

Variáveis meteorológicas associadas ao rendimento de grãos no Estado do Paraná

Isabel Barbosa dos Anjos¹ e Jonas Teixeira Nery^{2*}

¹Geografia, Universidade Estadual Paulista, UD, Rua Dom José Marelllo, 749, Ourinhos, São Paulo, Brasil. ²Universidade Estadual Paulista, Rua Dom José Marelllo, 749, 19911-760, Ourinhos, São Paulo, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: Jonas@ourinhos.unesp.br

RESUMO. O objetivo deste trabalho foi analisar o rendimento de grãos de soja, trigo e milho no Estado do Paraná, correlacionando-os às diversas variáveis meteorológicas, tais como: precipitação pluvial, temperaturas (de relva, de geotermômetros de 9, 15 e 21 horas, máxima, mínima e média) e umidade relativa do ar. Os dados meteorológicos foram obtidos através do Instituto Agrônomo do Paraná (Iapar) e Estação Climatológica Principal de Maringá (ECPM). O rendimento de grãos foi obtido na Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Paraná (Seab). O período de estudo foi de 1986 a 1999.

Palavras-chave: variáveis meteorológicas, rendimento de grãos, Paraná.

ABSTRACT. *Meteorological variables associated with grain crops in the State of Paraná.* The aim of this research was to analyze soybean, wheat and corn production in the state of Paraná, southern Brazil, and their correlation with several meteorological variables, such as: precipitation, temperatures (of the turf, of 9, 15 and 21-hour geothermometers, maximum, minimum and medium) and relative humidity. These data were obtained from the *Instituto Agrônomo do Paraná - Iapar* (Paraná Agronomical Institute) and *Estação Climatológica de Maringá - ECPM* (Maringá Climatology Center). The grain production was obtained at the Secretaria de Agricultura do Paraná (Seab). The research was carried out from 1986 to 1999.

Key words: meteorological variables, grain production, Paraná.

Introdução

O Estado do Paraná localiza-se na região Sul do Brasil entre 22°29'33" e 26°42'59" latitude Sul, 48°02'24" e 54°37'38" longitude Oeste, abrangendo uma área de 201.000 km². É um dos maiores produtores de grãos (soja, trigo e milho) da região Sul do Brasil, destacando-se como um exportador importante dentro da economia do país. Algumas vezes ocorre queda na produção devido à variabilidade dos elementos climáticos.

Esse estado caracteriza-se, do ponto de vista climático, como uma região de transição entre os climas tropical e subtropical. Durante o inverno, as passagens de frentes frias resultam mais intensas, podendo alcançar latitudes muito baixas. As massas polares que produzem esses sistemas frontais geram marcados resfriamentos (especialmente entre maio e outubro) que resultam em baixa temperatura prejudicial à produção agrícola (Brynsztein e Nery, 1994).

Segundo Santos (1995), existe um forte vínculo entre a produção agrícola e as condições do tempo, particularmente nos seus aspectos térmicos e hídricos, interferindo indiretamente na economia do estado. Conforme Cunha *et al.* (1998), a agricultura é uma

atividade de risco. A vulnerabilidade climática não prevista e as flutuações de mercado (preços) são os principais determinantes de incertezas associadas a essa atividade.

Alfonsi (2000) assinala que as relações entre os elementos climáticos e a produção agrícola são bastante complexas, pois os fatores ambientais podem afetar o crescimento e o desenvolvimento das plantas sob diferentes formas nas diversas fases do ciclo da cultura.

Um outro fator importante para o melhor aproveitamento das disponibilidades hídricas é a época de cultivo, que deve ocorrer no período do ano em que a distribuição de chuvas seja a mais favorável possível ao crescimento das plantas. No florescimento, a ocorrência de deficiência hídrica pode determinar o insucesso do empreendimento (Gonzálvez *et al.*, 2002).

A soja, conforme Almeida (2000), desde a década de 1960 tem sido cultivada em todo o Estado do Paraná, no período entre outubro a março. Desta forma, o ano agrícola coincide com o período de maior ocorrência pluviométrica, resultando em diferenças de rendimento entre regiões ao lado de

outros fatores como fertilizante e técnicas empregadas na produção das lavouras.

O milho é uma das culturas mais largamente plantada no Brasil, com cerca de 12 milhões de hectares cultivados. O rendimento médio brasileiro, no entanto, é ainda bastante baixo, necessitando, para melhorá-lo, um bom conhecimento por parte do agricultor sobre métodos culturais e outras tecnologias (Silva *et al.*, 2001).

Essa cultura se desenvolve bem em regiões que apresentam verões quentes e úmidos, estimulando o desenvolvimento vegetativo, alternado com períodos secos, para facilitar a colheita e o armazenamento da produção. O cultivo tem bons resultados em épocas livres de geadas, principalmente se a temperatura permanecer acima de 15°C (Tubelis, 1988).

A geada é um dos mais importantes fatores na limitação dos rendimentos de trigo. A ocorrência de tal fenômeno durante a fase vegetativa é até benéfica. Entretanto, quando ocorre, na fase de floração, espigamento e início de maturação, estes podem determinar a perda total da lavoura, pois nesse período são mais sensíveis à temperaturas muito baixas (Mota, 1986).

Conforme Cunha *et al.* (2001), tipos de solos considerados aptos para o cultivo de trigo no Paraná, através do zoneamento agrícola, são Latossolos Vermelho-escuro, Vermelho-amarelo e roxo, Podzólicos Vermelho-escuro, Cambissolos Eutróficos e solos aluviais. Verificou-se que os riscos de geadas aumentam proporcionalmente, conforme a altitude e latitude.

O objetivo deste trabalho foi estudar algumas variáveis meteorológicas, correlacionando-as com o rendimento de grãos no Estado do Paraná.

Material e métodos

As informações sobre o rendimento de grãos foram obtidas junto à Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Paraná (Seab). Os dados são de nove estações: Maringá, Paranavaí, Ponta Grossa, Morretes, Planalto, Cambará, Clevelândia, Londrina e Guarapuava (Tabela 1). Os dados das variáveis meteorológicas foram fornecidos pela Estação Climatológica Principal de Maringá (ECPM) e Instituto Agronômico do Paraná (Iapar). O período de estudo limitou-se aos anos de 1986 a 1999, conforme a base de dados cedidos.

Calculou-se, com base nos dados diários, a média mensal de cada variável meteorológica para cada ano e para cada localidade. A seguir, calculou-se a média dos trimestres dentro do período estudado, resultando em uma única série das seguintes variáveis: precipitação, temperatura de geotermômetro (9, 15 e 21h), temperatura de relva, temperatura média, temperatura máxima, temperatura mínima e umidade relativa para

cada trimestre.

Tabela 1. Localização das estações com suas respectivas latitudes, longitudes, altitudes e períodos.

Nº	Estação	Longitude(w)	Latitude(S)	Altitude(m)	Período
1	Maringá (INMET)	51° 57'	23° 25'	542	1986-1999
2	Paranavaí	52° 26'	23° 05'	480	1986-1999
3	Ponta Grossa	50° 01'	25° 13'	880	1986-1999
4	Morretes	48° 49'	25° 30'	590	1986-1999
5	Planalto	53° 46'	25° 42'	400	1986-1999
6	Cambará	50° 57'	23° 00'	450	1986-1999
7	Clevelândia	52° 21'	26° 25'	930	1986-1999
8	Londrina	51° 09'	23° 18'	585	1986-1999
9	Guarapuava	51° 30'	25° 21'	1020	1986-1999

Fonte: Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR) e Estação Climatológica Principal de Maringá (ECPM).

Com as séries trimestrais organizadas, foi realizada a análise de regressão múltipla para os trimestres: março, abril e maio (MAM); abril, maio e junho (AMJ); maio, junho e julho (MJJ); junho, julho e agosto (JJA); julho, agosto e setembro (JAS) e agosto, setembro e outubro (ASO), pois o trigo é uma cultura de inverno, plantado e colhido entre março a outubro.

Para a soja e milho analisou-se todos os meses, pois essas culturas são plantadas e colhidas em diferentes épocas do ano; iniciando em janeiro, fevereiro e março (JFM); fevereiro, março e abril (FMA); março, abril e maio (MAM); abril, maio e junho (AMJ); maio, junho e julho (MJJ); junho, julho e agosto (JJA); julho, agosto e setembro (JAS); agosto, setembro e outubro (ASO); setembro, outubro e novembro (SON); outubro, novembro e dezembro (OND); novembro, dezembro e janeiro (NDJ); dezembro, janeiro e fevereiro (DJF).

Na análise de regressão múltipla, observou-se o coeficiente de determinação (R^2), com teste de significância menor que 5% ($p < 0,05$), que explica se o modelo estatístico é consistente ou não. Quanto mais elevado for o resultado do R^2 e quanto mais próximo de zero encontrar o valor de p , "mais significativo" será o coeficiente de determinação. Foram consideradas como "indicativas de correlação" as variáveis meteorológicas que apresentaram o valor para o nível de $p > 0,06$ e $p < 0,09$.

Os ajustes polinomiais são modelos de previsão que procuram explicar, de forma diferenciada, a relação entre cada variável dependente (soja, trigo e milho) e a variável independente (os elementos meteorológicos). Considerou-se, para essa avaliação, o coeficiente de determinação (R^2), com teste de significância menor que 5% ($p < 0,05$).

Métodos estatísticos utilizados

O primeiro cálculo realizado foi o de tendência central, denominado média,

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

em que

\bar{X} é a média aritmética para casa série,

$\sum_i^n X_i$ é a soma dos valores da variável estudada,

sendo que i varia de 1 a n em que n é o número de informações ou registros, conforme Gerardi e Silva (1981).

Em seguida, calculou-se a regressão múltipla que tem por objetivo descrever, através de um modelo matemático, a variação conjunta de x e y. Somando x_1 sobre x_2 e x_3 , tem-se a seguinte expressão:

$$y = a_1 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_nx_n$$

sendo que:

y = estimativa da variação dependente,

x = variação independente,

a = constante (intercepto múltiplo) que corta o eixo do y,

b = constante: coeficiente de correlação e

n = número de informações, em que: multiplicando e somando as equações sucessivamente por 1, x_2 , e x_3 , calculam-se os seguintes dados, que estão disponíveis por colunas em uma tabela ($\sum x_1$, $\sum x_2$, $\sum x_3$, $\sum x^2_1$, $\sum x^2_2$, $\sum x^2_3$, $\sum x_1 x_2$, $\sum x_1 x_3$, $\sum x_2 x_3$).

Na regressão múltipla, a medida relativa de adequação do ajuste é chamada de coeficiente de determinação, sendo designado pelo símbolo R^2 . Para obtê-lo, deve-se somar os valores dos quadrados da regressão múltipla. O valor de R^2 é a relação entre a variável dependente e a independente. Assim sendo, quando $R^2 = 0,98$, significa que 98% da variação é explicada pelo modelo, apenas 2% não o é. O coeficiente de determinação é empregado como um indicador inicial de precisão das regressões, utilizando-se a seguinte fórmula:

$$R^2 = \frac{\sum(Y_i^h - \hat{y})^2}{\sum(y_i - \hat{y})^2}$$

em que

$(Y_i^h - \hat{y})^2$ é a variação explicada,

$\sum(y_i - \hat{y})^2$ é a variação total,

Y_i^h é o correspondente valor estimado da equação

$(Y_i^h = b_0 + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i} + b_k x_{ki})_i$, \hat{y} é o valor médio,

y_i é a constante da amostra, na qual, a variação explicada e a variação total é a soma dos quadrados dos desvios dos valores de y em relação à média \hat{y} , de acordo com Spiegel (1993).

Os ajustes polinomiais são modelos que servem para ajustar a relação entre cada variável dependente (y) e a outra independente (x), constituindo-se em um exemplo particular de modelos estatísticos. Utilizando-se o seguinte método: $n_a x^n + a_{n-1} x^{n-1} + a_{n-2} x^{n-2} + \dots + a_2 x^2 + a_1 x + a_0 = 0$, sendo que $a_n, a_{n-1}, \dots, a_2, a_1$ e a_0 são números reais.

Resultados e discussão

Os resultados constam nas Tabelas 2, 3 e 4, as quais mostram apresentadas somente os trimestres que mostraram significância para o coeficiente de determinação, através da regressão múltipla, relacionada com as variáveis meteorológicas. De acordo com a Tabela 2, pode-se observar esses resultados para o rendimento de soja, sendo que Clevelândia apresentou o coeficiente de determinação R^2 significativo nos trimestres JFM, MJJ, JJA, JAS, OND e DJF. No trimestre JFM o R^2 foi significativo para a temperatura de geotermômetro de 15h, temperatura mínima e umidade relativa; no trimestre MJJ para a temperatura de geotermômetro de 15h; no trimestre JJA para a temperatura mínima de relva, de geotermômetros de 15h e 21h; no trimestre JAS para a temperatura mínima de relva, de geotermômetro de 9h, temperatura máxima, umidade relativa e precipitação pluvial e, para temperatura mínima R^2 apresentou-se apenas como indicativo de correlação; no trimestre OND para a temperatura de geotermômetro de 9h; no trimestre DJF R^2 foi significativo para a umidade relativa e indicativo de correlação para a precipitação pluvial. O trimestre ASO apresentou R^2 como indicativo de correlação para a precipitação pluvial.

Guarapuava destacou-se com R^2 significativo nos trimestres FMA e JJA, sendo que FMA para as temperaturas de geotermômetros de 9h e 15h e temperatura média; no trimestre JJA para as temperaturas de geotermômetros de 9h, 15h e 21h, temperatura mínima e média, para a temperatura máxima, neste trimestre, R^2 apresentou-se apenas como indicativo de correlação. O trimestre ASO apresentou R^2 como indicativo de correlação para a temperatura de geotermômetro de 21h e no trimestre OND também como indicativo de correlação para a temperatura de geotermômetro de 9h e temperatura média.

Tabela 2: Análise de regressão múltipla com o coeficiente de determinação (R^2) tendo como variáveis independentes: as temperaturas de Relva (TRELV), Geotermômetros de 9h, 15h e 21h (TGEO 9, TGEO 15, TGEO 21), Máxima (TMAX), Mínima (TMIN) e Média (TMED); Umidade Relativa (UR); Precipitação pluvial (PP). Como variável dependente, o rendimento de Soja no período de 1986 a 1999 para Clevelândia, Guarapuava, Londrina, Cambará, Maringá, Planalto e Ponta Grossa.

Clevelândia		TRELV	TGEO 9h	TGEO 15h °C	TGEO21h	TMAX	TMIN	TMED	UR	PP
-------------	--	-------	---------	-------------	---------	------	------	------	----	----

		°C	%	mm						
Trimestres	R ²	Nível - p								
JFM	0,98	-	0,132	0,023	0,013	0,304	0,008	0,354	0,005	0,252
MJJ	0,93	0,186	0,684	0,036	0,359	0,929	0,409	0,636	0,236	0,808
JJA	0,95	0,023	0,370	0,009	0,031	0,514	0,410	0,278	0,550	0,723
JAS	0,96	0,015	0,050	0,812	0,496	0,008	0,098 *	0,561	0,012	0,006
ASO	0,89	0,340	0,834	0,628	0,183	0,847	0,563	0,729	0,297	0,094 *
OND	0,95	0,483	0,055	0,570	0,331	0,603	0,326	0,802	0,284	0,483
DJF	0,87	-	0,631	0,702	0,103	0,116	0,355	0,338	0,039	0,071 *
Guarapuava	R ²	Nível - p								
FMA	0,97	-	0,001	0,004	0,305	0,465	0,643	0,018	0,679	0,445
JJA	0,98	0,308	0,003	0,014	0,001	0,066 *	0,023	0,044	0,504	0,201
ASO	0,91	0,164	0,679	0,212	0,091 *	0,333	0,841	0,574	0,851	0,257
OND	0,92	-	0,065 *	0,286	0,135	0,314	0,972	0,064 *	0,111	0,169
Londrina	R ²	Nível - p								
JFM	0,83	-	0,280	0,086 *	0,952	0,040	0,251	0,053	0,970	0,056
FMA	0,64	-	0,879	0,663	0,681	0,234	0,182	0,252	0,525	0,051
AMJ	0,85	0,216	0,218	0,405	0,146	0,050	0,161	0,377	0,138	0,752
OND	0,63	-	0,415	0,228	0,605	0,646	0,272	0,091 *	0,146	0,146
NDJ	0,71	-	0,140	0,637	0,482	0,837	0,187	0,392	0,068 *	0,295
Cambará	R ²	Nível - p								
MAM	0,98	-	0,041	0,488	0,001	0,001	0,242	0,505	0,026	0,013
AMJ	0,80	-	0,822	0,259	0,472	0,093 *	0,277	0,107	0,483	0,613
JJA	0,84	0,084 *	0,815	0,891	0,191	0,252	0,057	0,633	0,965	0,950
NDJ	0,76	0,609	0,895	0,464	0,043	0,106	0,376	0,348	0,115	0,084 *
DJF	0,89	-	0,200	0,587	0,028	0,027	0,251	0,018	0,703	0,343
Maringá	R ²	Nível - p								
JFM	0,89	0,137	0,030	0,176	0,227	0,295	0,310	0,126	0,775	0,066 *
MAM	0,86	0,319	0,839	0,397	0,722	0,451	0,196	0,073 *	0,871	0,452
AMJ	0,94	0,925	0,137	0,254	0,228	0,230	0,198	0,042	0,604	0,806
Planalto	R ²	Nível - p								
MAM	0,84	-	0,034	0,192	0,047	0,518	0,649	0,694	0,407	0,246
AMJ	0,89	-	0,033	0,126	0,013	0,886	0,608	0,851	0,366	0,777
SON	0,74	-	0,555	0,266	0,486	0,305	0,966	0,775	0,028	0,111
NDJ	0,86	-	0,579	0,832	0,067 *	0,467	0,472	0,766	0,610	0,831
DJF	0,80	-	0,182	0,050	0,058	0,303	0,465	0,437	0,196	0,107
Ponta Grossa	R ²	Nível - p								
FMA	0,97	0,021	0,001	0,001	0,238	0,042	0,114	0,154	0,043	0,433
ASO	0,77	0,893	0,095 *	0,213	0,448	0,265	0,898	0,237	0,717	0,438
SON	0,82	0,614	0,434	0,224	0,463	0,652	0,097 *	0,088 *	0,204	0,509
NDJ	0,63	-	0,240	0,834	0,089 *	0,790	0,838	0,559	0,744	0,320
DJF	0,79	-	0,032	0,059	0,068 *	0,844	0,552	0,343	0,282	0,393

Em negrito os resultados das variáveis meteorológicas com teste de significância para $p < 0,05$ e Negrito* os resultados de $p > 0,06$ e $p > 0,09$.

Londrina apresentou o valor de R^2 significativo nos trimestres JFM, FMA e AMJ, sendo que JFM, significativo para a temperatura máxima, média e precipitação pluvial e, como indicativo de correlação para a temperatura de geotermômetro de 15h; o trimestre FMA apresentou R^2 significativo para a precipitação pluvial e AMJ para a temperatura máxima. O trimestre OND apresentou R^2 como indicativo de correlação para a temperatura média e NDJ para a umidade relativa.

Cambará apresentou R^2 significativo nos trimestres MAM, JJA, NDJ e DJF, sendo que, no trimestre MAM para as temperaturas de geotermômetros de 9h, 21h, temperatura máxima, umidade relativa e precipitação pluvial; JJA para a temperatura mínima e apenas como indicativo de correlação para temperatura de relva; NDJ para a temperatura de geotermômetro de 21h e como indicativo de correlação para a precipitação pluvial; DJF para as temperaturas de geotermômetro de 21h, máxima e média. O trimestre AMJ apresentou R^2 como indicativo de correlação para a temperatura máxima.

Maringá apresentou o trimestre JFM com R^2

significativo para a temperatura de geotermômetro de 9h e indicativo de correlação para a precipitação pluvial; MAM com R^2 como indicativo de correlação para a temperatura média e no trimestre AMJ significativo para a temperatura média.

Planalto apresentou o trimestre MAM com R^2 significativo para as temperaturas de geotermômetros de 9h e 21h; o trimestre AMJ significativo para a temperatura de geotermômetro de 9h; SON para a umidade relativa e DJF para as temperaturas de geotermômetros de 15h e 21h. O trimestre NDJ apresentou R^2 como indicativo de correlação para a temperatura de geotermômetro 21h.

Ponta Grossa destacou-se com R^2 significativo no trimestre FMA para as temperaturas de relva, geotermômetros de 9h e 21h, temperatura máxima e umidade relativa; (DJF) para as temperaturas de geotermômetros de 9h e 15h e como indicativo de correlação para a temperatura de geotermômetro de 21h. Nos demais trimestres ASO, SON e NDJ o valor de R^2 mostrou-se como indicativo de correlação, ASO para a temperatura de geotermômetro de 9h, SON para a temperatura mínima e média e NDJ para a temperatura de geotermômetro de 21h.

Tabela 3: Análise de regressão múltipla com o coeficiente de determinação (R^2), tendo como variáveis independentes: as temperaturas de

Relva (TRELV), Geotermômetros de 9h, 15h e 21h (TGEO 9, TGEO 15, TGEO 21), Máxima (TMAX), Mínima (TMIN) e Média (TMED); Umidade Relativa (UR); Precipitação pluvial (PP). Como variável dependente, o rendimento de Milho, no período de 1986 a 1999 para: Clevelândia, Guarapuava, Londrina, Cambará, Maringá, Planalto, Ponta Grossa, Paranavaí e Morretes.

Clevelândia		TRELV °C	TGEO 9h °C	TGEO 15h °C	TGEO 21h °C	TMAX °C	TMIN °C	TMED °C	U R %	PP Mm
Trimestres	R ²	Nível - p								
JFM	0,93	-	0,442	0,056	0,068 *	0,146	0,481	0,893	0,028	0,783
FMA	0,90	0,408	0,319	0,609	0,820	0,476	0,033	0,458	0,301	0,948
MAM	0,91	0,804	0,323	0,064 *	0,217	0,221	0,947	0,081 *	0,589	0,259
MJJ	0,90	0,369	0,467	0,024	0,561	0,626	0,817	0,469	0,187	0,869
JJA	0,98	0,368	0,998	0,006	0,502	0,080 *	0,716	0,066 *	0,090 *	0,107
JAS	0,95	-	0,069 *	0,802	0,079 *	0,062 *	0,039	0,694	0,126	0,016
ASO	0,95	-	0,088 *	0,512	0,088 *	0,600	0,734	0,180	0,426	0,048
Guarapuava	R ²	Nível - p								
JFM	0,84	-	0,224	0,139	0,269	0,084 *	0,182	0,271	0,452	0,379
FMA	0,93	-	0,016	0,121	0,080 *	0,614	0,556	0,453	0,179	0,583
AMJ	0,86	0,752	0,252	0,228	0,311	0,058	0,968	0,740	0,312	0,547
MJJ	0,91	0,335	0,526	0,237	0,199	0,043	0,976	0,667	0,185	0,794
JJA	0,88	0,874	0,076 *	0,247	0,068 *	0,679	0,220	0,399	0,724	0,980
ASO	0,95	0,102	0,055	0,391	0,064 *	0,100	0,435	0,781	0,214	0,877
Londrina	R ²	Nível - p								
JFM	0,82	-	0,553	0,415	0,816	0,021	0,093 *	0,067 *	0,680	0,018
FMA	0,77	-	0,747	0,926	0,921	0,086 *	0,220	0,297	0,934	0,022
MAM	0,89	0,495	0,430	0,813	0,070 *	0,570	0,277	0,930	0,050	0,097 *
AMJ	0,89	0,181	0,204	0,339	0,124	0,084 *	0,137	0,171	0,064 *	0,187
DJF	0,89	-	0,666	0,078 *	0,167	0,094 *	0,152	0,280	0,063 *	0,067 *
Cambará	R ²	Nível - p								
FMA	0,76	-	0,692	0,934	0,171	0,908	0,084 *	0,053	0,190	0,746
AMJ	0,80	-	0,588	0,493	0,446	0,603	0,120	0,021	0,492	0,803
JAS	0,81	0,253	0,107	0,340	0,500	0,064 *	0,470	0,062 *	0,623	0,720
SON	0,69	-	0,479	0,362	0,082 *	0,691	0,812	0,936	0,912	0,478
OND	0,81	-	0,946	0,587	0,029	0,167	0,647	0,443	0,788	0,746
NDJ	0,64	-	0,438	0,217	0,049	0,248	0,230	0,235	0,527	0,921
Maringá	R ²	Nível - p								
ASO	0,83	0,295	0,384	0,638	0,501	0,120	0,332	0,405	0,997	0,01
Planalto	R ²	Nível - p								
MJJ	0,65	-	0,812	0,544	0,217	0,077 *	0,095 *	0,087 *	0,508	0,363
JJA	0,86	0,085 *	0,862	0,256	0,426	0,037	0,070 *	0,044	0,070 *	0,035
DJF	0,86	-	0,032	0,012	0,070 *	0,372	0,045	0,125	0,022	0,015
Ponta Grossa	R ²	Nível - p								
FMA	0,98	0,002	0,006	0,006	0,082 *	0,417	0,194	0,524	0,004	0,097 *
ASO	0,73	0,826	0,090 *	0,090 *	0,247	0,121	0,634	0,124	0,845	0,262
NDJ	0,69	-	0,220	0,476	0,077 *	0,769	0,493	0,947	0,244	0,999
DJF	0,83	-	0,066 *	0,106	0,026	0,903	0,916	0,685	0,910	0,908
Paranavaí	R ²	Nível - p								
JFM	0,77	-	0,065 *	0,577	0,031	0,206	0,065 *	0,071 *	0,102	0,650
FMA	0,86	-	0,239	0,019	0,929	0,844	0,321	0,722	0,978	0,868
MAM	0,90	-	0,324	0,583	0,155	0,052	0,039	0,032	0,078 *	0,093 *
AMJ	0,92	-	0,183	0,263	0,069 *	0,666	0,324	0,332	0,577	0,273
JJA	0,99	0,706	0,031	0,002	0,004	0,012	0,009	0,009	0,193	0,001
OND	0,77	-	0,240	0,469	0,115	0,147	0,035	0,063 *	0,170	0,098 *
NDJ	0,68	-	0,722	0,433	0,323	0,337	0,076 *	0,124	0,983	0,229
DJF	0,82	-	0,095 *	0,075 *	0,050	0,093 *	0,296	0,121	0,103	0,413
Morretes	R ²	Nível - p								
JFM	0,86	-	0,161	0,638	0,416	0,899	0,460	0,890	0,051	0,086 *
AMJ	0,64	-	0,335	0,394	0,095 *	0,343	0,180	0,308	0,080 *	0,224
ASO	0,96	0,009	0,589	0,033	0,322	0,716	0,039	0,097 *	0,007	0,064 *
SON	0,85	-	0,072 *	0,059	0,251	0,016	0,254	0,058	0,288	0,190
OND	0,75	-	0,072 *	0,029	0,864	0,213	0,885	0,600	0,802	0,697
NDJ	0,88	-	0,032	0,019	0,175	0,026	0,078 *	0,044	0,070 *	0,095 *

Em negrito os resultados das variáveis meteorológicas com teste de significância $p < 0,05$ e Negrito* os resultados de $p > 0,06$ e $p < 0,09$.

Tabela 4: Análise de regressão múltipla com o coeficiente de determinação (R²) tendo como variáveis independentes: as temperaturas de Relva (TRELV), Geotermômetros de 9h, 15h e 21h (TGEO 9, TGEO 15, TGEO 21), Máxima (TMAX), Mínima (TMIN) e Média (TMED); Umidade Relativa (UR); Precipitação pluvial (PP). Como variável dependente, o rendimento de Trigo, no período de 1986 a 1999 para: Clevelândia, Guarapuava, Londrina, Cambará, Maringá, Planalto, Ponta Grossa.

Clevelândia		TRELV °C	TGEO 9h °C	TGEO 15h °C	TGEO 21h °C	TMAX °C	TMIN °C	TMED °C	U R %	PP mm
Trimestres	R ²	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p				
AMJ	0,91	0,029	0,062 *	0,053	0,892	0,152	0,021	0,025	0,026	0,088 *
JAS	0,94	0,082 *	0,037	0,020	0,793	0,435	0,404	0,851	0,033	0,242
ASO	0,94	0,446	0,015	0,005	0,335	0,088 *	0,948	0,077 *	0,091 *	0,133
Guarapuava	R ²	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p				
MAM	0,86	0,181	0,129	0,084 *	0,352	0,208	0,791	0,467	0,282	0,364
MJJ	0,71	0,441	0,899	0,109	0,099 *	0,873	0,973	0,576	0,804	0,089 *
Londrina	R ²	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p				

JJA	0,88	0,199	0,108	0,013	0,033	0,030	0,417	0,080 *	0,797	0,075 *
ASO	0,75	0,434	0,075 *	0,076 *	0,324	0,519	0,668	0,268	0,668	0,337
Cambará	R ²	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p
MAM	0,85	-	0,061 *	0,079 *	0,621	0,904	0,673	0,719	0,032	0,213
Maringá	R ²	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p
MAM	0,79	0,107	0,144	0,645	0,124	0,301	0,056	0,524	0,392	0,059
Planalto	R ²	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p
MAM	0,83	-	0,244	0,196	0,041	0,084 *	0,033	0,041	0,019	0,016
ASO	0,79	-	0,458	0,427	0,032	0,179	0,227	0,169	0,917	0,260
Ponta Grossa	R ²	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p	Nível - p
MJJ	0,88	0,126	0,159	0,454	0,526	0,205	0,069 *	0,496	0,523	0,455
ASO	0,93	0,008	0,189	0,604	0,665	0,636	0,858	0,299	0,009	0,03

Em negrito os resultados das variáveis meteorológicas com teste de significância $p < 0,05$ e Negrito* os resultados de $p > 0,06$ e $p < 0,09$.

A Tabela 3 mostra os resultados para o rendimento de milho. Clevelândia apresentou R² significativo nos trimestres: JFM, FMA, MJJ, JJA, JAS e ASO, sendo que JFM foi significativo para a temperatura de geotermômetro de 15h e umidade relativa e, como indicativo de correlação para a temperatura de geotermômetro de 21h; no trimestre FMA, R² foi significativo para a temperatura mínima; MJJ para a temperatura de geotermômetro de 15h; JJA para a temperatura de geotermômetro de 15h e como indicativo de correlação para a temperatura máxima, média e umidade relativa; no trimestre JAS R² foi significativo para a temperatura mínima e precipitação pluvial e indicativo de correlação para as temperaturas de geotermômetros de 9h e 21h e temperatura máxima; no trimestre ASO para a precipitação pluvial e como indicativo de correlação para as temperaturas de geotermômetros de 9h e 21h. Já no trimestre MAM, R² apresentou-se como indicativo de correlação para a temperatura de geotermômetro de 15h e temperatura média.

Guarapuava apresentou o valor de R² significativo nos trimestres: FMA, AMJ, MJJ e ASO, sendo que no trimestre FMA foi significativo para a temperatura de geotermômetro de 9h e como indicativo de correlação para a temperatura de geotermômetro de 21h; AMJ significativo para a temperatura máxima; MJJ para a temperatura máxima; ASO para a temperatura de geotermômetro de 9h e como indicativo de correlação para a temperatura de geotermômetro de 21h. Os trimestres JFM e JJA apresentaram R² como indicativo de correlação, JFM para a temperatura máxima e JJA para as temperaturas de geotermômetros de 9h e 21h.

Londrina apresentou o trimestre JFM com R² significativo para a temperatura máxima e precipitação pluvial e indicativo de correlação para as temperaturas mínima e média; o trimestre FMA com R² significativo para a precipitação pluvial e indicativo de correlação para a temperatura máxima; MAM significativo para a umidade relativa e como indicativo de correlação para a temperatura de geotermômetro de 21h e precipitação pluvial. Os trimestres AMJ e DJF apresentaram o valor de R² como indicativo de correlação, AMJ para a temperatura máxima e umidade relativa e DJF para as

temperaturas de geotermômetro de 15h, temperatura máxima, umidade relativa e precipitação pluvial.

Cambará apresentou o trimestre FMA com o valor de R² significativo para a temperatura média e, indicativo de correlação para a temperatura mínima; AMJ significativo para a temperatura média; OND e NDJ R² significativo para a temperatura de geotermômetro de 21h. Os trimestres JAS e SON apresentaram o valor de R² como indicativo de correlação, (JAS) para as temperaturas máxima e média e SON para a temperatura de geotermômetro de 21h.

Maringá apresentou apenas o trimestre ASO com o valor de R² significativo para a precipitação pluvial.

Planalto apresentou R² significativo no trimestre JJA para as temperaturas máxima e média e precipitação pluvial e, indicativo de correlação para as temperaturas de relva, mínima e umidade relativa; DJF significativo para as temperaturas de geotermômetros de 9h, 15h, temperatura mínima, precipitação pluvial e umidade relativa e, indicativo de correlação para a temperatura de geotermômetro de 21h. No trimestre MJJ R² apresentou-se apenas como indicativo de correlação para as temperaturas: máxima, mínima e média.

Ponta Grossa apresentou o valor de R² significativo, no trimestre FMA, para a temperatura mínima de relva, geotermômetros de 9h, 15h e umidade relativa e, indicativo de correlação para a temperatura de geotermômetro de 21h e precipitação pluvial; DJF significativo para a temperatura de geotermômetro de 21h e como indicativo de correlação para a temperatura de geotermômetro de 9h. O trimestre ASO apresentou o valor de R² como indicativo de correlação, para as temperaturas de geotermômetros de 9h e 21h; NDJ também como indicativo de correlação para a temperatura de geotermômetro de 21h.

Paranavaí apresentou R² significativo no trimestre JFM para a temperatura de geotermômetro de 21h e, indicativo de correlação para as temperaturas de geotermômetro de 9h, temperatura mínima e média; FMA com R² significativo para a temperatura de geotermômetro de 15h; MAM significativo para as temperaturas: máxima, mínima e média e como indicativo de correlação para a umidade relativa e

precipitação pluvial; JJA R^2 significativo para as temperaturas de geotermômetros de 9h, 15h, 21h, temperatura mínima e média e precipitação pluvial; OND significativo para a temperatura mínima e como indicativo de correlação para a temperatura média e precipitação pluvial; DJF significativo para a temperatura de geotermômetro de 21h e como indicativo de correlação para as temperaturas de geotermômetros de 9h, 15h e temperatura máxima. No trimestre AMJ, R^2 apresentou-se como indicativo de correlação para a temperatura de geotermômetro de 21h e NDJ para a temperatura mínima.

Morretes destacou-se com R^2 significativo no trimestre JFM para a umidade relativa e como indicativo de correlação para a precipitação pluvial; em ASO R^2 foi significativo para as temperaturas de relva e mínima, temperatura de geotermômetro de 15h e umidade relativa e, indicativo de correlação para a temperatura média e precipitação pluvial; SON significativo para a temperatura de geotermômetro de 15h, temperaturas média e máxima e, indicativo de correlação para a temperatura de geotermômetro de 9h; OND significativo para a temperatura de 15h e como indicativo de correlação para a temperatura de geotermômetro de 9h; NDJ significativo para as temperaturas de geotermômetros de 9h, 15h, temperatura máxima e média e, indicativo de correlação para a temperatura mínima, umidade relativa e precipitação pluvial. O trimestre AMJ apresenta o valor de R^2 como indicativo de correlação para a temperatura de geotermômetro de 21h e umidade relativa.

A Tabela 4 contém os resultados para o rendimento de trigo. Clevelândia apresentou R^2 significativo, no trimestre AMJ, para as temperaturas de relva, mínima e média, temperatura de geotermômetro de 15h e umidade relativa e, indicativo de correlação para a temperatura de geotermômetro de 9h e precipitação pluvial. O trimestre JAS apresentou R^2 significativo para as temperaturas de geotermômetros de 9h e 15h e umidade relativa e, indicativo de correlação para a temperatura de relva. No trimestre ASO R^2 foi significativo para as temperaturas de geotermômetros de 9h e 15h e, indicativo de correlação para as temperaturas máxima e média e umidade relativa.

Guarapuava mostrou o valor de R^2 , nos trimestres MAM e MJJ, como indicativo de correlação, sendo que, MAM para a temperatura de geotermômetro de 15h e MJJ para a temperatura de geotermômetro de 21h e precipitação pluvial.

Londrina apresentou o R^2 significativo no trimestre JJA, para as temperaturas de geotermômetros de 9h e 21h e temperatura máxima e, indicativo de correlação para a temperatura média e precipitação pluvial. Já ASO R^2 apresentou-se como indicativo de correlação para as temperaturas de

geotermômetros de 9h e 15h.

Cambará apresentou R^2 significativo para a umidade relativa, no trimestre MAM e ainda neste trimestre como indicativo de correlação para a temperatura de geotermômetro de 9h e 15h.

Em Maringá, o trimestre MAM apresentou R^2 significativo para a temperatura mínima e precipitação pluvial.

Planalto apresentou R^2 significativo, no trimestre MAM, para a temperatura de geotermômetro de 21h, temperaturas média e mínima, umidade relativa e precipitação pluvial e, indicativo de correlação para a temperatura máxima. Em ASO R^2 foi significativo para a temperatura de geotermômetro de 21h.

Ponta Grossa apresentou, no trimestre MJJ, o valor de R^2 como indicativo de correlação para a temperatura mínima e em ASO significativo, para a temperatura de relva, umidade relativa e precipitação pluvial.

Na análise de regressão múltipla, nota-se que, de maneira geral, em todos os trimestres apresentados, o coeficiente de determinação (R^2) variou entre 63% a 99%. O rendimento de soja mostrou-se significativamente correlacionado com as temperaturas de geotermômetros de 9h, 15h e 21h, temperatura média e máxima, umidade relativa e precipitação pluvial. O rendimento de milho mostrou-se significativamente correlacionado com as temperaturas de geotermômetros de 9h, 15h e 21h, temperatura média e máxima, umidade relativa e precipitação pluvial, para a maioria das localidades. O rendimento de trigo mostrou-se significativamente correlacionado com as temperaturas de geotermômetros de 9h, 15h e 21h, umidade relativa e precipitação pluvial, para grande parte das regiões de estudo.

De acordo com os ajustes polinomiais, Clevelândia apresentou para o rendimento de soja, significativo ajuste nos trimestres JFM e DJF para as variáveis: temperatura máxima, umidade relativa e temperatura de geotermômetro de 9h, conforme a Figura 1 (A-D). A Figura 2 mostra o ajuste para rendimento de soja em Guarapuava, com R^2 significativo no trimestre FMA para a temperatura de geotermômetro de 21h. Cambará no trimestre MAM, apresentou significativo ajuste entre o rendimento de soja e a precipitação pluvial, conforme mostra a Figura 3. Em Maringá os trimestres JFM e AMJ apresentaram significativo índice de concordância entre o rendimento e as variáveis: temperaturas de geotermômetros de 9, 15, 21h e temperatura mínima, Figuras 4 (A-E). A Figura 5 (A e B) mostra o coeficiente de determinação significativo para Planalto nos trimestres MAM e AMJ, quando correlacionados com a temperatura de geotermômetros de 9h e 21h.

O rendimento de milho apresentou ajuste

significativo para Clevelândia, nos trimestres JFM e FMA relacionados com as temperaturas de geotermômetro de 9h e mínima, como mostra a Figura 6(A-C). Londrina no trimestre JFM, com a precipitação pluvial (Figura 7). Cambará com ajuste significativo no trimestre OND, para as temperaturas

máxima, mínima e média, de acordo com a Figura 8 (A-C). Paranavaí nos trimestres MAM e JJA apresentou ajuste significativo do rendimento de milho relacionado com a temperatura de geotermômetro de 15h (Figura 9A e 9B).

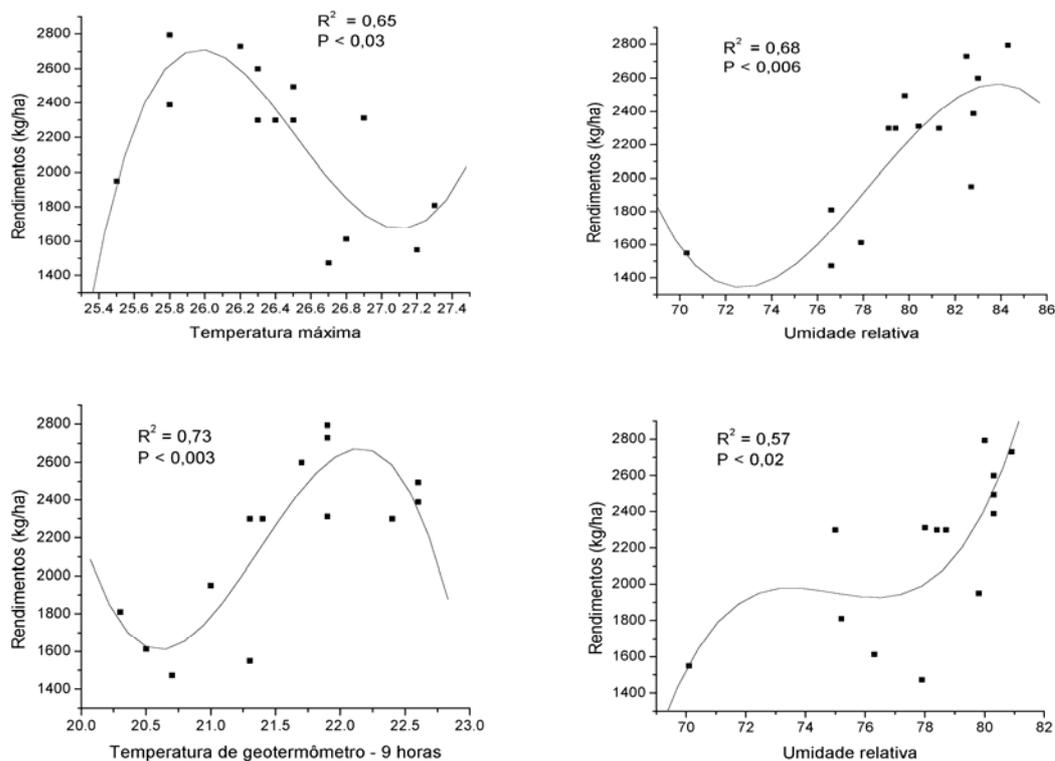


Figura 1. A: Relação do rendimento de soja com a temperatura máxima(°C), trimestre: JFM - Clevelândia. B: Relação do rendimento de soja com a umidade relativa(%), trimestre: JFM - Clevelândia. C: Relação do rendimento de soja com a temperatura de geotermômetro 9h(°C), trimestre: JFM – Clevelândia. D: Relação do rendimento de soja com a umidade relativa(%), trimestre: DJF - Clevelândia.

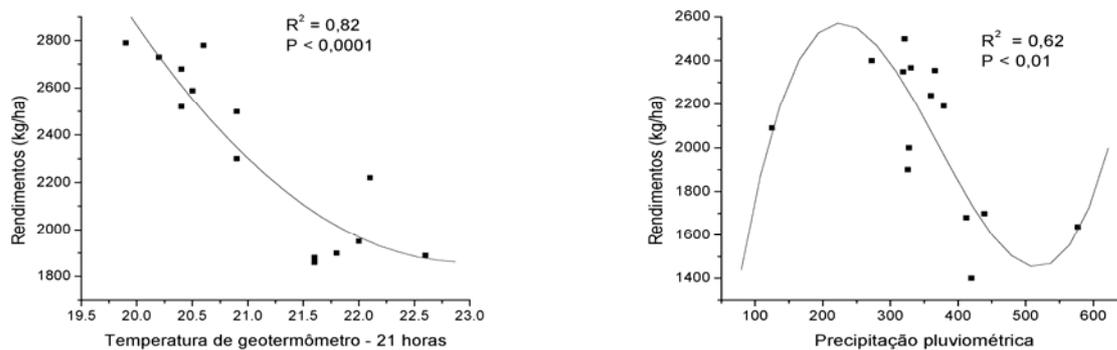


Figura 2. Relação do rendimento de soja com a temperatura de geotermômetro de 21h(°C), trimestre: FMA - Guarapuava.

Figura 3. Relação do rendimento de soja com a precipitação pluviométrica(mm), trimestre: MAM - Cambará.

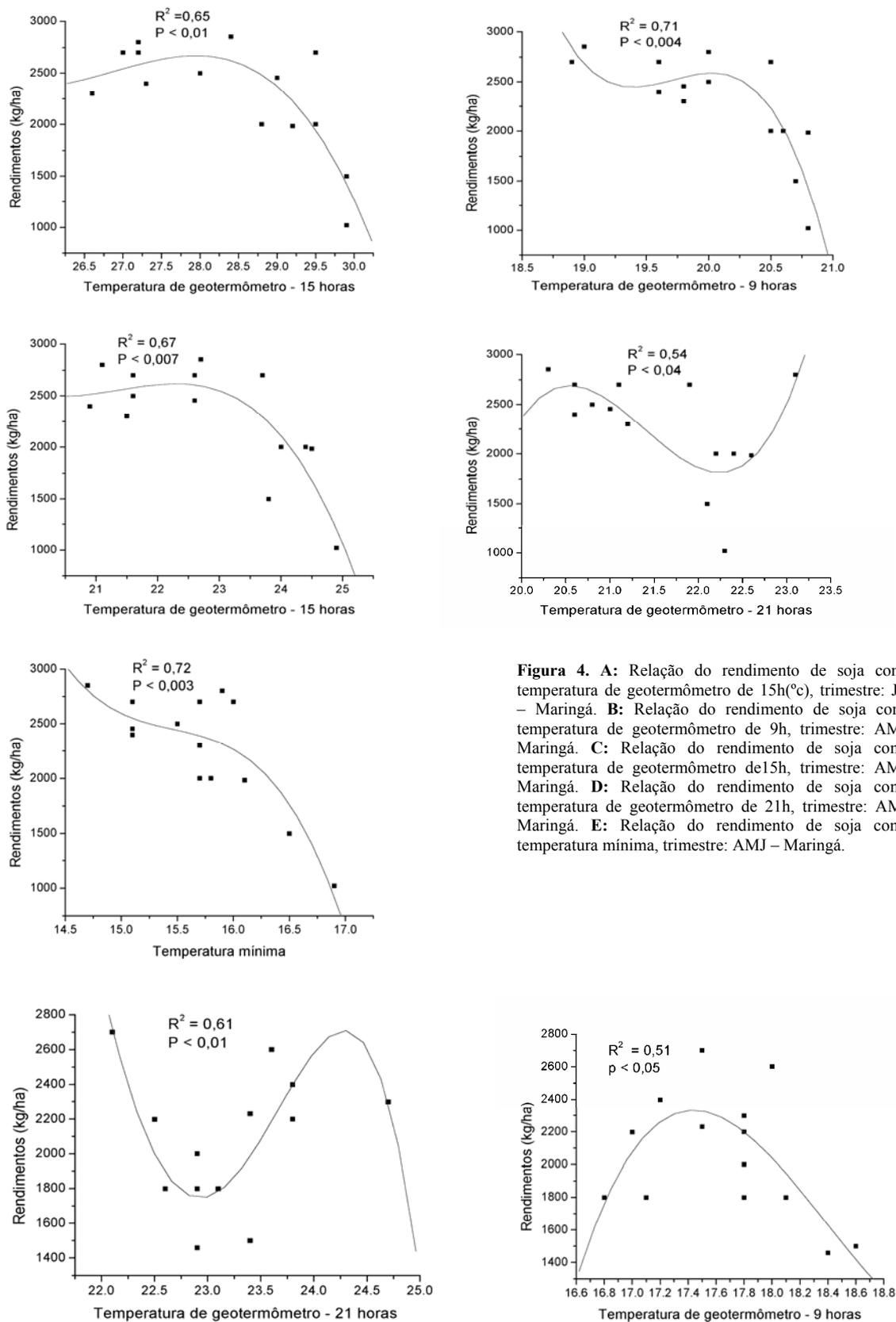


Figura 5A: Relação do rendimento de soja com a temperatura de geotermômetro de 21h(°C), trimestre: MAM - Planalto. **B:** Relação do rendimento de soja com a temperatura de geotermômetro de 9 horas, trimestre: MAM - Planalto.

rendimento de soja com a temperatura de geotermômetro de 9h(°C), trimestre: AMJ - Planalto.

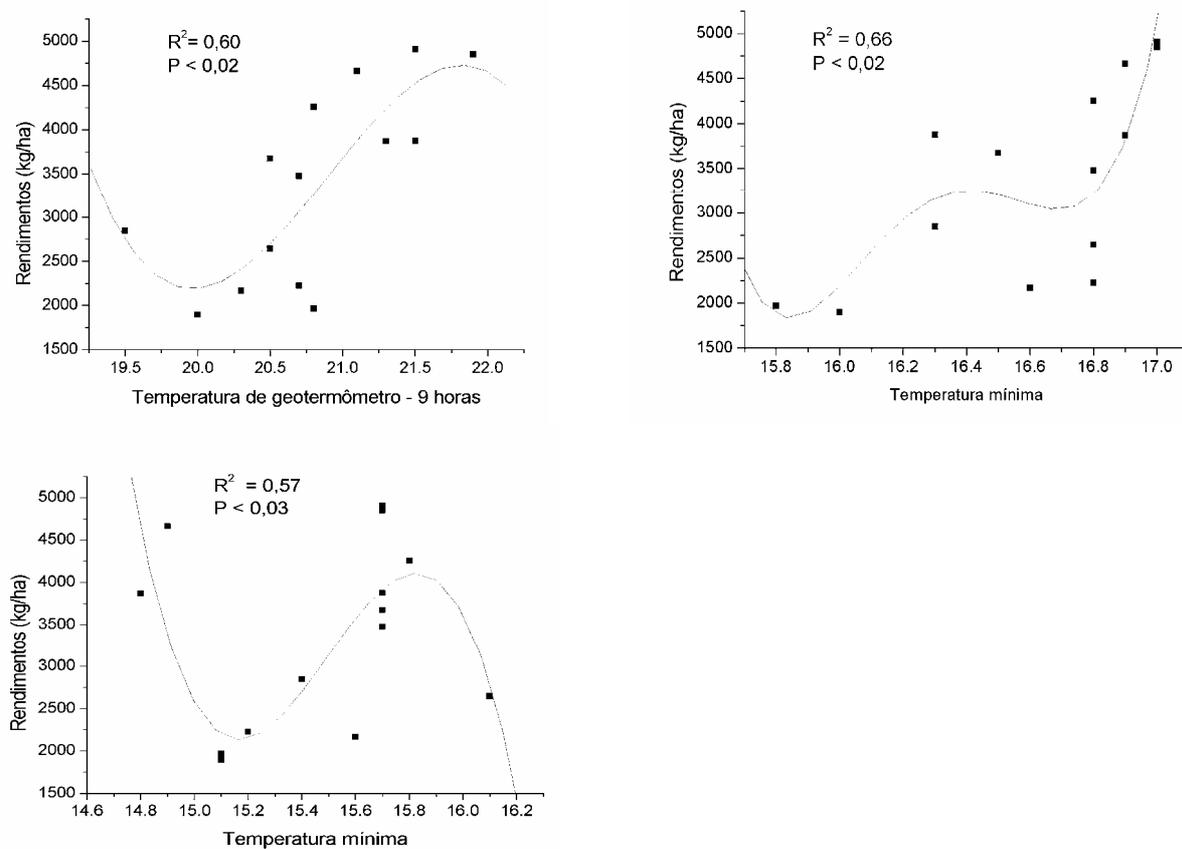


Figura 6. A: Relação do rendimento de Milho com a temperatura de geotermômetro de 9h(°C), trimestre: JFM - Clevelândia. **B:** Relação do rendimento de Milho com a temperatura mínima(°C), trimestre: JFM - Clevelândia. **C:** Relação do rendimento de Milho com a temperatura mínima(°C), trimestre: FMA - Clevelândia.

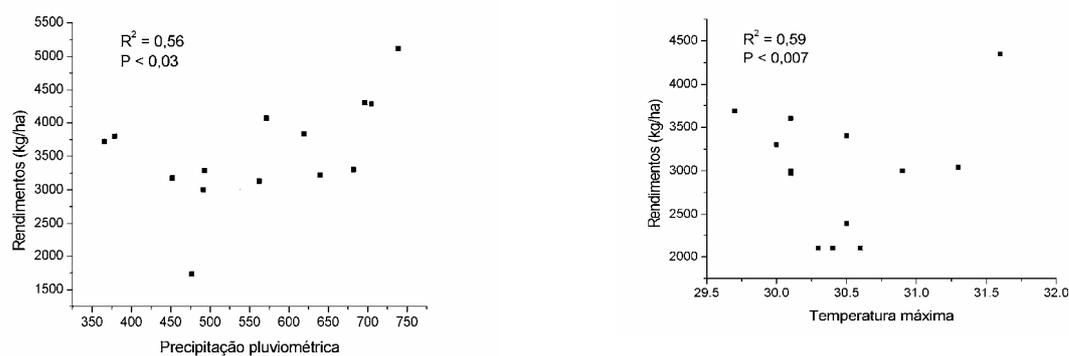


Figura 7. Relação do rendimento de Milho com a precipitação pluviométrica(mm), trimestre: JFM – Londrina.

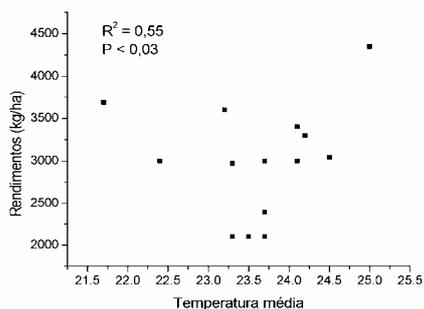
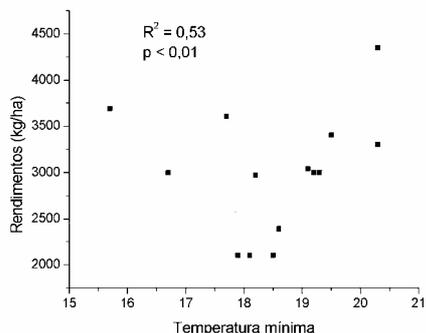


Figura 8. A: Relação do rendimento de Milho com a temperatura máxima(°C), trimestre: OND - Cambará. **B:** Relação do rendimento de Milho com a temperatura mínima(°C), trimestre: OND - Cambará. **C:** Relação do rendimento de Milho com a temperatura média(°C), trimestre: OND - Cambará.

Verificou-se para o rendimento trigo ajuste significativo apenas para Clevelândia (Figura 10), no trimestre AMJ relacionado com a temperatura de geotermômetro de 9h e, para Cambará (Figura 11) no trimestre MAM com a temperatura de geotermômetro de 21h.

Os ajustes polinomiais apresentaram coeficiente de determinação (R^2) significativo, variando entre 51 a 82%. As variáveis meteorológicas que se destacaram nesta análise foram: temperaturas de geotermômetros de 9h, 15h e 21h, temperatura mínima, média, precipitação pluvial e umidade relativa.

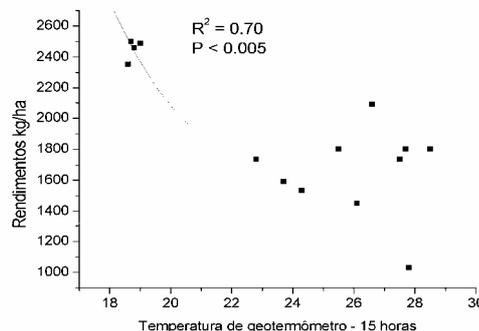
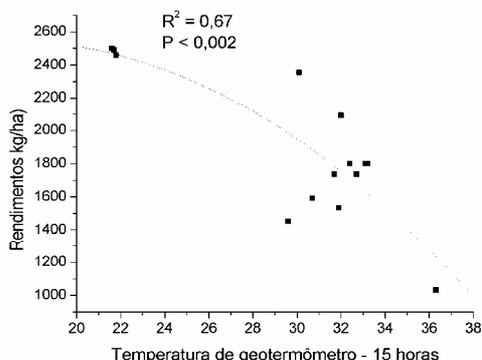


Figura 9. A: Relação do rendimento de Milho com a temperatura de geotermômetro de 15h(°C), trimestre: MAM - Paranavaí. **B:** Relação do rendimento de Milho com a temperatura de geotermômetro de 15h(°C), trimestre: JJA - Paranavaí.

As localidades que mais apresentaram trimestres significativos para a cultura de soja são Clevelândia, Londrina, Cambará, Planalto e Ponta Grossa; para o milho: Clevelândia, Guarapuava, Cambará, Paranavaí e Morretes; para o trigo sobressai-se Clevelândia.

O resultado deste trabalho apresenta correlação significativa entre o rendimento de grãos e as variáveis meteorológicas, podendo-se observar que para cada produto há um conjunto de variáveis específicas, destacando as temperaturas de geotermômetros como as mais predominantes dentre todas as análises. As análises de regressão múltipla e ajustes polinomiais mostram que modelos estatísticos podem ser úteis na produção de safras de grãos. Pode-se concluir, através destas constatações, que os fatores climáticos têm relativa participação no total de rendimentos de grãos, pois as condições do tempo podem causar os conhecidos azares climáticos, sempre imprevistos na agricultura.

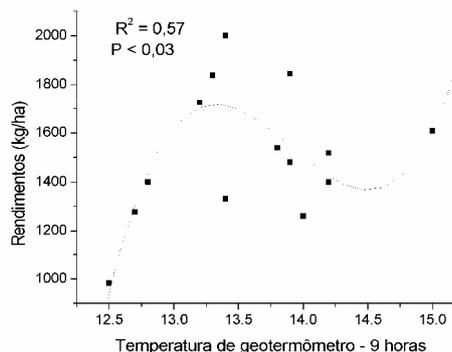


Figura 10. Relação do rendimento de Trigo com a temperatura de geotermômetro de 9h(°C), trimestre: AMJ - Clevelândia.

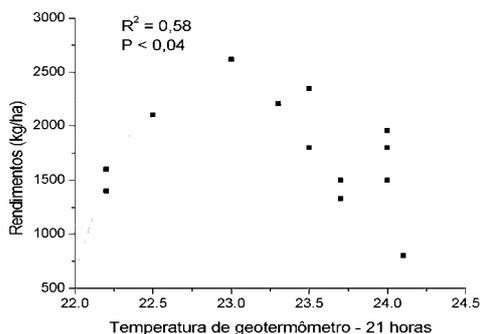


Figura 11. Relação do rendimento de Trigo com a temperatura de geotermômetro de 21h(°C), trimestre: MAM - Cambará.

Referências

- ALFONSI, R. R. Agrometeorologia e sua importância para uma agricultura racional e sustentável. In: SANT'ANNA NETO, J.L.; ZAVATINI, J. A. (Org). *Variabilidade e mudanças climáticas. Implicações ambientais e socioeconômicas*. Maringá: Eduem, p. 213-222.
- ALMEIDA, I.R. Variabilidade pluviométrica interanual e produção de soja no Estado do Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA, 9, 2000. Rio de Janeiro, 27/11 a 01 de dezembro, 2000. CD/ROM, s/d.
- BRYNSZTEIN, S.; NERY, J.T. Estudo da Variabilidade da temperatura mínima de Maringá: máxima entropia. *Revista*

Unimar, Maringá, v. 16, n. 3, p. 539-553, 1994.

CUNHA, G.R. *et al.* Sistema de zoneamento de riscos climáticos para a cultura de trigo no Brasil. *Rev. Bras. Agrometeorol.*, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 125-132, 1998.

CUNHA, G.R. *et al.* Zoneamento agrícola e época de semeadura para a soja no Rio Grande do Sul. *Rev. Bras. Agrometeorol.*, Santa Maria, v. 9, n. 3, p. 446-459, 2001.

GERARDI, L. H.; SILVA, B.C.N. *Quantificação em Geografia*. São Paulo: Difel, 1981.

GONÇALVEZ, S.L. *et al.* Riscos de deficiência hídrica e épocas de semeadura de milho (*zea mays L.*) na região de Campos Gerais do Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA., 5, 2002, Curitiba, 04 a 06 de dezembro, 2002. CD/ROM, p. 2623-2626.

MOTA, F. S.; AGENDES, M. O. O. *Clima e Agricultura no Brasil*. Porto Alegre: Sagra, 1986.

SANTOS, R. L. Estudo comparativo de dois métodos de análise climática utilizados na agricultura: A curva ombrotérmica e o balanço hídrico. *Boletim de Geografia Teorética*, v. 25, n. 49-50, p. 253-65, 1995.

SILVA, W. C. M. *et al.* Temperatura do ar e a duração dos estágios fenológicos do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA., 3, 2001. Maringá, 2001. CD/ROM s/d.

SPIEGEL, R. M. *Estatística*. 3. ed. São Paulo: Makron Books, 1993.

TUBELIS, A. *A Chuva e a Produção Agrícola*. São Paulo: Nobel, 1988.

Received on July 12, 2004.

Accepted on March 03, 2005.