

Dimensionamento e análises de sistemas energéticos para irrigação em fazendas no estado de Minas Gerais

Dimensioning and analysis of energy systems for irrigation in farms in Minas Gerais state

Gabriel de Souza Freitas

Universidade Federal de Itajubá

E-mail: gsfreitas2013@gmail.com

João Vitor de Almeida Moraes Araújo

Universidade Federal de Itajubá

E-mail: araujojva@outlook.com

Rafael Balbino Cardoso

Universidade Federal de Itajubá

E-mail: cardosorb@unifei.edu.br

Rafael Emílio Lopes

Universidade Federal de Itajubá

E-mail: lopes.unifei@gmail.com

Tarcísio Gonçalves de Brito

Universidade Federal de Itajubá

E-mail: tgbrito@unifei.edu.br

Recebido: 22/03/2017 – Aceito: 19/04/2017

Resumo

O presente estudo consiste em analisar os pontos de vista energéticos, econômicos e ambientais os sistemas de acionamento utilizados para irrigação em áreas agrícolas no estado de Minas Gerais (MG). Realizando-se análises de viabilidade econômica e impactos ambientais de cada forma de acionamento utilizada nos sistemas para irrigação, será avaliado qual o acionador primário mais indicado para o estudo de caso avaliado, em uma área agrícola em Minas Gerais, considerando-se o acionamento do conjunto motobomba diretamente por meio da rede elétrica, motor diesel e energia fotovoltaica, tanto on grid quanto off grid. Será visto que o uso da rede elétrica para acionar o conjunto motobomba do sistema de irrigação é o acionador primário mais indicado para o estudo de caso realizado, por apresentar custos totais anuais muito menores que os demais, e os sistemas fotovoltaicos são os mais benéficos

com relação aos impactos ambientais, pois sua utilização não resulta em poluição ambiental. Com relação ao uso do motor diesel, o preço do diesel torna muito caro seu uso, além de gerar altos níveis de emissão de CO₂ na atmosfera.

Palavras-chave: Acionadores primários, conjunto motobomba, análise de viabilidade econômica, impactos ambientais, custos totais anuais.

Abstract

This study consists of an analyzing from the energy, economic and environmental points of view the acionament systems used for irrigation in agricultural areas in the state of Minas Gerais (MG). By performing analysis of economic feasibility and environmental impacts of each form of drive used in systems for irrigation, will be evaluated the most appropriate primary drive for the case study evaluated in an agricultural area in Minas Gerais, considering the drive motor pump linked directly in the power grid, diesel motor and fotovoltaic energy, both on grid and off grid. It will be seen that the use of the electrical network to trigger the irrigation system's motopump set is the most indicated primary drive for the realized case study, because it presents total annual costs much lower than the others, and the fotovoltaic systems are the most beneficial ones in relation to environmental impacts, because their use doesn't result in environmental pollution. In relation to the use of the diesel engine, the price of the diesel renders its use very expensive, besides generating high levels of CO₂ into the atmosphere

Keywords: Primary drives, motorpump set, analysis of economic feasibility, environmental impacts, total annual costs.

1. Introdução

A agricultura é uma atividade muito representativa na economia brasileira, sendo uma das que apresentam grande crescimento econômico no país, tanto por meio da geração das matérias primas, quanto por meio da produção de alimentos para o consumo da população.

O uso da irrigação é muito importante para a atividade agrícola, sendo essencial para o processo e um dos fatores determinantes da produtividade a ser alcançada, já que, a água é responsável pelo transporte e absorção de nutrientes. Tem-se que 62% de toda irrigação mundial utiliza água oriunda de reservas superficiais, e os demais de reservas subterrâneas (FGV, 2016).

A tendência para os próximos anos é que os sistemas de irrigação continuem em

crecente expansão. A irrigação é o uso que mais demanda água no Brasil, tendo uma demanda de 1.270 m³/s, o que corresponde a 54% do total de água consumida, segundo a Agência Nacional de Águas, ANA (2015). Na Tabela 01 a seguir, é possível observar a distribuição do uso de água no Brasil, por setores.

Tabela 01 – Uso da água por setor (dados de 2010)

Uso	Vazão (m ³ /s)	Percentual (%)
Abastecimento Urbano	522	22
Abastecimento Rural	34,5	1
Dessedentação Animal	151,6	6
Irrigação	1.270	54
Industrial	395	17
Total	2.373	100

Fonte: ANA (2015)

Os recursos hídricos são essenciais para a atividade agrícola, visto que a mesma é totalmente dependente da irrigação. No entanto, deve-se destacar também a dependência e importância dos sistemas energéticos para o aumento da produtividade, visto que os sistemas de irrigação necessitam de energia para o seu funcionamento. A Tabela 02, a seguir, mostra os dados do consumo energético da irrigação entre os anos de 2003 a 2015, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL (2015).

Tabela 02 – Consumo, número de unidades consumidoras e participação da irrigação no consumo de energia total

Ano	Consumo de Energia Elétrica (em MWh)	Número de Unidades Consumidoras	Participação da Irrigação no consumo de energia total (em %)
2003	2.404.551	340.205	0,9
2004	2.633.514	606.598	0,99
2005	2.813.281	407.381	1,11
2006	2.839.414	454.818	1,13
2007	3.602.343	523.691	1,37
2008	3.794.894	519.346	1,36
2009	3.329.339	557.799	1,16
2010	4.100.788	620.327	1,36
2011	4.106.475	685.959	1,32
2012	5.009.293	761.666	1,58
2013	5.244.826	865.794	1,59
2014	5.551.228	990.184	1,6
2015	5.068.577	1.055.441	1,6

Fonte: ANEEL (2015)

Através de uma análise à tabela percebe-se que com o crescimento da produção agrícola houve, conseqüentemente, um aumento do consumo de energia elétrica necessário para a execução das atividades de irrigação.

Outra característica interessante que pode ser observada na Tabela 02 é que no ano de 2015 houve uma queda no consumo de energia quando comparado ao ano de 2014, fato esse que pode ser explicado pelo crescimento abrupto do consumo no ano de 2012 quando comparado ao ano de 2011.

Existem várias formas de realizar a irrigação, e segundo Andrade (2001) os principais métodos são: a irrigação por aspersão, irrigação por superfície, irrigação localizada e a subirrigação. Vale ressaltar que a diversidade dos sistemas de irrigação utilizados se dá em função da grande variação de solos, climas, culturas, condições ambientais no geral e condições socioeconômicas, além da disponibilidade de energia nos locais. O sistema de irrigação escolhido deve ser aquele que melhor se adapta à todas essas variáveis citadas anteriormente.

Segundo Andrade (2001), a irrigação por aspersão consiste na aplicação de jatos da água no ar, que caem como forma de chuva sobre a cultura. Dentre as vantagens apresentadas por esse método, tem-se que ele é facilmente adaptável às diversas condições de solo, culturas e topografia. Como desvantagem tem-se que a principal é que ele pode sofrer influências das condições climáticas como vento e umidade. Na figura 01, a seguir, tem-se a representação do método.

Figura 01 – Irrigação por Aspersão



Fonte: EMATER (2014)

Após a escolha do método de irrigação compatível com as condições citadas anteriormente, é necessário o dimensionamento do sistema de acionamento da irrigação. Geralmente são utilizados conjuntos motobomba para o funcionamento da irrigação.

Os acionadores primários, para conjuntos motobomba, são responsáveis por disponibilizar a energia necessária para a irrigação de uma determinada cultura. Essa energia demandada é em função das características de relevo, solo, planta, clima entre outros, (ANDRADE, 2001).

Assim, a demanda de energia do setor agropecuário é restrita basicamente à 3 fontes de energia: óleo diesel, eletricidade e lenha, segundo a Empresa de Pesquisa Energética, EPE (2016). Há também outras fontes de energia, tais como o gás liquefeito de petróleo (GLP), carvão vegetal e gás natural, mas apresentam uso reduzido devido ao alto custo dessas matérias e ao custo operacional, entretanto o diesel é a principal fonte, tendo seu uso em 58%.

Nesse sentido, o objetivo do estudo é dimensionar o conjunto motobomba para um sistema de irrigação em uma localidade exemplo, uma fazenda de batatas no sul de Minas Gerais, e verificar a melhor opção de acionadores primários dos pontos de vista econômico e ambientais. Os acionadores avaliados são: elétrico, diesel e fotovoltaico (*grid tie* e *off grid*).

2. Dimensionamento do conjunto Motobomba

O trabalho foi baseado em um estudo de caso com relação ao cultivo de batata em uma propriedade rural de 7,1 hectares na cidade de Maria da Fé – MG. Abaixo tem-se as características físicas da região:

- Desnível total: 35 m (diferença de cota entre o eixo da bomba e o ponto mais elevado a ser atendido pela bomba).
- Comprimento vertical: 228 m
- Comprimento horizontal: 320 m
- Declividade média: 0,21 m/m

2.1 Obtenção da vazão de Irrigação e altura Manométrica

Segundo Bernardo (1989), a obtenção da vazão de irrigação é conforme a equação (1):

$$Q = 2,78 \cdot \frac{A \cdot IRN}{E \cdot PI \cdot TI \cdot n} \quad (1)$$

Na tabela abaixo tem-se os dados utilizados e o valor da vazão de irrigação obtido:

Tabela 03 – Dados utilizados e resultado do cálculo da vazão de irrigação

Dados	A	7,1 há
	IRN	50,4 mm
	E	80%
	PI	35,5 dias
	TI	6,3 horas/posição
	N	2
Resultados	Q	0,011 m ³ /s

Fonte: Elaboração dos próprios autores do projeto

Com a obtenção da vazão, foi possível determinar-se o diâmetro das linhas primárias e secundárias utilizadas no sistema, pela aplicação da equação de Bresse, como cita Thomas (1949):

$$D = K\sqrt{Q} \quad (2)$$

Onde tem-se que K – Coeficiente de Bresse ($0,8 \leq K \leq 1,3$); Q – vazão de irrigação (l/s).

Tendo-se o diâmetro das linhas de distribuição de água, calculou-se a altura manométrica por meio das equações (3) a (6), conforme cita Howe (1939) e Sun (2015):

$$H = H_0 + \frac{Pr - Ps}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g} + H_{pl} + H_{pd} \quad (3)$$

Sendo:

$$H_{pd} = \frac{f \cdot L \cdot 8 \cdot Q^2}{D^5 \cdot g \cdot \pi^2} \quad (4)$$

$$Re = \frac{D \cdot V}{\nu} \quad (5)$$

$$f = \left[2. \log \left(0,27 \cdot \frac{e}{D} + \frac{2,51}{\text{Re} \cdot \sqrt{0,4 \cdot (\text{Re})^{0,3} + 0,0053}} \right) \right]^2 \quad (6)$$

Na tabela a seguir tem-se os dados utilizados e o valor de altura manométrica obtido:

Tabela 04 - Dados utilizados e resultado do cálculo da altura manométrica

Dados	H ₀	35 m
	P _r	3 atm
	O _s	0
	V ₁	1,2 m/s
	V ₂	2,8 m/s
	H _{pl}	6 m
	H _{pd}	10 m
Resultados	H _{man}	70 m

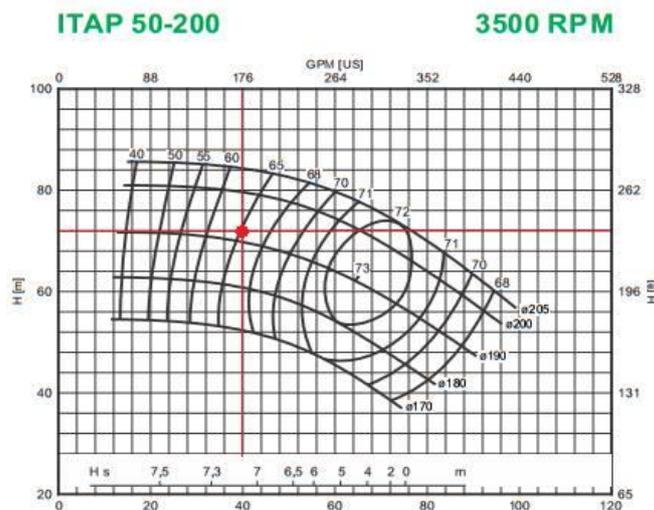
Fonte: Elaboração dos próprios autores do projeto

Dessa forma, de acordo com as formulações demonstradas, obteve-se uma vazão de irrigação igual a 0,011m³/s (aproximadamente 40m³/hr) e altura manométrica igual a 70 m.

2.2 Dimensionamento da bomba e do motor

Após obtidos os dados da vazão da irrigação e da altura manométrica, foi escolhido, conforme catálogo do fabricante IMBIL a bomba a ser utilizada, que pode ser vista na figura abaixo:

Figura 02 – Bomba selecionada



Fonte: Fabricante IMBIL

O rendimento da bomba é de aproximadamente 65%.

Após escolhida a bomba, foi dimensionado o motor, conforme a equação (7).

$$P[CV] = \frac{Q \cdot H}{270 \cdot N_b \cdot N_m} \quad (7)$$

Onde N_b – Rendimento da bomba (65%); N_m – Rendimento do motor (91% para o motor elétrico escolhido e 92% para o motor a diesel escolhido).

Para manter a segurança de operação do sistema, é feito um acréscimo de potência aos motores, conforme visto na tabela abaixo.

Tabela 05 - Acréscimo de potência de motores, Bernardo (1989)

Potência calculada (cv)	Incremento de potência (%)	
	Motor a diesel	Motor elétrico
< 2	30	28
2 a 5	25	22
5 a 10	20	17
10 a 20	15	12
> 20	10	8

Fonte: Elaboração dos próprios autores do projeto

Considerando-se o acréscimo da potência, tem-se que a potência do motor elétrico dimensionado é de 19,63 cv e a do motor diesel é de 19,943 cv. Logo, o motor elétrico dimensionado utilizado será o comercial de 25 cv e o motor diesel dimensionado utilizado será o comercial de 22 cv.

3. Análises econômica e ambiental dos diferentes acionadores primários

As análises econômicas serão realizadas com base nos Custos Totais Anuais (CTa) envolvidos no processo, que são calculados de acordo com as equações (8) e (9) abaixo, segundo Dias (1983):

$$C_T = C_a + C_{O\&M} + C_E \quad (8)$$

$$C_a = I \cdot FRC \quad (9)$$

Onde C_T – Custo Total Anual; C_a – Custo anual referente ao investimento; I – Investimento referente ao preço dos equipamentos; FRC – Fator de Recuperação de Capital; $C_{O\&M}$ – Custos anuais com operação e manutenção (6% do investimento ao ano, para motores a diesel e 2% do investimento ao ano para motores elétricos); C_E – Custo com energia.

As análises ambientais serão feitas com base na emissão de gases do efeito estufa relativa a cada acionador primário, com base na equação (10), segundo o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação MCTI (2016):

$$EGEE = CE \cdot FE \quad (10)$$

Onde $EGEE$ – Emissão de gases do efeito estufa; CE – Consumo de energia; FE – Fator de emissão dos gases do efeito estufa.

3.1 Acionadores Elétricos

Serão analisados os acionadores elétricos, ou seja, a alimentação do motor elétrico diretamente pela rede elétrica, realizando a análise de viabilidade econômica e a análise dos impactos ambientais relativos a esse acionador primário.

3.1.1 Custos Totais Anuais referente ao uso de Acionadores Elétricos

Além da potência dimensionada, outro fator que determinou a escolha do motor foi sua velocidade nominal, que deveria ser compatível com a da bomba, para não necessitar de um sistema de engrenagens que compensasse essa defasagem. Tendo-se em vista esses pontos, e a partir de uma análise financeira minuciosa, chegou-se ao motor de indução trifásico da WEG modelo IP-55, de 3500 RPM de velocidade nominal, 25 cv de potência (18400 W) e alimentação em 220 V ou 380 V, apresentando custo de R\$ 4.599,90, preço obtido da loja Comatec de Belo Horizonte.

Determinado o motor elétrico a ser utilizado e com base na tarifa de energia elétrica homologada utilizada para sistemas de irrigação no período da noite, de 21:30 às 6:00, determinada pelo Artigo 107, Resolução 414, nos valores de 0,12395 R\$/kWh, e no período diurno, de 0,37185 R\$/kWh. Segundo dados da Companhia Energética de Minas Gerais CEMIG (2016), e adicionando-se os impostos federais Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) e Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público

(PASEP), totalizando 6,67%, e os impostos estaduais de Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) de 18% para tarifação B2, chegou-se ao valor de tarifa real de 0,16454 R\$/kWh na tarifa noturna e 0,49363 R\$/kWh na tarifa diurna.

Analisando-se a partir de uma taxa de juros atual de 14% obtida no Sistema Especial de Liquidação e Custódia SELIC (2016), considerando-se a vida útil média do motor de 15 anos e com uso de 8 horas por dia, foi possível obter os custos totais anuais envolvidos no processo de irrigação para situações em que o conjunto motobomba tem o motor alimentado diretamente pela rede elétrica. Foi considerada a irrigação no período da noite, visto que nesse período os gastos com energia são menores do que o uso da irrigação de dia.

Obteve-se, para o uso de acionadores elétricos (motor alimentado diretamente pela rede elétrica), um custo anual referente ao investimento de R\$ 748,90, custo anual com operação e manutenção de R\$ 14,97 e custo anual com energia de R\$ 8.840,40, obtendo-se, dessa forma, um custo total anual de R\$ 9.604,27.

Realizada a análise econômica referente ao uso de acionadores elétricos, tem-se agora o estudo dos impactos ambientais referente a tais acionadores, visto que ambas as questões são essenciais para avaliar o possível uso de um determinado acionador primário.

3.1.2 Impactos Ambientais referente ao uso de Acionadores Elétricos

Com relação aos impactos ambientais causados devido ao uso da rede elétrica alimentando diretamente o motor de indução trifásico que aciona a bomba para o sistema de irrigação, foi considerado um fator de emissão de CO₂ do Sistema Interligado Nacional SIN (2016) de 0,06 tCO₂/MWh e, dessa forma, foi obtida a emissão de 3.223,68 kg de CO₂, pois foi considerado o consumo de energia anual necessário no processo.

Tendo-se em vista a questão ambiental, que é cada vez mais presente, importante e essencial para execução de processos que possam vir a agredir o meio ambiente, tem-se que o valor obtido de 3.223,68 kg de CO₂ é um resultado considerável de emissão anual de CO₂ na atmosfera. No entanto, esse valor é pequeno quando comparado à outros meios de acionamento, por exemplo o uso do motor diesel para acionar a bomba, como será visto adiante. Devido a isso, ressalta-se a importância de se desenvolver cada vez mais meios de mitigar essa agressão ao meio ambiente, e, além disso, sempre realizar a análise econômica, social e ambiental antes de implementar um projeto, concluindo-se, através dos resultados das análises, se compensa ou não realizar sua execução.

3.2 Motor Diesel Acionando a Bomba para Irrigação

Neste subcapítulo será analisada a hipótese de se realizar a alimentação energética da bomba por um motor diesel, analisando-se custos econômicos e impactos ambientais.

3.2.1 Custos Totais Anuais referente ao uso de Motor Diesel para Acionamento da Bomba

Para esta etapa, na qual será tratado os impactos econômicos, foi dimensionado um motor diesel que fosse capaz de acionar a bomba para realizar a irrigação. O motor escolhido e dimensionado para o sistema de acionamento do sistema de irrigação foi o Motor à Diesel BD – 22 cv – G2 Partida Elétrica – Branco, que possui custo de R\$ 8.860,18.

Baseado no valor do diesel comercial na região do Sul de Minas, que segundo a Agência Nacional do Petróleo ANP (2015) era de R\$ 3,09 por litro, no valor dos equipamentos utilizados (motor diesel), e considerando-se uma vida útil média do sistema de 15 anos, chegou-se à um custo total anual referente ao investimento com equipamentos de R\$ 1.442,52, custo anual com operação e manutenção de R\$ 86,55 e custo anual com combustível de R\$ 40.512,49, tendo-se um custo total anual de R\$ 42.041,56.

Vale ressaltar que para o sistema no qual o conjunto motobomba tem a bomba acionada diretamente por um motor diesel seria necessário todo um sistema de redução entre o motor e a bomba, com o intuito de proteger o motor caso, por exemplo, o eixo da bomba fosse travado.

3.2.2 Impactos Ambientais referente ao uso de Motor Diesel para Acionamento da Bomba

Com relação aos impactos ambientais causados devido ao acionamento da bomba do sistema de irrigação por meio de motor diesel, foi considerado um fator de emissão de CO₂ de 2,02 kgCO₂/l, obtido no MCTI (2006), e tendo-se o consumo de energia (diesel) anual necessário para o sistema, chegou-se a um valor de emissão anual de 26.483,89 kg de CO₂.

Analisando-se o valor de emissão anual de CO₂ obtido, tem-se que a poluição causada devido ao uso do motor diesel para acionamento da bomba é consideravelmente maior que o resultado obtido para a emissão devido ao uso de acionadores elétricos, ou seja, além de apresentar maiores custos totais anuais, o uso do motor diesel polui muito mais o meio

ambiente.

3.3 Acionadores a base de sistema de geração fotovoltaica (geração fotovoltaica alimentando motor elétrico)

Esta seção apresenta a análise dos custos totais anuais e impactos ambientais relativos ao uso de energia fotovoltaica para acionamento do conjunto motobomba.

3.3.1 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico Off Grid

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico off grid, foi considerado que a carga a ser atendida era o motor elétrico já demonstrado anteriormente de 25 cv ou 18,4 kW.

Primeiramente determinou-se a tensão CC do sistema com valor de 312 Vcc. Determinada a tensão CC do sistema, foi possível obter o consumo (Ah/dia) do sistema, através da relação entre a potência do motor e a tensão cc do sistema, e considerando-se o tempo de uso do motor de 8 horas por dia. Dessa forma, chegou-se à um consumo de aproximadamente 471,8 Ah/dia.

Obtido o consumo, foi realizado o dimensionamento das baterias estacionárias que formariam o banco de baterias, responsáveis por fornecer energia enquanto não houvesse geração por parte dos painéis. As baterias foram dimensionadas para alimentar o motor com uma autonomia de 3 dias. Por meio de pesquisas orçamentárias chegou-se a bateria escolhida Bosch P5 2580 165 Ah. Analisando-se as especificações técnicas da mesma, foi visto que ela foi projetada para operar com uma profundidade de descarga de 20%. Dessa forma, foi possível obter a capacidade de armazenamento do banco de baterias, de acordo com a equação a seguir:

$$Cap_de_Armz = \frac{Consumo.Autonomia}{Prof_de_Descarga} \quad (11)$$

Onde, *Cap_de_Armz* – Capacidade de Armazenamento; *Consumo* – 471,8 Ah/dia; *Autonomia* – 3 dias; *Prof_de_descarga* – Profundidade de descarga (20%).

Foi obtido um valor de capacidade de armazenamento do banco de baterias igual a 7.076,923 Ah, concluindo-se que seriam necessárias 43 baterias do tipo Estacionária Bosch P5 2580 165 Ah (custo unitário de R\$ 857,00) para o sistema em questão, totalizando um preço referente às baterias de R\$ 36.851,00. Vale ressaltar que as baterias possuem tensão

nominal de 12 V.

Dimensionado o banco de baterias, foi dimensionado posteriormente a potência mínima do gerador fotovoltaico necessária para o sistema. Para esse dimensionamento, foi considerado que o número de horas de sol pleno da cidade de Maria da Fé – MG é de 4,61 horas, dado obtido com base no artigo “Mapeamento de potenciais para geração de energia fotovoltaica no estado de Minas Gerais” (Cardoso; Ferrari, 2016), e foi considerado também um fator de segurança de 0,8 para o projeto.

O painel solar encontrado no mercado, Painel Solar Fotovoltaico 265Wp - Canadian CSI CS6P-265P – BR e escolhido para o projeto tem uma tensão de máxima potência de 30,6 Volts e máxima potência de 265 Watts, sendo seu custo unitário de R\$ 899,00. Uma média de preços de diferentes painéis foi realizada, obtendo-se um valor de aproximadamente R\$ 927,00.

Dessa forma, através da formulação abaixo, foi possível obter a potência mínima necessária do gerador fotovoltaico:

$$Pot_Min_Gerador_Fotv = \frac{Pc \cdot Tutil}{HSP \cdot FS} \quad (12)$$

Onde *Pot_Mín_Gerador_Fotv* – Potência Mínima do Gerador Fotovoltaico; *Pc* – Potência da Carga – *Tutil*. – Tempo de utilização do motor (8 horas); *HSP* – Número de Horas de Sol Pleno de Maria da Fé - MG (4,61 Horas); *FS* – Fator de Segurança (0,8).

Pelos cálculos realizados, chegou-se que a potência mínima que o gerador fotovoltaico deveria ser capaz de fornecer é de aproximadamente 39.913,23 W. Dessa forma, seriam necessários no mínimo 151 painéis solares. Para o projeto foi calculada a compra de 152 painéis solares, que daria um valor total de R\$ 136.648,00.

Após obtidos o custo total referente ao gerador fotovoltaico, foi dimensionado o conversor (inversor de frequência) necessário ao projeto, para converter a tensão cc gerada pelos painéis solares em tensão ca para alimentar o motor de indução trifásico. O inversor de frequência escolhido no mercado dentre as opções disponíveis foi o Inversor Fronius Symo 20.0-3-M (20.000 W), que possui tensão mínima de entrada 200 Vcc, tensão de saída de 154 Vca a 264 Vca, potência nominal de saída de 20 kW e custo de R\$ 27.590,00. A eficiência máxima do conversor é de 98,1%. A potência dimensionada do conversor foi obtida pela equação (13):

$$P_{inv} = P_c + (1 - Efic_{inv}) \cdot P_c \quad (13)$$

Onde P_{inv} – Potência do Inversor (W); P_c – Potência da carga (W); $Efic_{inv}$ – Eficiência do Inversor (%).

Dessa forma, a potência do inversor calculada foi de 18.749,6 W, ou seja, o inversor escolhido atende aos requisitos necessários.

Dimensionado o inversor de frequência, foi dimensionado agora o controlador de carga necessário para o projeto, de acordo com corrente que flui pelo sistema, obtida pela relação entre a potência da carga e a tensão CC determinada do sistema. Dessa forma, obteve-se uma corrente de valor igual a 58,97 A, ou seja, seria necessário um controlador de carga de 60 A. Dito isso, buscou-se esse controlador no mercado, e optou-se pelo Controlador de Carga programável Viewstar VS6024BN 60A 12/24V, que apresenta custo unitário de R\$ 1.349,00.

3.3.2 Custos Totais Anuais referente ao uso de Sistemas Fotovoltaicos Off Grid

Dimensionado o sistema fotovoltaico off grid necessário para alimentar o conjunto motobomba do presente estudo de caso, foi possível obter os custos totais anuais relativos à esse sistema considerando-se sua vida útil média igual a 20 anos. Contudo, tendo-se que seria necessário um investimento inicial relativo à compra de equipamentos de R\$ 207.037,90, considerando-se também o preço do motor elétrico nesse investimento inicial, foi possível obter um custo anual referente ao investimento inicial de R\$ 31.259,82, custo anual com operação e manutenção de R\$ 625,20 e 0,00 reais com custo de energia, visto que tais sistemas utilizam a fonte solar como geradora de energia. Dessa forma, foi obtido um custo total anual de R\$ 31.885,02.

3.3.3 Impactos Ambientais referente ao uso de Sistemas Fotovoltaicos Off Grid

Com relação aos sistemas fotovoltaicos off grid alimentando o motor de indução trifásico para acionamento da bomba do sistema de irrigação, tem-se ofato de utilizar energia solar como fonte geradora de energia; o uso de tais sistemas não causa poluição do meio ambiente, ou seja, reduz-se a emissão de CO₂ quando comparado aos demais sistemas, no entanto há um determinado nível de impacto ambiental referente à produção do sistema fotovoltaico. Vale ressaltar que, é necessário que haja um lugar apropriado para o descarte das

baterias, após a vida útil das mesmas, que, de acordo com a temperatura média da região de Maria da Fé – MG e com a profundidade de descarga da bateria utilizada (20%), seria aproximadamente 6 anos, de acordo com Searles; Schiemann (2014).

3.3.4 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico On Grid e Custos Totais Anuais relativos ao seu uso para Alimentação do Conjunto motobomba do Sistema de Irrigação

O dimensionamento do sistema fotovoltaico on grid realizado foi idêntico ao dimensionamento do sistema fotovoltaico off grid, mas considerando-se apenas o uso dos painéis solares, do inversor de frequência e do motor elétrico (carga).

Vale ressaltar que o inversor de frequência utilizado no dimensionamento do sistema fotovoltaico off grid é grid tie, ou seja, ele pode ser utilizado também no sistema fotovoltaico on grid.

Dessa forma, foi obtido um investimento inicial necessário para compra de equipamentos de R\$ 168.837,90, um custo anual referente ao investimento inicial de R\$ 25.492,16, custo anual com operação e manutenção de R\$ 509,84, e não há custo com energia. Logo, tem-se um custo total anual de R\$ 26.002,00.

3.3.5 Impactos Ambientais referente ao uso de Sistemas Fotovoltaicos On Grid

Assim como o sistema fotovoltaico off grid, o sistema fotovoltaico on grid também não polui o meio ambiente com relação a sua utilização, visto que ambos utilizam como fonte de energia a energia solar, mas há, como citado anteriormente, um impacto ambiental causado pela produção do sistema fotovoltaico. Dessa forma, tais sistemas são benéficos, superiores aos outros mencionados, no que diz respeito aos impactos ambientais.

3.3.6 Síntese dos Resultados

A tabela 06 a seguir apresenta a síntese dos resultados obtidos considerando-se as formas de acionamento primário analisadas para o acionamento do conjunto motobomba do sistema de irrigação:

Tabela 06 – Resultados Econômicos e Ambientais dos Sistemas de Alimentação do Motor Elétrico de 25 CV

Acionadores	Rede Elétrica	Motor Diesel	Fotovoltaico (Off grid)	Fotovoltaico (On Grid)
Investimento Inicial (R\$)	4.599,90	8.860,18	207.037,90	168.837,90
Custo Anual referente ao Investimento Inicial (R\$)	748,90	1.442,52	31.259,82	25.492,16
Custo Anual com Energia (R\$)	8.840,40	40.512,49	0,00	0,00
Custo Anual com Operação Manutenção (R\$)	14,97	86,55	625,20	509,84
Custos Anuais Totais (R\$)	9.604,27	42.041,56	31.885,02	26.002,00
Emissão de Gases do Efeito Estufa (kgCO ₂)	3.223,68	26.483,89	0	0

Fonte: Elaboração dos próprios autores do projeto

Percebe-se, analisando-se a Tabela 06, que a alimentação do conjunto motobomba do presente estudo de caso apresenta menor custo total anual quando tem-se motor elétrico alimentado diretamente pela rede elétrica e a irrigação é realizada no período noturno (entre 21:30 às 6:00), e menor emissão de gases do efeito estufa (CO₂) quando o acionador primário utilizado é o sistema fotovoltaico, tanto off grid quanto on grid. O maior custo total anual e maior emissão de CO₂ ocorre quando faz-se uso do motor diesel alimentando a bomba do conjunto motobomba.

Com relação aos custos totais anuais, tem-se que o uso do acionador elétrico apresenta um custo bem inferior aos demais acionadores, como pode ser visto na tabela. Com relação ao uso do motor diesel, o custo anual com energia obtido, de R\$ 40.512,49 é o fator determinante para o seu alto custo total anual. Com relação aos sistemas fotovoltaicos, tanto on grid quanto off grid, o alto custo é devido ao investimento inicial necessário para compra de equipamentos, de R\$168.837,90 e R\$207.037,90, respectivamente, tornando mais caro a implementação de tais sistemas.

Com relação a emissão de gases do efeito estufa, tem-se que os sistemas fotovoltaicos, tanto on grid quanto off grid, são os mais benéficos em relação à questão ambiental, pois o uso de tais sistemas não polui o meio ambiente, visto que faz-se uso da energia solar, que é convertida em energia elétrica. O motor diesel é o acionador que mais polui o meio ambiente, com emissão anual de 26.483,89 kg de CO₂, devido ao uso do diesel, com valor muito mais significativo que o acionador elétrico. Esse, por sua vez, apresenta emissão anual de 3.223,68

kg de CO₂, sendo o acionador mais indicado para o presente estudo de caso, visto que o impacto ambiental causado devido ao seu uso se justifica quando analisado em conjunto com a questão econômica.

4. Conclusão

Conclui-se que para o presente estudo de caso realizado, o acionador primário mais indicado para ser implementado para acionamento do conjunto motobomba do sistema de irrigação é o acionador elétrico com a irrigação sendo realizada no período da noite, entre 21:30 às 6:00 (como dito anteriormente, nesse período a tarifa de energia elétrica é menor), visto que é o que apresenta o menor custo total anual. Há uma certa emissão de CO₂ devido ao uso desse acionador primário de 3.223,68 kg de CO₂ por ano.

O acionador primário menos indicado tanto por apresentar maiores custos anuais, quanto por apresentar maior emissão de CO₂ no meio ambiente, é o uso do motor diesel para acionar a bomba. Tem-se que o uso do diesel encarece muito os custos relativos à essa forma de acionamento, além de poluir consideravelmente o ambiente, com altos índices de emissão de CO₂, totalizando 26.483,89 kg de CO₂ por ano.

A segunda forma de acionamento mais indicada seria a alimentação do motor elétrico por meio do sistema fotovoltaico on grid, visto que esse acionador primário é o que apresenta o segundo menor custo anual total, e além disso tem-se a vantagem que o mesmo não polui o meio ambiente no que diz respeito a sua utilização, visto que se gera energia elétrica a partir da energia solar.

Com relação ao sistema fotovoltaico off grid, tal acionador primário apresenta o terceiro maior custo total anual e sua utilização também não polui o meio ambiente, sendo a terceira forma de acionamento mais indicada para o presente estudo de caso.

O investimento inicial necessário para compras de equipamentos dos sistemas fotovoltaicos, tanto off grid quanto on grid é muito alto, fato este que inviabiliza seu uso, economicamente falando. A tendência é que com a Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL, que possibilita ao consumidor brasileiro poder gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada, possibilitando ainda a venda do excedente de energia à concessionária, e com o incentivo e aumento do uso de tais sistemas ao longo dos anos, acredita-se que provavelmente o preço dos equipamentos para sua implementação seja reduzido, viabilizando seu uso.

Referências

Agência Nacional das Águas – ANA, “Disponibilidade hídrica no Brasil”, 2015.

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, “Valores de Tarifas Homologadas – Segundo o Artigo 107 de Resolução 414 da Aneel”. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2015.

Agência Nacional do Petróleo – ANP, “Preço do Diesel por cidade de Minas Gerais” ANP, 2015.

Andrade, C. L. T.; “Seleção do Sistema de Irrigação- Circular Técnica”. Sete Lagoas-MG, Relatório Técnico, 2001.

Bernardo, S.; Manual de Irrigação, 5ª edição, Viçosa, MG: UFV, 1989, 596 p..

Dias, M.A.P. “Administração de Materiais”. 6ª Edição, Editora Atlas, 345p., 1983.

EMATER, “Perfil da agricultura Familiar em Minas Gerais”. Emater-MG e Secretária de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais, 2014.

EPE, “Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2015: ano base 2014”, Rio de Janeiro, 2016.

Ferrari, E. Cardoso, R.B. “Mapeamento de potenciais para geração de energia fotovoltaica no estado de Minas Gerais”, CBPE, Gramado - RS, 2016.

FGV - EESP, “Estudo sobre eficiência do uso da água no Brasil – Análise do Impacto da Irrigação na Agricultura Brasileira e Potencial de Produção de Alimentos Face ao Aquecimento Global”. Relatório Técnico, EESP-FGV. 2016.

Howe, J. W. “Proceedings of Hydraulics Conference”. Department of Mechanics and Hydraulics State University of Iowa. 1939.

Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação – MCTI, “Cálculo dos Fatores de Emissão de

CO₂ pela Geração de energia elétrica no SIN do Brasil” Ministério de Ciências e Tecnologia. 2016.

Searles, C; Schiemann, M. “Understanding and Differentiating Design Life, Service Life, Warranty and Accelerated Life Testing for Lead Acid Batteries”. USA, 2014.

Sun W.Y; Sun, O, M. “Bernoulli equation and flow over a mountain” Official Journal of the Asia Oceania Geosciences Society (AOGS). 2015.

Thomas, H. A. “The Propagation of Waves in Steep Prismatic Conduits”. Carnegie Institute of Technology Pittsburgh. 1949.

Zocoler, J. L.; Baggio, F. C.; Oliveira, L. A. F.; Hernandez, F. B. T. “Model for Determining Flow Diameter and Economic Velocity in Water Elevating Systems”. 2004.