



## MODELOS AGROMETEOROLÓGICOS PARA PREVISÃO DE PRODUTIVIDADE DE AMENDOIM NA REGIÃO DE JABOTICABAL, SP

Victor B. Moreto<sup>1</sup>, Glauco de Souza Rolim<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Eng. Agrônomo, Aluno de Mestrado do Programa de Produção Vegetal, Depto. de Ciências Exatas, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal – SP, Fone (0 xx 16) 3209 2624, [victor.moteto@hotmail.com](mailto:victor.moteto@hotmail.com).

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Prof. Doutor, Depto de Ciências Exatas, FCAV/UNESP, Jaboticabal – SP.

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 trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de modelos agrometeorológicos para previsão de produtividade de amendoim na região de Jaboticabal, SP. Dados de 20 anos de produtividades foram utilizados no trabalho. Os dados meteorológicos de temperatura média do ar e total de precipitação foram organizados de maneira decendial e gerados componentes do balanço hídrico por THORNTHWAITE e MATHER (1955) como armazenamento (ARM), deficiência (DEF) e excedente (EXC) hídricos. Inicialmente foram realizadas análises de correlação para evidenciar quais decêndios e quais variáveis meteorológicas tiveram maior influência na produtividade do amendoim nos diferentes anos. Para construção dos modelos de regressão linear múltipla ( $Y = a \times X_1 + b \times X_2 + c \times X_3 + \dots + CL$ ) foi utilizado o processo *stepwise backwards* e os melhores modelos foram selecionados em relação à acurácia (MAPE), precisão ( $R^2$ ) e tendência (RMSEs). Foi possível identificar que as variáveis mais influentes na produtividade de amendoim foram: o ARM do solo nos decêndios 5, 32 e 35 no ano anterior ao da safra, EXC nos decêndios 3 e 13 no ano anterior ao da safra e decêndio 3 e 4 no ano da safra. Foi possível a previsão da produtividade por modelos agrometeorológicos com elevada acurácia.

**PALAVRAS CHAVE:** modelagem, prever, produção

### AGROMETEOROLOGICAL MODELS FOR PREDICTION OF YIELD IN GROUNDNUT CROP, JABOTICABAL, SP

**ABSTRACT:** This study aimed to develop agrometeorological models for predicting yield of groundnut in Jaboticabal, SP. Data from 20 years of yield were used in the paper. Meteorological data of mean air temperature and total precipitation were organized in period of ten days (PTD) and water balance components were generated by the method of THORNTHWAITE and MATHER (1955), as storage (STO), deficiency (DEF) and water excess (EXC). Initially, correlation analyzes were performed to show which PTD and which meteorological variables had the greatest influence on groundnut yield in different years. To create models of multiple linear regression ( $Y = a \times X_1 + b \times X_2 + c \times X_3 + \dots + CL$ ) was used the stepwise backwards process and the best models were selected in relation to accuracy (MAPE), precision ( $R^2$ ) and trend (RMSEs). It was possible to identify that the most influential variables in the yield of groundnut were: STO soil in PTD 5, 32 and 35 in the previous year of the harvest, EXC in PTD 3 and 13 in the previous year of the harvest and PTD 3 and 4 in the harvest year. It was possible to predict yield with agrometeorological models with high accuracy.





**KEYWORD:** modeling, predict, production

## INTRODUÇÃO

Das atividades econômicas, a agricultura é, sem dúvida, aquela com maior dependência das condições do tempo e do clima. As condições atmosféricas afetam todas as etapas das atividades agrícolas, desde o preparo do solo para a semeadura até a colheita, o transporte, o preparo e o armazenamento (PEREIRA *et al.*, 2002). Para previsão de produção das culturas agrícolas, no Brasil é usado um sistema de levantamento, baseado em opiniões de agentes técnicos e econômicos de cada setor (IBGE, 2004). Este levantamento é considerado um método subjetivo, pois não permite análise quantitativa dos erros envolvidos. Uma das alternativas para a resolução do problema da subjetividade do método utilizado é o uso de modelos de produtividade, os quais, em sua maioria, expressam a influência de elementos meteorológicos na produtividade das culturas agrícolas, denominados modelos agrometeorológicos (KLERING, 2007).

No estado de São Paulo, a recomendação da época de semeadura do amendoim leva em consideração as especificidades climáticas das diferentes regiões, indicando-se, generalizadamente, os meses de outubro ou novembro como os mais apropriados para a implantação respectiva do amendoim "das águas" e fevereiro, para o ciclo "da seca" na região (GODOY *et al.*, 1986). Dessa forma, o presente estudo buscou identificar quais elementos meteorológicos, na escala decenal e em quais períodos do ano estes influenciam a produtividade anual de amendoim na região de Jaboticabal e desenvolver modelos agrometeorológicos para previsão de produtividade em função dos componentes do balanço hídrico decenal como ARM, DEF e EXC.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dados meteorológicos diários, de 1990 a 2010, da Estação Agroclimatológica do Departamento de Ciências Exatas da FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal, latitude 21°14'05" S, longitude 48°17'09" W, altitude 615 m. Dados decenais de temperatura média do ar e total de precipitação foram usados para o cálculo de evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), segundo o método proposto por THORTHWAITE (1948). Foram geradas informações dos componentes do balanço hídrico (BH) proposto por THORTHWAITE e MATHER (1955), com capacidade de água disponível CAD igual a 100 mm. Os dados de produtividade (PROD) anual de amendoim foram obtidos no Instituto de Economia Agrícola (IEA), no mesmo período. Os dados de PROD foram ajustados conforme proposto por PRELA-PANTANO *et al.* (2011), de forma modificada, para retirada de tendência tecnológica. Este procedimento é necessário para minimizar os efeitos devido às mudanças do nível tecnológico empregado pelos produtores, evidenciando assim, a influência da variabilidade climática na PROD. Foi realizada uma análise de correlação (*r*, linear de Pearson) entre dados decenais da PROD com o ARM, DEF, EXC do ano da safra e do ano anterior. As variáveis com melhores correlações foram selecionadas para a construção dos modelos lineares múltiplos ( $Y = a \times X_1 + b \times X_2 + c \times X_3 + \dots + CL$ ). Na construção dos modelos, principalmente com muitas variáveis independentes, o maior problema é a



seleção e combinação das variáveis. A partir dos dados previamente selecionados pela análise de correlação, foi utilizado o processo ‘stepwise’ com aproximação ‘backwards’ seguindo critério de melhoria da precisão ( $R^2$  ajustado), totalizando 511 regressões analisadas pela análise combinatória. Foram selecionados somente modelos que apresentaram seus parâmetros a 0,05 de significância (valor P). Foram aplicadas análises de acurácia pelo Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE), precisão pelo coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ) e tendência pela raiz do erro sistemático médio (RMSEs) (equações 1, 2 e 3, respectivamente) para ranqueamento do modelos. Foi utilizado um período de 14 anos para calibração dos modelos (1990 a 2004) e 6 anos (2005 a 2010) para teste (validação)

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^N \left( \left| \frac{Y_{est_i} - Y_{obs_i}}{Y_{obs_i}} \right| * 100 \right)}{N} \quad (1), \quad R^2_{ajustado} = \left[ 1 - \frac{(1-R^2) \times (N-1)}{N-k-1} \right] \quad (2)$$

$$RMSEs = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_{obs_i} - Y_{est-C})^2}{N}} \quad (3)$$

sendo,  $Y_{est_i}$ : PROD estimada no ano  $i$ ;  $Y_{obs_i}$ : PROD observada (corrigida, sem tendência tecnológica) no ano  $i$ ;  $Y_{est-C}$ : a PROD estimada por regressão linear simples entre a PROD observada ( $Y_{obs_i}$ ) e estimada ( $Y_{est_i}$ )  $N$ : número de anos e  $k$ : número de variáveis independentes da regressão.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise para identificar as variáveis meteorológicas e quais períodos foram mais correlacionados com a PROD observou-se que as variáveis EXC e DEF apresentaram  $r$ , em sua maioria, maiores que 0,4 em relação à PROD (Tabela 1). O EXC do ano anterior dos decêndios 13, 3 e o EXC do mesmo ano do decêndio 3 apresentaram os maiores  $r$  com a PROD do ano da safra, sendo 0,561, 0,674 e 0,701, respectivamente. Além disso, a PROD do ano anterior foi altamente correlacionada com a PROD do ano atual, apresentando  $r=0,84$ . Entretanto, não é desejável a utilização desta variável nos modelos, pois em novas áreas de produção de amendoim este dado não é disponível.

Tabela 1. Coeficientes de correlação ( $r$ ) entre as variáveis meteorológicas e a produtividade.

	PROD	X <sub>9</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>
PROD	1									
X <sub>9</sub>	0,840	1								
X <sub>1</sub>	-0,477	-0,213	1							
X <sub>2</sub>	-0,448	-0,333	0,451	1						
X <sub>3</sub>	-0,438	-0,417	0,348	0,445	1					
X <sub>4</sub>	0,449	0,278	-0,355	-0,239	-0,362	1				



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



X <sub>5</sub>	0,452	0,414	0,185	0,012	0,000	0,209	1			
X <sub>6</sub>	0,561	0,361	-0,732	-0,480	-0,212	0,210	0,000	1		
X <sub>7</sub>	0,674	0,687	-0,359	-0,402	-0,034	0,255	0,000	0,613	1	
X <sub>8</sub>	0,701	0,618	-0,290	-0,233	0,000	0,337	0,000	0,406	0,469	1

**Legenda:** X<sub>1</sub>: armazenamento (ARM) do ano anterior do decêndio 35 (10-20 de dezembro); X<sub>2</sub>: ARM do ano anterior do decêndio 32 (10-20 de novembro); X<sub>3</sub>: excedente (EXC) do decêndio 4 (1-10 de fevereiro); X<sub>4</sub>: ARM do ano anterior do decêndio 5 (10 a 20 de fevereiro); X<sub>5</sub>: deficiência (DEF) do decêndio 35 (10-20 de dezembro); X<sub>6</sub>: EXC do ano anterior do decêndio 13 (1-10 de maio); X<sub>7</sub>: EXC do ano anterior do decêndio 3 (20-31 de janeiro); X<sub>8</sub>: EXC do decêndio 3 (20-31 de janeiro); X<sub>9</sub>: PROD do ano anterior; **PROD**: produtividade.

Com diferentes combinações entre as variáveis selecionadas pela análise de correlação, foram obtidas 511 equações possíveis, por meio de regressões lineares múltiplas. Dentre elas, 10 modelos foram selecionados (Tabelas 2 e 3) por apresentarem melhores índices estatísticos de acurácia (MAPE), precisão (R<sup>2</sup> ajustado) e tendência (RMSEs).

Tabela 2. Coeficientes dos modelos agrometeorológicos para previsão de produtividade do cultivo de amendoim na região de Jaboticabal.

Modelos	CL	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>
1	4010,508						24,341	-2,315	0,898	-0,092
2	4076,521	-5,199	-1,118	0,931	2,284		18,641	-2,997	1,511	-0,033
3	3920,526	-4,964	-1,123	0,949	2,500		19,125	-3,113	1,469	
4	3899,059	-3,995	-1,249	0,702	2,511		23,413	-2,745		
5	5434,651	-10,798	-1,193	0,904	0,039	1,667		-1,510	2,824	-0,231
6	4784,275	-12,168	-0,838	0,534	0,305	41,591	-0,826			
7	4480,624	-10,542	-1,074	1,007	1,185	12,395	-2,046	2,513		
8	4908,069	-8,672	0,802	0,132	-0,205	52,648	18,333		0,752	-0,134
9	3465,854		-0,761	0,640	2,990	42,965	30,123	-3,419		
10	4312,806	-6,772	-0,413	0,629		53,634	23,893	-2,671		

**Legenda:** mesma da Tabela. CL: coeficiente linear.

Tabela 3. Acurácia pelo erro absoluto percentual médio (MAPE), Precisão pelo coeficiente de determinação (R<sup>2</sup> ajustado) e tendência avaliado pela raiz do erro sistemático médio (RMSEs) para os modelos agrometeorológicos nas etapas de calibração (1990 a 2004) e teste com dados independentes (2005 a 2010).

Modelos	Calibração			Teste		
	MAPE (%)	R <sup>2</sup> ajustado	RMSEs (kg ha <sup>-1</sup> )	MAPE (%)	R <sup>2</sup> ajustado	RMSEs (kg ha <sup>-1</sup> )
1	3,07	0,56	103,74	0,99	0,60	159,44
2	2,80	0,70	72,13	5,18	0,61	110,86
3	2,79	0,70	72,24	5,22	0,58	111,03
4	2,94	0,66	80,43	5,73	0,59	123,62



5	2,84	0,58	98,60	6,10	0,61	151,55
6	3,25	0,47	126,28	6,42	0,68	194,09
7	3,09	0,56	104,40	7,12	0,56	160,46
8	2,65	0,63	87,72	8,10	0,65	134,82
9	2,56	0,71	68,30	8,21	0,32	104,98
10	2,39	0,02	59,30	8,23	0,46	91,14

A variável de maior influência em todos os modelos foi a  $X_6$  (EXC do ano anterior do decêndio 13), pois o parâmetro ajustado teve normalmente maior valor em relação aos demais (Tabela 2). A variável  $X_7$  (EXC do ano anterior do decêndio 3) foi utilizada também em todos os modelos selecionados. A relação dessa variável com a PROD do amendoim das águas foi inversa, demonstrando que na fase de florescimento e frutificação, normalmente com maior necessidade hídrica, excedentes hídricos são moderadamente prejudiciais. Segundo GILLIER e SILVESTRE (1996), o florescimento e a frutificação do amendoim estão na dependência dos elementos climáticos, e que uma variação no regime hídrico repercute direta, e muitas vezes intensamente, nas PRODs da cultura.

Dentre os modelos selecionados o modelo 1 e 2, apresentaram elevada acurácia, precisão e baixa tendência (Tabela 3), entretanto é necessário o valor de PROD do ano anterior ( $X_9$ ). Já o modelo 3 (Figura 1), com 5,22%; 0,56 e 111,03 kg ha<sup>-1</sup>, de MAPE, R<sup>2</sup> ajustado e RMSEs (Tabela 3), respectivamente, não utiliza a variável  $X_9$ , sendo possível realizar a previsão apenas com uso das variáveis meteorológicas. O modelo 3, demonstra a proximidade da previsão com a realidade de campo. O valor de acurácia de 5,22% representa que na previsão de PROD há um desvio de apenas 145,12 kg ha<sup>-1</sup>, considerando a PROD média da região de 2780 kg ha<sup>-1</sup>.

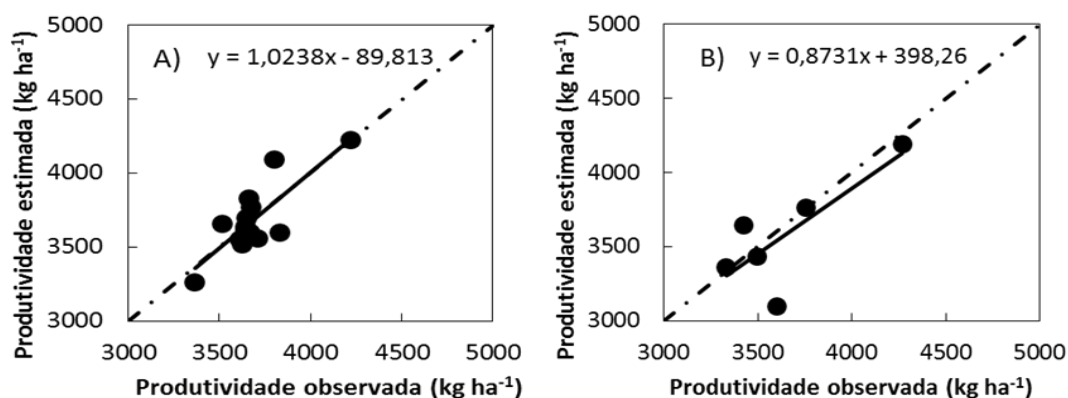


Figura 1. Calibração dos parâmetros do modelo '3' utilizando dados decendiais dos anos 1990 a 2004 (A) e teste do modelo para os anos 2005 a 2010 (B).



## CONCLUSÃO

Os resultados permitiram inferir que os elementos meteorológicos que influenciam mais fortemente na produtividade de amendoim na região de Jaboticabal foram: a) armazenamento hídrico do solo nos decêndios 5, 32 e 35 no ano anterior ao da safra; b) excedente hídrico nos decêndios 3 e 13 no ano anterior ao safra e decêndio 3 e 4 no ano da safra. Foi possível estabelecer modelos acurados para previsão de produtividade, tendo destaque para o modelo '3' ( $PROD = -4,964.X_1 - 1,123.X_2 + 0,949.X_3 + 2,5.X_4 + 19,125.X_6 - 3,113.X_7 + 1,469.X_8 + 3920,526$ ) com elevada acurácia.

## REFERÊNCIAS

- GILLIER, P.; SILVESTRE, P. Adubação Verde e Orgânica para cultivo de amendoim (*Arachis hypogaea* L) **Sci. Agric**, Piracicaba, v. 53 n.1, 1996.
- PEREIRA, A., R.; ANGELOCCI, L. R., SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.
- THORNTHWAITE, C. W. An approach towards a rational classification of climate. *Geographical Review*, London, v.38, p.55-94, 1948.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The Water Balance. Drexel Institute of Technology, **Laboratory of Climatology**, Centerton, New Jersey, v. 8, n. 1, p. 104, 1955.

