

INSTITUTO FEDERAL GOIANO - CAMPUS URUTAÍ
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**DETERMINAÇÃO DO VALOR GASTO COM APLICAÇÃO DE ÁGUA
EM UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO**

JOSÉ AUGUSTO FARIA DE REZENDE

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Agrícola do Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola, sob orientação do Prof. Dr. José Antônio Rodrigues de Souza.

URUTAÍ-GO

Outubro de 2019

INSTITUTO FEDERAL GOIANO - CAMPUS URUTAÍ
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**DETERMINAÇÃO DO VALOR GASTO COM APLICAÇÃO DE ÁGUA
EM UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO**

JOSÉ AUGUSTO FARIA DE REZENDE

Orientador: Prof. Dr. José Antônio Rodrigues de Souza

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Agrícola do Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola, sob orientação do Prof. Dr. José Antônio Rodrigues de Souza.

URUTAÍ-GO

Outubro de 2019



TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia - Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor:

Matrícula:

Título do Trabalho:

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 18/11/19

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Urubici 18/11/19
Local Data

José Augusto Soria de Rezende
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

[Assinatura]
Assinatura do(a) orientador(a)

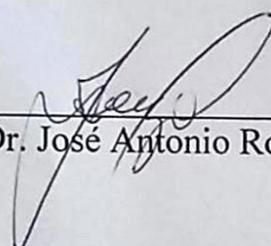
INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS URUTAÍ
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

ALUNO: José Augusto Faria de Rezende

ORIENTADOR: Prof. Dr. José Antonio Rodrigues de Souza

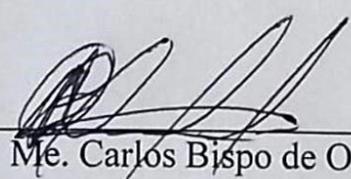
Aprovado pela Comissão Examinadora



Prof. Dr. José Antonio Rodrigues de Souza



Prof.ª Dr.ª Débora Astoni Moreira



Mé. Carlos Bispo de Oliveira

Data da Realização: 31 de outubro de 2019

Sumário

RESUMO	4
1 INTRODUÇÃO	5
2 OBJETIVO.....	6
3 METODOLOGIA	7
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	8
4.1 Tarifas	8
4.2 Determinação do valor gasto com aplicação de água em sistema de irrigação 12	
4.3 Exemplo de seleção da modalidade tarifária e do valor gasto com irrigação.....	13
5 CONCLUSÕES.....	20
6 REFERÊNCIAS.....	21

RESUMO

No setor produtivo agropecuário, a irrigação apresenta-se como uma das práticas que mais consome energia elétrica. Diversos fatores contribuem para que esse alto consumo ocorra desde os grandes volumes de água aplicados, até o fato de que os projetos de irrigação no Brasil, em geral, demandam motores de grande porte. Isso se dá graças à localização das fontes de água (rios, represas e açudes), quase sempre na parte mais baixa das propriedades, o que gera um alto consumo de energia. Os custos gerados na produção agrícola afetarão diretamente os ganhos do produtor, portanto a escolha da modalidade tarifária adequada ao perfil de consumo é uma das medidas que contribui para redução dos custos, visto que as concessionárias apresentam diferentes tarifas conforme perfil selecionado. Os resultados, mostra que a utilização de motores elétricos apresenta menor custo para irrigar a área selecionada. Todavia, os motores à combustão podem se tornar importante opção na redução dos custos energéticos, sobretudo quando ocorre consumo no horário de ponta.

Palavras-chaves: Tarifas de energia, Demanda, Custo, Potencia, Vazão.

ABSTRACT

In the agricultural productive sector, irrigation is one of the most energy-consuming practices. Several factors contribute to this high consumption, from the large volumes of water applied to the fact that irrigation projects in Brazil, in general, require large engines. This is due to the location of water sources (rivers, dams and dams), almost always at the lowest part of the properties, which generates a high energy consumption. The costs generated in agricultural production will directly affect the producer's gains, so the choice of the appropriate tariff modality to the consumption profile is one of the measures that contributes to cost reduction, since the concessionaires present different tariffs according to the selected profile. The results show that the use of electric motors has lower cost to irrigate the selected area. However, combustion engines can become an important option in reducing energy costs, especially when rush hour consumption occurs.

Keywords: Energy tariffs, Demand, Cost, Power, Flow.

1 INTRODUÇÃO

A utilização de energia elétrica no meio rural tem aumentado significativamente nos últimos anos e vem se tornando indispensável à modernização da agricultura e a própria sobrevivência no campo. Todavia, sua baixa disponibilidade e confiabilidade, associada aos elevados custos são considerados fatores limitantes à expansão da agricultura irrigada, uma vez que reajustes tarifários acima da inflação têm se tornado uma tendência na maior parte do no Brasil.

Diante deste cenário, muitos agricultores têm buscado alternativas para racionalizar o uso da energia sem, contudo, afetar a produtividade das lavouras. Estima-se que, se a irrigação fosse realizada de forma racional, seria obtida economia em cerca de 20% na aplicação de água e outros 10% na otimização dos equipamentos.

Segundo Turco et al. (2009), a irrigação é responsável por grande parte do consumo de energia na propriedade rural e este pode ser ainda maior se o produtor rural não adotar um método de controle da irrigação. Os custos gerados na produção agrícola afetarão diretamente os ganhos do produtor, sendo as tarifas de energia consideradas importantes variáveis no custo final da irrigação.

Tem sido reconhecido que não existe sistema ideal de irrigação em relação à utilização de energia. Vários fatores determinam a escolha de um sistema de irrigação, dentre os quais se destacam: cultura, clima, solo, topografia, disponibilidade e qualidade de água e consumo de água e energia. Todos estes fatores devem ser devidamente considerados em uma decisão econômica e ambiental, no sentido de se definir o sistema de irrigação mais adaptado às características de cada local (SCALOPI, 1985)

Dessa forma, medidas simples, que antes eram relegadas a segundo plano, assumem papel fundamental para a redução dos custos de produção. A escolha da modalidade tarifária adequada ao perfil de consumo é uma das medidas que contribui para redução dos custos, visto que as concessionárias apresentam diferentes tarifas conforme perfil selecionado.

2 OBJETIVO

Determinar o custo da energia elétrica na produção agrícola, visando a importância da escolha certa da modalidade tarifária, entre as várias opções disponíveis para cada perfil do consumidor. Foi usado como exemplo uma área cultivada com 50 hectares de soja, irrigada por um pivô central que funcione durante 23 horas por dia.

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para realizar este trabalho consistiu em estudar, comparar e analisar conceitos básicos de tarifação e descontos concebidos a irrigação no meio rural, de modo a propor melhorias que proporcionem o uso eficiente da energia elétrica e conseqüentemente a redução do valor pago à Concessionária. Foram feitos alguns cálculos utilizando modelos matemáticos, como no método de estimativa de consumo realizado para que pudesse nos mostrar resultados decisivos e precisos quanto a escolha da melhor modalidade tarifária, entre as várias opções disponíveis.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Existem diferentes tipos de consumidores que pagam pelo uso da energia elétrica segundo estrutura tarifária definida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), que os separam em grupos, subgrupos e modalidades de tarifa de acordo com as horas de uso, nível de tensão e localização como mostrado na tabela 1.

Compreender a forma como é cobrada a energia elétrica e como são calculados os valores apresentados nas faturas emitidas, mensalmente, pelas concessionárias é fundamental para a tomada de decisão em relação ao manejo da energia nos mais diversos setores e, por sua vez, em projetos de irrigação.

4.1 Tarifas

No Brasil, as unidades consumidoras são classificadas em dois grupos tarifários: Grupo A, que tem tarifa binômia, e Grupo B, que tem tarifa monômia. O agrupamento é definido, principalmente, em função do nível de tensão em que são atendidos e também, como consequência, em função da demanda (kW).

O grupo A é composto por consumidores atendidos em média (2,3 até 69 kV) ou alta tensão (88 kV ou mais), sendo divididos em subgrupos, de acordo com a tensão de atendimento: A1 (230 kV ou mais); A2 (88 kV a 138 kV); A3 (69 kV); A3a (30 kV a 44 kV); A4 (2,3 kV a 25 kV) e AS (subterrâneo).

O grupo B é composto pelos consumidores atendidos em baixa tensão (inferior a 2,3 kV). Este grupo é dividido nos seguintes subgrupos: residências (B1), zona rural (B2), demais classes (B3) e iluminação pública (B4).

Enquanto para o grupo A ocorre tarifação binômia, isto é, os consumidores são cobrados tanto pela energia que consomem (kWh), quanto pela potência contratada (demanda contratada) junto à distribuidora (kW), para o grupo B, a tarifação é monômia, ou seja, são cobrados apenas pela energia que consomem (kWh), independentemente da potência demandada.

Tabela 1 - Resumo dos subgrupos de energia de acordo com a tensão de fornecimento

Grupo	Subgrupo	Tensão de fornecimento
A	A1	Igual ou maior a 230 kV
	A2	De 88 a 138 kV
	A3	Igual a 69 kV
	A3a	De 30 a 44 kV
	A4	De 2,3 a 25 kV
	AS	Menor que 2,3 kV subterrâneo
B	B1 residencial (urbana)	Menor que 2,3 kV
	B2 rural*	
	B3 demais classes	
	B4 iluminação pública	

*Consumo residencial e atividades produtivas de baixa potência. Fonte: Aneel.

Para os consumidores do grupo A, são disponibilizadas duas modalidades tarifárias, a tarifa horária verde (horo-sazonal verde) e a tarifa horária azul (horo-sazonal azul). A principal variável entre as opções é a diferenciação de tarifas de acordo com o horário de utilização. Na modalidade tarifária horária verde (horo-sazonal verde), a tarifa de consumo (kWh) tem valores diferenciados para o horário de ponta e fora de ponta, enquanto na modalidade tarifária azul (horo-sazonal azul), as tarifas de consumo (kWh) e demanda (kW) tem valores diferenciados para horário de ponta e fora de ponta.

Define-se horário de ponta como sendo o horário em que há maior solicitação de energia pelos consumidores, composto por três horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora e aprovado pela Aneel, geralmente das 18 h às 21 h, exceto sábados, domingos e feriados. Neste horário, o valor da tarifa de consumo é cerca de quatro vezes maior que o valor da tarifa fora da ponta.

A escolha entre as modalidades tarifárias permitirá que os consumidores reduzam os custos com energia elétrica. Todavia, a seleção da melhor opção dependerá do perfil de carga de cada unidade consumidora, principalmente do

consumo no horário de ponta e, também, pelo correto dimensionamento e controle da demanda contratada, uma vez que os valores da demanda contratada são independentes da demanda registrada. Assim, uma análise nas faturas dos últimos 12 meses para simular a modalidade tarifária e a demanda mais adequada é altamente recomendada.

No caso de se verificar demanda que supere em mais de 5% o limite contratado, o consumidor pagará o excesso de demanda, calculado pela tarifa de ultrapassagem, que é duas vezes mais caro que o valor da tarifa normal, tanto para o horário fora de ponta quanto para o horário de ponta. No caso da modalidade verde, presume-se que o consumidor está inativo no horário de ponta e, caso haja registro de consumo neste horário, a tarifa correspondente é de até dez vezes a tarifa para o horário fora da ponta.

Em linhas gerais, a modalidade verde é mais indicada para a unidade consumidora que consegue paralisar suas atividades no período de ponta, ou que possua geração própria. Já a modalidade azul é, normalmente, mais recomendada às unidades consumidoras que não podem paralisar suas atividades no horário de ponta e, portanto, apresentam consumo significativo de energia elétrica nesse período, além de apresentarem um elevado grau de eficiência na utilização da demanda contratada, ou seja, apresentam consumo maior por quilowatt de demanda.

Para facilitar a escolha da melhor opção tarifária, se verde ou azul, o consumidor deve proceder a determinação do fator de carga no horário da ponta. Quanto menor este fator, maior será o custo unitário da energia, pois o custo fixo da demanda terá maior impacto, tendo em vista o baixo consumo de energia.

O fator de carga pode ser obtido, dividindo o consumo medido no horário de ponta (kWh) pela demanda máxima (kW) multiplicada pelo número de horas. O ponto de equilíbrio entre as duas tarifas é obtido quando este fator de carga é igual a 0,6 (60%) e, para valores abaixo deste valor, a tarifa verde é mais vantajosa que a tarifa azul. Também, pode se proceder uma simulação a partir das demandas, consumos e tarifas para as várias modalidades tarifárias.

Para os consumidores do grupo B, não há contratação de demanda e as

diferenciações nos valores cobrados (modalidades tarifárias) dependem apenas do subgrupo a que o consumidor pertence. Também, algumas reduções nos custos com energia elétrica são obtidas a partir do enquadramento em alguns dos perfis elegíveis, tais como tarifa social e os descontos concebidos para a classe rural e para as atividades de irrigação e aquicultura em horário especial, entre outras.

O consumidor (grupo A ou B) que pretenda obter os descontos destinados à irrigação vinculada à atividade de agropecuária e na carga de aquicultura, é necessário fazer uma solicitação por escrito ou por outro meio que possa ser comprovado, bem como adotar um medidor especial exclusivo para tal atividade, cujos custos deverão ser arcados pela concessionária. Este desconto é aplicado em um período diário contínuo de oito horas e trinta minutos, facultado à distribuidora o estabelecimento de escala de horário para início, mediante acordo com o respectivo consumidor, garantido o horário de 21 h 30 min às 6 h do dia seguinte.

Na Tabela 2 estão apresentados os descontos percentuais que devem ser aplicados ao subgrupo tarifário da unidade consumidora que realizam irrigação em horário especial.

Tabela 2 - Descontos percentuais tarifários para irrigação em horário especial.

Regiões do País	Grupo A	Grupo B
Nordeste e demais municípios da área de atuação da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE, conforme o art. 2º do Anexo I do Decreto no 6.219, de 2007	90%	73%
Norte, Centro-Oeste e demais Municípios do Estado de Minas Gerais	80%	67%
Demais Regiões	70%	60%”

Fonte: Aneel.

Desde janeiro de 2015, as contas de energia elétrica, para todos os grupos, são faturadas de acordo com o Sistema de Bandeiras Tarifárias, segundo a resolução normativa da Aneel, onerando ainda mais os custos com energia elétrica.

As bandeiras verde, amarela e vermelha indicarão se a energia custará mais ou menos, em função das condições de geração de eletricidade. No caso de bandeira verde, não incidirá valor adicional, enquanto para a bandeiras amarela ocorrerá um acréscimo de R\$0,015 por kWh consumido. Para a bandeira tem-se dois valores de adicionais, sendo de R\$0,030 e R\$0,045 por kWh consumido, para

os patamares 1 e 2, respectivamente.

4.2 Determinação do valor gasto com aplicação de água em sistema de irrigação

Os gastos com energia em um sistema de irrigação podem representar até 70% dos custos variáveis, dependendo da potência e eficiência do conjunto motobomba, do tipo de energia utilizada pelo motor e do método utilizado. Dessa forma, o dimensionamento de sistemas de irrigação que apresentem custos operacionais energéticos mínimos, representa um fator relevante nos dias atuais.

Diversos estudos foram realizados visando o uso eficiente de energia na agricultura, destacando-se aqueles que estimam a potência do conjunto motobomba e o consumo de energia necessários à realização da irrigação adequada.

De modo geral, verificou-se que a potência média requerida por unidade de área irrigada seria em torno de 1,27 kVA ha⁻¹ (cerca de 1,6 cv ha⁻¹). Em relação aos métodos, potências entre 1,5 a 3,0 cv ha⁻¹ são requeridas pela aspersão para irrigação de diversas tipos de culturas, enquanto na irrigação localizada, uma demanda de 0,2 a 1,0 cv ha⁻¹ seria requerida para o gotejamento e, 1,0 cv ha⁻¹ na microaspersão.

No que se refere ao consumo de energia, estima-se que na irrigação por superfície ocorra consumo entre 0,03 a 0,3 kWh m⁻³, enquanto na aspersão, o consumo seja de 0,2 a 0,6 kWh m⁻³ e, na irrigação localizada esteja entre 0,1 a 0,4 kWh m⁻³. De um modo geral, motores elétricos monofásicos e bifásicos consomem entre 0,95 a 1,13 kW h⁻¹, enquanto motores trifásicos, este consumo é de 0,82 a 1,01 kW h⁻¹. Em relação ao consumo de combustíveis, estima-se que motores à diesel consumam 0,22 L h⁻¹ cv⁻¹, enquanto motores a gasolina este consumo é de 0,37 L h⁻¹ cv⁻¹.

Outro método de estimativa de consumo foi realizado por Carvalho et al. (2000), que obtiveram modelos matemáticos que estimam o consumo para motores elétricos e à diesel:

$$\text{Motores à diesel} \rightarrow \text{Consumo (L cv}^{-1}\text{h}^{-1}\text{)} = \sqrt{0,0305411 + \frac{0,2444692}{\text{potência motor (cv)}}$$

Motores elétricos com potência menor que 25 cv \rightarrow consumo (kW) = 0,286 + 0,9 x Potência (cv);

Motores elétricos com potência maior que 25 cv \rightarrow consumo (kW) = 2,64 + 0,8 x Potência (cv).

Os valores apresentados servem apenas como referência, uma vez que as características do relevo, da cultura, do clima local, índice de carregamento, sistemas de partida e até mesmo do produtor, influenciam sobremaneira na potência requerida, bem como no consumo, devendo, portanto, ser calculada para cada área a ser irrigada.

4.3 Exemplo de seleção da modalidade tarifária e do valor gasto com irrigação

Para exemplificar o processo de cálculo utilizado para selecionar a modalidade tarifária e verificar os possíveis gastos energéticos com a irrigação, considere uma área cultivada com 50 hectares de soja, irrigada por um pivô central que funcione durante 23 horas por dia. Nesta área, a altura manométrica é de 70 mca e evapotranspiração da cultura é igual a 7 mm dia⁻¹. Considere, também, eficiência do conjunto motobomba igual a 60%, fator de potência acima de 0,90 e adote as tarifas energéticas apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Tarifas de energia elétrica (R\$), segundo diferentes grupos, modalidades e postos tarifários praticados pela CEMIG.

Grupo/subgrupo	Tarifa homologada pela Aneel			Tarifa com impostos		
Grupo B						
B2 – Rural	Rural		Irrig. noturna	Rural	Rural irrigação	Irrigação noturna
Consumo (R\$/ kWh)	0,37185		0,12271	0,48902	0,45326	0,14098
Grupo A						
Azul A4	Normal	Rural	Irrig. noturna	Rural	Rural irrigação	Irrigação noturna
Demanda Ponta (R\$/ kW)	31,67	28,50	6,33	37,48	34,74	7,27
Demanda Fora de Ponta (R\$/ kW)	9,06	8,15	1,81	10,72	9,93	2,08
Demanda Ultrap. Ponta (R\$/ kW)	63,34	57,01	12,67	74,97	69,49	14,56
Demanda Ultrap. F. Ponta	18,12	16,31	3,62	21,44924	19,88055	4,15901
Cons. Ponta - P. Seco (R\$/ kWh)	0,45442	0,40898	0,09088	0,537849	0,49851	0,10441
Cons. F.Ponta - P. Seco (R\$/ kWh)	0,32528	0,29275	0,06506	0,384995	0,35684	0,07475
Verde A4	Normal	Rural	Irrig. noturna	Rural	Rural irrigante	Irrigação noturna
Demanda (R\$/ kW)	9,06	8,15	1,82	10,72	9,93	2,09
Demanda Ultrap. Ponta (R\$/ kW)	18,12	16,31	3,62	21,45	19,88	4,16
Cons. Ponta - P. Seco (R\$/ kWh)	1,22163	1,09947	0,244333	1,44591	1,34016	0,28071
Cons. F.Ponta - P. Seco (R\$/ kWh)	0,32528	0,29275	0,06506	0,38499	0,35684	0,07475

Valores tarifários praticados pela CEMIG (novembro de 2016), utilizando PASEP = 1,05%; COFINS = 4,91% e ICMS de 18%, 12% e 7%, para consumidores rurais, irrigante e irrigação noturna, respectivamente, em decimal.

Tarifa com imposto = tarifa homologada pela Aneel / [1- (PIS+COFINS+ICMS)].

Produtor rural tem desconto de 10% na tarifa normal (convencional). A Irrigação noturna (21:30 às 6:00 hs) em Minas Gerais, tem desconto de 67% para consumidores do grupo B e, 80% para o grupo A.

Determinação da vazão

Volume de água a ser aplicado diariamente:

$$ET_c = 7 \text{ mm dia}^{-1} = 70 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$$

$$V = ET_c \times \text{área} = 70 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1} \times 50 \text{ ha} = 3500 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$$

Como o sistema funcionará 23 h dia⁻¹, temos:

$$Q = V/T = 3500 \text{ m}^3 / 23 \text{ h} = 153 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$$

em que ET_c é a evapotranspiração da cultura, em mm dia⁻¹; V é o volume de água a ser aplicado, em m³; área é a área irrigada, em ha; Q é a vazão em m³ h⁻¹; e T é o tempo de irrigação por dia, em h.

Determinação da potência necessária

- Potência da bomba

$$\text{Pot} = (Q \times H_m) / (270 \times \eta) = (153 \times 70) / (270 \times 0,60) = 66,11 \text{ cv}$$

em que Pot é a potência da bomba, em cv; Q é vazão, em m³ h⁻¹; H_m é altura manométrica, em mca e, η é a eficiência da bomba (entre 50 a 87%), em decimal.

- Potência do motor

Para evitar que os motores que acionam bombas trabalhem sobrecarregados, é recomendável adotar uma folga ou margem de segurança, conforme especificação a seguir (para motores elétricos): Até 02 cv - 30%; de 02 a 05 cv - 25%; de 05 a 10 cv - 20%; de 10 a 20 cv - 15% e acima de 20 cv - 10%. Para motores à diesel, recomenda-se uma margem de segurança de 25% e, a gasolina de 50%, independente da potência calculada.

$$P = 66,11 + 10\% \text{ de } 66,11 = 72,72 \text{ cv}$$

Geralmente, a potência calculada não coincide com a potência nominal. Nestes casos, utilize o catálogo do fabricante e selecione o motor comercial que forneça a potência necessária. Neste caso, escolhe-se um motor de 75 cv, trifásico e rendimento de 88%.

Cálculo das Tarifas

Ao se considerar que o sistema de irrigação funcionará 23 h dia⁻¹, verifica-se que irá trabalhar, inevitavelmente, no período de ponta (18h às 21 h, para a maioria das concessionárias), onde o valor da tarifa é maior. Todavia, é possível pensar em manejo da irrigação de modo a operar fora do horário da ponta e até em realizar apenas irrigação em horário especial (das 21:30 às 6:00 h), aproveitando-se os descontos concedidos na tarifa de energia.

Para o exemplo, consideremos funcionamento de 21h às 18h do dia seguinte no horário normal (21 horas fora da ponta) e de 19 às 21h (2 h no horário de ponta), durante todos os dias do mês (30 dias).

- Cálculo da demanda

$$D = (P_n \times 0,736 \times IC) / \eta = (75 \times 0,736 \times 0,75) / 0,88 = 47 \text{ kW}$$

em que D é a demanda em kW; P_n é a potência nominal em cv; IC é o índice de carregamento, adimensional; e η é a eficiência do motor, decimal. IC varia de 40% (baixo), 55% (médio) e 75% (alto). Para motores que trabalham em operações agrícolas, geralmente IC = 75%.

- Cálculo do Consumo, segundo Carvalho (1998):

Motores maiores que 25 cv: consumo (kW) = 2,64 + 0,8 x Potência (cv).

$$\text{Consumo (kW)} = 2,64 + 0,8 \times 72,72 = 60,82 \text{ kW.}$$

Obs.: Para o cálculo do consumo, utiliza-se a potência calculada necessária.

- Cálculo do gasto com energia

Considerando-se as tarifas com descontos concedidos e impostos incidentes para a irrigação rural, temos os seguintes valores:

- Tarifa B2 - Rural

$$\text{Custo (R\$)} = \text{Consumo} \times \text{tarifa} = (23 \text{ h} \times 30 \text{ dias} \times 60,82 \text{ kWh}) \times 0,45326 \text{ kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$$

$$\text{Custo (R\$)} = 19.018,90 \text{ no mês}$$

- Tarifa-Verde A4

$$\text{Demanda} = 47 \text{ kW};$$

$$\text{Consumo} = 60,82 \text{ kWh};$$

$$\text{Funcionamento} = 2 \text{ h no horário na ponta e } 21 \text{ h fora de ponta}$$

Faturamento

- Demanda = demanda contratada x tarifa demanda

$$= 47 \text{ kW} \times 9,93 \text{ R\$ kW}^{-1} = \text{R\$}466,71$$

- Ultrapassagem demanda: (Demanda contratada – demanda faturada) x tarifa demanda ultrapassagem fora ponta → considerando que não houve ultrapassagem R\$0

- Consumo Ponta =: consumo ponta x tarifa ponta

$$= (2 \text{ h} \times 30 \text{ dias} \times 60,82 \text{ kWh}) \times 1,34016 \text{ R\$ kW}^{-1} \text{ h}^{-1} = \text{R\$} 4.890,51$$

- Consumo Fora da ponta = consumo fora ponta x tarifa fora ponta

$$= (21 \text{ h} \times 30 \text{ dias} \times 60,82 \text{ kWh}) \times 0,35684 \text{ kW}^{-1} \text{ h}^{-1} = \text{R\$}13.672,89$$

- Faturamento = R\$466,71 + R\$ 4.890,51 + R\$13.672,89 = R\$19.030,01 no mês

- Tarifa Azul A4

- Demanda ponta = demanda ponta x tarifa demanda ponta

$$= (2 \text{ h} \times 30 \text{ dias} \times 47 \text{ kW}) \times 34,74 \text{ kW}^{-1} = \text{R\$}97,97$$

- Ultrapassagem demanda ponta = (Demanda contratada ponta – demanda faturada ponta) x tarifa demanda ultrapassagem fora ponta → considerando que não houve ultrapassagem R\$0
- Demanda Fora da ponta = demanda fora da ponta x tarifa demanda fora da ponta
= (21h x 30 x 47 kW) x 9,93 kW⁻¹ = R\$294,03
- Ultrapassagem demanda fora ponta = (Demanda contratada fora ponta – demanda faturada fora da ponta) x tarifa demanda ultrapassagem fora ponta → considerando que não houve ultrapassagem R\$0
- Consumo Ponta = consumo ponta x tarifa ponta
= (2h x 30 dias x 60,82 kWh) x 0,49851 kW⁻¹ h⁻¹ = R\$ 1.819,16
- Consumo fora da ponta = consumo fora ponta x tarifa fora ponta
= (21h x 30 dias x 60,82 kWh) x 0,35684 kW⁻¹ h⁻¹ = R\$13.672,89
- Faturamento = R\$294,03 + 1.819,16 + R\$13.672,89 = R\$15.786,08 no mês

Com base nos valores calculados para as diferentes modalidades tarifárias, fica evidente a importância de se realizar os estudos das diferentes opções disponíveis para o perfil do consumidor. Para o exemplo apresentado, não foram consideradas ultrapassagens na demanda contratada, o que indica ser necessário estudos detalhados das demandas buscando-se equalizar a demanda contratada à demanda registrada.

- Custos com combustíveis

Considerando a potência da bomba calculada anteriormente e, adotando-se uma margem de segurança de 25% para motores a diesel e de 50% para motores a gasolina, a potência do motor

$$P \text{ diesel} = 66,11 + 25\% \text{ de } 66,11 = 82,64 \text{ cv}$$

$$P \text{ gasolina} = 66,11 + 50\% \text{ de } 66,11 = 99,17 \text{ cv}$$

Considerando consumo médio dos motores à diesel de $0,22 \text{ L h}^{-1} \text{ cv}^{-1}$ e de $0,37 \text{ L h}^{-1} \text{ cv}^{-1}$, para motores à gasolina, taxa de um índice de carregamento de 75% e funcionamento de 23 h dia^{-1} , temos:

Consumo x potência x Índice de carregamento = consumo horário de combustível

$$0,22 \text{ L h}^{-1} \text{ cv}^{-1} \times 82,64 \text{ cv} \times 0,75 = 13,6 \text{ L h}^{-1} \text{ de diesel}$$

$$0,37 \text{ L h}^{-1} \text{ cv}^{-1} \times 99,17 \text{ cv} \times 0,75 = 36,7 \text{ L h}^{-1} \text{ de gasolina}$$

Em um dia de funcionamento o valor gasto com combustíveis será de:

Consumo x tempo de funcionamento x preço do combustível = valor mensal gasto

$$13,6 \text{ L h}^{-1} \times 23 \text{ h dia}^{-1} \times 3,00 \text{ R\$ L}^{-1} = 940,86 \text{ R\$ dia}^{-1} \times 30 \text{ dias} = 28.225,69 \text{ R\$/mês}$$

$$36,7 \text{ L h}^{-1} \times 23 \text{ h dia}^{-1} \times 4,00 \text{ R\$ L}^{-1} = 3.375,58 \text{ R\$ dia}^{-1} \times 30 \text{ dias} = 101.267,30 \text{ R\$/mês.}$$

- Resumo dos valores gastos com a irrigação

O valor gasto por metro cúbico de água bombeado será:

Valor mensal gasto / quantidade mensal de água bombeada:

$$\text{Elétrico B2} \rightarrow \text{R\$}19.018,90 / (3.500 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1} \times 30 \text{ dias}) = 0,18 \text{ R\$/m}^3$$

$$\text{Elétrico A4 Verde} \rightarrow \text{R\$}19.030,01 / (3.500 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1} \times 30 \text{ dias}) = 0,18 \text{ R\$/m}^3$$

$$\text{Elétrico A4 Azul} \rightarrow \text{R\$}15.786,08 / (3.500 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1} \times 30 \text{ dias}) = 0,15 \text{ R\$/m}^3$$

$$\text{Diesel} \rightarrow \text{R\$}28.225,69 / (3.500 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1} \times 30 \text{ dias}) = 0,26 \text{ R\$/m}^3$$

$$\text{Gasolina} \rightarrow \text{R\$}101.267,30 / (3.500 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1} \times 30 \text{ dias}) = 0,96 \text{ R\$/m}^3$$

A potência necessária por área irrigada:

$$72,72 \text{ cv} / 50 \text{ ha} = 1,45 \text{ cv ha}^{-1} \text{ para motor elétrico}$$

$$82,64 / 50 \text{ ha} = 1,65 \text{ cv ha}^{-1} \text{ para motor à diesel}$$

$$99,17 \text{ cv} / 50 \text{ ha} = 1,98 \text{ cv ha}^{-1} \text{ para motor à gasolina}$$

Consumo de energia por metro cúbico de água bombeada:

Potência / quantidade de água bombeada

$$72,72 \text{ cv} / 153 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} = 0,48 \text{ cv m}^{-3} = 0,35 \text{ kWh m}^{-3} \text{ para motor elétrico}$$

$$82,64 / 153 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} = 0,54 \text{ cv m}^{-3} = 0,39 \text{ kWh m}^{-3} \text{ para motor à diesel}$$

$$99,17 \text{ cv} / 153 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} = 0,64 \text{ cv m}^{-3} = 0,47 \text{ kWh m}^{-3} \text{ para motor à gasolina}$$

De acordo com os resultados, observa-se que as demandas por potência e energia estão de acordo com os valores apresentados pela literatura, sendo que a utilização de motores elétricos apresenta menor custo para irrigar a área selecionada. Todavia, os motores à combustão podem se tornar importante opção na redução dos custos energéticos, sobretudo quando ocorre consumo no horário de ponta.

5 CONCLUSÕES

A busca por tecnologias que permitam obter maior produtividade de grãos tem estimulado o interesse pela irrigação, pois proporciona aumento de produtividade na lavoura, mesmo em condições climáticas adversas. Todavia, trata-se de uma técnica de elevado custo, demandando um bom planejamento, visto que pode se tornar um processo tão oneroso que pode inviabilizar a sua utilização.

Essa tecnologia pode representar tanto aumento de produtividade como aumento dos custos de produção, independentemente do método utilizado. Considerando que os custos de investimento e operação em sistemas de irrigação são elevados, é importante que o dimensionamento do conjunto motobomba e da tubulação, sejam feitos considerando critérios econômicos e não puramente hidráulicos.

Cada vez mais o lucro obtido nas atividades agropecuárias está diretamente relacionado à capacidade de economizar com insumos, água e energia. Por isso é de grande importância que o produtor rural conheça os componentes da tarifação de energia elétrica, para que aproveite os melhores horários para a irrigação e assim economize, maximizando os lucros.

Especialmente para a agricultura irrigada, é imprescindível a manutenção do estímulo tarifário, com redução das tarifas de consumo e demanda; pois, a energia, hoje, é um insumo imprescindível à modernização, produtividade e geração de empregos e renda da atividade.

6 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, P. E. P. D.; COUTINHO, A. C.; GONÇALVES, P. P.; AGOSTINHO, E. M. Uso Eficiente da Água de Irrigação e da Energia Elétrica em Cultura de Milho sob Pivô Central num Plantio Comercial em Várzea da Palma. In: CONGRESSO NACIONAL DE EMBRAPA, MILHO E SORGO 28, 2010, Goiânia. **Anais...** Várzea da Palma, Ed. EMBRAPA, 2010. p. 3209-3215.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – Resolução nº 414/2010. Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica.

CARVALHO, J. A.; BRAGA JÚNIOR, R. A.; REIS, J. B. R. S. Análise de custos na escolha do tipo de motor para acionamento de bombas em áreas irrigadas. *Ciência e Agrotecnologia*, v.4, n.2, 2000.

CEMIG, Centrais Energéticas de Minas Gerais, Tarifas. Disponível em <http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx>. Acesso em 15 nov. 2016.

Medeiros, S. S.; Soares, A. A.; Ramos, M. M.; Mantovani, E. C. Souza, J. A. A. Avaliação da eficiência do uso da energia elétrica no Perímetro Irrigado de Pirapora, MG, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, p.394-398, 2003.

Quanto custa a energia elétrica na irrigação In: NEHMI, IZABEL MONTEIRO DUARTE (Coord.). *Agriannual 2003* ed. São Paulo: AgraFNP, 2003, v.1, p. 19-22.

Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. *Irrigação: gestão de água e energia elétrica*. – Brasília: Senar, 2019. 84 p; il. 21 cm (Coleção Senar, 255).

Turco, J. E. P., Rizzatti, G. S., Pavani, L. C. Custo de energia elétrica em cultura do feijoeiro irrigado por pivô central, afetado pelo manejo da irrigação e sistemas de cultivo, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*, v.29, p.311-320, 2009.