

## PRODUÇÃO DE ENERGIA E PRODUTIVIDADE: *Ricinus communis* L. x *Saccharum Officinale* L.

Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão<sup>1</sup>, Maria Isaura Pereira de Oliveira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Embrapa Algodão, napoleao@cnpa.embrapa.br, oliveira\_mip@yahoo.com.br

**RESUMO** - Neste trabalho, são apresentados esclarecimentos de como a mamona, produtora de óleo, e com elevado consumo energético, produz bem menos do que plantas produtoras de sacarose e glicose, açúcares translocável das plantas, caso da cana-de-açúcar. A pesquisa bibliográfica foi desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos. Concluiu-se que a comparação entre a planta oleaginosa não pode ser feita de maneira direta com a planta produtora de açúcar. A comparação entre as plantas oleaginosas não pode ser feita de maneira direta com as plantas produtoras de açúcar. As plantas oleaginosas consomem 18 ATP (Adenosina trifosfato) para a formação de hexoses na ausência de fotorrespiração, enquanto as plantas produtoras de açúcar consomem 30 ATP. Na comparação de produtividade econômica entre as plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>, oleaginosas e energéticas, respectivamente, deve-se levar o tempo de produção em consideração, quando a produtividade se expressa em kg/ha/tempo.

**Palavras-chave:** Mamona, cana-de-açúcar, energia, produtividade.

### INTRODUÇÃO

Os organismos fotossintéticos podem produzir carboidratos de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) e água por meio da redução do CO<sub>2</sub> que utiliza a energia fornecida pelo ATP (Adenosina trifosfato) e pelo NADP (nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato) gerados por transferência fotossintética de elétrons.

Certas plantas respondem melhor que outras às altas concentrações de CO<sub>2</sub>, dependendo do processo fotossintético a que estão ligadas. Diversas classificações serviram para catalogar os vegetais segundo critérios fisiológicos e morfológicos, porém, no final dos anos 60, um novo tipo de classificação surgiu ligada ao mecanismo inicial de assimilação de CO<sub>2</sub> pela fotossíntese. A explicação deste fenômeno de diferença de eficiência fotossintética reside em mecanismos bioquímicos de fotossíntese. Distinguiram-se dois tipos principais de plantas quanto a captação de CO<sub>2</sub> são as vias fotossintéticas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>, sendo a via C<sub>3</sub> ou ciclo de Benson-Calvin a única via metabólica para produção de carboidratos, tanto para as plantas C<sub>3</sub>, quanto para as plantas C<sub>4</sub> (PIMENTEL, 1998).

Na literatura, há poucas informações esclarecendo como a maioria das plantas oleaginosas de metabolismo fotossintético C<sub>3</sub>, caso da mamona (*Ricinus communis* L.), produzem bem menos do que as plantas produtoras mais de açúcares, caso da cana-de-açúcar (*Saccharum officinale* L.) metabolismo fotossintético C<sub>4</sub>. Para produzir óleo a planta gasta mais de três vezes a energia que é

usada para produzir açúcar. A sacarose é o mais acumulado, e é o açúcar translocável em todas as plantas, sendo assim, mais eficiente e mais econômico para a planta o seu acúmulo.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho tentar explicar através de comparação, como as oleaginosas, produtoras de óleo e com elevado consumo energético, produzem bem menos do que as plantas produtoras de açúcares translocável nas plantas.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O presente trabalho trata de uma pesquisa de natureza basicamente bibliográfica. A pesquisa bibliográfica foi desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

No tocante as oleaginosas, em especial as no momento para a produção de matéria-prima para biodiesel com pelo menos 15% de óleo nas sementes e até mais do que isto em proteínas, todas tem metabolismo  $C_3$ . Por vários fatores estas plantas para produzir óleo e proteína tem que investir muita energia na forma de ATP. Já as plantas produtoras de açúcares, tais como amido e glicose (milho) e sacarose (cana-de-açúcar) de metabolismo  $C_4$ , que na produção de energia gasta apenas 1/3 de energia, para produzir óleo.

Segundo Lawlor (1993) para as reações escuras deve-se salientar que a única via metabólica de síntese de açúcares é a via  $C_3$ , mesmo em plantas  $C_4$ . A via  $C_4$  serve para aumentar a eficiência da via  $C_3$ .

A via de assimilação do  $CO_2$  nas plantas  $C_4$  tem um custo energético maior que as plantas  $C_3$ . Para cada molécula de  $CO_2$  fixada na via  $C_4$ , uma molécula de fosfoenolpiruvato precisa ser regenerada ao custo de dois grupos fosfato de alta energia do ATP. Assim, as plantas  $C_4$  precisam de um total de cinco moléculas de ATP para fixar uma molécula de  $CO_2$ , enquanto nas plantas  $C_3$  gastam apenas três. Portanto, as plantas  $C_3$  só consomem 18 ATP por hexose formada na ausência da fotorrespiração, em comparação com os 30 ATP para as plantas  $C_4$ .

A maior eficiência de carboxilação da fosfoenolpiruvato carboxilase, em plantas  $C_4$ , está principalmente associada à ausência da atividade oxigenase, portanto nas plantas  $C_4$  não há competição entre o  $CO_2$  e  $O_2$ . Já a atividade da rubisco (ribulose bifosfato carboxilase/oxigenase) é dependente do teor de  $CO_2$  e de  $O_2$  atmosférico, sendo a fotossíntese  $C_3$ , sob intensidades luminosas saturantes, inibida de 20 a 40% pelo  $O_2$  (BROWN; BYRD, 1993). À medida que a temperatura aumenta, a afinidade da rubisco pelo  $CO_2$  diminui, um ponto de alcance entre 28 e 30 °C, onde o ganho

em eficiência pela eliminação da fotorrespiração nas plantas  $C_4$  mais do que compensa seu custo energético.

Nas folhas de plantas  $C_3$ , a rubisco equivale a mais de 50% das proteínas solúveis (GUNASEKERA; BERKOWITZ, 1993), enquanto em folhas  $C_4$  essa corresponde a 10-25%. Já a PEP-case, em folhas  $C_4$ , corresponde somente a 10% das proteínas solúveis. Existe, portanto, um gasto de no máximo 35% do nitrogênio foliar para síntese das enzimas de carboxilação em plantas  $C_4$ , enquanto em plantas  $C_3$  este gasto está em cerca de 50% do nitrogênio foliar (SINCLAIR; HORIE, 1989).

Nas plantas  $C_3$ , devido à liberação de  $CO_2$  fotorrespiratório, o ponto de compensação de  $CO_2$  varia entre 30 e 80  $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Já na via  $C_4$ , onde não existe o efeito inibidor do  $O_2$  sobre a fotossíntese e sobre a enzima de carboxilação, mesmo havendo alguma atividade fotorrespiratória na bainha perivascular, o  $CO_2$  liberado será recapturado pela PEP-case, que tem uma grande afinidade pelo  $CO_2$  (OGREN, 1984). O ponto de compensação em  $CO_2$  de plantas em  $C_4$  se aproxima de zero, pois não há liberação de  $CO_2$  para a atmosfera (PIMENTEL, 1998).

As espécies  $C_4$  têm maior fotossíntese líquida em alta irradiância. Isso ocorre devido ao fato de que a fotorrespiração é um processo quase ausente nestas plantas, ou seja, a fotossíntese líquida não é inibida pela alta concentração de  $O_2$  em altas temperaturas e irradiâncias. Assim, as plantas  $C_4$  apresentam melhor performance em altas temperaturas e altas irradiâncias devido à menor perda de carbono pela fotorrespiração (HELDT, 2005).

O  $CO_2$  perdido pela fotorrespiração anula parcialmente a fixação de  $CO_2$  pela fotossíntese; dependendo da espécie vegetal a fotorrespiração pode diminuir o rendimento fotossintético de 30 a 50%. A intensidade da fotorrespiração consegue atingir as plantas  $C_3$ , as plantas  $C_4$  possuem vias metabólicas diferentes, estruturas anatômicas especiais que diminuem a força da fotorrespiração (SOMERVILLE; SOMERVILLE, 1984).

As plantas  $C_4$ , de uma forma geral em condições de suprimento de água adequado, apresentam maior eficiência no uso de água (E.U.A.) do que as  $C_3$ , pois podem ter os estômatos mais fechados, mantendo sua assimilação de  $CO_2$  e perdendo menos água (MAGALHÃES, 1979). Porém, deve-se ressaltar que existem muitas plantas  $C_3$  de regiões de clima árido, com grande controle estomático e conseqüente alta E.U.A. Além de existir uma variabilidade de E.U.A. entre espécies isto ocorre também dentro da espécie, e pode ser um parâmetro fisiológico associado a outros, como o desenvolvimento do sistema radicular, a ser usado no melhoramento vegetal tropical. A maior E.U.A. das plantas não garante por si só maior adaptação à seca (OSMOND et al, 1982).

Apesar do potencial fotossintético em nível de folha das plantas  $C_3$  ser menor que o das plantas  $C_4$ , em condições ótimas para ambas, as plantas  $C_3$  são responsáveis pela maior parte da produção fotossintética mundial, provavelmente porque são mais competitivas nas comunidades mistas, onde

existem efeitos de sombreamento, onde a luminosidade, temperatura, etc., são médias em vez de extremas (ODUM, 1985).

Enquanto as plantas C<sub>4</sub> têm desempenho constante em temperaturas que variam entre 10 e 40 °C, as C<sub>3</sub> apresentam uma queda linear em desempenho quando se aumenta a temperatura. As C<sub>3</sub> levam vantagem até cerca de 28 °C, mas que, devido ao fato das C<sub>4</sub> não apresentarem queda de rendimento em temperaturas mais altas, estas últimas passam a ter maior eficiência relativa acima de 28 °C. O fato das plantas C<sub>4</sub> responderem melhor a temperaturas mais altas também permitem que seus sistemas de captação de luz possam suportar intensidades luminosas muito maiores. Com isto, enquanto as plantas C<sub>3</sub> saturam em torno de 600 a 800 mmol quanta.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>, as plantas C<sub>4</sub> podem funcionar em intensidades maiores do que 2.000 mmol quanta.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> (HALL, RAO, 1994). Se considerarmos as intensidades luminosas normalmente encontradas em condições naturais, fica claro que plantas C<sub>3</sub> como as oleaginosas, por exemplo, se adaptam bem a condições mais sombreadas, enquanto as gramíneas C<sub>4</sub> ou bromélias que crescem em campos rupestres conseguem se desenvolver melhor em altas intensidades luminosas e em altas temperaturas.

A exploração agrícola de uma planta com a via fotossintética C<sub>4</sub>, não leva necessariamente, a uma alta produtividade por área e por tempo, comparando-se a algumas plantas C<sub>3</sub>. Por exemplo, o sorgo ou espécies de *Pennisetum*, com altas taxas de crescimento de cultura (TCC), não produzem mais energia para a alimentação do que a batata ou a mandioca na mesma área, durante um ano agrícola. A cana-de-açúcar (planta C<sub>4</sub>) pode produzir até 250 t. de colmos. ha<sup>-1</sup>, porém em pelo menos um ano agrícola, enquanto a batata (planta C<sub>3</sub>) produz até 95 t.ha<sup>-1</sup> em 3 meses (NORMAN et al. 1995). Os valores máximos de taxa de crescimento de cultura citados são mantidos durante alguns dias, decrescendo posteriormente.

Nem mesmo os valores máximos de taxa de crescimento de cultura, em gramas de matéria seca.m<sup>-2</sup> de solo.dia<sup>-1</sup>, podem ser atribuídos exclusivamente às plantas C<sub>4</sub>, pois Evans (1975) mostrou que plantas C<sub>3</sub> produtoras de óleo como o girassol podem atingir valores de 68 g/m<sup>2</sup>/dia, e a soja de 17 g/m<sup>2</sup>/dia, comparado as plantas C<sub>4</sub> produtoras de amido, como o milho (C<sub>4</sub>) de 52 g/m<sup>2</sup>/dia, e sacarose, como a cana-de-açúcar de 38 até 77 g/m<sup>2</sup>/dia, dependendo do ambiente, cultivar e manejo cultural.

Considerando a produtividade econômica das culturas oleaginosas, como a mamona, no caso da cultivar BRS Energia que tem em média 48% de óleo em suas sementes, tem capacidade para produzir 1.800 kg de baga/ha, em 110 dias, enquanto a cana-de-açúcar com ciclo médio de 1,5 ano (como planta precoce) tem produtividade média de 120 t. de colmo/ha (a média equivalente brasileira é de 80 t de colmo/ha), tem-se que a mamona - 1.800 kg de baga/ha com 48 % de óleo, produz 864 litros de óleo/ha, ciclo de 110 dias, cinco vezes menos do que o ciclo da cana-de-açúcar, o que pode

totalizar, teoricamente em cinco cultivos produz 4.320 litros de óleo/ha, tendo o óleo 2,6 mais energia do que o álcool. No caso da cana-de-açúcar, em 540 dias (18 meses), produz 9.600 l de álcool.

Em termos energéticos, a mamona produziria no mesmo tempo e área 11.232 litros equivalentes de energia, ou seja, 15% mais do que a cana-de-açúcar. Desta forma, deve-se levar em consideração os equivalentes energéticos e a produtividade em quantidade/área/tempo com kg/ha/ano.

### CONCLUSÕES

A comparação entre as plantas oleaginosas não pode ser feita de maneira direta com as plantas produtoras de açúcar. As plantas oleaginosas consomem 18 ATP para a formação de hexoses na ausência de fotorrespiração, enquanto as plantas produtoras de açúcar consomem 30 ATP.

Na comparação de produtividade econômica entre as plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>, oleaginosas e energéticas, respectivamente, deve-se levar o tempo de produção em consideração, quando a produtividade se expressa em kg/ha/tempo.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BROWN, R. H.; BYRD, G. T. Estimation of bundle sheath cell conductance in C<sub>4</sub> species and O<sub>2</sub> insensitivity of photosynthesis. **Plant Physiology**, v. 103, p. 1183-88, 1993.

EVANS, L. T. **Crop Physiology**. Cambridge: University Press. 1975.

GUNASEKERA, D.; BERKOWITZ, G. A. Use of transgenic plants with Ribulose-1,5-Bisphosphate Carboxylase/Oxygenase antisense DNA to evaluate the rate limitation of photosynthesis under water stress. **Plant Physiology**, v. 103, p. 629-635, 1993.

HALL, D. O.; RAO, K. K. **Fotossíntese**. São Paulo: Pedagógica e Universitária, São Paulo, 1994. 89 p.

HELDT, H. W. **Plant biochemistry**. 3th ed. San Diego: Elsevier Academic Press, 2005. 522 p.

LAWLOR, D. W. **Photosynthesis: metabolism, control and physiology**. London: Longman Publication. 1993. 262 p.

MAGALHÃES, A. C. N. Fotossíntese. In: FERRI, M. G. (Ed.). **Fisiologia Vegetal**. São Paulo: Pedagógica Universitária. 1979. p. 117-180.

NORMAN, M. J. T.; PEARSON, C. J.; SEARLE, P. G. E. **The ecology of tropical food crops.** Cambridge: University Press, 1995. 436 p.

PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical.** Seropédica: Edur, 1998. 150 p.

ODUM, E. P. **Ecologia,** Rio de Janeiro: Guanabara, 1985. 201 p.

OGREN, W. L. Photorespiration: pathways, regulation, and modification. **Annual Review of Plant Physiology,** v. 35, p. 415-442, 1984.

OSMOND, C. B.; WINTER, K.; ZIEGLER, H. Functional significance of different pathways of fixation in photosynthesis. In: LANGE, O. L. NOBEL, P. S., OSMOND, C. B.; ZIEGLER, H. (Ed.). **Physiological plant ecology II - water relations and carbon assimilation.** Berlin: Springer-Verlag, 1982, p. 480-547.

SINCLAIR, T. R.; HORIE, T. Crop physiology & metabolism. leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. **Crop Science,** v. 29, p. 90-98, 1989.

SOMERVILLE, C. K.; SOMERVILLE, S. C. **Les photosynthèses des plantes - Lu Recherche,** v. 15, n. 154, abr. 1984.