



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/06.02.13.31-RPQ

**ALGUMAS APLICAÇÕES DE SENSORIAMENTO
REMOTO EM ESTUDOS DE VEGETAÇÃO
CAMPESTRE NO RS**

Tatiana Mora Kuplich
Daniela Wancura Barbieri
Andreise Moreira
Fernando Luiz Ferreira de Quadros
Aline Biasoli Trentin
Rosana Corazza
Bruno Deprá

URL do documento original:
<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3LQEG78>>

INPE
São José dos Campos
2016

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@inpe.br

COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):

Presidente:

Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação (CPG)

Membros:

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dra. Carina de Barros Melo - Coordenação de Laboratórios Associados (CTE)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação de Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SID) **BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/06.02.13.31-RPQ

**ALGUMAS APLICAÇÕES DE SENSORIAMENTO
REMOTO EM ESTUDOS DE VEGETAÇÃO
CAMPESTRE NO RS**

Tatiana Mora Kuplich
Daniela Wancura Barbieri
Andreise Moreira
Fernando Luiz Ferreira de Quadros
Aline Biasoli Trentin
Rosana Corazza
Bruno Deprá

URL do documento original:
<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3LQEG78>>

INPE
São José dos Campos
2016



Esta obra foi licenciada sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License.

RESUMO

Este relatório apresenta alguns resultados das pesquisas com vegetação campestre do grupo de Sensoriamento Remoto da Vegetação do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS) do INPE. A área de estudo principal é o conjunto de parcelas experimentais de campo nativo submetido a diferentes tipos de manejo pastoril, do Laboratório de Ecologia de Pastagens Naturais (LEPAN) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). O contexto das pesquisas é o PELD (Projeto Ecológico de Longa Duração) Campos Sulinos (Chamada MCTI/CNPq/FAPs 34/2012) e o convênio entre o INPE (CRS) e a UFSM, que gerou resultados, alguns dos quais apresentados aqui. Busca-se avaliar técnicas capazes de responder sobre o comportamento espectral de campos nativos em produtos de sensoriamento remoto com diferentes características. Os experimentos de espectrorradiometria foram relatados em artigos para simpósios, mas foram revisados aqui, juntamente com análises sobre outros produtos e técnicas. Este relatório também se destina a leitores não familiarizados com a terminologia e objetos do sensoriamento remoto, por isso alguns conceitos básicos são introduzidos.

SOME APPLICATIONS OF REMOTE SENSING IN GRASSLAND VEGETATION STUDIES

ABSTRACT

This report presents some results of the research with grassland vegetation of the the Remote Sensing of Vegetation group of INPE's Southern Regional Centre for Space Research (CRS). The study area is a set of experimental plots of natural grasslands under different types of pastoral management, owned by the rangeland ecology Lab (LEPAN) at the Federal University of Santa Maria (UFSM). The context of the research is the PELD (long duration ecological project) Campos Sulinos (MCTI/CNPq/FAPs 34/2012) and the agreement between INPE and UFSM, which some of the results are presented here. There is a quest for techniques to assist in unveiling the spectral behavior of natural grasslands using remote sensing products with different characteristics. The experiments with radiometry were reported in articles for symposia, but were reviewed here, along with analysis of other products and techniques. This report is also intended for readers not familiar with the terminology and objects of remote sensing, so some basic concepts are introduced.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela concessão das bolsas do Programa de Capacitação Institucional (PCI) e de Iniciação Científica (PIBIC), que além de terem possibilitado a realização destas pesquisas, enriquecem a formação profissional e pessoal de tantos brasileiros.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Mapa de localização de Santa Maria no RS e das parcelas de campo nativo do DZ/UFSM.....	16
Figura 2 - Coleta de dados espectrais com espectrorradiômetro portátil - <i>FieldSpec® HandHeld</i>	18
Figura 3 – Resposta espectral da vegetação campestre em três parcelas com diferentes tipos de manejo.....	19
Figura 4 - Espectros de reflectância das parcelas de campo nativo analisadas.....	22
Figura 5 - Espectro de reflectância do ponto 6 da parcela 23 (375 GD) com respectiva foto do ponto de coleta do espectro.....	23
Figura 6 - Espectro de reflectância do ponto 10 da parcela 51 (750 GD) com foto do respectivo ponto de coleta do espectro.....	24
Figura 7 - Espectro de reflectância da parcela de exclusão com foto do respectivo ponto de coleta do espectro.....	25
Figura 8 - Série original NDVI para amostra de campo nativo em Santa Maria (A), Espectro de potência da série gerado pela transformada de ondaleta (B) e Espectro de potência global (C).....	27

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Alguns parâmetros de sensores ópticos a bordo de satélites de observação da Terra.....	12
Tabela 2 - Coeficiente de correlação (r) entre biomassa e altura da vegetação nas três parcelas de estudo com a reflectância espectral em dois comprimentos de onda correspondentes ao vermelho (550 nm) e ao infra-vermelho (710 nm).....	20
Tabela 3 - Coeficiente de correlação – r - entre NDVI e dados de Temperatura do ar e Precipitação pluvial com defasagem de tempo (lag = 30 dias) para o período de 2002 – 2012.....	28
Tabela 4 - Datas dos dados selecionados para cálculo de NDVI. A descrição dos acrônimos dos nomes dos sensores está na Tabela 1.....	29
Tabela 5 - NDVI médio de 10 parcelas a partir de dados de diferentes sensores. As letras indicam diferenças significativas entre as médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.....	30

SUMÁRIO

	Página
1.INTRODUÇÃO.....	8
1.1 Sensoriamento Remoto.....	9
1.2 Sensoriamento remoto da vegetação.....	11
2. ÁREA DE ESTUDO.....	14
3. MÉTODOS E RESULTADOS.....	15
3.1 Trabalhos com espectrorradiômetro.....	15
3.2 NDVI com dados MODIS.....	24
3.3 NDVI com dados de diferentes sensores.....	28
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
5. REFERÊNCIAS.....	32

1. INTRODUÇÃO

O Rio Grande do Sul concentra aproximadamente 75% da vegetação campestre do Brasil, classificada como parte de 2 biomas: Mata Atlântica e Pampa. Os campos do bioma Mata Atlântica são os Campos de Cima da Serra no Planalto gaúcho e catarinense, em mosaicos com Floresta Ombrófila Mista (com araucária). Os campos do bioma Pampa ocorrem na metade sul e parte da região noroeste do Rio Grande do Sul.

Os campos do bioma Pampa são geralmente explorados sob pastoreio contínuo e extensivo, em alguns locais em sistemas mistos com culturas de arroz, soja e trigo. Na região do Planalto, nos Campos de Cima da Serra, parte do bioma Mata Atlântica, as culturas da soja e trigo predominam e a pecuária ainda ocorre ao leste.

Apesar da aparente uniformidade, os campos possuem grande biodiversidade e espécies vegetais de alto valor forrageiro, graças aos diferentes substratos, clima e regimes de pastejo, sendo estimado o número de espécies no RS em torno de 2200 (Boldrini 2009). Os fatores que conduziram à atual fisionomia e diversidade dos campos, assim como a distribuição florística e espacial das diferentes comunidades campestres, ainda não são suficientemente conhecidos para previsão de suas dinâmicas em face das perturbações climáticas e de uso da terra em curso no RS (Overbeck et al. 2007).

Nos últimos anos os campos têm sido substituídos por monoculturas de *Pinus* e eucalipto, além do crescimento vertiginoso das lavouras de soja em áreas originalmente ocupadas por campos nativos. A taxa de conversão dos campos para áreas agrícolas tem sido da ordem de 1000 km² por ano (Cordeiro e Hasenack, 2009), demonstrando a necessidade urgente de estudos com

resultados que facilitem e promovam o manejo e conservação das áreas campestres remanescentes.

Este relatório apresenta alguns resultados das pesquisas com vegetação campestre do grupo de Sensoriamento Remoto da Vegetação do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS) do INPE. A área de estudo principal é o conjunto de parcelas experimentais de campo nativo submetido a diferentes tipos de manejo pastoril, do Laboratório de Ecologia de Pastagens Naturais (LEPAN) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). O contexto das pesquisas é o PELD (Projeto Ecológico de Longa Duração) Campos Sulinos (Chamada MCTI/CNPq/FAPs 34/2012) e o convênio entre o INPE (CRS) e a UFSM, que gerou resultados, alguns dos quais apresentados aqui. Busca-se avaliar técnicas capazes de auxiliar em respostas sobre o comportamento espectral de campos nativos em produtos de sensoriamento remoto com diferentes características. Os experimentos de espectrorradiometria foram relatados em artigos para simpósios, mas foram revisados aqui, juntamente com análises sobre outros produtos e técnicas. Este relatório também se destina a leitores não familiarizados com a terminologia e objetos do sensoriamento remoto, por isso alguns conceitos básicos são introduzidos.

1.1 Sensoriamento Remoto

Cada dia se torna mais comum a utilização de imagens de satélite para, entre outras, a representação de áreas em mapas, figuras, cartas e plantas. A disponibilidade de programas como o *Google Earth*, que permite a localização e observação de praticamente qualquer ponto da superfície terrestre, tornou as imagens de satélite, um dos principais produtos do sensoriamento remoto (SR), ferramentas do dia-a-dia.

O SR é o registro da radiação eletromagnética (REM) refletida ou emitida por objetos, através de sensores portáteis, a bordo de aeronaves ou satélites. Os produtos de SR podem ou não vir na forma de imagens, e sempre trazem informações sobre as características espectrais ou o quanto o objeto reflete ou emite REM em determinada faixa do espectro eletromagnético. O espectro eletromagnético é a organização da REM de acordo com sua frequência e comprimento de onda, e inclui a luz visível e outros tipos de REM fora de nosso alcance de visão. As faixas do espectro amostradas pelos sensores remotos são chamadas de bandas e podem cobrir diferentes regiões (como do infravermelho, das microondas, etc). Cada objeto na superfície terrestre tem uma maneira peculiar de refletir a REM, conhecida como assinatura espectral. O número de bandas e a faixa do espectro eletromagnético coberto por cada uma definem a resolução espectral do sensor. Quanto maior o número de bandas de um sensor, maior a faixa do espectro amostrada e maior as chances de representar características únicas e discriminar os objetos entre si nas imagens.

A maior parte dos sensores remotos é passiva e tem o Sol como principal fonte de energia, trabalhando com bandas no visível (como as máquinas fotográficas) e infravermelho, na chamada faixa óptica do espectro eletromagnético. Os sensores remotos ativos, não discutidos aqui, são os radares e LIDAR (*light detection and ranging*), que possuem sua própria fonte de energia, transmitindo e registrando o retorno da REM.

As imagens de SR, além de possuírem determinada resolução espectral, expressa nas suas bandas, também amostram áreas de diferentes extensões na superfície terrestre, possuindo, desta maneira, resoluções espaciais diversas. O nível de detalhe que um objeto exibirá na imagem é função da resolução espacial desta imagem. Outro parâmetro importante determinado quando o sensor é planejado é a resolução temporal, definida pelo tempo de revisita do satélite à mesma área na

superfície terrestre. Estes parâmetros e resoluções fazem com que cada produto de SR tenha diferentes características e apresente a superfície terrestre de uma maneira distinta.

A Tabela 1 mostra alguns parâmetros de sensores ópticos a bordo de satélites de observação da Terra atualmente em órbita e que fornecem imagens da superfície terrestre. Algumas destas imagens são disponíveis gratuitamente em <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/> e em outros *sites*.

Uma das maiores aplicações dos dados de SR é no mapeamento das diferentes coberturas da superfície terrestre, possibilitando o monitoramento e, em alguns casos, a quantificação de variáveis ambientais e atividades humanas (Jensen 2009).

1.2 Sensoriamento remoto da vegetação

A vegetação, enquanto cobertura mais extensa e parte fundamental dos ecossistemas, é estudada através de dados e técnicas de SR há várias décadas. Os principais mecanismos e organismos vegetais determinantes do comportamento espectral da vegetação foram conhecidos em estudos seminais como os de Knipling (1970) e Gausman (1977). A folha é onde a maior parte dos fenômenos de interação da REM ocorre, com os pigmentos, espaços intercelulares e conteúdo hídrico da folha desempenhando importantes papéis na absorção, transmissão e reflexão da REM (Ponzoni et al., 2012).

Tabela 1 - Alguns sensores ópticos a bordo de satélites de observação da Terra e seus parâmetros:

Satélite	Lançamento	Sensores	Bandas espectrais	Resolução espacial	Resolução temporal
Série SPOT	1986	HRVIR VEGETATION	5 bandas 0.48 -1.75 μm 4 bandas 0.43 -1.75 μm	1.5 m até 20 m 1000 m	26 dias
Série Landsat	1973	MSS TM ETM+ OLI e TIRS	5 bandas 0.5-12.6 μm 7 bandas 0.45 – 2.35 μm 8 bandas 0.45- 2.35 μm 8 bandas 0.43-12.51 μm	79 – 237 m 30 – 120 m 15 - 60 m 15 - 100 m	16 dias
RESOURCESAT (Série IRS)	1995	AWiFS LISS-3 LISS-4	4 bandas 0.52-1.70 μm 4 bandas 0.52-1.70 μm 3 bandas 0.52-0.86 μm	56 m 23.5 m 5.8 m	24 dias
IKONOS	1999		5 bandas 0.45 – 0.90 μm	0.82 – 4 m	3 dias
QuickBird	2001		5 bandas 0.45 – 0.90 μm	0.61 – 2.44 m	3 dias
GEOEYE	2008		5 bandas 0.45 – 0.90 μm	0.50 – 1.65 m	3 dias
EOS – Terra	1999	MODIS ASTER MISR	36 bandas 0.40 – 14.38 μm 14 bandas 0.52 – 11.65 μm 4 bandas 0.45 – 0.89 μm	0.25 – 1 km 15 – 90 m 0.25 – 1 km	1-2 dias
EOS – Aqua	2002	MODIS	36 bandas 0.40 – 14.38 μm	0.25 – 1 km	1-2 dias

As informações foram obtidas nos *sites* oficiais dos satélites na internet. Acrônimos usados na tabela: SPOT = Système Pour l'Observation de la Terre, HRVIR = High Resolution Visible and Infrared, MSS = Multispectral Scanner, (E)TM(+) = (Enhanced) Thematic Mapper (Plus), OLI = Operational Land Imager, TIRS = Thermal Infrared Sensors, IRMSS = Infrared Multispectral Scanner, IRS = Indian Remote Sensing Satellite, LISS = Linear Imaging Self-Scanning System, AWiFS = Advanced Wide Field Sensor, EOS = Earth Observing System, MODIS = Moderate Resolution Imaging Spectro Radiometer, ASTER = Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer, MISR = Multi-angle Imaging Spectro-Radiometer.

Obs: 1 μm (micrômetro) = 1000 nm (nanômetro)

Atualmente, entre os dados de SR mais utilizados no monitoramento da vegetação estão os índices de vegetação NDVI (*Normalised Difference Vegetation Index*) e EVI (*Enhanced Vegetation Index*), que realçam as diferenças entre a grande absorção da REM na região visível do espectro, especificamente do vermelho (R), e a reflectância na região do infra-vermelho (IR) próximo (Huete et al. 2002, Ponzoni et al. 2012). Muitos estudos usam os índices de vegetação como base, já que quanto maior o valor do índice (que varia de -1 a 1), mais verde e vigorosa está a vegetação (Petorelli et al. 2005, Baeza et al. 2006).

Os sensores MODIS têm bandas específicas para cálculo de índices de vegetação, algumas delas com resolução espacial de 250 m, e estão disponíveis livremente desde 2000 (produto MOD13). Vários estudos utilizando séries temporais MOD13 adicionaram o registro e monitoramento da fenologia da vegetação (Paruelo 2008, Liang e Schwartz 2009, Kuplich et al. 2013) entre as possibilidades de estudos com dados de SR.

O desenvolvimento do SR de vegetação campestre acompanhou as descobertas dos estudos iniciais com espectrorradiometria de folhas e foi favorecido pelas possibilidades adicionais de observar e quantificar a influência de fatores como iluminação e sombreamento, presença do solo e geometria da planta na resposta espectral (Tucker 1977, Asrar et al. 1986, Tucker et al. 1985).

Os remanescentes da cobertura vegetal do bioma Pampa foram mapeados com base em interpretação visual de imagens Landsat/TM (MMA 2007, Cordeiro & Hasenack 2009). Como nesta iniciativa, dados de SR têm sido utilizados para estudos de áreas campestres, sejam elas naturais ou cultivadas. A fenologia das espécies herbáceas e sua organização espacial (He *et al.* 2007; Aragón & Oosterheld 2008), mapeamento de tipologias campestres (Kuplich & Martin 2009), caracterização da fragmentação de campos (Baldi *et al.* 2006), entre outros temas,

têm sido alvo de estudos com suporte de dados de SR. Em geral, dados temporais (até 18 anos) de resolução espacial média ou baixa (de 30 m a 8 km), na forma de índices de vegetação, são utilizados em abordagens regionais (Paruelo *et al.* 2001; Guerschman *et al.* 2003; Anderson & Shimabukuro 2007; Alcaraz-Segura *et al.* 2009). A integração de índices de vegetação (também derivados de bandas Advanced Very High Resolution Radiometer - AVHRR/NOAA) com variáveis ambientais e meteorológicas foi a base de mapas de tipos funcionais de ecossistemas campestres nos campos temperados do sul da América do Sul (Paruelo *et al.* 2001; Guerschman *et al.* 2003; Alcaraz-Segura *et al.* 2009). Evidências da alta relação entre os índices de vegetação e dados de precipitação e temperatura reforçaram a idéia de controle climático na fenologia dos campos (Alcaraz-Segura *et al.* 2009). Índices de vegetação também podem ser utilizados como dados de entrada em modelos que estimam a produtividade de campos (Hill *et al.* 2004, Fonseca *et al.* 2006).

Importante observar que todos os estudos relatados aqui não prescindem de dados de campo e as relações estabelecidas entre dados remotos e de campo são peças fundamentais em todos os resultados obtidos neste tópico de pesquisa. Para o SR da vegetação campestre, deve-se levar em conta a matéria seca ou não-fotossinteticamente ativa no dossel, já que esta pode modificar consideravelmente o espectro de reflectância em relação ao da vegetação verde (Roberts *et al.* 1993) e enfraquecer as relações entre os dados remotos e as variáveis biofísicas medidas em campo (Kurtz *et al.* 2010).

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo principal destas pesquisas está localizada na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Rio Grande do Sul, no Departamento de Zootecnia, área de Forragicultura, a aproximadamente 4 km do campus central.

Possui uma área de aproximadamente 21 ha, dividida em 42 parcelas com tamanho médio de 0,5 ha (Figura 1).

As parcelas de campo nativo são manejadas de forma rotativa, com diferentes intervalos entre pastoreios em função da soma térmica acumulada para a duração da expansão foliar de dois grupos de gramíneas: 375 ou 750 graus dia (GD, obtidos pela soma de médias entre temperaturas mínimas e máximas diárias). Estes intervalos foram definidos com base na expansão de duas folhas de gramíneas nativas dos grupos funcionais A e B ou C e D (Quadros et al. 2009; Garragory, 2012). As gramíneas dos grupos A e B são majoritariamente prostradas, adaptadas a pastejos mais frequentes e intensos. As gramíneas dos grupos C e D são cespitosas e formam touceiras com bastante material senescente, presentes em áreas com pastejos menos frequentes (Quadros et al. 2009).

Estas parcelas são representantes dos campos nativos do bioma Pampa, que, juntamente com os Campos de Cima da Serra (no bioma Mata Atlântica no nordeste do estado) são denominados Campos Sulinos, com uso historicamente ligado à produção pecuária.

3. MÉTODOS E RESULTADOS

3.1 Trabalhos com espectrorradiômetro

Dois trabalhos utilizando espectrorradiometria de campo, realizados na área de estudo, foram documentados em artigos para simpósios. Em ambos trabalhos, realizados em outubro de 2010 e agosto de 2012, espectros de reflectância foram obtidos pela razão entre a radiância do dossel campestre e a radiância de uma placa lambertiana de referência, com o auxílio do espectrorradiômetro portátil de

campo *FieldSpec® HandHeld* que produz dados na faixa de 400 a 900 nm (visível a infravermelho próximo) do espectro eletromagnético.

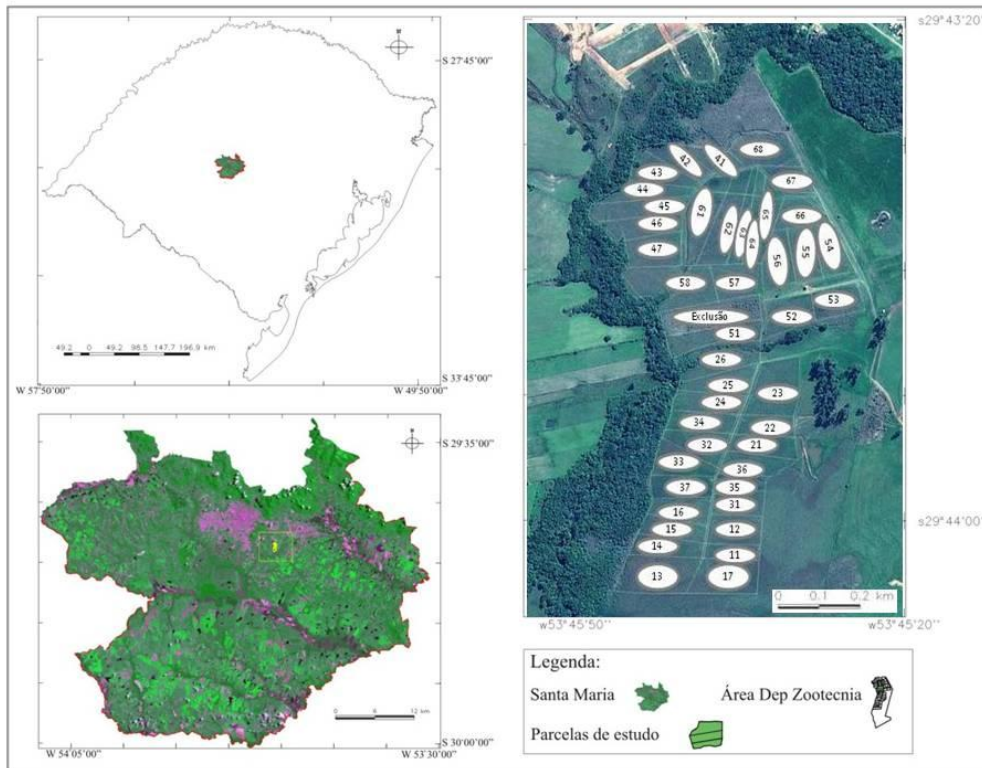


Figura 1 - Mapa de localização de Santa Maria no RS e das parcelas de campo nativo do DZ/UFSM.

O espectrorradiômetro foi posicionado a aproximadamente 1 metro acima do solo, sempre pelo mesmo operador, a fim de obter um campo de visada de aproximadamente 50 cm (Figura 2). Ao mesmo tempo em que foi medida a reflectância espectral, foram realizadas fotos do ponto de coleta, utilizando o aparelho de GPS Oregon 550t da Garmin.

Para estimativa do NDVI a partir dos dados do espectrorradiômetro, foram utilizados os valores médios de reflectância entre 630-690 nm para o vermelho (R) e 760-900 nm para o infravermelho (IR) na equação $NDVI = (IR - R) / (IR + R)$.

No primeiro dos trabalhos de espectrorradiometria, de Trentin et al. (2011), medidas de reflectância de campo foram realizadas em duas parcelas pastejadas (1 e 2), com menor biomassa em relação à terceira parcela (3). A parcela 3 tinha grande quantidade de forragem acima do solo, pois foi excluída do pastejo anteriormente. Em cada parcela foram escolhidos aleatoriamente 20 pontos amostrais onde se coletou a reflectância espectral. Ao mesmo tempo, foram selecionados aleatoriamente seis entre os vinte pontos amostrais para realizar o corte da vegetação para estimar biomassa. Para os demais pontos, a biomassa foi estimada utilizando análises de regressão a partir da biomassa calculada para os pontos em que foram realizados os cortes, com estimativas visuais para os demais pontos. Em todos os pontos foi medida a altura média de curvatura das folhas do topo do dossel.

Conforme esperado, a resposta espectral da vegetação campestre, nas três parcelas consideradas, apresentou diferenças na quantidade de radiação refletida nas faixas do espectro eletromagnético (Figura 3).

A aparência senescente da vegetação nas parcelas analisadas provocou variação na resposta espectral em relação à vegetação verde ou fotossinteticamente ativa. Na época do ano em que as medidas espectrais foram realizadas (outubro), considerando que as temperaturas naquele ano permaneceram abaixo das normais para o período, a vegetação ainda apresentava aspecto de inverno, quando a maior parte dos indivíduos estava na fase de senescência. Nesta fase, a presença de material seco, sem clorofila ou não-fotossintetizante (*nonphotosynthetic vegetation* ou NPV), diminui a razão entre IR e R, e enfraquece

a discriminação entre vegetação verde, solo e NPV (Roberts et al. 1993) Este efeito foi observado principalmente na parcela de exclusão (3), onde a quantidade de biomassa acumulada, verde e seca, era muito maior que nas demais parcelas.



Figura 2 - Coleta de dados espectrais com espectrorradiômetro portátil -
FieldSpec® HandHeld

Na faixa do visível, o pico de reflectância característico na região do verde não foi acentuado, assim como a alta absorção na região do vermelho. Destaca-se a resposta espectral da parcela de exclusão (3) que apresentou a menor reflectância no verde, aumentando no vermelho (Figura 3).

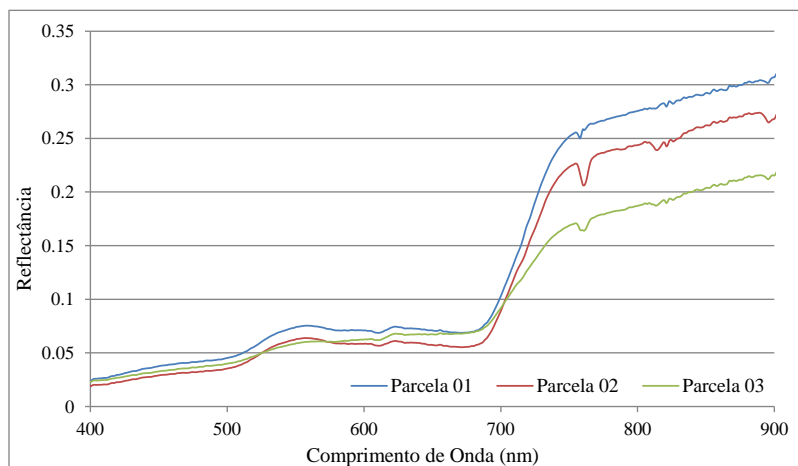


Figura 3 – Resposta espectral da vegetação campestre em três parcelas com diferentes tipos de manejo (Trentin et al. 2011).

Na porção do IR próximo ocorreram as maiores diferenças na quantidade de energia refletida pelas três parcelas (Figura 3). Onde havia exclusão de pastejo (parcela 3) houve menor reflectância, indicando menor diferença de energia refletida entre a faixa visível e do IR próximo. A ocorrência de déficit hídrico promove as mudanças na resposta espectral, deslocando o pico de reflectância para o vermelho em função da degradação da clorofila e diminuindo a reflectância no infravermelho próximo devido à degeneração das membranas celulares do mesófilo durante a senescência (Fonseca et. al. 2007).

A resposta espectral, principalmente na faixa do IR próximo, se diferenciou em função da biomassa disponível em cada parcela, exibindo uma relação inversa entre biomassa e reflectância (mais biomassa, menos reflectância), justamente pela relação direta entre material senescente (ou NPV) e biomassa (mais biomassa, mais NPV). Na parcela 3, a biomassa disponível é de aproximadamente 6613 kg/ha e a presença de NPV foi maior em comparação às demais. As parcelas 1 e 2 apresentaram menor quantidade de biomassa (em torno de 4578 kg/ha e 3140 kg/ha, respectivamente) e a resposta espectral também foi

diferenciada. Esta diferença também pode estar relacionada ao predomínio de gramíneas prostradas de porte baixo (menor biomassa) com pouca matéria seca na parcela 2 e a maior presença de espécies cespitosas (maior biomassa) na parcela 1.

Os dados de biomassa e altura da vegetação, e suas correlações com a reflectância nos comprimentos de onda selecionados - 550 e 710nm - são mostrados na Tabela 2. Nas parcelas 1 e 2, o coeficiente de correlação demonstrou a relação entre biomassa e altura com os comprimentos de onda 550nm (correspondente à porção verde no espectro eletromagnético) e 710nm (início da faixa do infravermelho próximo).

Tabela 2 - Coeficiente de correlação (r) entre biomassa e altura da vegetação nas três parcelas de estudo com a reflectância espectral em dois comprimentos de onda correspondentes ao vermelho (550 nm) e ao infra-vermelho (710 nm).

	Parcela 01		Parcela 02		Parcela 03	
	Biomassa	Altura	Biomassa	Altura	Biomassa	Altura
Reflectância 550nm	0,67	0,67	0,88	0,81	0,28	0,37
Reflectância 710nm	0,74	0,80	0,90	0,85	0,24	0,30

A parcela 2, com menor biomassa, mas maior frequência de gramíneas prostradas, apresentou as maiores estimativas de correlação do conjunto de dados, devido, provavelmente, à menor quantidade de material seco/senescente. Já a parcela 3, com grande biomassa e material seco, as correlações foram baixas. É um desafio considerar a totalidade da estrutura vegetal (e sua

degradação em processo de senescência) nas estimativas de biomassa e produtividade vegetal (Roberts et al. 1993, Pilon et al. 2010, Kurtz et al. 2010).

No segundo trabalho com espectrorradiometria de campo, de Barbieri et al (2013), verificou-se que a resposta espectral da vegetação campestre, nas parcelas consideradas para o estudo (15, 23, 51, 58 e exclusão), apresentou diferenças na quantidade de radiação refletida em relação às faixas do espectro eletromagnético, conforme o intervalo de pastoreio e a quantidade de material verde e NPV (Figura 4). O espectro característico de gramíneas pode apresentar feições causadas pela presença de NPV, e geralmente difere da vegetação verde pela maior reflectância na região do visível (baixa absorção dos pigmentos fotossintetizantes) e menor reflectância na região do infra-vermelho (IR) próximo, se o mesófilo foliar estiver desintegrado (Asrar et al. 1986). A maior presença de sombras nos dosséis de espécies cespitosas também causa a diminuição da reflectância.

Os espectros das parcelas 15 e 23, referentes à soma térmica de 375 GD, exibiram maior reflectância do que as demais parcelas em praticamente todos os comprimentos de onda. Na região do verde (550 nm), a parcela 23 atingiu valores de reflectância maiores que 10% (Figura 4). As parcelas referentes à soma térmica de 375 GD apresentam mais espécies prostradas e com mais biomassa verde, pois são submetidas a pastejos mais frequentes.

Os espectros das parcelas 51 e 58 (750 GD) tiveram comportamento semelhante entre elas e em relação à parcela de exclusão, onde a vegetação tem maior altura, mais NPV e maior quantidade de biomassa (Figura 4).

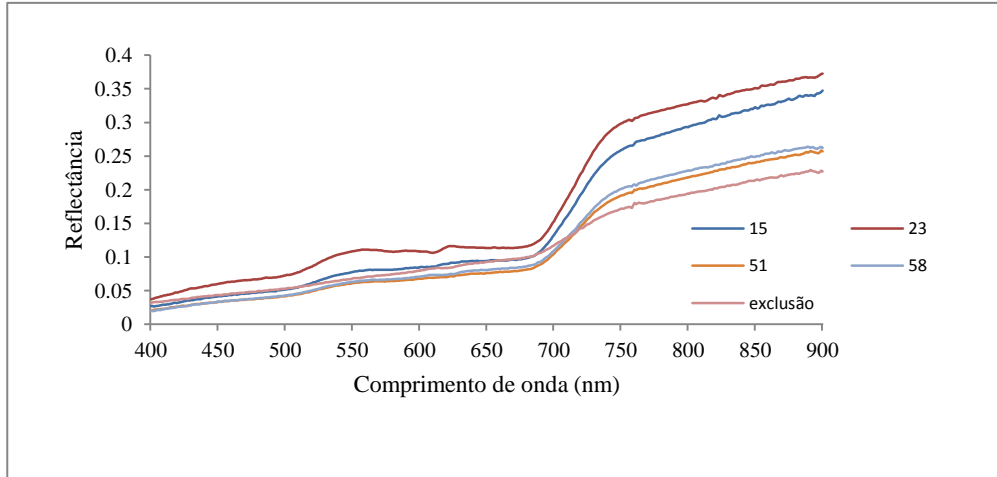


Figura 4 - Espectros de reflectância das parcelas analisadas (Barbieri et al., 2013).

Ao analisar o intervalo de 375 GD (parcelas 15 e 23) confirmou-se uma composição com maior frequência de gramíneas dos grupos funcionais A e B, que possuem melhor qualidade e crescimento prostrado (ex.: *Axonopus affinis*, *Coelorachis selloana*, *Paspalum notatum*). Também apresentam percentual de material verde maior em relação à biomassa, tendendo a apresentar características de homogeneidade no pasto, o que pode ser verificado na figura 5. O espectro apresenta uma reflectância ligeiramente maior na região do verde e do infra-vermelho em relação aos demais, caracterizando a maior densidade de material fotossinteticamente ativo e folhas verdes íntegras.

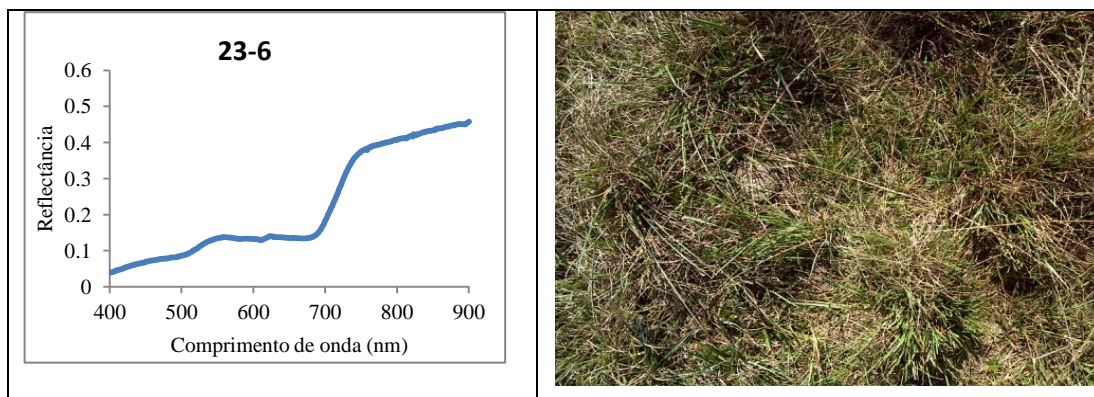


Figura 5 - Espectro de reflectância do ponto 6 da parcela 23 (375 GD) com respectiva foto do ponto de coleta do espectro (Barbieri et al., 2013).

A influência de sombra foi reduzida na leitura 23.6 (Figura 5), o pasto encontrava-se mais baixo, e o NDVI estimado foi de 0.511. A média geral do NDVI da parcela 23 foi de 0.496.

Na análise do tratamento de 750 GD (potreiros 51 e 58) verificou-se a presença de gramíneas dos grupos funcionais C e D, com crescimento em touceiras e conservadoras de recursos (ex.: *Aristida laevis*, *Andropogon lateralis*, ambas “entouceiradas”), de menor qualidade, mas com maior volume de biomassa verde e seca, o que pode ter ocasionado os espectros com reflectâncias mais baixas (Figura 6). A presença maior de sombras também pode ter reduzido ainda mais os espectros em relação aos demais.

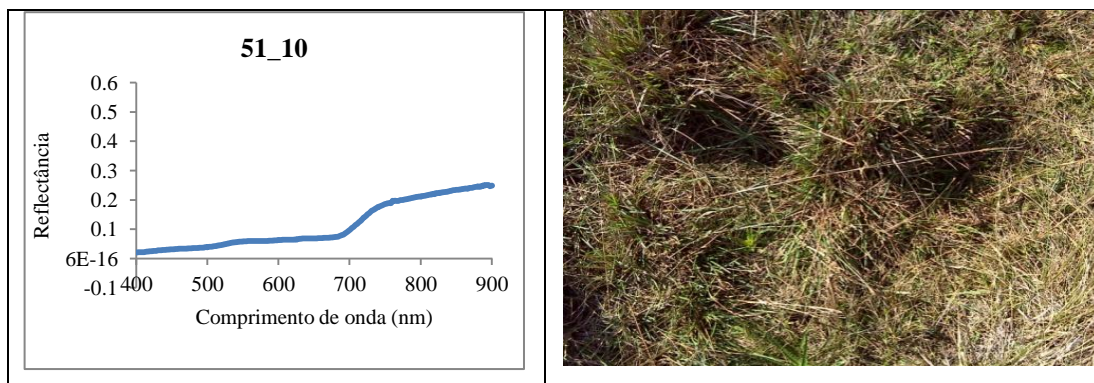


Figura 6 - Espectro de reflectância do ponto 10 da parcela 51 (750 GD) com foto do respectivo ponto de coleta do espectro (Barbieri et al., 2013).

Nas parcelas de 750 GD, foram registrados espectros com reflectâncias mais baixas na faixa espectral do verde, não ultrapassando 10% de reflectância. O NDVI da leitura 10 da referida parcela foi de 0.519. A média geral do NDVI da parcela 51 foi de 0.494.

Na parcela de exclusão de pastejo, onde a densidade de vegetação é muito maior em relação às outras parcelas, fica evidente que o pasto seco faz com que valores de reflectância se reduzam, principalmente na faixa espectral do IR. O NDVI médio do potreiro de exclusão foi de 0.375, o mais baixo encontrado nas parcelas de análise (Figura 7).

3.2 NDVI com dados MODIS

Adquiriu-se uma série temporal do índice de vegetação NDVI obtido pelo sensor MODIS, através do produto MOD13Q, com resolução espacial de 250m, para o período de janeiro de 2002 a dezembro de 2012, totalizando 253 imagens (23 imagens por ano). A área de estudo foi amostrada nos produtos MOD13 através do aplicativo SPRING 5 efetuando-se o recorte de acordo com os limites da área de estudo.

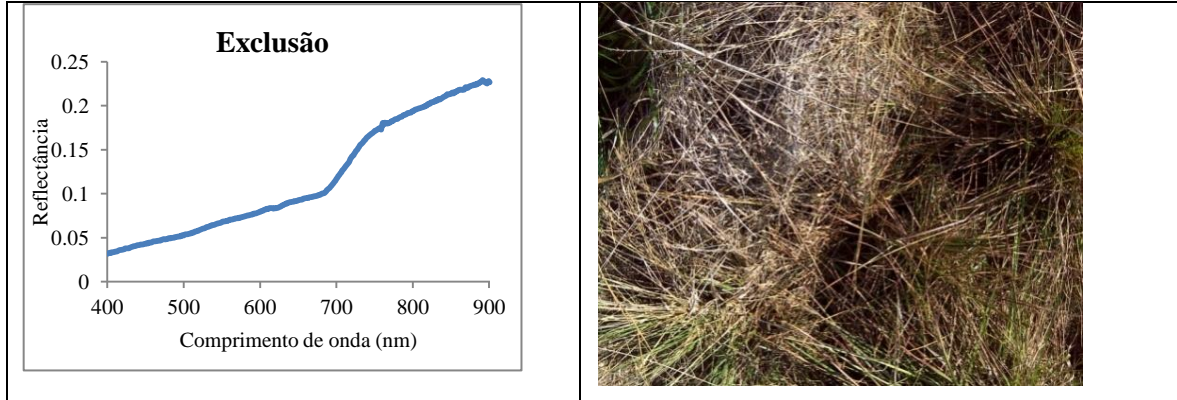


Figura 7 - Espectro de reflectância da parcela de exclusão com foto do respectivo ponto de coleta do espectro (Barbieri et al., 2013).

Como método de análise foi selecionada a função matemática conhecida como Transformada de Ondaleta (*wavelet*) ou TO, que permite decompor e descrever séries de dados temporais em diferentes escalas de tempo e frequência (Percival et al., 2004). A TO é uma ferramenta de análise comumente usada em estudos de séries de dados meteorológicos, pois auxilia na identificação de ciclos e frequência de ocorrência, assim como eventuais perturbações nestes ciclos. Os gráficos gerados pela aplicação da TO permitem a observação da variação dos dados quanto ao tempo de ocorrência (eixo x) e a periodicidade (eixo y). É possível também supor a associação destas variações, no caso a resposta da vegetação, a eventos meteorológicos de longa ou curta duração (Rosembach et al. 2009).

Criou-se uma planilha com valores médios de NDVI extraídos do produto MOD13Q para a área de estudo nas 253 datas. Estes dados foram importados para o aplicativo MatLab para a geração do espectro de potência, através da TO. Após uma série de testes, optou-se por utilizar a função ondaleta mãe Dog, parâmetro 2, com 95% de significância. A ondaleta mãe do tipo Dog foi escolhida

em função da facilidade de visualização das variações anuais e inter-anuais na resposta da vegetação (Costa e Kuplich 2011).

Os dados meteorológicos obtidos do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) foram analisados juntamente com os valores de NDVI. Obtiveram-se valores médios mensais de temperatura do ar e precipitação pluvial para as mesmas datas NDVI e estimadas as relações através de Análise de Correlação com defasagem de tempo.

A série temporal (2002 - 2012) NDVI permitiu a identificação da dinâmica fenológica e sazonal da vegetação campestre, com aumento nos valores durante as estações quentes do ano (primavera e verão) e diminuição nas estações mais frias (outono e inverno) (Figura 8). Resultados semelhantes são apresentados em Silveira et al. (2013) e Kuplich et al. (2013). Como esta área apresenta manejo conservativo, onde o gado pasteja em campo nativo, sem a introdução de espécies invernais, é comum o decréscimo de massa foliar verde nos meses frios, com a retomada do vigor vegetal nos meses quentes do ano.

No espectro de potência e espectro de potência global (Figura 8B e 8C) é possível a confirmação da sazonalidade da vegetação campestre, com ciclo anual bem marcado, variando em torno de 23 repetições, que caracterizam 1 ano de amostragem (aproximadamente 23 observações, ou 1 ano de dados NDVI, disponíveis a cada 16 dias). A ausência de picos de energia entre os anos de 2003 a 2005 deve estar associada à ocorrência de anomalias nas condições locais de precipitação do Rio Grande do Sul. No ano de 2005, por exemplo, foi verificada um grande seca no estado, também registrada para Santa Maria. O espectro de potência global aponta a importância de ciclo interanual, praticamente decadal (entre 184 e 253 observações) para os anos a partir de 2010, provavelmente

relacionado a fenômenos meteorológicos de grande escala, como El Niño e La Niña.

Para a Análise de Correlação com defasagem de tempo entre NDVI e variáveis meteorológicas, pode-se identificar forte relação com a temperatura do ar (Tabela 3). Nota-se que a resposta da vegetação à variação de temperatura ocorre com intensidade para o mês considerado e após 30 dias de defasagem (Lag1), corroborando a influência desta variável na dinâmica de crescimento vegetal. Para precipitação, a correlação foi fraca, o que é condizente com a conhecida variabilidade das chuvas ao longo dos meses e anos no RS. Estudos similares em vegetação campestre da Área de Proteção Ambiental (APA) do Ibirapuitã, também no RS, obtiveram resultados diferentes, com resposta do NDVI após 1 e 2 meses de alta precipitação (Costa e Kuplich 2011).

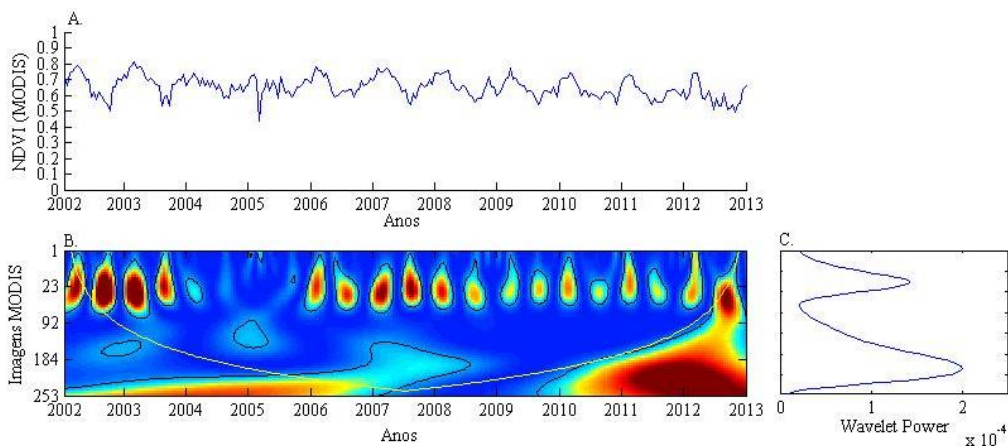


Figura 8 - Série original NDVI para amostra de campo nativo em Santa Maria (A), Espectro de potência da série gerado pela transformada de ondaleta (B) e Espectro de potência global (C).

Tabela 3 - Coeficiente de correlação – r - entre NDVI e dados de Temperatura do ar e Precipitação pluvial com defasagem de tempo (lag = 30 dias) para o período de 2002 – 2012:

Período de defasagem	Temperatura do ar	Precipitação pluvial
LAG 0	0,64	0,11
LAG 1	0,65	0,16
LAG 2	0,51	0,21

3.3 NDVI com dados de diferentes sensores

Além da TO, com dados de variadas resoluções espaciais, disponíveis para a área de estudo (Tabela 4), incluindo os dados coletados em campo com o espectrorradiômetro, foram calculados o NDVI e realizadas Análise de Variância e Teste de Tukey. O objetivo era verificar o potencial das diferentes imagens, expresso através do NDVI, para a discriminação das parcelas na área de estudo. A hipótese, sugerida pelos dados espectrais coletados em campo, era que os tipos de manejo e características associadas geravam reflectâncias diversas, registráveis pelo NDVI. Também se pretendia avaliar qual a resolução espacial ideal de dados de sensoriamento remoto para trabalhos com vegetação campestre.

A primeira fase do processamento digital das imagens envolveu o georeferenciamento, com o registro das imagens HRV (Satélite SPOT), LISS e GeoEye, utilizando como referência o mosaico GeoCover Landsat de 2000 fornecido pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). Em sequência, fez-se a conversão dos dados para radiância e reflectância e realizou-

se a correção atmosférica. Prosseguiu-se com a geração dos índices NDVI a partir da reflectância de superfície para 10 parcelas da área de estudo.

Tabela 4 - Datas dos dados selecionados para cálculo de NDVI. A descrição dos acrônimos dos nomes dos sensores está na Tabela 1:

Sensor	Data	Resolução espacial
HRV	05-03-2012	10 m
LISS	19-07-2012	23 m
Espectrorradiômetro	09-08-2012	Variável
GeoEye	02-09-2012	1,6 m
MODIS	15-09-2012	250 m

Os resultados da análise de variância indicaram diferenças significativas ($p < 0.05$) entre os dados das diferentes parcelas e o NDVI produzido com dados dos diversos sensores. A comparação entre médias no teste de Tukey apontou diferenças no NDVI entre os dados. Na Tabela 5 as médias de NDVI foram colocadas em ordem crescente e a diferença entre duas médias é indicada por letras distintas.

A diferença entre o dado MODIS e os demais revelam a importância da resolução espacial na individualização das coberturas terrestres, no caso, das parcelas de vegetação campestre. Apenas 2 pixels MODIS de 250 metros cobriam a área de estudo e foram amostrados, ocorrendo mistura espectral e captura da resposta de coberturas diversas, como as matas ciliares e culturas agrícolas adjacentes às parcelas.

Tabela 5 - NDVI médio de 10 parcelas a partir de dados de diferentes sensores. Letras diversas indicam diferenças significativas entre as médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade:

HRV	0.449 a
LISS	0.485 ab
Espectrorradiômetro	0.494 ab
GeoEye	0.519 b
MODIS	0.588 c

As diferenças encontradas entre os dados HRV e GeoEye têm relação com as datas diversas de aquisição das imagens, assim como as variadas resoluções espaciais (HRV/SPOT 10 m e GeoEye 1.65 m). A semelhança dos dados do espectrorradiômetro com os demais (exceto MODIS) revela a adequação da correção atmosférica dos dados orbitais. Pode-se também afirmar que a mistura espectral de diferentes coberturas (principalmente vegetação verde, NPV e solo) é presente para todos os dados considerados (exceto MODIS, que teria mistura com a mata ciliar e cultura agrícola/solo nu adjacentes às parcelas).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A espectrorradiometria de campo apontou as características espectrais da vegetação de parcelas de campo nativo sob diferentes tipos de manejo. Foi constatada a participação do NPV (material seco/senescente) na resposta espectral das parcelas, sinalizando a importância de se considerar a fenologia e o estágio de desenvolvimento da vegetação em estudos deste tipo. Quanto mais

material verde ou fotossinteticamente ativo, maior a acurácia nas estimativas de biomassa e produtividade a partir de dados remotos.

As maiores correlações encontradas foram entre biomassa e dados do IR próximo para as parcelas pastejadas, principalmente para a parcela com maior frequência de gramíneas prostradas. Para a variável altura as correlações com biomassa também foram significativas, conforme esperado.

As duas estratégias de manejo empregadas pelo Departamento de Zootecnia da UFSM – intervalos de pastoreio de 375 GD e 750 GD - em parcelas de campo nativo, apresentaram diferentes características espectrais. No visível e IR próximo, maior reflectância é observada para as parcelas com maior número de espécies prostradas (375 GD), que apresentam mais material verde e menos NPV e sombras. Parcelas com maior quantidade de espécies cespitosas que formam touceiras (750 GD) apresentaram reflectância mais baixa em praticamente todas as regiões consideradas, revelando maior presença de NPV e sombras no dossel campestre.

Dados no IR médio (2 μm a 2.2 μm), se disponíveis, ajudariam a quantificar o NPV no dossel campestre (Roberts et al. 1993, Guershman et al. 2009), melhorando a estimativa de oferta de forragem nos campos nativos.

Além da dinâmica fenológica anual de vegetação campestre, foi possível identificar, com ajuda de série temporal de dados MODIS/NDVI, variação no crescimento da vegetação em períodos distintos durante a série considerada. As relações com dados meteorológicos apontou maior correlação dos dados de NDVI com a temperatura do ar e correlação fraca com dados de precipitação pluvial. Pode se notar que a resposta da vegetação à temperatura ocorre com intensidade no mês de análise e após 30 dias de defasagem.

Estudos de vegetação campestre com dados de sensoriamento remoto demandam uma quantidade importante de informações de campo para estabelecimento de relações entre as variáveis (altura, biomassa, cobertura, etc) e generalização das relações estabelecidas localmente. A quantidade de matéria seca (NPV) nas pastagens naturais é fator limitante para estimativa acurada de biomassa/produtividade a partir de dados remotos e necessita de estudos mais detalhados, através de espectrorradiômetro com maior resolução espectral, em diferentes condições ambientais e em maior número de parcelas.

As diferentes imagens e dados de sensoriamento remoto analisados aqui demonstram, mesmo com limitações, as possibilidades de estudo da vegetação campestre através destes dados e técnicas. Estudos adicionais vêm sendo realizados, com intuito de esclarecer relações entre os dados e aumentar a precisão das informações sobre vegetação campestre disponíveis remotamente.

5. REFERÊNCIAS

- ALCARAZ-SEGURA, D.; CABELLO, J.; PARUELO, J. M. Baseline characterization of major Iberian vegetation types based on the NDVI dynamics. **Plant Ecology**, v. 202, p. 13-29, 2009.
- ANDERSON, L. O.; SHIMABUKURO, Y. E., 2007. Monitoramento da cobertura terrestre: fenologia e alterações antrópicas. . **Sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**: Sao Jose dos Campos, Editora Parentese, p. 185-206.
- ARAGÓN, R.; OESTERHELD, M. Linking vegetation heterogeneity and functional attributes of temperate grasslands through remote sensing. **Applied Vegetation Science**, v. 11, p. 117-130, 2008.

- ASRAR, G.; WEISER, R. L.; JOHNSON, D. E.; KANEMASU, E. T.; KILLEN, J. M. Distinguishing among tallgrass prairie cover types from measurements of multispectral reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v. 19, p. 159:169, 1986.
- BAEZA, S.; PARUELO, J. M.; ALTESOR, A. Caracterización funcional de la vegetación del Uruguay mediante el uso de sensores remotos. **Interciencia**, v. 31, n.5, p. 382-388, 2006.
- BALDI, G.; GUERSCHMAN, J. P.; PARUELO, J. M. Characterising fragmentation in temperate South America grasslands. **Agriculture, Ecosystems and Environment** v. 116, p. 197-208, 2006.
- BARBIERI, D. W.; KUPLICH, T. M.; MOREIRA, A.; MARTINS, R. C.; QUADROS, F. L. F.; BARBIERI, C. Avaliação de diferentes tipos de manejo de pastagem natural utilizando valores de reflectância coletados com espectrorradiômetro. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. INPE, Foz do Iguaçu, 2013. p. 8822-8829.
- BOLDRINI, I., 2009. A flora dos campos do Rio Grande do sul. In: PILLAR, V. D.; MULLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. S.; JACQUES, A. V. A., eds., **Campos Sulinos: Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade**: Brasília, MMA, p. 63-77.
- CORDEIRO, J. L. P.; HASENACK, H., 2009. Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul. In: PILLAR, V. D.; MULLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. S.; JACQUES, A. V. A., eds., **Campos Sulinos: Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade**: Brasília, MMA, p. 285-299.
- COSTA, B. S. C.; KUPLICH, T. M. Análise da dinâmica de vegetação campestre em série temporal de índice de vegetação e dados meteorológicos In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. INPE, Curitiba, 2011. p. 5638-5645
- 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, n.6, p. 1668-1674, 2007.
- FONSECA, E. L.; SILVEIRA, V. C. P.; SALOMONI, E. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa incidente em biomassa aérea da

vegetação campestre natural no bioma Campos Sulinos do Brasil. **Ciência Rural**, v. 36, p. 656-659, 2006.

GARRAGORY, F. C. **Alternativas de manejo de pastagem natural submetida a pastoreio rotativo**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 212 p. Tese, Zootecnia, 2012.

GAUSMAN, H. W. Reflectance of leaf components. **Remote Sensing of Environment**, v. 6, n.1, p. 1-9, 1977.

GUERSCHMAN, J. P.; PARUELO, J. M.; BURKE, I. C. Land use impacts on the normalized difference vegetation index in temperate Argentina. **Ecological Applications**, v. 13, n.3, p. 616-628, 2003.

HE, Y.; GUO, X.; SI, B. C. Detecting grassland spatial variation by a wavelet approach. **International Journal of Remote Sensing** v. 28, n.7, p. 1527-1545, 2007.

HILL, M. J.; DONALD, G. E.; HYDER, M. W.; SMITH, R. C. G. Estimation of pasture growth rate in the south west of Western Australia from AVHRR NDVI and climate data. **Remote Sensing of Environment**, v. 93, p. 528-545, 2004.

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 195-213, 2002.

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

KNIPLING, E. B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v. 1, p. 155-159, 1970.

KUPLICH, T. M.; MARTIN, E. V., 2009, Identificação de tipologias da vegetação campestre e o uso de imagem Thematic Mapper (Landsat 5) na região dos Campos de Cima da Serra, Bioma Mata Atlântica. , in INPE, XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, RN, INPE, p. 2769-2775.

KUPLICH, T. M.; MOREIRA, A.; FONTANA, D. C. Série temporal de índice de vegetação sobre diferentes tipologias vegetais no Rio Grande do Sul.

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 17, n.10, p. 1116-1123, 2013.

KURTZ, D. B.; SCHELLBERG, J.; BRAUN, M. Ground and satellite based assessment of rangeland management in sub-tropical Argentina. **Applied Geography**, v. 30, p. 210-220, 2010.

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

MMA (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE), 2007, Mapas de Cobertura Vegetal dos Biomas Brasileiros:relatório do Bioma Pampa, Disponível em <http://www.mma.gov.br/portabio>, Porto Alegre, RS, UFRGS, p. 31.

OVERBECK, G. E.; MÜLLER, S. C.; FIDELIS, A.; PFADENHAUER, J.; PILLAR, V. D.; BLANCO, C. C.; BOLDRINI, I. I.; BOTH, R.; FORNECK, E. D. Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 9, n.2, p. 101-116, 2007.

PARUELO, J. M. La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos. **Ecosistemas**, v. 17, n.3, p. 4 - 22, 2008.

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

PETTORELLI, N.; VIK, J. O.; MYSTERUD, A.; GAILLARD, J.-M.; TUCKER, C. J.; STENSETH, N. C. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 20, n.9, p. 503-510, 2005.

PILON, R.; KLUMPP, K.; CARRERE, P.; PICON-COCHARD, C. Determination of aboveground net primary productivity and plant traits in grasslands with near-infrared reflectance spectroscopy. **Ecosystems**, v. 13, p. 851–859, 2010.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. Oficina de Textos, 2012. 176 p.

QUADROS, F. L. F.; TRINDADE, J. P. P.; BOARBA, M., 2009. A abordagem funcional da ecologia campestre como instrumento de pesquisa e apropriação do conhecimento pelos produtores rurais. In: PILLAR, V. D.;

- MULLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. S.; JACQUES, A. V. A., eds., **Campos Sulinos: Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade**: Brasília, MMA, p. 206-214.
- ROBERTS, D. A.; SMITH, M. O.; ADAMS, J. B. Green Vegetation, Nonphotosynthetic Vegetation, and Soils in AVIRIS Data. **Remote Sensing of Environment**, p. 255-269, 1993.
- ROSEMBACK, R.; FERREIRA, N. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; CONFORTE, J. C. Análise de ondaletas aplicada a dados multitemporais de NDVI/MODIS. **Geografia, Rio Claro**, v. 34, n.3, p. 559-575, 2009.
- SILVEIRA, A. C. R.; KUPLICH, T. M.; MOREIRA, A.; BARBIERI, D. W.; OVERBECK, G. E.; ABREU, P. M. F. Desempenho de EVI e NDVI para monitorar vegetação campestre através de ondaletas. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. INPE, Foz do Iguaçu, 2013. p. 3090-3097.
- TRENTIN, A. B.; KUPLICH, T. M.; MOREIRA, A.; GARRAGORY, F. C.; QUADROS, F. L. F. Relação da biomassa aérea com a resposta espectral de parcelas de campo com diferentes tipos de manejo. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. INPE, Curitiba, 2011. p. 1555-1562.
- TUCKER, C. J. Asymptotic nature of grass canopy spectral reflectance. **Applied Optics**, v. 16, n.5, 1977.
- TUCKER, C. J.; VANPRAET, C. L.; SHARMAN, M. J.; VAN ITTERSUM, G. V. Satellite remote sensing of total herbaceous biomass production in the Senegalese Sahel: 1980-1984. **Remote Sensing of Environment**, v. 17, p. 233-249, 1985.