

SIMULAÇÃO DO RENDIMENTO DE MILHO PELO MODELO GLAM: III. VALIDAÇÃO DO MODELO

HOMERO BERGAMASCHI¹, SIMONE S. DA COSTA², TIM R. WHEELER³,
ANDREW J. CHALLINOR³

¹ Eng. Agrônomo, Prof. Dr. Univ. Federal Rio Grande do Sul, bolsista CNPq C.P. 15100, CEP 91501.970, Porto Alegre, RS. Email: homerobe@ufrgs.br, ² Meteorologista, Dr., CPTEC/INPE, Cachoeira Paulista, SP, Email: simone@cptec.inpe.br.

³ Dr., The University of Reading, PO Box 217, Reading RG6 6AH, UK. Email: t.r.wheeler@reading.ac.uk, a.j.challinor@reading.ac.uk,

RESUMO - O milho é uma das principais culturas no sudeste da América do Sul. O Estado do Rio Grande do Sul é um dos mais importantes produtores de milho e se localiza no meio dessa grande região. Porém, alta variação nos rendimentos de grãos é típica na região, principalmente devido à irregularidade das chuvas no verão. Este trabalho visou testar a precisão do modelo Glam em estimar rendimentos de milho no Rio Grande do Sul. Uma série meteorológica de 16 anos, de 11 locais da principal região produtora de milho, foi usada para rodar o modelo, previamente ajustado para cultivos de milho na região. Rendimentos anuais de 11 municípios e micro-regiões, contendo as 11 estações meteorológicas, foram utilizados nos testes do modelo. Dados meteorológicos médios dos 11 locais serviram para estimar o rendimento da principal região produtora e de todo o Estado. O modelo detecta a variação do rendimento anual de milho em pequena ou grande escala espacial. Em geral, as correlações estiveram abaixo de 0,8 em pequena escala (municípios e micro-regiões), mas foram superiores a 0,8 em grande escala (principal região produtora e todo Estado). Regressões lineares entre valores estimados e observados revelaram alta variação no parâmetro angular em pequena escala. Porém, coeficientes de regressão próximos à unidade confirmaram a alta precisão do modelo Glam em estimar rendimentos de milho em grande escala espacial.

PALAVRAS-CHAVE – *Zea mays*, modelagem, rendimento grãos, parâmetros de cultura.

ABSTRACT – The maize is one of the most important crops in south-eastern South America. Rio Grande do Sul, the southernmost Brazilian State, is an important maize producer, located in the middle of that big region. However, high variability of grains yields is typical in the region, due to mainly the irregular pluvial regime during summer seasons. This work aimed to test the precision of the Glam model for estimating maize yields in subtropical conditions of Rio Grande do Sul State. A 16-year series of weather data from 11 sites of the main producer region of maize was used to run the model, previously adjusted to regional maize crops. Annual observed yields from 11 municipalities and micro-regions, corresponding to each weather station, provided comparisons to estimated values. Average weather data from the 11 sites were used to estimate the maize yield of the main producer region and the whole State. The model captures annual variations of yields either in small or large spatial scales. Generally, correlation coefficients were lower than 0.8 on small scale (e.g. municipalities and micro-regions), but surpassed 0.8 on large scale (e.g. main producer region and whole State). Linear regressions between estimated and observed data revealed high variability of angular parameters on small scale. However, regression coefficients close to the unity confirmed the high precision of the Glam model for estimating maize yields on large spatial scale.

KEY WORDS: *Zea mays* (L.), modeling, grain yield, crop parameters.

INTRODUÇÃO – O déficit hídrico tem sido considerado a principal causa da grande variabilidade na produção de milho no Sul do Brasil (Matzenauer et al., 1994; Bergamaschi et al., 2004; Berlato et al., 2005; Bergamaschi et al., 2006). O milho tem alta sensibilidade ao déficit hídrico do florescimento ao início de enchimento de grãos, quando é máxima sua evapotranspiração (Bergonci et al., 2001; Bergamaschi et al., 2001; Radin et al., 2003).

A modelagem vem sendo utilizada na simulação do crescimento e rendimento de culturas, para quantificar o impacto de condições adversas de clima, visando auxiliar o monitoramento e a estimativa de safras em grandes áreas. No Rio Grande do Sul, o modelo de Jensen (1968) foi testado com sucesso para soja (Berlato, 1987; Fontana et al., 2001) e milho (Matzenauer et al., 1994). Sendo empírico, sua aplicação tende a ser restrita à região na qual suas relações planta-ambiente foram estabelecidas. Modelos mecanísticos visam quantificar processos em bases físicas e fisiológicas, o que lhes permite operar em diferentes ambientes. O modelo GLAM (“general large-area model” – Challinor et al., 2004) tem por objetivo simular impactos climáticos sobre culturas anuais. Ele foi inicialmente ajustado para amendoim na Índia. Porém, seus autores consideram que ele pode facilmente ser ajustado a qualquer cultura anual, para quantificar impactos da variabilidade (ou mudança) climática, em grande escala espacial.

Este estudo teve por objetivo testar a precisão do modelo Glam em estimar o rendimento de milho em diferentes escalas espaciais, no Rio Grande do Sul, pela validação de estimativas preliminares contra dados anuais de rendimento fornecidos por agências oficiais.

MATERIAL E MÉTODOS - Foram utilizadas séries meteorológicas de 16 anos (1989/90 a 2004/05) de 11 municípios pertencentes à principal região produtora de milho, na parte norte-noroeste do Rio Grande do Sul. Dados diários foram coletados em estações pertencentes às redes oficiais: FEPAGRO - Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (Cruz Alta, Erechim, Ijuí, Julio de Castilhos, Santa Rosa, São Borja, Taquari e Veranópolis) e INMET - Instituto Nacional de Meteorologia (Iraí, Passo Fundo e São Luiz Gonzaga) (Bergamaschi et al., 2007). Dados oficiais de rendimento de milho da mesma série de anos foram coletados nos 11 respectivos municípios e micro-regiões, sendo estas formadas pelos municípios vizinhos a cada estação meteorológica (IBGE, 2006). Rendimentos médios anuais foram calculados para a principal região produtora de milho e para o Estado todo (IBGE, 2006; CONAB, 2006).

O modelo estimou os rendimentos anuais dos 11 municípios e micro-regiões, a partir dos respectivos dados meteorológicos diários. Para estimar rendimentos em grande escala (região produtora e Estado), utilizaram-se médias diárias das 11 estações, para cada elemento meteorológico. Estabeleceu-se em calendário fenológico médio para milho em cada micro-região, assim como a média para toda principal região produtora do Estado.

A validação do modelo se baseou em análises de regressão entre rendimentos estimados pelo modelo Glam e observados pelas agências oficiais, em nível de grande escala espacial (principal região produtora e Estado) e em pequena escala espacial. Dados dos municípios e micro-regiões de Santa Rosa e Passo Fundo serviram como estudo de casos para testar o modelo em pequena escala. Eliminou-se a tendência tecnológica de rendimentos ao longo da série temporal, quando significativa, subtraindo-se das estimativas anuais a diferença

entre a média de cada valores estimado e o respectivo rendimento estimado pela função da tendência. A significância de cada regressão foi testada pelo teste F.

RESULTADOS E DISCUSSÃO – A análise de regressão para rendimentos estimados e observados sugere alta precisão do modelo Glam em grande escala espacial (Figura 1), confirmando hipóteses de seus autores (Challinor et al., 2004). Houve menor precisão nas estimativas em escala de município e micro-região (Figura 2). Por outro lado, houve menor dispersão nas estimativas de Passo Fundo que em Santa Rosa, o que pode ser atribuído a uma maior uniformidade de solos, topografia e nível tecnológico no primeiro caso. Presume-se que o modelo tenha maior precisão se houver menor variabilidade espacial nos parâmetros de entrada (clima e solo) e nos dados observados. Redução da variabilidade espacial também explica a maior precisão do modelo em estimativas de grande escala espacial, como na principal região produtora e no Estado. Grande variabilidade nas chuvas de primavera-verão é típica na região. Porém, maiores correlações entre rendimentos de milho e precipitação em grande escala espacial (Bergamaschi et al., 2007) indicam menor dispersão de pontos, com melhoria no desempenho do Glam. Oscilações no calendário fenológico, entre safras e locais, também podem ser atenuadas em maior escala espacial, reduzindo a dispersão nas estimativas de rendimento. Pela alta variabilidade das chuvas de verão e a grande sensibilidade do milho num curto período crítico, é razoável esperar elevada oscilação nas relações clima-cultura, mesmo em eventos de curta duração. Curtos períodos secos ou chuvas isoladas no período crítico podem causar grandes variações no rendimento de milho (Bergamaschi et al., 2004; Bergamaschi et al., 2006). Assim, o uso de dados meteorológicos diários e um calendário fenológico ajustado aos sistemas regionais parecem indispensáveis para estimar com precisão o impacto de estresses curtos durante o florescimento do milho, quando a necessidade de água da cultura e a demanda evaporativa atmosférica são elevadas (Bergamaschi et al., 2001; Radin et al., 2003).

A armazenagem de água no solo também pode ter grande variabilidade espacial, também contribuindo para reduzir a precisão do modelo em pequena escala espacial. Assim, a variações de solo e topografia podem ter grande influência nas condições hídricas, além da variabilidade climática. A micro-região de Santa Rosa se localiza no Alto Vale do Uruguai, onde predominam pequenas propriedades, com padrão irregular de solos, topografia e nível tecnológico. Passo Fundo se localiza no Planalto Médio, em geral com propriedades maiores e condições mais uniformes de solo, topografia e nível tecnológico. A utilização de parâmetros médios de armazenagem de água nos solos também pode ter afetado a precisão do modelo. Na região, predominam solos argilosos ou franco-argilosos, e a utilização do limite máximo de água disponível de $-0,033\text{MPa}$ pode ter subestimado a água disponível no solo, levando a imprecisões na simulação da dinâmica da água nas lavouras.

A validação das estimativas do modelo em nível de Estado (Figura 1) demonstrou melhor concordância com dados observados pela CONAB que pelo IBGE. Houve um pequeno aumento de correlação (0,83 e 0,86 respectivamente) e maior aproximação das estimativas à reta 1:1 para rendimentos observados pela CONAB. Embora pequenas estas diferenças demonstram que os dados das agências oficiais também podem conter imprecisão, diante da realidade de campo. Os rendimentos observados são obtidos dividindo-se a produção global dos municípios pela respectiva área colhida. No caso do milho, grande parte da produção é consumida nas próprias fazendas, para alimentar animais. Isto ocorre com maior frequência nas pequenas propriedades das regiões coloniais, onde os padrões de tecnologia e ambiente (solos e clima) também são mais variáveis devido à topografia irregular.

O emprego de modelos para estimar rendimentos de milho no Sul do Brasil tem sido considerado um verdadeiro desafio, mesmo em grande escala espacial. As irregulares já descritas e o amplo e diversificado calendário fenológico são fontes de imprecisão. Entretanto, embora com resultados preliminares, este trabalho demonstra que o modelo Glam foi preciso em simular a variabilidade dos rendimentos anuais da cultura. Isto demonstra seu adequado ajuste aos sistemas regionais de cultivo (Costa et al., 2007), o qual pode melhorar. Para isto, a base experimental que deu suporte ao ajuste do modelo mostrou ser adequada e indispensável. Por outro lado, a maior precisão do modelo Glam em grande escala pode ser explicada sua própria concepção, conforme apregoaram seu autores.

CONCLUSÕES - Os rendimentos estimados tiveram alta concordância com rendimentos observados para a principal região produtora de milho e para o Estado do Rio Grande do Sul, demonstrando que o modelo Glam tem elevada precisão para simular rendimentos de milho em grande escala espacial. Menor precisão foi obtida em nível de município e micro-região. Estudos futuros podem melhorar o desempenho do modelo, em particular por novos ajustes em parâmetros de simulação das condições de estresses durante o florescimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERGAMASCHI, H. et al. Estimating maize water requirements using agrometeorological data. *Rev. Argentina de Agrometeorologia*, v.1, p.23-27, 2001.
- BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. *Brasília: Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 39, n. 9, p.831-839. 2004.
- BERGAMASCHI, H. et al. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. *Brasília, Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 41, n.2, p.243-249. 2006.
- BERGAMASCHI, H. et al. Simulação do rendimento de milho pelo modelo Glam: I. Relações entre rendimentos e chuva em diferentes escalas espaço-temporais no sul do Brasil. *Aracaju, Congr. Brasil. Agrometeor.*, 15 ... Anais (neste volume). 2007.
- BERGONCI, J. I. et al. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, p.949-956, 2001.
- BERLATO, M.A. 1987. Modelo de relação entre o rendimento de grãos de soje e o déficit hídrico para o Estado do Rio Grande do Sul (Tese de doutorado). S. J. Campos. INPE. 1987. 93p.
- BERLATO, M.A. et al. 2005. Associação entre El Niño Oscilação Sul e produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, n. 5, p.423-432, 2005.
- CHALLINOR, A.J. et al. Design and optimisation of a large-scale process-based model for annual crops. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 124, p.99-192. 2004.
- COSTA, S. S. da et al. Simulação do rendimento de milho pelo modelo Glam: II. Ajuste do modelo. *Aracaju, Congr. Brasil. Agrometeor.*, 15 ... Anais (neste volume). 2007.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. 2006. Available in <http://www.conab.gov.br>.
- FONTANA, D.C. et al. Simulation model for soybean yield in the State of Rio Grande do Sul, Brazil. *Brasília, Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, n. 3, p. 399-403. 2001.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2006. Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br>.
- MATZENAUER, R. Modelos agrometeorológicos para estimativa do rendimento de milho, em função da disponibilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Sul. 1994. 172p. UFRGS, Porto Alegre.
- RADIN, B. et al. Evapotranspiração da cultura do milho em função da demanda evaporativa atmosférica e do crescimento das plantas. *Porto Alegre. Pesq. Agrop. Gaúcha*, v. 9, n. 1-2, p. 7-16, 2003.

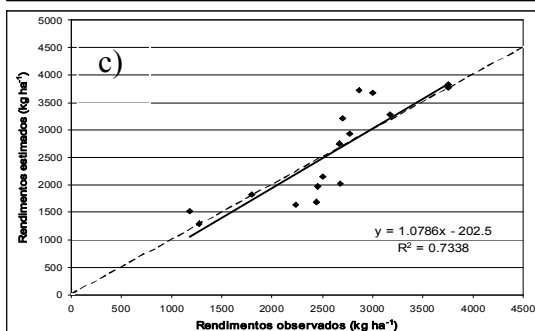
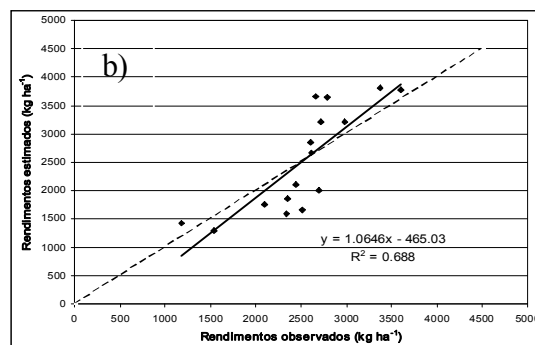
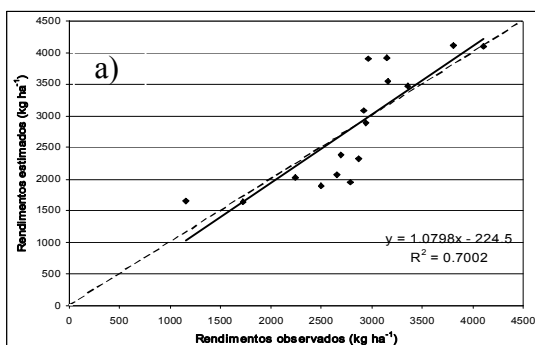


Figura 1. Análises de regressão linear entre rendimentos estimados pelo modelo Glam e rendimentos observados pelo IBGE, na principal região produtora (a) e em todo o Estado (b) e pela CONAB em todo o Estado (c), para milho nas safras de 1990 a 2005.

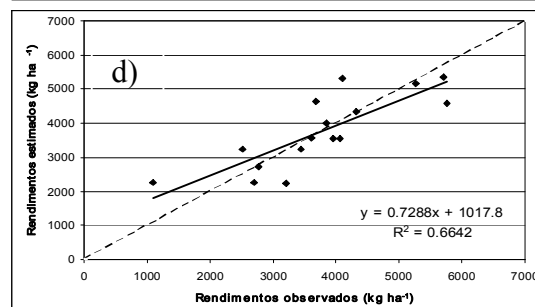
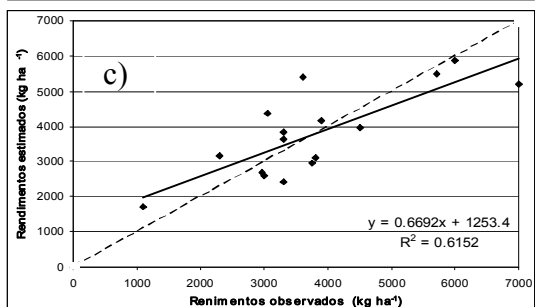
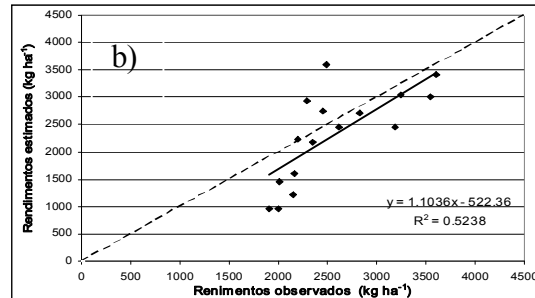
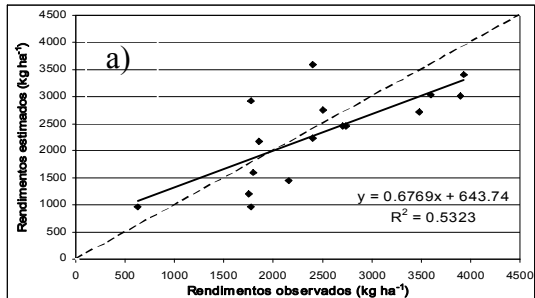


Figura 2. Análises de regressão linear entre rendimentos estimados pelo modelo Glam e rendimentos observados pelo IBGE, para o município de Santa Rosa (a), micro-região de Santa Rosa (b), município de Passo Fundo (c) e micro-região de Passo Fundo (d), para milho nas safras de 1990 a 2005.