

Estimativa de forragem por sensor remoto ativo de superfície em pastagens naturais do Bioma Pampa

Carolina Bremm¹
Christian Bredemeier²
Carlos Alberto Oliveira de Oliveira¹
Amanda Heemann Junges¹
Carolina Silveira da Silva²
Paulo César de Faccio Carvalho²

¹ Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária - FEPAGRO
Rua Gonçalves Dias, 570 - 90130-060 – Porto Alegre - RS, Brasil
{carolina-bremm, carlos-oliveira, amanda-junges}@fepagro.rs.gov.br

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Av. Bento Gonçalves, 7712 - 91540-000 – Porto Alegre - RS, Brasil
bredemeier@ufrgs.br, carolina.silveira@hotmail.com, paulocfc@ufrgs.br

Abstract. Information collected from satellite imagery can substitute the estimates of forage availability made from cuttings of plants that are destructive and require time. The objective of this study was to validate the estimation of herbage mass via the use of an active remote sensing instrument. Treatments were levels of grazing intensity on natural pastures: high, moderate and low. Seven evaluations were conducted between 2013 and 2014. In each evaluation, 27 sampling points were selected, 19 of these being representative of the lower stratum and eight of the upper stratum (tussocks) of sward. At each sample point, the remote sensor GreenSeeker was used to obtain the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the available forage was cut at ground level. The relationships between NDVI and herbage mass (kg DM/ha) were determined by linear regression analyses ($P < 0.05$). The relationship between NDVI and herbage mass was dependent on the sward stratum (tussocks vs lower) and period of year. We observed a positive linear relationship between NDVI and herbage mass of the lower stratum of sward ($P < 0.05$) on evaluations of spring, summer and autumn, while in winter the relation was inverse. When relating NDVI with herbage mass of tussocks, a negative linear response was observed, regardless of the evaluation date. Active remote sensing instruments can be used to estimate herbage mass of the lower strata of natural pastures of Pampa biome.

Palavras-chave: Greenseeker, herbage mass, Normalized Difference Vegetation Index, remote sensing, Greenseeker, massa de forragem, sensoriamento remoto, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.

1. Introdução

As pastagens naturais do Bioma Pampa apresentam rica e diversa predominância de espécies herbáceas e vigoroso estrato gramináceo, constituindo a base alimentar de bovinos e ovinos na região Sul do Brasil. Nos tempos recentes, este recurso natural encontra-se seriamente ameaçado, decrescendo a taxas anuais de 410.000 ha entre 1995 e 2006 somente no Rio Grande do Sul (Nabinger, 2006). Este dilema chegou a um ponto crucial na região, necessitando coordenar esforços orientados para políticas de produção e de conservação de seus recursos naturais. As políticas atuais têm sido direcionadas para gerenciar a produtividade em pecuária de corte por meio de taxas de lotação mínimas a serem aplicadas nas pastagens, proporcionando, como consequência, o pastejo excessivo e redução das áreas de pastagens naturais, instigando o dilema ‘produção *versus* conservação’ (Carvalho & Batello, 2009).

De acordo com Carvalho et al. (2009), deveríamos nos tornar aptos a definir as estratégias de manejo corretas a cada objetivo produtivo, categoria animal, época do ano, entre outros, sempre visando a obtenção de produção animal sustentável em longo prazo e com preservação do ecossistema em seu estado natural.

A adequação da intensidade de pastejo às necessidades dos animais em distintas épocas do ano é uma forma de gerenciar os sistemas de produção animal a pasto, e denomina-se 'Pecuária de precisão' (Laca, 2008). Para a pecuária de precisão, o uso de informações espectrais torna-se uma alternativa interessante, pois viabiliza a detecção de alterações na vegetação (Rizzi, 2004), podendo ser realizado por meio de técnicas e ferramentas de sensoriamento remoto. O sensoriamento remoto refere-se à utilização conjunta de sensores e equipamentos para aquisição, processamento e análise da energia eletromagnética refletida ou emitida pelos alvos (Janssen, 2001). Um dos índices mais empregados em estudos acerca da vegetação é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (do inglês *Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI), proposto por Rouse et al. (1973), que relaciona a reflectância da vegetação nos comprimentos de onda do vermelho e do infravermelho próximo.

O potencial dos índices no monitoramento da cobertura vegetal sobre extensas áreas é comprovado por sua estreita relação com a dinâmica espaço-temporal da vegetação (Risso et al., 2009). Dessa forma, as informações coletadas por imagens de satélite podem contribuir para obtenção de dados de forma mais rápida e em regiões de difícil acesso, pois constituem um método não destrutivo de estimativa da biomassa. Portanto, podem vir a substituir as estimativas de disponibilidade de forragem realizadas a partir de cortes de plantas, que são destrutivas e demandam tempo (Aparicio et al., 2000).

Para obtenção de dados a campo em tempo real e sem destruição da vegetação, o emprego de sensores remotos de superfície (e.g. GreenSeeker) torna-se uma alternativa interessante. Dentre as vantagens do emprego de sensores remotos de superfície destaca-se que a coleta de dados não depende de condições de iluminação, não sofre interferência da cobertura de nuvens e o posicionamento do sensor reduz ou elimina a interferência do solo.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo a validação da estimativa de massa de forragem via utilização de um sensor remoto ativo de superfície, com intuito de promover uma alternativa de fácil utilização para os pecuaristas.

2. Metodologia de Trabalho

O estudo foi realizado em área total de 64 ha de pastagem natural pertencente à Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA – UFRGS), localizada no município de Eldorado do Sul, região da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul (30°05'27''S, 51°40'18''W e 46 m de altitude). De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa, subtropical úmido com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C.

O experimento vem sendo conduzido desde 1986 com níveis fixos de oferta de forragem disponibilizados a bovinos ao longo do ano (4, 8, 12 e 16 kg de matéria seca (MS)/100 kg de peso vivo (PV), ou % PV), além de ofertas variáveis 8-12% (8% na primavera e 12% no resto do ano), 12-8% (12% na primavera e 8% no resto do ano) e 16-12% (16% na primavera e 12% no resto do ano). O método de pastejo é de lotação contínua com taxa de lotação variável (Mott & Lucas, 1952) para ajuste da oferta de forragem preconizada. Os animais experimentais utilizados são novilhas de corte, oriundas de cruzamentos entre as raças Angus, Hereford e Nelore, com peso vivo de $244,8 \pm 39,0$ kg, alocadas anualmente nas unidades experimentais.

Os níveis de utilização da pastagem natural baseados no manejo da oferta de forragem determinaram duas estruturas bem definidas (Boldrini, 1993): um estrato inferior, mais uniforme, com maior presença de folhas verdes, mas com porte baixo e composto por espécies de hábito de crescimento prostrado ou rizomatoso como *Paspalum notatum*, *Axonopus affinis*, *Paspalum pumilum*, *Piptochaetium montevidense* e *Paspalum paucifolium*; e um estrato superior, formado por espécies de hábito cespitoso como *Andropogon lateralis*,

Aristida jubata, *Aristida leavis*, *Bacharis trimera*, *Erianthus* sp., *Eryngium horridum* e *Schyzachirium microstachyum*, encontrados nos tratamentos de maiores ofertas de forragem.

No presente estudo, os tratamentos de oferta de forragem foram classificados em três categorias: intensidade de pastejo alta (4%), moderada (8%, 12%, 8-12% e 12-8%) e baixa (16% e 16-12%), de acordo com a delimitação dos píxeis das imagens do sensor MODIS, com 250 metros de resolução espacial. As ofertas de forragem médias (\pm desvio padrão) nos tratamentos de alta, moderada e baixa intensidade de pastejo foram $4,7 \pm 2,2\%$, $13,1 \pm 5,1\%$ e $18,7 \pm 7,4\%$, respectivamente.

Foram realizadas sete avaliações entre 2013 e 2014, nos dias 8/11/2013, 3/12/2013, 22/01/2014, 21/03/2014, 09/05/2014, 17/06/2014 e 22/07/2014. Em cada avaliação foram selecionados 27 pontos de amostragem, sendo 19 destes representativos do estrato inferior e oito do estrato superior (touceiras) da pastagem. Em cada ponto amostrado foi posicionado o sensor remoto de superfície GreenSeeker entre 85 e 115 cm acima e paralelamente à superfície do dossel, para obtenção do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). A leitura foi realizada sobre uma área de $0,25 \text{ m}^2$ e, considerando que o sensor realiza a leitura de um ponto a cada 0,1 segundo, foram geradas, nesta área, entre 30 e 40 medições de NDVI. Posteriormente, a forragem contida na área delimitada pelo quadro ($0,25 \text{ m}^2$) foi cortada rente ao solo e acondicionada em sacos de papel. As amostras foram conduzidas à estufa com circulação forçada de ar a 65°C por 72h, para serem secas e então pesadas para a obtenção da massa de forragem, expressa em kg de MS/ha.

Os pontos amostrados foram demarcados com uso de equipamento GPS (do inglês, *Global Positioning System*), de modo que fossem representativos das três intensidades de pastejo e dos píxeis delimitados pelas imagens do sensor MODIS (Figura 1).

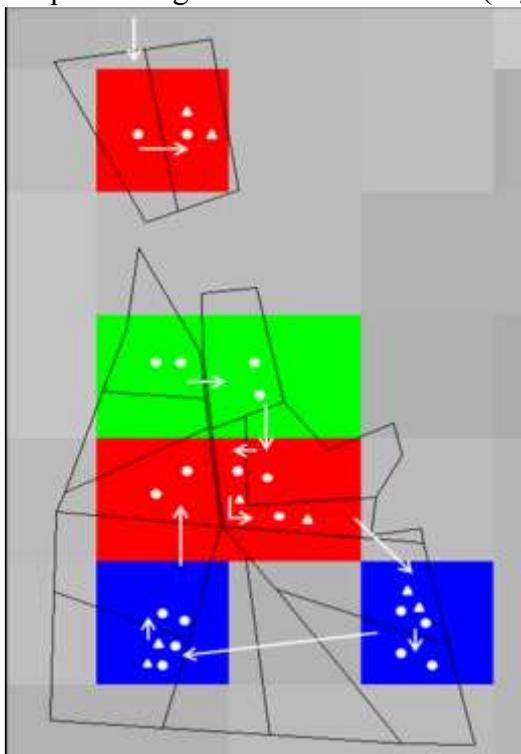


Figura 1 – Pontos de amostragem com sensor remoto ativo de superfície (Greenseeker) em pastagens naturais do Bioma Pampa (as flechas indicam o caminhamento realizado nas avaliações; ■ representa os píxeis de alta intensidade de pastejo, ■ representa os píxeis de moderada intensidade e ■ representa os píxeis de baixa intensidade de pastejo; ○ corresponde às amostras de estrato inferior e Δ de estrato superior).

As relações entre os valores de NDVI obtidos pelo sensor GreenSeeker e a massa de forragem (kg MS/ha) foram determinadas por meio de análises de regressão linear, considerando 5% de nível de significância. As equações referentes a cada data de avaliação foram comparadas pelo teste de paralelismo ($P < 0,05$) e, quando observada semelhança entre equações, foi realizada uma nova equação com o conjunto de dados das datas semelhantes. Foi utilizado o programa estatístico JMP (v.11).

3. Resultados e Discussão

Com base nas comparações entre as equações de regressão, foram definidas quatro distintas equações (Figura 2), referentes às estações de primavera (08/11 e 03/12/2013), verão (22/01/2014), outono (21/03 e 09/05/2014) e inverno (17/06 e 22/07/2014). Foi observada relação linear positiva entre NDVI e massa de forragem do estrato inferior do pasto ($P < 0,05$) nas avaliações de primavera, verão e outono. Esse resultado era esperado, visto que maiores valores de NDVI significam uma maior quantidade de biomassa verde, tendo em vista a maior absorção do vermelho, pelas clorofilas, e uma maior reflectância no infravermelho próximo, decorrente de mesófilos desenvolvidos (folhas adultas) e/ou de maior número de camadas de folhas (Rouse et al., 1973).

Com relação aos valores de NDVI, observam-se valores inferiores na avaliação de janeiro (verão), que podem estar associados à restrição ao crescimento das plantas em função da precipitação pluvial não suprir a demanda evaporativa da atmosfera no período (Jacóbsen et al., 2003). Wagner et al. (2013), empregando imagens NDVI de 13 regiões do Bioma Pampa, distintas em termos de composição botânica e solos, verificaram que janeiro é o mês de maior variabilidade interanual dos valores do índice.

As equações de primavera e verão apresentaram melhores ajustes de NDVI vs massa de forragem, o que indica uma menor variabilidade no acúmulo de biomassa verde nestas estações, período em que os animais adquirem maior ganho de peso vivo, dada maior disponibilidade de alimento condicionada pelo incremento no acúmulo de biomassa das espécies forrageiras de ciclo estival (Neves et al., 2009; Mezzalira et al., 2012).

No inverno, observou-se redução nos valores de NDVI com aumento na massa de forragem. Neste período, a baixa concentração de espécies C3 na área experimental (Cruz et al., 2010) condicionou um menor acúmulo de biomassa verde, fazendo com que o incremento de massa de forragem esteja altamente relacionado ao incremento de material senescente, reduzindo o NDVI.

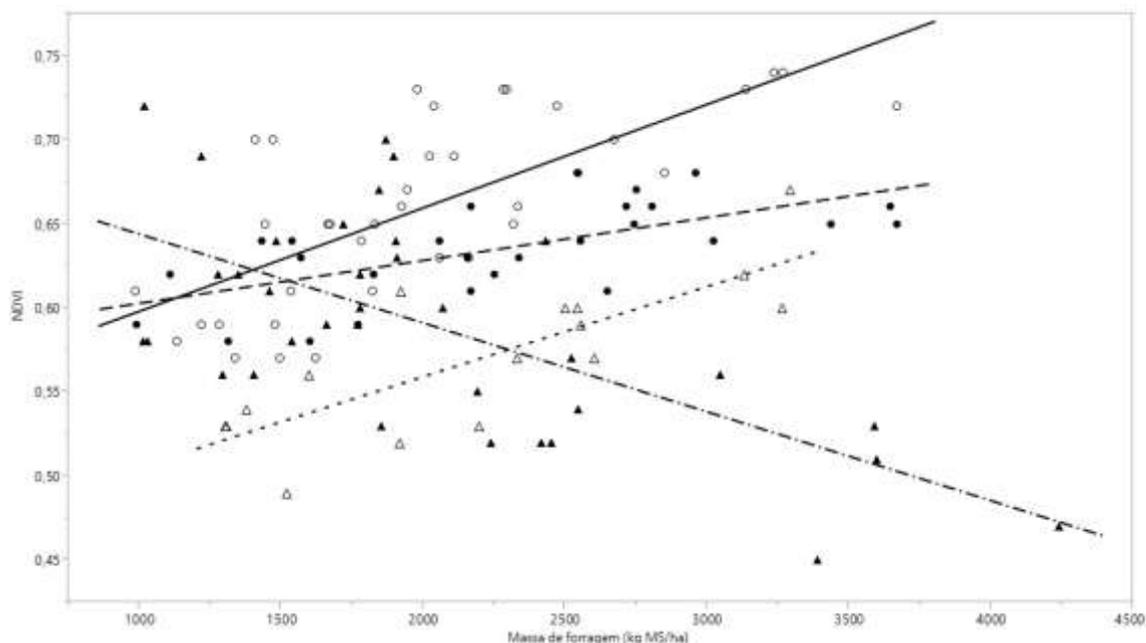


Figura 2 – Relação entre NDVI e massa de forragem (kg MS/ha) do estrato inferior de pastagens naturais do Bioma Pampa manejadas sob intensidades de pastejo (○ avaliações de 08/11 e 03/12/2013: $y = 0,536 + 0,000061x$; $R^2 = 0,5193$; $DPR = 0,038$; $P < 0,0001$; △ avaliação de 22/01/2014: $y = 0,452 + 0,000053x$; $R^2 = 0,6289$; $DPR = 0,029$; $P = 0,0002$; ● avaliações de 21/03 e 09/05/2014: $y = 0,577 + 0,000025x$; $R^2 = 0,4056$; $DPR = 0,022$; $P = 0,0003$; ▲ avaliações de 17/06 e 22/07/2014: $y = 0,696 - 0,000052x$; $R^2 = 0,4121$; $DPR = 0,050$; $P < 0,0001$).

Quando relacionamos NDVI com massa de forragem do estrato superior do pasto (touceiras), observamos uma resposta linear negativa, independente da data de avaliação (Figura 3). Esta resposta está associada ao elevado teor de matéria seca e acúmulo de material senescente das touceiras (Quadros et al., 2009), fazendo com que o aumento na massa de forragem seja decorrente de incremento em material senescente e, assim, reduzindo o NDVI.

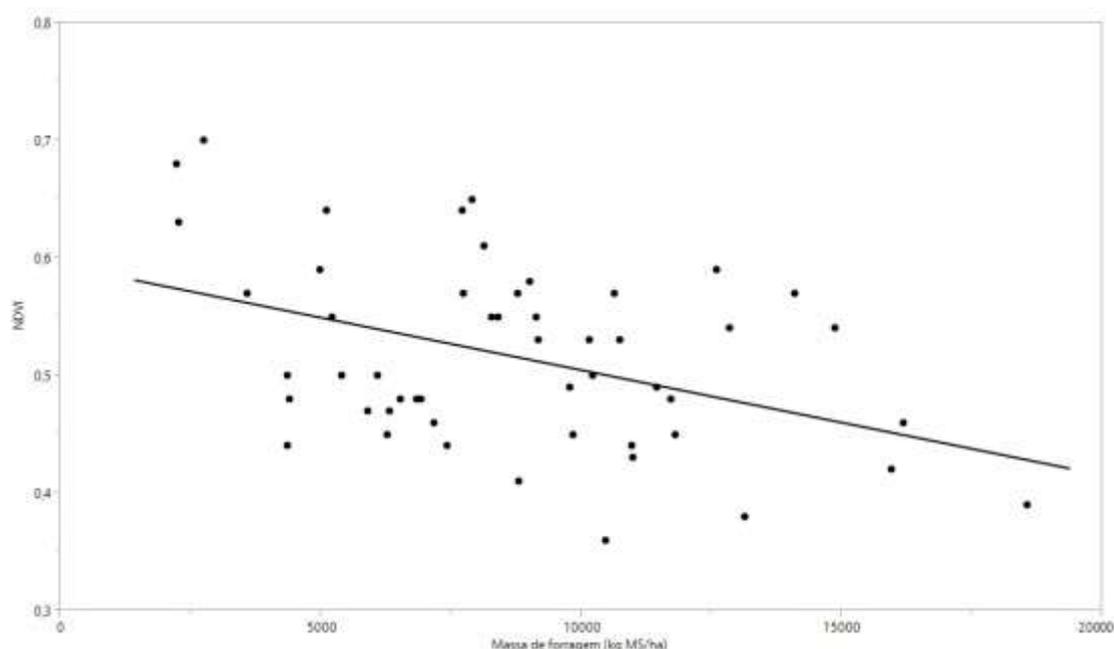


Figura 3 - Relação entre NDVI e massa de forragem (kg MS/ha) do estrato superior de pastagens naturais do Bioma Pampa manejadas sob intensidades de pastejo ($y = 0,594 - 0,0000089x$; $R^2 = 0,1772$; $DPR = 0,071$; $P=0,0021$)

Observa-se que a equação entre NDVI e massa de forragem do estrato superior não apresentou um bom poder de predição. Esse resultado pode estar relacionado à composição florística das pastagens naturais do Bioma Pampa, cujo estrato superior é composto por uma grande variedade de espécies de hábito cespitoso, como *Andropogon lateralis*, *Aristida jubata*, *Aristida leavis*, *Bacharis trimera*, *Erianthus* sp., *Eryngium horridum* e *Schyzachirium microstachyum* (Boldrini, 1993). Essas espécies são encontradas em distintos tamanhos e percentuais de cobertura nos tratamentos de menor intensidade de pastejo (Cruz et al., 2010), refletindo em grande variabilidade nos valores de NDVI.

Por fim, medições regulares da condição das pastagens naturais, a partir da estimativa de produção de forragem e consequente disponibilidade de matéria seca para os animais, podem auxiliar em decisões de manejo que beneficiem a composição de espécies e produção de forragem para desenvolvimento das atividades pecuárias (Li et al., 2012). Dessa forma, o uso de sensoriamento remoto na determinação de disponibilidade de forragem em pastagens naturais pode se tornar uma importante ferramenta de manejo para os pecuaristas.

4. Conclusões

A relação entre NDVI obtido por sensor remoto ativo de superfície e massa de forragem é dependente do estrato do pasto (inferior vs superior) e época do ano.

Sensores remotos de superfície podem ser utilizados para estimativa de massa de forragem do estrato inferior de pastagens naturais do Bioma Pampa. No entanto, para maior acurácia na estimativa, os sensores devem ser utilizados em conjunto com outras ferramentas de manejo.

Referências Bibliográficas

- Aparicio, N. et al. Spectral vegetation indices as nondestructive tools for determining durum wheat yield. *Agronomy Journal*, v.92, n.1, p.83-91, 2000.
- Boldrini, I.I. **Dinâmica da vegetação de uma pastagem natural sob diferentes níveis de oferta de forragem e tipos de solo, Depressão Central, RS.** 1993. 262p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre. 1993.
- Carvalho, P.C.F.; Batello, C. Access to land, livestock production and ecosystem conservation in the Brazilian Campos biome: the natural grasslands dilemma. *Livestock Science*, v.120, p.158–162, 2009.
- Carvalho, P.C.F. et al. Lotação animal em pastagens naturais: Políticas, Pesquisas, Preservação e Produtividade. In: Pillar, V.P. et al. (Org.). **Campos Sulinos - Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade**. 1 ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009, p. 214-228.
- Cruz, P.; Quadros, F.L.F.; Theau, J.P.; Frizzo, A.; Jouany, C.; Duru, M.; Carvalho, P.C.F. Leaf traits as functional descriptors of the intensity of continuous grazing in native grasslands in the South of Brazil. *Rangeland Ecology & Management*, v.63, n.3, p.350–358. 2010.
- Jacóbsen, L.O., Fontana, D.C., Shimabukuro, Y.E. Alterações na vegetação em macrozonas do Rio Grande do Sul associados a eventos El Niño e La Niña, usando imagens NOAA. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.11, n.2, p.361-374, 2003.
- Janssen, L.L.F. Introduction to remote sensing. In: Janssen, L.L.F., Huurnemann (Eds). **Principles of remote sensing**. 2.ed. Enschede: ITC. 2001. p.41-53.
- Laca, E.A. Pastoreo de precisión. In: **Bioma Campos: Innovando para Mantener su Sustentabilidad y Competitividad**. ed. Montevideo: Tradinco, v.1, p.29-40, 2008.

- Li, Z.; Huffman, T.; Zhang, A.; Zhou, F.; McConkey, B. Spatially locating soil classes within complex soil polygons—Mapping soil capability for agriculture in Saskatchewan Canada. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 152, p.59–67, 2012.
- Mezzalana, J.C., Carvalho, P.C.F., Da Trindade, J.K., Bremm, C., Fonseca, L., Amaral, M.F., Reffatti, M.V. Produção animal e vegetal em pastagem nativa manejada sob diferentes ofertas de forragem por bovinos. **Ciência Rural**, v.42, n.7, p.1264-1270, 2012.
- Mott, G.O., Lucas, H.L. The design conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: International Grassland Congress, 6, 1952. **Proceedings...**Pennsylvania, State College Press, p.1380-1395. 1952.
- Nabinger, C. Manejo e Produtividade das Pastagens Nativas do Subtropical Brasileiro. In: Simpósio de forrageiras e produção animal, 1; 2006. **Anais...** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006, p. 25-76.
- Neves, F.P., Carvalho, P.C.F., Nabinger, C., Jacques, A.V.A., Carassai, I.J., Tentardini, F. Estratégias de manejo da oferta de forragem para recria de novilhas em pastagem natural. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.8, p.1532-1542, 2009.
- Quadros, F.L.F.; Trindade, J.P.P; Borba, M. A abordagem funcional da ecologia campestre como instrumento de pesquisa e apropriação do conhecimento pelos produtores rurais. In: PILLAR, V.P. et al. **Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. p.206-213.
- Risso, J. et al.. Potencialidades dos índices de vegetação EVI e NDVI dos produtos MODIS na separabilidade espectral de áreas de soja. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal, RN. **Anais...** INPE, 2009. P.379-386.
- Rizzi, R. **Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul**. 2004. 212 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto).
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite Symposium, 3., 1973, Washington. **Proceedings...** Washington: NASA, 1973, p.309-317.
- Wagner, a. P. L.; Fontana, D. C, Fraize, C., Weber, E.; Hasenack, H. Tendências temporais de índices de vegetação nos campos do Pampa do Brasil e do Uruguai. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.9, p.1192-1200, 2013.