



PREVISÃO DO RENDIMENTO DE GRÃOS DE ARROZ IRRIGADO A PARTIR DE IMAGENS MODIS PARA O RIO GRANDE DO SUL

ELIANA V. KLERING¹, DANIELE G. PINTO², DENISE C. FONTANA³,
MOACIR A. BERLATO³, RITA C. M. ALVES⁴

¹Bacharel em Meteorologia, Pós-doutoranda, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM),
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre-RS, Fone (51) 3308-6966, elianavk@gmail.com

²Eng. Agrônoma, Mestranda em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, UFRGS

³Eng. Agrônomo, Prof. Dr., Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, /Faculdade de Agronomia, UFRGS

⁴Bacharel em Meteorologia, Profª. Drª., CEPSRM, UFRGS

Apresentado no XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA – 02 a
06 de Setembro de 2013 – Centro de Convenções e Eventos Benedito Silva Nunes,
Universidade Federal do Pará, Belém, PA

RESUMO: o objetivo deste trabalho foi elaborar modelos agrometeorológicos-espectrais para a estimativa de rendimento de grãos de arroz irrigado para o Estado do Rio Grande do Sul. O estudo foi realizado para as seis regiões orizícolas do Estado. Foram utilizados dados de rendimento de grãos de arroz irrigado e área cultivada, dados meteorológicos e imagens de NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) do sensor MODIS (*Moderate resolution Imaging Spectroradiometer*), de agosto a abril, das safras de 2000/01 até 2009/10. Os resultados mostraram que os modelos agrometeorológicos-espectrais para estimativa de rendimento de grãos, ajustados através da abordagem orientada pelas relações clima-planta, são adequados às estimativas em nível regional e podem introduzir objetividade ao sistema atual de previsão de safras.

PALAVRAS-CHAVE: modelagem agrometeorológica-espectral, MODIS.

IRRIGATE RICE GRAIN YIELD FORCASTING USING MODIS IMAGES FOR RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL

ABSTRACT: The objective of this study was to estimate the irrigate rice grain yield through the adjustment of the agrometeorological-spectral models in the State of Rio Grande do Sul, Brazil. The study was developed for the six rice-growing regions of the State. Data of the irrigated rice grain yield and crop area, meteorological data and NDVI (Normalized Difference of Vegetation Index) images of MODIS (*Moderate resolution Imaging Spectroradiometer*) sensor, were used from August to April, from 2000/01 to 2009/10 crop season. The results showed that the agrometeorological-spectral models to estimate irrigated rice grain yield, adjusted through at the orientated approach by the climate-plant





relationships, are adequate to the estimates in regional levels and can introduce objectivity to the current harvests forecasts.

KEYWORDS: agrometeorological-spectral modeling, MODIS.

INTRODUÇÃO

O Rio Grande do Sul (RS) é considerado estabilizador da safra nacional de arroz, tendo sido responsável, na safra 2012/13, por 67,5% da produção brasileira. A previsão de safras no Brasil é realizada utilizando informações obtidas através de um levantamento, baseado em opiniões de agentes técnicos relacionados ao setor. Contudo, em função do caráter subjetivo dos levantamentos, essas informações não permitem uma análise quantitativa dos erros envolvidos, além de serem passíveis de manipulação. Assim, torna-se importante a proposição de métodos objetivos e de fácil implantação que possam ser incorporados à metodologia oficial. Diversos trabalhos têm comprovado a viabilidade do uso da modelagem agrometeorológica-espectral ser incorporada aos levantamentos oficiais, introduzindo objetividade aos dados coletados. Nestes modelos, o termo agrometeorológico expressa as condições meteorológicas, enquanto que o espectral expressa, além destas, as diferenças de práticas de manejo, cultivares e estresses. Um dos indicadores espectrais mais utilizados em modelagem de rendimento é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), pois indica associação entre sua grandeza e as condições de biomassa da cultura (MOTTA *et al.*, 2003). A temperatura mínima do ar e radiação solar podem ser considerados indicadores agrometeorológicos do rendimento de grãos de arroz irrigado no RS por responderem por parte da variabilidade dos rendimentos (KLERING *et al.*, 2008). Este trabalho teve como objetivo elaborar modelos agrometeorológicos-espectrais para estimativa de rendimento de grãos de arroz irrigado no RS. Dada a objetividade, precisão e facilidade de obtenção estas estimativas podem ser incorporadas ao sistema nacional de previsão de safras.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo abrange toda a região orizícola do RS. A região é dividida, segundo regiões político-administrativas do Instituto Rio Grandense do Arroz Irrigado (IRGA), da seguinte forma: Fronteira Oeste, Campanha, Depressão Central, Planície Interna à Lagoa dos Patos, Planície Externa à Lagoa dos Patos e Zona Sul (Figura 1).



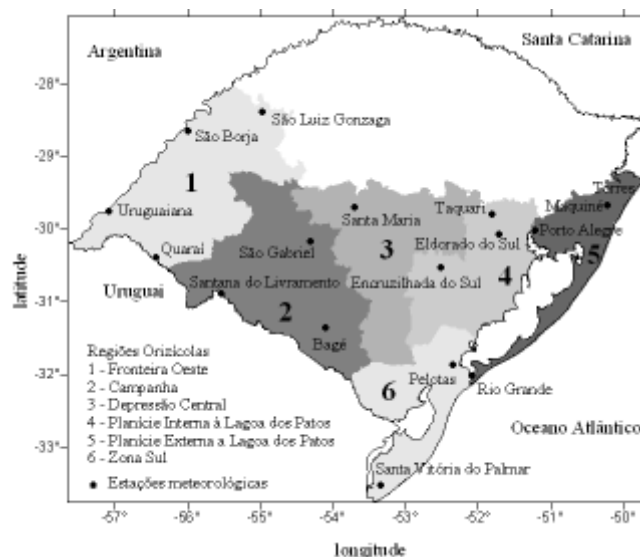


Figura 1. Regiões orizícolas do Estado do Rio Grande do Sul e estações meteorológicas utilizadas no estudo. Fonte: IRGA.

Para as análises, foram utilizados dados oficiais de área cultivada e rendimento de grãos de arroz irrigado de 10 safras agrícolas (2000/01 a 2009/10), obtidos do Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA) do IBGE. Foram utilizados, também, dados meteorológicos diários de temperatura mínima do ar, de 17 estações meteorológicas (Figura 1), incluídas dentro da região de estudo, pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e à Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária do RS (FEPAGRO-RS). Os dados espectrais utilizados corresponderam às imagens de satélite provenientes do sensor MODIS, produto MOD13Q1, coleção 5, que contém composições de imagens de 16 dias sob a forma dos índices de vegetação NDVI e EVI (*Enhanced Vegetation Index*), além da reflectância de superfície correspondente às bandas do azul, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio, em uma resolução espacial de 250 m. Este produto foi obtido de forma gratuita, mediante cadastro antecipado, através do *site* do Sistema de Observação da Terra da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) para o período de agosto de 2000 até abril de 2010. Utilizaram-se neste trabalho, apenas as imagens referentes ao NDVI.

As áreas cultivadas com arroz irrigado foram definidas a partir da construção de máscaras de cultivo. Para tanto, se utilizou uma metodologia baseada no mapeamento de culturas de verão proposta por Araújo *et al.* (2011) e testada para a cultura do arroz irrigado no RS conforme o exposto em Klering (2012). Assim, foram definidos os indicadores espectrais (NDVI) das áreas cultivadas com arroz irrigado.

Os indicadores espectrais (NDVI) foram correlacionados com o rendimento de arroz irrigado e a significância do coeficiente de correlação de Pearson foi testada a partir do teste *t-Student*. Para a determinação dos indicadores agrometeorológicos foram consideradas as correlações entre os dados meteorológicos e o rendimento de grãos obtidos em Kering (2012).

Modelos agrometeorológicos-espectrais de estimativa de rendimento foram ajustados através de equações de regressão linear múltipla, para as diferentes regiões orizícolas. Considerou-se



o rendimento de grãos como a variável dependente e as variáveis independentes (agrometeorológicas e espectrais) foram previamente definidas. Foram incluídas nos modelos aquelas variáveis que apresentaram os maiores coeficientes de correlação. No entanto, foi considerada também a efetiva relação da variável com o rendimento de grãos de acordo com a revisão bibliográfica. Procedeu-se dessa forma, com o intuito de evitar a inclusão de variáveis que apresentem correlações espúrias com os rendimentos, ou seja, não contribuam efetivamente para a definição destes, mas incluídas no modelo por mero acaso, dado o conjunto de dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da Tabela 1 mostra que os padrões de correlações obtidos refletem adequadamente a relação conhecida entre o acúmulo de biomassa verde (NDVI) e rendimento de grãos ao longo do ciclo da cultura. Observa-se que a maior parte das correlações foram negativas no período de implantação (setembro, outubro e novembro), positivas durante o período de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo (dezembro, janeiro até meados de fevereiro), e novamente negativas após o florescimento até o final do ciclo (final de fevereiro, março e abril). A associação do NDVI com rendimento de grãos de arroz irrigado tem sido intensamente investigada, mostrando um padrão de resposta semelhante aos encontrados neste trabalho (CHANG *et al.*, 2005; SAKAMOTO *et al.*, 2005; entre outros).

Tendo como base as correlações obtidas, foram incluídas no ajuste dos modelos as variáveis: $NDVI_{Nov1}$, $NDVI_{Jan1}$, $NDVI_{Jan2}$, $NDVI_{Mar1}$ e $Tminabs_{Mar1}$. Os coeficientes de determinação (R^2) obtidos para o período de ajuste dos modelos de estimativa de rendimento de grãos de arroz irrigado para as diferentes regiões (Tabela 2) variaram entre 0,60 e 0,86.

A melhor estimativa foi obtida para a região da Planície Externa, onde o conjunto de dados utilizados explicou 86% da variabilidade dos rendimentos. O erro padrão das estimativas foi de $0,38 \text{ t ha}^{-1}$, representativo de 7% do rendimento de grãos observados. A pior estimativa foi observada na região da Planície Interna, onde se obteve um coeficiente de determinação de 0,60 e um erro padrão de 9% com relação ao rendimento de grãos oficial ($0,54 \text{ t ha}^{-1}$).





Tabela 1. Coeficientes de correlação de Pearson entre os valores de NDVI de dezesseis dias e os rendimentos de grãos de arroz irrigado, das regiões orizícolas Fronteira Oeste (1), Campanha (2), Depressão Central (3), Planície Interna à Lagoa dos Patos (4), Planície Externa à Lagoa dos Patos (5) e Zona Sul (6). Período: safras agrícolas 2000/01 até 2009/10.

NDVI		Região orizícola					
		1	2	3	4	5	6
Outubro	1	-0,32	-0,70**	-0,11	-0,64**	-0,71**	-0,47*
	2	-0,16	-0,79***	-0,08	-0,77*	-0,77***	-0,73***
Novembro	1	-0,77***	-0,43	-0,47*	-0,58**	-0,73***	-0,48*
	2	-0,02	-0,35	-0,67*	0,38	-0,51*	-0,31
Dezembro	1	0,21	0,43	-0,50*	-0,02	-0,39	0,37
	2	0,34	0,53*	0,31	0,49*	0,47*	0,79***
Janeiro	1	0,08	0,56**	0,41	0,47*	0,73***	0,63**
	2	0,06	0,51*	0,55**	0,39	0,50*	0,51*
Fevereiro	1	-0,13	0,52*	0,75***	0,19	0,11	0,36
	2	-0,37	-0,30	0,25	-0,31	-0,25	-0,40
Março	1	-0,30	-0,55**	0,17	-0,52*	-0,52*	-0,65**
	2	-0,65**	-0,67**	-0,19	-0,54*	-0,073	-0,77***
Abril	1	-0,76***	-0,72***	-0,52*	-0,67**	-0,72***	-0,70**
	2	-0,42	-0,38	-0,69**	-0,37	-0,83***	-0,44*

***Significativo a 1%; ** Significativo a 5%; * Significativo a 10%.

Tabela 2. Modelos para estimativa de rendimento de grãos de arroz irrigado, ajustados através de regressão linear múltipla, para as regiões orizícolas a partir de dados agrometeorológicos e espectrais. Período: safras agrícolas de 2000/01 até 2009/10.

Região orizícola	C	NDVI					Tminabs		R ²	R ² _{MAX} *	R ² _{MIN} *	Sig	EP
		NOV1	JAN1	JAN2	MAR1	MAR1							
1	24,23	-26,81	-9,17	5,51	-7,16	0,05	0,77	0,98	0,72	0,187	0,60		
2	1,03	-13,34	-0,40	15,32	-4,77	0,16	0,79	0,94	0,77	0,155	0,51		
3	-9,24	-16,62	-1,96	11,20	19,29	0,05	0,79	0,85	0,78	0,150	0,51		
4	7,34	-0,61	2,25	1,80	-3,41	-0,11	0,60	0,78	0,50	0,250	0,54		
5	-2,27	-4,61	5,92	4,17	6,14	-0,11	0,86	0,92	0,83	0,072	0,38		
6	-0,38	-10,65	2,62	14,28	-4,41	0,05	0,80	0,98	0,75	0,144	0,56		

(1) Fronteira Oeste; (2) Campanha; (3) Depressão Central; (4) Planície Interna à Lagoa dos Patos; (5) Planície Externa à Lagoa dos Patos; (6) Zona Sul. C - constante de ajuste dos modelos; NDVI - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; Tminabs - temperatura mínima absoluta do ar; R² - coeficiente de determinação do período de ajuste dos modelos; * R²_{MAX} e R²_{MIN} - coeficientes de determinação máximos e mínimos, respectivamente, do teste de estabilidade dos modelos. EP - Erro Padrão (t ha⁻¹) em porcentagem relativa ao rendimento oficial de grãos de arroz irrigado.

Os gráficos de dispersão, entre os dados oficiais e estimados para as diferentes regiões orizícolas, nos períodos de ajuste dos mesmos são apresentados na Figura 2. As regiões que apresentaram melhor distribuição dos pontos, com relação à reta 1:1, foram Depressão Central e Planície Externa, sendo os coeficientes de correlação de 0,90 e 0,92, respectivamente. As significâncias dos coeficientes de correlação entre os rendimentos de grãos oficial e estimado foram de 5% (*t-Student*) em todas as regiões.

CONCLUSÃO

Os modelos agrometeorológicos-espectrais para estimativa de rendimento de grãos de arroz irrigado no Rio Grande do Sul, ajustados através da abordagem orientada pelas relações clima-planta, são adequados às estimativas em nível regional. Os modelos têm capacidade





para estimar o rendimento de grãos com cerca de um mês de antecedência da colheita. Estas características permitem concluir que os modelos ajustados podem introduzir objetividade ao sistema atual de previsão de safras.

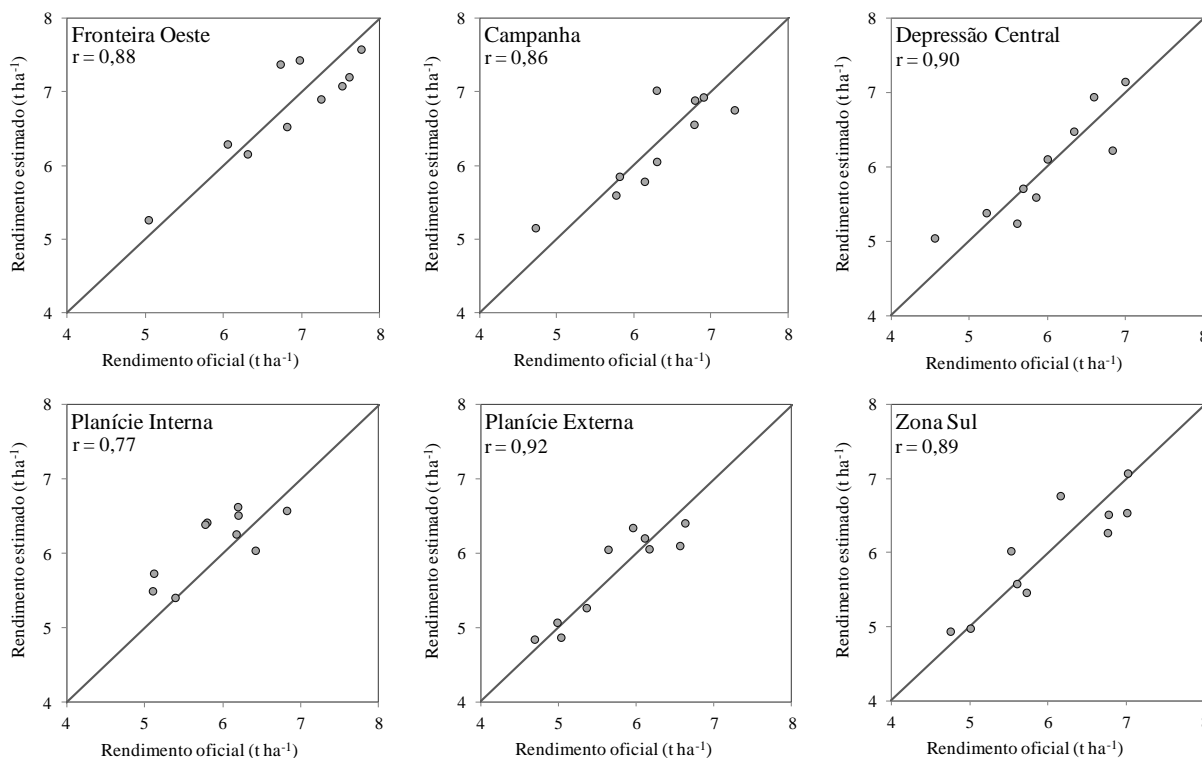


Figura 2. Dispersão entre os valores estimados e os observados (oficiais) do rendimento de grãos de arroz irrigado, ajustados através de modelos agrometeorológicos-espectrais, para as regiões Fronteira Oeste, Campanha, Depressão Central, Planície Interna à Lagoa dos Patos, Planície Externa à Lagoa dos Patos e Zona Sul. Período: safras de 2000/01 até 2009/10.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, G. K. et al. Mapping of summer crops in the State of Paraná, Brazil, through the 10-day spot vegetation NDVI composites. **Engenharia Agrícola**, v. 31, p. 760-770, 2011.
- CHANG K. W.; SHEN, Y.; LO, J. C. Predicting Rice Yield Using Canopy Reflectance Measured at Booting Stage. **Agronomy Journal**, v.97, n.3, p. 872-878, 2005.
- KLERING, E. V. et al. Modelagem agrometeorológica do rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.5, p.549-558, 2008.
- KLERING, E. V. **Mapeamento da área cultivada e estimativa de rendimento de grãos de arroz irrigado a partir de modelos agrometeorológicos-espectrais para o Rio Grande do Sul**. 2012. 164f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- KLERING, E. V.; FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A. Relação entre a radiação solar global e o NDVI/MODIS na região orizícola do Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de





XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – XVIII CBA
2013 e VII Reunião Latino Americana de Agrometeorologia
Belém - PA, Brasil, 02 a 06 de Setembro 2013
**Cenários de Mudanças Climáticas e a Sustentabilidade
Socioambiental e do Agronegócio na Amazônia**



Meteorologia, 15., 2010. Belém do Pará. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2010.

MOTTA, J. L. G.; FONTANA, D. C.; WEBER, E. Evolução temporal do NDVI/NOAA em áreas cobertas por pixels com proporções variáveis de soja. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.11, p.356-360, 2003.

SAKAMOTO, T. et al. A crop phenology detection method using time-series MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 96, n.1, p. 366–374, 2005.

