

ESTUDO DO CONSUMO E CUSTO DE ENERGIA ELÉTRICA EM CULTURA DE SOJA IRRIGADA

José Eduardo Pitelli Turco; Jarbas Dos Santos Junior; Edemo João Fernandes

*Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, CEP 14884-900, Jaboticabal, SP
jepturco@fcav.unesp.br*

1 RESUMO

Este trabalho teve por objetivo analisar o consumo e custo de energia elétrica em cultura de soja, submetida a quatro regimes de irrigação: T1 – irrigação efetuada quando o esgotamento da água do solo atingiu 40% da reserva utilizável (RU); T2 – irrigação efetuada quando o esgotamento da água do solo atingiu 60% da RU; T3 – irrigação efetuada quando o esgotamento da água do solo atingiu 80% da RU; T4 – sem irrigação; T5 – irrigação efetuada quando o esgotamento da água do solo atingiu 40% da RU. Sendo que, para T1, T2 e T3 a lamina de água determinada pelo ETo foi obtido pelo método do tanque Classe A, já para T5 o ETo foi obtido pelo método de Penman-Monteith. A cultura da soja foi irrigada com um sistema de irrigação por aspersão convencional. O consumo de energia elétrica do sistema de irrigação foi medido por meio da utilização de um Medidor de Energia (mod. Microvip3 - Elcontrol, Itália). Os resultados desse estudo mostraram que os tratamentos irrigados com maior frequência apresentaram menor relação consumo de energia elétrica / produção de grãos.

UNITERMOS: consumo de energia elétrica e custo de energia elétrica, soja

TURCO, J. E. P.; SANTOS JUNIOR, J.; FERNANDES, E. J. CONSUMPTION AND ELECTRICITY COSTS OF ELECTRIC ENERGY ON IRRIGATED SOYBEAN CROP

2 ABSTRACT

The aim of this investigation was to evaluate the consumption and electricity costs of electric energy on soybean crop under four irrigation regimes: T1 - irrigation started when the soil water depletion reached 40% of available reserve; T2 irrigation started when the soil water depletion reached 60% of available reserve; T3 - irrigation started when the soil water depletion reached 80% of available reserve; T4 – no irrigation; T5 – irrigation started when the soil water depletion reached 40% of available reserve. The water consumption of the T1, T2 and T3 was determined by Class A pan evaporation, and for T5 by Penman – Monteith method. The soybean crop was irrigated with a conventional sprinkle system. The consumption of electric energy of irrigation system was measured by a Measurer of Energy (mod. Microvip3 - Elcontrol, Italy). The results of this study showed that treatments irrigated with larger frequency present smaller relationship consumption of electric energy / grain yield.

KEYWORDS: consumption of energy, electricity costs, soybean.

3 INTRODUÇÃO

Nas regiões onde a insuficiência ou a má distribuição das chuvas em alguns períodos do ano inviabiliza a exploração agrícola, a irrigação justifica-se como recurso indispensável ao aumento da produtividade das culturas, além de contribuir para a utilização mais intensa de recursos produtivos na propriedade rural (FRIZZONE et al., 1994).

A irrigação é responsável por grande parte do consumo de energia elétrica no meio rural. Normalmente o produtor rural não adota um método de controle de irrigação, aplicando água em excesso, temendo que a cultura sofra estresse hídrico, o que pode comprometer a produção. Esse excesso tem como consequência o desperdício de energia elétrica e de água.

Considerando a crise de energia elétrica no Brasil em 2001, estudos dessa natureza, em que se procura o uso econômico e racional da energia elétrica, vem ganhando grande importância no contexto sócio-econômico do país.

As tarifas de energia são, talvez, a mais importante das variáveis no custo final da irrigação. Nos Estados Unidos a energia responde por mais de 50% do custo final da irrigação quando se bombeia água de poços artesianos (CAST, 1988).

Herrera et al. (1993) estudaram 58 propriedades rurais da região de Botucatu - SP que utilizaram sistemas de irrigação ligados ao sistema elétrico da concessionária local (Companhia Paulista De Força E Luz - CPFL), levantando o consumo mensal de energia elétrica num período de 24 meses. Observaram que a área irrigada das propriedades corresponde a 3,31% da área total e o método de irrigação mais utilizado na região é o de aspersão. Concluíram que consumo médio mensal é muito baixo em relação à potência instalada e que há uma sub utilização dos sistemas de irrigação implantados na região.

Sena & Souza (1991) realizaram uma avaliação técnica da irrigação por aspersão na cultura do feijão Caupi. O manejo da irrigação da cultura do feijoeiro foi feito tomando-se como referência a curva de uso consuntivo versus tempo de desenvolvimento da cultura. Concluíram que houve uma economia de energia elétrica de 4,08% em relação ao manejo convencional de irrigação, baseado na aplicação de uma lâmina e turno de rega constantes.

Campana et al. (2000) estudaram a racionalização do uso da energia elétrica em sistemas de irrigação por aspersão convencional e pivô central, concluindo que há um grande potencial de racionalização no uso de energia elétrica na irrigação e que a substituição de motores standard pelos de alto rendimento a partir do aumento do número de horas de funcionamento anual e conseqüente redução de potência dos motores elétricos, foi viável na maioria das situações.

É escassa a literatura que trata do estudo do consumo e custo de energia elétrica associado ao manejo da água aplicada a cultura de soja. Este trabalho teve por objetivo analisar o consumo e custo de energia elétrica em cultura de soja, submetida a quatro regimes de irrigação.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida na Área Demonstrativa e Experimental de Irrigação - ADEI da FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal, SP, situada a 21°15'22" de latitude sul, 48°18'58" de longitude oeste e altitude média de 570 m. O clima de acordo com a classificação de Köppen é do tipo Cwa.

A cultura da soja, cultivar Conquista, foi instalada com espaçamento de 0,50 m entre linhas em 23/04/2002 e a emergência de 70% das plântulas ocorreu em 28/04/2002. O experimento foi instalado com cinco tratamentos que foram designados como: T1 – irrigado quando o esgotamento da água do solo atingiu 40% da reserva utilizável (RU); T2 – irrigado quando o esgotamento da água do solo atingiu 60% da RU; T3 – irrigado quando o esgotamento da água do solo atingiu 80% da RU ; T4 – testemunha, irrigado somente para promover a emergência das plântulas; T5 – foi irrigado quando o esgotamento da água do solo atingiu 40% da RU. Cada tratamento tinha uma área de 400 m², com quatro repetições de 100 m². Houve uma irrigação inicial para todos os tratamentos aos 29 dias após a emergência das plântulas (d.a.e), com intuito de iniciar o experimento com todas as parcelas dos tratamentos contendo a mesma umidade do solo. A quantidade de água aplicada nos tratamentos 1, 2 e 3 foi em função dos valores da ET_c, calculada pelo método do tanque Classe A com o coeficiente de cultura (K_c), por meio das equações:

$$ET_c = ET_o * K_c \quad (1)$$

$$ET_o = ECA * K_p \quad (2)$$

na qual;

ET_c - evapotranspiração da cultura, mm d⁻¹;

ET_o - evapotranspiração de referência, em gramado, mm d⁻¹;

K_c - coeficiente de cultura;

ECA - evaporação medida no tanque Classe A, mm;

K_p - coeficiente do tanque Classe A;

A quantidade de água aplicada no tratamento 5 foi em função dos valores da ET_c, obtidos pelo método de Penman-Monteith (Allen et al.,1998) e do coeficiente de cultura (K_c), sendo a ET_c calculada pela equação 1 e a evapotranspiração de referência foi calculada pela equação:

$$ET_o = \frac{0,409 \Delta (R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) V (e_s - e)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 V)} \quad (3)$$

na qual,

ET_o - evapotranspiração de referência, em gramado, mm d⁻¹;

R_n - radiação líquida, MJ m⁻² d⁻¹;

G - fluxo de calor no solo, MJ m⁻² d⁻¹;

T - temperatura média do ar, °C;

V - velocidade média do vento a 2 m de altura, m s⁻¹;

(e_s-e) - deficit de pressão de vapor, kPa;

Δ - tangente à curva de pressão de vapor, kPa °C⁻¹;

γ - constante psicrométrica, kPa °C⁻¹.

As irrigações foram efetuadas por um sistema de aspersão convencional com doze aspersores espaçados de 18 m. O sistema foi composto por um poço artesiano com uma bomba de recalque que estava acoplada a um motor de indução trifásico 25 CV, que alimenta dois reservatórios d'água. A água dos reservatórios foi recalçada por uma bomba d'água em que estava acoplado um motor de indução trifásico de 25 CV.

O consumo de energia elétrica ativa dos dois motores do sistema de irrigação foi medido por meio da utilização de um medidor de energia (mod. MICROVIP3 - ELCONTROL, Itália).

Foi estudado o custo da energia elétrica para dois grupos tarifários, Grupo A e Grupo B.

As tarifas variam de acordo com os níveis de tensão de fornecimento no caso do Grupo A e com a classificação do consumidor (indústria, rural, residência, comércio, e serviços, etc.) para o Grupo B.

Para o Grupo A foi estudado o custo para tarifas Estrutura Binômica Convencional e Horosazonal (verde e azul).

O preço da energia elétrica foi obtido junto a Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL.

Nesse trabalho o custo do consumo de energia elétrica foi calculado pela seguinte equação:

$$CCEE = CEE * P + ICMS \quad (4)$$

Sendo,

na qual;

$$ICMS = \frac{I \times A}{100 - A} \quad (5)$$

CCEE - custo do consumo de energia elétrica, em R\$;

CEE - consumo de energia elétrica durante qualquer período de tempo, em kWh;

P - preço do kWh na estrutura tarifária considerada, em R\$;

ICMS - imposto sobre circulação de mercadorias e serviços;

I - CEE x P e

A - alíquota, (18%).

Para o Grupo A foi aplicado o custo do consumo de energia elétrica (kWh) e o custo de demanda (kW). Não foi considerado o custo referente ao baixo fator de potência, pois junto aos dois motores do sistema de irrigação estão instalados capacitores de 5 kVAr, mantendo-se assim o fator de potência maior que 0,92.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições, sendo feita a análise de variância (ESTAT, 2001) seguida do teste de Tukey em nível de 5%.

Foram relacionados o consumo de energia elétrica (kWh) e custo da energia elétrica (R\$) com a produtividade obtida nos tratamentos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos receberam em todo o ciclo da cultura, por meio de irrigações, lâminas totais de água de 302; 270; 277 e 291 mm, respectivamente para T1, T2, T3 e T5.

O número de irrigações foi diferente entre os tratamentos sendo: doze, sete, seis e doze, respectivamente para T1, T2, T3 e T5.

O consumo de energia ativa por hectare e a produção em kg ha^{-1} , para os quatro tratamentos, são ilustrados na Figura 1.

A análise de variância (Tabela 1) permitiu observar que existe diferença significativa ($P < 0,01$) entre as produções dos tratamentos.

Tabela 1. Análise de variância para a produção da cultura de soja

Tratamentos	1	2	3	4	5	Teste F	dms (Tukey, 5%)	CV
Produção (Kg ha^{-1})	2034,00 a	1661,32 b	1493,98 b	490,18 c	1942,29 a	83,73**	204,19	8,85

Pela aplicação do teste de TUKEY em nível de 5% pode-se afirmar que os tratamentos 1 e 5 obtiveram as melhores produções, ficando os tratamentos 2 e 3 com valores intermediários e o tratamento 4 com o menor valor. A seqüência em relação aos maiores consumos de energia elétrica foi tratamento 1, 5, 3 e 2. O tratamento 4 não foi irrigado, portanto não foram realizadas medidas de consumo.

Verifica-se que os tratamentos 1 e 5 foram os que tiveram a maior freqüência de irrigação e a maior produtividade. Pelos resultados obtidos pode-se concluir que quanto maior a freqüência de irrigação maior a produtividade. Relacionando os tratamentos 1, 3 e 5, pode-se concluir que o consumo de energia elétrica e a produção de grãos são diretamente proporcionais, ou seja, quanto maior for o consumo de energia maior será a produtividade.

Os tratamentos 2, 3 e 5 consumiram, respectivamente, 9,7; 9,0 e 3,7% menos de energia por hectare do que o tratamento 1, porém tiveram produções de grãos, respectivamente, 18,3; 26,5 e 4,5% menor.

A média de produção de grãos de soja na safrinha para o Estado de São Paulo, no ano de 2001, segundo o Instituto de Economia Agrícola (IEA, 2003), foi de 2237 kg ha^{-1} , que é um valor superior aos observados neste trabalho. Isso foi devido aos problemas fitossanitários que ocorreram durante o ciclo da cultura.

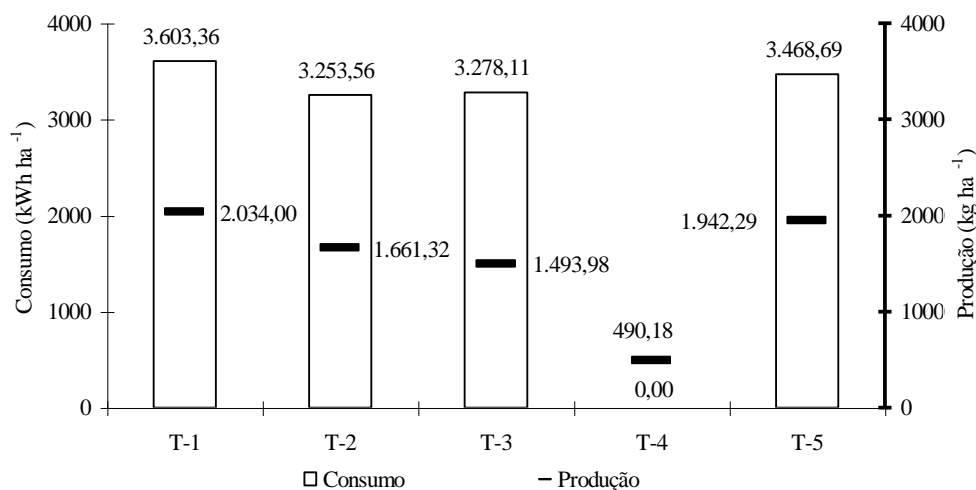


Figura 1. Consumo de energia elétrica ativa, em kWh ha^{-1} e produção de grãos em Kg ha^{-1} , para os tratamentos.

A Figura 2 apresenta a razão do consumo de energia elétrica ativa, pela produção de um quilo de grão de soja, nos cinco tratamentos. Observa-se que o tratamento 3 apresentou a maior relação e o tratamento 1 a menor, ficando os tratamentos 2 e 3 com valores intermediários. O tratamento 5 apresentou uma relação próxima ao valor do tratamento 1.

O tratamento 2 apresentou menor consumo de energia por hectare (Figura 1) do que o tratamento 1, porém quando convertido na relação consumo de energia/produção de grãos verifica-se que o tratamento 1 foi mais eficiente. Portanto, a maior produtividade associada ao maior consumo de energia foi observada no tratamento que apresentou maior frequência de irrigação

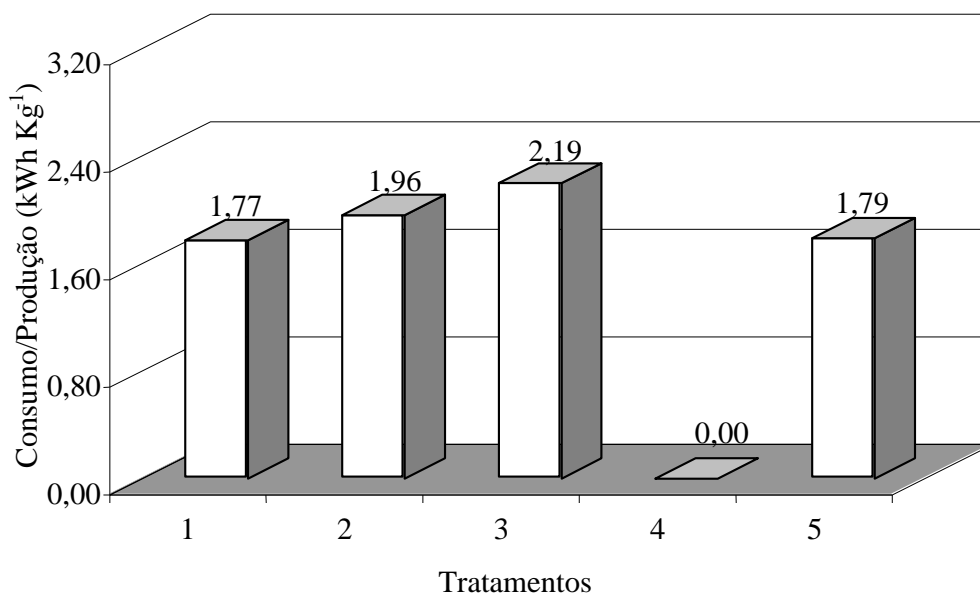


Figura 2. Relação entre o consumo de energia elétrica ativa (kWh ha^{-1}), e a produção de grãos (kg ha^{-1}), para os tratamentos.

Os valores do custo de energia elétrica para o sistema tarifário Grupo B, para os tratamentos estudados estão apresentados na Figura 3. Nota-se que o tratamento 1, apesar de ter obtido maior produção, apresentou maior custo de energia elétrica, ficando o tratamento 2 com o menor custo. Entre os tratamentos 2 e 3 não houve diferença significativa quanto ao custo de energia, o mesmo ocorreu entre os tratamentos 1 e 5.

O sistema tarifário Grupo B normalmente é aplicado a propriedades rurais que possuem transformadores instalados de até 112,5 kVA. O fato de o agricultor possuir este transformador, não impede que ele faça opção por outros sistemas tarifários, junto a CPFL.

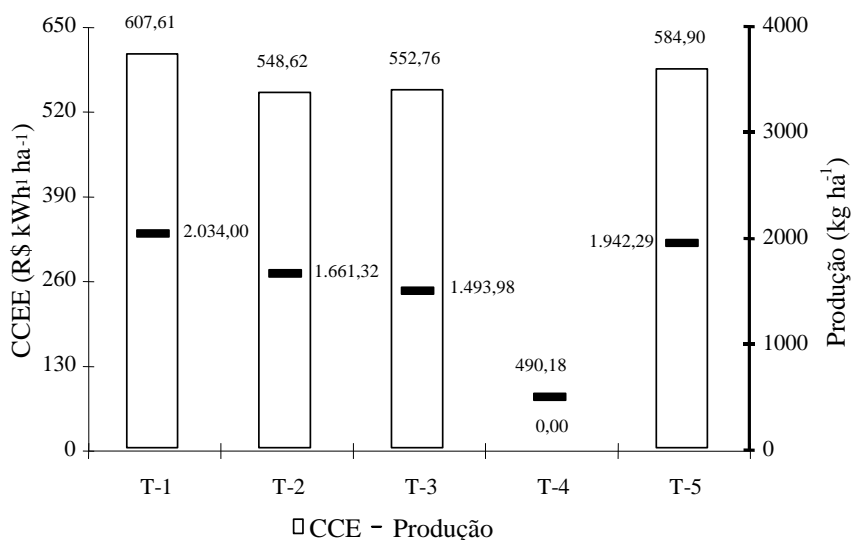


Figura 3. Estimativa do custo do consumo de energia elétrica (CCEE), em R\$ kWh⁻¹ ha⁻¹, para o Grupo – B, para os tratamentos (preço do kWh = R\$ 0,138270).

Analisando-se a relação custo de energia elétrica (R\$ kWh⁻¹ ha⁻¹) e produção de grãos (kg ha⁻¹), pode-se verificar que o tratamento 1 obteve a melhor relação, ficando o tratamento 3 com a pior. O tratamento 5 obteve relação semelhante ao tratamento 1. Tais colocações podem ser observadas na Figura 4.

Pelo exposto nessa figura verifica-se que, os tratamentos 1 e 5, irrigados com maior frequência, não apresentaram bons resultados de consumo e custo de energia em relação aos outros tratamentos, mas apresentaram boa relação custo de energia e produção de grãos

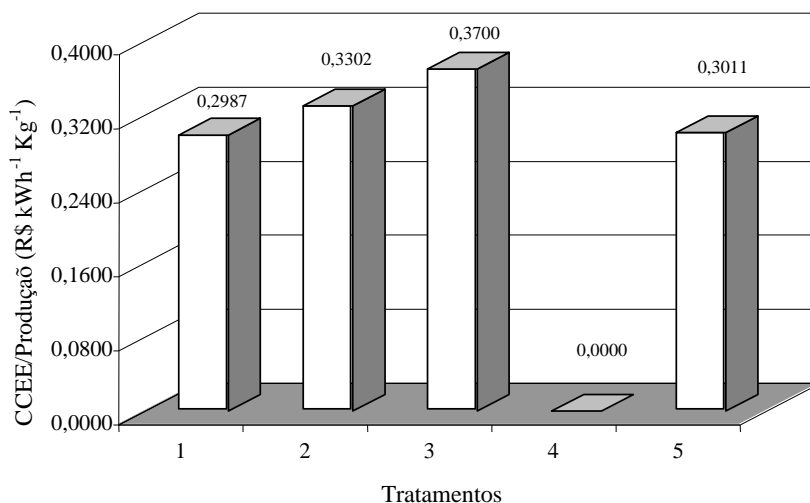


Figura 4. Relação do custo do consumo de energia elétrica (CCEE), em R\$ kWh⁻¹ ha⁻¹, para o Grupo – B, e da produção de grãos dos tratamentos (kg ha⁻¹).

. Para determinar a melhor modalidade tarifária foi considerado o contrato com a Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) com Sistema Tarifário Grupo A – Estrutura Binômica Convencional, com demanda contratada de 21,6 kW.

Com base na Figura 5 percebe-se que o valor contratado é inadequado, pois aumentou o gasto com energia elétrica em relação ao sistema tarifário Grupo B, para todos os tratamentos.

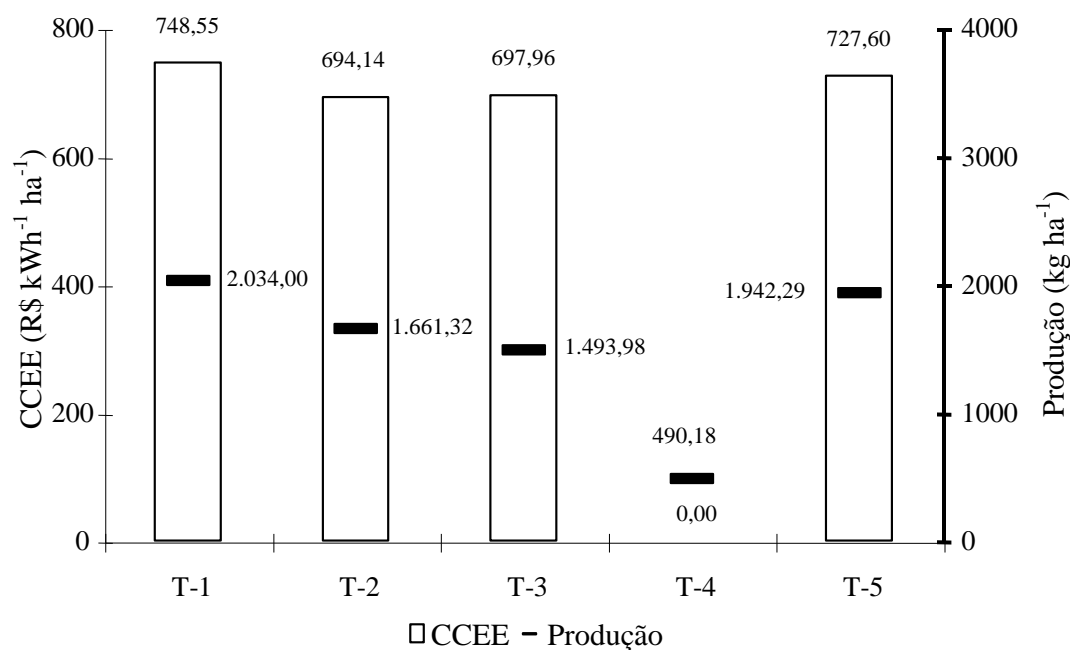


Figura 5. Estimativa do custo do consumo de energia elétrica (CCEE), em R\$ kWh⁻¹ ha⁻¹, para o Grupo A – Estrutura Binômica Convencional, para os tratamentos (preço do kWh = R\$ 0,127530).

As tarifas Horó-Sazonais permitem ao consumidor reduzir suas despesas com energia elétrica, desde que ele consiga programar o seu uso. Essa redução poderá ser obtida evitando-se o horário de ponta e/ou deslocando-se o consumo para determinados meses do ano.

No período de maio a setembro de 2002 foi estabelecido, por hipótese, que a tarifa vigente era Horó-Sazonal Verde, para período seco e horário fora de ponta, com demanda contratada de 21,6 kW. A Figura 6 apresenta os resultados para o sistema tarifário citado. Nessa figura ficou claro que a tarifa verde é a opção mais adequada para a cultura de soja, porque apresenta a maior porcentagem de economia. Com esse contrato teria sido possível economizar 126,47; 98,1; 100,12 e 115,55 R\$ ha⁻¹, nos tratamentos 1, 2, 3 e 5, respectivamente. Para a tarifa Horó-Sazonal Azul obteve-se o mesmo resultado.

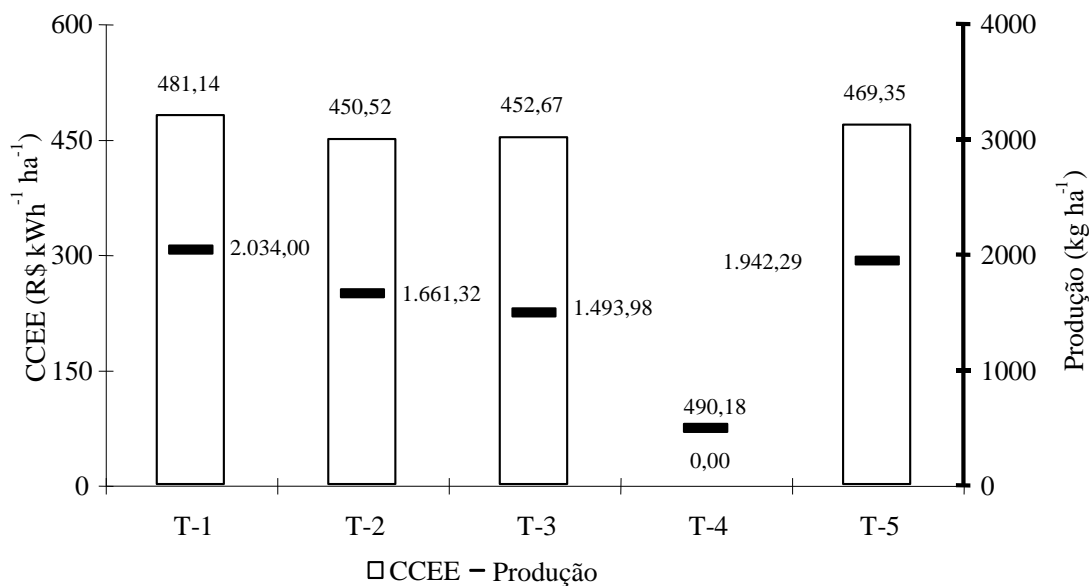


Figura 6. Estimativa do custo do consumo de energia elétrica (CCEE), em R\$ kWh⁻¹ ha⁻¹, para o Grupo A – Tarifa Horo-Sazonal Azul e/ou Verde, para os tratamentos (preço do kWh = R\$ 0,071790).

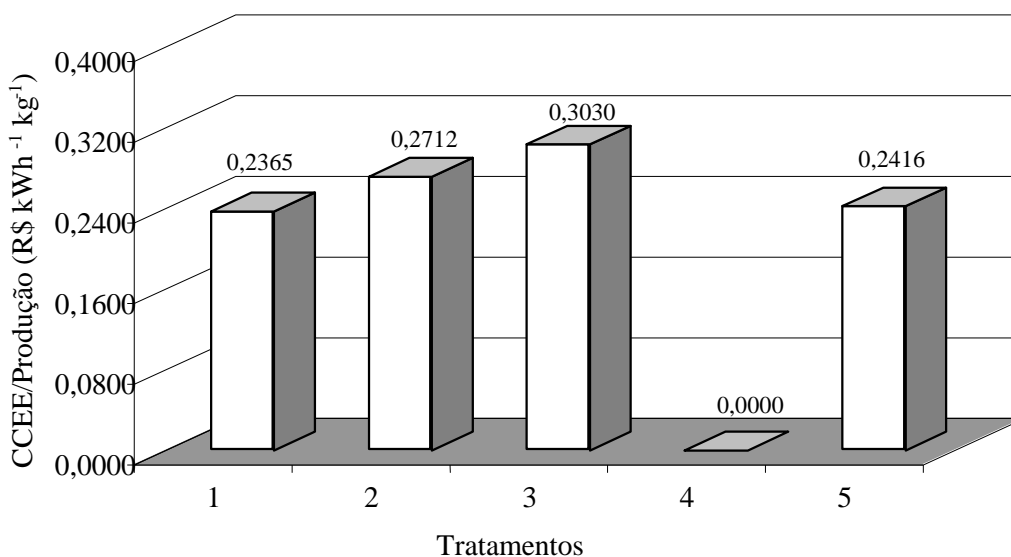


Figura 7. Estimativa do custo do consumo de energia elétrica (CCEE), em R\$ kWh⁻¹ ha⁻¹, para o Grupo – A Tarifa Horo-Sazonal Azul e/ou Verde, em relação a produção de grãos dos tratamentos, em kg ha⁻¹.

Na Figura 7 encontram-se os valores da relação entre custo de energia e produção para os tratamentos. Pode-se observar que, comparando-se essa relação com a do sistema tarifário Grupo B houve uma redução de 0,0622, 0,0590, 0,0670 e 0,0601 R\$ kg⁻¹ para os tratamentos T1, T2, T3 e T5, respectivamente

6 CONCLUSÕES

A análise dos dados nas condições do desenvolvimento desse experimento leva a concluir que:

A cultura da soja apresentou a melhor relação consumo de energia elétrica/produção de grãos em condições de maior frequência de irrigação. Os tratamentos com maior frequência de irrigação obtiveram melhores resultados, pois com o incremento de consumo de energia elétrica na ordem de 9,4% foi obtido um aumento na produtividade em torno de 25%, em relação aos demais tratamentos.

A utilização de metodologias diferentes para determinação da quantidade de água a ser aplicada nos tratamentos 1 e 5, não influenciaram nas análises realizadas nesse trabalho, ou seja, os resultados foram semelhantes.

As tarifas Horo-Sazonal verde e azul são as mais indicadas para os tratamentos, com demanda contratada de 21,6 kW.

7 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo auxílio concedido.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

CAMPANA, S. et al. Racionalização do uso da energia elétrica em sistemas de irrigação por aspersão e pivô central. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa - MG, v. 8, n. 1, p. 1 –18, 2000.

CAST. Council for Agricultural Science and Technology. **Effective use of water in irrigated agriculture. Task Force Report**, n. 113, p. 1-64, June 1988.

ESTAT: sistema de análises estatísticas. Jaboticabal: Departamento de Ciências Exatas/Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal/UNESP, 2001. 1 CD-Rom

FRIZZONE, J. A.; BOTREL, T. A.; FREITAS, H. A. C. Análise comparativa dos custos de irrigação por pivô central, em cultura de feijão, utilizando energia elétrica e óleo diesel, **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 5, n. 1, p. 34-53, 1994.

HERRERA, O. M.; LEOPOLDO, P. R.; CATANEO, A. Caracterização do uso da energia elétrica nas áreas irrigadas da região de Botucatu, SP – 1990 – 1992. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA 22., 1993, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CONBEA, 1993. v. 2, p. 948 – 961.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Produção/Anuário**. Disponível em: www.iea.sp.gov.br. Acesso em: 22 abr. 2003.

SENA, A. E. S.; SOUZA, F. Avaliação técnica da irrigação por aspersão na cultura do CAUPI, vigna unguiculata (L) Walp. **ITEM. Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, n. 45, p. 25 – 33, 1991.