



FELIPE GABRIEL LORENZONI MARTINS

**ANÁLISE ENERGÉTICA DA PRODUÇÃO DE
MILHO PARA SILAGEM E GRÃOS
CULTIVADO EM DIFERENTES
ESPAÇAMENTOS**

LAVRAS – MG

2014

FELIPE GABRIEL LORENZONI MARTINS

**ANÁLISE ENERGÉTICA DA PRODUÇÃO DE MILHO PARA
SILAGEM E GRÃOS CULTIVADO EM DIFERENTES
ESPAÇAMENTOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Máquinas e Mecanização Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador
Dr. Jackson Antônio Barbosa

**LAVRAS – MG
2014**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Martins, Felipe Gabriel Lorenzoni.

Análise energética da produção de milho para silagem e grãos
cultivado em diferentes espaçamentos / Felipe Gabriel Lorenzoni
Martins. – Lavras : UFLA, 2014.

49 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador: Jackson Antônio Barbosa.

Bibliografia.

1. Balanço energético. 2. Milho. 3. *Zea Mays*. 4. Milho - Cultivo.
I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 633.158

FELIPE GABRIEL LORENZONI MARTINS

**ANÁLISE ENERGÉTICA DA PRODUÇÃO DE MILHO PARA
SILAGEM E GRÃOS CULTIVADO EM DIFERENTES
ESPAÇAMENTOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Máquinas e Mecanização Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 15 de agosto de 2014.

Dr. Alessandro Vieira Veloso UFLA

Dr. Flávio Castro da Silva UFF

Dr. Jackson Antônio Barbosa
Orientador

LAVRAS – MG

2014

*A minha mãe Iara, ao Olavo, a minha avó Ida,
ao meu avô Anilto Lorenzoni (in memoriam), aos
meus irmãos João e Mateus.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, por todas as maravilhas que tem feito em minha vida.

À minha mãe Iara e ao meu padrasto Olavo por terem me dado amor, educação, atenção e todas as condições necessárias à minha formação, sacrificando, muitas vezes, seus sonhos para que os meus se tornassem realidade.

Ao meu amigo, Raphael Comanducci, pela preciosa ajuda em todas as etapas de condução do experimento.

À minha amiga Hélen, que sempre acreditou e torceu por mim. Se não fosse por sua valiosa ajuda e incentivo, esse trabalho não teria se concretizado.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Engenharia (DEG), pela formação acadêmica.

Aos professores do Departamento de Engenharia da UFLA, pelos ensinamentos transmitidos e harmoniosa convivência.

Aos professores Alessandro Vieira Veloso e Flávio Castro da Silva pela participação na banca examinadora e preciosas contribuições.

Ao professor, Dr. Jackson Antônio Barbosa, pela orientação, paciência, amizade, dedicação e ensinamentos que foram fundamentais na realização deste trabalho e contribuíram muito para o meu crescimento profissional.

RESUMO

Tendo em vista a crescente demanda por alimentos e uma agricultura cada vez mais desenvolvida, é importante avaliar os impactos causados pelos agroecossistemas no que se refere à sustentabilidade. Nesse contexto, o balanço energético constitui uma importante ferramenta para essa avaliação, pois permite contabilizar os “*inputs*” e “*outputs*” referentes ao sistema produtivo na forma de energia e determinar a eficiência de cada um. O presente trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar os fluxos de energia do processo de produção do milho para silagem e grãos, cultivado em três espaçamentos, 0,90 m, 0,75 m e 0,60 m. A análise foi feita, por meio do acompanhamento da cultura, em um período de 204 dias (de 12/11/2013 a 6/6/2014), sendo cada componente envolvido (direta e indiretamente), quantificado e multiplicado por seus respectivos coeficientes energéticos. Em todos os espaçamentos houve a predominância da energia direta sobre a energia indireta. Para a produção de silagem, as eficiências para os espaçamentos 0,90 m, 0,75 m e 0,60 m foram, respectivamente 9,50%, 9,30% e 9,69%. Para a produção de grãos, as eficiências para os espaçamentos 0,90 m, 0,75 m e 0,60 m foram, respectivamente, 11,11%, 10,21% e 10,86%.

Palavras-chave: Balanço Energético. Milho (*Zea Mays*). Cultivo.

ABSTRACT

Considering the increasing demand for food and an agriculture ever more developed, it is important to evaluate the impacts caused by agroecosystems concerning sustainability. In this context, the energetic balance constitutes an important tool for this evaluation, since it allows us to account for the inputs and outputs referent to the productive system in the form of energy and to determine the efficiency of each one. The present work was conducted with the objective of evaluating the energy flows of the production process of maize for silage and grain, cultivated in three spacings, 0.90 m, 0.75 m and 0.60 m. The analysis was performed by means of accompanying the culture, for a period of 204 days (from 11/12/2013 to 06/06/2014), with each component involved (direct and indirectly) being quantified and multiplied by their respective energetic coefficients. In all spacings, there was the predominance of direct energy over the indirect energy. For the production of silage, the efficiencies for the spacings of 0.90 m, 0.75 m and 0.60 m were, respectively, 9.50%, 9.30% and 3.69%. For the production of grain, the efficiencies for the spacings of 0.90 m, 0.75 m and 0.60 m were, respectively, 11.11%, 10.21% and 10.86%.

Keywords: Energetic balance. Maize (*Zea mays*). Cultivation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	CDTT-UFLA, suas fronteiras e área experimental.....	19
Figura 2	Área Experimental	20
Figura 3	Trator Valtra A950.....	21
Figura 4	Medidor de consumo de combustível volumétrico	22
Figura 5	Pulverizador Jacto CONDOR 600 M12.....	23
Figura 6	Roçadora Piccin RP1700	23
Figura 7	Semeadora adubadora Jumil Exacta 2680PD	24
Figura 8	Adubador Piccin ACPD adaptado	25
Figura 9	Colhedora de forragens Nogueira Pecu 9004 III e carreta agrícola Luma 5000	26
Figura 10	Colhedora de grãos Penha CLM 350	26
Figura 11	Fluxos de energia em um sistema de produção de milho	29
Figura 12	Participação das rubricas energéticas na energia direta para a produção de grãos	38
Figura 13	Participação das rubricas na energia indireta para a produção de grãos	38
Figura 14	Participação das rubricas energéticas na energia direta para a produção de silagem	39
Figura 15	Participação das rubricas na energia indireta para a produção de silagem	39
Figura 16	Energia convertida em cada espaçamento estudado para a produção de grãos e silagem	41
Figura 17	Eficiência energética de cada espaçamento estudado para a produção de grãos e silagem	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Componentes das entradas energéticas referentes ao sistema de produção de milho e seus respectivos coeficientes energéticos.....	30
Tabela 2	Vida útil e massa dos equipamentos utilizados - CDTT-UFLA - 2013-2014.....	32
Tabela 3	Capacidades operacionais teóricas e efetivas, Eficiência operacional e Consumos de combustível de cada operação – CDTT-UFLA – 2013-2014.....	33
Tabela 4	Entradas energéticas (MJ ha^{-1}) em cada espaçamento estudado para a produção de grãos – CDTT-UFLA - 2013-2014.....	36
Tabela 5	Entradas energéticas (MJ ha^{-1}) em cada espaçamento estudado para a produção de silagem – CDTT-UFLA - 2013-2014.....	37
Tabela 6	Energia convertida (MJ ha^{-1}) em cada espaçamento estudado para a produção de grãos – CDTT-UFLA - 2013-2014.....	40
Tabela 7	Energia convertida (MJ ha^{-1}) em cada espaçamento estudado para a produção de silagem – CDTT-UFLA - 2013-2014.....	41
Tabela 8	Eficiência energética de cada espaçamento estudado para a produção de grãos e silagem – CDTT-UFLA - 2013-2014.....	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	Análise energética	12
2.2	Milho	14
2.3	Máquinas e equipamentos	15
2.3.1	Trator	16
2.3.2	Semeadora-adubadora	16
2.4	Interação entre cultivo em diferentes espaçamentos e balanço energético	17
3	MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1	Área experimental	19
3.2	Máquinas e equipamentos	20
3.3	Implantação, condução e colheita da cultura	27
3.4	Balanço energético	28
4	RESULTADOS E DISCUSÃO	32
5	CONCLUSÃO	44
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos estimulou o desenvolvimento de novas técnicas de cultivos e avanços na genética de plantas. No entanto, surgiu como impacto negativo, a sobrecarga dos sistemas agrícolas com o uso intensivo de máquinas, defensivos e fertilizantes. Na busca pela sustentabilidade, é preciso conhecer os sistemas mais eficientes na conversão de energia, ou seja, aqueles que produzem mais, gastando menos, resultando em menor impacto ambiental para que a produção continue ao longo dos anos (SANTOS; SIMON, 2010).

O milho é um importante cereal, utilizado na alimentação humana e animal, que teve seu processo produtivo modificado ao longo dos anos. Novos híbridos surgiram, novas densidades populacionais e arranjos de plantas foram propostos a fim de aumentar a produtividade. Atualmente o milho é cultivado em espaçamentos reduzidos e altas densidades populacionais (KAPPES et al., 2011).

Cada vez mais, máquinas maiores e mais potentes estão sendo utilizadas e o nível de mecanização incrementado. Com isso, o uso de combustíveis fósseis e outros insumos se tornam pontos consideráveis no gasto de energia introduzida no sistema para produção (JASPER et al., 2010). Dessa forma, faz-se necessário o conhecimento da análise energética, para diversos espaçamentos de cultivo, avaliando se o incremento na produtividade, já constatado por Demétrio et al. (2008) e Kappes et al. (2011), é satisfatório, quando comparado ao gasto de energia para produzi-la, ou se a diminuição do espaçamento tornou o sistema menos eficiente ao longo dos anos.

O presente trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar os fluxos de energia do processo de produção do milho para silagem e grãos, cultivado em três espaçamentos, 0,90 m, 0,75 m e 0,60 m, durante a condução da cultura no ano agrícola 2013/2014.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Análise energética

A crescente demanda mundial por alimentos tornou a busca por maiores produtividades e o incremento de tecnologias uma necessidade. No entanto, esse crescimento causou grande incremento na utilização de combustíveis fósseis, defensivos agrícolas e fertilizantes derivados do petróleo, com consequente aumento no impacto ambiental. Em resposta, novas práticas surgiram com o intuito de tornar os sistemas agrícolas mais sustentáveis e eficientes. Nesse contexto, a análise energética tem-se tornado uma importante ferramenta de diagnóstico dos fluxos ou gastos de energia na produção, sendo importante para mensurar a sustentabilidade em sistemas agrícolas (BIAGGIONI; BOVOLENTA, 2010; VELOSO et al., 2012).

Assim, a importância da análise energética, também conhecida como balanço energético, nos sistemas agrícolas, vem sendo demonstrada por diversos pesquisadores (ANGONESE et al., 2006; BIAGGIONI; BOVOLENTA, 2010; CAMPOS et al., 2003, 2004, 2005, 2009; FRIGO et al., 2011; JASPER et al., 2010; MELO et al., 2007; SANTOS; LUCAS JÚNIOR, 2004; SOUZA et al., 2009; VELOSO et al., 2012) e se baseia no princípio físico de conservação de energia, também conhecido como primeiro princípio da termodinâmica, ou seja, a variação de energia em um processo pode ser explicada pelo balanço de energia, isto é, entradas e saídas de energia (ANGONESE et al., 2006; VELOSO et al., 2012).

A análise energética visa estabelecer os fluxos de energia, identificando sua demanda total, a eficiência energética refletida pelo ganho líquido de energia e pela relação saída/entrada (energia convertida/energia consumida) e a energia necessária para produzir ou processar um quilograma de determinado produto.

Nesse processo, quantificam-se todos os insumos utilizados e convertidos, que são transformados em unidades de energia (CAMPOS et al., 2005). Esse procedimento possibilita a determinação dos processos, materiais e equipamentos de maior consumo energético, indicando opções de economia (CAMPOS et al., 2003).

Considerando o consumo de energia pelas atividades agropecuárias, visando à análise energética, Campos e Campos (2004) classificaram as entradas de energia em:

- a) “Biológica”, “Fóssil” e “Industrial”. Na primeira, consideraram-se as energias humana e animal, resíduos de animais e da agroindústria, sementes e mudas, alimentos para animais, adubação verde e cobertura morta; na segunda, os produtos e subprodutos do petróleo, tidos como fontes de energia primária, incluindo adubos químicos e agrotóxicos; e na terceira, são incluídas as máquinas e equipamentos agrícolas à tração mecânica e animal e a energia elétrica.
- b) Energia que não é utilizada diretamente pelo processo produtivo, ou seja, aquela utilizada pelo homem para seu bem-estar (iluminação, aparelhos eletrodomésticos, etc.) e nos trabalhos após a colheita (operações de beneficiamento, transporte, dentre outras); energia utilizada em operações agrícolas que tornam possível o processo produtivo ou que o torna mais eficiente, mas não fazem parte do produto final, como a fornecida pela mão de obra, pelos animais de trabalho e pelas máquinas em operações de aração, gradagem, semeadura, adubação, aplicação de agrotóxicos, podas, capinas e colheita; energia convertida em produto final, gasta na manutenção e no crescimento de animais e plantas ou que será armazenada na forma de alimento ou de material combustível, incluindo-se a

energia solar utilizada na fotossíntese, e a contida nos nutrientes do solo e nos fertilizantes (ou nos alimentos, no caso de animais).

c) Divisão da energia nas categorias direta e indireta.

Desse modo, conforme destacaram Campos e Campos (2004), a forma de classificação da energia mais usual tem sido a sua divisão em energia direta e energia indireta, conforme foi observado nos trabalhos de Angonese et al. (2006), Biaggioni e Bovolenta (2010), Campos et al. (2004, 2005, 2009), Frigo et al. (2011), Jasper et al. (2010), Melo et al. (2007), Santos e Lucas Júnior (2004), Souza et al. (2009) e Veloso et al. (2012), entre vários outros.

2.2 Milho

O milho (*Zea mays L.*) é muito utilizado para produção de forragem e grãos em todo o mundo, em razão de seu grande potencial produtivo e adaptabilidade aos mais diferentes ambientes (ALVAREZ; PINHO; BORGES, 2006). No Brasil, a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2014) estima que a produção de grãos alcance 78,5 milhões de toneladas, na safra 2013/2014, representando uma queda em relação à safra 2012/2013 onde foram produzidas 81,5 milhões de toneladas.

Atualmente, o cereal tem sido cultivado em diversos arranjos e densidades populacionais. Segundo Marchão et al. (2005), a melhoria da interceptação da radiação solar por meio da adoção de um adequado arranjo de plantas constitui-se numa das práticas de manejo mais importantes para potencializar o rendimento de grãos. Diante disso, diversos trabalhos têm sido realizados com o objetivo de determinar a densidade e o arranjo ótimo.

Segundo Demétrio et al. (2008), o melhor arranjo de plantas é no espaçamento de 0,40 m com uma densidade populacional entre 75.000 e 80.000

plantas. Resultados semelhantes foram encontrados por Alvarez, Pinho e Borges (2006), Kappes et al. (2011) e Marchão et al. (2005). Segundo Brachtvogel et al. (2012), o melhor arranjo é aquele que proporciona distribuição uniforme de plantas por área, ou seja, equidistante entre plantas, possibilitando melhor utilização de luz, água e nutrientes.

No que se refere à análise energética, diversos autores estimaram a quantidade de energia necessária para produção de milho. Campos et al. (2004) verificaram um gasto de 9.283,43 MJ.ha⁻¹ na produção de silagem, Riquetti, Benez e Silva (2012) verificaram um gasto médio de 12.050,33 MJ.ha⁻¹ na produção de grãos, Santos e Simon (2010) verificaram um gasto de 9.696,97 MJ.ha⁻¹ na produção de grãos, Almeida, Bueno e Esperancini (2010) verificaram um gasto energético médio de 4.593,33 MJ.ha⁻¹ na produção de grãos. Melo et al. (2007) avaliaram o gasto energético em 2 anos consecutivos na mesma propriedade, na safra 2001/2002 o gasto foi de 11.270,23 MJ.ha⁻¹, na safra 2002/2003 o gasto foi de 13.771,95 MJ.ha⁻¹, ambos no cultivo de milho para grãos.

Lorzadeh et al. (2011) verificaram um gasto de energia maior do que os demais autores, 39.295,50 MJ.ha⁻¹ em cultivo de milho para grãos em Shooshtar-Iran.

2.3 Máquinas e equipamentos

Na análise energética, as máquinas e equipamentos envolvidos no sistema de produção classificam-se como energia indireta, sendo assim, faz-se necessário descrevê-las.

2.3.1 Trator

O trator agrícola é uma das máquinas mais importantes em um sistema produtivo. Em função de sua versatilidade, pode-se trabalhar com diversos equipamentos, desde o preparo do solo, tratos culturais até a colheita. Os tratores são, em sua maioria, propelidos por um motor de combustão interna de ciclo diesel. O consumo de combustível depende dentre outros fatores da potência exigida na tração.

Palma et al. (2010) verificaram um aumento de 13% no consumo horário de combustível para um aumento de 40% na potência exigida na barra de tração variando a profundidade da haste sulcadora de uma semeadora-adubadora. Já Bortolotto, Pinheiro Neto e Bortolotto (2006) verificaram um aumento de 55% no consumo de combustível para um aumento de 55% na potência média exigida na barra variando a velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora-adubadora.

2.3.2 Semeadora-adubadora

Semeadora-Adubadora é uma máquina que realiza a semeadura e adubação, simultaneamente. É dotada de reservatórios de semente e fertilizante e de unidades de semeadura. A potência necessária à tração é diretamente proporcional ao número de unidades de semeadura, sendo maior, quanto mais unidades possuir. Silveira, Gabriel Filho e Secco (2005) verificaram que, no espaçamento de 0,45 m, a exigência de força de tração foi 25,4% maior que no espaçamento de 0,90 m, fato explicado pelo maior número de linhas de semeadura no espaçamento de 0,45 m (6 linhas contra 4 linhas no espaçamento de 0,90 m). Além disso, a força de tração requerida varia de acordo com o tipo de mecanismo de abertura de sulco (a haste sulcadora requer mais força de

tração do que o disco duplo), com a velocidade de deslocamento (maiores velocidades exigem mais potência), com o tipo de solo e com o sistema de cultivo (plantio direto, cultivo mínimo e plantio convencional).

Silveira, Gabriel Filho e Secco (2005) verificaram que a potência média requerida por linha de semeadura foi de 9,6 cv para uma velocidade média de 6,05 km h⁻¹, com sistema de abertura de sulco do tipo haste sulcadora a uma profundidade média de 7,07 cm em um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema de plantio direto.

Seki, Benez e Silva (2012) verificaram que a potência média requerida por linha de semeadura foi de 21 cv para uma velocidade média de 5,4 km h⁻¹, com sistema de abertura de sulco do tipo haste sulcadora a uma profundidade média de 16,78 cm, e de 7,6 cv para uma velocidade média de 5,54 km h⁻¹, com sistema de abertura de sulco do tipo disco duplo a uma profundidade média de 6,15 cm, ambos em um Nitossolo Vermelho distroférico típico A.

2.4 Interação entre cultivo em diferentes espaçamentos e balanço energético

Observa-se que nenhum trabalho foi realizado no sentido de contabilizar a entrada e saída de energia na produção de milho em diferentes espaçamentos. Demétrio et al. (2008) e Kappes et al. (2011) descrevem que, com a evolução dos híbridos e aumento da tecnologia, o milho passou a ser cultivado em espaçamentos reduzidos e com densidades populacionais maiores do que aquelas praticadas tradicionalmente. Essa redução no espaçamento trouxe um acréscimo de produtividade, verificado por esses autores. No entanto, nada se sabe sobre a energia necessária para a implantação comparada com a energia necessária para maiores espaçamentos.

A potência exigida por uma semeadora-adubadora é diretamente proporcional, dentre outros fatores, ao número de unidades de semeadura, ou

apenas linhas. Com a redução do espaçamento, há um acréscimo no número de linhas da semeadora, resultando em maior potência necessária à sua tração e maior gasto de combustível. Segundo Campos et al. (2004), o combustível foi responsável por 47% da energia de entrada, sendo assim, o gasto de energia é fortemente afetado pelo consumo de combustível, ou, neste caso, pelo espaçamento entre linhas.

Até o momento não se verifica se o aumento na produtividade é compensatório quando comparado ao aumento da energia de entrada. Para que o sistema seja considerado sustentável, ele precisa ter a maior produtividade com o menor gasto de energia, também, conhecido como eficiência energética.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área experimental

O experimento foi desenvolvido no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia da Universidade Federal de Lavras (CDTT-UFLA), localizado no município de Ijaci-MG, que apresenta área total de 119,80 ha, coordenadas 21° 10' S e 44° 55' O, e altitude média de 918m. O CDTT-UFLA e suas fronteiras estão na figura 1 com a área experimental em destaque.



Figura 1 CDTT-UFLA, suas fronteiras e área experimental

O solo é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo (LVAd) (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006), de textura argilosa. A precipitação total média anual é de 1.530 mm, temperatura média anual é de 19,4°C e o clima da região é caracterizado como Cwa, segundo a classificação climática de Köppen, com verões úmidos e quentes e invernos secos e frios (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007).

A área experimental de 1,245 ha foi dividida em três parcelas para semeadura em três espaçamentos, 0,60 m, 0,75 m e 0,90 m, distribuídas aleatoriamente. A parcela de 0,60 m com comprimento de 186 m e largura de 14,4 m, totalizando 2.678 m² (0,27 ha), a de 0,75 com comprimento de 178 m e largura de 12 m, totalizando 2.136 m² (0,21 ha) e a de 0,90 m com comprimento de 196 m e largura de 14,4 m, totalizando 2.822 m² (0,28 ha). A área excedente foi utilizada para realização de manobras das máquinas e equipamentos utilizados nos tratos culturais. A área possuía cobertura vegetal residual da safra anterior e algumas plantas invasoras. A figura 2 representa a divisão da área experimental.

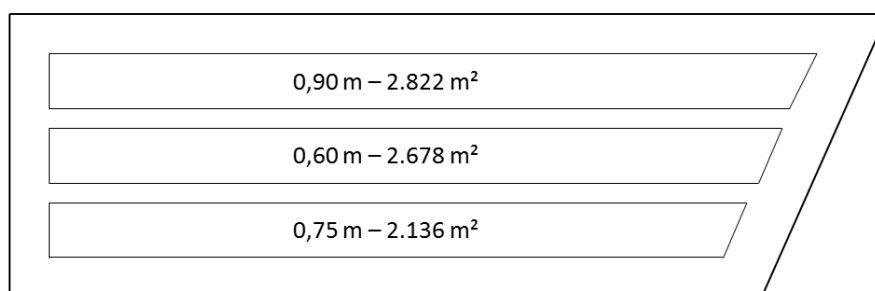


Figura 2 Área Experimental

3.2 Máquinas e equipamentos

Para a realização dos tratos culturais, durante a condução do experimento, foi utilizado um trator agrícola 4x2 TDA (tração dianteira auxiliar), marca Valtra, modelo A950 (figura 3), com potência nominal de 90 cv (66,2 kW) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1996), equipado com pneus traseiros da marca Firestone, modelo Super All Traction 23° com dimensões 18.4-34 e pneus dianteiros da marca Goodyear, modelo Dyna Torque II com dimensões 14.9-24. O trator estava lastrado com

75% de água em todos os rodados, dois lastros sólidos de 833,57 N (85 Kgf) em cada rodado traseiro e seis lastros sólidos de 367,75 N (37,5 Kgf) na parte frontal do chassi totalizando 46.522,75 N (4.744 kgf).



Figura 3 Trator Valtra A950

O consumo de óleo diesel foi contabilizado em cada operação. Para tanto, esse consumo foi mensurado com um medidor volumétrico de coluna graduada com resolução de $1,821 \text{ ml mm}^{-1}$.



Figura 4 Medidor de consumo de combustível volumétrico

A aplicação de agrotóxicos foi realizada com um pulverizador montado da marca Jacto, modelo CONDOR 600 M12 (figura 5), com barra de 10 metros, tanque de 600 litros e massa total, considerando o equipamento vazio, de 2.451,66 N (250 kgf).



Figura 5 Pulverizador Jacto CONDOR 600 M12

A roçada da área foi realizada com uma roçadora montada da marca Piccin, modelo RP1700 (figura 6), com largura de corte de 1,7 m e massa total de 4.118,79 N (420 kgf).



Figura 6 Roçadora Piccin RP1700

A semeadura foi realizada com uma semeadora adubadora pneumática da marca Jumil, modelo JM2680PD (figura 7), equipada com mecanismo de abertura de sulco do tipo haste sulcadora, 6 unidades de semeadura para o espaçamento de 0,60m com massa total de 22.064,96 N (2.250 kgf), e 4 unidades de semeadura para os espaçamentos de 0,75m e 0,90m com massa total de 18.514,96 N (1.888 kgf).



Figura 7 Semeadora adubadora Jumil Exacta 2680PD

A aplicação da adubação em cobertura foi realizada com um adubador de cobertura da marca Piccin, modelo ACPD (figura 8), com chassi de 3,7 m, equipado com 4 depósitos e massa total, considerando o equipamento vazio, de 3.255,81 N (332 kgf). O equipamento foi adaptado para distribuir o adubo sobre o solo.



Figura 8 Adubador Piccin ACPD adaptado

A colheita do milho no estágio de forragem foi realizada com uma colhedora de forragens da marca Nogueira, modelo Pecu 9004, geração III, de uma linha, com massa total de 6.001,67 N (612 kgf). O transporte foi realizado com o auxílio de uma carreta agrícola da marca Luma, modelo 5000, com massa total, considerando a carreta vazia, de 9.080,96 N (926 kgf). O conjunto está representado na figura 9.



Figura 9 Colhedora de forragens Nogueira Pecus 9004 III e carreta agrícola Luma 5000

A colheita do milho no estágio de grão foi realizada com uma colhedora de milho da marca Penha, modelo CLM 350 (figura 10), de uma linha, com massa total de 5.844,76 N (596 kgf).



Figura 10 Colhedora de grãos Penha CLM 350

3.3 Implantação, condução e colheita da cultura

Antes da implantação da cultura, foi realizado um levantamento para quantificar a matéria seca na área, o valor médio obtido foi de 11.988 kg ha⁻¹ de restos culturais.

Foi realizada a aplicação do herbicida Roundup Original[®], com dosagem de 4 L ha⁻¹ e volume de calda de 240 L ha⁻¹, a fim de controlar o crescimento de plantas invasoras. Em seguida, foi realizada a roçada da área com o objetivo de picar e rebaixar a camada de palha.

Para sementeira, utilizou-se a semente de milho híbrido BM 840 PRO da marca Biomatrix, transgênica, de ciclo precoce, dupla aptidão (silagem e grãos), BT (*Bacillus thuringiensis*), resistente às principais lagartas e massa média de 60.000 sementes de 143,47 N (14,63 kgf). A população desejada nos três espaçamentos avaliados (0,60 m, 0,75 m e 0,90 m) foi de 60.000 plantas ha⁻¹.

No entanto, em virtude das condições de regulagem da máquina, as quantidades de sementes por hectare utilizadas acabaram sendo de 66.667 sementes ha⁻¹ para os espaçamentos de 0,60 m e 0,75 m, e 68.889 sementes ha⁻¹ para o espaçamento de 0,90 m.

O fertilizante químico utilizado na sementeira foi o NPK 8-28-16. A dose desejada foi de 400 kg ha⁻¹ de acordo com recomendação baseada na análise de solo. No entanto, assim como na semente, as regulagens da máquina não permitiram a aplicação dessa quantidade. Nos espaçamentos de 0,60 m e 0,90 m foram aplicados 399 kg ha⁻¹, e no espaçamento de 0,75 m, 396 kg ha⁻¹.

Vinte e três dias após a sementeira foi realizada a pulverização de herbicida pós-emergente para o controle de plantas daninhas. Foram aplicados 4 l ha⁻¹ de Siptran 500 SC[®] (50% Atrazina), 0,24 l ha⁻¹ de Soberan[®] (42% Tembotriona) e 1 l ha⁻¹ de Assist[®] (75,6% Óleo Mineral) com volume de calda de 240 l ha⁻¹.

A adubação de cobertura foi realizada trinta dias após a semeadura com a formulação 20-0-20 de acordo com recomendação baseada na análise de solo. No espaçamento de 0,60 m foram distribuídos 387 kg ha⁻¹, no de 0,75 m foram distribuídos 411 kg ha⁻¹ e no de 0,90 m foram distribuídos 400 kg ha⁻¹.

A colheita do milho para silagem foi realizada 101 dias, após a semeadura, sendo colhida a metade das linhas de plantio de cada parcela. A outra metade foi colhida para grãos 169 dias após a semeadura.

3.4 Balanço energético

A eficiência energética (η) dos sistemas foi obtida, por meio da razão entre toda energia convertida e a energia consumida, ou seja, com base em estimativas de entradas (“*inputs*”) e saídas (“*outputs*”) de energia, obtidas, durante o acompanhamento de todo o ciclo, ou seja, desde a dessecação das plantas invasoras até a colheita (136 dias para silagem e 204 dias para grãos), seguindo-se a Equação 1, relatada por Angonese et al. (2006) e Melo et al. (2007):

$$\eta = \frac{\Sigma E \text{ saída}}{\Sigma E \text{ consumida}} \quad (1)$$

Em que:

$$\Sigma E_{\text{Saída}} = \Sigma (E_{\text{DSaída}} + E_{\text{ISaída}});$$

$$\Sigma E_{\text{Consumida}} = \Sigma (E_{\text{DConsumo}} + E_{\text{IConsumo}});$$

E_{D} = Estimativa de energia direta;

E_{I} = Estimativa de energia indireta;

$E_{\text{Saída}}$ = Estimativa de energia útil que sai no processo de produção (em forma de produto);

$E_{\text{Consumida}}$ = Estimativa de energia consumida no processo de produção.

A Figura 11 resume os fluxos de energia no sistema de produção de milho.

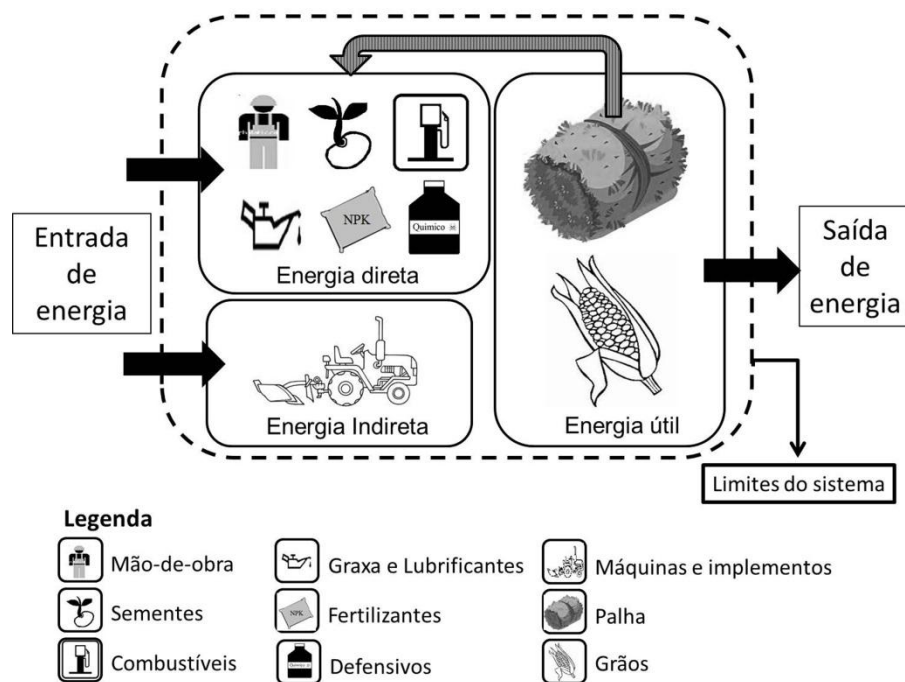


Figura 11 Fluxos de energia em um sistema de produção de milho

De acordo com metodologia descrita por Assenheimer, Campos e Gonçalves Júnior (2009), o balanço energético foi obtido, mediante a transformação em unidades calóricas dos componentes de entrada envolvidos no sistema de produção de milho, seguindo-se os coeficientes energéticos estabelecidos por diversos autores, conforme estão apresentados na Tabela 1. Os coeficientes não encontrados na literatura e aqueles que podem ser facilmente avaliados, como a silagem e os grãos de milho, o adjuvante Assist, a semente e o óleo diesel foram determinados em bomba calorimétrica, seguindo a norma

NBR8633/1984 (ABNT, 1984), de forma análoga à metodologia utilizada por Veloso et al. (2012).

Tabela 1 Componentes das entradas energéticas referentes ao sistema de produção de milho e seus respectivos coeficientes energéticos

Componentes de entrada	Unidade	Coefficiente energético	Fonte	Bomba Calorimétrica
Mão de obra*	MJ homem h ⁻¹	2,2	Campos et al. (2009)	-
Silagem de Milho	MJ kg ⁻¹	-	-	17,32
Grãos de Milho	MJ kg ⁻¹	-	-	19,46
Sementes de milho	MJ kg ⁻¹	33,22	Riquetti, Benez e Silva (2012)	18,71
Adubação de base (N)	MJ kg ⁻¹	74	Romanelli e Milan (2005)	-
Adubação de base (P ₂ O ₅)	MJ kg ⁻¹	12,56	Romanelli e Milan (2005)	-
Adubação de base (K ₂ O)	MJ kg ⁻¹	6,7	Romanelli e Milan (2005)	-
Herbicida (Glifosato)	MJ kg ⁻¹	631,8	Pimentel e Burgess (1980)	-
Atrazina	MJ kg ⁻¹	188,4	Fluck e Baird (1982)	-
Soberan	MJ kg ⁻¹	-	-	-
Assist Adjuvante	MJ L ⁻¹	-	-	38,00
Trator	MJ kg ⁻¹	69,83	Riquetti, Benez e Silva (2012)	-
Implementos	MJ kg ⁻¹	57,2	Assenheimer, Campos e Gonçalves Júnior (2009)	-
Óleo Diesel	MJ L ⁻¹	38,60	Romanelli e Milan (2005)	37,98
Óleo Lubrificante	MJ L ⁻¹	39,43	Campos et al. (2004)	-
Graxa	MJ kg ⁻¹	43,38	Campos et al. (2004)	-

A energia consumida no processo produtivo foi classificada como energia direta e indireta (ANGONESE et al., 2006; CAMPOS; CAMPOS, 2004;

CAMPOS et al., 2004, 2005, 2009; FRIGO et al., 2011; JASPER et al., 2010; MELO et al., 2007; SANTOS; LUCAS JÚNIOR, 2004; VELOSO et al., 2012).

Como energia direta, ou seja, a energia aplicada diretamente no sistema produtivo considerou-se aquela referente aos restos culturais, mão de obra, sementes, óleo diesel, lubrificantes, graxas, fertilizantes e agrotóxicos. Como energia indireta, foi considerada aquela referente a máquinas e equipamentos.

No que se refere ao cálculo da energia consumida por máquinas e equipamentos, foi utilizada a metodologia empregada por Angonese et al. (2006) e Riquetti, Benez e Silva (2012), a qual consiste na aplicação de um método baseado na depreciação energética, à semelhança da depreciação econômica, que, com base na massa das máquinas e equipamentos, consiste em depreciá-los durante sua vida útil. Dessa forma, para execução dos cálculos empregou-se a Equação 2:

$$DEE = \frac{(M \cdot CE) \cdot TU}{VU} \quad (2)$$

Em que:

DEE= Demanda específica de energia, em MJ;

M = massa de máquinas ou equipamentos, em kg;

CE = coeficiente energético de máquinas ou equipamentos, em MJ kg⁻¹;

VU = vida útil, em horas;

TU = tempo de uso, em horas.

Dessa maneira, foi computado o número de vezes da execução de cada tarefa, tempo gasto em cada operação (hora máquina), enquanto a massa das máquinas e equipamentos foi obtida em uma balança da marca Filizola, modelo 3.11.7000, com capacidade máxima de 19.998 Kgf.

4 RESULTADOS E DISCUSÃO

A vida útil e a massa de cada equipamento estão apresentadas na Tabela 2. As capacidades operacionais, teóricas e efetivas, a eficiência operacional e os consumos de combustível de cada operação estão listados na Tabela 3.

Tabela 2 Vida útil e massa dos equipamentos utilizados - CDTT-UFLA - 2013-2014

EQUIPAMENTO	VIDA ÚTIL (h)	MASSA (N) (kgf)
Trator Valtra A 950	15.000	46.522,75 (4.744)
Pulverizador Jacto CONDOR 600 M12	4.800	2.451,66 (250)
Roçadora Piccin RP1700	4.000	4.118,79 (420)
Semeadora Adubadora Jumil JM2680PD 6L	3.600	22.064,96 (2.250)
Semeadora Adubadora Jumil JM2680PD 4L	3.600	18.514,96 (1.888)
Adubador Piccin ACPD	3.200	3.255,81 (332)
Colhedora de Forragens Nogueira Pecu 9004 III	3.360	6.001,67 (612)
Carreta Luma 5000	6.000	9.080,96 (926)
Colhedora de Grãos Penha CLM 350	4.800	5.844,76 (596)

Tabela 3 Capacidades operacionais teóricas e efetivas, Eficiência operacional e Consumos de combustível de cada operação – CDTT-UFLA – 2013-2014

OPERAÇÃO	ESPAÇAMENTO														
	0,6					0,75					0,9				
	CcT (ha/h)	CcE (ha/h)	Ef (%)	Con (l/h)	Con (l/ha)	CcT (ha/h)	CcE (ha/h)	Ef (%)	Con (l/h)	Con (l/ha)	CcT (ha/h)	CcE (ha/h)	Ef (%)	Con (l/h)	Con (l/ha)
PULVERIZAÇÃO	4,70	3,11	66%	4,19	1,35	4,70	3,11	66%	4,19	1,35	4,70	3,11	66%	4,19	1,35
ROÇAGEM	1,14	0,76	67%	5,80	7,63	1,14	0,76	67%	5,80	7,63	1,14	0,76	67%	5,80	7,63
SEMEADURA	1,69	1,24	73%	6,45	5,20	1,41	1,09	77%	5,76	5,28	1,69	1,28	76%	5,73	4,48
ADUBAÇÃO	2,79	2,68	96%	4,53	1,69	2,33	1,90	82%	4,63	2,44	2,79	2,17	78%	4,55	2,10
PULVERIZAÇÃO COLHEITA	4,70	3,56	76%	3,89	1,09	4,70	3,56	76%	3,89	1,09	4,70	3,56	76%	3,89	1,09
SILAGEM	0,19	0,18	96%	6,31	35,45	0,23	0,21	90%	6,72	32,00	0,28	0,28	99%	7,21	26,22
COLHEITA GRÃO	0,19	0,16	83%	5,18	33,42	0,23	0,20	87%	5,57	27,44	0,28	0,24	85%	5,25	22,06
	MÉDIA TOTAL					MÉDIA TOTAL					MÉDIA TOTAL				
	SILAGEM		5,20	52,41		SILAGEM		5,17	49,79		SILAGEM		5,23	42,86	
	GRÃOS		5,01	50,38		GRÃOS		4,97	45,23		GRÃOS		4,90	38,70	

Cct – Capacidade de campo teórica; Cce – Capacidade de campo efetiva; Ef – Eficiência operacional; Con – Consumo.

Os resultados referentes à energia consumida (“*inputs*”) no sistema de produção de milho para grãos e silagem estão descritos nas Tabelas 4 e 5, respectivamente. Nas Figuras 12, 13, 14 e 15 mostra-se a participação de cada rubrica energética na energia consumida direta e indiretamente para a produção de grãos e silagem, respectivamente.

Da energia empregada nos sistemas de produção de grãos e silagem, o maior consumo foi da energia direta sobre a indireta, em todos os espaçamentos estudados (Tabelas 4 e 5), corroborando os resultados de pesquisa encontrados por Campos et al. (2004, 2005, 2009), Frigo et al. (2011) e Veloso et al. (2012).

Por sua vez, é importante considerar que, em alguns casos, foi constatada a preponderância da energia indireta sobre a direta (COSTA; BUENO, 2010; JASPER et al., 2010), fato este que pode ser justificado pela metodologia utilizada por esses autores, que classificam a energia em biológica, fóssil e industrial, a qual é diferente da metodologia utilizada neste trabalho.

Os fertilizantes responderam, significativamente, pelo consumo de energia direta, com destaque para a adubação em cobertura, que apresenta um elevado teor de nitrogênio. No que se refere a esta rubrica energética, Campos et al. (2004, 2005) e Jasper et al. (2010), também, evidenciaram comportamento semelhante.

Conforme esperado, o consumo energético de defensivos e óleo diesel foi bastante expressivo neste trabalho, corroborando, dessa forma, com outros trabalhos de pesquisa (CAMPOS et al., 2004, 2005; JASPER et al., 2010; RIQUETTI; BENEZ; SILVA, 2012).

Sobre o óleo diesel, vale mencionar que os problemas relativos ao custo de energia e à esgotabilidade e considerando a crise energética que é atualmente vivenciada, o elevado consumo de energia, na forma de combustível, torna o item um dos principais “estranguladores” do presente sistema em estudo. As soluções visando à redução de consumo energético, dentro dessa rubrica são

complicadas, uma vez que estariam todas vinculadas à necessidade de redução de utilização desses equipamentos (JASPER et al., 2010).

Outros itens relacionados à energia direta empregada no sistema, como mão de obra, sementes, lubrificantes e graxas (Tabelas 4 e 5) apresentaram valores baixos quando somados. No entanto, de acordo com Santos e Lucas Júnior (2004) e Veloso et al. (2012), é importante ressaltar que, na quantificação energética de determinado sistema de produção, componentes com baixo consumo de energia, em termos percentuais, podem ocasionar impactos econômicos, ambientais e sociais importantes.

Em todos os espaçamentos estudados, do total de energia indireta investida no sistema de produção, a rubrica energética mais representativa foi o trator (Tabelas 4 e 5), seguida pelos equipamentos utilizados para a colheita, no caso da silagem, a colhedora de forragens e a carreta agrícola, no caso de grãos, a colhedora de grãos, e pela semeadora adubadora (Tabelas 4 e 5).

A maior representatividade do trator no consumo de energia indireta deve-se ao fato de esta máquina ser a força motriz primordial para a execução de todos os tratamentos culturais. Em seu balanço energético, na produção de feno de alfafa em sistema intensivo de produção de leite, Campos et al. (2004), também, evidenciaram a maior composição energética do trator.

Após o trator, a capacidade operacional e a massa dos equipamentos são os principais fatores que influenciaram o maior consumo de energia indireta pela colhedora de grãos e pela semeadora adubadora.

Chechetto, Siqueira e Gamero (2010) avaliaram a viabilidade energética da cultura da mamona e constataram que a energia indireta, utilizada na implantação e manejo da cultura, foi maior para operação de aração do solo. Os mesmos pesquisadores, ainda, destacam que operações como a dessecação e a semeadura requereram menor demanda de energia indireta em razão da maior capacidade de campo.

Campos et al. (2009) estimaram o balanço de energia da produção de soja em sistema de plantio direto de uma propriedade agrícola e identificaram que, na energia indireta, a colhedora, seguida pela reforma do terraço e pulverizador consumiram, respectivamente, 43,00, 29,41 e 13,94 MJ ha⁻¹.

Tabela 4 Entradas energéticas (MJ ha⁻¹) em cada espaçamento estudado para a produção de grãos – CDTT-UFLA - 2013-2014

Descrição da Energia (MJ ha ⁻¹)	Espaçamentos					
	0,60 m	Participação (%)	0,75 m	Participação (%)	0,90 m	Participação (%)
Energia Direta	14.074,80	97,9	14.221,22	98,2	13.828,03	98,4
Mão de Obra	35,20	0,2	29,06	0,2	25,43	0,2
Sementes	304,14	2,1	304,14	2,1	314,28	2,2
Óleo Diesel	1.913,43	13,3	1.717,84	11,9	1.469,83	10,5
Lubrificantes	37,54	0,3	32,59	0,2	28,93	0,2
Graxas	20,71	0,1	17,98	0,1	15,96	0,1
Fertilizantes	10.439,19	72,6	10.795,02	74,6	10.649,01	75,8
8-28-16	4.193,01	29,2	4.161,48	28,7	4.193,01	29,8
20-0-20	6.246,18	43,5	6.633,54	45,8	6.456,00	45,9
Defensivos	1.324,59	9,2	1.324,59	9,1	1.324,59	9,4
Roundup	909,79	6,3	909,79	6,3	909,79	6,5
Assist	38,00	0,3	38,00	0,3	38,00	0,3
Siptran 500 SC	376,80	2,6	376,80	2,6	376,80	2,7
Soberan						
Energia Indireta	297,6	2,1	258,56	1,8	228,01	1,6
Trator	210,91	1,5	183,08	1,3	162,54	1,2
Implementos	86,69	0,6	75,48	0,5	65,47	0,5
Pulverizador	1,79	0,0	1,79	0,0	1,79	0,0
Roçadora	7,93	0,1	7,93	0,1	7,93	0,1
Semeadora Adubadora	28,96	0,2	27,60	0,2	23,40	0,2
Adubador	2,20	0,0	3,15	0,0	2,73	0,0
Colhedora de Grãos	45,81	0,3	35,01	0,2	29,62	0,2
Entrada Total	14.372,40	100,00	14.479,78	100,00	14.056,04	100,00

Tabela 5 Entradas energéticas (MJ ha⁻¹) em cada espaçamento estudado para a produção de silagem – CDTT-UFLA - 2013-2014

Descrição da Energia (MJ ha ⁻¹)	Espaçamentos					
	0,60 m	Participação (%)	0,75 m	Participação (%)	0,90 m	Participação (%)
Energia Direta	14.130,82	97,6	14.382,16	97,9	13.972,14	98,5
Mão de Obra	19,18	0,1	17,86	0,1	14,96	0,1
Sementes	304,14	2,1	304,14	2,1	314,28	2,2
Óleo Diesel	1.990,53	13,8	1.891,02	12,9	1.627,82	11,5
Lubrificantes	34,28	0,2	31,92	0,2	26,73	0,2
Graxas	18,91	0,1	17,61	0,1	14,75	0,1
Fertilizantes	10.439,19	72,1	10.795,02	73,5	10.649,01	75,1
8-28-16	4.193,01	29,0	4.161,48	28,3	4.193,01	29,6
20-0-20	6.246,18	43,2	6.633,54	45,1	6.456,00	45,5
Defensivos	1.324,59	9,2	1.324,59	9,0	1.324,59	9,3
Roundup	909,79	6,3	909,79	6,2	909,79	6,4
Assist	38,00	0,3	38,00	0,3	38,00	0,3
Siptran 500 SC	376,80	2,6	376,80	2,6	376,80	2,7
Soberan						
Energia Indireta	340,47	2,4	311,41	2,1	209,24	1,5
Trator	192,58	1,3	179,33	1,2	104,68	0,7
Implementos	147,89	1,0	132,08	0,9	104,56	0,7
Pulverizador	1,79	0,0	1,79	0,0	1,79	0,0
Roçadora	7,93	0,1	7,93	0,1	7,93	0,1
Semeadora Adubadora	28,96	0,2	27,60	0,2	23,40	0,2
Adubador	2,20	0,0	3,15	0,0	2,73	0,0
Colhedora de Forragens	57,93	0,4	49,59	0,3	37,19	0,3
Carreta Agrícola	49,08	0,3	42,02	0,3	31,52	0,2
Entrada Total	14.471,29	100,00	14.693,57	100,00	14.181,38	100,00

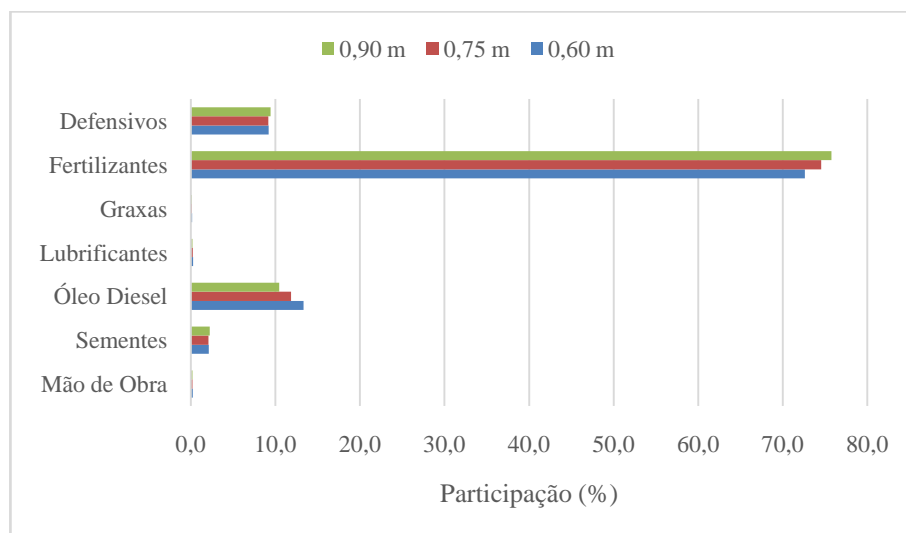


Figura 12 Participação das rubricas energéticas na energia direta para a produção de grãos

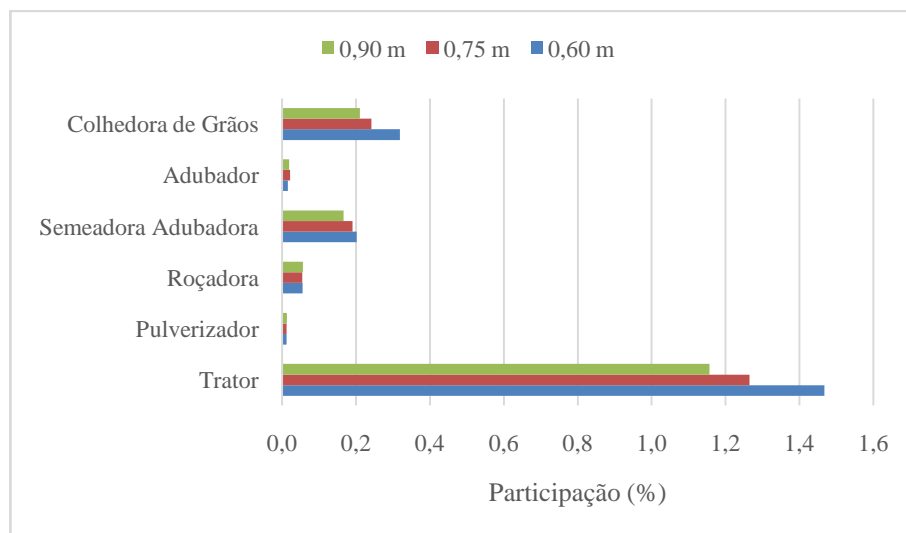


Figura 13 Participação das rubricas na energia indireta para a produção de grãos

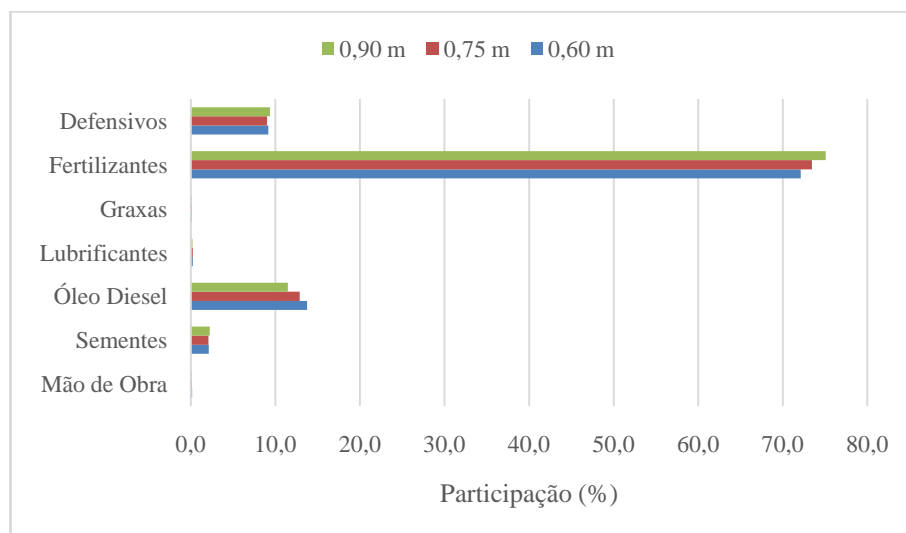


Figura 14 Participação das rubricas energéticas na energia direta para a produção de silagem

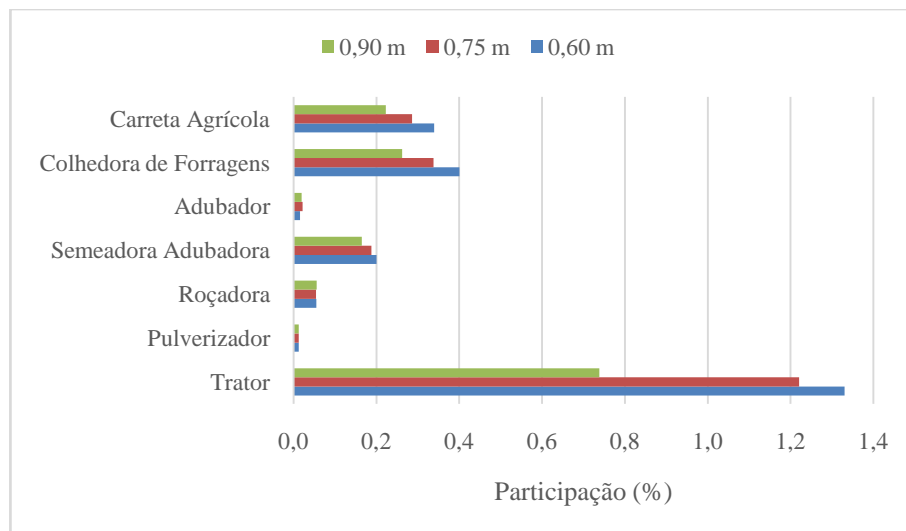


Figura 15 Participação das rubricas na energia indireta para a produção de silagem

Os resultados referentes à energia convertida (“*outputs*”) no sistema de produção de milho para grãos e silagem estão descritos nas Tabelas 6 e 7, respectivamente, e apresentados na Figura 16.

Riquetti, Benez e Silva (2012) contabilizaram o balanço energético em seis diferentes sistemas de produção de milho e encontraram um valor médio de energia convertida de 154.698,17 MJ ha⁻¹. Banaeian e Zangeneh (2011) e Santos e Simon (2010), também, trabalharam com a produção de milho e identificaram que os grãos corresponderam com 100.079 MJ e 124.722,89 MJ ha⁻¹, respectivamente.

Em um sistema de produção de biodiesel com base na mamona, Checheto, Siqueira e Gamero (2010) constataram que a produção de grãos representou 36,59% do total de energia convertida, enquanto os resíduos responderam por 63,41%.

No que se refere à silagem de milho, Komleh et al. (2011) reportaram um valor médio de 148.380,00 MJ ha⁻¹ como saídas de energia.

Tabela 6 Energia convertida (MJ ha⁻¹) em cada espaçamento estudado para a produção de grãos – CDTT-UFLA - 2013-2014

Descrição da Energia (MJ ha ⁻¹)	Espaçamentos					
	0,60 m	Participação (%)	0,75 m	Participação (%)	0,90 m	Participação (%)
Grãos	156.025,42	100,0	147.833,53	100,0	156.227,22	100,0
Saída Total	156.025,42	100,00	147.833,53	100,00	156.227,22	100,00

Tabela 7 Energia convertida (MJ ha^{-1}) em cada espaçamento estudado para a produção de silagem – CDTT-UFLA - 2013-2014

Descrição da Energia (MJ ha^{-1})	Espaçamentos					
	0,60 m	Participação (%)	0,75 m	Participação (%)	0,90 m	Participação (%)
Silagem	140.188,08	100,0	136.689,44	100,0	134.680,32	100,0
Saída Total	140.188,08	100,00	136.689,44	100,00	134.680,32	100,00

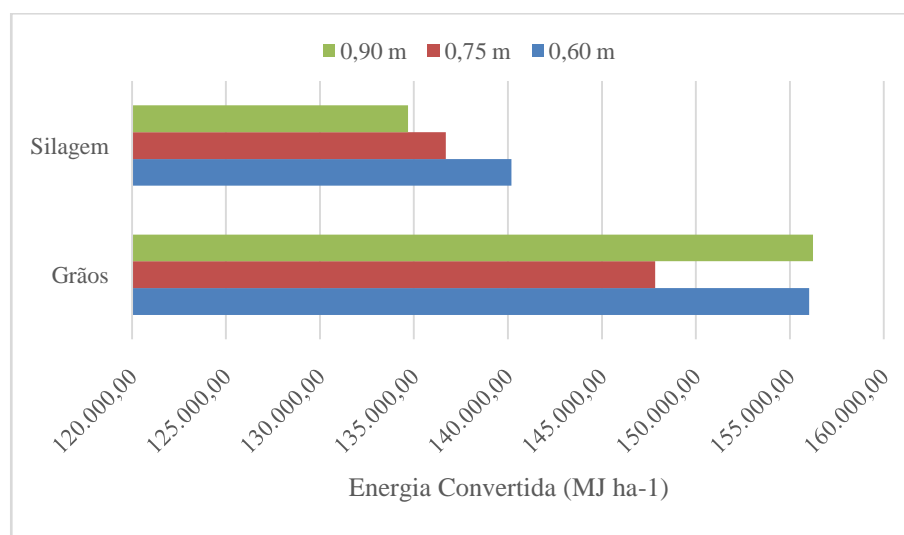


Figura 16 Energia convertida em cada espaçamento estudado para a produção de grãos e silagem

Em todos os espaçamentos estudados, da energia envolvida no sistema de produção, $14.372,40 \text{ MJ ha}^{-1}$ (0,60m), $14.479,78 \text{ MJ ha}^{-1}$ (0,75m) e $14.056,04 \text{ MJ ha}^{-1}$ (0,90m) referem-se à energia consumida para a produção de grãos (Tabela 4); enquanto $14.471,29 \text{ MJ ha}^{-1}$ (0,60m), $14.693,57 \text{ MJ ha}^{-1}$ (0,75m) e $14.181,38 \text{ MJ ha}^{-1}$ (0,90m) referem-se à energia consumida para a produção de silagem (Tabela 5). Por outro lado, da energia envolvida no sistema de produção, $156.025,42 \text{ MJ ha}^{-1}$ (0,60m), $147.833,53 \text{ MJ ha}^{-1}$ (0,75m) e

156.227,22 MJ ha⁻¹ (0,90m) referem-se à energia convertida para a produção de grãos (Tabela 6); enquanto 140.188,08 MJ ha⁻¹ (0,60m), 136.689,44 MJ ha⁻¹ (0,75m) e 134.680,32 MJ ha⁻¹ (0,90m) referem-se à energia convertida para a produção de silagem (Tabela 7). Isso resulta nas eficiências energéticas descritas na Tabela 8 e apresentadas na Figura 17.

A eficiência energética encontrada por Riquetti, Benez e Silva (2012) e Santos e Simon (2010), em sistemas de produção de milho foi de 12,86%. Almeida, Bueno e Esperancini (2010) observaram que essa eficiência foi de 15,51%. Já, Melo et al. (2007) avaliaram o gasto energético em 2 anos consecutivos na mesma propriedade e identificaram que, na safra 2001/2002, a eficiência energética foi de 4,44%, enquanto na safra 2002/2003, essa eficiência atingiu 4,86%.

Tabela 8 Eficiência energética de cada espaçamento estudado para a produção de grãos e silagem – CDTT-UFLA - 2013-2014

ESPAÇAMENTO (m)	EFICIÊNCIA (%)		
	0,60	0,75	0,90
GRÃOS	10,86	10,21	11,11
SILAGEM	9,69	9,30	9,50

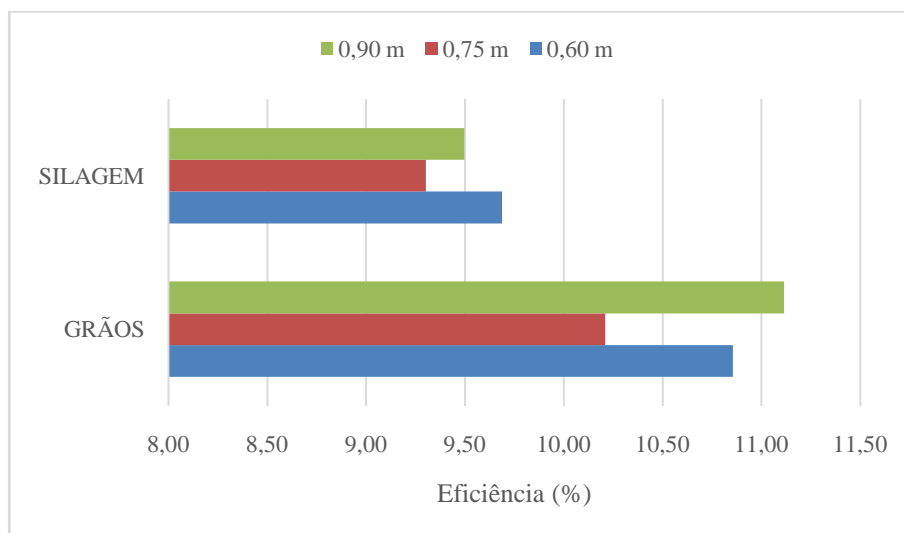


Figura 17 Eficiência energética de cada espaçamento estudado para a produção de grãos e silagem

Para fins de comparação, em biossistemas de produção animal, que são agroecossistemas altamente especializados, que importam grande parte da energia consumida, como é o caso da ração, as eficiências energéticas observadas por Angonese et al. (2006), Souza et al. (2009) e Veloso et al. (2012), foram, respectivamente, 41%, 31% e 38%.

5 CONCLUSÃO

A análise energética é uma importante ferramenta para avaliar e medir a sustentabilidade de agroecossistemas.

Na análise energética da produção de milho para grãos, o espaçamento que teve o maior dispêndio energético foi o de 0,75m. Já, a maior energia convertida foi obtida pelo espaçamento de 0,90m.

Na análise energética da produção de milho para silagem, o espaçamento que teve o maior dispêndio energético foi o de 0,75m. Já, a maior energia convertida foi obtida pelo espaçamento de 0,60m.

Na produção de silagem, à medida que se diminuiu o espaçamento entre linhas (0,90 m para 0,60 m), a eficiência energética aumentou (9,50% para 9,69%). Na produção de grãos, esse comportamento não foi observado.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. C. F.; BUENO, O. C.; ESPERANCINI, M. S. T. Avaliação energética econômica da cultura do milho em assentamento rural, Iperó/SP. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 2, p. 105-122, 2010.

ALVAREZ, C. G. D.; PINHO, R. G. von; BORGES, I. D. Avaliação de características agronômicas e de produção de forragem e grãos de milho em diferentes densidades de semadura e espaçamentos entre linhas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 3, p. 402-408, maio/jun. 2006.

ANGONESE, A. R. et al. Eficiência energética de sistema de produção de suínos com tratamento dos resíduos em biodigestor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 745-750, 2006.

ASSENHEIMER, A.; CAMPOS, A. T.; GONÇALVES JÚNIOR, A. F. C. Análise energética de sistemas de produção de soja convencional e orgânica. **Revista Ambiente**, Guarapuava, v. 5, n. 3, p. 443-455, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633**: carvão vegetal: determinação do poder calorífico: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 1585**: veículos rodoviários: código de ensaio de motores: potência líquida efetiva. Rio de Janeiro, 2006. 26 p.

BANAEIAN, N.; ZANGENEH, M. Study on energy efficiency in corn production of Iran. **Energy**, Karaj, v. 36, n. 8, p. 5394-5402, 2011.

BIAGGIONI, M. A. M.; BOVOLENTA, F. C. Balanço energético comparativo para rotas de escoamento de soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 587-599, 2010.

BORTOLOTTO, V. C.; PINHEIRO NETO, R.; BORTOLOTTO, M. C. Demanda energética de uma semeadora-adubadora para soja sob diferentes velocidades de deslocamento e coberturas do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 122-130, 2006.

BRACHTVOGEL, E. L. et al. População, arranjo de plantas uniforme e a competição intraespecífica em milho. **Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 6, n. 1, p. 75-76, 2012.

CAMPOS, A. T.; CAMPOS, A. T. Balanços energéticos agropecuários: uma importante ferramenta como indicativo de sustentabilidade de agroecossistemas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1977-1985, nov./dez. 2004.

CAMPOS, A. T. et al. Análise energética da produção de soja em sistema de plantio direto. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 2, n. 2, p. 38-44, 2009.

CAMPOS, A. T. et al. Análise energética na produção de feno de *Cynodon dactylon* (L.) Pers. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 349-358, 2005.

CAMPOS, A. T. et al. Balanço energético na produção de feno de alfafa em sistema intensivo de produção de leite. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 245-251, jan./fev. 2004.

CAMPOS, A. T. et al. Custo energético de construção de uma instalação para armazenagem de feno. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 4, p. 667-672, jul./ago. 2003.

CHECHETTO, R. G.; SIQUEIRA, R.; GAMERO, C. A. Balanço energético para a produção de biodiesel pela cultura da mamona (*Ricinus communis* L.). **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 546-553, 2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Brasil, série histórica de produção**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 15 ago. 2014.

COSTA, Z. F.; BUENO, O. C. Análise das eficiências energéticas e econômica da produção de leite bovino em explorações familiares na região de Botucatu, estado de São Paulo. **Revista de Economia Agrícola**, São Paulo, v. 57, n. 2, p. 37-48, 2010.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.

DEMÉTRIO, C. S. et al. Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 12, p. 1691-1697, dez. 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

FLUCK, R. C.; BAIRD, C. D. **Agricultural energetics**. Gainesville: University of Florida, 1982. 197 p.

FRIGO, M. S. et al. Custos energéticos do agroecossistema pinhão-mansão e milho: comparativo entre o sistema de condução de sequeiro e o irrigado. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 26, n. 2, p. 87-102, 2011.

JASPER, S. P. et al. Análise energética da cultura do crambe (*Crambe abyssinica Hochst*) produzida em plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 395-403, 2010.

KAPPES, C. et al. Arranjo de plantas para diferentes híbridos de milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 348-359, 2011.

KOMLEH, S. H. P. et al. Energy use and economic analysis of corn silage production under three cultivated area levels in Tehran province of Iran. **Energy**, Karaj, v. 36, n. 5, p. 3335-3341, 2011.

LORZADEH, S. H. et al. Energy input-output analysis for maize production systems in Shooshtar, Iran. **Advances in Environmental Biology**, Maringá, v. 11, n. 5, p. 3641-3644, 2011.

MARCHÃO, R. L. et al. Densidade de plantas e características agronômicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 2, p. 93-101, 2005.

MELO, R. et al. Balanço energético do sistema de produção de soja e milho em uma propriedade agrícola do oeste do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 2, p. 173-178, 2007.

PALMA, M. A. Z. et al. Efeito da profundidade de trabalho das hastes sulcadoras de uma semeadora-adubadora na patinagem, na força de tração e no consumo de combustível de um trator agrícola. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 5, p. 1320-1326, set./out. 2010.

PIMENTEL, D.; BURGESS, M. Energy inputs in corn production. In: PIMENTEL, D. (Ed.). **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC, 1980. p. 67-84.

RIQUETTI, N. B.; BENEZ, S. H.; SILVA, P. R. A. Demanda energética em diferentes manejos de solo e híbridos de milho. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 27, n. 2, p. 76-85, 2012.

ROMANELLI, T. L.; MILAN, M. Energy balance methodology and modeling of supplementary forage production for cattle in Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 1, p. 1-7, 2005.

SANTOS, R. R. dos; SIMON, E. J. Análise energética do milho em sistema de plantio direto, no assentamento rural da fazenda pirituba, Itaberá/SP. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 1, p. 121-137, 2010.

SANTOS, T. M. B.; LUCAS JÚNIOR, J. Balanço energético em galpão de frango de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 25-36, 2004.

SEKI, A. S.; BENEZ, S. H.; SILVA, P. R. A. Desempenho operacional de semeadora e produtividade do milho em plantio direto e cultivo mínimo. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 27, n. 1, p. 1-18, 2012.

SILVEIRA, J. C. M. da; GABRIEL FILHO, A.; SECCO, D. Demanda de potência e força de tração de uma semeadora na implantação do milho safrinha sob plantio direto. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 13, n. 4, p. 256-267, 2005.

SOUZA, C. V. et al. Análise energética em sistema de produção de suínos com aproveitamento dos dejetos como biofertilizante em pastagem. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 547-557, 2009.

VELOSO, A. V. et al. Energetic efficiency of a deep bed swine production system. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 6, p. 1068-1079, 2012.