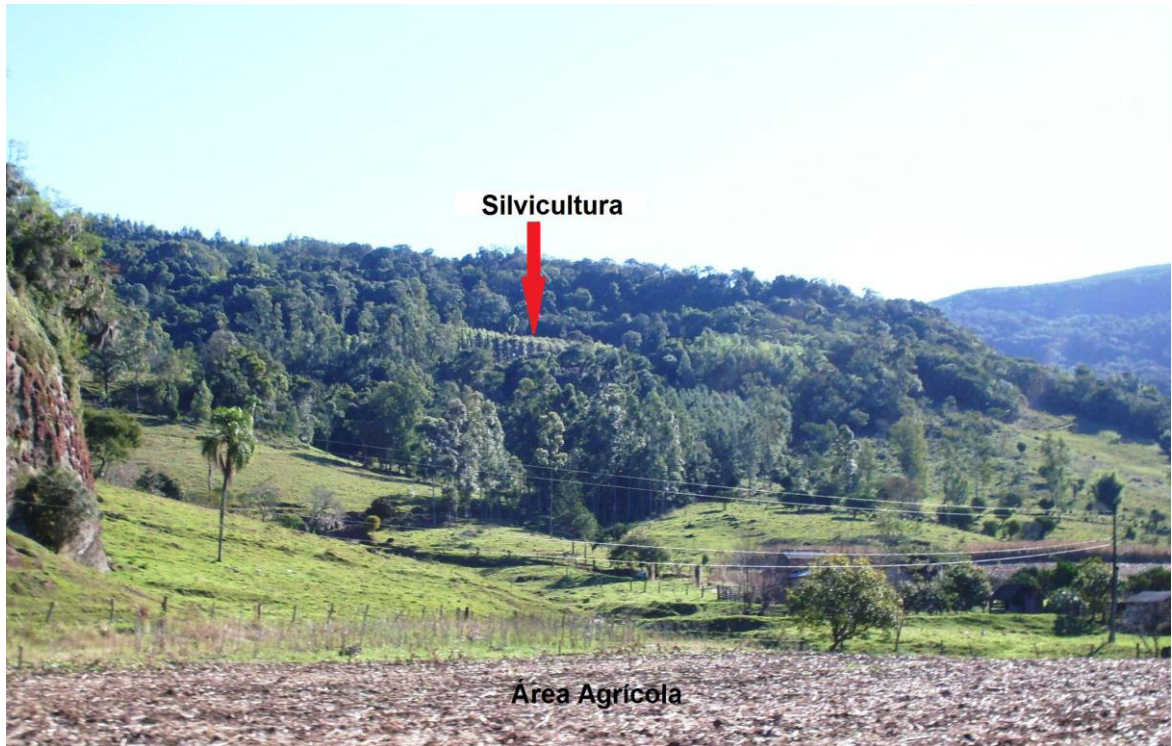


Figura 15: Classes de Uso do Solo na bacia dos Sinos – área agrícola, silvicultura e vegetação nativa. Fonte: Trabalho de campo, 2012.



Figura 16: Mata Atlântica ocupando as encostas, em destaque área de silvicultura. Fonte: Trabalho de campo, 2012.



Figura 17: Mata Atlântica ocupando as encostas, em destaque área de silvicultura. Fonte: Trabalho de campo, 2012.



Figura 18: Em primeiro plano – áreas antropizadas. Em segundo plano - Mata Atlântica ocupando as encostas. Fonte: Trabalho de campo, 2012.

Desse modo, a vegetação que se apresenta mais preservada concentra-se nas áreas mais elevadas e íngremes da bacia, nas encostas e topos de morros. A Figura 19 mostra os remanescentes de Mata Atlântica sobrepostos sobre o Mapa Altimétrico da bacia.

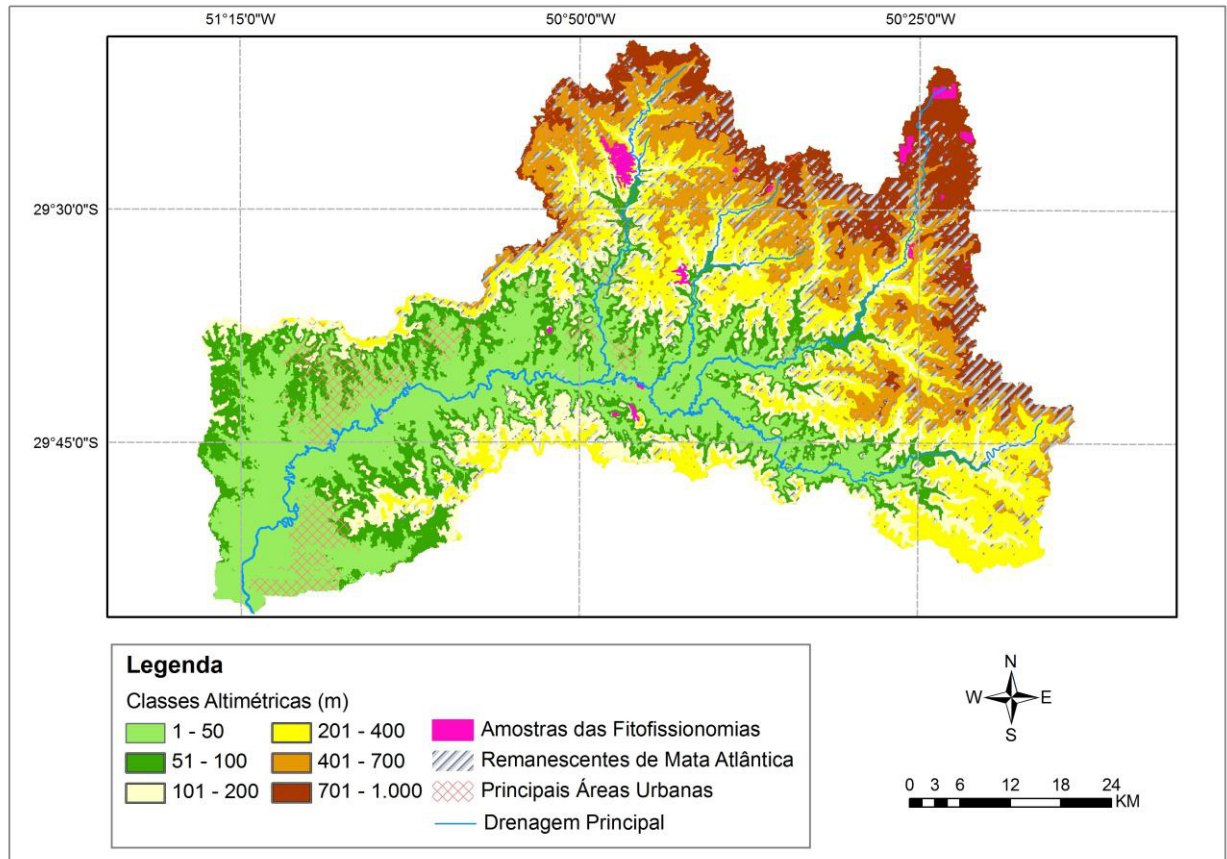


Figura 19: Remanescentes de Mata Atlântica sobrepostos ao Mapa Altimétrico da bacia dos Sinos. Fonte: Atlas dos remanescentes da Mata Atlântica e dados SRTM.

De acordo com a figura 19, a maior parte dos remanescentes se localiza nas altitudes mais elevadas da bacia, onde se apresentam em áreas mais contínuas. A tabela 01 apresenta a área e o percentual dos remanescentes localizados em cada classe altimétrica da bacia. Nota-se que a classe que engloba a maior parte da vegetação nativa é a correspondente a 401 – 700m de altitude. E a classe com menor presença de vegetação nativa é a de 51 – 100m de altitude.

Tabela 01: Área e percentual dos remanescentes das fitofisionomias da Mata Atlântica de acordo com a localização por classe altimétrica.

Classes altimétricas (m)	Área dos remanescentes (km²)	Percentagem em relação à área total dos remanescentes (%)	Percentagem em relação à área total da bacia (%)
1 – 50	11,18	1,94	0,3
51- 100	10,0	1,78	0,26
101 – 200	61,04	10,6	1,6
201 – 400	159,56	27,75	4,17
401 – 700	169,44	29,45	4,43
700 – 1000	163,90	28,5	4,3

O padrão de ocupação da Mata Atlântica na bacia é marcado principalmente pelo comportamento sazonal das fitofisionomias. O inverno e o verão são as estações que mais influenciam nessa sazonalidade.

As figuras 20 e 21 apresentam as imagens MODIS da bacia dos Sinos fatiadas em classes de NDVI para as estações de inverno e verão, respectivamente. As datas 14/09/2000 e 02/02/2005 foram escolhidas para exemplificar a sazonalidade no comportamento das fitofisionomias, devido o fato dessas imagens ter apresentado a maior contribuição na série temporal analisada, fato constatado pela ACP.

As imagens de NDVI demonstram um comportamento diferenciado da vegetação no inverno e no verão. De acordo com as imagens 20 e 21 há uma predominância no inverno das classes de menores valores de NDVI.

Na porção leste e sudeste da bacia, onde se localiza a Floresta Semidecidual Montana, a Floresta Ombrófila Mista e uma parte da Semidecidual Submontana, observa-se que no verão os valores de NDVI aumentam, predominando a classe de 0,8 - 1 de NDVI. Já no inverno, nessas mesmas áreas os valores são menores, predominando as classes de 0,6 - 0,7 e 0,7 - 0,8 de NDVI.

Na área correspondente a fitofisionomia Estepe (Campos de Cima da Serra) (Figura 04), os valores de NDVI também se diferenciam no inverno e verão. De acordo com a Figura 20 no inverno há ocorrência das classes de -0,2 - 0,2 e 0,2 - 0,4. Já no verão predomina a classe de 0,4 - 0,6 de NDVI (Figura 21).

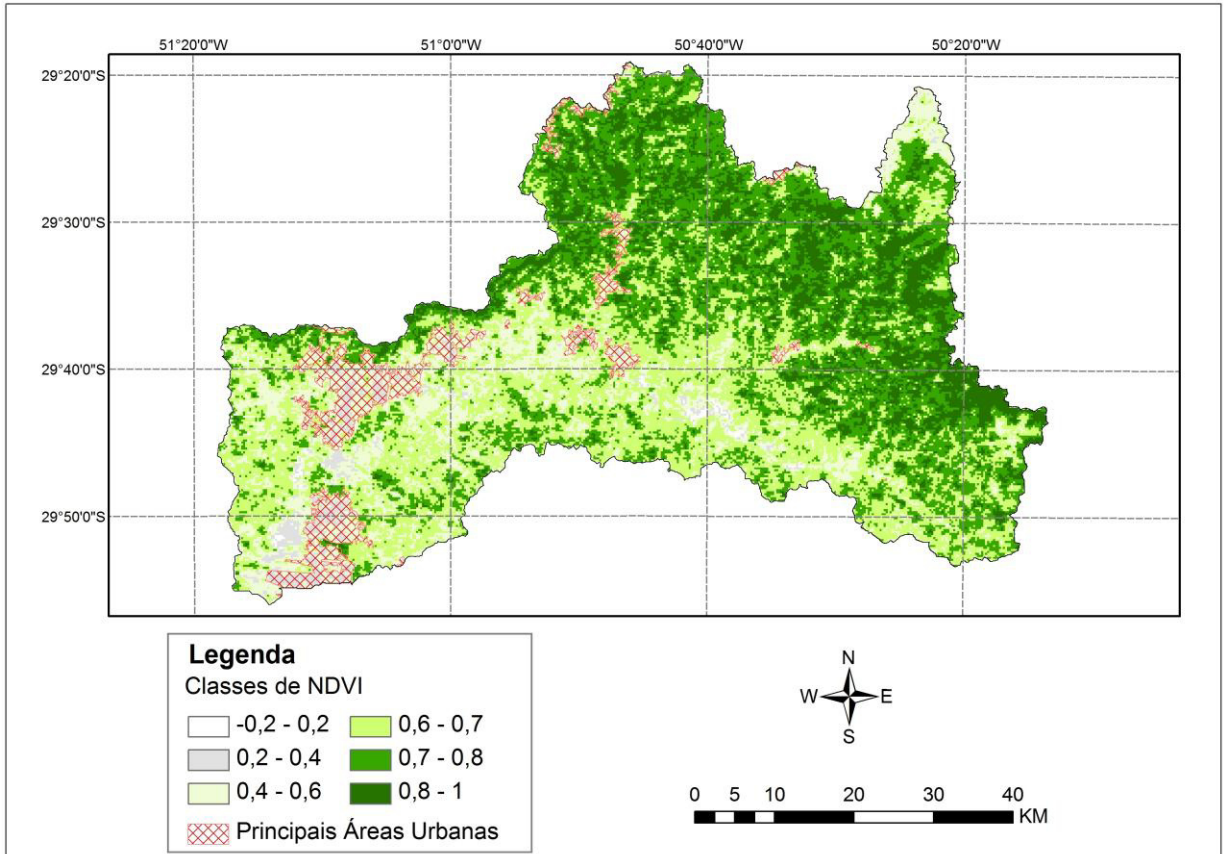


Figura 20: Imagem fatiada em classes de NDVI/MODIS, correspondente ao inverno (14/09/2000).

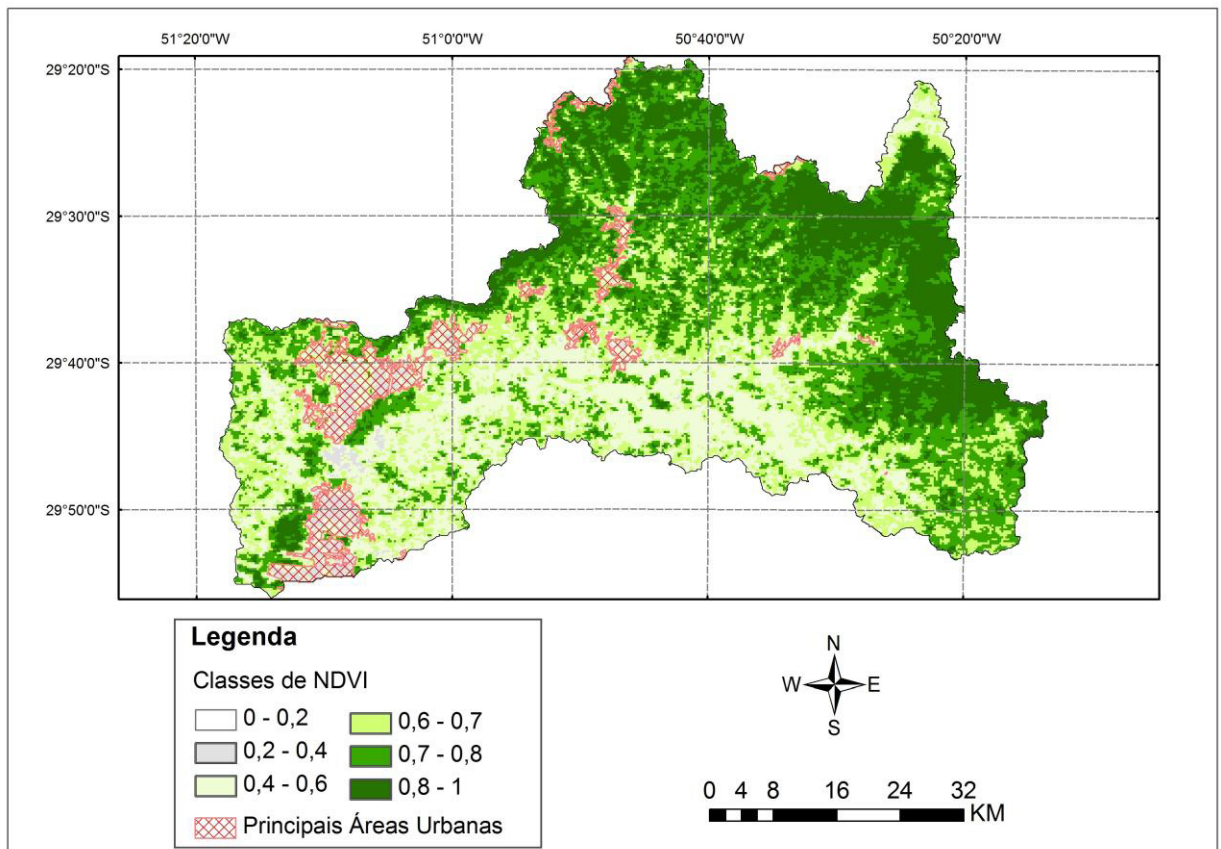


Figura 21: Imagem fatiada em classes de NDVI/MODIS, correspondente ao verão (02/02/2005).

Essa redução dos valores de NDVI no inverno pode se justificar pela dinâmica da vegetação. As baixas temperaturas interferem no comportamento das diferentes fitofisionomias, fazendo com que as folhas das árvores caiam. Como ocorre um percentual significativo das espécies, que compõe a Mata Atlântica, que perdem as folhas, o dossel da floresta interfere nos valores de NDVI.

De acordo com Dalla Nora e Martini (2010), durante a estação mais severa (inverno), a perda de biomassa foliar reduz a oferta de pigmentos fotossintetizantes e faz com que a reflectância na faixa do vermelho seja ligeiramente superior à observada na estação anterior. Nesta condição, a amplitude de variação entre os comprimentos de onda é reduzida e determina os valores mais baixos registrados pelo NDVI durante inverno.

Já no verão os altos valores de NDVI ocorrem devido à vegetação encontrar-se no auge do vigor, até porque nos meses que antecedem essa estação, ocorrem os maiores índices pluviométricos anuais na bacia dos Sinos (Figura 03).

Durante a estação mais favorável ao desenvolvimento vegetativo, ocorre um contraste marcante entre a região espectral do vermelho e infravermelho próximo. A maior disponibilidade de pigmentos fotossintetizantes absorve com maior intensidade a radiação na faixa do vermelho e uma forte reflectância é registrada na faixa do infravermelho próximo em decorrência da incapacidade dos estratos vegetativos em absorver ou transmitir esse tipo de radiação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2009). Essa característica determina valores mais expressivos de NDVI durante o verão, demonstrando maior vigor vegetativo.

6.2 Variação temporal de NDVI - análise dos espectros temporais

A partir das amostras selecionadas na série temporal de imagens NDVI/MODIS foi possível analisar os espectros temporais de NDVI e entender o comportamento da vegetação nas áreas de Mata atlântica na área da bacia do rio dos Sinos.

Destaca-se ao longo da série temporal (2000 a 2011), a oscilação dos valores de NDVI ao longo dos espectros temporais.

A Floresta Semidecidual se caracteriza pela dupla estacionalidade climática, representada no Estado, pela chamada seca fisiológica provocada pelo frio intenso do inverno, com temperaturas médias inferiores a 15°C. A percentagem das árvores

que perdem as folhas no conjunto florestal situa-se entre 20 e 50%¹⁰. Esse processo ficou evidente nas três amostras da fitofisionomia.

Observa-se nos gráficos que os valores de NDVI comportam-se em formato de curvas, onde os menores valores correspondem aos meses de inverno, quando as árvores perdem uma parte das folhas, fazendo com que diminua a biomassa foliar. Conseqüentemente ocorre o aumento da contribuição da resposta espectral do solo e de outros elementos que constituem as florestas (galhos, troncos, etc) nos valores de NDVI.

As Figuras 22, 23 e 24, apresentam as curvas do espectro temporal das amostras da fitofisionomia da Mata Atlântica Floresta Semidecidual de Terras Baixas (amostras 1.1, 1.2 e 1.3).

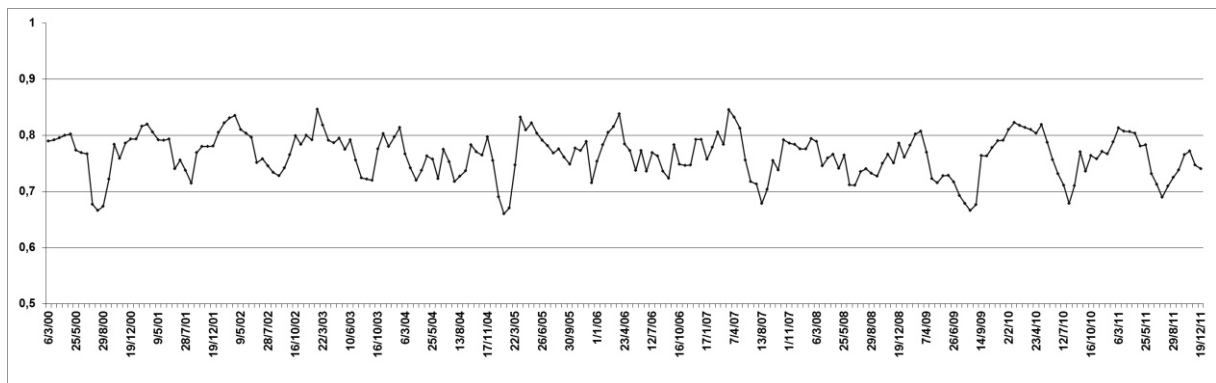


Figura 22: Espectro temporal NDVI/MODIS da Floresta Semidecidual de Terras Baixas - amostra 1.1.

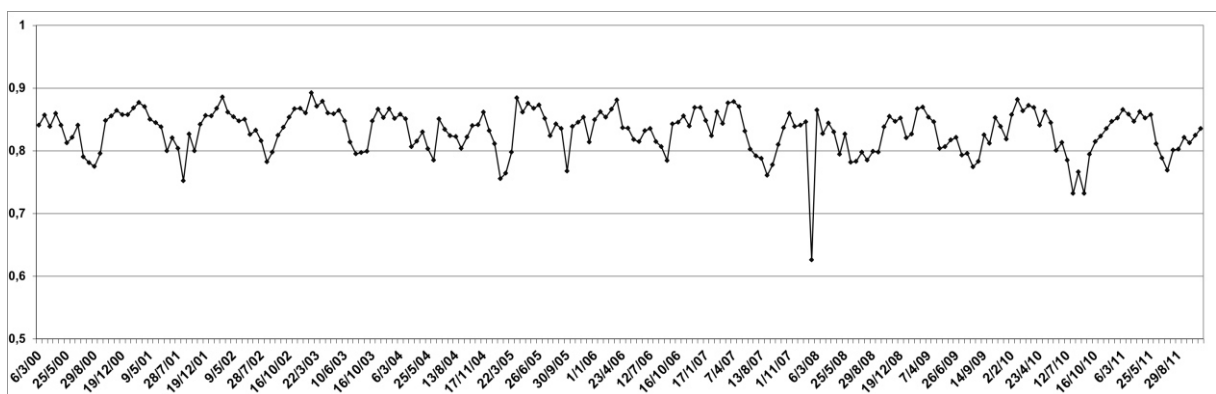


Figura 23: Espectro temporal NDVI/MODIS da Floresta Semidecidual de Terras Baixas - amostra 1.2.

¹⁰ Fonte: IBGE. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Rio de Janeiro, 1992.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Inventário Florestal Nacional. Florestas Nativas RS. Brasília, 1983.

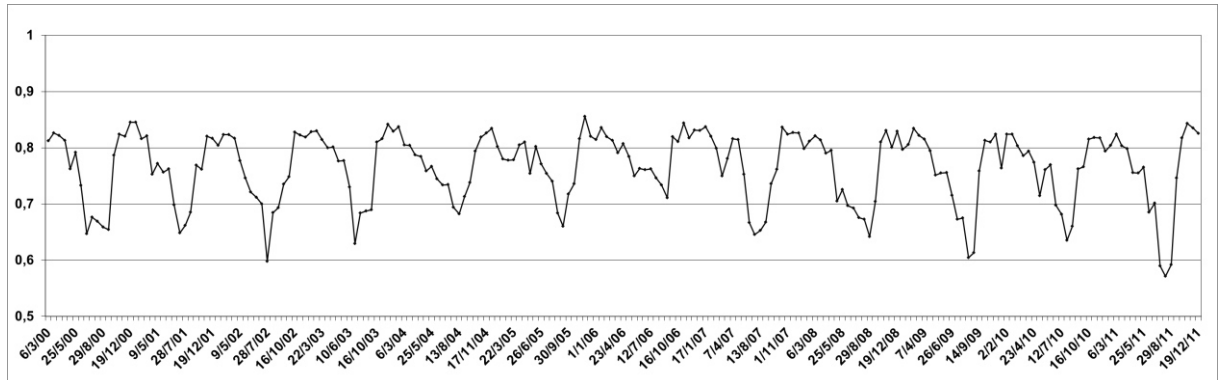


Figura 24: Espectro temporal NDVI/MODIS da Floresta Semidecidual de Terras Baixas - amostra 1.3.

Nas Figuras 22, 23 e 24 destaca-se que o valor de NDVI, nas três amostras, ficou acima de 0,6, valor de NDVI característico de áreas com média a elevada cobertura vegetal. Braga e Sansigolo (2008), em estudos preliminares indicam que os valores do NDVI para áreas vegetadas variam de 0,1 a 0,8, valores estes que dependem da arquitetura, densidade e umidade da vegetação.

Também se verifica que ao longo da série temporal, não houve uma diminuição significativa nos valores de NDVI, os quais se mantiveram constantes. Esse fato indica também que nas áreas das amostras não ocorreu supressão da floresta.

Na amostra 1.1 e 1.2 (Figura 22 e 23) os valores de NDVI ao longo dos 12 anos analisados, apresentam uma pequena amplitude entre os meses de inverno (junho a setembro) e verão (dezembro a março). Nessas amostras os valores de NDVI oscilam entre 0,66 a 0,84 na amostra 01, e entre 0,73 a 0,9 na amostra 1.2. Os maiores valores de NDVI foram encontrados na amostra 1.2, com uma média de 0,83 na série temporal analisada.

Já na amostra 1.3 (Figura 24) ocorre uma maior amplitude nos valores de NDVI, variando entre 0,57 nos meses de inverno e 0,85 nos meses de verão. O espectro temporal da amostra 1.3 é o que apresenta mais claramente a característica de deciduidade da vegetação.

Um fator que pode influenciar na diferenciação dos valores de NDVI entre as amostras é a sua localização. A amostra 1.2, por exemplo, apresenta os maiores valores médios de NDVI, o que pode ser explicado observando as imagens das Figuras 25 e 26

A imagem referente à amostra 1.1 (Figura 25) apresenta um maior efeito de sombreamento do relevo do que a imagem da amostra 2.2 (Figura 26). Esses pixels

com sombra podem ser os responsáveis pelos menores valores de NDVI constatados na amostra 1.1 em relação à mostra 1.2.

A maior amplitude dos valores de NDVI entre o inverno e o verão na amostra 1.3 (Figura 24), onde os meses de inverno apresentam valores bem menores que nas outras amostras (Figura 22 e 23), podem ser explicados observando-se o mapa da localização das amostras (Figura 13). Observa-se que na Figura 27 a amostra 1.3 da Floresta de Terras Baixas localiza-se em uma área mais plana e bem próxima ao rio dos Sinos (Figura 13), do que as amostras 1.1 e 1.2, que estão localizadas em encostas e topos de morros (Figura 25 e 26). Devido à proximidade do rio e a maior umidade na área, nos meses mais chuvosos, a vegetação da amostra 1.3, irá ter uma resposta espectral com maior interferência de solos mais úmidos, além de que as espécies presentes estão associadas a esses ambientes. Esses elementos fazem com que os valores de NDVI sejam menores no inverno.

Cabe salientar que os meses mais chuvosos na bacia (Figura 03), são os meses correspondentes ao inverno (junho a setembro), fato que também corrobora para a diminuição no inverno dos valores de NDVI na amostra 1.3 (Figura 24).

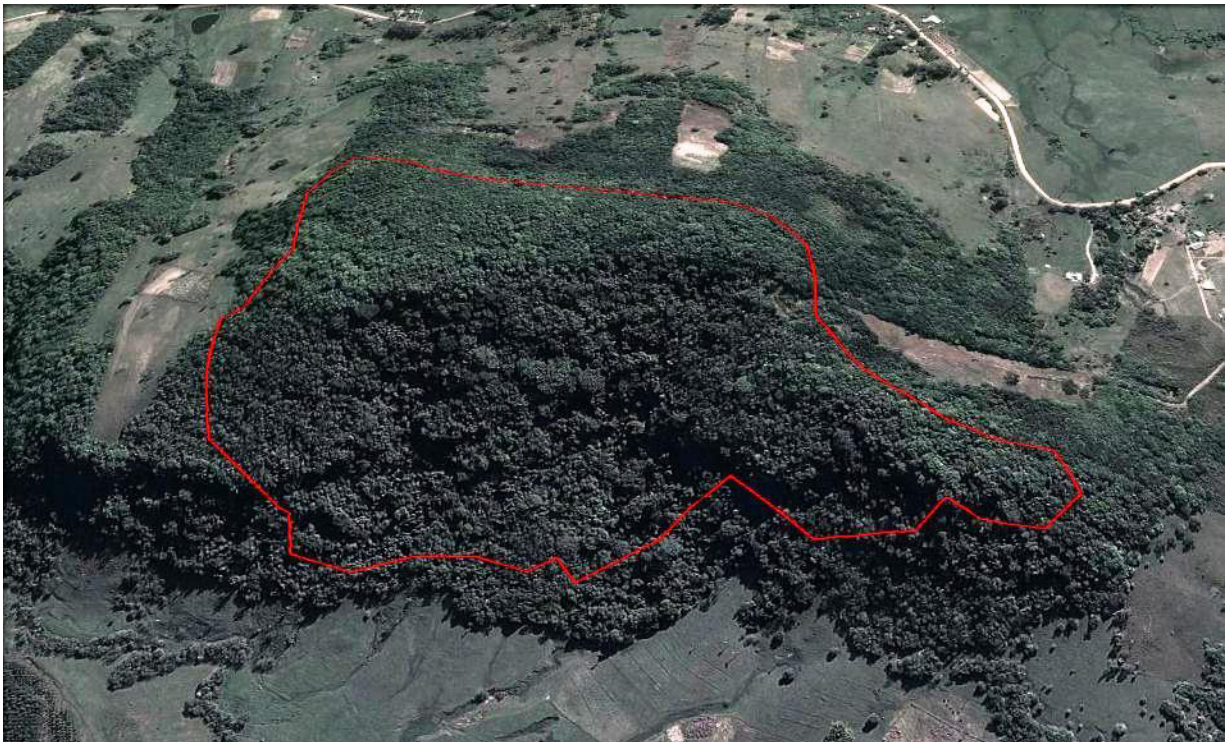


Figura 25: Limite da amostra 1.1 da Floresta Semidecidual de Terras Baixas. Fonte: Google Earth.



Figura 26: Limite da amostra 1.2 da Floresta Semidecidual de Terras Baixas. Fonte: Google Earth.

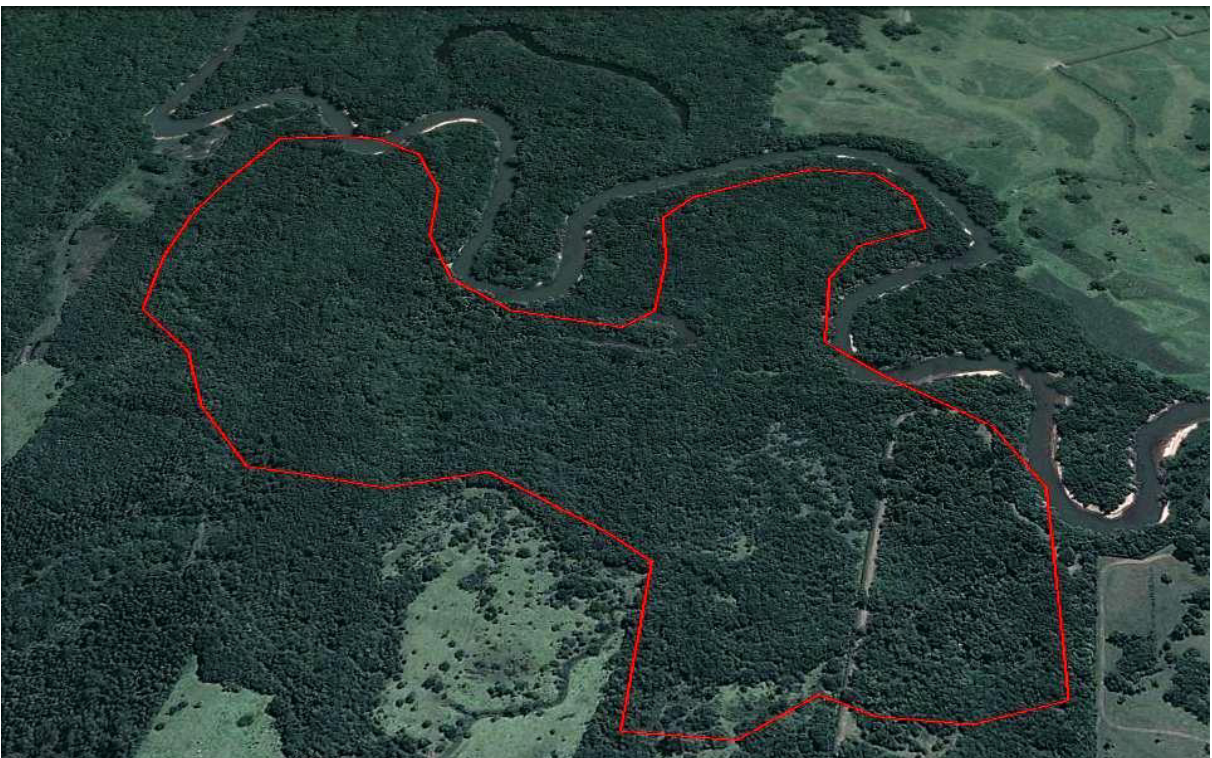


Figura 27: Limite da amostra 1.3 da Floresta Semidecidual de Terras Baixas. Fonte: Google Earth.

Na figura 28 destaca-se o comportamento sazonal da Floresta Semidecidual de Terras Baixas, a partir das médias dos valores de NDVI considerando as duas estações do ano, de cada ano da série temporal, com maior influência na semideciduidade dessa formação florestal - o inverno e o verão.

Com exceção do ano de 2005, em todos os anos da série temporal os valores de NDVI do verão ficaram acima dos valores de NDVI de inverno. Além da característica de semidecidualidade da floresta, outro fator que corrobora para essa diferença de valores entre o inverno e o verão, conforme destacado por Rosembach et al. (2010), é que “durante os meses de primavera ocorrem os maiores índices pluviométricos na região sul do Brasil, resultando em maiores valores de NDVI nos meses de verão, onde a vegetação estará no auge do vigor.”

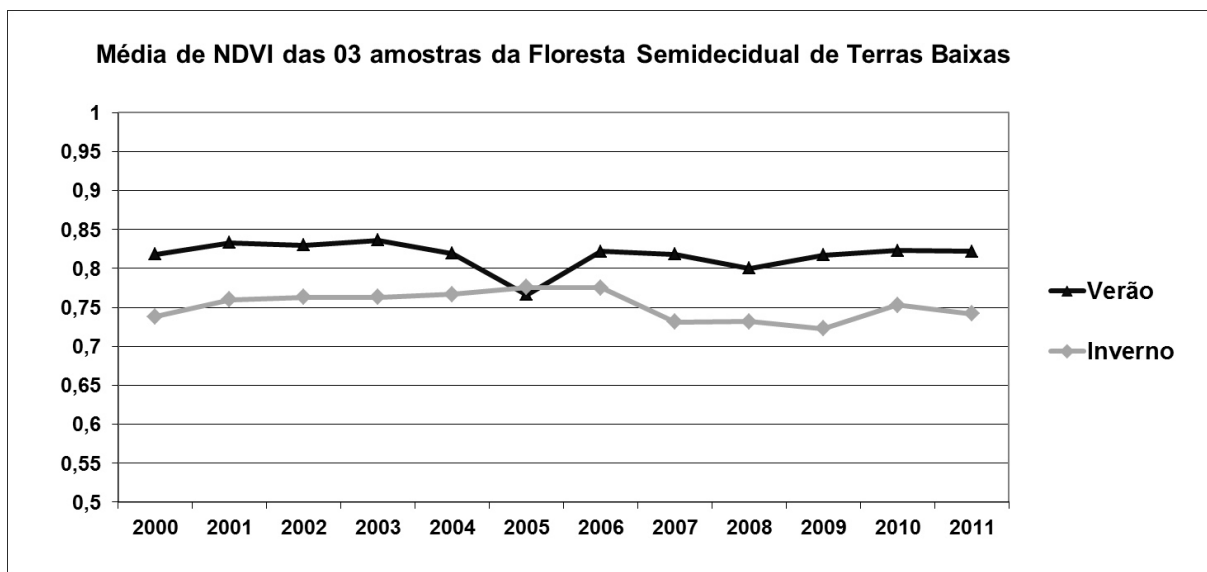


Figura 28: Médias anuais de NDVI/MODIS referentes aos meses de inverno e verão da Floresta Semidecidual de Terras Baixas.

Ao analisar essa sazonalidade nas figuras 22, 23 e 24, destaca-se que o ano de 2005 apresenta um comportamento diferenciado de NDVI. Especificamente o valor correspondente a fevereiro (verão) apresenta um declínio de NDVI nas três amostras. Assim, ao fazer a média sazonal de NDVI das três amostras (Figura 28) esses valores foram os responsáveis pelo ano de 2005 apresentar um valor de NDVI levemente menor no verão do que no inverno.

Esse comportamento atípico do NDVI em 2005 pode ser explicado em parte analisando a Figura 29 que apresenta as médias mensais de precipitação acumulada com base nas séries temporais do satélite TRMM.

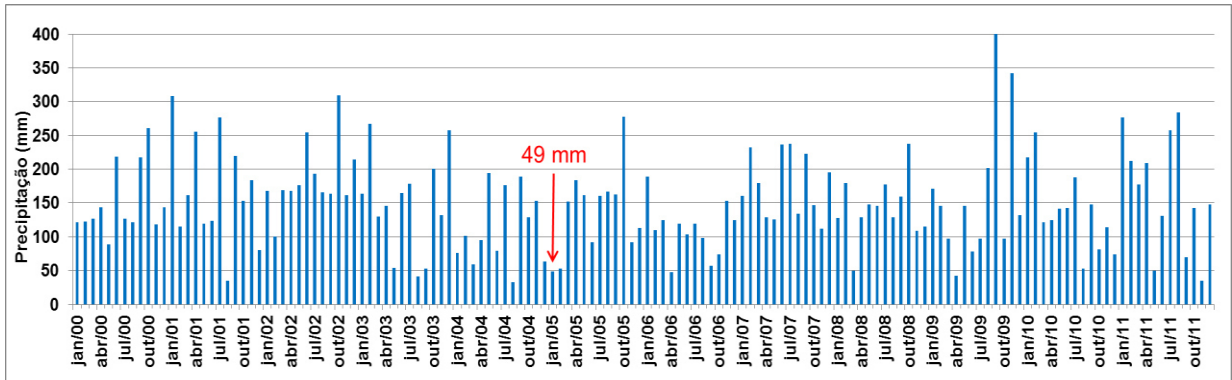


Figura 29: Precipitação acumulada mensal período 2000 a 2011, Bacia dos Sinos - RS.

Fonte: Dados do satélite TRMM, disponíveis em LAF/INPE Séries Temporais.

Destaca-se na Figura 29 que a precipitação dos meses correspondentes ao verão, - principalmente janeiro e fevereiro - de 2005 é menor em comparação ao mesmo período nos outros anos da série temporal. Enquanto nos outros anos, janeiro e fevereiro apresentam uma precipitação sempre acima de 100 mm, em 2005, esses meses tiveram uma diminuição considerável de chuvas.

Essa diminuição das chuvas se reflete no desenvolvimento das plantas e consequentemente na resposta espectral das mesmas. Moura et al. (2009) na pesquisa “Análise comparativa entre índices de vegetação NDVI e EVI e sua relação com o balanço hídrico na Bacia do Una - SP”, também encontraram os maiores valores de NDVI na estação onde ocorria maiores índices pluviométricos e os menores valores nos meses de menor índice pluviométrico.

As figuras 30, 31 e 32 apresentam os espectros temporais de NDVI da fitofisionomia Floresta Semidecidual Submontana, amostras 2.1, 2.2 e 2.3.

A Floresta Semidecidual Submontana corresponde originalmente a maior parte da área da bacia, abrangendo a 45,92% de sua área total.

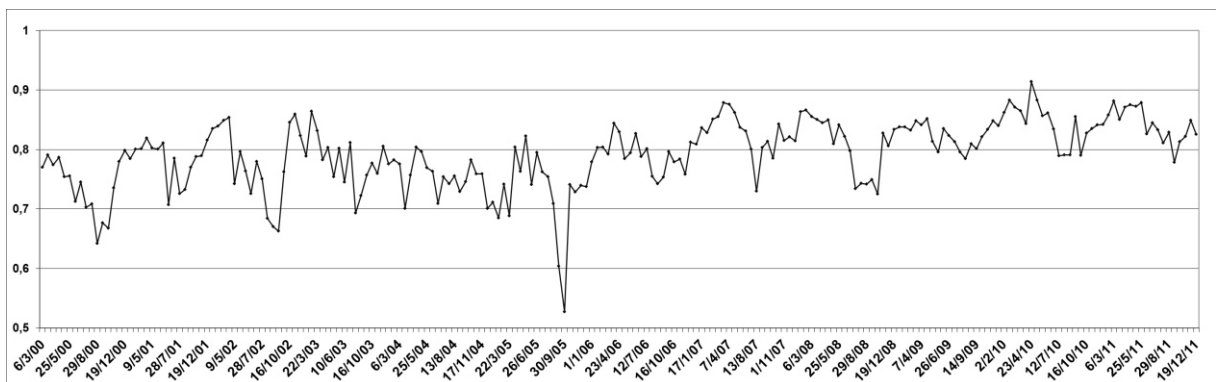


Figura 30: Espectro temporal de NDVI da Floresta Semidecidual Submontana - amostra 2.1.

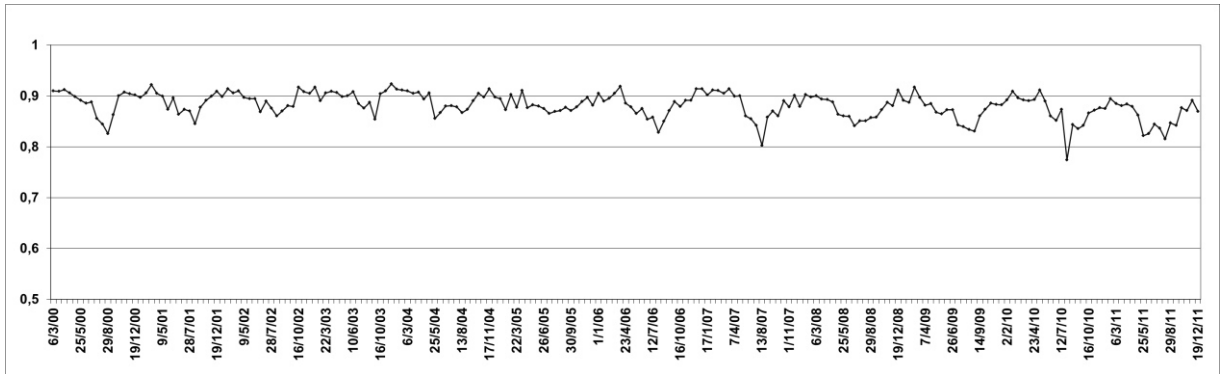


Figura 31: Espectro temporal de NDVI da Floresta Semidecidual Submontana - amostra 2.2.

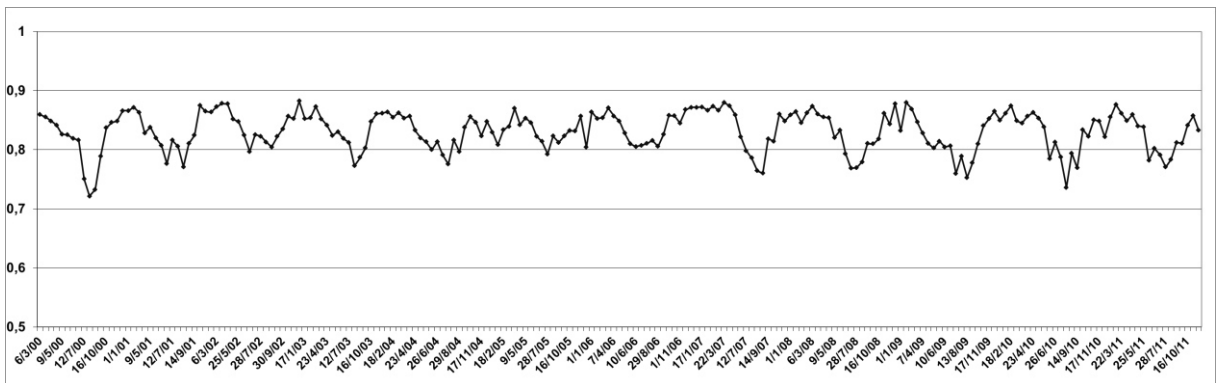


Figura 32: Espectro temporal de NDVI da Floresta Semidecidual Submontana - amostra 2.3.

Ao analisar os espectros temporais, percebe-se que as figuras 31 e 32, apresentam valores de NDVI ligeiramente mais altos que a Figura 30, a qual apresenta também uma maior amplitude nos valores em relação às outras. Rosembach et al. (2010), verificaram que a Floresta Estacional Semidecidual apresenta valores altos de NDVI em todas as estações (entre 0,7 e 0,8), com queda nos meses de julho a setembro (0,55 a 0,7).

Como constatado nas amostras da fitofisionomia correspondentes as Terras Baixas, os espectros temporais de NDVI da Floresta Semidecidual Submontana também demonstram o comportamento decidual da vegetação determinando a magnitude das variações sazonais apresentado nas figuras 30, 31 e 32.

A Figura 33 apresenta a média anual do inverno e verão das três amostras de Submontana. Cabe destacar novamente a diferença dos valores de inverno e verão e a pequena queda dos valores de NDVI no ano de 2005, motivos pelos quais já explicados anteriormente.

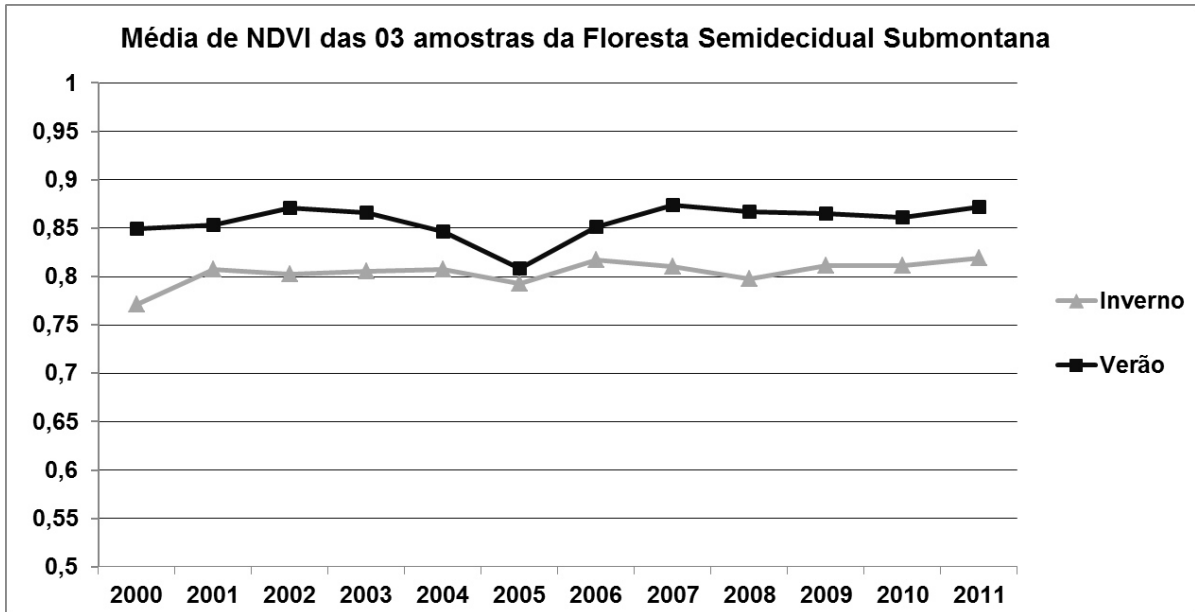


Figura 33: Médias anuais do NDVI referentes aos meses de inverno e verão da Floresta Semidecidual Submontana.

Salienta-se também, que os valores anuais de NDVI do inverno e verão da Floresta Semidecidual Submontana (Figura 33) apresentaram-se levemente maiores, tanto no inverno como no verão, do que na Floresta Semidecidual de Terras Baixas (Figura 28), indicando uma diferenciação entre as fitofisionomias. Cabe destacar, que as fitofisionomias são caracterizadas por uma sazonalidade fraca, pois o NDVI apresenta uma pequena variabilidade de uma estação para outra.

As figuras 34, 35 e 36 apresentam os espectros temporais de NDVI da fitofisionomia Floresta Semidecidual Montana, amostras 3.1, 3.2 e 3.3.

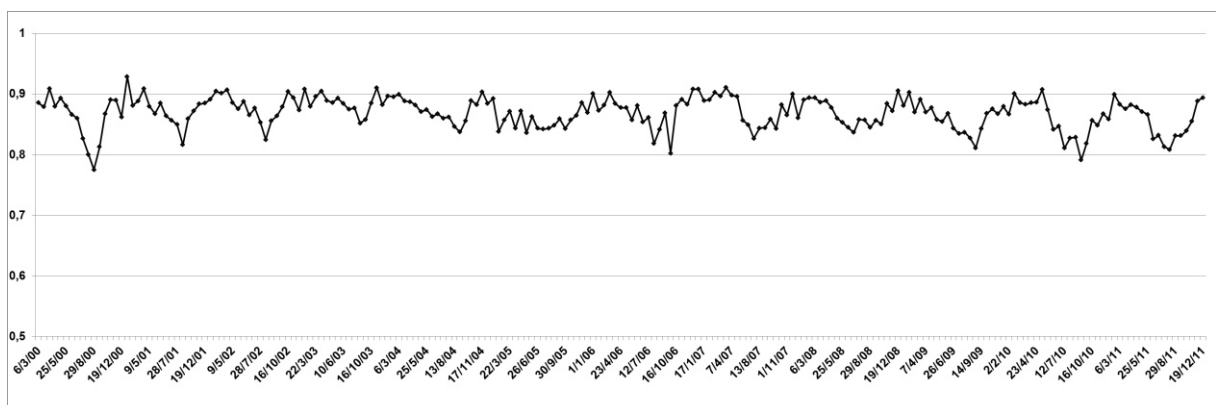


Figura 34: Espectro temporal de NDVI da Floresta Semidecidual Montana - amostra 3.1.

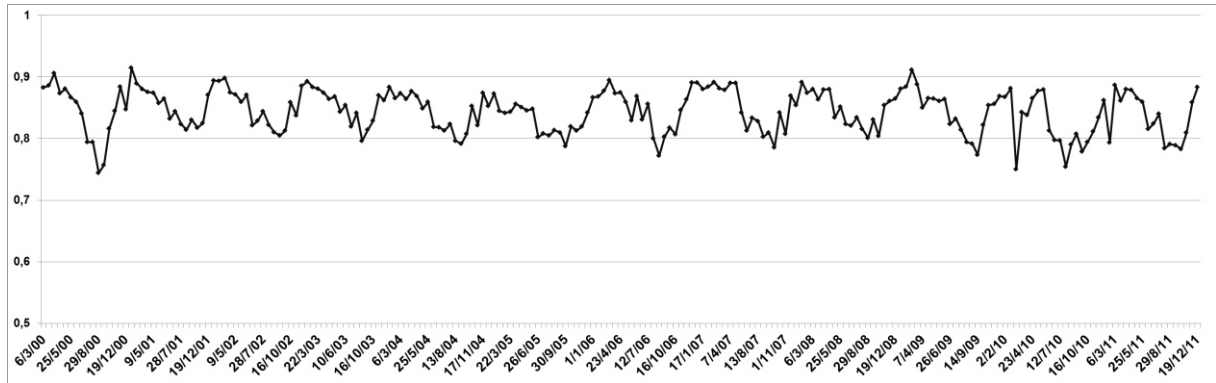


Figura 35: Espectro temporal de NDVI da Floresta Semidecidual Montana - amostra 3.2.

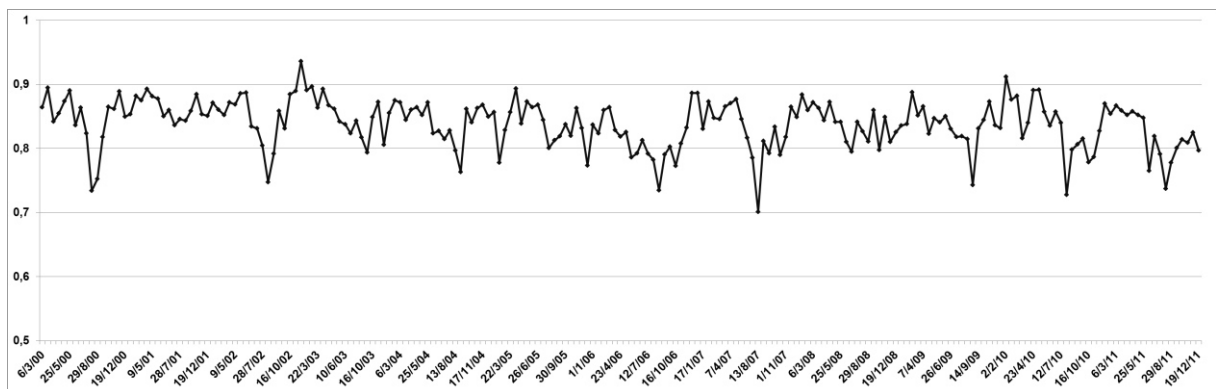


Figura 36: Espectro temporal de NDVI da Floresta Semidecidual Montana - amostra 3.3.

Ao analisar todos os espectros temporais de NDVI das classes da Floresta Semidecidual, observa-se que o NDVI comportou-se condizente com o que preceitua a bibliografia no que tange à dinâmica sazonal das fitofisionomias (IBGE 2013; LEITE, 2002; VELOSO et al., 1991). De acordo com esses autores na Floresta Estacional Semidecidual o inverno bastante frio (temperaturas médias mensais inferiores a 15° C) determina repouso fisiológico e queda parcial da folhagem. A Figura 37 evidencia uma acentuada diminuição das temperaturas nos meses correspondentes ao inverno (junho a setembro), em alguns períodos apresentando-se abaixo de 10°C.

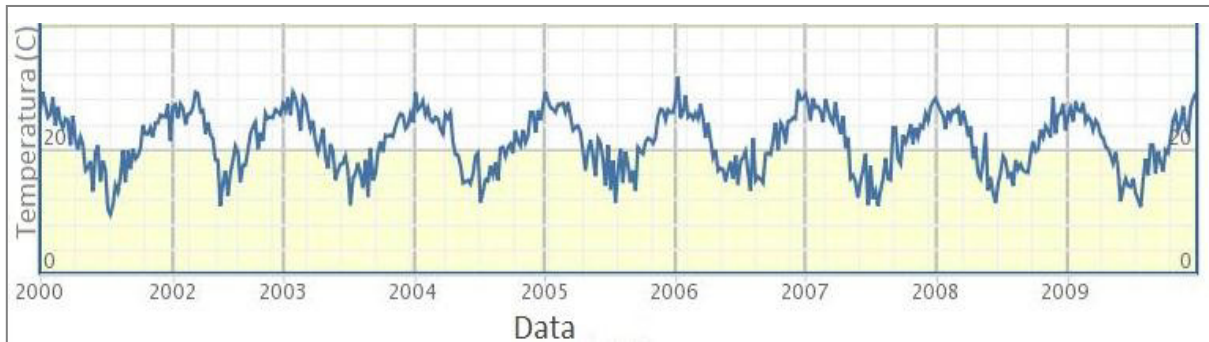


Figura 37: Gráfico das temperaturas mensais do município de Campo Bom na bacia dos Sinos, período 2000 a 2009.

A Figura 38 apresenta as médias de NDVI do inverno e verão de cada ano da série temporal da Floresta Semidecidual Montana e assim como as outras classes de fitofisionomias da Floresta Semidecidual, apresenta os valores de verão maiores do que do inverno.

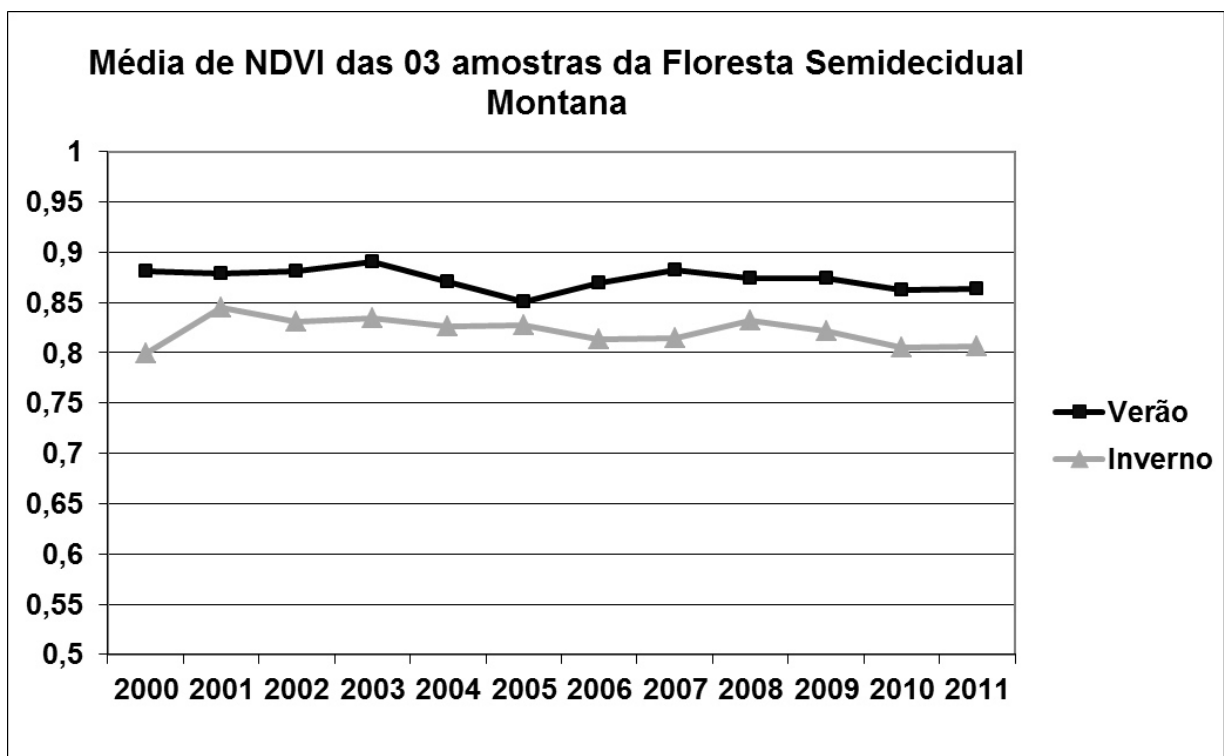


Figura 38: Médias anuais do NDVI referentes aos meses de inverno e verão da Floresta Semidecidual Montana.

Segundo Dalla Nora e Martini (2010), a característica decídua, de intensidade distinta, altera as relações de reflectância entre comprimentos de onda situados na região do vermelho (620 a 700 nm) e infravermelho próximo (700 a 1300 nm). Os autores ainda complementam que estas alterações provocadas pela perda de

biomassa foliar em função de características físicas adversas determinam a amplitude das variações ilustradas nos espectros de NDVI em relação a cada tipo fitofisionômico. Neste caso, o comportamento fenológico da vegetação apresenta estreita relação com sua dinâmica espectral, tornando possível seu monitoramento mediante o emprego de índices de vegetação.

Cabe salientar, que a Figura 38 apresenta uma queda nos valores de NDVI do inverno do ano de 2000, comportamento também constatado nas amostras da Floresta Submontana (Figura 33) e da Floresta Ombrófila Mista (Figura 42). Esse comportamento diferenciado do NDVI no inverno de 2000 pode ser compreendido a partir da análise do gráfico das temperaturas (Figura 37). Esse período apresentou as temperaturas mais baixas da série temporal. As baixas temperaturas no inverno e o caráter semidecidual da Mata Atlântica nessa área corroboram para a queda das folhas e conseqüentemente a diminuição dos valores de NDVI.

As médias anuais de NDVI do inverno e do verão das três amostras de cada classe da fitofisionomia da Floresta Semidecidual (as Figuras 28, 33 e 38), indicam uma tendência de queda dos valores de NDVI no verão do ano 2005. Como mostra a Tabela 02, isso se deve provavelmente, pelo fato de que o verão de 2005 apresenta os menores índices pluviométricos na bacia dos Sinos durante a série temporal analisada. Observa-se na Tabela 02 que na maioria dos anos entre 2000 a 2011, a precipitação média nos meses correspondente ao verão varia de 123 a 185 mm, com exceção do ano de 2005, que apresenta uma considerável queda nos valores de precipitação, apresentando aproximadamente uma média de 80 mm nessa estação.

A falta de chuva por longos períodos influencia diretamente no comportamento da vegetação, ainda mais aliada ao aumento das temperaturas do verão, culminado assim, na diminuição dos valores de NDVI no verão de 2005, evidenciados nos espectros temporais das fitofisionomias e nos gráficos das médias sazonais das três amostras de cada classe fitofisionômica.

Tabela 02: Precipitação média no verão na bacia do Sinos, período 2000 a 2011.

Ano	Precipitação média no verão (mm)
2000	123,53
2001	182,37
2002	129,30
2003	193,72
2004	123,30
2005	79,27
2006	134,15
2007	174,20
2008	132,22
2009	132,22
2010	181,32
2011	184,75

Ainda em relação às Figuras 28, 33 e 38, verifica-se que há uma leve diferença dos valores de NDVI entre as classes. Os gráficos indicam uma tendência de aumento de NDVI, tanto no inverno como no verão, na medida em que aumenta a altitude da floresta, ou seja, a classe da Floresta de Terras Baixas apresenta valores de NDVI menores que os da Floresta Submontana e Montana. Pode-se atribuir a isso, o fato de que como a Floresta de Terras Baixas está presente em áreas de menores altitudes, torna-se mais vulnerável as alterações antrópicas.

Outro fator que pode interferir na diferenciação dos valores de NDVI das classes da Floresta Semidecidual são as espécies predominantes em cada uma das classes. A Figura 05 mostra o perfil esquemático da Floresta Semidecidual onde se percebe uma variação da composição florística de uma classe para outra, resultando em diferenças espectrais entre elas. Destaca-se que à medida que a altitude aumenta as árvores apresentam-se mais próximas uma das outras, até que na classe Montana as copas das árvores apresentam-se lado a lado, formando uma barreira para a reflectância do solo, culminado no aumento dos valores de NDVI.

A localização das amostras, nesses compartimentos do relevo, também pode interferir na diferença de valores de NDVI. Características como relevo, solos, sombreamento, etc, são fatores que influenciam na resposta espectral da vegetação e conseqüentemente nos valores de NDVI.

De acordo com dados do Levantamento dos Recursos Naturais do Brasil, volume 33 de 1986 a Floresta Semidecidual de Terras Baixas está restrita as planícies originalmente inundáveis do rio dos Sinos, constituídas por depósitos aluvionares do período Quaternário. Essa característica indica que a vegetação ai

presente está associada a ambientes de áreas úmidas ou que sofrem com inundações periodicamente. Esse fator interfere diretamente nos valores de NDVI, ocasionando uma diminuição nos mesmos, devido à água presente no ambiente.

Já as classes Submontana e Montana da Floresta Semidecidual não são afetadas por fatores como umidade, pois se localizam em áreas mais elevadas da bacia, como mostra o mapa altimétrico (Figura 19).

Outra fitofisionomia remanescente da Mata Atlântica presente na bacia do rio dos Sinos é a Floresta Ombrófila Mista. As Figuras 39, 40 e 41, apresentam as curvas do espectro temporal de NDVI das amostras 4.1, 4.2 e 4.3.

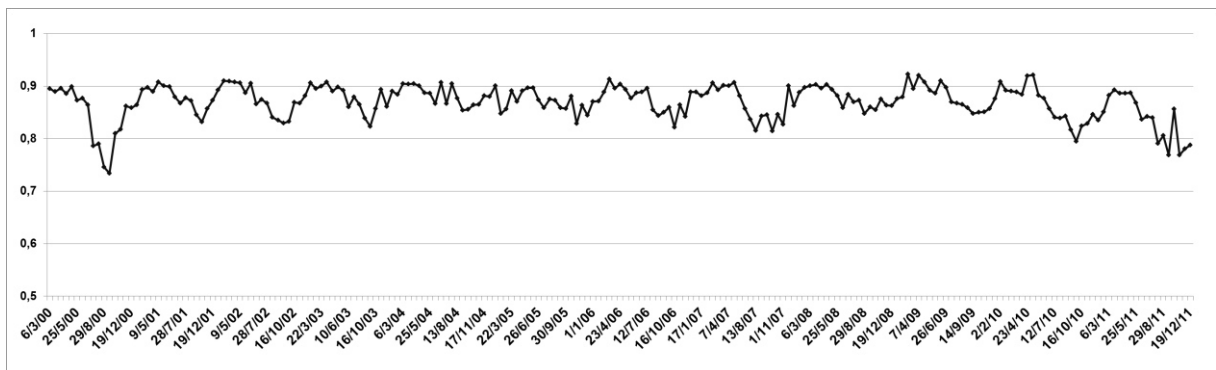


Figura 39: Espectro temporal de NDVI da Floresta Ombrófila Mista - amostra 4.1.

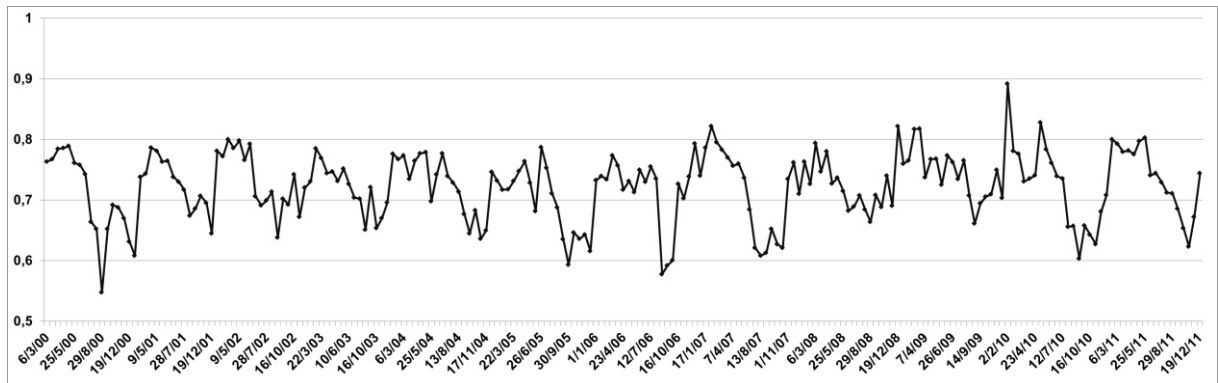


Figura 40: Espectro temporal de NDVI da Floresta Ombrófila Mista - amostra 4.2.

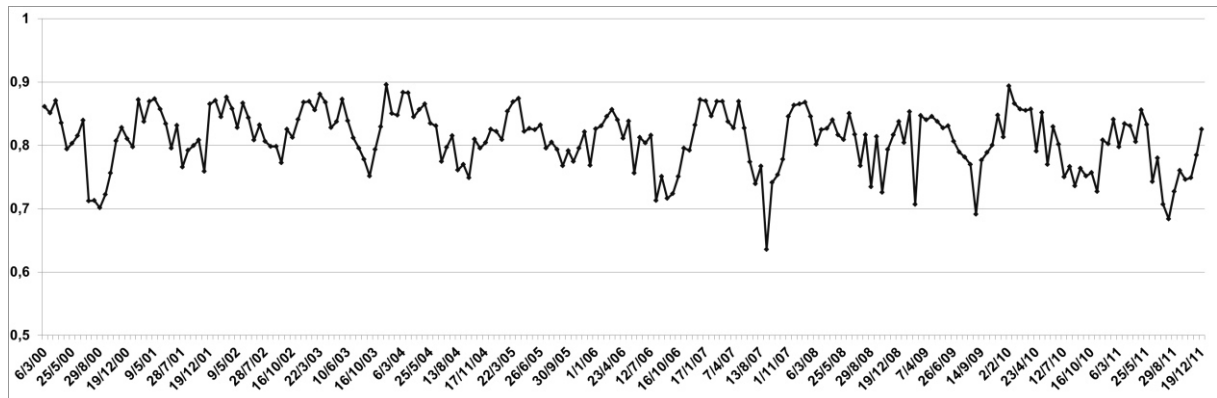


Figura 41: Espectro temporal de NDVI da Floresta Ombrófila Mista - amostra 4.3.

Ao observar as Figuras 39, 40 e 41, novamente destaca-se, com exceção de alguns anos na amostra 4.2 (Figura 40), que o valor de NDVI, ficou acima de 0,6, evidenciando a presença de áreas com média a elevada cobertura vegetal.

Também se verifica nas três amostras da Floresta Ombrófila Mista que não houve desmatamento ao longo da série temporal (2000 a 2011), pois os espectros não demonstram uma diminuição brusca nos valores de NDVI, evidenciando apenas a variação sazonal aos longos dos anos. Fato igualmente constatado nas classes da fitofisionomia Floresta Estacional Semidecidual.

A amostra 4.2 (Figura 40) apresenta uma maior amplitude nos valores de NDVI ao longo dos 12 anos analisados, oscilando entre 0,54 a 0,89. Na amostra 4.3 (Figura 41) os valores de NDVI variam entre 0,63 a 0,89.

É na amostra 4.1 (Figura 39) que se verifica a menor amplitude entre os valores, oscilando entre 0,73 a 0,92 de NDVI. Também é na amostra 4.1, que ocorre os maiores valores de NDVI, com uma média de 0,86 na série temporal analisada.

Tomando como base o estudo de Dalla Nora e Martini (2010), destaca-se que na Floresta Ombrófila Mista, em decorrência de sua característica perenifólia, a dinâmica sazonal é mais sutil do que a constatada na Floresta Estacional Semidecidual. Na “Análise da dinâmica sazonal de fitofisionomias do bioma Mata Atlântica com base em índices de vegetação do sensor MODIS/TERRA” esses autores demonstraram, por meio de um perfil espectral obtido a partir de imagens TM/Landsat-5, a diferença do comportamento espectral entre o inverno e o verão na Floresta Estacional e da Floresta Ombrófila Mista. A segunda fitofisionomia apresentou uma menor variação do NDVI entre as duas estações.

Entretanto, ao se analisar os espectros temporais de NDVI (Figuras 39, 40 e 41), constata-se que existe sim um comportamento sazonal marcante nas amostras

da Floresta Ombrófila Mista, onde nos meses de inverno ocorre uma queda nos valores de NDVI. Isso se deve provavelmente pelas diferenças dos sensores TM e MODIS.

A figura 42 evidencia a sazonalidade da Floresta Ombrófila Mista, onde a maioria dos anos da série temporal, o inverno apresenta os menores valores de NDVI.

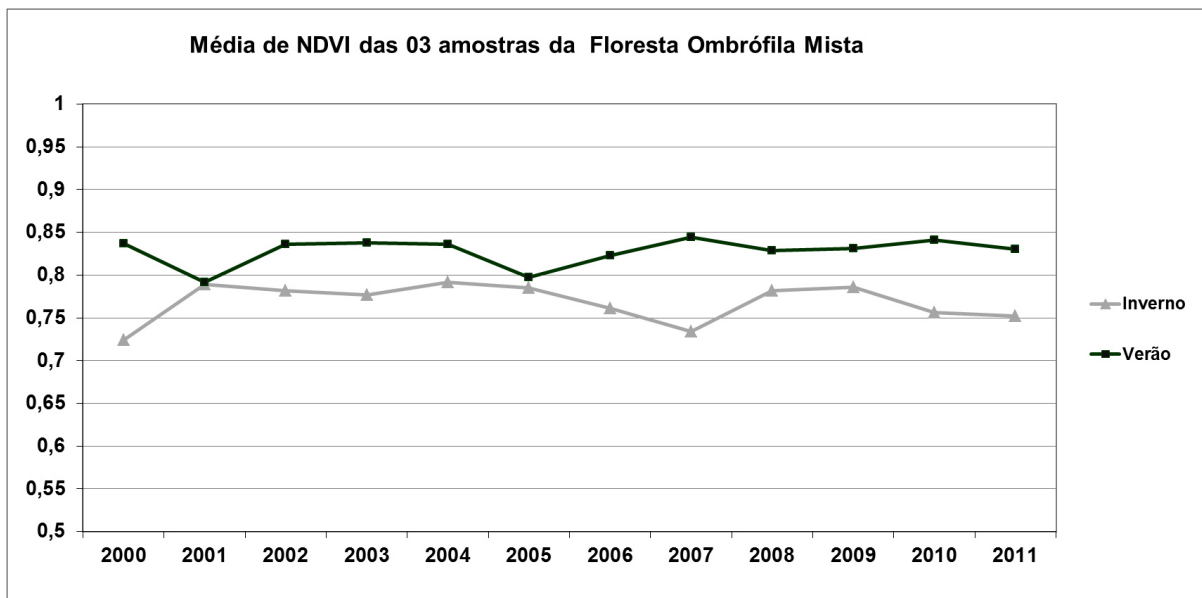


Figura 42: Médias anuais do NDVI referentes aos meses de inverno e verão da Floresta Ombrófila Mista.

Mesmo que a Floresta Ombrófila Mista não tenha a característica decídua marcante, as baixas temperaturas no inverno influenciam na dinâmica da vegetação e conseqüentemente no comportamento do NDVI. Oliveira et al. (2007), afirmam que a Floresta Ombrófila Mista apresenta altos valores de NDVI, sendo formada basicamente por indivíduos perenifólios (sempre verdes) de folhas coriáceas e as variações observadas no NDVI são provavelmente devido à queda de temperatura (junho a agosto).

Na bacia dos Sinos, as áreas onde a Floresta Ombrófila Mista está localizada apresentam elevadas altitudes (entre 700 a 1000m), com baixas temperaturas no inverno (Figura 37).

Uma das fitofisionomias que também compõem a Mata Atlântica é a Estepe. No Rio Grande do Sul é denominada Campos de Cima da Serra e engloba aproximadamente apenas 2% da área total da bacia. As Figuras 43, 44 e 45, apresentam as curvas do espectro temporal de NDVI das amostras 5.1, 5.2 e 5.3.

Destaca-se que os valores de NDVI apresentam-se mais baixos do que nas fitofisionomias florestais. Em nenhuma das três amostras de Estepe os valores de NDVI chegam a 0,8. Isso já era de se esperar, pois essa fitofisionomia caracteriza-se pela presença dos campos, com bem menos densidade de cobertura vegetal.

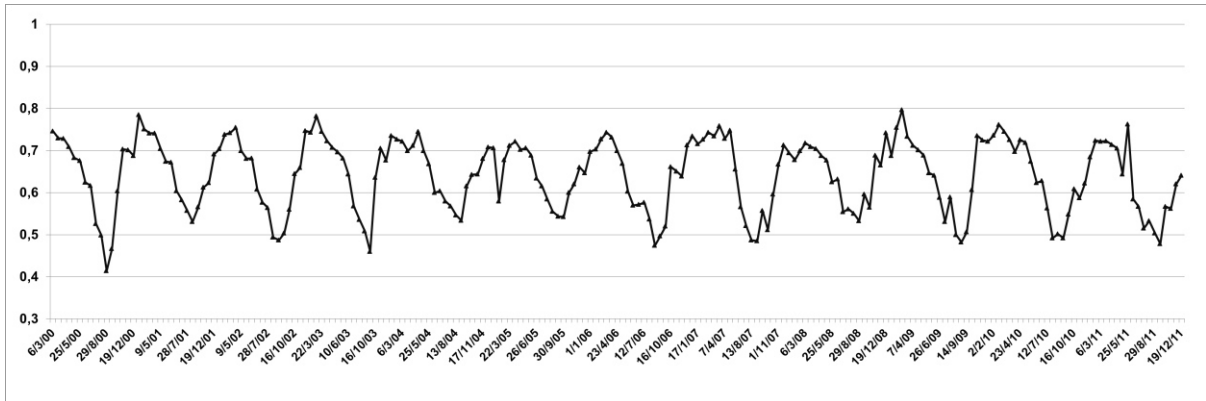


Figura 43: Espectro temporal de NDVI da fitofisionomia Estepe - amostra 5.1.

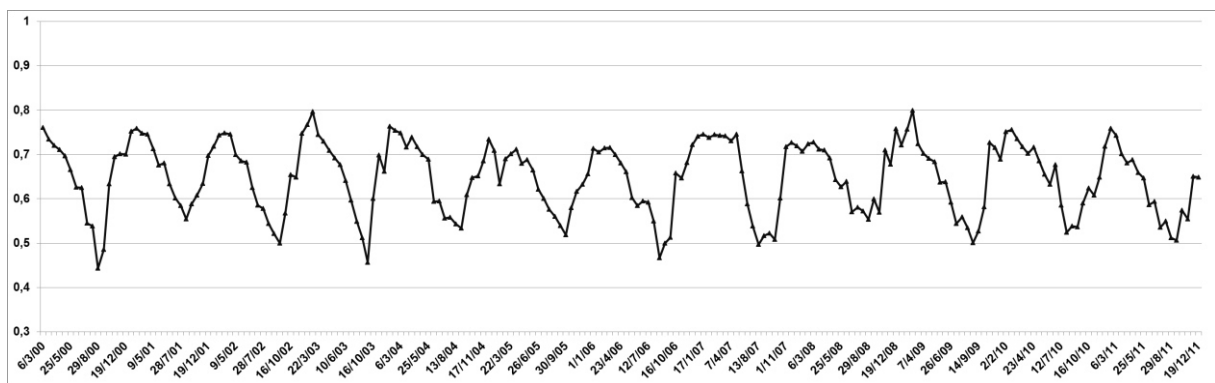


Figura 44: Espectro temporal de NDVI da fitofisionomia Estepe - amostra 5.2.

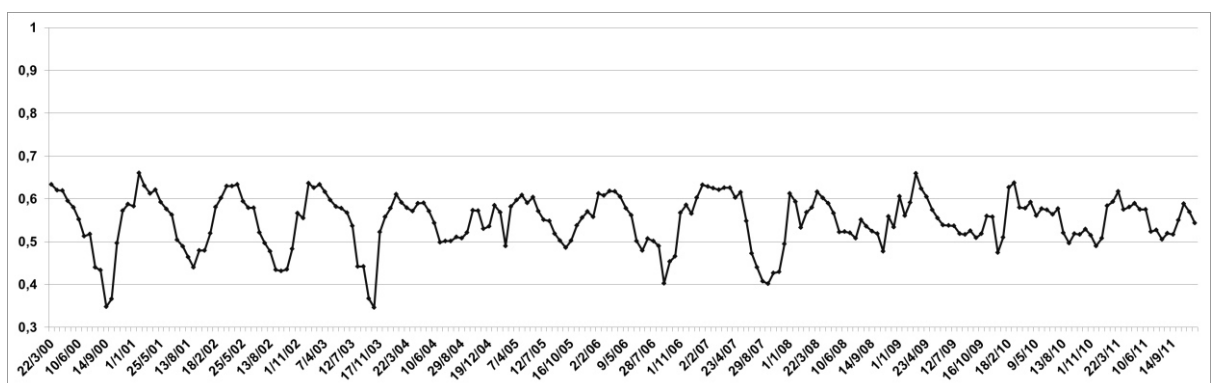


Figura 45: Espectro temporal de NDVI da fitofisionomia Estepe - amostra 5.3.

Um traço marcante da fitofisionomia Estepe é a sazonalidade. Nessas áreas, ocorre uma forte variação dos valores de NDVI do verão para o inverno. Os maiores valores de NDVI são encontrados no verão e no inverno ocorrem os menores

valores de NDVI. Na paisagem de inverno o que se observa são áreas de campos bastante secos e áreas de solo exposto.

As amostras 5.1 (Figura 43) e 5.2 (Figura 44) apresentam um comportamento muito semelhante do NDVI ao longo da série temporal, onde nos meses de verão os valores de NDVI se elevam chegando próximos de 0,8. E no inverno declinam para valores abaixo de 0,5 de NDVI. A amostra 5.3 (Figura 45) apresenta um comportamento um pouco diferenciado, onde a partir do ano 2008, a sazonalidade deixa de ser tão marcante, diminuindo a amplitude dos valores de NDVI entre o inverno e o verão. Provavelmente essa área é de pastagens de inverno para o manejo do gado nos Campos de Cima da Serra.

6.2.1 Relação dos espectros temporais de NDVI com a Precipitação e Temperatura na bacia do Sinos

A análise da dinâmica da precipitação mensal na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, na série temporal de 2000 a 2011, mostra que não há a ocorrência de uma estação seca e uma estação chuvosa bem definida (Figura 46).

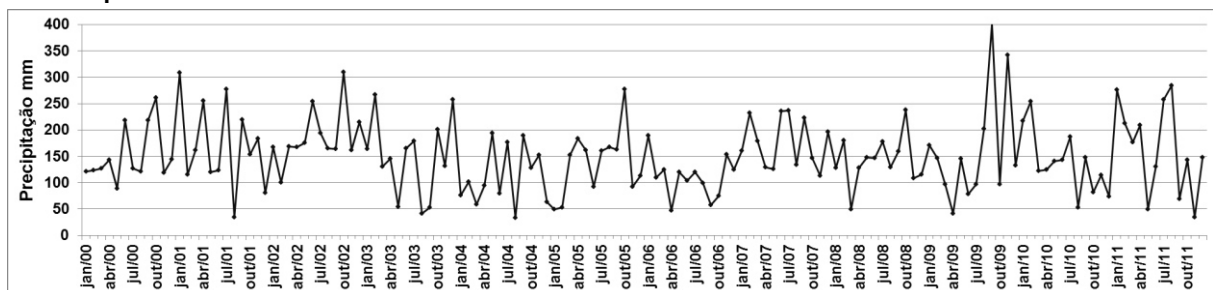


Figura 46. Variação da precipitação mensal, no período 2000 a 2011, na bacia do rio dos Sinos - RS. Fonte: Dados do satélite TRMM, disponíveis em LAF/INPE Séries Temporais.

Pode-se tomar como exemplo o mês de setembro, que no ano 2009 apresentou o maior índice pluviométrico da série, chegando a 400 mm, já em 2004, 2006 e 2011 apresentou índices abaixo dos 100 mm.

A distribuição das chuvas não mostra um padrão sazonal bem definido na bacia. Essa característica abrange boa parte do estado do Rio Grande do Sul. Segundo Rossato (2013) em uma análise da variação sequencial da precipitação, entre 1970 a 2007, observa-se a inexistência de regularidade da ocorrência de anos normais, com alguma tendência ou excepcionais, seja anualmente ou sazonalmente.

Desse modo, não se pode estabelecer que o comportamento sazonal do NDVI constatado nas amostras das fitofisionomias remanescentes da Mata Atlântica, está diretamente relacionado com a variação pluviométrica da bacia.

O aumento dos valores de NDVI no verão e a diminuição no inverno, constatado nos espectros temporais, acredita-se que esteja provavelmente mais relacionado à dinâmica da vegetação relacionada com a temperatura.

A Figura 47 apresenta o gráfico das temperaturas médias de duas estações próximas à bacia dos Sinos (Caxias do Sul e Porto Alegre), onde se observa a relação da variação da temperatura - onde o inverno e o verão estão bem definidos ao longo dos anos – com a variação do NDVI apresentados nos espectros temporais no item anterior.

A influência da temperatura no comportamento dos remanescentes das fitofisionomias fica melhor evidenciada analisando a Figura 48 que apresenta as médias mensais de NDVI da Floresta Semidecidual Submontana (amostra 2.3) ao longo dos anos da série temporal.

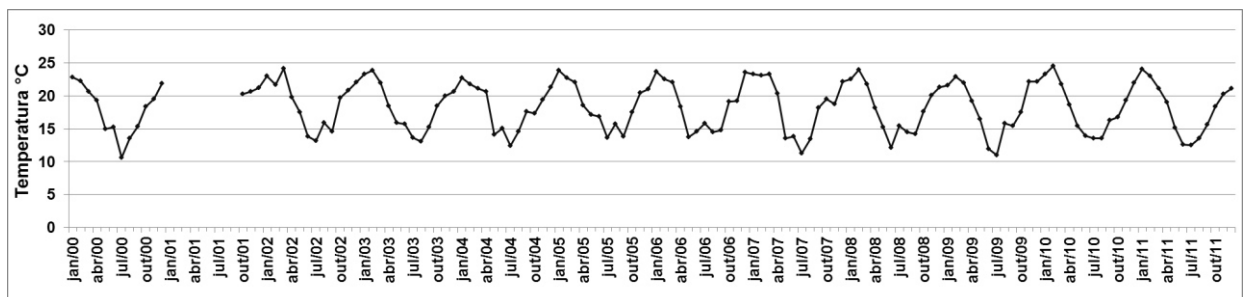


Figura 47: Variação da temperatura mensal, no período 2000 a 2011, na bacia do rio dos Sinos - RS. Fonte: Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), do INMET.

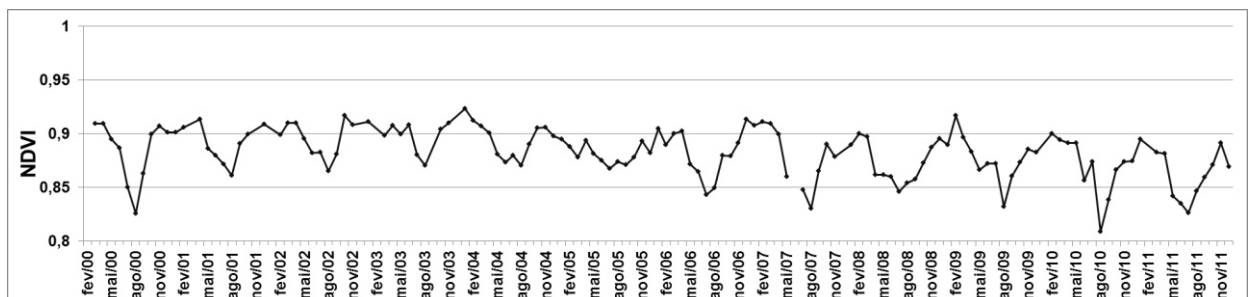


Figura 48: Variação mensal de NDVI/MODIS, no período 2000 a 2011, na bacia do rio dos Sinos – RS, amostra 2.3.

É possível observar uma estreita relação entre a dinâmica sazonal da vegetação e as variações de temperatura, pois os dois gráficos (Figura 47 e 48)

apresentam seus valores máximos nos meses correspondentes ao verão e os valores mínimos nos meses correspondentes ao inverno. Resultados similares foram encontrados por Dalla Nora e Martini (2010) e segundo esses autores, na bibliografia, diversos autores têm associado o comportamento decíduo da vegetação às variações acentuadas de temperatura presentes na região sul do Brasil (FIGUEIREDO FILHO et al., 2005; LIEBSCH; ACRA 2004; SONEGO et al., 2007; LEE, 1989; SMALL; McCARTHY 2002), já que na área de estudo, períodos de estiagem, tipicamente não ocorrem, mantendo valores médios anuais elevados nas taxas de precipitação.

Entretanto, cabe salientar, que conforme o comportamento e a intensidade da precipitação, a mesma também pode vir a interferir na dinâmica da vegetação, um exemplo é o que ocorreu no verão de 2005. Nesse ano o verão apresentou baixos valores de NDVI, devido à baixa precipitação - ocorrida em dezembro de 2004 e janeiro e fevereiro de 2005 -, aliada as altas temperaturas, ocasionando um período seco e quente, inapropriado para o desenvolvimento da vegetação. Já no ano de 2009, ocorreu uma elevada precipitação mensal em setembro (Figura 46), isso aparentemente não refletiu no comportamento do NDVI como observado na Figura 47, pelo fato de provavelmente, ter ocorrido em um curto período de tempo, podendo ter sido concentrada apenas em alguns dias do mês, não tendo surtido efeitos na vegetação.

6.3 Análise da variação de NDVI com base em Análise de Séries Temporais, a partir de Componentes Principais

O método ACP foi adotado por realçar a dinâmica da série temporal das imagens e reduzir a dimensionalidade dos dados, permitindo a avaliação espacial desta variabilidade (JIAJU, 1988). De acordo com Moura, et al. (2013), a ACP tem como fundamento analisar a correlação entre a série de imagens e produzir um novo conjunto de imagens sem correlação entre si, concentrando a variância (informações relevantes) de forma decrescente ao longo das componentes.

Buscando analisar se há um padrão sazonal em relação às fitofissionomias remanescentes da Mata Atlântica na bacia dos Sinos, foram geradas por meio da ferramenta TSA, três imagens de Componentes Principais (CP's) para o inverno e para o verão, a partir das 115 imagens de NDVI/MODIS dos anos 2000 a 2011.

A tabela 03 apresenta as contribuições (autovetores) relativas às imagens correspondentes aos meses de inverno para cada uma das três Componentes Principais: CP1, CP2, CP3. Estão destacadas na tabela as datas de imagens de NDVI de maior contribuição para cada CP.

Tabela 03: Contribuição das três Principais Componentes, geradas por Análise de séries temporais (TSA), de 65 datas de imagens de NDVI de inverno.

Datas	CP1	CP2	CP3
26/6/00	0.997858	-0.022187	0.028870
12/7/00	0.997374	-0.018847	-0.008950
28/7/00	0.9972	-0.007849	-0.014000
29/8/00	0.99721	-0.018621	-0.016150
14/9/00	0.99651	0.010043	0.053223
26/6/01	0.998071	-0.032379	0.002095
12/7/01	0.99803	-0.010570	0.032752
13/8/01	0.998104	-0.033341	-0.008755
29/8/01	0.998085	-0.043610	-0.000977
14/9/01	0.998238	-0.031647	0.014985
26/6/02	0.99849	-0.016710	0.018964
12/7/02	0.998768	-0.031610	0.005076
13/8/02	0.998183	-0.019941	0.011295
29/8/02	0.998287	-0.020850	0.003628
14/9/02	0.99803	-0.016059	0.011024
30/9/02	0.998446	-0.023933	0.013943
12/7/03	0.994077	0.055539	0.051549
28/7/03	0.998646	-0.020277	0.000982
13/8/03	0.998346	-0.014537	-0.005863
29/8/03	0.997762	-0.007613	-0.012911
26/6/04	0.998627	-0.016697	0.007370
12/7/04	0.998915	-0.014418	0.003163
28/7/04	0.998199	-0.002163	-0.006221
13/8/04	0.998718	-0.009426	-0.007822
29/8/04	0.998491	-0.010339	-0.011696
30/9/04	0.998385	-0.030243	0.002956
26/6/05	0.998099	-0.041123	0.021636
12/7/05	0.998433	-0.039584	0.019097
28/7/05	0.998813	-0.028152	0.010622
13/8/05	0.998269	-0.026278	0.014213
29/8/05	0.992201	0.090118	0.048959
30/9/05	0.994248	0.048660	0.031932
26/6/06	0.998738	-0.023658	0.008919
12/7/06	0.998696	-0.024116	0.007764
28/7/06	0.998244	-0.022247	0.010172
29/8/06	0.997937	-0.013610	-0.012226
14/9/06	0.99838	-0.021384	-0.000806
30/9/06	0.997093	-0.028828	-0.006493
12/7/07	0.997263	0.027440	0.016510
28/7/07	0.997797	0.003796	-0.018352
13/8/07	0.996491	-0.019115	-0.027241
29/8/07	0.995921	0.023136	-0.030214
30/9/07	0.994452	0.073466	-0.004407
12/7/08	0.998513	-0.008756	-0.018649
28/7/08	0.998651	-0.001126	-0.000488
13/8/08	0.997194	0.017720	-0.003879
29/8/08	0.998887	-0.011657	-0.010206
14/9/08	0.996389	0.033711	0.013042

26/6/09	0.998556	-0.000173	-0.016373
12/7/09	0.997746	0.017278	-0.035475
28/7/09	0.996997	0.028501	-0.044482
13/8/09	0.996949	0.045264	-0.025547
29/8/09	0.99781	0.023758	-0.039448
14/9/09	0.996543	0.042550	-0.014274
26/6/10	0.998413	-0.020904	0.003941
12/7/10	0.998339	0.000894	0.004265
13/8/10	0.998156	0.007684	-0.028453
29/8/10	0.997106	0.026544	-0.003585
30/9/10	0.997805	-0.013255	-0.011731
26/6/11	0.998607	-0.001485	-0.003368
12/7/11	0.982874	0.163563	-0.016188
28/7/11	0.994662	0.070346	0.027980
29/8/11	0.997926	0.023204	-0.007647
14/9/11	0.9986	-0.003694	-0.014206
30/9/11	0.997783	-0.005811	-0.013571

A Primeira Componente Principal (PC1) contém as informações de brilho associadas aos padrões gerais de NDVI das imagens utilizadas. Possui a maior parte da variância total dos dados (99,48%), concentrando as informações comuns da série de imagens utilizadas.

Na CP1, a contribuição (autovetores) de todas as imagens é positiva, portanto, os maiores índices de vegetação aparecerão com alto brilho e decrescendo conforme o NDVI. A CP2 e a CP3 apresentam gradativamente menos contraste entre os alvos.

A Figura 49 mostra a contribuição de cada imagem de NDVI nas três primeiras Componentes Principais.

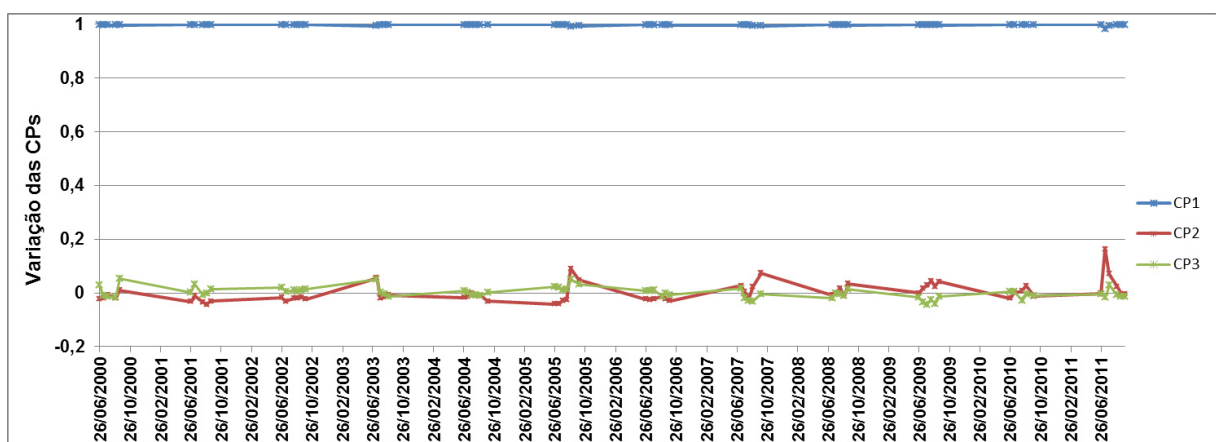


Figura 49: Contribuição das três Principais Componentes (autovetores), geradas por Análise de Séries Temporais (TSA), de 65 imagens de NDVI de inverno.

Observa-se com base na tabela 03 e na figura 49, que na CP1 a contribuição das imagens de NDVI é praticamente a mesma, levemente se destacando data de 12/07/2004. Na CP2 e CP3 essa contribuição varia um pouco mais. Apresenta um pico de contribuição correspondente à imagem do dia 12/07/2011 na CP2 e do dia 14/09/2000 na CP3. A Figura 50, 51 e 52 apresenta essas imagens de NDVI de maior contribuição na série temporal.

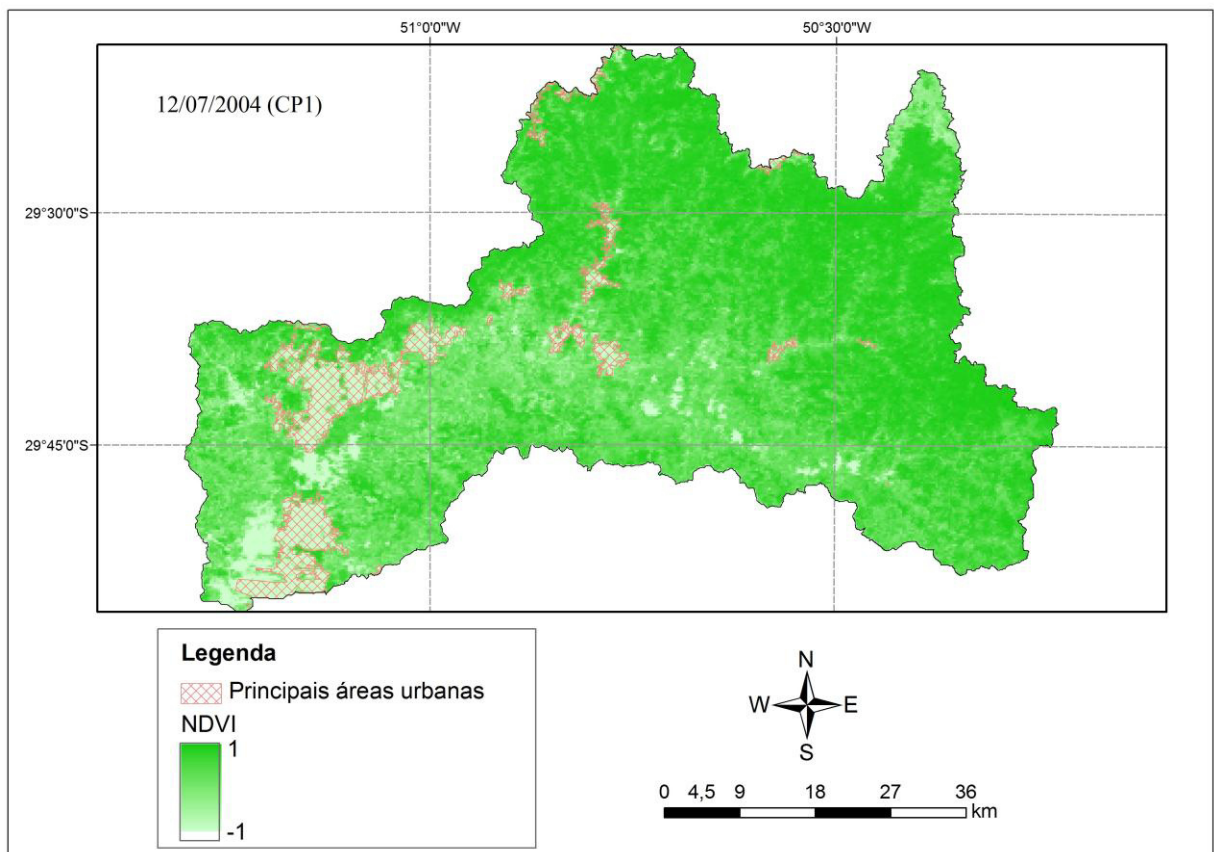


Figura 50: Imagem de NDVI de inverno de maior contribuição na CP1.

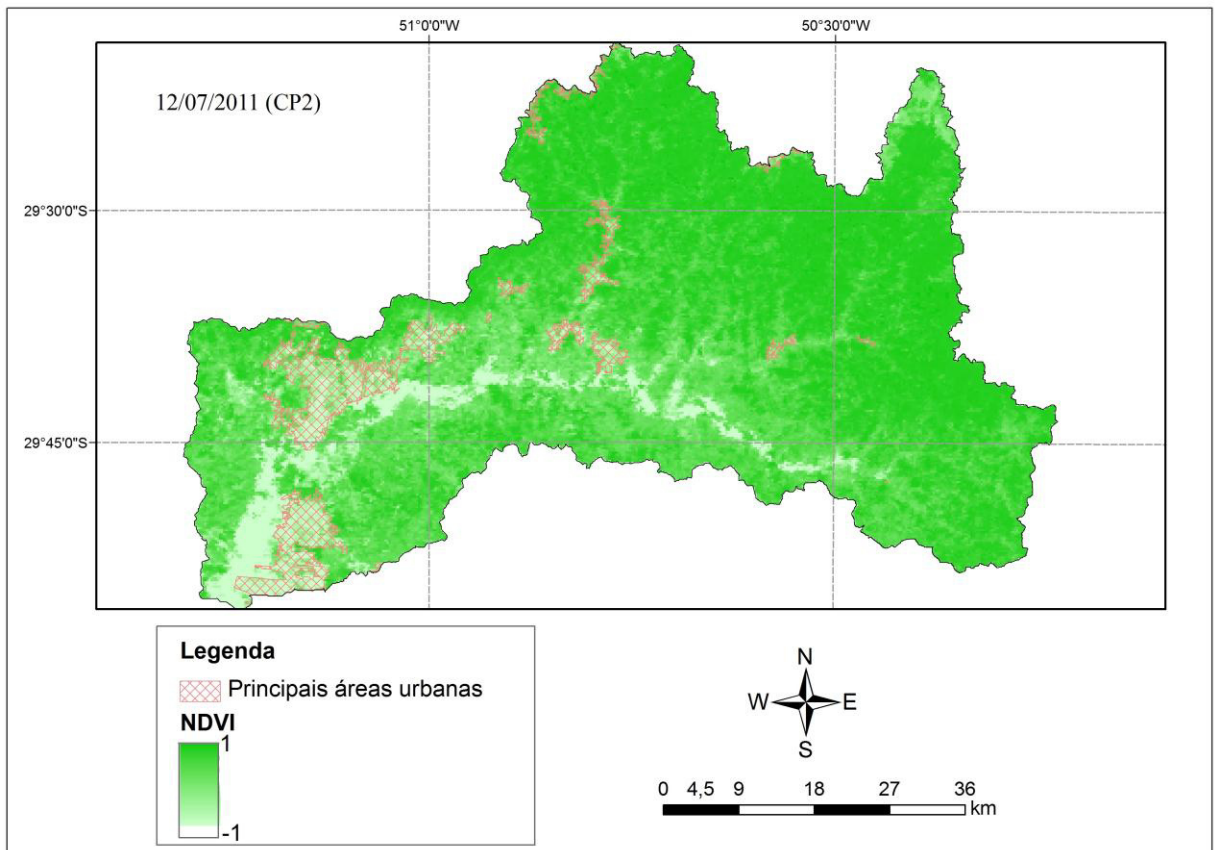


Figura 51: Imagem de NDVI de inverno de maior contribuição na CP2.

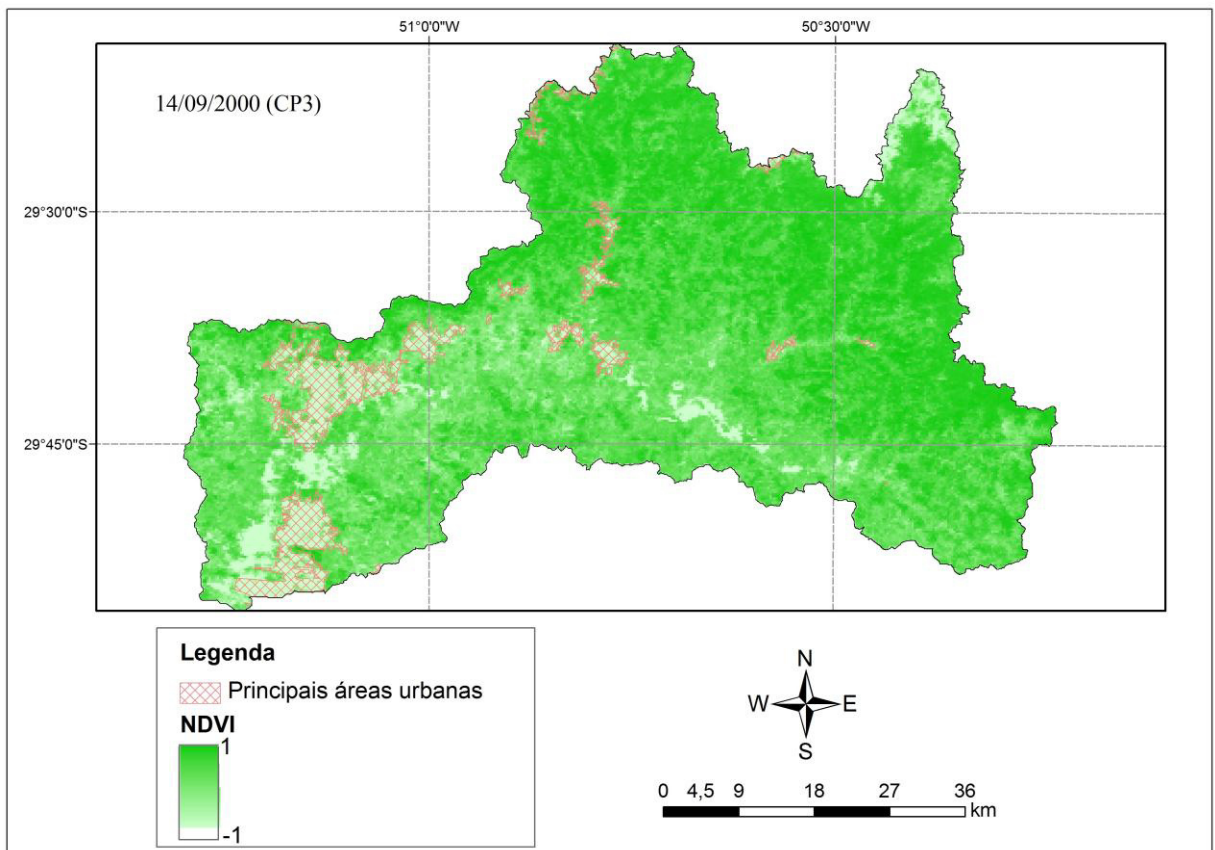


Figura 52: Imagem de NDVI de inverno de maior contribuição na CP3.

A Figura 53, 54 e 55 apresentam as imagens relativas as CP1, CP2 e CP3 das imagens de NDVI correspondente ao inverno do período de 2000 a 2011.

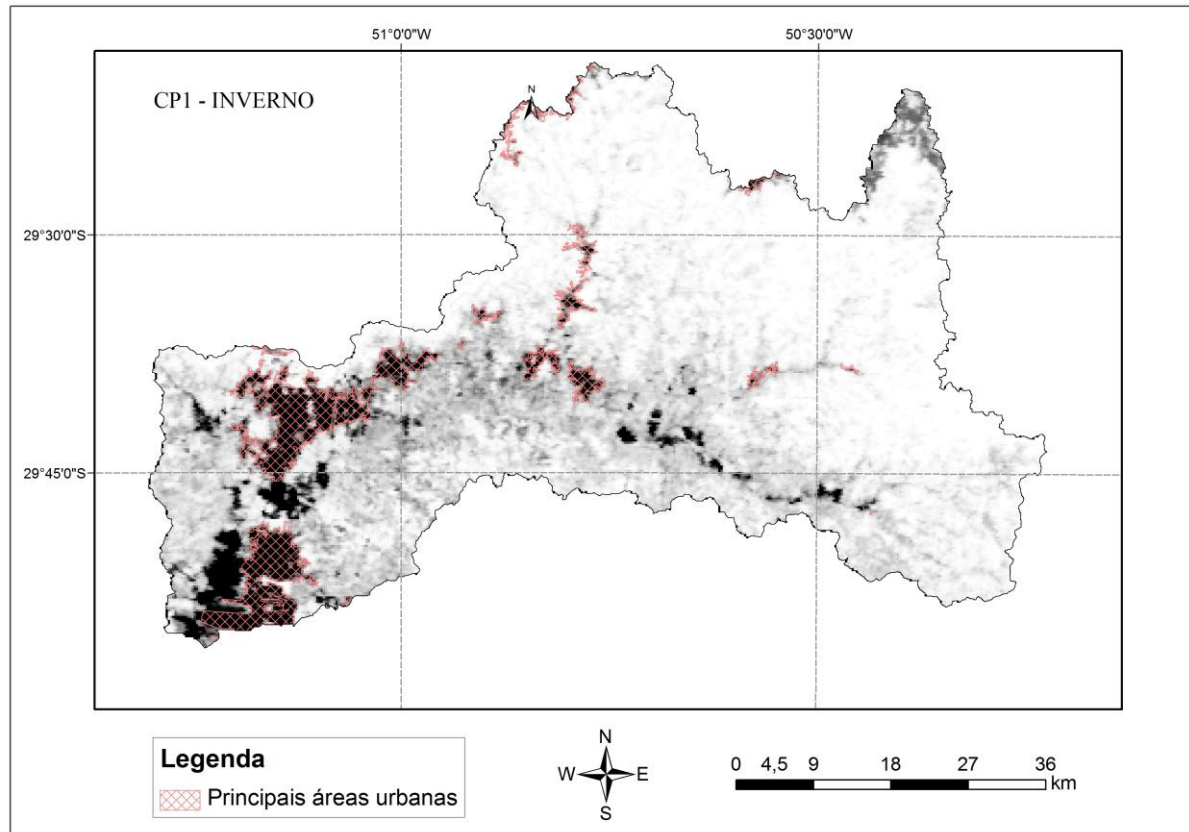


Figura 53: Imagem CP1, da bacia do rio dos Sinos, obtidas por Análise de Séries Temporais (TSA), sobre imagens de NDVI de inverno (2000 a 2011).

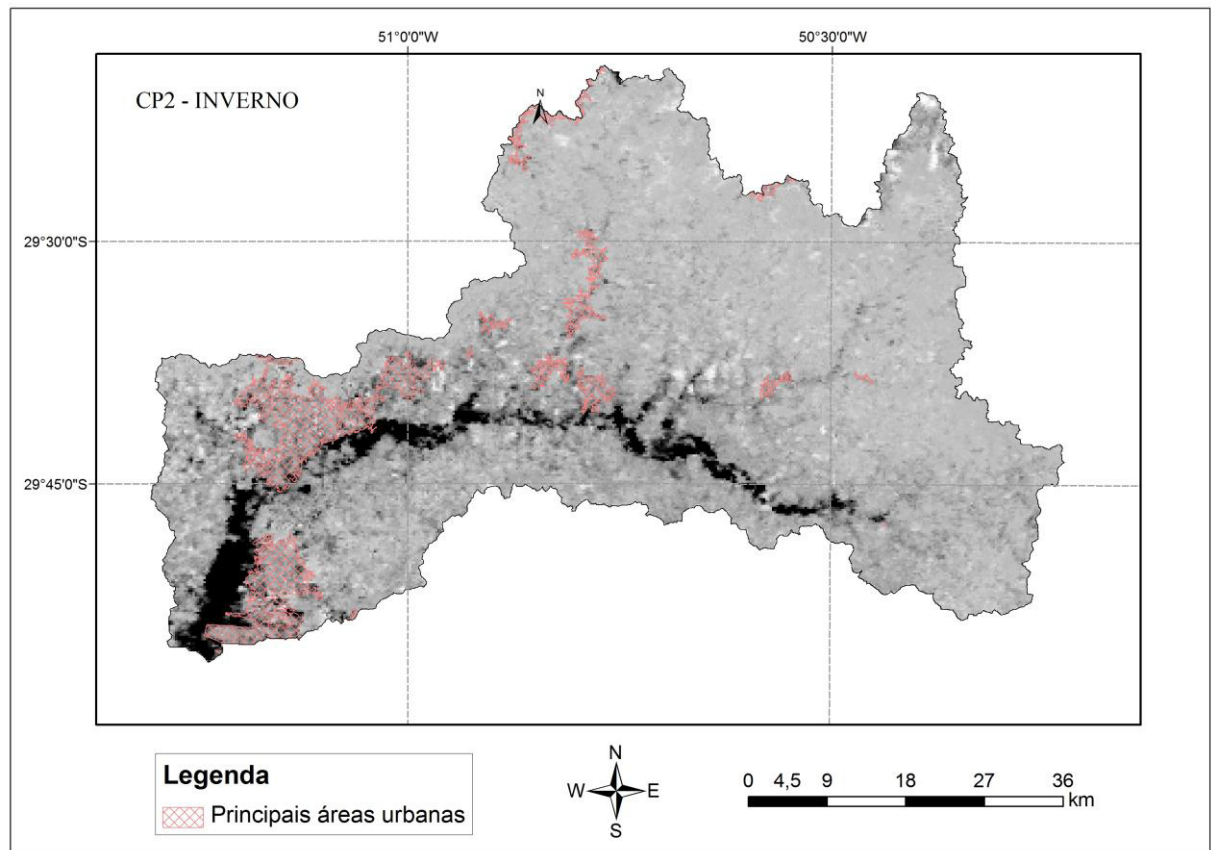


Figura 54: Imagem CP2, da bacia do rio dos Sinos, obtidas por Análise de Séries Temporais (TSA), sobre imagens de NDVI de inverno (2000 a 2011).

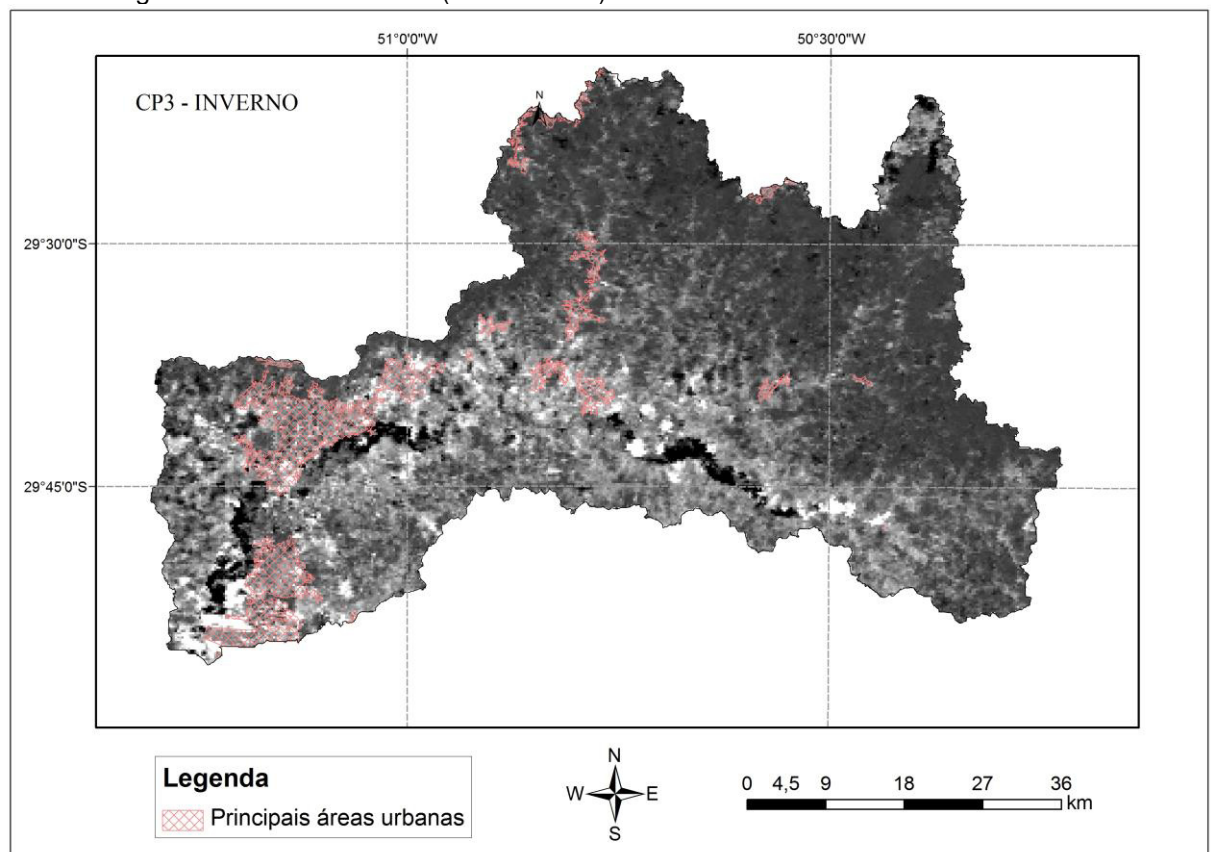


Figura 55: Imagem CP3, da bacia do rio dos Sinos, obtidas por Análise de Séries Temporais (TSA), sobre imagens de NDVI de inverno (2000 a 2011).

A CP1 representa os padrões mais comuns da série de imagens analisadas, ou seja, o comportamento típico das fitofisionomias. Ao analisar a Figura 53, percebe-se que a CP1 diferencia as áreas com maior presença de vegetação, localizadas principalmente nas encostas e representadas em tons mais claros na porção nordeste da bacia. As áreas em tons mais escuros correspondem: às áreas originalmente abrangidas pela Floresta Semidecidual de Terras Baixas (Figura 04), mas atualmente ocupadas para fins agrícolas, próximas aos centros urbanos; aos banhados localizados na parte oeste da bacia; e aos Campos de Cima da Serra em pequenas porções ao norte (Figura 14)

Gurgel (2000) constatou em seu estudo que a primeira componente principal estava associada ao padrão médio do NDVI, destacando os principais tipos de vegetação que ocorrem no território brasileiro. Entretanto cabe destacar que no presente trabalho, a CP1 não foi eficiente em diferenciar as classes das fitofisionomias de floresta presentes na bacia do Sinos, provavelmente pelo fato de que, apesar de serem fitofisionomias diferentes, não apresentam diferenças tão marcantes quanto as fitofisionomias analisadas no estudo de Gurgel (2000), que utilizou o todo o território brasileiro como área de estudo. Tanto que, apenas os campos aparecem diferenciados na CP1 da bacia dos Sinos, pois os mesmos apresentam características estruturais e resposta espectral bem diferentes das florestas.

As componentes principais CP2 e CP3 representam a maior variabilidade dos valores de NDVI, ou seja, as mudanças ocorridas nas fitofisionomias ou nas classes de cobertura de solo na área da bacia ao longo da série temporal.

Com base na CP2, Figura 54, na maior parte da bacia, não é possível diferenciar as fitofisionomias e nem as áreas agrícolas. Essa imagem se apresenta em tons de cinza muito homogêneo. Essa homogeneidade também evidencia que as variações são muito pequenas nas fitofisionomias da cobertura vegetal.

Chama atenção nessa componente (Figura 54) uma faixa contínua correspondente ao rio do Sinos, destacada em preto na imagem. Essa área com baixos valores de NDVI, diz respeito aos banhados e a área da planície periodicamente inundável do rio. O destaque dessas áreas na CP2 de inverno deve-se pelo fato, que nos meses de inverno, ocorre em média os maiores índices pluviométricos na bacia (Figura 03), o que corresponde a período de inundações nessa região.

Na CP3 (Figura 55) as áreas inundáveis do rio dos Sinos também são evidenciadas, em cor preta na imagem. Entretanto, essa faixa não se apresenta tão contínua como na CP2, indicando variações nas áreas inundáveis e no tempo de permanência da lâmina de água nos período de inundação. A CP3 destacou ainda as áreas agrícolas, em tons de cinza claros a branco na imagem, localizadas tanto na parte mais plana e de menores altitudes, quanto nos fundos do vale na porção mais elevada da bacia.

A Tabela 04 apresenta as contribuições (autovetores) relativas às imagens correspondentes aos meses de verão para cada uma das três Componentes Principais: CP1, CP2, CP3. Estão destacadas de sombreado cinza as datas de imagens de NDVI de maior contribuição para cada CP.

A PC1 possui a maior parte da variância total dos dados (99,77%), a contribuição (autovetores) de todas as imagens é positiva, portanto, os maiores índices de vegetação aparecerão com alto brilho e decrescendo conforme o NDVI. A CP2 e a CP3 apresentam gradativamente menos contraste entre os alvos.

Tabela 04: Contribuição das três Principais Componentes, geradas por Análise de séries temporais (TSA), de 50 datas de imagens de NDVI de verão.

Datas	CP1	CP2	CP3
6/3/00	0.999300	-0.006363	-0.016895
22/3/00	0.999265	-0.013787	-0.017848
19/12/00	0.999145	-0.004222	-0.006961
1/1/01	0.999299	-0.003337	-0.012895
18/02/01	0.999232	-0.019231	-0.015158
19/12/01	0.999134	0.005628	-0.008009
18/2/02	0.999293	-0.011849	-0.015741
6/3/02	0.999250	-0.014350	-0.012714
22/3/02	0.999271	-0.028247	-0.005069
1/1/03	0.999058	-0.004766	-0.009461
17/1/03	0.999325	-0.000821	-0.012847
6/3/03	0.999173	-0.025501	-0.009137
22/3/03	0.999407	-0.016244	-0.006380
2/2/04	0.998937	0.010195	-0.009578
18/2/04	0.999289	0.006231	-0.010555
6/3/04	0.998429	0.025422	0.004042
22/3/04	0.998934	0.014708	0.006792
19/12/04	0.998280	0.030195	-0.000130
17/1/05	0.997886	0.043958	-0.008006
2/2/05	0.995959	0.077485	-0.002933
18/2/05	0.997466	0.060298	-0.006304
22/3/05	0.998932	0.008614	0.007370
1/1/06	0.998695	0.031320	-0.000014
2/2/06	0.999080	-0.009270	-0.008661
6/3/06	0.999302	-0.003659	-0.007560
22/3/06	0.999115	-0.012587	0.009786
19/12/06	0.999191	-0.004658	-0.002553
1/1/07	0.999194	-0.005550	-0.002970
17/1/07	0.999252	-0.006513	-0.003139

2/2/07	0.999312	-0.007322	-0.007520
18/2/07	0.997279	-0.003773	0.037468
6/3/07	0.998615	-0.013305	0.016479
22/3/07	0.998971	-0.024395	0.010278
17/1/08	0.999107	-0.001070	-0.005561
2/2/08	0.999254	0.004330	0.000236
22/3/08	0.999031	-0.000438	0.016271
19/12/08	0.999056	0.004965	0.010419
1/1/09	0.998635	0.011968	0.017193
17/1/09	0.999003	-0.002819	0.003387
2/2/09	0.999216	-0.007062	0.000645
22/3/09	0.999233	-0.016842	0.012955
19/12/09	0.997022	-0.005570	0.052846
2/2/10	0.998905	-0.014212	-0.001034
18/2/10	0.999304	-0.018548	-0.001974
6/3/10	0.999038	-0.009971	0.007276
22/3/10	0.999030	-0.016955	0.006553
1/1/11	0.998671	0.009088	-0.005429
6/3/11	0.999284	-0.019102	0.000310
22/3/11	0.999080	-0.020335	0.002209
19/12/11	0.998108	0.028767	0.010729

A Figura 56 mostra a contribuição de cada imagem de NDVI nas três primeiras Componentes Principais.

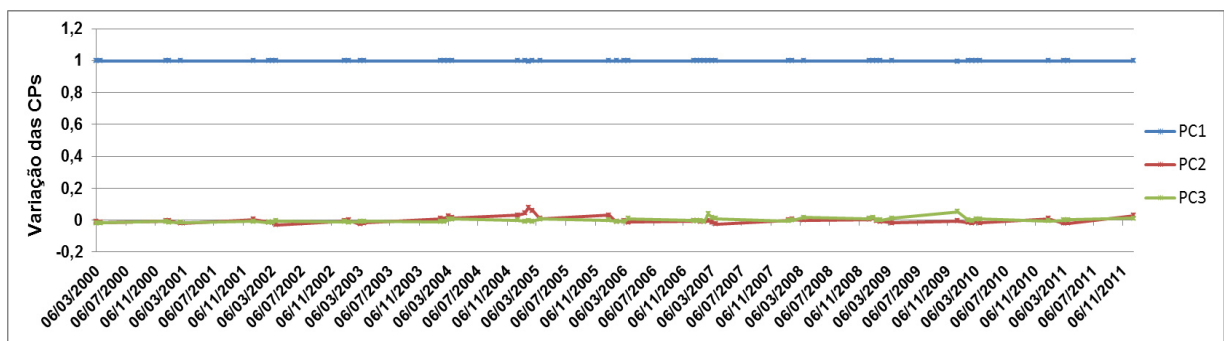


Figura 56: Contribuição das três Principais Componentes (autovetores), geradas por Análise de Séries Temporais (TSA), de 50 imagens de NDVI de verão.

A contribuição das imagens de NDVI em cada CP é praticamente a mesma, variando muito pouco ao longo da série temporal, tabela 04 e na Figura 56. As imagens das datas 22/03/2003, 02/02/2005 e 19/12/2009 foram as que apresentaram maior contribuição nas CP1, CP2 e CP3, respectivamente. A Figura 57, 58 e 59 apresenta essas imagens de NDVI de maior contribuição em cada uma das CPs.

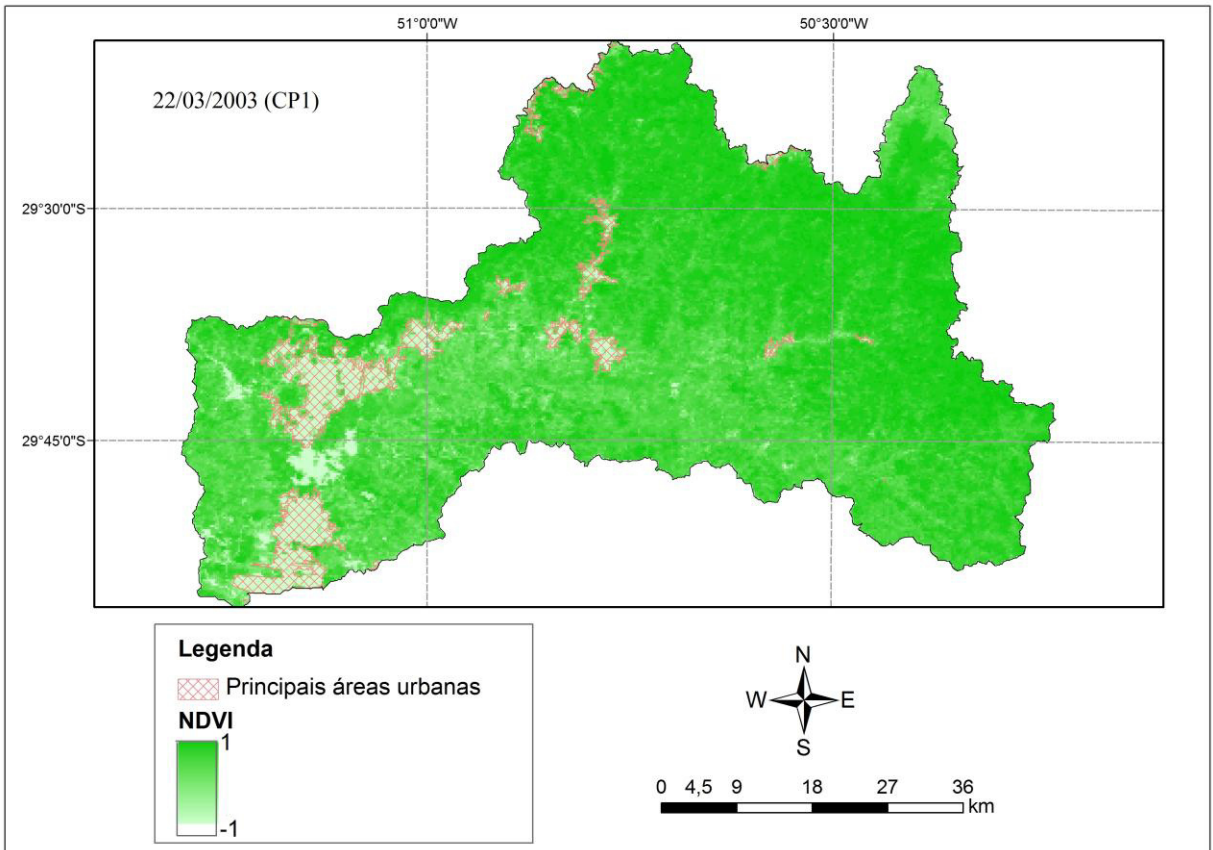


Figura 57: Imagem de NDVI de verão de maior contribuição na CP1.

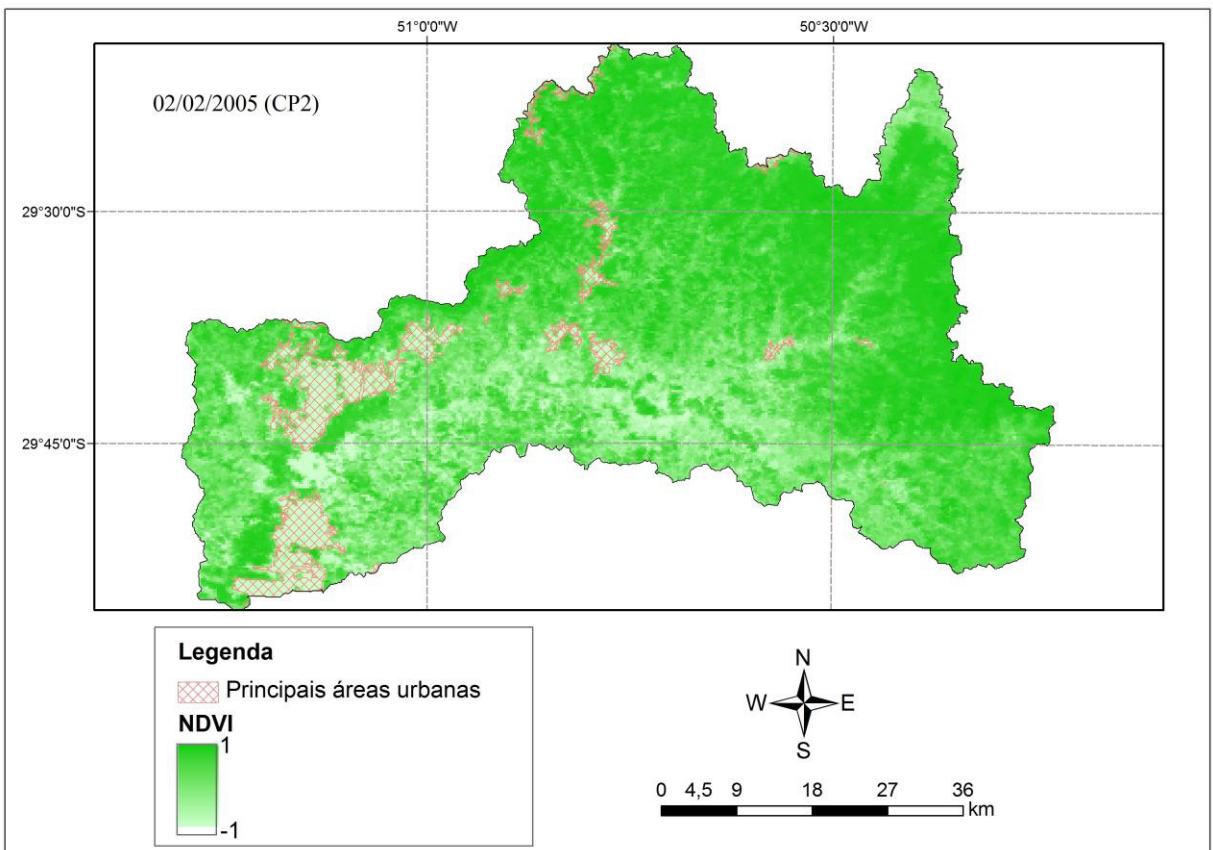


Figura 58: Imagem de NDVI de verão de maior contribuição na CP2.

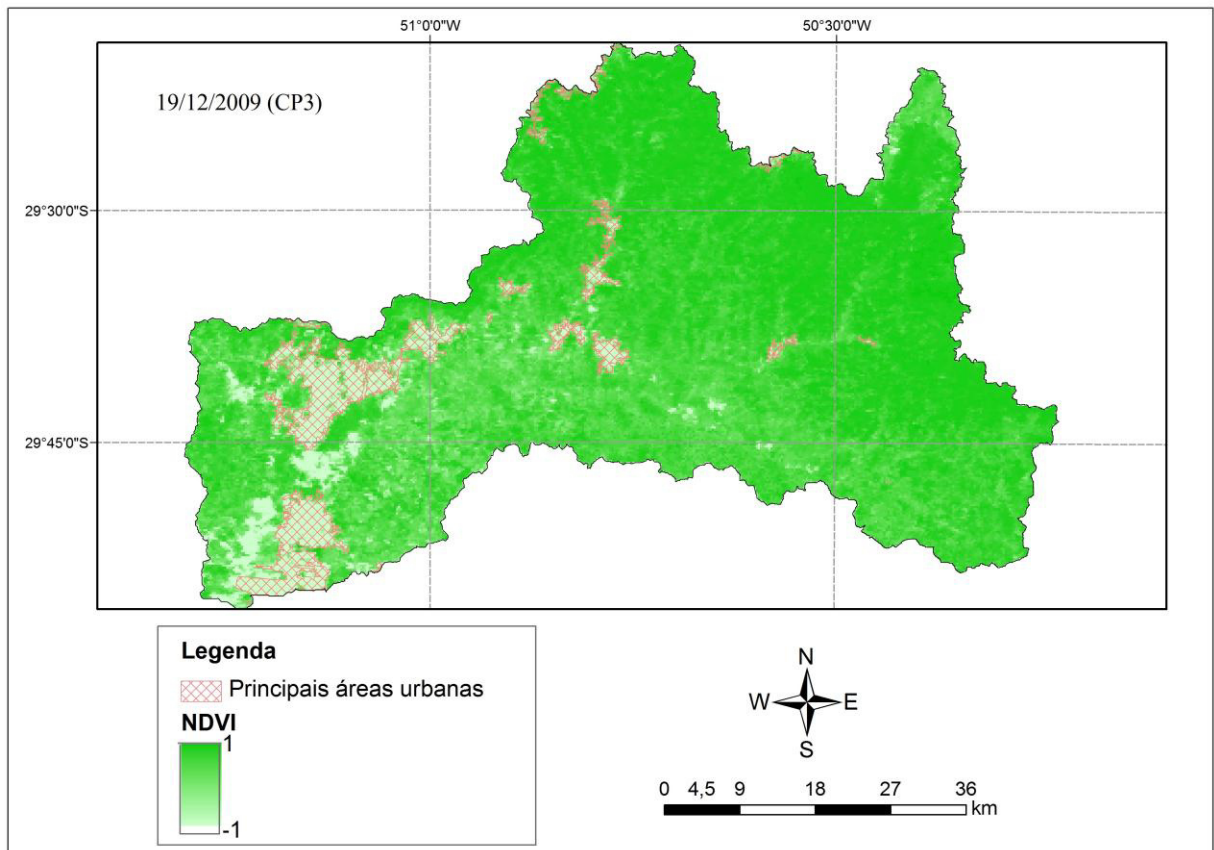


Figura 59: Imagem de NDVI de verão de maior contribuição na CP3.

Segundo Lee et al. (1990) a ACP é uma técnica que depende da cena analisada, não se pode conhecer a natureza exata das componentes principais sem a inspeção visual das imagens resultantes. As Figuras 60, 61 e 62 apresentam as imagens relativas às CP1, CP2 e CP3 das imagens de NDVI correspondente ao verão período de 2000 a 2011.

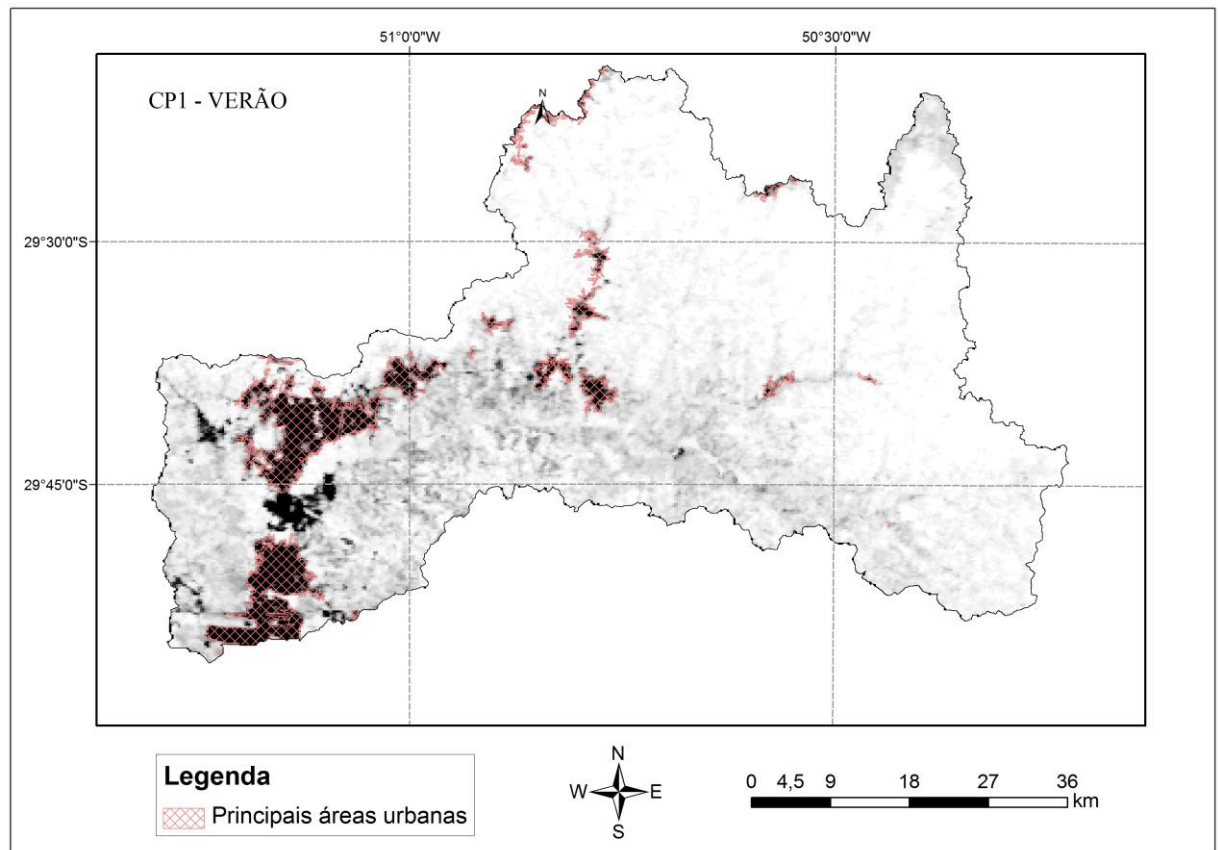


Figura 60: Imagem da CP1, da bacia do rio dos Sinos, obtidas por Análise de Séries Temporais (TSA), sobre imagens de NDVI de verão (2000 a 2011).

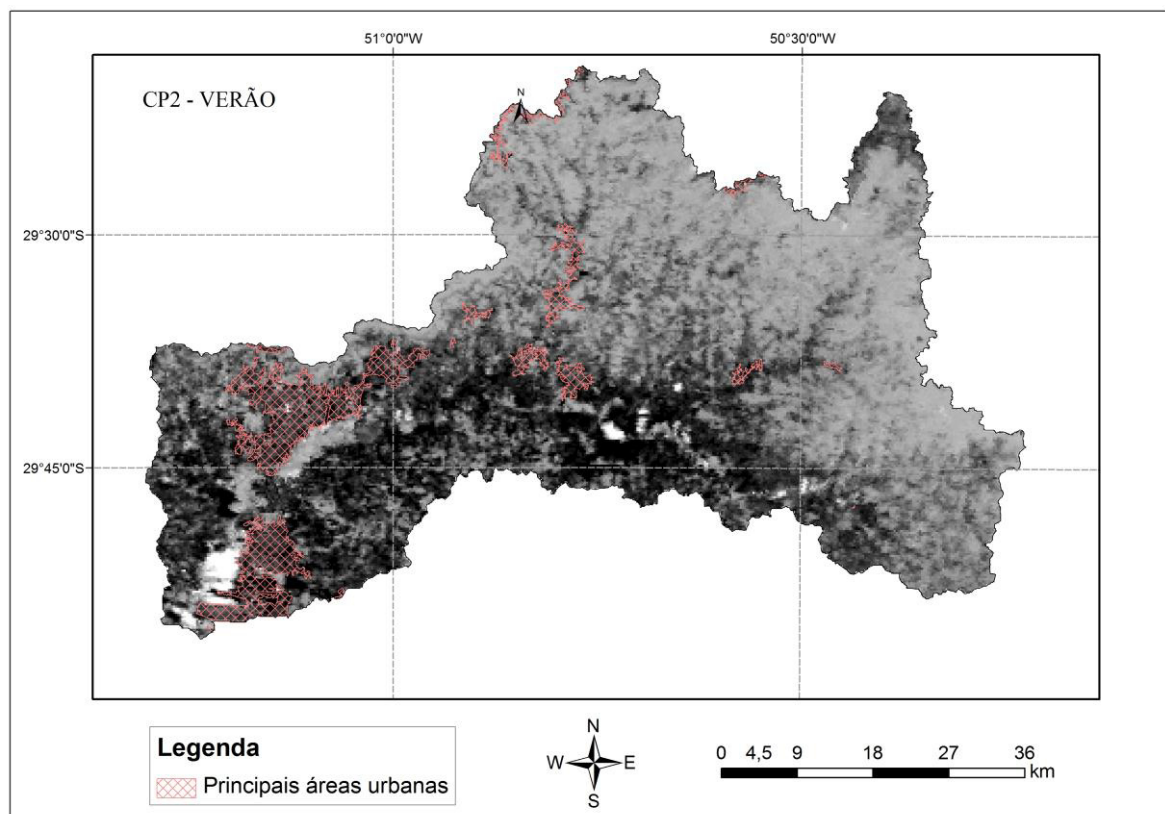


Figura 61: Imagem da CP2, da bacia do rio dos Sinos, obtidas por Análise de Séries Temporais (TSA), sobre imagens de NDVI de verão (2000 a 2011).

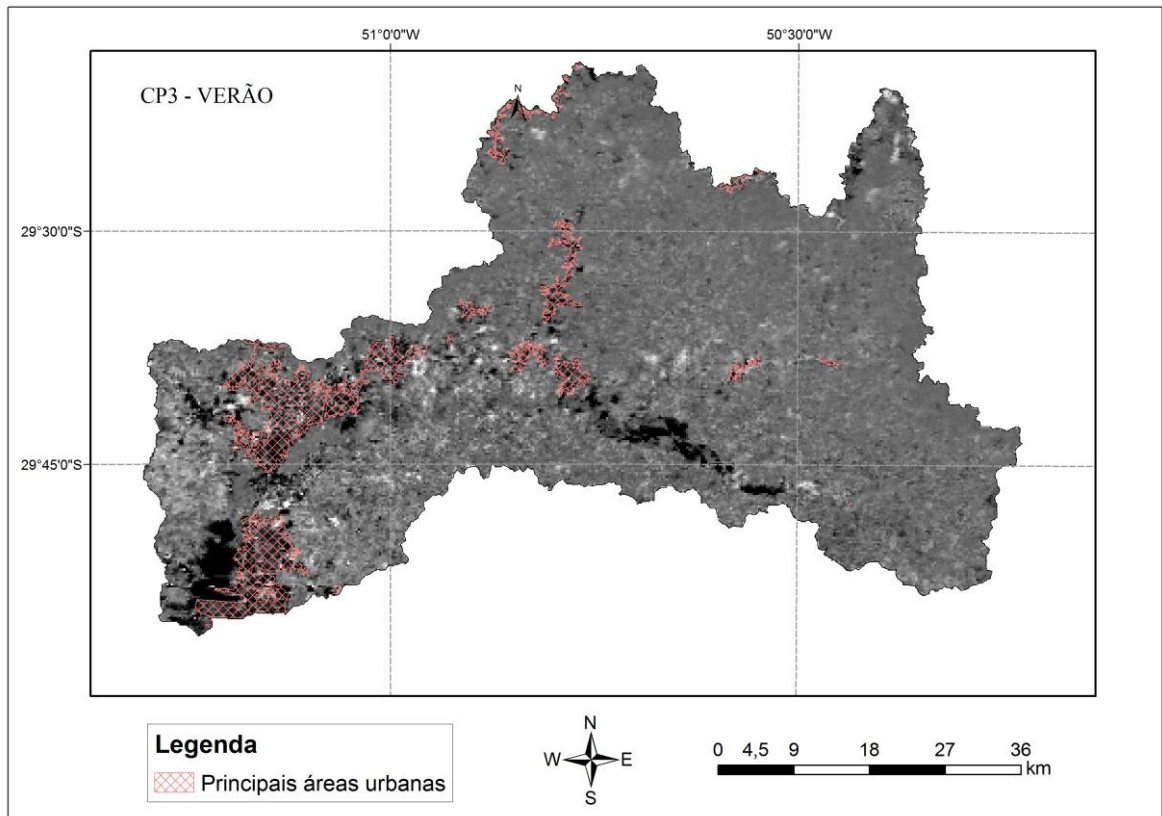


Figura 62: Imagem da CP3, da bacia do rio dos Sinos, obtidas por Análise de Séries Temporais (TSA), sobre imagens de NDVI de verão (2000 a 2011).

A Figura 60 demonstra que a CP1 do verão apresenta pouco contraste, não sendo tão eficaz em diferenciar as áreas com maior presença de vegetação quanto a CP1 de inverno. No verão a vegetação encontra-se no auge do vigor, tanto as florestas como as áreas agrícolas, isso faz com que a reflectância desses alvos aumente, tornando difícil diferenciá-los.

Ao analisar a CP2 de verão (Figura 61) percebe-se uma grande semelhança da mesma com o mapa do Uso e Ocupação do Solo (Figura 14), onde as áreas em preto correspondem às áreas urbanas e destinadas a agricultura e campos. Já as áreas em tons de cinza correspondem às florestas e aos florestamentos.

A CP3 apresenta características de uma imagem de componente principal que contém ruído.

7. CONCLUSÕES

A utilização da série temporal de imagens de NDVI do sensor MODIS com resolução espacial moderada e alta resolução temporal, se mostrou eficaz para analisar a dinâmica temporal dos remanescentes das fitofisionomias da Mata Atlântica, na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS. Com isso, fica evidente o potencial de séries temporais de NDVI/MODIS para o monitoramento sazonal contínuo da vegetação.

A análise do padrão de ocupação da Mata Atlântica da bacia do rio dos Sinos mostra que a maior parte das fitofisionomias remanescentes concentram-se nas áreas mais elevadas e íngremes da bacia, como nas encostas e topo de morros. E as principais atividades que alteram as áreas naturais de vegetação são as atividades agrícolas e mais recentemente a silvicultura.

Com base nos espectros temporais de NDVI, observa-se um padrão sazonal em todas as fitofisionomias da Mata Atlântica (Floresta Semidecidual de Terras Baixas, Submontana e Montana; Floresta Ombrófila Mista e Estepe), onde na maioria dos meses do verão foram verificados os maiores valores de NDVI e na maioria dos meses de Inverno os menores valores de NDVI.

Conclui-se que esse padrão comportamental do NDVI é influenciado principalmente pela variação das temperaturas entre as estações do ano. A característica semidecídua, decorrente das limitações térmicas impostas às fitofisionomias, altera a dinâmica espectral da vegetação e, dessa forma, a amplitude de variação do NDVI. A precipitação até pode vir a interferir, mas aliada com as temperaturas.

As classes da Floresta Estacional Semidecidual, conforme aumenta a altitude apresentam um aumento no NDVI, influenciado principalmente pelas características das áreas onde estão localizadas.

A ACP apresentou-se como uma técnica eficiente para analisar a variação espaço-temporal do NDVI na bacia dos Sinos. Entretanto, foi ineficiente para distinguir as fitofisionomias presentes na bacia.

Assim, conclui-se que, a utilização de séries temporais em estudos ambientais envolvendo o Sensoriamento Remoto é um importante recurso no monitoramento temporal dos recursos naturais e na detecção de possíveis alterações da sua dinâmica.

8. REFERÊNCIAS

BAPTISTA, G. M. M.; MUNHOZ, C. B. R. Comportamento do sequestro florestal de carbono, do conteúdo de CO₂ atmosférico e do conteúdo de umidade da vegetação no Pantanal de Nhecolândia, MS, por meio de sensoriamento remoto hiperespectral. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Anais XIV, INPE, p. 1071-1078, 2009.

BRUBACHER, J.P.; OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L.A. Identificação e análise de eventos extremos de precipitação na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS. In.: Anais do **Congresso Brasileiro sobre Desastres Naturais**. Rio Claro/SP, 2012.

CARVALHO JUNIOR, O. A., HERMUCHE, P. M., GUIMARAES, R. F. Identificação regional da Floresta Estacional Decidual na bacia do Rio Paraná a partir da análise multitemporal de imagens MODIS. **Revista Brasileira de Geofísica**, 24(3): 319–332. 2006.

CARVALHO JUNIOR, O. A.; SAMPAIO, C. S., SILVA, N. C., COUTO JUNIOR A. F., GOMES, R. A. T., CARVALHO, A. P. F., SHIMABUKURO, Y. E. Classificação de padrões de savana usando assinaturas temporais NDVI do sensor MODIS no Parque Nacional Chapada dos Veadeiros. **Revista Brasileira de Geofísica**, 26(4): 505–517. 2008.

CHAVES, P.S.; SIDES, S.C.; ANDERSON, J.A. Comparison of three difference methods to merge multi resolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.57, n.3, p.295-303, 1991.

CHAVEZ, P.S. ; MAC KINNON, D.J. Automatic detection of vegetation changes in South United States using remotely sensed images. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.60, n.5, p.571-583, Maio 1994.

COURA, S. M. C. **Mapeamento de vegetação do estado de minas gerais utilizando dados MODIS**. 150 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2007.

CROSTA, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: Instituto de Geociências, Unicamp, 1992. 170p.

DALLA NORA, E. L.; MARTINI, D. Z. Análise da dinâmica sazonal de fitofisionomias do bioma Mata Atlântica com base em índices de vegetação do sensor MODIS/TERRA. **Ambiência**, Guarapuava (PR), v. 6 n. 1, p.97 – 108, 2010.

FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M.E. **Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte**. Acta Sci. Biol. Sci, v. 30, n. 4, p. 379-390, 2008.

FIGUEIREDO FILHO, A.; SERPE, E. L.; BECKER, M.; SANTOS, D. F. Produção estacional de serapilheira em uma floresta ombrófila mista na floresta nacional de Irati (PR). **Ambiência**, Guarapuava, v. 1 n. 2 p. 257-269, 2005.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina do Texto, 2007.

FRANCHITO, S. H.; RAO, V. B.; VASQUES, A. C.; SANTO, C. M. E.; CONFORTE, J. C. Validation of TRMM precipitation radar monthly rainfall estimates over Brazil. **Journal of Geophysical Research**, v. 114, n. D02105, p. 1-9, 2009.

FREITAS, R. M.; ARAI, E.; ADAMI, M.; SOUZA, A. F.; SHIMABUKURO, Y. E.; RUDORFF, B. F. T.; YUZO, F.; ROSA, R. R. Visualização Instantânea de Séries Temporais EVI2-MODIS na América do Sul. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. XV Anais, INPE, p.6866-6866, 2011.

FRITZ, S.; MASSART, M.; SAVIN, I.; GALLEGOS, J.; REMBOLD, F. The use of MODIS data to derive acreage estimations for larger fields: A case study in the

south-western Rostov region of Russia. **International Journal of applied earth observation and geoinformation**. v. 10, issue 4, december 2008.

GINCIENE, B.R.; BITENCOURT, M.D. Utilização do EVI (Enhanced Vegetation Index) para maior sensibilidade na detecção de mudanças temporais em fragmentos de floresta estacional semidecidual. In: **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, XV Anais, 2011.

GLERIANI, J. M.; EPIPHANIO, J. C. N.; SILVA, J. D. S. Classificação espectral temporal de culturas agrícolas tropicais: tolerância de dois modelos de redes neurais a dados falhos. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Anais XII INPE, p. 151-158, 2005.

GOMES, A. R.; MALDONADO, F. D. Análise de componentes principais em imagens multitemporais TM/Landsat como subsídio aos estudos de vulnerabilidade à perda de solo em ambiente semi-árido. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 48-60, 1998.

GUASSELLI, L. A. **Dinâmica da vegetação no banhado do Taim,RS**. 154 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

_____ ; OLIVEIRA, G.; SALDANHA, D. L.; CUNHA, M. C. L.; DUCATI, J. R. Identificação de remanescentes do bioma Mata Atlântica e análise temporal a partir de imagens SPOT, município de Gramado - Rio Grande do Sul. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, XIV Anais, p. 2745-2751, 2009.

GURGEL; LUIZ, A. J. B. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando-se a análise de agrupamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n.1, p. 85-90, 2003.

GURGEL, H. C. **Variabilidade espacial e temporal do NDVI sobre o Brasil e suas conexões com o clima**. 118 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2008.

IBGE. **Levantamento de Recursos Naturais, volume 33**. Folha SH.22 Porto Alegre e partes da Folha SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim. Rio de Janeiro, IBGE. 1986, 796 p.

IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro, 2013, p.274.

INPE / Fundação SOS Mata Atlântica. **Relatório do Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica – Período 2011 a 2012**. Disponível em: <http://mapas.sosma.org.br/site_media/ATLAS%20MATA%20ATLANTICA%20%20ELATORIO2000-2005.pdf>. Acesso em 2.nov.2012.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução da 2 ed. por (pesquisadores do INPE): José Carlos N. Epiphanyo (coordenador); Antonio R. Formaggio; Athos R. Santos; Bernardo F. T. Rudorff; Cláudia M. Almeida; Lênio S. Galvão. São José dos Campos: Parêntese. 2009. 672 p.

KUMMEROW, C. W. S., OLSON, GIGLIO, L. A simplified scheme for obtaining precipitation and vertical hydrometeor profiles from passive microwave sensors. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.34, p. 1213-1232, 1996.

LAF/INPE. Visualização de Séries Temporais **MODIS para análise de mudanças de uso e cobertura da terra**. Disponível em: <<https://www.dsr.inpe.br/laf/series/>>. Acesso em mar. 2013.

LEE, D. W. Canopy dynamics and light climates in a tropical moist decidual forest in India. **Journal of Tropical Ecology**, v. 5, n. 1, p. 65-79, 1989.

LEE, D.C.L.; SHIMABUKURO, Y.E.; HERNANDEZ FILHO, P. Análise de componentes principais para o monitoramento de áreas reflorestadas. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento remoto**, Anais, p. 48-60, 1990.

LEITE, P. F. Contribuição ao conhecimento fitoecológico do sul do Brasil. **Ciência & Ambiente**, v. 24, n. 2, p. 51-73, 2002.

LIEBSCH, D.; ACRA, L. A. Riqueza de espécies de sub-bosque de um fragmento de floresta ombrófila mista em Tijucas do Sul, PR. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 1, p. 67-76, 2004.

LINN, R. de M. **Avaliação de modelos de mistura spectral MESMA e SMA aplicados aos dados hiperespectrais Hyperion/EO-1 adquiridos na planície costeira do estado do Rio Grande do Sul**. 2008. 140 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

LUERCE, T. D.; OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L. A.; BRUBCHER, J. P.; FIGUEIREDO, A. R. Mapeamento geomorfológico a partir de dados SRTM: bacia hidrográfica do rio dos Sinos, In.: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Anais XVI, INPE, p. 5210-5217, 2013.

MARCUZZO, S.; PAGEL, S. M.; CHIAPPETTI, M. I. S. **A reserva da biosfera da Mata Atlântica no Rio Grande do Sul: situação atual, ações e perspectivas**. Conselho nacional da reserva da biosfera da Mata Atlântica. Porto Alegre: Caderno nº 11. 1998. 60 p.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. Viçosa: Editora da UFV, 2011.

MOURA, Y. M.; SHIMABUKURO, Y. E.; SILVA, G. B. S.; FISCH, G.; DIAS, N. W.; GADIOLI, D. Análise comparativa entre índices de vegetação NDVI e EVI e sua relação com o balanço hídrico na Bacia do Una – SP. In.: **II Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas Serviços Ambientais e Sustentabilidade**, Anais, IPABHi, p. 33-40, 2009

MOURA, Y. M. de.; SILVA, R. D. da S.; GALVÃO, L. S.; SANTOS, J. R.; BREUNIG, F. M. Utilização de dados TRMM e EVI-MODIS para análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação e da vegetação na Amazônia brasileira. In.: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Anais XVI, INPE, p. 3478-3485, 2013.

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

OLIVEIRA, L. M. T.; FRANÇA, G. B.; NICÁCIO, R. M.; COSTA, T. C. C.; ANTUNES, M. A. H. Análise do comportamento das Regiões Fitoecológicas brasileiras através de série temporal de NDVI. In.: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Anais XIII, INPE, p. 1765-1773, 2007.

PONZONI, F.J. Comportamento espectral da vegetação. IN: MENESES, P.R.; NETTO, J.S.M. (org). **Sensoriamento Remoto – reflectância dos alvos naturais**. Brasília. Embrapa Cerrados, 2001.

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

ROCHA, H.P. **A Mata Atlântica e a Organização do Espaço Geográfico na Cidade de Teresópolis: Planejamento e Qualidade de Vida**. 158 p. Dissertação (Mestrado em Análise Ambiental e Gestão do Território) – IBGE/Escola Nacional de Ciências Estatísticas, 1999.

ROSSATO, M. S. **Os Climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. 253 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

ROSEMBACK, R. Análise da dinâmica da cobertura vegetal na região sul do Brasil a partir de dados MODIS-TERRA. 84 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – INPE. São José dos Campos, 2007

_____ ; FERREIRA, N. J.; SHIMABUKURO, Y.; CONFORTE, J. C. Análise da dinâmica da cobertura vegetal na região sul do Brasil a partir de dados MODIS/TERRA. **Revista Brasileira de Cartografia**. Edição Especial 2, n. 62, p. 401-416, 2010.

SANTANA, O. A.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; PIMENTEL, C. M. M.; GOMES, R. A. T.; OLIVEIRA, S. N. Modelagem de espectros temporais NDVI-MODIS, no período de 2000 a 2008, na bacia do rio Paracatu, Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**. v. 28, p. 47-60, 2010.

SATO, L. Y. et al. Uso da análise por componentes principais na avaliação da mudança da cobertura florestal da Floresta Nacional do Tapajós. In.: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Anais XV, INPE, p. 6696-6702, 2011.

SENA, I.P.S.; DUARTE, C. R.; AMARAL, R. F.; MORAIS FILHO, A. C.; TERRA, S. A. Uso de imagens CBERS2B-CCD para mapeamento de feições submersas na Folha Touros-RN (SB.25-V-C-II). **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, XIV Anais INPE, p. 2185-2191, 2009.

SMALL, C. J.; MCCARTHY, B. C. Spatial and temporal variability of herbaceous vegetation in an eastern deciduous forest. **Plant Ecology**, v. 164, n. 1, p. 37-48, 2002.

SONEGO, R. C.; BACKES, A.; SOUZA, A. F. Descrição da estrutura de uma Floresta Ombrófila Mista, RS, Brasil, utilizando estimadores não-paramétricos de riqueza e rarefação de amostras. **Acta botânica brasílica**, v. 21, n. 4, p. 943-955, 2007.

TOWNSEND, C. R. et al. **Fundamentos em Ecologia**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010, 576p

VELOSO, H. P.; RANGEL-FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991, 123p.

VIANA, D. R. E ALVALÁ R. C. S. Avaliação de desempenho de índices de vegetação na caracterização de classes de cobertura da terra na região do Pantanal nas estações seca e chuvosa. In.: **3º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, Anais, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 434 434 -446, 2013.

WAGNER, A. P.; WEBER L.; HASENACK H.; KLERING E.; FONTANA, D. C. . Variabilidade Temporal do NDVI/MODIS na Análise de Remanescentes da Ecorregião das Savanas Uruguaias. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. XV Anais. 2011.