

3 ECOFISIOLOGIA DO ALGODOEIRO

Antônio dos Santos Júnior

Izabela Thais dos Santos

Rita de Paula Lopes

Edimilson Alves Barbosa

O algodão é a fonte mais importante de fibra natural no Brasil, além de apresentar significativa importância socioeconômica na geração de renda e empregos. Atualmente, o Brasil ocupa a 5ª posição entre os maiores produtores mundiais de algodão, com área plantada de 955,6 milhões de hectares e estimativa de produtividade de 1.580 kg ha⁻¹ safra 2016/2017, que é 17,1% superior à safra 2015/2016 (CONAB, 2017). Tal melhoria deve-se às condições climáticas favoráveis à cultura. A produtividade para a safra 2017/2018 tem perspectivas de crescimento de dois dígitos com valores de comercialização de R\$ 78,00 por arroba (CONAB, 2017).

Existem indícios que o gênero *Gossypium*, no qual o algodoeiro pertence, tenha surgido há aproximadamente 12,5 milhões de anos (WENDEL et al., 2010), nos centros primários de origem localizados na Austrália na região de Kimberley, África e Ásia, nas penínsulas Somálicas e Arábicas, respectivamente, e no México, nas regiões Centro-Occidental e Sul (ECHER, 2014). Devido à dificuldade de informações, principalmente na África e Ásia, acredita-se que o número de espécies pertencentes ao gênero *Gossypium* seja subestimado apresentando atualmente 49 espécies (ECHER, 2014), sendo destas *Gossypium hirsutum* L. a espécie responsável por mais de 90% da produção mundial, seguida por *G. barbadense* L. com 8% da produção (VIDAL NETO; FREIRE, 2013).

As espécies de algodoeiro, em sua grande maioria, são oriundas de regiões com clima tropical e subtropical de baixa latitude, ocorrendo em uma faixa que compreende ambientes que variam de áridos à extremamente áridos (ECHER, 2014). Tais condições climáticas, como temperaturas diárias anuais acima de 18°C (ECHER, 2014), elevado fotoperíodo e baixa pluviosidade, aliada às características edáficas, proporciona elevada pressão de seleção das espécies mais adaptadas ao meio. Ainda, segundo Beltrão (2006), o algodoeiro apresenta elevada plasticidade fenotípica, garantindo a essa espécie o melhor ajuste às condições edafoclimáticas. Com relação ao metabolismo fotossintético do algodoeiro, este é do tipo C3, apresentando elevada taxa de fotorrespiração, ou seja, em ambientes estressantes tem-se uma maior desassimilação do CO₂ fixado pela fotossíntese, pois a enzima ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase – responsável pela fixação do CO₂ – tem alta afinidade pelo O₂, e em condições de elevada temperatura e luminosidade ela libera o CO₂ para o meio reduzindo a fotossíntese líquida.

Todavia, em cenários de mudanças climáticas globais aliadas com o incremento de CO₂ no meio, podem elevar a produtividade do algodoeiro, uma vez que a rubisco pode operar em um meio com maior disponibilidade de CO₂, elevando a sua assimilação. Por outro lado, outras variáveis - como alteração nas condições climáticas e nos padrões de assimilação de nutrientes pelas plantas em cenários futuros - podem mitigar o ganho em produtividade do algodoeiro, fazendo-se necessário o estudo em tais condições, bem como a ecofisiologia desta espécie como resposta a tais eventos.

A temperatura é de extrema importância para o crescimento e desenvolvimento do algodoeiro, fazendo-se necessário o monitoramento da fenologia da cultura com o auxílio da somatória dos graus-dia, uma vez que, em condições de elevada temperatura, o ciclo do algodoeiro é reduzido (REDDY et al., 1996), já em temperaturas menores que 20°C observa-se o aumento do tempo de embebição das sementes, resultando em um atraso na emissão da radícula em 40 horas somadas as 28 necessárias, totalizando 68 horas. Contudo, em temperaturas ótimas, tais eventos podem ocorrer em até 24 horas (ROSOLEM, 2001).

Além de afetar a emissão da radícula a temperatura em conjunto com a umidade do solo influencia significativamente o desenvolvimento do hipocótilo (ROSOLEM, 2001). Em condições ótimas de temperatura e umidade do solo, a emergência pode ocorrer em 4 a 10 dias após a semeadura. Todavia, sob estresse hídrico estas permanecem no solo em estado de quiescência, entrando em processo de germinação com as primeiras chuvas (BELTRÃO et al., 2011).

Segundo Beltrão et al. (2011), mesmo em condições ideais de umidade no solo, a temperatura exerce papel fundamental na emergência da plântula, onde, em temperaturas inferiores a 21°C ou superiores a 34°C, a plântula de algodão não irá emergir do solo, fazendo-se

necessário a utilização de sementes vigorosas que possibilitará a superação em condições de estresse moderado (ROSOLEM, 2001).

O desenvolvimento do algodoeiro é fortemente influenciado pelo seu local de origem, uma vez que, por ser originário de regiões propensas à seca, este apresenta maior alocação de fotoassimilados para o crescimento radicular em detrimento da parte aérea. Dessa forma, a planta garante maior capacidade de absorção de água e nutriente, favorecendo a manutenção da parte aérea.

Devido a tais características, o algodoeiro apresenta crescimento lento da parte aérea e um vigoroso crescimento do sistema radicular (ROSOLEM, 2001), onde que, dependendo da temperatura, a fase compreendida entre a emergência e a emissão do primeiro botão floral pode demorar de 27 a 38 dias (BAKER; LANDIVAR, 1991). Nessa fase, a sensibilidade à variação da temperatura pelas plântulas de algodão é menor nos primeiros 14 dias após a emergência (DAE), tornando-se sensível aos 21 DAE, exigindo temperaturas diurnas e noturnas de 30 e 22°C, respectivamente, para um ótimo crescimento (REDDY et al., 1992).

O estágio de desenvolvimento, que compreende a emissão do primeiro botão floral até a primeira flor, é fortemente influenciado pela temperatura do meio durando de 25 a 35 dias. Nesta etapa, tem-se o incremento em altura e em matéria seca da planta até atingir a fase de crescimento linear, onde a cada três dias em condições de temperatura média, variando de 22 a 25°C têm-se a produção de um ramo frutífero na haste principal (BAKER; LANDIVAR, 1991; HODGES et al., 1993). Em condições de estresse por altas temperaturas no início do estágio de desenvolvimento do algodoeiro, tem-se o decréscimo da área foliar, do acúmulo de matéria seca, além do aumento do número de ramos vegetativos em relação aos ramos reprodutivos (REDDY et al., 1991;

1992; 1995; HODGES et al., 1993), causando, conseqüentemente, redução na produtividade. Ainda em tais condições, tem-se o crescimento limitado das plantas de algodão devido, principalmente, à redução da taxa de fotossíntese líquida, que é definida pela quantidade de CO₂ assimilado pela área foliar subtraindo o carbono desassimilado pela respiração e fotorrespiração. Por outro lado, pode-se observar o encurtamento do desenvolvimento reprodutivo, podendo causar anomalias na frutificação do algodoeiro devido à baixa alocação de fotoassimilados para as estruturas reprodutivas (SNIDER; OOSTERHUIS, 2012).

O algodoeiro, mesmo evoluindo em condições de climas áridos, não expressa o seu máximo potencial produtivo em condições de temperaturas superiores a 32°C. Isso se deve à sua elevada sensibilidade no estágio de desenvolvimento das flores, onde se tem a inibição no desenvolvimento do pólen e fertilização (REDDY et al., 1996; OOSTERHUIS, 2002; BURKE et al., 2004; OOSTERHUIS; SNIDER, 2011; SNIDER; OOSTERHUIS, 2012). Tais condições resultam em queda da produtividade devido a limitações na quantidade de sementes produzidas, lembrando-se que estas são primordiais por influenciarem a produção de fibras (PETTIGREW, 2008). Outra característica de grande importância relacionada à elevação da temperatura é a retenção dos frutos, pode-se observar que o incremento no número de flores é linear com o aumento da temperatura até 40/32°C, contudo, tem-se a elevação na porcentagem de abscisão das flores podendo chegar a 100%, e conseqüentemente redução no número de maçãs.

A importância da qualidade intrínseca da fibra do algodoeiro possui importância fundamental no sucesso da cotonicultura. Desse modo, faz-se necessário o conhecimento de fatores que interferem na qualidade da fibra. A fibra do algodão é predominantemente constituída

por celulose (90%), desse modo, todas as variáveis que interferem na síntese e na disponibilidade de carboidratos podem interferir na sua qualidade final. Fatores climáticos, como a temperatura, podem afetar a disponibilidade dos fotoassimilados alocados para a produção das fibras por meio da inibição da fotossíntese, onde a potencialização deste efeito está diretamente associada à época e à intensidade do estresse.

Outra característica importante relacionada à qualidade da fibra é o seu comprimento, sendo que a fase crítica (alongação da fibra) encontra-se entre 25 e 40% do período total de formação do fruto. Já para as características de resistência e de micronaire, a fase crítica encontra-se no período de formação das paredes secundárias da fibra entre 25 a 75% do período total de formação do fruto (YEATES et al., 2010).

A quantidade e a qualidade de luz são fatores fundamentais na eficiência fotossintética das plantas, uma vez que a fotossíntese é responsável pela transformação de energia luminosa em energia química na forma de carboidratos. O algodoeiro, por se tratar de uma espécie que apresenta ângulo de inserção das folhas do tipo planófitas ($\alpha < 30^\circ$), ou seja, folhas mais horizontalizadas, tem a distribuição da irradiação ao longo do dossel de forma menos homogênea, com maior interceptação da luminosidade nas folhas superiores.

Tal condição favorece o autosombreamento, reduzindo a radiação fotossinteticamente ativa ao longo do dossel e, conseqüentemente, nas folhas na parte inferior da copa, que aliado ao adensamento de plantio pode causar sombreamento elevado do algodoeiro, culminando em redução no tamanho de capulho, índice de sementes e fibra e número de sementes por capulho, além de causar a redução na retenção de frutos (GUINN, 1974; FOWLER; RAY, 1977; ECHER et al., 2011).

A baixa luminosidade na fase de florescimento proporciona rápido aumento da taxa de abscisão de maçãs quando comparado à queda

dos botões florais, pois, segundo Echer (2014), imediatamente após o estresse luminoso, observou-se o início do abortamento das maçãs jovens. Por outro lado, os botões florais iniciaram o seu abortamento aos 3-4 dias após a remoção do estresse. Ainda, para Echer (2014), o algodoeiro apresenta duas fases críticas ao estresse luminoso para as estruturas reprodutivas, sendo a primeira logo após o início da emissão do botão floral e a segunda fase em seguida à antese, na qual as maçãs pequenas são susceptíveis ao abortamento, reduzindo a susceptibilidade com o início da abertura da flor e por volta de 14 dias após a abertura floral, respectivamente.

Quanto à qualidade da fibra, o sombreamento não impactou significativamente sob esta variável, sendo observado em condições de sombreamento, na fase de florescimento, a redução no índice micronaire (fibra mais fina) sem perda na resistência, contudo, sem efeito em comprimento de fibra (SEVERINO, 2005; ECHER, 2014).

Em condições edafoclimáticas ótimas, o ciclo do algodoeiro dura em média 160 dias após a sementeira. Neste período tem-se o envolvimento de vários eventos que ocorrem simultaneamente, garantindo a produtividade final. Dentre os eventos tem-se: o crescimento vegetativo; aparecimento das gemas reprodutivas; florescimento, crescimento e maturação de frutos.

Dentre os fatores climáticos envolvidos no crescimento e desenvolvimento da cultura do algodão, podemos destacar a disponibilidade hídrica e a temperatura por apresentarem-se essenciais desde o processo de germinação até a maturação do fruto. A disponibilidade hídrica no momento da sementeira deve ser o suficiente para que ocorra a embebição da semente, sendo que o seu excesso poderá ocasionar limitação de oxigênio disponível no solo, culminando no atraso da germinação. Além da disponibilidade de água no solo, vale lembrar

que a temperatura tem papel fundamental neste período regulando a velocidade de absorção da água pelas sementes, podendo levar aproximadamente 48 horas para a emissão da radícula.

Imediatamente após a emergência da plântula inicia-se a transpiração, fazendo-se necessária a absorção de água pelas radículas de modo a suprir tais perdas. O estágio vegetativo abrange o período compreendido entre a emergência a emissão da primeira flor. Ao final deste, o sistema radicular do algodoeiro encontra-se com, aproximadamente, 80% do seu total desenvolvimento, evidenciando a rápida expansão que pode chegar a 2,5 cm/dia durante várias semanas (ECHER, 2014). Todavia, o pleno desenvolvimento do sistema radicular é inibido pelo excesso de água no solo, compactação e altas temperaturas, fazendo-se necessário respeitar a janela de plantio, além de realizar um eficiente preparo do solo, de modo a mitigar os danos à cultura.

O estresse hídrico durante a produção dos botões florais, ou seja, antes do florescimento, é extremamente prejudicial, devido à necessidade do algodoeiro em formar um dossel capaz de garantir produção de fotoassimilados suficientes para a manutenção dos botões florais e, conseqüentemente, garantir maiores produtividades (ECHER, 2014). A exigência de água nesta etapa de desenvolvimento do algodoeiro passa de menos de 1 mm de água por dia para 4 mm por dia, cessando o crescimento em caso de estresse hídrico (ROSOLEM, 2001).

O estágio de desenvolvimento compreendido entre a primeira flor e o primeiro capulho apresenta elevada atividade metabólica, exigindo grandes quantidades de água que passa de 4 mm a mais de 8 mm por dia, de modo a garantir uma eficiente partição de biomassa para órgãos vegetativos e reprodutivos (ROSOLEM, 2001; ECHER, 2014). Nesta etapa, quando a demanda de fotoassimilados supera a capacidade de fornecimento pelo dossel, tem-se o fenômeno chamando de cut-out que é a paralização do crescimento vegetativo e o abortamento de flores,

além de maçãs e botões jovens, na ausência de estresse. Por outro lado, devido a menor taxa fotossintética em virtude do estresse hídrico, tem-se a redução da alocação de carboidratos para as estruturas reprodutivas desencadeando o processo de abortamento (ECHER, 2014). Segundo Echer (2014) o abortamento de estruturas de frutificação e a sensibilidade ao abortamento dos botões florais diminuem por volta dos 14 dias após a antese e aos 21 dias após a emissão do primeiro botão floral visível, respectivamente.

Como estratégia de sobrevivência, a planta de algodão no estágio compreendido entre o cut-out à maturação responderá ao estresse hídrico por meio do abortamento de frutos pequenos, favorecendo o desenvolvimento da semente e fibras em frutos mais velhos. Caso tenha a persistência do estresse e não houver mais frutos pequenos a serem abortados, o crescimento do capulho será reduzido, bem como o espessamento da fibra produzindo, conseqüentemente, fibras imaturas, comprometendo a produtividade e a qualidade da fibra.

A temperatura é o fator mais perceptível quando se fala em mudanças climáticas globais. No entanto, existem outros fatores de grande importância que podem alterar, completamente, o crescimento e o desenvolvimento de plantas como o algodão, sendo eles: concentração de CO₂ na atmosfera, bem como o padrão de precipitação.

Em tempos remotos (períodos glaciais) até a Revolução Industrial (1760 – 1840), a concentração de CO₂ na atmosfera apresentou um incremento em 100 partes por milhão (ppm), variando de 180 para 280 ppm, respectivamente. Já em 2016, estes valores alcançaram 403,3 ppm, e segundo alguns cenários propostos pela IPCC (2014) a concentração de CO₂ atmosférico pode atingir 550 ppm em 2050.

No que tange a temperatura média global, relatórios estimam-se para o ano de 2050 um aumento de 1,3 a 1,8°C. Já em cenários para

2100 o aumento previsto é de 1,4°C e no pior cenário 5,8°C. Diante de tal cenário de mudanças climáticas, o aumento da temperatura quando não associado ao incremento do nível de CO₂ na atmosfera, a produção agrícola cairia em 37% dentro de 80 anos. O aumento da temperatura de 1 a 2°C já proporcionaria uma redução na produtividade do algodoeiro nas regiões tropicais, mesmo em cenários de aumento na concentração de CO₂ atmosférico. Todavia, em regiões de clima temperado, espera-se um aumento na produtividade com a associação entre incremento de CO₂ e temperatura.

Em se tratando de precipitação pluviométrica em cenários de climáticas globais, esta é uma variável extremamente complexa devido a sua forte ligação regional e não global. Em termos absolutos, com o aumento da temperatura, tem-se o aumento da evaporação e consequentemente maior ciclagem da água. Logo, o problema não é o aumento da precipitação e, sim, a sua distribuição, ocorrendo chuvas mais torrenciais em curto período e secas mais prolongadas. Em cenários de mudanças climáticas, Géraudeau et al. (2013) relataram incremento na produtividade do algodoeiro em 1,3 kg ha⁻¹ durante 2005 – 2050. Observa-se, também, o encurtamento do ciclo fenológico da planta de algodão devido à elevação da temperatura.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O panorama elucidado sobre a ecofisiologia do algodoeiro e os efeitos fisiológicos decorrentes dos fatores temperatura, luminosidade e água são diversificados em função da resposta da cultura ao meio em que está inserida. A alteração das condições climáticas pode ter incremento na produtividade decorrente do aumento da temperatura e da disponibilidade de CO₂, além de proporcionar encurtamento do ciclo da cultura.

REFERÊNCIAS

- BAKER, D. N.; LANDIVAR, J. A. Simulation of plant development in GOSSYPIMUM. In: HODGES, H. F. (ed.). **Cotton Physiology**. Memphis: The Cotton Foundation, 1991, p. 245–257.
- BELTRAO, N. E. M.; OLIVEIRA, M. I. P.; SOUSA JÚNIOR, S. P.; BRITO, G. G.; CARDOSO, G. D. Ecofisiologia do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. r. *latifolium* Hutch.). In: BELTRÃO, N. E. de M.; OLIVEIRA, M. I. P. de. (Ed.). **Ecofisiologia das culturas de algodão, amendoim, gergelim, mamona, pinhão-manso e sisal**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011, p. 322.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectivas para a agropecuária/Companhia Nacional de Abastecimento – v.1** – Brasília: Conab, 2017, p. 111.
- ECHER, F. R.; ROSOLEM, C. A.; WERLE, R. Distribuição da produção do algodoeiro em função da luminosidade. In: 8º Congresso Brasileiro de Algodão & I Cotton Expo 2011, São Paulo. **Anais**. Campinas Grande: EMBRAPA Algodão, 2011, p. 521–27.
- ECHER, F. R. **O algodoeiro e os estresses abióticos**: Temperatura, luz, água e nutrientes. Net, Cuiabá (MT), 2014. Instituto Mato-Grossense do Algodão – IMAmt. Disponível em: <<http://www.ampa.com.br/arquivos/publicacoes/08092014123920.pdf>>. Acesso em: 20 Jan. 2018.
- FOWLER, J. L.; RAY, L. L. Response of two cotton genotypes to five equidistant spacing patterns. **Agronomy Journal**, Madison, v. 69, n. 5, 1977, p. 733–738.
- GÉRARDEAUX, E.; SULTAN, B.; PALAÏ, O.; GUIZIOU, C.; OETTLI, P.; NAUDIN, K. Positive effect of climate change on cotton in 2050 by CO₂ enrichment and conservation agriculture in Cameroon. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 33, n. 3, p. 485–495, 2013.
- GUINN, G. Abscission of cotton floral buds and bolls as influenced by factors affecting photosynthesis and respiration. **Crop Science**, v. 14, n. 2, 1974, p. 291–293.
- HODGES, H.F.; REDDY, K.R.; MCKINION, J.M.; REDDY, V.R. **Temperature effects on cotton**. Memphis: Mississippi State University, 1993. (Bull. 990, Mississippi Agric. Exp. Sta.)
- IPCC. **Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Working Group II contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014.
- OOSTERHUIS, D. M. **Growth and development of the cotton plant**. In: MILEY, W. N.;

_____. (eds) Nitrogen Nutrition in Cotton: Practical Issues. Proc. **Southern Branch Workshop for Practicing Agronomists**. Publ. Amer. Soc. Agron., Madison, WI. 1990.

OOSTERHUIS, D. M. **Day or night high temperature**: A major cause of yield variability. *Cotton Grower*, EUA, v, 46, 2002, p. 8–9.

OOSTERHUIS, D. M. SNIDER, J. L. High temperature stress on floral development and yield of cotton. In OOSTERHUIS, D. M. (ed.) **Stress physiology in cotton**. Cordova, Tennessee: The Cotton Foundation, 2011, p. 1–24.

PETTIGREW, W. T. The effect of higher temperatures on cotton lint yield production and fiber quality. **Crop Science**, v. 48, 2008, p. 278–285.

REDDY, V. R.; BAKER, D. N.; HODGES, H. F. Temperature effect on cotton canopy growth, photosynthesis and respiration. **Agronomy Journal**, v. 83, 1991, p. 699–704.

REDDY, K. R.; HODGES, H. F.; REDDY, V. R. Temperature effects on cotton fruit retention. **Agronomy Journal**, v.84, 1992, p. 26–30.

REDDY, K. R.; HODGES, H. F.; MCKINION, J. M. Carbon dioxide and temperature effects on pima cotton development. **Agronomy Journal**, v. 87, 1995, p. 820–826.

REDDY, V. R.; HODGES, H. F.; MCCARTY, W. H.; MCKINNON, J. M. **Weather and cotton growth: Present and Future**. Mississippi Agr. & Forestry Exp. Sta., Mississippi State University, Starkville, MS. 1996.

ROSOLEM, C. A. **Ecofisiologia e manejo da cultura do algodoeiro**. In: Informações agrônômicas 9. 2001, Piracicaba-BA, Potafós, 2001, p. 9.

SEVERINO, L. S. **A influência do adensamento sobre a produtividade e a qualidade da fibra**. In: Palestra para o V Congresso Brasileiro de Algodão, Salvador, agosto de 2005.

SNIDER, J. L.; OOSTERHUIS, D. M. Heat stress and pollen-pistil interactions. In: OOSTERHUIS, D. M.; COTHREN, J. T. (Eds.) **Flowering and Fruiting in Cotton**. Memphis: 2012, p. 245.

VIDAL NETO, F. C.; FREIRE, E. C. Melhoria genética do algodoeiro. In: Vidal Neto, F. das C.; Cavalcanti, J. J. V. (Ed.). **Melhoramento genético de plantas no Nordeste**. Brasília, DF: Embrapa, 2013, p. 28.

YEATES, S. J.; CONSTABLE, G. A.; MCCUMSTIE, T. Irrigated cotton in the tropical dry season. I: Yield, its components and crop development. **Field Crops Research**, v. 116, n. 3, 2010, p. 278–289.

WENDEL, J. F.; BRUBAKER, C. L.; SEELANAN, T. The origin and evolution of *Gossypium*. In: STEWART, J.; OOSTERHUIS, D.; HEITHOLT, J. J.; MAUNEY, J. (Ed.). **Physiology of cotton**. New York. 2010, p. 563.