

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

PADRÕES DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO ASSOCIADOS À VARIABILIDADE
CLIMÁTICA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Ana Paula Assumpção Cordeiro
Engenheira Agrônoma – UFRGS
Mestre em Fitotecnia – UFRGS

Tese apresentada como um dos requisitos
à obtenção do Grau de Doutor em Fitotecnia
Ênfase Agrometeorologia

Porto Alegre (RS), Brasil
Julho de 2014

CIP - Catalogação na Publicação

CORDEIRO, ANA PAULA ASSUMPÇÃO
PADRÕES DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO ASSOCIADOS À
VARIABILIDADE CLIMÁTICA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO
SUL / ANA PAULA ASSUMPÇÃO CORDEIRO. -- 2014.
154 f.

Orientador: MOACIR ANTÔNIO BERLATO.
Coorientadora: DENISE CYBIS FONTANA.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2014.

1. AGROMETEOROLOGIA. 2. SENSORIAMENTO REMOTO. 3.
NDVI. 4. GRUPOS VEGETAIS. 5. AGRUPAMENTO. I.
BERLATO, MOACIR ANTÔNIO, orient. II. CYBIS FONTANA,
DENISE, coorient. III. Título.

ANA PAULA ASSUMPÇÃO CORDEIRO
Engenheira Agrônoma - UFRGS
Mestre em Fitotecnia - UFRGS

TESE

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

DOUTOR EM FITOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 31.07.2014
Pela Banca Examinadora

Homologado em: 18.09.2014
Por

MOACIR ANTONIO BERLATO
Orientador - PPG Fitotecnia

GILMAR ARDUINO BETTIO MARODIN
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia

DENISE CYBIS FONTANA
Coorientadora - PPG Fitotecnia

HOMERO BERGAMASCHI
PPG Fitotecnia/UFRGS

LAURINDO ANTONIO GUASSELLI
PPG Sensoriamento Remoto/UFRGS

JULIO RENATO QUEVEDO MARQUES
UFPEl

PEDRO ALBERTO SELBACH
Diretor da Faculdade
de Agronomia

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero agradecer aos meus orientadores, Prof. Dr. Moacir A. Berlato e Prof^a Dra. Denise Cybis Fontana, que foram além da técnica e do conhecimento, compartilhando amizade, exemplo profissional e pessoal.

Agradeço à minha comissão de orientação, complementada pelo Prof. Dr. Ricardo Wanke de Melo e Dr. Yosio Edemir Shimabukuro. Assim como, às contribuições dos membros da banca de defesa, Prof. Dr. Homero Bergamaschi, Prof. Dr. Júlio Marques e Prof. Dr. Laurindo Guasseli. Também, à pesquisadora da NASA Molly Brown pela disponibilização das imagens da série GIMMS.

Merecem um reconhecimento, também, os professores: Prof. Henrique Hasenack, pelas contribuições em meu projeto de pesquisa e o Prof. Vítor Haertel (*in memoriam*), que muito se dedicou à metodologia, que eu usaria em meu trabalho, sendo sempre prestativo e atencioso, mesmo não pertencendo à comissão.

Quero agradecer também a Prof^a Dra. Ingrid Inchausti de Barros, que no início do Doutorado me estendeu a mão, quando eu quis experimentar os trabalhos a campo. Deste período, levo muitos amigos do Departamento de Horticultura e Silvicultura (DHS), os quais sabem todos quem são. Mas em especial, quero agradecer as minhas "irmãzinhas" Cristiane de Lima Wesp e Lucéia Fátima de Souza, que compartilharam de todas as alegrias e conflitos deste período. Desta época ainda cabe agradecer aos amigos, Magnólia Silva, Francisco Amaro, Paulo Vitor de Souza e Claudimar Fiori, por me atenderem quando mais precisei. Este último ainda agradeço pelas contribuições em meu relatório de qualificação.

Quero agradecer as incansáveis secretárias, Marisa Belo e "D. Cátia", que sempre estiveram nos auxiliando na resolução dos problemas. Boas lembranças, também, levarei do cafezinho da D. Maria.

Aos demais amigos que fiz na Agrometeorologia e no Sensoriamento Remoto, nos últimos 12 anos, desde a iniciação científica, quero dizer "Muito obrigada, vocês tornaram mais leves e alegres os meus dias." Em especial, agradeço por toda amizade e incentivo da minha amiguinha Daniele Gutterres Pinto, minha eterna colega de sala, Amanda Junges, todo apoio de Ana Paula Wagner e do quinteto fantástico: Viviane Aires de Paula, Leosane Bosco, Loana Cardoso e Eliana Klering. Também por estes motivos agradeço, novamente, ao Ricardo e Homero.

Aos meus pais, irmã, sobrinhos e demais familiares e amigos, tanto de Rio Grande, Caxias do Sul e de Porto Alegre, dedico toda minha gratidão e carinho, por todo apoio, amor, incentivos e confiança depositados durante toda minha trajetória.

Ao meu amor, Osmar Tomazi, que me deu o maior presente de todos, a encomenda dos anjos ao final do Doutorado... Um sonho protelado por anos em nome do estudo, que hoje ganha forma... A eles dedico este Diploma!

A Deus... mente infinita...

PADRÕES DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO ASSOCIADOS À VARIABILIDADE CLIMÁTICA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL¹

Autor: Ana Paula Assumpção Cordeiro
Orientador: Moacir Antonio Berlatto
Coorientadora: Denise Cybis Fontana

RESUMO

O objetivo da pesquisa foi caracterizar, espacial e temporalmente, os padrões, a variabilidade e a tendência do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) dos grandes grupos vegetais do Rio Grande do Sul e sua relação com a variabilidade climática. Foram utilizadas imagens de NDVI da série GIMMS (*Global Inventory Modeling and Mapping Studies*) do AVHRR-NOAA (*Advanced Very High Resolution Radiometer - National Oceanic and Atmospheric Administration*); dados de precipitação pluvial, insolação, temperaturas do ar (mínima, média e máxima) de 14 estações meteorológicas; e dados de TSM da região do Niño 3.4, de janeiro de 1982 a dezembro de 2008. Análises espaço-temporais do NDVI e de correlação com as variáveis meteorológicas e TSM foram realizadas. Os resultados mostraram que através dos perfis temporais de NDVI é possível monitorar as variações fenológicas da vegetação em decorrência da sua dinâmica temporal. Existe variabilidade anual e interanual do NDVI, a qual pode ser observada através das imagens da série GIMMS, assim como, as anomalias no padrão normal da vegetação podem ser detectadas. As tendências de clima mais quente e úmido, não resultam em tendências lineares de aumento do NDVI. No entanto, regionalmente, observa-se, através das tendências não-lineares, aumento ou redução deste índice. Existe associação entre a TSM da região do Niño 3.4 e as variáveis meteorológicas: precipitação pluvial no inverno, primavera, verão e anual; insolação no verão, outono e primavera; e, temperaturas do ar no inverno. A dinâmica sazonal da vegetação está associada às condições meteorológicas, sendo que a variável meteorológica limitante ao crescimento depende da estação do ano. A precipitação pluvial está relacionada ao NDVI, principalmente, no verão, enquanto que no inverno a correlação do NDVI é maior com as temperaturas. Análises espaço-temporais e de anomalias no padrão normal da vegetação mostram valores maiores de NDVI associados, em geral, a eventos El Niño, enquanto que, menores a eventos La Niña. A variabilidade de NDVI permite agrupar regiões homogêneas, de forma a identificar e mapear os principais grupos vegetais, os quais apresentam um padrão sazonal típico, porém, com variações de amplitude de NDVI entre eles.

¹ Tese de Doutorado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (154 p.) Julho, 2014.

PATTERNS OF THE VEGETATION INDEX ASSOCIATED TO CLIMATE VARIABILITY OF THE RIO GRANDE DO SUL STATE, BRAZIL¹

Author: Ana Paula Assumpção Cordeiro
Adviser: Moacir Antonio Berlato
Co-adviser: Denise Cybis Fontana

ABSTRACT

The objective of the research was to characterize the spatiotemporal pattern, variability and trend of NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) of vegetable groups of Rio Grande do Sul State and its relationship to climate variability. NDVI data from GIMMS series (*Global Inventory Modeling and Mapping Studies*) of NOAA-AVHRR (*National Oceanic and Atmospheric Administration - Advanced Very High Resolution Radiometer*), meteorological data (precipitation, sunshine duration and minimum, average and maximum air temperatures) from 14 stations and SST (Sea Surface Temperature) data from Niño 3.4 region over the period from January 1982 to December 2008 were used. NDVI spatiotemporal analyses and its correlation with the meteorological variables and SST were performed. The results showed that through NDVI temporal profiles it is possible to monitor the seasonal vegetation dynamics. There is annual and interannual variability of NDVI, which can be observed through GIMMS images. Also the anomalies in the normal vegetation pattern can be detected. Trend of warmer and wetter climate, does not result on NDVI linear trend of increasing. However, regionally, increase or decrease trends in this index are observed. There is association between the SST from Niño 3.4 region and precipitation in winter, autumn, spring and annual; sunshine duration in summer, autumn and spring seasons, and with air temperatures in winter. The seasonal dynamics of vegetation was related to weather conditions, with the limiting meteorological variable to growth dependent on the season. Precipitation is related to the NDVI mainly in summer, while in winter the relationship with temperatures is higher. Spatiotemporal analyses and anomalies in the normal pattern of vegetation show the highest NDVI values associated, in general, to El Niño events, whereas smaller than El Niño, in La Niña events. The NDVI variability allows grouping homogeneous regions in order to identify and mapping the main vegetable groups, which show a typical seasonal pattern, however, with NDVI variations between their.

¹ Doctoral thesis in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (154 p.) July, 2014.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 Vegetação do Rio Grande do Sul	6
2.2 Sensoriamento remoto da vegetação	16
2.2.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada	20
2.2.2 Sensor AVHRR da série de satélites NOAA	22
2.2.3 Série GIMMS	24
2.2.4 Outras séries derivadas do sensor AVHRR-NOAA	27
2.3 Análise de agrupamento para determinação de regiões homogêneas	28
2.4 Clima e vegetação	32
2.5 El Niño Oscilação Sul (ENOS)	34
3 MATERIAL E MÉTODOS	38
3.1 Área de estudo	38
3.1.1 Clima	40
3.1.2 Solo	42
3.2 Base de dados	43
3.2.1 Dados de NDVI das imagens da série GIMMS	43
3.2.2 Variáveis meteorológicas	46
3.2.3 Dados de TSM do Oceano Pacífico equatorial	47
3.2.4 Mapas de suporte para interpretação dos resultados	47
3.3 Análises	49
3.3.1 Análise de padrões, variabilidade e tendência temporais do NDVI no Rio Grande do Sul	49
3.3.2 Correlação da TSM, variáveis meteorológicas e NDVI no Rio Grande do Sul	51
3.3.3 NDVI no Rio Grande do Sul em eventos El Niño e La Niña	52
3.3.4 Definição das regiões homogêneas quanto à variabilidade temporal média do NDVI	54
3.3.5 Análise de padrões, variabilidade e tendência temporais do NDVI nos grupos	56
3.3.6 Correlação da TSM, variáveis meteorológicas e NDVI nos sub-grupos	57
3.3.7 Estudo de caso: Parque Florestal Estadual do Turvo	57
3.3.8 Sistemas computacionais	58
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1 Caracterização espaço-temporal do NDVI no Rio Grande do Sul	59

	Página
4.2 Variabilidade e tendência temporal do NDVI no Rio Grande do Sul	67
4.3 Espacialização da tendência monotônica de Mann-Kendall	73
4.4 Correlação da TSM, variáveis meteorológicas e NDVI no Rio Grande do Sul	76
4.5 NDVI no Rio Grande do Sul em eventos El Niño e La Niña	81
4.6 Definição das regiões homogêneas quanto à variabilidade temporal média do NDVI	94
4.7 Variabilidade e tendência temporal de NDVI nos grupos	108
4.8 Correlação da TSM, variáveis meteorológicas e NDVI nos sub-grupos	120
4.9 Estudo de caso: Parque Florestal Estadual do Turvo	128
5 CONCLUSÕES	131
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	133
7 APÊNDICES	143

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Período de dados de cada satélite da série NOAA.	25
2. Anomalia da TSM em episódios quentes (El Niño – em vermelho), frios (La Niña – em azul) do fenômeno ENOS e episódios neutros (em preto) por trimestres no período de 1982 a 2008.	52
3. Coeficientes de correlação de Pearson, anuais e estacionais, das anomalias da TSM da região do Nino 3.4 do Oceano Pacífico com as anomalias das variáveis meteorológicas e do NDVI no Rio Grande do Sul, período 1982-2008	77
4. Tabela de contingência das anomalias padronizadas do NDVI no Rio Grande do Sul no trimestre JFM, em tercis para El Niño, neutro e La Niña. Período de 1982-2008.	84
5. Coeficiente de variação (%) do NDVI dos grupos: Áreas úmidas; Agricultura 1 uso intensivo no verão; Campos; Campos mistos com florestas; Agricultura 2 uso intensivo no verão e inverno; Florestas, no Rio Grande do Sul, no período 1982-2008.	112
6. Coeficientes de correlação de Pearson, anuais e estacionais, da anomalia da TSM da região do Nino 3.4 do Oceano Pacífico com a anomalia da precipitação pluvial nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.	120
7. Coeficientes de correlação de Pearson, anuais e estacionais, da anomalia da TSM da região do Nino 3.4 do Oceano Pacífico com a anomalia da insolação nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.	121
8. Coeficientes de correlação de Pearson, anuais e estacionais, da anomalia da TSM da região do Nino 3.4 do Oceano Pacífico com a anomalia da temperatura mínima do ar nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.	123
9. Coeficientes de correlação de Pearson, anuais e estacionais, da anomalia da TSM da região do Nino 3.4 do Oceano Pacífico com a anomalia da temperatura média do ar nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.	123

	Página
10. Coeficientes de correlação de Pearson, anuais e estacionais, da anomalia da TSM da região do Nino 3.4 do Oceano Pacífico com a anomalia da temperatura máxima do ar nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.	123
11. Coeficientes de correlação de Pearson, anuais e estacionais, da anomalia da TSM da região do Nino 3.4 do Oceano Pacífico com a anomalia do NDVI nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.	124
12. Coeficientes de correlação de Pearson, anuais e estacionais, da anomalia da precipitação pluvial com a anomalia do NDVI nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.	125
13. Coeficientes de correlação de Pearson, anuais e estacionais, da anomalia da insolação com a anomalia do NDVI nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.	126
14. Coeficientes de correlação de Pearson, anuais e estacionais, da anomalia da temperatura mínima do ar com a anomalia do NDVI nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.	126
15. Coeficientes de correlação de Pearson, anuais e estacionais, da anomalia da temperatura média do ar com a anomalia do NDVI nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.	127
16. Coeficientes de correlação de Pearson, anuais e estacionais, da anomalia da temperatura máxima do ar com a anomalia do NDVI nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.	127

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Mapa dos Biomas do Brasil. Disponível em: < http://www.scp.rs.gov.br/uploads/Biomas_brasil1.pdf >. Acesso em: 17 jan. 2011.	7
2. Mapa dos Biomas do Rio Grande do Sul. Disponível em: < http://www.scp.rs.gov.br/uploads/Biomasrs.pdf >. Acesso em: 17 jan. 2011.	8
3. Mapa das regiões fitoecológicas do Rio Grande do Sul (Centro de Ecologia – UFRGS). Fonte: Cordeiro & Hasenack (2009).	14
4. Área plantada dos principais cultivos agrícolas no Rio Grande do Sul. Fonte dos dados: IBGE (2014).	16
5. Áreas de remanescentes campestres e florestais, áreas antrópicas, corpos d'água continentais e limites dos sistemas ecológicos na ecorregião das Savanas Uruguaias. Fonte: Hasenack <i>et al.</i> (2010).	19
6. Curva de reflectância típica da vegetação. Fonte: Hoffer (1976). ...	21
7. Parque Florestal Estadual do Turvo em Derrubadas, Rio Grande do Sul. Fonte: Podgaiski <i>et al.</i> (2007).	39
8. Mapas de temperatura média do ar no Rio Grande do Sul. Disponível em: < http://www.scp.rs.gov.br/atlas/default.asp >. Acesso em: 14 ago. 2014.	41
9. Grupos de solos do Rio Grande do Sul. (FEPAM/FAURGS/UFRGS, 2001). Disponível em: < www.fepam.rs.gov.br >. Acesso em: 12 set. 2013.	43
10. Exemplo de imagem global de NDVI (janeiro de 2008). Fonte: Adaptada da imagem original da série GIMMS.	44
11. Máscara de corpos d'água e centros urbanos (pixels brancos), e limite do Rio Grande do Sul.	45
12. Estações meteorológicas e regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul. Fonte: Adaptado de RIO GRANDE DO SUL (1994).	46

	Página
13. Região dos Niños no Oceano Pacífico equatorial. Fonte: Berlatto & Fontana (2003).	47
14. Mapa da vegetação original, vegetação atual e ação antrópica do Estado do Rio Grande do Sul. Fonte: Flavia La Salvia (1983). Disponível em: < http://www.ihgrgs.org.br/cd_mapas_rs/CD/imagens/mapas/cap_4/cap_4.2/395-151.htm >. Acesso em: 24 jan. 2012.	48
15. Macrozoneamento ambiental do Rio Grande do Sul. Fonte: Guasselli <i>et al.</i> (2006).	49
16. Imagens mensais de NDVI no Rio Grande do Sul, médias do período de 1982 a 2008.	60
17. Transcurso anual do NDVI médio do Rio Grande do Sul no período de 1982 a 2008. A linha horizontal no interior das caixas representa o percentil 50 (mediana); o final das caixas, os percentis 25 e 75; as barras, os percentis 10 e 90; os círculos, os valores extremos.	64
18. Imagem média NDVI (janeiro de 1982 a dezembro de 2008) no Rio Grande do Sul.	66
19. NDVI médio das imagens mensais no Rio Grande do Sul, no período de 1982 a 2008 (linha cinza). Média móvel de seis meses representada pela linha preta e tendência linear do NDVI, pela reta preta. As linhas vermelhas identificam o período de mau funcionamento do NOAA-11 até ser substituído pelo NOAA-14, no qual foram utilizadas imagens do satélite NOAA-9.	67
20. Distribuição do NDVI no Rio Grande do Sul, em três períodos (1982-1990; 1991-1999 e 2000-2008). A linha horizontal no interior das caixas representa o percentil 50 (mediana); o final das caixas, os percentis 25 e 75; as barras, os percentis 10 e 90; os círculos, os valores extremos.	69
21. NDVI médio no Rio Grande do Sul das imagens médias anuais, no período de 1982 a 2008 (linha cinza). Tendência linear do NDVI representada pela reta preta.	70
22. NDVI médio no Rio Grande do Sul, no período de 1982 a 2008. A linha horizontal no interior das caixas representa o percentil 50 (mediana); o final das caixas, os percentis 25 e 75; as barras, os percentis 10 e 90; os círculos, os valores extremos.	71
23. Imagem de NDVI no Rio Grande do Sul de junho de 1994.	72
24. Distribuição espacial do coeficiente Tau de Mann-Kendall para tendência monotônica ajustado para a série mensal de NDVI 1982 a 2008, Rio Grande do Sul, a 5% de probabilidade.	74

	Página
25. Anomalias padronizadas da TSM do Niño 3.4 e precipitação pluvial do Rio Grande do Sul, no verão. Período de 1982 a 2008. ...	80
26. Anomalias padronizadas de insolação, temperatura máxima e NDVI do Rio Grande do Sul, no verão. Período de 1982 a 2008. ...	80
27. Anomalias padronizadas de temperatura mínima e máxima, NDVI do Rio Grande do Sul e TSM do Niño 3.4, no inverno. Período de 1982 a 2008.	81
28. Perfil médio de NDVI no Rio Grande do Sul nos trimestres médios de El Niño, de La Niña e da média de todo período de 1982 a 2008.	82
29. Anomalias padronizadas de NDVI no Rio Grande do Sul nos trimestres, em El Niño, La Niña. Período de 1982 a 2008.	83
30. Precipitação pluvial e NDVI no Rio Grande do Sul, em eventos El Niño e La Niña de maio a janeiro (1987-1988 e 1988-1989).	85
31. Desvio da média do NDVI no Rio Grande do Sul, em eventos El Niño (1987-1988) e La Niña (1988-1989).	87
32. Média do trimestre NDJ, NDJ de La Niña, JFM e JFM de El Niño, no Rio Grande do Sul. Período de 1982 a 2008.	92
33. Desvios da média de NDVI no Rio Grande do Sul no trimestre de El Niño (JFM) e de La Niña (NDJ).	93
34. Regiões homogêneas quanto à variabilidade temporal de NDVI no Rio Grande do Sul.	94
35. Grupo 1 identificado como Áreas úmidas.	95
36. Grupo 2 identificado como área de Agricultura 1 uso intensivo no verão.	96
37. Grupo 3 identificado como área de Campos.	97
38. Grupo 4 identificado como área de Campos mistos com florestas. .	98
39. Grupo 5 identificado como área de Agricultura 2 uso intensivo no verão e inverno.	99
40. Grupo 6 identificado como área de Florestas.	101
41. Perfil anual médio de NDVI dos grupos: Áreas úmidas; Agricultura 1 uso intensivo no verão; Campos; Campos mistos com florestas; Agricultura 2 uso intensivo no verão e inverno; Florestas. Estado do Rio Grande do Sul.	102

	Página
42. NDVI mensal do Grupo Áreas úmidas. Estado do Rio Grande do Sul. Período de janeiro de 1982 a dezembro de 2008. Tendência linear do NDVI representada pela reta preta.	108
43. NDVI mensal do Grupo Agricultura 1 uso intensivo no verão. Estado do Rio Grande do Sul. Período de janeiro de 1982 a dezembro de 2008. Tendência linear do NDVI representada pela reta preta.	108
44. NDVI mensal do Grupo Campos. Estado do Rio Grande do Sul. Período de janeiro de 1982 a dezembro de 2008. Tendência linear do NDVI representada pela reta preta.	109
45. NDVI mensal do Grupo Campos mistos com florestas. Estado do Rio Grande do Sul. Período de janeiro de 1982 a dezembro de 2008. Tendência linear do NDVI representada pela reta preta.	109
46. NDVI mensal do Grupo Agricultura 2 uso intensivo no verão e inverno. Estado do Rio Grande do Sul. Período de janeiro de 1982 a dezembro de 2008. Tendência linear do NDVI representada pela reta preta.	110
47. NDVI mensal do Grupo Florestas. Estado do Rio Grande do Sul. Período de janeiro de 1982 a dezembro de 2008. Tendência linear do NDVI representada pela reta preta.	110
48. NDVI do Rio Grande do Sul nas quatro estações do ano no período de 1982 a 2008.	114
49. NDVI dos grupos: Áreas úmidas; Agricultura 1 uso intensivo no verão; Campos; Campos mistos com florestas; Agricultura 2 uso intensivo no verão e inverno; Florestas; nas quatro estações do ano no período de 1982 a 2008.	116
50. NDVI do Rio Grande do Sul e dos grupos: Áreas úmidas; Agricultura 1 uso intensivo no verão; Campos; Campos mistos com florestas; Agricultura 2 uso intensivo no verão e inverno; Florestas. Período de janeiro de 1982 a dezembro de 2008 para os eventos El Niño, neutros e La Niña.	117
51. NDVI nos trimestres mais quentes (SON e DJF) e nos trimestres mais frios (MAM e JJA) nos grupos: Áreas úmidas; Agricultura 1 uso intensivo no verão; Campos; Campos mistos com florestas; Agricultura 2 uso intensivo no verão e inverno; Florestas. Período de janeiro de 1982 a dezembro de 2008 para os eventos El Niño, neutros e La Niña.	119
52. NDVI no Parque Florestal Estadual do Turvo no período de 1982 a 2008.	128

RELAÇÃO DE APÊNDICES

	Página
1. Coeficientes de correlação de Pearson, mensais, sem defasagem e com defasagem de 1 a 4 meses da anomalia da TSM da região do Nino 3.4 do Oceano Pacífico com a anomalia da precipitação pluvial nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.	144
2. Coeficientes de correlação de Pearson, mensais, sem defasagem e com defasagem de 1 a 4 meses da anomalia da TSM da região do Nino 3.4 do Oceano Pacífico com a anomalia da insolação nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.	145
3. Coeficientes de correlação de Pearson, mensais, sem defasagem e com defasagem de 1 a 4 meses da anomalia da TSM da região do Nino 3.4 do Oceano Pacífico com a anomalia da temperatura mínima do ar nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.	146
4. Coeficientes de correlação de Pearson, mensais, sem defasagem e com defasagem de 1 a 4 meses da anomalia da TSM da região do Nino 3.4 do Oceano Pacífico com a anomalia da temperatura média do ar nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.	147
5. Coeficientes de correlação de Pearson, mensais, sem defasagem e com defasagem de 1 a 4 meses da anomalia da TSM da região do Nino 3.4 do Oceano Pacífico com a anomalia da temperatura máxima do ar nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.	148
6. Coeficientes de correlação de Pearson, mensais, sem defasagem e com defasagem de 1 a 4 meses da anomalia da TSM da região do Nino 3.4 do Oceano Pacífico com a anomalia do NDVI nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.	149
7. Coeficientes de correlação de Pearson, mensais, sem defasagem e com defasagem de 1 a 4 meses da anomalia da precipitação pluvial com a anomalia do NDVI nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.	150

	Página
8. Coeficientes de correlação de Pearson, mensais, sem defasagem e com defasagem de 1 a 4 meses da anomalia da insolação com a anomalia do NDVI nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.	151
9. Coeficientes de correlação de Pearson, mensais, sem defasagem e com defasagem de 1 a 4 meses da anomalia da temperatura mínima do ar com a anomalia do NDVI nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.	152
10. Coeficientes de correlação de Pearson, mensais, sem defasagem e com defasagem de 1 a 4 meses da anomalia da temperatura média do ar com a anomalia do NDVI nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.	153
11. Coeficientes de correlação de Pearson, mensais, sem defasagem e com defasagem de 1 a 4 meses da anomalia da temperatura máxima do ar com a anomalia do NDVI nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.	154

1 INTRODUÇÃO

Os pesquisadores de várias partes do mundo são unânimes ao indicar que o clima global está ficando mais quente e chuvoso (Peterson *et al.*, 2002; Vincent *et al.*, 2005; Haylock *et al.*, 2006).

No Rio Grande do Sul, resultados de trabalhos científicos corroboram essa realidade de clima mais quente, ao indicar aumento da temperatura do ar, destacadamente da temperatura mínima do ar (Berlato & Althaus, 2010; Cordeiro, 2010) e redução das amplitudes térmicas (Althaus & Berlato, 2007).

As pesquisas no Rio Grande do Sul também indicam tendências de aumento da precipitação pluvial (Berlato *et al.*, 2007; Cordeiro, 2010) e de redução da insolação (Custódio *et al.*, 2007; Cordeiro, 2010), aumento do número de dias com precipitação pluvial (Fontana & Almeida, 2002); e, como era de se esperar, aumento no índice de nebulosidade diurna (Custódio *et al.*, 2009).

Sabe-se que grande parte da variabilidade da atmosfera está correlacionada com anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) da maior bacia oceânica (Oceano Pacífico equatorial), onde ocorre o fenômeno ENOS (El Niño Oscilação Sul), que influencia as variáveis meteorológicas, especialmente precipitação pluvial e temperatura do ar em diversas partes do Globo, inclusive no Rio Grande do Sul (Berlato & Fontana, 2003).

A coerência espacial nas tendências climáticas observadas, tanto no Rio Grande do Sul como na América do Sul (Vincent *et al.*, 2005; Haylock *et al.*, 2006)

indica que fenômenos de grande escala, possivelmente, estejam relacionados às causas dessas tendências.

No contexto atual de preocupação com os possíveis efeitos das mudanças climáticas nas diferentes regiões do mundo torna-se fundamental aprofundar o conhecimento da relação entre o clima e a cobertura vegetal.

Nas últimas décadas, a expansão agropecuária e a exploração dos recursos naturais, e, recentemente, a conversão de extensas áreas campestres em monoculturas de *Pinus*, *Acacia* e *Eucalyptus*, têm causado grandes transformações na paisagem do Rio Grande do Sul. Além dessas pressões antrópicas, alterações na cobertura vegetal ainda podem estar associadas às alterações climáticas e à própria variabilidade climática interanual.

Neste sentido, o entendimento da dinâmica espaço-temporal dos padrões da vegetação permite acompanhar o padrão de resposta da vegetação quando da ocorrência de intensas oscilações no clima ou mudança de estação (Wagner, 2013). O monitoramento da vegetação permite, portanto, melhor compreensão dos impactos das mudanças climáticas sobre esta e oferece subsídios à elaboração de planos de manejo dos recursos naturais, bem como à delimitação de áreas prioritárias para a conservação. O estudo das relações entre clima e cobertura vegetal também é muito importante para as pesquisas de modelagem climática e de produtividade agrícola.

Neste contexto, vem crescendo, a cada década, o uso de imagens de satélite para o monitoramento da vegetação e de sua dinâmica, seja ela natural ou cultivada. Isto se justifica porque as imagens são fontes consistentes de informações contínuas e representativas da variabilidade espacial, em escala regional e até continental. Elas permitem o monitoramento da dinâmica sazonal

da vegetação natural ou de cultivos agrícolas, bem como a detecção de anomalias.

A longo prazo, o acúmulo desses dados documenta mudanças contínuas na biosfera, o que é especialmente importante, em face da crescente preocupação dos impactos das possíveis mudanças climáticas sobre o crescimento e a distribuição da vegetação. No contexto agrícola, o monitoramento da evolução da biomassa, em tempo real, é útil para fins de previsão de safras, podendo subsidiar também o acompanhamento da expansão e retração de fronteiras agrícolas (Fontana *et al.*, 1998).

Dentre os vários índices elaborados para o monitoramento da vegetação, um dos mais utilizados é o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, do inglês *Normalized Difference Vegetation Index*). Definido o perfil de evolução temporal do NDVI típico de uma região, alterações neste perfil podem ser utilizadas para o monitoramento das condições de crescimento e desenvolvimento das plantas, detecção de estresses, estimativa de rendimento de culturas, entre outros (Fontana *et al.*, 2007).

Uma longa série de imagens de NDVI, conhecida como GIMMS (*Global Inventory Modeling and Mapping Studies*), vem sendo disponibilizada por um grupo de estudo, formado por pesquisadores da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e da Universidade de Maryland (EUA), com o objetivo principal de detectar mudanças na vegetação.

As imagens GIMMS são derivadas do sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) a bordo dos satélites da série NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). Existem outras séries disponíveis com tal finalidade, mas essa longa série temporal tem sido utilizada em diversos estudos recentes de monitoramento da cobertura global (Baldi *et al.*, 2008; Fensholt *et al.*,

2009; Timiza, 2011) por ter recebido alguns tratamentos, a fim de reduzir ruídos de ordem atmosférica ou satelital, sendo, portanto, amplamente reconhecida por sua consistência.

Embora existam muitos outros sensores de maior resolução espacial, as imagens do sensor AVHRR/NOAA são ideais para estudos de áreas extensas, como biomas e regiões agrícolas, devido a uma série de características. Entre elas estão: série mais longa disponível, com dados contínuos desde 1981, cobertura global, gratuidade e frequência diária de imageamento.

Séries temporais longas como essa possibilitam explorar a dinâmica da vegetação relacionada à variabilidade climática, mudanças climáticas e mudanças no uso da terra e na cobertura terrestre (Beck *et al.*, 2011) e possibilitam avaliar mudanças nos ecossistemas ao longo do tempo (Baldi *et al.*, 2008), além de auxiliar no estudo dos impactos da tendência e variabilidade climáticas, na vegetação em escala local e regional (Timiza, 2011).

Em vista do acima exposto, a hipótese desta pesquisa é que seja possível caracterizar alterações na cobertura vegetal associadas à variabilidade climática do Rio Grande do Sul, através de imagens de NDVI-AVHRR-NOAA e de variáveis meteorológicas.

O objetivo da pesquisa foi caracterizar, espacial e temporalmente, os padrões, a variabilidade e a tendência nas séries temporais do NDVI dos grandes grupos vegetais do Rio Grande do Sul, através de imagens GIMMS, e sua relação com a variabilidade climática.

Como objetivos específicos:

- 1) Caracterizar a dinâmica temporal da vegetação através do padrão anual médio de NDVI;
- 2) Analisar a variabilidade anual e interanual do NDVI nas séries temporais;

3) Avaliar a ocorrência e a distribuição espacial das tendências lineares e não lineares nas séries temporais de NDVI;

4) Analisar as relações da TSM do Oceano Pacífico equatorial com as variáveis meteorológicas e com o NDVI, bem como as relações entre as variáveis meteorológicas e o NDVI;

5) Avaliar a influência do fenômeno ENOS sobre a vegetação, através do NDVI;

6) Agrupar regiões homogêneas, com base na variabilidade temporal do NDVI, a fim de identificar grupos vegetais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Vegetação do Rio Grande do Sul

Bioma é conceituado como um conjunto de vida, vegetal e animal, constituído pelo agrupamento de tipos de vegetação contíguos e identificáveis em escala regional, com condições geoclimáticas similares e história compartilhada de mudanças, o que resulta em uma diversidade biológica própria (RIO GRANDE DO SUL, 2011).

O Brasil é o quinto país no mundo em extensão territorial, com 8.514.876 km² (IBGE, 2011), em latitudes que vão desde aproximadamente 5°N até quase 34°S. Estas proporções continentais do País propiciam uma diversidade de biomas. Essa diversidade de estruturas ecológicas com fisionomias distintas de clima, paisagem, solo, vegetação e fauna é consequência das diferentes condições ambientais.

Em cada bioma há um tipo de vegetação (fitofisionomia) predominante, que ocupa a maior parte da área, e que é determinada, em primeiro lugar, pelo clima (em especial: temperatura, precipitação pluvial e umidade do ar). Outros tipos de vegetação também são encontrados, e a sua ocorrência está associada a eventos temporais (tempos geológico e ecológico) e variações locais, como aspectos físicos e químicos do solo, paisagem, relevo e topografia (Ribeiro & Walter, 2007).

O Mapa de Biomas do Brasil (Figura 1) elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Ministério do Meio Ambiente (MMA), na

escala 1: 5.000.000, apresenta os seis biomas continentais brasileiros: Amazônia, Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica, Pantanal e Pampa (IBGE, 2004).

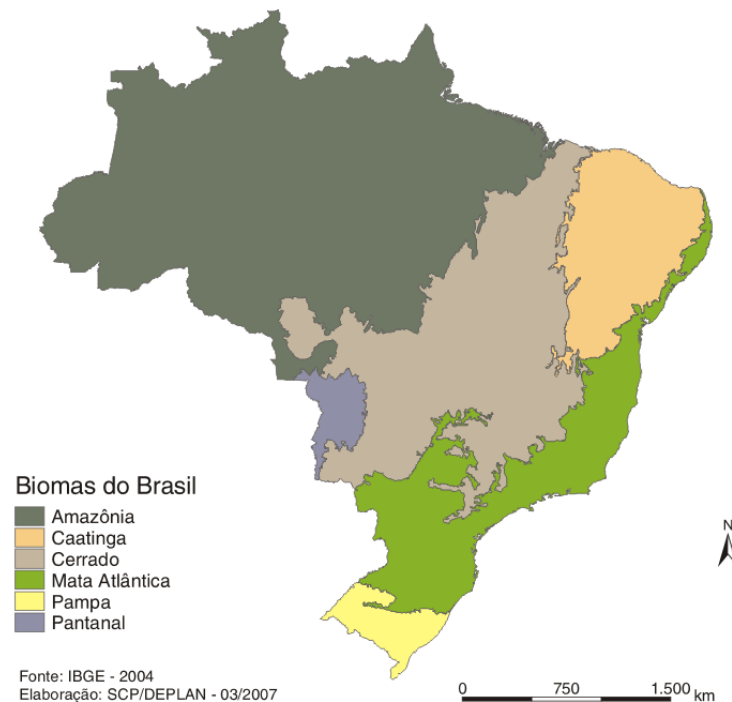


FIGURA 1. Mapa dos Biomas do Brasil. Disponível em: <http://www.scp.rs.gov.br/uploads/Biomas_brasil1.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2011.

Os biomas brasileiros constituem importantes centros de biodiversidade. No entanto, essa rica biodiversidade vem sendo crescentemente ameaçada por atividades antrópicas, principalmente aquelas ligadas à conversão das paisagens naturais em áreas de produção agropecuária e ocupação imobiliária (Aleixo *et al.*, 2010). Altíssimos níveis de devastação ambiental já colocaram a Mata Atlântica e o Cerrado na lista dos “Hotspots” de biodiversidade (Myers *et al.*, 2000), que são conjuntos de ecorregiões prioritárias para conservação em nível mundial. Além das alterações recentes nas paisagens naturais, mudanças climáticas em curso e previstas constituem um segundo fator de ameaça à biodiversidade dos biomas brasileiros, com especial ênfase para aqueles predominantemente florestais e com maior riqueza de espécies e endemismo: a Amazônia e a Mata Atlântica (Aleixo *et al.*, 2010).

O Rio Grande do Sul apresenta características distintas em sua paisagem, compreendendo dois grandes biomas: Pampa e Mata Atlântica. O bioma Mata Atlântica, abrange 13,04% do território brasileiro, com uma área de 1.110.182 km², ocupando toda a faixa continental leste brasileira e estendendo-se para o interior no sudeste e sul do País (RIO GRANDE DO SUL, 2011). Já o bioma Pampa, no Brasil, está restrito ao estado do Rio Grande do Sul, com uma área de 176.496 km², correspondente a 2,07% do território nacional. Ele abrange a metade Sul do Estado, sendo delimitado com a Mata Atlântica na metade Norte do Rio Grande do Sul (Figura 2).



FIGURA 2. Mapa dos Biomas do Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://www.scp.rs.gov.br/uploads/Biomasrs.pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2011.

A Mata Atlântica é definida pela vegetação florestal predominante e relevo diversificado, enquanto que, no Pampa, domina a vegetação de campos, em relevo de coxilhas (IBGE, 2004). Nos campos predominam gramíneas e outras herbáceas, com várias espécies de *Poaceae*, *Asteraceae*, *Cyperaceae*, *Fabaceae*, *Rubiaceae*, *Apiaceae* e *Verbenaceae* (MMA et al., 2000).

Dada a importância de se estudar os biomas e a alta complexidade em se estabelecer os critérios para o seu mapeamento, cabe uma breve revisão a respeito dos principais esforços neste sentido.

Uma proposta de classificação da vegetação foi realizada por Rambo (1956). Nela o Estado do Rio Grande do Sul foi dividido em duas formações vegetais, a do campo e a da floresta. Da área total do Estado, cerca de 46,26% eram campos, 34,47% matas, e o restante, atribuído à vegetação litorânea, banhados inundáveis e outras formações.

Para Rambo (1956) as condições climáticas das diversas partes do Rio Grande do Sul não são suficientes para explicar a presença dessas duas formações, uma vez que a formação climática conveniente no Estado é a da Floresta Alta Subtropical. Segundo o mesmo autor, os campos são formações climáticas e edáficas na sua origem, sendo em sua grande parte relitos históricos de um clima mais seco, o que posteriormente foi comprovado por trabalhos de Behling *et al.* (2001; 2004) e Pieruschka *et al.* (2010) para região do Estado de Campos de Cima da Serra; e de Behling *et al.* (2005) para região do Baixo Vale do Uruguai (São Francisco de Assis).

Behling *et al.* (2001; 2004) analisaram amostras de grãos de pólen e partículas carbonizadas na região onde hoje se encontram as Florestas de *Araucaria* e os Campos de Cima da Serra do Rio Grande do Sul. Os resultados dessas análises paleoambientais, mostrando as relações das mudanças climáticas com mudanças na vegetação, ocorridas durante o Holoceno, demonstram que a configuração atual da vegetação no Sul do Brasil possui uma distribuição que evoluiu recentemente.

Entre o período Último Glacial (clima frio e mais seco) e o Médio Holoceno (clima quente e seco, com estação seca anual de até três meses por ano) vastas

áreas campestres predominavam na maior parte do Brasil meridional. Ao longo do tempo, os campos foram sendo substituídos por florestas, especialmente de *Araucaria*. Essas mudanças estão relacionadas a um clima mais quente e muito úmido (sem estação seca) a partir do Último Holoceno (Behling *et al.*, 2004).

Apesar de a precipitação pluvial ter sido muito mais intensa no Último Holoceno, com conseqüente expansão das florestas de *Araucaria* no sul do Brasil, em áreas originalmente campestres, o processo inverso foi iniciado neste mesmo período, há cerca de 1.000 anos, com o aumento na frequência do fogo (Behling *et al.*, 2001). No entanto, segundo Pieruschka *et al.* (2010), de 1935 ao presente, a floresta de *Araucaria* expandiu-se enquanto que a área de Campos decresceu. Isto porque, neste período, eventos de fogo foram muito raros (Pieruschka *et al.*, 2010) e porque os dados climáticos, precipitação pluvial e temperatura do ar, contemporâneos favorecem o desenvolvimento de florestas no Sul do Brasil (Behling *et al.*, 2005).

Os distúrbios de fogo e o pastejo, provavelmente, foram os principais fatores que impediram e continuam impedindo a expansão das florestas em áreas campestres, cujas condições são propícias ao desenvolvimento de vegetação florestal (Overbeck *et al.*, 2007).

Essas pesquisas paleoambientais (Behling *et al.* 2001; 2004; 2005; Pieruschka, 2010), de certa forma, comprovam as ideias de Rambo (1956) que, já no século passado, defendia que se a formação florestal do Rio Grande do Sul ainda não havia ocupado todos os terrenos próprios, isto se devia à lentidão secular de sua ofensiva; e se ainda havia vastas áreas impróprias, estas, no correr dos milênios geológicos, iriam se transformar, na maior parte em terrenos aptos às formações florestais.

Outro sistema de classificação da vegetação do Rio Grande do Sul propõe que a mesma seja classificada em florestal e não-florestal. Neste, a descrição da vegetação do Estado, disponibilizada pelo IBGE, se baseou em trabalho desenvolvido no âmbito do Projeto RADAMBRASIL, no qual foi criado um sistema de classificação fisionômico-ecológico mais preciso para toda a vegetação brasileira, adaptado a conceitos fitogeográficos internacionais (UFSM, 2011).

Nessa abordagem considera-se vegetação florestal aquela, ombrófila ou estacional, cujas formações são constituídas por comunidades arbóreas mais ou menos estáveis e compatíveis com o clima atual. São consideradas como vegetação não-florestal todos os demais tipos de formações, que, por diversas causas, não alcançaram os níveis de desenvolvimento e organização tidos como em equilíbrio com o clima (UFSM, 2011).

O primeiro mapeamento de vegetação do Rio Grande do Sul, abrangendo a totalidade de seu território, foi realizado pelo Projeto RADAMBRASIL na década de 1970 e publicado parcialmente em 1986, na escala 1:1.000.000 (Cordeiro & Hasenack, 2009).

Mais tarde, com base na bibliografia fitogeográfica, em levantamento dos remanescentes de vegetação e em trabalhos de campo, foi estimada a extensão dos tipos de vegetação no Brasil e publicado o Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 1992), no qual o Rio Grande do Sul era classificado em quatro regiões fitoecológicas florestais: Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Estacional Decidual; e, em duas regiões fitoecológicas campestres: Savana Estépica e Estepe, visando uma concordância com terminologias internacionais.

A Região Fitoecológica compreende um espaço definido por uma florística de gêneros típicos e de formas biológicas características, que se repetem dentro

de um mesmo clima, podendo ocorrer em terrenos de litologia variada, mas com relevo bem marcado (IBGE, 1992).

O mapeamento das regiões fitoecológicas do IBGE (Projeto RADAMBRASIL) foi atualizado tematicamente em 2004, na escala 1:5.000.000, apresentando as seguintes regiões fitoecológicas no Rio Grande do Sul (IBGE, 2004), com variações de porte das espécies, estacionalidade, locais de ocorrência, entre outros:

- Região da Floresta Ombrófila Densa (Floresta Atlântica);
- Região da Floresta Ombrófila Mista (Floresta de Araucária);
- Região da Floresta Estacional Semidecidual (Floresta Subcaducifólia);
- Região da Floresta Estacional Decidual (Floresta Caducifólia);
- Região da Estepe (Campos de Cima da Serra e da Campanha);
- Região da Savana Estépica (Campos) - Parque do Espinilho;
- Áreas de Formações Pioneiras;
- Sistema de transição - Área de Tensão Ecológica (contato).

Os campos sul-brasileiros, até 2004 denominados Campos Sulinos, com a nova classificação como Savana Estépica ou Estepe (IBGE, 2004), a fim de ser compatível com o sistema fitogeográfico internacional, tem gerado muita discussão nas publicações da área (Marchiori, 2004). Segundo Coutinho (2006) não parece adequado considerar os campos do sul do Brasil como Savanas Estépicas ou Estepes, as quais corresponderiam ao Zonobioma VII, de clima temperado árido, já que se trata de um bioma campestre do pedopiobioma V, na zona climática V, quente-temperada sempre úmida, onde o esperado seriam florestas subtropicais densas sempre verdes. Logo, a existência de campos nessas regiões deve estar relacionada a fatores pedológicos e ao fogo, como já descrito anteriormente.

Além disso, os ecossistemas campestres no Rio Grande do Sul encontram-se representados em dois biomas distintos, que refletem as diferenças em suas composições florísticas e fisionomias. No Bioma Pampa (metade sul e oeste do Estado), os campos correspondem à fisionomia vegetal característica, e no Bioma Mata Atlântica (região dos Campos de Cima da Serra, no Planalto), nas regiões de maior altitude do Estado, eles formam extensos mosaicos com a floresta de Araucaria (Behling *et al.*, 2009). Os campos dos dois biomas correspondem a aproximadamente 75% da área total do Estado (Overbeck *et al.*, 2007). Desse total, 63% pertencem ao Bioma Pampa (IBGE, 2004).

A partir de 22 imagens de satélite Landsat 5 TM e 7 ETM+ cedidas pelo Ministério do Meio Ambiente, e de 32 classes de uso e cobertura de solo, Cordeiro & Hasenack (2009) mapearam a cobertura vegetal do Rio Grande do Sul, na escala 1:250.000, revisando os limites das regiões fitoecológicas propostas pelo Projeto RADAMBRASIL (IBGE, 1986) e IBGE (1992) (Figura 3).

A comparação entre RADAMBRASIL 1:250.000 (IBGE, 1986; 2003) e o Mapa de vegetação do RS (ano base 2002) mostrou um decréscimo de 20,68% (22.816,05 km²) na cobertura natural no período analisado (1986-2002), porém com comportamentos completamente distintos entre as regiões florestais e campestres (Cordeiro & Hasenack, 2009). Nas regiões florestais houve acréscimo nos valores de cobertura original de 3.412,31 km², com resposta similar a das florestas nas áreas de tensão ecológica.

agropecuários. A expansão da fronteira agrícola e a pecuária extensiva vêm diminuindo e fragmentando a cobertura florestal do Estado, que reduziu de 40%, no começo do século XVIII para menos de 10% no início do século XXI (SEMA/UFMS, 2001). Segundo Behling (2009), a remoção da floresta e a alteração da paisagem, por meio da agricultura, pastoreio e plantios de *Pinus* e *Eucalyptus*, têm mudado claramente a vegetação original.

Na contramão da redução da biodiversidade está o desenvolvimento econômico do Estado, fortemente sustentado pela agropecuária. Entre cultivos agrícolas, temporários e permanentes, a área cultivada no Rio Grande do Sul somou 8.270.505 ha no ano de 2012 (IBGE, 2014). Parte desta área é ocupada por diferentes cultivos, que se alternam ao longo do ano. Como no caso das áreas de soja e milho, que no inverno são cultivadas com cereais de outono-inverno.

Nas últimas décadas, a soja vem ocupando a maior área cultivada no Rio Grande do Sul (Figura 4). No ano de 2012 foram cultivados 4.269.247 ha de soja no Estado (IBGE, 2014). O cultivo de soja vem ocupando áreas tradicionalmente cultivadas com milho, como pode ser observado através da redução de área com este cereal nos últimos anos. Observa-se que a área cultivada com milho não ultrapassou, em nenhum ano da última década, 1.500.000 ha.

O arroz é outro cereal muito importante para economia gaúcha. Desde 2004, com exceção de 2007, a área cultivada no Rio Grande do Sul tem ultrapassado um milhão de hectares (Figura 4). Dos cereais de outono-inverno o de maior expressão é o trigo. A área ocupada com este cereal oscilou entre 1990 e 2012, variando de aproximadamente 300.000 ha em 1996 a mais de 1.000.000 ha nos anos de 2003 e 2004 (IBGE, 2014).

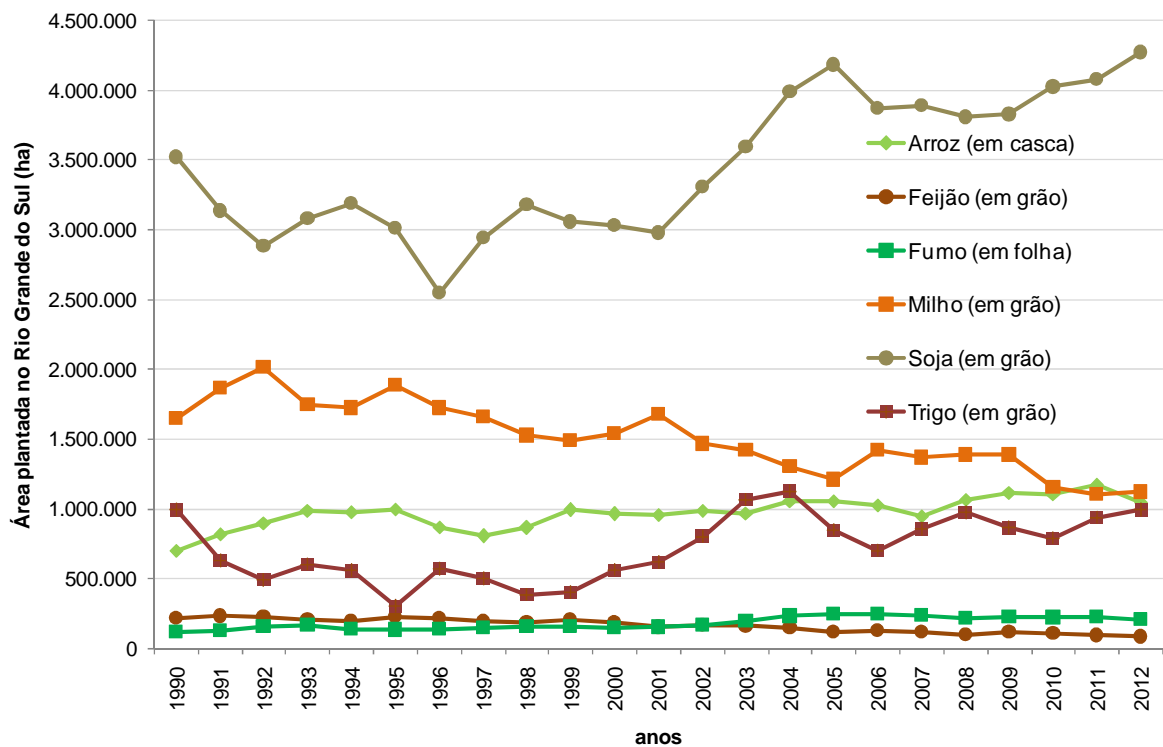


FIGURA 4. Área plantada dos principais cultivos agrícolas no Rio Grande do Sul. Fonte dos dados: IBGE (2014).

Os cultivos de feijão e fumo apresentaram evolução contrária com relação à área cultivada no Rio Grande do Sul (Figura 4). Enquanto o cultivo do feijão teve maior área no ano de 1991 (229.350 ha) e menor área no ano de 2012 (81.832 ha), o cultivo do fumo vem aumentando sua área nos últimos anos. Na última década, a área de fumo no Estado praticamente dobrou, em relação à década anterior (IBGE, 2014).

Além desses cultivos de maior expressão, as áreas agrícolas no Rio Grande do Sul são ocupadas, também por: aveia, mandioca, cevada, sorgo, batata-inglesa, uva, erva-mate, cana-de-açúcar e laranja, entre outros.

2.2 Sensoriamento remoto da vegetação

Um conceito simples e objetivo de sensoriamento remoto, segundo Novo (2008), é a utilização de sensores para a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto entre eles.

No Brasil, a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto no estudo da vegetação, teve início na década de 1940, com os primeiros mapeamentos temáticos a partir de fotografias aéreas (Ponsoni & Shimabukuro, 2007).

O primeiro grande levantamento sistemático da cobertura vegetal no Brasil teve início em junho de 1971, com o Projeto RADAM, com o intuito de conhecer principalmente, a cartografia, vegetação, geologia e a natureza dos solos da Amazônia e do Nordeste brasileiros, baseado no imageamento por radar de visada lateral (*Side-Looking Airborne RADAR – SLAR*) (Ferreira *et al.*, 2008).

Em julho de 1975, o mapeamento integrado dos recursos naturais passou a ser responsabilidade do projeto RADAMBRASIL, que expandiu o levantamento de radar aerotransportado para o restante do território nacional, com o objetivo de representar espacialmente as classes fisionômicas da cobertura vegetal. O projeto RADAMBRASIL tem servido de referência para inúmeras iniciativas de mapeamento em todo o país (Ponsoni & Shimabukuro, 2007).

Em meados da década de 1980, tiveram início algumas iniciativas de mapeamento extensivo de classes específicas da cobertura vegetal brasileira, incluindo culturas agrícolas; inventários florestais, nos quais as imagens orbitais serviam como base para identificação de áreas a serem amostradas em campo e para a quantificação de superfícies ocupadas por florestas plantadas, mapeamento dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, além de outras. Os resultados dessas iniciativas, que, ao longo do tempo, foram modificadas e aprimoradas, têm sido utilizados em previsão de safras e no estabelecimento de políticas nacionais de preservação do meio ambiente (Ponsoni & Shimabukuro, 2007).

A partir de meados da década de 1990, as pesquisas com sensoriamento remoto da vegetação, que até então eram, fundamentalmente, qualitativas (de

identificação e mapeamento de classes de vegetação), passaram a ter enfoques quantitativos como, por exemplo, correlações de dados radiométricos de imagens orbitais com parâmetros biofísicos da cobertura vegetal como índice de área foliar e biomassa (Ponsoni & Shimabukuro, 2007).

Em 2006 foi realizado novo levantamento sistemático da cobertura vegetal, no âmbito do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (PROBIO) do Ministério do Meio Ambiente, com mapeamento na escala de 1:250.000, dos remanescentes da cobertura vegetal nos seis biomas brasileiros. Este levantamento utilizou como base imagens Landsat ETM+, obtidas em 2001 e 2002, e analisadas por métodos de classificação automática e interpretação visual (Ferreira *et al.*, 2008).

Devido à extensão continental do Brasil e seus diversos padrões climáticos é importante avaliar como a cobertura vegetal responde à variabilidade climática e vice-versa (Gurgel, 2003). Com esse fim a utilização de técnicas de sensoriamento remoto tem crescido a cada década.

No Rio Grande do Sul, Vasconcellos & Benedetti (2011) analisando a dinâmica da cobertura vegetal, através de mapeamento temático com imagens de satélite Landsat 5 de 2000 e 2010, verificaram um aumento na cobertura florestal na microrregião Campanha Central de 92.590,99 ha. Os municípios, de expansão mais significativa, Rosário do Sul, com um aumento de 37.685,87 ha e São Gabriel com 34.997,93 ha.

Segundo Vasconcellos & Benedetti (2011) o acréscimo em área florestal em vários municípios do Estado já se constitui uma realidade, devido à incorporação de novas áreas pela silvicultura, principalmente do *Eucalyptus* e *Pinus*, e às restrições impostas pela legislação ambiental brasileira (Lei Federal 4771/65). Foi proibido o corte de florestas e demais vegetações situadas ao longo

dos rios ou de qualquer curso d'água em Áreas de Preservação Permanente (APP) e de Reserva Legal (RL), promovendo assim a evolução das áreas de regeneração para estágios avançados.

Hasenack *et al.* (2010) mapearam as áreas de remanescentes campestres e florestais dos sistemas ecológicos na ecorregião das Savanas Uruguaias (Figura 5). Na Serra do Sudeste, os sistemas ecológicos foram classificados como Floresta Estacional e Campo Arbustivo, sendo a fisionomia dominante em ambos um mosaico de floresta e campo. Embora não tenha sido o foco da análise, é possível observar, também, na Figura 5, as áreas cultivadas no Estado.

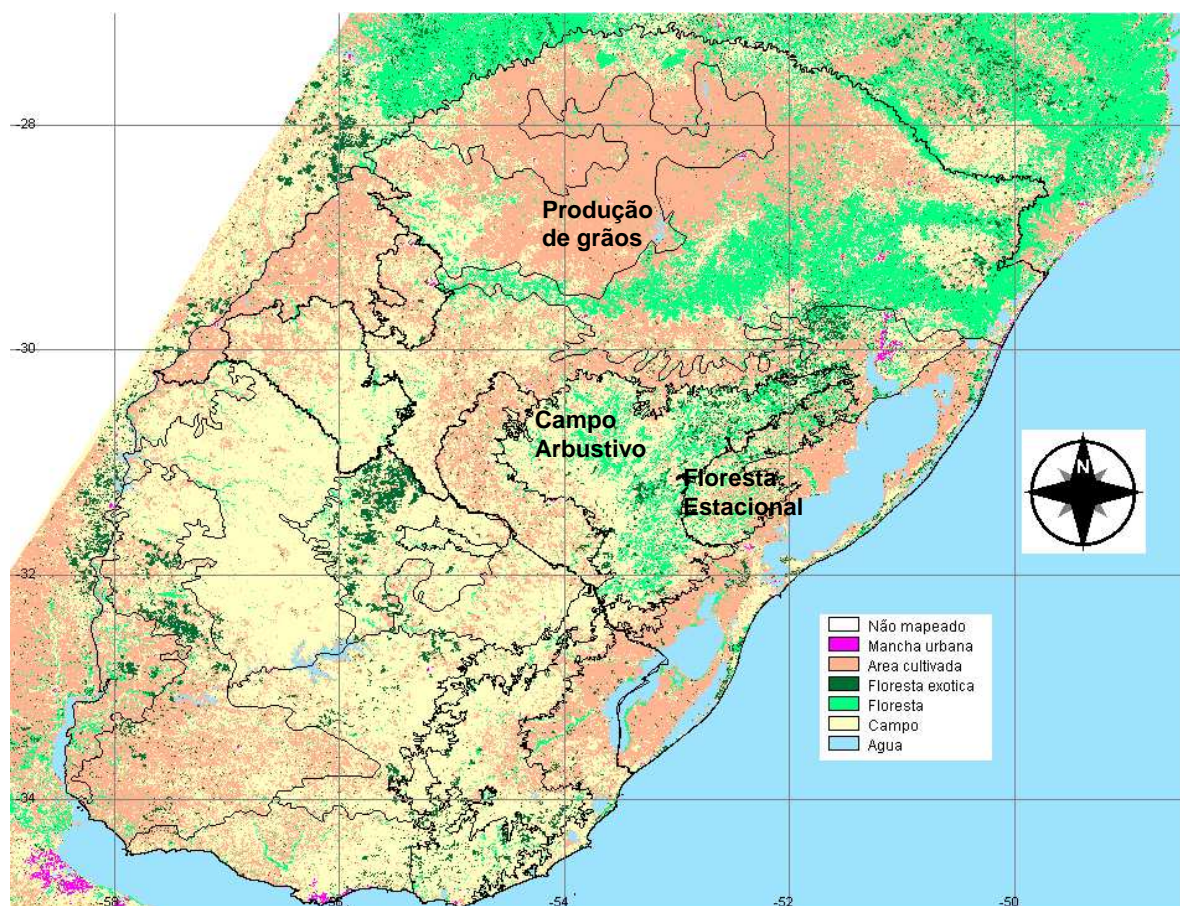


FIGURA 5. Áreas de remanescentes campestres e florestais, áreas antrópicas, corpos d'água continentais e limites dos sistemas ecológicos na ecorregião das Savanas Uruguaias. Fonte: Hasenack *et al.* (2010).

2.2.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

Os índices de vegetação estão entre os produtos de satélites mais amplamente utilizados em pesquisas de mudanças globais, seja em estudos climáticos, hidrológicos e/ou biogeoquímicos, assim como em estudos de fenologia, cobertura do solo, detecção de mudanças na cobertura terrestre, manejo dos recursos naturais ou de desenvolvimento sustentável (Huete *et al.*, 2011).

Diversos índices de vegetação têm sido propostos na literatura com o objetivo de explorar as propriedades espectrais da vegetação. Tais índices se fundamentam no comportamento da reflectância da vegetação nas regiões do espectro eletromagnético do infravermelho próximo e do visível (vermelho).

A baixa reflectância ocorre na região do visível (0,4 a 0,7 μm). Nesta faixa o pico de reflectância das folhas ocorre aproximadamente em 0,54 μm (região espectral do verde) devido à absorção da radiação solar pela ação dos pigmentos fotossintetizantes, especialmente a clorofila, na região espectral do azul e do vermelho. A alta reflectância ocorre na região do infravermelho próximo (0,7 a 1,3 μm) e se deve ao espalhamento (reflectância e transmitância) da radiação no interior das folhas em função da estrutura celular (Ponsoni & Shimabukuro, 2007) (Figura 6).

Em dosséis, a variação da reflectância da cobertura vegetal depende, principalmente, da quantidade de folhas e da arquitetura do dossel. No entanto, as curvas de reflectância do dossel e das folhas (isoladas) que o compõem se assemelham (Ponsoni & Shimabukuro, 2007).

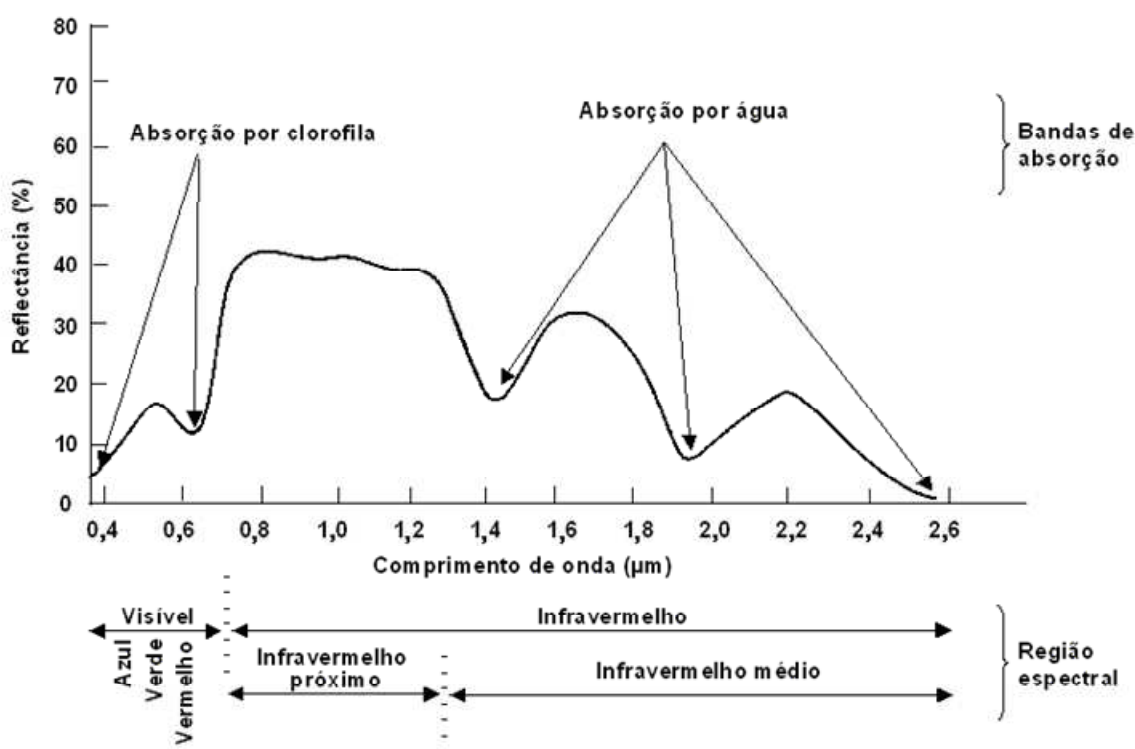


FIGURA 6. Curva de reflectância típica da vegetação. Fonte: Hoffer (1976).

Quanto maior for a densidade da cobertura vegetal em uma determinada área, menor será a reflectância na região do visível, devido à maior oferta de pigmentos fotossintetizantes. Por outro lado, maior será a reflectância verificada na região do infravermelho próximo devido ao espalhamento múltiplo da radiação eletromagnética nas diferentes camadas de folhas (Ponsoni & Shimabukuro, 2007).

Dentre vários índices elaborados para o monitoramento da vegetação nos últimos 40 anos, um dos mais utilizados é o NDVI, que é obtido através da razão entre a diferença e a soma das reflectâncias nas bandas espectrais do infravermelho próximo e do visível (Rouse *et al.*, 1973).

A equação geral do NDVI é representada por:

$$NDVI = \frac{(\rho_{IVP} - \rho_V)}{(\rho_{IVP} + \rho_V)} \quad (1)$$

sendo NDVI o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, ρ_{IVP} , a reflectância do infravermelho próximo; e, ρ_V a reflectância do vermelho.

Com o objetivo de minimizar os efeitos da atenuação atmosférica e das diferenças sazonais do ângulo do sol, Rouse *et al.* (1973) propuseram a normalização, com a qual os valores de NDVI obtidos são contidos em uma mesma escala (adimensional) de valores, entre -1 e 1 (Rosembach *et al.*, 2010), na qual altos valores do índice indicam a maior presença de vegetação (Jensen, 2009). Portanto, o NDVI é um indicador da densidade de biomassa verde e está relacionado com parâmetros de crescimento e desenvolvimento das plantas (Trentin & Fonseca, 2011).

No entanto, embora extremamente útil na estimativa de parâmetros biofísicos da vegetação, o NDVI apresenta problemas de saturação em áreas densamente vegetadas (Huete *et al.*, 2011) e não-linearidade nas relações com o índice de área foliar e com a fração de radiação fotossinteticamente ativa absorvida. O NDVI é, também, afetado pela geometria de aquisição (sol-alvo-sensor), pela estrutura do dossel vegetal, por efeitos atmosféricos e pelo substrato (ex. solo) (Ferreira *et al.*, 2008).

2.2.2 Sensor AVHRR da série de satélites NOAA

Os satélites da série NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) possuem órbitas heliossíncronas, circulares quase polares, com altitudes entre 833 e 870 km, e permitem uma cobertura global e diária, imageando o mesmo ponto da Terra a cada 12 horas (NOAA, 2012 a).

Em 1978, a partir do lançamento do sexto satélite (NOAA-6) da série NOAA, até então denominada TIROS-N, teve início a construção de uma das séries de dados de sensoriamento remoto, temporalmente, mais extensas e com a produção contínua de dados diários (Baldi *et al.*, 2008). Inicialmente desenvolvidos para prover dados meteorológicos, oceanográficos e hidrológicos,

esses dados têm tido muitas outras aplicações na geofísica, ciências ambientais e na agricultura.

O sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) é um dos vários sensores a bordo dos satélites da série NOAA. Os sensores AVHRR-NOAA possuem ângulo de varredura de 55,4° do nadir, provenho de uma faixa de imageamento de 2.800 km de largura, com campo de visada instantânea de 1,3 x 1,3 miliradianos e resolução espacial de 1,1 km (NOAA, 2012 b).

O AVHRR é um radiômetro imageador de varredura, que detecta a energia em diferentes faixas do espectro eletromagnético ou bandas espectrais: 0,58 - 0,68 μm (canal 1) na faixa do vermelho; 0,725 - 1,0 μm (canal 2) na faixa do infravermelho próximo; 3,55 - 3,93 μm (canal 3) na faixa do infravermelho médio; e, 10,3 - 11,3 μm (canal 4) e 11,5 - 12,5 μm (canal 5), na faixa do infravermelho termal, todas com 1024 níveis de cinza (NOAA, 2012 a).

O canal 5 (AVHRR/2) foi incorporado ao satélite NOAA-7, lançado em 1981, quando o AVHRR passou a ter cinco bandas espectrais. A versão do sensor, AVHRR/3, com uma banda a mais no canal 3: 1,58 - 1,64 μm (canal 3A), foi introduzida no satélite NOAA-15, lançado em 1998 (NOAA, 2012 a).

Embora existam muitos outros sensores de maior resolução espacial (detalhamento), as imagens do sensor AVHRR-NOAA ainda são muito utilizadas em estudos de áreas extensas, como as de biomas e regiões agrícolas (Huete *et al.*, 2011), devido à disponibilidade de longas séries temporais, gratuidade das imagens, cobertura global e alta resolução temporal.

Segundo Batista *et al.* (1993) a principal vantagem do AVHRR-NOAA é a alta frequência de imageamento, resultante da grande faixa imageada, o que permite acompanhar a variação fenológica da vegetação ao longo das estações do ano ou a variação devida a eventos episódicos, como ENOS.

As imagens de NDVI, obtidas do AVHRR-NOAA, além do monitoramento da dinâmica temporal e espacial da vegetação, tanto em tempo real, como em caráter retrospectivo (Fontana *et al.*, 2004), permitem a classificação da cobertura terrestre, estudos de estrutura e dinâmica da vegetação, avaliação de queimadas, cálculos de balanço de energia, dentre outras aplicações, e por isso têm sido extensivamente usadas nas últimas décadas (Baldi *et al.*, 2008).

Definido o perfil de evolução temporal do NDVI típico de uma região, alterações neste perfil têm sido utilizadas para o monitoramento das condições de crescimento e desenvolvimento das plantas, detecção de estresses, estimativa de rendimento de culturas, entre outros. Logo, a utilização de imagens do AVHRR-NOAA pode auxiliar no entendimento da dinâmica temporal dos grandes grupos vegetais do Rio Grande do Sul, assim como das diferenças entre estes grupos (Fontana *et al.*, 2007).

Vantagens do uso do NDVI em estudos de flutuações interanuais e impactos do ENOS na produção primária, fenologia e mudanças climáticas e variabilidade, têm sido atribuídas ao desenvolvimento e à consistência da série de dados de NDVI-AVHRR (Huete *et al.*, 2011).

2.2.3 Série GIMMS

A coleção GIMMS (*Global Inventory Modeling and Mapping Studies*) é uma longa série de imagens de NDVI, que vêm sendo disponibilizada gratuitamente pelo *Global Land Cover Facility* (<www.landcover.org>), em uma parceria da Universidade de Maryland (EUA) com pesquisadores da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), com o objetivo de detectar mudanças na vegetação, com dados desde 1981 (Pinzon, 2002; Pinzon *et al.*, 2004; Tucker *et al.*, 2005; GLCF, 2011).

As imagens de NDVI da série GIMMS têm sido utilizadas em diversos estudos (Baldi *et al.*, 2008; Fensholt *et al.*, 2009; Gurgel *et al.*, 2003) de monitoramento da cobertura global, tanto em escala global como regional (Fensholt *et al.*, 2009). Segundo Beck *et al.* (2011), uma série de dados longa como esta (1981 a 2008), de quase 30 anos, possibilita explorar a dinâmica da vegetação relacionada à variabilidade climática, mudanças climáticas e mudanças no uso da terra e na cobertura terrestre.

Essa coleção de imagens NDVI-GIMMS foi obtida com base nas reflectâncias nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo, capturadas pelos sensores AVHRR, de diferentes satélites: NOAA-7, 9, 11, 14, 16, 17 e 18 (GLCF, 2011), de diferentes períodos de aquisição de dados (Tabela 1).

TABELA 1. Período de dados de cada satélite da série NOAA.

Satélite	Período
NOAA-7	07/1981 a 02/1985
NOAA-9	02/1985 a 11/1988 e 07/1994 a 01/1995 (período de mau funcionamento do NOAA-11 até ser substituído pelo NOAA-14)
NOAA-11	11/1988 a 09/1994
NOAA-14	02/1995 a 10/2000
NOAA-16	11/2000 a 06/2003
NOAA-17	07/2003 a 12/2006
NOAA-18	01/2007 em continuidade

Fonte: GLCF, 2011.

Muitos aspectos introduziram ruídos nessas séries de NDVI de longo prazo, seja com relação às bandas dos sensores ou aos algoritmos de processamento dos dados (Fensholt *et al.*, 2009).

Os principais ruídos das séries obtidas de AVHRR-NOAA são: calibração das bandas, que mudaram muitas vezes junto com os vários sensores AVHRR-NOAA ao longo desse longo período (Tabela 1), degradação dos sensores,

contaminação atmosférica, deriva no tempo de passagem dos satélites, a qual cria variações na iluminação e ângulos de visada, entre outros.

A contaminação atmosférica, que também afetou os registros de NDVI ao longo desse período, ocorreu em função da variabilidade natural dos aerossóis atmosféricos e da coluna de vapor de água, somada aos gases da queima de biomassa e à poeira de erosão do solo. No período, houve duas grandes erupções vulcânicas, El Chichón em 1982 e do Monte Pinatubo, em 1991, as quais injetaram grandes quantidades de aerossóis na estratosfera (GLCF, 2011). As alterações conhecidas da atmosfera a partir destas duas erupções vulcânicas foram corrigidas na série GIMMS, mas reduções no sinal de NDVI podem ainda ser vistas em áreas tropicais mais densamente vegetadas, para períodos de tempo limitados (GLCF, 2011).

A fim de construir visadas da Terra livres de nuvens, foram feitas composições de imagens, a intervalos regulares (mensais ou quinzenais), pela seleção de pixels com máximo valor de NDVI. A CMV (Composição de Máximo Valor) de NDVI tende a selecionar pixels adquiridos em um modo quase-nadir, com o mínimo de efeitos atmosféricos. A redução desses efeitos foi um dos objetivos do processamento da série GIMMS. Mesmo assim, estes efeitos e de iluminação permanecem (GLCF, 2011).

As imagens NDVI-GIMMS foram corrigidas para: degradação do sensor e diferença entre calibração dos sensores; ângulo zenital solar e efeitos do ângulo de visão do sensor devidos à deriva dos satélites; aerossóis vulcânicos (correções em 1982-1984 e 1991-1994); e influências no sinal devido a pixels parcialmente contaminados com nuvens e vapor d'água (GLCF, 2011).

2.2.4 Outras séries derivadas do sensor AVHRR-NOAA

Existem vários conjuntos de dados de NDVI derivados do sensor AVHRR-NOAA, e cada um deles se baseia no arquivo de cobertura da área global, mas diferem em seus processamentos de correção dos sensores e efeitos atmosféricos (Beck *et al.*, 2011). As séries temporais de longo prazo de NDVI, derivado do sensor AVHRR-NOAA, mais comumente usadas para detectar mudanças em ecossistemas são: *Pathfinder AVHRR Land (PAL)*; *Global Inventory Modeling and Mapping Studies (GIMMS)*; *Land Long Term Data Record (LTDR) version 3 (V3)*; e *Fourier-Adjustment, Solar zenith angle corrected, Interpolated Reconstructed (FASIR)*.

O objetivo inicial do PAL foi gerar registros consistentes de longo prazo de NDVI baseados em ajustes físicos (efeitos do comprimento de onda e correções de Ozônio). Com a mesma proposta, GIMMS acrescentou correção atmosférica e um modo de decomposição empírica para remover *outliers*. Já o FASIR foi derivado do PAL e desenvolvido como uma entrada de Modelos de Circulação Global, incluindo um ajuste de *Fourier* de *outliers* e função de distribuição de reflectância bidirecional (Baldi *et al.*, 2008).

Enquanto as séries PAL têm sido amplamente usadas desde a década de 1990, FASIR e, principalmente, GIMMS tem tido seus usos aumentados desde 2003 (Baldi *et al.*, 2008).

Baldi *et al.* (2008) buscaram detectar e quantificar as mudanças em ecossistemas na América do Sul, através das séries PAL, GIMMS e FASIR. A série GIMMS foi a que apresentou maior percentual de pixels sem tendência de mudanças (86,6%), no período de 1982 a 1999, quando comparado às séries PAL (78,4%) e FASIR (67,3%). Quanto às mudanças positivas nas tendências do NDVI médio anual, a série FASIR foi a que apresentou maior percentual de pixels

(26,7%). Na série PAL esse percentual foi de 19,3 e a série GIMMS apresentou o menor percentual de pixels com mudança positiva 13,3.

Fensholt *et al.* (2009) compararam a acurácia das tendências anuais das séries de oito anos (2000-2007) de NDVI de GIMMS-AVHRR com dados de NDVI do sensor MODIS-TERRA (composição de 16 dias), com resolução de 1 km e 8 km reamostrado, e do SPOT Vegetation (VGT) (composição de 10 dias), com resolução de 1 km, e medições a campo em Dahra, Senegal. As tendências do NDVI do GIMMS-AVHRR se ajustaram melhor às do NDVI-MODIS para regiões semi-áridas. No entanto, NDVI da série GIMMS-AVHRR mostrou tendências positivas mais altas que NDVI/MODIS em áreas mais úmidas. Os dados medidos no campo, em regiões semi-áridas de Senegal, também se ajustaram aos produtos de NDVI dos três satélites. Segundo os autores, usando o NDVI/MODIS como referência, o NDVI de GIMMS-AVHRR é adequado para estudos de vegetação de longo prazo, em regiões com precipitação pluvial de até 1.000mm. No entanto, deve-se ter cuidado ao interpretar dados de NDVI em áreas mais úmidas.

2.3 Análise de agrupamento para determinação de regiões homogêneas

A técnica de classificação de análise de agrupamento consiste em determinar o nível de similaridade ou dissimilaridade entre indivíduos, aplicando uma função de agrupamento a uma determinada variável (Diniz, 2002). A análise de agrupamento classifica os indivíduos de forma hierárquica (produção de seqüências de partição cada vez mais vastas) e não-hierárquica (número de classes é fixado *a priori*) (Martin *et al.*, 2008).

As técnicas de classificação hierárquicas são aquelas cujo resultado é uma repartição dos objetos, feita de tal maneira que pode ser representada por uma árvore (ou chave) de classificação, sendo estas muito utilizadas nas áreas biológicas, em chaves de classificação de plantas e animais. Para estes casos em que há um forte componente determinístico influenciando a formação de grupos, as técnicas hierárquicas são especialmente indicadas. Entretanto, muitas vezes o componente determinístico está ausente ou é desconhecido, sendo então mais adequada uma abordagem probabilística, através do uso das técnicas não hierárquicas (Gurgel, 2000).

Basicamente, as técnicas de classificação buscam arranjar um conjunto de objetos (observações), cada um com múltiplos atributos (variáveis), de forma a agrupar objetos próximos e separar os diferentes. A medida da proximidade entre objetos é determinada pela análise simultânea de todos os atributos de cada objeto em relação aos demais, atributos estes que podem ser qualitativos ou quantitativos. Existem dois tipos de medidas de proximidade: as medidas de similaridade e as distâncias. As medidas de similaridade (e dissimilaridade) são especialmente adequadas quando os objetos são caracterizados por atributos qualitativos. Já as distâncias, que são uma medida especial de dissimilaridade, são utilizadas quando os objetos são caracterizados por atributos quantitativos (Gurgel, 2000).

Uma técnica de classificação não supervisionada é o “*Kmeans*” ou “*K-médias*”: um algoritmo de agrupamento que usa como critério a soma da distância entre cada pixel e o centro do grupo mais próximo (centróide), visando minimizar o quadrado do erro.

“*K-médias*” começa pela inicialização de centróides *K* (meio), atribui cada pixel ao grupo cujo centróide está mais próximo, atualiza os centróides do grupo

e, então, repete o processo até que os centróides K estejam fixos. Uma vez que o seu desempenho depende fortemente da estimativa inicial da partição, um número relativamente grande de grupos é geralmente recomendado para adquirir um padrão inicial de centróides tão completo quanto possível (Miranda, 2011).

A inicialização dos centróides pode ser:

- ✓ por partição aleatória (*random partition*), que trabalha atribuindo aleatoriamente cada pixel a um dos k grupos e, então, determina os centróides iniciais, baseado nestas atribuições iniciais.

- ✓ por pontos semente aleatória (*random seed*): primeiro, pega-se K pontos no conjunto de dados, aleatoriamente, como centróides iniciais e, então, atribui-se cada pixel ao centróide mais próximo, de acordo com a distância mínima.

- ✓ pelo eixo diagonal (*diagonal axis*), define K centróides iniciais do espaço n-dimensional do valor da imagem de entrada de forma sistemática, ou seja, recupera K pontos, uniformemente, sobre uma linha diagonal que começa de um ponto do vetor de valor mínimo ao ponto do vetor de valor máximo, derivado das imagens de entrada.

Além das chaves de classificação de plantas e animais, a análise de agrupamento também é útil para definição de regiões homogêneas, seja para dados climáticos (Diniz *et al.*, 2003; Marques, 2005; Lyra *et al.*, 2006) ou para identificação ou monitoramento da vegetação (Gurgel *et al.*, 2003; Motta *et al.*, 2003).

Através do método de agrupamento de Ward (1963), Lyra *et al.* (2006) determinaram regiões homogêneas em função da sazonalidade da precipitação pluvial mensal no Estado de Táchira, na Venezuela.

Para o Estado do Rio Grande do Sul, a identificação de regiões com comportamentos similares, com relação a dados climáticos foi realizada por Diniz

et al. (2003) e por Marques (2005). Diniz *et al.* (2003) identificaram regiões homogêneas em função da temperatura do ar (mínima e máxima). Já Marques (2005) definiu regiões homogêneas no Estado em função da precipitação pluvial.

As regiões homogêneas, uma vez determinadas, podem servir de subsídio a estudos mais detalhados, como de zoneamentos climáticos e agroclimáticos (Diniz *et al.*, 2003).

Para monitorar a evolução temporal da cultura da soja no Rio Grande do Sul, Motta *et al.* (2003) agruparam cinco regiões homogêneas, através da análise de agrupamento hierárquico pelo método de Ward (1963), o qual utiliza como medida de proximidade (dissimilaridade) a distância euclidiana. Para tal análise foi considerado, como variável de entrada, o NDVI máximo mensal de imagens de AVHRR-NOAA, em 18 janelas de amostragem, para o período de setembro de 1999 a março de 2000, de forma a identificar grupos com padrão semelhante de evolução de NDVI. Os autores concluíram que a evolução temporal do NDVI- AVHRR-NOAA apresenta sensibilidade quanto às diferenças de uso e cobertura do solo, demonstrando que as escalas (espacial e temporal) das imagens são adequadas para o acompanhamento em nível regional da evolução temporal da biomassa.

Gurgel *et al.* (2003) analisou a variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando-se a análise de agrupamento, com base na distância euclidiana, a partir de imagens mensais da série GIMMS-AVHRR-NOAA do período de janeiro de 1982 a dezembro de 1993. A cobertura vegetal no Rio Grande do Sul foi classificada em dois grandes grupos, identificados como: campanhas gaúchas, região de estepe do Sul do Brasil, e floresta ombrófila.

Devido ao potencial apresentado pela análise de agrupamento para classificar os grandes grupos de vegetação do Brasil, Gurgel (2000) recomendou

aplicar esta técnica nos dados de NDVI, utilizando resolução espacial de 8 km, já que a análise foi feita para uma resolução espacial de 64 km. Segundo a autora, isso possibilitaria uma melhor separação dos diversos tipos de vegetação e, conseqüentemente, uma melhor compreensão da variabilidade climática associada.

Outra recomendação de Gurgel (2000) para um melhor aproveitamento da alta resolução temporal das imagens GIMMS-AVHRR-NOAA, seria utilizar uma série temporal mais longa, abrangendo vários episódios de ENOS, já que a série utilizada foi de apenas 12 anos (1982 a 1993). Isto possibilitaria uma melhor caracterização do impacto desse fenômeno nos diversos tipos de vegetação.

A autora também recomenda o uso de outras variáveis climáticas que, eventualmente, podem afetar o comportamento da cobertura vegetal, como por exemplo, temperatura, e medidas diretas de precipitação, o que poderia permitir uma melhor caracterização da relação entre a variabilidade climática e o NDVI.

2.4 Clima e vegetação

Clima e vegetação são sistemas complexos, dinâmicos e em contínua evolução, cujos processos de transformação estão estreitamente interrelacionados (Pacicco *et al.*, 2009).

A variabilidade climática é um dos principais fatores das variações interanuais no desenvolvimento da vegetação (Zhou *et al.*, 2001). Neste contexto, estudos de análises da conexão entre a cobertura vegetal e a variabilidade climática são de grande importância para o desenvolvimento de práticas de manejo sustentáveis e adaptadas, principalmente em condições climáticas adversas (Wagner, 2013).

As mudanças na vegetação causadas por mudança e variabilidade climáticas afetam todos os setores dependentes da vegetação, como a produção de alimentos (agricultura), atividades florestais e vida silvestre (Timiza, 2011).

Muitos estudos têm demonstrado que a variabilidade da precipitação pluvial e temperatura alteram a condição da cobertura vegetal, influenciando fortemente os padrões temporais e espaciais do NDVI. Alguns dos estudos recentes com este enfoque são os trabalhos de Timiza (2011) no continente africano e de Pacicco *et al.* (2009) no continente Europeu. No Brasil, Batista *et al.* (1993) utilizaram dados do AVHRR para acompanhar o desenvolvimento da vegetação associada à precipitação pluvial ocorrida, tendo em vista que o crescimento e o desenvolvimento da vegetação são resultantes das condições meteorológicas disponíveis durante o ciclo.

Timiza (2011) estudou a relação entre a variabilidade climática e a vegetação no leste da África. Segundo o autor, análises entre as variáveis ambientais e NDVI podem revelar condições e tendências da vegetação, assim como relações existentes entre ambos.

Em estudos na Sardenha, Itália, Pacicco *et al.* (2009) estudaram o impacto da variabilidade climática sobre as transformações na paisagem rural, utilizando imagens mensais de CMV de NDVI-AVHRR-NOAA de janeiro de 2000 a dezembro de 2007. Os autores encontraram aumento do NDVI, relacionado ao aumento da precipitação pluvial mensal, em consequência da maior biomassa produzida com a maior disponibilidade hídrica. No entanto, o aumento do NDVI apresentou um retardo, em relação ao aumento pluviométrico, o que é atribuído à resposta biológica específica dos sistemas naturais. Na área onde predominam arbóreas, o aumento de NDVI é constante, enquanto que nas demais áreas

estudadas, onde a vegetação predominante é a típica mediterrânea, a oscilação do NDVI em relação ao aumento da precipitação é mais ampla.

Para os autores supracitados não foi possível verificar mudanças na vegetação natural pelas mudanças climáticas, devido à série de NDVI ser muito curta (2000-2007).

Timiza (2011) verificou tendências, estatisticamente significativas, de redução do NDVI médio e da precipitação pluvial, na maior parte da Tanzânia, entre 1982 e 2008. Ao utilizar técnicas de filtragem de ruídos na série como a Savitsky-Golay e defasagem de um e dois meses, as correlações encontradas entre precipitação pluvial e TSM, com NDVI foram de 0,5 a 0,8. No entanto, sem estas técnicas as correlações foram menores do que 0,5. Segundo os autores, isto sugere que a variabilidade da precipitação pluvial e da TSM explicam apenas a metade da variabilidade na vegetação.

2.5 El Niño Oscilação Sul (ENOS)

A variabilidade climática anual é bem caracterizada e está associada às estações do ano (Gurgel, 2000). No que se refere à variabilidade interanual, em escala global, destaca-se a ocorrência do El Niño Oscilação Sul (ENOS).

ENOS é um fenômeno de grande escala que se origina no Oceano Pacífico Equatorial e tem seus efeitos observados em distintas regiões do Globo. El Niño (EN) representa o componente oceânico do fenômeno e está associado a variações na temperatura da superfície do mar, enquanto que o componente atmosférico, denominado Oscilação Sul (OS), expressa a correlação inversa existente entre a pressão atmosférica nos extremos leste e oeste deste Oceano (Berlato & Fontana, 2003).

Em condições de El Niño, verifica-se um aquecimento das águas, simultaneamente à diminuição da pressão atmosférica no Pacífico leste (fase quente ou fase negativa). Em condições de La Niña, ocorre um resfriamento das águas e um aumento na pressão atmosférica na região leste do Pacífico (fase fria ou fase positiva) (Berlato & Fontana, 2003).

O aumento da emissão dos fluxos de calor sensível e vapor d'água da superfície do Oceano Pacífico Equatorial para a atmosfera, provocado pelo aumento da temperatura da água durante o El Niño, provoca mudanças na circulação atmosférica e na precipitação pluvial, em escala regional e global (CPTEC – INPE, 2014).

Segundo pesquisas do CPTEC – INPE (2014), no Brasil, as regiões do semi-árido do Nordeste, norte e leste da Amazônia, sul do Brasil e vizinhanças são as mais afetadas pelas mudanças na circulação atmosférica durante episódios de El Niño.

A Região Sul do Brasil é afetada por aumento de precipitação, particularmente durante a primavera no primeiro ano e, no fim do outono e início do inverno, no segundo ano (CPTEC – INPE, 2014).

No Rio Grande do Sul, os principais efeitos associados ao ENOS estão relacionados com a precipitação pluvial e a temperatura do ar (Berlato & Fontana, 2003).

Ao analisar os efeitos associados ao ENOS na precipitação pluvial, Puchalski (2000) corroborou trabalho anterior de Fontana & Berlato (1997), concluindo que El Niño produz anomalias positivas e La Niña anomalias negativas na precipitação. Segundo Puchalski (2000), a influência do ENOS é maior na região noroeste do Rio Grande do Sul e seus impactos são maiores na primavera e início do verão (outubro a dezembro) do ano de início do fenômeno, meses em

que um adequado suprimento hídrico é importante para o estabelecimento dos cultivos de primavera-verão.

Segundo Fontana & Almeida (2002) o ENOS influencia também o número de dias de precipitação pluvial no Rio Grande do Sul, sendo maior durante os eventos El Niño e menor durante os eventos La Niña. Segundo as autoras o nordeste do Estado é onde se verificam os maiores efeitos associados ao fenômeno ENOS no número de dias com precipitação pluvial.

Quanto à influência do ENOS na temperatura do ar no Rio Grande do Sul, Berlato & Fontana (2003) relataram que os impactos do ENOS são maiores na temperatura mínima do ar, com desvios médios em relação aos eventos neutros (sem ocorrências do fenômeno) iguais ou maiores do que 1°C em vários meses do ano, enquanto que na temperatura máxima os desvios na maioria dos meses do ano não passaram de 0,5°C.

Puchalski (2000) constatou que a temperatura média do ar em anos de La Niña é inferior à temperatura normal, em praticamente todos os meses do ano. E, posteriormente, Lopes & Berlato (2003) constataram que o efeito sobre a temperatura média ocorre, como consequência da menor temperatura mínima do ar em eventos La Niña, em todos os meses do ano, mas, principalmente na primavera e início de verão, do primeiro ano de ocorrência do fenômeno.

Ao analisarem o trimestre de maior impacto do fenômeno (outubro-novembro-dezembro), Cordeiro & Berlato (2009) observaram que, nas classes de temperatura mínima do ar mais baixas, a maior frequência é de eventos La Niña, quando comparadas aos eventos neutros e El Niño.

Quanto ao déficit hídrico no Rio Grande do Sul, Puchalski (2000) conclui que, os riscos de ocorrência deste no final da primavera e início de verão aumentam significativamente, em anos de La Niña, principalmente na metade sul

do Estado. Por outro lado, as probabilidades de ocorrência de déficit hídrico diminuem drasticamente, em anos de El Niño, praticamente desaparecendo em grandes áreas do norte e nordeste do Estado. Posteriormente, Leivas (2003) confirmou que a deficiência hídrica decendial na metade sul do Estado diminui no final de primavera e verão, em anos de El Niño.

Com relação ao efeito do ENOS sobre o NDVI Jacobsen *et al.* (2004) mostraram que parte da variabilidade interanual do padrão de evolução do NDVI está associada à ocorrência do fenômeno El Niño e La Niña, como consequência, principalmente, do efeito deste fenômeno sobre a precipitação pluvial no Estado.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

As análises abrangeram todo o Estado do Rio Grande do Sul, que está situado no extremo meridional do Brasil, entre os paralelos 27°03'42" e 33°45'09" latitude Sul, e os meridianos 49°42'41" e 57°40'57" longitude Oeste, com uma superfície total de 281.748,538 km², incluindo a Laguna dos Patos (10.049,622 km²) e a Lagoa Mirim (2.811,529 km²) (IBGE, 2002).

As maiores altitudes do Rio Grande do Sul são encontradas no nordeste do Estado, nos Aparados da Serra, enquanto que as menores altitudes encontram-se junto à costa litorânea do Oceano Atlântico, próximas ao nível médio do mar (Fortes, 1959). O ponto mais alto do Rio Grande do Sul está a 1.398m a 28°37'06" de latitude Sul e a 49°48'02" de longitude Oeste (IBGE, 2011).

No entanto, foi realizado um estudo de caso no Parque Florestal Estadual do Turvo, que possui, aproximadamente, 17.500 ha (27°07' a 27°16' latitude Sul e 53°48' a 54°04' longitude Oeste), às margens do Rio Uruguai, no município de Derrubadas, noroeste do Rio Grande do Sul (Figura 7) (Podgaiski *et al.*, 2007).

A área do Parque enquadra-se como região fitoecológica da Floresta Estacional Decidual do Alto Uruguai (Teixeira *et al.*, 1986) e corresponde a 56% da área total dos remanescentes da Floresta Decidual, encontrando-se desconectada dos demais fragmentos (SEMA/DEFAP, 2005).

Nesta área o pixel denominado “Turvo pixel Norte” corresponde ao pixel com maior percentual de ocupação com floresta. Enquanto que o “Turvo pixel Leste” corresponde ao de menor percentual com este tipo de vegetação, sendo o restante ocupado, predominantemente, por cultivos agrícolas.

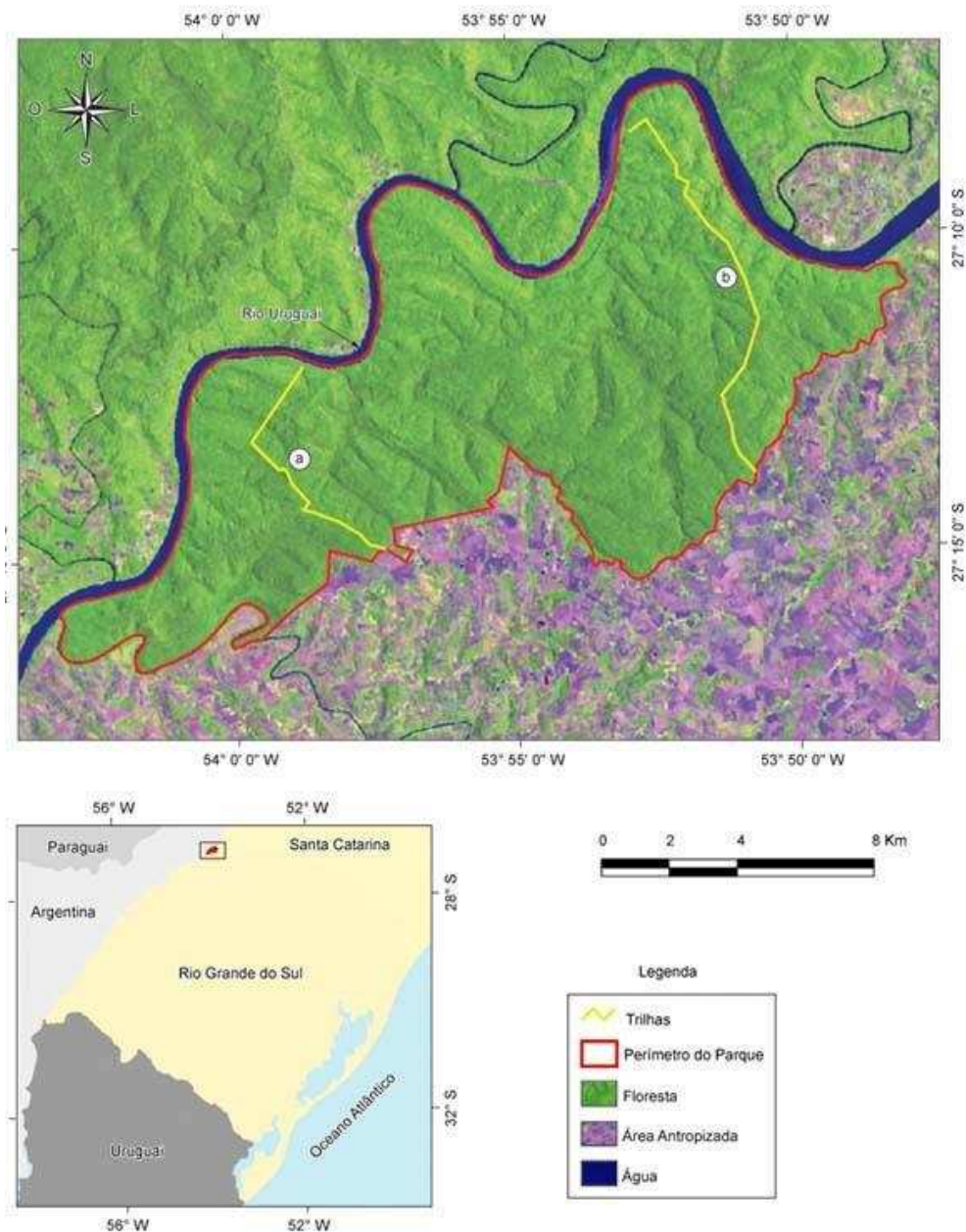


FIGURA 7. Parque Florestal Estadual do Turvo em Derrubadas, Rio Grande do Sul. Fonte: Podgaiski *et al.* (2007).

3.1.1 Clima

O Rio Grande do Sul é influenciado por massas de ar, oriundas da região polar e das áreas tropicais, continental e atlântica. A movimentação e os encontros destas massas definem muitas das características climáticas ocorrentes no Estado (RIO GRANDE DO SUL, 2011).

Segundo a classificação climática de Wladimir Köppen (Köppen, 1948), o clima predominante no Rio Grande do Sul é o tipo Cfa, subtropical ou temperado quente, com temperatura média do mês mais frio entre -3 e 18°C , e temperatura média do mês mais quente superior aos 22°C . A letra “f” indica que em nenhum mês a precipitação pluvial é inferior a 60mm. A letra “a” indica verão quente, enquanto que a letra “b” indica verão ameno, com temperatura média do mês mais quente inferior aos 22°C , o que ocorre em regiões de maior altitude do Estado, como a Serra do Nordeste, os Campos de Cima da Serra e a Serra do Sudeste, onde o clima é do tipo Cfb.

A temperatura média do ar no Rio Grande do Sul apresenta variação estacional, com verões quentes e invernos rigorosos, com a ocorrência de geada (RIO GRANDE DO SUL, 2011). Tanto a temperatura média anual como a temperatura do ar nas quatro estações do ano apresentam maiores valores nas partes: oeste, central e leste, junto à Laguna dos Patos e menores, na parte Nordeste do Estado (Figura 8).

A temperatura média do ar anual no Rio Grande do Sul é de $18,8^{\circ}\text{C}$ (média do período de 1980 a 2009), variando de $13,3^{\circ}\text{C}$ em julho até $23,9^{\circ}\text{C}$ em janeiro. Os valores médios de temperatura máxima do ar variam de $18,1$ a $29,4^{\circ}\text{C}$ e de temperatura mínima do ar de $8,8$ a $18,7^{\circ}\text{C}$, nestes mesmos meses (Cordeiro, 2010).

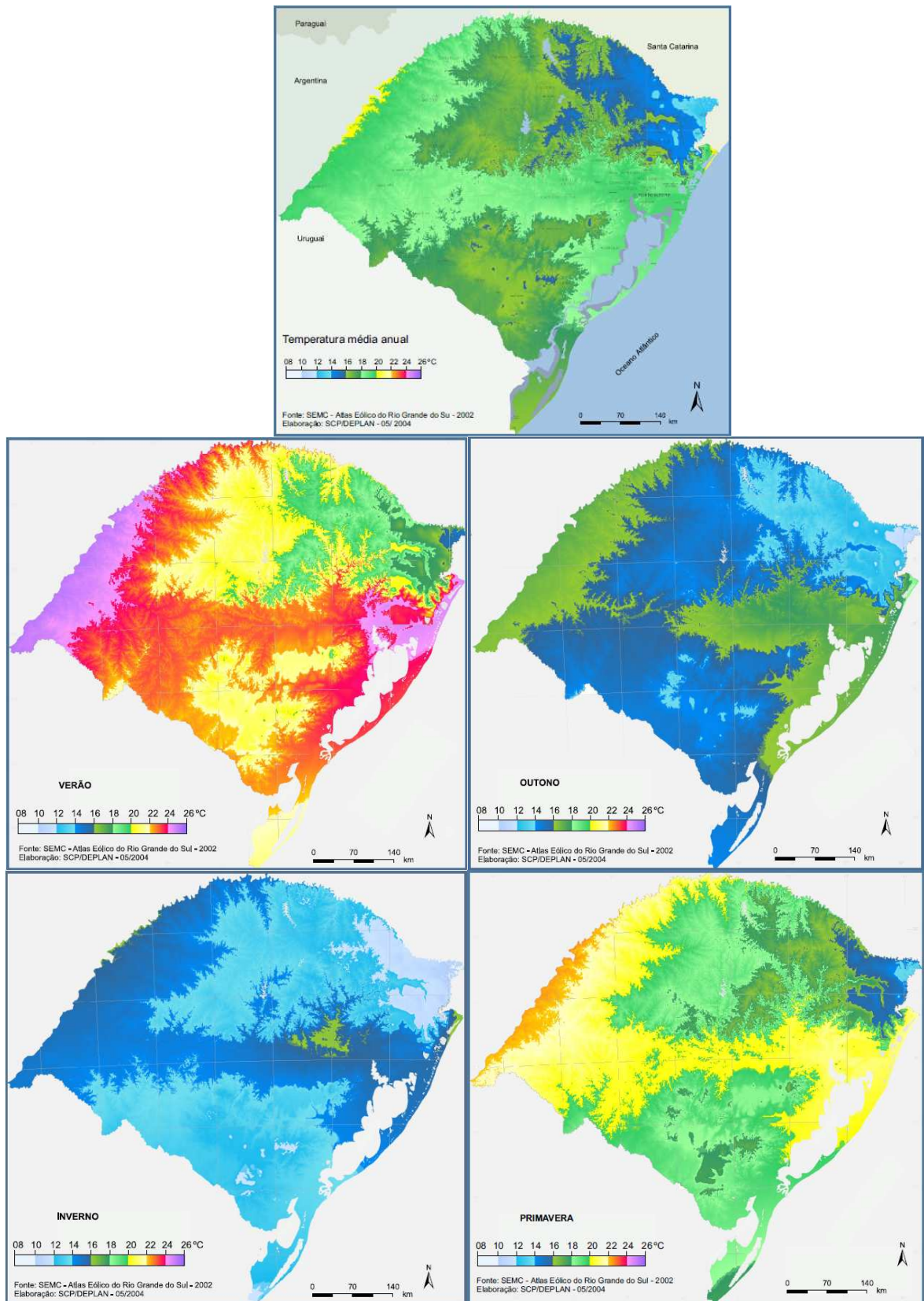


FIGURA 8. Mapas de temperatura média do ar no Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://www.scp.rs.gov.br/atlas/default.asp>>. Acesso em: 14 ago. 2014.

A precipitação pluvial anual média do Estado (período 1980-2009) é cerca de 1.672mm (Cordeiro, 2010), ocorrendo 27% deste total na primavera, 25% no outono, 24% no verão e 23% no inverno. Conforme Berlato & Cordeiro (2005), na metade norte do Estado (mais ou menos ao norte do paralelo de 30° Sul) as precipitações pluviais anuais médias são superiores a 1.550mm e na metade sul são inferiores a este valor. Também, as precipitações pluviais médias de todos os meses são maiores na metade norte do que na metade sul do Estado, com intensidade maior no nordeste do Estado (RIO GRANDE DO SUL, 2011).

3.1.2 Solo

No Rio Grande do Sul, a complexa diversidade geológica, climática e de relevo originou uma grande variedade de tipos de solos (Figura 9), com distintas características físicas e químicas, que refletem em diferentes aptidões de uso e manejo dos mesmos (Streck *et al.*, 2002).

Na região de planaltos, em grande parte de derrames basálticos, onde predominam os Latossolos, profundos, de excelentes propriedades físicas e de fertilidade facilmente corrigível pela adubação e calagem, concentra-se a maior parte da produção de grãos do Rio Grande do Sul, tais como milho, soja e trigo. Essa região é muito suscetível à erosão, razão pela qual tem sido implantado, em larga escala, o sistema de plantio direto. Já nas planícies os sistemas produtivos predominantes são a pecuária e a orizicultura. Solos como Gleissolos, Neossolos Flúvicos, Cambissolos (derivados de sedimentos fluiviais), Planossolos, Plintossolos e Organossolos são os mais representativos desses ambientes (Manzatto, 2002).

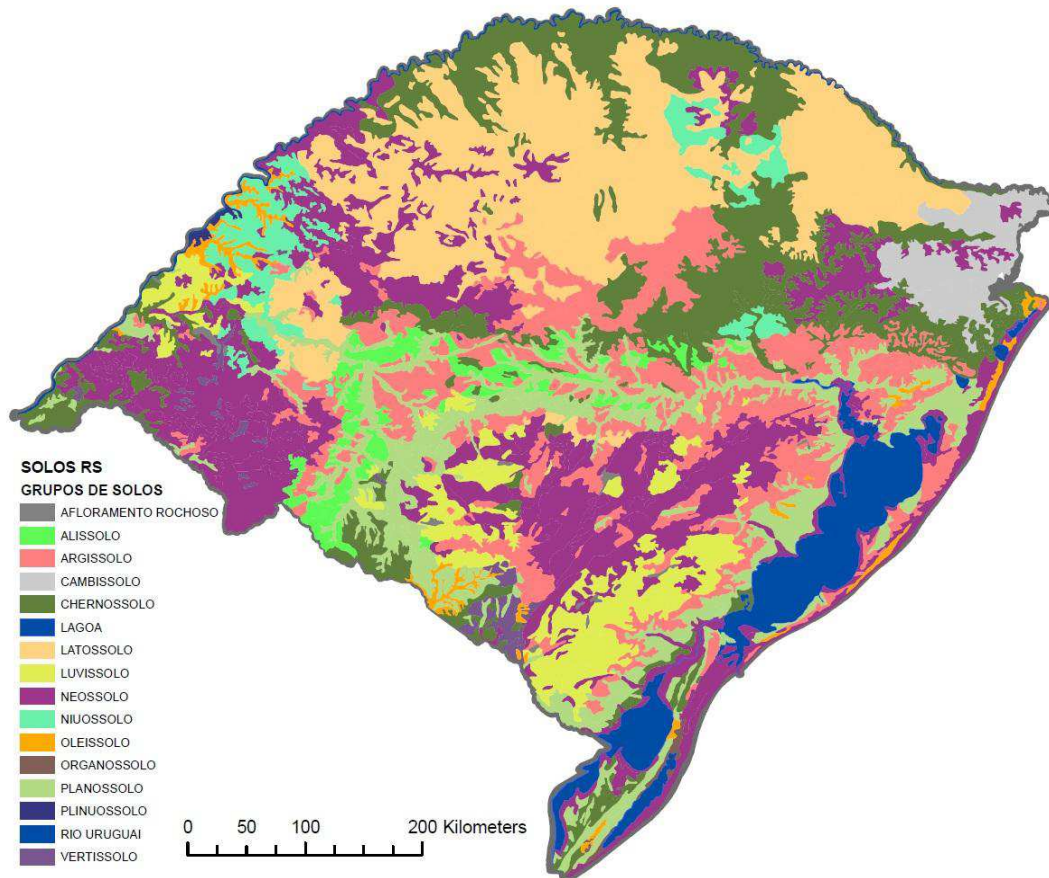


FIGURA 9. Grupos de solos do Rio Grande do Sul. (FEPAM/FAURGS/UFRGS, 2001). Disponível em: <www.fepam.rs.gov.br>. Acesso em: 12 set. 2013.

3.2 Base de dados

A base de dados para o período de estudo de janeiro de 1982 a dezembro de 2008 é composta por dados de: NDVI; variáveis meteorológicas; TSM do Oceano Pacífico Equatorial; e mapas de suporte para interpretação dos resultados.

3.2.1 Dados de NDVI das imagens da série GIMMS

A base de dados de NDVI consta de uma coleção de imagens globais mensais de NDVI da série GIMMS (Figura 10), do sensor AVHRR-NOAA, que foi obtida gratuitamente via FTP (*File Transfer Protocol*) no endereço eletrônico da NASA <<http://ftp.glcg.umd.edu/data/gimms/>>.

As imagens NDVI da série GIMMS têm Projeção *Albers Equal Area Conic*, elipsóide *Clarke 1866*, em coordenadas geográficas, *datum WGS84* e resolução espacial de 8 km (aproximadamente $0,072^\circ$), sendo reamostragens das imagens globais do projeto de monitoramento de cobertura da área global (*Global Area Coverage - GAC*) com resolução espacial de 4 km (GLCF, 2011). Portanto, a área de um pixel das imagens da série GIMMS representa 6.400 ha do terreno.

As imagens globais mensais totalizaram 324 imagens (janeiro de 1982 a dezembro de 2008). A preferência por imagens mensais e não pelas quinzenais visou minimizar possíveis efeitos de baixa qualidade de valores de NDVI, seja por serem valores fora do nadir ou por pixels com contaminação de vapor d'água.

As imagens mensais são Composições de Máximo Valor (CMV), o que significa que é atribuído a cada pixel o maior valor de NDVI de cada mês, a fim de reduzir a influência de nuvens no sinal de NDVI.

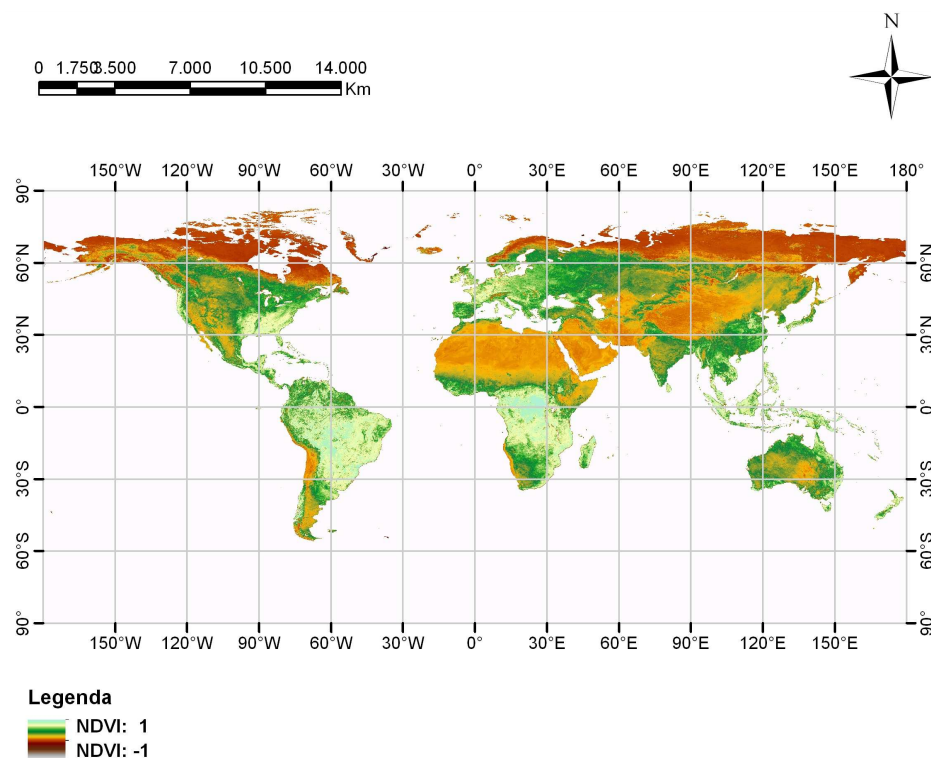


FIGURA 10. Exemplo de imagem global de NDVI (janeiro de 2008). Fonte: Adaptada da imagem original da série GIMMS.

A maior parte dos processamentos das 324 imagens de NDVI foi realizada através de macros, a fim de automatizar o maior número possível de operações, visando reduzir os possíveis erros gerados pela manipulação do usuário.

As imagens globais de NDVI da série GIMMS-AVHRR-NOAA tiveram a área de estudo recortada em um retângulo, compreendendo o Rio Grande do Sul e foram reprojetaadas para o sistema de coordenadas geográficas “*Lat Long*”.

Foram geradas as máscaras para extração de corpos d’água, centros urbanos e limite do Rio Grande do Sul, a partir de vetoriais obtidos dos mapas temáticos da base cartográfica do IBGE (*shapefiles*). Pela operação de multiplicação destes planos de informação, foi gerada a máscara final (Figura 11), que, convertida para uma imagem vetorial, serviu de base para as demais operações. As imagens de NDVI do Rio Grande do Sul foram divididas por 10.000, para adequar os valores de NDVI dos pixels para a faixa de -1 e 1, e, multiplicadas pela máscara final.

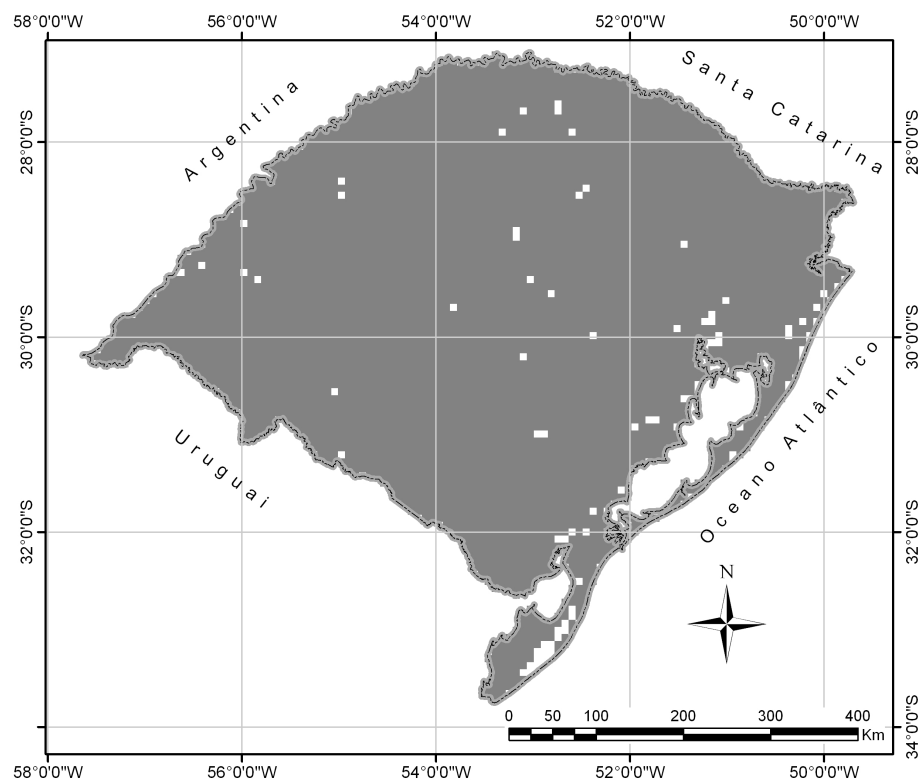


FIGURA 11. Máscara de corpos d’água e centros urbanos (pixels brancos), e limite do Rio Grande do Sul.

3.2.2 Variáveis meteorológicas

Foram organizadas, séries históricas mensais de variáveis meteorológicas de 14 estações meteorológicas do Rio Grande do Sul (Bagé, Bom Jesus, Caxias do Sul, Cruz Alta, Encruzilhada do Sul, Iraí, Passo Fundo, Pelotas, Porto Alegre, Rio Grande, Santa Maria, Santa Vitória do Palmar, São Luiz Gonzaga e Uruguaiana) representando as distintas regiões ecoclimáticas do Estado (Figura 12).

A fonte das variáveis meteorológicas (precipitação pluvial, insolação e temperatura do ar – mínima e máxima) foi o 8º Distrito do Instituto Nacional de Meteorologia (8º DISME/INMET). As séries de temperatura mínima e de temperatura máxima do ar (°C) são valores médios mensais, e, as séries de precipitação pluvial (mm) e de insolação (horas e décimos) são valores totais mensais. A série de dados de temperatura média do ar foi obtida pela média entre a temperatura mínima e máxima do ar.

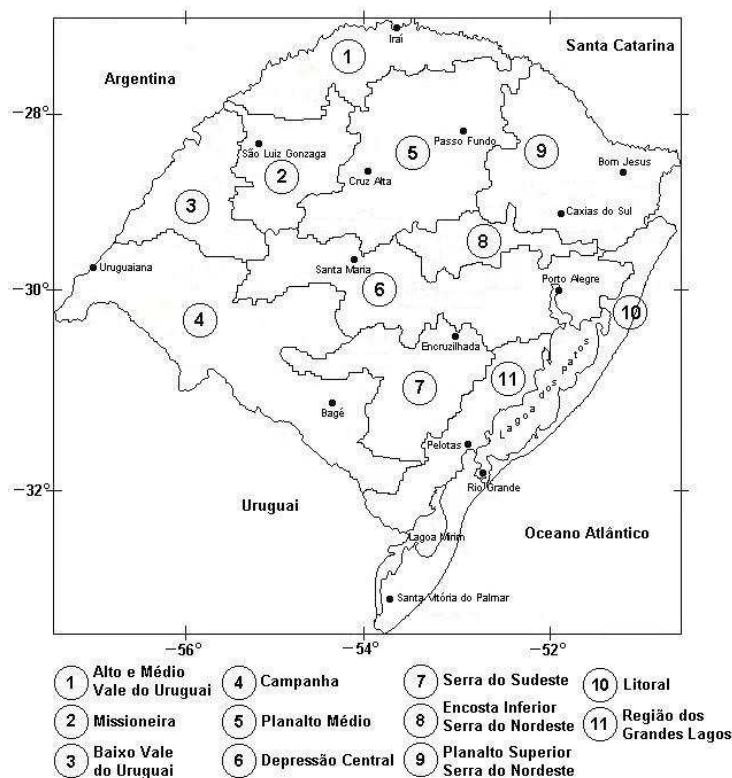


FIGURA 12. Estações meteorológicas e regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul. Fonte: Adaptado de RIO GRANDE DO SUL (1994).

3.2.3 Dados de TSM do Oceano Pacífico equatorial

No Oceano Pacífico equatorial, a região do Niño 3.4 (Figura 13) é a que tem mostrado a melhor associação entre a anomalia da TSM e a variabilidade climática em diversas regiões (Trenberth, 1997). Portanto, como indicador de variabilidade climática foram utilizados dados de anomalias padronizadas da TSM.

Os dados mensais de TSM da região do Niño 3.4 do Oceano Pacífico equatorial foram obtidos no endereço eletrônico da NOAA <<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/nina34.data>>.

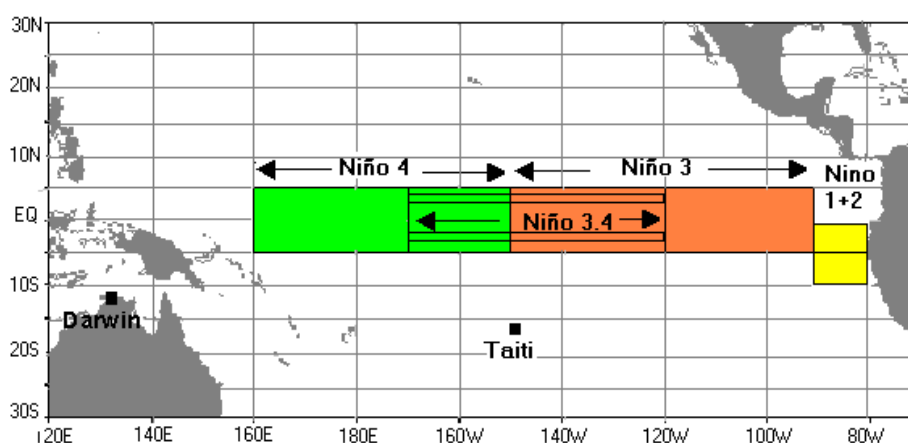


FIGURA 13. Região dos Niños no Oceano Pacífico equatorial. Fonte: Berlatto & Fontana (2003).

3.2.4 Mapas de suporte para interpretação dos resultados

Os mapas de vegetação (Figura 14) das regiões fitoecológicas (Figura 3) e do macrozoneamento ambiental do Rio Grande do Sul (Figura 15) foram utilizados como base para identificar o tipo de vegetação predominante nas diferentes regiões e para a discussão dos principais padrões de uso e ocupação do solo.



FIGURA 14. Mapa da vegetação original, vegetação atual e ação antrópica do Estado do Rio Grande do Sul. Fonte: Flavia La Salvia (1983). Disponível em: <http://www.ihgrgs.org.br/cd_mapas_rs/CD/imagens/mapas/cap_4/cap_4.2/395-151.htm>. Acesso em: 24 jan. 2012.

O mapa apresentado na Figura 14 foi elaborado na escala 1:110.000, a partir de recobrimento aerofotogramétrico realizado em 1976, contendo dois temas correlacionados, sendo o primeiro tema a vegetação original e o segundo tema a vegetação ou ação antrópica no Estado do Rio Grande do Sul ao final da década de 1970. Este mapa foi fundamental para a discussão dos resultados deste trabalho, a fim de identificar os tipos de formação vegetal original do Rio Grande do Sul.

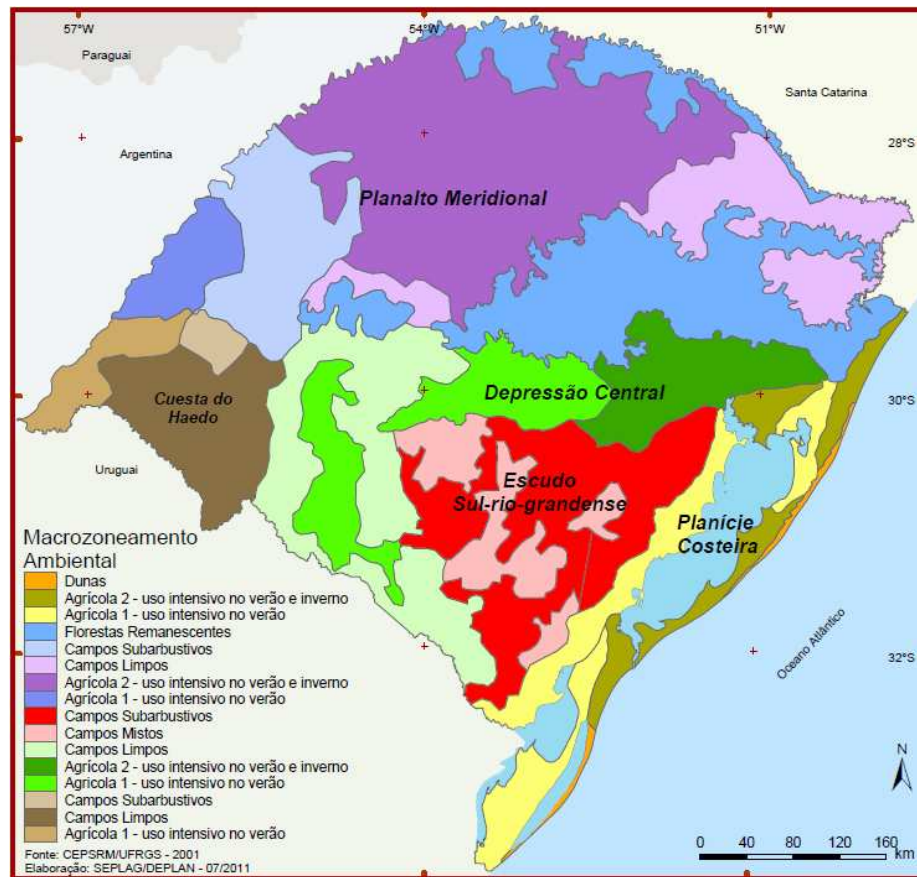


FIGURA 15. Macrozoneamento ambiental do Rio Grande do Sul. Fonte: Guasselli *et al.* (2006).

3.3 Análises

3.3.1 Análise de padrões, variabilidade e tendência temporais do NDVI no Rio Grande do Sul

Primeiramente, a cobertura vegetal do Rio Grande do Sul foi caracterizada espaço-temporalmente, através do NDVI médio.

Espacialmente, a variabilidade do NDVI no Rio Grande do Sul foi caracterizada através de imagens mensais. Para cada um dos doze meses do ano foi elaborada uma imagem, em que cada pixel representou a média do período de 1982 a 2008. Também, foi elaborada uma imagem média do período todo (324 meses).

A fim de descrever e comparar a variabilidade entre os anos e entre os meses, os dados de NDVI médio do Rio Grande do Sul foram representados na forma de diagramas de caixa, de duas maneiras. Em um primeiro momento, o eixo “x” do gráfico correspondeu aos meses, com os 27 anos distribuídos para cada mês. Desta forma, foi possível, também, acompanhar o transcurso anual da vegetação no Estado. Em um segundo momento, o eixo “x” do gráfico correspondeu aos anos, com os 12 meses distribuídos para cada ano. Neste caso, foi possível identificar os anos de maior e menor variabilidade.

As tendências de aumento/redução do NDVI médio no Rio Grande do Sul, no período de 1982 a 2008, foram avaliadas em escala temporal e espacial.

A avaliação das tendências temporais do NDVI no Estado foi feita de duas formas: paramétrica (pelo teste *t*-Student) e não paramétrica (pelo teste de tendência monotônica de Mann-Kendall). Em ambos os casos, foi avaliada a significância estatística das tendências (aumento/redução) ao nível de significância de 5% de probabilidade de erro.

A tendência temporal do NDVI foi avaliada pelo Teste *t*-Student. Na regressão linear simples, admite-se que há mudanças (positivas ou negativas) quando a variação do elemento em questão (NDVI) no tempo é, significativamente, diferente de zero ($H_0: \beta = 0$, não existe tendência; $H_1: \beta \neq 0$, existe tendência; no nível de significância estabelecido).

A variabilidade e tendência temporal do NDVI médio foram avaliadas para o Rio Grande do Sul na série completa (324 meses) e para as médias anuais. Para explorar ainda mais a variabilidade do NDVI médio do Rio Grande do Sul a série completa foi dividida em três períodos de nove anos e analisada através de um diagrama de caixa.

O teste de tendência monotônica de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) é um indicador de tendência não linear, que mede a diferença entre a frequência relativa dos aumentos e a frequência relativa das diminuições. Em um intervalo de -1 a 1, valores positivos indicam tendência de aumento e valores negativos indicam tendência de decréscimo. Logo, a tendência não paramétrica foi avaliada através do coeficiente Tau de Mann-Kendall para uma função ajustada pixel a pixel ao longo da série e discutida espacialmente.

3.3.2 Correlação da TSM, variáveis meteorológicas e NDVI no Rio Grande do Sul

A partir dos dados mensais, foram calculadas as médias de NDVI, de TSM, e as médias ou somas das variáveis meteorológicas (para as 14 estações meteorológicas), para a análise anual e estacional: verão (dezembro-janeiro-fevereiro), outono (março-abril-maio), inverno (junho-julho-agosto) e primavera (setembro-outubro-novembro).

Foram calculadas e utilizadas como indicadores de variabilidade climática, as anomalias padronizadas (pelos desvios padrões) em relação ao período de 1982 a 2008 das séries das variáveis meteorológicas, de NDVI e de TSM. Estes dados foram correlacionados entre si e a relação foi visualizada através de gráficos de linha.

Foi analisada a correlação de Pearson entre as séries temporais de anomalias padronizadas, anuais e estacionais. A TSM foi correlacionada com as variáveis meteorológicas e com o NDVI médio do Rio Grande do Sul e, as variáveis meteorológicas com o NDVI. A significância estatística das correlações foi avaliada pelo Teste *t*-Student, ao nível de probabilidade de 5%.

3.3.3 NDVI no Rio Grande do Sul em eventos El Niño e La Niña

Foram calculadas as médias móveis de três meses do NDVI médio do Rio Grande do Sul para o período de janeiro de 1982 a dezembro de 2008. A seguir foram identificados os trimestres em que houve a ocorrência dos eventos de El Niño e La Niña. Essa identificação dos eventos baseou-se na classificação do *National Weather Service/Climate Prediction Center* (NOAA, 2014), a qual considera o desvio de +/- 0,5°C da TSM (média móvel de três meses de anomalia na região do 3.4, por no mínimo cinco meses), em relação ao período base de 30 anos (1971-2000), atualizado a cada cinco anos (Tabela 2).

TABELA 2. Anomalia da TSM em episódios quentes (El Niño – em vermelho), frios (La Niña – em azul) do fenômeno ENOS e episódios neutros (em preto) por trimestres no período de 1982 a 2008.

Anos	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1982	-0,1	0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,7	1	1,5	1,9	2,1	2,2
1983	2,2	1,9	1,5	1,2	0,9	0,6	0,2	-0,2	-0,5	-0,8	-0,9	-0,8
1984	-0,5	-0,3	-0,3	-0,4	-0,5	-0,5	-0,3	-0,2	-0,3	-0,6	-0,9	-1,1
1985	-1	-0,9	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4
1986	-0,5	-0,4	-0,2	-0,2	-0,1	0	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,2
1987	1,2	1,3	1,2	1,1	1	1,2	1,4	1,6	1,6	1,5	1,3	1,1
1988	0,8	0,5	0,1	-0,2	-0,8	-1,2	-1,3	-1,2	-1,3	-1,6	-1,9	-1,9
1989	-1,7	-1,5	-1,1	-0,8	-0,6	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,1
1990	0,1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4
1991	0,3	0,2	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8	1,2	1,4
1992	1,6	1,5	1,4	1,2	1	0,7	0,3	0	-0,2	-0,3	-0,2	0
1993	0,2	0,3	0,5	0,6	0,6	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
1994	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	1	1,2
1995	1	0,8	0,6	0,3	0,2	0	-0,2	-0,4	-0,7	-0,8	-0,9	-0,9
1996	-0,9	-0,8	-0,6	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,5
1997	-0,5	-0,4	-0,1	0,2	0,7	1,2	1,5	1,8	2,1	2,3	2,4	2,3
1998	2,2	1,8	1,4	0,9	0,4	-0,2	-0,7	-1	-1,2	-1,3	-1,4	-1,5
1999	-1,5	-1,3	-1	-0,9	-0,9	-1	-1	-1,1	-1,1	-1,3	-1,5	-1,7
2000	-1,7	-1,5	-1,2	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,6	-0,6	-0,8	-0,8
2001	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,2	-0,1	0	0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3
2002	-0,2	0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,8	0,8	0,9	1,2	1,3	1,3
2003	1,1	0,8	0,4	0	-0,2	-0,1	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3
2004	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7
2005	0,6	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0	-0,2	-0,5	-0,8
2006	-0,9	-0,7	-0,5	-0,3	0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1	1
2007	0,7	0,3	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,6	-0,8	-1,1	-1,2	-1,4
2008	-1,5	-1,5	-1,2	-0,9	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	-0,2	-0,5	-0,7

Fonte: NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. National Weather Service. Climate Prediction Center. Disponível em: < http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml>. Acesso em: 15 mai. 2014.

Foram, então, calculadas as médias dos trimestres JJA (junho-julho-agosto), JAS (julho-agosto-setembro), ASO (agosto-setembro-outubro), SON (setembro-outubro-novembro), OND (outubro-novembro-dezembro), NDJ (novembro-dezembro-janeiro), DJF (dezembro-janeiro-fevereiro), JFM (janeiro-fevereiro-março), FMA (março-abril-maio), MAM (março-abril-maio), AMJ (abril-maio-junho), MJJ (maio-junho-julho) para os eventos de El Niño, La Niña e média dos 27 anos de estudo (compreendendo El Niño, La Niña e eventos neutros). Para análise destes foram elaborados gráficos de linhas.

Para os mesmos doze trimestres foram calculadas as anomalias padronizadas (pelos desvios padrões), em relação à média do período de 1982 a 2008, para o NDVI médio do Rio Grande do Sul nos eventos de El Niño e La Niña. E, através de um gráfico de barras foi analisado o período de maior impacto do ENOS sobre o NDVI do Estado.

Foi construída uma tabela de contingência das anomalias padronizadas do NDVI no Rio Grande do Sul no trimestre de JFM para os eventos de El Niño, La Niña e neutros, nos quais o NDVI foi contabilizado e estratificado nos tercís (baixo, médio e alto).

Complementando o estudo de caso do impacto do ENOS sobre o NDVI no Rio Grande do Sul foram selecionados os períodos de maio de 1987 a janeiro de 1988 e de maio de 1988 a janeiro de 1989, a fim de caracterizar esta relação, em um evento El Niño e em um evento La Niña, respectivamente. O período de El Niño foi selecionado por estar inserido no mais longo El Niño do período de estudo. Segundo Trenberth (1997) este El Niño durou 19 meses (agosto de 1986 a fevereiro de 1988). Portanto, selecionou-se para comparação a La Niña mais próxima e com duração semelhante, que foi a La Niña de maio de 1988 a junho de 1989, com duração de 14 meses (Trenberth, 1997). Para melhor comparação,

através de gráficos, e a fim de evitar o número excessivo de imagens para análise, destes períodos foram escolhidos para discussão nove meses contínuos e concomitantes para os dois eventos, de forma a abranger o período de maior impacto do fenômeno no Rio Grande do Sul (primavera-verão) (Berlato & Fontana, 1997). Na análise dos efeitos associados a estes eventos no Estado foram utilizados dados de precipitação pluvial mensal (média das 14 estações meteorológicas) e dados de NDVI médio. Para a análise espacial foram elaboradas imagens de desvio da média do período de 1982 a 2008.

Para cada ano da série de 1982 a 2008 foi feita uma imagem média do trimestre de maior impacto do El Niño sobre o NDVI, e a partir destas foi construída uma imagem média desse trimestre. Também foram feitas imagens médias do mesmo trimestre, utilizando para o cálculo apenas os anos em que houve El Niño e construída uma imagem média destas. A partir da diferença entre imagem média do trimestre de El Niño e a imagem média do trimestre em estudo foi construída uma imagem de desvio da média de NDVI. O mesmo foi realizado para o trimestre de maior impacto da La Niña sobre o NDVI.

Esses trimestres foram escolhidos a partir da análise do período de ocorrência das maiores anomalias padronizadas de NDVI. Maiores anomalias positivas para a escolha do trimestre de maior impacto do El Niño e, negativas no caso da La Niña.

3.3.4 Definição das regiões homogêneas quanto à variabilidade temporal média do NDVI

Através da técnica “K-médias”, que utiliza a distância euclidiana para calcular as distâncias entre os pixels e os centróides de grupo, foi feito o agrupamento dos pixels em regiões homogêneas com base na variabilidade

temporal média do NDVI, para o Rio Grande do Sul, sendo os valores de NDVI os atributos quantitativos de cada pixel. Para tal, foram utilizadas as doze imagens mensais de janeiro a dezembro (médias dos 27 anos), como entrada no algoritmo.

O “K-médias” a partir de uma partição inicial manteve-se reatribuindo os objetos (valores de NDVI dos pixels) aos grupos com base na similaridade entre os objetos e os centróides até que um critério de convergência fosse satisfeito. Por exemplo, o critério poderia ser que não existisse mais reatribuições de objetos de um grupo para outro, ou que o erro quadrático cessasse de decrescer, significativamente, após algumas iterações.

Foram testados os três modos de inicialização de centróides (por partição aleatória, por pontos semente aleatória e pelo eixo diagonal) e, por fim, optou-se por utilizar a inicialização de centróides pelo eixo diagonal.

O critério de parada estabelecido para encerrar o processo de agrupamento, poderia ser quando o percentual de migração dos pixels fosse menor do que um percentual especificado de pixels da imagem inteira, ou definindo um número máximo de iterações. O agrupamento terminaria quando uma das condições fosse satisfeita. Neste trabalho, utilizou-se o percentual de 1% ou 50 iterações. Também foi indicado para eliminar pequenos grupos, unindo-os aos grupos mais largos.

Também foram testados diferentes números de grupos (2 a 9 grupos) e o agrupamento dos pixels em seis regiões homogêneas (grupos) de NDVI foi escolhido para as análises de tendência e variabilidade dos distintos grupos vegetais. Mesmo definindo-se sete, oito ou nove grupos, o maior número de grupos formados pelo algoritmo, utilizando a variabilidade temporal média de NDVI, foi seis grupos. Portanto, este foi o número máximo possível de ser formado pela variabilidade temporal média do NDVI. Outra razão para escolha

deste agrupamento em seis regiões homogêneas de NDVI foi a sua semelhança com as macrozonas definidas pelo macrozoneamento ambiental do Rio Grande do Sul (Figura 15).

3.3.5 Análise de padrões, variabilidade e tendência temporais do NDVI nos grupos

Para cada grupo vegetal do Rio Grande do Sul foi extraído o perfil anual médio do NDVI e confeccionado um gráfico, de forma a caracterizar a dinâmica temporal da vegetação de cada grupo.

Também foram avaliadas, a variabilidade e tendência temporal do NDVI médio, para os seis grupos vegetais na série completa (324 meses). A avaliação das tendências temporais (aumento/redução) do NDVI foi avaliada pelo teste *t*-Student e a significância estatística das tendências testada ao nível de significância de 5% de probabilidade de erro.

A variabilidade do NDVI em cada grupo também foi analisada através do coeficiente de variação mínimo, máximo, diferença entre estes e moda. Essas informações foram extraídas utilizando as máscaras de cada grupo vegetal sobre uma imagem de coeficiente de variação do NDVI dos 324 meses, sendo esta obtida a partir da relação entre uma imagem de média e outra de desvio padrão de NDVI do mesmo período.

A variabilidade do NDVI nas quatro estações do ano foi analisada através de diagramas de caixa para o Rio Grande do Sul e para os seis grupos vegetais.

Em eventos El Niño, neutros e La Niña, a variabilidade do NDVI foi analisada através de diagramas de caixa para o Rio Grande do Sul e para os seis grupos vegetais, compreendendo todo período em uma análise e em outra análise compreendendo os trimestres mais quentes (SON; DJF) e mais frios (MMA; JJA).

3.3.6 Correlação da TSM, variáveis meteorológicas e NDVI nos sub-grupos

Para uma análise mais detalhada das relações entre a TSM, as variáveis meteorológicas e o NDVI médio, utilizando a mesma metodologia adotada para o Rio Grande do Sul, foi analisada a correlação de Pearson entre as séries temporais de anomalias padronizadas, anuais e estacionais nos sub-grupos do Rio Grande do Sul.

Para extração do NDVI médio de cada sub-grupo foram elaboradas máscaras, através do cruzamento da máscara dos grupos e uma imagem contendo os polígonos de Thiessen. O grupo Floresta foi sub-dividido em Floresta Iraí, Floresta Bom Jesus, Floresta Caxias do Sul, Floresta Santa Maria, Floresta Encruzilhada do Sul e o grupo Campos, dividido em um grupo menor Campos Bagé. Esta subdivisão em regiões menores foi realizada para a obtenção de maior confiabilidade das relações com as variáveis obtidas das estações meteorológicas mais próximas de cada região.

Nestes sub-grupos foram realizadas também análises mensais, nas quais foram consideradas: a correlação sem defasagem e com defasagem na resposta da variável dependente de 1, 2, 3 e 4 meses.

A significância estatística das correlações anuais, estacionais e mensais foi avaliada pelo Teste *t*-Student, ao nível de probabilidade de 5%.

3.3.7 Estudo de caso: Parque Florestal Estadual do Turvo

A variabilidade e tendência temporal do NDVI, também foram avaliadas, para os três pixels que abrangem a área do Parque Florestal Estadual do Turvo. Este estudo de caso visou observar o padrão de variação do NDVI em uma área de vegetação florestal com baixa intervenção antrópica. A avaliação das

tendências temporais do NDVI nesta área foi feita pelo teste *t*-Student e a significância estatística testada ao nível de significância de 5% de probabilidade de erro.

3.3.8 Sistemas computacionais

Foram adotados como sistemas computacionais os softwares: ENVI® para conversão das imagens globais mensais para o formato “.tif”; IDRISI® versão Taiga (Clark Labs©) para confecção e execução de macros para importar imagens do formato “.tif” como “.rst”, recorte da área de estudo, elaboração de máscaras e de imagens anuais, além do processamento digital de imagens nas operações relativas ao agrupamento pelo método de K-médias. Para a tendência monotônica de Mann-Kendall foi utilizado o módulo ETM do programa IDRISI®; ArcGIS® para elaboração dos mapas temáticos; Sigmaplot® para diagramas de caixa; e, Microsoft Excel® para as operações de estatística descritiva, correlação de Pearson e regressões lineares.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização espaço-temporal do NDVI no Rio Grande do Sul

Através das imagens mensais de NDVI, médias do período de 1982 a 2008, é possível observar a dinâmica da vegetação no Rio Grande do Sul ao longo de um ano médio (Figura 16).

As maiores variações de NDVI ao longo do ano ocorreram na região maior produtora de grãos, ou seja, na porção central da metade Norte do Estado, assim como encontrado por Jacóbsen *et al.* (2004). Enquanto que as menores variações de NDVI são observadas nas áreas florestais da Mata Atlântica (Figura 16).

Em julho e agosto (Figura 16) observa-se nas áreas de cor marrom, baixo NDVI, especialmente na metade Sul do Estado devido à senescência e morte de parte da vegetação campestre. Em um estudo de caso para um ano agrícola (fevereiro de 1995 a janeiro de 1996), por diferença entre as imagens mensais de máximo NDVI do AVHRR e as imagens do mês anterior, Rizzi & Fonseca (2001) também verificaram diminuição do NDVI nessa região. Além da senescência da vegetação campestre, essa redução do NDVI na região Sul do Estado no início do inverno tem influência, também, da resposta espectral do solo.

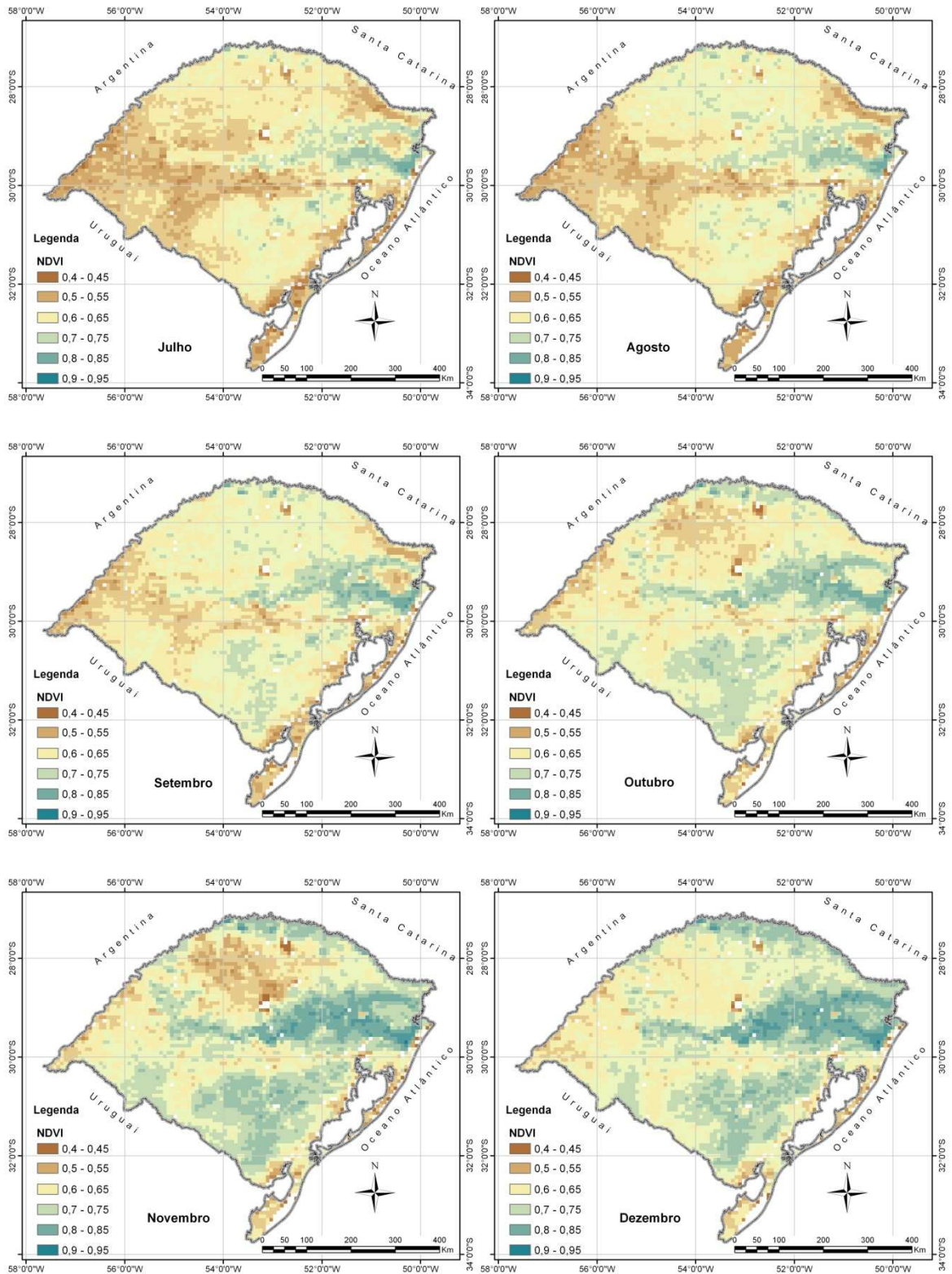
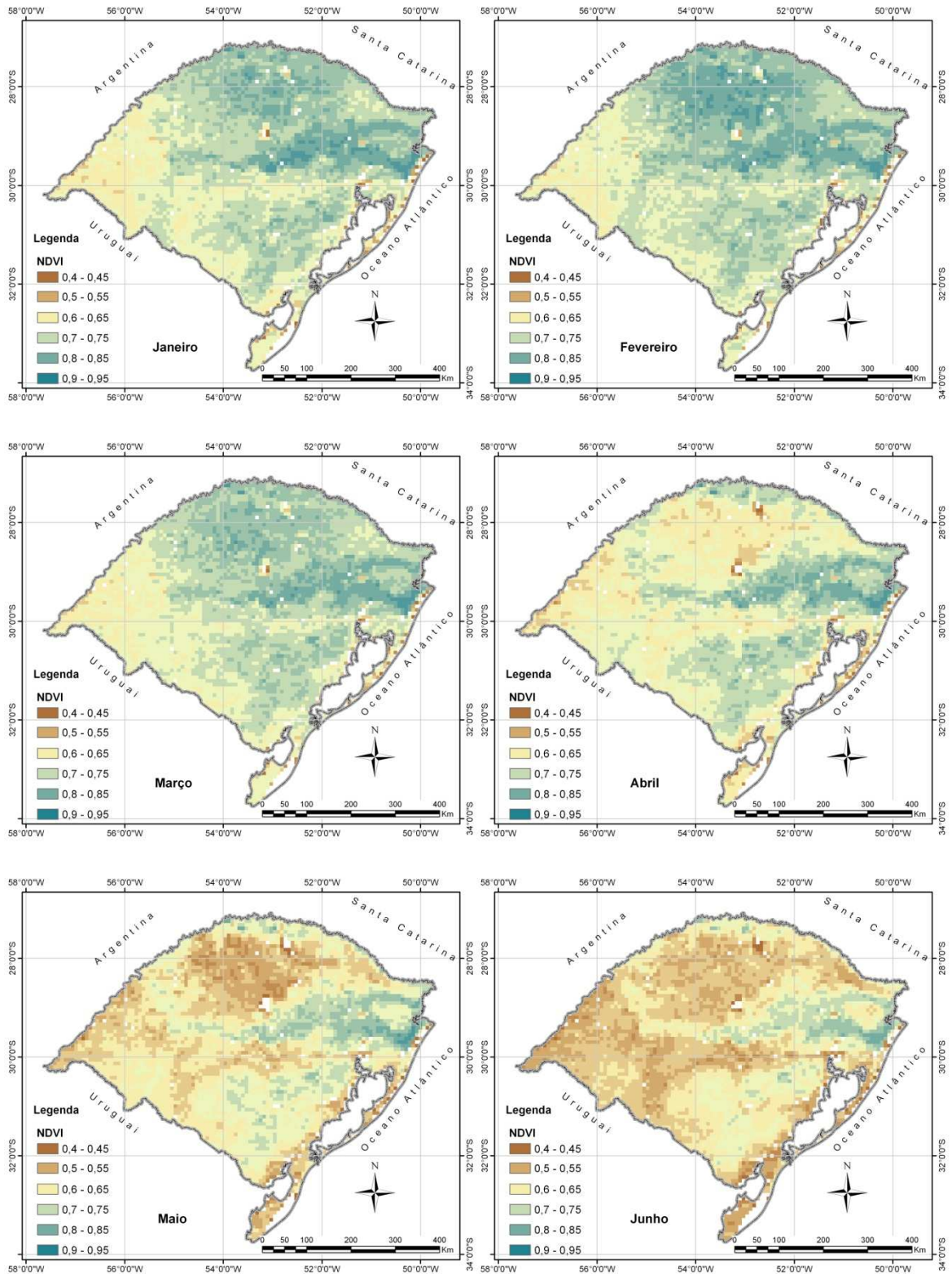


FIGURA 16. Imagens mensais de NDVI no Rio Grande do Sul, médias do período de 1982 a 2008.



continuação FIGURA 16. Imagens mensais de NDVI no Rio Grande do Sul, médias do período de 1982 a 2008.

Por outro lado, observa-se aumento do NDVI (Figura 16, em bege e verde claro), nesses meses de julho e agosto, na metade Norte do Estado, em função do desenvolvimento vegetativo dos cereais de outono-inverno (principalmente

trigo, aveia e cevada), os quais ocupam uma grande área na metade Norte do Estado, que nessa época se encontram em desenvolvimento vegetativo (Junges & Fontana, 2011). Em setembro, o NDVI volta a diminuir nesta área devido ao final do ciclo dos cultivos de outono-inverno, conforme verificado por Jacóbsen *et al.* (2004).

Nas áreas de campos e florestas do Rio Grande do Sul observa-se aumento do NDVI, em setembro e outubro (Figura 16), pelo rebrote da vegetação em resposta ao aumento da radiação solar e da temperatura, semelhante ao encontrado por Rizzi & Fonseca (2001). Na área maior produtora de grãos e nas áreas de arroz no extremo Sul do Estado, em outubro e novembro (Figura 16), há redução do NDVI devido ao solo exposto no período de semeadura dos cultivos de primavera-verão. Conforme relatado também por Jacóbsen *et al.* (2004), que estudou a cobertura vegetal do Estado, através de imagens de NDVI do AVHRR e por Klering *et al.* (2011), que estudou o comportamento do NDVI do MODIS em áreas de cultivo de arroz irrigado no Rio Grande do Sul, utilizando duas técnicas diferentes para a estimativa de área.

Nos meses de verão o NDVI aumenta de forma generalizada no Estado em função do crescimento e desenvolvimento da vegetação campestre e florestal, e, também, pelo desenvolvimento dos cultivos de primavera-verão, atingindo os maiores valores de NDVI em janeiro, fevereiro e março (Figura 16).

Na vegetação campestre a maior contribuição é das espécies de verão, que, segundo Rizzi & Fonseca (2001), são predominantes nos campos do Rio Grande do Sul. Com relação às formações florestais, Nora & Martini (2010) estudando a dinâmica sazonal do NDVI do MODIS para duas fitofisionomias florestais (Floresta Estacional Decídua e Floresta Ombrófila Mista) encontraram também os valores mais expressivos nos meses de novembro a fevereiro. Com

relação aos cultivos agrícolas, para o cultivo da soja, Melo *et al.* (2008) encontraram os maiores valores de NDVI em fevereiro e março, assim como relatado anteriormente por Jacóbsen *et al.* (2004) para os cultivos de soja e milho. Para o cultivo do arroz Klering *et al.* (2011) encontraram os maiores valores de NDVI nos meses de janeiro e fevereiro. Apesar do período de estudo e/ou do sensor ser(em) diferente(s), os resultados foram semelhantes aos encontrados pelos autores supracitados, como pode se observar na Figura 16.

Em março o NDVI volta a diminuir no Estado, ficando evidente nos meses de abril, maio e junho (Figura 16) a redução desse índice devido ao final dos ciclos e colheita de grãos de arroz, soja e milho; e também devido à queda de folhas de parte da vegetação florestal caducifólia e à senescência das espécies campestres estivais. Com relação ao cultivo do arroz, o mesmo foi relatado por Klering *et al.* (2011). Com relação à diminuição do NDVI das florestas e da vegetação campestre, Nora & Martini (2010) e Rizzi & Fonseca (2001), respectivamente, relacionam à diminuição da temperatura, que ocorre nessa época no Estado. Nesses meses há, também, redução da radiação solar, fonte de energia para a fotossíntese. Segundo Rizzi & Fonseca (2001) no início do inverno ocorre a senescência da maioria das espécies que formam o campo nativo. Além disso, segundo Jacóbsen *et al.* (2004), em maio e junho, há resposta espectral do solo nas áreas de cereais de outono-inverno, com a implantação desses cultivos (Junges & Fontana, 2011), o que justifica os menores valores de NDVI nessas áreas.

No diagrama de caixa do NDVI médio do Rio Grande do Sul, ao longo dos meses, é possível observar a distribuição de frequência e a variabilidade do NDVI entre os anos e entre os meses (Figura 17).

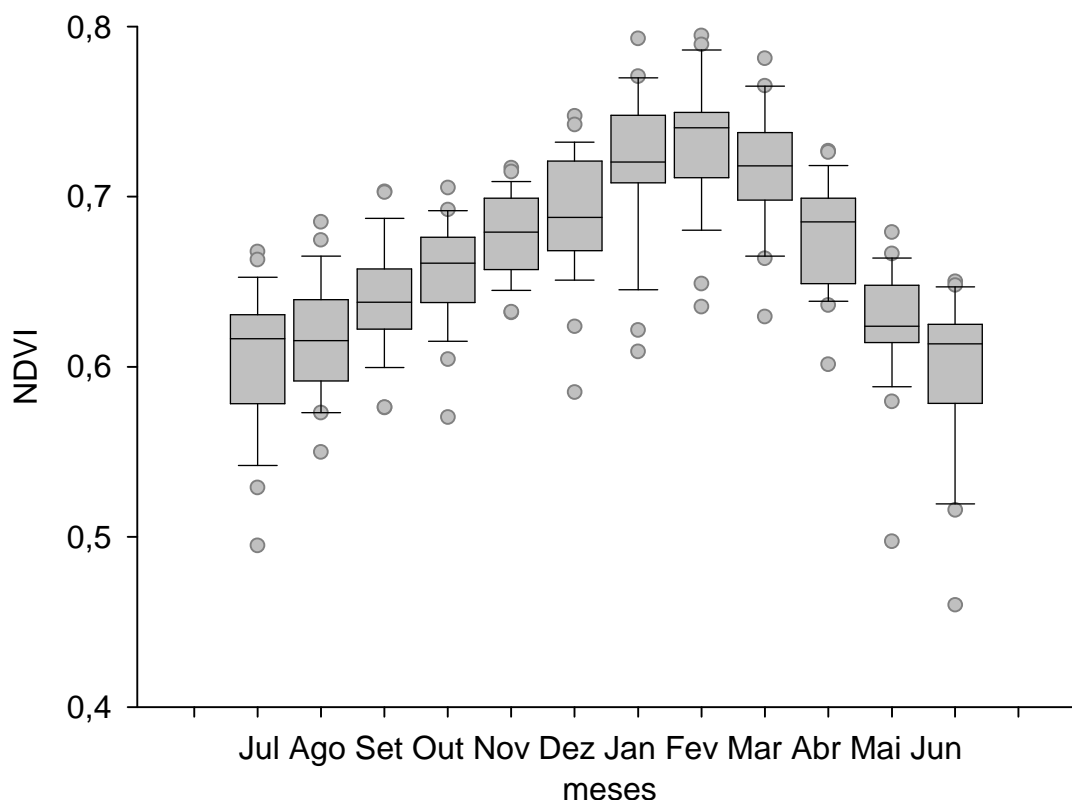


FIGURA 17. Transcurso anual do NDVI médio do Rio Grande do Sul no período de 1982 a 2008. A linha horizontal no interior das caixas representa o percentil 50 (mediana); o final das caixas, os percentis 25 e 75; as barras, os percentis 10 e 90; os círculos, os valores extremos.

Verifica-se maior variabilidade de NDVI médio do Rio Grande do Sul entre os anos, nos meses de dezembro, abril e julho. Enquanto que a menor variabilidade entre os anos é observada em maio e setembro (Figura 17).

Traçando uma linha imaginária de forma a unir as medianas, ainda na Figura 17, pode-se observar o transcurso anual do NDVI médio do Rio Grande do Sul acompanhando o ciclo de desenvolvimento dos cultivos agrícolas de outono-inverno e primavera-verão, e da vegetação nativa no Estado.

No inverno (julho e agosto) 90% dos anos têm NDVI médio de todo o Rio Grande do Sul menores que 0,65 - 0,68 (Figura 17), devido à senescência e morte de parte da vegetação campestre, já relatada por Rizzi & Fonseca (2001) para essa época do ano. Estes valores não são mais baixos quanto o esperado

devido à contribuição no valor da média da resposta espectral dos cultivos de cereais de outono-inverno.

Na primavera ocorre aumento do NDVI (Figura 17), pelo rebrote dos campos e florestas, também já relatado por Rizzi & Fonseca (2001) e Nora & Martini (2010), respectivamente. Em novembro e dezembro, em torno de 90% dos anos apresentam NDVI maior que 0,65 no Rio Grande do Sul. Os maiores valores de NDVI são observados em janeiro e fevereiro, quando 75% dos anos apresentam NDVI maior que 0,7. Nesses meses, os valores de NDVI são mais altos no Estado, não somente em função do crescimento e desenvolvimento da vegetação campestre (Rizzi & Fonseca, 2001) e florestal (Nora & Martini, 2010), mas também pelo desenvolvimento dos cultivos de primavera-verão (Rizzi & Rudorff, 2005; Melo *et al.*, 2008).

Nos meses de outono e início do inverno (junho) os valores voltam a diminuir (Figura 17), devido ao final dos ciclos e colheita dos cultivos de grãos de primavera-verão e, também, devido à vegetação florestal caducifolia e à senescência da maioria das espécies que formam vegetação campestre. Este padrão tem suporte em outros trabalhos como o de Wagner *et al.* (2007); Klering *et al.* (2011) e Santos *et al.* (2014), que estudaram a dinâmica temporal do NDVI em cultivos agrícolas; assim como relatos de Nora & Martini (2010) para a vegetação florestal e de Rizzi & Fonseca (2001) para a vegetação campestre. Some-se a este padrão o fato que, em maio e junho, a maior parte das lavouras de cereais de outono-inverno encontra-se com solo exposto ou em fase de implantação, conforme relatado por Junges & Fontana (2011), o que contribui para redução do índice nesses meses.

Na imagem média do NDVI da série completa (324 meses) (Figura 18) é possível observar que as áreas com os maiores valores de NDVI encontram-se

nas áreas ocupadas por florestas ou por campos mistos com florestas (áreas azuladas). Os menores valores de NDVI encontram-se nas áreas de banhados (tons amarronzados), junto aos grandes corpos d'água. Entre os valores intermediários de NDVI, dos maiores aos menores valores, têm-se as áreas de campos e cultivos de grãos (em verde claro); e áreas de arroz, na Fronteira Oeste, Zona Sul e Depressão Central (em amarelo claro).

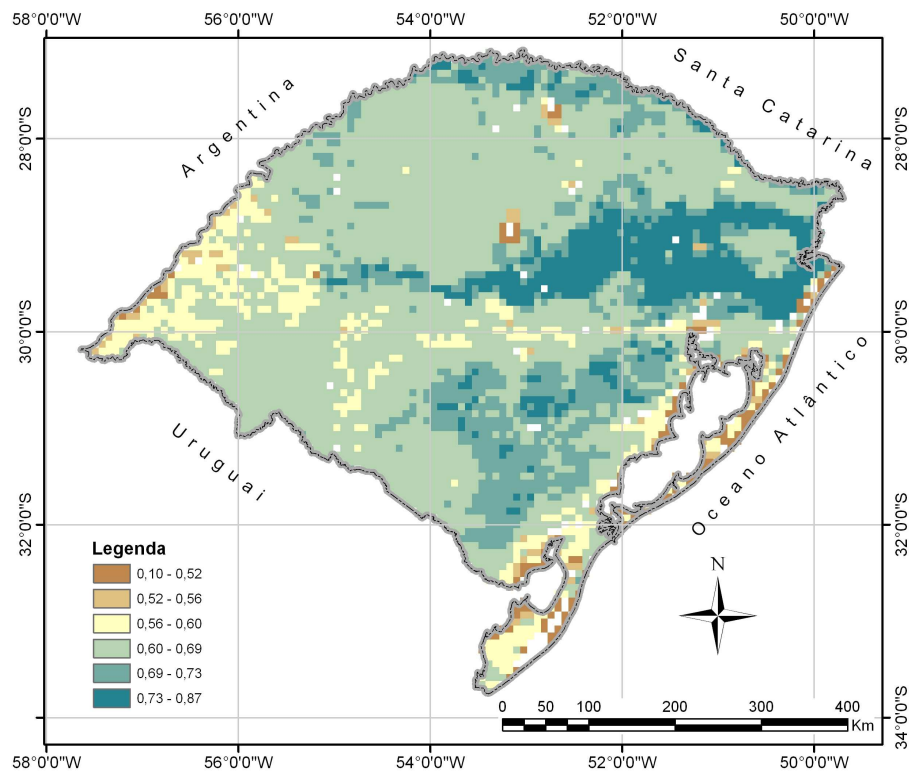


FIGURA 18. Imagem média NDVI (janeiro de 1982 a dezembro de 2008) no Rio Grande do Sul.

A imagem média de NDVI mostra associação com a cobertura vegetal do Rio Grande do Sul. É possível identificar na Figura 18, as fitofisionomias que, sabidamente, apresentam baixa variabilidade ao longo do ano, como florestas e campos mistos com florestas. Identificam-se também àquelas, em que há forte influência da reflectância da água no valor médio de NDVI, como banhados e áreas tradicionalmente utilizadas com o cultivo de arroz. As áreas campestres e/ou agrícolas mostram valores de NDVI semelhantes entre si, e intermediários às

outras fitofisionomias, em consequência do padrão de variabilidade esperado ao longo do ano. As áreas cultivadas com arroz diferem das áreas campestres pelo longo período de solo exposto.

4.2 Variabilidade e tendência temporal do NDVI no Rio Grande do Sul

A série mensal completa (janeiro de 1982 a dezembro de 2008) de NDVI no Rio Grande do Sul apresenta valor médio de 0,66 e desvio padrão de 0,056. É possível observar, nesta série, a alta variabilidade do índice (Figura 19). Esta variabilidade é suavizada pela média móvel de seis meses, a qual indica a sazonalidade da vegetação, com valores oscilando ao longo do ano, mas com um mesmo padrão: maior NDVI no verão e menor no inverno. Além disso, observam-se claramente os períodos de menor e maior variabilidade (amplitude) entre as estações do ano e entre os anos. Essa alta variabilidade, anual e interanual, do NDVI no Estado é consequência, principalmente, das condições meteorológicas.

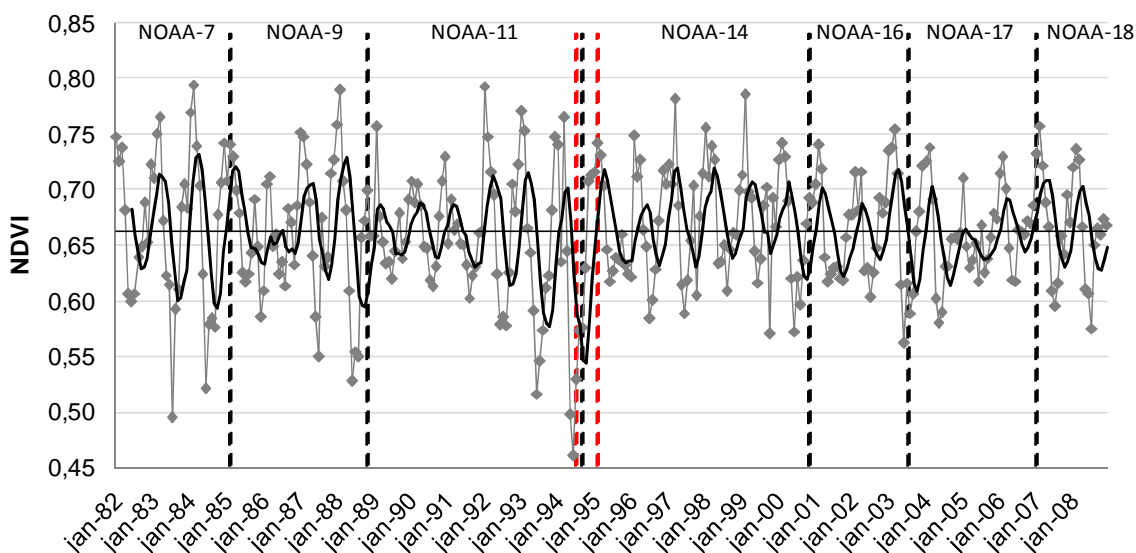


FIGURA 19. NDVI médio das imagens mensais no Rio Grande do Sul, no período de 1982 a 2008 (linha cinza). Média móvel de seis meses representada pela linha preta e tendência linear do NDVI, pela reta preta. As linhas vermelhas identificam o período de mau funcionamento do NOAA-11 até ser substituído pelo NOAA-14, no qual foram utilizadas imagens do satélite NOAA-9.

O NDVI médio do Rio Grande do Sul variou de 0,46 em junho de 1994 a mais de 0,79 nos meses de fevereiro de 1984 e de 1988 e janeiro de 1992 (Figura 19). Os maiores valores de NDVI correspondem às coberturas vegetais com maior vigor no Estado nesses meses. Enquanto que os menores valores correspondem à vegetação com menor biomassa como campos e cultivos agrícolas, as quais respondem fortemente às condições meteorológicas desfavoráveis, e/ou com influência da resposta espectral da água, como no caso dos banhados.

Ainda na Figura 19 estão identificados os momentos de troca dos satélites. A linha vermelha tracejada marca o período de falhas de funcionamento do NOAA-11 até ser substituído pelo NOAA-14. Neste período foram utilizados dados do NOAA-9, de julho de 1994 a janeiro de 1995.

Batista *et al.* (1993) estudando a variação do NDVI em três tipos de cobertura florestal verificaram um aumento abrupto nos valores de NDVI a partir de fevereiro de 1985 coincidente com a mudança na origem dos dados. No entanto, o mesmo não foi verificado no presente trabalho (Figura 19), provavelmente devido às inúmeras correções pelas quais passou a série GIMMS nos conjuntos de dados mais recentes disponibilizados.

Também foi verificado por Batista *et al.* (1993) um declínio nos valores de NDVI no ano de 1983, período de forte influência de El Niño, que na região Amazônica está associado a períodos secos, resultando em aparente mudança fenológica da vegetação, caracterizada por queda das folhas e diminuição da biomassa florestal. Na Figura 19, o mesmo também foi verificado, no entanto, como no Rio Grande do Sul o El Niño está associado a aumento da precipitação pluvial (Fontana & Berlato, 1997), esta redução do NDVI pode ser explicada pela redução da insolação, que ocorre nesses eventos (Custódio *et al.* 2007; Cordeiro,

2010). Quando o fenômeno El Niño é forte ou longo, como ocorreu em 1983, o efeito do aumento da precipitação pluvial pode ser anulado pela redução da radiação solar, que ocorre com a redução da insolação, prejudicando o acúmulo de biomassa.

Observa-se, após as trocas dos satélites, um período de redução da amplitude dos valores de NDVI. Porém, isso não pode ser atribuído à troca de satélites em si, pois, imediatamente à troca, ainda são registradas grandes amplitudes. Logo, as variações registradas devem estar associadas às condições meteorológicas de grande variabilidade no Rio Grande do Sul (Figura 19).

A variabilidade do NDVI no Rio Grande do Sul no período de 1982 a 2008 (apresentado na Figura 19) também pode ser explorada através do diagrama de caixa, no qual se pode perceber, mais claramente, a redução da variabilidade do NDVI nos últimos nove anos da série (Figura 20).

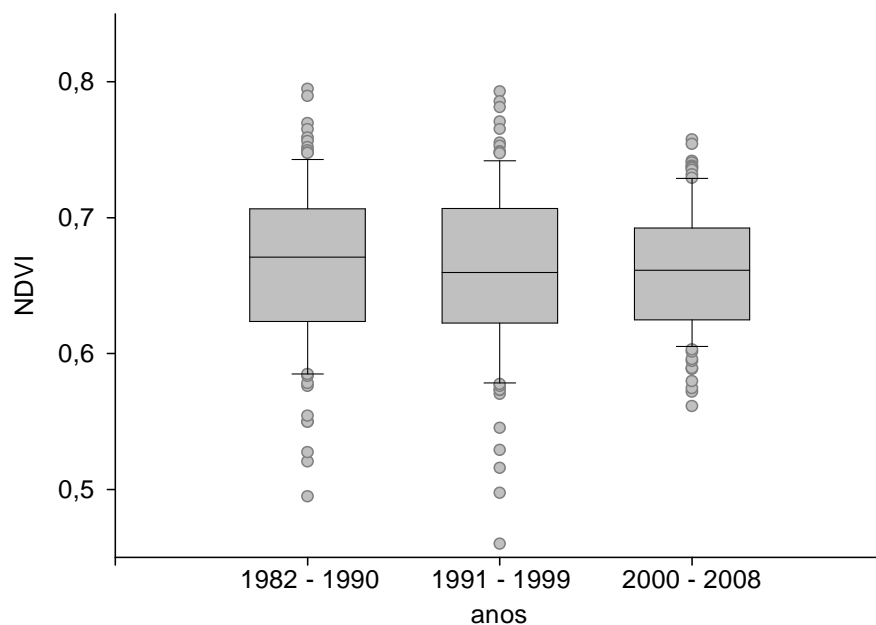


FIGURA 20. Distribuição do NDVI no Rio Grande do Sul, em três períodos (1982-1990; 1991-1999 e 2000-2008). A linha horizontal no interior das caixas representa o percentil 50 (mediana); o final das caixas, os percentis 25 e 75; as barras, os percentis 10 e 90; os círculos, os valores extremos.

A série das imagens de NDVI para as médias anuais no Rio Grande do Sul também apresentou alta variabilidade interanual no período de 1982 a 2008, porém, obviamente, mais suavizada se comparada à série mensal. O menor valor de NDVI médio anual (0,62) foi em 1994 e os maiores valores, de quase 0,68, ocorreram em 1998 e 1999 (Figura 21). No outono de 1998 se encerrou um dos mais intensos El Niño (Berlato & Fontana, 2003). As maiores precipitações pluviais no Rio Grande do Sul, associadas ao El Niño, podem ter se refletido em maior biomassa dos principais cultivos de primavera-verão. No entanto, no inverno de 1998 teve início um longo período de La Niña, que se estendeu pelos anos de 1999 e 2000, e se encerrou no outono de 2001 (NOAA, 2014). Inicialmente, esta La Niña esteve associada ao aumento do NDVI no Estado, provavelmente devido ao aumento da insolação nesse período, pela redução da nebulosidade diurna (Custódio *et al.*, 2009). No entanto, a longo prazo, esta redução na precipitação pluvial, que ocorre associada aos eventos La Niña no Estado (Fontana & Berlato, 1997), se refletiu em redução do NDVI pela redução no vigor vegetativo.

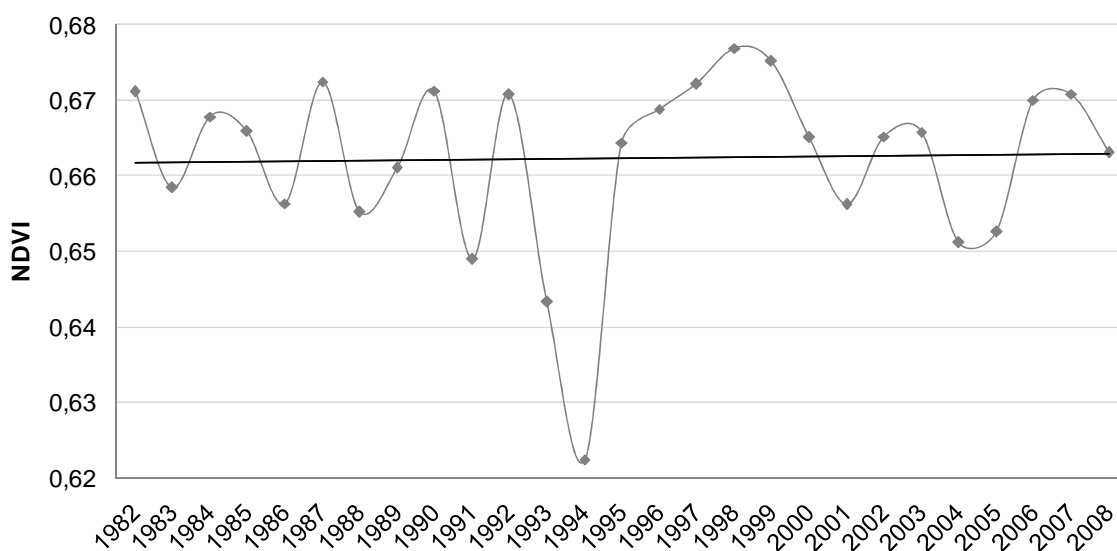


FIGURA 21. NDVI médio no Rio Grande do Sul das imagens médias anuais, no período de 1982 a 2008 (linha cinza). Tendência linear do NDVI representada pela reta preta.

Além da alta variabilidade interanual, na Figura 22 pode ser observada, também, a variabilidade anual, ou seja, a amplitude de variação de NDVI entre os meses de cada ano. As menores diferenças entre os meses ocorreram nos anos de 1991, 2005 e 2006 e as maiores nos anos de 1994, 1984, 1988 e 1993.

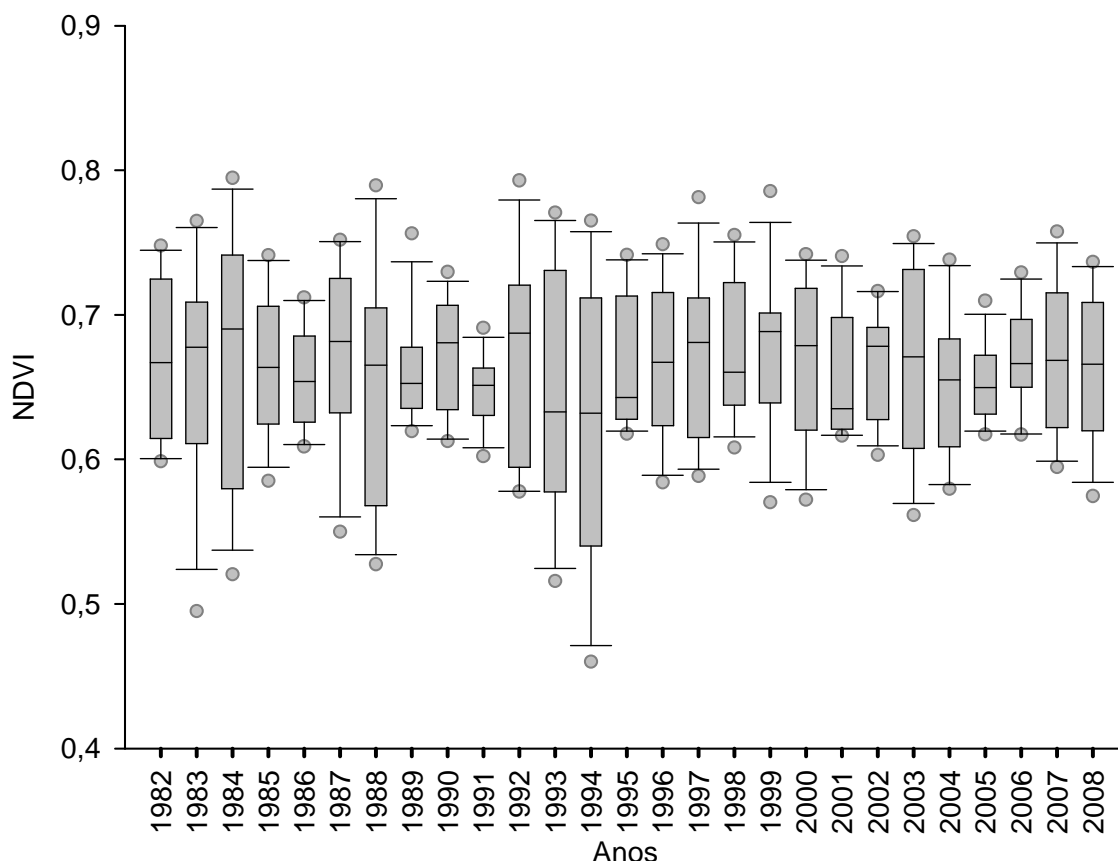


FIGURA 22. NDVI médio no Rio Grande do Sul, no período de 1982 a 2008. A linha horizontal no interior das caixas representa o percentil 50 (mediana); o final das caixas, os percentis 25 e 75; as barras, os percentis 10 e 90; os círculos, os valores extremos.

A alta variabilidade nos valores de NDVI no ano de 1994, em todas as séries das estatísticas descritivas, pode ser explicada pela estimativa de grande parte dos pixels, nos meses de outono-inverno deste ano. Na Figura 23, observa-se claramente nas áreas de floresta da Mata Atlântica e na metade Sul do Estado (em branco), o comportamento atípico do NDVI se comparado, por exemplo, ao mês de junho médio do período (apresentada na Figura 16).

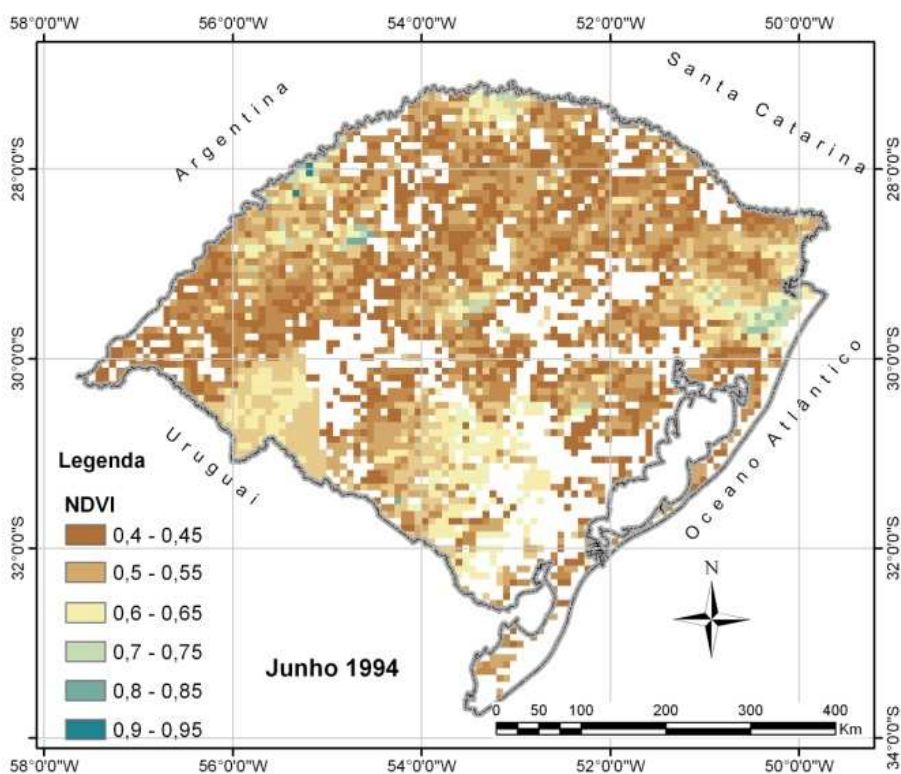


FIGURA 23. Imagem de NDVI no Rio Grande do Sul de junho de 1994.

Os pesquisadores da série GIMMS realizaram tais estimativas visando preencher a falta de dados nesses meses. Ainda assim, observa-se em todas as séries das estatísticas descritivas, em junho de 1994, o menor valor de NDVI de todo período. No entanto, este mês não configurou um *outlier*, tendo em vista que os valores estão próximos dos demais registrados. As falhas de funcionamento do NOAA-11 foram resolvidas por completo, a partir de julho de 1994, com a utilização dos dados do NOAA-9.

As séries descritivas de NDVI (324 imagens mensais de NDVI médio e 27 imagens anuais de NDVI médio) se comportaram como séries estacionárias (que se desenvolvem aleatoriamente no tempo, em torno de uma média constante), pois não apresentaram qualquer tipo de tendência, de aumento ou redução, estatisticamente significativa pelo teste *t*-Student.

A maioria dos procedimentos de análise estatística de séries temporais supõe que elas sejam estacionárias. Caso as séries não se comportassem como

estacionárias, seria necessária a transformação dos dados originais, e então, as novas séries seriam submetidas a outros testes para confirmar a existência ou não de tendência (Morettin & Toloi, 2006). Como as séries não apresentaram tendência optou-se por continuar a análise exploratória dos dados através da análise não paramétrica da tendência monotônica de Mann-Kendall.

4.3 Espacialização da tendência monotônica de Mann-Kendall

As análises de tendência de séries temporais têm sido cada vez mais realizadas através do teste de tendência monotônica de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975), o qual é sugerido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para avaliação de tendências em séries temporais de dados ambientais (Wagner, 2013).

O teste de tendência não paramétrico leva em conta a sazonalidade da série (Neeti & Eastman, 2011), a qual não foi removida neste trabalho. Esta foi uma das razões da utilização deste teste na série completa de NDVI. Além disso, muitas vezes, a capacidade de detectar tendências na taxa de crescimento ou intensidade da vegetação em períodos sazonais é ocultada quando os dados de NDVI são integrados em frequências anuais (Jong & Bruin, 2012). Portanto, buscou-se a resposta da vegetação através do NDVI, pelas formas mais consistentes possíveis.

Lembrando que este teste mede o grau com que uma tendência está aumentando ou diminuindo, consistentemente no tempo, através da frequência relativa de concordâncias menos a frequência relativa das discordâncias (Wagner, 2013), e que valores positivos indicam tendência de aumento e, negativos indicam tendência de decréscimo, observa-se através do coeficiente Tau de Mann-Kendall, que na maior parte do Estado as tendências, tanto de aumento como de

redução, não foram significativas ao nível de 5% de probabilidade de erro (áreas em branco, Figura 24). Portanto, esse resultado torna possível entender o porquê das tendências lineares, anteriormente analisadas, não terem sido, estatisticamente significativas, visto que as mesmas foram avaliadas sobre a média do Estado inteiro.

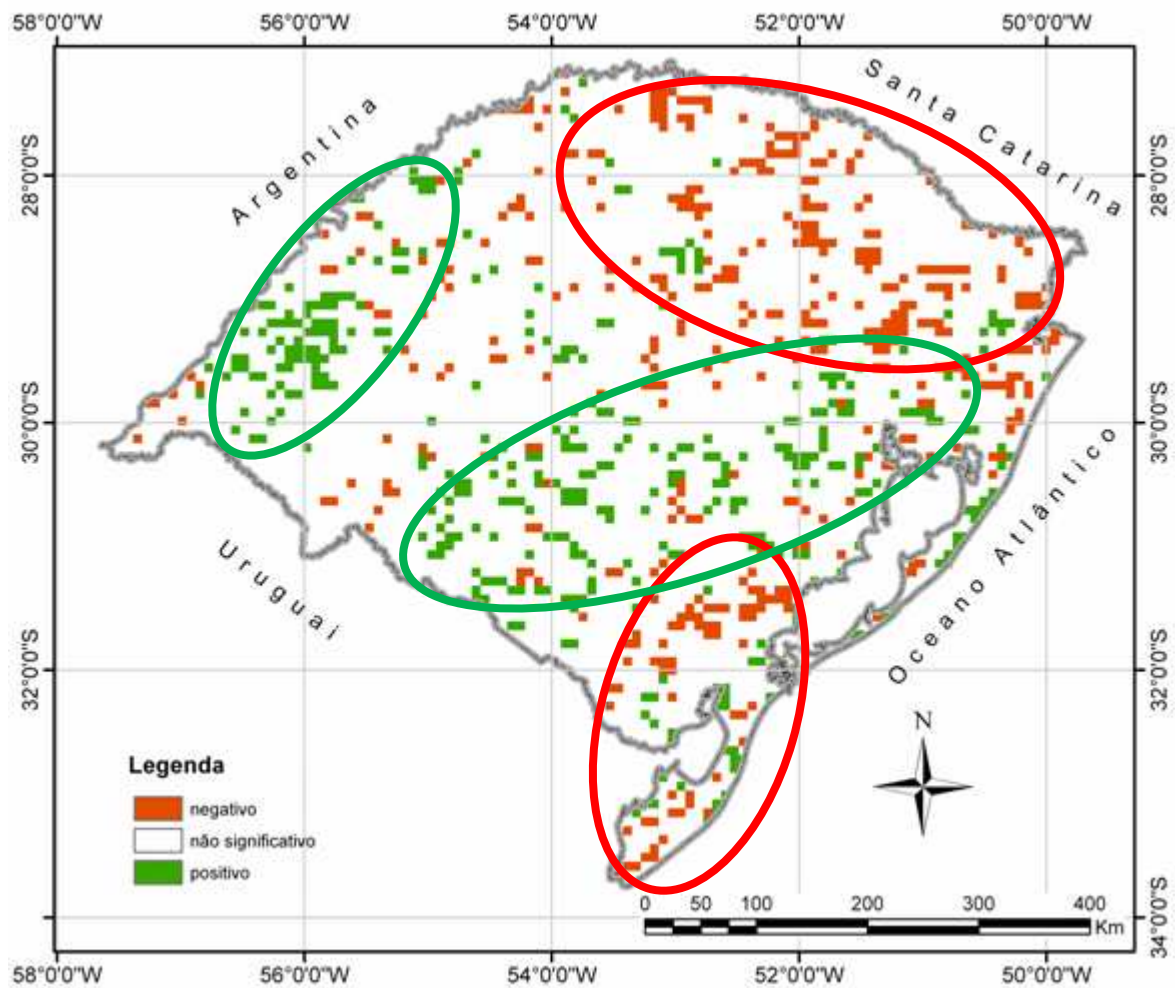


FIGURA 24. Distribuição espacial do coeficiente Tau de Mann-Kendall para tendência monotônica ajustado para a série mensal de NDVI 1982 a 2008, Rio Grande do Sul, a 5% de probabilidade.

No entanto, analisando-se em detalhe a Figura 24, observam-se duas grandes áreas consistentes com tendências de redução do NDVI no período de estudo. Uma delas é na parte nordeste do Rio Grande do Sul, compreendendo áreas de cultivos de grãos, como soja e milho, e cereais de outono-inverno e áreas florestais da Mata Atlântica. E a outra área abrange parte da metade Sul do

Estado em áreas cultivadas com arroz. As áreas de campos mistos com florestas apresentaram tendência de redução de NDVI tanto na metade Norte do Estado, como na parte Sul da Serra do Sudeste (Figura 24). Considerando que a presença/ausência e a condição da vegetação fornecem indicativos ambientais importantes, de modo que tendências temporais de redução são consideradas indicadores de degradação da terra (Jong & Bruin, 2012) pode-se inferir que esta seja uma das explicações para tal resultado.

Por outro lado, houve tendência de aumento de NDVI entre 1982 a 2008, (Figura 24, em verde) em duas grandes áreas onde predominam campos e o cultivo de arroz: no Baixo Vale do Uruguai e; na Campanha (São Gabriel e Rosário do Sul) e em grande parte da Depressão Central.

A tendência de aumento na região da Campanha é coerente com trabalho de Vasconcellos & Benedetti (2011), que já haviam constatado aumento da área florestal, principalmente em São Gabriel e Rosário do Sul. Do mesmo modo, na parte leste da Depressão Central e na porção centro-nordeste da Serra do Sudeste (Figura 24) a tendência de aumento do NDVI está relacionada com a introdução da silvicultura nas últimas décadas, como pode ser observado no trabalho de Hasenack *et al.* (2010), através da classe Floresta exótica (Figura 5).

No restante da Depressão Central, a tendência de aumento do NDVI se deve, possivelmente, pela introdução do cultivo de soja nessa região na última década.

Houve tendência de aumento de NDVI também: em uma área nos Campos de Cima da Serra (em torno de São Francisco de Paula) que, neste caso, sabe-se que foi devido à adoção recente da silvicultura, já que esta área originalmente era de campos (Figura 24); e na região do Alto e Médio Vale do Uruguai, em torno de São Paulo das Missões. O abandono de áreas agrícolas no noroeste do Estado

pode ser a causa, já que a regeneração desta área que originalmente era floresta pode se refletir em aumento do índice (Figura 24).

Com base nessas análises conclui-se que, apesar das tendências de aumento/redução de NDVI por regressões lineares não terem sido estatisticamente significativas pelo teste *t*-Student, através do método não paramétrico, houve coerência espacial na distribuição do sinal das tendências de NDVI em diferentes regiões do Rio Grande do Sul.

As tendências de clima mais quente e úmido do Rio Grande do Sul, não resultaram em tendências lineares de aumento do NDVI. No entanto, regionalmente, observou-se, através das tendências não-lineares, aumento ou redução deste índice, indicando que esses estudos devem ter continuidade. Sendo o NDVI um indicador de biomassa, e já tendo mostrado sua eficiência em descrever a dinâmica temporal da vegetação e sua associação com a variabilidade climática, acredita-se que, em prazo mais longo, os impactos dessas tendências climáticas poderão ser verificados sobre a vegetação, através desse índice.

4.4 Correlação da TSM, variáveis meteorológicas e NDVI no Rio Grande do Sul

Para o período em análise (1982 a 2008) a TSM da região do Niño 3.4 do Oceano Pacífico esteve associada à precipitação pluvial anual, no inverno, primavera e verão no Rio Grande do Sul, como pode ser verificado através das correlações positivas e estatisticamente significativas (Tabela 3). Este resultado é coerente com os obtidos por Berlato *et al.* (2007), que analisaram esta mesma relação, no Rio Grande do Sul, mas para uma série distinta (período de 1950 a 2002) e utilizando desvios padronizados pelo desvio padrão, relativos à normal

1971-2000. A consistência entre os resultados dessas pesquisas, utilizando séries distintas, pode ser um indicativo de que as séries são representativas da região.

TABELA 3. Coeficientes de correlação de Pearson, anuais e estacionais, das anomalias da TSM da região do Nino 3.4 do Oceano Pacífico com as anomalias das variáveis meteorológicas e do NDVI no Rio Grande do Sul, período 1982-2008.

Coeficientes de correlação	anual	verão	outono	inverno	primavera
TSM x precipitação pluvial	0,42*	0,54*	0,29	0,34*	0,49*
TSM x insolação	-0,26	-0,45*	-0,34*	-0,10	-0,45*
TSM x temp. mínima	0,37*	0,18	0,22	0,40*	0,28
TSM x temp. média	0,26	-0,07	0,01	0,39*	0,17
TSM x temp. máxima	0,09	-0,32*	-0,20	0,34*	-0,02
TSM x NDVI	-0,13	0,28	-0,02	0,08	-0,11
Precipitação pluvial x NDVI	0,19	0,32*	0,14	-0,08	0,24
Insolação x NDVI	-0,13	-0,31	-0,12	0,27	0,06
Temp. mínima x NDVI	-0,16	0,02	-0,20	0,47*	-0,20
Temp. média x NDVI	-0,33*	-0,27	-0,37*	0,51*	-0,29
Temp. máxima x NDVI	-0,38*	-0,50*	-0,42*	0,51*	-0,31

* estatisticamente significativos a 5% de probabilidade.

O presente trabalho verificou também que a TSM esteve associada à insolação (duração do brilho solar) na primavera, verão e outono. Porém, as correlações foram negativas (Tabela 3). Fato coerente, pois sendo, as correlações da TSM com a precipitação pluvial, positivas, o que indica que menor ou maior TSM estão associadas a menor ou maior precipitação pluvial, respectivamente, é de se esperar, que haja maior insolação no primeiro caso e menor insolação, no segundo. Lembrando que maior ou menor insolação está diretamente relacionada a menor ou maior nebulosidade.

As correlações da TSM, tanto com a precipitação pluvial, quanto com a insolação, foram maiores na primavera e verão. Períodos já apontados por Lopes & Berlato (2003) e Berlato & Fontana (2003), como sendo os de maior influência

do El Niño e La Niña no Rio Grande do Sul (outubro a dezembro), especialmente no que se refere à precipitação pluvial.

No inverno as correlações da TSM com a temperatura do ar (mínima, média e máxima) foram positivas, indicando que menor ou maior TSM, se refletiu, respectivamente, em menor ou maior temperatura do ar no Rio Grande do Sul.

A TSM ainda esteve associada à temperatura mínima do ar de forma positiva, no caso anual, corroborando estudos anteriores. Diniz (2002) também encontrou correlações positivas entre a TSM, abrangendo esta região do Pacífico no mês de junho, e a temperatura mínima do ar em julho, em duas regiões homogêneas quanto à temperatura, que ocupam a maior parte do Rio Grande do Sul. Em análises mensais e bimestrais, Lopes & Berlato (2003) encontraram correlações positivas entre a TSM da região do Niño 3.4 e a temperatura mínima para a maioria das 37 estações meteorológicas analisadas na primavera e início de verão, e no outono e início de inverno.

A TSM também esteve associada com a temperatura máxima do ar, de forma negativa no verão. Portanto, quando houve aumento da TSM da região em estudo (El Niño), em aproximadamente 1/3 das vezes isto esteve associado a dias mais frios no verão, provavelmente devido à maior nebulosidade e conseqüente menor incidência de radiação solar na superfície.

Embora a maior correlação entre a TSM e o NDVI no Rio Grande do Sul ter ocorrido no verão, semelhante ao encontrado por Marques *et al.* (2005), esta não foi estatisticamente significativa a 5%.

A correlação entre precipitação pluvial e NDVI foi positiva e significativa no verão, que é quando as plantas respondem mais à disponibilidade hídrica, pela maior demanda evaporativa da atmosfera. Jacobsen *et al.* (2004) verificaram que o maior impacto do El Niño e La Niña sobre o NDVI no Rio Grande do Sul ocorre

nos meses de novembro a fevereiro (final da primavera e verão), e que em anos de El Niño, em função do aumento da precipitação pluvial no Estado, ocorrem conseqüentes anomalias positivas de NDVI. A insolação teve correlação maior com NDVI também no verão, porém não significativa a 5%.

As temperaturas mínima, média e máxima do ar estiveram correlacionadas de forma positiva (e estatisticamente significativa) com o NDVI do Estado no inverno. Menor temperatura nesta época do ano, em que as temperaturas já são baixas, se reflete em menor NDVI. No inverno também são verificadas as maiores correlações para as três temperaturas. As correlações negativas no caso anual, no verão e no outono, indicam que anomalias positivas na temperatura máxima do ar estiveram associadas a anomalias negativas de NDVI no Estado, possivelmente em função do aumento da demanda evaporativa da atmosfera (Tabela 3).

Pode-se visualizar que o transcurso interanual da precipitação pluvial acompanha o transcurso da TSM (Figura 25). Com relação à insolação e à temperatura máxima observa-se, um comportamento inverso destas curvas (Figura 26). Nos anos em que a TSM é alta, em geral, há anomalias positivas da precipitação pluvial, e conseqüentemente, anomalias negativas na insolação e na temperatura máxima do ar, provavelmente, devido ao aumento da nebulosidade. Isto fica evidente nos verões de 1983 e 1998, classificados como os episódios de El Niño mais intensos da segunda metade do século XX. No verão, a maior correlação do NDVI foi com a temperatura máxima (-0,5). O sinal negativo justifica o padrão inverso da curva de NDVI. No inverno, a relação da TSM e do NDVI foi maior com as temperaturas. Na Figura 27, observa-se que nos invernos com temperaturas menores houve, em geral, menor NDVI médio no Estado.

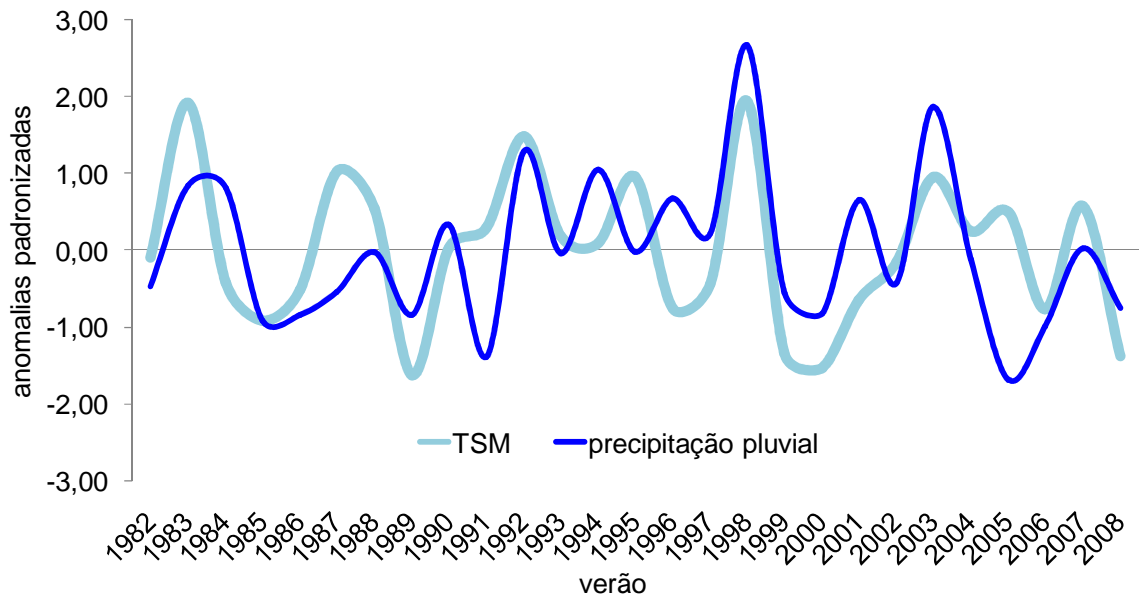


FIGURA 25. Anomalias padronizadas da TSM do Niño 3.4 e precipitação pluvial do Rio Grande do Sul, no verão. Período de 1982 a 2008.

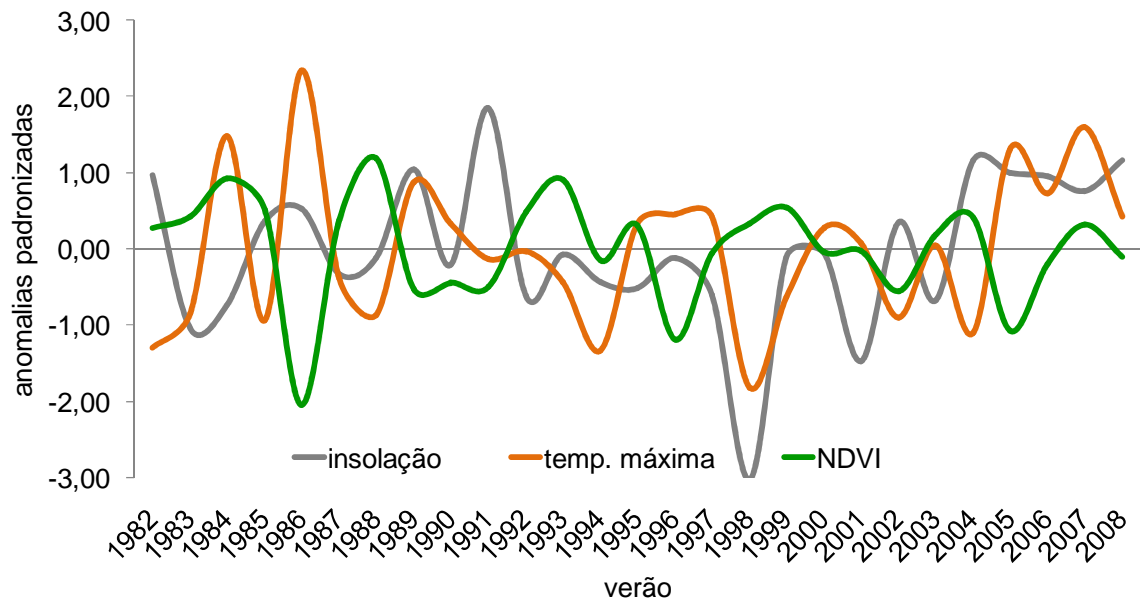


FIGURA 26. Anomalias padronizadas de insolação, temperatura máxima e NDVI do Rio Grande do Sul, no verão. Período de 1982 a 2008.

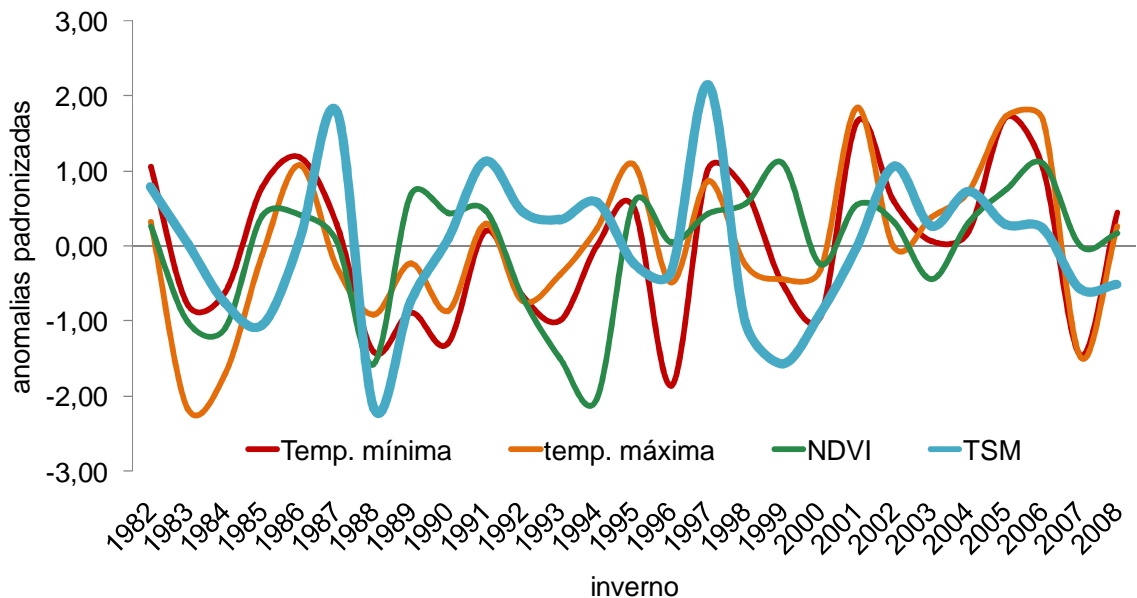


FIGURA 27. Anomalias padronizadas de temperatura mínima e máxima, NDVI do Rio Grande do Sul e TSM do Niño 3.4, no inverno. Período de 1982 a 2008.

4.5 NDVI no Rio Grande do Sul em eventos El Niño e La Niña

Na análise do perfil do NDVI no Rio Grande do Sul nos trimestres médios de El Niño, de La Niña e da média dos 27 anos (compreendendo todos os eventos: El Niño, neutros e La Niña) (Figura 28), observou-se que o NDVI em El Niño foi maior do que o NDVI médio dos 27 anos e do que em La Niña ao longo de todo ano, exceto nos trimestres de ASO, SON, OND e MJJ. No entanto, os trimestres de primavera-verão se destacaram dos demais, quando o NDVI foi maior em eventos El Niño, especialmente no trimestre de JFM. Em contrapartida, no trimestre NDJ, verificou-se que o NDVI foi menor em La Niña do que o NDVI médio dos 27 anos e do que em El Niño.

do Sul na maior parte do ano, principalmente nos meses de outubro a janeiro, acarretou anomalias positivas de NDVI no Estado, nos meses de dezembro a fevereiro em relação aos eventos neutros.

Por outro lado, o maior impacto da La Niña sobre o NDVI do Estado ocorreu no trimestre de primavera-verão (NDJ), com anomalia negativa próxima a 0,5 (Figura 29). Jacobsen *et al.* (2004) comparando o NDVI em condições de La Niña, em relação aos eventos neutros verificaram também que anomalias negativas de precipitação pluvial no Rio Grande do Sul resultaram em um predomínio de anomalias negativas do NDVI no Estado de outubro a janeiro.

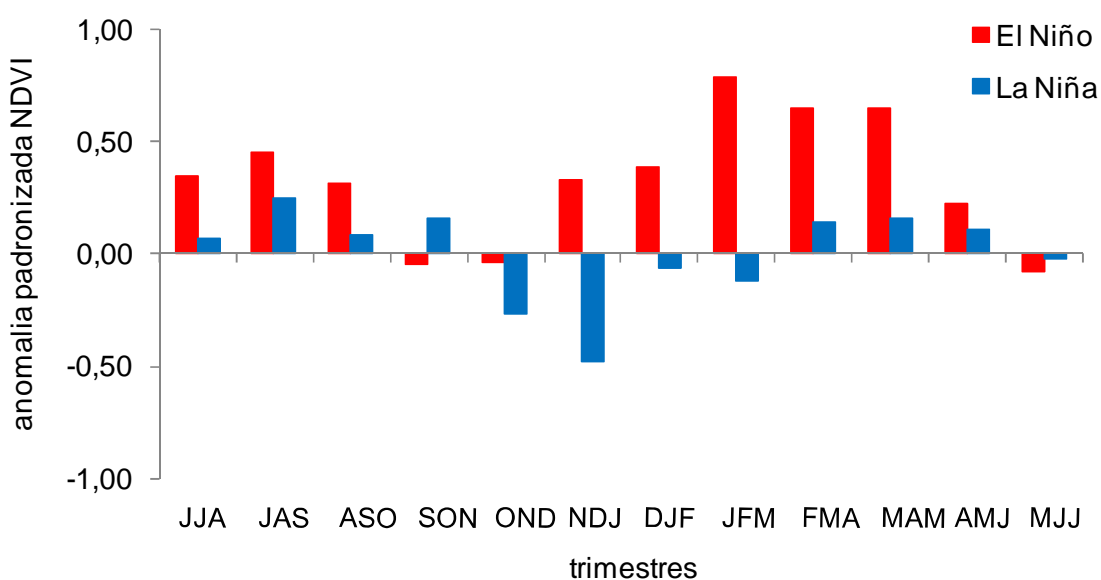


FIGURA 29. Anomalias padronizadas de NDVI no Rio Grande do Sul nos trimestres, em El Niño, La Niña. Período de 1982 a 2008.

Outra análise realizada para o estudo do impacto do ENOS sobre o NDVI no Rio Grande do Sul se deu através da tabela de contingência. Na tabela de contingência a hipótese assumida na classificação dos tercís é de que, não havendo associação entre o NDVI e os eventos de El Niño, neutros e de La Niña, o número de anos, em cada tercís de NDVI, para um dado evento, seria semelhante, aproximadamente, a um terço do total de observações para cada

evento (Tabela 4). Ao contrário, se a distribuição de frequência observada for diferente disso, é possível que o NDVI esteja associado aos eventos.

Observou-se na tabela de contingência das anomalias padronizadas do NDVI no trimestre de JFM que houve cinco casos de NDVI alto no Estado (tercil superior) em eventos El Niño, e nenhum caso de NDVI baixo (tercil inferior) nesses eventos (Tabela 4). Por outro lado, em eventos La Niña não houve caso algum de NDVI alto (tercil superior) e houve três casos de NDVI baixo (tercil inferior). Em eventos neutros a maior frequência foi de NDVI baixo, seis ocorrências no tercil inferior.

TABELA 4. Tabela de contingência das anomalias padronizadas do NDVI no Rio Grande do Sul no trimestre JFM, em tercis para El Niño, neutro e La Niña. Período de 1982-2008.

Eventos	Tercis de NDVI			Total
	alto	médio	baixo	
El Niño	5	2	0	7
Neutro	4	2	6	12
La Niña	0	5	3	8
Total	9	9	9	27

Portanto, dessas análises conclui-se que existe associação entre o fenômeno ENOS e o NDVI do Rio Grande do Sul: os eventos de El Niño estão associados a valores mais altos de NDVI enquanto que os eventos de La Niña associados a valores menores do que em El Niño. Além disso, os eventos neutros ficaram caracterizados por apresentarem alta variabilidade de NDVI, os eventos de La Niña por apresentarem variabilidade intermediária e os eventos de El Niño, menor variabilidade. Também é importante salientar que o ENOS é um fenômeno, que apresenta previsibilidade de longo prazo, e, portanto, o estudo do seu efeito

sobre o NDVI pode ser útil em sistemas de previsão de safras e monitoramento da vegetação natural e dos cultivos agrícolas.

Na Figura 30 observa-se, tanto para El Niño como para La Niña, que em geral, as curvas do NDVI médio do Rio Grande do Sul acompanharam a precipitação pluvial média do Estado nos anos analisados. Especialmente, nos meses de maior demanda evaporativa da atmosfera (dezembro e janeiro) as maiores precipitações pluviais no Rio Grande do Sul estiveram associadas aos maiores valores de NDVI médio do Estado. Conforme já comprovado pelas correlações estatisticamente significativas no verão entre essas variáveis. Isto ocorreu porque nesses meses o suprimento hídrico é fundamental para o desenvolvimento dos cultivos (Fontana & Berlato, 1997).

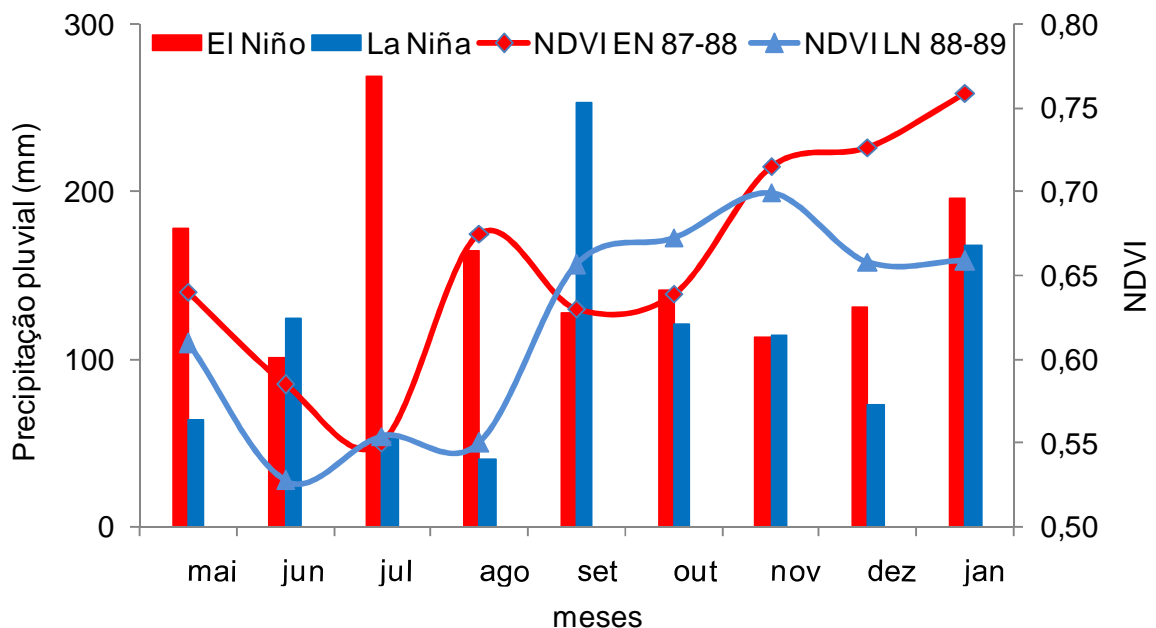


FIGURA 30. Precipitação pluvial e NDVI no Rio Grande do Sul, em eventos El Niño e La Niña de maio a janeiro (1987-1988 e 1988-1989).

Conforme o esperado, na maioria dos meses as precipitações pluviais em El Niño foram superiores e estiveram associadas aos maiores valores de NDVI médio do Rio Grande do Sul (Figura 30). Nos meses de maio, agosto, dezembro e janeiro as precipitações pluviais médias do Estado foram de 178, 164, 130 e 196mm nestes meses, respectivamente, no evento El Niño, e se refletiu em

desvios positivos de NDVI na maior parte do Estado (Figura 31). Por outro lado as precipitações pluviais médias no Rio Grande do Sul de apenas 64, 40, 73 e 167 mm nesses mesmos meses (maio, agosto, dezembro e janeiro) no evento La Niña foram insuficientes para atender a demanda evaporativa da atmosfera.

Cabe lembrar que nos meses de El Niño as médias de precipitação pluvial foram maiores do que as médias climatológicas, no período de 1980 a 2009, de 138mm em maio, 118mm em agosto, 128mm em dezembro e 134mm em janeiro (Cordeiro, 2010) e bem menores em La Niña.

A análise da Figura 31 permitiu observar a variabilidade existente na distribuição espacial dos desvios de NDVI nos eventos El Niño e La Niña, em relação à média, em todo o Estado do Rio Grande do Sul. Observou-se o predomínio de desvios negativos, associados aos eventos La Niña especialmente na metade Sul do Estado, em maio e dezembro de 1988 e janeiro de 1989.

No mês de junho foram observadas algumas particularidades. Neste mês a precipitação pluvial média do Rio Grande do Sul foi de 101mm no evento de El Niño (1987) e de 124mm no evento de La Niña (1988). No entanto, esse discreto aumento da precipitação pluvial em La Niña não se refletiu em aumento do NDVI. Pelo contrário, o NDVI médio do Estado foi menor (Figura 30). Esses volumes de precipitação pluvial, próximos à média climatológica (1980 a 2009) de 135mm (Cordeiro, 2010) parecem ter sido suficientes para atender à menor demanda atmosférica nessa época do ano, tendo em vista que os desvios da média, tanto positivos quanto negativos, foram baixos, principalmente em El Niño. Além disso, a precipitação pluvial no El Niño foi bem distribuída no Estado, como pode ser observado pela distribuição dos desvios positivos e negativos. No junho de La Niña os desvios negativos foram verificados em todo o Rio Grande do Sul, no entanto, os maiores desvios negativos foram concentrados na metade Sul do

Estado (Figura 31). O NDVI menor em La Niña, provavelmente esteve associado a outros fatores não analisados nesse estudo de caso.

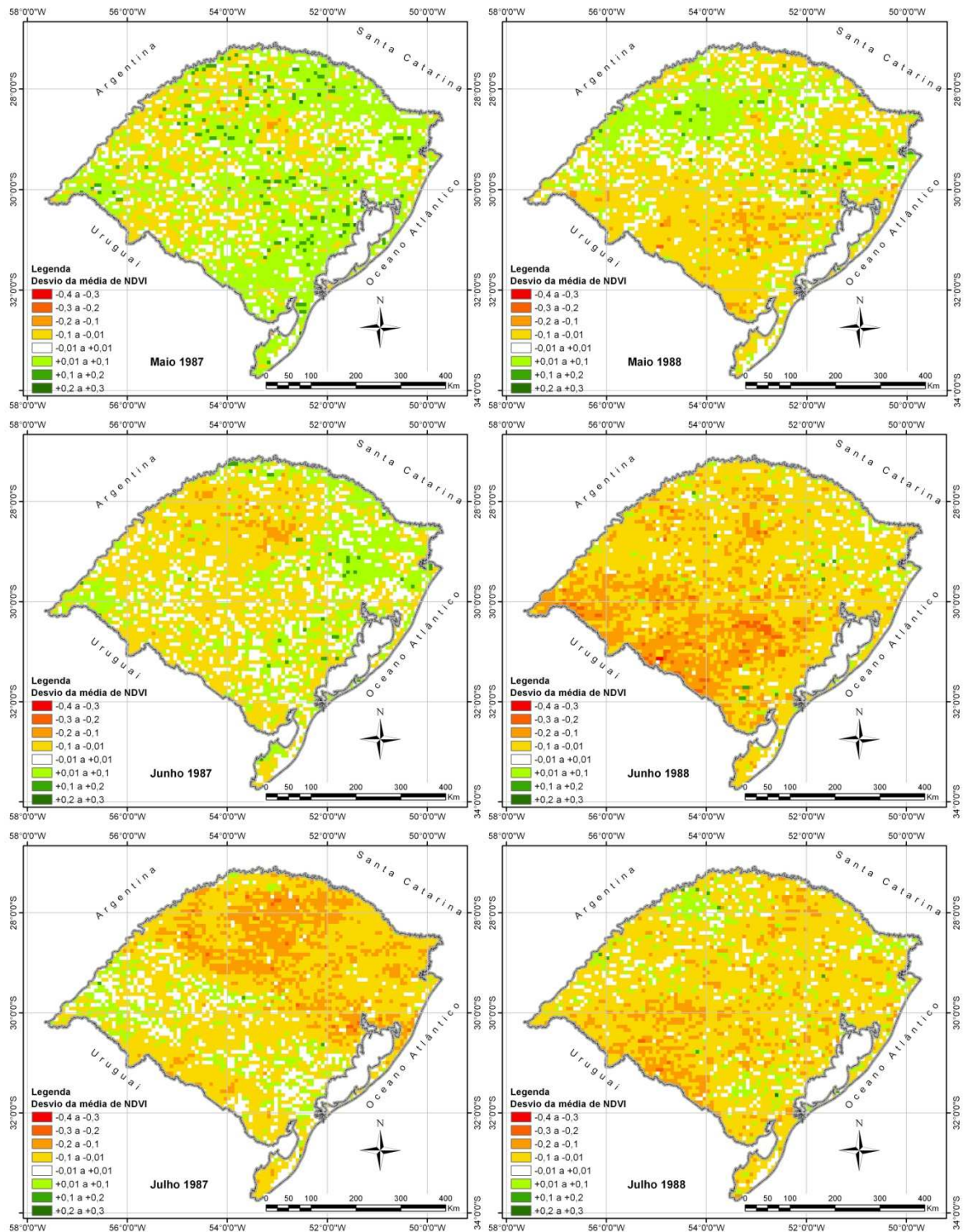
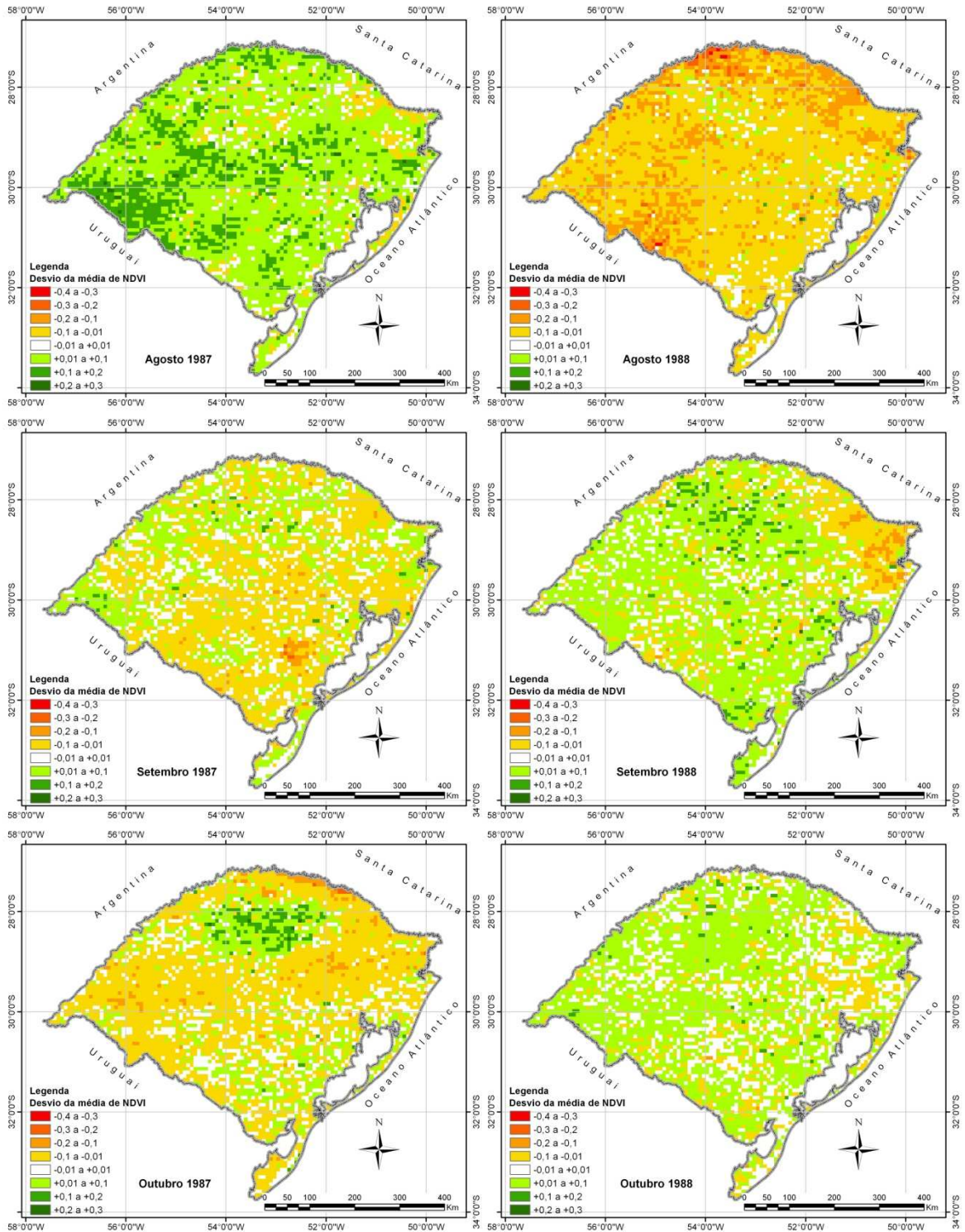
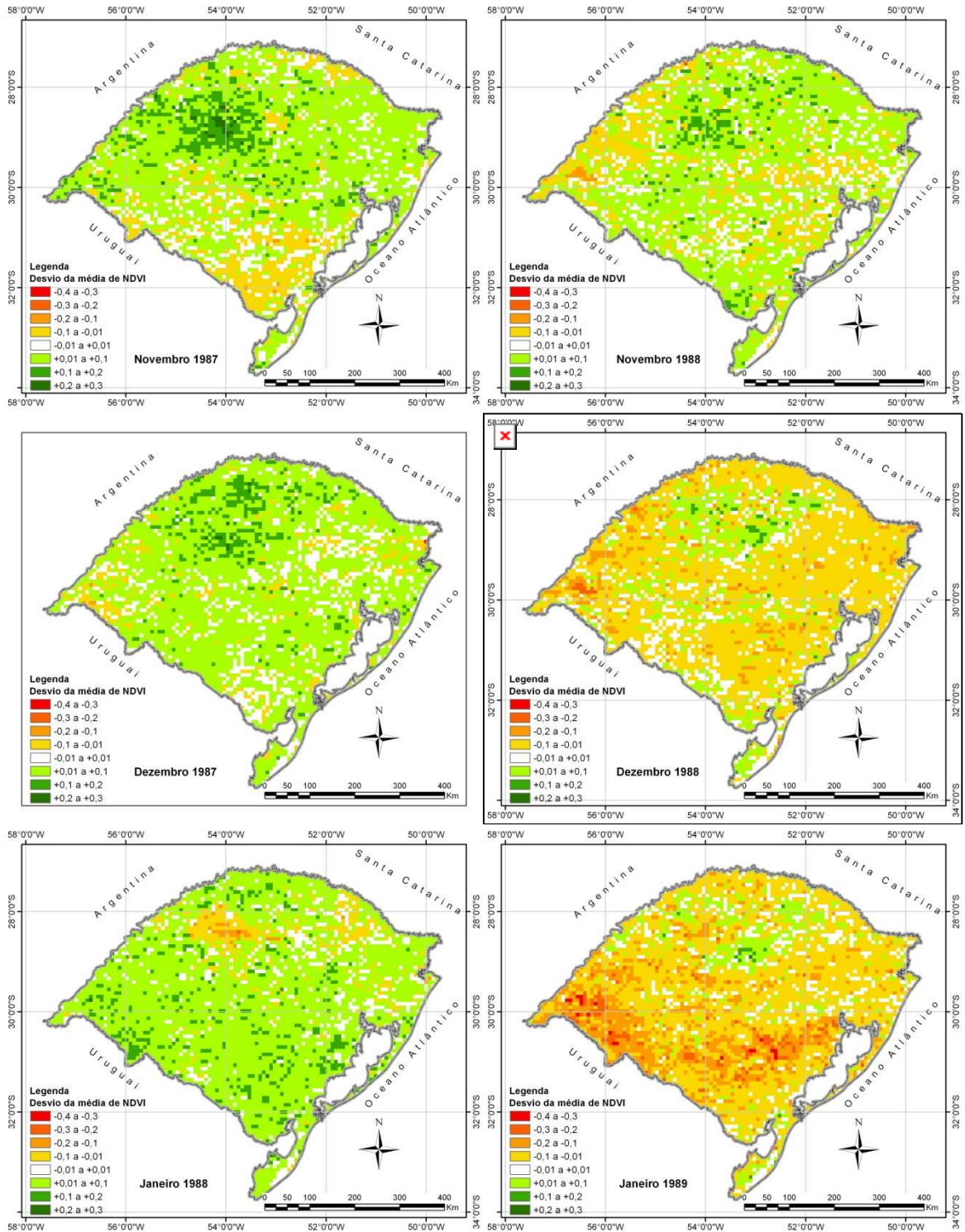


FIGURA 31. Desvio da média do NDVI no Rio Grande do Sul, em eventos El Niño (1987-1988) e La Niña (1988-1989).



continuação FIGURA 31. Desvio da média do NDVI no Rio Grande do Sul, em eventos El Niño (1987 - 1988) e La Niña (1988 - 1989).



continuação FIGURA 31. Desvio da média do NDVI no Rio Grande do Sul, em eventos El Niño (1987 - 1988) e La Niña (1988 - 1989).

Em julho de 1987 (El Niño), a precipitação pluvial média do Rio Grande do Sul (269mm) foi quase o dobro da normal climatológica (1980 a 2009) para este mês que é de 139mm (Cordeiro, 2010). Enquanto que em 1988 (La Niña) a

precipitação pluvial média de julho foi de apenas 52mm, o que se refletiu em predomínio de desvios negativos em todo o Rio Grande do Sul (Figura 31). No evento de El Niño observam-se dois padrões contrários na distribuição dos desvios. Uma faixa NO-SE dividiu o Estado, com desvios negativos à direita e desvios positivos à esquerda desta, indicando que a precipitação pluvial foi irregularmente distribuída no Estado. Esses desvios negativos e positivos se compensaram, de forma que observando o NDVI médio do Estado no evento de El Niño, o valor foi igual ao NDVI médio do Estado no evento de La Niña (Figura 30). Esse resultado mostra a importância de se trabalhar com análises espaciais (com imagens), pois em análises temporais, através de médias, muitas peculiaridades e informações importantes não são percebidas. A faixa com desvios negativos no El Niño, concentrada na região mais chuvosa do Estado, se deve, provavelmente, à maior nebulosidade e, conseqüentemente, à maior precipitação pluvial, que em uma época de baixa demanda evaporativa ocasionou excesso hídrico, com reflexo no NDVI. Já, a menor nebulosidade e conseqüente menor precipitação pluvial nas regiões menos chuvosas do Estado, em uma época do ano em que é comum haver excesso hídrico, pode ter sido a explicação para a faixa de desvios positivos no evento de El Niño. Menor nebulosidade resulta em maior disponibilidade de radiação solar, essencial ao processo fotossintético, portanto, diretamente relacionada à formação de biomassa e NDVI.

Setembro de 1988 foi outro mês atípico, pois a precipitação pluvial média do Rio Grande do Sul foi maior na La Niña (253mm). Isto se refletiu em maior NDVI (Figura 30), com ampla distribuição espacial dos desvios da média positivos no Estado. A alta nebulosidade, associada ao aumento da precipitação pluvial, não ocasionou redução no índice, como ocorreu em alguns casos, provavelmente pela influência de outras variáveis como, por exemplo, da temperatura, que tem

aumento neste mês. A normal (1980 a 2009) de precipitação pluvial média no Estado é de 151mm (Cordeiro, 2010). Já, no evento El Niño de 1987, este valor foi abaixo da média, com 128mm e desvios negativos foram observados por todo o Rio Grande do Sul.

A precipitação pluvial média no Rio Grande do Sul, em outubro, foi um pouco abaixo da normal climatológica (1980 a 2009) de 164mm (Cordeiro, 2010), tanto no evento El Niño (141mm) como na La Niña (121mm). O NDVI médio do Estado foi maior na La Niña (Figura 30), como pode ser observado pelo predomínio de desvios da média de NDVI positivos (Figura 31). Espacialmente, também se observa que no evento El Niño os desvios positivos foram concentrados na região produtora de grãos e na metade Sul do Estado, onde as lavouras de soja, milho e arroz estavam sendo implantadas nessa época.

Novembro, em média, é o mês de maior impacto do ENOS na precipitação pluvial do Rio Grande do Sul, com maiores volumes associados ao El Niño e menores na La Niña (Fontana & Berlato, 1997; Puchalski, 2000). Entretanto a precipitação pluvial média no Estado foi semelhante entre os eventos: 113mm no El Niño e 115mm na La Niña e um pouco abaixo da normal climatológica (1980 a 2009) de 140mm (Cordeiro, 2010). Já, o NDVI médio do Estado foi um pouco maior no El Niño (Figura 30). Observa-se, na distribuição dos desvios, uma discreta variação entre regiões, mas em ambos eventos predominaram os desvios positivos no Estado. No entanto, no El Niño (novembro de 1987) os desvios positivos foram maiores na região produtora de grãos, onde as lavouras de soja e milho estavam em início do desenvolvimento.

Na Figura 32 são mostradas as imagens médias de NDVI dos trimestres NDJ e JFM e as imagens médias de NDVI desses trimestres nos eventos de La Niña (NDJ) e El Niño (JFM), que foram os trimestres de maior impacto do ENOS

sobre o NDVI do Rio Grande do Sul. Estes trimestres são importantes para a agricultura do Rio Grande do Sul, pois é quando há alta demanda evaporativa da atmosfera. Além disso, é o período em que a maior parte dos cultivos não irrigados apresenta perdas frequentes por estiagem no Estado.

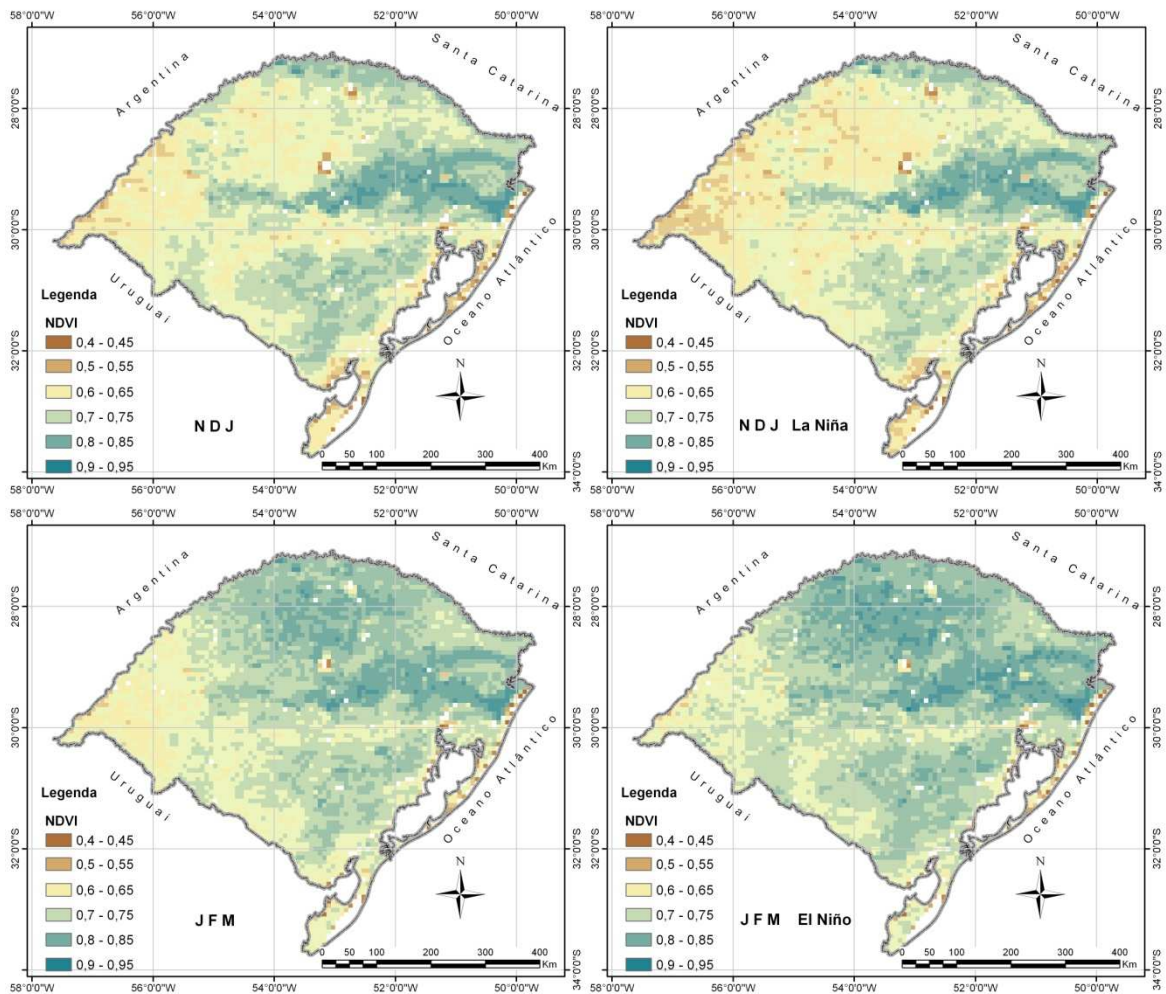


FIGURA 32. Média do trimestre NDJ, NDJ de La Niña, JFM e JFM de El Niño, no Rio Grande do Sul. Período de 1982 a 2008.

No trimestre médio de NDJ o NDVI é mais baixo do que no trimestre médio de JFM, já que os cultivos agrícolas, que ocupam grande parte do Rio Grande do Sul estão sendo implantados ou se desenvolvendo, enquanto que no trimestre de JFM esses cultivos se encontram em seu máximo de desenvolvimento (Figura 32). Mesmo no trimestre de JFM, na região oeste do Estado e na Depressão Central, o NDVI permanece mais baixo que nas demais regiões. O aumento da

precipitação pluvial associada ao fenômeno El Niño ameniza esta situação, aumentando o NDVI em quase todo o Rio Grande do Sul, inclusive nessas regiões. Já a La Niña, pelo contrário, agrava a situação, reduzindo o NDVI em praticamente todo o Estado, mas principalmente na região de produção de grãos.

Na Figura 33 observa-se que nos trimestres NDJ e JFM os padrões dos desvios da média de NDVI no Rio Grande do Sul foram opostos. Em condição de La Niña, os desvios de NDVI no trimestre de NDJ foram negativos em quase todo o Estado. Já para a condição de El Niño os mesmos foram positivos no trimestre JFM, também na maior parte do Estado. Aparentemente, pelo que se observa na Figura 33, as florestas representam o tipo de vegetação menos afetadas durante os eventos La Niña nesse trimestre.

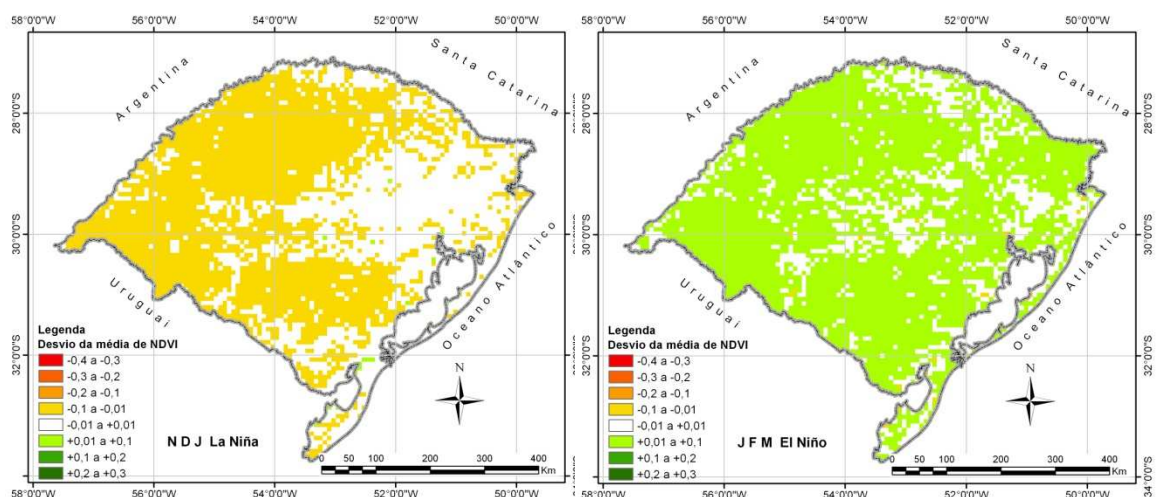


FIGURA 33. Desvios da média de NDVI no Rio Grande do Sul no trimestre de El Niño (JFM) e de La Niña (NDJ).

Todos esses resultados mostram que as imagens GIMMS indicam potencialidades de utilização em sistemas de monitoramento do crescimento e desenvolvimento da vegetação, principalmente em condições de ENOS.

4.6 Definição das regiões homogêneas quanto à variabilidade temporal média do NDVI

Entre os agrupamentos testados, tendo como base a variabilidade temporal do NDVI, o que agrupou em seis regiões homogêneas foi o que melhor representou o uso e ocupação do solo do Rio Grande do Sul, nas últimas décadas. Como se pode observar na Figura 34 as regiões homogêneas de NDVI têm associação com as áreas do macrozoneamento ambiental (Guasselli *et al.*, 2006). Isto fica evidenciado nas áreas do macrozoneamento ambiental (apresentado na Figura 15): de florestas (em azul); campos mistos com florestas na Serra do Sudeste (em vermelho); campos (verde-claro e rosa); dunas (em laranja); áreas agrícolas, principalmente a região maior produtora de grãos na metade Norte, áreas de cultivo de arroz na Depressão Central e em parte da Campanha (em verde); no Litoral (em amarelo) e na parte Oeste do Estado.

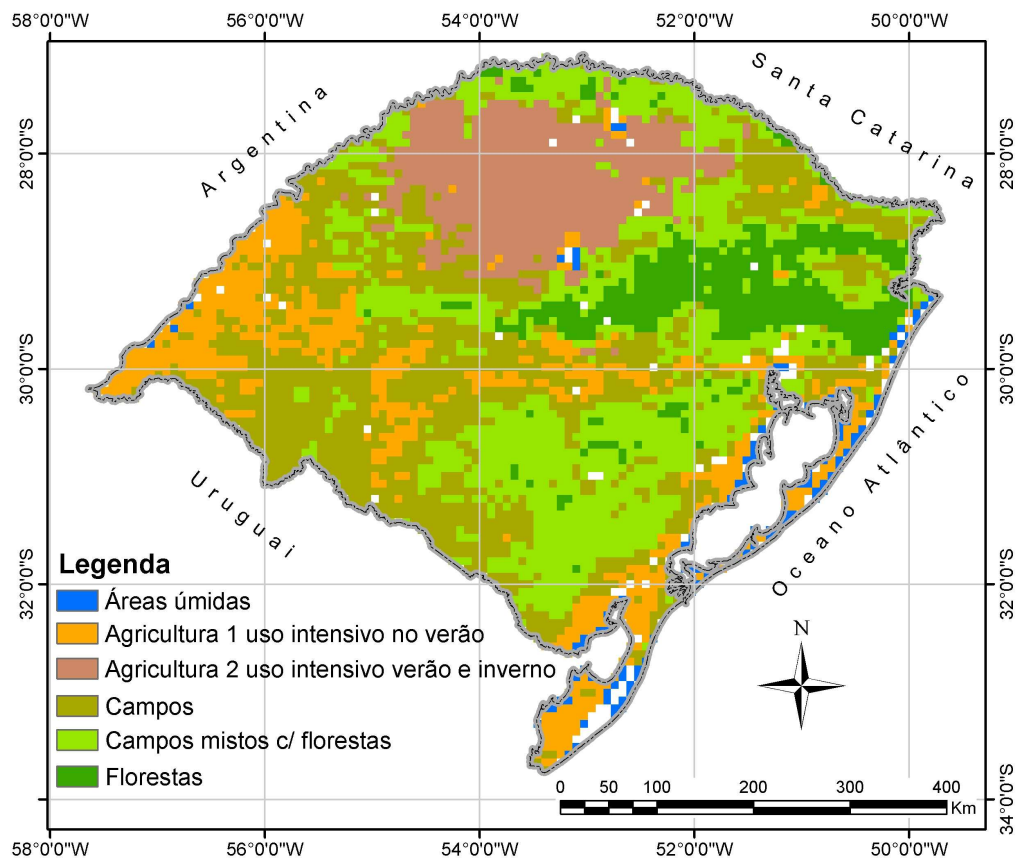


FIGURA 34. Regiões homogêneas quanto à variabilidade temporal de NDVI no Rio Grande do Sul.

A vantagem do agrupamento pela variabilidade temporal do NDVI é a praticidade do método, dispensando a necessidade de inúmeros planos de informação, como mapas de solo, altimetria, uso e ocupação do solo, entre outros, que em geral são necessários para confecção dos mapas temáticos. Nesse sentido, a análise de agrupamento se mostrou uma técnica de classificação de imagens de baixo custo, rápida, acessível e eficiente para agrupar as regiões homogêneas com mesma variação temporal de NDVI.

O Grupo 1 foi identificado como Áreas úmidas, sendo os pixels deste grupo encontrados junto a corpos d'água como o Rio Uruguai, Rio Ibicuí, Rio Jacuí, Rio Passo Fundo, Rio Guaíba, Laguna dos Patos, Lagoa Mirim, Lagoa Mangueira e, principalmente, junto à costa do Litoral (Figura 35).

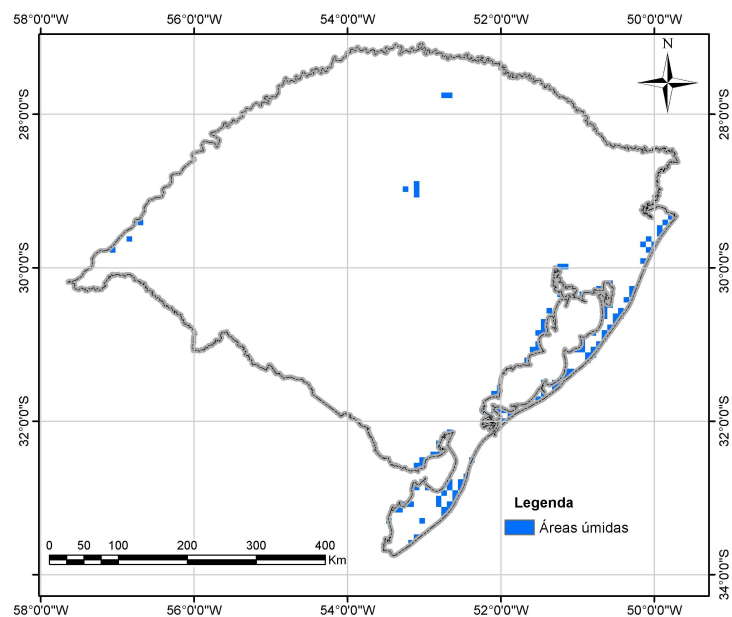


FIGURA 35. Grupo 1 identificado como Áreas úmidas.

O Grupo 2 ocupando parte do Baixo Vale do Uruguai, noroeste da Campanha, parte da Depressão Central, Zona Sul e proximidades da Laguna dos Patos, foi identificado como Agricultura 1 uso intensivo no verão. Estas são áreas tradicionalmente ocupadas, predominantemente, com o cultivo de arroz na primavera-verão e pousio com campos no outono-inverno (Figura 36).

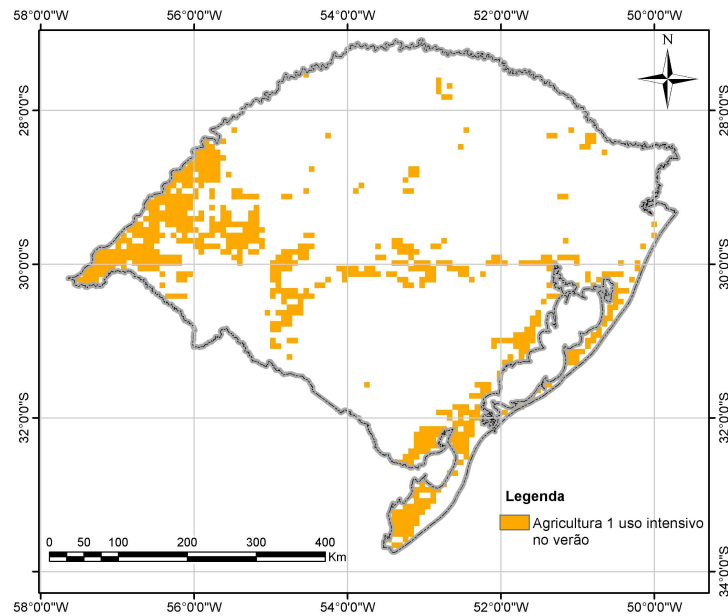


FIGURA 36. Grupo 2 identificado como área de Agricultura 1 uso intensivo no verão.

Nas safras de 1990 a 2012 a área cultivada de arroz irrigado no Rio Grande do Sul, apesar de apresentar uma leve tendência de aumento, nunca ultrapassou 1.170 (mil ha), registrados em 2011 (IBGE, 2014). No entanto, mesmo com este aumento, a área agrupada pela variabilidade de NDVI é, aproximadamente, três a quatro vezes maior que a real área cultivada com arroz irrigado no Rio Grande do Sul. Isto pode ser explicado pelo fato da área do Grupo 2 incluir áreas que alternam arroz e pousio com campos ou rotação de culturas com cultivos de sequeiro. Esta rotação de área compreende um período de três a quatro anos, que, na média de 27 anos, apresentam um mesmo padrão de variação e, portanto, caracterizaram um agrupamento diferenciado dos demais cultivos agrícolas.

No entanto, a área agrupada pela variabilidade de NDVI está de acordo com a área potencial de cultivo de arroz no Estado de 3.322.037 ha, determinada por Klering (2012) a partir da soma das áreas cultivadas com arroz irrigado nas safras de 2001 a 2010 no Rio Grande do Sul. Assim, reforçando a característica

de adoção do sistema de pousio e rotação de culturas na região orizícola do Rio Grande do Sul.

Apesar do agrupamento das áreas cultivadas com arroz no Rio Grande do Sul, utilizando a variabilidade do NDVI da série GIMMS como entrada, não ser indicado para estimar/quantificar áreas, visto sua diferença em relação aos dados oficiais e aos estimados por diferentes autores (Klering, 2007; Weber *et al.*, 2007; Klering, 2012), tal agrupamento se mostrou eficiente para definir uma área para extração do perfil médio de NDVI desse cultivo, bem como para retratar áreas potencialmente utilizadas para o cultivo do arroz.

O Grupo 3, identificado como áreas ocupadas com campos, nativos ou cultivados, ocupa a maior parte do Rio Grande do Sul (Figura 37). Estes resultados estão em consonância com Overbeck *et al.* (2007), que dizem que os campos são a paisagem dominante no Rio Grande do Sul, cobrindo 75% do Estado, sendo que 62,2% deste total está localizado no Bioma Pampa (Boldrini *et al.*, 2010).

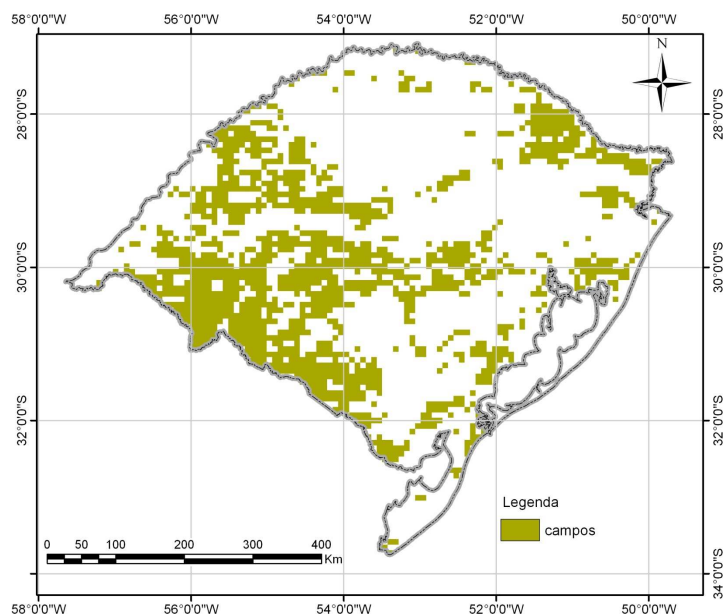


FIGURA 37. Grupo 3 identificado como área de Campos.

O Grupo 4 está presente na Serra do Sudeste e em áreas próximas à floresta Mata Atlântica, bem como no vale do Rio Uruguai e ao redor da região maior produtora de grãos. Tal fisionomia foi identificada como área de campos mistos com florestas, justamente por conter, neste grupo, algumas florestas remanescentes da Mata Atlântica (Figura 38).

No entanto, a maior parte do Grupo 4 ocupa a Serra do Sudeste (Figura 38), a qual apresenta baixas temperaturas no inverno e compreende solos rasos Neossolos Litólicos, muito pedregosos, originados principalmente de granito, associados com Argissolos Vermelho-Amarelos. Muitas áreas, atualmente cobertas por vegetação campestre, eram originalmente ocupadas por subarbustos e árvores de baixo porte, que, aos poucos, foram cortadas ou queimadas (Boldrini *et al.*, 2010).

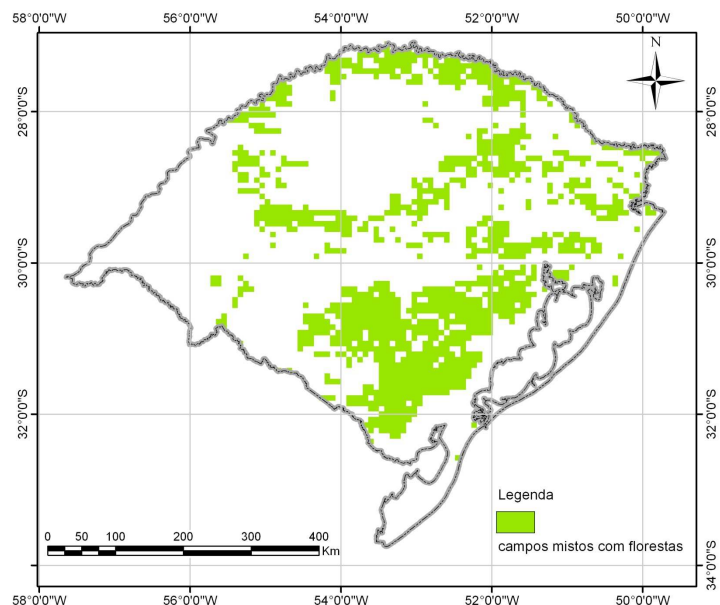


FIGURA 38. Grupo 4 identificado como área de Campos mistos com florestas.

O mapeamento dos sistemas ecológicos da ecorregião das Savanas Uruguaias (Figura 5), realizado por Hasenack *et al.* (2010), classificou área semelhante na Serra do Sudeste, como Campo Arbustivo e Floresta Estacional, ambos com fisionomia dominante composta por um mosaico de floresta e campo.

O Grupo 5 abrange 4.505.600 ha e foi identificado como Agricultura 2 uso intensivo no verão e inverno, pois são áreas ocupadas com cultivos para a produção de grãos, especialmente soja e milho na primavera-verão, e cereais de inverno, principalmente o trigo, no outono-inverno. Nesta região se concentra a maior produção de grãos do Rio Grande do Sul (Figura 39).

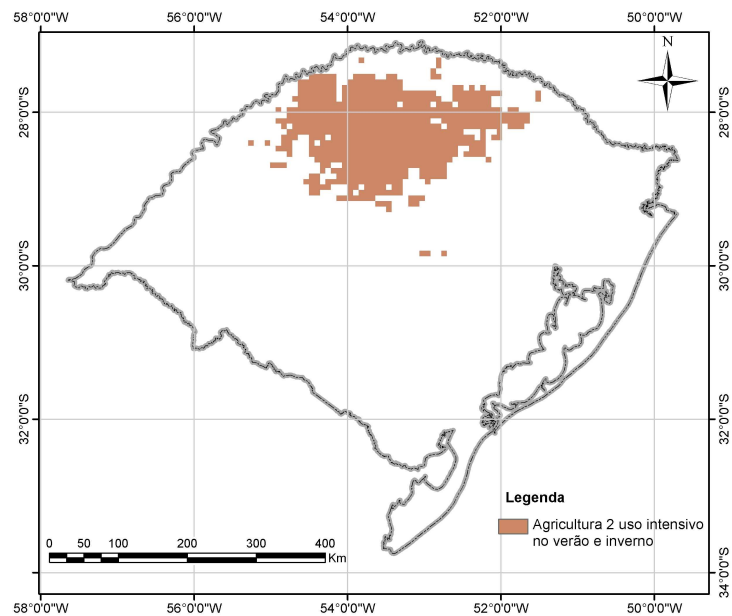


FIGURA 39. Grupo 5 identificado como área de Agricultura 2 uso intensivo no verão e inverno.

Segundo o Acompanhamento de Safra de Grãos, a área cultivada com soja no Rio Grande do Sul foi de 4.618,6 mil ha na safra 2013 (CONAB, 2013). No entanto, a fronteira agrícola com esta *commodity* avançou em direção ao sul do Estado (Wagner *et al.*, 2007; CONAB, 2013), incluindo áreas que não foram detectadas na metodologia utilizada no presente trabalho. Isto porque esta metodologia se baseia na variabilidade do NDVI ao longo de um ano médio de um período de 27 anos, e na maior parte desse período, apenas a área em destaque era a grande produtora de soja no Estado (Rizzi & Rudorff, 2005; Melo *et al.*, 2008).

Na área identificada com Agricultura 2 uso intensivo no verão e inverno (Figura 39), além de soja também é cultivado o milho, o feijão e o girassol (CONAB, 2013), cujas áreas são incompatíveis com o tamanho do pixel da série GIMMS. Segundo o Acompanhamento de Safra de Grãos, somando a safra e safrinha do milho, a área cultivada atingiu 1.033,3 mil ha (CONAB, 2013), no entanto, distribuída em uma área bem mais abrangente do que a área da Figura 39. Também, segundo a CONAB (2013), a 1ª safra feijão (com colheita até fevereiro) representou 51,7 mil ha e o cultivo do girassol abrangeu 2,7 mil ha nessa área identificada como Agricultura 2 uso intensivo no verão e inverno.

No outono-inverno são cultivados: trigo, aveia, cevada, canola, triticale e centeio. Segundo o Acompanhamento de Safra de Grãos na safra de 2013, o trigo ocupou uma área de 976,2 mil ha, a aveia 99,8 mil ha, a cevada 46,3 mil ha, a canola 28,2 mil ha, o triticale 5,2 mil ha, e o centeio 1,5 mil ha. No caso do trigo, aveia e cevada, a área de cultivo abrange parte do sul do Estado, extrapolando, assim, a área maior produtora de grãos. Somada ainda nesta, está a área de feijão de 2ª safra (colhido até junho) com 19,5 mil ha (CONAB, 2013).

Segundo Santos *et al.* (2014) a superestimativa de áreas de soja pode ser explicada pela resolução espacial das imagens MODIS, em que pequenas áreas de soja vizinhas podem ter sido agregadas a uma grande área de soja no mapeamento. Por outro lado, a subestimativa de áreas pode ocorrer pela presença de pequenas áreas de soja, que não são detectadas pelo sensor MODIS, em virtude da resolução espacial das imagens de 250 m, e que também não apresentam padrão de agregação espacial. Quando se trabalha com um pixel de resolução espacial de 8 km estas generalizações tornam-se mais intensas.

Novamente, o agrupamento Agricultura 2 uso intensivo no verão e inverno não teve por objetivo mapear as lavouras, tendo em vista que, devido às

diferentes características em relação ao tamanho, tecnologia de sementeira e calendário agrícola, este mapeamento deixaria muito a desejar ao utilizar imagens de baixa resolução, onde um pixel corresponde a 6.400ha. No entanto, o objetivo, de agrupar pixels com mesmo padrão de variabilidade de NDVI ao longo de um ano médio, a fim de extrair um perfil que descrevesse satisfatoriamente cada grupo vegetal, foi atingido.

O Grupo 6 foi identificado como áreas de florestas (Figura 40), coerente com o macrozoneamento ambiental (apresentado anteriormente na Figura 15), em que área semelhante é classificada como Florestas remanescentes da Mata Atlântica. A maior parte do Grupo 6 coincide com as áreas mais declivosas do Estado.

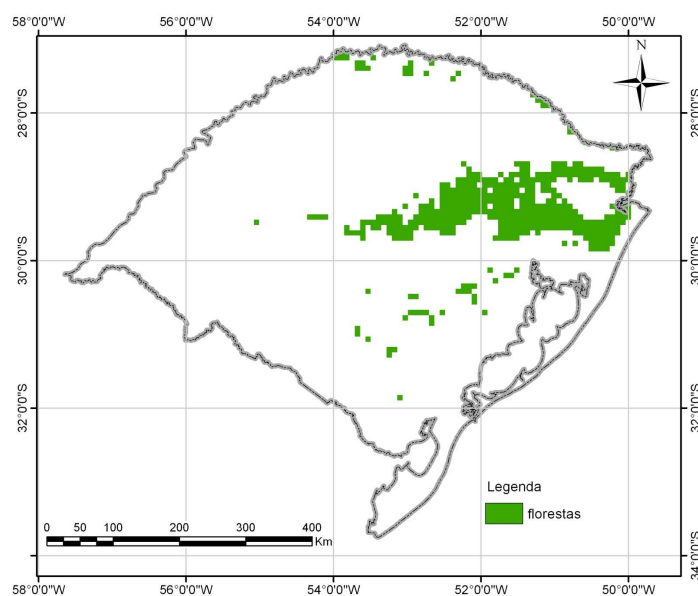


FIGURA 40. Grupo 6 identificado como área de florestas.

A parte leste superior, da região agrupada como florestas, inclui a Floresta Ombrófila Mista; a parte leste inferior, a Floresta Estacional Semidecidual, que também é encontrada na Serra do Sudeste; e a parte inferior mais ao leste, inclui a Floresta Ombrófila Densa. Já na parte oeste da grande área agrupada como floresta e ao Norte do Estado encontra-se a Floresta Estacional Decidual (Figura

38). Tais estratificações podem ser observadas no mapa das regiões fitoecológicas (Figura 3).

Embora as florestas da Mata Atlântica não tenham sido o foco do trabalho de Hasenack *et al.* (2010), observa-se grande coincidência dessa área agrupada pela variabilidade do NDVI ao longo de um ano médio (Figura 40) com a área de Florestas, identificada no trabalho de mapeamento das Savanas Uruguaias (Figura 5), com base em planos de informação obtidos de mapas temáticos de altitude, declividade, solos, vegetação e uso da terra.

Os resultados obtidos na análise de agrupamento de pixels que apresentam variabilidades de NDVI semelhantes, ao longo de um ano médio, permitem admitir que é possível agrupar distintos grupos vegetais em regiões homogêneas.

O perfil anual médio de NDVI do grupo identificado como Áreas úmidas foi o que apresentou os menores valores de NDVI. Os valores menores no inverno aumentam durante a brotação de novas folhas e atinge o pico máximo de NDVI, em torno de 0,4, em fevereiro, quando as plantas estão em pleno desenvolvimento vegetativo. Nos meses seguintes decresce (Figura 41).

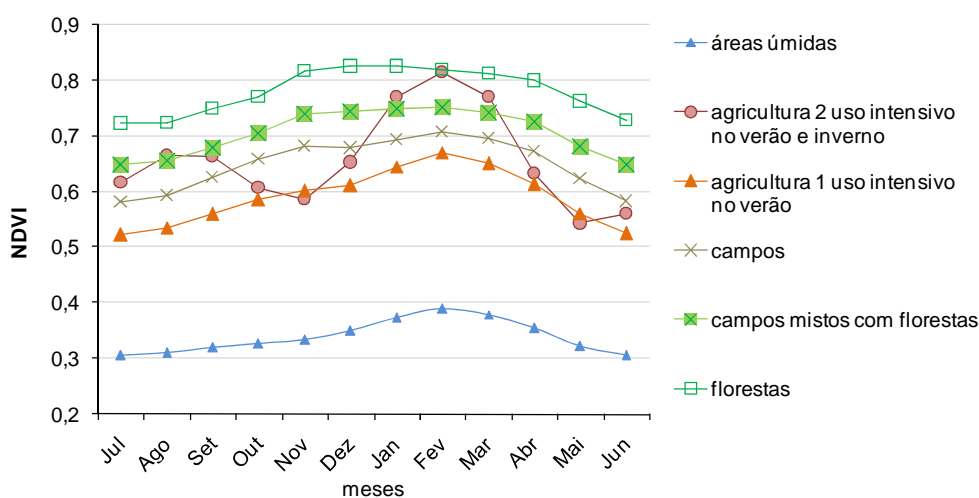


FIGURA 41. Perfil anual médio de NDVI dos grupos: Áreas úmidas; Agricultura 1 uso intensivo no verão; Campos; Campos mistos com florestas; Agricultura 2 uso intensivo no verão e inverno; Florestas. Estado do Rio Grande do Sul.

O perfil anual médio de NDVI do Grupo Agricultura 1 uso intensivo no verão mostrou valores superiores aos observados no grupo Áreas úmidas, sendo crescentes a partir de julho. Seria esperado um decréscimo de NDVI nos meses de outubro e novembro, como consequência da entrada de água nas lavouras de arroz. Mas, o NDVI próximo a 0,6, nestes meses, confirma a presença neste grupo da vegetação campestre (áreas de pousio), que, nesta época, encontra-se em estágio de brotação. O pico máximo de NDVI ocorre em fevereiro (0,67), que corresponde aos estádios de floração e início de enchimento de grãos do arroz. O NDVI, então, decresce nos meses de outono, pela perda de biomassa verde e colheita do arroz (Figura 41). Tomita *et. al.* (2000), na Tailândia, já haviam mostrado que era possível monitorar os estágios de preparação de solo, desenvolvimento da cultura, maturação e colheita em uma área cultivada com arroz irrigado, a partir de perfis de NDVI gerados com imagens AVHRR.

Com valores de NDVI superiores aos anteriores, o perfil anual médio dos Campos (Figura 41) apresenta um pico mínimo no inverno, quando a vegetação está em senescência. As temperaturas baixas, dessa época do ano, causam a morte da parte aérea das gramíneas de grande parte da vegetação, resultando em baixa disponibilidade de biomassa (Machado, 1999), que se reflete na redução de NDVI. O NDVI aumenta nos meses de primavera, época de crescimento inicial das pastagens, com um pico em novembro de 0,68, quando a vegetação campestre encontra-se em brotação (Machado, 1999). No verão o NDVI continua aumentando, devido ao crescimento da vegetação, como resposta ao aumento da temperatura (Rizzi & Fonseca, 2001). O pico máximo de NDVI ocorre em fevereiro (0,7), quando a vegetação campestre se encontra com produção máxima de biomassa (Machado, 1999). Essa biomassa verde decresce nos meses de outono, quando se inicia a senescência. Trentin & Fonseca (2011),

utilizando série de 10 anos de imagens MODIS para monitorar a fenologia da vegetação campestre do bioma Pampa descreveram perfil anual médio semelhante a esse.

A variação nos valores de NDVI dos Campos de 0,58 no inverno e 0,70 no verão foi semelhante à encontrada por Trentin & Fonseca (2011), utilizando NDVI do MODIS (0,51 no inverno e 0,78 no verão). A equação do NDVI resulta em valores maiores quando há baixa reflectância na banda espectral do vermelho, devido à maior absorção da radiação solar nesta faixa de comprimento de onda, pela maior quantidade de clorofila, e alta reflectância na banda do infravermelho próximo, devido ao espalhamento (reflectância e transmitância) da radiação no interior das folhas em função da estrutura celular (Ponsoni & Shimabukuro, 2007). Por outro lado, quando o pico de reflectância é deslocado para a banda do vermelho, em função da degradação da clorofila e, a reflectância no infravermelho próximo diminui devido à degeneração das membranas celulares do mesófilo durante a senescência, ocorre uma diminuição nos valores de NDVI (Trentin & Fonseca, 2011). A mesma explicação se aplica a variação nos valores de NDVI dos demais grupos vegetais, sendo maior ou menor a amplitude desta variação conforme as peculiaridades de cada grupo.

Estudando cinco zonas de campos no Rio Grande do Sul, Fontana *et al.* (2007) também verificaram menores valores de NDVI no outono e inverno e maiores valores do NDVI na primavera e verão, associados ao crescimento das plantas em resposta à temperatura e insolação. No entanto, no verão, período com maiores valores de NDVI, as diferenças entre as zonas foram mais bem evidenciadas, associadas à precipitação pluvial.

Os Campos mistos com florestas apresentam um perfil anual médio semelhante aos Campos (Figura 41). No entanto, os valores de NDVI são mais

altos por influência da vegetação florestal presente neste grupo, a qual apresenta maior vigor que a vegetação campestre. O pico mínimo de NDVI, no inverno, além da senescência da vegetação campestre, é influenciado também pela Floresta Estacional Semidecídua, presente neste grupo, que, com 20 a 50% das espécies sendo caducifólias, perdem suas folhas nessa época de frio intenso (Rosembach *et al.*, 2010).

O perfil anual médio do grupo Agricultura 2 uso intensivo no verão e inverno foi o que mais se diferenciou, dada a sua característica de apresentar dois picos máximos de NDVI. O primeiro ocorre quando os cultivos de outono-inverno atingem o máximo de biomassa, em agosto e setembro (0,66), que correspondem aos meses de final do crescimento vegetativo e florescimento do trigo, que é o cereal predominante na maior parte da área (Junges & Fontana, 2011). O NDVI decresce na época de colheita dos grãos dos cereais de outono-inverno, que na maior parte da área ocorre em novembro (Junges & Fontana, 2011) e implantação das lavouras de primavera-verão, que, neste mês, apresenta forte resposta espectral do solo ou palha (Wagner *et al.*, 2007). O segundo máximo de NDVI ocorre em fevereiro (0,8), que corresponde ao período de floração e/ou enchimento de grãos da soja, que é o cultivo dominante nesta época na região (Rizzi & Rudorff, 2005; Wagner *et al.*, 2007; Melo *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2014). Neste período, a cultura apresenta a maior densidade de biomassa (Melo *et al.*, 2008). Este pico apresenta valores mais altos que os cereais de inverno, pois a soja, sendo uma leguminosa, apresenta características de folha (Swain & Daves, 1978), de arquitetura de planta e dossel diferentes dos cereais de inverno, que são gramíneas, fatores estes que influenciam a reflectância. Em março, quando tem início a época da colheita o NDVI é de 0,77, decrescendo nos meses seguintes. O NDVI volta a aumentar a partir de maio, quando há a implantação do

cultivo dos cereais de outono-inverno (Junges & Fontana, 2011) na região (Figura 41).

O perfil anual médio de NDVI das Florestas foi o que apresentou os valores mais altos entre os grupos analisados. Os valores são crescentes na primavera, que é a época de brotação, apresenta um pico no verão de 0,82, quando a vegetação florestal encontra-se na sua produção máxima de biomassa verde, demonstrando maior vigor vegetativo (Nora & Martini, 2010), decrescendo nos meses de outono. O pico mínimo de NDVI ocorre no inverno, quando as temperaturas são baixas e a vegetação florestal encontra-se em repouso vegetativo, com perda parcial ou total de folhas (Figura 41).

Durante os meses de verão, em que a vegetação se encontra com maior vigor, os valores de NDVI são maiores, devido à maior disponibilidade de pigmentos fotossintetizantes, absorvendo mais a radiação solar na faixa do vermelho e refletindo, fortemente, na faixa do infravermelho próximo, em decorrência da incapacidade dos estratos vegetativos em absorver ou transmitir este tipo de radiação (Ponsoni & Shumabukuro, 2007). Por outro lado, durante o inverno, nas áreas de florestas ocupadas pela Floresta Estacional Decidual e Semidecidual há perda de biomassa, o que reduz a oferta de pigmentos fotossintetizantes, e faz com que a reflectância na faixa do vermelho seja ligeiramente superior à observada no outono. Já a radiação na faixa do infravermelho, que passa a ser refletida apenas parcialmente, tem grande redução em sua reflectância (Nora & Martini, 2010). Com isto, a amplitude de variação entre os comprimento de onda é reduzida e determina os valores mais baixos de NDVI durante os meses de junho, julho e agosto (Figura 41).

Ao avaliar a dinâmica sazonal de duas fitofisionomias florestais (Floresta Estacional Decídua e Floresta Ombrófila Mista) em duas unidades de

conservação no Bioma Mata Atlântica (Parque Estadual do Turvo/RS e Parque Nacional das Araucárias/SC), Nora & Martini (2010) encontraram padrão fenológico do grupo florestas semelhante: menor NDVI nos meses de junho e julho e maior nos meses de verão. No entanto, as características decíduas distintas de cada formação florestal, alteram as relações de reflectância entre comprimentos de onda no vermelho e no infravermelho próximo, fazendo com que haja distintas variações sazonais entre as formações. No referido trabalho, a Floresta Estacional Decidua apresentou maior amplitude do índice. Isto ocorre porque, nesta formação florestal, a queda das folhas é mais intensa, principalmente durante a estação do ano mais severa (inverno), quando mais de 50% dos indivíduos arbóreos perdem suas folhas. Já a Floresta Ombrófila Mista apresenta maior perenidade, onde a cobertura do dossel apresenta pouca ou nenhuma variação entre estações do ano (Nora & Martini, 2010).

Os perfis temporais médios de cada grupo descrevem satisfatoriamente a dinâmica da vegetação de cada grupo vegetal no Rio Grande do Sul. Este resultado é importante em sistemas de monitoramento da vegetação, especialmente pela facilidade de uso da metodologia e pela gratuidade das imagens. No monitoramento da vegetação natural ou com baixa influência antrópica, como banhados, campos ou florestas, a elaboração dos perfis pode ser útil em estudos de caso, em anos com forte ocorrência de condições adversas, como anomalias climáticas. E, no caso de programas de monitoramento agrícola pode-se, ainda, avaliar a variabilidade dos perfis entre as diferentes safras, servindo de subsídio para modelagem de biomassa.

4.7 Variabilidade e tendência temporal de NDVI nos grupos

Nas Figuras 42 a 47 pode-se observar a variabilidade dos valores médios de NDVI de todos os pixels que compõem cada grupo vegetal e a tendência temporal do NDVI no período de janeiro de 1982 a dezembro de 2008.

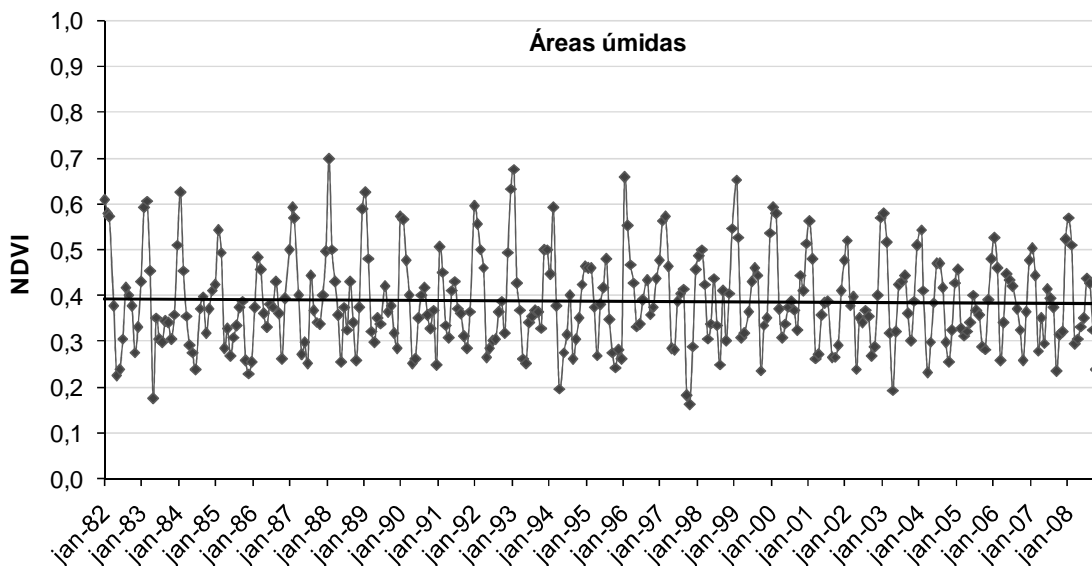


FIGURA 42. NDVI mensal do Grupo Áreas úmidas. Estado do Rio Grande do Sul. Período de janeiro de 1982 a dezembro de 2008. Tendência linear do NDVI representada pela reta preta.

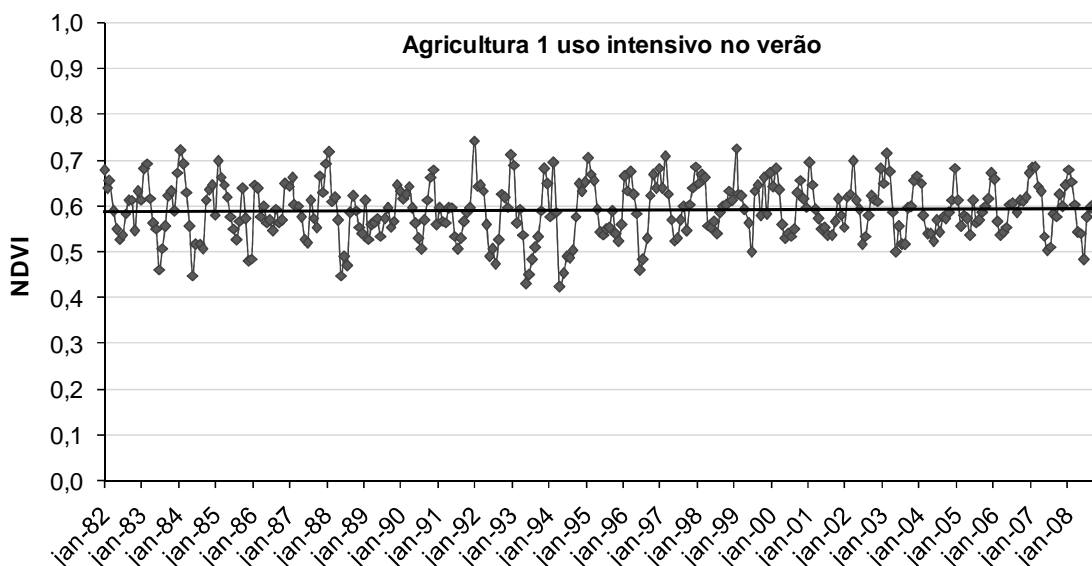


FIGURA 43. NDVI mensal do Grupo Agricultura 1 uso intensivo no verão. Estado do Rio Grande do Sul. Período de janeiro de 1982 a dezembro de 2008. Tendência linear do NDVI representada pela reta preta.

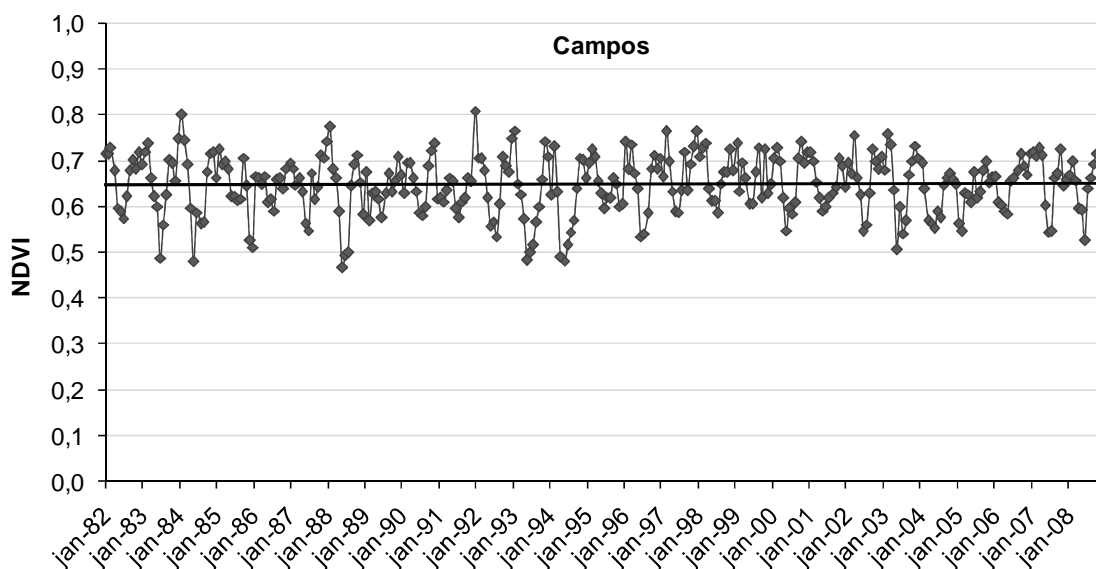


FIGURA 44. NDVI mensal do Grupo Campos. Estado do Rio Grande do Sul. Período de janeiro de 1982 a dezembro de 2008. Tendência linear do NDVI representada pela reta preta.

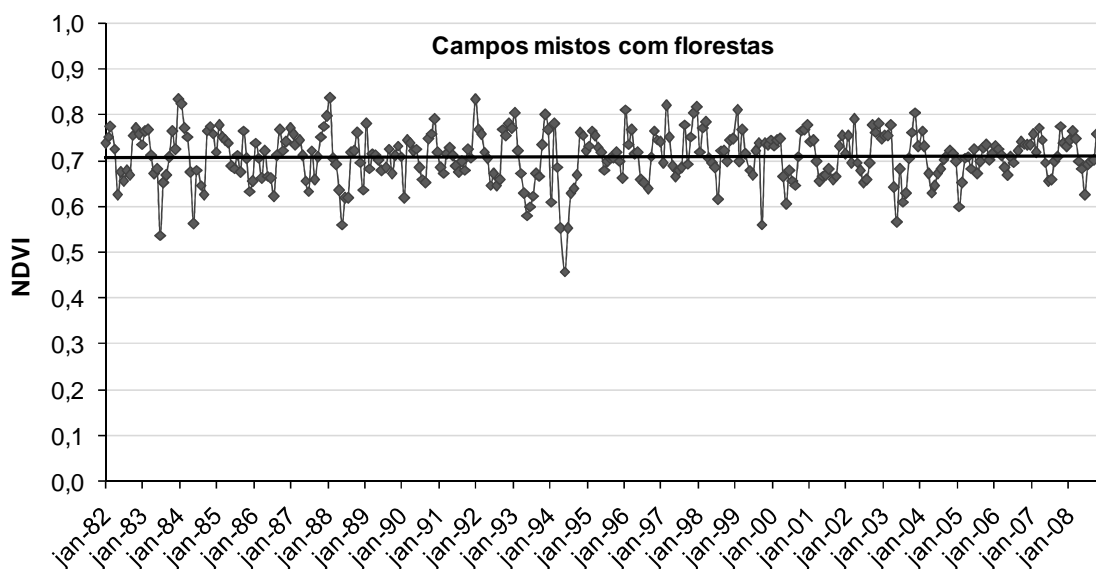


FIGURA 45. NDVI mensal do Grupo Campos mistos com florestas. Estado do Rio Grande do Sul. Período de janeiro de 1982 a dezembro de 2008. Tendência linear do NDVI representada pela reta preta.

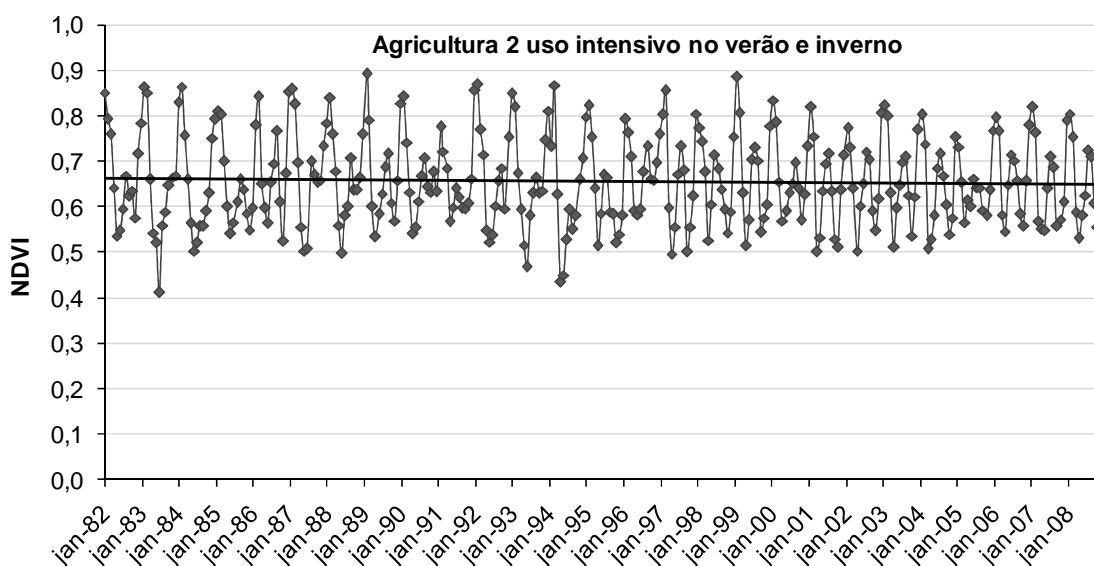


FIGURA 46. NDVI mensal do Grupo Agricultura 2 uso intensivo no verão e inverno. Estado do Rio Grande do Sul. Período de janeiro de 1982 a dezembro de 2008. Tendência linear do NDVI representada pela reta preta.

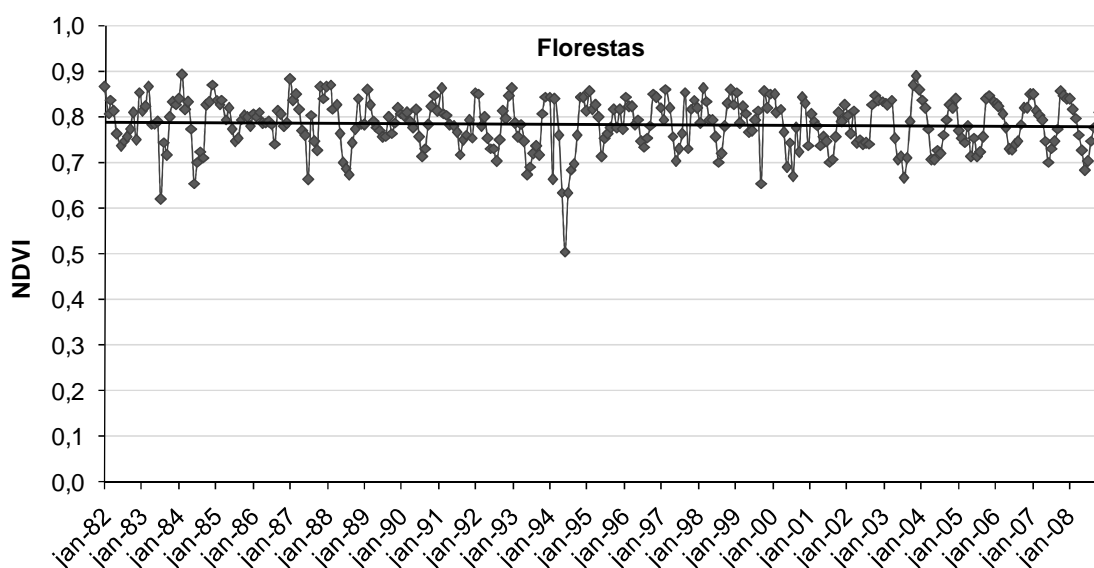


FIGURA 47. NDVI mensal do Grupo Florestas. Estado do Rio Grande do Sul. Período de janeiro de 1982 a dezembro de 2008. Tendência linear do NDVI representada pela reta preta.

Quanto à variabilidade ao longo dos vinte e sete anos, o grupo Áreas úmidas foi o que apresentou maior amplitude (Figuras 42 a 47). Além disso, o grupo Áreas úmidas apresentou o menor valor médio de NDVI, em torno de, aproximadamente, 0,4 (Figura 42). Coerentemente, isto se justifica já que a presença de água reduz a reflectância no infravermelho próximo, em relação aos outros tipos de vegetação.

A amplitude de variação do NDVI nos demais grupos foi menor. No entanto, esses grupos apresentaram um padrão coerente com relação aos valores médios de NDVI: no Grupo Agricultura 1 uso intensivo no verão o valor variou em torno de, aproximadamente, 0,6 (Figura 43); no Grupo Campos, em torno de 0,65 (Figura 44); no Grupo Agricultura 2 uso intensivo no verão e inverno, em torno de 0,68 (Figura 46); no Grupo Campos mistos com florestas, em torno de 0,7 (Figura 45); e no Grupo Florestas, em torno de 0,8, aproximadamente (Figura 47).

Os valores de NDVI mais baixos no ano de 1994, na análise dos grupos, foram verificados apenas nos grupos Campos mistos com florestas e Florestas. Portanto, o efeito da estimativa dos pixels foi regionalizado, como observado na imagem de junho de 1994 exemplificada anteriormente (Figura 23).

Embora os grupos de Áreas úmidas, Agricultura 2 uso intensivo no verão e inverno (soja, milho, cereais de inverno, etc) e Florestas terem apresentado tendências de redução de NDVI, e os Campos, Campos mistos com florestas, e, Agricultura 1 uso intensivo no verão terem apresentado tendência de aumento de NDVI, nenhuma das tendências foram estatisticamente significativas pelo teste *t*-Student no período analisado (Figuras 42 a 47).

Com uma série do MODIS do período de 2000 a 2011 Wagner *et al.* (2013) encontraram redução da precipitação pluvial e dos índices de vegetação nos campos do Pampa do Brasil e Uruguai, entre eles, do NDVI. Esse resultado, contrário ao esperado, já que as pesquisas apontam aumento da precipitação pluvial no Sul do Brasil (Cordeiro 2010; Boschi *et al.*, 2011). Segundo os autores, se deve ao período de estudo, pois a partir de 2000 ocorreram vários eventos moderados de La Niña, cujo efeito observado na região foi de estiagens repetidas (Rosembach *et al.*, 2010), o que se refletiu em redução dos índices de vegetação

(Wagner *et al.*, 2013). Segundo os autores esse quadro foi agravado pelo sobrepastoreio nos solos rasos dessa região, que ocasionou redução no vigor vegetativo. Na série GIMMS com NDVI desde 1982 (Figura 44), a maior frequência de El Niño e também a ocorrência de eventos El Niño mais intensos nos anos 1980 e 1990, são os responsáveis pelo comportamento do NDVI contrário ao encontrado por Wagner *et al.* (2013).

Na Tabela 5 é possível observar a variabilidade de NDVI registrada em cada grupo vegetal no Rio Grande do Sul, através dos valores de coeficiente de variação mínimo e máximo, da diferença entre eles, e pela moda (coeficiente de variação mais freqüente em cada grupo), todos em termos percentuais.

TABELA 5. Coeficiente de variação (%) do NDVI dos grupos: Áreas úmidas; Agricultura 1 uso intensivo no verão; Campos; Campos mistos com florestas; Agricultura 2 uso intensivo no verão e inverno; Florestas, no Rio Grande do Sul, no período 1982-2008.

Grupos/Coefficiente de variação (%)	Mínimo	Máximo	Diferença	Moda
Áreas úmidas	8,5	46,6	38,1	20,2
Agricultura 1 uso intensivo no verão	7,6	25,5	17,9	22,7
Campos	6,6	18,7	12,1	9,7
Campos mistos com florestas	5,2	17,1	12,0	9,2
Agricultura 2 uso intensivo no verão e inverno	10,6	25,9	15,3	16,4
Florestas	4,9	15,9	11,0	8,6

A maior variabilidade temporal de NDVI é encontrada nas Áreas úmidas, com coeficientes de variação de 8,5 a 46,6%, com a maior amplitude de variação registrada entre os grupos (38,1%), sendo nesse grupo o coeficiente de variação de NDVI de 20,2% o valor mais freqüente nos 324 meses analisados (Tabela 5). Esta alta variabilidade no grupo se deve a variações na lâmina d' água e no material em suspensão ao longo do período, que afetam fortemente a reflectância desses alvos.

Depois do grupo Áreas úmidas, os grupos de cultivos de grãos foram os que apresentaram maior variabilidade temporal de NDVI (Tabela 5). O grupo Agricultura 1 uso intensivo no verão (arroz) apresentou coeficientes de variação de 7,6 a 25,5%, com uma amplitude de variação de 17,9%. O Grupo Agricultura 2 uso intensivo no verão e inverno, de áreas produtoras de grãos como soja, milho, entre outros cultivos, apresentou coeficientes de variação de NDVI de 10,6 a 25,9%, com uma amplitude de 15,3%. Nestes casos, as modas foram 22,7 e 16,4%, respectivamente. O coeficiente de variação mais freqüente no Grupo Agricultura 1 uso intensivo no verão (22,7%) foi maior que no Grupo Agricultura 2 uso intensivo no verão e inverno (16,4%), o que pode ser explicado pela entrada de água nas lavouras de arroz, que, assim como ocorre nas Áreas úmidas, reduz a reflectância no infravermelho próximo, reduzindo conseqüentemente, o NDVI nesses períodos e, assim, ampliando o coeficiente de variação a longo prazo.

O coeficiente de variação dos Campos ficou entre 6,6 a 18,7%, com uma amplitude de 12,1%, seguido pelo grupo Campos mistos com florestas cujos valores foram de 5,2 a 17,1%, com uma diferença de 9,2%. Após, encontra-se o grupo das Florestas, que, como era esperado, apresentou os menores coeficientes de variação de 4,9 a 15,9%, com uma amplitude de 8,6% (Tabela 5). As modas foram de 9,7% para os Campos, 9,2% para os Campos com florestas e 8,6% para as Florestas. Estes valores estão de acordo com o esperado, já que a vegetação campestre apresenta menor tempo de resposta que a vegetação florestal aos efeitos da variabilidade climática (Wagner, 2013), principalmente no que se refere à precipitação pluvial. Portanto, era esperado que as florestas apresentassem a menor variabilidade temporal de NDVI.

Por sua vez, a maior variabilidade dos cultivos agrícolas com grãos, como soja, milho e demais cultivos de primavera-verão, com relação aos campos,

campos mistos com florestas e florestas, era esperada. Isto devido à alternância dessas áreas com os cultivos de outono-inverno em um mesmo ano, fato que resulta em maior coeficiente de variação em longo prazo, em relação a uma área que é sempre campo ou sempre floresta, ou ainda a combinação destas fisionomias.

O padrão médio do NDVI do Rio Grande do Sul e sua variabilidade estacional podem ser observados na Figura 48. No verão (DJF) aproximadamente 75% dos trimestres apresentaram NDVI maior que 0,7. Há uma redução nos valores de NDVI à medida que diminui a radiação solar e a temperatura no outono (MAM) e, mais acentuadamente, no inverno (JJA). No outono, quase todos trimestres apresentaram valores abaixo de 0,7, devido à senescência e final dos ciclos dos cultivos anuais. Na primavera, o NDVI volta a aumentar no Estado com o aumento da radiação solar e da temperatura, fundamentais ao acúmulo de biomassa pelo processo da fotossíntese.

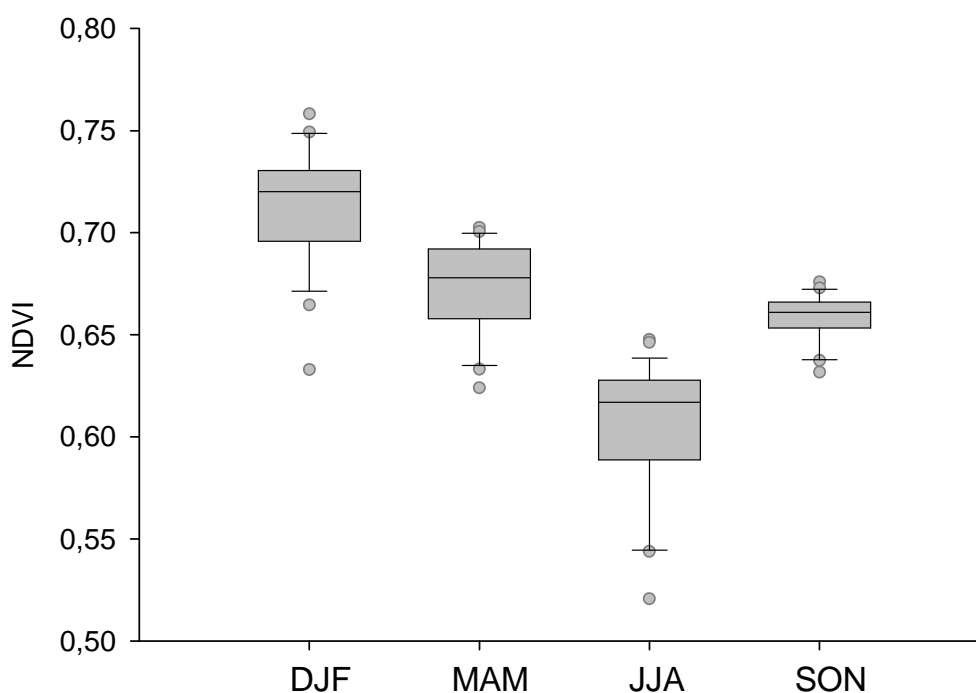


FIGURA 48. NDVI do Rio Grande do Sul nas quatro estações do ano no período de 1982 a 2008.

No entanto, analisando a variabilidade nas quatro estações do ano, destaca-se a primavera com baixa variabilidade do NDVI no Rio Grande do Sul (Figura 48). Isto pode ser explicado porque na primavera, independente de alterações nas demais condições meteorológicas, ocorre a brotação com o aumento da radiação solar e da temperatura. Nesse processo, a vegetação mobiliza suas reservas de fotoassimilados, com conseqüente aumento de biomassa. Além disso, em geral, a disponibilidade hídrica não é limitante ao crescimento das plantas, nesta estação do ano.

O mesmo padrão médio do NDVI do Rio Grande do Sul foi verificado nos seis grupos vegetais, exceto no grupo Áreas úmidas (Figura 49). Na primavera, como ocorreu nos demais grupos não houve aumento do NDVI com o aumento da temperatura no grupo Áreas úmidas. Pelo contrário, em todos os anos o NDVI do grupo Áreas úmidas se manteve tão baixo quanto no inverno ou em alguns anos até menor que nesta estação. O perfil anual médio de NDVI do grupo Áreas úmidas, mostrado na Figura 41, mostrou que os valores de NDVI entre os meses de inverno e primavera têm uma pequena taxa de aumento durante o estágio de brotação de novas folhas, indicada pela discreta inclinação da curva, diferente do verificado nos demais grupos em que a inclinação foi bem maior.

Assim como para o NDVI médio do Rio Grande do Sul, a variabilidade na primavera foi menor do que nas demais estações do ano, em todos os grupos (Figura 49).

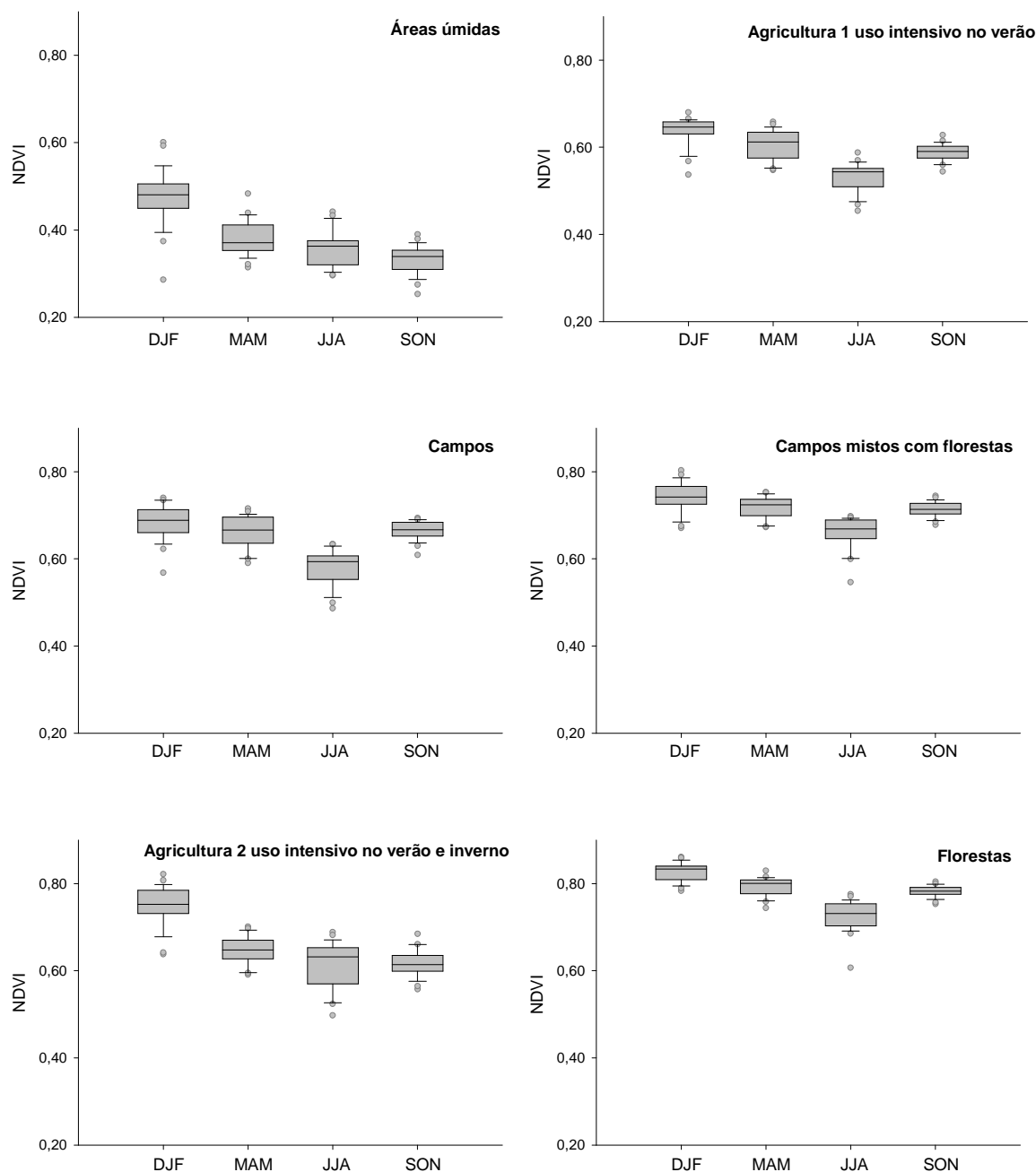


FIGURA 49. NDVI dos grupos: Áreas úmidas; Agricultura 1 uso intensivo no verão; Campos; Campos mistos com florestas; Agricultura 2 uso intensivo no verão e inverno; Florestas; nas quatro estações do ano no período de 1982 a 2008.

Na Figura 50 é possível observar o efeito do ENOS sobre o NDVI médio do Rio Grande do Sul e dos grupos vegetais no período de 1982 a 2008.

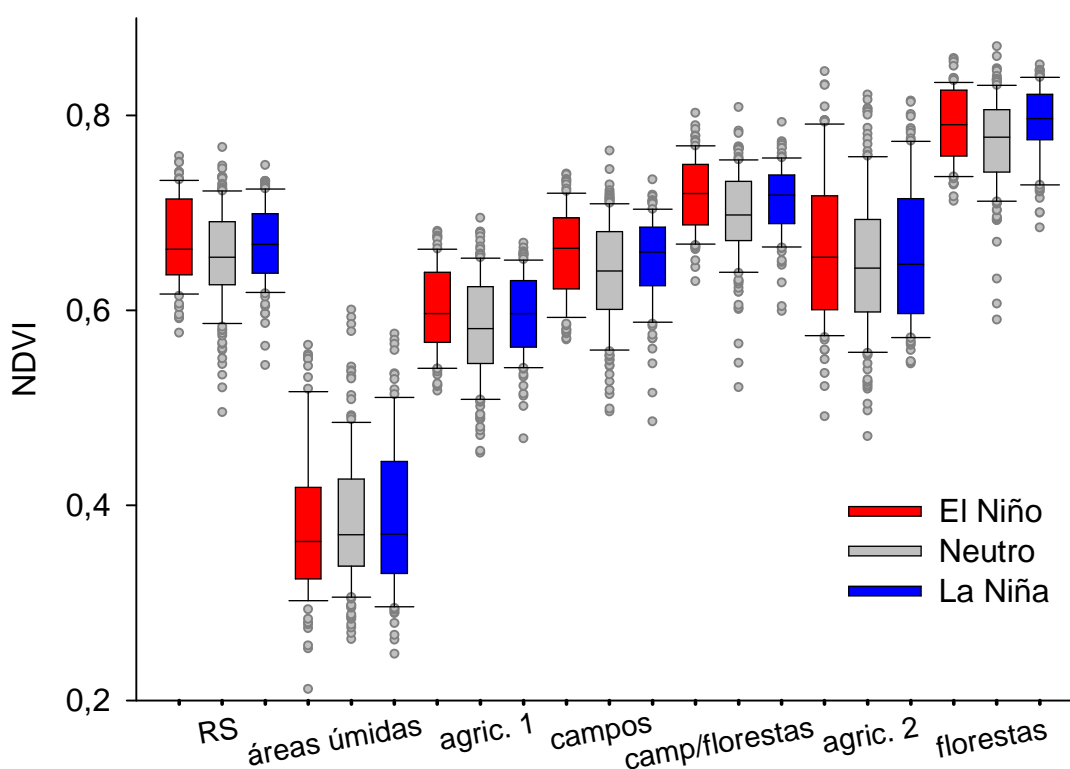


FIGURA 50. NDVI do Rio Grande do Sul e dos grupos: Áreas úmidas; Agricultura 1 uso intensivo no verão; Campos; Campos mistos com florestas; Agricultura 2 uso intensivo no verão e inverno; Florestas. Período de janeiro de 1982 a dezembro de 2008 para os eventos El Niño, neutros e La Niña.

Considerando todos os eventos ocorridos no período, a variabilidade do NDVI foi menor nos eventos La Niña, tanto para o NDVI médio do Rio Grande do Sul como para os grupos, exceto no Grupo Áreas úmidas em que a variabilidade foi menor nos eventos de El Niño e no Grupo de Agricultura 2 uso intensivo no verão e inverno, em que a variabilidade foi semelhante em ambos eventos (Figura 50). Embora haja variações entre os valores entre os eventos, os grupos mantiveram o padrão de menor NDVI nos Grupo Áreas úmidas e maior no Grupo Florestas, com variabilidades intermediárias para os demais.

No entanto, dividindo o período todo em trimestres quentes e frios é possível observar alguns detalhes, peculiares a cada grupo vegetal (Figura 51). Por exemplo, a maior variabilidade nos eventos La Niña, verificada no Grupo Áreas úmidas foi em função da alta variabilidade do NDVI ocorrida nos trimestres quentes, pois nos trimestres frios a variabilidade nos eventos La Niña foi menor que nos eventos El Niño. Outro exemplo foi o Grupo de Agricultura 2 uso intensivo no verão e inverno, que na análise do período todo apresentou variabilidade semelhante entre os eventos El Niño e La Niña. No entanto, este padrão de variabilidade do NDVI ocorreu apenas nos trimestres frios. Nos trimestres quentes, a variabilidade do NDVI nos eventos El Niño foi maior. Especialmente nesse Grupo, os eventos El Niño apresentaram a maior percentagem de trimestres com maiores NDVI.

No Grupo Agricultura 1 uso intensivo no verão observam-se valores menores de NDVI nos trimestres frios, devido a resposta predominante da vegetação campestre, já que o cultivo de arroz é finalizado nos meses de março e abril. Mesmo com a contribuição da resposta do cultivo de arroz nos meses de outono, observa-se que os valores de NDVI foram próximos àqueles verificados no Grupo Campos nos trimestres frios (Figura 51).

Todos os grupos vegetais apresentaram predomínio de maiores valores de NDVI nos trimestres quentes (Figura 51). Isto pode ser atribuído à maior disponibilidade de radiação solar nessa época, fundamental para o acúmulo de biomassa.

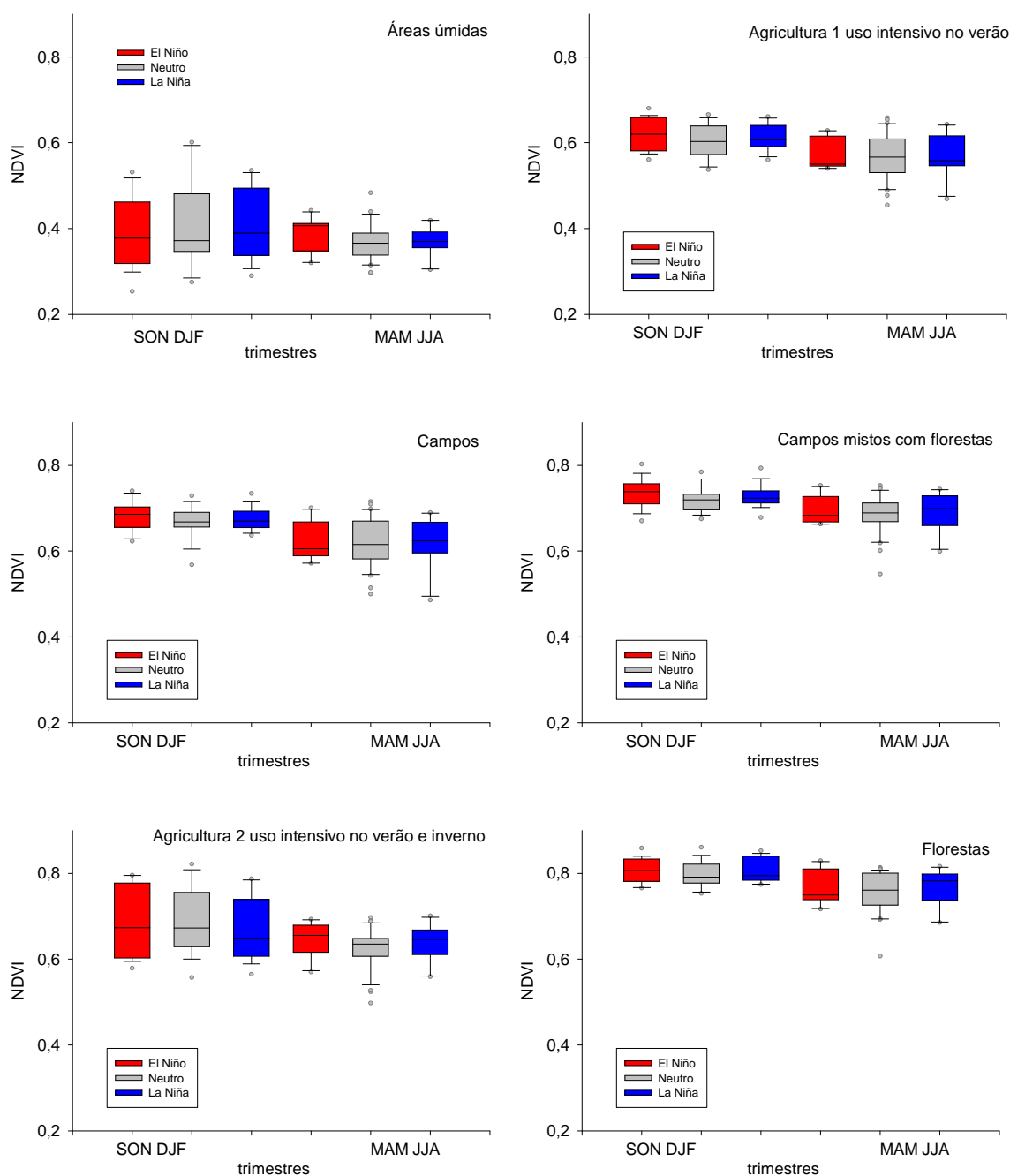


FIGURA 51. NDVI nos trimestres mais quentes (SON e DJF) e nos trimestres mais frios (MAM e JJA) nos grupos: Áreas úmidas; Agricultura 1 uso intensivo no verão; Campos; Campos mistos com florestas; Agricultura 2 uso intensivo no verão e inverno; Florestas. Período de janeiro de 1982 a dezembro de 2008 para os eventos El Niño, neutros e La Niña.

4.8 Correlação da TSM, variáveis meteorológicas e NDVI nos sub-grupos

Assim como ocorreu na análise média do Rio Grande do Sul, nas análises dos sub-grupos, a TSM da região do Niño 3.4 do Oceano Pacífico mostrou-se associada à precipitação pluvial através de correlações positivas (Tabela 6). No entanto, essas correlações foram estatisticamente significativas a 5% na análise anual e na primavera apenas na metade Sul do Estado, nos sub-grupos Floresta Encruzilhada do Sul e Campos Bagé. Este último local teve correlação de 0,51, maior que para o Estado no caso anual (0,42). No inverno 50% dos sub-grupos apresentaram correlações estatisticamente significativas, foram eles: Floresta Iraí, Floresta Caxias do Sul e Floresta Encruzilhada do Sul. Essas correlações também foram maiores que no Estado (0,34). Os resultados apresentados na Tabela 6 indicam que o impacto da TSM da região do Niño 3.4 sobre a precipitação pluvial no Rio Grande do Sul é maior no verão, já que em todos os sub-grupos testados (cinco de Florestas e um de Campos) as correlações foram estatisticamente significativas. Na metade Sul, novamente, a relação foi maior, com correlações de 0,59 na Floresta Encruzilhada do Sul e de 0,67 nos Campos Bagé no verão, ambas maiores do que no Estado (0,54).

TABELA 6. Coeficientes de correlação de Pearson, anuais e estacionais, da anomalia da TSM da região do Niño 3.4 do Oceano Pacífico com a anomalia da precipitação pluvial nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.

Coeficientes de correlação	anual	verão	outono	inverno	primavera
Iraí	0,25	0,37*	0,35*	0,35*	0,30
Bom Jesus	0,19	0,33*	0,32	0,31	0,25
Caxias do Sul	0,27	0,39*	0,13	0,35*	0,22
Santa Maria	0,26	0,34*	0,10	0,23	0,30
Encruzilhada do Sul	0,42*	0,59*	0,17	0,37*	0,41*
Bagé	0,51*	0,67*	0,24	0,18	0,44*

* estatisticamente significativos a 5% de probabilidade de erro.

A TSM também se mostrou associada à insolação (duração do brilho solar) através de correlações negativas (Tabela 7). Conforme foi observado na média do Estado, as correlações foram estatisticamente significativas no verão nos sub-grupos Floresta Iraí (-0,40); Floresta Bom Jesus (-0,34); Floresta Santa Maria (-0,35); e Campos Bagé (-0,50); e no outono nos sub-grupos Floresta Iraí (-0,35); Floresta Santa Maria (-0,33); e Campos Bagé (-0,40). Novamente, o sub-grupo Campos Bagé se destacou com maiores correlações, inclusive maiores que a média do Estado, tanto no verão (-0,45) como no outono (-0,34). Na primavera, as correlações não foram estatisticamente significativas em nenhum dos sub-grupos analisados, resultado diferente do esperado, já que na média do Estado, a correlação foi a mesma encontrada para o verão (-0,45).

TABELA 7. Coeficientes de correlação de Pearson, anuais e estacionais, da anomalia da TSM da região do Niño 3.4 do Oceano Pacífico com a anomalia da insolação nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.

Coeficientes de correlação	anual	verão	outono	inverno	primavera
Iraí	-0,14	-0,40*	-0,35*	0,02	-0,25
Bom Jesus	-0,15	-0,34*	-0,19	-0,14	-0,32
Caxias do Sul	-0,09	-0,27	-0,30	-0,04	-0,18
Santa Maria	-0,18	-0,35*	-0,33*	0,01	-0,23
Encruzilhada do Sul	-0,24	-0,30	-0,17	-0,26	-0,25
Bagé	-0,26	-0,50*	-0,40*	-0,16	-0,22

* estatisticamente significativos a 5% de probabilidade de erro.

As correlações da TSM da região do Niño 3.4 com a temperatura mínima do ar foram estatisticamente significativas e positivas no inverno nos sub-grupos Floresta Iraí, Floresta Caxias do Sul, Floresta Santa Maria e Campos Bagé (Tabela 8). Na correlação com a temperatura média do ar, além desses sub-grupos, as correlações no inverno foram estatisticamente significativas e positivas

também para o sub-grupo Floresta Bom Jesus (Tabela 9). Nas correlações da TSM com a temperatura máxima do ar essas foram estatisticamente significativas e positivas no inverno apenas para os sub-grupos Floresta Santa Maria e Campos Bagé (Tabela 10).

Diferente do encontrado para a média do Estado, as correlações da TSM com a temperatura mínima do ar foram, também, estatisticamente significativas na primavera nos sub-grupos florestais: Floresta Iraí e Floresta Caxias do Sul, de forma positiva (Tabela 8).

A correlação positiva da TSM com a temperatura mínima do ar encontrada para a média do Estado, no caso anual, foi verificada apenas no sub-grupo Floresta Santa Maria (Tabela 8).

As correlações negativas entre a TSM e a temperatura máxima do ar, que foram estatisticamente significativas no verão para a média do Estado, também, foram verificadas nos sub-grupos da metade Sul do Estado (Tabela 10): Floresta Encruzilhada do Sul (-0,37) e Campos Bagé (-0,36), ambas maiores que na média do Estado (-0,32) . Para o sub-grupo Santa Maria o mesmo sinal foi verificado, porém mais tarde, no outono (-0,34). Desses resultados conclui-se que, quando houve aumento da TSM (condição de El Niño), em aproximadamente 1/3 das vezes isto esteve associado a dias mais frios no verão/outono nestes sub-grupos da metade Sul do Rio Grande do Sul. Isto se deve, provavelmente, à maior nebulosidade e à conseqüente menor incidência de radiação solar na superfície, como indicam os dados apresentados de correlação da TSM com a precipitação pluvial e com a insolação, nestas estações do ano e nestes sub-grupos da metade Sul do Estado.

TABELA 8. Coeficientes de correlação de Pearson, anuais e estacionais, da anomalia da TSM da região do Nino 3.4 do Oceano Pacífico com a anomalia da temperatura mínima do ar nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.

Coeficientes de correlação	anual	verão	outono	inverno	primavera
Iraí	0,24	0,20	0,14	0,46*	0,41*
Bom Jesus	0,06	0,09	0,01	0,28	0,21
Caxias do Sul	0,27	0,14	0,10	0,36*	0,35*
Santa Maria	0,35*	0,27	0,18	0,39*	0,30
Encruzilhada do Sul	0,25	0,16	0,02	0,32	0,23
Bagé	0,19	0,13	0,10	0,34*	0,17

* estatisticamente significativos a 5% de probabilidade de erro.

TABELA 9. Coeficientes de correlação de Pearson, anuais e estacionais, da anomalia da TSM da região do Nino 3.4 do Oceano Pacífico com a anomalia da temperatura média do ar nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.

Coeficientes de correlação	anual	verão	outono	inverno	primavera
Iraí	0,09	0,00	-0,02	0,34*	0,14
Bom Jesus	0,09	0,00	-0,04	0,33*	0,17
Caxias do Sul	0,23	-0,01	-0,04	0,35*	0,26
Santa Maria	0,19	-0,06	-0,06	0,38*	0,10
Encruzilhada do Sul	0,12	-0,14	-0,12	0,31	0,06
Bagé	0,08	-0,18	-0,01	0,36*	-0,01

* estatisticamente significativos a 5% de probabilidade de erro.

TABELA 10. Coeficientes de correlação de Pearson, anuais e estacionais, da anomalia da TSM da região do Nino 3.4 do Oceano Pacífico com a anomalia da temperatura máxima do ar nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.

Coeficientes de correlação	anual	verão	outono	inverno	primavera
Iraí	0,00	-0,18	-0,20	0,17	-0,14
Bom Jesus	0,11	-0,12	0,01	0,32	0,01
Caxias do Sul	0,18	-0,16	-0,14	0,29	0,12
Santa Maria	0,04	-0,30	-0,34*	0,34*	-0,09
Encruzilhada do Sul	0,02	-0,37*	-0,21	0,27	-0,10
Bagé	0,00	-0,36*	-0,09	0,33*	-0,17

* estatisticamente significativos a 5% de probabilidade de erro.

A correlação entre a TSM da região do Niño 3.4 e o NDVI (Tabela 11) foi estatisticamente significativa no verão, conforme encontrado por Marques *et al.* (2005) para o Rio Grande do Sul, no entanto, apenas para o sub-grupo Campos Bagé (0,34). Isto, provavelmente, se deve à resposta da vegetação campestre à mudanças na circulação geral da atmosfera ser mais rápida neste grupo vegetal do que nos grupos florestais. Essas mudanças (por exemplo, aumento da TSM) têm conseqüências, principalmente, sobre a precipitação pluvial (0,67) e o número de horas de brilho solar (-0,50) e, conseqüentemente, sobre o NDVI (0,34), como pode ser observado pelas maiores correlações no sub-grupo Campos Bagé no verão. Esta relação mais intensa com a vegetação campestre foi comprovada pela correlação positiva e significativa (0,48) entre a precipitação pluvial no verão e o NDVI no sub-grupo Campos Bagé (Tabela 12). Nessa época do ano, a vegetação responde mais à disponibilidade hídrica, pela maior demanda evaporativa da atmosfera.

TABELA 11. Coeficientes de correlação de Pearson, anuais e estacionais, da anomalia da TSM da região do Niño 3.4 do Oceano Pacífico com a anomalia do NDVI nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.

Coeficientes de correlação	anual	verão	outono	inverno	primavera
Iraí	0,11	0,07	0,07	0,24	-0,11
Bom Jesus	-0,01	0,20	-0,02	-0,01	0,05
Caxias do Sul	-0,16	0,06	-0,12	0,00	-0,08
Santa Maria	-0,13	-0,06	-0,11	0,06	-0,04
Encruzilhada do Sul	-0,16	-0,03	-0,18	0,05	-0,07
Bagé	-0,11	0,34*	0,01	0,12	-0,11

* estatisticamente significativos a 5% de probabilidade de erro.

No entanto, a correlação entre a precipitação pluvial e o NDVI foi negativa e significativa no sub-grupo Floresta Bom Jesus no outono (Tabela 12). Essa é uma região em que, normalmente, são registradas as maiores precipitações

pluviais do Rio Grande do Sul (Cordeiro, 2010), portanto, anomalias positivas na precipitação pluvial associam-se com anomalias negativas no NDVI, provavelmente, pelo excesso de nebulosidade.

TABELA 12. Coeficientes de correlação de Pearson, anuais e estacionais, da anomalia da precipitação pluvial com a anomalia do NDVI nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.

Coeficientes de correlação	anual	verão	outono	inverno	primavera
Iraí	-0,19	-0,30	-0,22	0,25	-0,06
Bom Jesus	-0,15	-0,06	-0,34*	0,24	0,01
Caxias do Sul	-0,16	-0,02	-0,32	-0,04	0,03
Santa Maria	0,05	0,09	0,09	-0,04	0,01
Encruzilhada do Sul	0,04	-0,21	0,01	-0,11	0,05
Bagé	0,27	0,48*	0,31	-0,11	0,10

* estatisticamente significativos a 5% de probabilidade de erro.

O sub-grupo Bagé foi o que melhor representou o comportamento da média do Rio Grande do Sul, com correlações negativas, entre a insolação e o NDVI, para o caso anual, verão e outono e, positivas para o inverno e a primavera (Tabela 13). No entanto, estas foram estatisticamente significativas apenas no verão (-0,55), outono (-0,34) e primavera (0,42). No verão, anomalias positivas na insolação se refletiram em anomalias negativas no NDVI. Isto pode ser devido ao aumento na demanda evaporativa da atmosfera, que já é alta nesta época do ano. No outono este padrão se repetiu. No entanto, na primavera a correlação positiva indica que maior número de horas de brilho solar se refletiu em aumento do NDVI nos Campos Bagé. Isto porque a disponibilidade de radiação solar é fundamental para a fotossíntese, principalmente nessa fase de crescimento e desenvolvimento das plantas. No sub-grupo Caxias do Sul ocorreu o mesmo na primavera (0,37), já no sub-grupo Encruzilhada do Sul as correlações foram significativas apenas no inverno (0,33).

TABELA 13. Coeficientes de correlação de Pearson, anuais e estacionais, da anomalia da insolação com a anomalia do NDVI nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.

Coeficientes de correlação	anual	verão	outono	inverno	primavera
Iraí	-0,10	0,17	0,19	0,10	-0,09
Bom Jesus	0,04	0,29	0,15	0,04	-0,09
Caxias do Sul	-0,21	0,21	0,06	-0,07	0,37*
Santa Maria	-0,14	-0,01	0,13	0,15	0,08
Encruzilhada do Sul	0,11	0,12	0,16	0,33*	-0,21
Bagé	-0,13	-0,55*	-0,34*	0,14	0,42*

* estatisticamente significativos a 5% de probabilidade de erro.

As temperaturas mínima (Tabela 14), média (Tabela 15) e máxima (Tabela 16) do ar, assim como na média no Estado, estiveram correlacionadas de forma positiva (e estatisticamente significativa) com o NDVI no inverno no sub-grupo Floresta Encruzilhada do Sul (0,41; 0,43 e 0,42) e no sub-grupo Campos Bagé (0,55; 0,49 e 0,38). Isto ocorre porque anomalias negativas na temperatura em uma época do ano em que as temperaturas já são baixas estão associadas a anomalias negativas no NDVI. Já as correlações negativas no caso anual, verão, primavera e, para a maioria dos sub-grupos no outono, indicam que anomalias positivas na temperatura do ar estiveram associadas a anomalias negativas de NDVI no Estado.

TABELA 14. Coeficientes de correlação de Pearson, anuais e estacionais, da anomalia da temperatura mínima do ar com a anomalia do NDVI nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.

Coeficientes de correlação	anual	verão	outono	inverno	primavera
Iraí	-0,25	-0,33*	-0,26	0,15	-0,18
Bom Jesus	-0,01	-0,22	-0,34*	0,12	0,12
Caxias do Sul	-0,38*	-0,25	-0,47*	0,17	-0,11
Santa Maria	-0,21	-0,39*	-0,44*	0,20	0,10
Encruzilhada do Sul	-0,25	-0,19	-0,35*	0,41*	-0,03
Bagé	-0,08	0,02	-0,03	0,55*	-0,34*

* estatisticamente significativos a 5% de probabilidade de erro.

TABELA 15. Coeficientes de correlação de Pearson, anuais e estacionais, da anomalia da temperatura média do ar com a anomalia do NDVI nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.

Coeficientes de correlação	anual	verão	outono	inverno	primavera
Iraí	-0,16	-0,19	-0,20	0,16	-0,13
Bom Jesus	-0,22	-0,22	-0,46*	0,01	0,02
Caxias do Sul	-0,35*	-0,27	-0,44*	0,16	0,01
Santa Maria	-0,29	-0,46*	-0,56*	0,18	0,09
Encruzilhada do Sul	-0,26	-0,17	-0,42*	0,43*	0,09
Bagé	-0,34*	-0,40*	-0,32	0,49*	-0,37*

* estatisticamente significativos a 5% de probabilidade de erro.

TABELA 16. Coeficientes de correlação de Pearson, anuais e estacionais, da anomalia da temperatura máxima do ar com a anomalia do NDVI nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.

Coeficientes de correlação	anual	verão	outono	inverno	primavera
Iraí	-0,05	-0,05	-0,08	0,13	-0,06
Bom Jesus	-0,30	-0,16	-0,36*	-0,13	-0,12
Caxias do Sul	-0,27	-0,23	-0,32	0,13	0,14
Santa Maria	-0,29	-0,33*	-0,45*	0,12	0,08
Encruzilhada do Sul	-0,19	-0,12	-0,35*	0,42*	0,22
Bagé	-0,45*	-0,61*	-0,40*	0,38*	-0,29

* estatisticamente significativos a 5% de probabilidade de erro.

De todos esses resultados conclui-se que quando a TSM foi alta, houve anomalias positivas na precipitação pluvial e, conseqüentemente, anomalias negativas na insolação e na temperatura máxima do ar, provavelmente, devido ao aumento da nebulosidade. Nos invernos, com redução nas temperaturas, houve redução no NDVI na metade Sul do Estado.

Utilizando uma série mais curta de imagens NDVI do MODIS, Wagner (2013) já havia constatado, que a vegetação campestre podia ser indicadora da resposta da variabilidade climática, já que apresenta baixo nível de tecnologia, se comparada com uso agrícola, e menor tempo de resposta aos efeitos de variabilidade climática do que a vegetação florestal.

4.9 Estudo de caso: Parque Florestal Estadual do Turvo

No estudo de caso para o Parque Florestal Estadual do Turvo buscou-se indicativos de que os agrupamentos foram assertivos. Para tal, o comportamento dos três pixels que compõem a área do Parque foi comparado ao grupo Florestas. Esta área foi escolhida, por ser uma área do Rio Grande do Sul que não sofreu mudança de uso da terra ao longo do período estudado, como ocorreu com muitas áreas próximas à Mata Atlântica. Segundo Nora & Martini (2010) essa Unidade de Conservação, legalmente protegida, constitui um dos últimos remanescentes florestais primários de Floresta Estacional Decídua na região sul do Brasil.

Na análise realizada, observou-se nos três pixels, que correspondem ao Parque Florestal Estadual do Turvo (Figura 52) o mesmo padrão de variação do grupo Florestas. Observou-se sazonalidade característica de vegetação florestal no Rio Grande do Sul, maior NDVI no verão, refletindo o maior vigor das plantas, em função da maior radiação solar e temperatura, e menor NDVI no inverno, pela redução destas.

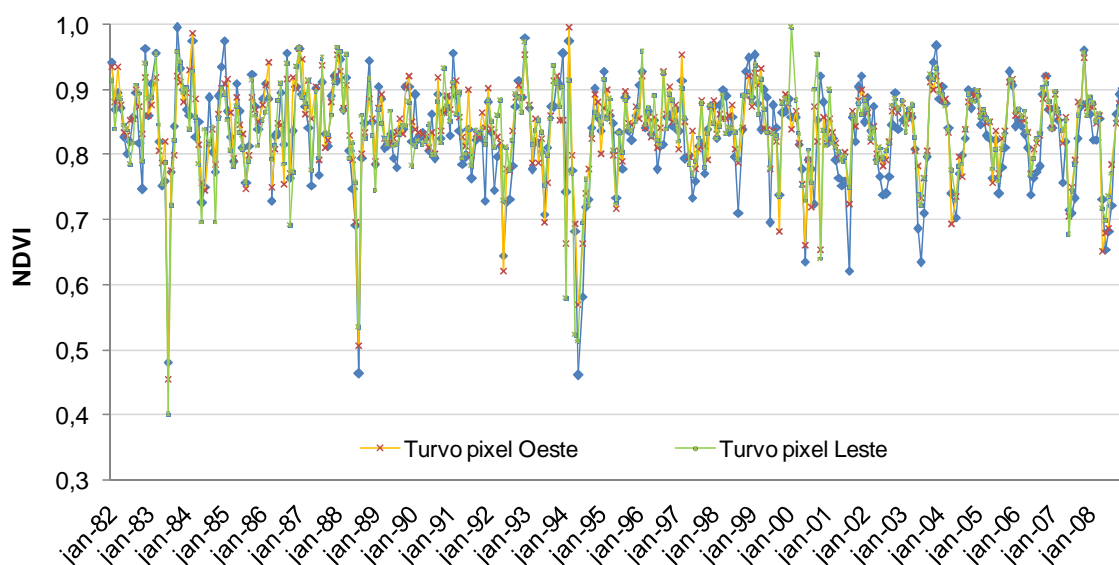


FIGURA 52. NDVI no Parque Florestal Estadual do Turvo no período de 1982 a 2008.

Os três pixels apresentaram valores próximos entre si e com uma sazonalidade semelhante (Figura 52). O valor médio do NDVI dos três pixels foi de 0,84, próximo ao do grupo Florestas de 0,78. Era esperado que o grupo Florestas apresentasse NDVI mais baixo, pois compreende um complexo de florestas de diferentes fisionomias e fenologias, abrangendo desde a Floresta Ombrófila Mista até a Floresta Densa.

Assim como no grupo Florestas, as tendências de redução do NDVI nos três pixels do Parque Florestal Estadual do Turvo não foram estatisticamente significativas.

O NDVI médio dos três pixels ocupados, em sua grande parte, pelo Parque Florestal Estadual do Turvo apresentou valores baixos (menor do que 0,6) nos meses de julho de 1983, agosto de 1988 e junho de 1994 (Figura 48).

Buscando uma explicação para tais valores serem tão baixos, fora do padrão de variação, constatou-se que 1983 foi um período de forte El Niño, e o inverno de 1988 foi um período de forte La Niña.

Em julho de 1983, a precipitação pluvial em Iraí, que é a estação meteorológica mais próxima do Parque Florestal Estadual do Turvo, foi de 160mm. Este valor foi um pouco acima da normal daquele mês (135mm) para aquela região. No entanto, choveu muito acima da média alguns meses antes: 324mm, 276mm e 434mm em fevereiro, abril e maio, respectivamente. Era de se esperar que o aumento da precipitação pluvial, causado pelo El Niño se refletisse em aumento do NDVI (Jacobsen *et al.*, 2004). Porém, quando a precipitação pluvial é muito alta, há redução da insolação, pelo aumento da nebulosidade, que se reflete em menor fotossíntese e, conseqüentemente, em menor NDVI.

Já em 1988 ocorreu o contrário, sendo um ano de La Niña, no qual a precipitação pluvial é abaixo da média no Estado (Fontana & Berlato, 1997), foi

registrado em Iraí (1.335mm) o menor valor anual do período de 1982 a 2008 (média 1.928mm). O baixo valor de NDVI em agosto de 1988, então, pode ser explicado pela baixíssima precipitação pluvial ocorrida. Em Iraí choveu apenas 10mm em julho e 24mm em agosto de 1988. Esta estiagem em meses que é comum ocorrer excesso hídrico, contribuiu grandemente para a redução do NDVI.

O ano de 1994 também foi um dos anos de maior precipitação pluvial em Iraí (2.572mm), chovendo acima da média em maio (244mm) e em junho (251mm). Embora, estes dados de precipitação pluvial indiquem que a nebulosidade possa ter contribuído para a redução da fotossíntese e menor NDVI, a causa mais provável para os baixos valores de NDVI, neste caso, é a falha nos dados neste ano, já discutida anteriormente.

No entanto, quadro semelhante de alta precipitação pluvial ocorreu nos anos de 1990 (2.374mm), 1992 (2.468mm), 1997 (2.472mm) e 1998 (2.849mm) e não resultou em NDVI muito baixo, exceto em 1992, quando o NDVI foi de 0,62 em junho. Provavelmente, a redução da insolação não foi tão prolongada quanto no evento de 1983, em que houve um longo período chuvoso (Berlato & Fontana, 2003). Nesses casos outras variáveis meteorológicas, como temperatura, podem ter tido maior influência no aumento de NDVI do que na redução deste.

5 CONCLUSÕES

Através dos perfis temporais médios de NDVI é possível monitorar as variações fenológicas da vegetação em decorrência da sua dinâmica temporal.

Existe variabilidade anual e interanual do NDVI, a qual pode ser observada através das imagens da série GIMMS. Também, as anomalias no padrão normal da vegetação podem ser detectadas.

As tendências de clima mais quente e úmido, não resultam em tendências lineares de aumento do NDVI. No entanto, regionalmente, observa-se, através das tendências não-lineares, aumento ou redução deste índice.

Existe associação entre a TSM da região do Niño 3.4 e as variáveis meteorológicas no Rio Grande do Sul: precipitação pluvial no inverno, primavera, verão e anual; insolação no verão, outono e primavera; e, temperaturas do ar no inverno.

A dinâmica sazonal da vegetação está associada às condições meteorológicas, sendo que variável meteorológica limitante ao crescimento depende da estação do ano. A precipitação pluvial está relacionada ao NDVI do Rio Grande do Sul, principalmente, no verão, enquanto que no inverno a correlação do NDVI é maior com as temperaturas.

Análises espaço-temporais e de anomalias no padrão normal da vegetação mostram valores maiores de NDVI associados, em geral, a eventos El Niño, enquanto que, menores a eventos La Niña.

A variabilidade de NDVI permite agrupar regiões homogêneas, de forma a identificar e mapear os principais grupos vegetais, os quais apresentam um padrão sazonal típico, porém, com variações de amplitude de NDVI entre eles.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEIXO, A. et al. Mudanças Climáticas e a Biodiversidade dos Biomas Brasileiros: Passado, Presente e Futuro. **Brazilian Journal of Nature Conservation**, Curitiba, v. 8, n. 2, p. 194-196, 2010. Disponível em: <<http://www3.museu-goeldi.br/inct/images/livros/Aleixoetal2010.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2014.

ALTHAUS, D.; BERLATO, M. A. Tendência observada das temperaturas máximas e mínimas e da amplitude térmica do Estado do Rio Grande do Sul, período 1936 - 2000. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 19., 2007, Porto Alegre, **Anais...**Porto Alegre: UFRGS, 2007. 1 CD-ROM.

BALDI, G. et al. Long-term satellite NDVI data sets: Evaluating their ability to detect ecosystem functional changes in South America. **Sensors**, Basel, v.8, p. 5397-5425, 2008.

BATISTA, G. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; LAWRENCE, W. T. Monitoramento da cobertura florestal através de índices de vegetação do NOAA-AVHRR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Foz do Iguaçu. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 1993. p. 30-37.

BECK, H. E. et al. Global evaluation of four AVHRR–NDVI data sets: Intercomparison and assessment against Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 115, p. 2547–2563, 2011.

BEHLING, H.; BAUERMANN, S. G.; NEVES, P. C. P. Holocene environmental changes in the São Francisco de Paula region, southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, Oxford, v. 14, p. 631-639, 2001.

BEHLING, H. et al. Dinâmica dos campos no sul do Brasil durante o Quaternário Tardio. In: PILLAR, V. D. et al. (Ed.). **Campos Sulinos: Conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. p. 13-25.

BEHLING, H.; PILLAR, V. de P. P.; BAUERMANN, S. G. Late Quaternary grassland (Campos), fire and climate dynamics, studied by pollen, charcoal and multivariate analysis of the São Francisco de Assis core in western Rio Grande do Sul (southern Brazil). **Review of Palaeobotany and Palynology**, Amsterdam, v. 133, p. 235-248, 2005.

BEHLING, H. et al. Late Quaternary Araucaria forest, grassland (Campos), fire and climate dynamics, studied by high-resolution pollen, charcoal and multivariate analysis of the Cambará do Sul core in southern Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 203, p. 277–297, 2004.

BERLATO, M. A.; CORDEIRO, A. P. A. Variabilidade climática e agricultura do Rio Grande do Sul. In: AS ESTIAGENS e as perdas na agricultura: fenômeno natural ou imprevidência?. Esteio: FEDERACITE, 2005. p. 43-58.

BERLATO, M. A.; FONTANA D. C. **El Niño e La Nina**: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura. Porto Alegre : Ed. Universidade / UFRGS, 2003. 110p.

BERLATO, M. A. et al. Tendência observada da precipitação pluvial anual e estacional do Estado do Rio Grande do Sul e relação com a temperatura da superfície do mar do Oceano Pacífico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracaju. **Anais...**Campinas: SBA, 2007. 1 CD-ROM.

BERLATO, M. A.; ALTHAUS, D. Tendência observada da temperatura mínima e do número de dias de geada do Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 16, n.1, p. 7-16, 2010.

BOLDRINI, I. I. et al. **Bioma Pampa**: diversidade florística e fisionômica. Porto Alegre : Ed. Pallotti, 2010. 64p.

BOSCHI, R. S.; OLIVEIRA, S. R. de M.; ASSAD, E. D. Técnicas de mineração de dados para análise da precipitação pluvial decenal no Rio Grande do Sul. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.6, p. 1189-1201, 2011.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira**: grãos, nono levantamento. 2013. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_07_09_09_04_53_boletim_graos_junho__2013.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2014.

CORDEIRO, A. P. A. **Tendências climáticas das variáveis meteorológicas originais, estimadas e das derivadas do balanço hídrico seriado do Rio Grande do Sul**. 2010. 273f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

CORDEIRO, A. P. A.; BERLATO, M. A. Frequência da temperatura mínima do ar associada a eventos El Niño, La Niña e neutros no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16., 2009, Belo Horizonte. **Anais...**Belo Horizonte: SBA, 2009. 1 CD-ROM.

CORDEIRO, J. L. P.; HASENACK, H. Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul. In: PILLAR, V. D. et al. (Ed.). **Campos Sulinos**: conservação e uso sustentável da biodiversidade. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. p. 285-299.

COUTINHO, L. M. O conceito de bioma. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 20, n.1, p. 13-23, 2006.

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos; INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Conseqüências do fenômeno El Niño sobre o território brasileiro e perspectivas para 1998**. (Relatório). Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br>>. Acesso em: 23 jun. 2014.

CUSTÓDIO, M. de S.; BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Insolação no Rio Grande do Sul: climatologia e tendência temporal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracaju. **Anais...** Campinas: SBA, 2007. 1 CD-ROM.

CUSTÓDIO, M. de S.; BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Nebulosidade diurna no Rio Grande do Sul, Brasil: Climatologia e tendência temporal. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 15, n.1, p. 45-52, 2009.

DINIZ, G. B. et al. Identificação de regiões homogêneas de temperaturas máxima e mínima do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p.303-312, 2003.

DINIZ, G. B. **Preditores visando a obtenção de um modelo de previsão climática de temperaturas máxima e mínima para regiões homogêneas do Rio Grande do Sul**. 2002. 167 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

FENSHOLT, R. et al. Evaluation of earth observation based long term vegetation trends – Intercomparing NDVI time series trend analysis consistency of Sahel from AVHRR GIMMS, Terra MODIS and SPOT VGT data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 113, p. 1886–1898, 2009.

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

FONTANA, D. C.; ALMEIDA, T. S. Climatologia do número de dias com precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n.1, p. 135-145, 2002.

FONTANA, D. C.; ALMEIDA, T. S.; JACÓBSEN, L. Caracterização da dinâmica temporal dos Campos do Rio Grande do Sul por meio de Imagens AVHRR/NOAA. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v. 15, n.1, p. 69-83, 2007.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A. Influência do El Niño Oscilação Sul Sobre a Precipitação Pluvial no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.127-132. 1997.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H. Relação entre o Índice de Vegetação Global e Condições Hídricas no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 8, 1399 -1405, 1998.

FONTANA, D. C.; CORDEIRO, A. P. A; MELO, R. W. Dinâmicas temporais de NDVI e de ETR/ETO na região maior produtora de soja do Rio Grande do Sul. In: REUNIÓN ARGENTINA Y IV LATINOAMERICANA DE AGROMETEOROLOGÍA, 10., 2004, Mar del Plata. **Anais...** Mar del Plata, 2004. 1 CD-ROM.

FORTES, A. B. **Aspectos Fisiográficos, Demográficos e Econômicos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Globo, 1959. 133p.

GLCF - Global Land Cover Facility. [**GIMMS Documentation NDVI**]. [University of Maryland Global Land Cover Facility Data Distribution], [2011]. Disponível em:

<http://glcf.umd.edu/library/guide/GIMMSdocumentation_NDVIg_GLCF.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2011.

GUASSELLI, L. A. et al. Macrozoneamento do Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, RS, v.33, n. 1, p.03-11, 2006.

GURGEL, H. da C. **Variabilidade espacial e temporal do NDVI sobre o Brasil e suas conexões com o clima**. 2000. 118 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Curso de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2000.

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

HASENACK, H. et al. **Mapa de sistemas ecológicos da ecorregião das savanas uruguaias em escala 1:500.000 ou superior e relatório técnico descrevendo insumos utilizados e metodologia de elaboração do mapa de sistemas ecológicos**. Porto Alegre: UFRGS - Centro de Ecologia The Nature Conservancy, 2010. 22p. (Relatório Técnico).

HAYLOCK, M. R. et al. Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. **Journal of Climate**, Boston, v. 19, n.8, p. 1490-1512, 2006.

HOFFER, R. M. **Fundamentals of remote sensing: spectral reflectance of characteristics of vegetation**. Indiana: Purdue University. 1976. 10 p.

HUETE, A. et al. MODIS Vegetation Índices. In: RAMACHANDRAN, B. et al. (Ed.). **Land remote sensing and global environmental change**. New York : Springer, 2011. p. 579-602 (Remote Sensing and Digital Image Processing, v. 11).

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Anuário Estatístico do Brasil**. Rio de Janeiro : IBGE, 2011. 474p. (Anuário, v.71). Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/AEB/AEB2011.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2014.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro : IBGE, 1992, 92p. (Série Manuais Técnicos em Geociências, n. 1). Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 17 jan. 2011.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa da vegetação do Brasil e Mapa de biomas do Brasil**. 2004. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/>. Acesso em: 24 jan. 2012.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de Vegetação**. [Mapa] In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAM BRASIL. [Rio de Janeiro] : DNPM, 1986. (Levantamento de Recursos Naturais, v. 33).

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapas temáticos do projeto RADAMBRASIL do Rio Grande do Sul na escala 1:250.000**. Florianópolis: IBGE/SAA-RS, 2003.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Resolução Nº 05, de 10 de outubro de 2002**. 2002. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/areaterritorial/principal.shtm>>. Acesso em: 14 mar. 2012.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática**. 2014. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=1612&z=t&o=11&i=P>>. Acesso em: 09 mai. 2014.

IRGA - Instituto Rio Grandense do Arroz. **Relatório de alinhamento estratégico da cadeia produtiva do arroz do RS**. 2011. Disponível em: <http://www3.irga.rs.gov.br/uploads/anexos/1322064041Relatorio_Final_Camara_Setorial_DA_CADEIA_PRODUTIVA_DO_ARROZ.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2014.

JACÓBSEN, L. O.; FONTANA, D. C.; SHIMABUKURO, Y. E. Efeitos associados a El Niño e La Niña na vegetação do Estado do Rio Grande do Sul, observados através do NDVI/NOAA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 19, n.2, p. 129-140, 2004.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos : Parêntese, 2009. 604 p.

JONG, R. de; BRUIN, S. de. Linear trends in seasonal vegetation time series and the modifiable temporal unit problem. **Biogeosciences**, [Katlenberg-Lindau, Germany], v.9, p.71-77, 2012.

JUNGES, A. H.; FONTANA, D. C. Modelo agrometeorológico-espectral de estimativa de rendimento de grãos de trigo no Rio Grande do Sul. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 1, p. 9-16, 2011.

KENDALL, M.G. **Rank correlation measures**. London : Charles Griffin, 1975. 220p.

KLERING, E. V. **Avaliação do uso de imagens MODIS na modelagem agrometeorológica- espectral de rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul**. 2007. 116 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

KLERING, E. V. Comparação entre dois métodos de estimativa de área cultivada com arroz irrigado no Rio grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2011. p. 191.

KLERING, E. V. **Mapeamento da área cultivada e estimativa do rendimento de grãos de arroz irrigado a partir de modelos agrometeorológicos-espectrais para o Rio Grande do Sul**. 2012. 163 f. Tese (Doutorado em

Fitotecnia) – Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

KÖPPEN, W. **Climatología**. México, DF : Fondo de Cultura Económica, 1948. 71 p.

LEIVAS, J. F. **Climatologia das condições hídricas e análise de risco de deficiência hídrica decendial na metade sul do Estado do Rio Grande do Sul**. 2003. 225f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

LOPES, F.; BERLATO, M.A. Relações entre a temperatura da superfície do mar da região do Nino 3.4 e a temperatura média mínima do estado do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., 2003, Santa Maria. **Anais...**Santa Maria: SBA, 2003. 1 CD-ROM.

LYRA, G.B. et al. Regiões homogêneas e funções de distribuição de probabilidade da precipitação pluvial no Estado de Táchira, Venezuela. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p.205-215, 2006.

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

MANN, H. B. Econometrica. **The Econometric Society**, v.13, n.3, p.245-259, 1945.

MANZATTO, C. V. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. MANZATTO, C.V.; FREITAS JUNIOR, E.; PERES, J.R.R. (Ed.). Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2002. 174 p. Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes/pdfs/uso_agricola_solos_brasileiros.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2014.

MARCHIORI J. N. C. **Fitogeografia do Rio Grande do Sul: campos sulinos**. Porto Alegre: EST Edições, 2004. 110 p.

MARQUES, J. R. **Variabilidade espacial e temporal de precipitação pluvial no Rio Grande do Sul e sua relação com indicadores oceânicos**. 2005. 210f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

MARQUES, J. R.; FONTANA, D. C.; MELO, R. W. de. Estudo da correlação entre a temperatura da superfície dos oceanos Atlântico e Pacífico e o NDVI, no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 520-526, 2005.

MARTIN, T. N. et al. Regiões homogêneas e tamanho de amostra para atributos do clima no Estado de São Paulo, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 3, p.690-697, 2008.

MELO, R. W. de et al. An agrometeorological-spectral model to estimate soybean yield, applied to southern Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 29, n. 14, p. 4013-4028, 2008.

- MIRANDA, J. I. **Processamento de imagens digitais**: métodos multivariados em Java. Campinas, SP : Embrapa Informática Agropecuária, 2011. 400p.
- MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE et al. (Ed.). **Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da Mata Atlântica e Campos Sulinos**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2000, 40p.
- MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. 2. Ed. São Paulo : Edgard Blücher, 2006. 538p.
- MOTTA, J. L. G.; FONTANA, D. C.; WEBER, E. Análise da evolução temporal do NDVI/NOAA em região de soja no Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2003. p. 197-204.
- MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, Basingstoke, v. 403, p. 853-858, 2000. Disponível em: <<http://www.nature.com/nature/journal/v403/n6772/pdf/403853a0.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2014.
- NEETI, N.; EASTMAN, J. R. A Contextual Mann-Kendall Approach for the Assessment of Trend Significance in Image Time Series. **Transactions in GIS**, v. 15, n. 5, p. 599–611, 2011.
- NOAA - National Oceanic And Atmospheric Administration. **Advanced Very High Resolution Radiometer – AVHRR**. [2012a] Disponível em: <<http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/avhrr.html>>. Acesso em: 08 mar. 2012.
- NOAA - National Oceanic And Atmospheric Administration. **Cold & Warm Episodes by Season**. [2014]. Disponível em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml>. Acesso em: 15 mai. 2014.
- NOAA - National Oceanic And Atmospheric Administration. **NOAA KLM User's Guide**. [2012b] Disponível em: <<http://www.ncdc.noaa.gov/oa/pod-guide/ncdc/docs/klm/html/c3/sec3-1.htm>>. Acesso em: 08 mar. 2012.
- NORA, E. L. D.; 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, v. 6, n. 1, p. 97-108, 2010.
- NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto**: princípios e aplicações. São Paulo, SP: Editora Blucher, 2008. 333p.
- OVERBECK, G. E. et al. Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, Jena, Alemanha, v. 9, p. 101-116, 2007.
- PACICCO, C. L. et al. Cambiamenti climatici e trasformazione del paesaggio: analisi dei trend evolutivi mediante tecniche di remote sensing. In: CONVEGNO NAZIONALE DELL'ASSOCIAZIONE ITALIANA DI INGEGNERIA AGRARIA, 9., 2009, Ischia Porto. **Anais...**Ischia Porto: Memoria, 2009, p. 6-21.

PETERSON, T. C. et al. Recent changes in climate extremes in the Caribbean region. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 107, n. D21, 4601, 2002.

PIERUSCHKA, V. J. et al. Araucaria forest dynamics in relation to fire frequency in southern Brazil based on fossil and modern pollen data. **Review of Palaeobotany and Palynology**, Amsterdam, v. 160, 53-65, 2010.

PINZON, J. E. Using HHT to successfully uncouple seasonal and interannual components in remotely sensed data. In: SCI, 2002, Orlando, Florida. **Conference Proceedings**. Orlando, Florida, 2002.

PINZON, J. E.; BROWN, M. E.; TUCKER, C. J. Satellite time series correction of orbital drift artifacts using empirical mode decomposition. In: N. E. HUANG (Ed.) **Hilbert-Huang Transform: introduction and applications**. Greenbelt: [s. n.], 2004. Part II. Cap. 10, p. 173-176.

PODGAISKI, L. R. et al. Araneofauna (Arachnida; Araneae) do Parque Estadual do Turvo, Rio Grande do Sul, Brasil. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 7, n. 2, p. 1-15, 2007.

PONSONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007, 127p.

PUCHALSKI, L. A. **Efeitos Associados ao El Niño e La Niña na Temperatura Média, Precipitação Pluvial e no Déficit Hídrico no Estado do Rio Grande do Sul**. 2000. 83 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

RAMBO, B. **A fisionomia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Selbach, 1956. 471p.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. **Tipos de vegetação do Bioma Cerrado**. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF : Agência de Informação Embrapa, 2007. Disponível em: <
http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_23_911200585232.html >. Acesso em: 19 jun. 2014.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Agricultura e Abastecimento. Centro Nacional da Pesquisa do Trigo. **Macrozoneamento agroecológico e econômico do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 1994. v. 2.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Planejamento, Gestão e Participação Cidadã. **Atlas socioeconômico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<http://www.scp.rs.gov.br/atlas/default.asp>>. Acesso em: 17 jan. 2011.

RIZZI, R.; FONSECA E. L. da. Análise da variação espacial e temporal do NDVI no Estado do Rio Grande do Sul através de imagens AVHRR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2001. p. 1735-1737.

RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T. Estimativa da área de soja no Rio Grande do Sul por meio de imagens Landsat. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 57, n. 03, p. 226-234, 2005.

ROSEMBACK, R. et al. Análise da dinâmica da cobertura vegetal na região sul do Brasil a partir de dados MODIS/TERRA. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, Edição Especial 2, n. 62, p. 401-416, 2010.

ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. **Proceedings...** Washington: NASA, 1973, p. 309–317.

SANTOS, J. S. dos et al. Identificação da dinâmica espaço-temporal para estimar área cultivada de soja a partir de imagens MODIS no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 1, p. 54-63, 2014.

SEMA(RS) - Secretaria do Estado do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul; DEFAP - Departamento de Florestas e Áreas Protegidas. **Plano de Manejo do Parque Estadual do Turvo**. Porto Alegre, 2005. Disponível em: <http://www.sema.rs.gov.br/upload/Plano_manejo_PETurvo.pdf>. Acesso em: 12 set. 2013.

SEMA(RS) - Secretaria do Estado do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul; UFSM - Universidade Federal de Santa Maria. **Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2001. Disponível em: <<http://coralx.ufsm.br/ifcrs/>>. Acesso em: 05 mar. 2013.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre : EMATER/RS; UFRGS, 2002. 126 p.

SWAIN, P. H.; DAVIS, S. M. **Remote Sensing: The Quantitative Approach**. New York : McGraw-Hill. 1978. 396 p.

TEIXEIRA, M. B. et al. **Vegetação**: as regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos. Estudo fitogeográfico. In: BRASIL. Projeto RADAM BRASIL. Rio de Janeiro : IBGE, 1986, p.541-632 (Levantamento de Recursos Naturais, v.33).

TIMIZA, W. **Climate variability and satellite – observed vegetation responses in Tanzania**. Thesis (Master) - Physical Geography and Ecosystem Analysis, Lund University, Seminar series 205, 30 ECTS, 2011.

TOMITA, A. et al. Vegetation patterns in the Chao Phraya Delta, 1997 dry season using satellite image data. In: CHAO Phraya Delta: historical development, dynamics and challenges of Thailand's rice bowl. Bangkok, 2000.

TRENBERTH, K. E. The definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Boston, v.78, n.12, p.2771-2777, 1997.

TRENTIN, C. B.; FONSECA, E. L. Monitoramento da fenologia da vegetação campestre do bioma Pampa e sua relação com a temperatura média do ar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2011. p. 1628.

TUCKER, C. J. et al. An Extended AVHRR 8-km NDVI Data Set Compatible with MODIS and SPOT Vegetation NDVI Data. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 26, n. 20, p. 4485-4498, 2005.

UFMS – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. **Vegetação**. [2011]. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/ifcrs/vegetacao.htm>>. Acesso em: 17 jan. 2011.

VASCONCELLOS, B. N. de; BENEDETTI, A. C. P. Dinâmica temporal da cobertura florestal na microrregião Campanha central do Rio Grande do Sul. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 4, n. 4, p. 427-433, 2011.

VINCENT, L. A. et al. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. **Journal of Climate**, Boston, v. 18, p. 5011- 5023, 2005.

WAGNER, A. P. L. **Dinâmica temporal de índices de vegetação no Pampa do Rio Grande do Sul e Uruguai e suas relações com os elementos meteorológicos regionais**. 2013. 146f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia , Universidade Federal do Rio Grande do Sul , Porto Alegre, 2013.

WAGNER, A. P. L. et al. Tendências temporais de índices de vegetação nos campos do Pampa do Brasil e Uruguai. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n.9, p. 1192-1200, 2013.

WAGNER, A. P. L. et al. Estimativa de área de soja no Rio Grande do Sul utilizando imagens NDVI/MODIS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...São José dos Campos: INPE, 2007. p. 457-464.**

WARD, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of American Statistical Association**, Texas, v. 58, n. 301, p.236-244, 1963.

WEBER, E. et al. Estimativa de área cultivada com arroz irrigado no Rio Grande do Sul na safra 2005/2006 através de imagens Landsat. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...São José dos Campos: INPE, 2007. p. 465-472.**

ZHOU, L. M. et al. Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999. **Journal of Geophysical Research**, Hoboken, n. 106, p. 20069–20083, 2001.

7 APÊNDICES

APÊNDICE 1. Coeficientes de correlação de Pearson, mensais, sem defasagem e com defasagem de 1 a 4 meses da anomalia da TSM da região do Nino 3.4 do Oceano Pacífico com a anomalia da precipitação pluvial nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.

TSM x precipitação pluvial		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Iraí	4 meses	0,15	0,14	0,14	0,28	0,44	0,02	0,19	0,04	0,00	0,17	0,45	0,40
	3 meses	0,11	0,17	0,19	0,23	0,45	0,06	0,26	0,15	-0,17	0,24	0,50	0,35
	2 meses	0,12	0,19	0,23	0,16	0,47	0,16	0,35	0,09	-0,23	0,24	0,57	0,38
	1 mês	0,13	0,20	0,29	0,14	0,46	0,29	0,25	0,02	-0,29	0,24	0,57	0,40
	sem defasagem	0,12	0,23	0,26	0,04	0,40	0,33	0,15	0,01	-0,32	0,23	0,55	0,38
Bom Jesus	4 meses	-0,05	0,34	0,10	0,24	0,35	0,08	0,45	0,15	-0,38	0,27	0,33	0,19
	3 meses	-0,11	0,33	0,14	0,25	0,39	0,13	0,41	0,28	-0,45	0,39	0,39	0,14
	2 meses	-0,05	0,30	0,17	0,27	0,42	0,15	0,41	0,28	-0,48	0,49	0,44	0,17
	1 mês	-0,01	0,29	0,18	0,26	0,40	0,20	0,34	0,17	-0,44	0,51	0,48	0,19
	sem defasagem	0,01	0,29	0,17	0,17	0,36	0,21	0,12	0,13	-0,41	0,52	0,43	0,20
Caxias do Sul	4 meses	-0,11	0,30	-0,13	0,04	0,31	0,05	0,55	0,16	-0,35	0,33	0,27	0,44
	3 meses	-0,15	0,31	-0,11	0,08	0,36	0,07	0,50	0,28	-0,50	0,39	0,37	0,45
	2 meses	-0,12	0,33	-0,09	0,12	0,37	0,07	0,47	0,33	-0,56	0,47	0,46	0,49
	1 mês	-0,09	0,30	-0,04	0,10	0,36	0,08	0,42	0,27	-0,47	0,46	0,45	0,49
	sem defasagem	-0,06	0,32	-0,09	0,01	0,33	0,04	0,24	0,27	-0,42	0,44	0,43	0,50
Santa Maria	4 meses	-0,14	0,28	0,11	0,21	0,02	-0,13	0,34	0,03	-0,33	0,37	0,19	0,50
	3 meses	-0,19	0,31	0,10	0,27	0,10	-0,11	0,31	0,14	-0,44	0,41	0,29	0,46
	2 meses	-0,19	0,32	0,07	0,32	0,11	-0,13	0,32	0,28	-0,50	0,48	0,41	0,47
	1 mês	-0,17	0,33	0,09	0,26	0,10	-0,10	0,25	0,23	-0,44	0,57	0,41	0,46
	sem defasagem	-0,15	0,34	0,07	0,14	0,09	-0,05	0,17	0,28	-0,37	0,57	0,41	0,46
Encruzilhada do Sul	4 meses	0,11	0,49	0,04	0,17	-0,05	0,15	0,38	0,17	-0,24	0,33	0,37	0,49
	3 meses	0,04	0,52	0,07	0,21	0,04	0,16	0,38	0,20	-0,27	0,43	0,47	0,53
	2 meses	0,07	0,54	0,08	0,29	0,04	0,11	0,35	0,32	-0,28	0,51	0,56	0,56
	1 mês	0,11	0,55	0,11	0,27	-0,01	0,12	0,38	0,31	-0,25	0,52	0,53	0,58
	sem defasagem	0,13	0,56	0,11	0,28	-0,05	0,12	0,36	0,34	-0,21	0,53	0,52	0,56
Bagé	4 meses	0,18	0,37	0,13	0,19	0,08	0,14	0,44	0,03	-0,02	0,40	0,30	0,57
	3 meses	0,09	0,38	0,12	0,23	0,15	0,13	0,45	0,10	-0,03	0,47	0,37	0,58
	2 meses	0,09	0,42	0,10	0,27	0,16	0,06	0,39	0,19	-0,01	0,42	0,44	0,56
	1 mês	0,09	0,43	0,11	0,26	0,22	0,03	0,39	0,15	0,06	0,41	0,46	0,58
	sem defasagem	0,15	0,45	0,09	0,28	0,19	-0,07	0,26	0,20	0,07	0,47	0,46	0,55

Correlações positivas, estatisticamente significativas, hachuradas em verde;
Correlações negativas, estatisticamente significativas, hachuradas em cinza.

APÊNDICE 2. Coeficientes de correlação de Pearson, mensais, sem defasagem e com defasagem de 1 a 4 meses da anomalia da TSM da região do Nino 3.4 do Oceano Pacífico com a anomalia da insolação nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.

TSM x insolação		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Iraí	4 meses	-0,05	-0,31	-0,11	-0,26	-0,62	-0,06	-0,46	-0,25	-0,13	-0,31	-0,53	-0,37
	3 meses	0,01	-0,31	-0,16	-0,28	-0,59	-0,07	-0,38	-0,16	0,07	-0,22	-0,59	-0,36
	2 meses	-0,05	-0,28	-0,17	-0,32	-0,57	0,00	-0,37	0,04	0,14	-0,13	-0,65	-0,43
	1 mês	-0,08	-0,30	-0,22	-0,30	-0,46	-0,05	-0,34	0,21	0,22	-0,07	-0,68	-0,42
	sem defasagem	-0,07	-0,34	-0,18	-0,20	-0,25	-0,04	-0,21	0,27	0,25	-0,09	-0,64	-0,39
Bom Jesus	4 meses	0,09	-0,26	0,15	-0,10	-0,37	0,05	-0,60	-0,34	-0,08	-0,28	-0,50	-0,42
	3 meses	0,13	-0,27	0,11	-0,15	-0,41	0,04	-0,60	-0,20	0,17	-0,24	-0,58	-0,47
	2 meses	0,08	-0,23	0,06	-0,20	-0,42	0,13	-0,61	-0,02	0,22	-0,17	-0,64	-0,44
	1 mês	0,04	-0,22	-0,01	-0,21	-0,33	0,09	-0,52	0,12	0,22	-0,12	-0,64	-0,43
	sem defasagem	0,04	-0,23	0,02	-0,15	-0,16	0,01	-0,39	0,18	0,23	-0,15	-0,58	-0,43
Caxias do Sul	4 meses	0,00	-0,14	0,11	-0,19	-0,51	-0,05	-0,62	-0,16	0,11	-0,19	-0,49	-0,34
	3 meses	0,07	-0,16	0,01	-0,24	-0,50	0,01	-0,56	-0,09	0,30	-0,11	-0,58	-0,39
	2 meses	0,04	-0,15	-0,04	-0,28	-0,47	0,10	-0,55	0,04	0,34	-0,05	-0,67	-0,33
	1 mês	0,01	-0,18	-0,11	-0,27	-0,36	0,04	-0,43	0,16	0,29	-0,01	-0,66	-0,32
	sem defasagem	-0,01	-0,23	-0,07	-0,23	-0,21	0,04	-0,28	0,15	0,29	-0,02	-0,67	-0,33
Santa Maria	4 meses	-0,11	-0,24	-0,24	-0,12	-0,37	0,15	-0,43	-0,26	0,05	-0,20	-0,66	-0,32
	3 meses	-0,05	-0,25	-0,29	-0,16	-0,41	0,18	-0,39	-0,14	0,23	-0,17	-0,68	-0,32
	2 meses	-0,05	-0,26	-0,29	-0,24	-0,41	0,27	-0,43	-0,02	0,27	-0,10	-0,72	-0,33
	1 mês	-0,06	-0,29	-0,32	-0,24	-0,34	0,18	-0,36	0,16	0,32	-0,05	-0,71	-0,34
	sem defasagem	-0,08	-0,33	-0,29	-0,18	-0,29	0,12	-0,19	0,22	0,34	-0,09	-0,70	-0,33
Encruzilhada do Sul	4 meses	-0,15	-0,20	0,01	0,01	-0,37	-0,16	-0,52	-0,22	-0,10	-0,24	-0,64	-0,32
	3 meses	-0,10	-0,19	-0,01	0,02	-0,36	-0,14	-0,52	-0,11	0,08	-0,26	-0,61	-0,29
	2 meses	-0,09	-0,20	-0,01	-0,03	-0,39	-0,09	-0,52	-0,11	0,13	-0,13	-0,61	-0,31
	1 mês	-0,08	-0,21	-0,03	-0,05	-0,30	-0,08	-0,48	-0,03	0,22	-0,09	-0,64	-0,34
	sem defasagem	-0,09	-0,25	-0,03	-0,06	-0,22	-0,13	-0,36	0,04	0,22	-0,14	-0,64	-0,32
Bagé	4 meses	-0,15	-0,28	-0,22	-0,15	-0,49	-0,21	-0,47	-0,34	0,16	-0,03	-0,57	-0,38
	3 meses	-0,10	-0,28	-0,26	-0,23	-0,52	-0,18	-0,48	-0,21	0,23	-0,12	-0,55	-0,36
	2 meses	-0,08	-0,32	-0,30	-0,32	-0,53	-0,17	-0,43	-0,17	0,22	-0,08	-0,56	-0,39
	1 mês	-0,10	-0,37	-0,36	-0,34	-0,46	-0,15	-0,32	-0,06	0,21	-0,08	-0,55	-0,40
	sem defasagem	-0,15	-0,41	-0,32	-0,31	-0,34	-0,12	-0,16	0,03	0,25	-0,13	-0,55	-0,35

Correlações positivas, estatisticamente significativas, hachuradas em verde;
Correlações negativas, estatisticamente significativas, hachuradas em cinza.

APÊNDICE 3. Coeficientes de correlação de Pearson, mensais, sem defasagem e com defasagem de 1 a 4 meses da anomalia da TSM da região do Nino 3.4 do Oceano Pacífico com a anomalia da temperatura mínima do ar nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.

TSM x temp. mínima		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Iraí	4 meses	0,15	0,08	-0,11	-0,04	0,38	0,08	0,29	-0,03	-0,06	0,27	0,24	0,01
	3 meses	0,12	0,08	-0,12	-0,01	0,40	0,08	0,30	0,09	-0,02	0,29	0,33	0,03
	2 meses	0,13	0,07	-0,11	-0,01	0,42	0,09	0,32	0,09	-0,01	0,27	0,33	0,07
	1 mês	0,14	0,06	-0,13	0,01	0,47	0,17	0,41	0,00	0,00	0,19	0,37	0,20
	sem defasagem	0,14	0,05	-0,16	0,01	0,52	0,30	0,45	0,02	0,03	0,23	0,35	0,26
Bom Jesus	4 meses	0,11	-0,11	-0,12	0,00	0,18	-0,05	0,21	-0,19	-0,25	0,14	0,32	0,07
	3 meses	0,09	-0,08	-0,13	0,03	0,21	-0,06	0,18	-0,05	-0,22	0,21	0,35	0,13
	2 meses	0,11	-0,07	-0,14	0,04	0,19	-0,09	0,22	0,00	-0,16	0,18	0,33	0,15
	1 mês	0,08	-0,05	-0,16	0,03	0,21	-0,03	0,36	-0,04	-0,14	0,09	0,37	0,26
	sem defasagem	0,06	0,00	-0,19	0,03	0,29	0,13	0,39	0,01	-0,12	0,14	0,32	0,27
Caxias do Sul	4 meses	0,05	-0,10	-0,10	0,05	0,10	-0,06	0,14	-0,09	-0,11	0,22	0,44	0,15
	3 meses	0,02	-0,05	-0,11	0,05	0,13	-0,07	0,16	0,09	-0,05	0,26	0,42	0,17
	2 meses	0,04	-0,01	-0,12	0,07	0,13	-0,06	0,24	0,13	-0,01	0,22	0,40	0,18
	1 mês	0,01	0,01	-0,13	0,08	0,19	-0,01	0,36	0,10	-0,04	0,15	0,42	0,32
	sem defasagem	-0,02	0,07	-0,14	0,15	0,28	0,09	0,41	0,10	-0,01	0,17	0,40	0,35
Santa Maria	4 meses	0,18	-0,01	-0,11	-0,01	0,14	-0,03	0,19	0,09	-0,16	0,17	0,33	0,05
	3 meses	0,21	0,02	-0,10	0,02	0,19	-0,02	0,17	0,25	-0,07	0,21	0,31	0,08
	2 meses	0,23	0,08	-0,09	0,07	0,20	0,01	0,20	0,27	-0,04	0,16	0,27	0,11
	1 mês	0,17	0,13	-0,10	0,08	0,27	0,07	0,26	0,19	-0,04	0,08	0,34	0,24
	sem defasagem	0,10	0,20	-0,10	0,17	0,40	0,19	0,29	0,18	-0,01	0,14	0,34	0,31
Encruzilhada do Sul	4 meses	0,00	-0,06	-0,15	-0,02	0,00	-0,06	0,08	0,00	-0,17	0,16	0,33	0,11
	3 meses	-0,01	-0,02	-0,17	-0,01	0,04	-0,05	0,08	0,18	-0,05	0,20	0,28	0,14
	2 meses	0,03	0,03	-0,17	0,01	0,04	-0,04	0,12	0,22	-0,03	0,13	0,23	0,16
	1 mês	0,03	0,05	-0,20	0,03	0,13	0,02	0,20	0,19	-0,06	0,07	0,26	0,30
	sem defasagem	0,01	0,11	-0,20	0,12	0,29	0,10	0,25	0,19	-0,04	0,12	0,27	0,34
Bagé	4 meses	-0,08	-0,16	-0,07	-0,10	0,02	-0,02	0,00	-0,04	-0,10	0,07	0,18	-0,03
	3 meses	-0,10	-0,13	-0,06	-0,07	0,08	0,01	0,02	0,11	0,00	0,12	0,15	0,02
	2 meses	-0,04	-0,05	-0,05	-0,01	0,06	0,06	0,07	0,14	0,02	0,07	0,13	0,03
	1 mês	0,00	0,01	-0,08	0,00	0,13	0,14	0,12	0,15	-0,01	0,02	0,14	0,18
	sem defasagem	0,02	0,08	-0,10	0,16	0,25	0,23	0,20	0,16	0,03	0,05	0,15	0,26

Correlações positivas, estatisticamente significativas, hachuradas em verde;
Correlações negativas, estatisticamente significativas, hachuradas em cinza.

APÊNDICE 4. Coeficientes de correlação de Pearson, mensais, sem defasagem e com defasagem de 1 a 4 meses da anomalia da TSM da região do Nino 3.4 do Oceano Pacífico com a anomalia da temperatura média do ar nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.

TSM x temp. média		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Iraí	4 meses	0,12	-0,17	-0,14	-0,18	0,07	0,06	0,09	-0,12	-0,14	0,09	0,02	-0,07
	3 meses	0,14	-0,17	-0,17	-0,17	0,12	0,06	0,10	-0,01	0,00	0,14	0,02	-0,07
	2 meses	0,10	-0,17	-0,17	-0,18	0,13	0,08	0,12	0,05	0,09	0,14	-0,01	0,01
	1 mês	0,08	-0,18	-0,21	-0,15	0,24	0,10	0,25	0,00	0,09	0,06	0,01	0,11
	sem defasagem	0,08	-0,20	-0,21	-0,07	0,39	0,23	0,37	0,00	0,10	0,08	0,00	0,15
Bom Jesus	4 meses	0,13	-0,22	-0,04	-0,17	0,06	0,01	0,16	-0,27	-0,15	0,05	0,16	-0,08
	3 meses	0,12	-0,18	-0,07	-0,14	0,09	0,00	0,15	-0,10	-0,05	0,10	0,15	-0,07
	2 meses	0,12	-0,15	-0,09	-0,13	0,08	0,00	0,18	0,02	0,02	0,07	0,12	-0,01
	1 mês	0,08	-0,14	-0,14	-0,12	0,15	0,01	0,33	0,01	0,02	-0,01	0,16	0,12
	sem defasagem	0,05	-0,09	-0,15	-0,06	0,26	0,16	0,41	0,02	0,05	0,03	0,15	0,15
Caxias do Sul	4 meses	-0,01	-0,24	-0,13	-0,05	0,01	-0,02	-0,01	-0,18	-0,10	0,17	0,21	0,03
	3 meses	-0,02	-0,21	-0,18	-0,05	0,03	-0,02	0,01	0,00	0,06	0,21	0,16	0,03
	2 meses	0,00	-0,16	-0,19	-0,05	0,04	0,00	0,09	0,10	0,11	0,17	0,11	0,05
	1 mês	-0,06	-0,12	-0,24	-0,03	0,14	0,01	0,26	0,10	0,08	0,09	0,14	0,20
	sem defasagem	-0,08	-0,08	-0,25	0,09	0,26	0,13	0,37	0,09	0,11	0,11	0,14	0,24
Santa Maria	4 meses	-0,02	-0,22	-0,15	-0,14	-0,02	0,02	0,11	-0,06	-0,11	0,09	-0,01	-0,11
	3 meses	0,05	-0,19	-0,18	-0,14	0,02	0,03	0,10	0,15	0,06	0,14	-0,08	-0,10
	2 meses	0,05	-0,13	-0,18	-0,15	0,01	0,08	0,13	0,22	0,12	0,09	-0,16	-0,06
	1 mês	-0,02	-0,12	-0,21	-0,14	0,10	0,12	0,22	0,17	0,11	0,01	-0,09	0,06
	sem defasagem	-0,09	-0,06	-0,21	0,00	0,26	0,22	0,29	0,16	0,13	0,06	-0,08	0,10
Encruzilhada do Sul	4 meses	-0,17	-0,31	-0,19	-0,05	-0,10	-0,07	-0,01	-0,10	-0,14	0,10	0,02	-0,11
	3 meses	-0,14	-0,30	-0,23	-0,07	-0,07	-0,05	-0,01	0,11	0,05	0,13	-0,04	-0,09
	2 meses	-0,12	-0,25	-0,23	-0,09	-0,07	-0,02	0,03	0,18	0,08	0,07	-0,11	-0,07
	1 mês	-0,13	-0,24	-0,26	-0,08	0,04	0,02	0,14	0,20	0,04	0,00	-0,08	0,07
	sem defasagem	-0,17	-0,20	-0,27	0,08	0,23	0,12	0,24	0,19	0,07	0,05	-0,08	0,12
Bagé	4 meses	-0,27	-0,39	-0,20	-0,15	-0,09	0,01	-0,04	-0,08	-0,08	-0,01	-0,13	-0,25
	3 meses	-0,27	-0,36	-0,20	-0,13	-0,04	0,04	-0,02	0,09	0,05	-0,01	-0,13	-0,19
	2 meses	-0,24	-0,30	-0,17	-0,11	-0,04	0,11	0,03	0,12	0,06	-0,02	-0,15	-0,19
	1 mês	-0,20	-0,26	-0,20	-0,09	0,06	0,17	0,13	0,14	0,04	-0,06	-0,14	-0,07
	sem defasagem	-0,20	-0,19	-0,19	0,10	0,22	0,24	0,24	0,16	0,09	-0,06	-0,13	0,02

Correlações positivas, estatisticamente significativas, hachuradas em verde;
Correlações negativas, estatisticamente significativas, hachuradas em cinza.

APÊNDICE 5. Coeficientes de correlação de Pearson, mensais, sem defasagem e com defasagem de 1 a 4 meses da anomalia da TSM da região do Nino 3.4 do Oceano Pacífico com a anomalia da temperatura máxima do ar nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.

TSM x temp. máxima		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Iraí	4 meses	0,01	-0,33	-0,13	-0,30	-0,27	0,03	-0,13	-0,18	-0,19	-0,17	-0,14	-0,11
	3 meses	0,07	-0,34	-0,18	-0,30	-0,22	0,02	-0,11	-0,11	0,01	-0,09	-0,21	-0,12
	2 meses	0,01	-0,32	-0,18	-0,32	-0,20	0,05	-0,09	-0,02	0,15	-0,06	-0,26	-0,04
	1 mês	-0,04	-0,34	-0,23	-0,28	-0,08	0,01	0,06	0,00	0,16	-0,13	-0,26	0,02
	sem defasagem	-0,04	-0,35	-0,21	-0,15	0,12	0,11	0,24	-0,02	0,15	-0,14	-0,25	0,04
Bom Jesus	4 meses	0,12	-0,31	0,04	-0,06	-0,05	0,08	0,09	-0,26	-0,06	-0,07	-0,07	-0,21
	3 meses	0,11	-0,27	0,01	-0,07	-0,03	0,07	0,10	-0,12	0,09	-0,04	-0,13	-0,23
	2 meses	0,09	-0,22	-0,03	-0,07	-0,04	0,10	0,12	0,04	0,17	-0,06	-0,16	-0,16
	1 mês	0,04	-0,21	-0,09	-0,08	0,08	0,07	0,26	0,06	0,14	-0,12	-0,14	-0,04
	sem defasagem	0,01	-0,17	-0,09	0,05	0,19	0,17	0,38	0,03	0,17	-0,10	-0,09	0,02
Caxias do Sul	4 meses	-0,07	-0,30	-0,12	-0,13	-0,08	0,03	-0,17	-0,22	-0,07	0,08	-0,02	-0,09
	3 meses	-0,07	-0,30	-0,19	-0,14	-0,06	0,04	-0,16	-0,07	0,13	0,11	-0,09	-0,09
	2 meses	-0,05	-0,26	-0,21	-0,16	-0,04	0,07	-0,09	0,06	0,20	0,09	-0,14	-0,07
	1 mês	-0,12	-0,22	-0,27	-0,14	0,08	0,04	0,13	0,08	0,17	0,02	-0,13	0,07
	sem defasagem	-0,13	-0,20	-0,27	0,02	0,22	0,16	0,29	0,07	0,20	0,03	-0,09	0,12
Santa Maria	4 meses	-0,18	-0,34	-0,15	-0,22	-0,20	0,07	0,03	-0,18	-0,04	-0,04	-0,28	-0,20
	3 meses	-0,11	-0,33	-0,21	-0,26	-0,18	0,09	0,02	0,01	0,18	0,00	-0,37	-0,21
	2 meses	-0,12	-0,30	-0,22	-0,32	-0,19	0,16	0,05	0,10	0,25	-0,04	-0,46	-0,17
	1 mês	-0,16	-0,32	-0,27	-0,32	-0,10	0,17	0,17	0,10	0,24	-0,09	-0,39	-0,08
	sem defasagem	-0,20	-0,31	-0,26	-0,20	0,07	0,25	0,28	0,08	0,25	-0,06	-0,38	-0,07
Encruzilhada do Sul	4 meses	-0,27	-0,42	-0,20	-0,06	-0,20	-0,09	-0,11	-0,17	-0,11	0,00	-0,20	-0,26
	3 meses	-0,22	-0,43	-0,25	-0,10	-0,18	-0,05	-0,10	0,03	0,13	0,00	-0,26	-0,25
	2 meses	-0,21	-0,40	-0,24	-0,16	-0,18	-0,01	-0,06	0,12	0,18	-0,03	-0,34	-0,22
	1 mês	-0,24	-0,40	-0,27	-0,13	-0,05	0,03	0,08	0,17	0,13	-0,09	-0,31	-0,10
	sem defasagem	-0,29	-0,39	-0,29	0,03	0,15	0,14	0,21	0,16	0,15	-0,05	-0,32	-0,05
Bagé	4 meses	-0,32	-0,45	-0,26	-0,15	-0,18	0,05	-0,09	-0,10	-0,05	-0,09	-0,35	-0,37
	3 meses	-0,32	-0,44	-0,27	-0,15	-0,14	0,08	-0,07	0,07	0,09	-0,14	-0,33	-0,31
	2 meses	-0,31	-0,41	-0,24	-0,16	-0,14	0,16	-0,01	0,09	0,10	-0,11	-0,35	-0,32
	1 mês	-0,28	-0,39	-0,25	-0,15	-0,03	0,18	0,13	0,12	0,09	-0,12	-0,34	-0,22
	sem defasagem	-0,30	-0,35	-0,23	0,02	0,16	0,23	0,27	0,15	0,15	-0,15	-0,33	-0,14

Correlações positivas, estatisticamente significativas, hachuradas em verde;
Correlações negativas, estatisticamente significativas, hachuradas em cinza.

APÊNDICE 6. Coeficientes de correlação de Pearson, mensais, sem defasagem e com defasagem de 1 a 4 meses da anomalia da TSM da região do Nino 3.4 do Oceano Pacífico com a anomalia do NDVI nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.

TSM x NDVI		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Iraí	4 meses	0,27	-0,11	0,05	0,28	0,09	0,03	-0,27	0,14	-0,11	0,22	-0,12	0,16
	3 meses	0,27	-0,09	0,01	0,28	0,11	0,03	-0,19	0,35	0,02	0,07	-0,19	0,21
	2 meses	0,23	-0,09	0,01	0,24	0,05	-0,01	-0,12	0,48	0,06	0,01	-0,28	0,17
	1 mês	0,20	-0,10	0,00	0,25	-0,05	0,03	-0,03	0,51	0,09	-0,03	-0,32	0,06
	sem defasagem	0,24	-0,15	0,00	0,17	-0,09	-0,02	0,08	0,46	0,17	-0,04	-0,33	0,01
Bom Jesus	4 meses	0,38	0,02	0,40	0,06	-0,08	0,15	-0,36	0,03	-0,22	-0,01	0,00	0,08
	3 meses	0,39	0,05	0,37	0,06	-0,09	0,10	-0,34	0,19	-0,05	-0,11	0,04	0,05
	2 meses	0,38	0,05	0,37	0,06	-0,13	0,04	-0,28	0,24	0,06	-0,07	-0,05	0,09
	1 mês	0,36	0,01	0,36	0,02	-0,25	0,05	-0,22	0,16	0,08	-0,04	-0,12	0,05
	sem defasagem	0,36	-0,03	0,36	-0,10	-0,29	0,05	-0,19	0,13	0,14	-0,01	-0,15	0,00
Caxias do Sul	4 meses	0,24	-0,13	0,16	0,05	-0,04	0,04	-0,33	0,00	-0,27	0,08	-0,11	0,13
	3 meses	0,26	-0,11	0,13	0,05	-0,05	0,01	-0,28	0,15	-0,09	0,02	-0,10	0,11
	2 meses	0,24	-0,08	0,12	0,06	-0,11	-0,04	-0,19	0,27	0,00	-0,01	-0,19	0,11
	1 mês	0,24	-0,09	0,12	0,05	-0,21	-0,04	-0,12	0,23	0,05	-0,04	-0,24	0,01
	sem defasagem	0,24	-0,10	0,09	-0,08	-0,26	-0,08	-0,07	0,19	0,16	0,01	-0,28	-0,04
Santa Maria	4 meses	0,33	-0,20	0,18	0,02	-0,02	-0,05	-0,33	0,01	-0,02	0,18	-0,08	0,05
	3 meses	0,30	-0,23	0,15	0,00	-0,04	-0,07	-0,28	0,13	0,03	0,07	-0,04	0,03
	2 meses	0,25	-0,21	0,13	-0,01	-0,08	-0,07	-0,23	0,24	0,02	0,05	-0,16	0,00
	1 mês	0,25	-0,20	0,12	0,00	-0,15	0,02	-0,13	0,23	0,01	0,02	-0,25	-0,08
	sem defasagem	0,25	-0,21	0,08	-0,10	-0,19	0,02	0,00	0,19	0,11	0,04	-0,29	-0,14
Encruzilhada do Sul	4 meses	0,16	-0,16	0,08	-0,05	-0,09	-0,04	-0,27	0,02	-0,10	0,04	-0,15	0,11
	3 meses	0,15	-0,14	0,08	-0,07	-0,10	-0,07	-0,24	0,14	-0,02	0,01	-0,12	0,08
	2 meses	0,16	-0,11	0,09	-0,12	-0,15	-0,11	-0,22	0,34	-0,02	0,02	-0,22	0,08
	1 mês	0,16	-0,11	0,09	-0,11	-0,23	-0,07	-0,18	0,35	-0,03	0,00	-0,25	-0,03
	sem defasagem	0,16	-0,12	0,06	-0,18	-0,26	-0,08	-0,08	0,32	0,06	0,06	-0,27	-0,09
Bagé	4 meses	0,46	-0,19	0,21	0,14	-0,01	-0,07	-0,20	-0,31	-0,08	-0,13	-0,18	0,41
	3 meses	0,42	-0,16	0,22	0,13	-0,03	-0,10	-0,21	-0,10	0,00	-0,23	-0,09	0,44
	2 meses	0,43	-0,15	0,22	0,10	-0,07	-0,03	-0,12	0,07	-0,02	-0,14	-0,12	0,38
	1 mês	0,45	-0,12	0,21	0,09	-0,14	0,15	-0,06	0,16	-0,01	-0,12	-0,17	0,36
	sem defasagem	0,48	-0,11	0,21	-0,05	-0,14	0,25	0,02	0,18	0,10	-0,11	-0,24	0,35

Correlações positivas, estatisticamente significativas, hachuradas em verde;
Correlações negativas, estatisticamente significativas, hachuradas em cinza.

APÊNDICE 7. Coeficientes de correlação de Pearson, mensais, sem defasagem e com defasagem de 1 a 4 meses da anomalia da precipitação pluvial com a anomalia do NDVI nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.

Precipitação pluvial x NDVI		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Iraí	4 meses	-0,21	0,04	0,16	0,31	0,15	-0,21	0,10	-0,23	-0,09	-0,19	0,01	0,24
	3 meses	-0,20	-0,21	0,11	0,18	-0,13	0,17	-0,10	-0,26	0,00	0,00	-0,06	0,15
	2 meses	0,09	0,02	-0,20	-0,31	0,28	0,09	-0,40	0,11	-0,31	-0,11	-0,23	0,14
	1 mês	0,21	0,10	0,28	-0,15	-0,09	-0,10	0,12	0,27	0,09	-0,04	-0,16	0,28
	sem defasagem	-0,28	-0,49	-0,20	-0,06	0,00	-0,14	-0,19	0,39	-0,08	-0,01	0,04	-0,08
Bom Jesus	4 meses	-0,29	0,08	0,25	-0,04	0,10	0,05	0,00	0,02	-0,27	0,40	0,02	0,19
	3 meses	0,02	0,04	0,20	0,26	0,00	0,12	-0,25	0,11	-0,28	-0,18	-0,06	-0,18
	2 meses	0,24	0,08	-0,16	0,19	-0,03	0,15	-0,58	-0,13	-0,16	0,19	-0,02	0,21
	1 mês	0,25	0,01	0,34	-0,21	0,15	-0,12	0,08	0,44	0,24	0,07	0,07	-0,01
	sem defasagem	-0,48	-0,23	-0,31	-0,18	-0,36	-0,04	-0,43	0,51	-0,04	-0,07	-0,14	0,29
Caxias do Sul	4 meses	-0,39	0,17	0,24	0,09	0,01	-0,19	0,08	-0,07	-0,43	0,32	0,12	0,11
	3 meses	-0,28	0,06	0,28	0,34	-0,03	0,16	0,02	-0,03	-0,19	0,02	-0,13	-0,22
	2 meses	0,20	-0,01	-0,05	0,39	0,07	0,06	-0,48	-0,09	-0,30	0,08	0,01	0,22
	1 mês	0,16	0,24	0,53	-0,28	0,02	-0,23	-0,13	0,34	0,27	-0,04	0,18	0,01
	sem defasagem	-0,41	-0,03	-0,02	-0,25	-0,37	-0,16	-0,47	0,44	-0,02	-0,15	-0,20	0,15
Santa Maria	4 meses	-0,54	-0,19	0,24	-0,12	0,12	-0,12	0,19	-0,11	-0,24	0,16	-0,01	-0,08
	3 meses	0,06	-0,32	0,29	0,21	-0,20	0,22	0,10	0,10	-0,26	-0,01	-0,13	-0,03
	2 meses	0,09	-0,03	-0,09	0,19	0,12	0,04	-0,26	-0,05	-0,19	0,31	0,10	0,40
	1 mês	0,33	0,34	0,38	0,30	0,13	-0,37	-0,16	0,38	0,28	0,20	-0,08	0,30
	sem defasagem	-0,04	-0,33	0,06	-0,06	-0,11	-0,30	-0,43	0,33	-0,07	-0,17	-0,10	0,15
Encruzilhada do Sul	4 meses	-0,56	-0,11	0,12	0,24	0,01	0,12	0,08	-0,14	-0,17	0,26	-0,18	0,09
	3 meses	-0,26	-0,07	0,29	-0,06	0,09	0,35	0,18	0,08	-0,18	0,11	0,08	-0,12
	2 meses	-0,05	-0,25	-0,16	0,23	0,32	0,17	-0,03	-0,04	-0,18	0,11	-0,12	0,34
	1 mês	-0,01	0,10	0,47	0,07	0,07	-0,35	-0,27	0,23	0,16	0,17	0,20	0,17
	sem defasagem	-0,12	-0,08	-0,22	-0,07	-0,03	-0,24	-0,28	0,57	0,10	-0,07	-0,13	0,10
Bagé	4 meses	-0,19	-0,10	-0,12	0,25	-0,21	0,05	0,04	-0,14	-0,31	0,05	0,08	-0,06
	3 meses	0,19	-0,10	0,43	0,03	-0,03	0,11	0,16	-0,12	-0,12	-0,03	-0,09	-0,04
	2 meses	0,33	0,04	-0,08	0,20	0,46	0,14	0,18	-0,14	-0,18	0,31	0,17	0,21
	1 mês	0,47	0,51	0,55	0,51	0,21	-0,34	-0,02	0,11	0,08	0,32	0,16	0,51
	sem defasagem	0,24	-0,26	0,08	0,10	-0,22	-0,25	-0,22	0,07	-0,02	-0,16	-0,20	0,39

Correlações positivas, estatisticamente significativas, hachuradas em verde;
Correlações negativas, estatisticamente significativas, hachuradas em cinza.

APÊNDICE 8. Coeficientes de correlação de Pearson, mensais, sem defasagem e com defasagem de 1 a 4 meses da anomalia da insolação com a anomalia do NDVI nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.

Insolação x NDVI		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Iraí	4 meses	0,06	0,08	-0,23	-0,31	-0,10	0,17	-0,09	0,09	0,18	-0,30	-0,39	-0,15
	3 meses	-0,17	0,05	-0,14	-0,03	0,17	-0,06	0,07	0,33	-0,10	-0,27	-0,16	0,00
	2 meses	-0,20	-0,01	0,24	0,07	-0,36	-0,23	0,34	-0,11	0,04	0,02	-0,13	0,00
	1 mês	-0,12	-0,19	-0,29	0,06	-0,21	0,14	0,40	-0,38	0,17	0,12	-0,18	-0,40
	sem defasagem	0,51	0,53	0,53	0,17	0,16	0,23	0,48	-0,08	0,08	-0,04	0,16	-0,05
Bom Jesus	4 meses	0,03	-0,05	-0,34	-0,33	-0,13	0,17	-0,12	-0,08	0,27	-0,16	-0,11	0,04
	3 meses	0,10	-0,14	-0,38	-0,20	0,14	-0,09	0,03	-0,13	0,10	0,11	0,08	0,33
	2 meses	-0,15	-0,34	0,09	0,23	-0,06	-0,21	0,45	0,07	0,10	-0,21	0,03	-0,37
	1 mês	-0,07	-0,11	-0,29	-0,08	-0,04	0,08	0,05	-0,36	-0,05	-0,04	-0,27	-0,10
	sem defasagem	0,52	0,44	0,25	0,27	0,25	0,26	0,48	-0,23	0,08	0,27	0,20	0,31
Caxias do Sul	4 meses	0,12	-0,06	-0,13	-0,26	-0,34	0,20	-0,23	-0,01	0,30	-0,19	-0,14	0,16
	3 meses	0,07	-0,14	-0,39	-0,39	0,16	-0,33	-0,20	0,08	0,06	-0,11	0,12	0,18
	2 meses	-0,25	-0,20	-0,25	0,09	-0,22	-0,46	0,36	-0,05	0,37	-0,24	0,24	-0,09
	1 mês	0,09	-0,49	-0,40	0,09	-0,28	-0,01	0,13	-0,34	-0,03	0,06	0,02	0,13
	sem defasagem	0,39	0,49	0,21	0,24	-0,01	0,00	0,49	-0,34	-0,03	0,37	0,45	0,27
Santa Maria	4 meses	0,10	0,06	-0,27	-0,12	-0,22	0,12	-0,11	-0,12	0,51	-0,09	-0,04	0,27
	3 meses	0,01	0,20	-0,07	-0,21	0,02	-0,13	-0,17	0,14	0,18	-0,12	-0,01	0,12
	2 meses	-0,31	0,19	0,00	-0,07	-0,07	-0,26	0,60	0,03	0,20	-0,31	0,12	-0,32
	1 mês	-0,24	-0,21	-0,42	-0,16	-0,16	0,19	0,02	-0,26	-0,19	-0,22	-0,16	-0,21
	sem defasagem	0,09	0,42	0,22	0,04	0,09	0,21	0,58	-0,22	0,04	0,14	0,14	-0,27
Encruzilhada do Sul	4 meses	0,09	0,22	0,18	0,05	0,16	0,27	-0,22	0,11	0,37	-0,02	-0,18	0,11
	3 meses	0,06	-0,04	0,22	-0,08	0,13	-0,16	-0,39	0,20	0,16	0,22	-0,21	0,06
	2 meses	-0,21	-0,07	0,15	0,07	-0,20	-0,28	0,29	0,26	0,21	-0,19	-0,03	-0,10
	1 mês	-0,22	0,07	-0,21	-0,14	-0,24	0,36	0,03	-0,21	-0,22	0,06	-0,16	-0,04
	sem defasagem	0,08	0,57	0,39	-0,05	0,24	0,43	0,45	-0,23	-0,20	0,29	0,05	-0,14
Bagé	4 meses	0,27	0,03	-0,32	-0,21	-0,03	0,05	0,00	0,12	0,27	0,16	-0,05	0,30
	3 meses	-0,10	0,06	-0,32	-0,15	0,09	-0,03	-0,14	0,13	0,25	0,20	0,35	0,28
	2 meses	-0,51	0,00	-0,13	-0,32	-0,39	-0,08	0,04	0,11	0,24	0,18	0,14	0,03
	1 mês	-0,45	-0,58	-0,60	-0,50	-0,29	0,19	-0,19	0,07	0,14	0,07	-0,08	-0,36
	sem defasagem	-0,31	0,25	-0,08	-0,26	0,17	0,24	0,42	0,10	0,38	0,30	0,31	-0,34

Correlações positivas, estatisticamente significativas, hachuradas em verde;
Correlações negativas, estatisticamente significativas, hachuradas em cinza.

APÊNDICE 9. Coeficientes de correlação de Pearson, mensais, sem defasagem e com defasagem de 1 a 4 meses da anomalia da temperatura mínima do ar com a anomalia do NDVI nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.

Temperatura mínima x NDVI		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Iraí	4 meses	-0,15	-0,16	0,15	-0,13	0,24	-0,15	0,13	0,02	-0,25	0,28	-0,02	-0,22
	3 meses	-0,01	0,11	-0,19	0,07	0,15	0,06	0,13	-0,07	-0,06	-0,15	-0,27	-0,37
	2 meses	0,06	-0,24	0,13	-0,14	0,33	0,18	-0,33	0,05	-0,13	-0,06	-0,26	0,03
	1 mês	-0,31	0,26	0,28	0,09	0,01	-0,26	0,05	0,46	0,20	-0,06	0,23	0,06
	sem defasagem	-0,22	-0,23	-0,46	-0,33	-0,35	-0,32	0,02	-0,19	-0,02	0,06	-0,33	-0,50
Bom Jesus	4 meses	0,00	0,10	0,36	0,44	0,45	0,17	0,16	0,19	-0,25	0,24	-0,13	-0,23
	3 meses	0,16	0,26	0,19	0,33	0,13	0,25	0,08	0,12	0,08	0,06	-0,28	-0,17
	2 meses	0,12	0,33	0,00	0,33	0,39	0,34	-0,13	-0,10	0,03	0,25	-0,07	0,28
	1 mês	-0,18	0,27	0,00	-0,07	0,12	-0,10	0,19	0,25	0,10	-0,07	0,45	-0,09
	sem defasagem	-0,32	-0,14	-0,52	-0,39	-0,31	-0,23	-0,31	0,11	0,08	-0,11	-0,08	-0,25
Caxias do Sul	4 meses	-0,06	-0,08	0,33	0,25	0,04	-0,18	0,22	0,00	-0,33	0,13	-0,12	-0,48
	3 meses	-0,08	-0,18	0,07	0,15	-0,12	0,21	0,15	-0,25	0,03	0,06	-0,30	-0,23
	2 meses	-0,03	0,10	0,11	0,08	0,14	0,37	-0,03	-0,34	-0,04	0,01	-0,11	0,16
	1 mês	-0,21	0,09	0,19	0,11	-0,11	-0,31	0,42	0,35	0,16	-0,06	0,38	-0,05
	sem defasagem	-0,14	0,00	-0,56	-0,29	-0,29	-0,13	-0,18	0,11	0,16	-0,06	-0,20	-0,44
Santa Maria	4 meses	-0,13	-0,10	0,20	0,42	0,33	-0,06	0,22	0,10	-0,42	0,04	-0,10	-0,38
	3 meses	-0,09	-0,12	0,18	-0,01	0,04	0,10	0,26	-0,25	-0,25	0,06	-0,29	-0,30
	2 meses	-0,22	-0,18	-0,02	0,10	-0,01	0,41	-0,12	-0,21	0,08	0,14	-0,27	0,30
	1 mês	-0,16	-0,09	0,26	0,06	0,14	-0,26	0,40	0,33	0,35	0,14	0,20	-0,13
	sem defasagem	-0,21	-0,09	-0,64	-0,14	-0,41	-0,25	-0,13	0,17	0,24	0,04	-0,20	-0,48
Encruzilhada do Sul	4 meses	0,09	-0,26	0,39	0,27	0,23	-0,08	0,22	-0,07	-0,19	0,02	-0,08	-0,40
	3 meses	-0,20	-0,07	0,13	0,00	0,09	0,15	0,13	-0,10	-0,14	-0,03	-0,24	-0,25
	2 meses	-0,14	0,02	0,12	-0,02	-0,05	0,28	0,04	-0,14	0,14	0,06	-0,15	0,18
	1 mês	-0,13	0,26	0,06	0,16	0,13	-0,25	0,46	0,46	0,11	0,21	0,13	-0,21
	sem defasagem	-0,07	0,01	-0,52	-0,02	-0,38	-0,05	0,01	0,16	0,12	-0,05	-0,14	-0,50
Bagé	4 meses	-0,20	0,10	0,13	0,37	0,14	-0,08	-0,14	-0,11	-0,24	0,04	-0,13	0,05
	3 meses	0,23	0,07	0,35	-0,11	0,10	-0,18	0,04	-0,02	-0,01	0,01	-0,33	-0,23
	2 meses	-0,10	0,09	-0,02	0,21	0,04	0,28	0,22	0,10	0,33	-0,42	-0,22	0,19
	1 mês	0,15	0,13	0,29	-0,10	0,27	0,12	0,49	0,65	0,27	-0,22	0,14	-0,16
	sem defasagem	-0,06	0,16	-0,21	0,03	-0,17	-0,07	0,30	0,26	0,15	-0,03	-0,44	-0,08

Correlações positivas, estatisticamente significativas, hachuradas em verde;
Correlações negativas, estatisticamente significativas, hachuradas em cinza.

APÊNDICE 10. Coeficientes de correlação de Pearson, mensais, sem defasagem e com defasagem de 1 a 4 meses da anomalia da temperatura média do ar com a anomalia do NDVI nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.

Temperatura média x NDVI		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Iraí	4 meses	0,02	-0,05	0,08	-0,28	0,28	-0,07	0,18	0,04	-0,15	0,18	-0,10	-0,30
	3 meses	-0,06	-0,10	-0,22	-0,06	0,36	0,08	0,17	0,16	-0,10	-0,20	-0,18	-0,31
	2 meses	-0,01	-0,19	0,25	-0,05	0,22	0,12	-0,05	0,04	-0,09	-0,04	-0,17	-0,03
	1 mês	-0,21	0,26	0,08	0,24	-0,09	-0,18	0,27	0,33	0,28	-0,10	0,24	-0,23
	sem defasagem	0,15	0,09	-0,36	-0,25	-0,20	-0,33	0,18	-0,29	0,02	0,13	-0,15	-0,50
Bom Jesus	4 meses	-0,03	0,04	0,27	0,26	0,33	0,12	0,17	0,09	-0,16	0,18	-0,10	-0,16
	3 meses	0,25	0,13	-0,02	0,17	0,10	0,18	-0,08	-0,01	0,09	0,05	-0,20	-0,06
	2 meses	0,04	0,25	-0,13	0,30	0,28	0,10	0,02	-0,20	-0,01	-0,01	-0,08	0,22
	1 mês	-0,27	0,14	-0,18	-0,11	-0,11	-0,13	0,28	0,07	0,04	-0,10	0,42	-0,18
	sem defasagem	-0,20	-0,10	-0,47	-0,34	-0,25	-0,22	-0,25	-0,06	0,10	0,06	-0,01	-0,14
Caxias do Sul	4 meses	-0,01	-0,15	0,21	0,21	0,10	-0,04	0,13	0,06	-0,18	0,13	-0,18	-0,42
	3 meses	0,00	-0,18	0,02	-0,01	0,06	0,17	0,11	-0,16	0,04	0,08	-0,17	-0,17
	2 meses	-0,22	0,13	-0,02	0,09	0,12	0,19	0,07	-0,30	0,03	-0,06	-0,12	0,09
	1 mês	-0,23	-0,05	0,11	0,13	-0,25	-0,27	0,43	0,24	0,17	0,01	0,23	-0,15
	sem defasagem	-0,07	0,18	-0,39	-0,27	-0,20	-0,10	-0,04	0,04	0,19	0,23	-0,08	-0,51
Santa Maria	4 meses	-0,02	-0,08	-0,02	0,44	0,26	0,01	0,25	0,02	-0,25	0,01	-0,12	-0,24
	3 meses	-0,04	-0,02	0,05	-0,10	0,11	0,06	0,19	-0,21	-0,21	0,05	-0,41	-0,27
	2 meses	-0,38	-0,08	-0,04	0,04	0,02	0,24	0,09	-0,18	0,06	-0,05	-0,25	0,21
	1 mês	-0,30	-0,22	0,00	-0,07	0,00	-0,22	0,45	0,28	0,27	0,05	0,19	-0,27
	sem defasagem	-0,30	0,08	-0,67	-0,27	-0,36	-0,21	-0,03	-0,04	0,18	0,24	-0,08	-0,54
Encruzilhada do Sul	4 meses	0,12	-0,22	0,31	0,27	0,27	0,03	0,17	-0,02	-0,09	0,01	-0,11	-0,30
	3 meses	-0,10	0,06	0,06	-0,14	0,20	0,10	-0,01	-0,05	-0,09	0,05	-0,27	-0,16
	2 meses	-0,23	0,05	0,05	0,02	-0,03	0,00	0,13	-0,06	0,17	-0,09	-0,10	0,13
	1 mês	-0,24	0,17	-0,12	0,07	-0,12	-0,22	0,48	0,45	0,11	0,18	0,08	-0,20
	sem defasagem	-0,04	0,30	-0,50	-0,12	-0,35	-0,02	0,14	0,08	0,17	0,19	-0,02	-0,59
Bagé	4 meses	-0,09	0,10	-0,03	0,25	0,25	0,12	-0,20	-0,06	-0,20	0,01	-0,15	0,15
	3 meses	0,14	0,06	0,16	-0,16	0,29	-0,17	-0,15	-0,03	0,00	-0,01	-0,23	-0,13
	2 meses	-0,42	0,01	-0,16	-0,01	-0,05	0,16	0,13	0,14	0,31	-0,38	-0,18	0,21
	1 mês	-0,20	-0,27	-0,18	-0,30	0,01	0,18	0,50	0,61	0,23	-0,25	-0,05	-0,39
	sem defasagem	-0,47	0,10	-0,44	-0,27	-0,11	-0,02	0,28	0,19	0,15	0,12	-0,36	-0,31

Correlações positivas, estatisticamente significativas, hachuradas em verde;
Correlações negativas, estatisticamente significativas, hachuradas em cinza.

APÊNDICE 11. Coeficientes de correlação de Pearson, mensais, sem defasagem e com defasagem de 1 a 4 meses da anomalia da temperatura máxima do ar com a anomalia do NDVI nos sub-grupos do Rio Grande do Sul, período 1982-2008.

Temperatura máxima x NDVI		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Iraí	4 meses	0,14	0,11	0,00	-0,33	0,13	0,05	0,18	0,06	0,00	0,05	-0,17	-0,29
	3 meses	-0,09	-0,22	-0,20	-0,16	0,38	0,08	0,16	0,33	-0,13	-0,24	-0,02	-0,21
	2 meses	-0,07	-0,12	0,20	0,07	0,08	0,02	0,25	0,02	-0,04	0,00	-0,06	-0,10
	1 mês	-0,10	0,08	-0,18	0,32	-0,18	-0,04	0,44	0,17	0,27	-0,11	0,16	-0,37
	sem defasagem	0,41	0,38	-0,20	-0,09	0,03	-0,27	0,31	-0,30	0,05	0,16	0,03	-0,39
Bom Jesus	4 meses	-0,05	-0,03	0,06	0,05	0,06	0,05	0,16	-0,15	-0,06	0,10	-0,05	-0,05
	3 meses	0,28	-0,06	-0,20	-0,10	0,05	0,09	0,13	-0,13	0,09	0,04	-0,08	0,04
	2 meses	-0,07	0,13	-0,27	0,21	0,13	-0,02	0,16	-0,30	-0,05	-0,23	-0,08	0,09
	1 mês	-0,29	-0,08	-0,35	-0,14	-0,18	-0,14	0,34	-0,13	-0,02	-0,11	0,25	-0,21
	sem defasagem	0,03	-0,04	-0,36	-0,20	-0,16	-0,18	-0,16	-0,20	0,10	0,23	0,07	-0,01
Caxias do Sul	4 meses	0,04	-0,20	0,07	0,14	0,13	0,11	0,03	0,10	-0,03	0,12	-0,23	-0,32
	3 meses	0,08	-0,14	-0,02	-0,18	0,21	0,10	0,06	-0,07	0,05	0,10	-0,04	-0,11
	2 meses	-0,33	0,15	-0,16	0,07	0,09	-0,01	0,17	-0,24	0,10	-0,10	-0,12	0,01
	1 mês	-0,22	-0,20	-0,01	0,12	-0,33	-0,22	0,42	0,10	0,15	0,06	0,03	-0,20
	sem defasagem	0,02	0,31	-0,18	-0,21	-0,09	-0,06	0,12	-0,02	0,20	0,46	0,04	-0,51
Santa Maria	4 meses	0,08	-0,01	-0,19	0,37	0,10	0,08	0,22	-0,08	-0,03	-0,03	-0,13	-0,04
	3 meses	0,05	0,06	-0,06	-0,14	0,13	0,01	0,03	-0,14	-0,15	0,04	-0,40	-0,21
	2 meses	-0,41	0,01	-0,04	-0,05	0,03	-0,06	0,29	-0,14	0,02	-0,22	-0,20	0,02
	1 mês	-0,34	-0,24	-0,27	-0,17	-0,15	-0,13	0,47	0,22	0,11	-0,04	0,12	-0,31
	sem defasagem	-0,25	0,23	-0,56	-0,31	-0,25	-0,16	0,07	-0,22	0,10	0,41	0,04	-0,47
Encruzilhada do Sul	4 meses	0,13	-0,12	0,20	0,24	0,21	0,11	0,11	0,01	0,02	0,00	-0,14	-0,16
	3 meses	0,06	0,15	0,00	-0,23	0,23	0,05	-0,12	-0,01	-0,04	0,13	-0,26	-0,06
	2 meses	-0,26	0,07	-0,03	0,04	-0,01	-0,21	0,21	0,02	0,19	-0,21	-0,04	0,04
	1 mês	-0,29	0,02	-0,23	-0,01	-0,27	-0,18	0,49	0,41	0,10	0,13	0,01	-0,17
	sem defasagem	0,01	0,44	-0,42	-0,16	-0,30	0,01	0,27	0,00	0,19	0,43	0,07	-0,57
Bagé	4 meses	0,03	0,06	-0,15	0,14	0,27	0,24	-0,21	0,00	-0,14	-0,03	-0,17	0,22
	3 meses	-0,01	0,04	0,02	-0,16	0,35	-0,12	-0,27	-0,04	0,03	-0,03	-0,12	-0,02
	2 meses	-0,60	-0,04	-0,22	-0,18	-0,11	0,00	0,02	0,17	0,27	-0,31	-0,12	0,16
	1 mês	-0,42	-0,47	-0,50	-0,40	-0,22	0,21	0,44	0,54	0,17	-0,25	-0,24	-0,50
	sem defasagem	-0,63	0,02	-0,54	-0,45	-0,05	0,05	0,25	0,11	0,13	0,25	-0,23	-0,42

Correlações positivas, estatisticamente significativas, hachuradas em verde;
Correlações negativas, estatisticamente significativas, hachuradas em cinza.