

# Análise do consumo de energia na produção de silagem de milho em plantio direto

Agostinho Zanini<sup>1</sup>, Alessandro Torres Campos<sup>2\*</sup>, Tânia Maria Vicentini Prestes<sup>1</sup>, Maria Fátima da Silva Dalmolin<sup>1</sup>, Aloísio Torres de Campos<sup>3</sup> e Elcio Silvério Klosowski<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Tecnologia Ambiental, Cefet-PR, Medianeira, Paraná, Brasil. <sup>2</sup>Grupo de Pesquisas em Ambiente do Oeste do Paraná (GPEA)/Centro de Ciências Agrárias/Unioeste, Rua Pernambuco, 1777, 85960-000, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil. <sup>3</sup>Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil. \*Autor para correspondência. e-mail: atcampos@unioeste.br

**RESUMO.** O agroecossistema, como um meio de converter a energia solar em produtos, necessita de várias fontes de energia, dentre as quais destacam-se a dos fertilizantes, a dos defensivos agrícolas e outras. No presente trabalho, realizou-se um estudo do consumo energético envolvido na produção de milho para silagem em sistema de plantio direto, na região de São Miguel do Iguaçu, Estado do Paraná. No consumo de energia direta, os combustíveis e lubrificantes foram os maiores consumidores, representando 45,90% do total, os defensivos agrícolas foram responsáveis pelo consumo de 24,12%, enquanto que os fertilizantes, por 10,53%. Ao computar os componentes de origem fóssil, os combustíveis, os lubrificantes, os defensivos e os fertilizantes, a participação do consumo total de energia foi de 84,07%.

**Palavras-chave:** agroecossistemas, energia na agricultura, fluxos de energia, infra-estrutura.

**ABSTRACT. Energy consumption analysis of corn silage production in non-tillage crop system.** The agricultural ecosystem as a way of converting solar energy in products needs several energy sources, among those sources stood out fertilizers, agricultural defensives and others. These inputs are derived from fossils. In the present paper, the energy consumption involved in corn silage production in a non-tillage crop system, in São Miguel do Iguaçu, State of Paraná, Brazil, was studied. In the direct energy input, fuels and lubricants were the largest consumers, representing 45.90% of the total, agricultural defensives were responsible for the consumption of 24.12% of the total, while fertilizers for 10.53% of the total consumption. By computing the fossil origin components, fuels, lubricants, defensive and fertilizers, the participation of the total consumption of energy was of 84.07%.

**Key words:** agricultural ecosystems, energy in agriculture, energy inputs, agricultural structures.

## Introdução

A silagem de milho é uma excelente fonte de energia para a alimentação do gado de leite. É considerada, entretanto, como alimento não-completo, por possuir baixo teor de proteína. Ela promove ganho de peso e aumento da produtividade de leite. A produção desse volumoso envolve tecnologia e alto consumo de energia fóssil. Esse fato deve ser levado em consideração em termos de análises energéticas do agroecossistema.

O alto custo da produção é decorrente, principalmente, do uso dos combustíveis derivados do petróleo nos sistemas de produção de alimentos (Ulbanere e Ferreira, 1989). Os sistemas de produção agrícola precisam ser energeticamente sustentáveis, uma vez que são sistemas abertos e a quantidade de energia que entra no sistema deve ser, preferencialmente, igual ou menor à que sai (Machado Filho *et al.*, 2001).

No processo de avaliação da produção de leite, deve-se considerar a energia envolvida na criação dos animais, com a utilização de pastagens, de ensilagens e de fenos, os quais demandam elevadas quantidades de energia para sua produção (Campos, 2001).

Nesse contexto, entende-se a produção leiteira como um sistema energético com “*output / input*” (entrada e saída de energia). A análise energética é importante, porque possibilita estimar a energia investida, compreender os fluxos de energia, identificar os pontos de desperdícios energéticos e os componentes que podem ser substituídos por outros de maior eficiência (Comitre, 1993).

A maioria dos autores que trabalham com balanço energético de sistemas agrícolas classificam a energia consumida no processo produtivo sob duas formas: direta e indireta (Doering III *et al.*, 1977; Castanho Filho e Chabaribery, 1983; Comitre, 1993; Campos, 2001).

A energia direta utilizada em um processo produtivo não inclui somente o combustível fóssil utilizado, mas também outras formas de energia derivadas do petróleo, tais como aquelas contidas nos lubrificantes, nos adubos e nos defensivos agrícolas. Porém, um estudo completo da energia investida deve levar em consideração, também, as energias de origem biológica, como os trabalhos humano e animal e aquela contida nas sementes e mudas. A energia indireta utilizada na agricultura é aquela empregada na fabricação de maquinários, de construções e de instalações, de sistema de irrigação e de outros *inputs* necessários à produção (Campos, 2001).

Verificam-se, na literatura, poucos trabalhos de análise energética com enfoque na produção de milho especificamente para silagem para gado de leite, sendo a maioria relacionada à produção de grãos. Phipps *et al.* (1976), entretanto, examinaram o balanço de energia na produção de milho para silagem, comparando à produção intensiva de gramíneas em pastagem. Em um sistema intensivo de produção de leite da Embrapa, Campos *et al.* (1998) estimaram o balanço energético na produção de silagem de milho com irrigação.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo analisar os fluxos de energia envolvidos na produção de silagem de milho, em uma propriedade na região de São Miguel do Iguaçu, Estado do Paraná.

## Material e métodos

O presente trabalho foi realizado a partir de dados obtidos *in loco* e de registros da Gestão da Produção Leiteira (GPL) - Emater PR, durante a safra de 1999/2000, para uma propriedade situada no município de São Miguel do Iguaçu, Estado do Paraná, que utiliza o sistema de plantio direto. A área total da propriedade é de 44,28ha, dos quais 2,42ha são destinados à produção de silagem para produção leiteira. O itinerário constitui-se basicamente da aplicação de herbicida não-seletivo, com posterior semeadura direta sobre a palha. A colheita e a ensilagem foram mecanizadas.

Classificou-se a energia consumida no processo produtivo em direta e indireta. A energia direta foi subdividida em: biológica, na qual se considera a energia humana (nos trabalhos), a energia animal, os resíduos de animais, as sementes e os alimentos para animais; e fóssil, que corresponde aos produtos e subprodutos do petróleo, como adubos químicos e defensivos. A energia indireta foi considerada aquela contida nas máquinas e nas construções, a partir do material necessário à fabricação/ construção, sendo ponderada a partir da depreciação, durante a vida útil desses equipamentos e instalações (Castanho Filho e Chabariberi, 1983).

## Método de conversão energética

A conversão energética dos fatores envolvidos na produção de silagem foi respaldada na literatura (Pimentel *et al.*, 1973; Doering III *et al.*, 1977; Castanho Filho e Chabariberi, 1983; Macedônio e Picchioni, 1985; Ulbanere, 1988; Comitre, 1993; Campos *et al.*, 1998; Campos, 2001), adequando cada fator às características da situação estudada. A quantificação energética dos insumos foi obtida por meio da multiplicação do produto físico, pelos respectivos índices de conversão, computados em Joule. Os fluxos de energia considerados neste trabalho foram aqueles sugeridos por Castanho Filho e Chabariberi (1983) como energia direta e indireta.

## Energia direta

*Trabalho humano:* energia empregada na produção da silagem, foi considerado o consumo médio de 2.196,60J h<sup>-1</sup> (Campos *et al.*, 1998). *Combustíveis e lubrificantes:* optou-se pelos coeficientes energéticos sugeridos por Comitre (1993); para o óleo diesel: 38.534,64MJ l<sup>-1</sup>, lubrificantes 35.940,56MJ l<sup>-1</sup> e graxa 39.036,72MJ kg<sup>-1</sup>. Para quantificar a energia fóssil utilizada em cada atividade agrícola, multiplicou-se os valores em litro ou em quilograma de combustíveis, de graxa e de lubrificante, utilizados pelos seus respectivos coeficientes energéticos. Obteve-se no final o total da energia fóssil consumida. *Fertilizantes e defensivos agrícolas:* adubos químicos e agrotóxicos foram considerados como energia fóssil. *Fertilizantes:* as quantidades de nutrientes aplicados (NPK) por hectare foram, respectivamente: 8,26kg, 20,66kg e 20,66kg. Os valores adotados para os elementos são aqueles informados por Macedônio e Picchioni (1985): N = 63.793,45kJ kg<sup>-1</sup>; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 13.974,56kJ kg<sup>-1</sup>; K<sub>2</sub>O = 9.790,56kJ kg<sup>-1</sup>. *Herbicidas e inseticidas:* no estabelecimento da cultura, foi aplicado herbicida Glifosato, na dose de 3,3l ha<sup>-1</sup>. No pós-plantio foi aplicado Atrazinax, na dose de 6,0l ha<sup>-1</sup>. Os coeficientes energéticos utilizados foram os informados por Macedônio e Picchioni (1985): Glifosato = 631.825,84kJ kg<sup>-1</sup>; Atrazine = 368.819,60kJ kg<sup>-1</sup>. Foi aplicado inseticida Lorsbam 480, na proporção de 1,5L ha<sup>-1</sup>, cujo coeficiente energético é de 363.631,44kJ kg<sup>-1</sup>. *Sementes:* foi utilizado o milho Cargil 909, na quantidade de 41,32kg ha<sup>-1</sup>. O valor energético foi baseado em Campos *et al.*, (1998) o qual atribuiu à semente, para a produção de silagem de milho, o valor energético correspondente à energia fóssil aplicada em sua produção, seu processamento e seu transporte de 15.438,96kJ kg<sup>-1</sup>.

## Energia indireta

Foi utilizado o método desenvolvido por Doering III *et al.* (1977), empregado por diversos autores (Serra *et al.* 1979; Ulbanere, 1988; Comitre, 1993).

Quantificou-se a energia indireta, segundo a vida útil, o peso e os seus coeficientes energéticos respaldados em Macedônio e Picchioni (1985): trator (que é autopropelido) =  $69.830\text{kJ kg}^{-1}$ ; para outros equipamentos (não auto-propelidos), o valor de  $57.200\text{kJ kg}^{-1}$ . Terra: o valor energético foi baseado no comportamento histórico da energia requerida para produzir US\$ 1,00 no Brasil, sendo de  $41.840,00\text{kJ/US\$}$ , citado por Serra *et al.* (1979). Para o silo de alvenaria foi utilizado o coeficiente energético de  $35.333,88\text{kJ m}^{-2}$ , informado por Beber (1989), sendo que a área do silo corresponde à  $126\text{m}^2$ , considerando-se uma vida útil de 50 anos.

## Resultados e discussão

Os dados de consumo de energia para as diversas categorias podem ser visualizados na Tabela 1.

Os combustíveis e lubrificantes foram os maiores consumidores de energia, com  $4.431.603,10\text{kJ ha}^{-1}$ , representando 47,74% do consumo total. Quesada *et al.* (1987) obtiveram resultados próximos a esses, de 47,60%, na energia advinda de óleo diesel para a cultura de milho (para grãos) em estudo desenvolvido no Estado do Rio Grande do Sul. Na seqüência, se apresentam os defensivos ( $2.334.936,30\text{kJ ha}^{-1}$ ) com a participação de 25,15% e os fertilizantes ( $1.017.921,20\text{kJ ha}^{-1}$ ), com 10,96%. Dentre os combustíveis fósseis, o óleo diesel foi o responsável pelo consumo de  $4.347.478\text{kJ ha}^{-1}$ , representando 46,84% do total da energia consumida. Observa-se que, nas categorias combustíveis e lubrificantes, o óleo diesel consumiu 98,11% da energia. Ulbanere *et al.* (1989), em estudo de balanço energético para a produção de milho para grãos, no estado de São Paulo, verificaram que o óleo diesel contribuiu com 98,07% do total da energia consumida. Esses dados são de relevância na conjuntura atual, pois os derivados do petróleo são recursos não-renováveis e de alto custo. Entre os defensivos, os herbicidas propiciaram o consumo de energia de  $2.073.121,70\text{kJ ha}^{-1}$ , representando 22,33% do total da energia que entrou no sistema. Ressalte-se que os herbicidas tiveram participação de 88,79%. No grupo dos fertilizantes, o nitrogênio participou com  $526.933,89\text{kJ ha}^{-1}$ , com 5,68% do total da energia consumida, e dentro do grupo com 51,82%. Pimentel *et al.* (1973) consideraram o nitrogênio como o que requer maior quantidade de energia para ser produzido. Os componentes de origem fóssil, óleo diesel, herbicidas e nitrogênio tiveram o consumo energético de  $6.947.533,59\text{kJ ha}^{-1}$ , correspondendo a 74,85% do total da energia que entrou no sistema. A contribuição energética dos recursos fósseis foi a mais intensa com consumo de  $7.784.460,6\text{kJ ha}^{-1}$ , totalizando 83,85% da energia consumida para a produção de silagem por hectare.

**Tabela 1.** Consumo de energia (Joule/hectare) para a produção de silagem de milho em uma safra

Fonte de consumo (inputs)	Consumo de energia em kJ	Consumo de energia (%)
<b>Energia indireta</b>		
Máquinas e equipamentos		
Trator	497.770	5,37
Carreta	6.130	0,07
Ensiladora	24.480	0,26
Pulverizador	69.670	0,75
Semeadora	22.700	0,24
Subtotal	620.750	6,69
Silo	89.041,38	0,95
Terra	89.119,20	0,96
<b>TOTAL energia indireta</b>	<b>798.910,58</b>	<b>8,60</b>
<b>Energia direta</b>		
Trabalho humano	62.119,85	0,67
Sementes	637.937,82	6,88
Combustíveis e lubrificantes		
Óleo diesel	4.347.478,00	46,84
Lubrificante	74.756,36	0,80
Graxa	9.368,81	0,10
Subtotal	4.431.603,10	47,74
Fertilizantes		
Nitrogênio	526.933,89	5,68
P2 O5	288.714,40	3,10
K2O	202.272,96	2,18
Subtotal	1.017.921,20	10,96
Defensivos		
Herbicidas	2.073.121,70	22,33
Inseticidas	261.814,63	2,82
Subtotal	2.334.936,30	25,15
Total Energia direta	8.484.518,82	91,40
<b>Total</b>	<b>9.283.429,30</b>	<b>100,0</b>

Os componentes biológicos, mão-de-obra e sementes, participaram apenas com 3,52% do total da energia investida, sendo que a semente contribuiu com  $700.057,67\text{kJ ha}^{-1}$ , representando 7,55%. O consumo da energia humana foi modesto no resultado do balanço energético, devido ao alto grau da mecanização do sistema. O consumo da energia indireta foi baixa em relação ao total de energia consumida no sistema, cujo valor foi de 8,60%. Já a energia direta foi responsável por 91,40% do total da energia consumida. Campos *et al.* (1998) desenvolveram estudo, a partir de 14 anos de coleta de dados na produção de silagem de milho em Sistema Intensivo de Produção de Leite, em cultivos de verão e inverno, utilizando processos de irrigação por aspersão e fertirrigação. Depreenderam que a participação da energia indireta injetada no sistema foi de 21,2%, enquanto que a energia direta foi de 78,8%. No fluxo de energia direta, os fertilizantes químicos e biológicos foram os maiores consumidores de energia, representando 49,9% do consumo total, e os fertilizantes de origem fóssil consumiram 28,4%. O nitrogênio, isoladamente, teve a maior participação no consumo de energia, representando 23,4% sobre o total e 84,1% no grupo dos fertilizantes fósseis.

A produtividade média da silagem de milho da propriedade estudada foi de  $10,6\text{ t MS. ha}^{-1}\text{.ano}^{-1}$ . O retorno energético (energia convertida) na produção da silagem de milho foi de  $9.283.429,30\text{kJ ha}^{-1}$  ou  $9.283,43\text{ MJ}$  (tabela 1), enquanto a energia consumida pelo sistema para a produção de um

hectare foi de 206.716,57 MJ. Dessa forma, a eficiência energética, ou seja, a relação *output/input*, foi de 23,3. Esse valor, quando comparado com a literatura, é considerado elevado. Campos *et al.* (1998) obtiveram eficiência energética, na produção de silagem de milho, de 6,8. No Reino Unido, Phipps *et al.* (1976), ao trabalharem com dados de 3 anos na produção de milho para silagem, obtiveram eficiência energética de 4,8. Para o presente trabalho, justificase o alto valor de rendimento energético obtido, devido ao sistema de cultivo em plantio direto, no qual as reduzidas operações mecanizadas contribuíram para uma economia no consumo de energia fóssil. Destaca-se, também, o menor consumo de nitrogênio.

A crise energética impõe a necessidade de conter os consumos dos combustíveis fósseis e dos seus derivados. A exigência tornou-se urgente, também, no setor agrícola, para o qual se deve prever que os aumentos de produtividade não poderão mais ser sustentados por ilimitadas disponibilidades da energia de baixo custo (Costantini, 1982).

Sugere-se como alternativas para a diminuição do consumo energético na cultura do milho: substituição de fertilizantes químicos por adubos orgânicos de origem animal; redução do emprego de fertilizantes nitrogenados, por meio do plantio de leguminosas; melhoramento de cultivares, visando à maior resistência às pragas e doenças; e intensificação de mão-de-obra no processo produtivo (Pimentel *et al.*, 1973).

O presente trabalho possibilitou mensurar o consumo energético da produção de milho para silagem em sistema de plantio direto. No grupo da energia direta, o óleo diesel teve maior participação nos custos energéticos para a produção do milho para silagem na propriedade estudada, alcançando 4.347.478 kJ.ha<sup>-1</sup>, correspondendo a 46,84% do total da energia consumida, considerando que entre os combustíveis o óleo diesel consumiu 98,11% da energia. Os fertilizantes químicos representaram dispêndios energéticos de 1.017.921,20 kJ.ha<sup>-1</sup>, participando com 10,96% da energia, e os defensivos consumiram 2.334.936,30 kJ.ha<sup>-1</sup>, representando 25,15%. O consumo de energia direta foi a mais expressiva, totalizando 8.484.518,82 kJ.ha<sup>-1</sup>, representando 91,40%. E a energia indireta foi de 798.910,58 kJ.ha<sup>-1</sup>, representando 8,60% sobre o total.

Apesar de a semente de milho ser a fonte geradora que possibilita a produção, constitui um dos componentes de menor peso no balanço energético, com a significação de 6,88% sobre o total da energia consumida.

## Referências

BEBER, J. A. C. *Eficiência energética e processo de produção em pequenas propriedades rurais*. Agudo, RS. 1989. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Extensão Rural, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1989.

CAMPOS, A. T. *Balanço energético relativo à produção de feno de "coast-cross" e alfafa em sistema intensivo de produção de leite*. 2001. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

CAMPOS, A. T. *et al.* Balanço econômico e energético na produção de silagem de milho em sistema intensivo de produção de leite. *Engenharia Rural*, Piracicaba, v.9, n.1, p.10-20, 1998.

CASTANHO FILHO, E. P.; CHABARIBERY, D. Perfil econômico da agricultura paulista. *Agricultura em São Paulo*, São Paulo, v.30, tomos 1 e 2, p.63-115, 1983.

COMITRE, V. *Avaliação energética e aspectos econômicos da filière soja na região de Ribeirão Preto - SP*. 1993. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

COSTANTINI, E. A. C. Bilancio energetico e bilancio economico delle colture nella pianura padana. *Genio Rurale*, Italia, v.45, p.11-17, 1982.

DOERING III, O. C. *et al.* *Accounting for tillage equipment and other machinery in agricultural energy analysis*. Indiana, West Lafayette: Purdue University, 1977. (Agr. Exp. Sta. NSF/RA - 770128)

MACEDÔNIO, A. C.; PICCHIONI, S. A. Metodologia para o cálculo do consumo de energia fóssil no processo de produção agropecuária, Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura, 1985.

MACHADO FILHO, L. C. *et al.* Produção agroecológica de suínos - uma alternativa sustentável para a pequena propriedade no Brasil. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL VIRTUAL SOBRE QUALIDADE DE CARNE, 2., 2001, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: UFSC, 2001. p.1-18.

PHIPPS, R. H. *et al.* A comparison of the energy output/input relationship for forage maize and grass leys on the dairy farm. *Agricult. Environ.*, Amsterdam, v.3, n.1, p.15-20, 1976.

PIMENTEL, D. *et al.* Food production and energy crises. *Science*, New York, v.182, p.443-449, 1973.

QUESADA, G. M. *et al.* Balanços energéticos: uma proposta metodológica para o Rio grande do Sul. *Cienc. Cult.*, São Paulo, v.39, n.1, p.20-28, 1987.

SERRA, G. *et al.* *Avaliação da energia investida na fase agrícola de algumas culturas*. Brasília: Secretaria de Tecnologia Industrial, 1979.

ULBANERE, R. C. *Análise dos balanços energético e econômico relativa à produção e perda de grãos de milho no Estado de São Paulo*. 1988. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1988.

ULBANERE, R. C.; FERREIRA, W. A. Análise do balanço energético para a produção do milho no Estado de São Paulo. *Energia na Agricultura*, Botucatu, v.4, n.1, p.35-42, 1989.

Received on March 12, 2003.

*Accepted on September 23, 2003.*