

ANÁLISE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS CULTIVOS DA MANDIOCA, CANA-DE-ÇÚCAR E MILHO EM FUNÇÃO DA EXTRAÇÃO/EXPORTAÇÃO DE MACRONUTRIENTES PARA PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE ETANOL.

Diones Assis Salla¹; Cláudio Cabello²

1Aluno do curso de Pós-graduação em Agronomia - Energia na Agricultura - Faculdade de Ciências Agronômicas. diones.salla@gmail.com; 2Professor, Pesquisador e Diretor do Centro de Raízes e Amidos Tropicais CERAT/UNESP, Caixa Postal 237, 18610-307 Botucatu, SP, dircerat@fca.unesp.br.

PALAVRAS CHAVE: agroecossistema, biomassa, energia limpa, fonte amilácea.

INTRODUÇÃO

Nos últimos cinquenta anos, o uso intensivo de energia não-renovável significou importantes avanços e proporcionou conquistas imprescindíveis para a humanidade. No entanto, de forma paralela, surgiram dificuldades complexas que, isoladas ou em cadeia, vêm promovendo alterações climáticas de forma irreversível. Esgotamento das reservas, especialmente do petróleo mais fino, aliado à crescente demanda energética e à necessidade inadiável de reduzir as emissões de carbono para a atmosfera sinaliza para a necessidade de modificações com urgência como a adoção de fontes energéticas renováveis e limpas. Dentre as fontes de energia renovável, a biomassa poderá responder por parcela substantiva dessa oferta futura. Assim, a ampliação da participação da biomassa a partir da utilização de fontes amiláceas na matriz energética é, entre outras, a oportunidade de executar de modo mais sustentável, as políticas de cunhos social, ambiental e econômico.

No processo de fotossíntese ocorre a elaboração de substâncias orgânicas a partir de elementos minerais, onde a luz é fator decisivo e a capacidade fotossintética é variável entre as espécies vegetais, tendo como resultado a formação da biomassa. As quantidades necessárias dos macronutrientes para produzir uma determinada quantidade de biomassa diferem entre as culturas. Assim, as quantidades de macronutrientes absorvidas, exportadas e recicladas durante o ciclo produtivo são atributos específicos de cada espécie e informam o modo pelo qual elas se relacionam com o agroecossistema onde são cultivadas.

Desse modo, o trabalho de pesquisa teve por objetivo analisar o desempenho das culturas da mandioca, do milho e da cana-de-açúcar em produzir energia (etanol) a partir da extração/exportação dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S), contabilizando os superávits energéticos produzidos.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido por meio da revisão de publicações relacionadas com as culturas da mandioca, do milho e da cana-de-açúcar. Os aspectos

pesquisados dizem respeito à extração, à exportação e à devolução dos macronutrientes imobilizados no agroecossistema durante o ciclo das culturas.

Os dados fornecidos para as três culturas foram adaptados para produtividades de 40 t ha⁻¹ de raízes de mandioca; 100 t ha⁻¹ de colmos de cana-de-açúcar e; 9,1 t ha⁻¹ de grãos de milho. Os valores atribuídos à cada cultura representam as maiores produtividades citadas pela literatura.

O fósforo é citado em alguns trabalhos como P e outras vezes como P₂O₅; o potássio na forma de K ou em K₂O; o cálcio em Ca ou CaO e; o magnésio na forma de Mg ou MgO. Assim, para converter P₂O₅ em P; K₂O em K; CaO em Ca e MgO em Mg, os valores foram divididos por 2,29; 1,20; 1,39; e 1,66; respectivamente.

Foram adotados os seguintes índices energéticos para os macronutrientes: 17.520 kcal kg⁻¹ para o N (Campos, 2001), 3.340 kcal kg⁻¹ para o P₂O₅ (Mercier, 1978) e 2200 kcal kg⁻¹ para o K₂O (Shapouri et al., 2002). Pelos equivalentes de massa atômica obtivemos: 17.520 kcal kg⁻¹ para N; 1458 kcal kg⁻¹ para o P e 1826 kcal kg⁻¹ para K. Os equivalentes energéticos do cálcio (Ca) e do magnésio (Mg) foram determinados a partir da proporcionalidade de suas massas com a massa atômica do potássio, por pertencerem ao grupo dos metais alcalinos. Do mesmo modo, o índice energético do enxofre (S) foi determinado a partir da proporcionalidade de sua massa com a massa atômica do P₂O₅, por serem ambos não-metais. Com esse procedimento os equivalentes energéticos do Ca, Mg e S são 1873 kcal kg⁻¹; 1134 kcal kg⁻¹; 1509 kcal kg⁻¹; respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

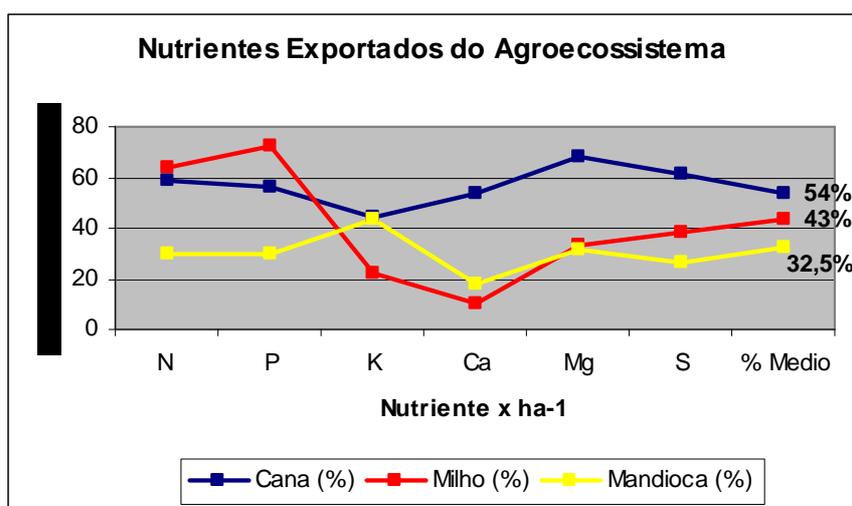


Figura 1. Macronutrientes exportados pela cana-de-açúcar, pelo milho e pela mandioca

No que se refere à exportação dos nutrientes, por ocasião da colheita da mandioca, observou-se que o potássio é o elemento mais exportado pelas raízes (43,5%), seguindo-se o magnésio (31,5%), o nitrogênio e o fósforo (29,7%). O enxofre (23%) e o cálcio

(18%) são os elementos menos exportados pela mandioca. A incorporação dos restos culturais

da mandioca recicla a maior parte dos nutrientes extraídos do agroecossistema durante o ciclo de cultivo. Ou seja, a permanência da parte aérea da mandioca no agroecossistema recicla a este parte significativa do cálcio extraído (82%), do enxofre (77%), do nitrogênio e do fósforo (70,25%), boa parte do magnésio (68,5%) e boa parte do potássio (56,5%).

No que se refere à exportação dos nutrientes por ocasião da colheita da cana-de-açúcar, observou-se que grande parte do magnésio é exportada pelos colmos (68,5% do Mg extraído), seguindo-se do enxofre (61,5%), o nitrogênio (59%), o fósforo (56,5%), o cálcio (54%) e o potássio (44%).

Desse modo, no que se refere à devolução dos nutrientes ao solo, observou-se que através da decomposição da palha e das pontas podem ser devolvidos boa parte do potássio (56%), seguindo-se do cálcio (46%), o fósforo (43%), nitrogênio (41%), enxofre (38,%) e o magnésio (31,5%). Esses valores, entretanto, são proporcionalmente menores do que aqueles devolvidos pela cultura da mandioca.

No que se refere à exportação dos nutrientes pela colheita do milho, observou-se que o fósforo é quase todo exportado para os grãos (72 % do P extraído), seguindo-se o nitrogênio (64 %), o enxofre (38 %), o magnésio (33 %), o potássio (22 %) e o cálcio (10 %). Isso implica que a incorporação dos restos culturais do milho devolve ao solo somente uma pequena parte do fósforo e do nitrogênio. No entanto, devolve boa parte do cálcio (90%), potássio (78%), magnésio (67%) e enxofre (62%), contidos na palhada. De modo geral, conforme visto na Figura 1,

a cultura do milho exporta, através dos grãos, 43% dos nutrientes extraídos do agroecossistema e devolve a este 57%. A cana-de-açúcar exporta, através dos colmos, 54% dos nutrientes extraídos do agroecossistema de cultivo e a mandioca exporta, através das raízes, apenas 32% dos nutrientes extraídos.

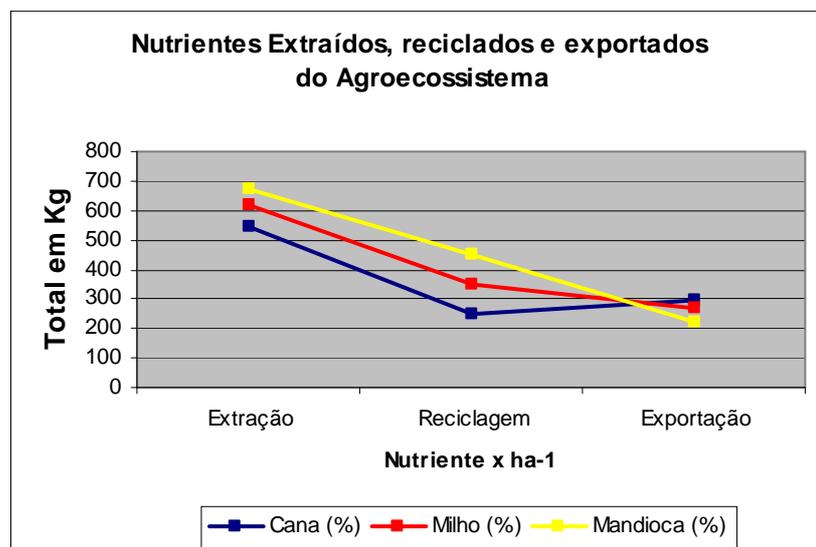


Figura 2. Demonstrativo dos macronutrientes extraídos, reciclados e exportados pelas culturas da cana-de-açúcar, milho e mandioca

CONCLUSÕES

De posse dos resultados obtidos conclui-se que a produção sustentável de energia a partir de biomassas não está devidamente caracterizada. As culturas do milho, da mandioca e da cana-de-açúcar apresentam características diferentes quanto ao desempenho na produção de etanol e na manutenção da sustentabilidade do agroecossistema onde são cultivadas (Figura 2). Entre os cultivos examinados, a mandioca é o cultivo que menos exporta nutrientes (32% do total extraído), seguida do milho e da cana-de-açúcar que exportam 43% e 54% dos nutrientes extraídos, respectivamente (Figura 1).

O balanço entre a energia contida nos macronutrientes exportados e no etanol produzido mostra que a mandioca exporta 6.131,16 MJ ha⁻¹ de energia para cada 184.704,9 MJ ha⁻¹ produzidos na forma de etanol. Ou seja, 3,3% da energia contida no álcool produzido têm origem nos macronutrientes exportados. A cana-de-açúcar, para produzir a mesma equivalência energética em etanol (184.704,9 MJ ha⁻¹) exporta do agroecossistema 8.430,04 MJ ha⁻¹, ou seja, exporta 4,6% da energia que está contida no etanol produzido. Com a cultura do milho a relação se distancia ainda mais, ou seja, para cada 11.923,73 MJ ha⁻¹ de energia exportada pelos grãos, 67.800,3 MJ ha⁻¹ são produzidas na forma de etanol. Isso significa que 17,6% do total da energia produzida pelo milho têm origem nos macronutrientes exportados do agroecossistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- LOPES, A.S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Piracicaba: POTAFOS, 1998. 117p.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980, 251p.
- ORLANDO, F. J. Calagem e adubação da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G. M. S.; OLIVEIRA, E. A. M. (Eds.). **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ/USP, 1993. p.133-146.
- QUESADA, G. M., BEBER, J. A. C., SOUZA, S. P. de. Balanços energéticos: uma proposta metodológica para o Rio Grande do Sul. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.39, n.1, p.20-8, 1987.
- RISOUD, B. Développement durable et analyse énergétique d'exploitations agricoles. **Économie Rurale**, n.252, p.16-27. 1999.
- TANAKA, R. T.; LOPES, A. S.; PONTE, A. M. da. Calagem e adubação da mandioca. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, n.59/60, p. 54-62, 1979.
- CAMPOS, A. T. **Balanço energético relativo à produção de feno de "coast-cross" e alfafa em sistema intensivo de produção de leite**. 2001. 267p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP). Botucatu, 2001
- MERCIER, J. R. **Energie et agriculture, le choix ecologique**. Paris: Debard, 1978. 187p.
- SHAPOURI, H.; DUFFIELD, J. A.; WANG, M. **The Energy Balance of Corn Ethanol: an update**. U.S. Department of Agriculture - Office of Energy Policy and New Uses, Washington. 2002. 19p.