

AUMENTO DE FOTOASSIMILADOS SOBRE OS TEORES DE CARBOIDRATOS E NITROGÊNIO EM MILHO¹

PAULO CÉSAR MAGALHÃES² e ROBERT JONES³

RESUMO - Estudos relatam que o rendimento e a qualidade dos grãos de milho (*Zea mays* L.) são limitados pela disponibilidade de fotoassimilados durante o enchimento de grãos. O objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos do aumento de fotoassimilados sobre os teores de açúcar solúvel e nitrogênio no internódio e no grão e a percentagem de amido nos grãos. Foram utilizados dois genótipos de milho: M14 x W64A e Pioneer 3780. Os tratamentos consistiram da remoção parcial dos grãos e desbaste para 50% da população inicial, realizados 6 e 24 dias após a floração. M14 x W64A respondeu ao desbaste e remoção parcial dos grãos em ambas as datas, aumentando o teor de açúcar solúvel no internódio. Remoção precoce proporcionou maior teor de amido nos grãos. Pioneer 3780 apresentou o teor de N no internódio e nos grãos e o teor de açúcar solúvel do internódio aumentado pelos tratamentos impostos aos 6 e 24 dias após a floração. A maior acumulação de açúcar solúvel no internódio nem sempre foi translocada e acumulada nos grãos. A eficiência da invertase e a capacidade do dreno podem estar envolvidos nestes processos.

Termos para indexação: qualidade dos grãos, *Zea mays*, enchimento dos grãos, açúcar solúvel, internódio.

ASSIMILATE ENHANCEMENT ON THE CARBOHYDRATES AND NITROGEN CONTENT IN MAIZE

ABSTRACT - Studies showed that maize (*Zea mays* L.) grain yield and quality is limited by the availability of assimilates during grain filling. The objective of this work was to study the effects of assimilate enhancement on the soluble sugars and nitrogen content in the internodes and grain. Two genotypes were used: M14 x W64A and Pioneer 3780. The treatments consisted of partial kernel removal and thinning by 50% plant population reduction imposed 6 and 24 days after silking. M14 x W64A responded positively to thinning and partial kernel removal in both dates, by increasing soluble sugar content in the internodes. The early kernel removal increased the internode N content, whereas early thinning resulted in greater grain starch content. Pioneer 3780 showed nitrogen content in the internodes and grains and internode soluble sugar content increased by the treatments imposed either at 6 or 24 days after silking. The greater soluble sugar content in the internodes not always was translocated and accumulated in the grain. Invertase efficiency and sink capacity may be involved in these processes.

Index terms: grain quality, *Zea mays*, grain filling, soluble sugars, internode.

INTRODUÇÃO

O rendimento final de milho (*Zea mays* L.) é dependente da disponibilidade de fotoassimilados (fonte) para os grãos durante o período de enchimento e da capacidade dos grãos (dreno) em utilizar fotoassimilados. A taxa e

¹ Aceito para publicação em 30 de abril de 1990.

Extraído da tese apresentada à University of Minnesota St. Paul - MN - USA, para obtenção do título de M.Sc. em Agronomia/Fisiologia Vegetal.

² Eng. - Agr., Ph.D., EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS), Caixa Postal 151, CEP 35700 Sete Lagoas, MG.

³ Eng. - Agr., Ph.D., University of Minnesota, Agronomy Department St. Paul - MN 55108 - USA.

duração do crescimento dos grãos de milho também são relevantes e freqüentemente correlacionados positivamente com o rendimento da cultura (Daynard et al. 1971, Hunter et al. 1977).

A relação fonte-dreno tem sido freqüentemente estudada em trigo e cevada. Atualmente, existe pouca informação dos efeitos que o aumento da disponibilidade de fotoassimilados exerce no desenvolvimento dos grãos e na partição de N e carboidratos nas diferentes partes da planta de milho.

Aumento de fotoassimilados disponíveis para a planta de milho pode ser obtido pela redução na população original de plantas e também pela redução no número de grãos na espiga (Jones & Simmons 1983). No primeiro caso, há uma redução na competição entre plantas, resultando em maior interceptação de luz por unidade de folha, e no caso de redução no número de grãos/espiga, a quantidade de fotoassimilados potencialmente disponível para cada grão individualmente é aumentada.

Schooper et al. (1982) mostraram que o aumento no suprimento de fotoassimilados pelo desbaste 2,5 semanas antes da floração pode resultar num aumento do rendimento de grãos sem que haja melhora na capacidade do dreno ou na eficiência de partição.

Allison & Watson (1966) demonstraram que quando a formação de grãos foi impedida pela prevenção de polinização no milho, a matéria seca que passaria para os grãos se acumulava nas partes vegetativas. A maioria destes estudos não tem apresentado nenhum resultado para carboidratos e teor de N proveniente de diferentes partes das plantas de milho. É importante que em estudos com aumento de disponibilidade de fotoassimilados seja analisada a variação na concentração e partição de fotoassimilados, uma vez que eles podem influir no rendimento final e na qualidade dos grãos de milho. As análises de carboidratos e N nos colmos da planta e nos grãos podem mostrar uma relação entre translocação e mobilização destes fotoassimilados durante crescimento. Além do mais, a concentração de carboidratos

solúveis no caule pode fornecer informação acerca da relativa limitação da fonte na planta (Duncan 1975). As plantas de milho normalmente contêm uma considerável reserva de fotoassimilados no caule (Duncan et al. 1965, Tollenaar 1977 e Tollenaar & Daynard 1978b). A remobilização de carboidratos do caule para a espiga tem sido observada tanto em estudos de aumento (Daynard et al. 1969, Francis et al. 1978) como nos de redução de fotoassimilados (Allison & Watson 1966, Jones & Simmons 1983, Tollenaar & Daynard 1978b).

Há evidência de que considerável remobilização de fotoassimilados ocorre durante o período de enchimento do grão (Adelana & Milbourn 1972, Daynard et al. 1969 e Jones & Simmons 1983). A remobilização ocorre quando os requerimentos de carboidratos do grão excedem a produção de fotoassimilados pela planta (Tollenaar & Daynard 1978a). Carboidratos solúveis armazenados temporariamente no caule, espiga e palha servem como fonte de crescimento do grão quando ocorre o declínio na fotossíntese da planta, no final da estação de crescimento (Tollenaar 1977, Tollenaar & Daynard 1978b). O caule serve também como um dreno ativo cuja capacidade relativa de atrair fotoassimilados declina durante o período final de enchimento dos grãos (Tollenaar 1977).

Existe pouca informação acerca dos efeitos do aumento de fotoassimilados no crescimento dos grãos, principalmente quando o estímulo é dado após o início de acumulação de matéria seca do grão. Estudos adicionais são necessários para identificar o potencial da planta de milho, assim como é necessário saber como as plantas compensam ao aumento de fotoassimilados relacionado com a remobilização dos carboidratos ou N das partes vegetativas para os grãos.

Com base no exposto, o objetivo deste trabalho foi identificar os efeitos do aumento de fotoassimilados na remobilização de carboidratos e N do colmo para os grãos da planta de milho.

MATERIAL E MÉTODOS

Dois genótipos, M14 x W64A e Pioneer 3780 foram cultivados no campo, em Saint Paul, MN USA em 1983. As parcelas foram plantadas com uma densidade maior e desbastadas mais tarde para uma densidade uniforme de 50.000 plantas/ha. Os tratamentos foram arranjados em parcelas subdivididas em blocos ao acaso, com quatro repetições, com os híbridos ocupando as parcelas, e os tratamentos visando aumentar os fotoassimilados, as subparcelas. Cada parcela foi composta de quatro fileiras de 9,0 m de comprimento por 0,76 m entre linhas. O solo utilizado foi um franco siltoso com horizonte A chernozêmico, o qual foi fertilizado de acordo com as recomendações de análise de solo para um rendimento esperado de 10.000 kg/ha. A data da floração foi anotada, e as plantas que estavam neste estágio foram etiquetadas. As amostragens foram realizadas apenas nas plantas etiquetadas.

Os tratamentos foram restritos às duas fileiras centrais de cada parcela. Estes tratamentos, cujo principal objetivo foi aumentar a quantidade de fotoassimilados disponíveis para o crescimento do grão, foram os seguintes: testemunha; remoção precoce de parte dos grãos (RPG), ou seja, grãos da metade superior da espiga removidos seis dias após a floração; remoção tardia de parte dos grãos (RTG), grãos da metade superior da espiga removidos 24 dias após a floração; desbaste precoce (DP), 50% de redução na população inicial de plantas seis dias após a floração; desbaste tardio (DT), e 50% de redução na população inicial de plantas 24 dias após a floração.

A remoção parcial dos grãos foi efetuada puxando-se a palha da espiga para trás até expor a metade superior dos grãos, os quais foram removidos com o uso de um bisturi. Foi aplicado vaselina na metade da espiga remanescente para evitar o crescimento de fungos. A palha da espiga foi então posicionada de volta ao seu lugar de origem.

Estes grãos foram utilizados para medir os teores de açúcar solúvel e amido, através do método descrito por Jones et al. (1981) e de N pelo método de Kjeldahl.

Juntamente com a amostragem dos grãos, o internódio da planta localizado logo abaixo da espiga (Jones & Simmons 1983) também foi amostrado, para determinação de açúcar solúvel, e N. Os dados coletados neste ensaio foram submetidos a análise de variância, e as médias, separadas pelo teste de Duncan.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O padrão de variação do teor de açúcar solúvel no internódio para ambos os genótipos (Fig. 1 e 2) foram bastante similares. Em todos os tratamentos a concentração de açúcares solúveis no internódio decresceu durante o período de enchimento do grão, mas aumentou subsequentemente quando o grão se aproximou da maturação. As plantas tratadas apresentaram um teor de açúcar solúvel significativamente maior que o da testemunha. Não foi identificado para o M14 x W64A um tratamento o qual pudesse evidenciar um aumento de açúcar solúvel. No entanto, na maturação o teor de açúcar no internódio foi maior para os tratamentos aplicados 24 dias após a floração. Pioneer 3780 apresentou em geral um teor de açúcar solúvel mais baixo e mais variável durante as amostragens. A remoção tardia de parte dos grãos para este genótipo resultou na mais alta percentagem de açúcar solúvel no final da estação (Fig. 2). O teor de açúcar solú-

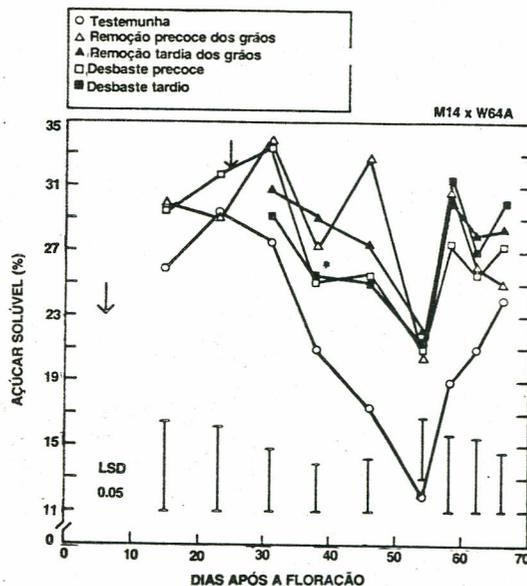


FIG. 1. Efeitos da remoção parcial dos grãos e desbaste no teor de açúcar solúvel do internódio para o M14 x W64A. Setas indicam época de imposição dos tratamentos.

vel presente nos colmos indica a presença de fotoassimilados que são potencialmente translocáveis e que poderiam obviamente ser remobilizados para a espiga. O aparente declínio e subsequente aumento no teor de açúcar solúvel quando os grãos aproximaram da maturação sugere um reinício de acúmulo do açúcar no colmo após a demanda de carboidratos pelos grãos ter sido satisfeita.

O padrão de variação do teor de N no internódio do M14 x W64A (Fig. 3) e Pioneer 3780 (Fig. 4.) foi bastante diferente do observado para o teor de carboidratos (Fig. 1 e 2). No início do período de enchimento do grão ambos os genótipos tiveram um baixo teor de N nos internódios. Após 45 dias da floração, desbaste e remoção parcial da espiga aos seis dias após floração causaram um aumento brus-

co e significativo no teor de N do internódio. O aumento foi maior para M14 x W64A que para Pioneer 3780. A remoção precoce de parte dos grãos proporcionou maior percentagem de N que o desbaste precoce, enquanto as plantas submetidas aos tratamentos tardios e as testemunhas mantiveram baixo teor de N nos internódios durante o período de enchimento de grãos. Jones & Simmons (1983) encontraram resultados similares quando aumentaram a disponibilidade de fotoassimilados pela remoção parcial dos grãos aos 12 e 24 dias após a floração. Na maturação, os grãos alcançam o máximo de massa seca, portanto a translocação para o grão cessa (Shannon & Dougherty 1972). Além do mais, no final do período de enchimento, as folhas senescem, e os compostos, que são normalmente mobilizados, podem acumular-se no colmo (Daynard et al. 1969). Este fenômeno pode ter ocorrido em todos os tratamentos, incluindo a testemunha. No entanto, somente a remoção de parte dos grãos e o desbaste realizados mais cedo resultaram em um aumento significativo de N no internódio na época da maturação. Com rela-

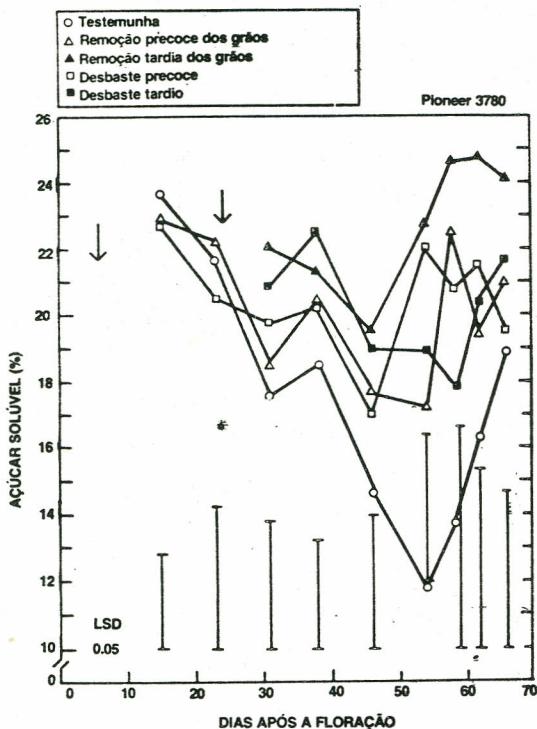


FIG. 2. Efeitos da remoção parcial dos grãos e desbaste no teor de açúcar solúvel do internódio para o Pioneer 3780. Setas indicam época de imposição dos tratamentos.

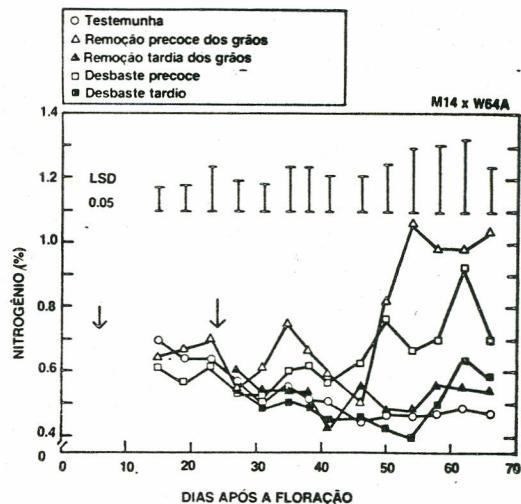


FIG. 3. Efeitos da remoção parcial dos grãos e desbaste no teor de nitrogênio do internódio para o híbrido M14 x W64A. Setas indicam época de imposição dos tratamentos.

ção ao tratamento RPG, o aumento de N no internódio foi causado, provavelmente, pela redução da força do dreno, uma vez que o número de grãos foi reduzido. Nota-se que a remoção tardia do grão, especialmente para Pioneer 3780 (Fig. 4), apresentou uma tendência similar ao RPG; porém, naquele caso, desde que os tratamentos foram aplicados tardiamente (24 dias após floração), muito do N absorvido já tinha sido provavelmente, translocado para os grãos antes de sua remoção, resultando, assim, em menor percentagem de N no internódio. Para o tratamento de desbaste precoce, a maior acumulação de N pode ser explicada pela maior eficiência fotossintética. Isto possivelmente resultou em maior disponibilidade de açúcares para a assimilação de N (Tsai et al. 1978). O α cetogluturato é derivado da sacarose (fotossíntese) e é um composto importante na assimilação do N. Portanto, mais fotossíntese resulta em mais sacarose, a qual aumenta a disponibilidade de α cetogluturato, e, conseqüentemente, a assimilação de N, que é acumulado em parte nos colmos (Tsai et al. 1978).

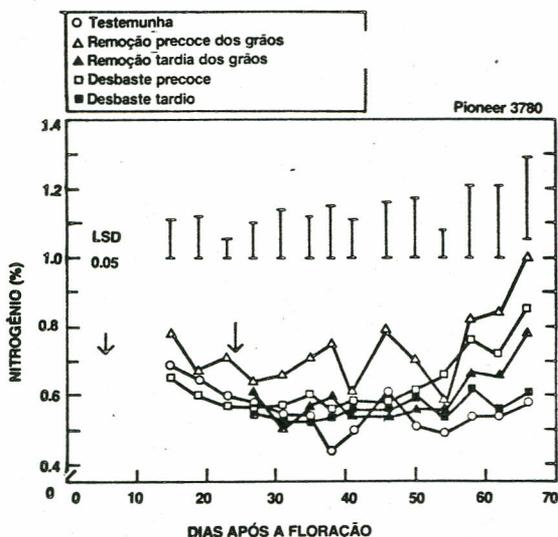


FIG. 4. Efeitos da remoção parcial dos grãos e desbaste no teor de nitrogênio do internódio para o híbrido Pioneer 3780. Setas indicam época de imposição dos tratamentos.

A Tabela 1 mostra a percentagem de açúcares solúveis presentes nos grãos para os dois genótipos na época da maturação. Exceto pelo tratamento RPG na cultivar Pioneer 3780, que mostrou baixa percentagem de açúcar solúvel; nos demais tratamentos, para ambos os genótipos, não foram detectadas diferenças no teor de açúcares solúveis dos grãos. Isto foi provavelmente devido à capacidade limitada do dreno em acomodar mais fotoassimilados, ou, ainda à aproximação do seu potencial genético. Estas sugestões estão consistentes com o trabalho de Jones & Simmons (1983). Jenner & Rathjen (1972a, 1972b), trabalhando com trigo, também encontraram resultados semelhantes, onde o fornecimento de maior quantidade de sacarose não induziu aumento do seu nível no grão nem aumentou a acumulação de amido. Eles afirmaram que o nível de sacarose no grão não foi limitado pela produção de fotoassimilados.

O teor de amido dos grãos na maturação (Tabela 2) foi significativamente afetado somente pelo desbaste precoce, para o genótipo

TABELA 1. Efeitos do aumento de fotoassimilados no teor de açúcar solúvel do grão na época da maturação para dois híbridos de milho. St. Paul MN 1983.

Tratamentos	* Açúcar solúvel ¹	
	M14 x W64A	Pioneer 3780
	%	
Testemunha	5,41	7,06
Remoção precoce dos grãos	5,64	5,53*
Remoção tardia dos grãos	5,95	6,59
Desbaste precoce	5,69	6,99
Desbaste tardio	5,25	7,21

¹ Valores são média de quatro amostragens tomadas após a maturação fisiológica.

* Significativamente diferente da testemunha ao nível de 5% de probabilidade.

M14 x W64A. Os demais tratamentos aplicados aos dois genótipos não causaram diferenças significativas no teor de amido dos grãos.

Vários processos fisiológicos podem limitar a acumulação de matéria seca no grão. Por exemplo, a limitação da atividade da enzima invertase é um ponto crítico (Shannon 1978). Shannon & Dougherty (1972) mostraram que a sacarose é hidrolizada pela invertase ácida em glucose e frutose, antes de entrar no endosperma dos grãos de milho. Mesmo com maior disponibilidade de sacarose pode não haver aumento na massa do grão, caso ela não seja invertida com maior eficiência pela invertase (Shannon 1978). Um estudo, portanto, da atividade da invertase, associado com os tratamentos de aumento de fotoassimilados, poderia revelar a origem da limitação do processo.

O teor de N no grão para os dois híbridos (Fig. 5 e 6) mostrou um padrão semelhante; no

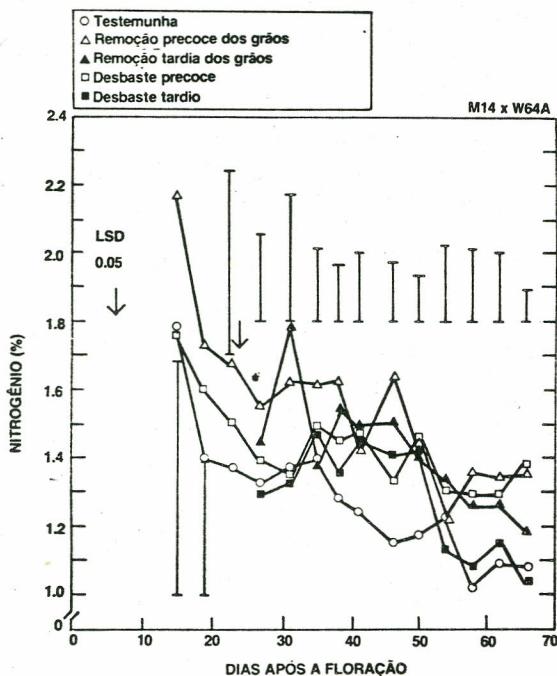


FIG. 5. Efeitos da remoção parcial dos grãos e desbaste no teor de nitrogênio dos grãos, híbrido M14 x W64A. Setas indicam época de imposição dos tratamentos.

TABELA 2. Efeitos do aumento de fotoassimilados no teor de amido do grão na maturação para dois híbridos de milho. St. Paul MN 1983.

Tratamentos	Amido ¹	
	M14 x W64A	Pioneer 3780
	%	
Testemunha	75,14	76,78
Remoção precoce dos grãos	74,04	73,77
Remoção tardia dos grãos	72,89	72,25
Desbaste precoce	77,72*	76,50
Desbaste tardio	76,05	75,19

¹ Valores são média de quatro amostragens tomadas após a maturação fisiológica.

* Significativamente diferente da testemunha ao nível de 5% de probabilidade.

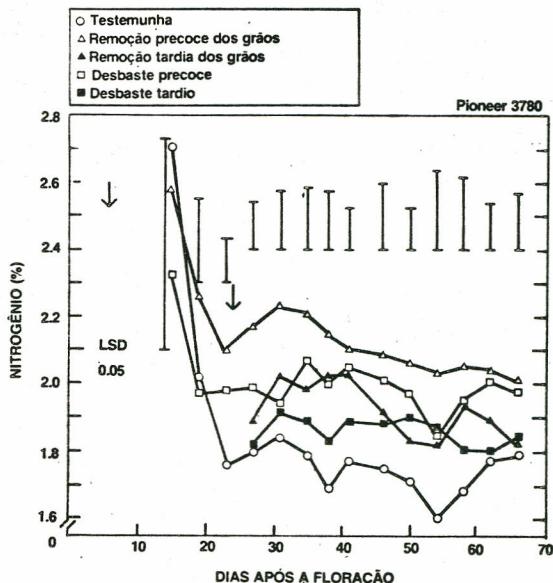


FIG. 6. Efeitos da remoção parcial dos grãos e desbaste no teor de nitrogênio dos grãos, híbrido Pioneer 3780. Setas indicam época de imposição dos tratamentos.

entanto, Pioneer 3780 teve, no geral, uma percentagem maior de N no grão. Inicialmente, o teor de N foi alto em todos tratamentos, porém decresceu rapidamente entre 15 e 25 dias após floração até o final da estação. RPG resultou na mais alta percentagem de N. Contrastando com isso, o teor de N dos grãos das plantas testemunhas foi sempre mais baixo. Parece que os tratamentos precoces resultaram em maior teor de N que os tratamentos tardios. Esta observação foi mais evidente para Pioneer 3780 que M14 x W64A (Fig. 5 e 6).

CONCLUSÕES

1. Apesar de os híbridos M14 x W64A e Pioneer 3780 terem sido afetados pelos tratamentos, a maior acumulação de açúcar solúvel no colmo não foi sempre traduzida em maior acumulação de carboidratos no grão. Levantou-se, portanto, a necessidade de se pesquisar a eficiência da atividade da invertase, uma vez que esta enzima é fundamental para a conversão de fotoassimilados no grão em matéria seca e amido.
2. Outra possibilidade está relacionada com a capacidade limitada do dreno em acomodar mais fotoassimilados, devido à aproximação do seu potencial genético.

REFERÊNCIAS

- ADELANA, B.O. & MILBOURN, G.M. The growth of maize. II. Dry matter partition of three maize hybrids. *J. Agric. Sci., Camb.*, **78**:73-8, 1972.
- ALLISON, J.C.S. & WATSON, D.J. The production and distribution of dry matter maize after flowering. *Ann. Bot.*, **30**:365-1, 1966.
- DAYNARD, T.B.; TANNER, J.W.; DUNCAN, W.G. Duration of the grain filling period and its relation to grain yield in corn, *Zea mays* L. *Crop Sci.*, **11**:45-8, 1971.
- DAYNARD, T.B.; TANNER, J.W.; HUME, D.J. Contribution of stalk soluble carbohydrates to grain yield in corn (*Zea mays* L.). *Crop Sci.*, **9**:831-4, 1969.
- DUNCAN, W.G. Maize. In: EVANS, L.T., ed. *Crop physiology: Some case histories*. s.l., Cambridge University Press, 1975. p.23-50.
- DUNCAN, W.G.; HATTFIELD, A.L.; RAGLAND, J.L. The growth and yield of corn. II. Daily growth of corn kernels. *Agron. J.*, **57**:221-3, 1965.
- FRANCIS, C.A.; TEMPLE, S.R.; FLOR, C.A.; GROGAN, C.L. Effects of competition on yield and dry matter distribution in maize. *Field Crop Res.*, **1**:51-63, 1978.
- HUNTER, R.B.; TOLLENAAR, M.; BREVER, C.M. Effects of photoperiod and temperature on vegetative and reproductive growth of maize hybrid. *Can. J. Plant Sci.*, **57**:1127-33, 1977.
- JENNER, C.F. & RATHJEN, A.J. Factors limiting the supply of sucrose to the developing wheat grain. *Ann. Bot.*, **36**:729-41, 1972a.
- JENNER, C.F. & RATHJEN, A.J. Limitations to the accumulation of starch in the developing wheat grain. *Ann. Bot.*, **36**:743-54, 1972b.
- JONES, R.J.; GENGENBACH, B.G.; CARDWELL, V.B. Temperature effects on *in vitro* kernel development of maize. *Crop Sci.*, **21**:761-6, 1981.
- JONES, R.J. & SIMMONS, S.R. Effect of altered source sink relation on growth of maize kernels. *Crop Sci.*, **23**:129-34, 1983.
- SCHOPER, J.B.; JOHNSON, R.R.; LAMBERT, R.J. Maize yield response to increased assimilate supply. *Crop Sci.*, **22**:1184-89, 1982.
- SHANNON, J.C. Physiological factors affecting starch accumulation in corn kernels. In: CORN AND SORGHUM RESEARCH CONFERENCE REPORT, **33**, 1978. p.78-94.
- SHANNON, J.C. & DOUGHERTY, T.C. Movement of ¹⁴C-labeled assimilates into kernels of *Zea mays* L. *Plant Physiol.*, **49**:203-6, 1972.
- TOLLENAAR, M. Sink source relationships during reproductive development in maize. A review. *Maydica*, **22**:49-75, 1977.
- TOLLENAAR, M. & DAYNARD, T.B. Kernel growth and development in two positions on the ear of maize (*Zea mays* L.). *Can. J. Plant Sci.*, **58**:189-97, 1978a.
- TOLLENAAR, M. & DAYNARD, T.B. Effect of defoliation on kernel development in maize. *Can. J. Plant Sci.*, **58**:207-12, 1978b.
- TSAI, C.Y.; HUBER, D.M.; WARREN, H.L. Relationship of the kernel sink for N to maize productivity. *Crop Sci.*, **18**:399-404, 1978.