

Perfis temporais de NDVI/MODIS de áreas agrícolas cultivadas com cereais de estação fria em anos de El Niño e La Niña no Rio Grande do Sul, Brasil

Amanda Heemann Junges¹
Denise Cybis Fontana²

¹ Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária – FEPAGRO
Caixa Postal 44 - 95330-000 – Veranópolis - RS, Brasil
amanda-junges@fepagro.rs.gov.br

² Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Faculdade de Agronomia-UFRGS
Caixa Postal 15100 - 91450-000 - Porto Alegre - RS, Brasil
dfontana@ufrgs.br

Abstract. The aim of this study was to discriminate NDVI/MODIS temporal profiles of winter cereals cropping areas in Rio Grande do Sul State in La Niña, El Niño or Neutral years. The data set comprised NDVI/MODIS images, from April to December of the 2000-2012 series. The mean values of NDVI of winter cereals cropping areas, identified by crop masking and unsupervised classification, were used to elaborate temporal profiles of La Niña, El Niño or Neutral years, according to ENSO (El Niño Southern Oscillation) episodes in spring (September-October-November) for NOAA. The results indicated that the mean of NDVI values varied between 0.41 and 0.81, reflecting the differences in sowing period and plant growth in the regions of Caxias do Sul, Passo Fundo and Santa Rosa. The NDVI/MODIS profile of La Niña was distinct in temporal evolution of vegetation index, in comparison to El Niño profile. NDVI/MODIS temporal profile of La Niña has a delay in initial increment and lower values of NDVI during the vegetative stage of winter cereals in Rio Grande do Sul State (June, July, August and September). In the series analyzed, higher grain yields were observed in La Niña years and NDVI temporal profiles indicated the gradual accumulation of green biomass according to lower air temperatures during the cycle of winter cereals in study regions.

Palavras-chave: vegetation index, ENSO, wheat, grain yield, índice de vegetação, ENOS, trigo, rendimento de grãos

1. Introdução

O El Niño Oscilação Sul (ENOS) é um fenômeno de grande escala que se caracteriza pela variação das condições normais de temperatura da superfície do mar (TSM) e de pressão atmosférica no Oceano Pacífico Equatorial. Na fase quente, denominada El Niño, ocorre o aquecimento das águas (anomalias positivas de TSM) e, na fase fria, denominada La Niña, as anomalias de TSM são negativas. No Rio Grande do Sul, os principais efeitos associados a eventos ENOS ocorrem sobre a precipitação pluvial e a temperatura do ar (Berlato e Fontana, 2003). Em anos de El Niño, a precipitação pluvial é superior à média climatológica, especialmente na primavera e início do verão (Berlato e Fontana, 2003; Puchalsky, 2000).

De modo geral, as culturas não-irrigadas de primavera-verão (por exemplo, milho e soja) têm seu ciclo favorecido em anos de El Niño, dada menor probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica (Berlato et al., 2005; Alberto, 2006). Por sua vez, para os cereais de estação fria, como trigo, centeio, cevada e aveia, os maiores volumes de chuva registrados no início da primavera em anos de El Niño são desfavoráveis às culturas, dada diminuição do rendimento de grãos associadas ao excesso de precipitação pluvial (Cunha et al., 1999; Alberto, 2006).

O trigo é a principal cultura produtora de grãos estabelecida no outono-inverno nos municípios localizados na porção norte do Rio Grande do Sul. O período recomendado de semeadura de trigo no Estado, definido de acordo com a probabilidade de ocorrência de geadas no florescimento e de excesso de precipitação pluvial na maturação fisiológica, estende-se de maio a julho, iniciando na porção oeste do Estado (regional Santa Rosa) e finalizando na região dos Campos de Cima da Serra (regional Caxias do Sul) (Cunha et al.,

2001). A variação da época de semeadura, no sentido oeste-leste, determina que as principais etapas do ciclo da cultura também variem neste sentido. A maior parte da área cultivada é colhida da primeira quinzena de novembro à primeira de dezembro. No Rio Grande do Sul, a variabilidade interanual dos rendimentos de grãos de trigo pode ser associada às variações das condições meteorológicas (Cunha et al., 2001).

Cunha et al. (1999) analisaram a influência do fenômeno ENOS no rendimento de grãos de trigo e verificaram que, em 61% dos anos de ocorrência de El Niño, os desvios de rendimento foram negativos e, em 73% dos eventos La Niña, os desvios de rendimento de grãos foram positivos, especialmente na região Sul do País. A precipitação pluvial acima da média em anos de ocorrência de El Niño, especialmente na primavera e início do verão, coincidente com período de florescimento, maturação fisiológica e colheita dos cereais de estação fria no Rio Grande do Sul, diminuem o rendimento e a qualidade dos grãos de trigo (Cunha et al., 1999).

As imagens de satélite representam uma importante fonte de dados para estudos acerca da relação clima-planta, em função de gerarem informações objetivas, com adequada caracterização espacial e temporal. 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 e é considerado um indicador da biomassa verde presente na área imageada. Dados seqüenciais de NDVI podem ser empregados no monitoramento do ciclo de crescimento e desenvolvimento das culturas agrícolas por meio da caracterização dos padrões de resposta da cobertura vegetal decorrentes do ciclo fenológico, das atividades de manejo e das condições meteorológicas. A associação da variabilidade dos perfis temporais de NDVI de áreas agrícolas cultivadas com cereais de estação fria ao rendimento de grãos foi demonstrada por Junges et al. (2013) e empregada na elaboração de modelos agrometeorológicos-espectrais de estimativa de rendimento de grãos de trigo no Rio Grande do Sul (Junges e Fontana, 2011).

O objetivo deste trabalho foi discriminar perfis temporais de NDVI/MODIS de áreas agrícolas cultivadas com cereais de estação no Rio Grande do Sul em anos de El Niño, La Niña e neutros.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo compreendeu municípios localizados ao norte do Estado do Rio Grande do Sul, os quais compõem as regionais Santa Rosa (45 municípios), Passo Fundo (70) e Caxias do Sul (58), de acordo com a divisão administrativa da Associação Riograndense de Empreendimentos de Assistência Técnica de Extensão Rural - Emater/RS. A região de estudo está localizada, de acordo com a classificação climática de Köppen, na Zona Climática Fundamental Temperada (C), clima fundamental úmido (f), variedade específica subtropical (Cfa), com precipitação pluvial bem distribuída durante o ano e temperatura média do mês mais quente superior a 22°C.

Foram empregadas 17 imagens anuais de NDVI (composições de 16 dias) provenientes do sensor MODIS (produto MOD13Q1, coleção 5), referentes aos meses de abril a dezembro, de 2000 a 2012. Para identificação e realce de áreas agrícolas cultivadas com cereais de estação fria foi realizada a classificação não supervisionada das áreas identificadas por máscaras de cultivo (Junges et al., 2013) e extraídos os valores de NDVI máximos, mínimos e médios para cada regional e ano. Foram empregados os valores médios de NDVI a cada imagem (quinzena) para elaboração dos perfis temporais anuais e perfis temporais médios de anos de El Niño, La Niña ou neutros.

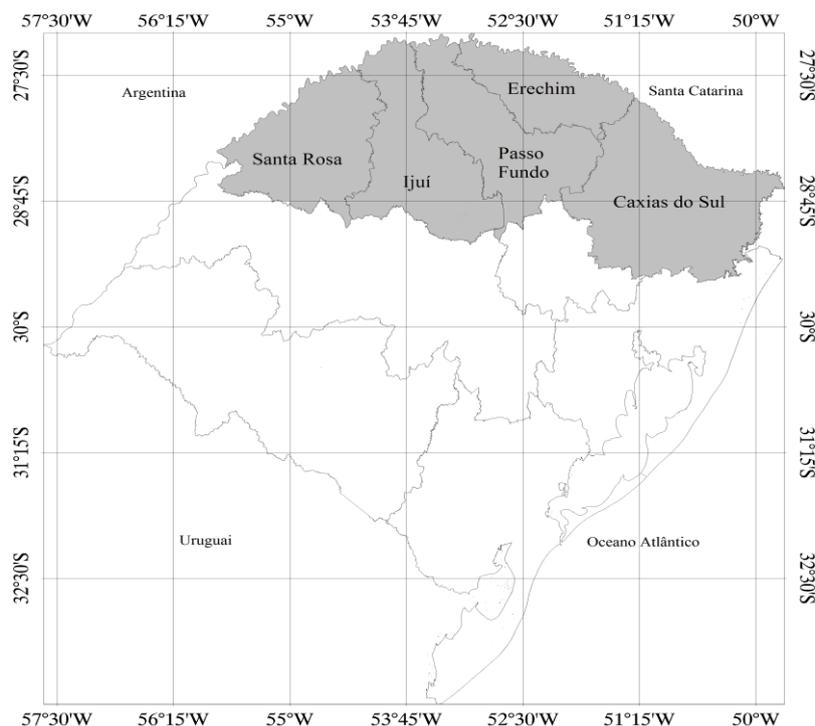


Figura 1. Localização das regionais Emater/RS Caxias do Sul, Passo Fundo e Santa Rosa no Rio Grande do Sul.

A identificação dos eventos ENOS baseou-se na classificação do NOAA (do inglês, *National Oceanic and Atmospheric Administration*), a qual considera o desvio de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ na TSM média (média móvel de 3 meses de anomalia na região do Niño 3.4, por no mínimo 5 meses). Neste trabalho, a identificação de anos de El Niño, La Niña ou neutro considerou a classificação do NOAA para o trimestre setembro-outubro-novembro (primavera), dado que, no Estado, a maior influência dos eventos ENOS sobre a precipitação pluvial e temperaturas do ar ocorre na primavera e início do verão (Berlato e Fontana, 2003). Para verificação da possibilidade de discriminação de NDVI/MODIS em perfis temporais médios de El Niño, La Niña e neutro, os valores quinzenais do índice com diferenças significativas pelo teste “F” foram submetidos ao teste de Tukey, ao nível de significância de 10% de probabilidade.

3. Resultados e Discussão

Na série analisada, quatro anos (30,7%) foram identificados como La Niña (2000, 2007, 2010 e 2011), mesmo número de anos de El Niño (2002, 2004, 2006 e 2009). Cinco anos (38,6) foram identificados como neutros (2001, 2003, 2005, 2008 e 2012), de acordo com critério adotado (primavera).

Independente do evento ENOS, os perfis temporais médios de NDVI/MODIS foram condizentes com a evolução temporal do índice de vegetação esperada de áreas agrícolas destinadas à produção de grãos (Figura 1).

Na comparação entre regionais, os perfis de NDVI/MODIS indicaram diferenças temporais na evolução do índice, refletindo as diferenças nos ciclos de desenvolvimento dos cereais de estação frias nas regionais avaliadas dada as distintas épocas de semeadura. Baixos valores de NDVI (menores que 0,5) ocorreram no período de abril a junho, para as regionais Emater Santa Rosa e Passo Fundo, e de maio a julho para regional Emater Caxias do Sul, refletindo adequadamente o calendário de semeadura e, conseqüentemente, de início da

germinação das lavouras no sentido oeste-leste no Estado. Valores crescentes de NDVI (0,75 a 0,80) ocorreram até agosto-setembro (Santa Rosa e Passo Fundo) ou até outubro (Caxias do Sul), identificando a etapa de crescimento vegetativo das plantas e o florescimento. A partir desta etapa, os valores de NDVI decresceram, dado processo de translocação de fotoassimilados aos grãos e à senescência das plantas, que ocorrem a partir do florescimento e do início do enchimento de grãos. Os baixos valores de NDVI (0,35 a 0,40) em novembro (Santa Rosa e Passo Fundo) e dezembro (Caxias do Sul) foram decorrentes da maturação fisiológica e da colheita dos cereais de estação fria.

Nas regionais avaliadas, perfis temporais médios de NDVI/MODIS apresentaram diferenças na evolução temporal do índice em anos de La Niña, El Niño e neutros (Figura 2A).

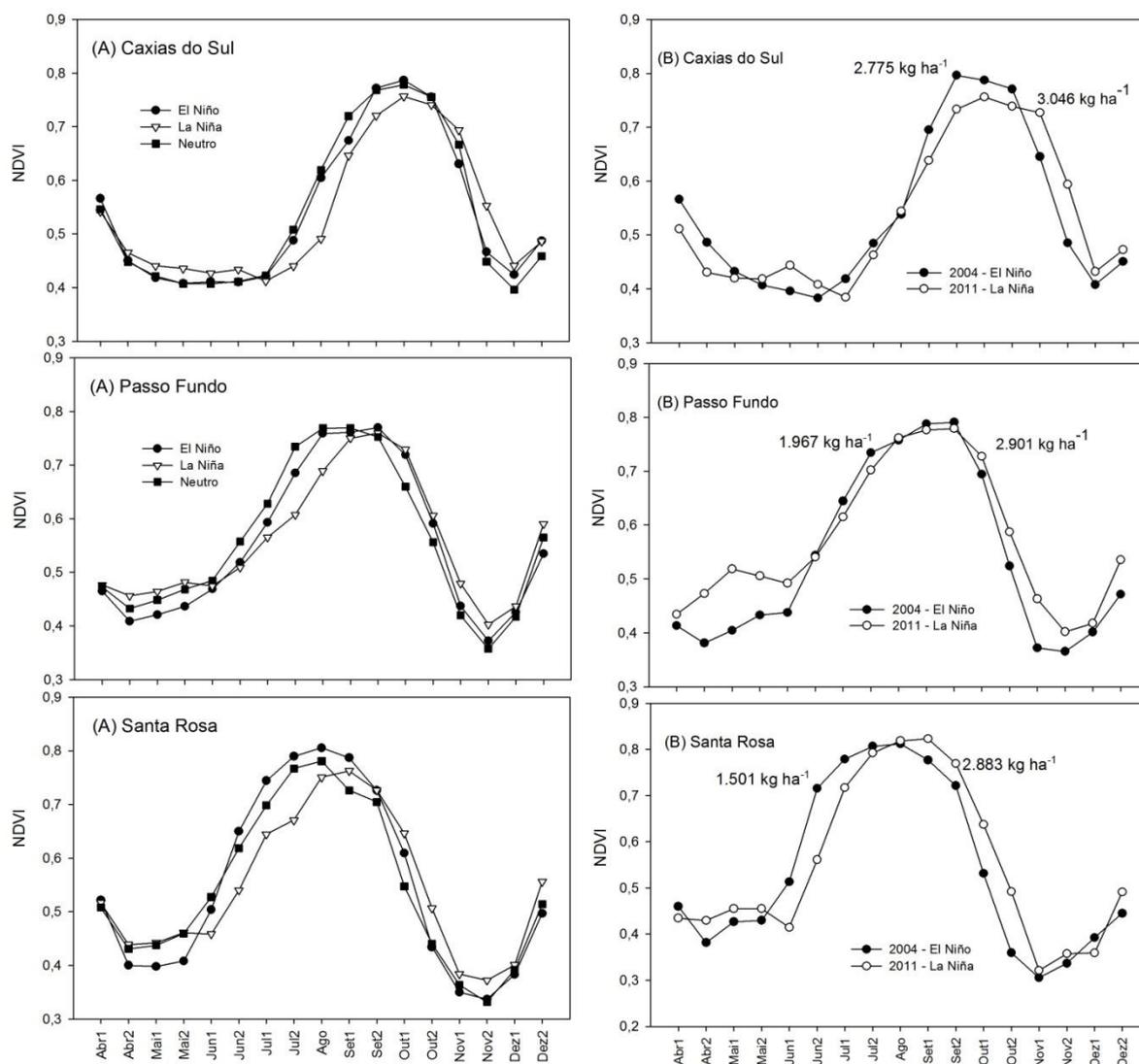


Figura 1. Perfis temporais NDVI/MODIS de áreas agrícolas cultivadas com cereais de estação fria na média de anos de El Niño, La Niña e neutro (A) e perfis temporais de NDVI/MODIS e rendimento de grãos de trigo em 2004 (El Niño) e 2011 (La Niña) (B) nas regionais Emater Caxias do Sul, Passo Fundo e Santa Rosa no Rio Grande do Sul. Série 2000 a 2012.

O perfil temporal médio de La Niña indicou atraso temporal no incremento inicial dos valores de NDVI, comparativamente aos demais, o que pode ser associado às anomalias negativas de temperatura do ar para a maioria dos meses do ano em eventos La Niña. Esse

resultado foi observado na regional Santa Rosa entre o valor máximo dos perfis El Niño e neutro (respectivamente 0,81 e 0,78 em agosto) e La Niña (0,76 na primeira quinzena de setembro) e na regional Passo Fundo entre o valor máximo dos perfis El Niño (0,77 na primeira quinzena de setembro), neutro (0,77 na segunda quinzena de setembro) e La Niña (0,76 na segunda quinzena de setembro). Resultado semelhante foi obtido para cultura do arroz irrigado no Estado: Klering et al. (2013) identificaram defasagem de uma quinzena nos valores mínimos e máximos de NDVI/MODIS no perfil temporal médio de anos de La Niña, comparativamente aos de anos El Niño ou neutros.

Diferenças entre os valores de NDVI/MODIS de perfis médios ocorreram especialmente entre El Niño e La Niña nas quinzenas referentes ao desenvolvimento vegetativo dos cereais de estação fria nas regionais avaliadas (Tabela 1): junho e julho (Santa Rosa), julho e agosto (Passo Fundo) e agosto e setembro (Caxias do Sul). Nestes meses, os valores de NDVI/MODIS no perfil médio referente à La Niña foram inferiores aos observados nos perfis médios de El Niño e neutro. Menores temperaturas do ar em anos de ocorrência do fenômeno La Niña acarretariam menor acúmulo de biomassa verde e, conseqüentemente, perfis temporais com menores valores de NDVI/MODIS no período de crescimento vegetativo das plantas. O efeito de baixas temperaturas do ar nas plantas de trigo produz resultados diferenciados, dependendo do estágio de desenvolvimento em que ocorrem. Baixas temperaturas do ar no período vegetativo são favoráveis, pois prolongam o ciclo e induzem à formação de maior número de afilhos (Mundstock, 1999). Para cultura do trigo e demais cereais de estação fria, os menores valores de NDVI no início do ciclo não implicaram em redução no rendimento de grãos, como pode ser verificado nos perfis temporais contrastantes dos anos 2004 (El Niño) e 2011 (La Niña) (Figura 2B). Os rendimentos foram maiores em 2011 nas regionais analisadas, confirmando que anos de La Niña são favoráveis aos cereais de estação fria (Cunha et al., 1999). A associação entre anos de maiores rendimentos de grãos de trigo a perfis em que altos valores de NDVI foram mantidos por um período maior de tempo (maior área sob a curva) foi demonstrada por Ruddorf e Batista (1990) e Junges e Fontana (2009).

Tabela 1. Valores médios de NDVI/MODIS de áreas agrícolas cultivadas com cereais de estação fria em anos de El Niño, La Niña e neutros nas regionais Emater Caxias do Sul, Passo Fundo e Santa Rosa no Rio Grande do Sul. Série 2000 a 2012.

Quinzena	NDVI/MODIS								
	Santa Rosa			Passo Fundo			Caxias do Sul		
	Niña	Neutro	Niño	Niña	Neutro	Niño	Niña	Neutro	Niño
Jun 1	0,46 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,48	-	-	-
Jun 2	0,54 ^a	0,62 ^{ab}	0,63 ^b	0,51 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,52	-	-	-
Jul 1	0,64 ^a	0,70 ^{ab}	0,74 ^b	0,57 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,59	0,41 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,42 ^{ns}
Jul 2	0,67 ^a	0,77 ^b	0,79^b	0,61 ^a	0,68 ^{ab}	0,73 ^b	0,44 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,49 ^{ns}
Ago	0,75 ^{ns}	0,78^{ns}	0,81 ^{ns}	0,69 ^a	0,76 ^{ab}	0,77^b	0,49 ^a	0,62 ^b	0,61 ^b
Set 1	0,76^{ns}	0,73 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,77^{ns}	0,76	0,65 ^a	0,67 ^{ab}	0,72 ^b
Set 2	0,73 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,76^{ns}	0,75 ^{ns}	0,77	0,72 ^a	0,77 ^b	0,77 ^b
Out 1	0,65 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,72	0,76^{ns}	0,78^{ns}	0,79^{ns}
Out 2	0,51 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,59	0,74 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,76 ^{ns}

Letras distintas na linha diferem entre si pelo Teste Tukey (P<0,05)

Nesse trabalho, apesar da classificação dos eventos ENOS ter sido baseada na anomalia de TSM nos meses da primavera, as diferenças entre perfis temporais de NDVI/MODIS de anos classificados como El Niño, La Niña ou neutros ocorreram nos meses anteriores à primavera, ou seja, em junho, julho e agosto (JJA). Nos anos classificados como La Niña, de acordo com o critério adotado pela NOAA, o trimestre JJA (inverno) também foi identificado como La Nina em 2000 e 2010 (anomalias negativas de $-0,6^{\circ}\text{C}$ e $-0,9^{\circ}\text{C}$) e, nos demais anos (2007 e 2011), anomalias negativas de TSM também ocorreram embora em menor magnitude ($-0,4^{\circ}\text{C}$ e $-0,2^{\circ}\text{C}$). Esse resultado indicou que, apesar dos principais efeitos associados a eventos ENOS no Estado ocorrerem na primavera e início do verão (Berlato e Fontana, 2003; Puchalsky, 2000), desvios negativos de TSM no inverno, mesmo que não caracterizados como evento La Niña, podem influenciar as condições meteorológicas que determinam o acúmulo de biomassa em cereais de estação fria. Nas quinzenas referentes à primavera (SON), não foram verificadas diferenças entre os perfis temporais de NDVI/MODIS nas regionais analisadas, possivelmente em virtude do decréscimo dos valores do índice associado ao florescimento e início do processo de translocação de nutrientes para formação dos grãos.

4. Conclusão

Perfis temporais médios de NDVI/MODIS em anos de La Niña e El Niño são distintos em termos evolução temporal do índice de vegetação. O perfil temporal médio de La Niña apresenta atraso no incremento inicial de NDVI e menores valores de NDVI/MODIS no período de crescimento vegetativo dos cereais de estação fria no Rio Grande do Sul (junho, julho, agosto e setembro).

Perfis temporais de NDVI/MODIS de La Niña são associados a maiores rendimentos de grãos e representam adequadamente o acúmulo gradual de biomassa verde e o prolongamento do ciclo dos cereais de estação fria decorrentes das menores temperaturas do ar.

Referências bibliográficas

- Alberto, C. M., Streck, N.A., Heldwein, A., Buriol, G.A, Medeiros, S.L.P. Água no solo e rendimento do trigo, soja e milho associados ao El Niño Oscilação Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.7, p.1067-1075, 2006.
- Berlato, M.A., Fontana, D.C. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2003. 110 p.
- Berlato, M.A., Farenzena, H., Fontana, D.C. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.5, p.423-432, 2005.
- Cunha, G. R., Dalmago, G.A., Estefanel, V. Enso influences on wheat crop in Brazil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, n.1, p.127-138, 1999.
- Cunha, G.R., Haas, Maluf, J.R.T., Caramori, P.H., Assad, E.D., Braga, H.J., Zullo Jr, J., Lazzarotto, C., Gonçalves, S., Wrege, M., Brunetta, D., Dotto, S.R., Pinto, H.S., Brunini, O., Thomé, V.M.R., Zampieri, S.L., Pasinato, A., Pimentel, M.B.P., Pandolfo, C. Zoneamento agrícola e épocas de semeadura para trigo no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.3, p.400-414, 2001.
- Junges, A.H.; Fontana, D.C. Avaliação do desenvolvimento das culturas de cereais de inverno no Rio Grande do Sul por meio de perfis temporais do índice de vegetação por diferença normalizada. **Ciência Rural**, v.39, n.5, p.1349-1355, 2009.
- Junges, A.H.; Fontana, D.C. Modelo agrometeorológico-espectral de estimativa de rendimento de grãos de trigo no Rio Grande do Sul. **Ceres**, v.58, n.1, p.695-700, 2011.

Junges, A.H., Pinto, D.G., Fontana, D. Variabilidade interanual dos perfis temporais de NDVI/MODIS de áreas agrícolas cultivadas com cereais de estação fria para produção de grãos no Rio Grande do Sul. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 17., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. Artigos, p. 23-30. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00065-2. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1286.pdf>>. Acesso em: 09 nov. 2014.

Klering, E.V., Fontana, D.C., Alves, R.M., Berlato, M. Influência do fenômeno ENOS nos perfis temporais de NDVI das áreas orizícolas do Rio Grande do Sul. **Revista Ciência e Natura**, edição esp.dez., p.094-096, 2013.

Mundstock, C.M. **Planejamento e manejo integrado da lavoura de trigo**. Porto Alegre: Evangraf, 1999. 227p.

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. Cold and warm episodes by seasons. Disponível em:<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml>. Acesso em: 20 jul.2014.

Puchalsky, L.A. **Efeitos associados ao El Niño e La Niña na temperatura média, precipitação pluvial e no déficit hídrico no Estado do Rio Grande do Sul**. 2000. 83 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

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.

Rudorff, B.F.T; Batista, G.T. Spectral response of wheat and its relationship with agronomic variables in the tropical region. **Remote Sensing of Environment**, v.31, n.1, p.53-63, 1990.