

ANÁLISE DOS CUSTOS DE UM SISTEMA DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA COM MOTOR A ÓLEO DIESEL VERSUS À ELETRICIDADE EM PROPRIEDADE RURAL

João Luis Zocler

Depto. Ciência do Solo e Engenharia Rural - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP
zocler@agr.feis.unesp.br

José Antônio Frizzone

Depto. de Engenharia Rural - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – USP
Avenida Pádua Dias, 11 – Caixa Postal 9 – CEP 13418.900 Piracicaba, SP

RESUMO

Neste trabalho foram simulados os custos de um sistema de adução de água para suprimento de um equipamento de irrigação tipo pivô central para uma área de 65 ha. Foram simulados os custos do sistema de adução a óleo diesel, que é o existente no local, e à eletricidade, sendo considerados, neste caso, a aplicação da tarifa especial noturna para irrigantes exclusivos nos custos de bombeamento. Por fim, foram determinados os comprimentos da linha de alta tensão que permitem equivalência de custos entre os sistemas.

INTRODUÇÃO

Embora existam diversas fontes de energia para acionamento dos motores, a hidreletricidade e o diesel são as mais utilizadas no Brasil e, portanto, mais enfatizadas nos estudos envolvendo custos de sistemas de adução. O Programa Nacional de Irrigação - PRONI (1987) relata que as principais vantagens econômicas dos motores elétricos sobre os diesel de mesma potência são: a) maior economia operacional; b) maior vida útil; c) maior rendimento; d) partida instantânea nos dias mais frios; e) fácil disponibilidade de energia junto ao sistema elétrico quando o ponto de bombeamento estiver próximo ao sistema elétrico da concessionária, bastando solicitar a ligação dos equipamentos, enquanto o diesel requer gastos de transporte e armazenamento do óleo; f) funcionamento "limpo", isto é, não polui a atmosfera com gases da combustão, nem provoca poluição sonora na circunvizinhança. O motor diesel, no entanto, possui maior mobilidade que o elétrico, sendo

uma vantagem que permite ao mesmo o deslocamento por vários pontos de tomada de água. Esta vantagem, todavia, torna-se menos expressiva se o motor elétrico mais a bomba hidráulica e os dispositivos de comando, de um lado, e o transformador, de outro lado, forem acoplados às respectivas carretas móveis, cujo projeto foi desenvolvido por técnicos da Companhia Paulista de Força e Luz - CPFL. Para isso, basta construir os ramais, colocar as chaves cortacircuitos e preparar o acoplamento da carreta móvel do transformador. Com essas adaptações, foi possível atender às necessidades de irrigação de cerca de 15 plantadores de batata na região de Itatiba (SP).

Scaloppi (1985) realizou um estudo comparativo do consumo e custos com bombeamento para recalcar 1000 m³ de água a uma altura manométrica total de 1 m, para motores elétricos e de combustão interna acoplados a uma bomba hidráulica com 70% de eficiência. O rendimento assumido do motor elétrico foi 88%. Os valores de consumo e custo para os motores elétrico, diesel, gasolina e álcool hidratado a 95% foram, respectivamente: 4,42 kWh e Cr\$ 330,00 (na tarifa de consumo em baixa tensão fora do horário de pico); 1,30 dm³ e Cr\$ 1.976,00; 1,42 dm³ e Cr\$ 3.081,00; e 2,01 dm³ e Cr\$ 2.834,00. Portanto, verificou-se que os custos com bombeamento a óleo diesel, gasolina e álcool foram, respectivamente, 498%, 834%, 759% superiores ao elétrico. Segundo o autor, o elevado rendimento global dos motores elétricos associado ao reduzido custo do kWh utilizado no período fora de pico reduzem o custo de energia em muito maior proporção que qualquer outro combustível líquido utilizado.

Estudo semelhante ao realizado por Scaloppi (1985) fizeram Franke & Dorfman (1997), que analisaram o custo de acionamento de um sistema de irrigação por aspersão tipo pivô central de 69 ha, na cultura do milho, para a condição edafoclimática do Planalto do Rio Grande do Sul. Verificaram que o consumo e custo por hectare para os motores elétrico, diesel, gasolina e álcool hidratado a 95% foram, respectivamente: 1369,21 kWh e US\$ 68,31; 400,45 dm³ e US\$ 142,96; 431,69 dm³ e US\$ 277,58; e 572,79 dm³ e US\$ 331,65. Portanto, os custos de energia a óleo diesel, gasolina e álcool hidratado foram 109%, 306% e 386% superiores ao elétrico. Estas porcentagens, segundo os autores, foram bem menores que as encontradas por Scaloppi, porque em 1985 a energia elétrica era fortemente subsidiada e os preços da energia fóssil e de biomassa eram bem maiores do que os atualmente praticados.

Em 1973, com a considerável elevação dos preços do petróleo importado, a ELETROPAULO - Eletricidade de São Paulo S/A - promoveu a substituição de 400 conjuntos moto-bombas acionados a óleo diesel por conjuntos acionados à eletricidade em propriedades rurais que pertenciam a sua área de concessão, relata Gonçalves et al (1996).

Por outro lado, um estudo sobre o interesse dos proprietários ou ocupantes rurais com áreas entre 12 e 52 ha (28,73 ha em média) em ingressarem no programa de irrigação do Distrito de Santa Terezinha (MS) e, também, o tipo de energia a ser empregado foi realizado por Alves (1990). Não obstante os conjuntos a óleo diesel para as potências estudadas (20, 50, 75 e 100 hp) terem sido significativamente mais onerosos que os à eletricidade, quando ao valor dos últimos foram somados os valores da rede de distribuição, cujo comprimento médio fôra 1464 m, mais o transformador, notaram-se diferenças para menos no valor dos conjuntos a óleo diesel. Diante disso, 46,67% das propriedades que reuniam as melhores condições de adotar técnicas de irrigação empregando eletricidade, manifestaram desinteresse de ingressarem no programa. Substituindo-se a eletricidade pelo diesel, conseguiu-se um incremento de 200% no número de

propriedades rurais que reuniam condições imediatas de adesão no programa.

Melo (1993) conduziu em todo Estado de Minas Gerais um trabalho para determinar e analisar custos da irrigação em 237 sistemas de irrigação, sendo 108 do tipo convencional semiportátil, 86 do tipo pivô central e 43 do tipo autopropelido. Algumas das conclusões foram: os custos de investimento, variáveis e totais dos sistemas com motor diesel foram sempre superiores aos dos que utilizavam energia elétrica; a energia foi o item de maior participação na composição dos custos variáveis, principalmente nos sistemas com motor diesel, onde se obteve a relação custos da energia diesel / custo da energia elétrica = 4,2; a vazão total e o comprimento da adutora por unidade de área explicaram as maiores variações nos custos de investimento; e a área irrigada, horas anuais de operação e investimento por hectare foram as principais variáveis a interferir nos custos operacionais da irrigação.

Sentelhas et al (1997) estudaram a viabilidade do uso da tarifa especial de energia elétrica para irrigação noturna nas regiões Sudeste (SE), Centro-Oeste (CO) e Nordeste (NE), cujas evapotranspirações máximas (ET_m) consideradas foram 4 mm, 6 mm e 8 mm, respectivamente. Consideraram o custo do kWh e os descontos regionais concedidos aos consumidores do grupo B, ou seja, aqueles ligados em tensão inferior a 2,3 kV, cujos valores são, respectivamente para o SE, CO e NE, 60%, 67% e 73%. Nas simulações feitas para a adoção da tarifa noturna incluiu-se o custo de aquisição do registrador de energia para irrigantes, o "REP - Registrador Eletrônico Programável", especialmente utilizado para esse fim, de valor R\$ 1.500,00; bem como o custo da instalação da rede elétrica exclusiva para o registrador, com 1 km de extensão, de valor R\$ 4.000,00. Os índices econômicos utilizados foram o custo total anual por hectare (CTA/ha) e o custo de aquisição por hectare (CA/ha). Os autores verificaram que o CTA/ha e o CA/ha aumentaram com a ET_m, tanto na irrigação diurna quanto noturna. Verificaram também que as áreas irrigadas no horário noturno são inferiores às aquelas do diurno devido a menor

jornada de trabalho. Em relação ao CTA/ha, concluíram que a adoção da tarifação noturna para a irrigação se mostrou viável nas regiões CO e NE, onde houve redução de seu valor em 20% e 44%. Já em relação ao CA/ha, constataram que em todas regiões seu valor foi maior devido à instalação da rede elétrica exclusiva até o conjunto moto-bomba e à aquisição do "REP".

Diante do exposto, este trabalho teve o objetivo de simular os custos de um sistema de adução de água para suprimento de um equipamento de irrigação tipo pivô central para uma área de 65 ha. Foram simulados os custos do sistema de adução a óleo diesel, que é o existente no local, e à eletricidade, sendo considerados, neste caso, a aplicação da tarifa especial noturna para irrigantes exclusivos nos custos de bombeamento. Por fim, foram determinados os comprimentos da linha de alta tensão que permitem equivalência de custos entre os sistemas.

METODOLOGIA

O custo anual total de um sistema de adução pode ser obtido pela seguinte equação:

$$CATS = CFAS + CVAS \quad (1)$$

sendo: CFAS - custo fixo anual do sistema (\$);
CVAS - custo variável anual do sistema (\$).

Custo fixo anual total do sistema

O custo fixo anual do sistema pode ser obtido pela equação:

$$CFAS = CSN \cdot \left\{ \frac{r \cdot \left\{ 2(1-R) + \left[(1+r)^{PA} - 1 \right] \cdot (1+R) \right\}}{2 \left[(1+r)^{PA} - 1 \right]} \right\} \quad (2)$$

sendo: CSN - custo de aquisição do sistema novo (\$); R - fração do custo de aquisição do sistema novo após o período de amortização. Este parâmetro é de difícil previsão, porém

está diretamente relacionado com o desgaste físico e avarias, devido à intensidade de uso do sistema, e com a obsolescência tecnológica do mesmo; r - taxa de juros anual; PA - período de amortização do sistema (anos).

A Equação (2) permite o cálculo da depreciação do sistema pelo método do fundo de amortização (Coelho, 1979); e a remuneração do capital investido com base no capital médio empatado, para que os juros sejam os mesmos em qualquer ano.

O custo do sistema novo, para conhecimento do investimento inicial, é obtido por:

$$CSN = CCH + COCC + CLEE \text{ ou } CMCA \quad (3)$$

sendo: CCH - custo dos componentes hidráulicos (\$); COCC - custo das obras de construção civil para o sistema (\$); CLEE - custo da linha e equipamentos elétricos (\$) para bomba hidráulica acionada por motor elétrico; CMCA - custo do motor à combustão e acessórios (\$) para bomba hidráulica acionada por motor à combustão (diesel).

O custo dos componentes hidráulicos do sistema é obtido por:

$$CCH = CTs + CTr + CBH \quad (4)$$

sendo: CTs - custo da tubulação de sucção (\$); CTr - custo da tubulação de recalque (\$); CBH - custo da bomba hidráulica (\$).

O custo da linha e equipamentos elétricos de um sistema adutor pode ser obtido por:

$$CLEE = CTE + CCP + CME + CAE + CLAT \quad (5)$$

sendo: CTE - custo do transformador (\$); CCP - custo do comando de partida (\$); CME - custo do motor elétrico (\$); CAE - custo dos acessórios elétricos (isoladores, conectores, cabos, eletrodutos, hastes de aterramento e outros mais); CLAT - custo da linha de alta tensão (\$), obtido por:

$$CLAT = LLAT \cdot CMLAT \quad (6)$$

sendo: LLAT - comprimento da linha de alta tensão (m), ou seja, distância entre a estação de bombeamento e a linha-tronco de alta ten-

são no ponto de derivação; CMLAT - custo médio da linha de alta tensão (\$/m).

No custo das obras de construção civil foram considerados somente o custo da vala de assentamento da tubulação de recalque e o custo da casa de bombas.

Custo variável anual do sistema

O custo variável anual do sistema pode ser obtido por:

$$CVAS = CABO + CAMR \quad (6)$$

sendo: CABO - custo anual de bombeamento (\$); CAMR - custo anual com manutenção e reparos (\$), que para o sistema com bomba hidráulica acionada por motor à combustão e para o sistema com bomba hidráulica acionada por motor elétrico são obtidos, respectivamente, por:

$$CAMR = \left[f_{TAH} \cdot (CTs + CTr) + f_{BH} \cdot CBH + f_{MCA} \cdot CMCA + f_{OCC} \cdot COCC^* \right] \cdot \frac{TFa}{2000} \quad (7)$$

$$CAMR = \left[f_{TAH} \cdot (CTs + CTr) + f_{BH} \cdot CBH + f_{ME} \cdot CME + f_{EE} \cdot CEE + f_{LAT} \cdot CLAT + f_{OCC} \cdot COCC^* \right] \cdot \frac{TFa}{2000} \quad (8)$$

sendo: f_{TAH} - fração do custo da tubulação e acessórios novos gasto anualmente com manutenção e reparos para 2000 horas de operação, considerado 0,005, conforme o PRONI (1987); f_{BH} - fração do custo da bomba hidráulica nova gasto anualmente com manutenção e reparos para 2000 horas de operação, considerado 0,04 - PRONI (1987); f_{MCA} - fração do custo do motor à combustão e acessórios novos gasto anualmente com manutenção e reparos para 2000 horas de operação, considerado 0,065 - PRONI (1987); f_{OCC} - fração do custo das obras de construção civil gasto anualmente com manutenção e reparos para 2000 horas de operação, considerado 0,01 - PRONI (1987); f_{ME} - fração do custo do motor elétrico novo gasto anualmente

com manutenção e reparos para 2000 horas de operação, considerado 0,02 - PRONI (1987); f_{EE} - fração do custo dos equipamentos elétricos (exceto o motor elétrico) e acessórios novos gasto anualmente com manutenção e reparos, considerado 0,005; f_{LAT} - fração do custo da linha de alta tensão gasto anualmente com manutenção e reparos, considerado 0,005 para 2000 horas de operação; TFa - tempo de funcionamento anual do sistema de adução (h); $COCC^*$ - custo das obras de construção civil (\$), exclusive a vala para assentamento da adutora (abertura e fechamento).

O custo anual de bombeamento para bombas acionadas por motor à combustão é obtido pela equação:

$$CABO = CC_u \cdot C_u C \cdot TFa \cdot \left(\frac{Q \cdot HM \cdot \gamma}{\eta_{BH}} \right) \quad (9)$$

sendo: CC_u - consumo médio de combustível (diesel) do motor por unidade de potência nominal por tempo de operação ($m^3/W.h$); $C_u C$ - custo da unidade de combustível (\$/ m^3); TFa - tempo de funcionamento anual do sistema (h); Q - vazão do sistema (m^3/s); HM - altura manométrica total do sistema (m); γ - peso específico da água, considerado 9800 N/ m^3 ; η_{BH} - rendimento da bomba hidráulica.

O custo anual de bombeamento para bombas acionadas por motor elétrico é obtido pela equação:

$$CABO = FD + FC + AJ \quad (10)$$

sendo: FD - faturamento anual da demanda (\$); FC - faturamento anual do consumo (\$); AJ - ajuste anual referente ao fator de potência (\$).

Como foi previsto a aquisição de um banco de capacitores para o sistema, a fim de se obter isenção do ajuste anual referente ao fator de potência (AJ), não se considerou o referido termo.

Assumiu-se que a tarifa de energia elétrica aplicada ao sistema é a convencional, que corresponde às unidades consumidoras do Grupo A, atendidas em tensão inferior a 69 kV e com demanda menor do que 500 kW.

Sendo assim, o faturamento da demanda é obtido pela equação:

$$FD = (12 - d).DM.TDc + 0,10.d.DM.TDc \quad (11)$$

sendo: TDc - tarifa de demanda convencional (\$/kW); d - número de meses completos por ano que o sistema de adução fica desligado e, com isso, ocorre faturamento de demanda correspondente a 10% da maior demanda medida nos últimos 11 meses, ou seja a própria DM, pois o motor e equipamentos elétricos são exclusivos para acionamento da bomba hidráulica. Portanto, verifica-se que a Equação (11) somente se aplica se $d \leq 11$; DM - demanda medida (kW), obtida pela equação:

$$DM = \frac{Q.HM.\gamma}{1000.\eta_{ME}.\eta_{BH}} \quad (12)$$

sendo: η_{ME} - rendimento do motor elétrico.

O faturamento do consumo pode ser calculado com ou sem o benefício da Portaria 105 do DNAEE, de 3 de abril de 1992, que concede descontos especiais para os consumidores do Subgrupo A4, no qual incluem-se os rurais. Tais descontos incidem somente sobre o consumo de energia elétrica entre 23 e 5 h, sendo necessário exclusividade para irrigação, ou seja, a rede elétrica para o sistema de irrigação deve ser independente das demais da propriedade, além do que os equipamentos de medição e controle da energia fornecida ficam a cargo do consumidor. Os descontos variam conforme a região do país, sendo igual a 90% para o Nordeste e regiões geoeconômicas denominadas Vale do Jequitinhonha e Polígono da Seca, no Estado de Minas Gerais; 80% para o Norte e Centro-Oeste e demais regiões do Estado de Minas Gerais; e 70% para as demais regiões do país.

O faturamento do consumo sem o benefício da Portaria 105 do DNAEE é obtido pela equação:

$$FC = TCc.CMa \quad (13)$$

sendo: TCc - tarifa de consumo convencional (\$/kWh); CMa - consumo anual medido (kWh), obtido pela equação:

$$CMa = DM.TFd.NDa \quad (14)$$

sendo: TFD - tempo médio de funcionamento diário do sistema de adução (h); NDa - número de dias por ano de funcionamento do sistema de adução.

O faturamento do consumo com o benefício da Portaria 105 do DNAEE é obtido pela equação:

$$FC = TCc.(CMa - CMahe.fdtc) \quad (15)$$

sendo: fdtc - fração de desconto sobre a tarifa de consumo; CMahe - consumo anual medido (kWh) no horário especial para irrigantes (23 às 5 h), obtido por:

$$CMahe = DM.TFdhe.NDa \quad (16)$$

sendo: TFDhe - tempo médio de funcionamento diário do sistema de adução no horário especial para irrigantes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados das condições locais foram obtidos da Fazenda Santa Clarisse, Município de Pereira Barreto (SP). A pesquisa de preços dos equipamentos, construção, combustível e tarifas de energia elétrica foi realizada entre setembro de 1996 e fevereiro de 1997, período em que os preços mantiveram-se relativamente estáveis.

Valores dos parâmetros, utilizados tanto no sistema a óleo diesel como no sistema à eletrecidade:

- Fração do custo do sistema novo após o período de amortização (R): 0,10;
- Período de amortização (PA): 10 anos;
- Taxa de juros anual (r): 0,065 ou 6,5%;
- Comprimento da linha de sucção: 12 m;
- Diâmetro da linha de sucção: 300 mm;
- Comprimento da linha de recalque: 552 m;
- Diâmetro da linha de recalque: 300 mm;
- Coeficiente de rugosidade médio da fórmula de Hazen-Williams dos tubos

do recalque e sucção (aço galvanizado): 115;

- Vazão do sistema (Q): 245,19 m³/h;
- Altura de recalque: 21 m;
- Carga manométrica necessária no final da adutora: 48,85 m;
- Rendimento da bomba hidráulica (η_{BH}): 0,78;
- Área da casa de bomba: 14 m²;
- Profundidade da vala de assentamento da tubulação da adutora: 1,30 m;
- Largura da vala: 1,00 m;
- Acessórios: 2 curvas de 60° (recalque); 3 curvas de 90° (1 para a sucção e 2 para o recalque); 1 luva cônica concêntrica (recalque); 1 luva cônica excêntrica (sucção); 1 registro de gaveta; 1 válvula de pé com crivos para sucção; 1 válvula de retenção flangeada com "by-pass".

Para o sistema de adução a óleo diesel também foram considerados os seguintes parâmetros:

- Consumo médio de combustível (diesel) do motor por unidade de potência útil por hora (CC_u): $3,020408 \times 10^{-7}$ m³/W.h (tabela de equivalência de consumo: motores diesel versus motores elétricos - CESP / CPFL / ELETROPAULO);
- Tempo de funcionamento anual do sistema: 2400 h;

Para o sistema de adução à eletricidade foram considerados os seguintes parâmetros:

- Custo médio da linha de alta tensão com postes de eucalipto tratados (9 e 10 m) e cabos CAA de 21,2 mm² (PMLAT): 7,60 US\$/m - Companhia Paulista de Força e Luz - CPFL;
- Comprimento da linha de alta tensão (LLAT): 1800 m;
- Rendimento do motor elétrico (η_{ME}): 0,91;
- Fator de potência do motor elétrico ($\cos \phi$): 0,85;

- Número de meses completos por ano que o sistema de adução fica desligado (d): 4;
- Tempo médio de funcionamento diário do sistema de adução (TFd): 20 h;
- Número de dias por ano de funcionamento do sistema de adução (NDa): 120.

No caso da utilização do sistema com o benefício da Portaria 105 do DNAEE também são considerados os seguintes parâmetros:

- Tempo médio de funcionamento diário do sistema de adução no horário especial para irrigante (TFdhe): 6 h;
- Tempo médio de funcionamento diário do sistema de adução no horário complementar ao horário especial para irrigante (TFdhe): 14 h;
- Fração de desconto da tarifa de consumo de energia elétrica (fdtc): 0,70.

A composição e os custos de aquisição (CSN) do sistema a óleo diesel e à eletricidade podem ser vistos na Tabela 1, na qual verifica-se que, para os parâmetros considerados, o sistema a óleo diesel apresentou custo 10,4% e 7,8% superior ao sistema à eletricidade sem e com o REP (Registrador Eletrônico Programável), respectivamente.

O comprimento da linha de alta tensão que equivaleria o custo de aquisição do sistema novo é obtido da seguinte maneira:

i. sem o REP:

$$CSN_d = CSN_e + LLAT.CMLAT \quad (17)$$

sendo: CSN_d - custo de aquisição do sistema a óleo diesel, cujo valor é R\$ 68.579,42 (Tabela 1); CSN_e - custo de aquisição do sistema à eletricidade sem a linha de alta tensão e sem o REP, cujo valor é R\$ 48.434,61 (Tabela 1, deduzido o valor correspondente à "linha de alta tensão" constante da tabela);

ii. com o REP:

$$CSN_d = CSN_e + CREP + LLAT.CMLAT \quad (18)$$

sendo: CREP - custo do registrador eletrônico programável, cujo valor é R\$ 1.500,00.

Tabela 1. Composição e os custos de aquisição do sistema a óleo diesel e à eletricidade.

Item do Sistema	Sistema a Óleo Diesel		Sistema à Eletricidade*	
	Composição	Custo (R\$)	Composição	Custo (R\$)
Tubulação de sucção	1 válv. sucção 300 mm; 1 curva 90° 300 mm; 1 luva cônica excêntrica 300 x 200 mm; 2 tubos 300 mm.	927,00	1 válv. sucção 300 mm; 1 curva 90° 300 mm; 1 luva cônica excêntrica 300 x 200 mm; 2 tubos 300 mm.	927,00
Tubulação de recalque	1 luva cônica conc. 300 x 150 mm; 1 válvula retenção 300 mm; 1 válv. gaveta 300 mm; 2 curvas 60° 300 mm; 2 curvas 90° 300 mm; 92 tubos 300 mm.	20 482,74	1 luva cônica conc. 300 x 150 mm; 1 válvula retenção 300 mm; 1 válv. gaveta 300 mm; 2 curvas 60° 300 mm; 2 curvas 90° 300 mm; 92 tubos 300 mm.	20 482,74
Bomba hidráulica	1 bomba multiestágio, 65,8 cv, 125/2, rotor 295 mm, sucção 200 mm, recalque 150 mm, rendimento 78% (real).	10 126,64	1 bomba multiestágio, 65,8 cv, 125/2, rotor 295 mm, sucção 200 mm, recalque 150 mm, rendimento 78% (real).	10 126,64
Motor diesel e acessórios	1 motor diesel MWM, TD 229 -6, 112 cv.	32 516,70	—	—
Motor elétrico	—	—	1 motor trifásico 60 Hz, 1800 rpm, 220/380 V, classe "B", 100 cv, rendimento 91% (real), cos ϕ 0,85 (real)..	3 091,97
Banco de capacitores	—	—	1 banco capac. trifásico 380 V, 20.000 VAR.	273,62
Chave de partida	—	—	1 ch. partida compensadora 380 V (triângulo), 100 cv.	4 946,30
Transformador elétrico	—	—	1 transformador elétrico trifásico classe 15 kV, 112.500 VA.	2 800,00
Acessórios elétricos	—	—	acessórios elétricos: isoladores; eletrodutos; conectores; hastes de aterramento; cabos; etc.	1 260,00
Linha de alta tensão	—	—	1 linha de alta tensão de 1800 m, padrão CPFL.	13 680,00
Obras de const. civil	1 casa de bombas de 14,00 m ² , acabamento rústico.	4 526,34	1 casa de bombas de 14,00 m ² , acabamento rústico.	4 526,34
TOTAL	—	68 579,42	—	62 114,61

* Para o sistema de adução à eletricidade com o benefício da Portaria 105 do DNAEE, ou seja, desconto especial sobre o consumo para o irrigante exclusivo, acrescenta-se o custo de aquisição do registrador eletrônico programável (CREP), cujo valor é R\$ 1.500,00.

Substituindo-se os valores nas Equações (17) e (18) obtém-se os comprimentos das linhas de alta tensão iguais a 2650,63 m e 2453,26 m, ou seja, com estes comprimentos o proprietário desembolsaria o mesmo capital inicial para se ter o sistema acionado a óleo diesel ou à eletricidade sem ou com o benefício da Portaria 105 do DNAEE, respectivamente.

Embora o investimento inicial seja um fator muito importante, e em muitos casos é o que exerce mais influência na decisão do proprietário sobre o tipo de acionamento do sistema, a análise econômica mais consistente, contudo, deve ser feita com base no custo anual total, que considera custos fixos e variáveis com a quantidade de utilização do sistema. As Tabelas 2 e 3 apresentam o custo anual total do sistema (CATS), nas quais se verifica que o sistema a óleo diesel foi 54,5% e 69,9% superior ao elétrico sem e com o benefício da Portaria 105 DNAEE, respectivamente. Se em relação ao CSN as diferenças foram de 10,4% e 7,8% (Tabela 1), em relação ao CATS a desvantagem do sistema a óleo diesel ficou ainda maior, pois seus custos variáveis, ou sejam, CABO e CAMR, foram superiores 63,9% e 97,4% (para o CABO), e 263,9% e 260,2% (para o CAMR) para o sistema à eletricidade sem e com o benefício da Portaria 105 do DNAEE, respectivamente. Além da vantagem do sistema à eletricidade, verifica-se, também, que o sistema operando com o benefício da Portaria 105 do DNAEE apresentou CATS 9,9% menor, o que o tornou a melhor opção, fato não ocorrido se fosse considerado somente o investimento inicial.

O comprimento da linha de alta tensão que equivaleria ao custo anual total do sistema é obtido da seguinte maneira:

- i. sem o benefício da Portaria 105 do DNAEE:

$$CATS_d = CATS_e + LLAT.CMLAT.(F + f_{LAT}) \quad (19)$$

sendo: $CATS_d$ - custo anual total do sistema a óleo diesel, cujo valor é R\$ 27.158,44 (Ta-

bela 2); $CATS_e$ - custo anual total do sistema à eletricidade sem a linha de alta tensão e sem o benefício da Portaria 105 do DNAEE, cujo valor é R\$ 16.088,76 (Tabela 2, deduzido o valor correspondente à “linha de alta tensão” constante da tabela); F - fator de amortização e remuneração do capital investido, que corresponde ao termo entre parênteses da Equação (2), cujo valor é 0,102444;

- ii. com o benefício da Portaria 105 do DNAEE:

$$CATS_d = CATS_e + LLAT.CMLAT.(F + f_{LAT}) \quad (20)$$

sendo: $CATS_e$ - custo anual total do sistema à eletricidade sem a linha de alta tensão e com o benefício da Portaria 105 do DNAEE, cujo valor é R\$ 14.500,34 (Tabela 3, deduzido o valor correspondente à “linha de alta tensão” constante na tabela).

Substituindo-se os valores nas Equações (19) e (20) obtém-se os comprimentos das linhas de alta tensão iguais a 13556,24 m e 15501,47 m, ou seja, com estes comprimentos tanto faria o sistema ser a óleo diesel como à eletricidade sem e com o benefício da Portaria 105 do DNAEE, respectivamente, que seu custo anual total seria o mesmo. Com isso, os demais aspectos não quantificados, como versatilidade, assistência técnica e outros mais, é que serviriam de parâmetro para a decisão do mais adequado. Todavia, o custo do sistema novo seria R\$ 151.462,03 e R\$ 152.962,03 (sem e com o benefício da Portaria 105 do DNAEE), ou seja, 120,9% e 123,0% superior ao sistema a óleo diesel. Com este custo de aquisição expressivamente superior, seria provavelmente difícil convencer o proprietário a optar pelo sistema à eletricidade, mesmo que o comprimento real da linha de alta tensão fosse razoavelmente menor que estes valores.

Tabela 2. Custos anuais do sistema de adução a óleo diesel.

Tipo de Custo	Discriminação	Valor (R\$)
Custo Fixo Anual	Tubulação de sucção	94,97
	Tubulação de recalque	2 098,34
	Bomba hidráulica	1 037,42
	Motor diesel e acessórios	3 331,15
	Obras de construção civil	463,70
	Total (CFAS)	7 025,57
Custo Anual com Manutenção e Reparos	Tubulação de sucção	5,56
	Tubulação de recalque	122,90
	Bomba hidráulica	486,08
	Motor diesel e acessórios	2 536,30
	Obras de construção civil	54,32
	Total (CAMR)	3 205,16
Custo Anual de Bombeamento	—	16 927,71
Custo Anual - Total do Sistema	—	27 158,44

Tabela 3. Custos anuais do sistema de adução à eletricidade sem e com o benefício da Portaria 105 do DNAEE.

Tipo de Custo	Discriminação	Valor (R\$)	
		Elétrico _s	Elétrico _c
Custo Fixo Anual	Tubulação de sucção	94,97	94,97
	Tubulação de recalque	2 098,34	2 098,34
	Bomba hidráulica	1 037,42	1 037,42
	Motor elétrico	316,75	316,75
	Banco de capacitores	28,03	28,03
	Chave de partida	506,72	506,72
	Transformador elétrico	286,84	286,84
	Acessórios elétricos	129,08	129,08
	Linha de alta tensão	1 401,44	1 401,44
	Registrador eletrônico programável	—	153,67
	Obras de construção civil	463,70	463,70
	TOTAL (CFAS)	6 363,29	6 516,96
Custo Anual com Manutenção e Reparos	Tubulação de sucção	5,56	5,56
	Tubulação de recalque	122,90	122,90
	Bomba hidráulica	486,08	486,08
	Motor elétrico	74,21	74,21
	Banco de capacitores	1,64	1,64
	Chave de partida	29,68	29,68
	Transformador elétrico	16,80	16,80
	Acessórios elétricos	7,56	7,56
	Linha de alta tensão	82,08	82,08
	Registrador eletrônico programável	—	9,00
	Obras de construção civil	54,32	54,32
	TOTAL (CAMR)	880,83	889,83
Custo Anual de Bombeamento	Demanda	1 989,64	1 989,64
	Consumo no horário normal	8 338,52	5 836,96
	Consumo no horário especial	—	750,47
	TOTAL (CABO)	10 328,16	8 577,07
Custo Anual Total do Sistema	—	17 572,28	15 983,86

CONCLUSÕES

Conforme as condições consideradas e a metodologia adotada, a análise de custos entre o sistema de adução de água a óleo diesel e o sistema à eletricidade permitiu concluir que:

- o sistema a óleo diesel apresentou custo de aquisição 10,4% e 7,8% superior ao sistema à eletricidade sem e com o REP;
- os comprimentos das linhas de alta tensão que equivaleriam ao custo de aquisição do sistema sem e com o REP seriam 2650,63 m e 2453,26 m;
- o sistema a óleo diesel apresentou custo anual total 54,5% e 69,9% superior ao elétrico sem e com o benefício da Portaria 105 do DNAEE;
- os comprimentos das linhas de alta tensão que equivaleriam ao custo anual total do sistema sem e com o benefício da Portaria 105 do DNAEE seriam 13556,24 m e 15501,47 m;
- para o comprimento da linha de alta tensão igual a 1800 m, que é a situação considerada na propriedade, o sistema à eletricidade com o benefício da Portaria 105 do DNAEE é a opção econômica mais viável.

REFERÊNCIAS

- ALVES, C. B. 1990, *Parâmetros energéticos na elaboração de programa de irrigação para o distrito de Santa Terezinha - MS*. Botucatu, 122p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".
- BRASIL. 1987, Ministério da Irrigação. Programa Nacional de Irrigação - PRONI. *Tempo de irrigar: manual do irrigante*. São Paulo: Mater, 160p.
- COELHO, S. T. 1979, *Matemática financeira e análise de investimentos*. São Paulo: EDUSP, 279p.
- FRANKE, A. E.; DORFMAN, R. 1997, Análise comparativa dos custos de acionamento dos conjuntos motobomba através da energia elétrica, fóssil ou biomassa. (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA RURAL, 26. Campina Grande: SBEA.
- GONÇALVES, M.; OKAMOTO, T.; IGAWA, K. A. 1986, Uma experiência da Eletropaulo com irrigação. In: CONFERÊNCIA LATINO AMERICANA DE ELETRIFICAÇÃO RURAL, 11. Curitiba, *Anais*. Curitiba: 1986. p.815-30.
- MELO, J. F. 1993, *Custos da irrigação por aspersão em Minas Gerais*. Viçosa, 147p. Dissertação (M.S.) - Universidade Federal de Viçosa.
- SENTELHAS, P. C.; FIGUEIREDO, S. F.; COELHO, R. D. 1997, Viabilidade econômica do uso da tarifa noturna de energia elétrica para irrigação em regiões com diferentes demandas evapotranspirativas. (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA RURAL, 26. Campina Grande: SBEA.
- SCALOPPI, E. J. 1985, Exigências de energia para irrigação. *ITEM - Irrigação e Tecnologia Moderna*, Brasília, n.21, p.13-7, Jun.

Costs Analysis of a Diesel and Electric Power Water Pumping System in Brazilian Rural Areas

ABSTRACT

In this paper it was simulated the diesel and electric power water pumping system costs to supply a center pivot irrigation system for a 65 ha area. It was simulated the diesel pumping system cost (in use) and the electric power pumping system cost, considering the Brazilian special nocturnal rate for the irrigation pumping purpose. Finally, it was determined the high voltage line length to reach equivalent costs between both systems.