

Desempenho agrônômico da cultura do girassol em diferentes condições edafoclimáticas do Sudeste paranaense

Maria de Fátima dos Santos Ribeiro ^(1*); Edelclaiton Daros ⁽²⁾; Eduardo Fávero Caires ⁽³⁾; Maria Elisabeth da Costa Vasconcellos ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR), Polo Regional de Pesquisa de Ponta Grossa, Caixa Postal 129, Ponta Grossa (PR).

⁽²⁾ Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba (PR).

⁽³⁾ Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), Ponta Grossa (PR).

⁽⁴⁾ IAPAR, Londrina (PR).

(*) Autora correspondente: fatima_ribeiro@iapar.br

Recebido: 16/set./2010; Aceito: 2/mar./2011.

Resumo

O objetivo do presente trabalho foi quantificar as faixas de rendimentos acessíveis em diferentes condições edafoclimáticas do Sudeste paranaense e hierarquizar os fatores relacionados à variabilidade dos rendimentos observados. Foram avaliadas 26 situações culturais em 13 estabelecimentos familiares, em 2007 e 2008. As variáveis de componente do rendimento e estado nutricional da cultura foram determinadas pela coleta de dados em campo, e as variáveis de estado hídrico foram estimadas com o uso de um modelo de simulação do balanço hídrico. Estas foram analisadas pela Análise de Componentes Principais, classificando-se, posteriormente, as observações pela Análise de Agrupamento. Foram utilizadas as cultivares BRS 122, CATISSOL e Helio 250. Foram agrupados os valores de rendimento de aquênios em três classes, segundo os seguintes valores médios: rendimentos altos: 1995 kg ha⁻¹; rendimentos médios: 1359 kg ha⁻¹; rendimentos baixos: 961 kg ha⁻¹. Os valores de rendimento de óleo também foram agrupados nas seguintes classes, segundo os seguintes valores médios: rendimentos altos: 927 kg ha⁻¹; rendimentos médios: 543 kg ha⁻¹; rendimentos baixos: 423 kg ha⁻¹. A variabilidade dos rendimentos (aquênios e óleo) foi explicada pela variabilidade no número de aquênios por capítulo. Em 2008, a variabilidade no número de aquênios por capítulo esteve correlacionada à deficiência hídrica em R1-R4 e R4-R6 e aos teores de Ca, B e P no tecido foliar. Ocorreu inibição competitiva entre K e Mg, porém este fenômeno não esteve correlacionado à variabilidade do número de aquênios por capítulo. Ocorreu estresse hídrico durante o enchimento de aquênios, porém este não explicou a variabilidade no rendimento de aquênios e de óleo.

Palavras-chave: diagnóstico agrônômico, análise multivariada, biodiesel, oleaginosas, *Helianthus annuus*.

Agronomic performance of sunflower crop in the Southeastern region of Paraná, Brazil

Abstract

This work aimed to quantify the sunflower crop under different soil and climate conditions of the Southeastern region of the State of Paraná, and to hierarchise the main factors related to the variability of crop yield. Twenty-six cropping conditions established during 2007 and 2008 cropping seasons were evaluated. Data regarding yield components and nutritional status were collected in the field, while crop water status was estimated with the use of a simulation model. The data was analyzed through the Principal Component and Cluster Analysis. Two open-pollinated varieties (BRS 122 and CATISSOL) and one hybrid (Helio 250) were used. Grain yields were grouped into three classes, with the following average values: high yields: 1995 kg ha⁻¹; average yields: 1359 kg ha⁻¹; low yields: 961 kg ha⁻¹. Oil yields were grouped into three classes, with the following average values: high yields: 927 kg ha⁻¹; average yields: 543 kg ha⁻¹; low yields: 423 kg ha⁻¹. The variability in oil and grain yields was correlated with the number of grains per head. In 2008, variability in grains per head was correlated with water deficit in R1-R4 and R4-R6 and to the N, Ca, B and P leaf content. A competitive inhibition between Mg and K was observed. However, this was not correlated with the variability in the number of grains per head. Despite the strong water deficit occurred during grain filling, no correlation was found between water deficit in R6-R9 and grain and oil yields.

Key words: agronomic diagnosis, multivariate analysis, biodiesel, oil seed crops, *Helianthus annuus*.

1. INTRODUÇÃO

Os estudos sobre o comportamento da cultura do girassol na Região Sudeste paranaense são bastante recentes e têm sido realizados em estações experimentais, sob condições homogêneas de solo, clima e manejo. Tais estudos têm servido de base para a recomendação de cultivares e o zoneamento agrícola da cultura, fornecendo também informações sobre o potencial de rendimento na região. Este por sua vez, está sujeito a diversos fatores de ordem edafoclimática, resultantes das condições naturais da região e do manejo adotado pelos agricultores. Apesar de a Região Sudeste estar enquadrada em um único tipo climático e possuir solos de origem predominantemente sedimentar, existe um certo grau de variabilidade no que se refere aos aspectos edafoclimáticos, e grande diversidade dos sistemas de produção.

Quando uma tecnologia é apropriada pelos agricultores, gera resultados variáveis e que podem se situar abaixo daqueles obtidos em ensaios controlados, em função da variabilidade e das relações complexas entre os fatores de ordem climática, edáfica e socioeconômica. A variabilidade e as relações complexas em um agroecossistema têm sido estudadas por meio de métodos como o Diagnóstico Agrônomico (DORÉ et al., 1997) e de ferramentas de análise como os modelos conceituais, os modelos de simulação de culturas, a geoestatística, a análise de risco e as técnicas multivariadas (ALMEKINDERS et al., 1995; LOYCE e WÉRY, 2006). O Diagnóstico Agrônomico objetiva verificar as razões pelas quais, em algumas situações agrícolas, não se atinge o nível esperado de desempenho. Esse enfoque de pesquisa leva em consideração a variabilidade de uma região e procura identificar os fatores limitantes dentro de uma rede de propriedades (MEYNARD et al., 1996). Assim, partindo-se da hipótese de que a variabilidade nas condições edafoclimáticas e socioeconômicas dos sistemas de produção familiar do Sudeste paranaense condiciona diferentes níveis de desempenho agrônomico da cultura do girassol, o presente trabalho teve como objetivos quantificar as faixas de rendimentos acessíveis em diferentes condições edafoclimáticas de sistemas de produção familiar nesta região e hierarquizar os principais fatores relacionados à variabilidade dos rendimentos observados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização dos locais e das situações culturais

O estudo foi realizado em estabelecimentos familiares da Região Sudeste paranaense, durante as safras de 2007 e

2008. Nestes estabelecimentos, foram desenvolvidas 26 situações culturais ⁽¹⁾, conforme caracterização apresentada na tabela 1.

Segundo Köeppen, o clima da região é classificado como Cfb – subtropical mesotérmico, com temperatura média no mês mais frio abaixo de 18 °C, verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22 °C e sem estação seca definida (CAVIGLIONE et al., 2000). Os solos são classificados como Cambissolos (EMBRAPA, 2006), com profundidades variáveis.

A cultura do girassol foi implantada em talhões de 5000 m², em sistema de preparo reduzido. Adotou-se como meta uma população de 45.000 plantas ha⁻¹, com espaçamento de 0,7 m entre as linhas. Procurou-se realizar a semeadura o mais cedo possível dentro do período recomendado pelo zoneamento agrícola da cultura do girassol (BRASIL, 2009), porém devido a diferenças nas precipitações pluviais antes do período de implantação da cultura e das diferentes características de retenção de água dos solos, ocorreu variação nas datas de semeadura entre as áreas, sendo essa variabilidade levada em conta na análise dos resultados.

Para a adubação, seguiram-se as recomendações de CASTRO e OLIVEIRA (2005). O nitrogênio (40 kg de N ha⁻¹) foi aplicado na forma de uréia, 1/3 na semeadura e 2/3 quando a cultura estava no estádio V6, juntamente com a aplicação de 2 kg ha⁻¹ de boro na forma de ácido bórico (11,3% de B). A distribuição dos fertilizantes em cobertura foi efetuada com distribuidor por gravidade com orifício ajustável, de tração humana. As plantas daninhas foram controladas com uma capina na entrelinha.

Coleta de dados climáticos e edáficos

As precipitações pluviais e temperaturas diárias foram obtidas para cada estabelecimento agrícola, instalando-se um pluviômetro e um termômetro de máxima e mínima. A radiação solar incidente durante todo o ciclo da cultura foi obtida com base em valores registrados na estação meteorológica do SIMEPAR, no município de Fernandes Pinheiro. A partir dos valores diários de radiação e precipitação e da determinação das datas de início e final dos subperíodos fenológicos VE-R1, R1-R4, R4-R6 e R6-R9 (SCHNEITER e MILLER, 1981), determinaram-se a precipitação pluvial total e a radiação total incidente em cada subperíodo fenológico.

Para cada situação cultural, antes da semeadura, foram coletadas cinco amostras de solo às profundidades de 0,00 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m, as quais formaram uma amostra composta. Estas amostras foram utilizadas para a determinação dos atributos químicos do solo e da sua composição granulométrica. Segundo método descrito

(¹) Segundo Jouve (1990), uma situação cultural é definida como um talhão homogêneo quanto aos aspectos biofísicos e às técnicas aplicadas.

Tabela 1. Caracterização das situações culturais quanto à localização, ao ano de implantação, à cultivar e data de semeadura

Situação	Município	Ano	Cultivar	Data de semeadura
1	Irati	2008	BRS 122	21 de agosto
2	Irati	2008	Helio 250	21 de agosto
3	Ipiranga	2008	BRS 122	21 de agosto
4	Ipiranga	2008	Helio 250	21 de agosto
5	Imbituva	2008	BRS 122	19 de agosto
6	Imbituva	2008	Helio 250	19 de agosto
7	Prudentópolis	2008	BRS 122	1.º de setembro
8	Prudentópolis	2008	Helio 250	1.º de setembro
9	Ipiranga	2008	BRS 122	21 de agosto
10	Ipiranga	2008	Helio 250	21 de agosto
11	Irati	2008	BRS 122	22 de agosto
12	Irati	2008	Helio 250	22 de agosto
13	Ipiranga	2008	BRS 122	18 de agosto
14	Ipiranga	2008	Helio 250	18 de agosto
15	Irati	2008	BRS 122	22 de agosto
16	Irati	2008	Helio 250	22 de agosto
17	Prudentópolis	2008	BRS 122	1.º de setembro
18	Prudentópolis	2008	Helio 250	1.º de setembro
19	Irati	2007	CATISSOL	2 de agosto
20	Irati	2007	CATISSOL	5 de outubro
21	São Mateus do Sul	2007	CATISSOL	7 de agosto
22	São Mateus do Sul	2007	CATISSOL	8 de agosto
23	Prudentópolis	2007	CATISSOL	8 de agosto
24	Prudentópolis	2007	CATISSOL	9 de agosto
25	Prudentópolis	2007	CATISSOL	5 de outubro
26	São Mateus do Sul	2007	CATISSOL	8 de agosto

por PAVAN et al. (1992), determinaram-se os teores de C, Al, K, Ca, Mg, e B, e calcularam-se a saturação por bases e saturação por alumínio.

Estimativa da disponibilidade de água às plantas

A disponibilidade de água às plantas foi estimada por meio da utilização do modelo de simulação do balanço hídrico do programa BHCult desenvolvido por ROLIM et al. (1998). A Evapotranspiração Relativa (ET_{rel}) foi a variável utilizada para representar o estado hídrico da cultura, expressa pela relação entre evapotranspiração real (ET_r) e evapotranspiração máxima (ET_m), determinada para os subperíodos VE-R1, R1-R4 e R4-R6 E R6-R9. A ET_{rel} foi determinada como o valor médio da ET_{rel} obtida a cada decêndio dentro do referido estágio. Considerou-se que para a cultura houve deficiência hídrica quando a ET_{rel} foi menor ou igual a 0,65, conforme critério esta-

belecido pelo zoneamento agroclimático para a cultura do girassol (BRASIL, 2009).

Para cada uma das 26 situações culturais, foram delimitadas cinco parcelas com dimensões de 3,5 m x 6,0 m, nas quais foram coletadas todas as informações relativas às variáveis de elaboração do rendimento e de estado nutricional da cultura. Considerando-se as observações perdidas, foram utilizadas 49 observações na safra 2007 e 2009 observações na safra 2008.

Variáveis de componentes do rendimento

O número de capítulos por hectare foi determinado pela contagem do número de capítulos colhidos na parcela. De cada parcela colhida, retiraram-se cinco amostras para a determinação da massa de mil aquênios e do teor de óleo nos aquênios.

O número de aquênios por capítulo foi obtido pela divisão do número de aquênios na parcela, pelo número

de capítulos colhidos na parcela. O número de aquênios na parcela foi determinado pela relação entre a massa de aquênios na parcela pela massa de mil aquênios.

Após a medição do diâmetro de todos os capítulos, estes foram trilhados em trilhadora estacionária, removendo-se as impurezas e determinando-se a massa de aquênios por parcela. Para determinação do teor de água nos aquênios, foi utilizada uma amostra de 200 g, a fim de obter o rendimento corrigido para 11% de umidade.

A partir das amostras utilizadas para a determinação da massa de mil aquênios, foram retiradas subamostras para avaliação do teor de óleo nos aquênios pelo método de Soxhlet, utilizando-se como solvente o éter de petróleo. Os resultados foram expressos em porcentagem na base seca. O rendimento de óleo foi determinado a partir do teor de óleo nos aquênios e do rendimento de aquênios, corrigindo-se os valores para 11% de umidade.

Variáveis de estado nutricional

O estado nutricional das plantas foi avaliado pelos teores de N, P, K, Ca, Mg e B, no tecido foliar. A coleta foi realizada quando as plantas estavam no estágio R5.1 (BLAMEY et al., 1997), coletando-se a quarta folha abaixo do capítulo em 20 plantas por parcela. As amostras foram lavadas em água destilada, secas em estufa a 60 °C e moídas em moinho Wiley, sendo os teores de nutrientes determinados segundo método descrito por MIYAZAWA et al. (1992).

Análise dos dados

Inicialmente, foram determinadas as medidas de tendência central e dispersão das variáveis. As relações entre as variáveis de componentes do rendimento foram verificadas por meio da Análise de Componentes Principais, utilizando-se o pacote estatístico R. As variáveis ativas utilizadas para a extração das componentes principais foram o número de aquênios por capítulo, o diâmetro médio do capítulo, a massa de mil aquênios, o teor de óleo nos aquênios e o número de capítulos por hectare. O rendimento de aquênios e o rendimento de óleo foram considerados como variáveis suplementares. Este procedimento permite que se explique as variações do rendimento a partir das componentes principais (TUFFÉRY, 2007). A partir da matriz das variáveis originais, foram obtidas as componentes principais, selecionando-se aquelas que respondiam por, no mínimo, 75% da variância total dos dados (MINGOTI, 2007). Uma vez identificados os componentes do rendimento mais correlacionados com o rendimento da cultura, procedeu-se à análise da relação entre estes e as variáveis de estado nutricional e de estado hídrico da cultura.

As variáveis de estado nutricional, de estado hídrico da cultura e os componentes do rendimento mais explicativos

do rendimento de aquênios foram dispostos em uma matriz, sendo analisada por meio da Análise de Componentes Principais (ACP) utilizando-se o pacote estatístico R. A partir dessa matriz, foram obtidas: as componentes principais, selecionando-se aquelas que respondiam por, no mínimo 75% da variância total dos dados (MINGOTI, 2007).

Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de agrupamento (Cluster) utilizando-se o pacote estatístico R, formando-se grupos com a máxima homogeneidade interna e a máxima heterogeneidade externa. A análise foi realizada utilizando a distância euclidiana como medida de distância entre os pontos e o método de Ward como algoritmo de classificação (MINGOTI, 2007).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização climática e edáfica

Em 2007, a precipitação pluvial média correspondente ao subperíodo VE-R1 foi igual a 75 mm, enquanto em 2008 este valor foi de 233 mm. As precipitações pluviais foram relativamente menores durante o subperíodo R1-R4, porém a variabilidade desse valor foi menor em relação ao subperíodo anterior. Em 2008, o alto valor de coeficiente de variação (82%) indica grande variabilidade das chuvas entre as situações culturais, devido principalmente às diferenças nas datas de semeadura. Para os subperíodos R4-R6 e R6-R9, as precipitações pluviais foram relativamente menores, com valores médios de 35 mm e 23 mm respectivamente. Na safra de 2007, a maior variabilidade dos valores ocorreu durante a fase vegetativa, enquanto na safra de 2008 a maior variabilidade ocorreu em R4-R6 (Tabela 2).

Nos valores de radiação interceptada nos subperíodos a variabilidade foi bem menor em relação aos valores de precipitação pluvial, como pode ser observado pelos coeficientes de variação apresentados na tabela 2. A variabilidade nos valores de precipitação pluvial, para cada um dos subperíodos fenológicos entre as situações culturais integra a variabilidade das precipitações entre os locais, das diferentes datas de semeadura e do ciclo das cultivares. Por outro lado, a variabilidade nos valores de radiação total incidente em cada subperíodo fenológico deveu-se apenas às diferenças nas datas de semeadura e no ciclo das cultivares, pois para cada local utilizaram os valores registrados na estação agrometeorológica de Fernandes Pinheiro.

A distribuição das situações culturais segundo as classes de pH, teores de nutrientes no solo e saturação por alumínio às profundidades de 0,00 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m é apresentada na tabela 3, sendo estes valores agrupados nas classes de teores baixo, médio, alto e muito alto, segundo MUZILLI et al. 1978 e CASTRO e OLIVEIRA (2005). Na camada de 0,00 m a 0,20 m, os fatores mais limitantes foram os baixos teores de P em 47% dos talhões e de B em 35% dos talhões. Não houve limitações quanto aos teores

Tabela 2. Estatística descritiva dos valores de precipitação pluvial e radiação incidente nos subperíodos fenológicos do girassol, para as safras de 2007 e 2008

Variável	2007				2008			
	Mínimo	Máximo	Média	CV (%)	Mínimo	Máximo	Média	CV (%)
PRE_VER1	27,0	193,0	75,4	81,8	148,0	288,0	233,3	18,56
PRE_R1R4	31,0	84,0	57,6	36,1	75,0	149,0	113,3	22,72
PRE_R4R6	92,0	161,0	126,1	20,4	4,0	68,0	35,2	56,09
PRE_R6R9	60,4	152,4	109,7	29,1	0,0	39,0	23,4	49,34
PRETOTAL	322,0	473,4	368,9	13,0	270,0	485,0	405,3	14,00
RAD_VER1	1249,0	1518,1	1447,5	8,5	1076,5	1415,6	1193,2	10,57
RAD_R1R4	473,0	640,7	595,5	12,8	547,8	597,5	569,9	4,46
RAD_R4R6	567,2	835,6	661,4	15,7	720,8	818,2	769,5	6,51
RAD_R6R9	835,8	975,6	938,6	6,8	581,1	817,1	743,3	7,51

Pre: Precipitação (mm); Rad: radiação incidente (MJ.m².dia⁻¹)

Tabela 3. Proporção das situações culturais nas classes de pH, teores de nutrientes no solo e saturação por alumínio a duas profundidades de amostragem, safras de 2007 e 2008

Profundidade m	Classe	Proporção das situações culturais em cada classe (%)						
		pH	P	Ca	Mg	K	B	Al
0-20	Muito alto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,88
	Alto	47,06	47,06	88,24	100,00	64,71	23,53	0,00
	Médio	29,41	11,76	11,76	0,00	29,41	23,53	5,88
	Baixo	47,06	41,18	0,00	0,00	5,88	35,29	88,24
20-40	Muito alto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	70,59
	Alto	5,88	11,76	58,82	100,00	17,65	23,53	11,76
	Médio	17,65	5,88	35,29	0,00	76,47	35,29	5,88
	Baixo	76,47	82,35	5,88	0,00	5,88	41,18	11,76

Classes de teores segundo MUZILLI et al. (1978) e CASTRO e OLIVEIRA (2005)

de Ca, Mg e K e aos valores de saturação por alumínio, visto que em 88% dos casos estes foram considerados baixos. Entretanto, na camada de 0,20 a 0,40 m este elemento tornou-se um fator restritivo ao desenvolvimento do sistema radicular: 71% dos talhões tiveram níveis muito altos (acima de 20%), constituindo-se em uma séria limitação ao desenvolvimento radicular do girassol, visto que valores de acima de 5% promovem redução no crescimento radicular (UNGARO, 1985; CASTRO e OLIVEIRA, 2005).

Relações entre rendimento e seus componentes

Considerando-se que as componentes principais extraídas devem responder no mínimo por 75% da variância total dos dados (MINGOTI, 2007), a informação contida na matriz de dados originais relativos à safra de 2008 foi resumi-

da em três componentes principais, as quais responderam por 79% da variância total dos dados. Para os dados relativos à safra de 2007, foi possível resumir toda a informação original em duas componentes principais, responsáveis por 76% da variância total dos dados (Tabela 4).

Na tabela 5, são apresentados os coeficientes de correlação entre as variáveis originais e as componentes principais, para a safra de 2008. A componente principal F1 representa a maior variância (31%), estando positivamente correlacionada com o diâmetro do capítulo ($r=0,89$) e com o número de aquênios por capítulo ($r=0,85$). Esta componente resume os processos ocorridos entre a emergência da cultura até o fim do florescimento. A componente principal F2 representa a segunda maior variância (27%), estando positivamente correlacionada com o teor de óleo nos aquênios ($r=0,85$) e negativamente correlacionada com a massa de mil aquênios ($r=-0,77$). Esta componente resume

Tabela 4. Porcentagem da variância total e variância acumulada explicada pelas componentes principais correlacionadas às variáveis de componentes do rendimento, safras de 2007 e 2008

	Componentes principais		
	F1	F2	F3
2008			
Porcentagem da variância total	31,23	27,40	20,05
Variância acumulada (%)	31,23	58,63	78,68
2007			
Porcentagem da variância total	51,72	24,79	16,05
Variância acumulada (%)	51,72	76,51	92,56

Tabela 5. Coeficientes de correlação entre as variáveis de componentes do rendimento e as componentes principais, safra de 2008

	Componentes principais		
	F1	F2	F3
Teor de óleo nos aquênios (%)	-0,03	0,85	0,02
Peso de mil aquênios (g)	-0,17	-0,77	-0,13
Número de capítulos por hectare	0,12	0,11	0,98
Diâmetro médio do capítulo (cm)	0,89	-0,02	0,06
Número de aquênios por capítulo	0,85	0,16	0,12
Rendimento de aquênios (kg ha ⁻¹)	0,61	-0,14	0,50
Rendimento de óleo (kg ha ⁻¹)	0,59	0,13	0,45

Tabela 6. Coeficientes de correlação entre as variáveis de componentes do rendimento e as componentes principais, safra de 2007

	Componentes Principais	
	F1	F2
Diâmetro médio do capítulo (cm)	0,90	-0,04
Número de capítulos por hectare	-0,86	-0,27
Número de aquênios por capítulo	0,90	-0,33
Massa de mil aquênios (g)	0,40	0,75
Teor de óleo nos aquênios (%)	0,28	-0,70
Rendimento de óleo (kg ha ⁻¹)	0,75	-0,40
Rendimento de aquênios (kg ha ⁻¹)	0,77	-0,28

os processos ocorridos durante o enchimento de aquênios, e à medida que diminuiu a massa de mil aquênios, aumentou o teor de óleo. A componente principal F3 representa a terceira maior variância (20%) e está positivamente correlacionada ($r=0,98$) com o número de capítulos por hectare. Quanto maior o número de capítulos por hectare, maior é o valor da componente.

Os coeficientes de correlação entre o rendimento de aquênios, o rendimento de óleo e as componentes principais indicam que a componente F1 foi a que mais explicou a variabilidade nos rendimentos. Da mesma forma, TAHIR et al. (2002) verificaram que o máximo efeito direto sobre

o rendimento de aquênios foi exercido pelo número de aquênios por capítulo. MERCAU et al. (2001) verificaram, em cultivos comerciais em várias regiões da Argentina, que a variabilidade no número de aquênios por capítulo contribuiu com 43% da variabilidade no rendimento de aquênios.

Na safra de 2007 (Tabela 6), a componente principal F1 esteve positivamente correlacionada com o diâmetro do capítulo ($r=0,90$) e com o número de aquênios por capítulo ($r=0,90$) e negativamente correlacionada ($r=-0,86$) com o número de capítulos por hectare. Esta componente é a que mais explica a variabilidade do rendimento, tanto de aquênios quanto de óleo. A componente principal F2 esteve positivamente correlacionada com a massa de mil aquênios e negativamente correlacionada com o teor de óleo nos aquênios. Esta componente informa que, à medida que aumenta a massa de mil aquênios, diminui o teor de óleo.

Em ambas as safras, os rendimentos de aquênios e de óleo foram explicados pela componente que resume os processos ocorridos durante o período que compreende o início da fase vegetativa até o fim da floração. Da mesma forma, a componente F2, que resume os processos ocorridos entre R6-R9, não explicou a variabilidade no rendimento de aquênios e de óleo.

Por outro lado, os resultados entre as duas safras divergiram quanto à participação da variável número de capítulos por hectare na formação das componentes principais e na explicação da variabilidade dos rendimentos. Esses resultados sugerem que as diferenças na população média de plantas entre as duas safras possam ter sido o fator que contribuiu para essa divergência. Em 2007, os valores médios de capítulos por hectare estiveram próximos ao valor pré-estabelecido e considerado para o presente trabalho, ou seja, 45000 plantas ha⁻¹. Em 2008, o valor médio de capítulos por hectare foi de 33340. Assim, no primeiro caso, aumentos na população de plantas podem ter resultado em competição intraespecífica, enquanto no segundo caso, ainda havia recursos suficientes para aumentos na população de plantas.

Estado hídrico e nutricional da cultura e relações com o rendimento

Na tabela 7 observa-se a estatística descritiva das variáveis de estado hídrico e estado nutricional da cultura. Durante o subperíodo VE-R1, não ocorreu deficiência hídrica na cultura em nenhum dos casos, visto que o valor mínimo observado de ETRel foi igual a 0,81. Nos demais subperíodos, ocorreu deficiência hídrica em pelo menos uma das situações, e R6-R9 e R4-R6 destacaram-se pela ocorrência de deficiência hídrica em 83% e 39% dos casos respectivamente. Ressalta-se que, apesar da ocorrência de forte deficiência hídrica em R6-R9 na maior parte das situações, este não foi fator de diferenciação entre as situações culturais.

Com relação às variáveis de estado nutricional da cultura, observa-se a predominância de situações com baixos teores de Ca, Mg e P, e com altos teores de K, em relação aos valores de referência estabelecidos por CASTRO e OLIVEIRA (2005). Para o N, a distribuição entre altos e baixos teores foi praticamente igual; para o B, predominaram as classes de teores médio/suficiente e alto, ocorrendo, porém, teores baixos em 16% das observações (Tabela 8). Assim, apesar de o critério utilizado para a adubação ter sido o mesmo para todas as áreas, ocorreram respostas diferenciadas na absorção dos nutrientes, indicando que os fatores ambientais podem ter atuado na disponibilidade desses nutrientes para as plantas.

A análise das relações entre estado nutricional, hídrico e componentes do rendimento foi realizada com os dados da safra de 2008. Foram consideradas seis variáveis de estado nutricional e duas variáveis de estado hídrico da cultura como variáveis ativas para compor a matriz de dados para extração das componentes principais. Considerou-se o número de aquênios por capítulo como variável suplementar, de forma a se verificar em que medida as variáveis ativas explicam a variabilidade do número de aquênios por capítulo. Da matriz de correlação, foram extraídas três componentes principais (Tabela 9), as quais explicam 77% da variabilidade total dos dados.

A componente F1 foi a que proporcionou a maior variância (42%), estando positivamente correlacionada com a evapotranspiração relativa nos subperíodos R1-R4 e R4-R6 e com os teores de boro, fósforo e cálcio no te-

cido foliar. Esta componente também é a que mais explica a variabilidade no número de aquênios por capítulo (Tabela 10). A componente F2 representou a segunda maior variância (22%), estando positivamente correlacionada com os teores de K e negativamente correlacionada com os teores de Mg no tecido foliar. Nesta componente observa-se que, à medida que aumentaram os teores de K, diminuíram os teores de Mg no tecido foliar, ou seja, ocorreu inibição competitiva entre esses dois nutrientes (MALAVOLTA et al., 1997). Esse fenômeno também é evidenciado pela tabela 8, a partir da qual se verifica a predominância de teores altos de K e baixos de Mg. Porém, como a componente F2 não está correlacionada com o número de aquênios por capítulo, embora tenha ocorrido inibição competitiva, esta não chegou a afetar este componente do rendimento. A componente principal F3 representou a terceira maior variância (13%) e está correlacionada com os teores de nitrogênio no tecido foliar. Esta componente não explicou a variabilidade dos valores de rendimento de aquênios, indicando a possibilidade de ter ocorrido efeito de diluição.

A partir dos resultados da ACP, pode-se afirmar que: a) a variabilidade no número de aquênios por capítulo foi explicada pelas relações ocorridas entre disponibilidade hídrica em R1-R4 e R4-R6 e pelos teores de Ca, B e P no tecido foliar; b) os teores de Mg e K no tecido foliar, bem como o fenômeno de inibição competitiva observado entre estes dois nutrientes não explicaram a variabilidade observada no número de aquênios por capítulo.

Tabela 7. Estatística descritiva das variáveis de estado nutricional (teores de nutrientes no tecido foliar) e estado hídrico (evapotranspiração relativa) da cultura, safra de 2008

	Mínimo	Máximo	Média	DP	CV(%)
Teor de fósforo no tecido foliar (%)	1,45	5,76	2,90	1,07	37,08
Teor de cálcio no tecido foliar (%)	9,45	25,62	17,86	3,39	19,12
Teor de boro no tecido foliar (%)	21,67	137,90	73,94	28,90	39,34
Teor de nitrogênio no tecido foliar (%)	18,00	51,50	35,47	5,32	15,11
Teor de potássio no tecido foliar (%)	25,00	64,00	41,42	7,51	18,26
Teor de magnésio no tecido foliar (%)	2,82	10,85	4,97	1,66	33,61
Evapotranspiração relativa entre VE- R1	0,81	1,00	0,97	0,06	6,18
Evapotranspiração relativa entre R1-R4	0,51	1,00	0,96	0,12	12,55
Evapotranspiração relativa entre R4- R6	0,34	1,00	0,79	0,21	27,22
Evapotranspiração relativa entre R6- R9	0,24	0,81	0,51	0,15	29,25

Tabela 8. Percentual de observações em cada classe de teores de nutrientes no tecido foliar, conforme critérios estabelecidos por CASTRO e OLIVEIRA (2005), safra de 2008

Classes de teores	Percentual de observações em cada classe					
	N	P	K	Ca	Mg	B
Baixo	45,57	59,49	7,59	64,56	55,70	16,46
Médio/suficiente	54,43	36,71	75,95	35,44	44,30	46,84
Alto	0,00	3,80	16,46	0,00	0,00	36,71

Tabela 9. Porcentagem da variância total e variância acumulada explicada pelas componentes principais correlacionadas às variáveis de estado hídrico e estado nutricional da cultura, safra de 2008

	Componentes principais		
	F1	F2	F3
Porcentagem da variância total	41,84	22,45	12,85
Variância acumulada (%)	41,84	64,29	77,14

Tabela 10. Coeficientes de correlação entre as variáveis de estado hídrico, estado nutricional e o número de aquênios por capítulo, e as componentes principais, safra de 2008

	Componentes principais		
	F1	F2	F3
Evapotranspiração relativa entre R1 e R4	0,70	-0,36	0,16
Evapotranspiração relativa entre R4 e R6	0,88	0,14	0,21
Teor de nitrogênio no tecido foliar (%)	0,28	0,56	0,64
Teor de fósforo no tecido foliar (%)	0,75	0,17	-0,43
Teor de potássio no tecido foliar (%)	0,34	0,75	0,14
Teor de cálcio no tecido foliar (%)	0,76	-0,43	-0,06
Teor de magnésio no tecido foliar (%)	0,01	-0,74	0,55
Teor de boro no tecido foliar (%)	0,86	-0,08	-0,19
Número de aquênios por capítulo	0,54	0,13	0,01

A definição do número de aquênios por capítulo está sujeita aos processos que ocorrem desde os períodos iniciais de desenvolvimento da cultura, mais precisamente a partir dos 14-25 dias após a emergência, quando se inicia a diferenciação do receptáculo floral (AGUIRREZABAL et al., 2001; BLANCHET, 1994). O subperíodo R1-R4 corresponde ao maior acúmulo de biomassa e de nutrientes pela planta (CASTRO e OLIVEIRA, 2005; MERRIEN, 1992; ZOBIOLE et al., 2010). Dessa forma, estresses hídricos nesse período afetam a absorção de nutrientes. Por outro lado, a redução na evapotranspiração em R4-R6 tem efeitos diretos no processo de fecundação, ou indiretos a partir da sua interação com os nutrientes que possuem importantes funções na reprodução. Na cultura do girassol, o estresse hídrico durante a antese (R5) restringe o alongamento celular e conseqüentemente, a extrusão das anteras, a deiscência do pólen e extrusão do estigma, bem como sua receptividade (CONNOR e HALL, 1997).

Os efeitos indiretos da redução da evapotranspiração estão relacionados à redução da absorção do B, Ca e P. O Ca e o B possuem vários pontos em comum, destacando-se: a) a sua absorção pelas raízes ocorre através de fluxo de massa, sendo, portanto, altamente dependente da transpiração da planta; b) ambos atuam no crescimento do tubo polínico (BLAMEY et al., 1997; CONNOR e HALL, 1997; MALAVOLTA et al., 1997); c)

ambos são imóveis na planta (MARSCHNER, 1995). Até o estágio R1, aproximadamente 59% e 61% do Ca e do B respectivamente, já foram absorvidos pela planta (CASTRO e OLIVEIRA, 2005). Porém, se a absorção desses dois nutrientes for comprometida durante a floração, mesmo que uma quantidade importante tenha sido absorvida nos estádios anteriores (até o estágio R1), não ocorrerá redistribuição desses nutrientes para as estruturas reprodutivas.

O P possui um aspecto diferenciado. De forma contrária ao Ca e ao B, este nutriente é altamente móvel na planta e sua redistribuição inicia-se no estágio R1, ou seja, mais cedo em relação a outros nutrientes (ZOBIOLE et al., 2010). Dessa forma, mesmo que a disponibilidade hídrica não tenha sido um fator restritivo à absorção de P entre VE-R1, a quantidade absorvida nesse subperíodo e posteriormente redistribuída, pode não ter sido suficiente para suprir a demanda pelos drenos, sobretudo nas situações com baixos teores iniciais de P no solo. Assim, na falta desse elemento, a planta priorizaria a viabilidade das sementes em detrimento da quantidade destas por capítulo.

No dendrograma apresentado na figura 1, ilustra-se a distribuição das observações em três classes, de acordo com as variáveis descritas na tabela 11. A Classe 1 é constituída pelos maiores rendimentos médios de aquênios e óleo, destacando-se das demais classes pelos maiores valores médios de diâmetro do capítulo e de número de aquênios por capítulo. Por outro lado, os valores médios das variáveis de estado nutricional e hídrico da cultura são semelhantes aos valores da Classe 2. Outro aspecto que diferencia as duas classes é a proporção de cada cultivar: a Classe 1 é constituída por 93% de observações relacionadas à cultivar Helio 250, enquanto na Classe 2 esta proporção é de 47%. Pode-se afirmar assim, que o genótipo foi o fator que contribuiu para a diferenciação entre as classes 1 e 2. Na Classe 3 ocorreram os menores rendimentos médios de aquênios e óleo, destacando-se das classes 1 e 2 pelos menores valores das variáveis de estado nutricional e hídrico da cultura. Nesta classe, os valores médios de P, Ca e B situaram-se nos níveis considerados como baixos por CASTRO e OLIVEIRA (2005). Além de deficiência nutricional, os valores médios de evapotranspiração relativa no subperíodo R4-R6 estiveram abaixo do valor crítico de 0,65, indicando a ocorrência de deficiência hídrica na cultura. As classes 1 e 2 compreendem as observações com data de semeadura entre 1.º e 5 de setembro, enquanto na Classe 3, em 89% dos casos a semeadura foi realizada em 11 de setembro.

A análise de agrupamento evidencia as relações entre rendimento e genótipo, e entre rendimento e estado hídrico da cultura. Assim, o fator climático, associado à baixa capacidade de armazenamento de água nos solos, atuou

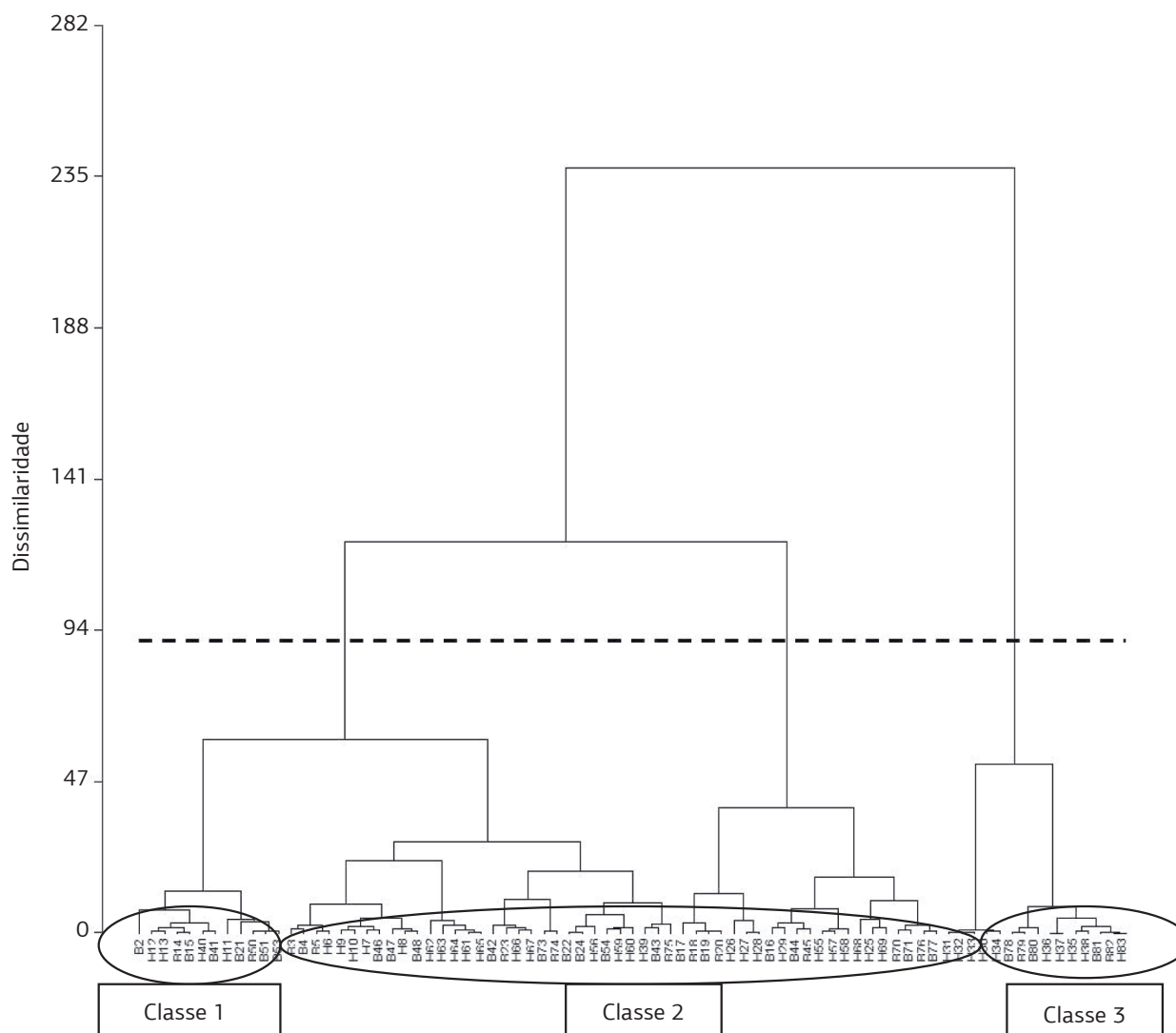


Figura 1. Dendrograma de agrupamento das observações, segundo as variáveis de componentes do rendimento e estado nutricional da cultura, safra de 2008.

Tabela 11. Caracterização das classes segundo as variáveis de componentes do rendimento, de estado nutricional e estado hídrico da cultura, safra de 2008

	Classe		
	1	2	3
Rendimento de aquênios (kg ha ⁻¹)	1995,19	1359,50	961,37
Rendimento de óleo (kg ha ⁻¹)	927,17	543,75	423,17
Diâmetro médio dos capítulos (cm)	19,15	16,60	14,60
Número de aquênios por capítulo	937,76	671,47	520,55
Teor de fósforo no tecido foliar	3,38	3,15	1,87
Teor de cálcio no tecido foliar	19,52	18,86	13,95
Teor de boro no tecido foliar	81,80	86,87	34,06
Evapotranspiração relativa entre R1 e R4	1,00	1,00	0,84
Evapotranspiração relativa entre R4 e R6	0,95	0,87	0,48
Percentual de ocorrência da cultivar BRS 122 na classe	7,14	53,19	61,11
Percentual de ocorrência da cultivar Helio 250 na classe	92,86	46,81	38,89

negativamente no crescimento e no desenvolvimento da cultura. Nas situações em que houve exposição da cultura ao estresse hídrico, ocorreu redução no número de aquênios por capítulo e nos teores de boro, cálcio e fósforo no tecido foliar.

4. CONCLUSÃO

Os valores de rendimento de aquênios são agrupados em três classes, com os seguintes valores médios: rendimentos altos: 1995 kg ha⁻¹; rendimentos médios 1359 kg ha⁻¹; rendimentos baixos: 961 kg ha⁻¹. Os valores de rendimentos de óleo são agrupados nas seguintes classes: rendimentos altos: 927 kg ha⁻¹; rendimentos médios: 543 kg ha⁻¹; rendimentos baixos: 423 kg ha⁻¹. A variabilidade dos rendimentos de aquênios e de óleo foi explicada pela variabilidade no número de aquênios por capítulo. Em 2008, a variabilidade no número de aquênios por capítulo está correlacionada à deficiência hídrica em R1-R4 e R4-R6 e aos teores de N, Ca, B e P no tecido foliar. Ocorre inibição competitiva entre K e Mg, porém este fenômeno não está correlacionado à variabilidade do número de aquênios por capítulo. Ocorre estresse hídrico durante o enchimento de aquênios, porém este não explica a variabilidade nos rendimentos.

REFERÊNCIAS

- GUIRREZABAL, L.A.N.; ORIOLI, G.A.; HERNÁNDEZ, L.F.; PEREYRA, V.R.; MIRAVÉ, J.P. Girassol: aspectos fisiológicos que determinam el rendimiento. Mar Del Plata: INTA, 2001. 111p.
- ALMEKINDERS, C.J.M.; FRESCO, L.O.; STRUIK, P.C. The need to study a manage variation in agro-ecosystems. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, v.43, p.127-142, 1995.
- BLAMEY, F.P.C.; ZOLLINGER, R.K.; SCHNEITER, A.A. Sunflower production and culture. In: SCHNEITER, A.A. (Ed.). *Sunflower technology and production*. Madison: American Society of Agronomy, 1997. p.595-670.
- BLANCHET, R. Ecophysiologie et élaboration du rendement du tournesol: principaux caractères. In: LOMBE, L. ; PICARD, D. (Ed.). *Élaboration du rendement des principales cultures annuelles*. Paris: INRA, 1994. p.97-99.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Zoneamento agrícola para a cultura do girassol no Estado do Paraná, ano-safra 2009/2010. Diário Oficial da União, Brasília, 28 maio 2009, seção 1, p. 41. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/servlet/VisualizarAnexo?id=15398>. Acesso em: 14/12/2009.
- CASTRO, C.; OLIVEIRA, F.A. Nutrição e adubação do girassol. In: LEITE, R.M.V.B. C.; BRIGHENT, A.M.; CASTRO, C. (Ed.). *Girassol no Brasil*. Londrina: EMBRAPA Soja, 2005. p.317-373.
- CAVIGLIONE, J.H.; KIIHL, L.R.B.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, D. *Cartas climáticas do Paraná*. Londrina: IAPAR, 2000. 1 cd-rom.
- CONNOR, J.D.; HALL, A.J. Sunflower physiology. In: SCHNEITER, A.A. (Ed.). *Sunflower technology and production*. Madison: American Society of Agronomy, 1997. p.113-181.
- DORÉ, T.; SEBILLOTE, M.; MEYNARD, J. M. A diagnostic method for assessing regional variation in crop yield. *Agricultural Systems*, v.54, p.169-188, 1997.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- JOUBE, P. Analyse agronomique de situations culturales. In: *Journées sur l'Agronomie et les Ressources Naturelles en Régions Tropicales: Agronomie et ressources naturelles en régions tropicales*, 15., 1990, Montpellier. Actes des journées...Montpellier: CIRAD-IRAT, 1990. p.127-135.
- LOYCE, C. ; WERY, J. Les outils des agronomes pour l' evaluation et la conception de systèmes de culture. In: DORÉ, T.; LE BAIL, M.; MARTIN, P.; NEY, B.; ROGER-ESTRADE, J. (Coord.). *L' Agronomie Aujourd'hui*. Versailles : Quae, 2006. p.77-95.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 201p.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2ed. San Diego: Academic Press, 1995. 902p.
- MERCAU, J.L. MERCAU, J.L.; SADRAS, V.O; SATORRE, E.H.; MESSINA, C.; BAIBI, C.; URIBELARREA, M.; HALL, A.J. On-farm assessment of regional and seasonal variation in sunflower yield in Argentina. *Agricultural Systems*, v.67, p.83-103, 2001.
- MERRIEN, A. *Physiologie du tournesol*. Paris: CETIOM, 1992. 66p.
- MEYNARD, J.M.; REAU, R.; ROBERT, D.; SAULAS, P. Évaluation expérimentale des itinéraires techniques. Paris : Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation (DERF). Comité Potentialités – ACTA, 1996. p.63-72.
- MINGOTI, S.A. Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada. UFMG, Belo Horizonte, 2007.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F. Análise química de tecido vegetal. Londrina: IAPAR, 1992. 17p. (Circular)
- MUZILLI, O.; LANTMANN, A.F.; PALHANO, J.B.; OLIVEIRA, E.L.; PARRA, M.; COSTA, A.; CHAVES, J.C.D.; ZOCOLER, D.C. Análise de solos: interpretação e recomendação de calagem e adubação para o Estado do Paraná. IAPAR: 1978. p.1-49, (Circular, n.9)

PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. Manual de análise química do solo e controle de qualidade. Londrina: IAPAR, 1992. 40p. (Circular)

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilha no ambiente Excel para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.6, p.133-137, 1998.

SCHNEITER, A.A.; MILLER, J.F. Description of sunflower growth stages. Crop Science, v.21, p.901-903, 1981.

TAHIR, M.H.; SADAQAT, H.A.; BASHIR, S. Correlation and path coefficient analysis of morphological traits in sunflower

(*Helianthus annuus* L.) populations. International Journal of Agriculture and Biology, v.4, p.341-343, 2002.

TUFFÉRY, S. Data mining et statistique décisionnelle: l'intelligence des données. Paris: Technip, 2007. 481p.

UNGARO, M.R.G.; QUAGGIO, J.A.; GALLO, P.B.; DECHEN, S.C.E; LOMBARDI NETO, E; CASTRO, O.M. Comportamento do girassol em relação à acidez do solo. Bragantia, v.44, p.41-48, 1985.

ZOBIOLE, L.H.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F.A.; OLIVEIRA JUNIOR., A. Marcha de absorção de macronutrientes na cultura do girassol. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.34, p.425-433, 2010.