

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

Amanda Heemann Junges¹
Daniele Guterres Pinto²
Denise Cybis Fontana²

¹ Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária, Fepagro Serra
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
daniele.guterres@gmail.com, dfontana@ufrgs.br

Abstract. This study aimed to analyze the temporal NDVI/MODIS profiles variability in winter cereals cropping areas to establish relationship with wheat yield in Rio Grande do Sul State, Brazil. The data set comprised 17 NDVI/MODIS images, from April to December of the 2000-2008 series. Firstly, crop masks were elaborated by subtracting the minimum NDVI image (April to May) from the maximum NDVI image (June to October). Then, an unsupervised classification of NDVI/MODIS images was carried out, considering the crop masking areas. The class that temporal NDVI/MODIS profiles were in agree with crop calendar was named as “winter cereals to grain production” and the interannual variability was analyzed. The results showed that NDVI values were low (0,40) early in the crop cycle and increased up to August, September and first fortnight of October, according to the region. Maximum NDVI value and major interannual variability occurred in period before the flowering stage. It was possible to indicated difference between temporal NDVI/MODIS profiles in years of low and high wheat yield. The maximum yield in the series was associated with temporal NDVI/MODIS profile with more plant biomass accumulation.

Palavras-chave: trigo, classificação não supervisionada, wheat, unsupervised classification.

1. Introdução

O trigo é a principal cultura produtora de grãos estabelecida no período de outono-inverno-primavera no Rio Grande do Sul. A principal região produtora de trigo é formada pelos municípios localizados na porção norte do Estado, responsáveis, na média dos anos 2000 a 2008, por 86% da produção estadual de grãos de trigo (IBGE, 2010). O cultivo de trigo e de demais cereais de estação fria gera renda ao produtor rural, diversifica a produção agrícola e viabiliza o sistema de semeadura direta e a rotação de culturas (Tibola et al., 2009).

Informações coletadas por sensores remotos orbitais e de superfície têm sido empregadas em estudos acerca do comportamento da vegetação. Para isso, é necessário, primeiramente, estabelecer as relações entre os parâmetros radiométricos, contidos em produtos de sensoriamento remoto, e os parâmetros biofísicos da vegetação. Estas relações têm sido estabelecidas através de índices de vegetação (Epiphany et al., 1996). O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (do inglês, *Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI) é empregado na determinação de variáveis biofísicas com as quais apresenta correlação, tais como índice de área foliar (IAF), biomassa e atividade fotossintética (Ponzoni, 2001).

Observações sequenciais de NDVI geram perfis temporais que representam o desenvolvimento da cultura desde a emergência até a maturação e senescência, logo, permitem o monitoramento do ciclo e o estabelecimento de relações com o rendimento de grãos (Labus et al., 2002).

O objetivo deste trabalho foi determinar a variabilidade interanual dos perfis temporais de NDVI/MODIS de áreas agrícolas cultivadas com cereais de estação fria para produção de grãos, relacionando-a aos rendimentos de grãos de trigo no Rio Grande do Sul.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo compreendeu 270 municípios localizados na porção norte do Rio Grande do Sul, pertencentes às regionais da EMATER/RS Caxias do Sul (58 municípios), Erechim (50), Passo Fundo (70), Ijuí (47) e Santa Rosa (45). A região de estudo abrangeu área total de 8.817.583 ha, que correspondem a aproximadamente 31% da área do Estado (Figura 1).

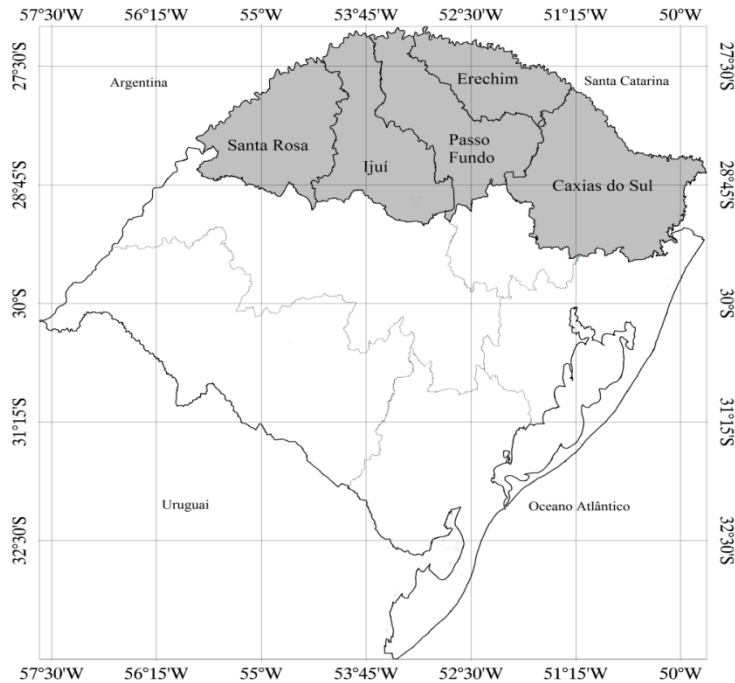


Figura 1. Localização das regionais EMATER/RS Caxias do Sul, Erechim, Passo Fundo, Ijuí e Santa Rosa no Rio Grande do Sul.

Nas regionais EMATER/RS, as áreas agrícolas estabelecidas durante o período de outono-inverno-primavera foram caracterizadas por meio da evolução temporal do NDVI. Para isso, foram empregadas 17 imagens NDVI (composições de 16 dias) provenientes do sensor MODIS (produto MOD13Q1, coleção 5), de abril a dezembro de 2000 a 2008, obtidas junto Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM/UFRGS). As áreas agrícolas foram identificadas por meio da metodologia de máscara de cultivos e classificação não supervisionada de imagens.

As máscaras de cultivo foram obtidas a partir de composições de mínimo e máximo NDVI, empregando-se as imagens da primeira quinzena de abril à segunda quinzena de maio (mínimo NDVI) e da segunda quinzena de junho à primeira de outubro (máximo NDVI) (Junges, 2011). Considerando somente as áreas contidas nas máscaras de cultivo foi realizada a classificação não supervisionada das imagens NDVI/MODIS, utilizando o algoritmo Isodata e tendo como critério de agrupamento o atributo temporal. As classes resultantes do processo de classificação não supervisionada foram transformadas em vetores, os quais foram sobrepostos às imagens NDVI/MODIS para construção dos perfis temporais. Os perfis das classes foram relacionados à data de semeadura e ao calendário agrícola da cultura do trigo (Tabela 1). A classe que apresentou melhor adequação à evolução temporal esperada de áreas agrícolas cultivadas para produção de grãos foi denominada “cereais de estação fria para produção de grãos”.

Tabela 1. Quinzenas nas quais as lavouras de trigo se encontraram em florescimento, enchimento de grãos, maturação fisiológica e colheita, na maior parte da área cultivada nas regionais EMATER/RS Caxias do Sul, Erechim, Passo Fundo, Ijuí e Santa Rosa, média 1999 a 2009. Fonte dos dados: EMATER/RS (2010).

Etapa do ciclo	Quinzena	Regionais
Florescimento	1 ^a Setembro	Santa Rosa e Ijuí
	2 ^a Setembro	Passo Fundo e Erechim
	1 ^a Outubro	Caxias do Sul
Enchimento de grãos	1 ^a Outubro	Santa Rosa, Ijuí e Passo Fundo
	2 ^a Outubro	Erechim e Caxias do Sul
	1 ^a Novembro	Caxias do Sul
Maturação Fisiológica	2 ^a Outubro	Santa Rosa e Ijuí
	1 ^a Novembro	Passo Fundo e Erechim
	2 ^a Novembro	Caxias do Sul
Colheita (mais de 50% da área cultivada)	1 ^a Novembro	Santa Rosa e Ijuí
	2 ^a Novembro	Passo Fundo e Erechim
	1 ^a Dezembro	Caxias do Sul

Os perfis temporais anuais da classe cereais de estação fria para produção de grãos foram empregados na elaboração dos perfis temporais médios, nos quais foram identificados os valores mínimos e máximos para verificação da variabilidade interanual do NDVI na série (2000 a 2008). A relação entre a variabilidade interanual dos perfis temporais foi relacionada à variabilidade dos rendimentos regionais de grãos de trigo por meio da análise dos perfis temporais referentes aos anos de máximo e mínimo rendimento.

3. Resultados e Discussão

A classificação não supervisionada das imagens, baseada na variação temporal do NDVI/MODIS de abril a dezembro e considerando as áreas delimitadas pelas máscaras de cultivo, indicou cinco classes em cada uma das regionais. A classe 2 foi a que apresentou, em todas regionais e anos, o perfil temporal condizente com a evolução do índice de vegetação, de acordo com calendário agrícola médio (Tabela 1). Esta classe foi denominada “cereais de estação fria para produção de grãos” e empregada na análise da variabilidade interanual dos perfis temporais de NDVI/MODIS (Figura 2).

Para a maioria dos municípios pertencentes às regionais Erechim, Passo Fundo, Ijuí e Santa Rosa, o período recomendado de início da semeadura de trigo ocorre no mês de maio. O período recomendado de semeadura para a maior parte dos municípios da regional Caxias do Sul é junho. Assim, os valores de NDVI nos meses de maio e junho foram baixos (valores mínimos de NDVI próximos de 0,40), indicando as etapas de germinação e início do desenvolvimento vegetativo dos cereais de estação fria.

Na média dos anos, os valores máximos de NDVI ocorreram em agosto (regionais Santa Rosa e Ijuí), primeira quinzena de setembro (regionais Passo Fundo e Erechim) e primeira quinzena de outubro (Caxias do Sul). Os valores máximos ocorreram em quinzenas anteriores à quinzena correspondente ao florescimento (Tabela 1). Assim como verificado nos calendários agrícolas médios (Tabela 1), também houve semelhança entre as regionais Erechim e Passo Fundo, e entre Ijuí e Santa Rosa, quanto à quinzena em que o máximo NDVI foi atingido. Maiores valores de NDVI anteriores à etapa de florescimento também foram

encontrados por Variani et al. (2010) analisando a variação do NDVI, obtido com sensor remoto ativo (*Greenseeker*), ao longo do ciclo de cultivares de trigo submetidas a diferentes doses de nitrogênio em cobertura. Os resultados deste trabalho estão de acordo com estudos que, ao relacionarem o NDVI com o desenvolvimento da planta de trigo, demonstraram que os valores são próximos de 0,5 no início do ciclo e crescentes até atingirem o máximo e se estabilizarem em torno de 0,8 a 0,9 (Hamada, 2001; Epiphânio et al., 1996).

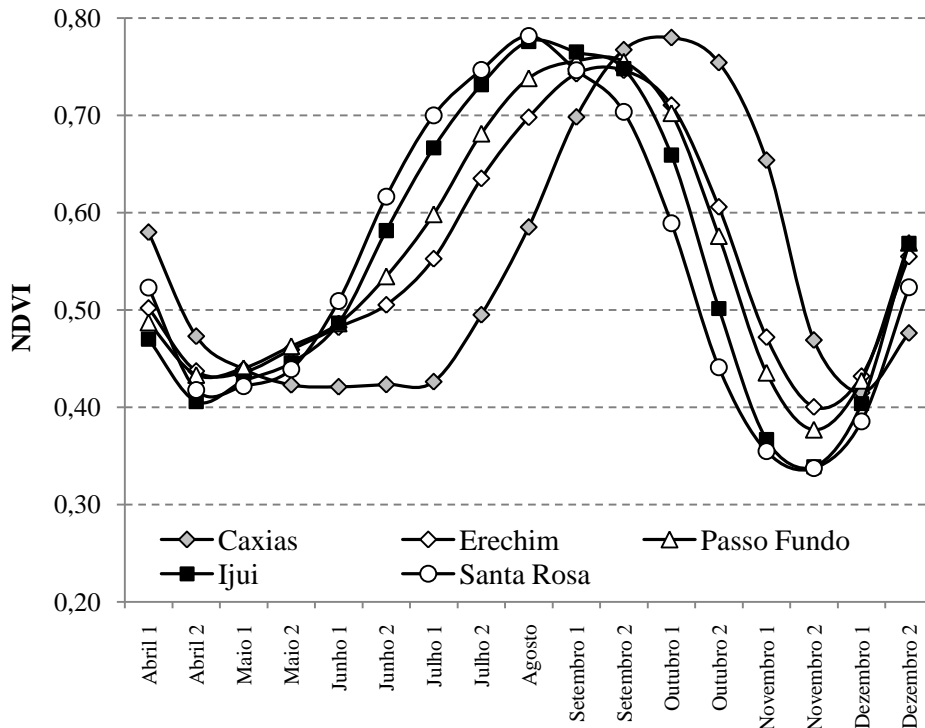


Figura 2. Perfis temporais de NDVI/MODIS médios da classe cereais de estação fria para produção de grãos, regionais EMATER/RS Caxias do Sul, Erechim, Passo Fundo, Ijuí e Santa Rosa, média 2000 a 2008.

A partir do florescimento, as plantas passam a translocar nutrientes para formação do grão. O material transportado para o grão provém da fotossíntese realizada pelas partes verdes da planta e da remobilização de nutrientes previamente armazenados no colmo, folhas e raízes (Mundstock, 1999). A redução de biomassa verde após o florescimento decorre tanto da remobilização de nutrientes, quanto da senescência foliar. Esta redução foi verificada nos perfis temporais médios pelo decréscimo dos valores de NDVI a partir das quinzenas em que o trigo, na maior parte da área cultivada, encontrou-se em enchimento de grãos (Tabela 1).

A maior parte da área cultivada de trigo foi colhida até a segunda quinzena de novembro (Erechim, Passo Fundo, Ijuí e Santa Rosa) e primeira quinzena de dezembro (Caxias do Sul). Nos perfis temporais, os menores valores de NDVI ocorreram nas quinzenas citadas.

Analisando a variabilidade dos valores de NDVI na série estudada (Figura 3) foi possível verificar que as maiores amplitudes ocorreram nas etapas iniciais do ciclo: até a primeira quinzena de setembro para regional Caxias do Sul, agosto para Erechim e Passo Fundo e segunda quinzena de julho para as regionais Ijuí e Santa Rosa. Nas quinzenas equivalentes às etapas de estabelecimento das lavouras e início do crescimento vegetativo das plantas os valores de NDVI variaram em até 0,20 unidades. Este resultado pode ser consequência da variabilidade das condições meteorológicas (temperaturas do ar e do solo, disponibilidade de

radiação solar) e do manejo das lavouras (época de semeadura, cultivares e adubação). As condições meteorológicas e de manejo afetam a duração da etapa semeadura-emergência, taxa de crescimento inicial das plantas e o acúmulo de biomassa verde, parâmetro biofísico da vegetação do qual o NDVI é indicador. A maior variabilidade interanual dos valores de NDVI no início do ciclo, nas quinzenas de julho, agosto e setembro, dependendo da regional analisada, é consequência de as plantas não terem atingido o crescimento vegetativo máximo. Nesta condição, o índice de área foliar é baixo, o dossel não cobre totalmente o solo e pode haver influência do solo nos valores de NDVI.

Menores amplitudes dos valores de NDVI ocorreram nos períodos próximos (anteriores e posteriores) à quinzena na qual o índice atingiu o valor máximo. A menor variabilidade dos valores de NDVI nas quinzenas próximas às do máximo pode indicar que o índice apresentou saturação. A saturação do NDVI ocorre em função da relação não linear da reflectância da vegetação com a biomassa (Ponzoni, 2001). Assim, mesmo que as culturas continuem apresentando incrementos de biomassa, os valores de NDVI não sofrem alterações proporcionais. No Rio Grande do Sul, saturação foi verificada em perfis temporais de NDVI de arroz irrigado (Klering, 2007), soja (Almeida, 2008) e *Paspalum notatum* (Fonseca et al., 2006).

A variabilidade interanual dos perfis temporais de NDVI/MODIS pode ser associada à variabilidade dos rendimentos regionais de grãos de trigo. Os perfis temporais de NDVI/MODIS referentes aos anos de máximo e mínimo rendimento regional de grãos de trigo (Figura 4) mostraram-se distintos no que se refere à evolução temporal do NDVI.

Nas regionais Caxias do Sul e Erechim, os perfis temporais dos anos de máximo rendimento de grãos (respectivamente 2.794 kg ha⁻¹ em 2008 e 2.471 kg ha⁻¹ em 2004) caracterizaram-se pelos maiores valores de NDVI, comparativamente aos perfis de anos com menor rendimento de grãos (2.160 kg ha⁻¹ em Caxias do Sul e 1.590 kg ha⁻¹ em Erechim, ambos em 2000). Na regional Passo Fundo não foi possível estabelecer uma distinção entre os perfis dos anos 2002 (mínimo rendimento de grãos, 1.586 kg ha⁻¹) e 2003 (máximo rendimento de grãos, 2.296 kg ha⁻¹). Nas regionais Ijuí e Santa Rosa, perfis temporais de NDVI/MODIS dos anos de máximo rendimento regional de grãos de trigo caracterizaram-se não pelos maiores valores de NDVI, mas pelo “deslocamento” do perfil no tempo. Nos anos de máximo rendimento de grãos, a queda dos valores de NDVI (após o valor máximo) ocorreu entre quinze dias e um mês após a quinzena em que essa queda se deu nos anos de mínimo rendimento de grãos.

Na comparação entre regionais, foi possível observar que diferenças entre perfis de anos de máximo e mínimo rendimento de grãos foram maiores em Caxias do Sul e Erechim. Nestas regionais, anos de máximo rendimento foram aqueles nos quais a área abaixo da curva descrita pelo perfil também foi maior.

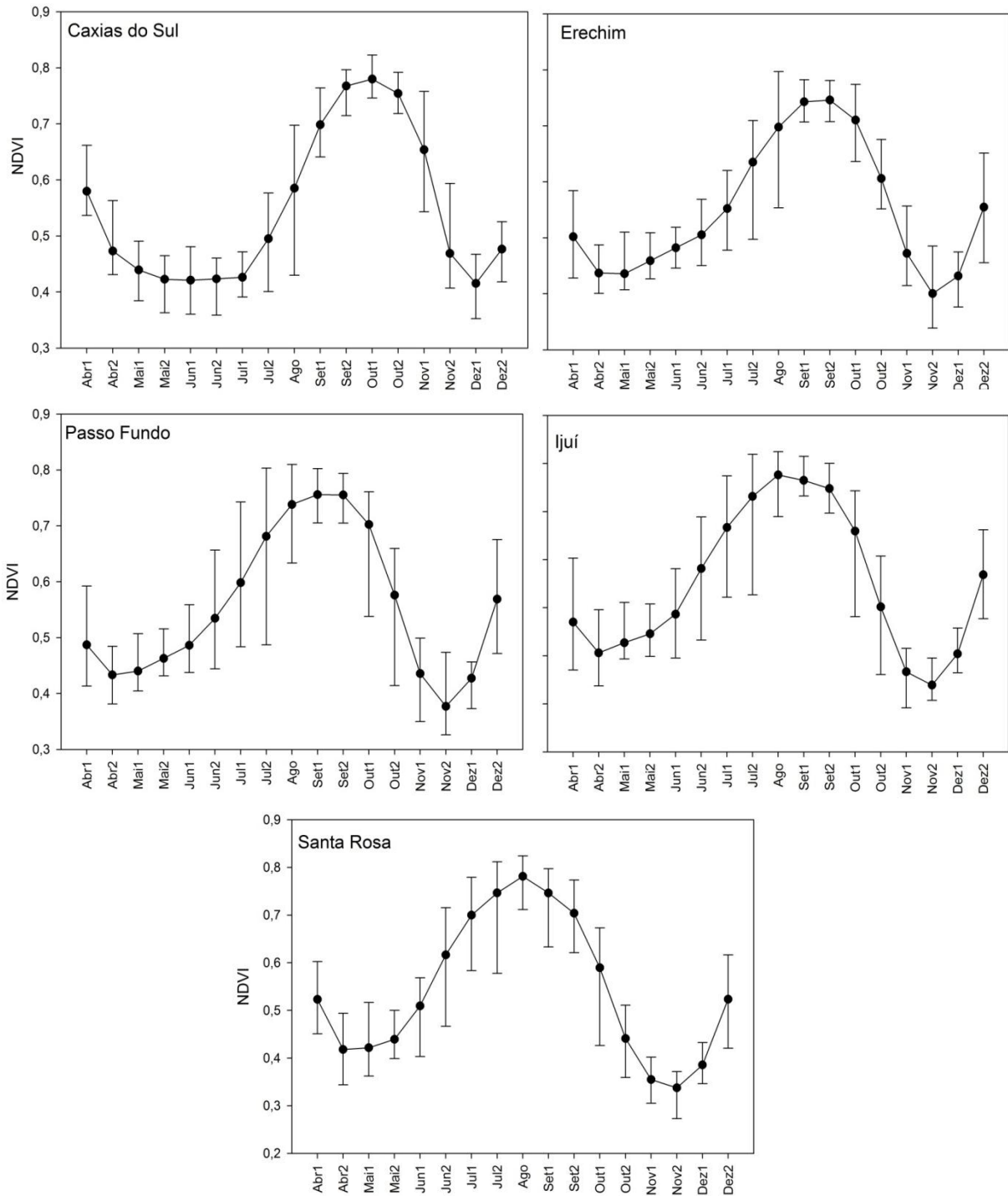


Figura 3. Perfis temporais de NDVI/MODIS (valores médios, mínimos e máximos) da classe cereais de estação fria para produção de grãos, regionais EMATER/RS Caxias do Sul, Erechim, Passo Fundo, Ijuí e Santa Rosa, 2000 a 2008.

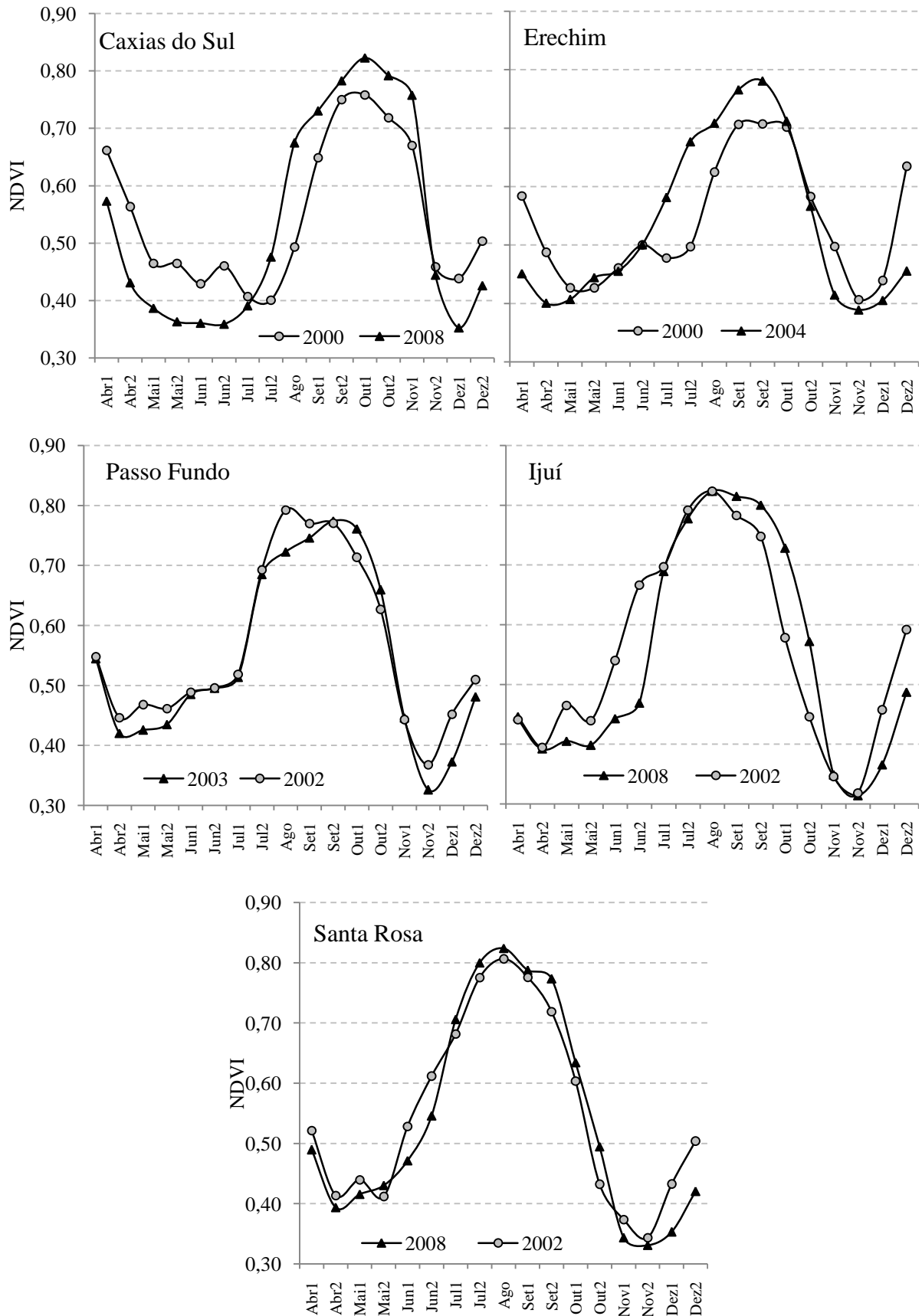


Figura 4. Perfis temporais de NDVI/MODIS dos anos de maior (▲) e menor (●) rendimento de grãos de trigo na série 2000 a 2008, nas regionais EMATER/RS Caxias do Sul, Erechim, Passo Fundo, Ijuí e Santa Rosa.

4. Conclusões

É possível relacionar o calendário agrícola com a evolução temporal do índice de vegetação NDVI obtido de áreas agrícolas cultivadas com cereais de estação fria para produção de grãos. Os valores máximos de NDVI ocorrem em quinzenas anteriores àquela correspondente ao florescimento e há menor variabilidade interanual dos valores de NDVI em períodos próximos (anteriores e posteriores) à quinzena na qual o índice atinge o máximo. Na maior parte das regionais analisadas, há diferença entre perfis temporais de NDVI/MODIS dos anos de máximo e mínimo rendimento de grãos de trigo. A área abaixo da curva descrita pelo perfil temporal de NDVI pode indicar o acúmulo de biomassa pelas plantas e os maiores valores ocorrem em perfis temporais dos anos de maiores rendimentos de grãos de trigo.

Referências Bibliográficas

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola.** Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric>>. Acesso em: 10 jun. 2010.

Epiphânio, J.C.N., Almeida Jr., A.C., Formaggio, A.R. Desenvolvimento do trigo avaliado com dois Índices de Vegetação. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 8., 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. p.19-24. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.01.11.34/doc/T158.pdf>. Acesso em: 15 nov.2012.

Ponzoni, F.J. Comportamento espectral da vegetação. In: Meneses, P.R.; Netto, J.S.M. **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais.** Brasília: Universidade de Brasília, 2001. cap.5, p.157-199.

Labus, M.P., Nielsen, G.A., Lawrence, R.L., Engel, R. Wheat yield estimates using multi-temporal NDVI satellite imagery. **International Journal of Remote Sensing**, London, v.23, n.20, p.4169-4180, 2002.

Tibola, C. S., Pires, J.L., Santos, H.P., Fontanelli, R.S. Semeadura e rotação de culturas. In: **Cultivo de trigo.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009 (Sistemas de produção n.4). Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 7 jul. 2011.

Junges, A.H. **Distribuição espacial e temporal do cultivo de trigo no Rio Grande do Sul e ajuste de modelo agrometeorológico-espectral para estimativa de rendimento de grãos.** 2011. 173 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

Variani, C., Bredemeier, C., Almeida, D., Rosa, A.T., Souza, C.H.L. Variação do índice de vegetação por diferença normalizada em trigo ao longo do ciclo e sua relação com o rendimento de grãos. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, 2010, Ribeirão Preto. **Anais...** Piracicaba: SBEA, 2010. CD-ROM.

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

Klering, E.V. **Avaliação do uso de imagens MODIS na modelagem agrometeorológica-espectral de rendimento do arroz irrigado no Rio Grande do Sul.** 2007. 116 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

Almeida, T. S. **Respostas espectrais da soja sob diferentes condições hídricas e de preparo do solo.** 2008. 90 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

Fonseca, E.L.; Fontana, D.C.; Rosa, L.M.G. Evolução temporal do NDVI e sua relação com variáveis biofísicas em *Paspalum notatum*. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 14, n. 3, p. 272-280, 2006.

Hamada, E.; Pinto, H.S. Avaliação do desenvolvimento do trigo utilizando medidas radiométricas em função de graus-dia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. p.95-101. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/09.12.17.13/doc/0095.101.167.pdf>. Acesso em: 15 nov.2012.