

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

Fernando Comerlato Scottá

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS  
ELEMENTOS DO CLIMA NA VEGETAÇÃO  
CAMPESTRE DA DEPRESSÃO CENTRAL,  
BIOMA PAMPA, UTILIZANDO DADOS DE  
CAMPO E DE SENSORIAMENTO REMOTO  
ORBITAL**

Porto Alegre, março de 2013

Fernando Comerlato Scottá

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS ELEMENTOS DO CLIMA NA VEGETAÇÃO  
CAMPESTRE DA DEPRESSÃO CENTRAL, BIOMA PAMPA, UTILIZANDO DADOS  
DE CAMPO E DE SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito para obtenção do grau de Mestre em Sensoriamento Remoto.

Linha de pesquisa: Sensoriamento Remoto Aplicado

Orientadora: Profa. Dra. Eliana Lima da Fonseca

Porto Alegre, março de 2013

Fernando Comerlato Scottá

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS ELEMENTOS DO CLIMA NA VEGETAÇÃO  
CAMPESTRE DA DEPRESSÃO CENTRAL, BIOMA PAMPA, UTILIZANDO  
DADOS DE CAMPO E DE SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito para obtenção do grau de Mestre em Sensoriamento Remoto.

Aprovada em 25 de março de 2013.

---

Profª. Dra. Eliana Lima da Fonseca – Orientadora

---

Prof. Dr. Nelson Jesuz Ferreira – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

---

Prof. Dr. Jefferson Cardia Simões – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Profª. Dra. Denise Cybis Fontana - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## **UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**

**Reitor:** Carlos Alexandre Netto

**Vice-Reitor:** Rui Vicente Oppermann

### **INSTITUTO DE GEOCÊNCIAS**

**Diretor:** André Sampaio Mexias

**Vice-Diretor:** Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Scottá, Fernando Comerlato

Análise da influência dos elementos do clima na vegetação  
Campestre da Depressão Central, Bioma Pampa, utilizando dados  
de campo e de sensoriamento remoto orbital. / Fernando  
Comerlato Scottá. - Porto Alegre : IGEO/UFRGS, 2013.  
[88 f.] il.

Dissertação (Mestrado). - Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento  
Remoto e Meteorologia. Programa de Pós-Graduação em  
Sensoriamento Remoto. Porto Alegre, RS - BR, 2013.

Orientador: Eliana Lima da Fonseca

1. Sensoriamento Remoto. 2. Mudanças do Clima. 3. Sensor  
Vegetation . 4. Biomassa. 5. Escala I. Título.

---

Catálogo na Publicação  
Biblioteca Geociências - UFRGS  
Renata Cristina Grun CRB 10/1113

---

**Universidade Federal do Rio Grande do Sul** - Campus do Vale Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil CEP:  
91501-970 / Caixa Postal: 15001

**Fone:** +55 51 3308-6329

**Fax:** +55 51 3308-6337

**E-mail:** [bibgeo@ufrgs.br](mailto:bibgeo@ufrgs.br)

*Dedico aos meus pais, Alcides Scottá e  
Elisabete Comerlato Scottá.*

## AGRADECIMENTOS

A pessoa mais responsável pela motivação no ingresso no Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto foi minha orientadora Dra. Eliana Lima da Fonseca. Ela também foi responsável pela criação do projeto, planejamento das disciplinas no curso, orientação do trabalho com muita qualidade e muita disponibilidade. Com certeza você foi a pessoa mais importante para a realização desse trabalho. Muito obrigado!

Quero agradecer aos meus pais, Alcides e Elisabete, por todos os esforços realizados para minha educação fosse a melhor possível desde quando era criança. Com certeza esse trabalho foi fruto de esforços passados na qual meus pais são responsáveis. Agradeço a minha namorada, Amanda, pela paciência e apoio por todo esse tempo.

Ao Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, aos colegas, professores da pós-graduação, em particular ao Prof. Dr. Vitor Haertel e Dra. Denise Cybis Fontana. Quero agradecer todos meus colegas, pela postura que muitos tiveram como pós-graduandos, pela união nos estudos para as disciplinas, pelas amizades que fiz.

Quero agradecer ao Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, ao Dr. Ricardo Wanke de Melo, Dr. Paulo Cesar de Faccio Carvalho e ao Dr. Carlos Nabinger pela ajuda na realização deste trabalho. Agradeço também ao colega Ian Cezimbra, Dr. Júlio Kuhn da Trindade e Dr. Cassiano Eduardo Pinto. Um agradecimento especial vai para todos os alunos que trabalharam no experimento da EEA-UFRGS por todos esses anos.

Agradeço também ao Dr. Francisco Eliseu Aquino, Dr. Ulisses Franz Bremer e M. e. Denilson Ribeiro Viana pelo auxílio do trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de mestrado concedida.

A todos que torceram pela realização desta dissertação. A todos que possuem interesse por este trabalho.

## RESUMO

Esse trabalho analisou a influência dos elementos do clima na vegetação campestre da Depressão Central do Rio Grande do Sul, bioma Pampa, utilizando dados de campo e de sensoriamento remoto orbital. Para a análise do clima, foi utilizada uma estação meteorológica localizada no município de Eldorado do Sul. Foram utilizados os dados mensais de temperatura do ar (mínima, média e máxima), precipitação pluvial acumulada e evapotranspiração acumulada para o período de 1970-2011. Para analisar a vegetação, dados em escala local e regional foram utilizados. Para a análise em escala local, dados de Produção de Matéria Seca para sete ofertas de forragem foram utilizados para o período entre 25/10/2000 e 27/07/2011. Para a análise em escala regional, dados de sensoriamento remoto em seis áreas de vegetação campestre natural foram identificadas no município de Rio Pardo. Foram utilizadas as bandas do vermelho, infravermelho próximo, infravermelho médio e também dados de NDVI do produto VGT-S 10, sensor Vegetation, para o período entre 04/1998 e 12/2011. Para analisar a tendência das séries temporais, foi realizado um ajuste de regressão linear pelo método dos mínimos quadrados. A significância da tendência linear foi testada através da ANOVA e do teste t, sendo utilizados apenas os dados meteorológicos e os dados em escala regional. Tendência de aumento de 31,95 mm para a precipitação pluvial acumulada e de 37,2 mm de diminuição da evapotranspiração acumulada foram observadas para o período entre 1970-2011. A temperatura mínima do ar mostrou tendência de diminuição de 1,46 °C para todo o conjunto de dados e de 2,08 °C para a estação fria, enquanto a temperatura média do ar e a temperatura máxima do ar apresentaram estabilidade. As mudanças de reflectância nas áreas de vegetação campestre na Depressão Central apontam para tendência de diminuição de 0,0049 e 0,012 nos valores de reflectância das bandas do vermelho e infravermelho médio, indicando menor ocorrência de estresse foliar e maior quantidade de água no dossel. Não foi observada existência de tendência das séries de reflectância na banda do infravermelho próximo e nos valores de NDVI, sendo essas séries temporais as que respondem de forma direta ao acúmulo de biomassa. Comparando os dados de escala local e regional, os resultados mostraram que as variações de crescimento da vegetação campestre foram semelhantes independente da escala de análise, permitindo que os dados em escala local possam ser expandidos para uma escala regional no bioma Pampa.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mudanças do clima; sensor Vegetation; biomassa; escala.

## ABSTRACT

This study examined the influence of climate in grasslands in the Central Depression of Rio Grande do Sul, Pampa biome, using field and remote sensing data. For climate analysis, a meteorological station located in Eldorado do Sul was used. Monthly data of air temperature (minimum, average and maximum), accumulated rainfall and evapotranspiration were used for the period 1970-2011. To analyze the vegetation data, local and regional scales were used. For a local scale analysis, Dry Matter Production data from seven herbage allowance were used for the period from 25/10/2000 to 27/07/2011. For analysis on a regional scale, remote sensing data in six areas of natural grassland vegetation were identified in Rio Pardo. Bands of red, near infrared, mid-infrared and also NDVI data of the product VGT S-10, sensor Vegetation, were used for the period from 04/1998 to 12/2011. To analyze time series trends, linear regression was performed by the least squares method. The linear trends significance were tested by ANOVA and t test, being used only meteorological data and data on a regional scale.. A positive trend of 31,95 mm for cumulative rainfall and a decreasing of 37,2 mm trend for accumulated evapotranspiration were observed for the period 1970-2011. The minimum air temperature showed a decreasing trend of 1,46 °C for the full data set and 2,08 °C for the cold season, while the mean and maximum air temperature series remained stable. Reflectance changes in the grassland areas in the Central Depression show a decreasing trend of 0,0049 and 0,012 in reflectance values in red and mid-infrared bands, indicating a greater amount of water in the canopy and less leaf stress. There was no trend in the near infrared band and NDVI values, these are the series that respond directly to biomass accumulation. Comparing data from local and regional scale, the results showed that variations in growth of grassland vegetation were similar regardless of the scale of analysis, allowing that local scale data can be expanded to a regional scale in the Pampa biome.

**KEYWORDS:** Climate Change, Vegetation sensor; biomass; scale.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2. 1. Área de abrangência do bioma Pampa no Rio Grande do Sul. ....	19
Figura 2. 2. Diferentes estruturas do campo nativo em diferentes ofertas de forragem no bioma Pampa. ....	21
Figura 2. 3. Temperatura média anual do Rio Grande do Sul. ....	23
Figura 2. 4. Precipitação pluvial anual no Rio Grande do Sul para o período de 1976-2005. .	24
Figura 2. 5. Diagrama de uma célula vegetal. Os cloroplastos são destacados em verde. ....	26
Figura 2. 6. Mecanismos de absorção e dissipação de energia. ....	28
Figura 2. 7. Curva de produção média de pastagem nativa no período de 84 a 89. ....	30
Figura 2. 8. Curva espectral de uma folha verde. ....	32
Figura 2. 9. Média de NDVI (1981-2000) nos campos da Depressão Central do Rio Grande do Sul. ....	35
Figura 3. 1. Mapas das Unidades Geomorfológicas do Rio Grande do Sul. ....	41
Figura 3. 2. A- Localização das áreas de vegetação campestre analisadas no Rio Grande do Sul. B- Seis áreas de vegetação campestre selecionadas para composição da série temporal em amarelo. ....	42
Figura 3. 3. Localização da EEA-UFRGS no bioma Pampa à esquerda. A figura da direita apresenta as unidades experimentais da EEA-UFRGS em vermelho. ....	43
Figura 4. 1. Exemplo de planilha com dados para o mês de janeiro de 2003. ....	46
Figura 4. 2. Etapas da composição das séries temporais. ....	48
Figura 5. 1. Comportamento médio mensal para temperatura média mensal do ar, precipitação mensal acumulada e evapotranspiração acumulada para o período 1970-2011. ....	52
Figura 5. 2. Tendência da série temporal para as variáveis meteorológicas: A – Temperatura mínima do ar. B – Temperatura média do ar. C - Temperatura máxima do ar. D – Precipitação pluvial acumulada. E – Evapotranspiração acumulada. ....	55
Figura 5. 3. Tendência da série temporal para a estação quente para as variáveis meteorológicas: A – Temperatura mínima do ar. B – Temperatura média do ar. C - Temperatura máxima do ar. D – Precipitação pluvial acumulada. E – Evapotranspiração acumulada. ....	58
Figura 5. 4. Tendência da série temporal para a estação fria para as variáveis meteorológicas: A – Temperatura mínima do ar. B – Temperatura média do ar. C - Temperatura máxima do ar. D – Precipitação pluvial acumulada. E – Evapotranspiração acumulada. ....	60

Figura 5. 5. Tendência da série temporal para os dados espectrais: A – Banda do vermelho. B – Banda do infravermelho próximo. C - Banda do infravermelho médio. D – NDVI.....	63
Figura 5. 6. Tendência da série temporal da estação quente para os dados espectrais: A – Banda do vermelho. B – Banda do infravermelho próximo. C - Banda do infravermelho médio. D – NDVI. ....	65
Figura 5. 7. Tendência da série temporal da estação fria para os dados espectrais: A – Banda do vermelho. B – Banda do infravermelho próximo. C - Banda do infravermelho médio. D – NDVI. ....	66
Figura 5. 8. Comportamento mensal médio (pontos vermelhos) e dispersão (pontos pretos) da PMS por OF: A – OF 4%, B – OF 8%, C – OF 12%, D – OF 16%, E – OF 8-12%, F – OF 12-8%, G – OF 16-12%. ....	69
Figura 5. 9. Comportamento decenal médio e dispersão do NDVI.....	70
Figura 5. 10. Gráficos e correlações entre o NDVI e as OFs: A – OF 4%, B – OF 8%, C – OF 12%, D – OF 16%, E – OF 8-12%, F – OF 12-8%, G – OF16-12%.....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2. 1. Características dos satélites SPOT 4 e SPOT 5.....	38
Tabela 2. 2. Informações sobre o sensor Vegetation.....	39
Tabela 2. 3. Informações sobre o sensor TM. ....	40
Tabela 4. 1. Localização das seis áreas escolhidas para análise.....	45
Tabela 5. 1. Estatísticas descritivas das médias mensais de temperaturas mínima, média e máxima do ar, precipitação pluvial mensal acumulada e evapotranspiração mensal acumulada. ....	53
Tabela 5. 2. Estatísticas descritivas das médias mensais de temperaturas mínima, média e máxima do ar, precipitação pluvial mensal acumulada e evapotranspiração mensal acumulada para a estação quente. ....	53
Tabela 5. 3. Estatísticas descritivas das médias mensais de temperaturas mínima, média e máxima do ar, precipitação pluvial mensal acumulada e evapotranspiração mensal acumulada para a estação fria. ....	54
Tabela 5. 4. Equação e nível de significância da ANOVA e do teste t realizado para os dados meteorológicos. ....	55
Tabela 5. 5. Equação e nível de significância da ANOVA e do teste t realizado para os dados meteorológicos na estação quente. ....	57
Tabela 5. 6. Equação e nível de significância da ANOVA e do teste t realizado para os dados meteorológicos na estação fria. ....	59
Tabela 5. 7. Estatísticas descritivas dos dados decendiais do sensor Vegetation produto VGT-S10.....	61
Tabela 5. 8. Equação e nível de significância da ANOVA e do teste t realizado para os dados do produto VGT-S10.....	62
Tabela 5. 9. Equação e nível de significância da ANOVA e do teste t realizado para os dados do produto VGT-S10 na estação quente.....	64
Tabela 5. 10. Equação e nível de significância da ANOVA e do teste t realizado para os dados do produto VGT-S10 na estação fria.....	66
Tabela 5. 11 Correlações com defasagem de um decêndio dos dados meteorológicos e do sensor Vegetation. O asterisco mostra as correlações que foram significativas a 95%. ....	67

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>15</b>
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1.1 Objetivos Específicos</b> .....	<b>16</b>
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>18</b>
<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1 Bioma Pampa</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1.1 Oferta de Forragem</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2 Tempo, Clima e Mudança do Clima</b> .....	<b>21</b>
<b>2.3 Clima do Rio Grande do Sul</b> .....	<b>22</b>
<b>2.4 Aquisição de dados meteorológicos utilizando estações de superfície</b> .....	<b>25</b>
<b>2.5 Crescimento da vegetação</b> .....	<b>25</b>
<b>2.5.1 Produção primária líquida</b> .....	<b>26</b>
<b>2.5.2 Influência do clima no crescimento da vegetação</b> .....	<b>27</b>
<b>2.5.3 Outros fatores físicos que influenciam o crescimento da vegetação</b> .....	<b>29</b>
<b>2.5.4 Efeito do clima na vegetação do bioma Pampa</b> .....	<b>29</b>
<b>2.5.5 El Niño e La Niña e sua associação com o crescimento da vegetação do Rio Grande do Sul</b> .....	<b>30</b>
<b>2.6 Sensoriamento remoto para estudos de vegetação</b> .....	<b>31</b>
<b>2.6.1 Comportamento espectral da vegetação</b> .....	<b>31</b>
<b>2.6.2 Fatores ambientais que alteram o comportamento espectral da vegetação</b> .....	<b>33</b>
<b>2.6.3 Índice de vegetação por diferença normalizada</b> .....	<b>33</b>
<b>2.7 Estudos de vegetação com sensoriamento remoto no Bioma Pampa</b> .....	<b>34</b>
<b>2.8 Análises em Séries Temporais</b> .....	<b>36</b>

2.8.1 Séries temporais com dados de sensoriamento remoto orbital para o monitoramento da vegetação.....	37
2.9 Sensor Vegetation .....	38
2.10 Sensor TM .....	40
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>41</b>
<b>ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>41</b>
3.1 Áreas de vegetação campestre natural no município de Rio Pardo .....	42
3.2 Unidades Experimentais na EEA-UFRGS .....	43
3.2.1 Localização e Descrição da área .....	43
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>45</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>45</b>
4.1 Identificação de áreas de vegetação campestre para análise em escala regional....	45
4.2 Montagem da série temporal com dados meteorológicos.....	45
4.3 Montagem da série temporal com dados sensoriamento remoto orbital.....	47
4.4 Análises estatísticas.....	48
4.4.1 Análises de Correlação.....	49
4.5 Dados de Produção de Matéria Seca por Oferta de Forragem .....	50
4.6 Comportamento médio dos dados mensais de PMS por OF e decendiais de NDVI .....	50
4.7 Comparação dos dados mensais de PMS por OF e do NDVI.....	50
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>52</b>
<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>52</b>
5.1 Análise do Clima .....	52
5.1.1 Análise de tendências .....	54
5.1.2 Estação Quente .....	56
5.1.2.1 Análise da Tendência .....	56
5.1.3 Estação Fria .....	58
5.1.3.1 Análise da Tendência .....	58

<b>5.2 Análise de áreas de vegetação campestre com dados do sensor Vegetation.....</b>	<b>60</b>
<b>5.2.1 Estatísticas Descritivas.....</b>	<b>60</b>
<b>5.2.1 Análise de Tendência .....</b>	<b>62</b>
<b>5.2.2 Análise de Tendência da Estação Quente .....</b>	<b>64</b>
<b>5.2.3 Análise de Tendência da Estação Fria.....</b>	<b>65</b>
<b>5.3 Comparação das tendências do clima e do sensor Vegetation.....</b>	<b>67</b>
<b>5.4 Análises de Correlação .....</b>	<b>67</b>
<b>5.5 Comportamento mensal dos dados em escala local .....</b>	<b>68</b>
<b>5.6 Comportamento dos dados de sensoriamento remoto orbital em escala regional..</b>	<b>70</b>
<b>5.7 Comparação dos dados de escala regional e escala local.....</b>	<b>71</b>
<b>CAPÍTULO 6.....</b>	<b>74</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>74</b>
<b>Referências Bibliográficas: .....</b>	<b>75</b>
<b>Apêndice A .....</b>	<b>85</b>
<b>Apêndice B .....</b>	<b>86</b>

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

O crescimento vegetal é função direta dos elementos do clima, pois a vegetação precisa principalmente de radiação solar e água para crescer. Cada espécie vegetal também está adaptada para crescer em determinados intervalos de temperatura (MONTEITH; UNSWORTH, 1990). Dessa forma, o clima de determinada região terá papel crucial no desenvolvimento vegetal, pois determina como os elementos físicos vão interagir com as espécies vegetais.

Com o aumento da concentração de dióxido de carbono, aumento da temperatura e outras mudanças nos elementos do clima em um contexto de mudanças ambientais globais (IPCC, 2007), a alteração da dinâmica do crescimento da vegetação e acúmulo de biomassa do planeta é esperada. Apesar disso, o impacto da mudança climática no sistema terrestre ainda não é totalmente compreendido (IPCC, 2007).

O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é o principal gás estufa causador do aumento médio de temperatura registrado de 0,76°C entre o período de 1850-1899 a 2001-2005 no planeta (IPCC, 2007). O CO<sub>2</sub> é também fonte primária para crescimento da vegetação através da fotossíntese. Supõe-se que uma das consequências que o aumento da concentração de dióxido de carbono poderá provocar maior crescimento da vegetação no planeta e maior acúmulo de biomassa (SALZER et al., 2009; MYNENI et al., 2001; BETTS et al., 1997; FIELD et al., 1995). Apesar disso, uma diminuição da produção agrícola no planeta durante 1980 a 2008 é registrada (LOBELL et al., 2011), o que mostra que o impacto do CO<sub>2</sub> na crescimento da vegetação do planeta ainda não foi completamente entendido.

O bioma Pampa, localizado no sul do Rio Grande do Sul, possui como característica principal a vegetação campestre, também possuindo áreas de vegetação arbustiva e formações florestais (OVERBECK et al., 2007). Sua biodiversidade é considerada alta, estando na ordem de 2200 espécies vegetais (BOLDRINI, 2009). Uma das principais atividades econômicas nesse bioma é a agropecuária, ocupando as regiões da Fronteira Oeste, Sul e Campanha a maior concentração de rebanho do Rio Grande do Sul, de 24,2%, 12,7% e 10,7%, respectivamente (ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL, 2012). A pastagem nativa é fundamental para a agropecuária, pois é fonte de alimento para os animais, fazendo com que o sistema produtivo seja dependente da produção vegetal. Apesar disso,

existem poucos estudos que analisam a variação da produção vegetal de espécies nativas do bioma Pampa com a variação do clima do Rio Grande do Sul.

Medições de campo da produção vegetal cobrem pequenas frações da superfície terrestre, tendo abrangência em escala local. Como resultado, a abordagem das questões ambientais em escalas regionais e globais pode ser difícil ou impossível sem alguma forma de estender medidas de campo para o domínio espacial apropriado (OLLINGER et al, 2007). Bettolli et al (2010) aponta para a falta de registros sobre o crescimento das pastagens suficientemente extensos no espaço e tempo no Uruguai, dificultando a realização de análises da variabilidade climática e o impacto da produção vegetal.

Plataformas de sensoriamento remoto apresentam a possibilidade de amostragem de extensas e contínuas porções da superfície (OLLINGER et al, 2007), tendo abrangência em escala regional e global. Os dados de sensoriamento remoto por satélites fornecem informações temporais e espaciais sobre a biosfera e os impactos das mudanças ambientais nos ecossistemas terrestres (ZHAO; RUNNING, 2008). Apesar disso, poucos estudos investigaram a semelhança de dados de biomassa em escala local e dados em escala regional com o uso do sensoriamento remoto orbital no bioma Pampa.

## **2.1 Objetivo Geral**

Analisar a influência dos elementos do clima na vegetação campestre da Depressão Central do Rio Grande do Sul, bioma Pampa, utilizando dados de campo e de sensoriamento remoto orbital.

### **2.1.1 Objetivos Específicos**

- Analisar as médias e a tendência temporal dos dados meteorológicos da Estação Experimental Agrônoma da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA-UFRGS) para os anos de 1970 a 2011, utilizando os dados mensais de temperatura do ar (mínima, média e máxima), precipitação pluvial acumulada e evapotranspiração acumulada.

- Analisar a tendência temporal em áreas de vegetação campestre natural com dados do satélite SPOT, sensor Vegetation, para os anos de 1998 a 2011, utilizando as bandas do vermelho, infravermelho próximo, infravermelho médio e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).



- Comparar as tendências dos dados meteorológicos e dos dados de sensoriamento remoto orbital.
- Analisar de forma conjunta os dados obtidos em escala local e em escala regional.

## CAPÍTULO 2

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 Bioma Pampa

O bioma Pampa possui uma área de aproximadamente 176.496 km<sup>2</sup>, ocupando 2,07% do território brasileiro (IBGE, 2012) e 63% do Estado do Rio Grande do Sul (OVERBECK et al., 2007) (Figura 2.1). Também possui continuidade em todo o Uruguai e parte da Argentina (BOLDRINI, 2009). Esse bioma é dominado por vegetação campestre, porém também apresenta vegetação arbustiva e áreas florestais (OVERBECK et al., 2007). Os campos possuem como fisionomia característica a presença de gramíneas, apresentando diversidade na ordem de 2200 espécies (BOLDRINI, 2009), sendo 450 espécies forrageiras (NABINGER et al., 2009).

Uma característica peculiar dos campos no Rio Grande do Sul é a coexistência de espécies dos grupos fotossintéticos C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> (OVERBECK et al., 2007). As espécies do grupo fotossintético C<sub>4</sub> possuem como característica o crescimento no período das estações quentes do ano (período estival), enquanto o grupo C<sub>3</sub> apresenta crescimento no período de estações frias (período hibernar). Apesar da coexistência desses dois grupos de espécies, o predomínio de espécies do grupo C<sub>4</sub> é maior (BOLDRINI, 2009; MARASCHIN, 2009), explicando o característico aumento de biomassa nas estações quentes do ano (BETTOLLI et al., 2010; MARASCHIN, 2009; NABINGER et al., 2009; GOMES, 1996).



Figura 2. 1. Área de abrangência do bioma Pampa no Rio Grande do Sul. Fonte: Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (2012).

Os campos do bioma Pampa apresentam principalmente três famílias de espécies vegetais: gramíneas, leguminosas e compostas. As gramíneas possuem folhas estreitas, enquanto as leguminosas apresentam folhas mais largas. As compostas apresentam inflorescência em forma de capítulo e a maioria é indesejável para as dietas dos animais (MACHADO, 1999).

Os campos do bioma Pampa apresentam também subdivisões relacionadas com a área de localização. O noroeste do Estado é caracterizado por campos de barba de bode, com o estrato superior caracterizado por *Aristida jubata* e o inferior por gramíneas rizomatosas, como o capim-forquilha (*Paspalum notatum*), a grama-missioneira (*Axonopus jesuiticus*) e *P. nicorae* em áreas mais secas. Em locais úmidos, é comum a presença da grama-tapete (*A. affinis*) e *P. pumilum*. Os campos de solos rasos localizam-se na fronteira Oeste do Estado, onde vegetam gramíneas cespitosas de porte baixo como *Aristida murina*, *A. uruguayensis*, *Bouteloua megapotamica*, *Eustachys brevipila*, *Microchloa indica*, *Tridens hackelii* e *Tripogon spicatus*. Também encontram-se compostas como *Berroa gnaphalioides* e

*Sommerfeltia spinulosa* e leguminosas como *Adesmia incana*, *Indigofera asperifolia*, *Mimosa amphigena* e *Rhynchosia diversifolia*. No sudoeste do Estado são presentes os campos de solos profundos, na qual a quantidade de gramíneas é marcante. São presentes as gramíneas estivais como o capim-forquilha (*Paspalum notatum*), capim-caninha (*Andropogon lateralis*), cola-de-lagarto (*Coelorachis selloana*), e capim-melador (*Paspalum dilatatum*), e as hibernais como a flechilha (*Stipa setigera*) e o cabelo-de-porco (*Piptochaetium stipoides*).

Nos campos dos areais, situada no centro-oeste do Rio Grande do Sul, destacam-se *Axonopus argentinus*, *Elyonurus* sp. (o capim-limão) e *Paspalum nicorae*, além dessas, também se desenvolvem espécies endêmicas e relictual. Na região do planalto sul-rio-grandense é presente a vegetação savanóide, que apresenta um maior equilíbrio entre gramíneas e compostas sendo comuns espécies de gramíneas cespitosas eretas, como as barbas-de-bode (*Aristida jubata*, *A. filifolia*, *A. spegazzini*, *A. circinalis* e *A. venustula*), *Andropogon ternatus*, *A. selloanus* e *Stipa filifolia*. Nos campos do centro do estado ocorrem a presença de vegetação tropical e subtropical, com vegetação compostas muito presentes entremeadas às gramíneas. Espécies como capim-forquilha (*Paspalum notatum*) e grama-tapete (*Axonopus affinis*) são presentes. Nos campos litorâneos, espécies de porte baixo estão presentes, representadas por *Ischaemum minus*, *Axonopus affinis*, *A. obtusifolius*, *Paspalum dilatatum*, *P. pauciciliatum*, *P. modestum*, *P. pumilum* e *Panicum aquaticum*. Também destacam-se as leguminosas *Stylosanthes leiocarpa*, *Indigofera sabulicola*, *Desmodium adscendens*, *D. barbatum*, *D. incanum*, *Adesmia latifolia*, *Vigna longifolia* e *V. luteola* (BOLDRINI, 2009).

O bioma Pampa é produto de cerca de quatro séculos de intervenção do homem (NABINGER et al., 2009), com a agropecuária ocupando uma das principais atividades econômicas. Como a cobertura vegetal condicionada pelo ambiente físico elabora diariamente, através da fotossíntese, a matéria seca (MS) que serve de alimento e compõe a dieta animal em pastejo (MARASCHIN, 2009), o sistema produtivo é dependente da produção de forragem. Entende-se forragem como partes comestíveis das plantas, além de grãos separados, que podem ser fornecidos para animais de pasto ou que podem ser colhidos para alimentação (ALLEN et al, 2011).

### **2.1.1 Oferta de Forragem**

A disponibilidade de MS e relação com o peso vivo presente em uma unidade também é um fator importante para a preservação desse ecossistema e da maximização do ganho de

peso vivo. Assim, a relação entre o que se tem disponível de forragem aos animais num intervalo de tempo e a carga animal imposta à pastagem neste mesmo período (kg de matéria seca dividido por 100 kg de peso vivo) é denominada oferta de forragem (OF) (SANTOS, 2007). Por exemplo, para a OF de 4%, lê-se que existe 4 kg de matéria seca disponível diariamente para cada 100 kg de peso vivo.

O oposto do conceito de OF é denominado Pressão de Pastejo (PP) (ALLEN et al, 2011). Assim, alta OF significa baixa PP. Segundo Boldrini (2009), diferentes OFs provocam diferenciação fisionômica nas unidades de campo nativo, podendo ser observada na paisagem (Figura 2.2). Observa-se que a quantidade de forragem disponível diariamente para os animais difere conforme a lotação animal presente nessa área.

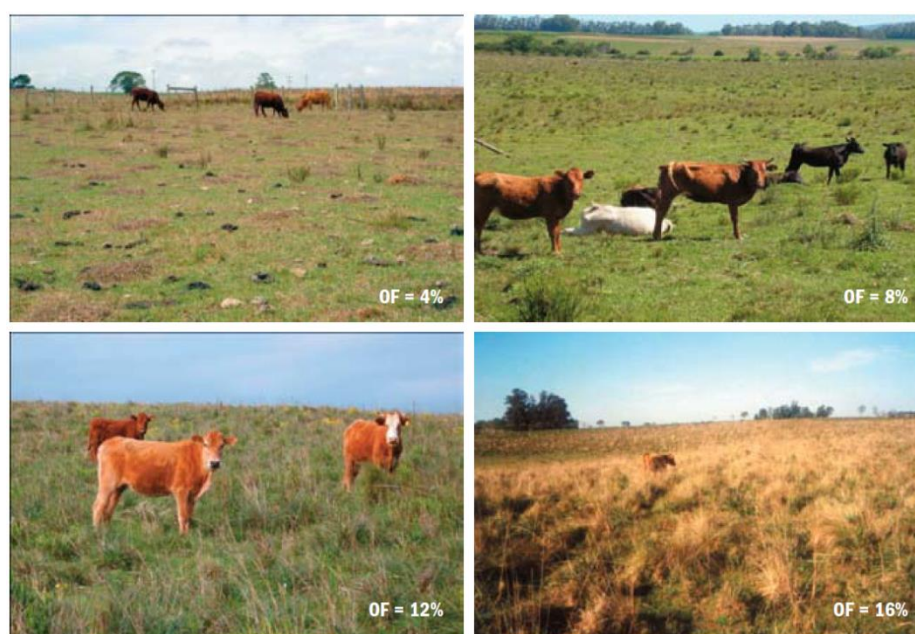


Figura 2. 2. Diferentes estruturas do campo nativo com diferentes ofertas de forragem no bioma Pampa. Fonte: Nabinger et al (2009).

## 2.2 Tempo, Clima e Mudança do Clima

Apesar de tempo e clima estarem relacionados, não são conceitos idênticos. Tempo é o estado da atmosfera em um local e instante, sendo caracterizado pelas condições de temperatura, precipitação, pressão, concentração de vapor, velocidade e direção do vento (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

Clima refere-se a um regime mais duradouro da atmosfera. Representa uma composição das condições de tempo dos dias e dos elementos atmosféricos, dentro de uma área especificada por um longo período de tempo (TREWARTHA; HORN, 1980). O clima

não pode não pode ser considerado uma média das condições do tempo, pois a variabilidade do tempo é importante no estudo do clima (TREWARTHA; HORN, 1980). O período de tempo mais comum para caracterizar o clima de uma área é de 30 anos.

Segundo EPA (2012) (em inglês, United States Environmental Protection Agency, EPA), o conceito de mudança do clima pode ser definido como uma mudança significativa nas medições do clima (como temperatura, precipitação pluvial ou vento) durante um longo período (décadas ou mais). As mudanças do clima podem resultar de:

- Os fatores naturais, tais como alterações na intensidade do sol ou mudanças lentas na órbita da Terra em torno do sol;
- Os processos naturais no sistema climático (por exemplo, mudanças na circulação oceânica);
- As atividades humanas que alteram a composição da atmosfera (por exemplo: através da queima de combustíveis fósseis) e da superfície terrestres (por exemplo: desmatamento, reflorestamento, urbanização, desertificação, entre outros)

### **2.3 Clima do Rio Grande do Sul**

O clima do Rio Grande do Sul é subtropical, possuindo climas Cfa (temperado úmido sem estação seca, com verão quente) e Cfb (temperado úmido sem estação seca, com verão ameno) na classificação de Köppen (BRASIL, 1972). Nesta classificação, a primeira letra representa característica da temperatura, sendo a letra “C” um clima em que o mês mais frio apresenta temperatura média maior que  $-3^{\circ}\text{C}$ , porém menor que  $18^{\circ}\text{C}$ . A segunda letra representa o regime de precipitação pluvial, na qual a letra “f” corresponde à ausência de estações secas. A terceira letra revela o regime de temperatura dentro de uma estação, na qual a letra “a” representa ocorrência de verões quentes e a letra “b” a ocorrência de verões amenos (AGUADO; BURT, 2007).

Como a temperatura diminui aproximadamente  $0,6^{\circ}\text{C}$  a cada 100 metros de altura (AYOADE, 1983), pode-se observar que apenas as áreas do Rio Grande do Sul com maior altitude, localizadas no Planalto Meridional e Serra do Sudeste, são as áreas classificadas com o clima Cfb (KUINCHTNER; BURIOL, 2001), pois as temperaturas são menores e os verões nessas áreas são amenos. As áreas de clima Cfa ocorrem nas altitudes menores, sendo essa classificação climática a predominante no RS (KUINCHTNER; BURIOL, 2001). O mapa de temperatura média anual do Rio Grande do Sul pode ser observado na Figura 2.3.

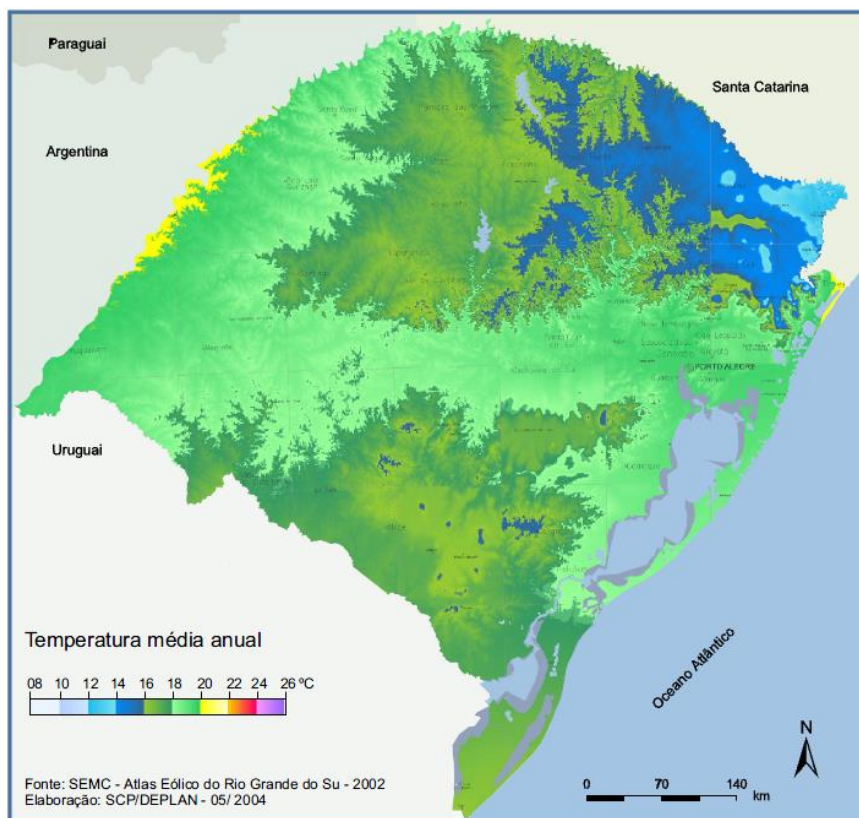


Figura 2. 3. Temperatura média anual do Rio Grande do Sul. Fonte: Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (2012).

A normal climatológica da temperatura média do ar para o Rio Grande do Sul é de 18,8°C para o período 1961-1990 (VIANA; MATZENAUER; AQUINO, 2006). Uma das características da temperatura do Estado é de possuir grande variabilidade intra-anual, com os meses de janeiro e julho registrando as maiores e menores temperaturas, respectivamente (CAVALCANTI et al., 2009; NIMER, 1979). As principais razões para a ocorrência da variabilidade intra-anual da temperatura do ar é que, durante o verão, a inclinação dos raios solares é muito pequena e os dias são longos (NIMER, 1979). Durante o inverno, a inclinação dos raios solares é maior e os dias são mais curtos, porém o estado também sofre influência da Massa Polar Atlântica (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007), provocando a redução de temperaturas principalmente nos meses de junho, julho e agosto (NIMER, 1979).

Para o Rio Grande do Sul, estudos apontam o aumento da temperatura mínima do ar (CORDEIRO, 2010; BERLATO; ALTHAUS, 2010; SANSIGOLO; KAYANO, 2010; COSTA; MARQUES, 2010; MARENGO; CAMARGO, 2008; SILVEIRA; GAN, 2006), aumento da temperatura máxima do ar (CORDEIRO, 2010; MARENGO; CAMARGO, 2008) e redução da amplitude térmica diária (MARENGO; CAMARGO, 2008). Aumento da temperatura mínima do ar também foi relatado na Argentina (RUSTICUCCI; BARRUCAND,

2004) e Uruguai (RUSTICUCCI; RENOM, 2008). Esses resultados são consistentes com estudos que indicaram para o aumento de temperatura na América do Sul (VINCENT et al., 2005).

A média registrada da precipitação pluvial anual acumulada no Estado do Rio Grande do Sul é de 1613 mm para o período de 1975-2004 (VIANA; AQUINO; MATZENAUER, 2006). O regime de precipitação pluvial possui distribuição regular entre as quatro estações do ano (VIANA; FERREIRA; CONFORTE, 2009), sendo uma característica que distingue o clima da região Sul das demais regiões do Brasil (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007). Outra característica importante sobre o regime pluviométrico no Rio Grande do Sul é a maior ocorrência de precipitação pluvial no norte do Estado (MATZENAUER et al., 2007; BERLATO, 1992) (Figura 2.4).

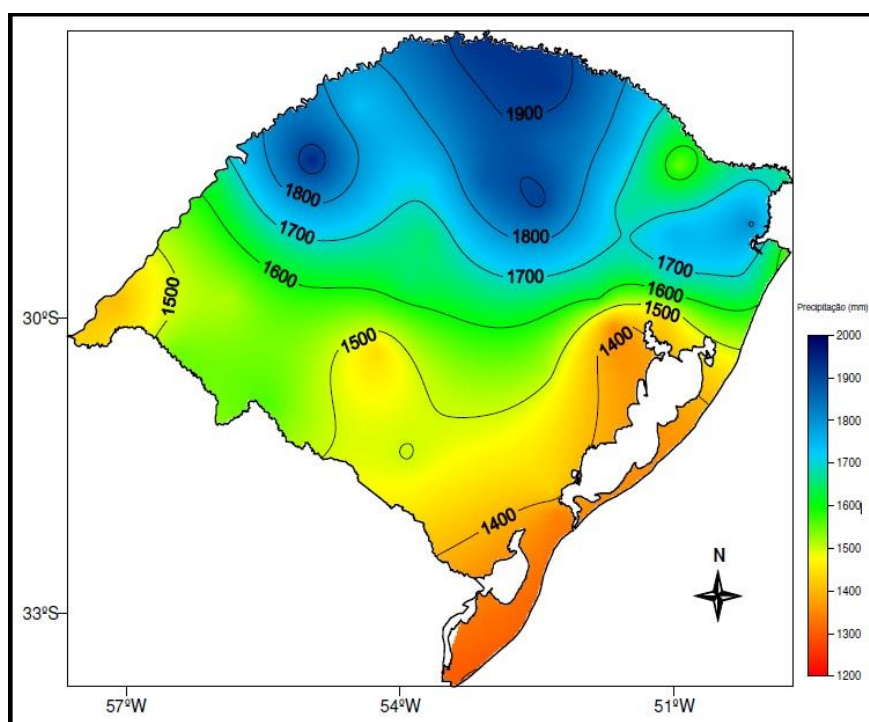


Figura 2. 4. Precipitação pluvial anual no Rio Grande do Sul para o período de 1976-2005. Fonte: Matzenauer et al. (2007).

Analisando a tendência da precipitação pluvial do Rio Grande do Sul, observa-se a tendência de aumento (CORDEIRO, 2010; BARROS; DOYLE; CAMILLONI, 2008; BERLATO et al., 2007; HAYLOCK et al., 2006) e aumento do número de dias com registro de precipitação pluvial, sendo o número de dias de precipitação pluvial maior no leste do Estado (FONTANA; ALMEIDA, 2002). Esse aumento de precipitação pluvial é semelhante ao documentado por Haylock et al. (2006) na América do Sul para o período 1960-2000.



## 2.4 Aquisição de dados meteorológicos utilizando estações de superfície

Uma observação meteorológica de superfície consiste de procedimentos sistemáticos e padronizados, visando à obtenção de informações qualitativas e quantitativas referentes aos parâmetros meteorológicos, capazes de caracterizar plenamente o estado instantâneo da atmosfera (VIANELLO; ALVES; 1991).

As padronizações são determinadas pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM), com o objetivo da comparatividade das estações. Tal padronização inclui: tipos de equipamentos usados, técnicas de calibração, aferição, ajustes, manuseio e procedimentos observacionais (VIANELLO; ALVES; 1991).

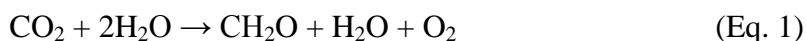
Segundo Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002), a superfície onde são feitas as medições é o gramado. O gramado deve ser mantido bem aparado e em boas condições de crescimento. As dimensões da área gramada da estação meteorológica devem ser suficientes para acomodar adequadamente os equipamentos. A área também deve ser cercada, para evitar o acesso de animais.

Quanto ao sistema de coleta de dados, existem basicamente dois tipos de sistemas:

- 1) Estações Meteorológicas Convencionais (EMC): estação que exige a presença diária do observador meteorológico para a coleta de dados. Os equipamentos são normalmente de leitura direta, como o termômetro, o pluviógrafo, anemógrafo, entre outros (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).
- 2) Estação Meteorológica Automática (EMA): é o tipo de estação que tem a coleta de dados totalmente automatizada. Os sensores operam com princípios que permitem a emissão de sinais elétricos, que são captados por um sistema de aquisição de dados, possibilitando o armazenamento e o processamento informatizado dos dados. A principal vantagem é o registro contínuo de todos os elementos do clima (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

## 2.5 Crescimento da vegetação

O crescimento da vegetação e produção de biomassa ocorre através do processo de fotossíntese. O processo de fotossíntese envolve várias reações bioquímicas e pode ser resumido pela Equação 1:



O dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) é obtido da atmosfera pela abertura dos estômatos da folha. A água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) é absorvida pelas raízes no solo. Utilizando como fonte de energia a radiação solar, água e dióxido de carbono formam os compostos orgânicos ( $\text{CH}_2\text{O}$ ) (TAIZ; ZEIGER, 2009).

A absorção da luz solar ocorre nos pigmentos da célula da planta, estando esses pigmentos localizados nos cloroplastos (Figura 2.5). Diferentes tipos de pigmentos fotossintetizantes, como clorofila, carotenos e xantofilas são presentes em uma célula vegetal. Cada tipo de pigmento possui sua própria estrutura molecular e desempenha uma função específica dentro do processo de fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2009).

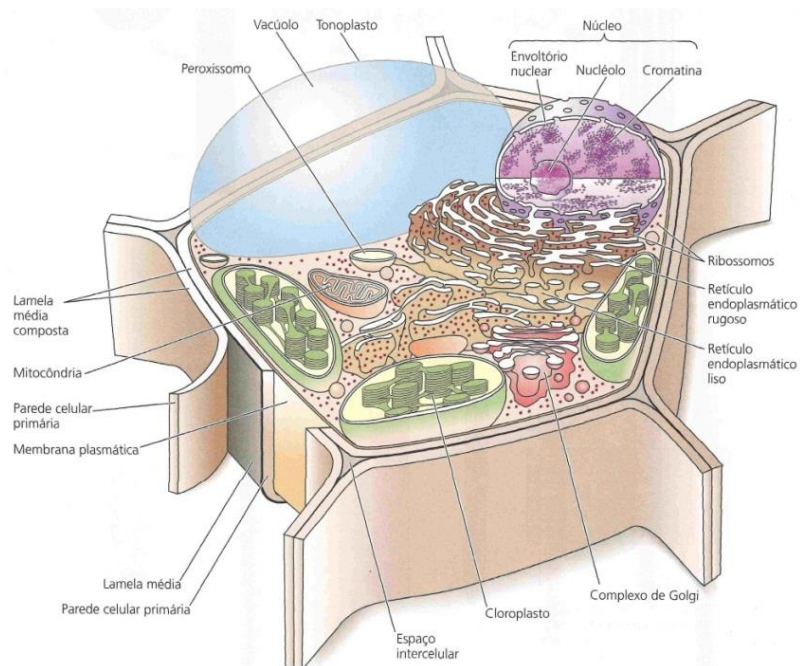


Figura 2. 5. Diagrama de uma célula vegetal. Os cloroplastos são destacados em verde. Fonte: adaptado de Taiz e Zeiger (2009).

### 2.5.1 Produção primária líquida

Os ecossistemas terrestres desempenham papel importante no ciclo global do carbono, fixando o carbono e atenuando o aumento da concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera. A quantidade de energia fixada (ou de matéria orgânica criada) pelas plantas no processo fotossíntese é denominada produtividade primária bruta (PPB) (FAHEY; KNAPP, 2007). Parte da produção é incorporada aos tecidos vegetais e outra parcela da matéria orgânica produzida é utilizada no processo de respiração (FAHEY; KNAPP, 2007).

A produção primária líquida (PPL) consiste na quantidade de matéria orgânica descontado o processo de respiração (FAHEY; KNAPP, 2007) ou pode ser definido pela

diferença entre PPB e respiração (ZHAO; RUNNING, 2008). Dessa forma, a PPL quantifica a quantidade de carbono fixado pelas plantas e o acúmulo de biomassa (ZHAO; RUNNING, 2010).

### **2.5.2 Influência do clima no crescimento da vegetação**

O desenvolvimento vegetal é dependente dos elementos do clima, como radiação solar, água, temperatura do ar. A quantidade de radiação solar na região do visível (0,4 – 0,72  $\mu\text{m}$ ) que incide no dossel é fundamental, pois é esta a faixa do espectro eletromagnético que é utilizada pelas plantas para a realização do processo de fotossíntese, sendo chamada de Radiação Fotossinteticamente Ativa (em inglês, PAR), correspondendo à 39,8% da radiação emitida pelo sol (MONTEITH; UNSWORTH, 1990).

Apesar de um dossel necessitar de energia luminosa para a realização da fotossíntese, o excesso ou falta de radiação solar pode ser um fator limitante. O excesso de luz pode levar ao processo de fotoinibição (TAIZ; ZEIGER, 2009). A falta da luz incidente em um dossel também é um fator limitante, pois não haverá energia externa para a ocorrência da Equação 1. Apesar disso, mesmo em condições ideais de radiação eletromagnética que incide em um dossel, o processo de fotossíntese pode ser limitado por outros determinantes do meio como água, temperatura ou disponibilidade de minerais (NABINGER, 1998).

A disponibilidade de água em um dossel é fundamental para o desenvolvimento vegetal. Aproximadamente 97% da quantidade de água absorvida pelas raízes é transportada pela planta e evaporada pelas superfícies foliares, sendo esse processo denominado transpiração (TAIZ; ZEIGER, 2009). As demais quantidades de água são utilizadas para processos de crescimento (~2%) e para a fotossíntese e demais processos metabólicos (~1%). O processo de transpiração é necessário para que a planta dissipe o calor das folhas e mantenha a temperatura das folhas resfriadas (Figura 2.6) (TAIZ; ZEIGER, 2009).

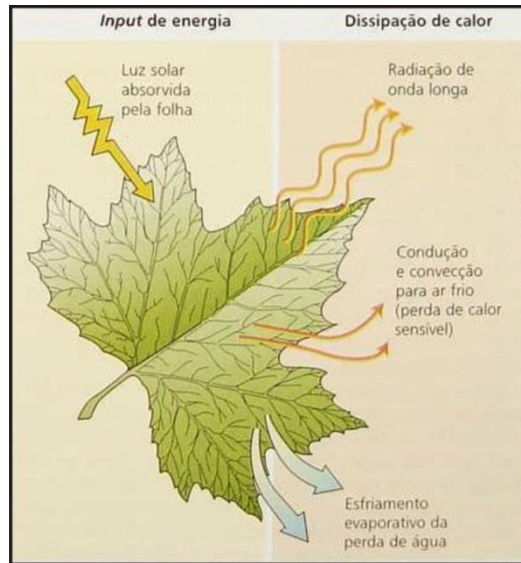


Figura 2. 6. Mecanismos de absorção e dissipação de energia. Fonte: adaptado de Taiz e Zeiger (2009).

A disponibilidade de água no dossel é dependente da precipitação pluvial, da capacidade de armazenamento de água pelo solo e a evaporação causada pela atmosfera. A absorção de água pelas raízes das plantas é extremamente dependente do solo onde o dossel está situado, pois o conteúdo de água e sua taxa de movimentação dependem do tipo e estrutura do solo (TAIZ; ZEIGER, 2009). As espécies vegetais também possuem seus próprios mecanismos de absorção de água pelas raízes e mecanismos para evitar perda de água para a atmosfera. Dessa forma, o balanço hídrico do dossel dependerá da interação do sistema solo-planta-atmosfera, em que a condição hídrica do dossel dependerá de uma combinação desses três segmentos (BERGAMASCHI, 1992).

A ocorrência de déficit hídrico provoca perda de turgidez da planta, ocorrendo o fechamento parcial ou total dos estômatos (BERGAMASCHI, 1992). Com o estômato apresentando menor abertura e sendo responsável pela entrada de dióxido de carbono, a absorção de  $\text{CO}_2$  é reduzida e o processo de fotossíntese diminui (CHAPIN III et al., 1987). Outro processo resultante da perda da turgidez é a redução da área foliar, que são mecanismos da planta de compensar a baixa disponibilidade hídrica, também provocando a diminuição da fotossíntese (BERGAMASCHI, 1992) e conseqüentemente redução da biomassa.

A temperatura é outro elemento do clima que influencia o crescimento de um dossel. A temperatura regula a transpiração e o processo de fotossíntese da planta. Períodos de altas temperaturas provocam maior transpiração, causando maior perda de água para a atmosfera (PILLAR, 1995) e maior probabilidade de ocorrência de déficit hídrico. O estresse térmico em

uma planta pode inibir o processo de fotossíntese e prejudicar as funções das membranas (TAIZ; ZEIGER, 2009). Assim cada espécie vegetal possui uma temperatura considerada ideal para que a taxa líquida de fotossíntese seja máxima, sendo chamada região de temperatura ótima. Pode-se assumir como região de temperatura ótima para a fotossíntese aquela em que os valores de fotossíntese atingem mais de 90% da capacidade fotossintética, sendo a região de temperatura ótima característica própria de cada espécie (LARCHER, 2000).

### **2.5.3 Outros fatores físicos que influenciam o crescimento da vegetação**

O desenvolvimento de um dossel não depende apenas dos elementos do clima para seu crescimento, pois depende de outros fatores relacionados ao solo e o ambiente em que o dossel está inserido, como a disponibilidade de nitrogênio, disponibilidade de minerais e distribuição e variabilidade de patógenos e parasitas (MONTEITH; UNSWORTH, 1990).

Em termos de nutrição mineral, o nitrogênio é o elemento mineral que as plantas exigem em maiores quantidades e que frequentemente limita o seu crescimento (TAIZ; ZEIGER, 2009; CHAPIN III et al., 1987). Como nitrogênio constitui componentes de aminoácidos, proteínas e ácidos nucléicos, sua falta é um dos grandes inibidores do crescimento vegetal (TAIZ; ZEIGER, 2009).

### **2.5.4 Efeito do clima na vegetação do bioma Pampa**

O efeito do clima na cobertura vegetal do bioma Pampa provoca basicamente duas épocas de crescimento da vegetação, denominadas de estação quente e estação fria (MACHADO, 1999). Na estação quente, que corresponde as estações da primavera, do verão e início do outono, o aumento de temperatura e do fotoperíodo aliado ao predomínio de espécies C<sub>4</sub> no bioma Pampa provocam a maior produção vegetal e acúmulo de biomassa durante o ano (Figura 2.7). Durante essa estação, a falta de água pode afetar o crescimento da vegetação (MACHADO, 1999), fazendo com a precipitação pluvial tenha influência fundamental nesse período.

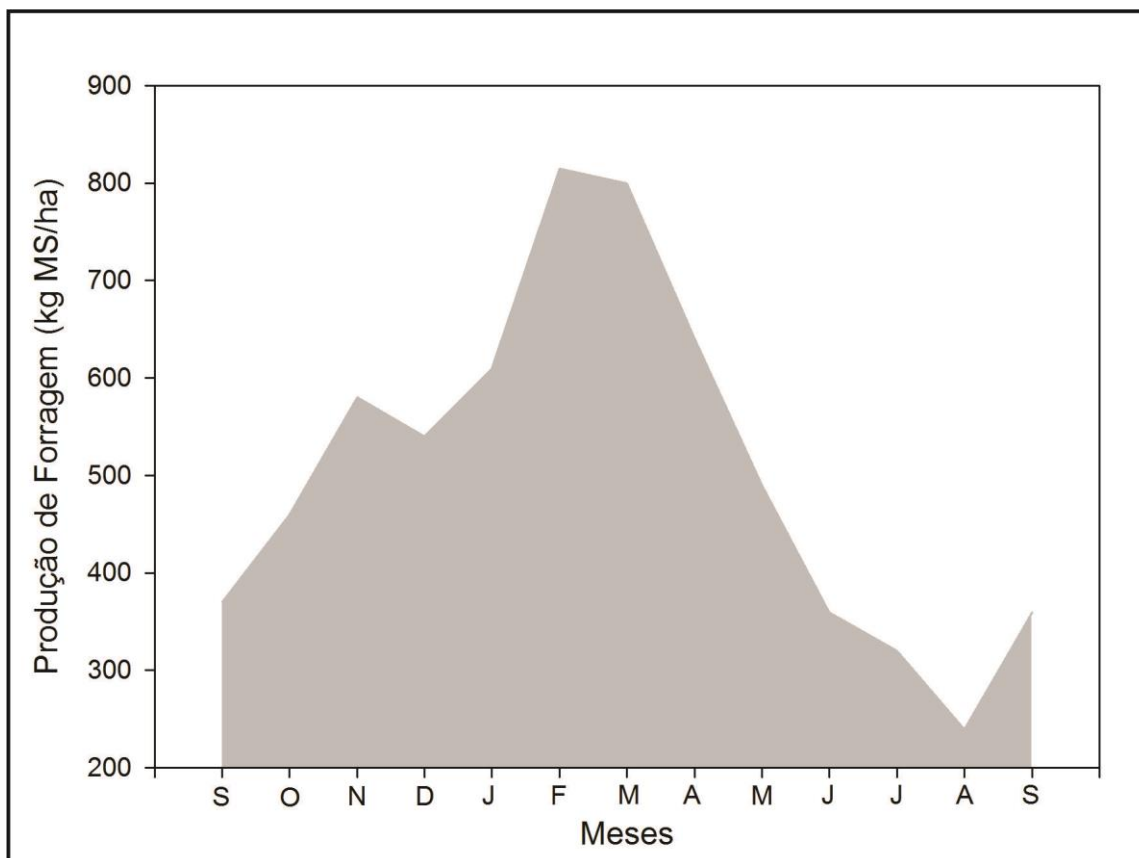


Figura 2. 7. Curva de produção média de pastagem nativa no período de 84 a 89. Fonte: Adaptado de Machado (1999).

Na estação fria, que corresponde as estações do final outono e inverno, as temperaturas baixas limitam o crescimento das espécies  $C_4$ , provocando a diminuição da biomassa. Nesse período, a menor disponibilidade de radiação solar aliada às frequentes massas polares que avançam sobre o Estado determinam a ocorrência de geadas (JACÓBSEN; FONTANA; SHIMABUKURO, 2003). Dependendo da intensidade, duração e época de ocorrência, as geadas podem comprometer o crescimento e desenvolvimento da vegetação (JACÓBSEN; FONTANA; SHIMABUKURO, 2003).

### 2.5.5 El Niño e La Niña e sua associação com o crescimento da vegetação do Rio Grande do Sul

As condições hídricas e térmicas do Rio Grande do Sul são alteradas em anos de El Niño e La Niña (BERLATO; FONTANA, 2003; FONTANA; BERLATO, 1997). Para precipitação pluvial, em períodos de El Niño, ocorrem anomalias positivas em praticamente todos os meses do ano (JACÓBSEN; FONTANA; SHIMABUKURO, 2003), especialmente de outubro a janeiro (BERLATO; FONTANA, 2003). Por consequência, as anomalias positivas de precipitação pluvial na estação quente tende a favorecer o crescimento da

vegetação, visto que a falta de água pode ser fator limitante nesse período (MACHADO, 1999).

Em períodos de La Niña, o oposto é observado para a precipitação pluvial. Verifica-se que as anomalias negativas de precipitação pluvial predominam na maior parte do Estado ao longo de todo o ano, mas principalmente nos meses de novembro, dezembro, maio e junho (BERLATO; FONTANA, 2003). Dessa forma, o desenvolvimento da cobertura vegetal pode ser comprometido em virtude dessas anomalias negativas principalmente para os meses de novembro e dezembro, pois a falta de água pode ser o fator limitante ao desenvolvimento vegetal no período do verão (MACHADO, 1999).

Com relação a temperatura do ar, os impactos de El Niño e La Niña tendem a ser maiores na temperatura de média mínima quando comparado com as temperaturas médias máximas. Para os anos de La Niña, as temperaturas médias mínimas apresentam anomalias negativas, com destaque para outubro e novembro. Para os anos de El Niño, as temperaturas médias mínimas tendem a ser superiores principalmente no outono e início do inverno (BERLATO; FONTANA, 2003).

## **2.6 Sensoriamento remoto para estudos de vegetação**

### **2.6.1 Comportamento espectral da vegetação**

Os sensores ópticos a bordo de aeronaves e satélites tem produzido dados sobre a superfície terrestre, permitindo importantes aplicações da tecnologia do sensoriamento remoto para estudos ambientais, agrícolas e monitoramento e detecção de mudanças globais (SCHOWENGERDT, 2007). O sensoriamento remoto da vegetação permite a realização diversas aplicações, entre elas o monitoramento temporal da vegetação com a combinação de dados meteorológicos (COSTA; KUPLICH, 2011; TRENTIN, 2011; BISSO et al., 2009; JACÓBSEN; FONTANA; SHIMABUKURO, 2004; JACÓBSEN; FONTANA; SHIMABUKURO, 2003) e de estimativa da biomassa aérea da vegetação (WULDER et al., 2008; FONSECA; FORMAGGIO; PONZONI, 2007; LU et al., 2005).

A estrutura interna e externa das plantas e suas interações com a radiação eletromagnética tem um impacto direto na forma como as folhas e os dosséis vegetais aparecem espectralmente quando registrados usando instrumentos de sensoriamento remoto (JENSEN, 2009). Essa interação é distinta para as diferentes faixas do espectro eletromagnético, fazendo com que a reflectância tenha grande variação para diferentes

comprimentos de onda, permitindo que informações diferentes sobre as propriedades da vegetação possam ser detectadas (Figura 2.8).

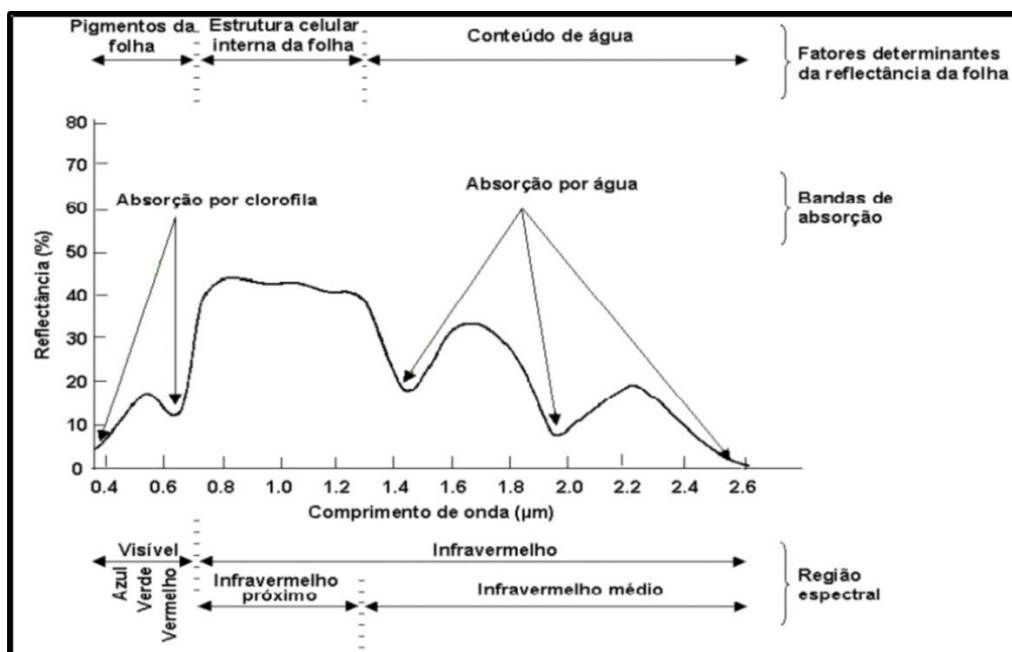


Figura 2. 8. Curva espectral de uma folha verde. Fonte: Modificada de Swain e Davis (1978).

A região do visível (0,4 – 0,72 μm) é caracterizada pela absorção da radiação eletromagnética, causada pela presença dos pigmentos fotossintetizantes (clorofila, carotenos e xantofilas) existentes nas folhas (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010). Através disso, baixos valores de reflectância são caracterizados nesta faixa do espectro eletromagnético (Figura 2.8). Apesar de apresentar baixos valores de reflectância nessa faixa, a região do visível não é totalmente homogênea. As plantas absorvem a radiação eletromagnética principalmente nas regiões do azul (0,45 μm) e vermelho (0,67 μm), havendo um pico de reflectância na região do verde (ASHRAF; MAAH; YUSOFF, 2011). Como a reflectância é resultado da presença de pigmentos fotossintetizantes que absorvem radiação eletromagnética, é esperada uma relação inversa de biomassa e reflectância nessa faixa do espectro eletromagnético (JENSEN, 2009).

Para a região do infravermelho próximo (0,72 – 1,10 μm), a radiação eletromagnética que atinge a vegetação é espalhada internamente, sendo resultado da interação da energia incidente com a estrutura do mesófilo (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010). A vegetação verde sadia é geralmente caracterizada por alta reflectância, com os valores acima de 40%



(Figura 2.8). Ao contrário da região do visível, é esperada uma relação direta da reflectância com a biomassa de um dossel (JENSEN, 2009).

Na região do infravermelho médio (1,10 – 3,20  $\mu\text{m}$ ), a reflectância é reduzida pela presença de água no dossel, na qual provoca a absorção da radiação eletromagnética (Figura 2.8). Apesar disso, a influência da água não é totalmente homogênea nessa região. Em termos mais pontuais, a absorção da radiação eletromagnética pela água ocorre em 1,1  $\mu\text{m}$ , 1,45  $\mu\text{m}$ , 1,95  $\mu\text{m}$  e 2,7  $\mu\text{m}$  (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

### **2.6.2 Fatores ambientais que alteram o comportamento espectral da vegetação**

Mudanças na reflectância de uma folha ou em um dossel induzidos por estresse ambiental podem ser detectados com dados de sensoriamento remoto e utilizados como indicadores do estado fisiológico das plantas (JIANG e CARROW, 2005). Carter (1993) mostrou que a reflectância no visível é mais sensível ao estresse foliar que o infravermelho. A reflectância no infravermelho é um indicador consistente de estresse somente quando ocorre severa desidratação foliar (JENSEN, 2009).

A falta de água pode ser uma dos causadores de estresse foliar. Nas regiões do visível e infravermelho próximo, a região do vermelho é mais sensível a desidratação das folhas (SUPLICK-PLOENSE; ALSHAMMARY; QIAN, 2011; CARTER, 1993). Jiang e Carrow (2005) mostraram que o intervalo do vermelho, de 664 a 687 nm, possibilitou caracterizar as variações de reflectância de quatro espécies em um processo de déficit hídrico controlado. Para ocorrer variações significativas da reflectância por desidratação na região do infravermelho próximo, a falta de água deve ser suficiente para causar severa desidratação foliar, sendo necessária alterações na estrutura da célula (SUPLICK-PLOENSE, ALSHAMMARY, QIAN, 2011).

No infravermelho médio, pela presença de água diminuir a reflectância, essa faixa do espectro eletromagnético é boa provedora de informações sobre a turgidez das folhas e do conteúdo de umidade dos dosséis. Assim, quanto maior a turgidez das folhas, menor a reflectância no infravermelho médio (JENSEN, 2009).

### **2.6.3 Índice de vegetação por diferença normalizada**

Para o monitoramento da vegetação, diversos índices de vegetação foram propostos com o objetivo de explorar as propriedades espectrais da vegetação (PONZONI;

SHIMABUKURO, 2010). A maioria desses índices são baseados nas bandas do vermelho e infravermelho próximo. Um dos índices mais utilizados é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (em inglês, *Normalized Difference Vegetation Index*, NDVI). O NDVI pode ser representado pela Equação 2:

$$\text{NDVI} = (\rho_{\text{nir}} - \rho_{\text{red}}) / (\rho_{\text{nir}} + \rho_{\text{red}}) \quad (\text{Eq. 2})$$

Os valores do NDVI variam de -1 a 1, sendo os valores negativos associados aos corpos de água e nuvens e os valores positivos estão associados aos alvos terrestres. O NDVI está correlacionado com as propriedades biofísicas da cobertura vegetal, tais como índice de área foliar (IAF), condições da vegetação e biomassa (JIANG et al., 2006). O NDVI é utilizado para construir perfis sazonais e temporais das atividades da vegetação, permitindo comparações inter-anuais desses perfis (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010). Outra importância desse índice é a redução de ruídos (diferenças na iluminação solar, sombras de nuvens, algumas atenuações atmosféricas e algumas variações topográficas) presentes nas bandas de imagens de múltiplas datas (JENSEN, 2009).

Dessa forma, o NDVI é uma ferramenta amplamente utilizada para o monitoramento da vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010). Apesar disso, possui problemas no seu uso (PETTORELLI et al, 2005). O NDVI não expressa corretamente a correlação com IAF quando os valores desses são altos (JIANG et al., 2006, WANG et al., 2005, HUETE et al., 2002). Outro problema comum é sensibilidade do NDVI com variações do solo em um dossel, sendo os valores particularmente mais altos em solos mais escuros (JENSEN, 2009). Assim a relação esperada entre o NDVI e biomassa pode não ser identificada para alguns tipos de cobertura vegetal (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

## **2.7 Estudos de vegetação com sensoriamento remoto no Bioma Pampa**

Diversos estudos utilizando dados de sensoriamento remoto permitiram mostrar a dinâmica do crescimento espacial e temporal da vegetação no bioma Pampa (COSTA e KUPPLICH, 2011; MOREIRA; KUPPLICH; FONSECA, 2011; TRENTIN, 2011; BISSO et al., 2009; JACÓBSEN; FONTANA; SHIMABUKURO, 2004; JACÓBSEN; FONTANA; SHIMABUKURO, 2003).

Trentim (2011) utilizou dados MODIS utilizando as bandas do azul, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio para monitorar a fenologia da Área de

Proteção Permanente do Ibirapuitã. Os resultados mostraram que os três diferentes tipos de solos (Argissolo, Neossolo e Planossolo) analisados não influenciaram significativamente nos valores de reflectância.

Utilizando dados NDVI com imagens AVHRR/NOAA para diferentes macrozonas no Rio Grande do Sul entre julho de 1981 a junho de 2000, Jacóbsen; Fontana; Shimabukuro (2003) observaram que a tendência geral observada nos valores de NDVI seguem a curva de disponibilidade de radiação solar e temperatura, apresentado valores máximos no verão e mínimos no inverno. Para as macrozonas campos, estes mostram redução do NDVI nos meses de dezembro e janeiro em regiões ocupadas por campos (Figura 2.9). Além disso, mencionam que a provável causa para a redução do NDVI ocorre em função da precipitação pluvial não suprir a demanda evaporativa da atmosfera.

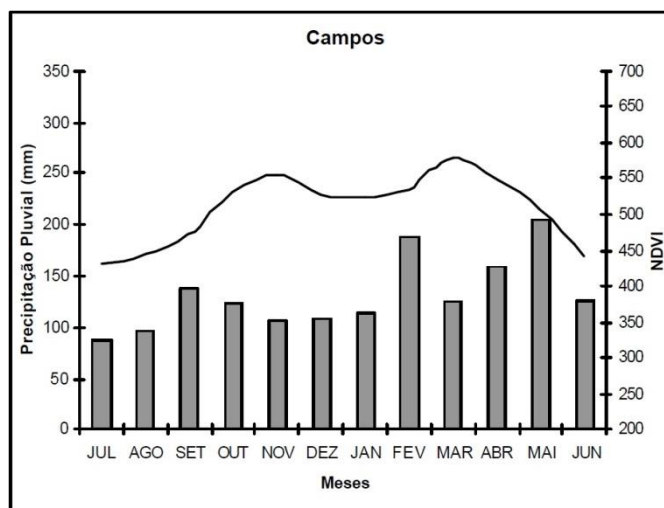


Figura 2. 9. Média do NDVI e precipitação pluvial (1981-2000) nos campos da Depressão Central do Rio Grande do Sul. Fonte: Jacóbsen; Fontana; Shimabukuro (2003). A escala dos valores de NDVI está multiplicada por 1000.

Os mesmos dados de NDVI foram utilizados para analisar os efeitos em períodos de El Niño e La Niña no crescimento da vegetação. Jacóbsen; Fontana e Shimabukuro (2004) concluíram que parte da variabilidade interanual do padrão de evolução do NDVI possui relação com o fenômeno El Niño e La Niña, tendo influência principalmente na precipitação pluvial do Estado, com o maior impacto sobre o NDVI ocorrendo entre novembro e fevereiro. Durante esses meses as macrozonas campos são as que apresentaram maiores variações de NDVI (JACÓBSEN; FONTANA; SHIMABUKURO, 2003).

Moreira; Kuplich e Fonseca (2011) utilizando o NDVI do sensor MODIS, identificaram que diferentes tipologias campestres possuem comportamento sazonal bem definido, com período de crescimento das espécies durante a primavera e verão. Períodos com

grandes variações no comportamento do NDVI puderam ser identificados utilizando a abordagem da ondaleta.

Abordagem semelhante foi realizada por Costa e Kuplich (2011), na qual também mostraram que a ondaleta é eficiente para mostrar as variações de NDVI que ocorrem em áreas de campo nativo. Bisso et al. (2009), também utilizaram dados NDVI do sensor MODIS para o ano de 2007. Os dados de NDVI foram correlacionados com dados de precipitação pluvial e temperatura, com os dados de temperatura tendo maior correlação que os dados de precipitação pluvial.

Através de uma busca de quantificar a produtividade, Paruelo et al. (1999) utilizaram o sensor NOAA-AVHRR para quantificar a produção de forragem em áreas temperadas da Argentina. Os resultados encontrados indicaram grande variabilidade espacial de biomassa e também grande variabilidade interanual nos campos da Argentina.

## **2.8 Análises em Séries Temporais**

Uma série temporal é definida como qualquer conjunto de observações ordenadas no tempo (MORETTIN; TOLOI, 2006). Uma análise de dados de séries temporais possuem quatro objetivos (MORETTIN; TOLOI, 2006), a saber:

- 1) Investigar do mecanismo gerador da série temporal;
- 2) Prever de valores futuros da série a curto e longo prazo;
- 3) Descrever apenas o comportamento da série com a construção de gráficos para a verificação da existência de tendências, ciclos e variações sazonais;
- 4) Procurar periodicidades relevantes nos dados.

Diversas análises estatísticas são realizadas para atingir esses objetivos, como a utilização de análise de tendências, sazonalidade e análise espectral (MORETTIN; TOLOI, 2006), apenas para citar algumas. Uma análise estatística frequentemente utilizada em séries temporais é a de verificação de tendência linear. A tendência linear é uma reta que se ajusta em um conjunto de dados, mostrando tendência de aumento, diminuição ou estagnação desse conjunto de dados em um determinado tempo. A tendência linear é representada pela equação abaixo (WALPOLE et al., 2009):

$$y = a + bx \quad (\text{Eq. 3})$$

Os parâmetros  $a$  e  $b$  são os parâmetros intercepto e inclinação da equação (WALPOLE et al., 2009), respectivamente, enquanto  $x$  é a variável independente tempo. Para que a reta se

ajuste no conjunto de dados, o ajuste por mínimos quadrados é um dos métodos que podem ser utilizados para o cálculo de tendência linear (MORETTIN; TOLOI, 2006). Para estimar os parâmetros  $a$  e  $b$ , são utilizadas as equações 4 e 5 (WALPOLE et al., 2009):

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{Eq. 4})$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (\text{Eq. 5})$$

Depois de gerado o modelo linear, a estatística  $t$  permite avaliar se o modelo gerado possui grau de previsão significativa. A estatística  $t$  testa a hipótese que o valor de  $b$  é significativamente diferente de zero e que a variável previsora contribui significativamente para estimar o valor de saída (FIELD, 2009). Esse teste pode ser representado pela equação 6 (ONoz; BAYAZIT, 2003):

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (\text{Eq. 6})$$

### **2.8.1 Séries temporais com dados de sensoriamento remoto orbital para o monitoramento da vegetação**

O conjunto de dados contínuos de sensoriamento remoto orbital consiste em um tipo de dado de série temporal. Os dados constituem uma série temporal de reflectância e mudanças dessa variável são respostas de alterações ocorridas na superfície terrestre. Assim, os satélites não fornecem apenas informações espaciais dos processos ecológicos, mas também fornecem informações das mudanças temporais (ZHAO; RUNNING, 2008).

Com acúmulo de dados de sensoriamento remoto orbital com o lançamento do satélite Landsat desde 1972 e do AVHRR/NOAA desde 1981, existem mais de três décadas de dados de satélite, permitindo o monitoramento dos ecossistemas terrestres (ZHAO; RUNNING, 2008). Outro sensor com lançamento mais recente, como o sensor Vegetation, por exemplo, também é amplamente utilizado como um conjunto de dados de séries temporais para o monitoramento do sistema terrestre (XIE; SHA; YU, 2008). Apesar disso, cada sensor possui resoluções próprias e constitui uma série temporal separada. Para que dados gerados por

diferentes sensores possam ser utilizados conjuntamente numa série temporal, a calibração dos sensores deve ser realizada (BROWN et al., 2006; TUCKER et al., 2005).

Tucker et al. (1985) foram os primeiros a mostrar que, entre o período de 1982 e 1983, ocorriam variações temporais no valor do NDVI do sensor AVHRR para os diferentes biomas do continente africano, estando estas variações relacionadas com as condições climáticas. No mesmo ano, Justice et al. (1985) mostraram a eficácia do monitoramento das mudanças temporais da vegetação no planeta com o uso do NDVI do sensor AVHRR. Posteriormente, diversos trabalhos foram realizados monitorando as variações temporais do crescimento da vegetação com dados de sensoriamento remoto (e.g. ZHAO; RUNNING, 2008; HUETE et al., 2006; NEMANI et al., 2003; MYNENI et al., 2001; MYNENI et al., 1997).

## 2.9 Sensor Vegetation

Os sensores Vegetation 1 e 2 estão a bordo dos Satélites SPOT 4 (*Satellite Pour l'Observation de la Terre*) e SPOT 5, respectivamente. O objetivo desse sensor é de monitorar globalmente toda a biosfera continental (VEGETATION, 2012). O satélite SPOT4 foi lançado em 24 de março de 1998, enquanto o satélite SPOT5 foi colocado em órbita em 4 de maio de 2002 (Tabela 2.1).

Tabela 2. 1. Características dos satélites SPOT 4 e SPOT 5.

<b>Missão</b>	Satélite para a Observação da Terra	
<b>Instituições Responsáveis</b>	Centre National d'Etudes Spatiales (CNES); Spot Image Corp.	
<b>Satélite</b>	SPOT-4	SPOT-5
<b>Lançamento</b>	24/03/1998	04/05/2002
<b>Órbita</b>	Circular, heliosíncrona e polar	
<b>Altitude</b>	830 km	
<b>Inclinação</b>	98,7°	
<b>Tempo de Duração da Órbita</b>	101,4 min	
<b>Horário de Passagem</b>	10:30	
<b>Tempo de Vida Projetado</b>	5 anos	5 anos

Fonte: Adaptado de <http://smc.cnes.fr/SPOT/>

Os dados do sensor Vegetation são contínuos desde abril de 1998, possuindo resolução espacial de 1000 metros e largura da faixa imageada de 2250 km. O instrumento Vegetation disponibiliza dados nas bandas do azul, vermelho, infravermelho próximo, infravermelho médio (Tabela 2.2).

Tabela 2. 2. Informações sobre o sensor Vegetation.

<b>Bandas Espectrais</b>	<b>Bandas Espectrais (µm)</b>	<b>Resolução espacial (m)</b>	<b>Largura da faixa imageada (km)</b>
<b>AZUL (B0)</b>	0.430 - 0.470 µm	1000	2250
<b>VERMELHO (B2)</b>	0.610 - 0.680 µm		
<b>INFRAVERMELHO PRÓXIMO (B3)</b>	0.780 - 0.890 µm		
<b>INFRAVERMELHO MÉDIO (MIR)</b>	1.580 - 1.750 µm		

Os dados do sensor Vegetation são disponibilizados nos seguintes produtos: VGT-P, VGT-S1, VGT-S10 e VGT-D10. O produto VGT-P oferece valores de reflectância do topo da atmosfera e são adaptados para usuários interessados na qual a qualidade física dos dados é importante (VEGETATION, 2012). O produto VGT-S1 possui correção atmosférica pelo método SMAC (RAHMAN; DEDIEU, 1994) e é uma síntese diária do melhor valor disponível em um dia para um local específico baseado no critério de máximo NDVI (VEGETATION, 2012).

O produto VGT-S 10 é semelhante ao produto VGT-S1, porém consiste em uma síntese de 10 dias, também baseado no critério de máximo NDVI. O produto VGT-D10 também é uma síntese de dez dias, mas os valores dos pixels são processados baseados na função de distribuição bidirecional de reflectância.

As aplicações do sensor Vegetation são para estudos ambientais, monitoramento agrícola, monitoramento de florestas e estudos de mudanças globais. Os produtos desse instrumento estão disponíveis gratuitamente através do site: <http://free.vgt.vito.be/> .

## 2.10 Sensor TM

O sensor TM (Thematic Mapper) está a bordo do satélite Landsat 5, lançado em 01/03/1984. Sete bandas espectrais são disponibilizadas (Tabela 2.3), com as bandas 1-5 e 7 com resolução espacial de 30 metros e banda 6 com resolução espacial de 120 metros (NASA, 2012). O sensor TM esteve em operação até novembro de 2011, onde ocorreu a suspensão de fornecimento das imagens devido a degradação dos componentes eletrônicos (NASA, 2012).

Tabela 2. 3. Informações sobre o sensor TM.

<b>Bandas Espectrais</b>	<b>Bandas Espectrais (μm)</b>	<b>Resolução espacial (m)</b>	<b>Largura da faixa imageada (km)</b>
<b>Banda 1</b>	0.45-0.52 μm	30	185 x 172
<b>Banda 2</b>	0.52-0.60 μm	30	
<b>Banda 3</b>	0.63-0.69 μm	30	
<b>Banda 4</b>	0.76-0.90 μm	30	
<b>Banda 5</b>	1.55-1.75 μm	30	
<b>Banda 6</b>	10.4-12.5 μm	120	
<b>Banda 7</b>	2.08-2.35 μm	30	



## CAPÍTULO 3

### ÁREA DE ESTUDO

As áreas de estudo desse trabalho estão localizadas na Depressão Central do Rio Grande do Sul (Figura 3.1). Seis áreas de vegetação campestre em Rio Pardo foram escolhidas para a análise em escala regional com dados de sensoriamento remoto orbital. Para a análise em escala local, as unidades experimentais da EEA-UFRGS foram selecionadas no município de Eldorado do Sul. Para a análise do clima, a estação meteorológica utilizada nesse trabalho também está localizada no município de Eldorado do Sul, na EEA-UFRGS.



Figura 3. 1. Mapas das Unidades Geomorfológicas do Rio Grande do Sul. A Depressão Central é destacada em verde. As duas áreas que foram analisadas na Depressão Central são marcadas (de forma aproximada) pelas estrelas pretas.

Fonte: Adaptado de Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (2012).

Segundo Bergamaschi et al. (2003), o clima na área de estudo apresenta temperatura média de 19,2°C, com médias mensais oscilando entre 9 e 25°C no meses de inverno e verão, respectivamente. A precipitação pluvial média é da ordem de 1446 mm ao ano, com os meses de junho, julho e agosto apresentando os maiores registros (BERGAMASCHI et al., 2003). A radiação solar e duração do brilho solar é maior no mês de dezembro, com média de 509 cal.cm<sup>-2</sup>.mês<sup>-1</sup> para a radiação solar. O mês de junho é o que apresenta menor radiação solar e duração do brilho solar durante o ano, tendo média de 206 cal.cm<sup>-2</sup>.mês<sup>-1</sup> (BERGAMASCHI et al., 2003). O relevo na Depressão Central, entre o planalto Sul-rio-grandense e a escarpa da borda da bacia do Paraná, é constituído principalmente por sedimentos na borda da bacia sedimentar do Paraná, com altitude em média de 200 metros (ROSS, 2008).

### 3.1 Áreas de vegetação campestre natural no município de Rio Pardo

As seis áreas de vegetação campestre natural analisadas com dados de sensoriamento remoto orbital estão localizadas no município de Rio Pardo (30°08'S, 52°15'O e altitude de aproximadamente 60 metros). Estas áreas se encontram a leste da BR-471 e a norte BR-290 (Figura 3.2).

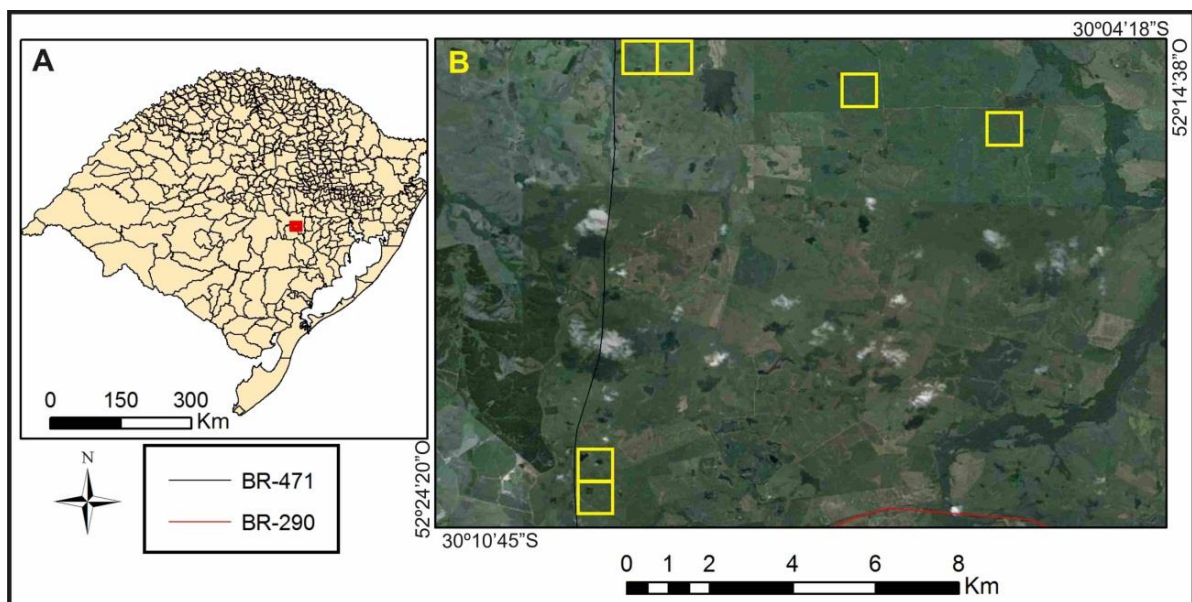


Figura 3. 2. A- Localização das áreas de vegetação campestre analisadas no Rio Grande do Sul. B- Seis áreas de vegetação campestre selecionadas para composição da série temporal em amarelo.

Nas áreas de vegetação campestre natural, as diferentes pressões de pastejo presentes produzem diferenciação fisionômica entre os poteiros (BOLDRINI,1993). Segundo Boldrini (2009), campos bem manejados possuem pouco solo descoberto, pois o estrato inferior possui

o predomínio de espécies rizomatosas. Essas espécies são representadas pelo capim-forquilha (*Paspalum notatum*) e grama-tapete (*Axonopus affinis*). No estrado superior é comum a presença do capim-caninha (*Andropogon lateralis*). Diferentemente de campos bem manejados, os campos com sobrepastoreio possuem comunidade vegetal rala e com grande presença de solo descoberto. Nestes espaços se instalam sementes das compostas, como a roseta (*Soliva pterosperma*), o alecrim-do-campo (*Vernonia nudiflora*), a maria-mole (*Senecio brasiliensis*), *S. selloi* e *S. heterotrichius*. No estrato superior, as barbas-de-bode (*Aristida jubata* e *A. filifolia*) formam touceiras em áreas bem drenadas (BOLDRINI, 2009). Às áreas de campo nativo nesta área apresentam dois tipos de solos: argissolo e planossolo (EMBRAPA, 1999), com o argissolo sendo predominante nas áreas avaliadas.

### 3.2 Unidades Experimentais na EEA-UFRGS

#### 3.2.1 Localização e Descrição da área

A área para análise do clima e para análise da vegetação em escala local está localizada na Estação Experimental Agrônômica da UFRGS (30°06'S, 51°41'O e 46 metros de altitude). A EEA-UFRGS está localizada na BR 290 Km-46, no município de Eldorado do Sul, Rio Grande do Sul (Figura 3.3). A área total da EEA-UFRGS possui 1600 ha (UFRGS, 2011), onde são conduzidos experimentos agrônômicos e agropecuários para fins científicos.

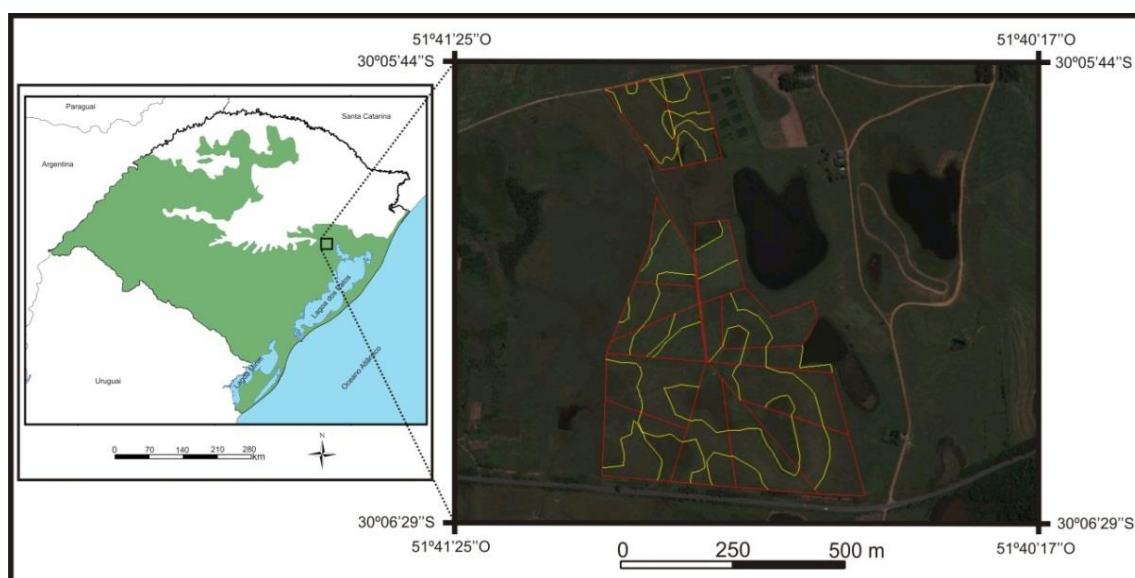


Figura 3. 3. Localização da EEA-UFRGS no bioma Pampa à esquerda. A figura da direita apresenta as unidades experimentais da EEA-UFRGS em vermelho.

Para este trabalho, foram analisados aproximadamente 56 ha da EEA-UFRGS, referentes às 14 unidades experimentais (potreiros) destinadas a produção de forragem na estação. Essas 14 unidades experimentais variam de 2,73 a 5,42 ha. Na Figura 3.3 pode-se visualizar os limites dessas áreas experimentais em vermelho. Cada OF possui duas unidades experimentais, sendo quatro permanentes todo o ano (4%, 8%, 12% e 16%) e três OF variam com a estação do ano (08-12%, 12-08% e 16-12%, sendo que a primavera corresponde ao primeiro valor).

Na área analisada, o Argissolo Vermelho Distrófico Típico ou Arênico e Plintossolo são os tipos de solos presentes (EMBRAPA, 1999). A ocorrência de Plintossolo ocorre nas áreas baixas, sendo um solo imperfeitamente drenado e de textura franco-arenosa. O Argissolo Vermelho Distrófico Típico ou Arênico ocorre nas áreas de topo, sendo um solo profundo, bastante drenado e com textura franco-argilo-arenosa a franco-arenosa.

Segundo Soares (2002), a área de pastagem onde foi conduzido o experimento sempre foi usada em pastejo contínuo com bovinos, ovinos e equinos. Na primavera de 1986, foi iniciado um experimento para compreender a relação de diferentes OFs sobre a produção animal e parâmetros associados a vegetação.

Inicialmente, a área foi subdividida em unidades experimentais, com quatro tipos de pressão de pastejo de 3%, 6%, 9% e 12% do peso vivo com duas repetições (MARASCHIN, 1988). Os mesmos tratamentos foram aplicados por Escosteguy (1990) para o período 1987/88. Escosteguy (1990) modificou os tratamentos para 4%, 8%, 12% e 16% no período da primavera de 1988/89. Esses quatro tipos de ofertas de forragem se mantiveram com a mesma distribuição até a primavera de 2000. Depois disso, uma reformulação nas unidades experimentais da EEA UFRGS foi realizada, na qual mantêm as duas unidades experimentais para cada oferta de forragem fixa (4%, 8%, 12% e 16%) e cria novas ofertas de forragem que variam com a estação do ano (08-12%, 12-08% e 16-12%), totalizando 14 unidades experimentais (Figura 3.3). Novos estudos foram realizados nessas 14 unidades experimentais com o mesmo objetivo de compreender a relação entre OFs e a produção animal (TRINDADE, 2011; SANTOS, 2007; AGUINAGA, 2004; PINTO, 2003; SOARES, 2002).

## CAPÍTULO 4

### MATERIAL E MÉTODOS

#### 4.1 Identificação de áreas de vegetação campestre para análise em escala regional

Foram realizados dois trabalhos de campo, em 16 de dezembro de 2011 e 29 de junho de 2012, para identificar áreas de vegetação campestre na Depressão Central. Oito áreas de vegetação campestre foram identificadas no município de Rio Pardo, maiores que 1000 x 1000 metros.

A partir disso, foram adquiridas imagens do satélite Landsat 5, sensor TM, do período entre 10/09/1997 e 04/11/2011, totalizando 62 cenas (Apêndice A). Essa análise não foi possível de ser feita com as imagens do sensor Vegetation em virtude da baixa resolução espacial desse sensor. Os dados do sensor TM foram adquiridos no endereço eletrônico <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>.

A partir de uma análise visual das imagens Landsat 5, duas áreas foram excluídas por apresentarem mudanças no uso da terra durante o período analisado. Para as outras seis áreas, não foi identificada nenhuma alteração do uso da terra, sendo selecionadas para compor a série temporal de dados de sensoriamento remoto orbital. A localização das áreas analisadas pode ser visualizada na Figura 3.2 e na Tabela 4.1. Para este trabalho, a pressão de pastejo existente nas áreas identificadas e também a variação temporal da pressão de pastejo durante o período de análise não foi avaliada.

Tabela 4. 1. Localização do centro das seis áreas escolhidas para análise.

Áreas	Latitude	Longitude
Área 1	30°09'22" S	52°22'14" W
Área 2	30°09'54" S	52°22'14" W
Área 3	30°04'01" S	52°21'41" W
Área 4	30°04'01" S	52°21'09" W
Área 5	30°04'33" S	52°19'01" W
Área 6	30°05'05" S	52°16'52" W

#### 4.2 Montagem da série temporal com dados meteorológicos

Os dados meteorológicos foram coletados pela estação meteorológica que está instalada na área física da EEA-UFRGS, com observações diárias desde 1970. Os dados de 1970 até 1995 são medições realizadas através de estação meteorológica convencional (BERGAMASCHI, 2003). A partir de 1995 foi instalada uma estação meteorológica

automática (marca Campbell), registrando dados meteorológicos de 15 em 15 minutos (BERGAMASCHI, 2003).

Planilhas com dados diários, médias e totais decendiais e mensais são produzidos pelo Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da UFRGS (Figura 4.1) estando disponíveis dados de radiação solar global, temperatura do ar (mínima, média e máxima), precipitação pluvial, umidade relativa, velocidade do vento, evaporação e evapotranspiração (método de Penman).

ELEMENTOS METEOROLÓGICOS OBSERVADOS NA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL AGRONÔMICA - UFRGS									
Dados oriundos da base física do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia									
JANEIRO - 2003									
DIA	Rs calcm <sup>2</sup> /dia	TEMPERATURA DO AR (°C)			CHUVA mm	UR %	Eo mm	VENTO m/s	ETo mm
		MÉDIA	MAX	MIN					
1	427	24,2	30,1	19,2	0,0	83,4	5,0	1,2	3,8
2	498	23,2	27,7	19,3	0,0	78,8	6,9	2,3	4,7
3	451	23,8	28,9	19,9	1,0	82,6	4,8	2,6	4,3
4	372	25,1	30,3	21,3	0,0	83,6	6,6	1,3	3,4
5	601	24,8	32,6	18,3	0,0	73,9	4,7	0,9	5,5
6	559	24,2	32,3	18,1	0,0	72,7	7,8	1,5	5,3
7	621	22,9	31,7	15,2	0,0	72,1	7,7	1,9	5,8
8	665	23,9	32,2	15,5	0,0	73,3	7,1	1,7	6,3
9	436	25,4	34,3	19,3	2,0	74,0	5,2	1,3	4,2
10	102	21,1	23,2	18,4	14,1	95,5	5,4	1,2	0,7
11	574	22,6	30,7	16,9	1,1	78,0	6,0	0,9	5,0
12	543	23,6	29,8	17,7	0,0	74,8	6,2	1,5	5,1
13	607	24,4	30,3	18,1	0,0	72,2	8,2	1,5	5,8
14	680	25,3	32,3	18,3	0,0	74,1	8,1	1,6	6,4
15	658	25,4	32,6	18,3	0,0	74,7	9,0	2,0	6,4
16	610	24,7	33,2	18,8	0,6	75,8	7,4	1,3	5,7
17	660	25,3	33,9	17,6	0,0	74,5	6,4	1,1	6,1
18	486	24,6	30,0	20,2	0,0	78,8	8,9	2,7	4,8
19	643	25,1	32,9	18,6	22,4	72,5	15,2	2,1	6,3
20	332	23,4	29,5	20,1	0,0	83,9	4,0	1,1	2,9
21	628	24,4	30,0	18,6	0,0	76,3	6,5	1,6	5,8
22	553	25,2	32,0	19,1	16,1	74,8	8,4	1,8	5,4
23	215	22,8	26,0	18,8	7,2	85,3	2,5	1,4	1,9
24	671	20,7	26,5	16,0	0,0	69,1	9,0	1,5	6,0
25	614	21,6	29,9	12,4	0,0	77,3	6,7	1,2	5,4
26	564	24,0	30,8	18,0	0,0	78,4	5,6	1,6	5,2
27	548	25,1	31,3	20,3	0,0	78,8	7,6	1,8	5,2
28	604	24,1	31,0	17,6	0,0	74,2	3,2	1,4	5,6
29	674	23,9	30,9	16,3	0,0	71,2	8,2	1,6	6,4
30	655	25,6	35,3	16,4	0,0	64,1	6,5	0,8	6,2
31	652	27,6	36,6	19,3	0,0	67,4	9,3	0,9	6,3
DEC 1	473	23,9	30,3	18,5	17,1	79,0	61,2	1,6	44,1
DEC 2	579	24,4	31,5	18,5	24,1	75,9	79,3	1,6	54,5
DEC 3	580	24,1	30,9	17,5	23,3	74,3	73,4	1,4	59,4
MED/TOT	544	24,1	30,9	18,1	64,5	76,4	213,9	1,5	158,1

RS - Radiação solar global ( actinógrafo ) - (Cal/cm2.dia)  
 Temperatura do ar em um abrigo meteor. - média ponderada  
 UR - Umidade relativa ( psicrômetro ) abr. met. - média ponderada  
 Eo - Evaporação do tanque "classe A"  
 Vento - velocidade média a 2 m acima do solo ( anemômetro totalizador)  
 ETo - Evapotranspiração calculada pelo método de Penman

Figura 4. 1. Exemplo de planilha com dados para o mês de janeiro de 2003.

Para analisar o clima da Depressão Central, foram utilizados os dados mensais de temperatura do ar (mínima, média e máxima), precipitação pluvial acumulada e evapotranspiração acumulada para o período de 1970-2011, totalizando cinco séries temporais. Para a montagem das séries temporais, os dados mensais foram organizados em uma planilha eletrônica no Microsoft Office Excel 2010.

### 4.3 Montagem da série temporal com dados sensoriamento remoto orbital

Foram utilizados dados do satélite SPOT4 e SPOT5, sendo utilizado os instrumentos Vegetation 1 e 2, respectivamente. Esses dados são contínuos desde abril de 1998, possuindo resolução espacial de 1000 metros e largura da faixa imageada de 2250 km.

Foram utilizadas as bandas do vermelho, infravermelho próximo, infravermelho médio e também dados de NDVI, totalizando quatro séries temporais. O produto que foi utilizado neste trabalho é o VGT-S 10, na qual consiste em uma síntese de 10 dias baseado no critério de máximo valor. Os dados do sensor Vegetation foram adquiridos no endereço eletrônico <http://free.vgt.vito.be/>.

Os dados adquiridos do sensor Vegetation são disponibilizados em formato RAR (Roshal ARchive) e foram descompactados utilizando o aplicativo VGTEExtract versão 1.4.1 (JACOBS et al., 2010). Esse aplicativo foi utilizado porque permite descompactar um conjunto de imagens de forma automática, podendo ser modificado o formato do arquivo e delimitada a área de interesse do usuário. As imagens foram convertidas do formato HDF para o formato nativo do aplicativo ENVI e a área de interesse delimitada foram os limites territoriais do Brasil.

Utilizando o aplicativo Envi, versão 4.5, a função *Region of Interest* foi utilizada, pois permite delimitar áreas na imagem para a extração dos valores (ENVI, 2004). As seis áreas de campo nativo foram delimitadas como ponto, onde foi realizada a extração dos dados de reflectância das bandas do vermelho, infravermelho próximo, infravermelho médio e dos valores de NDVI para o período de 04/1998 até 12/2011. Esses dados foram exportados para uma planilha eletrônica no Microsoft Office Excel 2010.

Como algumas datas não estavam disponíveis para compor a série temporal quando os dados foram adquiridos (B2\_20110501; B3\_20090711; MIR\_20040201; MIR\_20100911; NVDI\_20081121), foi realizada a média do valor anterior e posterior para esses decêndios faltantes.

Como os valores extraídos não possuem amplitude dos valores de reflectância e NDVI, a conversão dos valores foi realizada conforme a equação indicada por Vegetation (2012):

$$\rho = 0,0005 \times \text{valor extraído} \quad (\text{Eq. 2})$$

Para o NDVI, foi utilizada a equação (VEGETATION, 2012):

$$NDVI = (0,004 \times \text{valor extraído}) - 0,1 \quad (\text{Eq. 3})$$

Posteriormente, foi realizado o cálculo de média dos valores de reflectância das bandas e dos valores de NDVI nas seis áreas de vegetação campestre, compondo as séries temporais para serem avaliadas. As etapas da construção dessas séries temporais podem ser visualizadas na Figura 4.2.

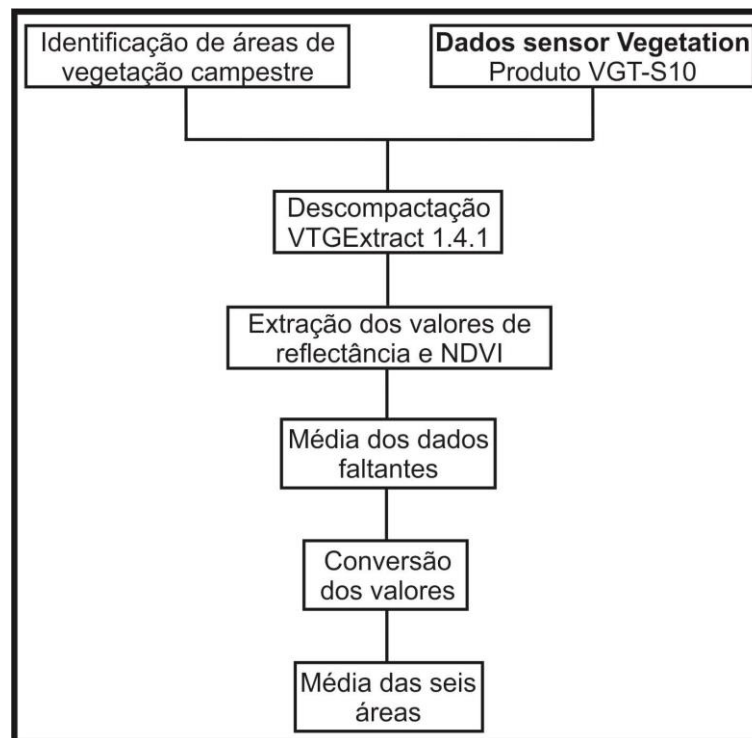


Figura 4. 2. Etapas da composição das séries temporais.

#### 4.4 Análises estatísticas

Foi realizada uma análise gráfica com transcurso anual dos dados médios mensais da temperatura média, precipitação pluvial acumulada e evapotranspiração acumulada para o período de 1970-2011 com o objetivo de compreender o comportamento médio mensal dos elementos do clima. Para as séries temporais dos dados meteorológicos, foram realizadas as estatísticas descritivas e a análise de tendências dos dados mensais de 01/1970 até 12/2011. Nas séries temporais dos dados de sensoriamento remoto orbital, também foram realizadas as estatísticas descritivas e a análise de tendência dos dados decenais de 04/1998 até 12/2011.

Para realizar a análise de tendência dos dois conjuntos de dados, foi realizado um ajuste de regressão linear pelo método dos mínimos quadrados. A variável independente



selecionada foi o tempo (meses ou decênios) e a variável dependente foi a série temporal analisada.

A significância da tendência linear foi testada através da ANOVA (Análise de Variância) para indicar se o modelo linear gerado possui grau de previsão significativa (FIELD, 2009). A significância utilizada foi de  $\alpha=5\%$  para as séries temporais com dados meteorológicos e  $\alpha=10\%$  para as séries temporais com dados de sensoriamento remoto orbital. Os 10% de significância foram utilizados em virtude da grande heterogeneidade das espécies nas áreas do bioma Pampa baseados no trabalho de Fonseca et al. (2007).

Para os modelos que foram significativos pela ANOVA, o teste t de Student foi utilizado para testar se a hipótese do valor do coeficiente angular é zero ou diferente de zero (FIELD, 2009). Os mesmos valores de  $\alpha$  realizados na ANOVA foram utilizados no teste t. As análises estatísticas desse trabalho foram realizadas no aplicativo SPSS 18.0.

Considerando que a vegetação no bioma Pampa interrompe o crescimento de espécies  $C_4$  no final do outono e no inverno (FONSECA; SILVEIRA; SALOMONI, 2006; MACHADO, 1999) associada as variações da temperatura do ar e ocorrência de geadas, também foram analisadas as estatísticas descritivas e análises de tendências para as estações quente (setembro – abril) e fria (maio a agosto) para os dados meteorológicos. Para os dados de sensoriamento remoto orbital, as análises de tendências para a estação quente e estação fria também foram realizadas.

#### **4.4.1 Análises de Correlação**

Análises de correlação foram realizadas com um decênio de defasagem entre os dados meteorológicos e os dados de sensoriamento remoto orbital. A defasagem foi baseada nos trabalhos de Libos et al (2009) e Fontana, Almeida e Jacóbsen (2007), que mostraram maiores valores do coeficiente de correlação com defasagem mensal. Os dados meteorológicos utilizados foram os dados de periodicidade decenal, diferindo dos dados mensais utilizados nas análises de tendências. Foram utilizados os dados de temperatura do ar (mínima, média e máxima), precipitação pluvial acumulada e evapotranspiração acumulada para o período de 04/1998 até 12/2011. Para os dados de sensoriamento remoto orbital, foram utilizadas as bandas azul, vermelho, infravermelho próximo, infravermelho médio e dos valores de NDVI do produto VGT- S10 para o período de 04/1998 até 12/2011.

#### **4.5 Dados de Produção de Matéria Seca por Oferta de Forragem**

A Produção de Matéria Seca (PMS) foi estimada utilizando gaiolas de exclusão de pastejo de 1,5 m<sup>2</sup> por unidade experimental, utilizando a técnica do triplo emparelhamento (MORAES et al.,1991). Foram obtidos cortes rente ao solo em uma área de 0,25 m<sup>2</sup> dentro da gaiola e em uma área próxima da gaiola, possuindo a mesma quantidade de matéria seca e composição botânica semelhante.

Depois de cortada, a forragem de cada quadrado foi recolhida em sacos de papel e secada em estufas à temperatura de 65°C por um período de 72 horas para ser pesada em balanças de precisão. A PMS foi estimada pela diferença de forragem dentro da gaiola pela forragem fora da gaiola para um determinado tempo entre a realização dos cortes. Quatro gaiolas foram utilizadas para cada unidade experimental, sendo a PMS de cada unidade experimental a média das diferenças de forragem das quatro gaiolas. Posteriormente, para determinar a PMS por OF, foi realizado o cálculo da média das duas unidades experimentais.

Os dados de PMS por OF utilizados nesse trabalho são do período de 25/10/2000 até 27/07/2011. Apesar disso, esses dados não são contínuos. A periodicidade de PMS é variável, mas buscou-se manter o intervalo de 28 dias. A partir da data de 25/10/2000, todos os períodos de avaliações realizadas foram utilizados nesse trabalho e podem ser visualizados no Apêndice B. As avaliações de PMS foram realizadas por Trindade (2011), Santos (2007), Aguinaga (2004); Pinto (2003) e Soares (2002).

#### **4.6 Comportamento médio dos dados mensais de PMS por OF e decendiais de NDVI**

Gráficos com os dados mensais de PMS por OF foram realizadas para avaliar o comportamento médio e dispersão dos dados de escala local. Como esses dados possuem periodicidade variável e não possuem intervalo exato no início e fim do mês, a PMS foi considerada no mês em que foi realizado o corte da vegetação de dentro da gaiola de exclusão. Para os dados de escala regional, gráficos com os dados decendiais do NDVI foram realizados também para avaliar o comportamento médio e dispersão.

#### **4.7 Comparação dos dados mensais de PMS por OF e do NDVI**

Para realizar a comparação dos dados de PMS por OF e do NDVI, gráficos e análises de correlação foram realizadas. Foram comparados os valores médios mensais dos dados de escala local e regional. Para isso, foi realizada a média de cada mês com dados de NDVI para

o período de 04/1998 até 12/2011, sendo um mês a média de três decênios. Assim, os dados de NDVI se ajustaram com a mesma periodicidade aos dados de PMS por OF. O NDVI foi comparado com cada OF, com sete coeficientes de correlação gerados.

## CAPÍTULO 5

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 5.1 Análise do Clima

A Figura 5.1 apresenta o comportamento médio da temperatura média mensal do ar, precipitação mensal acumulada e evapotranspiração acumulada para o período 1970-2011. Observa-se que os meses de janeiro e julho registraram as maiores e menores temperaturas, respectivamente, como mostrado para todo o RS em outros trabalhos (CAVALCANTI et al., 2009; NIMER, 1979). O regime de precipitação pluvial na área de estudo apresentou distribuição regular entre as quatro estações do ano, sendo resultado semelhante ao encontrado por Viana, Ferreira e Conforte (2009). Apesar disso, os meses de junho e julho foram os com maiores registros, diferindo dos resultados de Fontana, Almeida e Jacóbsen (2007), que apresentam maior registro para os meses de agosto e setembro para o período 1961-1990 na Depressão Central. Para a evapotranspiração acumulada, o maior valor médio registrado foi no mês de dezembro e o menor valor em junho.

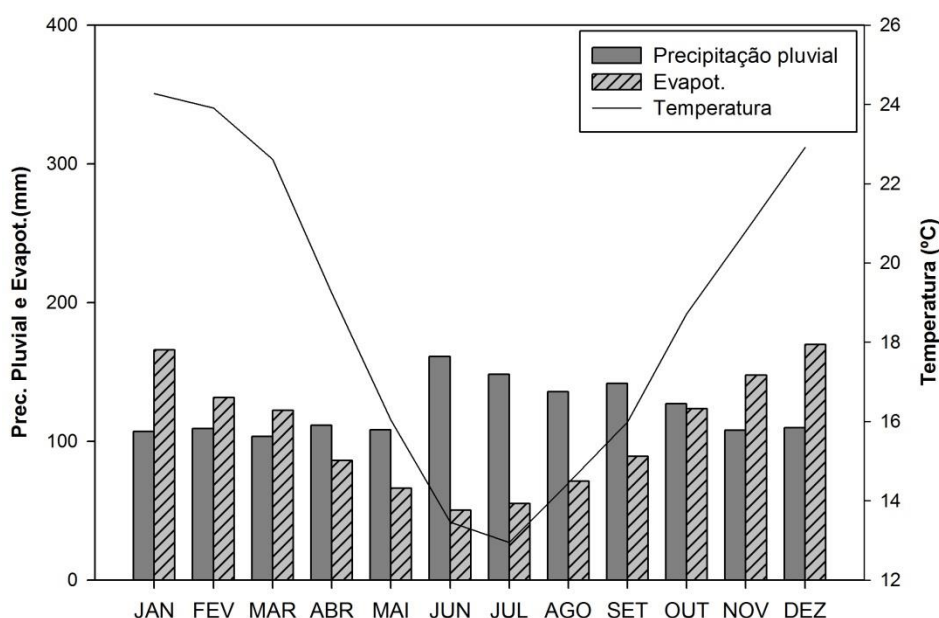


Figura 5. 1. Comportamento médio mensal para temperatura média mensal do ar, precipitação mensal acumulada e evapotranspiração acumulada para o período 1970-2011.

As Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3 apresentam as estatísticas descritivas dos elementos do clima para todo o período, estação quente e estação fria, respectivamente. Na Tabela 5.1, a temperatura média mensal média do ar possui média similar a normal climatológica de 18,8°C para o período 1961-1990 encontrada por Viana; Matzenauer e Aquino (2006). Comparando as Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3, observou-se que a maior amplitude registrada para as temperaturas do ar ocorreu na temperatura mínima nos três períodos avaliados. A estação fria possui os menores valores do desvio padrão das temperaturas do ar para os três períodos, mostrando menor variabilidade.

Tabela 5. 1. Estatísticas descritivas das médias mensais de temperaturas mínima, média e máxima do ar, precipitação pluvial mensal acumulada e evapotranspiração mensal acumulada.

	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Amplitude</b>
<b>Temperatura Mínima (°C)</b>	13,87	4,19	3,78 (07/2000)	22,71 (01/1988)	18,93
<b>Temperatura Média (°C)</b>	18,78	4,18	9,78 (07/2000)	26,18 (02/1970)	16,4
<b>Temperatura Máxima (°C)</b>	24,53	4,29	16,03 (07/2000)	32,11 (01/2005)	16,08
<b>Precipitação Pluvial Acumulada (mm)</b>	122,6	70,36	1,4 (01/1982)	406,07 (11/2009)	404,67
<b>Evapotranspiração Acumulada (mm)</b>	106,19	46,62	27,99 (07/2011)	276,87 (01/1982)	248,88

Tabela 5. 2. Estatísticas descritivas das médias mensais de temperaturas mínima, média e máxima do ar, precipitação pluvial mensal acumulada e evapotranspiração mensal acumulada para a estação quente.

	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Amplitude</b>
<b>Temperatura Mínima (°C)</b>	16,05	3,010	8,63 (09/2003)	22,71 (01/1988)	14,08
<b>Temperatura Média (°C)</b>	21,06	2,889	13,94 (10/1980)	26,18 (02/1970)	12,24
<b>Temperatura Máxima (°C)</b>	26,86	3,049	18,38 (10/1993)	32,11 (01/2005)	12,73
<b>Precipitação Pluvial Acumulada (mm)</b>	114,74	66,74	1,4 (01/1982)	406,07 (11/2009)	404,67
<b>Evapotranspiração Acumulada (mm)</b>	129,68	38,64	54,80 (04/1990)	276,87 (01/1982)	222,07

Tabela 5. 3. Estatísticas descritivas das médias mensais de temperaturas mínima, média e máxima do ar, precipitação pluvial mensal acumulada e evapotranspiração mensal acumulada para a estação fria.

	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Amplitude</b>
<b>Temperatura Mínima (°C)</b>	9,48	2,42	3,78 (07/2000)	18,30 (05/1993)	14,52
<b>Temperatura Média (°C)</b>	14,22	2,14	9,78 (07/2000)	22,88 (05/1993)	13,1
<b>Temperatura Máxima (°C)</b>	19,90	2,08	16,03 (07/2000)	28,4 (05/1993)	12,39
<b>Precipitação Pluvial Acumulada (mm)</b>	138,32	74,86	8,04 (05/1996)	365,10 (05/1984)	357,06
<b>Evapotranspiração Acumulada (mm)</b>	59,07	14,42	27,99 (07/2011)	107,97 (08/1981)	79,98

A precipitação pluvial acumulada apresentou maior média e desvio padrão na estação fria do que na estação quente. Comparando a evapotranspiração mensal acumulada para a estação quente e fria, observa-se que a estação quente apresentou maior desvio padrão e amplitude do que a estação fria.

### 5.1.1 Análise de tendências

A Figura 5.2 e Tabela 5.4 apresentam as tendências das séries temporais dos elementos do clima. Para a temperatura média mensal mínima do ar, o modelo linear gerado foi significativo a 95% de probabilidade, com coeficiente de inclinação de -0,0029. A tendência de diminuição dessa área representa -1,46 °C para o período 1970-2011, sendo um diferente das tendências encontradas em outros trabalhos que analisaram estações no Rio Grande do Sul, que apontam tendência de aumento da temperatura mínima do ar (CORDEIRO, 2010; BERLATO; ALTHAUS, 2010; SANSIGOLO; KAYANO, 2010; COSTA; MARQUES, 2010; MARENGO; CAMARGO, 2008; SILVEIRA; GAN, 2006). Uma das prováveis causas para essa estação não ter registrado aumento é a localização da área, que não apresentou mudanças no uso e cobertura do solo no seu entorno.

Tabela 5. 4. Equação e nível de significância da ANOVA e do teste t realizado para os dados meteorológicos.

	<b>Equação</b>	<b>Nível de significância</b>
<b>Temp. Mínima</b>	$y = -0,0029x + 14,597$	0,022
<b>Temp. Média</b>	$y = -0,0012x + 19,072$	0,347
<b>Temp. Máxima</b>	$y = +0,0006x + 24,379$	0,678
<b>Prec. Pluvial</b>	$y = +0,0634x + 106,34$	0,003
<b>Evapotranspiração</b>	$y = -0,0739x + 124,93$	0,0001

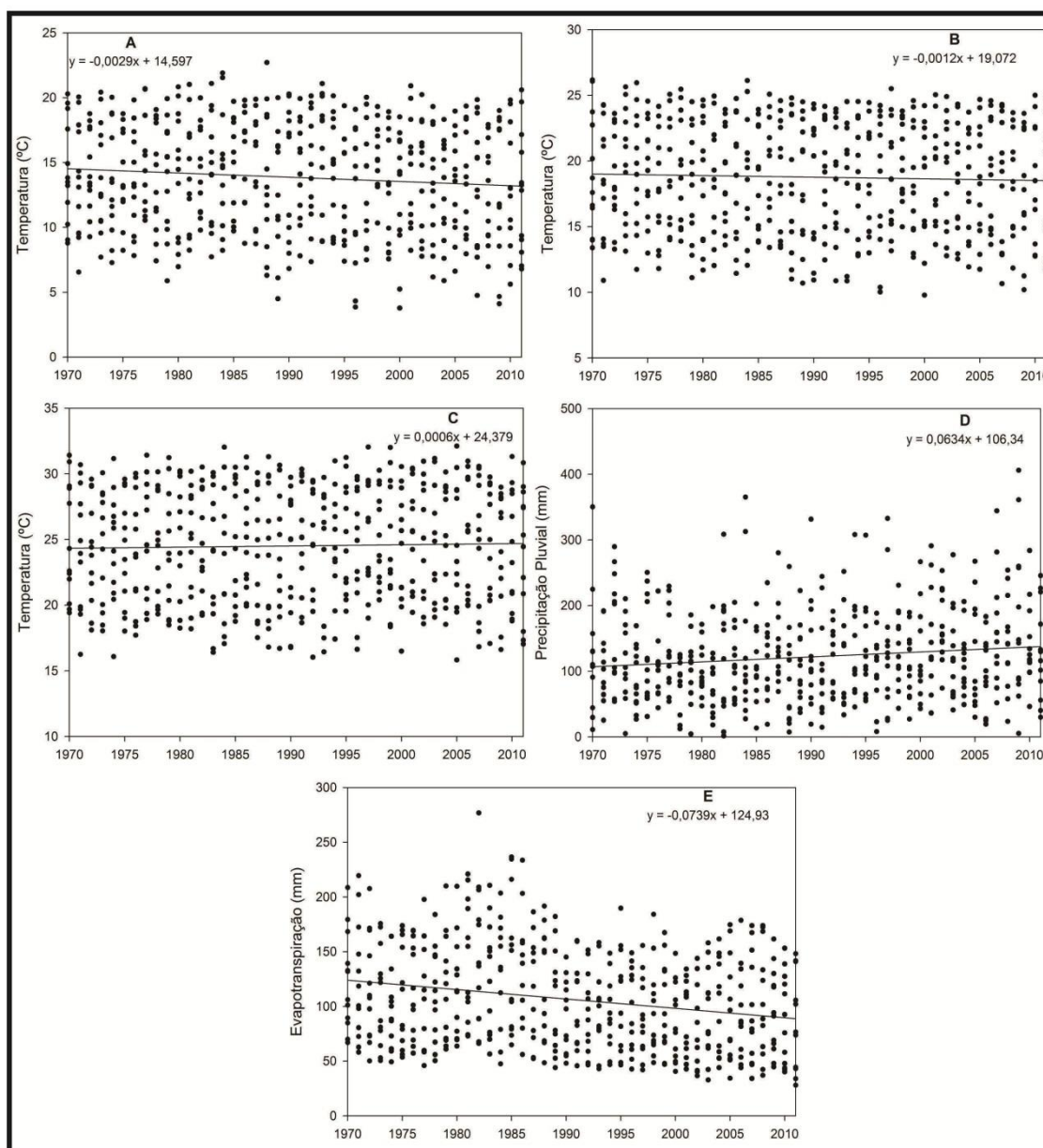


Figura 5. 2. Tendência da série temporal para as variáveis meteorológicas: A – Temperatura mínima do ar. B – Temperatura média do ar. C - Temperatura máxima do ar. D – Precipitação pluvial acumulada. E – Evapotranspiração acumulada.

Para a temperatura média mensal do ar, o modelo linear não foi significativo a 95% de probabilidade pela ANOVA e teste t. Assim, a temperatura média mostrou estabilidade para esse período, sendo um resultado diferente ao resultado apresentado por Cordeiro (2010), que aponta tendência de aumento da temperatura média para o Rio Grande do Sul.

A tendência da série temporal da temperatura média mensal máxima do ar não foi significativa a 95% de probabilidade. A estabilidade dessa série temporal difere do resultado de Cordeiro (2010) para o Rio Grande do Sul, que mostra uma tendência de aumento da temperatura máxima para 1950-2009. O resultado desse trabalho também difere do encontrado por Marengo e Camargo (2008), que mostram tendência de aumento da temperatura máxima do ar para a região Sul do Brasil.

Para a precipitação pluvial acumulada, observou-se tendência linear positiva, com o coeficiente angular sendo +0,0634. O modelo mostrou significância a 95% de probabilidade, indicando haver um incremento de 31,95 mm durante 1970-2011. O resultado para essa estação meteorológica é semelhante aos resultados encontrados para o Rio Grande do Sul, indicando aumento de precipitação pluvial no estado (CORDEIRO, 2010; BARROS; DOYLE; CAMILLONI, 2008; BERLATO et al., 2007; HAYLOCK et al., 2006).

A tendência linear dos dados da evapotranspiração mensal acumulada foi significativa a 95% de probabilidade, com o coeficiente angular sendo de -0,0739, representando redução de -37,2 mm durante 1970-2011. Tendência negativa para a evapotranspiração também foi encontrada para o Rio Grande do Sul por Cordeiro (2010), que também aponta tendência negativa dos valores de radiação solar global, sendo um dos elementos considerados para o cálculo da evapotranspiração. A tendência negativa da radiação solar global foi consequência do aumento de nebulosidade no RS, que apresentou aumento anual e para todas as estações do ano para o período de 1960-2005 segundo os resultados obtidos por Custódio, Berlato e Fontana (2009).

## **5.1.2 Estação Quente**

### **5.1.2.1 Análise da Tendência**

A Tabela 5.5 e Figura 5.3 apresentam as tendências das séries temporais dos elementos do clima para a estação quente. O modelo linear gerado não foi significativo para as séries temporais de temperaturas médias mensais mínima, média e máxima do ar, apresentando estabilidade para a estação quente. Para a temperatura mínima e média do ar, resultados diferentes foram apresentados por Cordeiro (2010) no Rio Grande do Sul, na qual



apontou para tendência de aumento nas estações da primavera, verão e outono. Para a temperatura máxima do ar, as estações de primavera e outono apresentaram tendência de aumento e para o verão foi registrada estabilidade.

Tabela 5. 5. Equação e nível de significância da ANOVA e do teste t realizado para os dados meteorológicos na estação quente.

	<b>Equação</b>	<b>Nível de significância</b>
<b>Temp. Mínima</b>	$y = -0,0031x + 16,753$	0,066
<b>Temp. Média</b>	$y = -0,0013x + 21,284$	0,42
<b>Temp. Máxima</b>	$y = +0,0011x + 26,671$	0,516
<b>Prec. Pluvial</b>	$y = +0,135x + 91,99$	0,0001
<b>Evapotranspiração</b>	$y = -0,1255x + 150,92$	0,0001

Para a precipitação pluvial mensal acumulada, foi encontrada tendência positiva de 45,36 mm entre 1970-2011, sendo significativa a 95% de probabilidade. Para o Rio Grande do Sul, Cordeiro (2010) verificou tendência de aumento na primavera e outono, tendo a estação de verão estabilidade. Tendência negativa foi encontrada para a evapotranspiração mensal acumulada, representando redução de 42,1 mm entre 1970-2011 para a estação quente. Resultado similar para o Rio Grande do Sul também foi verificado por Cordeiro (2010), na qual apontou para tendência de redução da evapotranspiração no período do verão e primavera. Dessa forma, para a estação quente apontou maior ocorrência da precipitação pluvial e diminuição da evapotranspiração, enquanto que as temperaturas do ar possuem estabilidade.

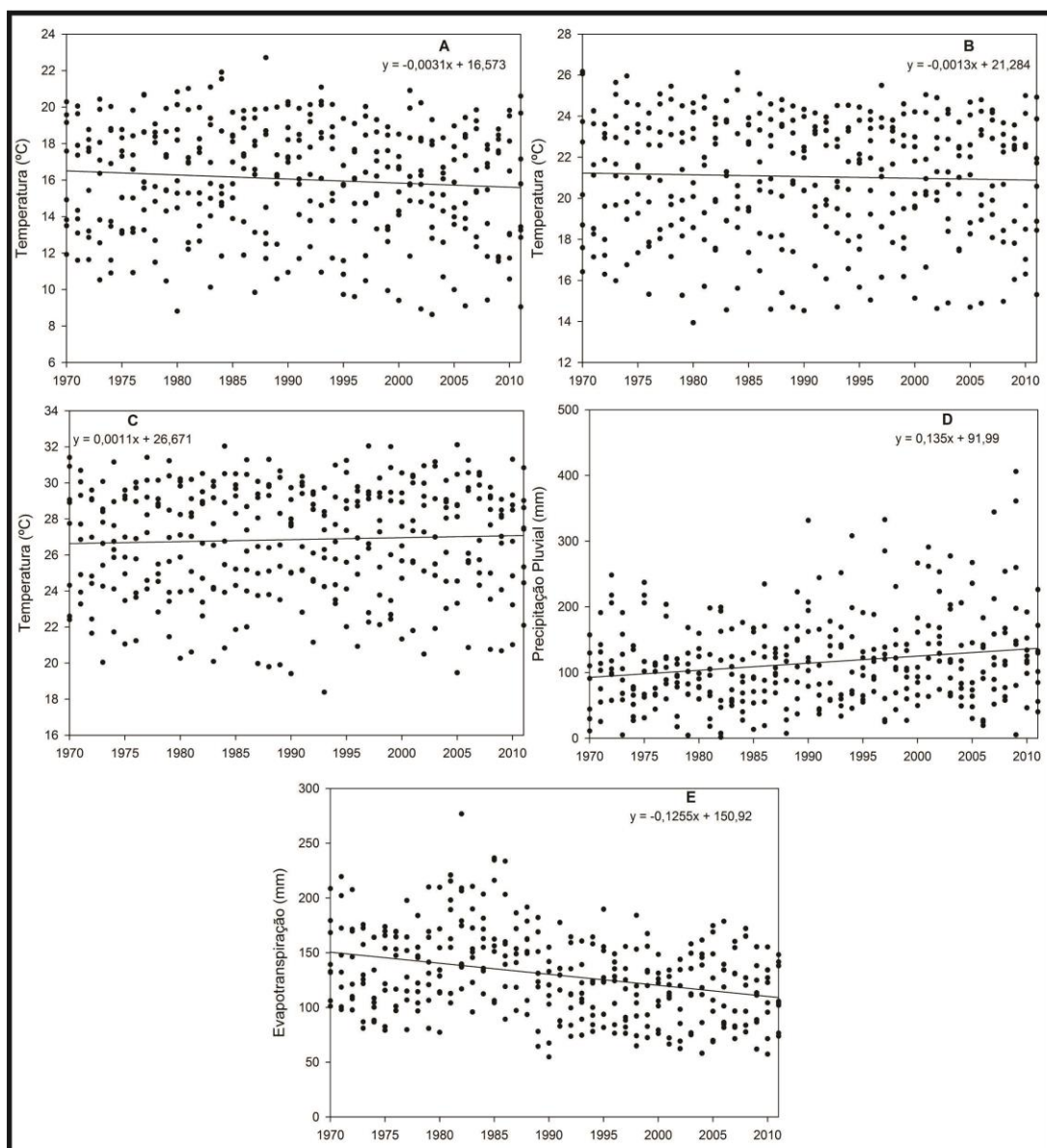


Figura 5. 3. Tendência da série temporal para a estação quente para as variáveis meteorológicas: A – Temperatura mínima do ar. B – Temperatura média do ar. C – Temperatura máxima do ar. D – Precipitação pluvial acumulada. E – Evapotranspiração acumulada.

### 5.1.3 Estação Fria

#### 5.1.3.1 Análise da Tendência

A Tabela 5.6 e Figura 5.4 apresentam as tendências das séries temporais dos elementos do clima para a estação fria. Para a temperatura média mensal mínima do ar, tendência negativa de  $-2,08\text{ }^{\circ}\text{C}$  foi encontrada entre 1970-2011, com coeficiente angular de  $-0,0124$ . Resultado diferente foi encontrado por Cordeiro (2010), que aponta para a estabilidade da temperatura mínima do ar no inverno para todo o Rio Grande do Sul. Para as temperaturas médias mensais média e máxima do ar, o modelo não foi significativo a 95% de

probabilidade, com essas séries apresentando estabilidade. Estabilidade semelhante foi documentada por Cordeiro (2010) para a temperatura média e máxima do ar no Rio Grande do Sul na estação do inverno.

Tabela 5. 6. Equação e nível de significância da ANOVA e do teste t realizado para os dados meteorológicos na estação fria.

	<b>Equação</b>	<b>Nível de significância</b>
<b>Temp. Mínima</b>	$y = -0,0124x + 10,527$	0,001
<b>Temp. Média</b>	$y = -0,004x + 14,551$	0,245
<b>Temp. Máxima</b>	$y = +0,0017x + 19,75$	0,6
<b>Prec. Pluvial</b>	$y = +0,0459x + 134,44$	0,7
<b>Evapotranspiração</b>	$y = -0,166x + 73,142$	0,0001

Para a precipitação pluvial mensal acumulada, o modelo não foi significativo pelos testes estatísticos, sendo resultado semelhante ao verificado por Cordeiro (2010) para o inverno. Esse resultado difere da tendência de aumento para todo o conjunto de dados e estação quente. Como essa série apresenta estabilidade, a tendência de aumento da precipitação pluvial registrada para todo o conjunto de dados é função da tendência de aumento da estação quente.

Da mesma forma que para a estação quente e para todo o conjunto de dados, tendência negativa de 27,8°C foi verificada para a evapotranspiração mensal acumulada entre 1970-2011, com coeficiente angular de -0,166. Tendência negativa da evapotranspiração para o inverno também foi verificada por Cordeiro (2010) no Rio Grande do Sul. Dessa forma, para a estação fria foi registrada tendência negativa da temperatura mínima do ar e da evapotranspiração. Para as séries de temperatura média do ar, temperatura máxima do ar e precipitação pluvial foi verificada estabilidade.

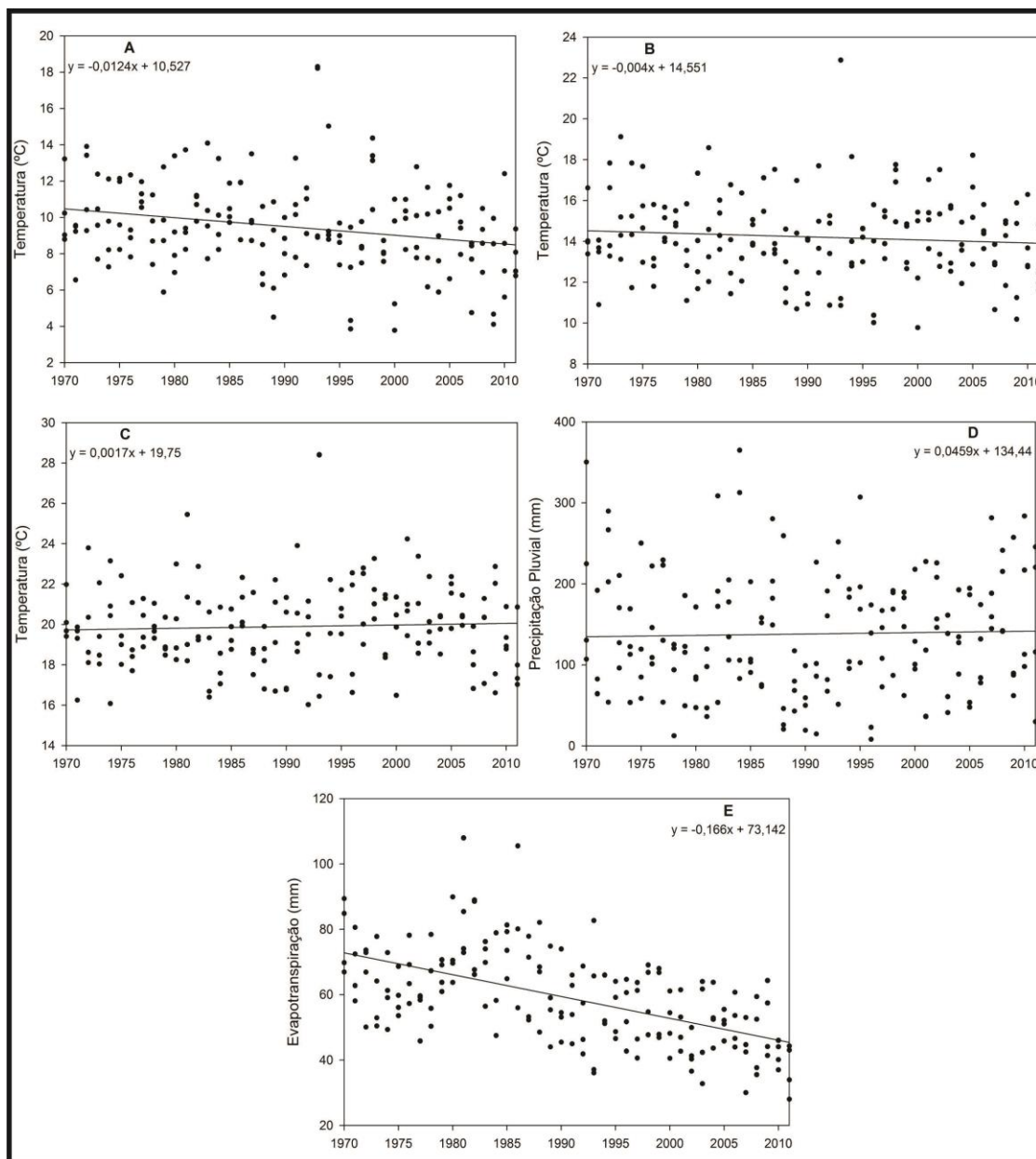


Figura 5. 4. Tendência da série temporal para a estação fria para as variáveis meteorológicas: A – Temperatura mínima do ar. B – Temperatura média do ar. C - Temperatura máxima do ar. D – Precipitação pluvial acumulada. E – Evapotranspiração acumulada.

## 5.2 Análise de áreas de vegetação campestre com dados do sensor Vegetation

### 5.2.1 Estatísticas Descritivas

A Tabela 5.7 apresenta a média, desvio padrão, mínimo, máximo e amplitude dos dados decendiais do sensor Vegetation. Para a banda do vermelho, os valores de reflectância tiveram média de 0,056. Os resultados encontrados por Trentim (2011) com o sensor MODIS mostram valores de reflectância similares, porém diferem nos valores máximos encontrados.

Em alguns anos, os valores de reflectância do sensor MODIS chegam a 0,12. Para o produto VGT-S10, observa-se que o valor de reflectância máximo foi de 0,109.

Tabela 5. 7. Estatísticas descritivas dos dados decendiais do sensor Vegetation produto VGT-S10.

	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Amplitude</b>
<b>Vermelho (B2)</b>	0,056	0,012	0,035	0,109	0,074
<b>Infravermelho Próximo (B3)</b>	0,257	0,036	0,189	0,372	0,183
<b>Infravermelho Médio (MIR)</b>	0,227	0,026	0,184	0,340	0,156
<b>NDVI</b>	0,635	0,071	0,415	0,792	0,377

Para a banda do vermelho, os valores de reflectância tiveram média de 0,056. Os resultados encontrados por Trentim (2011) com o sensor MODIS mostram valores de reflectância similares, porém diferem nos valores máximos encontrados. Em alguns anos, os valores de reflectância do sensor MODIS chegam a 0,12. Para o produto VGT-S10, observa-se que o valor de reflectância máximo foi de 0,109.

Para a banda do infravermelho próximo, os valores de reflectância tiveram média de 0,257. Uma maior reflectância no infravermelho próximo do que no visível é esperada pela grande espalhamento interno da radiação que ocorre na folha pela presença do mesófilo (PONZONI e SHIMABUKURO, 2010). Comparando com os dados MODIS do trabalho de Trentin (2011), observa-se que os valores de reflectância são semelhantes, mas possuem variação nos valores mínimos encontrados. Para o sensor MODIS, o intervalo de variação não é inferior a 0,220, enquanto que para o produto VGT-S10 possui valor mínimo de 0,189.

A média da reflectância da banda do infravermelho médio é de 0,227. Comparando com o trabalho de Trentin (2011), observa-se que os valores do sensor MODIS são inferiores, estando entre 0,09 a 0,18. A razão para essa ocorrência é a diferença de intervalo espectral das bandas do infravermelho médio entre esses sensores. Para o sensor Vegetation, a banda do infravermelho médio se localiza entre 1.580 - 1.750  $\mu\text{m}$ , enquanto que para o sensor MODIS o intervalo da banda do infravermelho médio é de 2.105-2.155  $\mu\text{m}$ , onde os valores de reflectância esperados para a vegetação são menores.

Para o NVDI, a média para o período analisado é de 0,635. O NDVI apresentou o maior desvio padrão dos dados do produto VGT-S10, com valor de 0,071. A amplitude dos

valores é semelhante aos encontrados com o sensor MODIS por Bisso et al. (2009) e Wagner et al. (2011) na Depressão Central. Comparando esses valores com o sensor AVHRR, Jacobsen; Fontana e Shimabukuro (2003) apresentam valores de NDVI menores, variando entre 0,45 e 0,60. Uma possível razão para essa diferença é porque esses autores apresentam apenas as médias para os anos de 1981 a 2000 para grandes áreas de campo nativo. Dessa forma, a média de várias áreas de campo nativo pode ter suavizado a amplitude dos valores de NDVI.

### 5.2.1 Análise de Tendência

A Tabela 5.8 e a Figura 5.5 apresentam as tendências das séries temporais dos dados de sensoriamento remoto orbital nas áreas de vegetação campestre natural. Tendência negativa foi encontrada na série temporal da banda do vermelho com significância estatística a 90%, tendo o coeficiente angular valor de -0,00001, representando uma redução de -0,0049 no valor de reflectância durante 04/98 até 12/2011. Esse resultado indica menor ocorrência de estresse foliar nos dosséis avaliados, devido a maior sensibilidade nessa faixa do espectro eletromagnético (CARTER, 1993).

Tabela 5. 8. Equação e nível de significância da ANOVA e do teste t realizado para os dados do produto VGT-S10.

	<b>Equação</b>	<b>Nível de significância</b>
<b>Vermelho</b>	$y = -0,00001x + 0,058$	0,079
<b>Infravermelho Próximo</b>	$y = -0,0000055x + 0,27$	0,624
<b>Infravermelho Médio</b>	$y = -0,000025x + 0,23$	0,002
<b>NDVI</b>	$y = 0,000022x + 0,63$	0,334

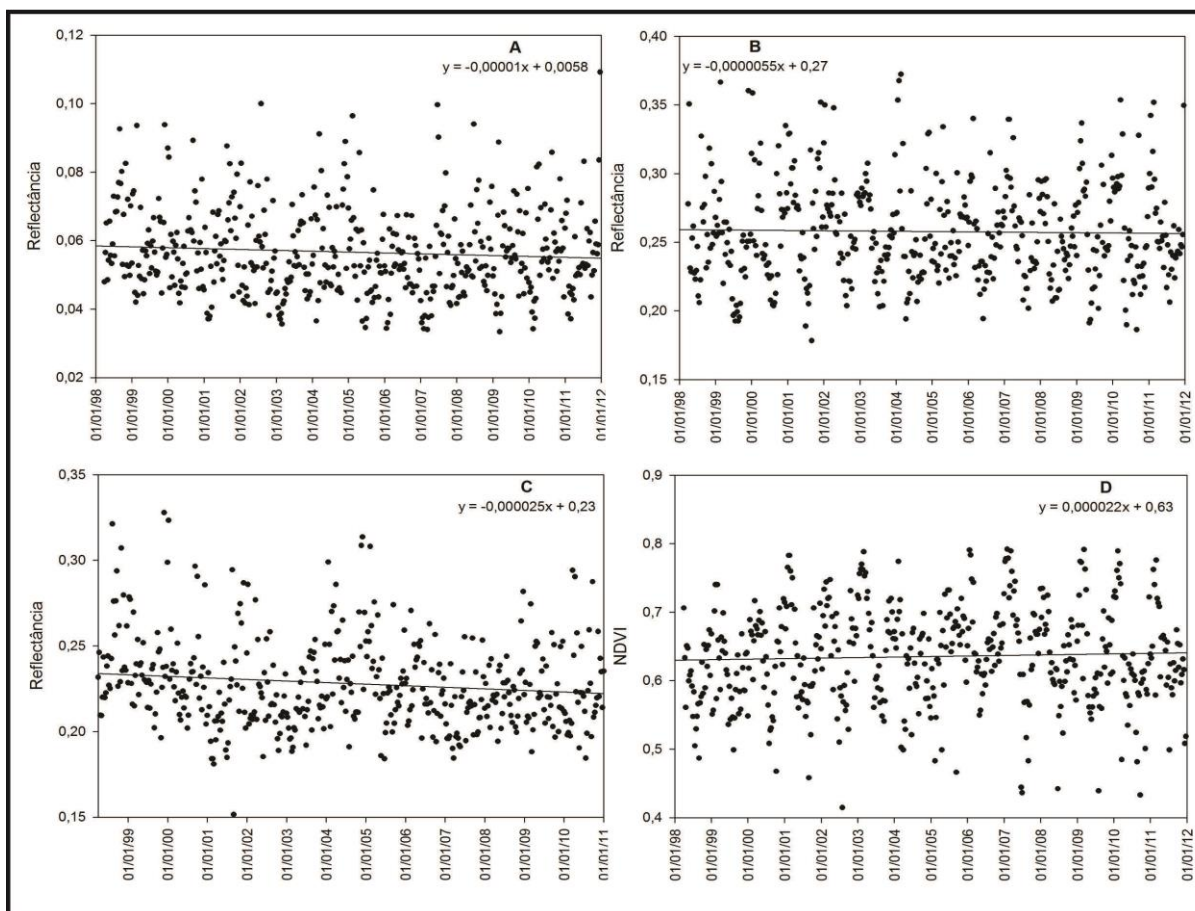


Figura 5. 5. Tendência da série temporal para os dados espectrais: A – Banda do vermelho. B – Banda do infravermelho próximo. C - Banda do infravermelho médio. D – NDVI.

A tendência da banda do infravermelho próximo não apresentou significância estatística a 90% de confiança, com essa série mostrando estabilidade para o período analisado. Como a banda do infravermelho próximo possui relação direta da reflectância com a biomassa de um dossel (JENSEN, 2009), observa-se que não houve mudança significativa durante o período de 04/1998 a 12/2011.

Na série temporal da banda do infravermelho médio, o modelo apresentou tendência negativa. O valor do coeficiente angular foi de -0,000025, representado redução de -0,012 nos valores de reflectância para o período de 04/1998 a 12/2011, sendo significativo a 90% de confiança pelo teste t. Como a reflectância nessa banda diminui com a quantidade água presente no dossel, a tendência negativa apresentada mostra maior a turgidez das folhas nas áreas avaliadas.

A série temporal no NDVI não apresentou tendência significativa a 90% de probabilidade. Como o NDVI está correlacionado com as propriedades biofísicas da cobertura vegetal, IAF e biomassa (JIANG et al., 2006), observa-se que não houve mudança

significativa desses parâmetros durante o período de 04/1998 a 12/2011. A tendência do NDVI nesse trabalho é diferente da verificada por Wagner et al. (2011) com o sensor MODIS para o período de 2000 a 2009 na Depressão Central, que apresenta uma tendência negativa de -0,000011. Uma possível razão para essa diferença seria pelas distintas resoluções de cada sensor ou pelas diferentes áreas de campo nativo analisadas em cada trabalho, que podem ter apresentado diferente crescimento em função das condições meteorológicas. Outra possível causa seria a diferença dos anos analisados, enquanto o trabalho de Wagner et al. (2011) analisou o período 2000 a 2009, este trabalho analisou o período de abril de 1998 até dezembro de 2011.

Em outros trabalhos que analisaram o NDVI em grandes escalas, Fensholt e Proud (2012) apontam para diminuição de biomassa durante o período de 2000-2010 com a série de dados NDVI do sensor MODIS no nordeste da Argentina, Paraguai, Uruguai e oeste do Rio Grande do Sul, porém a área central do Rio Grande do Sul apresentou estabilidade na série de NDVI. Resultado semelhante foi apresentado por Zhao e Running (2010) com a série de dados do sensor MODIS para o período de 2000-2009. O resultado desse trabalho confirma a estabilidade de biomassa na área central do Rio Grande do Sul, porém com a série de dados do sensor Vegetation para o período 04/1998-12/2011.

### 5.2.2 Análise de Tendência da Estação Quente

A Tabela 5.9 e Figura 5.6 apresentam as tendências da série da reflectância das bandas e dos valores de NDVI para a estação quente. Para a banda do vermelho, o coeficiente angular foi significativo, com essa série apresentando tendência de diminuição de -0,0062 dos valores de reflectância entre o período de 04/1998 a 12/2011. Tendência negativa também foi verificada para a banda do vermelho quando analisado todo o conjunto de dados.

Tabela 5. 9. Equação e nível de significância da ANOVA e do teste t realizado para os dados do produto VGT-S10 na estação quente.

	<b>Equação</b>	<b>Nível de significância</b>
<b>Vermelho</b>	$y = -0,000019x + 0,059$	0,014
<b>Infravermelho Próximo</b>	$y = -0,0000225x + 0,27$	0,274
<b>Infravermelho Médio</b>	$y = -0,0000437x + 0,23$	0,009
<b>NDVI</b>	$y = 0,0000529x + 0,645$	0,2



Para a banda do infravermelho próximo e para o NDVI, o modelo linear gerado não foi significativo. A estabilidade dessas séries também foi verificada para a análise de todo o conjunto de dados. A banda do infravermelho médio apresentou tendência de -0,014 para a estação quente, sendo significativa a 90% de confiança. Esse resultado aponta para maior conteúdo de água nas áreas de campo nativo avaliadas.

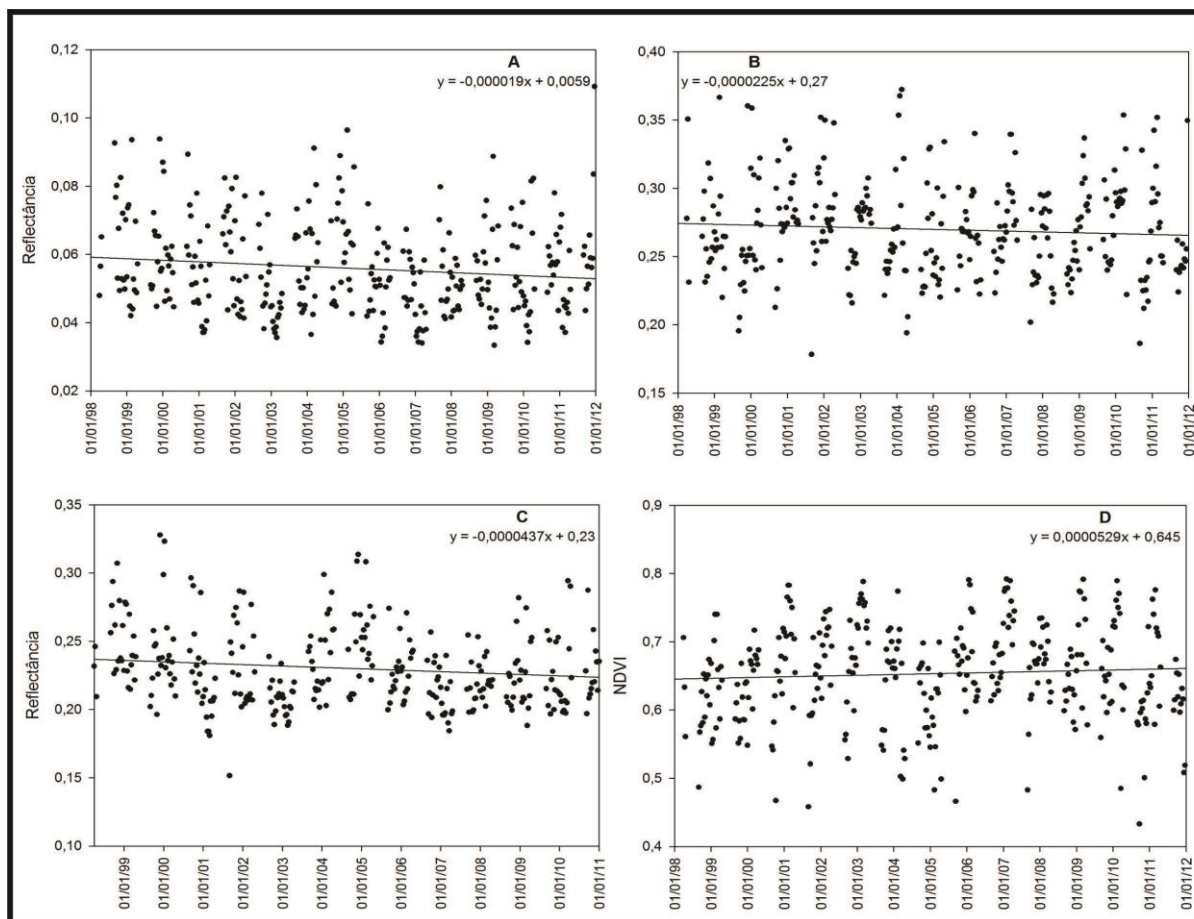


Figura 5. 6. Tendência da série temporal da estação quente para os dados espectrais: A – Banda do vermelho. B – Banda do infravermelho próximo. C - Banda do infravermelho médio. D – NDVI.

### 5.2.3 Análise de Tendência da Estação Fria

As tendências das séries temporais da reflectância das bandas e dos valores de NDVI para a estação fria são apresentadas na Tabela 5.10 e Figura 5.7. Para a banda do vermelho, o coeficiente angular não foi significativo, diferentemente da estação quente e para todo o conjunto de dados, que apresentaram tendência negativa.

Tabela 5. 10. Equação e nível de significância da ANOVA e do teste t realizado para os dados do produto VGT-S10 na estação fria.

	<b>Equação</b>	<b>Nível de significância</b>
<b>Vermelho</b>	$y = -0,000013x + 0,057$	0,443
<b>Infravermelho Próximo</b>	$y = 0,000023x + 0,23$	0,59
<b>Infravermelho Médio</b>	$y = -0,000059x + 0,23$	0,065
<b>NDVI</b>	$y = -0,000037x + 0,6$	0,69

Exatamente como para a estação quente e para todo o conjunto de dados, a banda do infravermelho próximo e para o NDVI apresentaram estabilidade, pois o modelo não foi significativo pela ANOVA e pelo teste t. A banda do infravermelho médio apresentou tendência de -0,19 nos valores de reflectância entre o período de 04/1998 a 12/2011, como foi apresentado para a estação quente e para todo o conjunto de dados. Dessa forma, os resultados desse trabalho mostram maior presença de água no dossel independente da estação analisada.

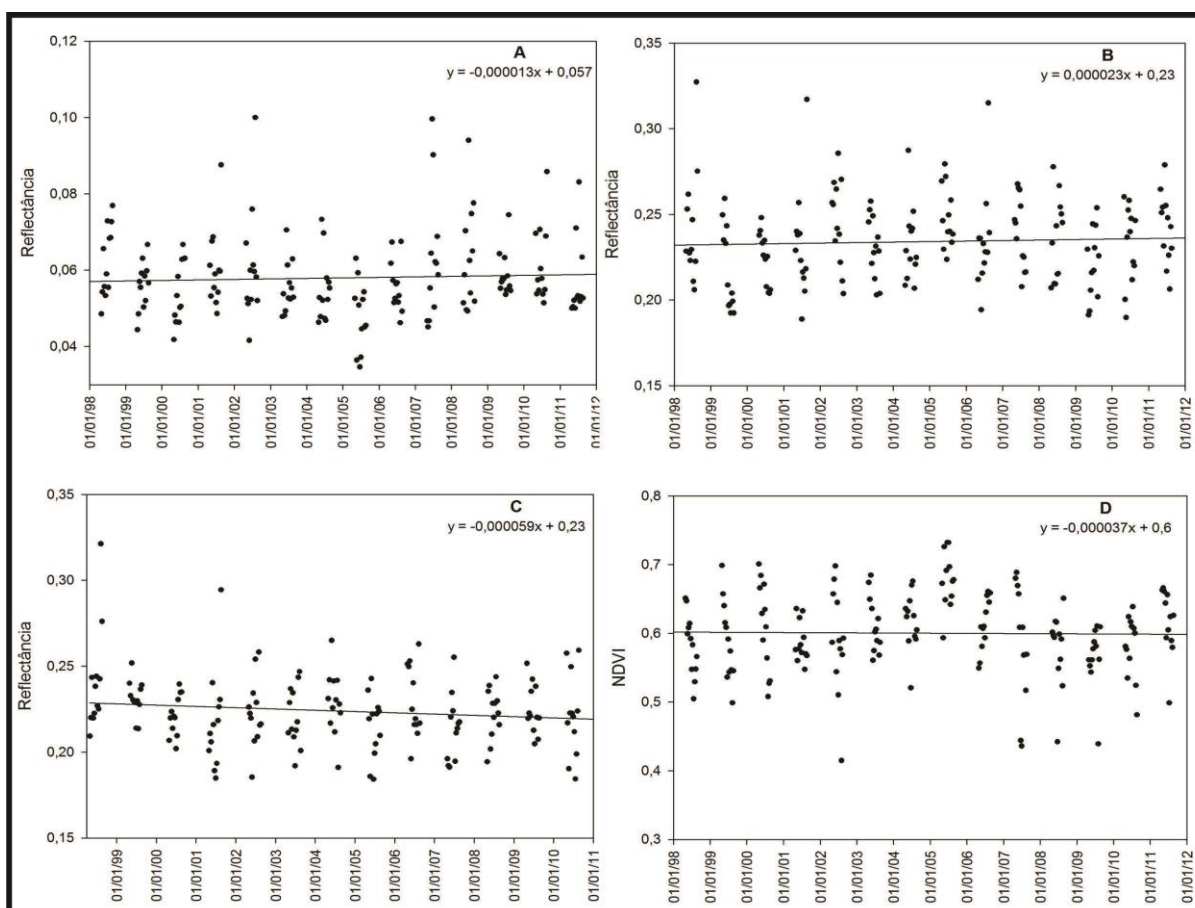


Figura 5. 7. Tendência da série temporal da estação fria para os dados espectrais: A – Banda do vermelho. B – Banda do infravermelho próximo. C - Banda do infravermelho médio. D – NDVI.

### 5.3 Comparação das tendências do clima e do sensor Vegetation

Das mudanças observadas nas temperaturas do ar, os resultados apontam tendência de negativa da temperatura mínima do ar e estabilidade para as temperaturas média e máxima do ar. Os resultados das temperaturas do ar não alteraram significativamente o acúmulo de biomassa das áreas analisadas, pois as séries temporais da banda do infravermelho próximo e do NDVI apresentaram estabilidade.

Os resultados também registram tendência de aumento da precipitação pluvial e redução da evapotranspiração, promovendo maior presença de água no solo. Apesar das séries temporais dos dados do sensor Vegetation apresentaram menor período temporal de análise, a tendência negativa da reflectância apresentada para a banda do infravermelho médio para todo o conjunto de dados, estação quente e estação fria é um resultado consistente com a maior presença de água nos dosséis das áreas analisadas.

Na faixa do visível, a banda do vermelho também apresentou tendência de diminuição nos valores de reflectância para todo o conjunto de dados e estação quente. Esse resultado também é consistente com a maior presença de água no solo encontrada nas tendências do clima, levando os dosséis das áreas analisadas a menores períodos desidratação das folhas.

### 5.4 Análises de Correlação

As análises de correlação com um decêndio de defasagem são apresentadas na Tabela 5.11, com intervalo de confiança de 95%. Para a banda do azul, apenas a evapotranspiração acumulada apresentou correlação significativa. Na banda do vermelho, as temperaturas do ar apresentaram correlações negativas e significativas. Para a precipitação pluvial acumulada e evapotranspiração acumulada, os valores do coeficiente de correlação não foram significativos.

Tabela 5. 11 Correlações com defasagem de um decêndio dos dados meteorológicos e do sensor Vegetation. O asterisco mostra as correlações que foram significativas a 95%.

	<b>Temp. Min.</b>	<b>Temp. Med.</b>	<b>Temp. Max.</b>	<b>Prec. Pluvial</b>	<b>Evapot.</b>
<b>Azul</b>	-0,025	-0,020	-0,021	-0,088	0,119*
<b>Vermelho</b>	-0,255*	-0,234*	-0,199*	-0,076	-0,058
<b>I. V. Próx.</b>	0,532*	0,556*	0,542*	-0,065	0,497*
<b>I. V. Médio</b>	0,015	0,059	0,095	-0,171*	0,182*
<b>NDVI</b>	0,569*	0,565*	0,526*	-0,020	0,363*

O único dado analisado do sensor Vegetation que apresentou correlação significativa com a precipitação pluvial foi a banda do infravermelho médio, sendo de -0,171. Apesar da correlação ser fraca, o sinal encontrado é esperado, pois quanto maior a presença de água no dossel, menor será a reflectância no infravermelho médio (JENSEN, 2009). Para as outras bandas e NDVI, a correlação com a precipitação pluvial não foi superior de -0,1. A banda infravermelho médio também apresentou correlação significativa e positiva com a evapotranspiração acumulada.

A banda do infravermelho próximo e o NDVI apresentaram coeficientes de correlação maiores que as outras bandas. As correlações do infravermelho próximo e NDVI foram similares para as três temperaturas do ar, sendo a menor correlação de 0,526 (temperatura máxima e NDVI) e a maior de 0,569 (temperatura mínima e NDVI). Todas foram significativas a 95%. Como as temperaturas apresentam valores máximos e mínimos no final do verão e inverno, respectivamente, essas correlações mostram que os dados da banda do infravermelho próximo e NDVI acompanham a fenologia do bioma Pampa, com menores valores de biomassa no inverno e maiores valores no final do verão, conforme mostrado previamente por Machado (1999) com dados de campo. Por outro lado, as correlações não foram significativas com a precipitação pluvial acumulada. Para a evapotranspiração, o infravermelho próximo apresentou correlação de 0,497 e para o NDVI o coeficiente foi de 0,363, sendo ambas significativas a 95%. Análises de correlação com um decêndio de defasagem permitiram mostrar melhor a relação entre os dados do sensor Vegetation e dados meteorológicos, sendo um resultado similar a estudos que envolveram dados meteorológicos e dados de vegetação por sensoriamento remoto orbital (LIBOS et al., 2009; FONTANA; ALMEIDA; JACÓBSEN, 2007).

### **5.5 Comportamento mensal dos dados em escala local**

Os dados de PMS para as diferentes OFs são apresentados no Apêndice B. O comportamento médio e a dispersão dos dados mensais de PMS por OF são apresentados na Figura 5.8. Os valores médios de PMS diminuem ao longo da estação de outono e inverno, atingindo os menores valores em junho (OFs 4%, 12%, 16% e 8-12%) e agosto (OFs 8%, 12-8% e 16-12%). O mês de julho apresentou aumento médio de PMS para todas as OFs em relação aos meses de junho. Os valores médios aumentam a partir da estação da primavera, atingindo o máximo no final do verão, com os meses de fevereiro (4%, 12%, 8-12%) e março (8%, 16%, 12-8%, 16-12%) apontando maior PMS média para todas as OFs. O mês de março

também é um dos meses que apresentou maior amplitude, mostrando que o final da estação quente apresenta grande variabilidade inter-anual. Dessa forma, os dados de PMS para todas as OFs (em escala local) acompanham a disponibilidade de radiação solar e temperatura do ar, com valores máximos no verão e mínimos no inverno.

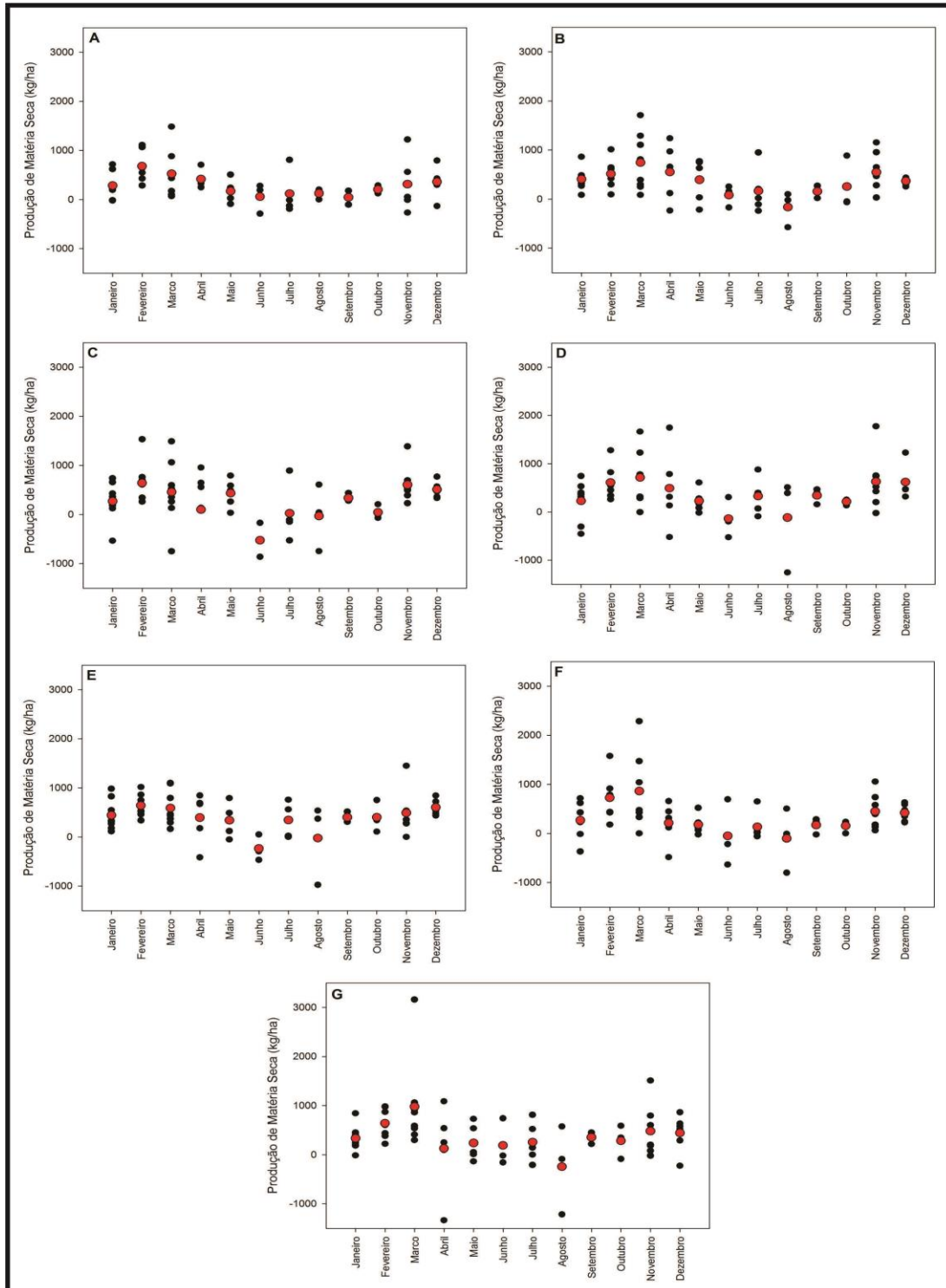


Figura 5. 8. Comportamento mensal médio (pontos vermelhos) e dispersão (pontos pretos) da PMS por OF: A – OF 4%, B – OF 8%, C – OF 12%, D – OF 16%, E – OF 8-12%, F – OF 12-8%, G – OF 16-12%.

Os meses com valores máximos de PMS são semelhantes aos encontrados por Machado (1999) apresentados na Figura 2.7, com os meses com maior produção de forragem ocorrendo nos meses de fevereiro e março. O mês com valor mínimo de produção de forragem foi em agosto no trabalho de Machado (1999), enquanto que para esse trabalho a menor produção de forragem ocorreu em agosto ou junho, dependendo da OF analisada.

Resultados semelhantes foram encontrados para campos no bioma Pampa por Bettolli et al (2010). Esses autores mostram que na região de Salto, no Uruguai, os valores de biomassa são máximos no verão e mínimos no inverno para três tipos de solos no período de 1980 até 1994. O mesmo comportamento de produção de biomassa também foram registrados nos campos da Patagônia por medições de campo (FERNÁNDEZ; SALA; GOLLUSCIO, 1991; DEFOSSÉ; BERTILLER; ARES, 1990).

### 5.6 Comportamento dos dados de sensoriamento remoto orbital em escala regional

A Figura 5.9 apresenta o comportamento do NDVI ao longo de cada ano e também a média representada pela linha preta. Observa-se inicialmente a grande variabilidade inter-anual desses dados, com a maioria dos decêndios apresentando diferenças maiores que 0,2 unidades entre os anos.

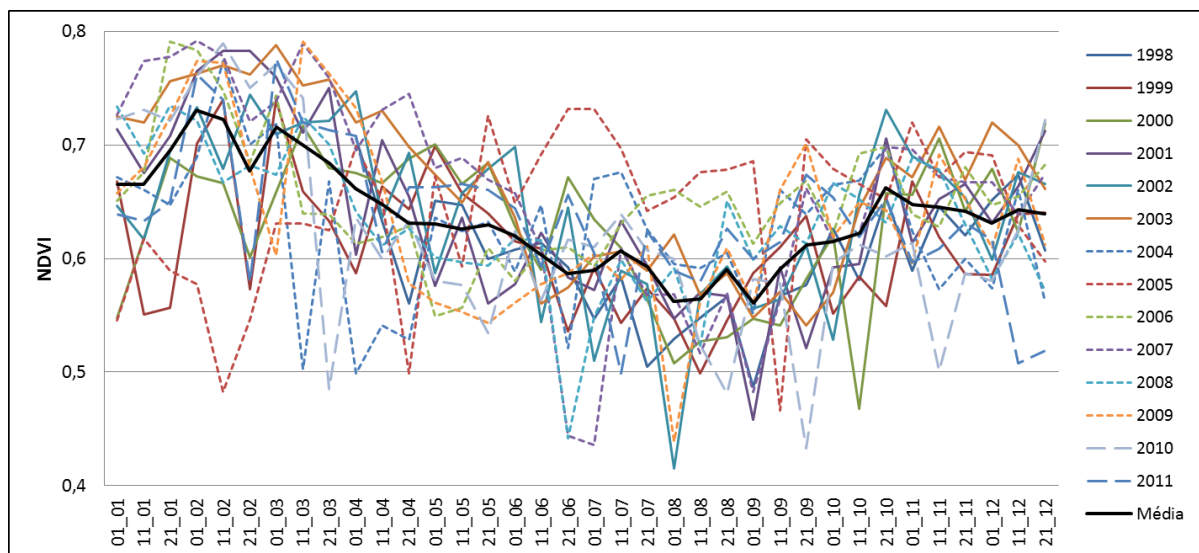


Figura 5. 9. Comportamento decenal médio e dispersão do NDVI, sensor Vegetation. A linha preta representa a média dos decêndios.

O comportamento médio do NDVI tem valor máximo no verão, nos meses de janeiro e fevereiro, onde é esperado maior acúmulo de biomassa. Depois disso, os valores decrescem até atingir os menores valores médios nos meses de julho, agosto e setembro. Assim, os dados de NDVI avaliados em escala regional também acompanham a disponibilidade de radiação

solar e temperatura do ar como foi mostrado pelos dados em escala local, apresentado valores máximos no verão e mínimos no inverno.

Resultados semelhantes com o NDVI para áreas de vegetação campestre no bioma Pampa são encontrados em estudos anteriores, porém com sensor MODIS (WAGNER et al., 2011) e sensor AVHRR (FONTANA; ALMEIDA; JACÓBSEN, 2007; JACÓBSEN; FONTANA; SHIMABUKURO, 2003). Nos trabalhos com o sensor AVHRR, os autores apresentam redução dos valores de NDVI em janeiro e fevereiro, podendo ser causado pela restrição hídrica em função da precipitação pluvial não suprir a demanda evaporativa da atmosfera nesses meses.

Os resultados com o sensor Vegetation para esse trabalho apontam que os valores médios de NDVI apresentam estabilidade para os meses de novembro e dezembro, com os valores médios situados em 0,65 (Figura 5.9). Como esse é um período esperado de aumento do NDVI em função do acúmulo de biomassa, essa estabilidade pode ser função da falta de água, sendo um resultado semelhante aos obtidos por Fontana, Almeida e Jacobsen (2007). Outra possível causa para a estabilidade dos valores de NDVI seria pelo consumo da forragem pelos animais que pastejam nas áreas avaliadas. Nabinger, Moraes e Maraschin (2000) mostram que os maiores ganhos de peso médio diário ocorrem nos meses de setembro até fevereiro, período de maior crescimento da vegetação no bioma Pampa. Assim, o consumo de forragem pode ter provocado redução de biomassa e conseqüente redução dos valores de NDVI.

### **5.7 Comparação dos dados de escala regional e escala local**

A Figura 5.10 apresenta gráficos e o coeficiente de correlação linear com valores médios mensais do NDVI com cada OF avaliada. Os resultados dos gráficos e das correlações apresentam forte relação linear entre o NDVI com as OFs, sendo todas significativas a 99% ou 95% de probabilidade. A maior correlação registrada do NDVI foi com a OF 4%, apresentando coeficiente de correlação de 0,9, com valores decrescentes para a OF 12-8%, 8%, 16-12%, 8-12%, 16% e 12%.

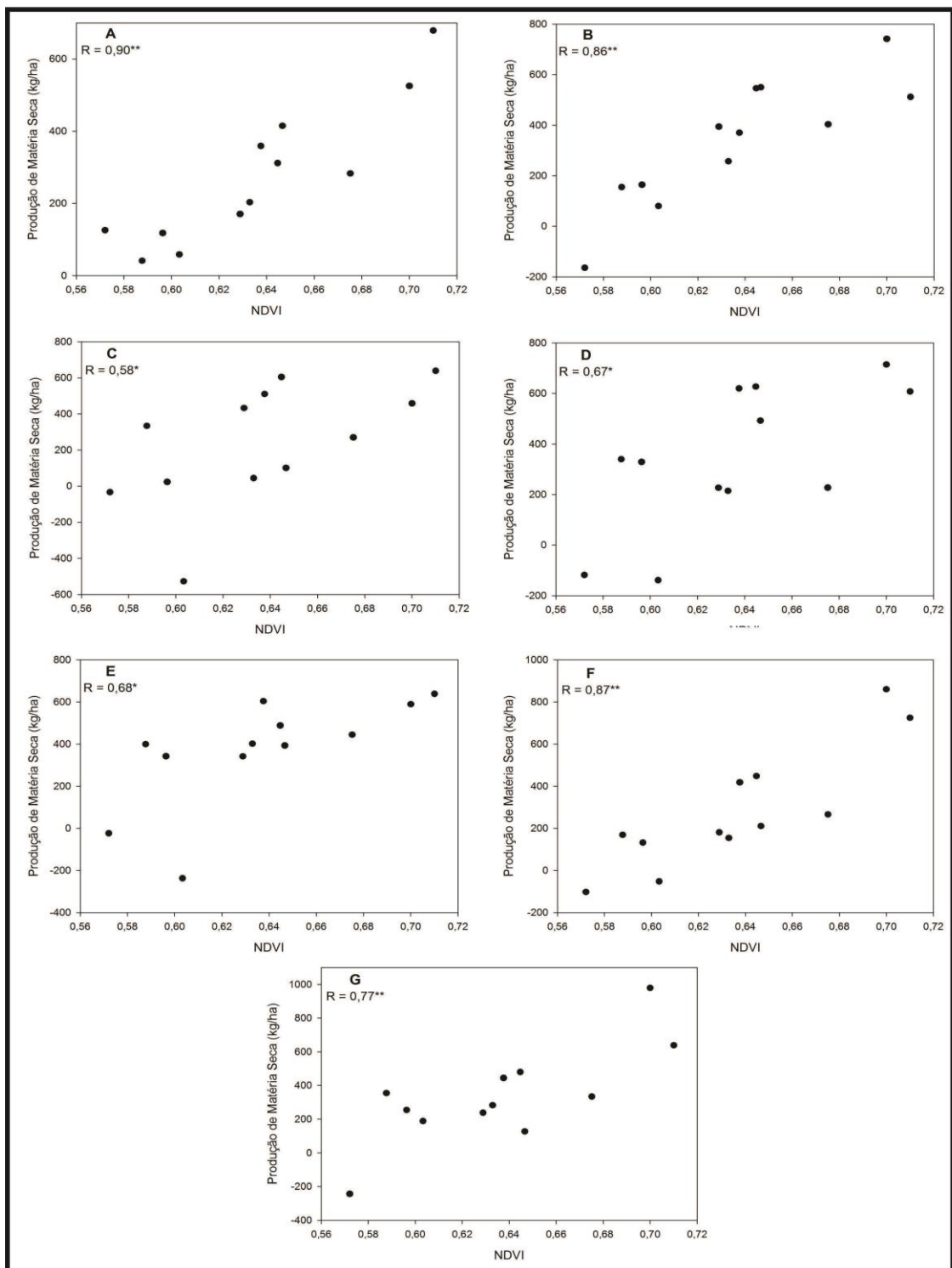


Figura 5. 10. Gráficos e correlações entre o NDVI e as OFs: A – OF 4%, B – OF 8%, C – OF 12%, D – OF 16%, E – OF 8-12%, F – OF 12-8%, G – OF 16-12%. \*Coeficiente de correlação significativo a 5%. \*\*Coeficiente de correlação significativo a 1%.

Apesar da OF nas áreas de vegetação campestre com os dados de NDVI não terem sido avaliadas, presume-se que possuem OF de 4% ou no máximo 8%, pois a OF 4% é a mais comumente encontrada nas pastagens do RS (SANTOS, 2007). Esse tipo de pastagem



apresenta apenas um estrato da vegetação, homogêneo e perfil de dossel baixo (TRINDADE, 2011), fisionomia semelhante a encontrada nos trabalhos de campo quando as áreas foram identificadas. Dessa forma, além dos resultados do NDVI apresentarem correlações significativas para todas as OFs, a maior correlação apresentada do NDVI com a OF 4% é um resultado consistente com a provável OF presente nas áreas analisadas em escala regional.

Os dados em escala local excluem o pastejo dos animais através do uso das gaiolas de exclusão, além de não mensurar a biomassa das espécies no bioma Pampa que os animais não selecionam para a alimentação. Os dados em escala regional do sensor Vegetation incluem todas as espécies presentes nas áreas avaliadas, porém a qualidade do dado é afetada por diversos problemas relacionados a aquisição de dados de sensoriamento remoto orbital, como saturação do sensor, geometria de iluminação, sombra (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010) e solo (TERRA; FONSECA; SALDANHA, 2010). Embora os dados tenham escalas distintas, os resultados das médias mensais mostraram que as variações de crescimento na vegetação campestre nos dosséis analisados às mudanças ambientais (temperatura, precipitação pluvial acumulada e evapotranspiração acumulada) foram semelhantes, permitindo que os dados em escala local possam ser expandidos em escala regional no bioma Pampa.

## CAPÍTULO 6

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram observadas tendências de mudanças nos elementos do clima para o período entre 1970 até 2011, as quais foram o aumento de 31,95 mm de precipitação pluvial acumulada, a diminuição 37,2 mm da evapotranspiração acumulada e a diminuição 1,46 °C para a temperatura mínima do ar.

A utilização da reflectância das bandas espectrais para monitoramento da vegetação é uma proposta alternativa da maioria dos trabalhos encontrados na literatura que utilizam apenas o NDVI para esse fim. Essa proposta foi satisfatória tendo em vista que as tendências significativas foram encontradas nos valores da reflectância das bandas espectrais, contribuindo com diferentes resultados sobre as condições da vegetação campestre natural na Depressão Central do RS.

A partir da análise dos dados de sensoriamento remoto orbital do período entre 04/1998 e 12/2011 foi verificada uma tendência de diminuição de 0,0049 e 0,012 nos valores de reflectância nas bandas do vermelho e infravermelho médio. Com esse mesmo conjunto de dados, não foi observada existência de tendência das séries de reflectância na banda do infravermelho próximo e nos valores de NDVI. Essas variáveis respondem de forma direta ao acúmulo de biomassa e a causa da estabilidade observada pode ser pelo consumo da forragem pelos animais que pastejam nas áreas do bioma Pampa.

Comparando os dados de sensoriamento remoto e clima, observa-se que a maior disponibilidade de água para as plantas, indicada pela tendência positiva da precipitação pluvial e negativa da evapotranspiração é um resultado que explica a tendência negativa dos valores de reflectância da banda do vermelho e do infravermelho médio nas áreas avaliadas.

A partir da análise dos dados de produção de matéria seca escala local e do sensor Vegetation em escala regional, os resultados mostraram que as variações de crescimento da vegetação campestre foram semelhantes independente da escala de análise, permitindo que os dados em escala local possam ser expandidos para uma escala regional no bioma Pampa.

## Referências Bibliográficas:

AGUADO, E; BURT, J. E. **Understanding Weather & Climate**. 4. ed. Upper Saddle River: Pearson/Prentice Hall, 2007. 562 p.

AGUINAGA, A.J.Q. **Manejo da oferta de forragem e seus efeitos na produção animal e na produtividade primária de uma pastagem natural na Depressão Central do Rio Grande do Sul**. 2004. 89 f. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

ALLEN, V. G. et al. An international terminology for grazing lands and grazing animals. **Grass and Forage Science**, v. 66, n. 1, p.2-28, 2011.

ASHRAF, M. A.; MAAH, M. J.; YUSOFF, I.. Introduction to Remote Sensing of Biomass. In: ATAZADEH, I. **Introduction to Remote Sensing of Biomass**. Rijeka: Intech, 2011. Cap. 8, p. 129-170.

ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL. 2012. **Características do território**. Disponível em: <<http://www.scp.rs.gov.br/atlas>>. Acesso em: 27 fev. 2012.

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 332 p.

BARROS, V. A.; DOYLE, M. E.; CAMILLONI, I. A. Precipitation trends in southeastern South America: relationship with ENSO phases and with low-level circulation. **Theoretical Applied Climatology**, v. 93, p.19-33, 2008.

BERGAMASCHI, H. Desenvolvimento de déficit hídrico nas culturas. In: BERGAMASCHI, H. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1992. Cap. 2, p. 25-32.

BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M.R.; CARDOSO, L.S.; SILVA, M.I.G. **Clima da Estação Experimental da UFRGS** (e Região de Abrangência). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 78p.

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.

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: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2007, Aracaju. **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 2007.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C.. **El Niño e La Niña: Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul**. Aplicações de previsões climáticas na agricultura. Porto Alegre: Editora da Ufrgs, 2003.

BERLATO, M. A. As condições de precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul e impactos das estiagens na produção agrícola. In: BERGAMASCHI, H. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1992. Cap. 1, p. 11-24.

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

BETTS, R. A.; et al. Contrasting physiological and structural vegetation feedbacks in climate change simulations. **Nature**, v. 387, n.1, p.796-799, 1997.

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

BRASIL, Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Aspectos Gerais do Clima do Estado**. Porto Alegre: INCRA, 1972.

BROWN, M. E. et al. Evaluation of the Consistency of Long-Term NDVI Time Series Derived From AVHRR, SPOT-Vegetation, SeaWiFS, MODIS, and LandSAT ETM+ Sensors. **IEEE Transactions On Geoscience and Remote Sensing**, v. 44, n. 7, p.1787-1793, 2006.

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

BOLDRINI, I.I. **Dinâmica da vegetação de uma pastagem natural sob diferentes níveis de oferta de MS e tipos de solo, Depressão Central, RS**. 1993. 262 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.

CARTER, G. A. Responses of leaf spectral reflectance to plant stress. **American Journal of Botany**, v. 90, n.3, p239-243, 1993.

CAVALCANTI, I. et al. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 464p.

CHAPIN III, F. S. et al. Plant response to multiple environmental factors. **BioScience**, v.37, n.1, p.49-57, 1987.

CORDEIRO, A. P.. **Tendências climáticas das variáveis meteorológicas originais, estimadas e das derivadas do Balanço Hídrico Seriado do Rio Grande do Sul**. 2010. 296 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

COSTA, B. S. C.; KUPLICH T. M. Análise da dinâmica campestre em série temporal de índice de vegetação e dados meteorológicos. **Anais... XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. INPE. Curitiba, 2011. p. 5638-5645.

COSTA, C.; MARQUES, J. R. Tendência sazonal das temperaturas mínimas e máximas no Rio Grande do Sul. In: Congresso brasileiro de Meteorologia, 16., 2010, Belém. **XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Belém: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2010.

CUSTÓDIO, M. 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.

DEFOSSÉ, G. E.; BERTILLER, M. B.; ARES, J. O. Above-ground phytomass dynamics in a grassland steppe of Patagonia, Argentina. **Journal of Range Management**, p. 157-160. mar. 1990.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo - CNPS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1999. 412 p.

ENVI. **ENVI User's Guide**. 2004. 1150 p.

EPA. **Climate Change**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/climatechange/basicinfo.html>>. Acesso em: 23 mar. 2012.

ESCOSTEGUY, C.M.D. **Avaliação agronômica de uma pastagem natural sob níveis de pressão de pastejo**. 1990. 231 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990.

FAHEY, T. J.; KNAPP, A. K. Primary production: guiding principles and standards for measurement. In: FAHEY, T. J.; KNAPP, A. K. **Principles and Standards for Measuring Primary Production**. New York: Oxford University Press, 2007. Cap. 1, p. 304-327.

FENSHOLT, R.; PROUD, S. R.. Evaluation of Earth Observation based global long term vegetation trends — Comparing GIMMS and MODIS global NDVI time series. **Remote Sensing Of Environment**, v. 119, p.131-147, 2012.

FERNANDEZ, R. J.; SALA, O. E.; GOLLUSCIO, R. A. Woody and herbaceous aboveground production of a Patagonian steppe. **Journal of Range Management**, p.434-437. set. 1991.

FIELD, A. **Descobrendo a Estatística usando o SPSS**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

FIELD, C. B., et al. Stomatal responses to increase CO<sub>2</sub>: implications from the plant to global scale. **Plant, Cell and Environment**, v. 18, p.1214-1225, 1995.

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

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

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**, v. 10, n. 1, p.135-145, 2002.

FONTANA, D. C.; A BERLATO, M. 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.

GOMES, K.E. **Dinâmica e produtividade de uma pastagem natural do Rio Grande do Sul após seis anos da aplicação de adubos, diferimentos e níveis de oferta de MS**. 1996. 223 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

HAYLOCK, M. R. et al. Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature. **Journal of Climate**, v. 329, p.1490-1512, 15 abr. 2006.

HUETE, A. R. et al. Amazon rainforest green-up with sunlight in dry season. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. 06405, p.1-4, 2006.

HUETE, A. R. et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p.195–213, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de Biomas e de Vegetação**. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_visualiza.php?id\\_noticia=169](http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=169)>. Acesso em: 27 fev. 2012.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. New York: Cambridge University Press, 996 p. 2007.

JACOBS, T. et al. **VGTEExtract: Software User Guide**. 2010. 52 p.

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**, v. 19, n. 1, p.129-140, 2004.

JACÓBSEN, L. O.; FONTANA, D. C.; SHIMABUKURO, Y. E. Alterações na vegetação em macrozonas do Rio Grande do Sul associados a eventos El Niño e La Niña, usando imagens NOAA. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p.361-374, 2003.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2. ed. São José Dos Campos: Parêntese, 2009. 598 p.

JIANG, Y; CARROW, R. N. Assessment of Narrow-band Canopy Spectral Reflectance and Turfgrass Performance under Drought Stress. **HortScience**, v. 40, n.1, p242-245, 2005.

JIANG, Z. et al. Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction. **Remote Sensing of Environment**, v. 101, p.366–378, 2006.

JUSTICE, C. O. et al. Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 6, n. 8, p.1271-1328, 1985.

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. Clima do Estado do Rio Grande do Sul Segundo a Classificação Climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p.171-182, 2001.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2000. 531 p

LIBOS, M. et al. Covariabilidade interanual entre a vegetação e o clima na bacia hidrográfica do rio Cuiabá - MT **Anais... XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. INPE. Natal. 2009. p. 4739 – 4746

LOBELL, D. B.; SCHLENKER, W.; COSTA-ROBERTS, J. Climate Trends and Global Crop Production Since 1980. **Science**, v. 333, n. , p.616-620, 29 jul. 2011.

LU, D.; BATTISTELLA, M.; MORAN, E. Satellite estimation of aboveground biomass and impacts of forest stand structure. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 71, n. 8 , p.967-974, 2005.

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

MARENGO, J. A.; CAMARGO, C. C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960–2002. **International Journal of Climatology**, Porto Alegre, v. 28, p.893-904, 2008.

MATZENAUER, R. et al. Regime anual e estacional de chuvas no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracaju. **XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Aracaju: Universidade Federal do Sergipe, 2007.

MARASCHIN, G. E. Manejo do campo nativo, produtividade animal, dinâmica da vegetação e adubação de pastagens nativas do sul do Brasil. In: PILLAR, V.P.; MÜLLER, S.C.; CASTILHOS, Z.M.S; JACQUES, A.V.A. (ed). **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009. 403p.

MARASCHIN, G.E. Evolução e potencial produtivo da pastagem nativa da Depressão Central submetida a níveis de pressão de pastejo. In.: REUNIÓN DEL GRUPO TECNICO REGIONAL DEL CONO-SUR EM MEJORAMIENTO Y UTILIZACION DE LOS RECURSOS FORRAJEROS DEL AREA TROPICAL Y SUBTROPICAL, 9., 1988, Tacuarembó. **Anais...** Tacuarembó, 1988. p.65.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: Noções Básicas dos Climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 206 p.

MONTEITH, J. L.; UNSWORTH, M. H. **Principles of Environmental Physics**. 2. ed. Londres Edward Arnold, 1990. 291 p.

MORAES, A.; MOOJEN, E.L.; MARASCHIN, G.E. Comparação de métodos de estimativa de taxa de crescimento em uma pastagem submetida a diferentes pressões de pastejo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 27., 1990, Campinas. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1991. p.332.

MOREIRA, A.; KUPLICH T. M.; FONSECA, E. L. A variação fenológica de tipologias campestres do bioma Pampa pela abordagem ondaleta. **Anais...** XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE. Curitiba, 2011. p. 1584-1591.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de Séries Temporais**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. 538 p.

MYNENI, R. B. et al. A large carbon sink in the woody biomass of Northern forests. **Proceedings of The National Academy of Sciences**, v. 98, n. 26, p.14784-14789, 2001.

MYNENI, R. B. et al. Increasing plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1997. **Nature**, v. 386, n. 17, p.698-702, 1997.

NABINGER, C.; FERREIRA, E. D.; FREITAS, A. K.; CARVALHO, P. C. F.; SANT'ANNA, D. M. Produção animal com base no campo nativo: aplicações de resultados de pesquisa. In: PILLAR, V.P.; MÜLLER, S.C.; CASTILHOS, Z.M.S; JACQUES, A.V.A. (ed). **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009. 403p.

NABINGER, C.; MORAES, A.; MARASCHIN, G. E. Campos in Southern Brazil. In: LEMAIRE, G.; HODSON, J. et al. **Grassland ecophysiology and grazing ecology**. Cambridge: CABI Publishing, 2000. Cap. 18, p. 255-376.

NABINGER, C.. Aspectos ecofisiológicos do manejo de pastagens e utilização de modelos como ferramenta de diagnóstico e indicação de necessidades de pesquisa. In: REUNIÃO DO GRUPO TÉCNICO REGIONAL DO CONE SUL (ZONA CAMPOS) EM MELHORAMENTO E UTILIZAÇÃO DOS RECURSOS FORRAGEIROS DAS ÁREAS TROPICAL E SUBTROPICAL, 16., 1998, Porto Alegre. **Relatório da XVI Reunião do Grupo Técnico Regional do Cone Sul (Zona Campos) em Melhoramento e Utilização dos Recursos Forrageiros das Áreas Tropical e Subtropical**. Porto Alegre: Fao/Ufrgs/emater-rs/Fepagro, 1998. p. 17 - 61.

NASA. **The Landsat Program**. Disponível em: <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>>. Acesso em: 26 dez. 2012.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1979. 422p.

NEMANI, R. R. et al. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. **Science**, v. 300, n. 5625, p.1560-1563, 2003.



OLLINGER, S. V. et al. The role of remote sensing in the study of terrestrial net primary production. In: FAHEY, T. J.; KNAPP, A. K. **Principles and Standards for Measuring Primary Production**. New York: Oxford University Press, 2007. Cap. 11, p. 204-237.

ONoz, B.; BAYAZIT, M. The Power of Statistical Tests for Trend Detection. **Turkish Journal Of Engineering & Environmental Sciences**, v. 27, n. 4, p.247-251, 2003.

OVERBECK, G. E. Brazil's neglected biome: The South Brazilian *Campos*. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v.9, n.1, p. 101-116, 2007.

PARUELO, J. M. Caracterización Regional de los recursos forrajeros de las zonas templadas de Argentina. **Revista Argentina de Producción Animal**, v. 19, n. 1, p.125-131, 1999.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PETTORELLI et al., Using the satellite-derived NDVI to assess ecological response to environmental change. **Trends in Ecology & Evolution**, v.20, n.9, p.503-510, 2005.

PILLAR, V. D. **Clima e vegetação**. UFRGS, Departamento de Botânica. 1995.

PINTO, C. E. **Produção primária, secundária e comportamento Ingestivo de novilhos submetidos a distintas ofertas de fitomassa aérea total de uma pastagem natural da depressão central do rio grande do sul**. 2003. 52 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação**. São José Dos Campos: Parêntese, 2010. 135 p.

RAHMAN, H.; DEDIEU, G. SMAC: a simplified method for the atmospheric correction of satellite measurements in the solar spectrum. **International Journal of Remote Sensing**, v. 15, n. 1, p.123-143, 1994.

ROSS, J. Os Fundamentos da Geografia da Natureza. In: ROSS, J. **Geografia do Brasil**. 5. ed. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 2008. 549p.

RUSTICUCCI, M.; RENOM, M.. Variability and trends in indices of quality-controlled daily temperature extremes in Uruguay. **International Journal of Climatology**, v. 28, n. 1, p.1083-1095, 2008.

RUSTICUCCI, M.; BARRUCAND, M.. Observed Trends and Changes in Temperature Extremes over Argentina. **Journal of Climate**, v. 17, n. 1, p.4099-4107, 2004.

SALZER, M. W. et al. Recent unprecedented tree-ring growth in bristlecone. **Proceedings Of The National Academy of Sciences**, v.106, n.48, p.20348-20353, 2009.

SANSIGOLO, C. A; KAYANO, M. T. Trends of seasonal maximum and minimum temperatures and precipitation in Southern Brazil for the 1913–2006 period. **Theoretical Applied Climatology**, v. 101, n.1, p.209-216, 2010.

SANTOS, D.T. **Manipulação da oferta de forragem em pastagem natural: efeito sobre o ambiente de pastejo e o desenvolvimento de novilhas de corte.** 2007. 259p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

SCHOWENGERDT, R. A. **Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing.** 3. ed. San Diego: Elsevier (Academic Press), 2007. 515 p.

SILVEIRA, V. P.; GAN, M. A. Estudo de tendência das temperaturas mínimas na Região Sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia.** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2006.

SOARES, A.B. **Efeito da dinâmica da oferta de forragem sobre a produção animal e de forragem em pastagem natural.** 2002. 197 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

SUPLICK-PLOENSE, M. R.; ALSHAMMARY, S.F.; QIAN, Y. L. Spectral reflectance response of three turfgrasses to leaf dehydration. **Asian Journal of Plant Sciences**, v.10, n.1, p67-73, 2011.

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

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal.** 4. ed, Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

TERRA, F. S.; FONSECA, E. L.; SALDANHA, D. L.. Contribuições do solo e dossel em modelo de estimativa de biomassa aérea no Bioma Pampa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 4, p.384-390, 2010.

TRENTIM, C. **Análise da Resposta Espectral da Vegetação da Área de Proteção Ambiental (APA) do Ibirapuitã em Imagens do Sensor EOS/MODIS Associadas ao Solo e aos Elementos do Clima.** 2011. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

TREWARTHA, G. L; HORN, L. H. **An Introduction to Climate.** 5. ed. New York: Mcgraw-Hill, 1980. 416 p.

TRINDADE, J. K. **Comportamento e Consumo de Forragem por Bovinos de Corte em Pastagem Natural Complexa.** 2011. 208 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

TUCKER, C. J. et al. An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data. **International Journal Of Remote Sensing**, v. 26, n. 20, p.4485-4498, 2005.

TUCKER, C. J. et al. African Land-Cover Classification Using Satellite Data. **Science**, v. 227, n. 4685, p.369-375, 1985.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE SUL. **Breve histórico do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia**. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/agropfagrom/historico/odyframe.htm>>. Acesso em: 03 ago. 2011.

VEGETATION. **Spot-Vegetation programme**. Disponível em: <<http://www.vgt.vito.be/index.html>>. Acesso em: 20 jan. 2012.

VIANA, D.; FERREIRA, N. J.; CONFORTE, J. C. Aspectos Climatológicos da Precipitação na Região Sul do Brasil. In: III SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA, 3, 2009, Canela. **Simpósio Internacional de Climatologia**. Rio de Janeiro: SBMET, 2009.

VIANA, D.; AQUINO, F. E.; MATZENAUER, R. Comportamento Espaço-Temporal da Precipitação no Rio Grande do Sul entre 1945-1974 e 1975-2004. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Florianópolis: SBMET, 2006. p. 1 - 6.

VIANA, D.; MATZENAUER, R.; AQUINO, F. E. Desvios de Temperatura Média no Estado do Rio Grande do Sul em 2005. In: ENCONTRO SUL-BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 1., 2006, Pelotas. **Encontro Sul-Brasileiro de Meteorologia**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2006. p. 1 - 6.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1991. 449 p.

VINCENT, L. A. et al. Observed Trends in Indices of Daily Temperature Extremes in South America 1960–2000. **Journal Of Climate**, v. 18, n. 1, p.5011-5023, 2005.

WAGNER, A. P. L. et al. Variabilidade Temporal do NDVI/MODIS na Análise de Remanescentes da Ecorregião das Savanas Uruguaias. **Anais... XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. INPE. Curitiba, 2011. p. 5600-5606.

WANG, Q. et al. On the relationship of NDVI with leaf area index in a deciduous forest site. **Remote Sensing of Environment**, v. 94, p.244–255, 2005.

WALPOLE, R et al. **Probabilidade & Estatística: para engenharia e ciências**. 8. ed. São Paulo: Pearson, 2008. 491 p.

WULDER, M. A. et al. Spatially explicit large area biomass estimation: Three approaches using forest inventory and remotely sensed imagery in a GIS. **Sensors**, v. 8, n. 1, p.529-560, 2008.

XIE, Y.; SHA, Z.; YU, M.. Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. **Journal of Plant Ecology**, v. 1, n. 1, p.9-23, 2008.

ZHAO, M.; RUNNING, S. T. Drought-Induced Reduction in Global Terrestrial Net Primary Production from 2000 Through 2009. **Science**, v. 329, p.940-943, 2010.

ZHAO, M.; RUNNING, S. T. Remote sensing of terrestrial primary production and carbon cycle. In: LIANG, S. **Advances in Land Remote Sensing: System, Modelling, Inversion and Application**. College Park: Springer, 2008. p. 423-444.

## Apêndice A

Datas das 62 cenas Landsat 5 (Órbita 222/Ponto 81) utilizadas:

10/09/1997	02/12/2004
25/06/1998	18/12/2004
28/08/1998	27/05/2005
29/09/1998	30/07/2005
02/12/1998	02/10/2005
03/01/1999	07/02/2006
20/02/1999	11/03/2006
27/05/1999	12/04/2006
18/10/1999	28/04/2006
03/11/1999	02/08/2006
21/12/1999	19/09/2006
27/04/2000	21/10/2006
13/05/2000	02/06/2007
14/06/2000	18/06/2007
02/09/2000	16/03/2008
05/11/2000	10/10/2008
07/12/2000	15/02/2009
29/03/2001	19/03/2009
04/08/2001	20/04/2009
26/12/2001	06/05/2009
28/02/2002	22/05/2009
09/07/2003	25/07/2009
26/08/2003	26/08/2009
11/09/2003	13/10/2009
18/02/2004	29/10/2009
06/04/2004	18/02/2010
11/07/2004	07/04/2010
27/07/2004	01/11/2010
12/08/2004	01/09/2011
29/09/2004	03/10/2011
15/10/2004	04/11/2011

Apêndice B

Dados de Produção de Matéria Seca (kg ha<sup>-1</sup>) por Oferta de Forragem.

Ano	Datas	Nº dias	Média 4%	Média 8%	Média 12%	Média 16%	Média 08-12%	Média 12-08%	Média 16-12%
2000	25.10 a 21.11	27	-	283,50	229,50	202,50	283,50	175,50	202,50
2000	22.11 a 21.12	29	-	435,00	333,50	319,00	435,00	348,00	290,00
2000/ 2001	22.12 a 12.01	21	-	325,50	178,50	220,50	304,50	262,50	241,50
2001	13.01 a 20.02	38	-	418,00	342,00	551,00	532,00	437,00	437,00
2001	21.02 a 28.03	35	-	297,50	262,50	315,00	437,50	332,50	297,50
2001	29.03 a 25.04	27	-	121,50	135,00	135,00	175,50	121,50	94,50
2001	26.04 a 30.05	34	-	34,00	34,00	85,00	119,00	68,00	51,00
2001	31.05 a 30.07	60	-	-240,00	-150,00	390,00	0,00	-60,00	0,00
2001	31.07 a 13.09	44	176,00	176,00	286,00	396,00	374,00	286,00	396,00
2001	04.10 a 03.11	28	-	29,96	539,84	519,96	0,00	579,88	79,94
2001	04.11 a 28.11	28	559,72	952,28	696,92	753,20	352,38	736,54	795,76
2001/ 2002	29.11 a 02.01	35	262,50	85,12	123,76	368,34	331,10	255,50	196,14
2002	03.01 a 22.01	20	223,02	268,52	655,34	401,66	268,80	427,14	377,58
2002	23.01 a 19.02	28	546,70	645,12	609,98	452,62	336,84	783,30	379,96
2002	20.02 a 22.03	31	99,96	249,90	596,68	779,94	370,02	856,66	586,60
2002	23.03 a 23.04	32	326,62	655,34	644,98	313,32	669,90	448,14	248,64
2004	24.10 - 02.12	39	53,33	470,00	501,67	740,00	520,00	60,00	185,00
2004	03.12 - 29.12	26	426,67	255,00	470,00	615,00	720,00	240,00	633,33
2004/ 2005	30.12 - 01.02	33	-13,33	305,00	-535,00	-305,00	115,00	-370,00	-15,00
2005	02.02 - 05.03	31	433,33	85,00	520,00	285,00	465,00	475,00	410,00
2005	06.03 - 14.04	39	706,67	1236,67	955,00	1748,33	845,00	655,00	540,00
2005	15.04 - 24.05	39	506,67	771,67	490,00	175,00	360,00	220,00	10,00

<b>2005</b>	25.05 - 05.07	41	-13,33	205,00	-110,00	70,00	561,67	15,00	145,00
<b>2005</b>	06.07 - 05.08	30	176,67	-20,00	608,33	510,00	535,00	505,00	575,00
<b>2005</b>	06.08 - 06.09	31	53,33	270,00	435,00	465,00	515,00	-25,00	450,00
<b>2005</b>	07.09 - 08.10	31	200,00	-65,00	-70,00	135,00	110,00	231,67	-88,33
<b>2006</b>	21.01 - 21.02	31	1107,96	1011,61	701,94	820,65	861,94	913,55	975,48
<b>2006</b>	22.02 - 30.03	36	66,67	806,55	131,95	-5,15	162,25	-1,05	539,85
<b>2006</b>	31/03 - 05.05	35	-91,76	-217,06	587,65	-15,88	-52,94	116,47	-137,65
<b>2006</b>	06.05 - 13.06	38	-289,71	-172,71	-863,57	306,43	-468,00	-635,14	741,00
<b>2006</b>	14.06 - 13.07	29	-129,41	948,53	891,18	877,94	758,82	648,53	811,76
<b>2006</b>	14.07 - 20.08	37	0,00	-574,05	-749,19	-1255,1	-977,84	-802,70	-1216,2
<b>2006</b>	21.08 - 06.10	46	124,03	-48,96	-4,90	254,58	342,71	0,00	347,60
<b>2006</b>	07.10 - 06.11	30	1220,69	1153,45	1386,21	1774,14	1448,28	1055,17	1510,34
<b>2006</b>	07.11 - 11.12	34	296,40	411,49	359,46	1229,73	841,89	472,97	-227,03
<b>2006/2007</b>	12.12 - 13.01	32	715,00	861,09	360,94	742,50	825,00	716,72	397,03
<b>2007</b>	14.01 - 13.02	30	284,17	95,26	261,56	261,56	460,16	426,25	605,47
<b>2007</b>	27.04 a 03.06	36	188,49	157,78	-171,24	-200,39	48,98	-217,21	-19,12
<b>2007</b>	03.06 a 02.07	29	-192,96	-109,20	14,84	-92,05	22,89	32,17	-209,22
<b>2007</b>	03.08 a 11.09	38	-106,17	18,26	280,20	158,62	307,15	244,84	217,19
<b>2007</b>	11.09 a 08.10	27	285,82	884,16	207,91	253,55	751,47	230,75	587,91
<b>2007</b>	08.10 a 11.11	35	-8,59	650,70	388,67	425,53	272,88	392,54	602,93
<b>2007</b>	11.11 a 18.12	37	-134,40	299,86	560,39	472,28	610,69	224,28	580,36
<b>2007/2008</b>	18.12 a 16.01	29	193,18	433,02	427,94	313,02	545,81	-14,57	182,48
<b>2008</b>	16.01 a 19.02	34	425,48	298,25	264,64	338,38	513,55	180,47	221,39
<b>2008</b>	19.02 a 26.03	35	539,06	391,56	352,31	731,69	793,76	425,68	861,71

<b>2009</b>	11.01 a 07.03	54	1483,20	1706,40	1490,40	1663,20	1090,80	2284,20	918,00
<b>2009</b>	07.03 a 25.04	48	378,78	969,80	558,37	783,87	690,61	313,47	1087,35
<b>2009</b>	05.11 a 09.12	33	412,68	382,85	770,64	619,21	479,18	590,14	863,93
<b>2009/ 2010</b>	10.12 a 08.01	29	619,20	483,90	735,45	532,35	982,20	619,35	841,80
<b>2010</b>	08.01 a 09.02	31	640,12	499,20	759,98	550,16	1015,04	753,22	870,22
<b>2010</b>	09.02 a 30.03	50	880,00	1290,00	1060,00	1230,00	293,33	1470,00	1060,00
<b>2010</b>	30.03 a 30.05	60	240,00	750,00	790,00	280,00	490,00	520,00	730,00
<b>2010</b>	30.05 a 03.08	66	200,00	100,00	40,00	390,00	370,00	-10,00	-90,00
<b>2010</b>	10.10 a 06.11	27	-266,67	280,00	490,00	-25,00	535,00	135,00	-20,00
<b>2010</b>	06.11 a 12.12	36	793,33	434,96	570,00	465,00	535,00	630,00	525,00
<b>2010/ 2011</b>	12.12 a 12.01	31	-20,00	465,00	210,00	-455,00	180,00	230,00	450,00
<b>2011</b>	12.01 a 08.02	32	1066,67	611,43	1531,43	1280,00	748,57	1577,14	982,86
<b>2011</b>	08.02 a 11.03	31	173,33	1105,00	-750,00	-	1100,00	1040,00	3160,00
<b>2011</b>	11.03 a 09.04	29	246,67	-235,00	-1790,0	-520,00	-415,00	-485,00	-1335,0
<b>2011</b>	09.04 a 12.05	33	26,67	630,00	260,00	610,00	790,00	-24,35	535,00
<b>2011</b>	12.05 a 09.06	28	276,99	254,71	-546,45	-523,87	-293,55	694,92	-157,25
<b>2011</b>	09.06 a 27.07	48	806,22	17,47	-528,94	398,37	367,07	23,62	522,94