



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

**ESTIMATIVAS DE VARIÁVEIS BIOFÍSICAS DE VEGETAÇÃO CAMPESTRE SOB**  
**MANEJO PASTORIL POR MEIO DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Marildo Guerini Filho

Porto Alegre, 05 de maio de 2018

Marildo Guerini Filho

**ESTIMATIVAS DE VARIÁVEIS BIOFÍSICAS DE VEGETAÇÃO CAMPESTRE SOB  
MANEJO PASTORIL POR MEIO DE SENSORIAMENTO REMOTO**

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

**Orientado:** Marildo Guerini Filho

**Orientador:** Prof. Dr<sup>a</sup>. Tatiana Mora Kuplich

Porto Alegre, 05 de maio de 2018

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

Marildo Guerini Filho

**ESTIMATIVAS DE VARIÁVEIS BIOFÍSICAS DE VEGETAÇÃO CAMPESTRE SOB  
MANEJO PASTORIL POR MEIO DE SENSORIAMENTO REMOTO**

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

Aprovado em 05 de maio de 2018:

---

Tatiana Mora Kuplich, Dr<sup>a</sup>. (INPE)  
(Orientadora)

---

Denise Cybis Fontana, Dr<sup>a</sup>. (UFRGS)

---

Valério De Patta Pillar, Dr. (UFRGS)

---

Cláudio Wilson Mendes Junior, Dr. (UFRGS)

Porto Alegre, 05 de maio de 2018.

*“Os principais problemas ambientais são a apatia, a ganância e o egoísmo. E para lidar com estes, necessitamos de uma transformação espiritual e cultural”.*

*Gus Speth*

*À minha família, pela dedicação e esforço em  
minha educação.  
Ao Senhor maior, por me conceder mais esta  
etapa de muito conhecimento e sabedoria.*

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Marildo Carnetti Guerini e Marilene Zenati Guerini e à minha irmã, Viviane Guerini, pelo carinho e apoio, fundamentais para a realização desta etapa de minha vida;

À minha orientadora, Prof. Dr<sup>a</sup>. Tatiana Mora Kuplich, pela oportunidade concedida, paciência, exemplo, ensinamentos e por acreditar na minha capacidade de realizar este trabalho. Pelo incentivo e apoio dispensados ao longo da construção desta dissertação, gratidão;

Aos Professores, Fernando Luiz Ferreira de Quadros e Valério De Patta Pillar por todas as contribuições na realização deste trabalho;

À minha namorada, Jéssica, pelo carinho, compreensão e apoio em todos os momentos desta caminhada;

Aos colegas, Bruno Castro Kuinchtner, Virindiana Colet Bortolotto, Diniz Carvalho de Arruda, Adriana Coromoto Becerra Rondon, Alberto Senra Gonçalves pela colaboração, companheirismo e pela amizade;

À Universidade Federal de Rio Grande do Sul, pela oportunidade de desenvolver e concluir este projeto;

À CAPES pelo auxílio financeiro e concessão da bolsa durante a realização deste estudo;

Com carinho, emano a todos minha gratidão.

## RESUMO

O Bioma Pampa representa aproximadamente 63% do território do Estado do Rio Grande do Sul - Brasil caracteriza-se pela alta biodiversidade de espécies vegetais e por sua formação predominantemente campestre. Em função da contínua incorporação de espécies exóticas, monoculturas e a práticas por vezes inadequadas de manejo pastoril para produção pecuária, os campos do Bioma Pampa estão rapidamente sendo degradados, fragmentados e descaracterizados. A Biomassa é uma das variáveis biofísicas estratégicas de interesse em estudos de controle, monitoramento e estimativas da vegetação campestre. O objetivo principal deste estudo é contribuir no desenvolvimento de novas estratégias de manejo e monitoramento adequados da vegetação campestre e inferir regressão linear multivariada para estimar a biomassa dos campos nativos a partir de dados remotos e dados de campo. As avaliações foram realizadas em área pertencente à Universidade Federal de Santa Maria, localizada na região central do Rio Grande do Sul. Os manejos pastoris correspondem a duas somas térmicas acumuladas, em dias, de 375 e 750 graus-dias (GD), que determinaram os intervalos entre pastoreio. Os dados remotos utilizados foram oriundos de imagem MSI do Satélite Sentinel-2 e dados de espectrorradiômetro com amplitude de 350-2500 nm. Verificou-se que as duas técnicas apresentaram resultados satisfatórios, em que inferiu-se regressões com  $r^2_{ajustado} = 0.65$  para estimar biomassa verde e regressões com  $r^2_{ajustado} = 0.61$  para biomassa total e biomassa senescente. Desta forma, o estudo verificou que é possível minimizar os esforços de campo para auxiliar no monitoramento, organização e conservação dos campos nativos do Bioma Pampa utilizando dados de sensoriamento remoto como ferramenta de manejo buscando a sustentabilidade destes complexos ambientes naturais.

**Palavras-chave:** Bioma Pampa, campos nativos, biomassa, sensoriamento remoto



## ABSTRACT

The Pampa Biome represents approximately 63% of the territory in the State of Rio Grande do Sul - Brazil, characterized by the high biodiversity of plant species and its predominantly rural formation. As a result of the continuous incorporation of exotic species, monocultures and excessive cattle production, the Pampa Biome fields are rapidly being degraded, fragmented and decharacterized. Biomass is one of the strategic biophysical variables of interest in studies of prevention, monitoring and estimates of the country vegetation. The main objective of this study is to contribute to the development of new strategies for the proper management and monitoring of the country vegetation and to infer multivariate linear regression to estimate the biomass of the natural grassland in native fields from remote data and field data. The evaluations were carried out in an area belonging to the Federal University of Santa Maria, located in the central region of Rio Grande do Sul. Pastoral management correspond to two accumulated thermal sums in days of 375 and 750 degrees-days (GD), which determined the intervals between grazing. The remote data used came from MSI image of Sentinel-2 Satellite and spectroradiometer data with amplitude of 350-2500 nm. It was verified that the two techniques presented satisfactory results, in which regressions with adjusted  $r^2$  of 0.65 were estimated to estimate green biomass and regressions with adjusted  $r^2 > 0.61$  for total biomass and dry biomass. In this way, the study verified that it is possible to minimize the field efforts to assist in the monitoring, organization and conservation of the natural grassland in native fields of the Pampa Biome using remote sensing data as a management tool seeking the sustainability of these complex natural environments.

**Keywords:** Pampa biome, natural grassland, native fields, biomass, remote sensing

## LISTA DE TABELAS

### CAPITULO I

**Tabela 01** – Características das bandas MSI na imagem Sentinel-2.....**Erro! Indicador não definido.**

**Tabela 02** – índices de vegetação utilizados .....**Erro! Indicador não definido.**

**Tabela 03** - Valores médios por tratamento das bandas espectrais (Tabela 1), índices de vegetação (Tabela 2) e variáveis relacionadas à biomassa aérea da pastagem natural..... **Erro! Indicador não definido.**

**Tabela 04** - Associação dos pontos de imagem com os dados de biomassa coletados em campo nos dois tratamentos .....**Erro! Indicador não definido.**

**Tabela 05** - Associação dos pontos de imagem com os dados de biomassa coletados em campo no tratamento 375 .....**Erro! Indicador não definido.**

**Tabela 06** - Associação dos pontos de imagem com os dados de biomassa coletados em campo no tratamento 750.....**Erro! Indicador não definido.**

**Tabela 07** - Regressões múltiplas .....**Erro! Indicador não definido.**

### CAPÍTULO II

**Tabela 01** – Divisão do espectro em intervalos .....**Erro! Indicador não definido.**

**Tabela 02** – Índices de vegetação utilizados .....**Erro! Indicador não definido.**

**Tabela 03** - Comparação entre os piquetes .....**Erro! Indicador não definido.**

**Tabela 04** - Diferença entre tratamentos.....**Erro! Indicador não definido.**

**Tabela 05** - Regressão multivariada.....**Erro! Indicador não definido.**

## LISTA DE FIGURAS

### CAPITULO I

**Figura 01** – Metodologia seguida para estimativas de biomassa .....**Erro! Indicador não definido.**

**Figura 02** - Localização da área de estudo. Santa Maria situa-se na área central do estado do Rio Grande do Sul, no sul do Brasil. Em detalhe a divisão dos piquetes sobre imagem do satélite Sentinel 2.....**Erro! Indicador não definido.**

**Figura 03** - a) Fisionomia característica do tratamento 375 GD e detalhe da unidade amostral; b) fisionomia característica do tratamento 750 GD e detalhe da unidade amostral. .... **Erro! Indicador não definido.**

**Figura 04**– Matrizes de correlação entre as variáveis avaliadas: a) matriz de correlação do tratamento 375 GD. b) matriz de correlação tratamento 750 GD .....**Erro! Indicador não definido.**

**Figura 05** – Dispersão dos valores estimados por sensoriamento remoto vs estimados por avaliação de campo em conjunto com a reta de regressão. ...**Erro! Indicador não definido.**

### CAPITULO II

**Figura 01** – Fluxograma metodológico .....**Erro! Indicador não definido.**

**Figura 02** – Estado do RS no Brasil; Santa Maria situa-se na área central do RS e, em detalhe o município de Santa Maria e a área experimental na UFSM. ....**Erro! Indicador não definido.**

**Figura 03** – a) momento da coleta das unidades amostrais de biomassa e dados do espectrorradiômetro; b) fisionomia característica do tratamento 375 GD; c) fisionomia característica do tratamento 750 GD.....**Erro! Indicador não definido.**

**Figura 04** – Curvas espectrais médias dos, a) piquetes e b) tratamento **Erro! Indicador não definido.**

**Figura 05** – Matriz de correlação a) 375 GD e b) 750 GD...**Erro! Indicador não definido.**

**Figura 06** – Correlação dos dados entre os piquetes no tratamento 375 GD . **Erro! Indicador não definido.**

**Figura 07** – Correlação dos dados entre os piquetes no tratamento 750 GD . **Erro! Indicador não definido.**

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1	Introdução .....	12
1.2	Proposição.....	13
1.3	Revisão bibliográfica .....	14
<b>2</b>	<b>CAPITULO I .....</b>	<b>19</b>
	Estimativa de biomassa de pastagem natural por dados de sensoriamento remoto	
<b>3</b>	<b>CAPITULO II.....</b>	<b>21</b>
	Avaliação de dados hiperespectrais como preditores para biomassa de campos nativos em dois métodos de manejo pastoril	
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>25</b>
	<b>REFERÊNCIAS GERAIS .....</b>	<b>26</b>

# 1 APRESENTAÇÃO

## 1.1 Introdução

O espaço geográfico é considerado um conjunto de realizações que se apresentam como testemunho de uma história escrita por processos do passado e do presente. A paisagem é influenciada diretamente pela intervenção humana que determina a formação da paisagem nos distintos biomas e ecossistemas brasileiros (BRITO, 2006).

O ritmo, amplitude e alcance espacial das alterações humanas da superfície terrestre do planeta são sem precedentes. O uso da terra e as mudanças na cobertura desta afetam diretamente a diversidade biótica em todo o mundo, contribuindo para as alterações climáticas, sendo a principal fonte de degradação do solo e alterando a biodiversidade dos ecossistemas. Tais mudanças também podem determinar, em parte, a vulnerabilidade de lugares e pessoas para mudanças climáticas, descaracterização da paisagem, perturbações econômicas ou sócio-políticas (TILIO NETO, 2010).

Entre as formações vegetais mais importantes do planeta, por sua extensa área de cobertura e por ser habitat de incontáveis espécies animais e vegetais, estão as formações campestres. Apesar de servirem de fonte de alimento e serem tratados como “úteis” para a sociedade, os campos se encontram em permanente estado de ameaça, sendo facilmente fragmentados, convertidos ou degradados (OVERBECK *et al.*, 2015). Mesmo com a longa convivência do homem com os campos, vários aspectos da biologia e dos serviços ecossistêmicos fornecidos pelos campos encontram-se ainda desconhecidos.

Em busca da conservação e do uso sustentável dos Campos dos Biomas Pampa e Mata Atlântica, no Estado do Rio Grande do Sul, o Programa Ecológico de Longa Duração – PELD Campos Sulinos (CNPq - chamadas CNPq/Capes/FAPs/BC-Fundo Newton n°s 59/2009, 34/2012 315/2016) foi estruturado e esta pesquisa faz parte dele. O PELD está embasado em três questões fundamentais: (1) Como se estruturam as comunidades biológicas dos ecossistemas campestres e seus padrões funcionais de organização? (2) como essas comunidades respondem ao manejo pastoril e à dinâmica climática? e (3) como essas comunidades afetam processos e serviços ecossistêmicos? Algumas respostas a essas questões já estão disponíveis e junto com elas o melhor entendimento dos ecossistemas campestres contribuindo para tomadas de decisões referentes a conservação e manejo dos

Campos Sulinos. Neste contexto, como parte integrante do PELD, esta proposta visa avaliar e quantificar os serviços ecossistêmicos, concentrando-se na produção de biomassa, resultantes da combinação de dados de sensoriamento remoto e dados de campo.

O sensoriamento remoto (SR) tem sido bastante utilizado para estudos da vegetação, porém são menos numerosos os estudos para estimativas remotas de variáveis biofísicas, como a biomassa e/ou produtividade primária de áreas campestres (HILL *et al.*, 2004; OVERBECK *et al.*, 2007). A avaliação e quantificação de biomassa por SR ainda é um grande desafio, em que investigações se fazem necessárias para compreender e identificar os melhores métodos para minimizar as falhas e diminuir as incertezas (KUMAR *et al.*, 2015). Não há um consenso sobre as melhores práticas e métodos a serem abordados na caracterização e estimativa de biomassa nos ambientes campestres, nos quais, a utilização de dados coletados em campo é essencial para compreender e aferir a biomassa através do SR (JIA *et al.*, 2016).

Neste contexto, a caracterização e estimativa da biomassa campestre é essencial para a avaliação de práticas de manejo, para que a densidade de animais domésticos por unidade de área possa ser mais facilmente ajustada à capacidade suporte dos ecossistemas. Assim, desenvolver ferramentas que possibilitem auxiliar no mapeamento, monitoramento e conservação dos serviços ecossistêmicos prestados pelas áreas campestres é um desafio a todos os pesquisadores destes complexos ambientes, almejando a sustentabilidade dos recursos naturais, visando minimizar impactos negativos da utilização inadequada dos campos.

## **1.2 Proposição**

A preservação e conservação das áreas campestres vêm sendo negligenciada há anos (OVERBECK *et al.*, 2007, 2009). Conforme o Ministério do Meio Ambiente (2010) o Bioma Pampa é o segundo bioma mais devastado do Brasil, do qual restam apenas 36% de sua área original. Segundo Cordeiro & Hasenack (2009), a transformação dos campos em áreas agrícolas/pastagens e de silvicultura já ultrapassou 50% da área originalmente campestre. Essas mudanças estão causando a perda de habitat e a fragmentação desses ecossistemas, acarretando consequências graves nos padrões da biodiversidade e aumento no

risco de extinção de espécies nativas da flora e da fauna silvestre (VÉLEZ-MARTIN, E. *et al.*, 2015).

Este estudo tem como objetivo quantificar as relações entre as respostas espectrais e biomassa da vegetação campestre de duas tipologias de manejo pastoril utilizando dados de sensoriamento remoto. Uma vez que os diferentes manejos pastoris possam ser discriminados e suas biomassas estimadas remotamente, a minimização de esforços de coletas de campo e o monitoramento remoto dos campos nativos dos biomas Pampa e Mata Atlântica serão facilitados.

### **1.3 Revisão bibliográfica**

Os campos do sul do Brasil, são ecossistemas naturais que já caracterizavam essa região bem antes da expansão das formações florestais ocorrida após a metade do Holoceno (BEHLING; PILLAR, Valério DePatta, 2007; DÜMIG *et al.*, 2008). Esses ecossistemas campestres, pela classificação do IBGE, estão incluídos no bioma Pampa na porção sul e oeste do Rio Grande do Sul e no Bioma Mata Atlântica nas partes mais altas do Planalto Meridional, onde estão associados a florestas com Araucária.

As pastagens que compõem esta região possuem grande sazonalidade na geração de biomassa vegetal, que são determinadas pelas variações climáticas interanuais e em relação às técnicas de pastejo adotadas. Segundo Fonseca (2007) o manejo pastoril atuou fortemente para a caracterização e composição florística atual da vegetação campestre. Os campos fornecem importantes serviços ecossistêmicos, e entre eles, conforme Boldrini (2009) e Boldrini & Overbeck (2015), a principal fonte forrageira para as atividades pastoris, que no Rio Grande do Sul é um dos principais setores da economia (PILLAR, V. D. P. *et al.*, 2009).

O manejo pecuário por vezes incorreto e excessivo tem levado a extenuação e degradação (ANDRADE *et al.*, 2015) desses ecossistemas, tanto na diversidade de espécies como na sua composição e nos processos ecológicos, podendo assim afetar funções que garantem os serviços ecossistêmicos já mencionados. Desta forma, há necessidade de que as boas práticas de manejo pastoril para o aproveitamento do potencial forrageiro dos campos e a conservação da sua biodiversidade sejam aprimoradas e que sejam efetivamente adotadas nos sistemas de produção como forma de desenvolver uma atividade econômica sustentável e competitiva neste tipo singular de ecossistema. Além disso, o cumprimento da Lei de



Proteção da Vegetação Nativa (Lei 12.651/2012), com a delimitação da Reserva Legal em áreas de campos nativos, demandará conhecimento adequado sobre as melhores práticas de manejo com vistas à conservação e uso sustentável da biodiversidade.

Imagens e dados obtidos por sensoriamento remoto são ferramentas essenciais para a caracterização de ambientes naturais ou manejados. Além das imagens de SR cobrirem extensas áreas na superfície terrestre e tornar possíveis mapeamentos de grande escala, existe a possibilidade de extrapolar relações obtidas em regiões específicas, dependendo da consistência e estabilidade da variável ecossistêmica estudada (KUPLICH *et al.*, 2016).

O estudo de ecossistemas campestres com dados de sensoriamento remoto já conta com algumas décadas de resultados, e, entre estes, está a possibilidade de monitoramento da produtividade/biomassa, já que a fenologia dos campos exhibe padrões característicos registráveis. Exemplo da utilização bem-sucedida do NDVI para o monitoramento da produtividade de campos acontece na Austrália (HILL *et al.*, 2004), servindo de subsídio para os pecuaristas na região.

Mesmo com a existência de usos já operacionais dos dados de sensoriamento remoto para ecossistemas campestres, ainda se encontram lacunas no conhecimento a respeito do comportamento espectral e espacial das tipologias campestres com suas diversas características funcionais. Para o caso da detecção e quantificação de serviços ecossistêmicos nestas áreas, os estudos, apesar de pouco numerosos, reforçam a importância da utilização de dados de sensoriamento remoto. Mapas de cobertura da terra, para áreas com diferentes usos, e mapas específicos com a espacialização de variáveis representativas do funcionamento dos ecossistemas em estudo, como a biomassa, são exemplos de dados gerados com suporte de sensoriamento remoto.

Atualmente a utilização de imagens e técnicas de sensoriamento remoto para estudos da vegetação em suas diferentes formas é essencial para, entre outros, mapeamentos, como dados de entrada em modelos agrometeorológicos, estimativas de fluxos de carbono e conservação do solo (CASSOL, 2013; FONSECA, E. L. da; FORMAGGIO; PONZONI, 2007; KUPLICH; MOREIRA; FONTANA, 2013; OVERBECK, G. *et al.*, 2015; SANTOS *et al.*, 2006; TRENTIN *et al.*, 2011). Desta forma, os padrões de resposta espectrais avaliados a partir de sensoriamento remoto são condicionados pelas características das comunidades vegetais, sendo assim possível identificar diferenças nos padrões de refletância em função do manejo pastoril.

O monitoramento da cobertura vegetal bem como estimativas de produção de biomassa com dados de SR são abordados há aproximadamente quatro décadas. Especificamente para vegetação campestre, Tucker et al. (1985), estimaram a produção de biomassa herbácea de uma área em Senegal com produtos NOAA-6 e 7 para o período de 1980 a 1984 e verificaram forte correlação dos dados de biomassa seca e dados do satélite NOAA-7. Anos depois Anderson; Hanson & Haas (1993), verificaram a potencialidade de índices de vegetação para avaliar biomassa de áreas de pastagens no Nordeste do Colorado utilizando dados Landsat TM (*Thematic Mapper*). Com a abordagem foram encontradas fortes associações entre a biomassa e o Índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI) e indicando a possibilidade de previsão de biomassa utilizando modelos de regressão univariada naquela região.

De acordo com Jensen (2009), os índices de vegetação (IV), são medidas radiométricas adimensionais, que indicam a abundância relativa e a atividade da vegetação verde, incluindo o índice de área foliar (IAF), porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde e radiação fotossinteticamente absorvida (RFAA). Que minimizam os efeitos da iluminação da cena, declividade da superfície e geometria de aquisição que influenciam os valores de refletância da vegetação. Muitos índices usam a relação inversa entre as refletâncias no vermelho e no infravermelho próximo associadas a vegetação verde sadia.

Os IV são combinações matemáticas da resposta espectral de diferentes bandas do espectro eletromagnético, sendo que os principais índices citados na literatura utilizam os valores da refletância em duas faixas de comprimento de onda, o vermelho e o infravermelho próximo. Além disto, estes índices condensam o volume de dados a ser analisado e permitem a avaliação de diferenças nas condições de crescimento, com base nas relações existentes entre estes índices e as variáveis biofísicas da vegetação, bem como, com as características estruturais e fisiológicas da mesma (FONSECA, E. L. Da, 2004; PAN *et al.*, 2015; PRABHAKARA; DEAN HIVELY; MCCARTY, 2015)

Du Plessis (1999) abordou a relação entre o IV NDVI, a vegetação (biomassa) e dados de precipitação pluviométrica no Parque Nacional de Etosha – Namíbia através de regressão linear. Os resultados do estudo mostraram-se eficazes e satisfatórios para relacionar cobertura vegetal e biomassa com NDVI e precipitação pluviométrica. Fonseca (2004) em sua tese desenvolveu um modelo denominado JONG – assim denominado em

homenagem ao pesquisador José Otavio Neto Gonçalves, para estimar a disponibilidade de fitomassa aérea nas formações campestres naturais a partir de dados espectrais orbitais e agrometeorológicos. O submodelo espectral avalia as condições iniciais de vegetação, as reflectâncias das bandas ETM + 7 e ETM + 3 e a componente Wetness da transformação de Tasseled Cap. Os resultados mostraram que o modelo foi sensível para as variações espaciais de forragem e a diminuição da produção em função de déficit hídrico durante o período de crescimento vegetativo das plantas após a total cobertura do solo, não sendo válido para outros estádios fenológicos da vegetação.

Terra; Fonseca & Saldanha (2010) concentraram seus estudos para avaliar o desempenho preditivo do modelo JONG com o acréscimo de variáveis espectrais que contemplassem a densidade de biomassa do dossel e as contribuições dos diferentes solos subjacentes. Os índices calculados pela diferença e razão simples – entre as bandas 4 e 3, 4 e 5, 4 e 7, do satélite Landsat 7/sensor ETM+ – foram sugeridos para representar a contribuição espectral dos solos e a influência das diferenças estruturais dos dosséis. Com a aplicação dos novos parâmetros a componente espectral do modelo JONG apresentou maior sensibilidade para eliminar as influências do solo e do dossel na predição de biomassa, facilitando a interpretação dos resultados.

Na Nova Zelândia, Edirisinghe; Clark & Waugh (2012), examinaram o NDVI, oriundo de imagens de sensores de média resolução espacial dos satélites SPOT-4 e SPOT-5 para prever a biomassa de pastagens para gado leiteiro com alta pressão de pastejo. Na análise, os autores encontraram dependência significativa do tempo ao longo das estações, e forte correlação positiva entre o NDVI e a biomassa indicando alto potencial do SR para prever e monitorar a biomassa de pastagens.

Áreas compostas por campos ou pastagens são facilmente fragmentadas e encontram-se em uma zona de conflito entre a agricultura/pecuária e a conservação da biodiversidade destes ecossistemas. Buscando apoiar esquemas de manejo e manutenção destas áreas, os estudos de Franke; Keuck e Siegert (2012) avaliaram o potencial de utilização de imagens de alta resolução (RapidEye) para diferenciar tipos de manejos em uma área no sul da Alemanha e obtiveram resultados relativamente melhores a este estudo apresentando classificações com precisão geral de 82% para áreas de pastagens.

Hill (2013), verificou que a partir de dados Sentinel 2 simulados a partir de dados hiperespectrais Hyperion foi possível caracterizar os tipos de uso do solo a partir de dados

brutos em conjunto com índices de vegetação. Os estudos de Frampton et. al (2013), avaliaram por meio de índices de vegetação a eficácia do Sentinel 2 para estimar variáveis biofísicas de vegetação, indicando correlações significativas entre os dados remotos com LAI (índice de área foliar) e índice de clorofila.

A pesquisa realizada por Sibanda et al. (2015), comparou o potencial para estimar biomassa em diferentes condições de fertilidade de pastagens utilizando dados Sentinel 2 e Landsat 8, os resultados apresentaram excelentes ajustes e acurácias nas avaliações para ambos os satélites, com  $r^2$  de 0.81 para Sentinel 2 e  $r^2$  de 0.72 para Landsat, os resultados superaram os valores encontrados nesta pesquisa, podendo ser explicado em função da característica amostral, das condições ambientais nas datas de coletas e também pelo estado fisiológico das gramíneas.

Considerando as diferentes interações que influenciam a detecção remota da biomassa para diferentes sensores, bem como as variações nas características das biomassas para obter os valores dos dados remotos, os resultados obtidos nesta pesquisa indicam que a utilização de dados oriundos de imagem de satélite e de espectrorradiômetro apresentam capacidade e robustez para avaliações e monitoramento de campos nativos, corroborando com os resultados de outros autores que dedicam suas pesquisas para analisar a relação da biomassa com dados de diferentes satélites (CLEVERS *et al.*, 2007; DELEGIDO *et al.*, 2011; FRAMPTON *et al.*, 2013; KUPLICH; MOREIRA; FONTANA, 2013; WEBER, D.; SCHAEPMAN-STRUB; ECKER, 2018)

Para finalizar, os estudos realizados por Corbane *et al.* (2015) através da análise de 128 referências sobre mapeamento e monitoramento da conservação de habitats naturais e os trabalhos de (GÓMEZ GIMÉNEZ *et al.*, 2017; KUPLICH *et al.*, 2016; LIMA JUNIOR *et al.*, 2014; SCHUSTER *et al.*, 2015; SUN *et al.*, 2017; WAGNER *et al.*, 2013; ZHU, Xiaolin; LIU, D., 2015) observaram que, técnicas de sensoriamento remoto podem contribuir consideravelmente e para o entendimento e compreensão das dinâmicas temporais de diversas fenologias individualmente.

## **2 CAPITULO I**

### **ESTIMATIVA DE BIOMASSA DE PASTAGEM NATURAL POR DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Este capítulo após tradução será submetido para a revista **Remote Sensing**.

# ESTIMATIVA DE BIOMASSA DE PASTAGEM NATURAL POR DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Marildo Guerini Filho<sup>1</sup>, Tatiana Mora Kuplich<sup>2</sup>, Fernando L. F. de  
Quadros<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia

guerinimarildo@gmail.com

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia

tkuplich@gmail.com

<sup>3</sup>Universidade Federal de Santa Maria

Laboratório de Ecologia de Pastagens Naturais

flfquadros@gmail.com

**Resumo** - A estimativa da biomassa foi realizada em uma pastagem natural do Bioma Pampa no sul do Brasil, através de uma abordagem que incluiu dados de campo, dados de sensoriamento remoto e modelos estatísticos para previsão da biomassa. Foram avaliadas duas alternativas de pastoreio rotativo com intervalos de descanso baseados em somas térmicas (375 e 750 Graus Dia) com uma imagem do sensor MSI (*MultiSpectral Instrument*) a bordo do satélite Sentinel-2 e calibradas por 57 unidades amostrais de biomassa coletadas a campo. Inicialmente realizou-se o pré-processamento da imagem, extração dos valores de refletância das bandas Sentinel-2, reamostragem dos pixels para 20 metros e cálculo dos índices de vegetação. Na sequência foram computadas as análises estatísticas dos dados e verificaram-se significativas correlações entre os valores de biomassa obtidos no campo com os dados remotos. Consideradas significativas as correlações, aplicaram-se análises de regressão linear múltipla, em cada intervalo de descanso, usando as variáveis de sensoriamento remoto como preditoras (independentes) da biomassa (dependente). Dentre as variáveis, cabe destacar a significativa correlação da faixa do *Red Edge* do espectro com a biomassa. As equações para estimativa de biomassa verde apresentaram coeficientes de determinação de  $r^2=0.51$  para o tratamento 375 GD e  $r^2=0.65$  para o tratamento 750 GD, já a biomassa senescente e a biomassa total geraram ajustes com  $r^2 \leq 0.50$  nos dois tratamentos. Independente dos intervalos avaliados demonstrarem estimativas de biomassa com coeficientes de determinação satisfatórios, esquemas de amostragem em diferentes períodos do ano e diferentes variáveis devem ser exploradas visando melhorar a acurácia das estimativas.

**Palavras-chave:** campos nativos, biomassa, Sentinel-2, dados remotos, geoinformações

### **3 CAPITULO II**

## **AVALIAÇÃO DE DADOS HIPERESPECTRAIS COMO PREDITORES PARA BIOMASSA DE CAMPOS NATIVOS EM DOIS MÉTODOS DE MANEJO PASTORIL**

Capitulo baseado nas normas de submissão para a revista **Revista Brasileira de  
Cartografia.**

# **AVALIAÇÃO DE DADOS HIPERESPECTRAIS COMO PREDITORES PARA BIOMASSA DE CAMPOS NATIVOS EM DOIS MÉTODOS DE MANEJO PASTORIL**

## *EVALUATION OF HYPERSPECTRAL DATA AS PREDICTORS FOR NATURAL GRASSLAND BIOMASS IN TWO PASTURE MANAGEMENT METHODS*

**Marildo Guerini Filho<sup>1</sup>**

**Tatiana Mora Kuplich<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul**

**Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia**

guerinimarildo@gmail.com

**<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul**

**Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia**

tkuplich@gmail.com

### **Resumo**

O Bioma Pampa representa aproximadamente 63% do território no Estado do Rio Grande do Sul – Brasil. Em função da contínua incorporação de monoculturas de espécies exóticas, cultivos agrícolas e a práticas por vezes inadequadas de produção pecuária, os campos nativos estão rapidamente sendo degradados, fragmentados e descaracterizados. Buscando colaborar no desenvolvimento de novas estratégias de manejo e monitoramento adequado dos campos nativos, com vistas à minimização de esforços para coletas de campo, esta pesquisa objetivou caracterizar e quantificar a relação entre dados hiperespectrais coletados por espectrorradiômetro como preditores de biomassa campestre em dois métodos de manejo pastoril com o auxílio de dados de campo. A área de estudo são parcelas com pastoreio pelo gado em dois métodos (tratamentos) de manejo (375 e 750 graus dia - GD) de onde foram adquiridas curvas espectrais de reflectância com espectrorradiômetro ao longo do intervalo de 350-2500 nm de comprimento de onda (CO). Foram calculados 10 índices de vegetação e utilizados juntamente com 11 intervalos de CO nas análises de regressão. Os índices e intervalos de CO selecionados simularam os CO utilizados nas bandas do sensor MSI do satélite Sentinel 2, disponíveis gratuitamente desde 2015. Os resultados mostraram fortes correlações entre as variáveis e verificou-se que nas regiões espectrais do Azul, Red edge e os índices NDLI e DMCI diferiram estatisticamente entre os métodos de manejo. As regiões espectrais do Azul, NIR e SWIR foram significativamente maiores no tratamento 750 GD. O modelo mais preciso para estimar biomassa envolveu os índices EVI e CAI com  $r^2$  ajustado = 0.72 e RMSE = 0.10.

**Palavras-chave:** campos nativos, biomassa vegetal, espectrorradiometria, dados remotos, geociência



## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa proporcionou visualizar o grande desafio que é realizar o monitoramento e avaliações nos complexos ambientes campestres e a necessidade de aprimoramento de ferramentas práticas e simplificadas para auxiliar na conservação dos campos e conseqüentemente contribuir para a sustentabilidade destes ecossistemas.

Este estudo foi um importante passo na utilização de dados remotos para monitoramento dos campos nativos, uma vez que, grande parte dos estudos em áreas destes ecossistemas utilizam dados de satélite com baixa resolução espacial e espectral. São raros os estudos que utilizam dados hiperespectrais e sensores de média/alta resolução para monitoramento da vegetação campestre.

Considerando o alto custo para utilização de sensores hiperspectrais, bem como a limitação para sua utilização em escalas locais, os resultados no Capítulo I mostraram que os dados adquiridos através das imagens Sentinel-2 apresentam alto potencial para estudos e pesquisas relacionadas a ecologia dos campos nativos, estimativas de produtividade e para auxílio no monitoramento dos manejos pastoris.

No Capítulo II, analisando os resultados, observou-se que dados hiperespectrais apresentam uma gama imensa de possibilidades para monitoramento de vegetação campestre. Especificamente neste estudo, foi possível verificar que a combinação de pares de índices espectrais - um para biomassa senescente e outro para biomassa verde - apresentou a melhor precisão geral da estimativa de biomassa.

Embora a pesquisa seja dividida em dois capítulos/artigos, podemos afirmar que os dois métodos apresentaram comportamentos semelhantes, com a biomassa senescente influenciando diretamente os dados remotos, e a região *Red Edge* do espectro mostrando significativas associações com a biomassa. Ressalta-se a importância dos dados

hiperespectrais para a geração de índices mais sensíveis para biomassa senescente auxiliando na caracterização geral da vegetação.

A pesquisa apresentou resultados satisfatórios para os objetivos propostos. No entanto, se faz necessária a utilização de dados em diferentes períodos do ano considerando as diferenças sazonais no monitoramento e nas estimativas. Desta forma, realizar os ajustes necessários para conseguir efetivar o acompanhamento da biomassa nos campos em qualquer condição ambiental.

Com a finalização desta pesquisa pode-se afirmar que é possível minimizar os esforços de campo para auxiliar no monitoramento, organização e conservação dos campos nativos do Bioma Pampa utilizando dados de sensoriamento remoto como ferramenta de manejo buscando a sustentabilidade destes complexos ambientes naturais.

Considerando as diferenças e as peculiaridades encontradas entre os tipos de manejo pastoral verificou-se que estas diferenças podem ter ocorrido devido às condições geomorfométricas, que induzem à diferentes níveis de umidade (áreas de baixada, de topo, insolação, precipitação pluviométrica, etc). Para a sequência da pesquisa, sugere-se:

- Avaliar valores amostrais absolutos, uma vez que, trabalhar com valores médios do tipo de manejo possa ter influenciando os resultados;
- Utilizar diferentes combinações de índices e principalmente explorar exaustivamente a região *Red Edge* do espectro, considerando as significantes associações encontradas com a biomassa neste estudo;
- Verificar a influência da umidade, características geomorfológicas e tipologia de solos da região; e
- Realizar a estimativa em diferentes estações do ano.

## **5 CONCLUSÕES**

Os resultados apresentados neste estudo demonstram que a utilização de dados e técnicas de Sensoriamento Remoto apresenta-se como uma alternativa bastante viável e produz bons resultados para monitoramento e avaliações dos campos nativos do Bioma Pampa, permitindo verificar a qualidade e a quantidade da biomassa vegetal, bem como ser utilizado como uma ferramenta para auxiliar na conservação ambiental do Bioma.

Os achados desta pesquisa atendem aos objetivos propostos, em que se almejava quantificar as relações entre as respostas espectrais e biomassa da vegetação campestre de dois tipos de manejo pastoril utilizando dados de imagem de satélite e dados espectrorradiométricos, com vistas à minimização de esforços de coletas de campo e monitoramento remoto dos Campos nativos do Bioma Pampa. Neste contexto, as avaliações permitiram caracterizar cada tipo de manejo pastoril (375 e 750 GD) e obter estimativas relativamente acuradas da quantidade de biomassa. Para obter estimativas mais acuradas, a realização de avaliações em diferentes estações do ano deverá ser considerada em estudos futuros.

## REFERÊNCIAS GERAIS

ANDERSON, G. L.; HANSON, J. D.; HAAS, R. H. Evaluating landsat thematic mapper derived vegetation indices for estimating above-ground biomass on semiarid rangelands.

**Remote Sensing of Environment**, 1993. v. 45, n. 2, p. 165–175.

ANDRADE, B. O. *et al.* Grassland degradation and restoration: A conceptual framework of stages and thresholds illustrated by southern Brazilian grasslands. **Natureza e Conservacao**, 2015. v. 13, n. 2, p. 95–104. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1016/j.ncon.2015.08.002>>.

BEHLING, H.; PILLAR, V. D. Late Quaternary vegetation, biodiversity and fire dynamics on the southern Brazilian highland and their implication for conservation and management of modern Araucaria forest and grassland ecosystems. **Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences**, 2007. v. 362, n. 1478, p. 243–251.

BOLDRINI, I. I.; OVERBECK, G. E. Estudos fitossociológicos em vegetação campestre. **Eisenlohr, P.V. Felfili, J.M. De Melo, M.M.R.F. De Andrade, L.A. Meira Neto, J.A.A. Fitossociologia no Brasil**. 1ª ed. Viçosa - Minas Gerais: [s.n.], 2015, p. 228–248.

BRITO, F. **Corredores ecológicos: uma estratégia integrada na gestão de ecossistemas**. Florianópolis: UFSC, 2006.

CASSOL, H. L. G. **Estimativa de Biomassa e estoque de carbono em um fragmento de floresta ombrófila mista com uso de dados ópticos de sensores remotos**. Porto Alegre: Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS, 2013.

CLEVERS, J. G. P. W. *et al.* Estimating grassland biomass using SVM band shaving of hyperspectral data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 2007. v. 73, n. 9,

p. 1141–1148. Disponível em:

<[http://skgr0103.wur.nl/~schae001/paper/2007\\_BandShaving\\_PERS\\_JC.pdf](http://skgr0103.wur.nl/~schae001/paper/2007_BandShaving_PERS_JC.pdf)>.

CORBANE, C. *et al.* Remote sensing for mapping natural habitats and their conservation status – New opportunities and challenges. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 1 maio. 2015. v. 37, p. 7–16. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243414002451>>. Acesso em: 1º ago. 2018.

CORDEIRO, J. L. P.; HASENACK, H. Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sull. **Pillar, V. D.; Müller, S. C.; Castilhos, Z. M. S.; Jacques, A. V. A. Campos Sulinos conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília - DF: Ministério do Meio Ambiente, 2009, p. 285–299.

DELEGIDO, J. *et al.* Evaluation of sentinel-2 red-edge bands for empirical estimation of green LAI and chlorophyll content. **Sensors**, 2011. v. 11, n. 7, p. 7063–7081.

DÜMIG, A. *et al.* Araucaria forest expansion on grassland in the southern Brazilian highlands as revealed by  $^{14}\text{C}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  studies. **Geoderma**, 2008. v. 145, n. 1–2, p. 143–157.

EDIRISINGHE, A.; CLARK, D.; WAUGH, D. Spatio-temporal modelling of biomass of intensively grazed perennial dairy pastures using multispectral remote sensing.

**International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 2012. v. 16, n. 1, p. 5–16. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2011.11.006>>.

FONSECA, E. L. Da. **Desenvolvimento de modelo da disponibilidade de fitomassa aérea para formações campestres naturais a partir de dados espectrais orbitais e agrometeorológicos**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2004.

\_\_\_\_\_; FORMAGGIO, A. R.; PONZONI, F. J. Forecast the available forage of natural pastures of Campos Sulinos biome using satellite spectral data: parameterization for the spectral submodel. **Ciência Rural**, 2007. v. 37, n. 6, p. 1668–1674. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782007000600025&script=sci\\_arttext&tlng=es](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84782007000600025&script=sci_arttext&tlng=es)>.

FRAMPTON, W. J. *et al.* Evaluating the capabilities of Sentinel-2 for quantitative estimation of biophysical variables in vegetation. **ISPRS Journal of Photogrammetry and**

**Remote Sensing**, 2013. v. 82, p. 83–92. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.04.007>>.

FRANKE, J.; KEUCK, V.; SIEGERT, F. Assessment of grassland use intensity by remote sensing to support conservation schemes. **Journal for Nature Conservation**, 1 jun. 2012. v. 20, n. 3, p. 125–134. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1617138112000234>>. Acesso em: 31 jul. 2018.

GÓMEZ GIMÉNEZ, M. *et al.* Determination of grassland use intensity based on multi-temporal remote sensing data and ecological indicators. **Remote Sensing of Environment**, 1 set. 2017. v. 198, p. 126–139. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425717302638>>. Acesso em: 31 jul. 2018.

HILL, M. J. *et al.* Estimation of pasture growth rate in the south west of Western Australia from AVHRR NDVI and climate data. **Remote Sensing of Environment**, 2004. v. 93, n. 4, p. 528–545.

\_\_\_\_\_. Vegetation index suites as indicators of vegetation state in grassland and savanna: An analysis with simulated SENTINEL 2 data for a North American transect. **Remote Sensing of Environment**, 2013. v. 137, p. 94–111. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2013.06.004>>.

JIA, W. *et al.* Estimation and uncertainty analyses of grassland biomass in Northern China: Comparison of multiple remote sensing data sources and modeling approaches. **Ecological Indicators**, 2016. v. 60, p. 1031–1040.

KUMAR, L. *et al.* Review of the use of remote sensing for biomass estimation to support renewable energy generation. **Journal of Applied Remote Sensing**, 2015. v. 9, n. 1, p. 097696. Disponível em:

<<http://remotesensing.spiedigitallibrary.org/article.aspx?doi=10.1117/1.JRS.9.097696>>.

KUPLICH, T. M. *et al.* Algumas aplicações de sensoriamento remoto em estudos de vegetação campestre no RS (INPE-17705-RPQ/917). **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE**, Brasil, 2016. Disponível em:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3LQEG78>>. Acesso em: 2 jan. 2017.

\_\_\_\_\_; MOREIRA, A.; FONTANA, D. C. Série temporal de índice de vegetação sobre

diferentes tipologias vegetais no Rio Grande do Sul Time series of vegetation index for different vegetation types in Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2013. v. 17, n. 55, p. 1116–1123.

LIMA JUNIOR, C. *et al.* **Índices de vegetação para estimativas de biomassa e carbono em uma área de caatinga. XX Congresso Latinoamericano y XVI Congreso Peruano de la Ciencia del Suelo.** Disponível em:

<<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1014221/1/CongressoLatinoamericanoPeruanoCienciadoSolo17.pdf>>.

MMA. **Bioma Pampa. - Ministério do Meio Ambiente.** Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/biomas/pampa>>. Acesso em: 1º fev. 2018.

OVERBECK, G. *et al.* Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystems. **Diversity and Distributions**, 2015. v. 21, n. 12, p. 1455–1460.

OVERBECK, G. E. *et al.* Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos.

**Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, 2007. v. 9, n. 2, p. 101–116.

OVERBECK, G. E. *et al.* Os Campos Sulinos: um bioma negligenciado. *In*: PILLAR, V. D.; MULLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. S.; JACQUES, A. V. A. (Org.). **Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade**. 1ª ed. Brasília - DF: MMA, 2009, p. 28–40.

PAN, Z. *et al.* Mapping crop phenology using NDVI time-series derived from HJ-1 A/B data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 2015. v. 34, n. 1, p. 188–197. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2014.08.011>>.

PILLAR, V. D. P. *et al.* **Campos Sulinos - Conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília - DF: Ministério do Meio Ambiente, 2009.

PLESSIS, W. P. DU. Linear regression relationships between NDVI, vegetation and rainfall in Etosha National Park, Namibia. **Journal of Arid Environments**, 1999. v. 42, n. 4, p. 235–260.

PRABHAKARA, K.; DEAN HIVELY, W.; MCCARTY, G. W. Evaluating the relationship between biomass, percent groundcover and remote sensing indices across six winter cover crop fields in Maryland, United States. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 2015. v. 39, p. 88–102. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2015.03.002>>.

SANTOS, J. R. Dos *et al.* Tropical forest biomass and its relationship with P-band SAR data. **Revista Brasileira de Cartografia No**, 2006. v. 58, n. 01, p. 37–43.

SCHUSTER, C. *et al.* Grassland habitat mapping by intra-annual time series analysis - Comparison of RapidEye and TerraSAR-X satellite data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 2015. v. 34, n. 1, p. 25–34. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2014.06.004>>.

SIBANDA, M.; MUTANGA, O.; ROUGET, M. Examining the potential of Sentinel-2 MSI spectral resolution in quantifying above ground biomass across different fertilizer treatments. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 2015. v. 110, p. 55–65. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.10.005>>.

SUN, B. *et al.* Grassland degradation and restoration monitoring and driving forces analysis based on long time-series remote sensing data in Xilin Gol League. **Acta Ecologica Sinica**, 1 ago. 2017. v. 37, n. 4, p. 219–228. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1872203217300367>>. Acesso em: 31 jul. 2018.

TILIO NETO, P. De. **Ecopolítica das mudanças climáticas: o IPCC e o Ecologismo dos Pobres**. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais, 2010.

TRENTIN, A. B. *et al.* Relação da biomassa aérea com a resposta espectral de parcelas de campo com diferentes tipos de manejo. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE**, 2011. p. 1555–1562.

TUCKER, C. J. *et al.* Satellite remote sensing of total herbaceous biomass production in the senegalese sahel: 1980-1984. **Remote Sensing of Environment**, 1985. v. 17, n. 3, p. 233–249.

VÉLEZ-MARTIN, E. *et al.* Conversão e fragmentação. In: 1<sup>a</sup> (Org.). **V.D. Pillar & O. Lange. Os campos do sul**. Porto Alegre: Rede de campos Sulinos - UFRGS, 2015, p. 123–129.

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

WEBER, D.; SCHAEPMAN-STRUB, G.; ECKER, K. Predicting habitat quality of



protected dry grasslands using Landsat NDVI phenology. **Ecological Indicators**, 2018. v. 91, n. February, p. 447–460. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.081>>.

ZHU, X.; LIU, D. Improving forest aboveground biomass estimation using seasonal Landsat NDVI time-series. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 2015. v. 102, p. 222–231. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.08.014>>.