

Efeito de NPK na produtividade e componentes químicos do girassol¹

Influence of NPK on yield and chemical components of sunflower

Luís Guilherme Sachs^{2*}; Antonio Paulo Portugal²; Sandra Helena Prudencio-Ferreira³; Elza Iouko Ida³; Paula Jimena Diniz Sachs⁴; Juliane Priscila Diniz Sachs⁵

Resumo

O objetivo do trabalho foi avaliar a influência da adubação NPK na produtividade e teores de óleo, proteínas e fitoquímicos no girassol e explorar o potencial do modelo matemático nas contribuições marginais dos efeitos da adubação. O ensaio de campo foi conduzido em um modelo fatorial incompleto 3³, em dois blocos casualizados, com 15 parcelas por bloco, onde se empregou os níveis zero, 30 e 60 kg ha⁻¹ de N, P e K. Observou-se aumento de produtividade de aquênios com doses estimadas de até 55 kg de N ha⁻¹, 41 kg ha⁻¹ de K₂O e 46 kg ha⁻¹ de P₂O₅. O teor de óleo nos aquênios aumentou com incremento de K₂O e P₂O₅ e o teor de proteínas diminuiu com incremento de K₂O. Não foram observadas influências da adubação sobre os teores de ácido clorogênico, esteróis totais e fósforo total nos aquênios.

Palavras-chave: Adubação, fitoquímicos, óleo, proteínas, *Helianthus annuus*

Abstract

The objective of this work was to evaluate the NPK influence on yield and oil, proteins and phytochemical contents in sunflower grain and to explore the potential of mathematical model of marginal contributions of fertilization effects. The field experiment was conducted in 3³ incomplete factorial model, in two randomized blocks, with 15 parcels for block. The treatments were zero, 30 and 60 kg ha⁻¹ of N, P and K. The achene yield increased with fertilizer doses until 55 kg of N ha⁻¹, 41 kg ha⁻¹ of K₂O and 46 kg ha⁻¹ of P₂O₅. The achene oil content answered positively to increased K₂O and P₂O₅. Proteins content decreases as K₂O rate increases. No influence of the fertilization was observed in concentrations of chlorogenic acid, total sterols and total phosphorus on achene.

Key words: Fertilization, phytochemical, oil, proteins, *Helianthus annuus*.

¹ Resumo apresentado na XVI Reunião Nacional de Pesquisa de Girassol

² Fundação Faculdades Luiz Meneghel/Universidade Estadual do Paraná –FFALM /UNESPAR. Bandeirantes-PR. E-mails: sachs@ffalm.br/ apportugal@ffalm.br

³ Universidade Estadual de Londrina–UEL Campus Universitário Londrina – PR. E- mails:sandrah@uel.br/elida@uel.br.

⁴ Mestranda em Agronomia - Universidade Estadual de Londrina–UEL. E-mail: pjdsachs@yahoo.com.br.

⁵ Doutoranda em Química Analítica do Instituto de Química da Universidade de São Paulo - IQ-USP. São Paulo. E-mail: jsachs@iq.usp.br.

* Autor para correspondência

Introdução

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma oleaginosa de ampla adaptabilidade às diferentes condições edafoclimáticas, cujo rendimento agrícola é pouco influenciado pela latitude, altitude e fotoperíodo (CASTRO; CASTIGLIONI; BALLA, 1993). O seu cultivo é estratégico para rotação com culturas de verão e inverno nas latitudes maiores. É tolerante à seca, no entanto, a disponibilidade de água é determinante no rendimento agrícola desta cultura (SCHEINER; LAVADO, 1999; NIELSEN, 2001). A exigência nutricional do girassol é superior à de outras culturas como trigo, sorgo e milho, requerendo quantidade maior de nitrogênio e outros macronutrientes (VIGIL, 2000).

A composição química do grão de girassol depende do genótipo da planta, tratos culturais, condições climáticas e outros fatores do ambiente (REYES et al., 1985; SAEED; CHERYAN, 1988; CARRÃO-PANIZZI; MANDARINO, 1994). Além do óleo de girassol, as proteínas têm despertado interesse para utilização na formulação de alimentos para consumo humano devido, principalmente, às suas propriedades funcionais do que pelo seu valor nutritivo (SAEED; CHERYAN, 1988; VENKTESH; PRAKASH, 1993).

O girassol é rico em alguns fitoquímicos como fitatos, ácido clorogênico e fitoesteróis. Em outras culturas foi observado que com o incremento da adubação fosfatada aumenta o teor de fósforo nos grãos, principalmente na forma de fitatos, sendo que em condições normais de disponibilidade de fósforo, o fitato representa mais de 80% do fósforo total (BUERKERT et al., 1998; MÖLLERS et al., 1999). O ácido fítico está presente em muitos grãos na forma de fitato como sais de potássio-magnésio (LOLAS; PALAMIDAS; MARKAKIS, 1976). O ácido fítico forma complexo insolúvel com cálcio, zinco e magnésio e também com proteínas e portanto, considerado como antinutriente que reduz a biodisponibilidade desses minerais (MAGA, 1982). Pesquisas recentes demonstram que o fitato tem papel benéfico na inibição de oxidação lipídica

(GRAF; EATON, 1990; LEE; HENDRICKS, 1997; LEAL, 2000) e na prevenção de doenças do coração e câncer (PAXTON, 2001).

A composição de fitoesteróis no girassol varia de uma safra para outra e mesmo dentro da mesma safra. Fatores genéticos e o local de plantio influenciam o teor de fitoesteróis no óleo de girassol que contém em média 0,3% (VLAHAKIS; HAZEBROEK, 2000). Desde a década de 1950 já se sabia que os fitoesteróis reduzem o teor de colesterol do sangue. E não foram constatados quaisquer efeitos adversos de medicamentos à base de β -sitosterol comercializados há mais de 30 anos. Recentemente surgiram no mercado margarinas com fitoesteróis (INSTITUTE OF FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY, 2000).

O girassol possui também compostos fenólicos como os ácidos clorogênico, caféico e quínico, sendo os dois últimos provenientes da hidrólise do primeiro. Além destes, há também outros compostos em menores concentrações (REYES et al., 1985). O teor de ácido clorogênico do girassol varia conforme a cultivar e em média a semente integral contém cerca de 2% e a farinha integral 3% (REGITANO-D'ARCE; LIMA, 1987; FARAG, 1999).

O objetivo deste trabalho foi investigar o efeito da adubação para estimar as contribuições do nitrogênio, fósforo e potássio na produtividade e composição dos aquênios de girassol.

Material e Métodos

As sementes de girassol utilizadas para multiplicação e ensaios foram da variedade EMBRAPA 122 V2000, obtidas na Embrapa Soja em Londrina-PR.

No experimento de campo foi empregado o modelo fatorial incompleto 3^3 (Tabela 1) com dois blocos casualizados contendo 15 parcelas no bloco. As variáveis independentes (x_1 , x_2 e x_3) foram N, K_2O e P_2O_5 e os níveis codificados (-1, 0 e 1) de adubação de cada variável foram zero, 30 ou 60 kg ha⁻¹. As variáveis dependentes ou funções respostas foram:

v_{aq} = rendimento em kg de aquênios ha^{-1} ; $v_{(1000aq)}$ = massa de 1000 aquênio em (g); $v_{(aq/cap)}$ = n° de aquênio/capítulo, $v_{(‰o)}$ = porcentagem de óleo nos aquênios; $v_{(ol/ha)}$ = rendimento em kg de óleo ha^{-1} ; $v_{(prot)}$ = porcentagem de proteínas nas amêndoas; $v_{(P)}$ = porcentagem de fósforo total nos aquênios; $v_{(AcCl)}$ = porcentagem de ácido clorogênico nos aquênios; $v_{(E)}$

= porcentagem de esteróis totais nos aquênios. As análises de regressão e variância foram realizadas com o programa StatSoft Statistica 5.0 (BOX; WILSON, 1951; HENIKA; PALMER, 1976; STATSOFT, 2003) e os mapas de contorno de superfície de resposta foram construídos com o mesmo programa.

Tabela 1. Modelo fatorial incompleto 3^3 com as variáveis independentes^a e níveis de variação^b

Parcela	Níveis das Variáveis			Parcela	Níveis das Variáveis			Parcela	Níveis das Variáveis		
	x_1	x_2	x_3		x_1	x_2	x_3		x_1	x_2	x_3
1	-1	-1	0	6	1	0	-1	11	0	-1	1
2	1	-1	0	7	-1	0	1	12	0	1	1
3	-1	1	0	8	1	0	1	13	0	0	0
4	1	1	0	9	0	-1	-1	14	0	0	0
5	-1	0	-1	10	0	1	-1	15	0	0	0

^aVariáveis independentes: N, K_2O e P_2O_5 , codificadas como x_1 , x_2 e x_3 respectivamente

^bNíveis de adubação: zero, 30 ou 60 $kg ha^{-1}$, codificados como -1, 0 e 1 respectivamente

A multiplicação do material genético foi conduzida no município de Bandeirantes-PR (23 06' S; 50 21' W, 440 m de altitude, Latossolo Roxo Eutrófico-LRe), após um pré-ensaio de campo para obter material suficiente para as avaliações. A semeadura foi realizada em Fevereiro de 2000 e a colheita em Junho de 2000. Durante o ciclo da cultura a temperatura média foi de 20,8°C, umidade relativa do ar de 70% e a precipitação pluviométrica de 310 mm. O ensaio de campo foi realizado aleatoriamente e consistiu de 2 blocos casualizados com 15 parcelas no bloco. Cada parcela continha 5 linhas de 5 m de comprimento, com espaçamento de 33 cm entre plantas e 70 cm entre linhas. De cada parcela foi desprezada uma linha de bordadura de cada lado e 1 m das pontas de cada linha. Foi aplicado Boro na dosagem equivalente a 1 $kg ha^{-1}$ em todas as parcelas e seguidas as demais recomendações da EMBRAPA para a condução da cultura até a colheita (BALLA; CASTIGLIONI; CASTRO, 1997; CASTIGLIONI et al., 1997).

Foram utilizados para determinações químicas:

método 46-13 da American Association of Cereal Chemistry (1983), para teor de proteína, método 30-26 da American Association of Cereal Chemistry (1983), para teor de óleo, método de Chen Júnior, Toribara e Warner (1956), para fósforo total, método de Bittoni et al. (1977), para ácido clorogênico, método de Blaya (1963), para esteróis totais e método 44-15 da American Association of Cereal Chemistry (1983), para teor de umidade.

Resultados e Discussão

A análise da terra do local do ensaio de campo (Tabela 2) revelou que as condições de fertilidade e acidez do solo foram boas para o cultivo de girassol, conforme descrições de Sfredo, Campo e Sarruge (1984) e Castiglioni et al. (1997). As doses dos adubos utilizadas no ensaio compreenderam as recomendações de Castro et al. (1997a) e Castro, Castiglioni e Balla (1997) para a região. Entretanto todo nitrogênio foi aplicado ao solo durante a semeadura (CASTRO; CASTIGLIONI; SFREDO, 1999).

Tabela 2. Análise da terra do local do ensaio de campo

Item analisado	Resultado
pH em CaCl ₂	5,9
C (g dm ⁻³)	22
P (mg dm ⁻³) [extrator MEHLICH]	12,6
K (cmol _c dm ⁻³ TFSA)	0,27
Ca + Mg (cmol _c dm ⁻³ TFSA)	15,0
Ca (cmol _c dm ⁻³ TFSA)	12,5
Al trocável (cmol _c dm ⁻³ TFSA)	0,0
H + Al (cmol _c dm ⁻³ TFSA)	3,3
Soma de bases (cmol _c dm ⁻³ TFSA)	15,3
Capacidade de troca total (cmol _c dm ⁻³ TFSA)	18,2
Saturação de bases (%)	84
Alumínio (%)	0

TFSA = Terra fina seca ao ar; cmolc = centimol de cargas.

A produtividade de aquênios variou de 1387 a 1738 kg.ha⁻¹, a massa de 1000 aquênios foi de 46,2 a 52,7 g e número aquênio por capítulo de girassol foi de 688 a 818 unidades (Tabela 3). O teor de

proteínas nas amêndoas foi de 20,9 a 27,4% em massa, o teor de óleo variou de 40,9 a 43,2 % em massa (Tabela 4).

Tabela 3. Produtividade de aquênios, massa de 1000 aquênios, aquênio/capítulo de girassol EMBRAPA 122 V 2000

Parcela	Aquênio (kg ha ⁻¹)		1000 Aquênios (g)		nº de Aquênios/ capítulo	
	B ₁	B ₂	B ₁	B ₂	B ₁	B ₂
1	1387	1427	46,6	47,4	697	699
2	1642	1655	51,5	50,2	745	752
3	1519	1506	48,2	49,2	733	714
4	1624	1738	51,1	51,1	725	795
5	1430	1410	46,2	46,2	704	692
6	1575	1638	50,3	48,4	742	805
7	1486	1526	48,1	48,3	723	744
8	1587	1674	52,7	50,1	688	790
9	1459	1501	47,2	47,8	703	745
10	1492	1634	48,6	48,8	709	782
11	1648	1559	50,5	48,9	752	746
12	1543	1700	50,3	50,8	716	766
13	1660	1623	49,7	49,3	764	780
14	1662	1614	50,0	49,7	769	770
15	1711	1592	49,5	50,1	818	733
m	1574		49,2		743	
s	50,8		0,651		28,9	
cv%	3,20		1,30		3,89	
R ²	0,79		0,87		0,33	
p t	<0,05		<0,05		<0,05	

B = bloco; m = média; s = desvio padrão da amostra; cv% = coeficiente de variação percentual; R² = coeficiente de determinação múltiplo; p|t| = probabilidade de t (significativo para p<0,05)

Tabela 4. Teor de proteínas nas amêndoas, e teor de óleo e fitoquímicos nos aquênios de girassol EMBRAPA 122 V 2000.

Parcela	Proteínas amêndoas (% em massa)		Óleo aquênio (%)		Fósforo total (%)		Ácido clorogênico (%)		Esteróis totais (%)	
	B ₁	B ₂	B ₁	B ₂	B ₁	B ₂	B ₁	B ₂	B ₁	B ₂
1	23,3	25,1	42,3	42,1	0,513	0,497	1,8	1,74	0,138	0,117
2	24,1	25,8	41,9	41,7	0,491	0,495	1,58	1,84	0,113	0,111
3	22,7	24,7	43,0	42,6	0,499	0,513	1,74	1,67	0,133	0,127
4	25,0	22,7	42,8	43,2	0,510	0,491	1,73	1,71	0,133	0,131
5	27,4	24,4	41,8	41,7	0,489	0,495	1,53	1,67	0,111	0,126
6	25,8	25,8	41,4	41,7	0,510	0,474	1,82	1,56	0,137	0,128
7	20,9	26,4	43,0	42,7	0,481	0,509	1,61	1,85	0,114	0,131
8	25,3	22,5	42,7	43,2	0,540	0,503	1,59	1,69	0,117	0,135
9	28,4	24,6	40,9	41,1	0,500	0,503	1,76	1,69	0,120	0,133
10	24,3	26,1	42,4	42,3	0,479	0,509	1,78	1,52	0,125	0,120
11	24,4	24,6	42,2	42,9	0,490	0,477	1,71	1,52	0,114	0,131
12	22,8	23,3	43,2	43,2	0,521	0,493	1,83	1,62	0,111	0,117
13	21,0	24,3	42,9	42,3	0,519	0,489	1,71	1,60	0,133	0,129
14	24,2	26,8	42,4	42,1	0,490	0,494	1,76	1,83	0,113	0,134
15	23,3	24,6	43,1	42,8	0,492	0,500	1,64	1,78	0,111	0,120
m	24,5		42,4		0,499		1,70		0,124	
s	1,60		0,296		0,0153		0,111		0,00309	
CV%	6,53		0,698		3,07		6,53		2,49	
R ²	0,34		0,84		0,12		0,08		0,13	
p t	<0,05		<0,05		>0,05		>0,05		>0,05	

B = bloco; m = média; s = desvio padrão da amostra; cv% = coeficiente de variação percentual; R² = coeficiente de determinação múltiplo; p|t| = probabilidade de t para a regressão (significativo para p<0,05)

Considerando apenas os efeitos para os valores de F significativos (p<0,05) (Tabela 5) foram obtidas as seguintes equações gerais das regressões para as respectivas funções respostas:

equação

$$v_{aq} = (-0,060N^2) + 6,593N + (-0,031P^2) + 2,835P + (-0,055K^2) + 4,489K + 1357 \quad (I)$$

$$v_{(1000aq)} = (-0,00035N^2) + 0,07309N + 0,00002P^2 + 0,01536P + (-0,00068K^2) + 0,07422K + 45,73 \quad (II)$$

$$v_{(aq/cap)} = (-0,0217N_1^2) + 2,0024N_1 + 713,25 \quad (III)$$

$$v_{(‰o)} = (-0,00008P^2) + 0,02045P + (-0,00027K^2) + 0,03670K + 41,15 \quad (IV)$$

$$v_{(ol/ha)} = (-0,0268x_1^2) + 2,86x_1 + (-0,0143x_2^2) + 1,53x_2 + (-0,0273x_3^2) + 2,4698x_3 + 556 \quad (V)$$

$$v_{(prot)} = 0,000780K^2 + (-0,0811K) + 25,8 \quad (VI)$$

Onde: v_{aq} = kg de aquênios ha⁻¹; $v_{(1000aq)}$ = massa de 1000 aquênio em (g); $v_{(aq/cap)}$ = aquênio/capítulo, $v_{(‰o)}$ = percentagem de óleo no aquênio; $v_{(ol/ha)}$ = kg óleo ha⁻¹; $v_{(prot)}$ = percentagem de proteínas nas amêndoas; N = kg de N ha⁻¹; P = kg de P₂O₅ ha⁻¹; K = kg de K₂O ha⁻¹

Tabela 5. Probabilidades de F* para as variáveis dependentes.

Variáveis independentes	Variáveis dependentes							
	produtividade de (kg ha ⁻¹)	massa 1000 aquênios (g)	nº de aquênio/capítulo	teor de óleo aquênio (% m/m)	Proteína/amêndoa (% m/m)	Fósforo total (% m/m)	Ácido clorogênico (% m/m)	Esteróis totais (% m/m)
Blocos	0,19	0,28	0,06	0,80	0,36	0,32	0,63	0,24
N (L)	<0,001	<0,001	0,01	0,59	0,76	0,80	0,84	0,84
N (Q)	0,01	0,21	0,05	0,47	0,91	0,51	0,93	0,46
P ₂ O ₅ (L)	0,03	0,01	0,37	<0,001	0,22	0,43	0,93	0,62
P ₂ O ₅ (Q)	0,15	0,95	0,10	0,47	0,91	0,98	0,81	0,84
K ₂ O (L)	0,01	<0,001	0,71	<0,001	0,03	0,38	0,84	0,46
K ₂ O (Q)	0,02	0,02	0,18	0,02	0,28	0,87	0,22	0,74
N (L) x P ₂ O ₅ (L)	0,27	0,12	0,73	0,14	0,81	0,76	0,64	0,23
N (L) x K ₂ O (L)	0,40	0,95	0,10	0,45	0,89	0,24	0,26	0,47
P ₂ O ₅ (L) x K ₂ O (L)	0,38	0,73	0,47	0,09	0,95	0,16	0,25	0,75
N L+Q	<0,001	<0,001	0,01	0,67	0,95	0,78	0,98	0,74
P ₂ O ₅ L+Q	0,04	0,02	0,18	<0,001	0,46	0,73	0,97	0,87
K ₂ O L+Q	0,003	<0,001	0,38	<0,001	0,05	0,66	0,46	0,72

*F significativos quando p<0,05; L = linear; Q = quadrático

A equação do efeito do nitrogênio sobre a produtividade de aquênios (equação I) tem a 2ª derivada igual a $-K$, indicando a existência de ponto de máximo, e como uma das raízes da função está na origem dos eixos, pela 1ª derivada estimou-se a dose de melhor resposta de 55 kg de N ha⁻¹. Valores semelhantes foram encontrados por Massey (1971) e Geleta et al. (1997), porém, Passone e Vazquez (1998) não observaram aumento na produtividade com taxas crescente de até 150 kg de N ha⁻¹. Dependendo do tipo de solo e da forma de aplicação do nitrogênio pode ocorrer resposta a doses maiores (FLECK; SILVA, 1989; SCHUCH; MUNDSTOCK, 1994). Halvorson et al. (1999) obtiveram melhor resposta com dose da ordem de 100 kg de N ha⁻¹.

O girassol exige mais nitrogênio do que outras culturas (VIGIL, 2000), porém se o teor de carbono no solo for superior a 2%, como ocorreu neste ensaio

(Tabela 2), em expectativa de produção de até 1700 kg ha⁻¹ de aquênio, não há necessidade da aplicação de nitrogênio (CROISSANT; FOLLETT, 1992; MORTVEDT; JOHNSON; CROISSANT, 1996). Com adubação e mesmo não havendo aumento de produtividade, pode ocorrer alteração em outras características, como na composição do grão (SOSA et al., 1999) e maior tolerância à seca (SCHEINER; LAVADO, 1999). Em alta densidade de plantas a suplementação de nitrogênio aumentou a produtividade de grão (ALMEIDA; SILVA, 1993).

Derivando a equação I para o efeito do potássio, estimou-se em 41 kg de K₂O ha⁻¹ como a dose para a máxima produtividade de aquênios. O girassol não irrigado não necessitou de adubação em solo com mais de 60 ppm de potássio (MORTVEDT; JOHNSON; CROISSANT, 1996). Teor inferior limitou o rendimento do girassol (BORKERT et al.,

1997). No entanto, a terra deste ensaio continha 105 ppm de potássio (Tabela 2) e houve resposta positiva à adubação. Outros fatores intrínsecos ao solo e ao clima podem ter influenciado.

A retirada de fósforo do solo pelo girassol é cerca de 1% da massa dos grãos (VIGIL, 2000), contudo em solos com teor superior a 14 ppm não é necessária a adubação fosfatada, porém, quando ocorrer, recomenda-se que seja na área explorada pela raiz, isto devido à baixa mobilidade do fosfato no solo (MORTVEDT; JOHNSON; CROISSANT, 1996). Apesar do solo deste ensaio apresentar 12,6 ppm de fósforo (Tabela 2), houve resposta positiva a este nutriente, sendo que o ponto de máxima dosagem (equação I) foi estimado em 46 kg de P_2O_5 ha⁻¹ para a resposta da produtividade de aquênios. Isto pode ser explicado pelo elevado teor de óxidos de ferro no solo que fixa parte do fósforo.

Além da densidade de planta, a produtividade por hectare depende da massa dos aquênios e do número de aquênios/capítulo de girassol. Como estes parâmetros responderam à adubação e sendo variáveis dependentes, justifica-se a busca das melhores condições de adubação para otimizar o binômio número de aquênio/capítulo e massa de 1000 aquênios. A massa dos aquênios foi influenciada pelos fertilizantes N, P_2O_5 e K_2O , que representaram funções polinomiais de segunda ordem (equação II). Derivando os polinômios, encontraram-se os pontos de máxima resposta para o K_2O (54 kg ha⁻¹) e para o N (104 kg ha⁻¹), e ponto de mínima resposta para o P_2O_5 encontra-se na origem. Como as doses dos fertilizantes empregadas no ensaio foram de até 60 kg ha⁻¹, todos responderam de maneira ascendente até o limite empregado. A relação aquênio/amêndoa não foi influenciada pela fertilização. Diversos fatores influenciaram a massa dos aquênios, tais como, tratos culturais (FLECK; VIDAL, 1993), densidade de planta (ALMEIDA; SILVA, 1993), época de semeadura (SOLASI; MUNDSTOCK, 1992), cultivar e linhagem

(CASTIGLIONI; OLIVEIRA; ARIAS, 1999) e adubação (SCHUCH; MUNDSTOCK, 1994; SILVA; WENDT; ROCHA, 1997).

O número de aquênio/capítulo foi influenciado pela adubação nitrogenada com resposta máxima na dose de 46 kg ha⁻¹ (equação III). Vários fatores afetam o desenvolvimento do capítulo, determinando o número potencial de flores e conseqüentemente o número de aquênios, estes fatores são a época de semeadura (SANGOI; KRUSE, 1993; ALMEIDA; SILVA, 1993; SOLASI; MUNDSTOCK, 1992), cultivar e linhagem (SANGOI; KRUSE, 1993; SOLASI; MUNDSTOCK, 1992; CASTIGLIONI; OLIVEIRA; ARIAS, 1999), tratos culturais (FLECK; VIDAL, 1993), densidade de planta (ALMEIDA; SILVA, 1993), diferentes safras (SILVA; WENDT; ROCHA, 1997), dose de nitrogênio (SCHUCH; MUNDSTOCK, 1994) e frequência de insetos polinizadores (MORETI et al., 1996).

Os domínios das parábolas das funções da adubação nitrogenada para aquênio/capítulo e massa de 1000 aquênio foram respectivamente, [0 e 92] e [0 e 234] kg de N ha⁻¹. Com o binômio aquênio/capítulo e massa de 1000 aquênios, obteve-se uma nova equação para estimar a produtividade, cujo domínio da parábola foi [0 e 116] kg de N ha⁻¹, estando mais próximo do estimado para aquênio/capítulo que evidenciou que este parâmetro apresentou maior influencia na produtividade.

Analisando as superfícies de resposta verificou-se que os nutrientes N, P e K influenciaram a produtividade até certo nível de incremento da adubação e a partir deste nível houve uma tendência à estabilização (Figura 1). Esta tendência à estabilidade pode ser visualizada comparando os cortes 30 e 60 kg de P_2O_5 ha⁻¹ que produziram semelhantes superfícies de respostas (Figuras 1B e 1C) e praticamente se sobrepueram (Figura 1D).

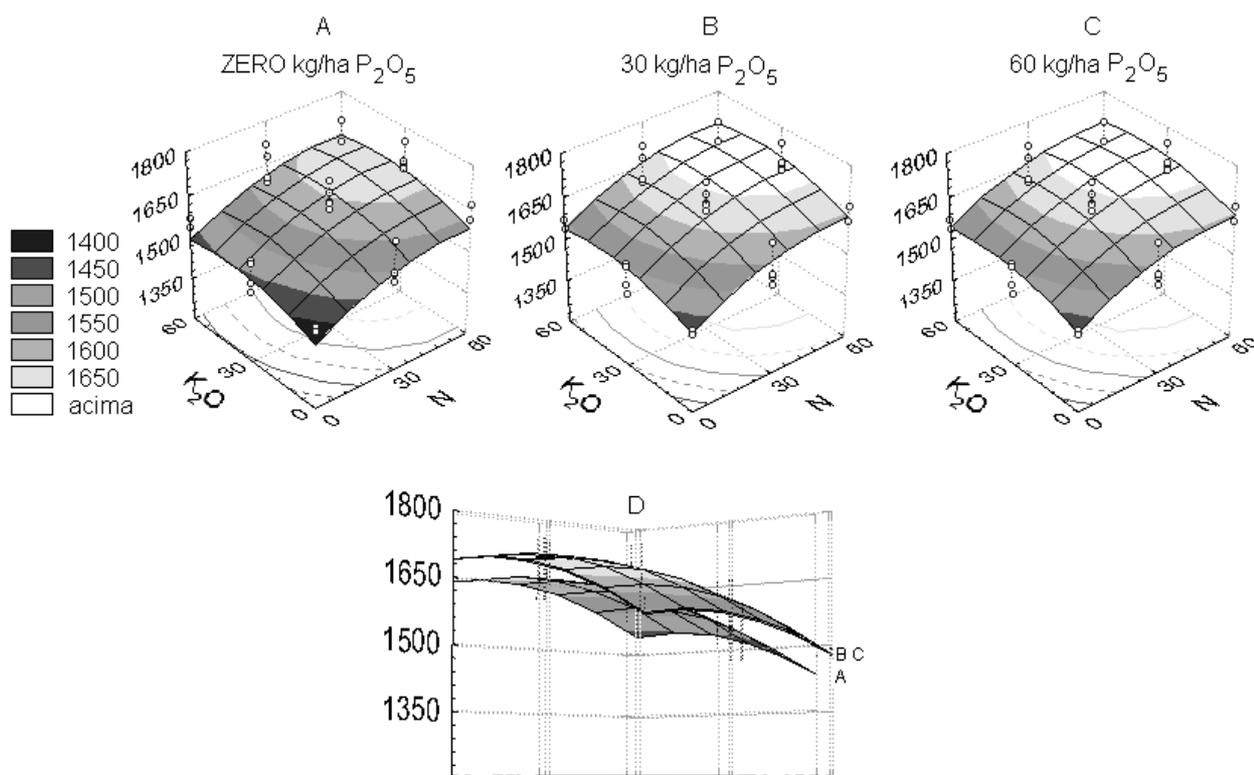


Figura 1. Superfícies de respostas da influência da fertilização da terra com N, P₂O₅ e K₂O (kg ha⁻¹) sobre a produtividade de aquênios de girassol (kg ha⁻¹) (D representa a sobreposição das superfícies A, B e C)

O teor de óleo nos aquênios foi influenciado pelos fertilizantes K₂O e P₂O₅, mas todos os fertilizantes empregados influenciaram a produção de óleo ha⁻¹ (Tabela 5). Derivando a equação IV para os efeitos dos fertilizantes, estimou-se a máxima resposta para o teor de óleo nos aquênios com as dosagens de 128 kg de P₂O₅ ha⁻¹ e 68 kg de K₂O ha⁻¹. Já para produção de óleo ha⁻¹ as dosagens dos fertilizantes foram estimados em 53, 53 e 45 kg ha⁻¹, para N, P₂O₅ e K₂O respectivamente (equação V). O teor de óleo nos grãos e a produtividade por unidade de área podem ser influenciados por dessecação (VIDAL; FLECK, 1993), cultivar e linhagem (CASTIGLIONI; OLIVEIRA; ARIAS, 1999), época de semeadura (SOLASI; MUNDSTOCK, 1992), densidade de plantas (SILVA et al., 1995), adubação (BONO; MONTO; BABINEC, 1999), dentre outros. Bono, Monto e Babinec (1999) observaram que o rendimento de óleo nos aquênios respondeu

positivamente aos fertilizantes nitrogenado e fosfatado. Em outros ensaios foram observados aumentos do teor de óleo nos aquênios em função da adubação nitrogenada (SCHEINER; LAVADO, 1999), potássica (LEWIS; POTTER; WECKERT, 1991) e fosfatada, sendo que em alguns casos o teor de óleo nos grãos foi inversamente proporcional à dose de nitrogênio aplicada (GELETA et al., 1997). Ahmedkhan et al. (1990) verificaram que Ca, Mg, e B não influenciaram o teor de óleo nos aquênios. Tanto o teor nos grãos quanto a produtividade de óleo por unidade de área são parâmetros importantes comercialmente, mas para a indústria o teor no grão é o mais importante. As produções de óleo ha⁻¹ e aquênios ha⁻¹ responderam similarmente à fertilização, sendo que o óleo representou 42% da massa dos aquênios ($r^2 = 0,95$; $p/2t/2 < 0,001$). Se o objetivo principal do rendimento é a produção de óleo, só se justificam esforços para aumentar o teor de

óleo no grão quando este parâmetro apresentar alta correlação com o aumento da produção total de óleo por unidade de área. De outra forma, deve-se investir apenas na produtividade de aquênios. Analisando dados de outros ensaios, observou-se que ocorreu ensaio em que apenas a massa de aquênios ha^{-1} apresentou alta correlação com a produção de óleo ha^{-1} (CASTIGLIONI; OLIVEIRA; ARIAS, 1999)

e ensaio em que ambos, massa de aquênios ha^{-1} e teor óleo nos grãos, apresentaram alta correlação com a produção de óleo ha^{-1} (VIDAL; FLECK, 1993).

Analisando as superfícies de resposta da influência da adubação sobre o teor de óleo nos aquênios, observou-se que com o aumento da fertilização com K_2O e P_2O_5 ocorreu aumento do teor de óleo nos aquênios (Figura 2).

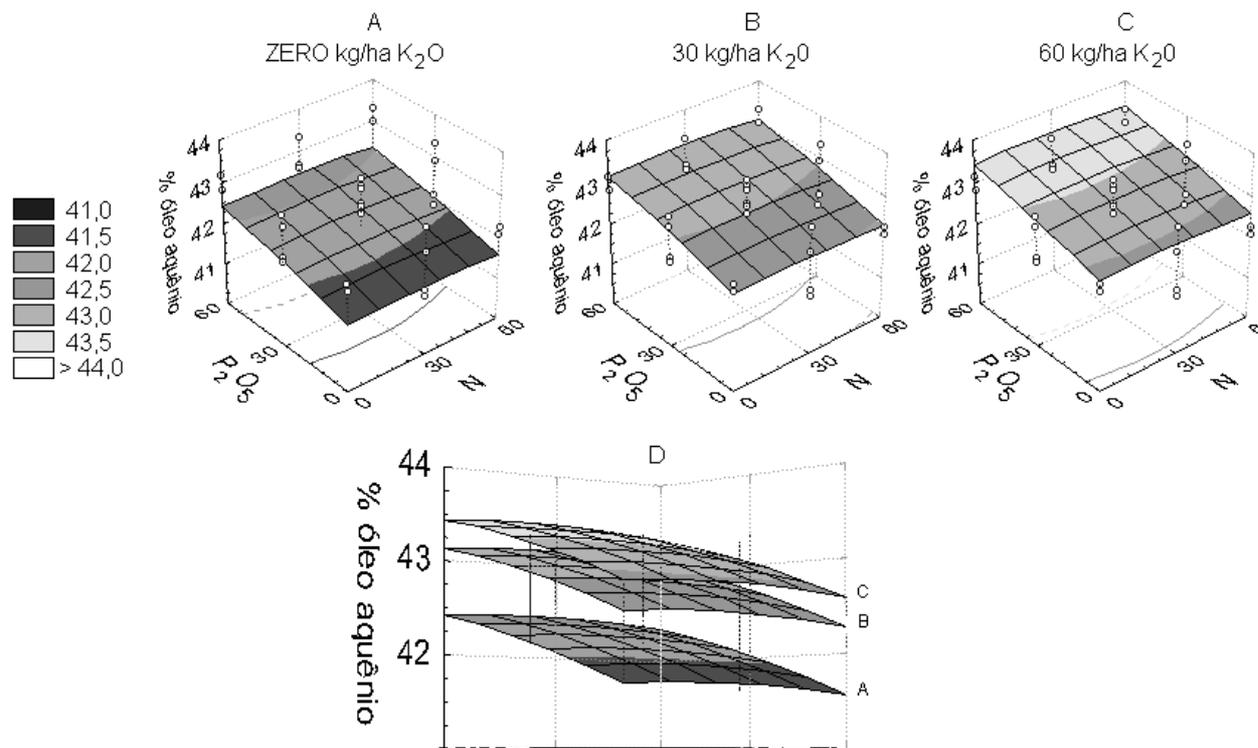


Figura 2. Superfícies de respostas da influência da fertilização da terra com N, P_2O_5 e K_2O (kg ha^{-1}) sobre o teor de óleo nos aquênios (D representa a sobreposição das superfícies A, B e C)

O teor de proteínas nas amêndoas somente foi influenciado pelo fertilizante K_2O . Já a produção estimada de proteínas por hectare foi influenciada apenas pela fertilização nitrogenada. Derivando a equação VI estimou-se que o ponto de mínima dosagem de K_2O foi de 52 kg ha^{-1} para o teor de proteínas nas amêndoas, o que demonstra o efeito negativo deste fertilizante sobre este parâmetro e a dose de N de 55 kg ha^{-1} como ponto de máximo estimado para a produção de proteínas ha^{-1} .

Combinando-se as equações IV e VI e derivando a equação resultante, que representa o efeito dos fertilizantes sobre a relação proteína/óleo, obtém-se como ponto de mínimo, a dose estimada de $62 \text{ kg de } \text{K}_2\text{O ha}^{-1}$. Foi observada uma relação inversa entre o teor de óleo e proteínas no grão, sendo o potássio apontado como responsável pelo incremento do teor de óleo e na redução do teor protéico do grão (TANAKA et al., 1995). A relação proteína/óleo também foi influenciada pelo incremento da fertilização nitrogenada, com redução do teor de óleo

nos aquênios e aumento do teor de proteínas (SOSA et al., 1999; PASSONE; VAZQUEZ, 1998).

A fertilização do solo não apresentou efeito significativo sobre o teor de fósforo total, ácido clorogênico e fitosteróis totais nos aquênios de girassol (Tabela 5).

Senatore et al. (1990) verificaram que os teores de fitosteróis não variaram em função da dosagem e do tratamento com nitrogênio, fósforo e potássio. Entretanto, Vlahakis e Hazebroek (2000) relataram variações significativas do teor de fitosteróis em girassol de acordo com o local de plantio e condições do solo, apontando a fertilidade do solo como a possível causa desta variação.

Ensaio em lavouras com diferentes espécies vegetais têm demonstrado correlação positiva entre a adubação fosfatada e aumento do teor de fósforo nos grãos, principalmente na forma de fitatos (BUERKERT et al., 1998). Möllers et al. (1999) observaram que o teor de fósforo total nos grãos aumentou de 0,24 para 0,72% e o de fitatos de 0,06 para 0,60%. quando aumentou o teor de fósforo de 0,6 mg/100 g para 10,6 mg/100 g de solo seco. O fitato por ser uma reserva secundária de fósforo e usado subsidiariamente nas funções vitais da semente, principalmente na germinação, somente acumula a taxas maiores quando há grande disponibilidade de fósforo no solo. O maior incremento no teor de fitato na semente ocorre em níveis de adubação mais intensa de fósforo, estreitando a relação fósforo/fitato.

A expectativa inicial de que pelo menos a adubação fosfatada influenciasse o teor de fósforo no grão não se confirmou. As hipóteses mais prováveis para este fato foram: (I) a boa fertilidade da terra (12,6 ppm de P) onde foi instalado o ensaio (Tabela 2) atendeu a capacidade da planta em armazenar fósforo no grão; (II) ocorrência de fixação no solo de parte do fosfato empregado na fertilização, uma vez que a terra em questão é rica em óxidos de ferro que

favoreceu tal fato; (III) a quantidade de fósforo aplicada, considerando apenas a camada agricultável do solo (0 a 20 cm) e densidade aparente do solo entre 1,0 a 1,2 g/cm³, correspondeu a um incremento de 0,025 a 0,030 mg de P₂O₅/100 g de solo, na dose máxima empregada neste ensaio. Este incremento foi da ordem 1/350 a 1/400 do empregado por Möllers et al. (1999) quando apuraram aumento no teor de fósforo de até três vezes e de fitatos de até dez vezes nos grãos em função da dose de fósforo.

Conclusões

A produtividade do girassol responde positivamente ao incremento da adubação com Nitrogênio, Fósforo e Potássio.

O teor de óleo no aquênio aumenta com o incremento da adubação com Fósforo e Potássio.

O teor de proteínas na amêndoa reduz com o incremento da adubação com Potássio.

O teor de esteróis totais, ácido clorogênico e fósforo total nos aquênios não são afetados pela adubação com Nitrogênio, Fósforo e Potássio.

Referências

- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTRY. *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*. St. Paul: AACC, 1983. v.1, v.2.
- AHMEDKHAN, T.; VENUGOPAL, K.; DEVAIAH, C.; SEENAPPA, K. Effect of secondary nutrients and boron on some growth characters and yield in sunflower. *Journal of Oilseeds Research*, India, v.7, n.1, p.136-139, 1990.
- ALMEIDA, M. L.; SILVA, P. R. F. Efeito de densidade e época de semeadura e de adubação nas características agrônômicas de girassol – I. Rendimento de grãos e de óleo e seus componentes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.28, n.7, p.833-841, 1993.
- BALLA, A.; CASTIGLIONI, V.B.R.; CASTRO, C. *Colheita do Girassol*. Londrina: EMBRAPA CNPSo, 1997. (EMBRAPA-CNPSo. Doc, n.92).

- BITTONI, A.; SODINI, G.; EMMI, E.; CARDINALI, F. Metodo colorimetrico per la determinazione rapida dei cromogeni fenolici contenuti in farine, concentrati ed isolati proteici di girasole. *Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse*, Milano, v.54, n.10, p.421-424, 1977.
- BLAYA, S. N. *Técnicas Fotocolorimétricas*. Madrid: Martinez Murguia, 1963.
- BONO, A.; MONTO, Y. A. C.; BABINEC, F. J. *Fertilizacion en girasol. resultados obtenidos en tres anos de estudio*. La Pampa: EEA INTA Guillermo Covas, 1999. (Publicación Técnica - Estación Experimental Agropecuaria Anguil, n.48).
- BORKERT, C. M.; SFREDO, G. J.; FARIAS, J. R. B.; CASTRO, C.; SPOLADORI, C. L.; TUTIDA, F. Efeito residual da adubação potássica, sobre girassol e milho, em três diferentes latossolos roxos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.32, n.12, 1997.
- BOX, G. E. P.; WILSON, K. B. On the experimental attainment of optimum conditions. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, London, v.13, p.1-45, 1951.
- BUERKERT, A.; HAAKE, C.; RUCKWIED, M.; MARSCHNER, H. Phosphorus application effects the nutritional quality of millet grain in the Sahel. *Field Crops Research*, Amsterdam, v.57, n.2, p.223-235, 1998.
- CARRÃO-PANIZZI, M. C.; MANDARINO, J. M. G. *Girassol: derivados protéicos*. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1994. (EMBRAPA-CNPSO. Documento, n.74).
- CASTIGLIONI, V. B. R.; BALLA, A.; CASTRO, C.; SILVEIRA, J. M. *Fases de desenvolvimento da planta de Girassol*. Londrina: EMBRAPA CNPSO, 1997. (EMBRAPA-CNPSO. Documento, n.58).
- CASTIGLIONI, V. B. R.; OLIVEIRA, M. F.; ARIAS, C. A. Análise da capacidade combinatória entre linhagens de girassol. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.34, n.6, p.981-988, 1999.
- CASTRO, C.; CASTIGLIONI, V. B. R.; BALLA, A.; LEITE, R. M. V. B. C.; KARAM, D.; MELLO, H. C.; GUEDES, L. C. A.; FARIAS, J. R. B. *A cultura do girassol*. Londrina: Embrapa-CNPSO, 1997a. (Circular Técnica, n.13).
- CASTRO, C.; CASTIGLIONI, V. B. R.; BALLA, A. *Cultura do girassol, tecnologia de produção*. Londrina: Embrapa-CNPSO, 1993. (Embrapa-CNPSO. Documentos, n.67).
- CASTRO, C.; CASTIGLIONI, V. B. R.; BALLA, A. *Cultura do girassol: técnica de produção*. Londrina: EMBRAPA CNPSO. 1997. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, n.67).
- CASTRO, C.; CASTIGLIONI, V. B. R.; SFREDO, G. J. Doses e métodos de aplicação de nitrogênio em girassol. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.56, n.4, p.827-833, 1999.
- CHEN-JÚNIOR, P. S.; TORIBARA, T. S.; WARNER, H. Microdetermination of phosphorus. *Analytical Chemistry*, Washington, v.28, n.11, p.1756-1758, 1956.
- CROISSANT, R. L.; FOLLETT, R. H. *Sunflower production*. Colorado: University Cooperative extension, 1992. (Crop Series: Production, n.0.102). CD ROM.
- FARAG, M. D. E. D. H. Effect of radiation and other processing methods on protein quality of sunflower meal. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, London, v.79, n.12, p.1565-1570, 1999.
- FLECK, N. G.; SILVA, P. R. F. Efeito da época de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do girassol, com e sem controle de plantas daninhas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.24, n.6, p.669-676, 1989.
- FLECK, N. G.; VIDAL, R. A. Efeito das capinas e de outros tratamentos no rendimento do girassol. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.28, n.1 p.107-113, 1993.
- GRAF, E.; EATON, J. W. Antioxidant functions of phytic acid. *Free Radical Biology and Medicine*, New York, v.8, n.1, p.61-69, 1990.
- GELETA, S.; BALTENSPERGER, D. D.; BINFORD, G. D.; MILLER, J. F. Sunflower response to nitrogen and phosphorus in wheat-fallow cropping systems. *Journal of Production Agriculture*, Madison, v.10, n.3, p.466-472, 1997.
- HALVORSON, A. D.; BLACK, A. L.; KRUPINSKY, J. M.; MERRILL, S. D.; TANAKA, D. L. Sunflower response to tillage and nitrogen fertilization under intensive cropping in a wheat rotation. *Agronomy Journal*, Madison, v.91, n.4, jul./aug. p.637-642, 1999.
- HENIKA, R. G.; PALMER, G. M. Response Surface Methodology revisited. In: ANNUAL MEETING. American Association of Cereal Chemists. Local: editora, 1976.
- INSTITUTE OF FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY. *Phytosterol esters (plant sterol and stanol esteres)*. Cambridge: Institute of Food Science e Technology. June 2000. Disponível em: <www.ifst.org> Acesso em: 03 jan. 2001.
- LEAL, E. S. *Extração, obtenção e caracterização parcial de ácido fítico do germe grosso de milho e aplicação como antioxidante*. 2000. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina.
- LEE, B. J.; HENDRICKS, D. G. Metal - catalysed oxidation of ascorbic deoxyribose and linoleic acid as affected by phytic acid in a model system. *Journal of Food Science*, Chicago, v.62, n.5, p.935-938, 1997.

- LEWIS, D. C.; POTTER, T. D.; WECKERT, S. E. The effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer applications on the seed yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) grown on sandy soils and the prediction of phosphorus and potassium responses by soil tests. *Fertilizer Research*, Holanda, v.28, n.2, p.185-190, 1991.
- LOLAS, G. M.; PALAMIDAS, N.; MARKAKIS, P. The phytic acid - total phosphorus relationship in barley, oats, soybeans and wheat. *Cereal Chemistry*, Saint Paul, v.53, n.6, p.867-871, 1976.
- MAGA, J. A. Phytate: Its chemistry occurrence, food interactions, nutritional significance, and methods of analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Easton, v.30, n.1, p.1-9, 1982.
- MASSEY, H. J. Effect of nitrogen rates and plant spacing on sunflower seed yields and other characteristics. *Agronomy Journal*, Madison, v.63, p.137-138, 1971.
- MÖLLERS, C.; LICKFETT, T.; MATTHÄUS, B.; VELASCO, L. Influence of P-fertilizer on phytic acid content in seeds of *Brassica napus* L. and development of a NIRS calibration. In: INTERNATIONAL RAPESEED CONGRESS, 10., 1999, Canberra. *Anais...* Canberra: The Regional Institute, 1999. Disponível em: <www.regional.org.au> Acesso em: 15 dez. 2000.
- MORETI, A. C. C. C.; SILVA, R. M. B.; SILVA, E. C. A.; ALVES, M. L. T. M. F.; OTSUK, I. P. Aumento na produção de sementes de girassol (*Helianthus annuus*) pela ação de insetos polinizadores. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v.53, n.1-2, 1996.
- MORTVEDT, J. J.; JOHNSON, D. L.; CROISSANT, R. L. *Fertilizing sunflowers*. Colorado: University Cooperative extension, 1996. (CROP SERIES: SOIL, n. 0.543) CD ROM.
- NIELSEN, D. C. *Sunflower water use relationships*. 2000. Disponível em: <www.akron.ars.usda.gov> Acesso em: 04 jan. 2001.
- PASSONE, P.; VAZQUEZ, A. G. Evaluación de la respuesta a la fertilización con nitrógeno en girasol en un Hapludol típico del partido de Vedia, Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Facultad de Agronomía, Buenos Aires*, v.17, n.3, p.289-296, 1998.
- PAXTON, S. *Mounting scientific evidence connecting soy protein use with heart disease; cancer prevention*. Disponível em: <www.soybean.com> Acesso em: 02 abr. 2001.
- REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; LIMA, U. A. Emprego de álcool etílico na extração do óleo de girassol (*Helianthus annuus*). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v.7, n.1, p.1-14, 1987.
- REYES, F. G. R.; GARIBAY, C. B.; UNGARO, M. R. G.; TOLEDO, M. C. F. *Girassol: cultura e aspectos químicos, nutricionais e tecnológicos*. Campinas: Fundação Cargil, 1985.
- SAEED, M.; CHERYAN, M. Sunflower protein concentrates and isolates low in polyphenols and phytate. *Journal of Food Science*, Chicago, v.53, n.4, p.1127-1131, 1988.
- SANGOI, L.; KRUSE, N. D. Comportamento de cultivares de girassol em diferentes épocas de semeadura no planalto catarinense. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.28, n.1 p.81-91, 1993.
- SCHEINER, J. D.; LAVADO, R. S. Soil water content, absorption of nutrient elements, and responses to fertilization of sunflower: a case study. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.22, n.2, p.369-377, 1999.
- SCHUCH, L. A. B.; MUNDSTOCK, C. M. Resposta do girassol a doses e ao parcelamento da aplicação do nitrogênio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.29, n.3, p.381-387, 1994.
- SENATORE, F.; SIMONE, F.; DINI, A.; RAMUNDO, E.; BASSO, F.; SIMONE, F. Effects of N P K fertilization on sterol and fatty acid content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seeds. *Rivista Italiana delle Sostanza Grasse*, Milano, v.67, n.10, p.503-506, 1990.
- SFREDO, G. J.; CAMPO, R. J.; SARRUGE, J. R. *Girassol: nutrição mineral e adubação*. Londrina: Embrapa-CNPSo, 1984. (Circular Técnica, n.8).
- SILVA, P. R. F.; RIZZARDI, M. A.; TREZZI, M. M.; ALMEIDA, M. L. Densidade e arranjo de plantas em girassol. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.30, n.6, p.797-810, 1995.
- SILVA, P. R. F.; WENDT, W.; ROCHA, A. B. Manejo do solo e adubação na cultura do girassol em sucessão à aveia-preta. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.32, n.6, p.641-647, 1997.
- SOLASI, A. D.; MUNDSTOCK, C. M. Época de semeadura e características do capítulo de cultivares de girassol. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.27, n.6, p.873-879, 1992.
- SOSA, L. J.; ECHEVERRIA, H. E.; DOSIO, G. A. A.; AGUIRREZABAL, L. A. N. Evaluacion de la nutricion nitrogenada de girasol cultivado en Balcarce. *Ciencia del Suelo*, La Plata, v.17, n.1, p.20-26, 1999.
- STATSOFT STATISTICA. *Electronic Statistics Textbook*. Tulsa: Statsoft Inc., 2003. Disponível em:<www.statsoft.com> Acesso em: 28 jun. 2003

TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; GALLO, P. B. Concentração e produtividade de óleo e proteína de soja em função da adubação potássica e da calagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.30, n.4, p.463-469, 1995.

VENKTESH, A.; PRAKASH, V. Functional properties of the total proteins of sunflower (*Helianthus annuus L.*) seed-effect of physical and chemical treatments. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, Easton, v.41, p.18-23, 1993.

VIDAL, R. A.; FLECK, N. G. Antecipação da colheita do girassol através da dessecação das plantas com herbicidas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.28, n.5, p.585-591, 1993.

VIGIL, M. F. *Fertilization in Dryland Cropping Systems: a brief overview* Central Great Plains Research Station - USDA-ARS, 2000. Disponível em: <www.akron.ars.usda.gov> Acesso em: 12 dez. 2000.

VLAHAKIS, C.; HAZEBROEK, J. Phytosterol accumulation in canola, sunflower, and soybean oils: effects of genetics, planting location, and temperature. *Journal of the American Oil Chemists Society*, Chicago, v.77, n.1, p.49-53, 2000.