



## Modelos Agrometeorológicos na Estimativa da Produtividade da Cultura do Trigo em Diferentes Sistemas de Cultivo na Região de Ponta Grossa – PR

**Emerson Gerstemberger<sup>1</sup>; Jorge Luiz Moretti de Souza<sup>2</sup>; Marla Alessandra Araujo<sup>3</sup>; Marli de Jesus dos Santos<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Mestrando do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo - Bolsista CNPq - DSEA/SCA/UFPR. Curitiba-PR, Brasil, [gest@ufpr.br](mailto:gest@ufpr.br); <sup>2</sup> Engenheiro Agrícola, Doutor em Agronomia, Professor do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola (DSEA), Setor de Ciências Agrárias (SCA), Universidade Federal do Paraná (UFPR). Rua dos Funcionários, 1540. Cep 80035-050, Curitiba, PR, Brasil, [jmoretti@ufpr.br](mailto:jmoretti@ufpr.br); <sup>3</sup> Engenheira Agrônoma, Mestre em Ciências do Solo (DSEA/SCA/UFPR). Curitiba-PR, Brasil, [marla.agro@bol.com.br](mailto:marla.agro@bol.com.br); <sup>4</sup> Engenheira Agrônoma pela UFPR. Curitiba-PR, Brasil, [boavinha@hotmail.com](mailto:boavinha@hotmail.com).

**RESUMO:** O presente estudo teve por objetivo avaliar o desempenho de modelos simplificados e agrometeorológicos na estimativa da produtividade da cultura do trigo, em quatro sistemas de manejo do solo, na região de Ponta Grossa, Estado do Paraná, visando previsão e planejamento de safras. A região estudada possui um Latossolo Vermelho distrófico típico e clima Cfb. Os dados de produtividade da cultura do trigo (cinco safras) e climáticos foram disponibilizados pela Fundação ABC e SIMEPAR, respectivamente. A evapotranspiração de referência foi estimada com o método de Penman-Monteith e os balanços hídricos diário foram determinados com um programa desenvolvido especialmente para esta finalidade. Dentre as inúmeras análises realizadas, os melhores resultados foram obtidos considerando o ajuste dos coeficientes e fatores dos modelos em análises de regressão múltipla. O modelo de Jensen possibilitou as melhores estimativas de produtividade ( $R^2 > 0,7$ ).

**Palavras-chave:** planejamento de safras; *Triticum aestivum*; balanço hídrico.

### INTRODUÇÃO

O trigo é um dos cereais mais importantes produzidos, correspondendo a 30% da produção mundial de grãos, aproximadamente. O Brasil participa com apenas 0,6% da produção mundial, sendo um dos países que mais importam o cereal. Cerca de 90% da produção nacional de trigo está concentrado na região sul do país e o Paraná contribuiu nos últimos anos com mais de 50% da safra nacional. A região de Ponta Grossa contribuiu com aproximadamente 13,9% da produção Estadual na safra de 2006/07, tendo produtividade média de 3.200 kg ha<sup>-1</sup> (Seab, 2009).

O desenvolvimento do trigo é complexo e, além de sua constituição genética, a planta é muito afetada por fatores externos a sua fisiologia. O déficit hídrico proporciona decréscimo da produção

da área foliar, fechamento dos estômatos, aceleração da senescência, abscisão das folhas, abortamento e chochamento de frutos (Taiz & Zeiger, 2004). Por outro lado, elevadas precipitações pluviométricas podem provocar perdas na cultura, favorecendo a incidência de doenças e problemas radiculares. Conforme o clima e duração do ciclo, a cultura do trigo necessita em entre 450 mm a 600 mm de água (Doorenbos & Kassam, 1979).

Modelos matemáticos com diferentes graus de complexidade vêm sendo amplamente utilizados em vários países para definição de melhores práticas de irrigação e drenagem, determinação de riscos de déficit hídrico, respostas de culturas à suplementação hídrica e nutricional, definição de sistemas de rotação de culturas em áreas irrigadas e quantificação de impactos ambientais (Souza & Gomes, 2008).

O presente estudo teve por objetivo avaliar as relações hídricas e o desempenho de modelos simplificados e agrometeorológicos na estimativa da produtividade da cultura do trigo, sob diferentes sistemas de cultivo, na região de Ponta Grossa, Estado do Paraná, visando previsão e planejamento de safras.

### MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de produtividade da cultura do trigo foram registrados em um experimento de longa duração, em quatro sistemas de manejo do solo (PD – plantio direto; PC – plantio convencional; PM – preparo mínimo; PDE – plantio direto com uma escarificação a 30 cm de profundidade a cada três anos), conduzido na Estação Experimental da Fundação ABC, situada no município de Ponta Grossa - Paraná, Brasil, entre os anos de 1989 a 2007, em que foram totalizados 5 ciclos produtivos de trigo, devido ao esquema de rotação de culturas. O local possui um relevo suave ondulado e Latossolo Vermelho distrófico típico, textura argilosa.

## XVIII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA Novos Caminhos para Agricultura Conservacionista no Brasil

A fim de comparar as médias das produtividades entre os sistemas de manejo estudados, realizou-se a análise estatística considerando o delineamento em blocos ao acaso, contendo quatro tratamentos (PD, PC, PM, PDE) dispostos em cinco blocos.

Os valores diários das componentes do balanço hídrico foram determinados com o auxílio do programa “*MORETTI – Módulo: Balanço hídrico seqüencial* (Periodicidade: 1, 5, 7, 10 15 e 30 dias), versão 1.0” (Souza, 2008). As análises foram realizadas para uma periodicidade diária e, conforme recomendação de Souza & Gomes (2008).

Os dados diários de *P* e demais dados climáticos necessários para a estimativa da *ET<sub>o</sub>*, variáveis de entrada no programa balanço hídrico, foram disponibilizados pelo Instituto Meteorológico do Paraná (SIMEPAR). A *ET<sub>o</sub>* diária da região de Ponta Grossa-PR para o período estudado foi estimada a partir do método de Penman-Monteith, a partir da parametrização recomendada pela FAO (Allen et al., 1998).

Os cultivares utilizados no presente estudo apresentaram um ciclo médio de 140 dias. Os valores de *kc*, a duração dos subperíodos e a profundidade efetiva do sistema radicular utilizados foram os apresentados por Doorenbos & Kassam, (1979), cujos os estádios de desenvolvimento do trigo foram estabelecidos considerando a escala de Feeks ilustrada por Large (1954).

A estimativa da produtividade da cultura do trigo foi realizada com quatro modelos simplificados e seis modelos específicos (agrometeorológicos), para a região de Ponta Grossa. As análises de regressão e correlação visando verificar o ajustamento da produtividade real com dados climáticos (*ET<sub>o</sub>*, *ET<sub>c</sub>*, *ER*, *ER/ET<sub>c</sub>* e *P*) foram realizadas com as equações linear, potencial, exponencial e logarítmica, com o auxílio de uma planilha eletrônica. Mediante as recomendações e sugestões apontadas por Moraes et al. (1998) e Frizzone et al. (2005), foram selecionados os seguintes modelos agrometeorológicos para a análise de regressão e correlação realizada entre os valores, medidos e estimados, de produtividade: Howell & Hiler, Jensen, Minhas, Parikh & Srinivasan, Doorenbos & Kassam, Stewart, Hagan & Pruitt proposto por Doorenbos & Kassam, Rao, Sarma & Chander.

As análises de estimativa de produtividade com os modelos agrometeorológicos foram realizadas empregando: (a) coeficientes ou fatores disponibilizados na literatura (Tabela 2); e, (b)

coeficientes ou fatores obtidos a partir de análises de regressão simples e múltipla com os dados (produtividade e climáticos) da região de Ponta Grossa-PR.

A precisão da estimativa de cada modelo agrometeorológico foi determinada a partir de análise de regressão linear e correlação, realizada entre os valores anuais de produtividade real e estimada com os referidos modelos na região de Ponta Grossa. Para avaliar o grau de exatidão entre valores de produtividade reais e estimados da cultura do trigo, foi utilizado o índice “*d*” de concordância de Willmott et al. (1985).

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância não revelou a existência de diferenças significativas ao nível de 5% probabilidade de erro entre os quatro sistemas de manejos (PD, PC, PM e PDE) estudados. Os resultados concordam com os obtidos por Pauletti et al. (2003) e Araújo (2008), na mesma área experimental, quando trabalharam com as culturas do milho e soja, respectivamente, e verificaram que o rendimento de grãos não foi afetado pelo sistema de manejo do solo e de culturas ao longo dos anos. A Tabela 1 apresenta, para as cinco safras analisadas da cultura do trigo na região de Ponta Grossa-PR, um resumo dos valores médios (mm ciclo<sup>-1</sup>) dos componentes do balanço hídrico (*ET<sub>o</sub>*, *ET<sub>c</sub>*, *P*, *ER*, *Def* e *Exc*).

Os valores de *ET<sub>c</sub>* (mm ciclo<sup>-1</sup>) estimados para a cultura do trigo com o programa balanço hídrico, nas safras analisadas, ficaram abaixo dos limites apresentados por Doorenbos & Kassam (1979), variando entre 450 a 600 mm ciclo<sup>-1</sup>.

Os valores de *P* nas safras foram sempre superiores aos valores de *ET<sub>c</sub>*. Este fato permitiu a ocorrência de excedente hídrico (*Exc*), contudo, não impediram a ocorrência de deficiência hídrica (*Def*) ao longo do ciclo da cultura em todas as safras.

Os modelos agrometeorológicos empregando coeficientes obtidos na literatura não retornaram satisfatoriamente valores de produtividade equivalentes aos valores reais de produtividade registrados para as 5 safras, sendo o melhor valor de  $R^2 = 0,6582$  e índice “*d*” = 0,6205 (Tabela 2).

Diante de resultados insatisfatórios, outro procedimento recomendado na literatura consiste na realização do ajuste estatístico dos coeficientes ou fatores dos modelos agrometeorológicos. Berlatto

## XVIII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA Novos Caminhos para Agricultura Conservacionista no Brasil

(1987) relata que diferenças entre as cultivares, manejo, tipo de solo, fertilidade, clima, entre outros, variam de região para região, e até dentro da mesma região, salientando a importância da calibração de coeficientes ou fatores para cada localidade, o que possibilita a obtenção de estimativas mais precisas.

Com a realização do ajuste estatístico dos coeficientes ou fatores dos modelos agrometeorológicos, os resultados de  $R^2$  e índice “ $d$ ” melhoram. No entanto, somente o ajuste dos valores de  $k_y$ ,  $k_{y_i}$  e  $\lambda$  não foram suficientes para gerar bons resultados com todas as equações que permitem este procedimento dentre as seis testadas (Tabela 2), considerando que valores confiáveis de  $R^2$  devem ser iguais ou superiores a 0,7. Assim, os melhores resultados encontrados foram para o modelo de Jensen (1968), em que um resumo do desempenho pode ser verificado na Tabela 3. Mesmo assim, é interessante observar que não foi possível obter bons ajustes entre as produtividades reais e estimadas com o modelo Jensen (1968) para o sistema plantio direto.

O modelo de Jensen (1968) apresentou bom desempenho devido a sua simplicidade, pois o modelo considera somente o consumo relativo de água como variável independente, e sabe-se que a produtividade é resultado da interação entre fatores intrínsecos e extrínsecos à planta. De qualquer forma, os resultados indicam que seria interessante que a Fundação ABC continuasse conduzindo o experimento por mais anos, a fim de obter informações e dados para mais safras. Este procedimento possibilitaria análises mais consistentes e melhores interpretações para os coeficientes/fatores ajustados.

### CONCLUSÕES

Os sistemas de manejo analisados não proporcionaram diferenças significativa nas produtividades reais registradas nas cinco safras de trigo analisadas.

Os modelos simplificados (linear, potencial, exponencial, logaritmo) e modelos agrometeorológicos empregando coeficientes ou fatores obtidos na bibliografia não possibilitaram a obtenção de estimativas de produtividade estatisticamente satisfatórias.

O modelo de Jensen utilizando coeficientes e fatores obtidos por regressão múltipla proporcionaram relações lineares mais estreitas

entre as produtividades reais e estimadas, com  $R^2$  superiores a 0,7.

### REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998. 300p. (FAO Irrigation and Drainage, paper 56)
- ARAUJO, M. A. Modelos agrometeorológicos na estimativa da produtividade da cultura da soja na região de Ponta Grossa – Paraná. 2008. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- BERLATO, M. A. Modelo de relação entre o rendimento de grãos da soja e o déficit hídrico para o estado do Rio Grande do Sul. 1987. 93f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1979. 193p. (FAO Irrigation and Drainage, paper 33)
- FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SOUZA, J. L. M.; ZOCOLER, J. L. Planejamento de irrigação: análise e decisão de investimento. Brasília: Embrapa, 2005. 627p.
- JENSEN, M. E. Water consumption by agricultural plants. In: KOZLOWSKI, T.T., (Ed.) Water deficits and plant growth, v.2, p. 1-22, 1968.
- LARGE, E. C. Growth stages in cereals. Illustration of the Feekes Scale. Plant Pathology, v. 3, p. 128-129, 1954.
- MORAES, A. V. C.; CAMARGO, M. B. P.; MASCARENHAS, H. A. A.; MIRANDA, M. A. C.; PEREIRA, J. C. V. N. A. Teste e análise de modelos agrometeorológicos de estimativa de produtividade para a cultura da soja na região de Ribeirão Preto. Bragantia, v. 57, n. 2, p. 393-406, 1998.
- PAULETTI, V.; LIMA, M. R.; BARCIK, C.; BITTENCOURT, A. Rendimento de grãos de milho e soja em uma sucessão cultural de oito anos sob diferentes sistemas de manejo de solo e de culturas. Ciência Rural, v. 33, n. 3, p. 491-495, 2003.
- SEAB – SECRETARIA DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO DO PARANÁ. Estimativa de safra. Disponível em: <<http://www.seab.pr.gov.br/arquivos/File/deral/pss.xls>> Acessado em: 22/04/2009

**XVIII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA**  
**Novos Caminhos para Agricultura Conservacionista no Brasil**

SOUZA, J. L. M. Programa *MORETTI* - Módulo balanço hídrico seqüencial: periodicidade: 1, 5, 7, 10, 15 e 30 dias, Versão 1.0, 2008. DSEA/SCA/UFPR: Curitiba (programa computacional).

SOUZA, J. L. M.; GOMES, S. Limites na utilização de um modelo de balanço hídrico decendial em função da capacidade de água disponível no solo. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 30, n. 2, p. 153-163, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 3. ed. Trad. Eliane Romanto Santarém: Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

WILLMOT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, J. J.; FEDDEMA, K. M.; KLINK, D. R. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, v. 90, n. C5, p.8995-9005, 1985.

Tabela 1 – Produtividade média ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e valores médios ( $\text{mm ciclo}^{-1}$ ) dos componentes do balanço hídrico (*ET<sub>o</sub>*, *ET<sub>c</sub>*, *P*, *ER*, *Def* e *Exc*) para as cinco safras analisadas da cultura do trigo na região de Ponta Grossa-PR

Safras	<i>Yr</i> ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	<i>ET<sub>o</sub></i>	<i>ET<sub>c</sub></i>	<i>P</i> (mm ciclo <sup>-1</sup> )				<i>Def</i>	<i>Exc</i>
				-----					
1992	3070,8	327,0	301,3	529,8	292,7	8,6	210,1		
1995	1839,4	414,6	394,4	633,7	215,8	178,5	407,1		
1998	2441,8	273,7	253,1	979,2	249,1	4,0	709,8		
2001	4451,4	317,0	295,3	631,6	251,4	44,0	375,9		
2004	5281,5	280,9	265,9	431,4	166,0	99,9	247,6		
Média	3417,0	322,6	302,0	641,1	235,0	67,0	390,1		

*Yr* – produtividade média dos quatro sistemas de plantio; *Def* – Deficiência hídrica; *Exc* – Excedente hídrico

Tabela 2 – Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e índice “*d*” de Willmott et al. (1985), utilizados para avaliar a estimativa da produtividade da cultura do trigo, com seis modelos, na região de Ponta Grossa-PR.

Parâmetros estatísticos	Modelos agrometeorológicos*					
	Equação 1	Equação 2	Equação 3	Equação 4	Equação 5	Equação 6
Coeficientes da bibliografia e média das produtividades dos quatro sistemas de plantio						
$R^2$	0,1422	0,4156	0,6582	0,0937	0,2400	0,2574
Índice “ <i>d</i> ”	0,5791	0,6153	0,6205	0,5565	0,6342	0,6305
-----						
Coeficientes ajustados e média das produtividades dos quatro sistemas de plantio						
$R^2$	0,1422	0,7079	0,5366	0,0079	0,6450	0,0004
Índice “ <i>d</i> ”	0,5791	0,9138	0,8446	0,5210	0,8937	0,2311

\* Equação 1 - Howell & Hiler; Equação 2 – Jensen; Equação 3 - Minhas, Parikh & Srinivasan; Equação 4 - Doorenbos & Kassan; Equação 5 - Stewart, Hagan & Pruitt proposto por Doorenbos & Kassan; e, Equação 6 - Rao, Sarma & Chander

Tabela 3 – Coeficientes/fatores da equação de Jensen (1968) (modelo de melhor desempenho – Equação 2),  $R^2$  e índice “*d*” de Willmott et al. (1985), para estimar a produtividade da cultura de trigo, na região de Ponta Grossa-PR.

Sistema de cultivo	Equação	Fatores $\lambda$				$R^2$	Índice “ <i>d</i> ”
		----- estádio fenológico -----					
		I	II	III	IV		
Plantio Convencional*	Jensen	3,4860	-29,9638	3,9118	-0,8891	0,7457	0,9269
Plantio Direto*	—	—	—	—	—	—	—
Mínimo*	Jensen	3,1006	-29,6027	3,8892	-1,5042	0,7279	0,9206
Direto escarificado *	Jensen	3,2102	-33,1809	4,3428	-2,1078	0,7361	0,9230
Todos os sistemas *	Jensen	3,0565	-30,0300	3,9322	-1,5270	0,7079	0,9138

\* Coeficientes ou fatores ajustados com regressão múltipla