

Estresse Anoxítico em Planta de Gergelim

Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão¹
Maria Isaura Pereira de Oliveira²

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) é uma cultura originária dos continentes africano e asiático, e no Brasil vem sendo explorado há mais de 60 anos. No Nordeste brasileiro, devido às suas características edafoclimáticas, a Embrapa Algodão tem recomendado as seguintes cultivares de gergelim: Seridó 1, cultivar de porte alto e ciclo tardio; CNPA G2, cultivar de porte e ciclo médios, CNPA G3, cultivar de porte médio e ciclo precoce; CNPA G4, cultivar de porte médio, ciclo precoce com alto rendimento de teor de óleo e tolerante a mancha angular (FIRMINO et al. 2006) e mais recentemente a cultivar BRS Seda, de elevada precocidade (ARRIEL et al. 2007).

É cultivado em quase todos os países de clima quente desenvolve-se bem em altitudes de até 1250 m, temperatura média do ar em torno de 27 °C, precipitações pluviais entre 500 a 600 mm, assim distribuídos: 35% no período de germinação ao aparecimento do primeiro botão floral, 45% durante o florescimento e início da frutificação e durante a maturação, apenas 20%. Por estas razões pode ser considerado tolerante à seca, não suporta solos salinos e nem encharcados (BELTRÃO et al., 1994; WEISS, 1971).

De acordo com Chirkova (1988) a capacidade das plantas viverem sob condições de uma deficiência ou ausência temporária de oxigênio é amplamente disseminada na natureza. Assim, o conhecimento das vias de adaptação a essas condições é essencial, uma vez que o encharcamento permanente ou temporário pode ocorrer em muitas regiões. Algumas plantas morrem rapidamente durante o encharcamento enquanto outras são capazes de sobreviver nestas condições. Essas diferenças na resistência ao encharcamento são devidas a estrutura do caule que permite difusão rápida do oxigênio da parte aérea para as raízes e a tolerância das raízes à respiração anaeróbica (LEVITT, 1980).

De acordo com Weiss (1983) o gergelim é extremamente suscetível ao encharcamento e com chuvas intensas e contínuas, o crescimento das plantas é paralisado e, caso sejam mais freqüentes e contínuas, podem levar as plantas à morte, com o surgimento de diversas doenças.

Objetiva-se com este trabalho apresentar alguns efeitos causados em plantas de gergelim por estresses ambientais, em particular ausência de oxigênio no solo (anoxia).

¹Eng. Agrôn., D.Sc., da Embrapa Algodão, Rua Osvaldo Cruz, 1143, Centenário, CEP: 58428-095, Campina Grande, PB.
E-mail: napoleao@cnpa.embrapa.br.

²Bióloga, D.Sc., estagiária da Embrapa Algodão. E-mail: oliveira_mip@yahoo.com.br

1. Desenvolvimento de plantas em condições normais ou de estresse hídrico

O desenvolvimento e a produção da maioria das espécies vegetais cultivadas são prejudicados em solos mal drenados devido à falta de oxigênio livre no solo (VARTAPETIAN; JACKSON, 1997). A extensão de danos decorrentes do encharcamento do solo depende de vários fatores, incluindo a duração do período de saturação, o estágio de desenvolvimento da planta, a espécie e as condições ambientais.

As plantas, em condições naturais ou experimentais, podem ser submetidas à disponibilidade de O_2 que varia desde os teores normais (normoxia), passando pela deficiência (hipoxia) ou até mesmo pela ausência (anoxia). Apesar da intensidade destes estresses, existem várias espécies de plantas, especialmente aquelas mais adaptadas a ambientes alagados, e/ou em solos compactados que respondem favoravelmente a uma baixa oxigenação do solo, com a formação de aerênquima (DREW, 1997). Este é o caso específico da cultura do arroz (*Oriza sativa* L.), a qual é denominada planta palustre.

Condições temporárias de encharcamento são de ampla distribuição nas mais variadas partes do mundo, devido, entre outros fatores, irregularidades na distribuição da precipitação pluvial, mau controle da irrigação, drenagem ineficiente e preparo inadequado do solo, os quais podem gerar uma condição de anaerobiose acarretando danos às plantas (ALMEIDA; 1987).

2. Influência da concentração de oxigênio

Estudos indicam que a redução da concentração de oxigênio ocasiona rápida inibição da respiração, redução no status de adenilato, e uma coordenada desregulação do ciclo de Krebs e da glicólise.

Variações nas concentrações desses metabólitos, revelam que o sítio primário da regulação para estas respostas à baixa concentração de oxigênio na cadeia transportadora de elétrons da mitocôndria (GEIGENBERGER, 2003).

Um sistema usando discos de tubérculos da batata (*Solanum tuberosum*) tem sido usado para mostrar

que a redução do oxigênio resulta em inibição de processos biossintéticos. A função significativa desta inibição, permite uma concomitante redução de consumo de ATP quando a taxa de respiração decresce. A diminuição da concentração de oxigênio para uma série de sub-ambientes variando entre 21% a 0% resultou na progressiva redução da biossíntese de sacarose, proteínas, aminoácidos e de lipídios por um período de duas horas. As taxas dessas atividades biossintéticas foram reduzidas a menos de 10% comparada a taxa do oxigênio ambiente. Enquanto, a síntese do amido permaneceu relativamente alta quando comparada a outros fluxos biossintéticos, cujo ponto ótimo ficou em 12% de oxigênio (GEIGENBERGER et al. 2000, 2003). Embora baixas concentrações de ATP causem restringem a atividade de ADP-glicose pirofosforilase (GEIGENBERGER, 2000; LOEF; GEIGENBERGER 2001), que catalisa a primeira etapa da biossíntese do amido, esta é parcialmente compensada porque o baixo nível de oxigênio restringe a glicólise e aumenta a concentração do 3-fosfoglicerato que é um potente ativador alostérico da ADP-glicose pirofosforilase.

Apesar de vários processos metabólicos serem afetados pela deficiência de O_2 , os eventos mais estudados são aqueles relacionados à respiração e ao metabolismo de N. Na ausência de um aceptor de elétron terminal na cadeia transportadora de elétrons, o ciclo do ácido tricarbóxico passa a funcionar parcialmente e em ambas as direções. Ocorre a acidificação do citosol e o piruvato, produto da glicólise, é transformado em lactato e etanol, que representam as principais reações fermentativas das plantas. A alanina é o terceiro mais importante produto do metabolismo anaeróbico, sendo resultante de altas taxas de interconversão entre os aminoácidos em que as transaminases, tais como alanina aminotransferase, desempenham um papel importante (Figura 1) (SOUSA; SODEK, 2002).

Nos diversos ambientes onde esta espécie é cultivada, tanto de sequeiro (regime de precipitações pluviais) quanto irrigado, pode ocorrer encharcamento temporário do solo, possibilitando a deficiência de oxigênio (BELTRÃO et al. 2000). Tal condição também leva a deficiência de nutrientes para a planta, porém, neste caso, essa deficiência é

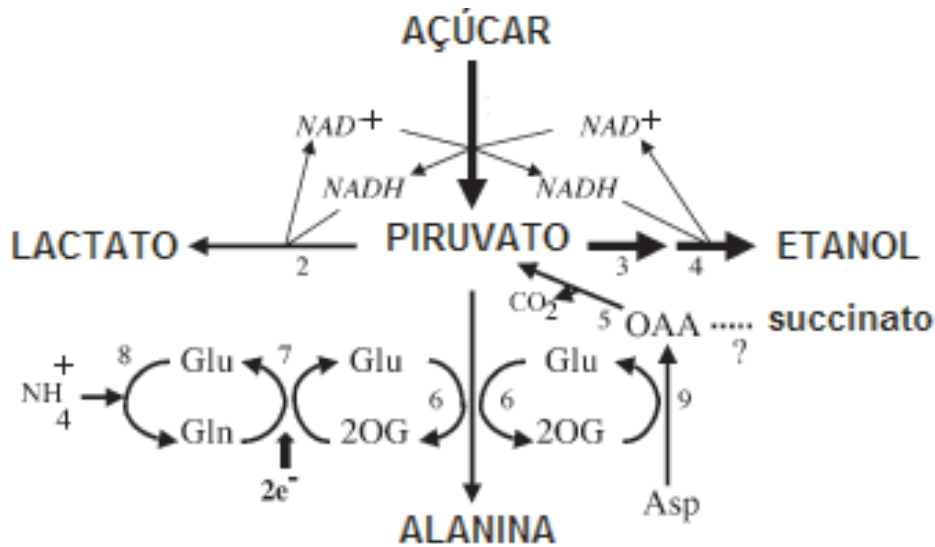


Fig. 1. Metabolismo do piruvato em planta sob estresse anoxítico. 1 = glicólise; 2 = lactato desidrogenase; 3 = piruvato descarboxilase; álcool desidrogenase; 5 = ácido oxaloacético descarboxilase ou malato desidrogenase + enzima málica; 6 = Alanina aminotransferase; 7 = glutamina oxoglutarato amidotransferase; 8 = glutamina sintase; 9 = Aspartato aminotransferase Adaptada de SOUSA e SODEK (2002).

atribuída a outros fatores tais como o acúmulo de substâncias tóxicas nas raízes, que inibe a absorção dos nutrientes minerais e causa o decréscimo da disponibilidade destes elementos no solo, provavelmente, em decorrência de alterações do estado de oxidação de algumas moléculas e mudanças de pH, além da própria inibição dos mecanismos de absorção, em virtude de uma baixa carga energética nas membranas, ou, ainda, da própria redução da superfície de absorção causada pela morte de raízes e perda de biomassa do sistema radicular (DREW; SISWORO, 1979).

Em geral, em plantas sob efeito do alagamento, ocorre a diminuição da absorção de água, tanto pela redução do comprimento e superfície total das raízes, como consequência da sua morte, como pelo aumento da resistência ao fluxo de água. Estes fenômenos fazem com que plantas submetidas ao alagamento estejam sujeitas ao murchamento das folhas (KOZLOWSKI, 1997), (Figura 2), caso não possuam bom controle estomático e baixa transpiração cuticular.

De acordo com Weiss (1983) o gergelim é extremamente suscetível ao encharcamento e com chuvas intensas e contínuas, o crescimento das plantas é paralisado e, caso sejam mais freqüentes tais situações, podem levar as plantas à morte, com

o surgimento de diversas doenças. Nas condições tropicais, a taxa mínima de oxigênio no solo deve ser de 10% em relação ao volume poroso de solo (PRIMAVESI, 1982). Caso contrário, o nitrogênio na forma de nitrato, principal forma de absorção deste nutriente, é reduzido dentro de dois a três dias (TURNER; PATRICK, 1968) devido à falta do oxigênio (SCOTT; EVANS, 1955).



Fig. 2. Plantas de gergelim cultivar CNPA G3 cultivada em solo encharcado no Município de Campina Grande-PB, 2004.

3. Modificações metabólicas em função da ausência de oxigênio

No tocante às modificações metabólicas (anabolismo e catabolismo) que ocorrem nas plantas em condições de deficiência ou mesmo ausência temporária de oxigênio, as informações sobre o gergelim são bastante escassas. Sabe-se, no entanto, que em condições de solo encharcado ocorrem reduções do crescimento, da transpiração, do volume de raízes e da fotossíntese da planta de gergelim (LI et al. 1991). Podem ocorrer diferenças entre cultivares, no tocante à tolerância ao encharcamento (FENG et al. 1991). Também tem se verificado que plantas bem adubadas com NPK têm maior eficiência metabólica que as plantas testemunhas (sem adubação), quanto submetidas a períodos de três a nove dias de solo bem umedecido (VYAS et al. 1991).

A tolerância ao encharcamento está relacionada com a ação coordenada de adaptações morfológicas, anatômicas e bioquímicas (BUCHER, KUHLEMEIER, 1993). Kennedy et al. (1992) indicaram que o estresse anaeróbico, determinado pelo encharcamento do solo, induz mudanças no padrão protéico em várias espécies, devido à dissociação dos poliribossomos, impossibilitando a tradução do mRNA.

Beltrão et al. (2000) observaram que tanto aos 34 quanto aos 70 dias após o plantio, houve reduções marcantes no processo fotossintético das plantas, mesmo com apenas um dia de deficiência de oxigênio. Os mesmos autores observam redução foi linear com o aumento do tempo de permanência em ausência de oxigênio. O estresse anoxítico (Figura 3) por quatro dias quando as plantas apresentavam 34 dias, promoveu redução de mais de 80% na assimilação de clorofila.

O estresse anoxítico possibilita o fechamento dos estômatos, reduzindo a condutância foliar, como foi verificado em algodoeiro herbáceo por Meek et al. (1980) afetando diretamente a etapa difusiva do processo fotossintético, além de outras alterações implicadas no processo de redução do CO₂. Já o processo respiratório não se mostrou tão sensível quanto a fotossíntese, com relação aos períodos de estresse anoxítico testados, tanto aos 34 quanto aos

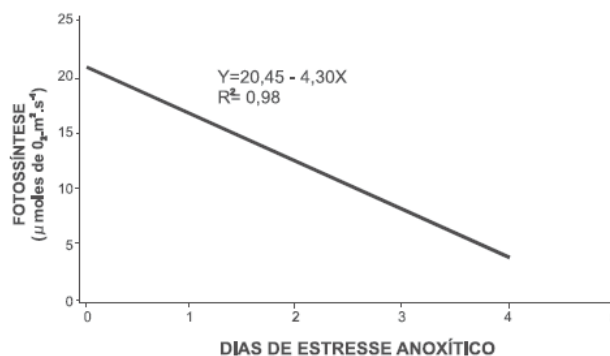


Fig. 3. Fotossíntese aos 34 dias da cultivar CNPA G3 de gergelim, em diferentes níveis de estresse anoxítico. Adaptado Beltrão et al. (2000).

70 dias do plantio. É possível que, caso se prolongue o estresse, a respiração foliar seja reduzida, como verificado em algodoeiro herbáceo, com mais de 10 dias de estresse por falta de oxigênio (SOUZA et al. 1997). Além disso, o processo de respiração é bem diferente da fotossíntese, que ocorre somente durante o dia e nos tecidos verdes, dotados de clorofila (CONN; STUMPF, 1980) verificando-se, sem cessar, em todas as células vivas das plantas, além de ter outros sistemas de oxidação nas plantas superiores que consomem oxigênio (AMORIM, 1979).

Na parte aérea da planta, verifica-se que o estresse anoxítico altera a coloração das folhas, que ficam cloróticas e depois crestadas, e com áreas mortas (Figura 4). É importante ressaltar, que em função da elevada umidade ocorrida na área em que as plantas foram conduzidas é comum o aparecimento de doenças fúngicas. Segundo Kramer (1983), em resposta à redução de O₂ e do aumento da concentração de gases tóxicos no solo, a planta apresenta sintomas como murchamento, clorose das folhas, hipertrofia do caule, alterações morfo-anatômicas, diminuição do crescimento e da produtividade e morte das raízes.

A diminuição na produção de energia fotoquímica, em consequência da baixa aeração, seja por encharcamento do solo, seja por inundação total da planta, pode afetar a eficiência fotossintética, em virtude de distúrbios causados na raiz ou diretamente na parte aérea, e dos danos que ocorrem nas estruturas responsáveis pela fase fotoquímica da fotossíntese (ALLEN et al. 1996).

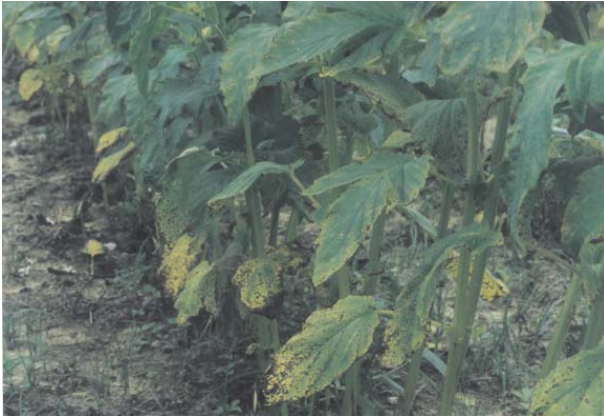


Fig. 4. Plantas de gergelim cultivar CNPA G3 cultivada em solo encharcado no Município de Campina Grande, PB, 2004.

Portanto, o encharcamento do solo afeta a fase fotoquímica nas folhas, diminuindo as reações ao nível dos cloroplastídeos, como consequência da redução no fornecimento de energia gerada pelo fotossistema II para os processos fotossintéticos subsequentes.

Conclusões

A planta de gergelim é extremamente sensível à deficiência de oxigênio no solo, não suportando a hipoxia. Aparentemente a baixa tolerância do gergelim ao excesso de água no solo seria fator de predisposição para instalação do problema nessa espécie devido às alterações morfofisiológicas sofridas na planta sob deficiência de oxigênio no solo.

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, O. A. **Efeito do encharcamento do solo no crescimento, desenvolvimento e produção do algodoeiro herbáceo.** Campina Grande: UFPB, 1987, 71 p. Dissertação (Mestrado em Recursos hídricos - Engenharia de Irrigação) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

ALLEN, J. A.; PEZENSKY, S. R.; CHAMBERS, J. L. Interaction of flooding and salinity stress on balcypress (*Taxodium disticum*). **Tree Physiology**, Victoria, v. 16, p. 307-313, 1996.

AMORIM, H. V. Respiração. In: FERRI, M. G. (Coord.) **Fisiologia vegetal.** São Paulo: Pedalógica e Universitária; Universidade de São Paulo, v. 1, p.249-280, 1979.

ARRIEL, N. H. de C.; GONDIM, T. M. de S.; FIRMINO, P. de T.; BELTRÃO, N. E. de M.; VASCONCELOS, R. A.; COSTA, I. L. da; SILVEIRA, N. A. da S.; SOUSA, S. L. de; DANTAS, E. S. B.; PEREIRA, J. R. **Gergelim BRS Seda.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2007. 1 Folder.

BELTRÃO, N. E. de M.; FREIRE, E. C.; LIMA, E. F. **Gergelim cultura no trópico semi-árido nordestino.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 1994. 52 p. (Embrapa Algodão. Circular Técnica, 18).

BELTRÃO, N. E. de M.; SOUZA, J.G. ; SANTOS, J.W. Conseqüências da anoxia temporária radicular no metabolismo do gergelim, **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 153-161, ago-dez. 2000.

BUCHER, M.; KUHLEMEIER, C. Long term anoxia tolerance. **Plant Physiology**, Rockville, v. 101, p. 441-448, 1993.

CHIRKOVA T. V. Pathways of adaptation of plants to hypoxia and anoxia. **Fiziologiya Rasstenni.** v. 35, p. 393-411, 1988.

CONN, E. E.; STUMPF, P. K. **Introdução a bioquímica.** Tradução de Lédia Menncci et al.; Supervisão de J.R. Magalhães. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. 525 p.

DREW, M. C. Oxygen deficiency and root metabolism: injury and acclimatation under hypoxia and anoxia. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 48, p. 223-250, 1997.

DREW, M. C.; SISWORO, E. J. The development of water-logging damage in young barley plants in relation to plant nutrition status and changes in soil properties. **New Phytologist**, v. 82, p. 301-314, 1979.

FENG, X. Y.; ZHANG, X. R.; XIÁO, T. H. Identification and evaluation of sesame germoplasm resources for water-logging tolerance. **Oil Crops of China**, n. 3, p. 12-15, 1991.

FIRMINO, P. T.; SANTOS, R. F.; BARROS, M. A. L.; OLIVEIRA, J. M. C. **Gergelim: opção para agricultura familiar do semi-árido brasileiro,** Embrapa Algodão: Campina Grande, 2006. 3 p. (Embrapa Algodão. Comunicado Técnico, 198).

GEIGENBERGER, P. Response of plant metabolism to

too little oxygen. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 6, p. 247-256, 2003.

GEIGENBERGER, P.; FERNIE A. R.; GIBON, Y.; CHRIST, M.; STITT, M. Metabolic activity decreases as an adaptive response to low internal oxygen in growing potato tubers. **Biol. Chem.**, v. 381, p.723-740, 2000.

LEVITT, J. **Responses of plants to environmental stresses: water, radiation, salt and other stresses**. New York: Academic Press, 1980. v. 2, 607 p.

LI, J. H.; YUAN, B. Z.; LU, G. B. Ecological response of sesame to water-logging. **Henan Hongye kexue**, v.1, p.10-12, 1991.

LOEF, I.; STITT, M.; GEIGENBERGER, P. Increased adenine nucleotide levels modify the interaction between respiration and starch synthesis when adenine is fed to discs of growing potato tubers. **Planta**, v. 212, p.782-791, 2001.

KENNEDY, R. A.; RUMPHO, M. E.; FOX, T. C. Anaerobic metabolism in plants. **Plant Physiology**, Rockville, v. 100, p. 1-6, 1992.

KOZLOWSKI, T. T. Responses of woody plants to flooding and salinity. **Tree Physiology Monograph**, v.1, p. 1-29, 1997.

MEEK, B. D.; OWEN-BARTLETT, E. C; STOLZY, L. H.; LABANAUSKAS, C. K. Cotton yield and nutrient uptake in relation to water table depth. **Soil Science Soc. American Journal**, v. 44, p. 301-305, 1980.

PRIMAVESI, A. **A agricultura em regiões tropicais: o manejo ecológico do solo**. In: _____. São Paulo: Nobel, 1982. p. 46-85.

SCOTT, A. D.; EVANS, D. D. Dissolved oxygen in

saturated soil. **Proc. Soil Science Society of America**, v. 19, n. 1, p. 7-12, 1955.

SOUSA, C. A. F.; SODEK, L. The metabolic response of plants to oxygen deficiency. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 14, n. 2, p. 83-94, 2002.

SOUZA, J. G. de; BELTRÃO, N. E de M.; SANTOS J. W. dos. Influência da saturação hídrica do solo na fisiologia do algodão em casa de vegetação. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 1, n. 1, p. 63-71, 1997.

TURNER, J. L.; PATRICK JÚNIOR, R. W. Oxygen requirements of cotton seedling roots for penetration of compacted soil cores. **Soil Science Society Proc.**, v. 28, n. 5, p. 600-605, 1968.

VARTAPETIAN, B. B.; JACKSON, M. B. Plant adaptations to anaerobic stress. **Annals of Botany**, London, v. 79, p. 3-20, 1997.

VYAS, S. P.; S. P.; KATHIU, S.; GARG, B. K.; LAHIRI, A. N.; SHARMA, P. C. Effects of duration of "wet period" between two drought events and soil fertility status on performance and metabolism of *Sesamum indicum* L. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 18, n. 2, p. 96-100, 1991.

WEISS, E. A. Sesame. In: _____. **Oilseeds crops**. London: Longman, 1983. p. 282-340.

WEISS, E. A. **Castor, sesame and safflower**. London: Leonard Hill, 1971. 901p.

KRAMER, P. J. **Water relations of plants and soils**, Orlando: Academic, 1983. 489

Comunicado Técnico, 361

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Algodão
Rua Osvaldo Cruz, 1143 Centenário, CP 174
58428-095 Campina Grande, PB
Fone: (83) 3315 4300 Fax: (83) 3315 4367
e-mail: sac@cnpa.embrapa.br
1ª Edição
Tiragem: 500

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento



Comitê de Publicações

Presidente: Carlos Alberto Domingues da Silva
Secretário Executivo: Valter Freire de Castro
Membros: Fábio Aquino de Albuquerque
Giovani Greigh de Brito
João Luiz da Silva Filho
Maira Milani
João Luiz da Silva Filho
Maria da Conceição Santana Carvalho
Nair Helena Castro Arriel
Valdinei Sofiatti
Wirton Macedo Coutinho

Expedientes: Supervisor Editorial: Valter Freire de Castro
Revisão de Texto: Maria José Silva e Luz
Tratamento das ilustrações: Geraldo F. de S. Filho
Editoração Eletrônica: Geraldo F. de S. Filho