



ECOFISIOLOGIA DO GIRASSOL

César de Castro
José Renato Bouças Farias

Introdução

O termo Girassol (*Helianthus annuus* L.) explica não só o nome comum como o nome botânico da planta, tendo em vista que o gênero deriva do grego *helios*, que significa sol, e de *anthus*, que significa flor (Seiler, 1997), ou “flor do sol”, sendo, portanto, uma referência à característica da planta de girar sua inflorescência, seguindo o movimento do sol. É uma dicotiledônea anual, ordem Asterales, família Asteraceae, maior família das Angiospermas (Joly, 1993), sub-família Asteroideae e tribo Heliantheae.

É conhecida não só pelo seu valor alimentar, na forma de óleo, farelo ou silagem, mas também pelo seu valor estético como planta ornamental. É uma planta que se adapta em diversas condições edafoclimáticas, podendo ser cultivada no Brasil desde o Rio Grande do Sul até o hemisfério norte, no Estado de Roraima.

É uma planta de fecundação cruzada (alógama), sendo feita basicamente por insetos, particularmente as abelhas (*Apis mellifera*). O grão de pólen do girassol é pegajoso (Glas, 1988) e pesado, o que dificulta que o mesmo seja eficientemente transferido entre as plantas, pelo vento (Vrânceanu, 1977; Bolson, 1981). Seiler (1997) cita que a superfície espinhosa dos grãos de pólen não é adaptada para o transporte pelo vento e sim por insetos.

Atualmente, apesar da existência de híbridos com elevado grau de autofecundação que produzem mesmo na ausência de insetos polinizadores, a presença de abelhas, em lavouras comerciais, durante a floração, propicia aumento da produção (Moreti et al., 1996; Sumangala & Giriraj, 2003), pela polinização de um maior número de flores além de possibilitar completa fecundação das mesmas. Nesse caso, além da produção de aquênios, a produção de mel pode ser outra fonte de renda, com a possibilidade de obtenção de 30 kg (Silva, 1990) a 40 kg de mel (Bolson, 1981) por hectare.

O girassol tem como centro de origem o México (Lentz et al., 2001). É uma planta cultivada nos cinco continentes, com grande importância na economia mundial. O girassol figura, juntamente com a soja e a canola, como uma das três mais importantes culturas anuais produtoras de óleo comestível do mundo (Estados Unidos, 2005), despertando, atualmente, grande interesse no novo mercado dos biocombustíveis, em função do elevado teor de óleo nos aquênios e de sua ampla adaptação às diferentes regiões edafoclimáticas do País.

Morfologia

Raiz

O girassol caracteriza-se por possuir um sistema radicular pivotante com um grande conjunto de raízes secundárias que, em plantas adultas e em solo sem impedimentos químicos e/ou físicos, podem alcançar até dois metros de profundidade (Jones, 1984; Cox & Jolliff, 1986). Contudo, 80% a 90% das raízes secundárias situam-se nos primeiros 10 cm de profundidade (Merrien, 1992), enquanto para Izquierdo et al. (2000) a densidade de raízes diminui drasticamente a partir dos primeiros 15 cm de profundidade. O estabelecimento das raízes laterais, explorando um grande volume de solo (Knowles, 1978), adquire importância quando compreende-se que alguns nutrientes têm seu mecanismo de absorção preferencialmente por difusão, como o fósforo e o potássio.

A raiz pivotante tem a função principal de alcançar as camadas mais profundas do solo, absorvendo água e nutrientes, bem como de ancoragem. As raízes secundárias têm a função, além da sustentação lateral, principalmente, de absorção de água e de nutrientes através dos pelos absorventes.

O girassol tem sistema radicular com forte taxa de crescimento no início do ciclo, mais importante que o crescimento da parte aérea. O crescimento das raízes segue um ritmo parecido ao da parte aérea vegetativa, com um volume radicular máximo no final da floração (Morizet & Merrien, 1990). Sua biomassa representa 20% a 30% da biomassa total. Porém, ao longo do ciclo, com o desenvolvimento da parte aérea, a biomassa radicular alcança em torno de 15% da biomassa total (Merrien, 1992).

Em condições de boa distribuição de água, as raízes desenvolvem-se principalmente nos primeiros 40 cm de profundidade, suprimindo adequada-

mente as necessidades de água das plantas. Contudo, se o desenvolvimento inicial da planta ocorrer em condições de baixa disponibilidade de água, haverá maior desenvolvimento das raízes, atingindo maiores profundidades e alterando a relação raiz-parte aérea. A raiz principal tem grande poder de crescimento, porém, o aprofundamento será tão limitado quanto maior for a resistência das camadas de impedimento, uma vez que é muito sensível a impedimentos físicos, como a compactação do solo. A redução do crescimento vertical diminui, conseqüentemente, a absorção de nutrientes da solução do solo, reduzindo principalmente o crescimento foliar e, posteriormente, a redistribuição de fotoassimilados para os aquênios, principalmente, com a ocorrência de déficit hídrico.

Muitos pesquisadores têm apontado que plantas com sistema radicular profundo e vigoroso e com grande massa de raízes são mais tolerantes ao déficit hídrico do solo, em função do maior perfil do solo explorado, incrementando a absorção de água e de nutrientes e a ancoragem da planta. Para o girassol, esta característica também é válida, principalmente, pelo fato de que normalmente é cultivado em condições de safrinha, com grande restrição de água a partir do início do florescimento.

Caule

O girassol possui um caule herbáceo, de crescimento vigoroso, principalmente a partir dos 30 dias após a emergência, cilíndrico, altamente pubescente, com interior aquoso e esponjoso, tornando-se oco e quebradiço na maturação. Em híbridos e variedades comerciais, não há ramificações, atingindo diâmetro médio de 4 cm, variando de 1 a 8 cm, e a altura oscilando entre 0,7 a 4,0 m.

Além das características genéticas, como curvatura (Knowles, 1978), o desenvolvimento do caule é muito influenciado pelas condições ambientais, pelo arranjo e pela população de plantas. Geralmente caules grossos e com entrenós curtos estão associados a plantas fortes e resistentes, capazes de sustentar a produção de capítulos com grande número de aquênios, reduzindo os riscos de quebra ou acamamento e, conseqüentemente, de perdas na colheita.

Folha

A filotaxia das folhas do girassol ocorre de duas formas básicas. Primeiramente, as folhas se desenvolvem, até as fases V4 a V 8, em disposição

oposta e, a partir dessas fases, gradualmente, o arranjo das folhas apresenta-se como uma espiral em filotaxia alternada. Essa mudança do modo de inserção das folhas marca a passagem da fase vegetativa para a fase reprodutiva, quando ocorre a diferenciação do botão floral (Merrien, 1992), mesmo não sendo visível. Nesse momento, olhando a planta de cima, o que se observa, externamente, é o broto de folhas.

As folhas são cordiformes, pecioladas e com grande número de tricomas, principalmente na face abaxial, podendo isoladamente alcançar até 0,14 m² de área foliar. Apresentam número elevado de estômatos grandes (Tabela 1), localizados em ambas as faces, adaxial e abaxial (anfiestomático).

Tabela 1. Frequência média na face superior e inferior e tamanho de estômatos na face inferior de girassol, de acordo com Morizet & Merrien (1990), Hall et al. (1995) e Willmer & Fricher (1996).

Fonte	Estômatos/cm ²		Tamanho (µm) inferior	
	Superior	Inferior	Comprimento	Largura
Morizet & Merrien (1990)	8.500	15.600	38	7
Hall et al. (1995)	2.700 a 32.600	9.000 a 40.800	-	-
Willmer & Fricher (1996)	12.000	17.500	32	15

O número de folhas define-se muito cedo, entre os 10 a 20 dias após a emergência, no período de diferenciação foliar (Merrien, 1992). Assim, como as folhas são os órgãos da planta mais sensíveis à falta de água, o principal sintoma do déficit hídrico no início do estágio vegetativo é a redução do seu número e, posteriormente, a redução do seu tamanho. Esse período pode ser melhor visualizado observando-se a mudança da filotaxia de oposta para alternada. Segundo Marc & Palmer (1976), o déficit hídrico reduz o número de folhas por planta quando o mesmo ocorre 20 dias após a semeadura. Isso ocorre em função de que o número de folhas é determinado, tanto pelos componentes genéticos, como também pelas condições ambientais.

De modo geral, as plantas de girassol possuem de 20 a 40 folhas, alcançando área foliar de até 0,9 m² de folhas/planta, em solos profundos e sem deficiência hídrica ou nutricional. A folha é o principal aparato

fotossintético, acumulando, além de nutrientes, compostos orgânicos que serão posteriormente translocados para os órgãos reprodutivos e os grãos.

A planta de girassol, além da área foliar, possui outra estratégia para melhorar a eficiência de captação dos raios solares. Ao amanhecer, com o aparecimento do sol, as folhas inclinam-se o mais perpendicularmente possível em relação aos raios solares. Esse movimento, conhecido como heliotropismo, ocorre somente em folhas jovens e melhora a eficiência de captação da luz, aumentando a taxa fotossintética diária em até 23% (Shell & Lang, 1976). Com a ontogênese, a proporção de folhas com heliotropismo diminui, reduzindo, gradativamente, a vantagem adaptativa das folhas.

Após o florescimento, quando as folhas atingem o maior índice de área foliar, a ocorrência de déficit hídrico afeta severamente as folhas, causando senescência precoce das mesmas. Essa redução do aparato fotossintético reduz fortemente a translocação de fotoassimilados para os grãos, reduzindo o peso dos mesmos, a produtividade e o teor de óleo.

O déficit hídrico moderado afeta indiretamente a translocação, via floema, pela alteração da relação fonte e dreno. Devido à reduzida expansão celular, as folhas são menores e menos fotossintetizadas estarão disponíveis para translocação e enchimento dos frutos, com conseqüente redução do tamanho destes. Se a falta de água ocorrer após a expansão foliar, o resultado da competição entre as folhas e os frutos é diminuído (Hale & Orcutt, 1987).

Segundo Merrien (1992), é necessária área foliar mínima de 1,8 a 2,0 cm² de folhas para sustentar a produção de um aquênio. Desse modo, para a produção de 1000 aquênios por capítulos, é necessária área foliar de aproximadamente 0,2 m² por planta.

Capítulo

A inflorescência do girassol é composta por flores sésseis, condensadas em receptáculo comum discóide e rodeada por um involúcro de brácteas, formado na parte superior do caule, conhecido como capítulo. O mesmo pode ter diversas formas como côncavo, convexo ou plano. No entanto, de modo geral, a deformação dos capítulos pode estar associada à deficiência de boro e não necessariamente à forma original do capítulo (Fig. 1).

A orientação do capítulo na direção do sol, conhecido como heliotropismo, deve-se ao crescimento diferenciado do caule. Essa movimentação ocorre em função da iluminação desigual de um lado para outro da planta. O

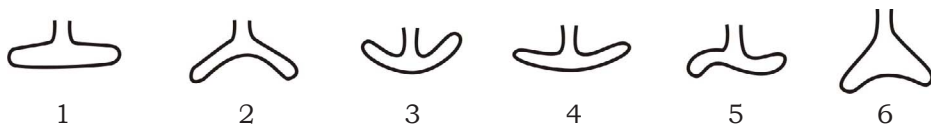


Fig. 1. Formas de capítulo. 1: plano, com a parte posterior do capítulo com inclinação suficiente para o escoamento da água; 2: côncavo; 3: convexo; 4: plano, porém com os bordos voltados para cima, suficiente para o acúmulo de água; 5: irregular; 6: capítulo com formato de corneta, usualmente côncavo, com receptáculo espesso e pesado

Fonte: Knowles (1978).

lado da planta que está sombreado acumula auxina, que é um hormônio regulador de crescimento vegetal. Esse acúmulo faz com que a parte que está à sombra cresça mais rapidamente do que a que está ao sol e, desse modo, o caule e o capítulo inclinam-se para o sol. Com o pôr do sol, a auxina é redistribuída na planta e o capítulo retorna à posição inicial, voltada para o leste (Seiler, 1997). Esse tropismo do capítulo ocorre até o início do florescimento e cessa a partir dessa fase, permanecendo, na maioria dos casos, voltado para o leste.

Flores

Ocorrem dois tipos de flores no capítulo do girassol. As liguladas são estéreis, geralmente tem cor amarela e situam-se na parte externa do capítulo e as tubulares são flores férteis que ocupam todo o centro do capítulo, sendo limitadas pelas flores liguladas (Fig. 2 e 3). A antese das flores ocorre gradualmente, abrindo segundo um padrão em espiral centrípeta, demorando de 10 a 15 dias para completar essa fase. A duração da floração depende do diâmetro do capítulo e das condições climáticas, prolongando-se em dias frescos e nublados (Knowles, 1978).

A dinâmica da antese em uma flor tubular, ocorre, na seguinte ordem: pela manhã, ocorrem: emergência das anteras através da corola, deiscência e liberação de pólen dentro do tubo da antera, alongação do estilete através do tubo das anteras e emergência do estigma, sem contudo estar receptivo. Na manhã do outro dia, o estigma está completamente emergido e com a superfície dos lóbulos expostos e receptivos. Nesse momento, o filete perde a turgidez e o tubo de anteras é recolhido para dentro do tubo da corola. Durante esse processo, com a retração dos filetes, o pólen é aderido à superfície do estilete/estigma e é empurrado para fora das

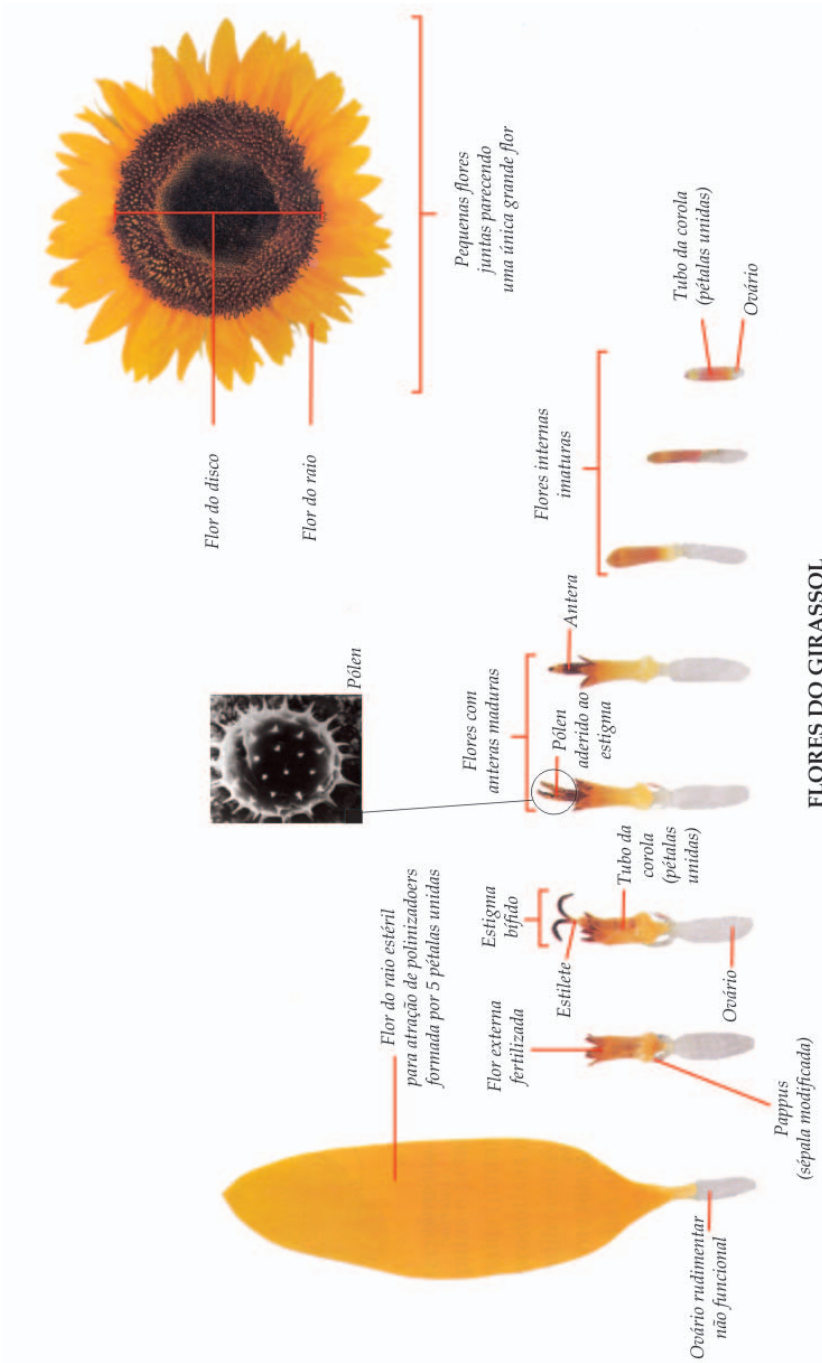


Fig. 2. Inflorescência e flores do girassol em diferentes estádios de desenvolvimento. Fonte: adaptado de Vitta (2004).

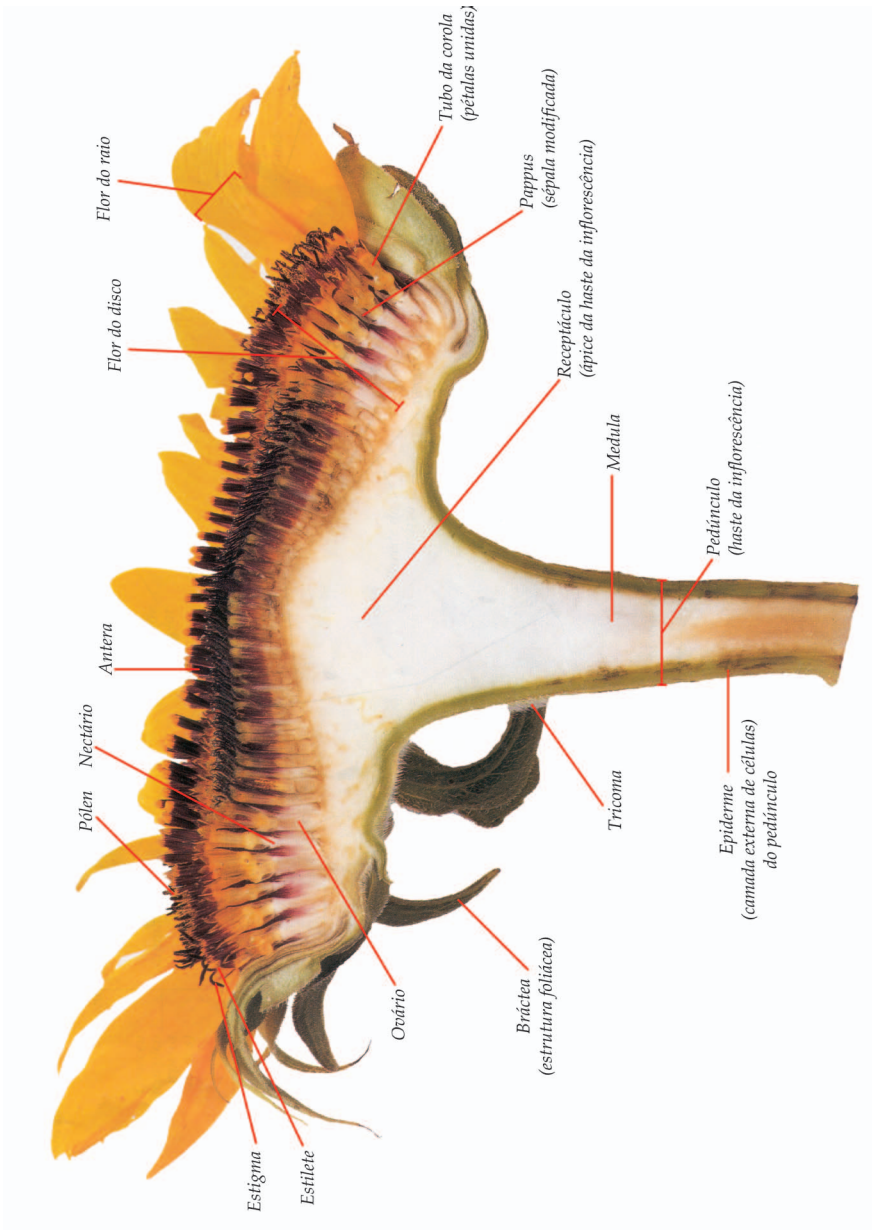


Fig. 3. Corte longitudinal da inflorescência do girassol.
Fonte: adaptado de Vitta (2004).

anteras. Uma vez que o estigma está receptivo, a polinização e a fertilização ocorrem. Após esse processo, o estigma também perde a turgidez e encolhe. Pela manhã do segundo dia após a abertura da flor, as anteras e o estigma estão mais murchos e retraem para dentro do tubo da corola (Seiler, 1997). Esse ciclo ocorre, de modo geral, em 24 horas, dependendo, basicamente, do genótipo e das condições climáticas.

O número de flores é variável, em função de fatores genéticos e ambientais. No entanto, encerram, em torno de 1000 a 4000 flores férteis por capítulo (Weiss, 1983).

O número potencial de aquênios de cada planta é determinado nas fases reprodutivas iniciais das plantas, entre o início da floração e a fase R2 (Merrien, 1992) e é grandemente influenciado pelas condições ambientais, como a disponibilidade de água e de nutrientes, principalmente nitrogênio, para a formação da superfície foliar que sustenta a produção de aquênios.

Assim, a ocorrência de déficit hídrico nessa fase afeta não só o número de folhas, como a área foliar e, assim, o número final de aquênios.

As flores verdadeiras, que originam os aquênios, são hermafroditas e compostas por cálice, corola, androceu e gineceu (Fig. 4). O cálice e a corola, que no seu conjunto formam o perianto, são considerados acessórios ou peças florais estéreis, porque não atuam diretamente na reprodução. Os estames, que no seu conjunto formam o androceu, e o gineceu são as estruturas realmente importantes na reprodução (Ferri, 1973).

O cálice é dialissépalo (Ferri, 1973), formado por duas pequenas folhas transformadas, denominadas pappus, espinhoso, que se encontram opostamente na união do ovário com a corola. A

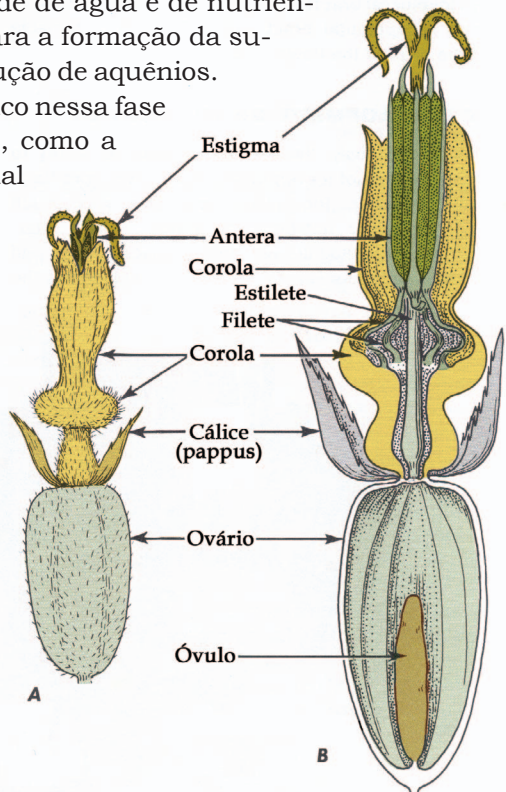


Fig. 4. Representação esquemática de uma flor hermafrodita: (A) Visão externa (x2,5); (B) corte longitudinal (x4).

Fonte: adaptado de Weier et al. (1982).

corola é simpétala (Ferri, 1973), tubulosa, de tubo comprido, formada por cinco lobos iguais de pétalas unidas, exceto na extremidade, formando o tubo da corola (Knowles, 1978).

O androceu é o órgão que abriga as estruturas masculinas da flor e é formado por cinco estames, encimados pelas anteras unidas, mas de filetes livres, formando um tubo, conhecidos como sinantéricos, que é atravessado pelo estilete (Joly, 1993).

O gineceu é o órgão que abriga as estruturas femininas da flor. É formado por um ovário ínfero, bicarpelar, unilocular e uniovulado, que se prolonga formando um estilete alongado, acima do qual se abre o estigma bifido (Lawrence, 1951). O estigma é a região do carpelo receptiva ao grão de pólen, que após germinar, desenvolve o tubo polínico através do estilete, em direção ao ovário, atravessa a micrópila do óvulo, lançando no seu interior duas células espermáticas; uma se funde com a oosfera, originando o zigoto e a outra se une aos núcleos polares, formando o endosperma e, assim, formará uma semente (Cutter, 1987).

Fruto

O fruto é o resultado do processo do desenvolvimento do ovário (Ferri, 1977). O pericarpo, que é a parede do ovário, e parte do fruto, divide-se em três partes: epicarpo, mesocarpo e endocarpo.

O girassol produz um pseudofruto seco, proveniente de um ovário ínfero e de um pistilo dicarpelar, conhecido como aquênio. O aquênio é um fruto indeiscente, que possui uma só semente, ligada à parede do fruto (pericarpo) por apenas um ponto, o funículo (Esau, 1974).

No girassol, o pericarpo é uma casca fibrosa e sua proporção em relação ao aquênio afetará grandemente o teor de óleo. Aquênios com casca grossa e desgrudada das amêndoas produzem menor teor de óleo que a condição contrária. De modo geral, semente clara ou clara estriada está relacionada ao menor teor de óleo, enquanto semente negra ou negra estriada, a maior teor de óleo (Weiss, 1983). A relação casca/amêndoa é uma característica do híbrido ou variedade. Contudo, o mau enchimento dos aquênios modifica seriamente essa relação, tendo em vista que, independente do enchimento dos aquênios, o pericarpo se forma (Seiler, 1997), dando origem aos grãos chochos.

Após a fecundação, o óvulo sofre uma série de modificações para constituir a semente, conhecida como amêndoa, que tem grande concentração

de óleo e proteínas e apresenta dois cotilédones. A semente divide-se em três partes: tegumento, endosperma e embrião (Esau, 1974). O tegumento do girassol é delgado e constitui o envoltório da amêndoa. A amêndoa é a parte mais importante da semente, constituída de endosperma oleaginoso (tecido de reserva que contém substâncias oleaginosas e protídeos) e pelo embrião, formado por um eixo embrionário dividido em duas partes: radícula e caulículo. O caulículo, por sua vez, divide-se em duas outras porções: hipocótilo e epicótilo, com base na inserção dos cotilédones (Carvalho & Nakagawa, 1980). Em função dos principais compostos orgânicos de reservas armazenados (óleos e proteínas), a semente de girassol é classificada como aleuro-oleaginosa.

Devido ao modelo de distribuição e da abertura das flores dentro do capítulo, que ocorre de forma centrípeta, os aquênios surgidos primeiramente, na periferia, são maiores e mais pesados do que os crescidos no centro do capítulo (Fig. 5). Isso ocorre não só pelo maior espaço para os aquênios se desenvolverem, como também pelo maior tempo para o enchimento dos mesmos (relação fonte/dreno), possibilitando maior suprimento de nutrientes e água (Alkio et al., 2003).

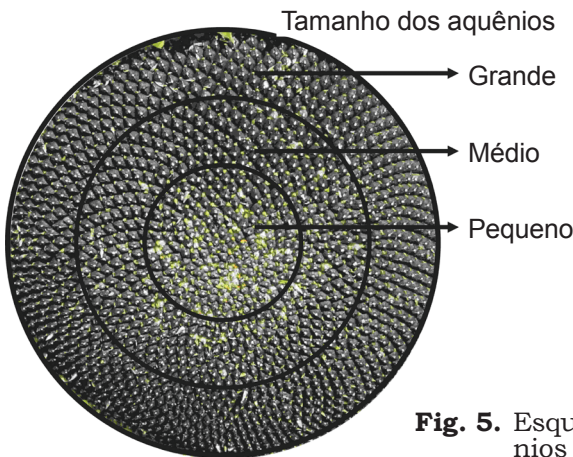


Fig. 5. Esquema de distribuição dos aquênios no capítulo.

Trabalho desenvolvido por Castro (2005, dados não publicados) com alguns genótipos demonstrou que o teor de óleo tem uma dinâmica contrária ao tamanho e ao peso de 1000 aquênios. Os aquênios formados na periferia são maiores e têm maior peso, porém menor teor de óleo que os formados no centro do capítulo (Tabela 2). Aparentemente, é um comportamento contraditório, tendo em vista que o óleo está, basicamente, conti-

Tabela 2. Peso de 1000 aquênios, teor de óleo e porcentagem de casca de girassol em função da posição do aquênio no capítulo.

Genótipo		Peso 1000 (g)	Teor óleo (%)	Casca (%)
Embrapa 122	Periferia	70,6	39,83	25,7
	Meio	66,8	40,65	21,7
	Centro	53,4	41,30	17,3
Helio 251	Periferia	63,0	38,77	31,7
	Meio	56,5	42,77	24,6
	Centro	45,0	45,64	19,3
Helio 362	Periferia	73,23	38,94	28,8
	Meio	63,78	39,35	26,4
	Centro	49,88	39,44	25,5
Agrobel 960	Periferia	58,52	42,79	24,5
	Meio	44,94	45,52	23,2
	Centro	37,39	47,91	21,2
BRHS 09	Periferia	54,55	38,55	34,3
	Meio	40,18	40,15	30,6
	Centro	32,21	41,79	29,2

Fonte: Castro (dados não publicados, 2005).

do na amêndoa. Desse modo, aquênios maiores da periferia têm maior volume e superfície de casca, comparado com os aquênios menores do centro. Assim, com a redução do tamanho de aquênio, dentro de um mesmo capítulo, ocorre uma diminuição muito maior do volume da amêndoa, medida em mm^3 , que a diminuição da superfície de casca, medida em mm^2 . Analisando-se por este aspecto, os grãos maiores, da periferia, deveriam possuir maior teor de óleo, pois possuem maior volume de amêndoa. Contudo, além da relação casca/amêndoa, que é menor nos aquênios menores formados no centro do capítulo do que nos aquênios formados na periferia, as cascas dos aquênios formados no centro do capítulo são mais finas.

Outra questão que reforça a explicação do maior teor de óleo nos aquênios formados no centro do capítulo, é a concentração ligeiramente superior de óleo nas amêndoas (sementes) do centro do capítulo.

Além de ser o meio pelo qual as plantas se dispersam e perpetuam a espécie, a semente é, de modo geral, também fonte básica de alimento e de combustível, acompanhando a evolução do homem desde os primórdios

da espécie humana, quando os primeiros hominídeos vagavam a procura de alimentos, até a atualidade, através de lavouras comerciais e de plantas melhoradas, quando além de fonte de proteínas e carboidratos, vêm se mostrando como uma promissora opção para a produção de energia, como subproduto para a produção de biocombustíveis renováveis.

Na Tabela 3, são apresentadas algumas características quantitativas e morfológicas do girassol. As diferenças são devido às características intrínsecas de cada genótipo, que são grandemente influenciadas pelas diferentes condições ambientais e pelo manejo adotado para o cultivo do girassol.

Tabela 3. Variação de características agrônômicas do girassol.

Caracteres	Unidade	Amplitude de variação
Ciclo vegetativo	dias	65 a 155
Início do Florescimento	dias	40 a 80
Altura de planta	cm	70 a 400
Diâmetro de caule	mm	10 a 80
Número de Folhas	nº	20 a 40
Comprimento das folhas	cm	10 a 50
Largura das folhas	cm	5 a 55
Comprimento de pecíolo	cm	5 a 35
Diâmetro de capítulo	cm	7 a 40
Número de flores	nº	1000 a 4000
Número de aquênios	nº	300 a 2500
Comprimento dos aquênios	mm	5 a 30
Largura dos aquênios	mm	3 a 15
Teor de óleo nos aquênios	%	28 a 60
Teor de óleo nas amêndoas	%	57 a 70
Porcentagem de casca	%	20 a 45
Peso de 1000 aquênios	g	30 a 100
Relação de ácidos graxos oléico/linoléico	–	1/4 a 8/1*
Relação ácido graxo saturado/insaturado	–	1/6

* High oleic

Fases de desenvolvimento da planta de girassol

O desenvolvimento do girassol entre a semeadura e a maturação fisiológica é uma seqüência de alterações morfológicas e fisiológicas na planta, sendo convenientemente consideradas como fases fenológicas, separadas por estádios fenológicos (Connor & Hall, 1997).

A importância de adotar uma escala de identificação das fases de desenvolvimento do girassol deve-se ao fato de que o período de desenvolvimento das várias fases é influenciado por condições ambientais e genóticas, dificultando ou mesmo impedindo a comparação entre plantas, por etapas cronológicas. Assim, muitas práticas culturais que requerem o conhecimento de uma fase específica para seu melhor emprego, como aplicação de adubação de cobertura, de herbicida pós-emergente ou a coleta de folhas para análise de tecido, entre outras, podem ser adequadamente executadas quando se refere, de forma precisa, a essa fase.

Apesar da existência de várias escalas para descrever o desenvolvimento fenológico do girassol, neste livro é adotada a escala proposta por Schneiter & Miller (1981), em que o desenvolvimento da planta é dividido em duas etapas: vegetativa (V) e reprodutiva (R).

As fases de desenvolvimento são:

Período vegetativo: esta fase começa com a emergência das plântulas e termina com o início do aparecimento da inflorescência (botão floral). Após a emergência, as fases são definidas em função do número de folhas.

- **V E** (emergência): o hipocótilo se eleva e os cotilédones emergem na superfície do solo, finalizando com o primeiro par de folhas verdadeiras menores que 4,0 cm de comprimento (Fig. 6 A).
- **V (N)**: caracteriza-se pelo aparecimento de folhas verdadeiras e pode ser definido pelo número de folhas, com o mínimo de 4,0 cm de comprimento, começando com V1, V2, V3, V4, VN (Fig. 6 B). Com o desenvolvimento das plantas, vários fatores podem ocasionar perdas de folhas como, seca, pragas e doenças, entre outros. Assim, para efeito de contagem e determinação da fase, deve-se levar em consideração, também, o número de folhas ausentes.

Período reprodutivo: Esta etapa começa com o aparecimento da inflorescência (broto floral) e termina com a maturação da planta.

- **Fase R1:** a inflorescência circundada pela bráctea imatura torna-se visível. Nesse momento, olhando a planta de cima, as brácteas imaturas apresentam muitas pontas, parecidas com uma estrela (Fig. 6 C). Não se deve confundir o broto floral com o broto de folhas, que ainda caracteriza a fase vegetativa.
- **Fase R2:** o internódio imediatamente abaixo da base da inflorescência alonga-se de 0,5 a 2,0 cm acima da folha mais próxima da inflorescência, inserida no caule. Algumas plantas podem ter brácteas adventícias na base do capítulo, as quais devem ser desconsideradas na descrição dessa fase.
- **Fase R3:** o internódio imediatamente abaixo do botão reprodutivo continua a se alongar, distendendo-se mais de 2,0 cm acima da folha mais próxima da inflorescência, inserida no caule.

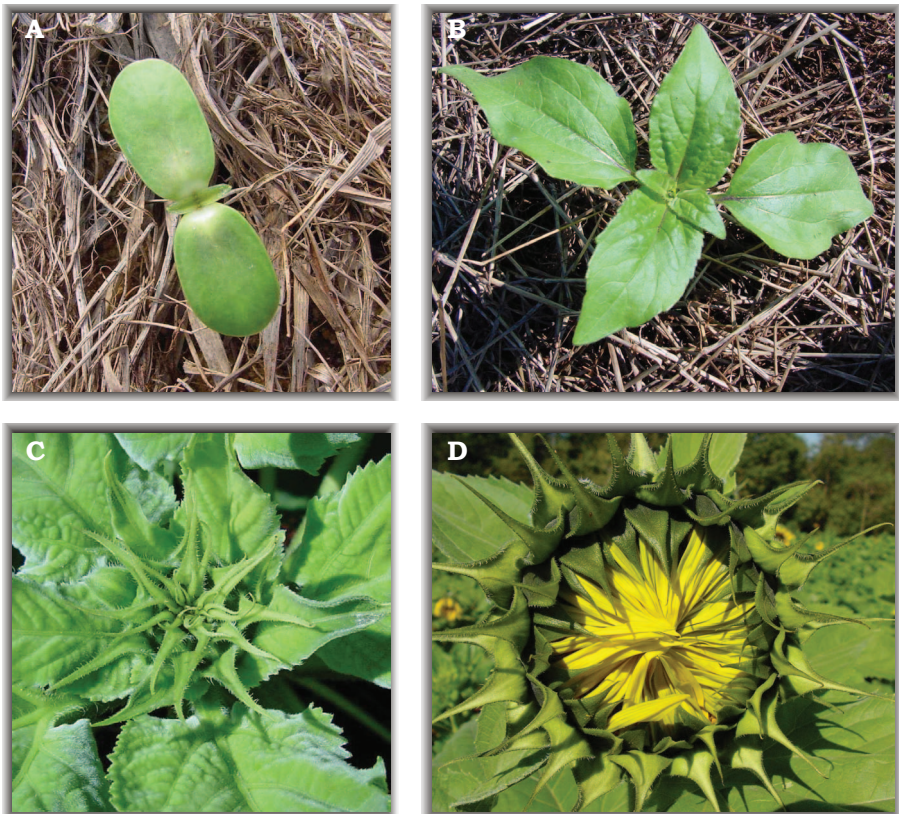


Fig. 6. Fase V E (emergência) (A), fase V4 (B), fase R1 (C) e fase R4 (D).

- **Fase R4:** a inflorescência começa a abrir. É quando pequenas flores liguladas são visíveis e, freqüentemente, amarelas (Fig. 6 D).
- **Fase R5:** essa fase é o início da antese. As flores liguladas estão completamente expandidas e todo o disco das flores está visível (Fig. 7 A). Esta fase pode ser dividida em sub-fases, dependendo da área do capítulo, com a fecundação das flores tubulares completas ou em antese. Se 50% das flores do disco estão fertilizadas ou em antese, é a fase R5.5 (Fig. 7 B). Se 80% das flores do disco estão fertilizadas ou em antese, é a fase R5.8.
- **Fase R6:** a antese está completa e as flores liguladas perderam a turgidez e estão murchando. As flores liguladas podem não murchar e a abscisão ocorrer imediatamente (Fig. 7 C)
- **Fase R7:** o dorso do capítulo torna-se amarelo-claro. O amarelecimento

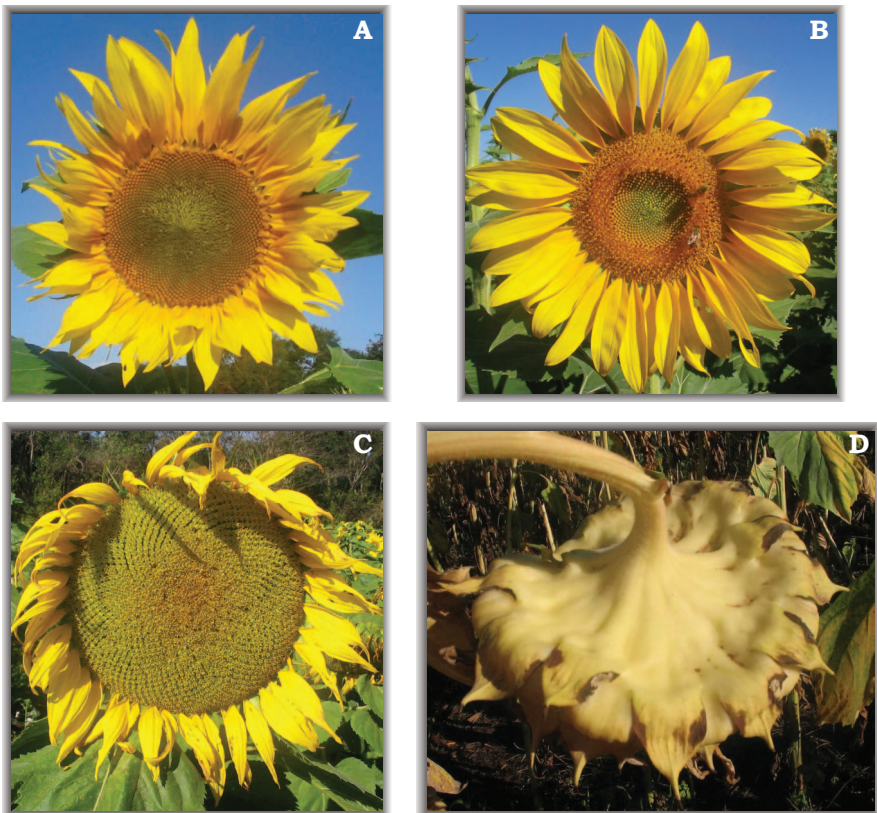


Fig. 7. Fase R5 (A), fase R5.5 (B), fase R6 (C) e fase R9 (D).

pode iniciar pelo centro do dorso do capítulo, próximo a base do receptáculo ou pelas bordas, adjacente às brácteas.

- **Fase R8:** o dorso do capítulo torna-se amarelo, porém as brácteas permanecem verdes. Alguns pontos castanhos podem aparecer no dorso do capítulo.
- **Fase R9:** as brácteas adquirem a coloração entre amarela a castanha. Nesse ponto, grande parte do dorso do capítulo torna-se castanho. Esta fase é, geralmente, considerada como maturação fisiológica (Fig. 7 D).

Para melhor entendimento das diferentes fases de desenvolvimento do girassol, visando a aplicação prática em condições de campo para avaliação de lavouras, na Fig. 8 é apresentado um esquema baseado na descrição das fases de desenvolvimento definidas por Schneiter & Miller (1981).

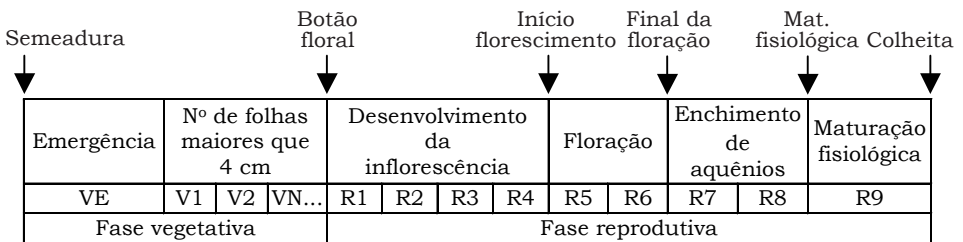


Fig. 8. Descrição esquemática das fases de desenvolvimento do girassol, segundo Schneiter & Miller (1981).

Exigências climáticas

O girassol é uma cultura que se adapta bem a diversos ambientes (Robinson, 1978), podendo tolerar temperaturas baixas e períodos de estresse hídrico. Com relação à reação ao fotoperíodo, o girassol é classificado como espécie insensível. Esse comportamento pode ser verificado pela ampla dispersão, no território nacional, dos híbridos e variedades testadas na Rede de Ensaio de Avaliação de Genótipos de Girassol, analisando os resultados obtidos desde o Rio Grande do Sul até Roraima (Informes, 2004; Smiderle et al., 2004). Entretanto, alguns cultivares comportam-se como plantas de dia curto e outras como de dia longo.

O déficit hídrico é o principal fator limitante para o desenvolvimento das culturas em solos agricultáveis (Boyer, 1982). Constitui-se, ainda, na maior

causa de variabilidade dos rendimentos de grãos observados de um ano para outro, nas diversas regiões produtoras brasileiras, contribuindo para limitar a obtenção de elevadas produtividades. Quedas nos rendimentos de grãos em função da falta de água, são freqüentes, principalmente nos Estados do Centro-Sul do País, causando enormes prejuízos econômicos e sociais (Farias, 2004). No entanto, o girassol é freqüentemente cultivado em condições não irrigadas e, apesar de ser considerado tolerante à seca, em situações de limitada disponibilidade de água às plantas, a produção de grãos pode ser afetada drasticamente.

Os principais fatores que afetam a fisiologia das plantas e interagem para a produção das culturas podem ser agrupados em quatro grandes grupos, compondo o sistema solo-planta-atmosfera. O conhecimento dos mecanismos de ação e de interação entre esses fatores possibilita aumentar a eficiência de sobrevivência e de produção das plantas.

- Fatores climáticos: água, luz (radiação solar), temperatura, fotoperíodo e ventos;
- Fatores edáficos: propriedades químicas e físicas do solo e topografia;
- Manejo da cultura: estratégia de adubação, arranjo de plantas, população de plantas, controle de invasoras e fitossanitário, entre outras;
- Genótipo: potencial de produção, adaptabilidade ao ambiente.

Como é praticamente impossível controlar o clima, pode-se, entretanto, escolher épocas com melhores condições climáticas para o desenvolvimento do girassol. Para tanto, com base no histórico climático da região, duas condições devem ser respeitadas para avaliar a viabilidade de cultivo e para definir a melhor época de semeadura do girassol: adequadas temperaturas reinantes durante toda a estação de crescimento da cultura e suficiente suprimento de água, principalmente, durante as fases de desenvolvimento da planta mais sensíveis à ocorrência de déficits hídricos. Nesse sentido, o zoneamento agroclimático do girassol tem contribuído para a indicação de épocas de semeadura com menor risco climático à cultura, considerando o regime normal de precipitação pluviométrica de cada local, a capacidade de água disponível (CAD) (como resultado das características hídricas do solo e da profundidade efetiva do sistema radicular), o consumo hídrico pela cultura do girassol nas diferentes fases de crescimento e o ciclo das cultivares (Farias et al., 2001).

Ventos fortes, além de provocar grande evaporação e perda de água, podem tombar ou até mesmo quebrar a planta de girassol, em qualquer fase

de desenvolvimento. A ocorrência de granizo também é altamente prejudicial, com efeitos variando conforme tamanho, velocidade de queda, tempo de duração e fase de desenvolvimento da planta.

Outra questão para o sucesso da exploração da cultura trata da escolha de solos que possibilitam o desenvolvimento das raízes. Para tanto, a saturação de alumínio do solo deve ser inferior a 5% (Blamey et al., 1987) e não existir camadas de impedimento para o crescimento das raízes.

Efeito da temperatura no desenvolvimento das plantas

Em solos com aeração e disponibilidade hídrica adequadas, a temperatura é o fator mais limitante à germinação da semente de girassol. A germinação é inibida com temperaturas do solo menores que 3°C a 4°C. A velocidade de germinação aumenta exponencialmente de 3°C a 30°C, e é mantida máxima com temperaturas entre 6°C a 23°C, decrescendo rapidamente com temperaturas acima de 25°C. Temperaturas acima de 37°C a 40°C prejudicam sensivelmente a germinação (Macchia et al., 1985; Gay et al., 1991) e as sementes não germinam com 45 °C (Corbineau et al., 2002). Temperaturas baixas durante a germinação atrasam a emergência, retardam o estabelecimento radicular e induzem a formação de plântulas pequenas. Ao atrasar a emergência, expõem a semente em germinação ao ataque de patógenos e pragas presentes no solo. Em cultivos realizados no Rio Grande do Sul, principalmente semeados no mês de julho, a emergência das plantas pode estender-se em até 15 dias, enquanto que em Roraima, semeados em junho/julho, a emergência pode ocorrer já a partir de três dias após a semeadura.

Vários autores citam como temperatura base para o girassol valores entre 4°C a 8,5 °C (Robinson et al., 1967; Sadras & Hall, 1988; Merrien, 1992; Villalobos & Ritchie, 1992). A temperatura base de uma cultura é definida como a temperatura abaixo da qual a planta não se desenvolve ou, quando o faz, é em proporções muito reduzidas. O conceito de graus-dia baseia-se no fato de que a planta necessita de determinada quantidade de energia, representada pelo somatório de temperaturas acima de um valor base, para completar determinada fase fenológica ou mesmo o ciclo total (Massignam, 1987).

Temperaturas altas prejudicam o desenvolvimento da planta, principalmente em condições de baixa disponibilidade hídrica. O girassol desenvolve-se bem em temperaturas variando entre 20°C e 25°C, embora estudos

em condições controladas indicam que 27°C a 28°C parecem ser as temperaturas ótimas (Warren-Wilson, 1966), o que está de acordo com Robinson (1978) e Unger (1990), os quais citam que a temperatura ótima para o desenvolvimento do girassol situa-se na faixa entre 27°C a 28°C. A faixa de temperatura entre 8°C a 34°C é tolerada pelo girassol, sem redução significativa da produção, indicando adaptação da cultura a regiões com dias quentes e noites frias (Weiss, 1983). Temperaturas elevadas e tempo seco aceleram a floração e, ocasionalmente, dificultam uma polinização adequada. Segundo Weiss (1983), em regiões tropicais, as abelhas podem diminuir suas atividades em função das altas temperaturas. Com 35°C de temperatura, ou acima dessa, a coleta de pólen ou néctar tende a ser progressivamente reduzida, devido à necessidade da coleta de água pelas abelhas para reduzir a temperatura da colméia. Contudo, flutuações de temperaturas, com quedas bruscas durante o florescimento, reduzem a atividade das abelhas e a própria viabilidade do grão de pólen, ocasionando falhas na polinização, com conseqüente redução do número de aquênios por capítulo. Nesse caso, ao contrário dos problemas relacionados à falta de boro, água ou característica do genótipo, a falha na polinização é distribuída no capítulo.

As plantas podem suportar temperaturas baixas por curto período, principalmente nas fases iniciais de desenvolvimento até quatro a oito folhas (Barni et al., 1985., Robinson, 1978). Abaixo de 4°C a 5°C, considera-se que o girassol não apresenta atividade fisiológica. Apesar de temperaturas baixas não matarem a planta, podem provocar distúrbios fisiológicos. Temperaturas baixas, durante o desenvolvimento inicial, podem causar deformação das folhas e danificar o ápice da planta, com morte da gema apical ou provocando algumas anomalias, como ramificação da inflorescência (Fig. 9). O maior efeito visual da temperatura dá-se sobre a taxa de desenvolvimento, originando plantas menores, com menor área foliar, menor número de grãos e, conseqüentemente,



Fig. 9. Ramificação da inflorescência causada pelo frio.

menor potencial produtivo. Temperaturas baixas, tempo nublado e úmido prolongam o ciclo da cultura, atrasando a floração e a maturação.

Baixas temperaturas durante a floração podem afetar significativamente o rendimento, não só pela perda da capacidade reprodutiva do grão de pólen, como pela redução da atividade das abelhas, o que pode reduzir significativamente o número de aquênios.

A relação entre a concentração de ácido oléico e linoléico é controlada pelas condições ambientais, principalmente temperatura, e genotípicas (Connor & Hall, 1997, Roche et al., 2004). Assim, existe uma forte relação entre a temperatura e o grau de insaturação dos ácidos graxos. O girassol cultivado em condições de menores temperaturas durante o período de síntese de óleo possibilita o aumento do teor do ácido graxo linoléico, enquanto reduz o de oléico (Harris et al., 1978; Silver et al., 1984; Kabbaj et al., 1996; Castiglioni et al., 1997; Hasan & Ahmad, 2003). Alta temperatura, principalmente à noite, tem sido identificada como o principal fator ambiental, reduzindo a relação entre ácido linoléico/oléico (Silver et al., 1984). Temperaturas elevadas durante a formação dos grãos afetam mais seriamente a composição de ácidos graxos do que o conteúdo de óleo. Temperaturas acima de 35°C reduzem o teor de óleo. Contudo, os teores de óleo do girassol cultivado nos Cerrados de Roraima, em que o ciclo é reduzido para cerca de 76 dias, alcançam até 50,0 % (Smiderle et al., 2001), não sendo seriamente afetados pelas elevadas temperaturas observadas na região (temperaturas médias e máximas no florescimento e enchimento de aquênios de 24°C e 30°C, respectivamente). No entanto, a composição de ácidos graxos pode ter sido fortemente afetada, com redução do teor de ácido linoléico e aumento do ácido graxo oléico.

A duração das fases de desenvolvimento do girassol é altamente dependentes da temperatura reinante. Segundo Massignam (1987), a temperatura é a variável com maior influência na duração das fases da emergência à floração do girassol.

Apesar da redução do ciclo do girassol cultivado nos Cerrados de Roraima em até 49 dias, em relação aos cultivos no Paraná, os teores de óleo não foram afetados com a mesma intensidade (Smiderle et al., 2002). Essa redução do ciclo da cultura está de acordo com o conceito de graus-dia, da quantidade de energia necessária para completar o ciclo da cultura. Essas características são interessantes quando se vislumbra a possibilidade de utilização do girassol, com ciclo reduzido e teor de óleo elevado, para sua utilização não só na indústria alimentícia, como também para a produção de biocombustível. Essa opção torna-se atraente quando se conhece a

potencialidade de utilização dessa fonte energética renovável e a falta de energia nas condições amazônicas.

O girassol e a água

A variabilidade na disponibilidade hídrica durante a estação de crescimento é a principal limitação à expressão do potencial de rendimento das culturas, independentemente do ciclo da cultivar, da época de semeadura e do local. Todavia, há variabilidade entre as regiões e as épocas, existindo aquelas onde as magnitudes das perdas do potencial de rendimento, por falta de água à cultura, são maiores. Características do clima e do solo são as principais responsáveis pelas diferenças regionais dos impactos da ocorrência de deficiência hídrica nas culturas, particularmente, em função da capacidade de armazenamento de água disponível no solo, do regime pluviométrico e da demanda evaporativa da atmosfera (Farias, 2005).

Para tolerar períodos de seca, as plantas utilizam uma série de mecanismos. Tais mecanismos variam entre espécies e dizem respeito a tolerar, escapar e evitar o déficit hídrico. No primeiro caso, a planta sobrevive sob elevados déficits hídricos internos; no segundo, a planta completa o ciclo antes de períodos de seca e, no terceiro, a planta mantém um potencial elevado de água nos tecidos, mesmo sob condições adversas. Dentre os mecanismos mais importantes para tolerar a seca, estão o aprofundamento e a distribuição do sistema radicular, a morfologia e a arquitetura das folhas, envolvendo processos de murchamento e redução da área foliar, e algumas características fisiológicas das plantas, como ajuste osmótico, eficiência de translocação de fotoassimilados para os grãos (índice de colheita) e adaptação do ciclo de desenvolvimento das plantas. Muitos desses mecanismos têm forte base molecular, merecendo, atualmente, destaque os trabalhos de identificação de genes que conferem maior tolerância à falta de água, para posterior transformação de plantas.

Déficit hídrico

O déficit hídrico é geralmente entendido como a presença de um período mais ou menos prolongado de falta de água, como os veranicos ocasionais durante o ciclo da cultura na safra principal, ou aqueles ocorrentes na safrinha, em que a semeadura e as primeiras fases de desenvolvimento dão-se com boa disponibilidade de água e o final do ciclo da planta coincide com o final das chuvas. Contudo, o melhor entendimento é que o déficit hídrico ocorre a partir de um balanço negativo entre a quantidade de água

absorvida pela planta e a quantidade perdida por transpiração. Portanto, não é necessária a ocorrência de um período prolongado sem chuvas para que a planta sofra déficit. Assim, mesmo com água livre à disposição das raízes, nas horas de maior demanda transpiratória, a planta exibe sintomas típicos da falta de água, como folhas enroladas e perda de turgor.

A transpiração não é um processo constante, variando com a espécie vegetal, fase de desenvolvimento da planta, características e disponibilidade hídrica do solo, e com as condições climáticas, que definem a demanda evaporativa da atmosfera (DEA). De modo geral, durante a maior parte do dia, a perda de água por transpiração é maior do que a absorção de água pela planta, ou seja, a velocidade com que a planta perde água é maior do que ela consegue absorver, gerando pequenos déficits internos, que comumente se expressam através de murchamento das folhas, nas horas mais quentes do dia, com pico ao redor do meio dia (Kramer & Boyer, 1995). Simplificadamente, o fluxo da água do solo para as raízes e das folhas para a atmosfera não é determinado unicamente pelos gradientes de potenciais.

O processo envolve outras forças (resistências) que dificultam o movimento da água ao longo de todo o sistema. Nesse processo, cada parte do sistema solo-planta-atmosfera apresenta resistências específicas, controlando o fluxo da água que se move, espontaneamente, em direção às regiões que apresentem valores de potencial hídrico (ψ) mais negativos (Fig. 10). Enquanto a diferença de potencial hídrico entre o solo e o interior das raízes está em torno de 0,1 MPa, a diferença entre o interior da folha e o ar circundante da folha é de aproximadamente 90 MPa (Taiz & Zeiger, 1998). À noite, a planta repõe essa defasagem de água, recuperando a turgidez dos tecidos, a qual pode ser observada nas primeiras horas do dia.

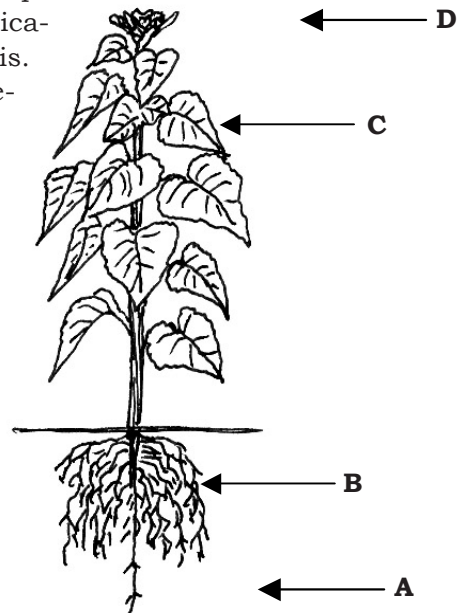


Fig. 10. Movimento da água no sistema solo-planta-atmosfera (A: ψ do solo, B: ψ das raízes, C: ψ das folhas, D: ψ da atmosfera).

Fonte: Adaptado de Taiz & Zeiger (1998).

Assim, o princípio básico da transpiração obedece ao gradiente do maior potencial da água no solo para o menor potencial da água na atmosfera ($\psi_{\text{solo}} > \psi_{\text{das raízes}} > \psi_{\text{das folhas}} > \psi_{\text{da atmosfera}}$).

O fenômeno pode ser melhor compreendido quando se conhece que, ao longo do dia, tanto a absorção de água quanto a transpiração sofrem modificações em função, principalmente, da radiação solar, da velocidade do vento, da temperatura e da umidade relativa do ar, que vão modificando a demanda evaporativa da atmosfera e, conseqüentemente, a perda de água por transpiração (Fig. 11).

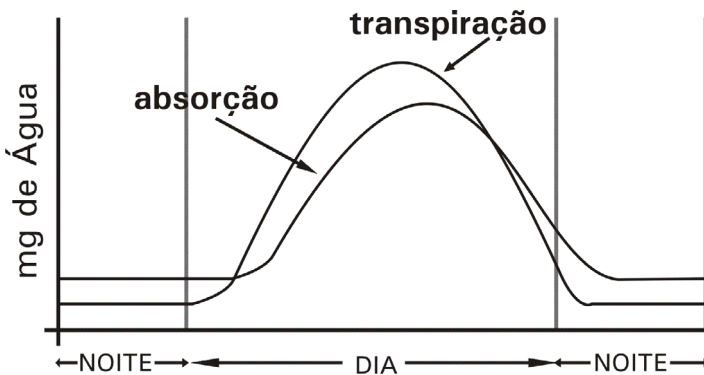


Fig. 11. Evolução da transpiração e da absorção de água nas folhas.

Fonte: adaptado de Kramer & Boyer (1995).

Assim, no início do dia, quando a planta está submetida a temperaturas moderadas e à baixa demanda transpiratória, a absorção de água supera a perda por transpiração na forma de vapor e, portanto, apresenta um balanço hídrico positivo, deixando as células túrgidas. Posteriormente, com o decorrer do dia, no período compreendido entre 3-4 horas antes e depois do meio dia, as folhas sofrem a ação das variações ambientais, como a intensa incidência de radiação solar e o aquecimento excessivo, aumentando consideravelmente a transpiração, a qual gera um balanço hídrico negativo (Reichardt, 1985). Com isso, as células perdem a turgidez, mesmo com o solo bem suprido de água. Nesse período, para reduzir a perda de água, é comum o fechamento parcial ou total dos estômatos, o murchamento das folhas e outros movimentos foliares. Nas últimas horas da tarde e à noite, a demanda atmosférica diminui e o balanço hídrico volta a ser positivo, com a planta recuperando o estado de turgescência. A redução da disponibilidade de água por um período curto de tempo não

promove nenhuma injúria às células e a planta recupera todas suas funções quando reidratada. Esse comportamento, típico da variação do balanço hídrico de uma planta ao longo do dia, é apresentado na Fig. 11.

Boyer (1970) observou que a expansão celular foi consideravelmente mais afetada que a fotossíntese, em baixo potencial hídrico das folhas. A completa supressão do crescimento foliar do girassol ocorreu com potencial hídrico da folha abaixo de $-0,4$ MPa. Dessa maneira, a grande inibição de crescimento em girassol, em tais potenciais, pode resultar em pequena expansão foliar durante o dia, mesmo em solos com alto conteúdo de água. Contudo, se a situação anterior, que ocorre normalmente durante o dia, persistir durante um período mais ou menos prolongado de dias sem reposição hídrica (chuvas ou irrigação), com constante retirada de água pela planta, ocorrerá o secamento do solo, tornando disponível, gradativamente, menor quantidade de água às plantas. Com o secamento, a água disponível no solo ficará retida cada vez mais fortemente pela matriz do solo, exigindo das raízes maior força para vencer a retenção da água e poder absorvê-la.

Caso não haja reposição de água no solo, a partir de certo ponto, a planta não conseguirá recuperar sua condição hídrica ideal durante a noite, aumentando a deficiência dia após dia. Dependendo da duração e da intensidade desse déficit, processos fisiológicos e metabólicos importantes poderão ser afetados, com sérios prejuízos ao desenvolvimento das plantas e à obtenção dos rendimentos. Quanto mais seco o solo, mais difícil e menor é a absorção de água pelas plantas, até atingir uma tensão de umidade do solo em que as plantas não conseguem mais absorver a água ali presente (Slatyer, 1967). Quanto maior a demanda evaporativa da atmosfera, maior é o consumo de água pela planta e, conseqüentemente, mais rapidamente se dá o secamento do solo. Assim, se essa situação permanecer por muito tempo, o déficit hídrico aumenta até alcançar o ponto de murcha permanente ($-1,5$ MPa), onde teoricamente não há mais recuperação da planta.

Na Fig. 12, é possível observar o comportamento hídrico do solo e da planta, em função da não reposição de água, característico em cultivos de safrinha, quando não se respeitam as indicações do zoneamento de risco climático. À medida que o solo perde água e a condutividade hidráulica é pequena, tanto a raiz quanto a folha demoram mais tempo para restabelecer o equilíbrio hídrico, que ocorre, tanto às expensas do movimento ascendente da água no solo, por capilaridade, quanto pela menor evapotranspiração que acontece principalmente à noite e no início e no final do dia. Assim, o fluxo de água do solo para as raízes pode não suprir a de-

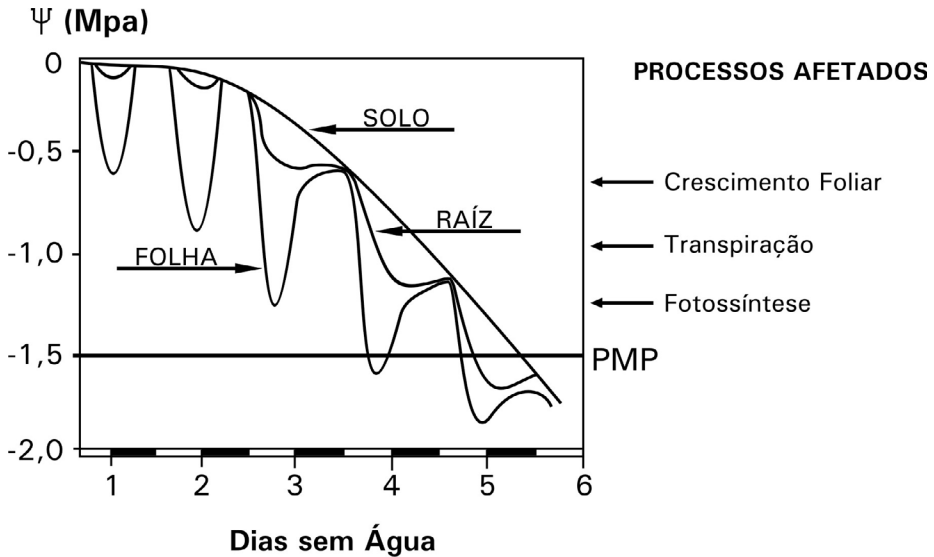


Fig. 12. Relação de potenciais entre solo, raiz e folha ao longo do tempo.
Fonte: adaptado de Slatyer (1967).

manda total das plantas. Nesse caso, a turgescência diminui, devido à perda de água para a atmosfera e a menor absorção, provocando o fechamento dos estômatos (Reichardt, 1985).

A grande diferença de potenciais entre a raiz e a folha é devido, principalmente, aos efeitos da temperatura. Durante o período de seca, o ar que rodeia a folha está quente e seco, apresentando, portanto, um comportamento altamente higroscópico. A folha aquecida precisa perder água por transpiração para reduzir sua temperatura. A perda de água ocorre basicamente através dos estômatos e, em menor parte, através da cutícula. A folha entra em um estado de murcha temporário até que as raízes possam vencer o potencial de retenção da água do solo, que é cada vez mais negativo, e restabelecer a turgescência das células da folha (Hale & Orcutt, 1987). Nessa situação, ao contrário do déficit que ocorre durante o dia, a falta de água se traduz em alterações metabólicas que, em função da magnitude, levam ao aparecimento de injúrias e à redução significativa da produção.

Hsiao (1973) estipulou como déficit suave, aquele em que os decréscimos do potencial hídrico das folhas não ultrapassassem o valor de -1,0 MPa ou que o conteúdo relativo de água dos tecidos não decrescesse mais que 10%. Déficit moderado ocorre quando decréscimos do potencial hídrico do

tecido variam de -1,1 a -1,5 MPa e a redução no conteúdo relativo de água esteja entre 10% e 20%. Plantas sob déficit severo apresentam variação no potencial hídrico das folhas inferior a -1,6 MPa e a redução no conteúdo relativo de água maior que 20%. Tecidos onde a variação do conteúdo relativo de água for superior a 50% são ditos dessecados.

Em dias ensolarados, sem forte advecção, folhas expostas de muitas culturas crescendo em solos bem irrigados exibem potencial hídrico ao meio-dia variando entre -0,9 e -1,3 MPa, e com um conteúdo relativo de água entre 85% e 95%. Entre a meia noite e o amanhecer, o potencial hídrico pode ser de -0,1 a -0,2 MPa e o conteúdo relativo de água atingir 100%. Quando há um óbvio murchamento ou pronunciado fechamento de estômatos induzido pelo déficit de água nas folhas, o potencial hídrico é reduzido para -1,3 a -1,7 MPa. Esse nível corresponde aproximadamente ao ponto em que o turgor celular cai para perto de zero. A queda para -3,0 a -3,5 MPa se equivale a um conteúdo relativo de água ao redor de 45%, resultando em morte das células (Hsiao & Bradford, 1983).

Consumo de água pelo girassol

O consumo de água pelo girassol varia em função das condições climáticas, da duração do ciclo e do manejo do solo e da cultura. A necessidade de água para o girassol vai aumentando com o desenvolvimento da planta, partindo de valores ao redor de 0,5 a 0,7 mm/dia durante a fase da semeadura à emergência, para um máximo de 6 a 8 mm/dia, na floração e no enchimento de grãos, decrescendo após esse período até a maturação fisiológica (Fig. 13). Portanto, a ocorrência de déficit hídrico durante a floração e o enchimento de grãos afeta fortemente a produção de aquênios e o teor de óleo. Não obstante ao baixo consumo de água no início do ciclo, uma adequada disponibilidade de água durante o período da germinação à emergência é necessária para a obtenção de uma boa uniformidade na germinação e na emergência das plantas e, conseqüentemente, na população desejada de plantas.

As necessidades hídricas do girassol ainda não estão perfeitamente definidas, existindo informações que indicam desde menos de 200 mm até mais de 900 mm por ciclo (Unger, 1990). Entretanto, na maioria dos casos, 400 a 500 mm de água, bem distribuídos ao longo do ciclo, resultam em rendimentos próximos ao potencial máximo.

Segundo Vrânceanu (1977), as fases de desenvolvimento da planta mais sensíveis ao déficit hídrico são:



Fase vegetativa		Fase reprodutiva			
Germinação/ Emergência	Crescimento		Floração	Enchimento de aquênios	Maturação fisiológica
	Lento	Acelerado			
Duração: 4 a 10 dias Temp. 23°C Água/dia: 0,5 a 0,7 mm	Duração: 50 a 70 dias Temperatura 23 a 28°C Água/dia: 0,7 a 6,0 mm		Duração: 10 a 15 dias Temp. <35°C Água/dia: 6,0 a 8,0 mm	Duração: 20 a 30 dias Temp. 20 a 24°C Água/dia: 4,0 a 6,0 mm	Duração: 15 a 25 dias Período seco

Fig. 13. Representação esquemática da duração das principais fases de desenvolvimento do girassol, com as respectivas durações e exigências térmicas e hídricas.

a) do início da formação do capítulo (final da fase de diferenciação do receptáculo e formação das emergências florais) ao começo da floração: afeta mais fortemente o rendimento de aquênios; e

b) período imediatamente após a floração, quando ocorre o enchimento de aquênios: reduz fortemente a porcentagem e o rendimento de óleo.

Robelin (1967) destaca a máxima sensibilidade do girassol à seca 20 dias antes e 20 dias após a floração, período em que a ocorrência de déficit hídrico diminui consideravelmente a produção de aquênios e o conteúdo de óleo. A maior influência da seca sobre o conteúdo de óleo ocorre nos

primeiros 10 dias após o secamento das flores liguladas, sendo, portanto, essa fase a mais crítica para a quantidade e a qualidade da produção de girassol. Para Gómez-Arnau (1988), o período crítico quanto à necessidade de água no cultivo de girassol estende-se desde a fase em que o botão floral varia de três a cinco centímetros de diâmetro até 10 a 15 dias após o final da floração. Castro (1999) observou que as fases mais críticas à deficiência hídrica na cultura do girassol, afetando mais seriamente a produção, são o início do florescimento, seguido pelo enchimento de aquênios. Singh & Singh (2000) concluíram que o estresse hídrico nas fases de florescimento e enchimento de aquênios são as mais críticas para a planta.

Assim, de um modo bastante prático, considera-se como a fase mais crítica ao déficit hídrico o período compreendido entre cerca de 10 a 15 dias antes do início do florescimento e 10 a 15 dias após o final da floração (Castro et al., 1996).

Plantas sob estresse hídrico têm a absorção de água e nutrientes, a germinação de semente, o fechamento e a abertura estomatal, a atividade fotossintética, a transpiração, a atividade enzimática e vários outros processos metabólicos e fisiológicos afetados. Kramer (1983) observou que o estresse hídrico afeta vários aspectos do crescimento das plantas, incluindo o anatômico, o morfológico, o fisiológico e o bioquímico. O efeito geral mais óbvio referente à ocorrência de déficit hídrico é a redução do tamanho das plantas, área foliar e o rendimento das culturas. Cox & Jolliff (1986), trabalhando em três níveis de umidade, concluíram que, enquanto o índice de área foliar foi o parâmetro de crescimento vegetativo mais sensível ao déficit de água no solo, o número de sementes por planta foi o componente de rendimento mais afetado nas mesmas condições.

A maneira exata sobre como o déficit hídrico afeta o crescimento e o desenvolvimento da planta tem sido alvo de muitos debates. Há evidência de que o estresse hídrico afeta o crescimento através de mecanismos diretos e indiretos, alterando relações hormonais, nutricionais e a formação de carboidratos.

Para que uma planta tenha boas condições de sobreviver em regiões onde há pouca disponibilidade de água, ela deve ser capaz de manter um estado hídrico superior durante as horas mais críticas do dia, quando a demanda evaporativa da atmosfera é alta, estando isto associado a um sistema radicular bem desenvolvido.

O girassol, apesar de ser reconhecido como tolerante à seca, tem baixa eficiência no uso da água. Cada litro de água consumido produz menos

de 2 g de matéria seca (Unger, 1990; Mohr & Schopfer, 1995), enquanto o milho produz 4 g (Mohr & Schopfer, 1995).

Segundo Morizet & Merrien (1990), o girassol consome grande quantidade de água. No entanto, para Gómez-Arnau (1988), o girassol tem comportamento aparentemente contraditório quanto à baixa eficiência no uso da água. Essa baixa eficiência melhora muito em condições de déficit hídrico, já que sua eficiência relativa pode aumentar de 20% a 50%, porque a fotossíntese é reduzida, comparativamente menos que as perdas de água por transpiração. Por isso e pelo fato de que seu sistema radicular explora camadas muito profundas do solo, não exploradas por outros cultivos, o girassol pode ser considerado como uma planta que assegura algum rendimento, mesmo sob condições hídricas onde outras espécies cultivadas não produziram nada.

Estudos conduzidos por Oliveira (1997) demonstram o grande consumo de água pela cultura do girassol em condições de disponibilidade hídrica satisfatória. O autor, avaliando a transpiração pelo método de balanço de calor de plantas de girassol, milho, tomate e limão tahiti, em casa de vegetação, num período de 10 dias de avaliação, observou que a transpiração do girassol, na fase R5.5, foi destacadamente superior às das demais espécies, alcançando valores médios diários de 1449 g/dia, enquanto o milho atingiu valores de 513 g/dia, o tomate 285 g/dia e o limão tahiti de 661 g/dia.

A seca tem um profundo efeito no crescimento, no rendimento e na qualidade das plantas. O primeiro efeito do déficit hídrico é a perda de turgor que afeta as taxas de expansão celular e por último o tamanho celular. A perda de turgor é provavelmente o processo mais sensível das plantas no período de seca. Como resultado, há a redução do crescimento, da elongação do caule, da expansão foliar e da abertura dos estômatos (Hale & Orcutt, 1987).

O crescimento de uma parte do tecido celular é o aumento irreversível do tamanho da célula, em função do aumento da superfície de cada parede celular, que ocorre logo após ter acontecido o seu relaxamento, quando é restabelecido o turgor completo. Nos aspectos relacionados às plantas, muitos fatores influenciam a taxa de expansão da parede celular, como o tipo e a idade celular, assim como os hormônios (Taiz & Zeiger, 1998). Dentre os hormônios, a extrusão de prótons induzida por auxina desempenha importante função no afrouxamento da parede celular.

Assim, sob condições de déficit hídrico, ocorre perda de turgor das células na região de crescimento, em função da não absorção osmótica da água, que impede ou reduz o crescimento celular, independente da disponibili-

dade de nutrientes às plantas e, conseqüentemente, o desenvolvimento das plantas. Hopkins (1995) sugeriu que o crescimento celular poderia ser explicado com a fórmula:

$$TC = m (\Psi_p - Y)$$

Na fórmula, **TC** é a taxa de crescimento celular, Ψ_p é a pressão de turgor, **Y** é o limiar de amolecimento (a pressão abaixo da qual a parede celular resiste à deformação plástica ou irreversível) e **m** é o coeficiente de extensibilidade da parede celular (a reação da parede à pressão), que relaciona a taxa de crescimento à diferença de potencial entre Ψ_p e **Y** (Taiz & Zeiger, 1998). Estudos comprovaram que a falta de água afeta diretamente tanto a diminuição da extensibilidade quanto o aumento na resistência da parede. Resumidamente, a diminuição da resistência da parede celulósica e o crescimento celular são iniciados pela absorção osmótica da água, aumento do turgor na célula e afrouxamento bioquímico da parede celular, mediado pela auxina, que causa modificações químicas na parede celular, conhecida como hipótese do crescimento ácido.

Dessa maneira, constata-se o porquê não basta a aplicação ou a disponibilidade de todos os nutrientes essenciais às plantas, se não houver água suficiente para o crescimento das mesmas, como nos cultivos sob condições de déficit hídrico, comuns na safrinha, por exemplo. Outra questão é que, muitas vezes, a análise de tecido de plantas submetidas ao déficit hídrico pode conter quantidades classificadas como adequadas para as plantas, sem contudo a planta ter se desenvolvido adequadamente e produzido grãos.

Apesar dos grandes prejuízos advindos da ocorrência de adversidades climáticas, pouco ou quase nada se tem para apresentar como solução ao produtor nessas condições, sem que haja um aumento do custo de produção. Para minimizar os efeitos do déficit hídrico, indica-se semear apenas cultivares adaptadas à região e à condição de solo, em época recomendada e de menor risco climático, com adequada umidade em todo o perfil do solo e adotar práticas que favoreçam o armazenamento de água pelo solo (ex.: controle de ervas daninhas, aumento da matéria orgânica, semeadura direta, aumento da palhada, entre outras) e o aprofundamento do sistema radicular (Farias, 2005).

Assim, o manejo do solo, em sistema de rotação/sucessão de culturas, que privilegie não só os maiores ganhos de produtividades, como também o aporte de matéria orgânica e de nutrientes (Seção 12 - Manejo do Solo), e/ou o cultivo em solos com alta capacidade de armazenamento de água, permite às plantas resistir por maiores períodos sem chuvas.

Um aspecto importante para obtenção de altas produtividades pela cultura está relacionado à implantação das lavouras nas épocas indicadas pelo zoneamento agroclimático do girassol, o qual define as épocas e locais de semeadura com menor risco de déficit hídrico à exploração da cultura. Nas Figs. 14 e 15, são apresentados exemplos da indicação de épocas e locais com menor risco para a cultura do girassol, nos Estados do Paraná e de Goiás, respectivamente. As áreas favoráveis (em verde), em função das datas de semeadura, representam as regiões onde são menores os riscos de ocorrência de déficit hídrico durante as fases mais críticas à falta de água para a cultura do girassol. As áreas desfavoráveis (em vermelho) definem as regiões de alto risco de ocorrência de veranicos durante as fases críticas de desenvolvimento das plantas. Por outro lado, os períodos favoráveis de semeadura não indicam necessariamente, aqueles para a obtenção de maiores rendimentos de grãos, mas sim os períodos de menor probabilidade de frustração de safras por ocorrência de déficit hídrico. Além da disponibilidade hídrica, outros fatores como, por exemplo, a temperatura e a umidade relativa do ar favoráveis para a ocorrência de doenças, devem ser considerados para avaliar a viabilidade da exploração racional e econômica do girassol. Além disso, muitas áreas classificadas como intermediárias podem ser enquadradas como favoráveis, devido à adoção de práticas de manejo do solo e da cultura que propiciam maior

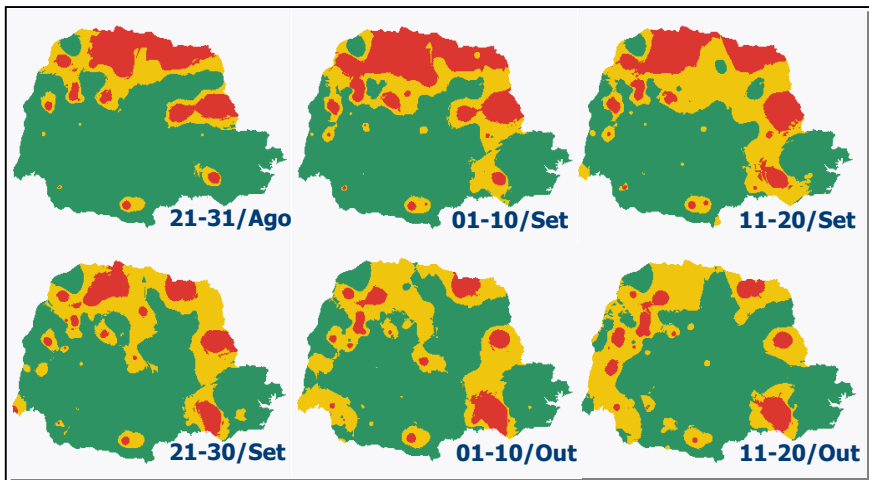


Fig. 14. Classificação do risco hídrico à cultura do girassol no Estado do Paraná, em seis épocas de semeadura, para cultivar com ciclo de 110 dias e capacidade de água disponível do solo de 75mm.

Fonte: Farias et al. (2001).

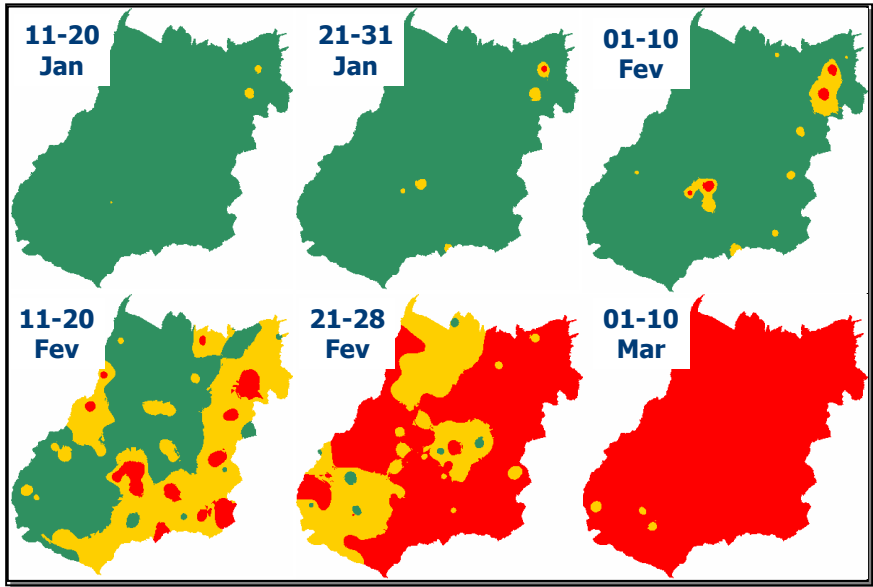


Fig. 15. Classificação do risco hídrico à cultura do girassol no Estado de Goiás, em seis épocas de semeadura, para cultivar com ciclo de 105 dias e capacidade de água disponível do solo de 90mm.

Fonte: Farias et al. (2001).

disponibilidade de água à cultura e, desse modo, permitem a planta superar curtos períodos de adversidade climática (Farias et al., 2001).

No caso do girassol de sequeiro, semeado em sucessão à soja ou ao milho na região central do Brasil, a época de semeadura é fator determinante para o sucesso da atividade. Isso ocorre não só em função da quantidade total de água, mas, principalmente, da distribuição das chuvas durante as principais fases de desenvolvimento do girassol. A importância da época de semeadura para a cultura do girassol, em safrinha, pode ser melhor visualizada quando se observa a Fig. 16 (Castro & Brighenti, 2001). Na figura, as produtividades obtidas nas áreas semeadas em 14 de janeiro e 14 de fevereiro foram maiores que as alcançadas nas demais épocas, concordantes com o mapa de zoneamento agroclimático para o Estado de Goiás (Fig. 15). Por outro lado, a produtividade, a partir do mês de fevereiro, caiu bruscamente de um patamar de 2200 kg ha⁻¹, (pluviosidade de 530 mm durante todo ciclo), para em torno de 800 kg ha⁻¹, (pluviosidade de 263mm durante todo o ciclo), na semeadura realizada em 11 de março. Esse comportamento pode ser explicado, fundamentalmente, pela menor

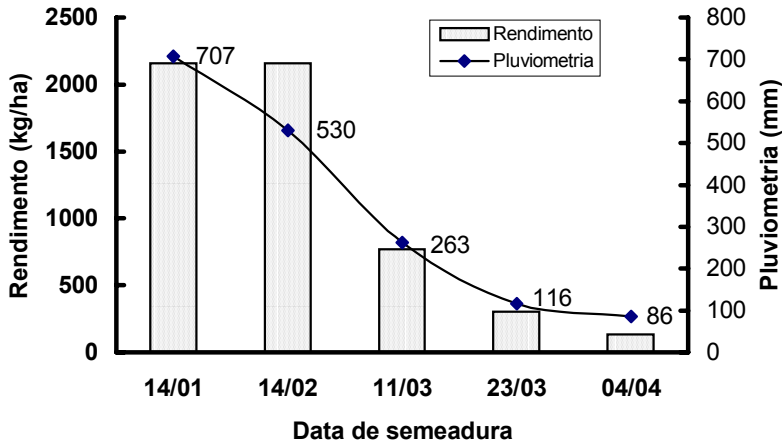


Fig. 16. Produtividade do girassol, em função da data de semeadura e da pluviosidade acumulada durante o ciclo da cultura, em Montividiu, GO, na safra 2000.

Fonte: Castro & Brighenti (2001).

disponibilidade de água para as plantas durante o ciclo da cultura, já que não havia falta de nutrientes no solo.

Assim, a produtividade do girassol na safrinha está diretamente relacionada com o volume e a distribuição da pluviosidade durante o ciclo da cultura. A escolha do período favorável de semeadura possibilita o desenvolvimento das plantas até as fases mais críticas de desenvolvimento da cultura, com suficiente disponibilidade hídrica.

Outra questão importante é o efeito da água na absorção de nutrientes. Para o boro, a condição de umidade do solo é o principal fator ambiental que afeta a disponibilidade do nutriente para as plantas. Na verdade, o déficit hídrico propicia a incidência e a severidade da deficiência de boro mais do que qualquer outro micronutriente (Moraghan & Mascagni, 1991). Por exemplo, de acordo com Batey¹, citado por Moraghan & Mascagni (1991), nabo (*Brassica rapa*) cultivado no País de Gales, normalmente torna-se deficiente em solos com teores menores que 0,3 mg kg⁻¹ de boro. Contudo, foi observada deficiência do elemento em cultivos de campo, em verão seco, com níveis de boro no solo entre 0,5 e 0,6 mg kg⁻¹. Esse mesmo comportamento é observado para o girassol sob condições de déficit de água.

¹ BATEY, T. Manganese and boron deficiency. In: Webber, J. (Ed). Trace elements in soil and crops. London: United Kingdom, Ministry Agric., Fish. and Food Tech. Bull, 1971. 21p.

Viets², citado por Kramer (1983), concluiu que a deficiência mineral raramente é a causa do reduzido crescimento vegetal em plantas sob condições de estresse hídrico. A única exceção pode ser o boro, em solos deficientes no elemento. O autor sugere que muitas plantas contêm suficientes reservas minerais para suportar um período de seca comum, mesmo porque, neste período, o crescimento é reduzido ou mesmo paralisado.

Se o boro tem normalmente sua distribuição no perfil do solo em maiores concentrações nas camadas superficiais, associado à matéria orgânica, então, a dinâmica de secagem do perfil afetará primeiramente essa camada, restringindo a absorção de água e de boro, e conseqüentemente reduzindo o suprimento de boro para os novos tecidos das plantas. Assim, a planta tem uma pequena oportunidade de se ajustar ao corte no suprimento externo através do boro previamente acumulado (Moraghan & Mascagni, 1991). Novamente, percebe-se que o crescimento do sistema radicular, explorando maior volume de solo, é um mecanismo importante de tolerância das plantas ao déficit hídrico.

O estresse hídrico e o desenvolvimento das raízes e da parte aérea

A principal resposta das plantas à seca, para muitas espécies, é o acréscimo da proporção de fotoassimilados desviados para o crescimento radicular, procurando, desse modo, aumentar a relação raiz/parte aérea e o volume de água do solo disponível às plantas (O'Toole & Bland, 1987). Conseqüentemente, aumentam as chances de sobrevivência das plantas durante esse período.

Como a expansão foliar depende principalmente da expansão celular, os princípios que fundamentam os dois processos são similares. A inibição da expansão celular provoca uma lentidão da expansão foliar no déficit hídrico, conduzindo ao crescimento mais lento das folhas durante o período de seca. Menor área foliar significa menos água transpirada, o que permite utilizar melhor a pouca água disponível, por um período mais longo (Taiz & Zeiger, 1998). Assim, a redução da área foliar pode ser considerada como a primeira linha de defesa das plantas contra a seca. Por outro lado, sob condições normais de crescimento, os meristemas da par-

² VIETS, F.G.Jr. *Water deficits and nutrient availability*. In: KOLOWSKI, T.T. (Ed). *Water deficits and plant growth*. New York: Academic Press, 1972. v.4, p.217-239.

te aérea apresentam uma marcante dominância apical. Considerando uma relação fonte/dreno em plantas que se desenvolvem normalmente, pode-se dizer que as folhas completamente expandidas são as principais fontes e que as flores, os frutos e as folhas em expansão os principais drenos. No entanto, quando a planta está sob déficit hídrico, ocorre mudança nessa relação fonte/dreno e os meristemas das regiões apicais das raízes se transformam nos drenos principais. Essa mudança na relação raiz/parte aérea é devido à necessidade da planta se ajustar ao novo ambiente, com maior capacidade de exploração do solo, para que possam absorver a água firmemente retida no solo, através dos pelos radiculares. O crescimento de raízes mais profundas em direção ao solo úmido pode ser considerado como uma segunda linha de defesa das plantas ao estresse por seca (Taiz & Zeiger, 1998).

A observação mais comum relativa às raízes, sob condições de déficit hídrico, é o acréscimo da relação entre os pesos de matéria seca da raiz e da parte aérea. Esse acréscimo da relação raiz/parte aérea resulta do maior decréscimo relativo do crescimento da parte aérea do que do sistema radicular sob condições de restrição de água (Kramer & Boyer, 1995; Blum, 1997; Belhassen, 1996). Isso ocorre porque o ajuste na sua fisiologia relativa ao padrão de desenvolvimento afeta o modelo de alocação de produtos da fotossíntese. O estresse hídrico que ocorre durante as fases iniciais de crescimento causa grande mudança na relação peso do material seco de raiz/parte aérea. Em contraste, a ocorrência de déficit hídrico durante a fase reprodutiva tem pequeno ou nenhum efeito nessa relação. Porém, o florescimento e a produção de sementes são reduzidos e/ou a perda da frutificação aumenta (Nilsen & Orcutt, 1996).

Para Blum & Arkin (1984), o acréscimo na relação peso do material seco de raiz/parte aérea freqüentemente implica no desenvolvimento de uma grande razão da densidade do sistema radicular e área foliar, a qual se traduz numa melhor capacidade para sustentação do estado hídrico das plantas, sob uma dada demanda evapotranspirativa. Brouwer (1962) interpreta a mudança na relação entre a raiz e a parte aérea como sendo um equilíbrio funcional, o qual favorece o desenvolvimento da parte da planta estreitamente relacionada com o fator limitante ao crescimento, que é o sistema radicular durante a ocorrência de déficit hídrico. Porém, a partir de determinado estágio de desenvolvimento (em geral, a partir da floração), os fotoassimilados são direcionados, principalmente, para a formação dos órgãos reprodutivos, sendo praticamente nulo o desenvolvimento radicular.

A competição por fotoassimilados entre raízes e frutos explica porque as plantas são geralmente mais sensíveis ao estresse hídrico durante a fase reprodutiva.

Em solos com pequena disponibilidade hídrica, apesar do acréscimo na resistência do solo, o crescimento radicular é menos afetado que o crescimento da parte aérea, conduzindo ao típico acréscimo na relação do peso de matéria seca da raiz/parte aérea em resposta ao déficit hídrico (Marschner, 1995). Contudo, esse ajuste, que permite a planta suportar melhor a falta de água, ocorre às expensas da produção. No caso do girassol, é a questão de se impressionar com a beleza das flores, sem, contudo, perceber que a estética não se traduzirá, necessariamente, em enchimento de aquênios.

Para Kramer & Boyer (1995), a interdependência entre a raiz e a parte aérea sugere que pode existir uma ótima relação entre esses dois componentes. Contudo, a relação raiz/parte aérea varia amplamente entre as espécies, com a idade e com as condições ambientais. Em regiões úmidas, as plantas não requerem aprofundar e espalhar vigorosamente seu sistema radicular para captação de água, porque a água do solo é suficiente e o total dela requerida para a transpiração pode, em teoria, ser fornecida por um volume relativamente pequeno de solo (Fitter & Hay, 1987). Por outro lado, em condições de seca, com o avanço do déficit hídrico, as camadas mais superficiais do solo são as primeiras a secar, com conseqüente perda das raízes superficiais e proliferação das raízes profundas (Taiz & Zeiger, 1998). Esse comportamento é o que, de modo geral, ocorre em condições dos Cerrados, em que o girassol é semeado, preferencialmente até o final de fevereiro. Assim, estas plantas têm, durante o desenvolvimento inicial e até o início do florescimento, distribuição satisfatória de água. Contudo, a partir dessa fase, as chuvas reduzem drasticamente, fazendo com que as plantas que tiveram grande desenvolvimento da área foliar sofram com maior intensidade os efeitos do déficit hídrico, em função da grande área transpirante.

Um dos efeitos do déficit hídrico que ocorre precocemente é a redução na expansão foliar. No entanto, a atividade fotossintética é muito menos atingida, em função da inibição da expansão foliar que reduz o consumo de carbono e energia e uma proporção maior de assimilados pode ser distribuída aos sistemas subterrâneos, onde eles podem sustentar o crescimento posterior das raízes (Taiz & Zeiger, 1998). Para Hopkins (1995) e Blum (1997), o crescimento da parte aérea é geralmente mais sensível que o crescimento radicular e, portanto, primeiramente inibido, enquanto a

assimilação de carbono é, contudo, ainda mantida em níveis normais. O excesso de carbono produzido pode ser estocado, utilizado para o ajuste osmótico ou pode ser alocado para o crescimento radicular (Blum, 1997). Para Schildwacht (1988), um ajuste osmótico mais rápido do sistema radicular, comparado com o da parte aérea, pode estar envolvido na mudança da relação peso da matéria seca de raiz/parte aérea.

O aumento na relação peso da matéria seca de raiz/parte aérea tem sido explicado pela sensibilidade distinta da raiz e da parte aérea ao ácido abscísico (ABA) endógeno, ou para um maior ajuste osmótico nas raízes, comparado com a parte aérea (Sharp & Davies, 1989; Taiz & Zeiger, 1998).

Efeito do déficit hídrico na produção de aquênios

A produção de girassol é definida pela densidade de plantas, número e peso de aquênios. O déficit hídrico manifesta-se de maneira variável sobre os componentes do rendimento, não só em função da fase de desenvolvimento, como do período de restrição hídrica. Segundo Morizet & Merrien (1990), se a cultura é submetida a um déficit hídrico permanente, as perdas no rendimento são devido mais à redução do número de aquênios cheios por capítulo, do que pelo peso médios dos mesmos.

Levantamento efetuado com os resultados de treze experimentos conduzidos no Paraná, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, nas safras 2001/02 e 2002/03, com diferentes híbridos, demonstraram elevado coeficiente de correlação entre o rendimento da cultura e o número de aquênios por planta (Fig. 17). Esta correlação evidencia que o número de aquênios é um parâmetro adequado para avaliação da produção por planta. No entanto, os rendimentos obtidos foram consequência direta da disponibilidade de água, principalmente durante o florescimento.

O tamanho de capítulo é também um bom parâmetro para avaliar o desenvolvimento das plantas e a produtividade, sendo, contudo, também afetado, pelo déficit hídrico (Gomes et al., 2003). Entretanto, é comum a falha do enchimento ou mesmo ausência de aquênios no centro do capítulo. Assim, a medida do tamanho do capítulo pode não refletir a real condição edafoclimática em que ocorreu o florescimento e/ou enchimento de aquênios. Isso acontece em função da dinâmica da antese das flores verdadeiras, que ocorre gradualmente e abrem segundo um padrão em espiral centrípeta. Assim, com a mudança da relação fonte/dreno, a translocação das reservas de fotoassimilados passa a ser predominate-

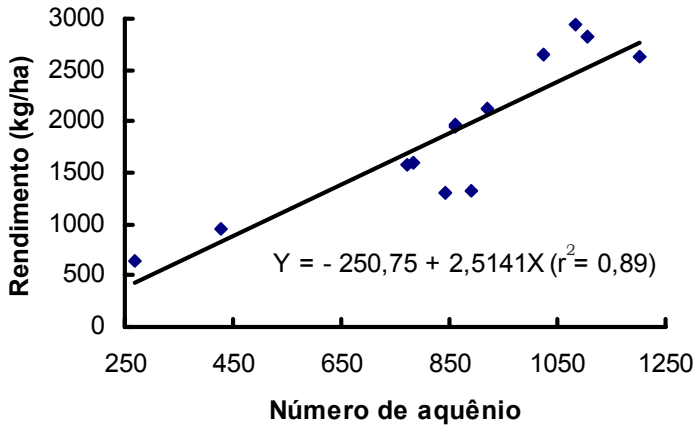


Fig. 17. Correlação entre o número e o rendimento de aquênios em trezes experimentos com diferentes híbridos (2001/02 e 2002/03).

Fonte: Castro et al. (2004).

mente, para os aquênios, oriundos das primeiras flores polinizadas. Ou seja, os aquênios mais beneficiados pelo estado nutricional e hídrico da planta obedecem a mesma dinâmica da antese em espiral e estão localizados na periferia (Fig. 5).

Dos fatores que podem afetar o número de aquênios por capítulo, como agentes polinizadores, principalmente abelhas (Vrânceanu, 1977), deficiência de boro (Loué, 1993) e déficit hídrico (Cox & Olliff, 1996), o boro, além da exigência da cultura, pode estar deficiente no solo. Outrossim, o estresse hídrico propicia a incidência e a severidade da deficiência de boro mais do que qualquer outro micronutriente (Moraghan & Mascagni, 1991).

Produção de matéria seca (curva de crescimento)

O acúmulo de matéria seca está diretamente relacionado às características fenotípicas e ambientais. Na literatura, há indicações de que a produção de matéria seca alcança até 13,5 t ha⁻¹ e 14,0 t ha⁻¹, em condições irrigadas (Días-Zorita & Duarte, 2002; Cox & Jollif, 1986). No Paraná, em experimento desenvolvido na área experimental da Embrapa Soja, a produção máxima de matéria seca da parte aérea (caule, folhas, pecíolo e grãos) alcançou 9,5 t ha⁻¹ (Fig. 18).

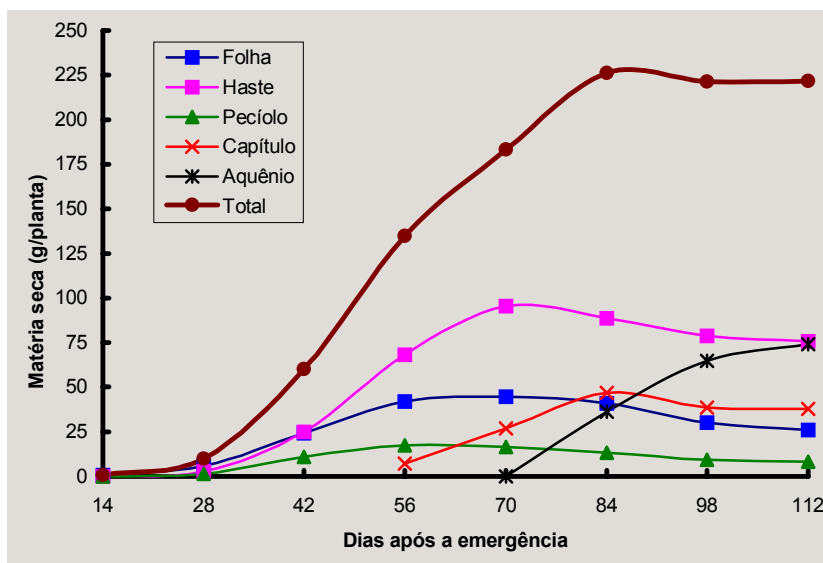


Fig. 18. Acúmulo de matéria seca nos diferentes órgãos da planta de girassol (Helio 251) em função da idade da planta. Londrina, 2004. Fonte: Castro & Oliveira (2005, dados não publicados).

A Fig. 18 apresenta a evolução do desenvolvimento das diferentes partes do girassol. Observa-se que o acúmulo de matéria seca (MS) é lento até aproximadamente os 28 dias após a emergência (DAE), ao redor de 18 g/planta. Contudo, a partir desse período, o crescimento é mais acelerado (Castro et al., 1996), com o máximo acúmulo de matéria seca ocorrendo aos 98 DAE, com 212 g de MS total/planta (folhas, pecíolo, caule, capítulo e aquênios). Com base na produção de matéria seca total, de aquênios e na densidade de plantas por hectare, foram estimadas as produtividades de MS total e de aquênios, na colheita, em 9.507 kg ha⁻¹ e 3.176 kg ha⁻¹, respectivamente. Entretanto, o maior acúmulo de matéria seca total ocorreu aos 98 dias após a emergência das plantas, ao redor da maturação fisiológica, com 10,5 t ha⁻¹ de MS.

Além do objetivo de produção de grãos, com diversos destinos (óleo para a alimentação humana, pássaros, confeitaria ou biodiesel), o girassol também pode ser utilizado como adubação verde ou para a produção de silagem. Assim, com base na produção de matéria seca total, atingida na maturação fisiológica, é possível estimar a produtividade de silagem de girassol em aproximadamente 37,5 t ha⁻¹, considerando-se 28% de MS (Seção 7 - Silagem de girassol como opção forrageira).

Produção de caules e folhas

A produção de caule é o componente da parte aérea que mais influencia o comportamento da curva de acúmulo de matéria seca (Fig. 18). Contudo, são as folhas, juntamente com o pecíolo, os componentes da fitomassa total (fonte) com maior contribuição relativa na redistribuição de assimilados para a produção de aquênios (dreno).

Crescimento do caule

O crescimento das plantas e o acúmulo de matéria seca são lentos no início do desenvolvimento das plantas. Esse crescimento é governado, basicamente, pelo desenvolvimento do caule, que a partir dos 28 DAE intensifica bastante o seu desenvolvimento. Contudo, é somente ao redor dos 42 DAE que o acúmulo de MS do caule ultrapassa o das folhas, atingindo o máximo de acúmulo de MS no florescimento (Fig. 18).

O início da fase de crescimento acelerado das plantas, aproximadamente, a partir dos 30 dias após a emergência das plantas, marca um período limite para a entrada de tratores comuns para aplicação de adubação de cobertura ou qualquer outra prática cultural. Após essa fase, somente equipamentos especiais, com rodado fino e eixo alto, ou a aplicação aérea, podem se fazer presentes na área.

Como a inflorescência do girassol situa-se na extremidade do caule e como a inclinação dos capítulos, em função da curvatura do caule, pode adquirir diferentes posições (Knowles, 1978), o peso dos capítulos fica deslocado do centro de gravidade do eixo da planta, predispondo à quebra ou ao acamamento. Assim, plantas bem ancoradas pelo sistema radicular e com caules vigorosos têm a incidência desses problemas minimizada. Observa-se, de modo geral, que entrenós curtos estão associados a caules grossos, fortes e resistentes.

Crescimento das folhas

De modo geral, as plantas de girassol possuem de 20 a 35 folhas, alcançando área foliar, em materiais de grande porte, de até 1,3 m² de folhas por planta. Esse desenvolvimento ocorre se o solo for profundo e o cultivo ocorrer sem deficiências hídrica ou nutricional. As folhas são o principal aparato fotossintético das plantas, acumulando além de nutrientes, compostos orgânicos que serão, posteriormente, translocados para os órgãos reprodutivos e os grãos.

Na Fig. 19, observa-se que o máximo de área foliar ocorreu aos 74 dias após a emergência das plantas (fase R 5.7), atingindo 0,88 m² de folhas por planta, reduzindo até o final do ciclo para 0,38 m² de folhas por planta.

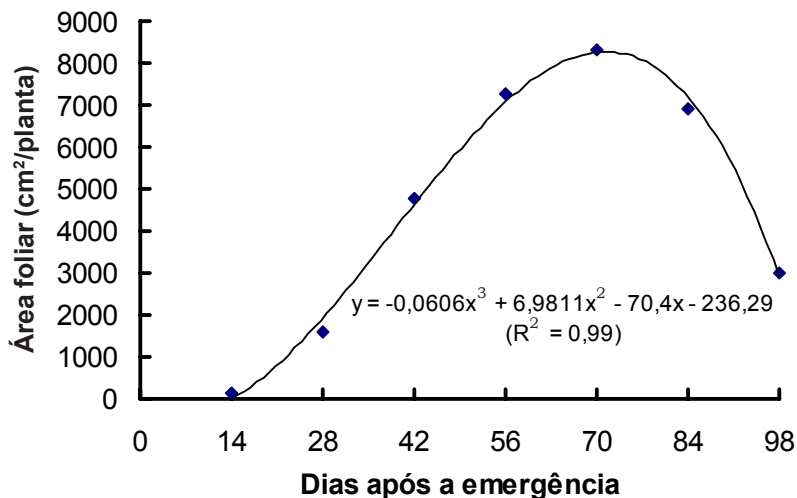


Fig. 19. Desenvolvimento da área foliar de plantas de girassol (Helio 251), em função da idade da planta. Londrina, 2004.

Fonte: Castro & Oliveira (2005, dados não publicados).

O índice de área foliar (IAF), que é a relação entre a área foliar verde das plantas por uma determinada unidade de área de solo (m² de folha/m² de solo), exerce grande importância na captação de energia luminosa para as reações de fotossíntese e, conseqüentemente, no rendimento das plantas. Contudo, a partir de determinado valor de IAF não ocorre aumento do rendimento em função do aumento da área foliar. Isso se deve não só ao limite genético das plantas, como, também, isoladamente, pelo auto-sombreamento das folhas superiores, o que reduz a incidência direta da luz nas folhas inferiores, que é dependente da densidade de semeadura (população de plantas) e do arranjo das plantas na área.

De modo geral, é aceito que um IAF de 2,5 a 3 na floração plena é ideal para se obter altas produtividades. Na Fig. 19, considerando-se a densidade de 4,29 plantas por m², o IAF na floração foi de 3,8, portanto, acima daquele considerado adequado. Segundo Merrien (1992), é necessário uma área mínima de 1,8 a 2,0 cm² de folhas para sustentar a produção de um aquênio. Sendo assim, observa-se que a produtividade não foi limitada pela superfície foliar.

O déficit hídrico moderado afeta indiretamente a translocação pela alteração da relação fonte e dreno. Devido à reduzida expansão celular, as folhas são menores e menos fotossintetizados estarão disponíveis para a translocação e o enchimento dos frutos, cujo tamanho, conseqüentemente, será reduzido. Se o déficit hídrico ocorrer após a expansão foliar, o resultado da competição entre as folhas e os frutos é diminuído (Hale & Orcutt, 1987).

Após o florescimento, quando as folhas atingiram o maior índice de área foliar, a falta de água afetará severamente as folhas, provocando a senescência precoce das mesmas. Essa redução do aparato fotossintético, que pode ser intensificada em plantas cultivadas em solos com baixos teores de nitrogênio ou pela rápida translocação do nitrogênio das partes vegetativas para os grãos (Hunt & Frank, 1975), reduzirá fortemente a fotossíntese e, conseqüentemente, a translocação de fotoassimilados para os grãos, afetando o peso dos mesmos, a produtividade e o teor de óleo. Segundo Merrien & Grandin (1990), a duração da superfície foliar se relaciona positivamente com o teor de óleo e negativamente com a porcentagem de proteína. Assim, a manutenção da superfície foliar favorece a síntese de lipídeos, produzindo aquênios com maior teor de óleo e menor teor de proteína. Aguirrezábal et al. (2002) concordam que a senescência precoce das folhas produz grãos com maior teor de proteína e menor teor de óleo. Esse comportamento é o que, de modo geral, ocorre com o girassol cultivado em safrinha, aproveitando o final das chuvas. Inicialmente, as plantas dispõem de água suficiente para o desenvolvimento e produzem grande área foliar. Contudo, a partir do florescimento, as chuvas diminuem rapidamente e a dinâmica senescência inicia-se a partir das folhas baixas, ocorrendo precocemente e prejudicando a fotossíntese e a translocação de substâncias para os grãos. Por outro lado, nos cultivos de primavera/verão, com grande disponibilidade de água e altas temperaturas, principalmente a partir do início do florescimento, são as doenças, em especial a mancha de *Alternaria*, que causam a senescência precoce, também, a partir das folhas baixas, reduzindo o aparato fotossintético e a translocação de substâncias para os grãos. Assim, não só uma grande área foliar, mas, também, a duração da área foliar sadia (Bergamin Filho & Amorim, 1996), são fundamentais para a obtenção de altas produtividades das culturas.

Não obstante, o fato das folhas do terço superior serem as mais importantes para o fornecimento de assimilados para o enchimento de aquênios (Johnson, 1972; Merrien, 1992), déficit hídrico severo ou falta de nitrogênio reduz drástica e rapidamente o aparato fotossintético, afetando a relação fonte/dreno.

O número potencial de aquênios de cada planta é determinado nas fases iniciais do desenvolvimento reprodutivo das plantas, entre início do florescimento à fase R 2, quando o botão floral tem de 0,5 a 2 cm de diâmetro (Merrien, 1992). É, também, fortemente influenciado pelas condições ambientais, como disponibilidade de água e de nutrientes, principalmente nitrogênio, para a formação e a manutenção da superfície foliar necessária para sustentar a produção de aquênios (Connor & Sadras, 1992). Assim, a ocorrência de déficit hídrico nessa fase afetará não só o número de folhas, como a área foliar e, conseqüentemente, a produção final de aquênios.

Assim, uma boa estratégia é o desenvolvimento de plantas com menor superfície foliar, porém mais persistente até a maturação fisiológica. Plantas com grande aparato foliar que, por problemas nutricionais, hídricos ou fitossanitários, reduzem rapidamente a superfície foliar após o florescimento são pouco eficientes.

Produção de aquênios

Observa-se, na Fig. 18, que a produção de aquênios aumenta rapidamente a partir dos 70 DAE, alcançando na colheita 74,1 g por capítulo, e que o enchimento de aquênios foi devido, principalmente, às reservas acumuladas nas diferentes partes da planta, destacando-se, inicialmente, as folhas/pecíolos e o caule e, no final do enchimento de aquênios, o capítulo.

O índice de colheita (IC), que mede a eficiência de produção de grãos de uma cultura, obtido pela relação entre a massa seca de aquênios e a produção de matéria seca total das plantas (caule, folhas, pecíolos, capítulos e aquênios) foi de 0,33. Merrien (1992) cita que o índice de colheita de girassol é baixo, situando-se entre 0,25 e 0,35. Adicionalmente, em cultivares mais modernas de girassol, têm sido alcançados índices de colheita de 0,45 a 0,51, como resultado da maior redistribuição de carboidratos das partes vegetativas e acúmulo de carboidratos durante o enchimento de aquênios (Lopes Pereira, 1996; Debaeke et al., 2004). Para o trigo, o IC situa-se ao redor de 0,6. Entretanto, deve-se fazer uma observação para a diferença entre as duas culturas. Enquanto o trigo produz basicamente amido como material de reserva, o girassol tem, em torno de 45% de óleo e 23% de proteína em sua composição, produtos, bioquimicamente, mais caros para o metabolismo celular. Na Tabela 4,

Tabela 4. Quantidade de glicose necessária para obter um grama de diferentes produtos finais.

	Fonte	(g)
Compostos nitrogenados: (aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos)	$\left\{ \begin{array}{l} \text{NO}_3^- \\ \text{NH}_4^+ \\ \text{Simbiose} \end{array} \right.$	2,5
		1,6
		3,0
Carboidratos: (amido e celulose)		1,2
Lipídeos		3,0
Lignina		2,15
Ácidos orgânicos		0,9

Fontes: Penning de Vries (1974) e Merrien (1992).

são apresentadas as quantidades necessárias de glicose para a produção de diferentes componentes do metabolismo celular (Penning de Vries, 1974; Merrien, 1992). Enquanto, para a produção de uma unidade de carboidrato, a planta necessita de 1,2 unidades de glicose, para a produção da mesma quantidade de lipídeos, a planta gasta três unidades de glicose (Penning de Vries, 1974). Assim, observando pelo aspecto da eficiência metabólica, o girassol é uma fábrica eficiente de óleo e de proteína. Daí porque, apesar de ser uma planta de ciclo C_3 , o girassol comporta-se, em alguns aspectos, como planta C_4 .

Na Tabela 5, são apresentadas as principais características de plantas C_3 e C_4 , em folhas completamente diferenciadas (Ferri, 1985).

O girassol caracteriza-se por atividade fotossintética elevada, particularmente em planta jovem, comparada à do milho, que é uma planta C_4 . Apesar da fotorrespiração, a fotossíntese do girassol e a do milho são, também, comparáveis (Merrien, 1992). Outra questão é a produção de matéria seca total do girassol e a baixa eficiência do uso da água, produzindo menos de 2 g de matéria seca por litro de água consumida. No entanto, se o cálculo da eficiência de acúmulo de matéria seca for baseado na energia metabolizada, considerando os custos energéticos dos produtos finais, o girassol é uma planta altamente eficiente (Penning de Vries, 1974). Com relação à temperatura ótima para a fotossíntese, o girassol tem se desenvolvido bem desde o Rio Grande do Sul até Roraima, com grande variação de temperatura durante o ciclo da cultura.

Tabela 5. Características diferenciais entre plantas com fotossíntese C₃ e C₄.

	Plantas C ₃	Plantas C ₄
1. Primeiro produto estável	Ácido 3-fosfoglicérico	Ácido oxalacético
2. Fotorrespiração	Presente: 25%-30% da fotossíntese	Presente: não mensurável pelos métodos de troca de gás
3. Ponto de compensação	Alto: 50-150 ppm CO ₂	Baixo: 0-10 ppm CO ₂
4. Anatomia foliar	Ausência de bainha vascular: quando presente, não contém cloroplastos	Diferenciação de células de mesófilo e bainha vascular contendo cloroplastos
5. Enzima Primária de carboxilação	RuDP-carboxilase (Km ~ 20µM CO ₂)	Pep-carboxilase (Km ~ 5µM CO ₂)
6. Efeito do oxigênio (21%) sobre a fotossíntese	Inibição	Sem efeito
7. Relação CO ₂ :ATP:NADPH	1:3:2	1:5:2
8. Fotossíntese versus intensidade de luz	Satura em ~ 1/3 da luz solar máxima	Não atinge a saturação com o aumento da intensidade luminosa
9. Temperatura ótima para a fotossíntese	~ 25°C	~ 35°C
10. Taxa de fotossíntese líquida em condições de saturação de luz	15-35 mg CO ₂ dm ⁻² h ⁻¹	40-80 mg CO ₂ dm ⁻² h ⁻¹
11. Consumo de H ₂ O para a produção de matéria seca	450-1000g H ₂ O/g peso seco	250-350g H ₂ O/g peso seco
12. Conteúdo de N na folha para atingir fotossíntese máxima	6,5%-7,5% peso seco	3,0%-4,5% peso seco

Fonte: Ferri (1985)

Considerações finais

O girassol é uma planta com grande potencial de aumento da produção de grãos no País, não só para alimentação animal ou humana, mas também, objetivando práticas adequadas de manejo do solo, uso como planta ornamental ou matéria-prima para a produção de biocombustíveis. A obtenção de altos rendimentos está em função da interação genótipo/ambiente e uso de um pacote tecnológico adequado. Para tanto, existem no mercado diferentes genótipos, avaliados em várias regiões edafoclimáticas, que possibilitam, dentro dos limites impostos pela oferta, a escolha de diversos materiais, híbridos ou variedades, para integrarem sistemas de rotação e sucessão de culturas, agregando valor à produção agrícola pela exploração mais racional do solo.

No entanto, a escolha de genótipos de girassol com elevado potencial produtivo não surtirá o efeito esperado se não forem respeitadas as exigências nutricionais e hídricas da cultura. Assim, o adequado manejo do solo e da adubação, além da distribuição adequada de água e outros fatores ambientais, são determinantes para o estabelecimento racional de girassol. Nesse aspecto, a época de semeadura adquire especial importância, por poder agregar conceitos relacionados à disponibilidade hídrica e à fitossanidade. Os períodos favoráveis de semeadura indicam os períodos com menor probabilidade de frustração de safras. Além da disponibilidade de nutrientes e água no solo, outros fatores como, por exemplo, a temperatura e a umidade relativa do ar, em fases importantes para a ocorrência de doenças, devem ser considerados para avaliar a viabilidade da exploração racional e econômica do girassol.

Plantas com sistema radicular profundo e vigoroso e com grande massa de raízes possibilitam maior absorção de água e de nutrientes, são mais tolerantes ao déficit hídrico, e também, possuem maior ancoragem, reduzindo os efeitos de ventos e o tombamento de plantas. Esta característica é válida, principalmente, para o girassol cultivado em condições de safrinha, com grande restrição de água a partir do início do florescimento. Outra questão importante é o índice de área foliar, com efeito marcante na produção de aquênios e no teor de óleo. Para tanto, o adequado suprimento de água e de nutrientes, em especial o de nitrogênio, é fundamental para o estabelecimento, para a manutenção e para a redistribuição de fotoassimilados. Assim, além do sistema radicular vigoroso, uma boa estratégia é o desenvolvimento de plantas com caules resistentes, com menor superfície foliar, porém mais persistente e menos sujeitas às variações edafoclimáticas, até a maturação fisiológica. São pouco eficientes plan-

tas com grande aparato foliar que, por problemas nutricionais, hídricos ou fitossanitários, reduzem rapidamente a superfície foliar.

Agradecimentos

Este texto é dedicado à memória do Prof. Dr. Jerônimo Araújo Gomes, da Universidade Federal de Goiás, Jataí, GO. Os autores agradecem o apoio do auxiliar de operações Nilson Adelino da Silva, na coleta de dados para complementar algumas informações desta seção.

Referências

AGUIRREZÁBAL, L.A.N.; IZQUIERDO, N.G.; NOLASCO, S.M. Calidad. In: DÍAZ-ZORITA, M.; DUARTE, G.A. (Ed.). **Manual práctico para el cultivo de girassol**. Buenos Aires : Hemisferio Sur, 2002. p.213-240.

ALKIO, M.; SCHUBERT, A.; DIEPENBROCK, W.; GRIMM, E. Effect of source-sink ratio on seed set and filling in sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Plant, Cell and Environment**, Oxford: v.26, n.10, p.1609-1619, 2003.

BARNI, N.A.; DIDONÉ, I.A.; MIGNON, L.; GONÇALVES, J.C. Regionalização do cultivo do girassol no Rio Grande do Sul. In: **GIRASSOL**: indicações para o cultivo no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Faculdade de Agronomia. Departamento de Fitotecnia, 1985. p.11-12.

BELHASSEN, E. **Drought tolerance in higher plants**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1996. 104p.

BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. **Doenças de plantas tropicais: epidemiologia e controle econômico**. São Paulo: Ceres, 1996. 289p.

BLAMEY, F.P.C.; EDWARDS, D.G.; ASHER, C.J. **Nutritional disorders of sunflower**. Queensland: University of Queensland. Department of Agriculture, 1987. 72p.

BLUM, A.; ARKIN, G. F. Sorghum root growth and water-use as affected by water supply and growth duration. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.9, p.131-142, 1984.

BLUM, A. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. In: BELHASSEN, E. (Ed.) **Drought tolerance in higher plants**: genetical,

physiological and molecular biological analysis. Dordrecht: Kluwer Academic, 1997. p.135-148.

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H.R.; DRAXLER, G. Funtional leaf anatomy. In: HALL, D.O; SCURLOCK, J.M.O; BOLHÀR-NORDENKAMPF, H.R.; LEEGOOD, R.C.; LONG, S.P. (Ed.). **Photosynthesis and production in a chaging environment – A field and laboratory manual**. London: Chapman & Hall, 1995. p.91-122.

BOLSON, E. L. **Técnicas para a produção de sementes de girassol**. Brasília: EMBRAPA-SPSB, 1981. 27p. (EMBRAPA-SPSB. Circular Técnica, 1).

BOYER, J.S. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean, and sunflower at various leaf water potential. **Plant Physiology**, Bethesda, v.46, p.233-235, 1970.

BOYER, J.S. Plant productivty and environment. **Science**, Washington, v.218, p.443-448, 1982.

BROUWER, R. Distribution of dry matter in the plant. **Netherland Journal of Agricultural Science**, v.10, n.5, p.361-377, 1962.

CARTER, J.F. **Sunflower science and technology**. Madison: American Society of Agronomy, 1978. 505p. (Agronomy, 19).

CASTIGLIONI, V.B.R.; ARIAS, C.A.A.; OLIVEIRA, M.F.; LEITE, R.M.V.B.C.; LAGO, R.C.A. Composição de ácidos graxos em girassol e suas variações em diferentes zonas agroecológicas. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE GIRASSOL, 12., 1997, Campinas. **Resumos...**Campinas: Fundação Cargill, 1997. p.31-33.

CASTRO, C.de. **Boro e estresse hídrico na nutrição e produção do girassol em casa-de-vegetação**.1999. 120 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CASTRO, C.de.; CASTIGLIONI, V.B.R.; BALLA, A.; LEITE, R.M.V.B. de C.; KARAM, D.; MELLO, H.C.; GUEDES, L.C.A.; FARIAS, J.R.B. **A cultura do girassol**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1996. 38p. (EMBRAPA-CNPSO. Circular Técnica, 13).

CASTRO, C.de.; BRIGHENTI, A. Pluviosidade e produção de girassol na região centro oeste. In: REUNIAO NACIONAL DE PESQUISA DE GIRASSOL 14; SIMPOSIO NACIONAL SOBRE A CULTURA DO GIRASSOL, 2., 2001, Rio Verde. **Resumos...** Rio Verde: FESURV, 2001. p.85-86.

CASTRO, C.de; LANTMANN, A.F.; SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M.; SILVEIRA, J.M. In: **RESULTADOS de pesquisa da EMBRAPA Soja, 2003: girassol**. Londrina: Embrapa Soja, 2004. p.19-27. (Embrapa Soja. Documentos, 242).

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes**. Campinas: Fundação Cargill, 1980. 326p.

CONNOR, J.D.; HALL, A.J. Sunflower physiology. In : SCHNEIDER, A.A. (Ed.). **Sunflower technology and production**. Madison: ASA:CSSA:SSSA, 1997. p:113-181. (Series of Monographs, 35).

CONNOR, J.D.; SADRAS, V.O. Physiology of yield expression in sunflower. **Field Crops Research**, Amsterdam, n.30, p.333-389, 1992.

CORBINEAU, F.; GAY-MATHIEU, C.; VINEL, D.; CÔME, D. Decrease in sunflower (*Helianthus annuus*) seed viability caused by high temperature as related to energy metabolism, membrane damage and lipid composition. **Physiologia Plantarum**, v.116, p.489-496. 2002.

COX, W.J.; JOLLIFF, G.D. Growth and yield of sunflower and soybean under soil water deficits. **Agronomy Journal**, Madison, v.78, p.226-230, 1986.

CUTTER, E.G. **Anatomia vegetal**: experimentos e interpretação - órgãos. São Paulo: Roca, 1987. pt.2. 336 p.

DEBAEKE, P.; TRIBOI, A.M.; VEAR, F.; LECOEUR, J. Crop physiological determinants of yield in old and modern sunflower hybrids. In: INTERNATIONAL SUNFLOWER CONFERENCE, 16., 2004, Fargo. **Proceedings...** Fargo, 2004. v.1, p.267-273.

DÍAZ-ZORITA, M. Nutrición mineral y fertilización. In : DÍAZ-ZORITA, M.; DUARTE, G.A. (Ed.). **Manual práctico para el cultivo de girasol**. Buenos Aires : Hemisferio Sur, 2002. p.77-96.

ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes**. São Paulo: E. Blucher, 1974. 293p.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. **Oilseeds**: world market and trade. Washington: USDA, 2005. 28p. (USDA. Circular series, FOP 08-05). Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/oilseeds/circular/2005/05-08/FULL05Aug.pdf>>. Acesso em 16 ago. 2005

FARIAS, J.R.B.; IVAN, R.A.; CASTRO, C.de.; OLIVEIRA, M.F.; SILVA, F.A.M. Caracterização das regiões de risco climático do girassol nos Estados do Paraná e de Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12.; REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 3., 2001, Fortaleza. **Anais...** v.1.Fortaleza: SBA; FUNCEME, 2001. p.27-28.

FARIAS, J.R.B. Environmental limitations to maximum soybean yield. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 7.; INTERNATIONAL SOYBEAN PROCESSING AND UTILIZATION CONFERENCE, 4.; CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 3., 2004, Foz do Iguassu. **Proceedings...** Londrina: Embrapa Soybean, 2004. p. 1287-1295.

FARIAS, J.R.B. Déficit Hídrico em Culturas. In: Encontro de Plantio Direto no Cerrado, 7, 2005, Tangará da Serra, MT. **Proceedings...** Tangará da Serra: Gráfica e Editora Sanches Ltda., 2005. p.146-151.

FERRI, M.G. **Botânica**: morfologia externa das plantas (organografia). 9.ed. São Paulo: Melhoramentos, 1973. 149p.

FERRI, M.G. **Botânica**: morfologia interna das plantas (anatomia). 3.ed. São Paulo: Melhoramentos, 1977. 113p.

FERRI, M.G., ed. **Fisiologia vegetal**. 2.ed. rev. atual. Sao Paulo: EPU, 1985.

FITTER, A.H.; HAY, R.K.R. **Environmental physiology of plants**. 2.ed. London: Academic Press, 1987. 423p.

GAY, C.; CORBINEAU, F.; CÔME, D. Effects of temperature and oxigen on seed germination and seedling growth in sunflower (*Helianthus annus* L.). **Environmental and Experimental Botany**, v.31, p.193-200, 1991.

GLAS, K. **Sunflower**: fertilizing for high yield and quality. Worblaufen-Bern: International Potash Institute, 1988. 38p. (IPI. Bulletin, 10).

GÓMEZ-ARNAU, J. El cultivo del girasol. **Hojas Divulgadoras**, n.20, p.1-31, 1988.

GOMES, E.M.; UNGARO, M.R.G.; VIEIRA, D.B. Influência da suplementação hídrica na altura, diâmetro de capítulo, peso de sementes e produção de grãos. In : SIMPÓSIO NACIONAL DE GIRASSOL, 3.; REUNIÃO NACIONAL DE GIRASSOL,15., 2003, Ribeirão Preto. [**Anais**]. [S.l.]: CATI, 2003. 1 CD-ROM.

HALE, M.G.; ORCUTT, D.M. **The physiology of plants under stress**. New York: Wiley-Interscience, 1987. 205p.

HASAN, F.U.; AHMAD, R.A. Efeffects of seasonal variations on oil and fatty acid profile of sunflower. **Helia**, Novi Sad, v.38, p.159-166, 2003.

HARRIS, H.C.; McWILLIAM, J.R.; MASON, W.K. Influence of temperature on oil content and composition of sunflower seed. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v.29, p.1203-1212, 1978.

HOPKINS, W.C. The physiology of plants under stress. In: HOPKINS, W.C **Introduction to plant physiology**. New York: J. Willey,1995, p.423-443.

HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.24, p.519-570, 1973.

HSIAO, T. C.; BRADFORD, K.J. Physiological consequences of cellular water deficits. In: TAYLOR, H. M.; JORDAN, W.R.; SINCLAIR, T.R. (Ed.) **Limitations to efficient water use in crop production**. Madison: ASA, 1983, p.227-265.

HUNT, R.K.; FRANK, E. Photosynthates and nitrogen requirements for seed production by various crop. **Science**, Washington, v.15, p.565-567. 1975.

INFORMES da avaliação de genótipos de girassol, 2003/2004 e 2004. Londrina: Embrapa Soja, 2004. 91p. (Embrapa Soja. Documentos, 250).

IZQUIERDO, N.G.; THEVENON, M.A; SAN MARTINO, S.; DOSIO, G.; AQUIRREZÁBAL, L.A..N. Na architectural model of the sunflower root system using a markovian approach. In: CONFÉRENCE INTERNATIONALE TOURNESOL, 15., 2000, Toulouse. **Actes...** Toulouse, 2000. t.2. p.D-100.

JOHNSOM, B.J. Effect of artificial defoliation on sunflower yield and other characteristics. **Agronomy Journal**, Madison, v.64. p.688-689, 1972.

JOLY, A.B. **Botânica introdução à taxonomia vegetal.** 11.ed. São Paulo: Editora Nacional, 1993. 777p.

JONES, O.R. Yield, water-use efficiency, and oil concentration and quality of drayland sunflower grown in the southern high plains. **Agronomy Journal**, Madison, v.76, p.229-235, 1984.

KABBAJ, A.; VERVOORT, V.; ABBOTT, A.; TERSAC, M.; BERVILLÉ, A. Expression d'une stéarate et d'une oléate désaturases chez le tournesol normal et à haute teneur en acide oléique, clonage de fragments génomiques et variabilité chez quelques *Helianthus*. **OCL: Oleagineux Corps Gras Lipides**, Paris, v.3, n.6, p.452-458, 1996.

KNOWLES, P.E. Morphology and anatomy. In: CARTER, J. F. (Ed.) **Sunflower science and technology**. Madison: ASA, 1978. p.55-88.

KRAMER, P.J. Water deficits and plant growth. In: KRAMER, P.J. (Ed.) **Water relations of plants**. Florida: Academic Press, 1983. cap.12, p.342-389.

KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. Roots and root systems. In: KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. (Ed.) **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995. cap.5, p.115-166.

LAWRENCE, G.H.M. **Taxonomy of vascular plantas**. New York: Macmillan, 1951 823p.

LENTZ, D.; POHL, M.E.D.; POPE, K.O.; WYATT, A.R. Prehistoric sunflower (*Helianthus annuus* L.) domestication in Mexico. **Economic Botany**, New York, v.55, n. 3, p.370-376, 2001.

LOPES PEREIRA, M.; TRAPANI, N. Physiological changes associated with breeding for higher yields of sunflower in Argentina. In: In: INTERNATIONAL SUNFLOWER CONFERENCE, 14., 1996, Beijing-Shenyang. **Proceedings...** Beijing-Shenyang: LAAS, 1996. v.1 p.594-599.

LOUÉ, A. **Oligoéléments en agriculture**. Antibes: SCPA-NATHAN, 1993. 577p.

MACCHIA, M.; BENVENUTI, A.; BALDANZI, M. **Temperature requirements during germination in sunflower**. In: CONFERENCIA INTERNACIONAL DE GIRASOL, 11., 1985, Mar del Plata. Actas. Mar del Plata: ASAGIR/ISA, 1985. t.1, p.93-97.

MARC, J.; PALMER, J.H. Relationship between water potential and leaf and inflorescence initiation in *Helianthus annuus*. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.36, p.101-4, 1976.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889p.

MASSIGNAM, A.M. **Determinação de temperaturas-bases, graus-dia e influência de variáveis bioclimáticas na duração de fases fenológicas de cultivares de girassol (*Helianthus annuus* L.)**. 1987, 87 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MERRIEN, A. **Physiologie du tournesol**, Paris: CETIOM, 1992. 66p.

MERRIEN, A.; GRANDIN, L. Comportement hydrique du tournesol: synthèse des essais “Irrigation” 1983 - 1988. In: LE TOURNESOL et l'eau. Adaptation à la sécheresse réponse à l'irrigation. [S.l.]: CETIOM, 1990. p.75-90.

MOHR, H.; SCHOPFER, P. **Plant physiology**. New York: Springer Verlag, 1995, 629p.

MORAGHAN, J.T.; MASCAGNI JUNIOR, H.J. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities. In: MORTVEDT, J.J.; COX.; F.R.; SHUMAN, L.M.; WELCH, R.M. (Ed.) **Micronutrients in agriculture**. 2.ed. Madison: SSSA, 1991. cap.11, p.371-425.

MORETI, A.C.de C.C.; SILVA, R.M.B.; SILVA, E.A.C.; ALVES, M.L.T.M.F.; OTSUK, I.P. Aumento na produção de sementes de girassol (*Helianthus annuus*) pela ação de insetos polinizadores. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.53, n.2-3, p.280-284, 1996.

MORIZET, J.; MERRIEN, A. Principaux traits du comportement hydrique du tournesol. In: **LE TOURNESOL et l'eau**: adaptation à la sécheresse réponse à l'irrigation. Paris : CETIOM, 1990, p.7-20.

NILSEN, E.T.; ORCUTT, D.M. **Physiology of plants under stress – abiotic factors**. New York: J. Wiley, 1996. 689p.

OLIVEIRA, R.F. **Desenvolvimento e análise de desempenho de um sensor de fluxo para avaliação de transpiração vegetal pelo método de balanço**

de calor. 1997. 73 f. Tese (Livre-docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

OTOOLE, J.C.; BLAND, W.L. Genotypic variation in crop plant root system. **Advanced Agronomy**, v.41, p.91-145, 1987.

PENNING de VRIES. Substrate utilization and respiration in relation to growth and maintenance in higher plants. **Netherland Journal of Agricultural Science**, v.22, p.40-44, 1974.

REICHARDT, K. A água: absorção e translocação. In: FERRI, M.G. (Ed.) **Fisiologia vegetal**. São Paulo: EPU, 1985. p.3-24.

ROBELIN, M. Action et arrière-action de la sécheresse sur la croissance et la production du tournesol. **Annales Agronomiques**, v.18, n.6, p.579-599, 1967.

ROBINSON, R. G. Production and culture In: CARTER, J. F. (Ed.) **Sunflower science and technology**. Madison: ASA, 1978, p.89-95.

ROBINSON, R. G.; BERNAT, L.A; GEISE, H. A.; JOHNSON, F.K.; KINMAN, M.L.; MADER, E.L.; OSWALT, R.M.; PUTT, E.D.; SWALLERS, C.M.; WILLIAMS, J.H. Sunflower development at latitudes ranging from 31 to 49 degrees. **Crop Science**, Madison, v.7, 134-136, 1967.

ROCHE, J.; BOUNIOLS. A.; BARRANCO. T.; MOULOUNGUI. Z. Variation on fatty acid content in seeds under scarce water resources for oleic and standard sunflowers. In: INTERNATIONAL SUNFLOWER CONFERENCE, 16., 2004, Fargo. **Proceedings...** Fargo, 2004. v.2, p.783-798.

SADRAS, V.O; HALL, A.J. Quantification of temperature, photoperiod and population effects on plant Leaf area in sunflower crops. **Field Crops Research**, Amsterdam, n.18, p.185-196,1988.

SCHILDWACHT, P.M. Changes in the osmotic potential of the root as a factor in the decrease in the root-shoot ratio of *Zea mays* plants under water stress. **Plant and Soil**, v. 111, p.271-275, 1988.

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

SEILER, G .J. Anatomy and Morphology of sunflower. In: SCHNEITER, A.A. (Ed.) **Sunflower science and technology**. Madison: ASA, 1997. p.67-111.

SHARP, R.E.; DAVIES, W.J. Regulation of growth and development of plants growing with a restricted supply of water, In: JONES, H.G.; FLOWERS, T.J.; JONES, M.B. (Ed.) **Plants under stress**. Cambridge: University Press, 1989. p.71-93.

SHELL, G.S.G.; LANG, A.R.G. Movements of sunflower leaves over a 24-h period. **Agricultural Meteorology**, v.16, p.161-170, 1976.

SILVA, M.N. **A cultura do girassol**. Jaboticabal: FUNEP, 1990. 67p.

SILVER, J.G.; ROCHESTER, C.P.; BISHOP, D.G.; HARRIS, H.C. Unsaturated fatty acid synthesis during the development of isolated sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds. **Journal of Experimental Botany**, London, v.35. n.159, p.1507-1514, 1984.

SINGH, D.A.; SINGH, S.M. Impact of irrigation on sunflower productivity. In: CONFÉRENCE INTERNATIONALE TOURNESOL, 15., 2000, Toulouse. **Actes...** Toulouse, 2000. t.1. p.C109-C114.

SLATYER, R.O. **Plant – water relationships**. London : Academic Press, 1967. 366p.

SMIDERLE, O.J.; GIANLUPPI, D.; GIANLUPPI, V.; CASTRO, C. de. Girassol cultivado no cerrado de Roraima em 2000. In: REUNIAO NACIONAL DE PESQUISA DE GIRASSOL 14; SIMPOSIO NACIONAL SOBRE A CULTURA DO GIRASSOL, 2., 2001, Rio Verde. **Resumos...** Rio Verde: FESURV, 2001. p.66-68.

SMIDERLE, O.J.; GIANLUPPI, D.; GIANLUPPI, V. Adubação nitrogenada, espaçamento e épocas de semeadura de girassol nos Cerrados de Roraima. In: RESULTADOS de pesquisa da EMBRAPA Soja – 2001: girassol e trigo. Londrina: Embrapa Soja, 2002. p.24-29. (Embrapa Soja. Documentos, 199).

SMIDERLE, O. J.; MOURÃO JÚNIOR, M.; GIANLUPPI, D. **Época de plantio de girassol para as condições dos Cerrados de Roraima**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2004. 5p. (Embrapa Roraima. Comunicado Técnico, 9).

SUMANGALA, S.; GIRIRAJ, G. Seed yield, test weight and oil content in sunflower genotypes as influenced by various pollination methods and seasons. **Helia**, Novi Sad, v.38, p.143-148, 2003.

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

UNGER, P.W. Sunflower. In: STEWART, B.A.; NIELSEN, D.R. (Ed.) **Irrigation of agricultural crops**. Madison: ASA, 1990. p.775-794. (Agronomy, 30).

VILLALOBOS, F.J.; RITCHIE, J.T. The effect of temperatura on leaf emergence rates of sunflower genotypes. **Field Crops Research**, Amsterdam, n.29, p: 37-46. 1992.

VITTA, F.A. **Plantas**. 6. ed. São Paulo: Ática, 2004. p.36. (Série: Atlas Visuais).

VRANCEANU, A.V. **El girasol**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1977. 379p.

WEIER, T.E.; STOCKING, C.R.; BARBOUR, M.G.; ROST, T.L. **Botany: an introduction to plant biology**. 6.ed. New York: J. Wiley, 1982. 720p.

WEISS, E.A. **Sunflower**. In: WEISS, E.A. **Oilseed crops**. New York: Longman, 1983. cap. 9, p.402-462.

WILLMER, C.; FRICHER, M. **Stomata**. 2.ed. London: Chapman & Hall.1996. 374p.

WARREN-WILSON, J. Effect of temperature on net assimilation rate. **Annals of Botany**, London, v.30, n.120, p.753-761, 1966.