



Uso de motores monofásicos acoplados mecanicamente em série, em irrigação por pivô central



Delly Oliveira Filho¹, Carlos H. R. Ferenc², Carlos A. Teixeira³, Gutemberg P. Dias³, Roberto C. Milagres⁴ & Carlos R. Pontes⁴

¹ Dept. Eng. Agrícola, UFV, CEP 36571-000, Viçosa, MG, Fone: (031) 3899-1897, E-mail: delly@ufv.br (Foto)

² IRRIZOM, Av. Maria de Paula Santana, B. João Brás 2360, CEP 36571-000, Viçosa, MG, Fone/Fax: (031) 3891-6171

³ DEA/UFV. Fone: (031) 3899-1897. E-mail: carlos@vicosa.ufv.br; gpdias@ufv.br

⁴ DEA/UFV. Estudante de Graduação em Engenharia Agrícola

Protocolo 131 - 5/9/2002 - Aprovado em 5/4/2004

Resumo: A utilização de sistemas de irrigação por pivô central requer elevada potência elétrica, o que, em geral, implica em alto investimento inicial. No Brasil, a maioria das fazendas é eletrificada no sistema monofásico, devido ao fato de sua implantação requerer cerca de 40% do investimento inicial exigido pelo sistema trifásico. Salienta-se que a maior potência disponível no mercado de motores monofásicos no Brasil é de 9,2 kW (12,5 cv). Para suprir demanda de potência acima desta com sistema monofásico, propõe-se acoplar os motores monofásicos mecanicamente em série. Este trabalho teve como objetivo estimar o rendimento de um sistema de acoplamento e sua viabilidade técnico-econômica, comparado-o com outras formas de fornecimento de energia, diesel e sistema elétrico trifásico.

Palavras-chave: racionalização de energia, transmissão mecânica, aspersores

Utilization of mechanically coupled single phase motors in series in central pivot irrigation system

Abstract: The utilization of central pivot irrigation system requires in most cases high electric power which imply in high initial investment. Most of the Brazilian farms are electrified in the single phase electrical system, due to the fact that their implementation requires only about 40% of the initial investment as compared to three phase system. In Brazilian market the highest available power of single phase motors is 9.2 kW (12.5 hp). To supply power demand above this limit with single phase system one could couple mechanically the single phase motors in series. The objective of this work was to estimate the efficiency of such coupling system and to evaluate the economic and technical feasibility compared with other forms of energy supply such as diesel and three phase electrical system.

Key words: energy management, mechanical transmission, sprinklers

INTRODUÇÃO

A agricultura moderna tem, na irrigação, uma importante técnica para o aumento da produtividade das culturas. O investimento em agricultura irrigada é fundamental para que o Brasil possa aumentar significativamente sua produção agrícola, gerando empregos e excedentes exportáveis. A agricultura irrigada no Brasil demonstra grande potencial, sendo que apenas 5% da área cultivada são irrigados, respondendo por cerca de 16% da produção total e por 35% do valor dessa produção. Este fato, por si, mostra a importância da irrigação (Bernardo, 1995; Kiep, 2001; Oliveira Filho et al., 2004).

Tem-se observado, no Brasil, sobretudo nas últimas décadas, em particular nas regiões sul e sudeste, um crescimento considerável dos índices de eletrificação rural. Estima-se que 25% das propriedades rurais brasileiras ainda não são eletrificadas. Em Minas Gerais, o percentual de propriedades rurais ligadas em sistema monofásico equivale a 88% do total de propriedades eletrificadas; no entanto, não existe uniformidade no tipo de fornecimento da energia elétrica via concessionárias, podendo o fornecimento ser monofásico ou trifásico. Ressalte-se, ainda, que o diesel é uma opção viável de suprimento de energia para sistemas de irrigação (Guia Rural, 1988; CEMIG, 1996).

Apesar da superioridade em robustez, economia e eficiência dos motores elétricos trifásicos sobre os motores monofásicos de mesma potência, o sistema monofásico é largamente utilizado, por razões econômicas. O custo de sua implantação é cerca de 60% menor que o equivalente trifásico, conforme CEMIG (1996).

Algumas cargas nas propriedades rurais demandam potência superior à potência máxima disponível no mercado para motores monofásicos, isto é, 9,20 kW (12,5 CV); como exemplo, citam-se os sistemas de bombeamento de água para irrigação por pivô central.

Atualmente, o pivô central é um sistema automatizado de irrigação por aspersão, no Brasil, e o que mais tem contribuído na expansão da área irrigada. O aumento na demanda por esse tipo de equipamento é justificado por suas vantagens em relação a outros sistemas, como automação e possibilidade de irrigação de grandes áreas por unidade de equipamento, dentre outras. Sistemas de irrigação por pivô central se tornam economicamente atraentes para potências elétricas do sistema de bombeamento superiores a 9,20 kW (12,5 CV), (PRONI, 1998; Agroanalysis, 1998).

A máxima potência de transformadores monofásicos disponíveis é de 37,5 kVA, o que permite a alimentação de cargas com fator de potência de 0,92 de até 34,5 kW (46,8 CV); portanto, os atuais transformadores monofásicos disponíveis podem vir a atender a uma demanda de 34,5 kW (46,8 CV). A título de avaliação do potencial de irrigação de um pivô central alimentado por apenas um transformador monofásico de 37,5 kVA, supõe-se que as necessidades de potência variam de 1,10 a 2,94 kW ha⁻¹ (1,5 a 4 CV ha⁻¹) e nestas a área irrigada seria de 10 a 30 ha. É possível a instalação de mais de um transformador monofásico de 37,5 kVA, para atender a um único sistema de irrigação do tipo pivô central multiplicando-se, assim, a área a ser irrigada.

Este potencial de alimentação monofásica é, em geral, distribuído para diversas cargas; no caso de pivô central os tipos de carga, são: a) o acionamento da bomba hidráulica; b) a movimentação das torres, e c) a alimentação do sistema de comando e proteção. O acionamento da bomba requer mais que 85% do total da energia consumida pelo sistema.

Alguns produtores rurais de Minas Gerais têm usado, com relativo sucesso, motores monofásicos acoplados em série, para atender à demanda de energia de sistemas com a irrigação por pivô central mas não se sabe, com detalhes, a influência da utilização desse tipo de ligação, tanto para o sistema de distribuição elétrica das concessionárias de energia elétrica quanto para os sistemas de proteção elétrica dos ramais dos motores, nem do rendimento desses acoplamentos e do sistema, como um todo. Sobretudo, não se conhece ainda a viabilidade econômica do uso de tal tecnologia.

Segundo WEG (2002) o acoplamento direto de motores eixo a eixo, apresenta rendimento muito alto, próximo de 100%; isto ocorrerá desde que haja centralização, alinhamento e balanceamento. O acoplamento direto de motores pode ser feito por diversas maneiras, dentre as quais se tem: o rígido, o flexível e o por engrenagens.

Conforme informações fornecidas pelos técnicos da CEMIG e EMATER, não há muita dificuldade na implantação do sistema

na região, visto que existem oficinas que prestam esse serviço de acoplamento, mesmo o de adaptação do segundo eixo, para acoplamento entre os motores. A maior dificuldade encontrada pelos produtores é a implantação do comando e proteção, pois não há, disponíveis, todos os comandos e proteções específicas para motores monofásicos, sendo necessárias adaptações do comando e proteção do sistema trifásico. Um dos grandes erros que podem inviabilizar a utilização dos motores acoplados ocorre no projeto de irrigação que, muitas vezes, é subdimensionado, provocando ineficiência no sistema e uma das maiores críticas é a não disponibilidade de sistemas motorreductores monofásicos para o acionamento da torre do pivô central, tornando-se oportuna a instalação de um motogerador elétrico trifásico para fornecer energia trifásica para movê-las.

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de estimar o rendimento do acoplamento e verificar a viabilidade técnica e econômica do acoplamento de três motores monofásicos em série, para uso no bombeamento de água para irrigação por pivô central.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido em duas etapas: (1) através dos ensaios de laboratório, onde foram realizados os testes de rendimento do acoplamento, e (2) da análise econômica, analisando-se sua viabilidade, comparando-a a outras alternativas de fornecimento de energia para o bombeamento de água.

Ensaio de laboratório

Para a realização dos testes de eficiência mecânico/elétrico do acoplamento mecânico em série dos motores monofásicos, foi conveniente a construção de uma bancada de testes (Fig. 1). Os testes foram realizados nos Laboratórios de Eletrotécnica e de Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal Viçosa, em Viçosa, MG.

O comando e a proteção foram projetados de modo a diminuir a demanda na partida (cada motor parte em momentos distintos); para isto, usaram-se relés de tempo e se previu também, o desligamento do sistema, caso haja falha ou sobrecarga em qualquer um dos motores.

Por razões do alto torque de partida do dinamômetro utilizado, adaptou-se um motor de 14,72 kW (20 CV) (motor de partida) visualizadas na Figura 1. Logo após os motores acoplados entrarem em regime de operação, o esticador da polia do motor de partida era suspenso, de tal forma que era possível retirá-la do sistema de transmissão de potência. Na prática, para o bombeamento de água isto não é necessário, pois os motores são ligados a vazio, isto é, com registro de tubulação adutora fechada; portanto, sem carga, sendo dispensado este dispositivo de partida. A determinação do rendimento η (%) de motores elétricos foi obtida por meio da seguinte expressão:

$$\eta = \frac{P_m}{P_e} 100 \quad (1)$$

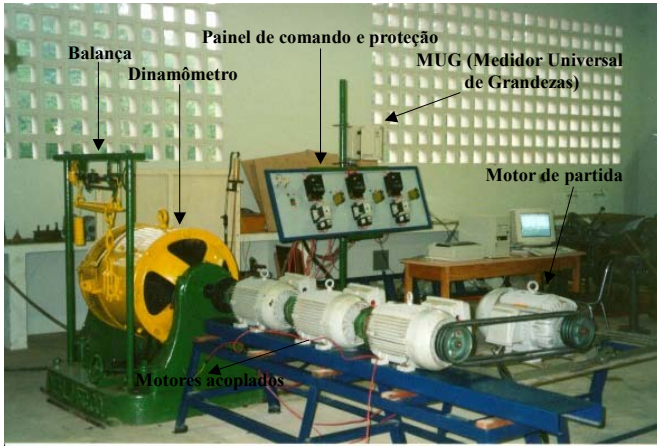


Figura 1. Bancada de testes para determinação do rendimento do acoplamento

em que:

P_m - potência mecânica medida no dinamômetro, kW

P_e - potência elétrica medida no medidor universal de grandezas elétricas, kW

A determinação da potência elétrica (P_e) foi feita por meio de:

$$P_e = V_1 I_1 \cos \phi_1 + V_2 I_2 \cos \phi_2 + V_3 I_3 \cos \phi_3, \text{ ou} \quad (2)$$

$$P_e = \sum_{i=1}^3 V_i I_i \cos \phi_i \quad (3)$$

em que:

P_e - potência elétrica, kW

V_i - tensão de alimentação do motor, V

I_i - corrente de alimentação do motor, A

$\cos \phi_i$ - fator de potência do motor, decimal

Os dados dos motores monofásicos foram obtidos por meio de sistema de aquisição de dados elétricos, quando se estabilizava a força preestabelecida na balança do dinamômetro (Figura 1) para múltiplos de 23 N para os motores individuais e múltiplos de 46 N, para os motores acoplados, (ELO, 1994a,b).

Potência mecânica

$$P_m = F V \quad (4)$$

em que:

F - força aplicada no dinamômetro, N

V - velocidade linear, m s⁻¹

Para movimentos circulares, a velocidade utilizada é a periférica, isto é, o caminho percorrido em metros na periférica da peça girante em um segundo, então:

$$V = \frac{\pi d n}{60} \quad (5)$$

em que:

d - diâmetro do dinamômetro, m

n - velocidade obtida por meio de um tacômetro, rpm

Os dados de força (N) e velocidade (rpm) foram obtidos com o dinamômetro acoplado, mostrados na Figura 1, ou seja, de forma análoga ao item anterior e no mesmo instante em que o dinamômetro se estabilizava na força preestabelecida na balança do mesmo.

Determinação do rendimento (η_G)

Para obtenção do resultado do rendimento do acoplamento, utilizou-se do seguinte método: (1) estimou-se o rendimento dos motores monofásicos acoplados, ou rendimento do sistema (η_s); da mesma forma, estimou-se o rendimento de cada motor individualmente η_A , η_B e η_C , e (2) e, de posse desses dados, pode-se calcular também o rendimento geral do acoplamento (η_G) assim como se mostra nas equações logo abaixo:

$$\eta_s = (\eta_A \eta_B \eta_C) \eta_1 \eta_2 \eta_3 \quad (6)$$

em que:

η_s - rendimento do sistema, %

η_A - rendimento do motor A, %

η_B - rendimento do motor B, %

η_C - rendimento do motor C, %

η_1 - rendimento do acoplamento entre os motores A e B, %

η_2 - rendimento do acoplamento entre os motores B e C, %

η_3 - rendimento do acoplamento entre o motor C e o dinamômetro, %

η_G - rendimento do acoplamento geral, %

Foi suposto que o rendimento de cada um dos acoplamentos eram iguais entre si, ou seja,

$$\eta = \eta_1 = \eta_2 = \eta_3 \quad (7)$$

então, diz-se que o rendimento de cada acoplamento individual pode ser calculado por :

$$\eta = \left(\frac{\eta_s}{\eta_A \eta_B \eta_C} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (8)$$

Quando se usam três motores acoplados mecanicamente em série, necessita-se acrescentar dois novos acoplamentos em série em relação aos sistemas convencionais com um motor e uma carga; assim, o fator de redução de rendimento devido aos acoplamentos para sistemas com três motores em série, é dado por:

$$\eta_G = (\eta)^2 \quad (9)$$

Ressalta-se que o terceiro acoplamento só foi utilizado para conectar os motores ao dinamômetro, que representa a carga do sistema; já a variação do rendimento, α , de sistemas alimentados por motor trifásico, η_{3f} em relação àqueles alimentados por três motores monofásicos, η_{1f} , que necessitam de dois acoplamentos extras, com η de rendimento, é dada por:

$$\alpha = \frac{\eta^2 \eta_{if}^3}{\eta_{3f}} \quad (10)$$

Análise econômica

Este trabalho foi realizado usando-se planilha eletrônica Excel, versão 97. Para comparação entre as opções de fonte de energia para irrigação por pivô central, em que foram considerados os dados (Tabela 1) fornecidos através de consultas, a: concessionária de energia elétrica de Minas Gerais (CEMIG), catálogos eletrônicos e convencionais de motores elétricos WEG e comércio local da cidade de Viçosa, MG.

Descrição das opções

Os sistemas de energização estudados foram: (A) monofásico 1: sistema existente; (B) trifásico 1: transformação da rede monofásica para rede trifásica; (C) monofásico 2: rede monofásica nova; (D) trifásico 2: rede trifásica nova; e (E) diesel.

Nas opções monofásico 2, trifásico 2 e diesel, adquiriu-se um desses sistemas novos, ou seja, não havia, na propriedade, disponibilidade de energia elétrica.

Para análise de sensibilidade, estudou-se a influência das variáveis descritas na Tabela 2.

O número de anos do horizonte de planejamento é relativamente extenso, por se considerar que, quando um produtor adquire uma rede de distribuição elétrica, seja ela monofásica ou trifásica, existe um acordo entre a concessionária de energia elétrica e o produtor rural, em que este doa a rede de distribuição à concessionária; em troca, ela assumirá inteira manutenção a partir do transformador externo; do transformador na propriedade à manutenção do sistema elétrico, estes são da inteira responsabilidade do produtor rural, podendo então usufruí-la por muitos anos, não só para a irrigação como, também, para outros fins que utilizem energia elétrica. Optou-

se por variar a distância da propriedade à linha tronco por considerar sua grande influência no custo de implantação da rede de distribuição elétrica, visto que um dos componentes mais caros para implantação são os condutores (cabos), suportes (postes, conexões e etc.) a que se chama de custo de instalação por km de rede (R\$ km⁻¹) que, no caso da cidade de Viçosa, um quilômetro de rede trifásica custa 64% mais que o da rede monofásica.

Com relação ao rendimento do acoplamento dos motores elétricos, este valor pode ser variável, pois cada produtor rural poderá acoplar os motores de forma diferente: utilizando motores de fabricantes diferentes, luvas de tipos diferentes: flexível, rígido ou de engrenagem, em que no alinhamento dos motores dificilmente se consegue 100 %, mas deve ser o melhor possível; então, cada um desses fatores poderá implicar em rendimentos diferentes dos encontrados neste trabalho.

Frisa-se, aqui, o fato de que o rendimento geral do conjunto de motores acoplados e motobomba será função do índice de carregamento dos motores envolvidos. O índice de carregamento poderá influir significativamente no rendimento do conjunto (Teixeira et al., 2001).

Para a análise econômica calcularam-se os seguintes índices econômicos:

a) Taxa interna de retorno (% a a); b) Valor presente líquido (R\$); c) Relação benefício-custo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teste do comando e proteção

O resultado dos testes no comando e proteção foram satisfatórios pois, ao longo de todo o período de testes, foram eficientes, mesmo em situações de extrema sobrecarga nos motores. A proteção contra curto-circuito e contra sobrecarga, atuou de forma eficiente. Destaca-se a atuação dos relés de tempo (temporizadores) que permitiram a partida em cascata dos motores acoplados em série, diminuindo a demanda de partida.

Tabela 1. Características do sistema de energização para o bombeamento de água e parâmetros econômicos, considerados caso base

| Descrição | Unidade | Sistema de energização | | | | |
|---|------------------------|------------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------|
| | | A Monofásico 1 | B Trifásico 1 | C Monofásico 2 | D Trifásico 2 | E Diesel |
| Área irrigada | ha | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Distância da propriedade à linha tronco | km | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Potência necessária | kW | 22,08 | 22,08 | 22,08 | 22,08 | 22,08 |
| Potência necessária | cv | 30,00 | 30,00 | 30,00 | 30,00 | 30,00 |
| Potência de cada motor | kW | 7,36 | 7,36 | 7,36 | 7,36 | 7,36 |
| Potência de cada motor | cv | 10,00 | 30,00 | 10,00 | 30,00 | 30,00 |
| Número de motores necessários | und | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 |
| Número de horas trabalhadas ao ano | h a a ⁻¹ | 3.000 | 3.000 | 3.000 | 3.000 | 3.000 |
| Vida útil dos motores | H | 30.000 | 30.000 | 30.000 | 30.000 | 15.000 |
| Tarifa da energia B2 – rural | R\$ kW h ⁻¹ | 0,067 | 0,067 | 0,067 | 0,067 | - |
| Preço do diesel | R\$ | - | - | - | - | 0,45 |
| Aumento da energia ao ano | % a a | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Rendimento de cada motor | % | 85 | 91 | 85 | 91 | 25 |
| Rendimento do acoplamento | % | 96 | - | 96 | - | - |
| Gasto com energia | R\$ a a ⁻¹ | 8.785 | 5.691 | 8.785 | 5.691 | 18.792 |
| Manutenção dos motores | R\$ a a ⁻¹ | 37 | 10 | 37 | 10 | 255 |
| Custo de instalação do sistema | R\$ a a ⁻¹ | 5.570 | 50.062 | 36.618 | 55.624 | 11.314 |

Tabela 2. Parâmetros* considerados para análise de sensibilidade

| Parâmetros | Unidade | Intervalo de Variação | | | | | | | |
|---|---------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|
| | | - | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | - | - |
| Horizonte de planejamento | Ano | - | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | - | - |
| Taxa real de juros de mercado | % | 6 | 10 | 12 | 16 | 20 | - | - | - |
| Aumento da energia ao ano | % a a | - | - | - | 0 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |
| Distância da propriedade à linha tronco | km | - | - | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | - |
| Horas de funcionamento ao ano | h a a ⁻¹ | 1.500 | 2.000 | 2.500 | 3.000 | 4.000 | - | - | - |
| Rendimento do acoplamento | % | 85 | 90 | 94 | 96 | 98 | - | - | - |

* Parâmetros do caso base estão em destaque

Testes do rendimento mecânico

O rendimento do sistema η_s foi de 79,3% para um carregamento de 100% (carga nominal). A Tabela 3 apresenta os rendimentos em função do carregamento medidos em cada um dos motores e do sistema como um todo, respectivamente. A Tabela 4 apresenta o rendimento de cada um dos motores testados e do sistema a plena carga.

O rendimento de cada acoplamento individual η não foi de 97,9% e o acoplamento entre motores teve rendimento geral de (η_G) de 95,8%.

Análise econômica

Com os resultados dos valores do rendimento geral η_G , dados do caso base (Tabela 1) e parâmetros de projeto (Tabela 2), fez-se a análise econômica da utilização do acoplamento de motores monofásicos em série, para o bombeamento de água para irrigação, (Tabelas 5 a 10).

A Tabela 5 mostra os valores presentes das opções de energização rural estudadas.

A alternativa monofásica 1 foi a mais atraente e a diesel a menos atraente. Para taxas de juros menores, abaixo de 18%, o sistema trifásico 2 passa a ser mais atraente que o monofásico 2, enquanto para taxas de juros mais elevadas, acima de 16%, o monofásico 2 se torna mais atraente.

A Tabela 6 mostra os resultados, em valores presentes para as opções estudadas em função de diferentes horizontes de planejamento, concluindo-se que a opção monofásica é a mais vantajosa em relação às demais, para todos os horizontes de planejamento considerados. O mesmo acontece com a opção monofásica 2 em relação ao diesel e à trifásica 2, até 20 anos de vida útil.

A Tabela 7 mostra os resultados, em valores presentes para as opções estudadas em função do aumento de energia ao ano. Analisando-a, conclui-se que a opção monofásica 1 é a mais vantajosa em relação às demais, para todos os aumentos anuais de energia considerados, acima da inflação.

Na Tabela 8 tem-se os resultados, em valores presentes, em função da distância da propriedade à linha tronco trifásica, de onde se conclui que a opção monofásica é a mais vantajosa em relação às demais opções para todas as distâncias consideradas da propriedade à linha tronco; o mesmo ocorre com a opção monofásica 2 em relação ao diesel e à trifásica 2, para qualquer distância acima de 10 km.

Na Tabela 9 encontram-se os resultados em valores presentes, em função do rendimento do acoplamento geral η_G , concluindo-se que a opção monofásica é a mais vantajosa em relação às demais, para todos os rendimentos gerais,

Tabela 3. Rendimento do sistema com três motores monofásicos acoplados

| Força N | Rotação rpm | Potência | | | Rendimento % | ÍC* |
|----------------|-------------|----------|-------|------|--------------|--------|
| | | M kW | M cv | A kW | | |
| Sistema | | | | | | |
| 0 | 1792 | 1,50 | 2,04 | 13,3 | 11,1 | 6,79 |
| 46 | 1790 | 7,40 | 10,05 | 15,2 | 48,3 | 33,48 |
| 92 | 1783 | 11,40 | 15,49 | 17,8 | 64,2 | 51,58 |
| 138 | 1778 | 15,20 | 20,65 | 21,0 | 72,3 | 68,79 |
| 184 | 1768 | 18,60 | 25,27 | 23,4 | 79,0 | 84,16 |
| 207 | 1763 | 22,10 | 30,03 | 27,8 | 79,3 | 100,00 |
| 230 | 1760 | 22,20 | 30,16 | 28,0 | 79,3 | 100,45 |
| Motor A | | | | | | |
| 0 | 1785 | 1,47 | 2,00 | 4,53 | 32,5 | 19,97 |
| 23 | 1769 | 5,23 | 7,11 | 6,44 | 81,3 | 71,06 |
| 46 | 1753 | 7,29 | 9,90 | 7,78 | 93,7 | 99,05 |
| 50 | 1750 | 7,36 | 10,00 | 7,84 | 93,9 | 100,00 |
| 68 | 1746 | 9,32 | 12,66 | 9,57 | 90,4 | 126,63 |
| Motor B | | | | | | |
| 0 | 1780 | 1,47 | 6,93 | 5,10 | 28,6 | 69,29 |
| 23,0 | 1765 | 5,23 | 8,32 | 6,12 | 84,7 | 83,15 |
| 46,0 | 1751 | 7,28 | 10,22 | 7,52 | 96,1 | 102,17 |
| 50,0 | 1750 | 7,36 | 10,34 | 7,61 | 96,7 | 103,40 |
| 68,0 | 1731 | 9,26 | 13,51 | 9,94 | 93,2 | 135,05 |
| Motor C | | | | | | |
| 0 | 1780 | 1,47 | 2,00 | 4,65 | 31,6 | 19,97 |
| 23,0 | 1767 | 5,23 | 7,11 | 5,99 | 87,3 | 71,06 |
| 46,0 | 1756 | 7,30 | 9,92 | 7,84 | 93,1 | 99,18 |
| 50,0 | 1750 | 7,36 | 10,00 | 7,90 | 93,2 | 100,00 |
| 68,0 | 1747 | 9,32 | 12,66 | 9,57 | 91,7 | 126,63 |

* IC - Índice de carregamento

Tabela 4. Rendimento do acoplamento geral η_G dos motores monofásicos acoplados

| Item | Rendimento (%) |
|--|----------------|
| Sistema de motores acoplados, η_s | 79,3 |
| Motor A, η_A | 93,9 |
| Motor B, η_B | 96,7 |
| Motor C, η_C | 93,2 |
| Acoplamento individual, η | 97,9 |
| Acoplamento geral, η_G | 95,8 |

verificando-se o mesmo com a opção monofásica 2 em relação ao diesel; o trifásico 2 é mais vantajoso para todos os rendimentos do acoplamento geral η_G , em relação ao monofásico 2.

A Tabela 10 aponta os resultados em valores presentes, em função do número de horas trabalhadas no ano.

Tabela 5. Valores presentes das opções de energização rural em função da variação da taxa real de juros

| Juros (%) | Monofásico 1 | Trifásico 1 | Monofásico 2 | Trifásico 2 | Diesel |
|-----------|--------------|-------------|--------------|-------------|---------|
| 6 | 123.734 | 123.458 | 153.024 | 128.706 | 274.165 |
| 8 | 99.980 | 107.387 | 128.728 | 112.538 | 221.180 |
| 10 | 82.808 | 95.570 | 111.033 | 100.627 | 182.905 |
| 12 | 70.054 | 86.617 | 97.775 | 91.584 | 154.500 |
| 14 | 60.342 | 79.645 | 87.577 | 84.524 | 132.887 |
| 16* | 52.775 | 74.076 | 79.541 | 78.871 | 116.061 |
| 18 | 46.758 | 69.525 | 73.069 | 74.239 | 102.689 |
| 20 | 41.882 | 65.732 | 67.756 | 70.367 | 91.865 |

* Caso base

Tabela 6. Valores presentes das alternativas de energização rural em função da variação do horizonte de planejamento para vida útil do projeto

| Anos | Monofásico 1 | Trifásico 1 | Monofásico 2 | Trifásico 2 | Diesel |
|------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------|
| 10 | 42.33 | 67.34 | 69.10 | 72.14 | 92.93 |
| 15 | 47.98 | 70.99 | 74.74 | 75.79 | 105.36 |
| 20 | 50.84 | 72.83 | 77.61 | 77.62 | 111.78 |
| 30* | 52.77 | 74.07 | 79.54 | 78.87 | 116.06 |
| 40 | 53.21 | 74.35 | 79.97 | 79.15 | 117.03 |
| 50 | 53.31 | 74.42 | 80.07 | 79.21 | 117.24 |

* Caso base

Tabela 7. Valor presente líquido em função da variação do aumento de energia ao ano

| % a.a | Monofásico 1 | Trifásico 1 | Monofásico 2 | Trifásico 2 | Diesel |
|-------|--------------|-------------|--------------|-------------|---------|
| 0,0* | 52.775 | 74.076 | 79.541 | 78.871 | 116.061 |
| 0,5 | 52.262 | 73.827 | 79.028 | 78.623 | 114.815 |
| 1,0 | 56.187 | 76.286 | 82.952 | 81.081 | 123.358 |
| 1,5 | 57.867 | 77.390 | 84.633 | 82.185 | 126.853 |
| 2,0 | 59.832 | 78.760 | 86.598 | 83.556 | 131.529 |

* Caso base

Tabela 8. Valor presente líquido, em reais, em função da variação da distância da propriedade à linha tronco

| km | Monofásico 1 | Trifásico 1 | Monofásico 2 | Trifásico 2 | Diesel |
|-----|--------------|-------------|--------------|-------------|---------|
| 5 | 52.775 | 62.127 | 66.265 | 571.47 | 116.061 |
| 10* | 52.775 | 74.076 | 79.541 | 78.871 | 116.061 |
| 15 | 52.775 | 86.024 | 92.817 | 100.595 | 116.061 |
| 20 | 52.775 | 97.972 | 106.093 | 122.319 | 116.061 |
| 30 | 52.775 | 121.869 | 132.644 | 165.767 | 116.061 |

* Caso base

Analisando-se a Tabela 10, conclui-se que a opção monofásica 1 é a mais vantajosa frente às demais opções, para todos os números de horas trabalhadas no ano, verificando-se o mesmo com a opção monofásica 2, no que se refere ao diesel e à trifásica 2, quando se trabalha menos de 3.000 h por ano.

CONCLUSÕES

1. O rendimento do acoplamento individual de motores em série foi de 97,9 %. Nem sempre é possível se obter este valor, a não ser que se tomem as devidas precauções para evitar perdas exageradas do rendimento aqui já citadas e que poderão inviabilizar, técnica e economicamente, o acoplamento.

2. Prova-se, por meio da análise econômica, a viabilidade do acoplamento mecânico, em série, de motores monofásicos

Tabela 9. Valores presentes, em reais, em função da variação do rendimento do acoplamento dos motores monofásicos em série

| η_G (%) | Monofásico 1 | Trifásico 1 | Monofásico 2 | Trifásico 2 | Diesel |
|--------------|--------------|-------------|--------------|-------------|---------|
| 80 | 62.077 | 74.076 | 88.843 | 78.871 | 116.061 |
| 85 | 58.769 | 74.076 | 85.534 | 78.871 | 116.061 |
| 90 | 55.836 | 74.076 | 82.602 | 78.871 | 116.061 |
| 94 | 54.752 | 74.076 | 81.518 | 78.871 | 116.061 |
| 96* | 52.766 | 74.076 | 79.531 | 78.871 | 116.061 |

* Caso base

Tabela 10. Valores presentes, e em reais, em função da variação do número de horas trabalhadas durante o ano

| h ano ⁻¹ | Monofásico 1 | Trifásico 1 | Monofásico 2 | Trifásico 2 | Diesel |
|---------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|---------|
| 1500 | 26.042 | 56.756 | 52.807 | 61.551 | 66.026 |
| 2000 | 32.725 | 61.086 | 59.491 | 65.881 | 82.704 |
| 2500 | 39.408 | 65.416 | 66.174 | 70.211 | 99.383 |
| 3000* | 52.775 | 74.076 | 79.541 | 78.871 | 116.061 |
| 4000 | 59.459 | 78.406 | 86.224 | 83.201 | 149.418 |

* Caso base

para o bombeamento de água para irrigação para a maioria das situações simuladas.

LITERATURA CITADA

- Agroanalysis. Água a commodity da virada do século. Março, IBR, Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro. 1998.
- Bernardo, S. Manual de Irrigação. 6ª edição. Viçosa, MG, UFV/Imprensa Universitária, 1995, 657p.
- CEMIG. Relatório sobre propriedades rurais com pivô central ligado em rede monofásica. Belo Horizonte, 1996. 14p.
- ELO. Manual do usuário ELO 6000, novembro, Porto Alegre; ELO Sistemas Eletrônicos S.A., 1994a.
- ELO, Manual do usuário ELO 631, agosto, Porto Alegre: ELO Sistemas Eletrônicos S.A., 1994b.
- Guia Rural, Manual Técnico de Eletrificação Rural - Sistema Monofilar com Retorno por Terra, janeiro, São Paulo: Abril, 1988.
- Kiep B. Galeria ponto de vista “ Uso da água precisa ser desburocratizado”. Presidente da Câmara Setorial de Equipamentos de Irrigação (CSEI - ABIMAQ/ SINDIMAQ) (http://www.perfuradores.com.br/ponto_06.htm), Data da consulta: 06/10/2001.
- Oliveira Filho, D.; Teixeira, C. A.; Ribeiro, M. C. Racionalização energética de um perímetro irrigado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.8, n.1, p.144-152, 2004.
- PRONI, 1998. Tempo de irrigar. Programa Nacional de Irrigação, 1998, 160 p. São Paulo, SP.
- Teixeira, C.A.; Oliveira Filho, D.; Lacerda Filho, A.F. Racionalização do uso de força motriz em fábrica de ração da Universidade Federal de Viçosa – Estudo de caso. In: Seminário Energia na Agricultura – Indicando novos caminhos para a produtividade no campo, 2, 2001. Uberaba. Anais... Fazenda Energética – Companhia Energética de Minas Gerais, 2001, Uberaba, MG.
- WEG Catálogo geral – Motores elétricos, Jaraguá do Sul – SC, 2002. 160 p.