



BALANÇO ENERGÉTICO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CAFÉ CONVENCIONAL E IRRIGADO

Patricia Helena Nogueira Turco¹, Maura Seiko Tsutsui Esperancini², Osmar de Carvalho Bueno³ & Marli Dias Mascarenhas Oliveira⁴

RESUMO: Neste estudo, estimamos os dispêndios energéticos nos sistemas de produção de café convencional e irrigado por gotejo. Para tal, construiu-se o itinerário técnico dos quatro anos de produção de café dos dois sistemas. Os insumos utilizados (mão-de-obra, horas máquina, irrigação, defensivos, fertilizantes, entre outros) convertidos em unidades de energia, quantificaram as entradas energéticas, enquanto a produção de café em grão beneficiado constituiu a saída energética. Para o levantamento dos requerimentos de insumos e de volume de produção de café utilizou-se uma amostragem probabilística intencional. Foram entrevistados cinco produtores cuja principal fonte de renda é a produção de café e que mantêm registros dos dados da cultura. Os resultados energéticos mostram que na estrutura de dispêndios energéticos por tipo, fonte e origem, tem-se que a energia indireta participou com mais de 66%, sendo os adubos os dispêndios mais altos. O balanço energético, que mostra a diferença entre as energias totais e “entradas” de energias não renováveis, foi positivo nos dois sistemas produtivos, em média de 25.258,55 MJ ha⁻¹ para o café convencional e 26.712,94 MJ ha⁻¹ para o café irrigado por gotejo. A melhor opção entre os dois sistemas para o produtor em termos energéticos é o café irrigado por gotejo, pois possibilita que o produtor tenha uma melhor saída de energia mesmo tendo um valor maior no balanço energético.

PALAVRAS-CHAVE: Café, Sistema De Produção, Dispêndios Energéticos.

ENERGY BALANCE OF CONVENTIONAL AND IRRIGATED COFFEE PRODUCTION SYSTEMS

ABSTRACT: In this study, we estimated the energy expenditure in both conventional and drip irrigated coffee production systems. Therefore, the technical itinerary from both systems four years coffee production was constructed. The inputs used (labor, machine hours, irrigation, pesticides, fertilizers, among others) were converted into energy units quantifying the energy input, while the benefited coffee beans produced the output energy. An intentional and non-probabilistic sampling was used to survey the systems requirements of inputs and volume of coffee production. Five producers were interviewed whose main source of income is coffee production and have kept records of crop data. Indirect energy represented more than 66% of energy balance, from which fertilizers expressed the highest expenditures. The energy balance, which shows the difference between total energies and non-renewable energies, was positive in both production systems, averaging 25,258.55 MJ ha⁻¹ in conventional coffee and 26,712.94 MJ ha⁻¹ in drip irrigated coffee. Regarding energy balance, the best system option is drip irrigated coffee, since it allows the producer to have a better output of energy even though with higher value in energy balance.

KEYWORDS: Coffee, Production System, Energy Expenditure.

1 INTRODUÇÃO

Na cafeicultura, tem se buscado ganhos de produtividade pela intensificação do uso de insumos industrializados e substituição da mão de obra pelo uso de máquinas. Isso implica em aumento do uso de recursos não renováveis, principalmente em relação àqueles derivados do petróleo.

Todavia, grande parte do aporte de energia adicional provém, direta ou indiretamente, de fontes não renováveis, principalmente dos combustíveis fósseis, de alto custo energético, ocasionando aumento acentuado do dispêndio energético no sistema de produção Furnaleta et al. (2014).

Para Bueno (2002) a análise energética pode ser vista como um processo de avaliação das entradas e saídas de energia dos agroecossistemas para posteriores e concomitantes interações com análises em outros campos do conhecimento.

Vários sistemas de irrigação podem ser utilizados em cafezais, esses sistemas dependem de recursos não renováveis, principalmente daqueles derivados do petróleo, que resultam em implicações significativas na sustentabilidade da produção, não só econômica como também sob o ponto de vista energético.

Assim sendo, este trabalho tem por objetivo realizar análise o custo energético de sistemas de produção de café irrigado por gotejo e convencional, posto que essas análises podem contribuir para compreensão da dinâmica

^{1 2 3 4} E-mails: patyturco@apta.sp.gov.br ; maura@fca.unesp.br ; osmar@fca.unesp.br ; marli@iea.sp.gov.br

produtiva, principalmente no caso de apresentarem resultados distintos nas análises destes sistemas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados para a elaboração coeficientes técnicos do café convencional e irrigado foram coletados junto aos produtores da região centro oeste de São Paulo. Foram entrevistados cinco produtores nos municípios Garça, Gália e Vera Cruz. A amostragem utilizada foi do tipo probabilística intencional (COSTA NETO, 1977). Determinou-se, como critério de amostragem, que a principal fonte de renda da propriedade precisaria ser a produção de café e que seus proprietários deveriam possuir registros de dados sobre a cultura.

As propriedades pesquisadas têm áreas médias cultivadas de 140 hectares, que são divididos em talhões, com média de 4.000 pés de cafés. As variedades mais cultivadas são Obatã, Mundo Novo e Ouro Verde, da espécie arábica. Os dispêndios energéticos foram quantificados com base nos requerimentos físicos de mão de obra, combustíveis, óleos lubrificantes, graxa, insumos, corretivos de solo, micronutrientes, irrigação, energia elétrica e depreciação energética e as respectivas conversões em unidades energéticas. A saída energética foi determinada com base na produção de café em grão (verde) e sua conversão em unidades energéticas.

Os dispêndios energéticos foram agrupados segundo a origem da energia como se segue:

- 1) Energia direta de origem biológica: Mão de obra;
- 2) Energia direta de origem fóssil: Óleo diesel, óleo lubrificante, graxa e diesel;
- 3) Energia indireta de origem industrial: depreciação de máquinas e implementos e micronutrientes, adubos e defensivos, corretivo de solo, energia elétrica e irrigação.

A unidade adotada para o estudo energético foi o megajoule (MJ). O índice de conversão do joule (J) em caloria (cal) correspondeu a 0,24, ou seja, 1 MJ equivale a 238,85 kcal.

2,1 ENERGIA DIRETA DE ORIGEM BIOLÓGICA

A energia contida na mão de obra, nas operações realizadas no manejo do cafezal, foi determinada multiplicando-se o rendimento de cada operação dos sistemas de café convencional e irrigado e o coeficiente energético adotado de acordo com a equação:

$$ET_{MO} = CE_{MO} \cdot R \quad (1)$$

Onde: ET_{MO} é a energia total da mão de obra, $MJha^{-1}$, CE_{MO} é o coeficiente energético, MJh^{-1} , R é o rendimento, ha^{-1} .

O coeficiente energético adotado foi de 2,2 MJh^{-1} , de acordo com Oliveira Júnior e Seixas (2006),

Assenheimer, Campos e Gonçalves Júnior (2009), Campos et al. (2009) e Innocente (2015).

2,2 ENERGIA DIRETA DE ORIGEM FOSSIL

Com relação aos dispêndios energéticos relativos às fontes de energia direta de origem fóssil, como óleo diesel, gasolina, óleos lubrificantes, graxas e gás GLP também foram utilizados dados de conversão de unidade físicas em unidades energéticas a partir da literatura existente (MARIANO, 2001; FERREIRA, 2010).

Os coeficientes energéticos adotados foram os citados no Balanço Energético Nacional, divulgado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), do Ministério de Minas e Energia (MME) (BRASIL, 2012), considerando a densidade específica de cada produto.

Deve-se acrescentar 14% ao valor do poder calorífico dos produtos derivados de petróleo, devido aos maiores custos energéticos para seus processamentos (MELLO, 1989), conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Coeficientes para conversão de unidades físicas em unidades energéticas

Entradas (inputs)	Unidade Energética (MJ)
Óleo diesel	42,29
Óleo lubrificante	42,37
Graxa	39,07
Gasolina	32,22
Gás GLP	46,60

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2015)

2.3 ENERGIA INDIRETA DE ORIGEM INDUSTRIAL

Com relação aos dispêndios relativos à fonte de energia de indireta de origem industrial foram estimados os dispêndios energéticos relativos à depreciação energética de máquinas e implementos agrícolas e os relativos a fertilizantes químicos, herbicidas, inseticidas, fungicidas, acaricidas, sistema de irrigação, micronutrientes e energia elétrica.

2.3.1 Máquinas e implementos

A determinação da depreciação energética com máquinas e implementos foi à mesma utilizada por Comitê (1993) e Bueno (2002). Para tanto, buscou-se o peso de máquinas e implementos por meio de catálogos, dados disponibilizados nos respectivos sites e informações obtidas com os representantes. Tais pesos são definidos como massa ou peso de embarque, conforme Borges (2001 apud BUENO, 2002), isto é, sem contrapeso, sem pneus, sem operador e com tanque de combustível com 20 litros de óleo diesel. O peso dos pneus seguiu os

indicadores de Vieira (2007). Portanto, para o cálculo da depreciação:

Depreciação energética = $(a + b + c + d) / \text{vida útil}$ Em que: a é o peso das máquinas e implementos x coeficiente energético correspondente, b é 5% de "a" (percentual de reparos), c é o número de pneus x peso x coeficiente energético de referência e d é 12% de $(a + b + c)$ (percentual de manutenção).

Os coeficientes energéticos correspondentes a cada tipo de máquina e implementos foram os apresentados por Comitê (1993), como sendo 2.061 Mcal/t para distribuidor de calcário e Adubadora e pulverizadores para os defensivos. Para o uso de rastelo, trincha (triturar os restos culturais no meio da rua de café) e carreta 1.995 Mcal/t. Para os demais veículos, tratores, colheitadeiras e implementos na colheita foram utilizados 3.494 Mcal/t. Para os pneus o coeficiente utilizado foi de 20.500 Mcal/t. Esses valores energéticos também foram utilizados por Castanho Filho e Chabaribery (1983), Bueno (2002) e Vieira (2007).

2.3.2 Fertilizantes químicos

As formulações do adubo químico e suas respectivas quantidades, utilizadas em cada fase dos tratamentos culturais. Para o adubo seguiu-se a recomendação de Serra, Moreira e Goldemberg (1979) como sendo N (13.875 kcal/kg), P_2O_5 (1.665 kcal/kg) e K_2O (1.110 kcal/kg). Esses valores foram também utilizados por Castanho Filho e Chabaribery (1983), Comitê (1993) e Bueno (2002). Para o micronutriente, em razão de não terem sido encontrados valores específicos na literatura para este composto, adotou-se o valor calórico do sulfato de cobre de 400 kcal kg^{-1} ou 1,67 MJ (FERRARO JUNIOR, 1999).

2.3.3 Calcário e gesso

Para o calcário seguiu-se a recomendação de Bueno (2002), em 0,17 MJ/kg. Não foi possível encontrar na literatura específica o valor para o gesso e, em razão da proximidade da função de corrigir o solo, foi adotado o mesmo valor do calcário citado por Vieira (2007).

2.3.4 Herbicidas, acaricidas, fungicidas e inseticidas

Pela dificuldade de encontrar o valor calórico específico de cada insumo utilizado no manejo dos cafezais adotou-se 278 MJ kg^{-1} para inseticidas, 288 MJ kg^{-1} para herbicidas e 276 MJ kg^{-1} para fungicidas e acaricidas, conforme os trabalhos de Unakitan, Hurma e Yilmaz (2010). Para o cálculo energético utilizou-se os dados das notas fiscais obtidas na transação comercial, nas quais estão discriminados os insumos adquiridos. Desta forma, por meio dessas informações foram obtidos os dados necessários para os cálculos energéticos.

2.3.5 Sistema de irrigação

No sistema de irrigação por gotejamento, a água é aplicada de forma pontual através de gotas diretamente ao

solo, por meio de uma tubulação subterrânea, ao longo de uma linha de plantio com um gotejador a cada 70 cm. A água é captada dentro das propriedades, através de bombas com capacidade de 40 cv e transportadas por tubulações de PVC até o reservatório central. A água é filtrada e redistribuída para reservatórios menores onde receberá os produtos para fertirrigação e quimificação e será distribuída pelo sistema através de monitoramento por sensores até os subsistemas instalados no campo. A quantidade de água é medida pela vazão que chega ao sistema de irrigação. Para cada hectare existem três subsistemas que são ligados automaticamente, sendo que cada subsistema consome, em média, 23m³ de água. Para o cálculo do valor calórico, baseou-se nos dados médios do consumo de água na irrigação com o valor de 0,131 kwh por m³ de água (LIMA et al., 2005).

2.3.6 Energia elétrica

A energia elétrica se obteve pelo consumo da captação, condução e aplicação utilizando duas bombas hidráulicas com capacidade de 40 cv e 5cv, em kwh, no período avaliado, os valores de equivalência energética da energia elétrica foram retirados a partir do Balanço Nacional de Energia (2015) de 1 kwh e igual a 3,6 MJ.

2.4 INDICADORES ENERGÉTICOS

Para análise de eficiência energética foram determinados quatro indicadores: produtividade cultural, eficiência cultural, eficiência energética e balanço energético. O primeiro mostra a quantidade de produto dividido por entradas energéticas; o segundo demonstra a relação existente entre as saídas e as entradas energéticas totais por unidade de área; o terceiro mostra a razão entre as saídas energéticas e as entradas de energias não renováveis; e o último indicador demonstra as energias totais menos as entradas de energia não renováveis.

A saída energética considerada foi a de produção física de kg de grãos de café obtido e multiplicada pelo seu valor calórico de 23,11 MJ.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A entrada energética no cultivo de café convencional, de acordo com o tipo, fonte e forma, em MJ ha^{-1} , totalizou 72.536,37 no ano de 2012, 71.683,06 no ano de 2013, 77.847,86 no ano de 2014 e 89.087,07 no ano de 2015.

O principal item de dispêndios energéticos na produção de café convencional em todos os anos é o adubo e os micronutrientes sendo acima de 61% em 2013, a flutuação das porcentagens é devido ao consumo físico desse insumo, que está atrelado ao preço.

Em relação à energia direta de origem fóssil, como óleo diesel, gasolina, graxa e gás GLP, estes consistiram no segundo item mais elevado nos gastos energéticos, nos quatro anos. Os dispêndios energéticos com energia indireta de fonte industrial (Tabela 2) foi o item com o maior valor, nos anos de 2014 e 2015, totalizando gasto

energético com a cultura de 53.572,10 MJ ha⁻¹ e 62.999,20 MJ ha⁻¹ respectivamente, devido ao uso do adubo nitrogenado na produção.

Os defensivos representam o terceiro item de maior dispêndio, principalmente no ano de 2013 quando atingiu o valor de 7.562,00 MJ ha⁻¹ (Tabela 2), com o aumento do uso de herbicida glifosato para o controle de mato e de inseticida para controlar o *Leucoptera coffeella* (bicho mineiro) e a *Oncometopia facialis* (cigarrinha).

Com relação à entrada energética, o sistema de produção convencional apresentou menor valor em 2013, e o maior em 2015, como mostra a Tabela 2.

O sistema de produção de café irrigado mostrou-se mais dispendioso energeticamente do que o sistema de café convencional. Obtiveram-se as entradas no cultivo, de acordo com o tipo, fonte e forma, em MJ ha⁻¹, o valor de 90.783,67, para o ano de 2012, 89.319,04 no ano de 2013, 102.108,67 em 2014 e 98.976,96 no ano de 2015 (Tabela 3).

O dispêndio energético de origem biológica no sistema irrigado é maior que no sistema convencional, uma vez que utiliza maior número de horas/homem trabalhadas (Tabela 3). O maior gasto energético com energia indireta de fonte industrial foi com os adubos principalmente os nitrogenados. Quanto à participação percentual média dos gastos com a irrigação, essa foi de 3,1% do total dos dispêndios nos quatro anos.

No ano de 2014 os maiores dispêndios energéticos foram com energia indireta de origem industrial na produção de café irrigado (Tabela 3). Os itens adubação e micronutrientes foram os maiores dispêndios na produção devido à utilização de adubos nitrogenados seguidos dos itens de defensivos. A irrigação foi outro item importante nos gastos energéticos pelo consumo de energia elétrica, principalmente nesse ano devido à escassez de chuvas; os defensivos representam outro item importante nos gastos energéticos para este mesmo ano em especial é o uso de fungicida.

Tabela 2 - Estrutura de dispêndios energéticos por tipo, fonte e forma de energia bruta do sistema de produção de café convencional, na safra 2012 a 2015, em MJ ha⁻¹.

	Ano 2012 (MJ)	%	Ano 2013 (MJ)	%	Ano 2014 (MJ)	%	Ano 2015 (MJ)	%
Entradas energéticas								
Energia direta de origem Biológica								
Mão de obra								
Tratos culturais	39,38	0,05	44,24	0,07	39,38	0,06	42,04	0,06
Colheita	79,49	0,11	80,43	0,11	80,21	0,10	80,32	0,08
Pós colheita	46,86	0,07	33,5	0,06	47,19	0,06	52,8	0,06
Subtotal	165,73	0,23	171,75	0,24	166,78	0,22	175,16	0,20
Energia direta de origem Fóssil Combustíveis								
Gasolina, diesel, graxa, óleo e gás	18.277,42	25,20	19.055,70	26,58	17.948,49	23,06	19.366,43	21,74
Subtotal	18.277,42	25,20	19.055,70	26,58	17.948,49	23,06	19.366,43	21,74
Energia indireta de origem Industrial								
Maquinas e equipamentos								
Tratos culturais	172,28	0,24	192,01	0,27	172,28	0,22	191,2	0,21
Colheita	328,40	0,45	328,40	0,46	328,41	0,42	328,40	0,37
Pós colheita	21,21	0,03	20,82	0,03	19,80	0,03	21,88	0,02
Subtotal	521,89	0,72	541,23	0,76	520,49	0,67	541,48	0,60
Insumos								
Corretivos de solo	214,20	0,30	353,6	0,49	166,6	0,21	391	0,44
Adubos e micronutrientes								
Subtotal	48.465,93	66,82	43.998,78	61,38	53.405,50	68,60	62.608,20	70,28
	48.680,13	67,12	44.352,38	61,87	53.572,10	68,81	62.999,20	70,72
Defensivos								
Fungicida	2.208,00	3,04	2.263,20	3,16	2.014,80	2,59	2.263,20	2,54
Acaricida	1.368,00	1,89	1.382,00	1,93	1.209,60	1,55	1.382,40	1,55
Herbicida	883,20	1,22	3.312,00	4,62	2.070,00	2,66	1.380,00	1,55
Inseticida	432,00	0,60	604,8	0,84	345,6	0,44	979,2	1,10
Subtotal	4.891,20	6,75	7.562,00	10,55	5.640,00	7,24	6.004,80	6,74
TOTAL	72.536,37	100	71.683,06	100	77.847,86	100	89.087,07	100

Fonte: Dados da pesquisa

Tabela 3 – Estrutura de dispêndios por tipo, fonte e forma de energia bruta do sistema de produção de café irrigado, na safra 2012/2015, em MJ ha⁻¹

	Ano 2012 (MJ)	%	Ano 2013 (MJ)	%	Ano 2014 (MJ)	%	Ano 2015 (MJ)	%
Entradas energéticas								
Energia direta de origem Biológica								
Mão de obra								
Tratos culturais	50,38	0,05	50,38	0,05	48,18	0,03	41,93	0,04
Colheita	175,30	0,19	175,31	0,19	175,31	0,18	175,31	0,19
Pós colheita	52,14	0,06	52,14	0,06	52,02	0,05	52,02	0,05
Subtotal	277,82	0,30	277,82	0,31	275,63	0,27	269,38	0,27
Energia direta de origem Fóssil								
Combustíveis								
Gasolina, diesel, graxa, óleo e gás	27.012,06	29,75	29.917,86	33,50	29.866,61	29,25	29.988,12	29,83
Subtotal	27.012,06	29,75	29.917,86	33,50	29.866,61	29,25	29.988,12	29,83
Energia indireta de origem Industrial								
Maquinas e equipamentos								
Tratos culturais	183,01	0,20	190,30	0,21	197,61	0,19	197,06	0,20
Colheita	736,48	0,81	736,48	0,82	736,48	0,72	736,48	0,74
Pós colheita	10,90	0,01	36,34	0,04	10,87	0,01	13,65	0,01
Subtotal	930,39	1,02	963,12	1,07	944,96	0,92	947,21	0,95
Insumos								
Corretivos de solo	340,00	0,37	297,50	0,33	170,00	0,17	510,00	0,51
Adbos e micronutrientes	55.416,63	61,04	52.248,08	58,50	63.609,59	62,30	61.285,17	61,71
Subtotal	55.756,63	61,41	52.545,58	58,83	63.779,59	62,47	61.795,17	62,12
Defensivos								
Fungicida	1.636,68	1,80	2.081,04	2,33	1.744,32	1,71	1.785,72	1,80
Herbicida	1.217,16	1,34	165,60	0,19	1.614,60	1,58	690,00	0,69
Inseticida	976,20	1,08	921,60	1,03	434,88	0,43	452,16	0,46
Subtotal	3.830,04	4,22	3.168,24	3,55	3.793,80	3,72	2.927,88	2,95
Total	87.806,94	96,72	86.872,62	97,26	98.660,59	96,62	95.927,76	96,22
Sistema de irrigação								
Sistema de Irrigação	2.976,73	3,28	2.446,42	2,74	3.448,08	3,38	3.049,20	3,78
Subtotal	2.976,73	3,28	2.446,42	2,74	3.448,08	3,38	3.049,20	3,78
TOTAL	90.783,67	100	89.319,04	100	102.108,67	100	98.976,96	100

Comparando os dois sistemas de produção, o sistema irrigado tem entrada energética maior que o sistema convencional, isso se deve primeiro ao uso de irrigação, segundo aos adubos solúveis em água, com uma quantidade elevada de nitrogênio em sua composição e o terceiro ao consumo de diesel na utilização de máquinas e equipamentos. Destaca-se o alto consumo de energia não renovável, que pode comprometer o sistema de produção no âmbito da sustentabilidade ambiental, devido aos altos valores energéticos dos combustíveis fosseis utilizados nos tratos culturais.

A entrada de energia indireta industrial referente a utilização de adubos principalmente nitrogenados,

corresponde a valores acima de 52.545,58 MJha⁻¹ (Tabela 4).

A entrada energética direta de origem fóssil (óleo diesel, graxa, gás e gasolina) representou o segundo maior valor nos dois sistemas e corresponde ao uso de máquinas e equipamentos para execução dos tratos culturais e colheita.

As médias dos dois sistemas estudados indica que as entradas energéticas no sistema Convencional é menor (Tabela 4).

Tabela 4. - “Entradas” energéticas totais dos sistemas de produção de café convencional e irrigado, em $MJha^{-1}$, de acordo com o tipo, fonte e forma, ano de 2012 a 2015.

Tipo e fonte	Ano	Ano	Ano	Ano	Médias	
	2012	2013	2014	2015		
	(MJ)	(MJ)	(MJ)	(MJ)	(MJ)	
ENERGIA DIRETA						
Convencional	Biológica	165,73	171,75	166,78	175,16	169,85
	Fóssil	18.277,42	19.055,70	17.948,49	19.366,43	18.662,01
ENERGIA INDIRETA						
	Industrial	54.093,22	52.455,61	59.732,59	69.545,76	58.956,79
	Total	72.536,37	71.683,06	77.847,86	89.087,07	77.788,59
ENERGIA DIRETA						
Irrigado	Biológica	277,82	277,82	275,60	269,80	275,26
	Fóssil	27.012,96	29.917,86	29.866,61	29.988,12	29.196,38
ENERGIA INDIRETA						
	Industrial	63.493,79	59.123,36	71.966,43	68.719,44	65.825,75
	Total	90.783,67	89.319,04	102.108,67	98.976,96	95.297,08

Fonte: Dados da pesquisa

3.1 INDICADORES ENERGÉTICOS

No cálculo dos índices de Eficiência Cultural, Produtividade Cultural e Eficiência Energética foram utilizados os valores das entradas totais, saídas energéticas (grãos), quantidade de grãos e energias não renováveis.

O sistema de produção de café convencional produz, em média por hectare, 43.920,55 MJ, e o sistema irrigado 55.879,98 MJ, sendo a produtividade cultural média de 0,02 para o sistema convencional e 0,03 para o sistema irrigado (Tabela 5).

A média da eficiência cultural, que representa a relação entre as “saídas” úteis e as “entradas” culturais, foi de 0,57 para o café convencional e de 0,59 para o café irrigado, significando que existe um maior consumo de insumos para uma menor produtividade, ou seja, maior entrada para uma menor saída energética, sendo que o índice do sistema irrigado por gotejo é maior, pois obteve uma produção melhor que o convencional.

O balanço energético, que mostra a diferença entre as energias totais e “entradas” de energias não renováveis, foi positivo nos dois sistemas produtivos, em média de 25.558,55 $MJ ha^{-1}$ para o café convencional e 26.712,94 $MJ ha^{-1}$ para o irrigado, isso demonstra que o consumo de energia direta de origem fóssil, mesmo que significativa nos dois sistemas estudados permite a produção de café de maneira sustentável.

A eficiência energética mostrou-se significativa nos dois sistemas de produção, apresentando um valor médio de 4,16 para café convencional e de 3,26 para o café

irrigado. Esse valor indica que a relação entre a somatória das energias totais e a somatória das “entradas” de energias não renováveis é positiva. Vê-se, portanto, que o consumo de energia direta de origem fóssil, é significativo nos dois sistemas de produção. Considerando-se os índices de eficiência energética como um indicador de sustentabilidade, uma vez que em sua formulação esse índice considera somente as entradas energéticas não renováveis, pode - se concluir que os dois sistemas de produção - convencional e irrigado – que seus índices são superiores a uma unidade, podendo considerar então, que os dois sistemas são sustentáveis do ponto de vista energético.

Os resultados do trabalho de Muner et al. (2005) corroboram os dados deste trabalho, pois, em sua análise, que comparam sustentabilidade energética de três sistemas de cultivo de café, os sistemas de cultivo consumiram mais energia que converteram; os mesmos autores também constataram que as entradas energéticas de adubos nitrogenados são mais elevadas em dois sistemas de cultivo, o sistema convencional e o sistema de cultivo em boas práticas agrícolas. Já o trabalho de Turco (2011), com café em sistema orgânico, se assemelha na importância significativa de entradas de fontes fósseis na condução do sistema de cultivo.

A bienalidade na cafeicultura é bem evidente neste estudo essa característica de safras altas alternadas com baixas safras na produção, mostram-se nos dois sistemas com a Saída útil e no Balanço energético (Tabela 5).

Tabela 5 - Indicadores energéticos dos sistemas de produção de café convencional e irrigado, por hectare, ano de 2012 a 2015.

Indicador	Unidade	Ano 2012	Ano 2013	Ano 2014	Ano 2015	Média	
Saída "útil"	MJ/ha	39.795,42	51.442,86	33.833,04	50.610,90	43.920,55	
Convencional	Produtividade cultural (PrC)	MJ/Kg	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02
	Eficiência cultural (EfC)		0,55	0,72	0,43	0,57	0,57
	Eficiência energética (EfE)		3,97	3,75	4,34	4,60	4,16
	Balço energético (BE)	MJ/ha	21.518,00	32.387,70	15.884,55	31.244,47	25.258,55
Saída "útil"	MJ/ha	52.968,12	58.514,52	47.976,36	64.060,92	55.879,98	
Irrigado	Produtividade cultural (PrC)	MJ/Kg	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03
	Eficiência cultural (EfC)		0,58	0,66	0,47	0,65	0,59
	Eficiência energética (EfE)		3,36	2,95	3,42	3,30	3,26
	Balço energético (BE)	MJ/ha	26.002,65	28.610,63	18.109,75	34.128,72	26.712,94

Fonte: Dados da pesquisa

4 CONCLUSÕES

Na análise energética, as energias indiretas apresentaram uma participação elevada nos dois sistemas, sendo que, no sistema irrigado os valores são maiores do que no sistema convencional na estrutura dos dispêndios energéticos. Porém, a fonte industrial proveniente da utilização de adubos e micronutrientes foram fatores decisivos no resultado da matriz energética dos dois sistemas avaliados.

Os indicadores energéticos nos dois sistemas estudados mostraram que o balanço energético e a eficiência energética foram positivos, e que a análise da eficiência cultural indica que ocorre maior consumo energético de insumos para uma menor saída energética.

No ponto de vista energético os resultados foram favoráveis para os dois sistemas estudados, e os dados mostraram que o uso da tecnologia de irrigação possibilitou uma melhor saída energética da produção, principalmente, nos casos de ocorrência de déficits hídricos nos principais períodos da fenologia do café.

A continuação de estudos poderá fornecer subsídios sobre balanço energético. A determinação de informações específicas para as condições de produção de café pode contribuir como uma importante ferramenta para definir novas tecnologias e manejos da produção, proporcionando economia de energia e, conseqüentemente, aumento da eficiência energética e redução de custo de produção.

5 REFERÊNCIAS

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

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2012**: ano base 2011. Brasília: MME/EPE, 2012. 266 p.

_____. **Balço energético nacional 2013**: ano base 2012. Brasília, 2012. 288 p. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2013.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2015.

BUENO, O. C. **Análise energética e eficiência cultural do milho em assentamento rural**. 2002. 146 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

CAMPOS, A. T.; KLOSOWSK, E. S.; SOUZA, C. V.; ZANINI, A.; PRESTES, T. M. V. Análise energética da produção de soja em sistema plantio direto. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 2, n. 2, p. 38 - 44, 2009.

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

COMITRE, V. **Avaliação energética e aspectos econômicos da filière soja na região de Ribeirão Preto – SP**. 1993. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Planejamento Agropecuário) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977. 264 p.

FERRARO JUNIOR, L. A. **Proposição de método de avaliação de sistemas de produção e de sustentabilidade**. 1999. 131 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

FERREIRA, F. F. **Análise de matriz energética e econômica das culturas de arroz, soja e trigo em sistema de produção tecnificados no Rio Grande do Sul**. 2010. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção/Qualidade da Produtividade) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

- FURNALETO, F. P. B.; ESPERANCINI, M. S. T.; MARTINS, A. N.; OKAMOTO, F.; VIDAL, A. A.; BUENO, O. C. Análise energética do novo sistema de produção de maracujá amarelo na região de Marília –SP. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 2, p. 235-240, 2014.
- INNOCENTE, A. F. **Análise energética da aplicação de torta de filtro na substituição parcial da adubação inorgânica sintética da cana-de-açúcar**. 2015. 126 p. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.
- LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. **O uso da irrigação no Brasil**. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.cf.org.br/cf2004/irrigacao.doc>>. Acesso em: 16 maio 2016.
- MARIANO, J. B. **Impactos ambientais do refino de petróleo**. 2001. 216 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.
- MELLO, R. Um modelo para análise energética de agroecossistemas. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 45-61, 1989.
- MUNER, L. H.; MASERA, O.; FORNAZIER, M. J.; SOUZA, C. V.; DE LORETO, M. D. S. Energetic sustainability of three Arabica coffee growing systems used by family farming units in Espírito Santo state. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 3, p. 397-405, 2005.
- OLIVEIRA JÚNIOR, E. D.; SEIXAS, F. Análise energética de dois sistemas mecanizados na colheita de eucalipto. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 70, p. 49-57, 2006.
- SERRA, G. E.; MOREIRA, J. R.; GOLDEMBERG, J. **Avaliação de energia investida na fase agrícola de algumas culturas**. Brasília: Secretaria de Tecnologia Industrial – Ministério da Indústria e Comércio, 1979. 86 p.
- TURCO, P. H. N. **Produção de café orgânico na região sul de Minas Gerais: eficiência econômica e energética**. 2011. 95 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.
- UNAKITAN, G.; HURMA, H.; YILMAZ, F. An analysis of energy use efficiency of canola production in Turkey. **Energy**, London, v. 35, n. 9, p. 3623-3627, 2010.
- VIEIRA, G. Avaliação energética e custo de produção da cana-de-açúcar (*Saccharum*) do preparo de solo ao 5º corte. 2007. 104 p. Tese (Doutorado em