



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Urutaí
Programa de Pós-Graduação em Conservação de
Recursos Naturais do Cerrado

CUSTO DO BOMBEAMENTO DE ÁGUA EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO SOB DIFERENTES MODALIDADES TARIFÁRIAS

SAULO CESAR DA SILVA

Orientador: Prof. Dr. José Antonio Rodrigues de Souza

Coorientadora: Profa. Dra. Débora Astoni Moreira

Urutaí, Agosto de 2020



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano
Reitor

Prof. Dr. Elias de Pádua Monteiro

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação e Inovação

Prof. Dr. Alan Carlos da Costa

Campus Urutaí

Diretor Geral

Prof. Dr. Paulo César Ribeiro da Cunha

Diretor de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação

Prof. Dr. Anderson Rodrigo da Silva

**Programa de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais do
Cerrado**

Coordenador

Prof. Dr. Daniel de Paiva Silva

Urutaí, 04 de Agosto de 2020

SAULO CÉSAR SILVA

**CUSTO DO BOMBEAMENTO DE ÁGUA EM
SISTEMA DE IRRIGAÇÃO SOB DIFERENTES
MODALIDADES TARIFÁRIAS**

Orientador(a)

Prof. Dr. José Antonio Rodrigues de Souza

Coorientador(a)

Profa. Dra. Débora Astoni Moreira

Dissertação apresentada ao Instituto Federal Goiano –
Campus Urutaí, como parte das exigências do Programa
de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais
do Cerrado para obtenção do título de Mestre.

Urutaí (GO)
2020

Os direitos de tradução e reprodução reservados.
Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

ISSN XX-XXX-XXX

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

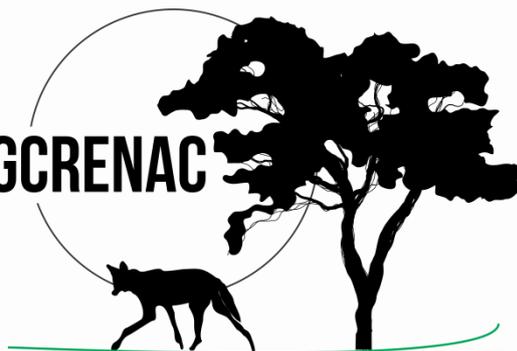
da Silva, Saulo Cesar da Silva
dD111c CUSTO DO BOMBEAMENTO DE ÁGUA EM SISTEMA DE
IRRIGAÇÃO SOB DIFERENTES MODALIDADES TARIFÁRIAS /
Saulo Cesar da Silva da Silva; orientador José
Antonio Rodrigues de Souza; co-orientadora Débora
Astoni Moreira. -- Urutaí, 2020.
35 p.

Dissertação (em Mestrado Profissional em
Conservação dos Recursos Naturais do Cerrado) --
Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, 2020.

1. Tarifação. 2. Energia elétrica. 3. Custo de
irrigação. I. Rodrigues de Souza, José Antonio,
orient. II. Astoni Moreira, Débora , co-orient. III.
Titulo.

Responsável: Johnathan Pereira Alves Diniz - Bibliotecário-Documentalista CRB-1 n°2376

PPGRENAC



Programa de Pós-Graduação em Conservação de
Recursos Naturais do Cerrado

FICHA DE APROVAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Título da dissertação:	CUSTO DO BOMBEAMENTO DE ÁGUA EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO SOB DIFERENTES MODALIDADES TARIFÁRIAS
Orientador:	José Antonio Rodrigues de Souza
Coorientadora:	Débora Astoni Moreira
Autor:	Saulo Cesar da Silva

Dissertação de Mestrado **APROVADA** em 04 de Agosto de 2020, como parte das exigências para obtenção do Título de **MESTRE EM CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS DO CERRADO**, pela Banca Examinadora especificada a seguir.

Prof. Dr José Antonio Rodrigues de Souza
Orientador, IF Goiano – Campus Urutaí
Presidente

Prof. Dra. Débora Astoni Moreira
IF Goiano – Campus Urutaí
Membro titular

Prof. Dr. Leandro Caixeta Salomão
IF Goiano – Campus Urutaí
Membro titular

Prof. Dr. Gilson da Silva Dourado
IF Goiano – Campus Urutaí
Membro titular

*“A ciência nunca resolve um problema
sem criar pelo menos outros dez.”
(George Bernard Shaw)*

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos ao meu orientador Professor Doutor José Antonio Rodrigues de Souza, pessoa de grande conhecimento, eficiência e caráter inigualável. Uma rara união de comprometimento profissional, humildade e coração de ouro. Obrigado pelo apoio incondicional, ajuda e incentivo, pois sem ele eu não obteria êxito. Sua amizade e a força constante que me fez dissipar medos e inseguranças nas horas difíceis. Agradeço de coração por toda orientação e toda ajuda que só um verdadeiro mestre e amigo poderia me fornecer.

Agradeço ao meu amigo Fernando Soares Cantuário, companheiro solidário, pela sua amizade e por todo o apoio e partilha.

Agradeço a Professora Doutora Débora Astoni Moreira, coorientadora, pelo seu carisma, simpatia, apoio e sua valiosa colaboração nas orientações e aulas ministradas.

Agradeço o Professor Doutor Leandro Caixeta Salomão e Professor Doutor Gilson da Silva Dourado, pelas valiosas sugestões e estímulos dados.

Agradeço ao IF GOIANO campus Urutaí pelo apoio sempre concedido.

Agradeço a minha esposa e filhas por estar sempre ao meu lado, pelo incentivo e apoio incondicional.

Agradeço aos meus pais que me trouxeram ao mundo e sempre me apoiaram.

Finalmente, agradeço a Deus, que colocou no meu caminho seres tão especiais que me permitiram chegar até aqui.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	viii
LISTA DE FIGURAS, QUADROS E TABELAS	ix
RESUMO	10
ABSTRACT	11
1. INTRODUÇÃO.....	12
1.2 Sistema de partida de motores elétricos	12
1.2.1 Partida direta	13
1.2.2 Partida estrela-triângulo	14
1.2.3 Partida com chave compensadora ou auto-trafo compensador.....	15
1.2.4 Partida suave (soft-starter)	16
1.2.5 Partida com inversores de frequência.....	17
1.3 Geradores.....	18
2 Tarifas.....	21
2.1 Determinação do valor gasto com aplicação de água em sistema de irrigação.....	24
2.1.1 Exemplo de seleção da modalidade tarifária e do valor gasto com irrigação.....	26
3 Considerações finais	32
4 Referências	33

LISTA DE FIGURAS, QUADROS E TABELAS

Figura 1 Diagrama de potência para partida direta e roteiro de cálculo.....	14
Figura 2- Diagrama de potência para partida com chave estrela-triângulo e roteiro de cálculo	15
Figura 3 Diagrama de potência para partida com chave compensadora e roteiro de cálculo...	16
Figura 4 Diagrama de potência para partida com chave soft-starter.....	17
Figura 5 Diagrama de potência para partida com conversor de frequência	18

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Descontos percentuais tarifários para irrigação em horário especial	24
Tabela 2 - Tarifas de energia elétrica (R\$), segundo diferentes grupos, modalidades e postos tarifários praticados pela ENEL GO.....	26

CUSTO DO BOMBEAMENTO DE ÁGUA EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO SOB DIFERENTES MODALIDADES TARIFÁRIAS

RESUMO

A irrigação é uma técnica de elevado custo que demandando bom planejamento, visto que, dependendo das condições climáticas pode se tornar um processo oneroso, inviabilizando sua utilização. Estima-se que 20% da água e 30% da energia consumidas durante o processo de irrigação poderiam ser economizados utilizando-se medidas simples como a determinação da quantidade e do momento de aplicação água, a seleção do método de partida de motores e a escolha das tarifas energéticas. A legislação costuma autorizar a aplicabilidade de diferentes tipos de tarifas para as empresas onde as concessionárias dispõem de estrutura horo-sazonal, caracterizadas pelas diferentes tarifas de consumo de energia elétrica (kWh) e de demanda de potência (kW), de acordo com as horas de mais uso no dia e nos períodos do ano, visando melhor aproveitamento energético em função do horário de consumo e redução de necessidades de investimento para atendimento a novos consumidores. Assim, com este trabalho, objetivou-se demonstrar variáveis de custos energético de bombeamento de água em um sistema de irrigação em diferentes cenários de consumo e tarifas energéticas.

Palavras-chave: tarifação, energia elétrica, custo de irrigação

ENERGY COSTS OF APPLICATION OF WATER IN IRRIGATION SYSTEM

ABSTRACT

Irrigation is a high-cost technique that requires good planning, since, depending on climatic conditions, it can become an expensive process, making its use unfeasible. It is estimated that 20% of the water and 30% of the energy consumed during the irrigation process could be saved using simple measures such as determining the amount and timing of water application, selecting the engine starting method and choosing energy tariffs. The law usually authorizes the application of different types of tariffs for companies where concessionaires have a horo-seasonal structure, characterized by different tariffs for electricity consumption (kWh) and power demand (kW), according to the hours. more use on the day and in the periods of the year, aiming at better energy use due to the consumption schedule and reduction of investment needs to serve new consumers. Thus, this work aimed to demonstrate the energy costs variables of pumping water into the irrigation system in different consumption scenarios and energy tariffs.

Keywords: electrical pricing, electricity, irrigation cost.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de energia elétrica no meio rural tem aumentado significativamente nos últimos anos e se tornando indispensável à modernização da agricultura e da 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 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 (REIS, 2015; COELHO et al, 2005).

Dessa forma, medidas simples, que antes eram relegadas a segundo plano, assumem papel fundamental para a redução dos custos de produção. Além da aplicação de água na quantidade e no momento exato, o sistema de acionamento de motores elétricos é outro aspecto de grande importância do ponto de vista da eficiência energética, já que alguns sistemas desperdiçam energia durante a partida do motor, provocando aquecimento excessivo e comprometendo sua vida útil. A seleção do método adequado de partida, associado ao escalonamento na ligação de motores elétricos, iniciando pelos de maior potência, contribui sobremaneira para redução dos custos (FRANCHI, 2018).

Também, a escolha da modalidade tarifária adequada ao perfil de consumo, contribui para redução dos custos, visto que as concessionárias apresentam diferentes tarifas conforme perfil selecionado, uma vez que a legislação costuma autorizar a aplicabilidade de diferentes tipos de tarifas visando melhor aproveitamento energético em função do horário de consumo e redução de necessidades de investimento para atendimento a novos consumidores (ANEEL, 2010). Assim, com este trabalho, objetivou-se demonstrar custos de um sistema de irrigação em diferentes cenários de consumo e tarifas energéticas.

1.2 Sistema de partida de motores elétricos

Durante a partida, os motores solicitam da rede elétrica uma corrente que é cerca de cinco a sete vezes maior do que a corrente nominal de funcionamento a plena carga. Posteriormente, à medida que o motor vai superando a inércia (resistência da carga) e

aumentando a rotação, esta corrente vai reduzindo até chegar ao valor de regime permanente (FRANCHI, 2018).

Essa elevação na corrente não tem influência significativa nos custos de demanda (kWh), já que o período em que ela ocorre é muito curto (cerca de 0,5 a 10 segundos) em relação ao tempo de integralização dos medidores (15 minutos) (ANEEL, 2010). Todavia, tem efeito nos custos de consumo (kWh), reduz a vida útil do motor, aumenta os custos operacionais e de manutenção, bem como eleva os custos com elementos condutivos e de proteção, já que devem ser dimensionados em função desta alta corrente, evitando-se distúrbios operacionais tais como quedas de tensão, cintilação das lâmpadas, atuação indevida de sistemas de proteção etc (SOUZA et al, 2017).

Para evitar estes inconvenientes, algumas concessionárias proíbem a utilização de motores com partida direta acima de uma determinada potência. Outras, apenas se limitam na imposição da relação entre corrente de partida e a corrente nominal (I_p/I_N), em função da potência dos motores.

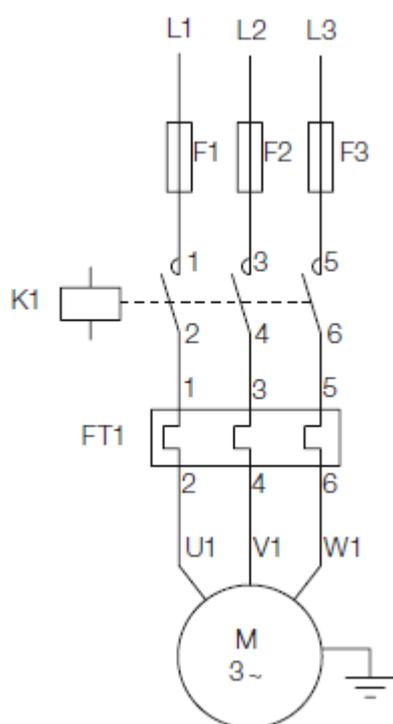
De um modo geral, não existem sistemas de partida melhores ou piores (GOMES, 2009). A escolha deve ser realizada a partir da verificação das limitações da instalação elétrica, das características da carga acoplada ao motor, do plano de manutenção desejado, do capital inicial disponível etc. A seguir, são apresentados os principais métodos de partida para motores.

1.2.1 Partida direta

É o método mais simples de partida e de menor custo, onde o motor é ligado diretamente à rede, fazendo com que parta com as suas características nominais, sofrendo interferência apenas dos dispositivos de seccionamento (contatores, disjuntores, chaves interruptoras ou relé térmico) (RÊGO SEGUNDO; CARDOSO, 2015). Geralmente é utilizada para o acionamento de pequenos motores (monofásicos até 10 cv e trifásico até 5cv, dependendo da concessionária) e que partam a vazio (sem carga).

Neste tipo de acionamento, tem-se elevada corrente de partida (5 a 7 vezes a corrente nominal do motor), que pode provocar queda de tensão na rede de alimentação, interferindo no funcionamento de equipamentos e provocar desgaste mecânico e maior consumo energético (VOLPIANO, 2013). Neste caso, é necessário superdimensionar os dispositivos de conexão e proteção, bem como limitar o número de manobras. Entretanto, desde que o

sistema esteja dimensionado para suportar este pico de corrente na partida e seja permitida pela concessionária, a partida direta será a melhor alternativa do ponto de vista intrínseco do motor, já que parte com plena tensão, fornecendo o máximo de conjugado de partida (torque) e a máxima aceleração.



Roteiro de Cálculo.

- Contator: $K1 \rightarrow I_e \geq I_N \times 1,15$
 - Relé de Sobrecarga: $FT1 \rightarrow I_N$
 - Fusíveis de Força: F1, F2, F3
- Com a corrente de partida [$I_P = (I_P / I_N) \times I_N$] e o tempo de partida ($T_P = 5s$), consultar a curva característica do fusível e obter o fusível indicado pela referida curva.
- $I_F \geq 1,20 \cdot I_N$
 - $I_F \leq I_{F\text{Máx}} \times K_1$
 - $I_F \leq I_{F\text{Máx}} \times FT_1$

Figura 1 Diagrama de potência para partida direta e roteiro de cálculo

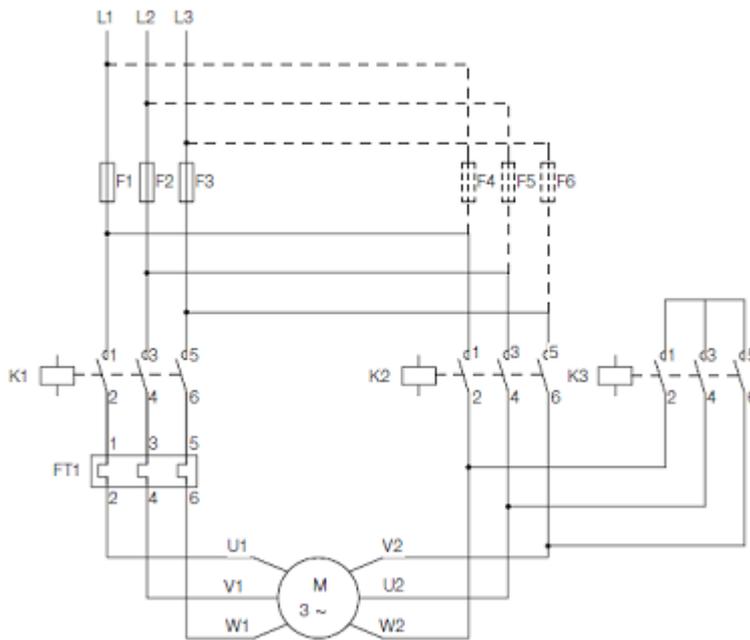
Fonte: WEG, 2020

1.2.2 Partida estrela-triângulo

Indicada para motores monofásicos acima de 10 cv e trifásicos acima de 5 cv, que partem a vazio (sem carga) ou com baixo conjugado da carga, tais como ferramentas agrícolas, bombas hidráulicas etc e, que apresentam seis terminais de ligação, com dupla tensão, sendo que tensão fornecida pela concessionária deve ser igual à tensão de triângulo do motor (FRANCHI, 2018) .

Neste sistema, uma chave estrela-triângulo, que pode ter acionamento automático ou manual, reduz a tensão aplicada em 58% ($\sqrt{3}$ vezes) no momento do acionamento do motor, provocando uma redução na corrente de partida e no conjugado de partida em 1/3 dos valores em plena tensão.

O acionamento do motor é feito ligando-o, inicialmente, com a chave na configuração estrela até que alcance 90% da rotação nominal (cerca de 3 a 40 segundos). Em seguida esta conexão é desfeita e executada a configuração em triângulo, fazendo com que a tensão nominal seja aplicada nos enrolamentos, dando plena capacidade de carga ao motor.



Roteiro de cálculo dos componentes do circuito:

- Contatores $K_1 = K_2 \rightarrow I_c \geq (0,58 \times I_N) \times 1,15$

Contator $K_3 \rightarrow I_c \geq (0,33 \times I_N) \times 1,15$

- Relé de sobrecarga $FT1 \rightarrow 0,58 \times I_N$

- Fusíveis de Força: F_1, F_2, F_3

- Com a corrente de partida [$I_p = (I_p / I_N) \times I_N \times 0,33$] e o tempo de partida ($T_p = 10 \text{ s}$), consultar a curva característica do fusível e obter o fusível indicado pela referida curva.

- $I_F \geq 1,20 \times I_N$

- $I_F \leq I_{F \text{ Máx}} \times K_1 \times K_2$

- $I_F \leq I_{F \text{ Máx}} \times FT_1$

Figura 2- Diagrama de potência para partida com chave estrela-triângulo e roteiro de cálculo

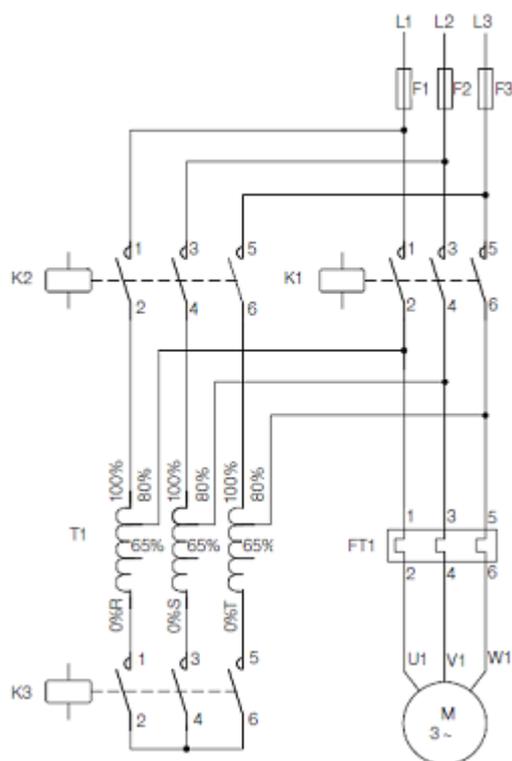
Fonte: WEG, 2020

1.2.3 Partida com chave compensadora ou auto-trafo compensador

É indicado para motores com potência elevada (monofásicos acima de 10 cv e trifásicos acima de 5 cv), que partem com cargas de alto índice de atrito, tais como motores para bombas hidráulicas, e onde a utilização das chaves estrela-triângulo não podem ser aplicadas (FRANCHI, 2018).

Seu funcionamento se baseia em aplicar uma tensão reduzida ao motor durante a partida, que é obtida por meio de autotransformador ligado em série com as bobinas do motor. Essa variação de tensão, e por consequência, da corrente, depende do TAP (nome dado a saída de tensão do autotransformador) em que estiver ligado o autotransformador. Os TAPS

de 50%, 65% e 80% sofrerão reduções na corrente de partida de 25%, 42% e 65%, respectivamente.



Roteiro de Cálculo.

• Contatores: $K_1 \rightarrow I_e \geq I_N \times 1,15$

$K_2 \rightarrow I_e \geq (\text{Tap}^2 \times I_N) \times 1,15$

$K_3 \rightarrow I_e \geq (\text{Tap} - \text{Tap}^2) \times I_N \times 1,15$

• Relé de Sobrecarga: $FT_1 \rightarrow I_N$

• Fusíveis de Força: F1, F2, F3

- Com a corrente de partida [$I_P = (I_P / I_N) \times I_N \times \text{Tap}_2$] e o tempo de partida ($T_P = 15 \text{ s}$), consultar a curva característica do fusível e obter o fusível indicado pela referida curva.

- $I_F \geq 1,20 \times I_N$

- $I_F \leq I_{F\text{Máx}} \times K_1$

- $I_F \leq I_{F\text{Máx}} \times FT_1$

Figura 3 Diagrama de potência para partida com chave compensadora e roteiro de cálculo.

Fonte: WEG, 2020

1.2.4 Partida suave (soft-starter)

Indicada para motores que partem a vazio (sem carga) ou com conjugado da carga baixo, tais como utilizados em bomba hidráulica, substituindo qualquer outro método utilizado como regulação de partida. Podem ser aplicados a motores monofásicos ou trifásicos nas mais diversas potências e podem ser interligadas à computadores (FRANCHI, 2018).

As soft-starters são chaves de partidas estáticas microprocessadas, projetadas para controlar a aceleração e frenagem do motor, transferindo energia de forma gradual, suavizando a aceleração, reduzindo os trancos e golpes nos componentes mecânicos e sobrecarga na rede elétrica durante a partida. Em virtude desta diminuição da tensão e, conseqüentemente, da corrente de partida (cerca de 2 a 3 vezes em relação a corrente

nominal), uma economia de energia significativa pode ser observada, sobretudo para os motores que operam com carga de até 50% da potência do motor.

São compostas por um conjunto de tiristores ligados em posição antiparalelo, cujo ajuste do ângulo de disparo de cada par de tiristor, controla a tensão no motor e, conseqüentemente, o torque e corrente às necessidades da carga, exigindo-se o mínimo de corrente para acelerar a carga, sem mudanças de frequência. Costumam funcionar com a tecnologia chamada *by-pass*, a qual, após o motor partir e receber toda a tensão da rede, liga-se um contator que substitui os módulos de tiristores, evitando sobreaquecimento dos mesmos.

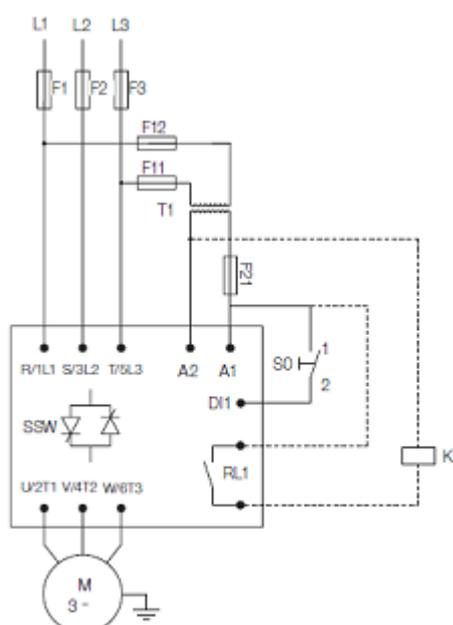


Figura 4 Diagrama de potência para partida com chave soft-starter.

Fonte: WEG, 2020

1.2.5 Partida com inversores de frequência

Inversores ou conversores de frequência são dispositivos estáticos microprocessados que convertem a tensão da rede alternada senoidal em tensão contínua de amplitude e frequência constantes e, finalmente a converte em uma tensão de amplitude e frequência variável. Podem ser aplicados a motores monofásicos ou trifásicos nas mais diversas potências, que partam a vazio ou em plena carga (FRANCHI, 2018).

Essa variação de frequência da tensão proporciona o ajuste da velocidade do motor e do conjugado à carga, aumentando-se a eficiência energética (redução no consumo de 15 a 33%). Além disto, proporciona variação e controle de vazão e fluxo, que eram feitos por polias e variadores hidráulicos. Os inversores também atuam como dispositivos de proteção para os mais variados problemas de rede elétrica, tais como desbalanceamento entre fases, sobrecarga, queda de tensão etc.

Quando se pretende apenas ter uma partida suave, sem a necessidade de variação da velocidade do motor, prefere-se a partida soft-starter em relação ao inversor de frequência.

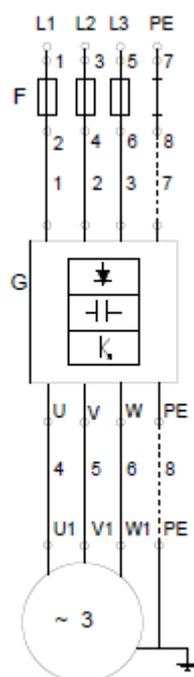


Figura 5 Diagrama de potência para partida com conversor de frequência

Fonte: WEG, 2020

1.3 Geradores

Praticamente indispensável na atualidade, a energia elétrica é responsável por suprir necessidades básicas da sociedade. Além de fundamental para a manutenção de atividades básicas como a irrigação, manejo e tratamento de animais em sistema de confinamento, beneficiamento de produtos entre outros, a energia elétrica é fator chave para a sobrevivência da família no campo.

Para a maioria dos produtores rurais, as falhas no fornecimento, as elevadas tarifas e até mesmo a falta de redes de energia eficientes tem se tornado problemas recorrentes, o qual

tem efeitos diretos na produção. Dessa forma, o uso de geradores de energia tem se tornado um equipamento cada vez mais necessário para a manutenção da produtividade no campo e redução dos custos, principalmente no horário de ponta, quando a tarifa energética é mais cara (OLIVEIRA, 2009; CNA, 2020).

Geradores elétricos ou conversores elétricos, são aparelhos que convertem diversas formas de energia em energia elétrica e são classificados pela forma como produzem (convertem) a energia em geradores químicos, luminosos, térmicos e mecânicos (FRACNHI, 2018, ENERGIBELL, 2019).

O gerador químico é aquele capaz de converter a energia gerada nas reações químicas em energia elétrica, como é o caso das pilhas, baterias e células de combustível. Geralmente, não são utilizados como fontes de energia para consumos de alta potência ou tensão, já que a tecnologia de armazenamento energético em grande escala ainda é muito cara e pouco explorada (FRACNHI, 2018, ENERGIBELL, 2019).

Um gerador luminoso é aquele que capta a irradiação solar por meio de um semicondutor e a converte em energia elétrica, a exemplo das placas solares. Geralmente o semicondutor utilizado é o silício, que possui alto valor de mercado, encarecendo a fabricação deste tipo de gerador. Apresenta a vantagem de não possuir custos com matéria prima, uma vez que utiliza a irradiação solar, bem como a facilidade de implantação das placas solares (FRACNHI, 2018, ENERGIBELL, 2019).

Geradores térmicos são aqueles capazes de converter energia do efeito joule diretamente em energia elétrica. Já os geradores mecânicos, como o nome sugere, utilizam a energia mecânica para ativar um gerador e produzir energia elétrica (FRACNHI, 2018, ENERGIBELL, 2019).

O gerador mais utilizado e eficiente no mercado é o gerador do tipo mecânico, que utiliza as diversas fontes de energia mecânica, variando desde a combustão (com combustíveis fósseis ou orgânicos), forças externas (como o vento e água) até fluidos aquecidos, cujo vapor gera o movimento mecânico necessário para a atividade.

Para a seleção adequada de um gerador, fatores como potência, tamanho, fontes de energia e manutenção, são fatores que devem ser considerados. A potência está relacionada com as quantidades de cargas que o gerador terá que manter em funcionamento simultâneo. O tamanho está relacionado com a portabilidade e potência, visto que pequenos geradores têm maior facilidade de transporte, todavia podem não suprir a demanda desejada. Quanto a fonte de energia, geralmente a escolha se limitam aos modelos movidos à gasolina ou diesel.

Já a manutenção está relacionada com os custos financeiros diretos ou até mesmo com a interrupção das atividades (GRUPEL, 2020).

Geradores à diesel apresentam maiores dimensões e potências, produzem mais ruído, requerem menos manutenção, consomem menor combustível por quilowatt de energia produzido e tem menor custo de aquisição do que os geradores à gasolina. De um modo geral, os geradores a diesel são mais indicados para fornecimento de energia em instalações e equipamentos de uso diário, por ser mais resistente e ter o combustível mais barato, pagando o investimento.

Como na geração de energia elétrica ocorre grandes oscilações de tensão, para utilização de equipamentos sensíveis, se faz necessário utilizar reguladores de tensão ou AVR (Automatic Voltage Regulator). Caso seja necessário a utilização de nobreaks, recomenda-se que eles tenham dupla ou tripla conversão, sendo menos sensíveis a oscilação de tensão (CARLI, 2018).

Para dimensionar um grupo motor-gerador, inicialmente é necessário determinar a carga a ser fornecida, definindo se o conjunto irá atender a todas as cargas da propriedade ou apenas parte delas. Posteriormente, determina-se a potência que será consumida por cada ponto de consumo atendido pelo grupo motor-gerador (FRANCHI, 2018).

A potência consumida em cada ponto de consumo é determinada fazendo-se o somatório das potências de todas as cargas, em Watts (potência útil). O gerador deverá apresentar uma potência, em kVA, equivalente ao somatório das potências de todas as cargas. A seguinte equação é utilizada:

$$Potencia\ do\ gerador\ (KVA) = \frac{\sum [Potencia\ das\ cargas\ (watt)]}{1.000 \times fator\ de\ potencia}$$

Se o grupo motor-gerador for monofásico o fator será igual a 1 e será igual a 0,8 para grupos motores-geradores trifásicos. Para converter potência de motores de cv para watt, basta multiplicar a potência em cv por 736 e, de hp para watt, multiplicar por 746.

A potência do motor, em cavalo-vapor (cv), que irá acionar o gerador é obtida pela seguinte equação:

$$Potencia\ do\ motor\ (cv) = \frac{\sum [Potencia\ das\ cargas\ (watt)]}{7,36 \times rendimento\ do\ motor\ (\%)}$$

O valor do rendimento do motor varia entre 60 a 75%.

2 Tarifas

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.

Em relação ao grupo tarifário, os consumidores são divididos em dois grandes grupos, A e B, conforme Resolução Normativa 418/2010 da Aneel (ANEEL, 2010). No grupo A, estão os consumidores atendidos por redes trifásicas, com potência de transformadores variando de 112,5 a 1000 kVA. Estes consumidores são 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).

Quando o fator de potência, que depende das características de instalação (relação entre a carga demandada (potência útil) e a potência aparente for inferior a 0,92 nas instalações consumidoras pertencentes ao grupo A, a tarifação poderá sofrer acréscimos.

Já no grupo B, estão os chamados consumidores secundários, caracterizados por atendimento monofásico, com potência de transformadores variando entre 5 a 37,5 kVA e, por redes trifásicas com transformadores de 15 a 75 kVA. Estes consumidores são atendidos em baixa tensão (inferior a 2,3 kV), sendo dividido nos seguintes subgrupos: residências (B1), zona rural (B2), demais classes (B3) e iluminação pública (B4).

Enquanto para os consumidores do grupo A ocorrem tarifação binômia, isto é, são cobrados tanto pela energia que consomem (kWh), como pela potência contratada (demanda contratada) junto à distribuidora (kW), para os consumidores do grupo B, ocorre a tarifação monômia, ou seja, são cobrados apenas pela energia que consomem (kWh), independentemente da potência, conforme Resolução Aneel 479/2012 (BRASIL, 2012).

Para os consumidores do grupo B, são oferecidas as modalidades tarifárias Convencional Monômia e a Horária Branca (Na modalidade Monômia, ocorre tarifação única

de consumo de energia elétrica, independentemente das horas de utilização do dia, enquanto na Horária Branca, a tarifa é diferenciada de acordo com as horas de utilização do dia (postos tarifários), não estando disponível para o subgrupo B4 e para a subclasse Baixa Renda do subgrupo B1.

Para os consumidores do grupo A existem três modalidades tarifárias, conforme Resolução Aneel 479/2012, a tarifa Convencional Binômia, Horária Verde (horo-sazonal verde) e Horária Azul (horo-sazonal azul), visando melhor aproveitamento energético em função do horário de consumo, reduzindo necessidades de investimentos para atendimento a novos consumidores.

A tarifação Convencional Binômia é aplicada aos consumidores do grupo A com demanda inferior a 150 kW, sendo o preço da energia elétrica estabelecido em função do consumo da demanda contratada. Para valores superiores a esta demanda, é obrigatório a escolha de uma tarifa horária.

A principal variável entre as opções horárias é a diferenciação de tarifas de acordo com o horário conforme Resolução 479/2012 (BRASIL, 2012). Enquanto na modalidade tarifária Horária Verde (horo-sazonal verde), disponível apenas para as subclasses A3a, A4 e AS, a tarifa de consumo (kWh) tem valores diferenciados para o horário de ponta e fora de ponta, na modalidade tarifária Horária 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 (Resolução ANEEL 418/2010). 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.

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 (10% grupo A e, 60% para o grupo B, já disponível no subgrupo B2) e para as atividades de irrigação e aquicultura em horário especial (70 a 90% para o grupo A e, de 60 a 73% para o grupo B), entre outras (Tabela 1).

Na Tabela 1 estão apresentados os descontos percentuais que devem ser aplicados ao subgrupo tarifário da unidade consumidora que realizam irrigação em horário especial, conforme Resolução 414/2010 da Aneel (BRASIL, 2010), Decreto 7.891/2013 (BRASIL, 2013a) e Lei 13.203/2015 (BRASIL, 2015).

Tabela 1- 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, 2020a

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.

Desde janeiro de 2015, as contas de energia elétrica, para todos os grupos, são faturadas de acordo com o Sistema de Bandeiras Tarifárias (SIT), segundo a resolução normativa da Aneel, onerando ainda mais os custos com energia elétrica, a exceção do Estado de Roraima que não está no SIN (Sistema Interligado Nacional), dependendo energia elétrica da Venezuela (Resolução Normativa 547/2013 (BRASIL, 2013b).

As bandeiras verde, amarela e vermelha (as mesmas do semáforo) indicarão se a energia custará mais ou menos, em função das condições de geração de eletricidade, conforme Resolução Normativa 547/2013 (BRASIL, 2013b). No caso de bandeira verde, não incidirá valor adicional, enquanto para a bandeiras amarela ocorrerá um acréscimo de R\$ 0,01343 por kWh consumido. Para a bandeira vermelha tem-se dois valores de adicionais, sendo de R\$0,04169 e R\$0,06243 por kWh consumido, para os patamares 1 e 2, respectivamente (ANEEL, 2020b).

2.1 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 utilizado pelo motor e do método utilizado. Dessa forma, o dimensionamento de sistemas de irrigação que apresentem custos operacionais energéticos mínimos, representa fator relevante nos dias atuais (ZAGO, 2017; CARVALHO et al, 2000).

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 (BERNARDO et al, 2019; CARVALHO et al, 2000).

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 (BERNARDO et al, 2019; CARVALHO et al, 2000).

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:

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

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

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

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.

2.1.1 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 no estado de Goiás, considere um exemplo hipotético em 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 2.

Tabela 2 - Tarifas de energia elétrica (R\$), segundo diferentes grupos, modalidades e postos tarifários praticados pela ENEL GO.

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\$/ kWh)	31,67	28,50	6,33	37,48	34,74	7,27
Demanda Fora de Ponta (R\$/ kWh)	9,06	8,15	1,81	10,72	9,93	2,08
Demanda Ultrap. Ponta (R\$/ kWh)	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

Fonte: Aneel, 2020

Valores tarifários praticados pela ENEL (março de 2020), 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 Goiás, 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:

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

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

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 ETc 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

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

em que Pot é a potência da bomba, em cv; Q é vazão, em m³ h⁻¹; Hm 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 (BERNARDO et al, 2019).

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

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

2.1.2 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(2000):

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

$$\text{- Demanda} = \text{demanda contratada} \times \text{tarifa demanda}$$

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

$$\text{- Ultrapassagem demanda: (Demanda contratada} - \text{demanda faturada)} \times \text{tarifa demanda ultrapassagem fora ponta} \rightarrow \text{considerando que não houve ultrapassagem R\$}0$$

$$\text{- Consumo Ponta} =: \text{consumo ponta} \times \text{tarifa ponta}$$

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

$$\text{- Consumo Fora da ponta} = \text{consumo fora ponta} \times \text{tarifa fora ponta}$$

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

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

- Tarifa Azul A4

$$\text{- Demanda ponta} = \text{demanda ponta} \times \text{tarifa demanda ponta}$$

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

- 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
 $= (21h \times 30 \times 47 \text{ kW}) \times 9,93 \text{ kW}^{-1} = \text{R\$}294,03$

- 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
 $= (2h \times 30 \text{ dias} \times 60,82 \text{ kWh}) \times 0,49851 \text{ kW}^{-1} \text{ h}^{-1} = \text{R\$} 1.819,16$

- Consumo fora da ponta = consumo fora ponta x tarifa fora ponta
 $= (21h \times 30 \text{ dias} \times 60,82 \text{ kWh}) \times 0,35684 \text{ kW}^{-1} \text{ h}^{-1} = \text{R\$}13.672,89$

- Faturamento = R\$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 (0,2 a 0,6 kWh m⁻³ para aspersão), 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.

3 Considerações finais

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-se critérios econômicos e não puramente hidráulicos.

Estima-se que 20% da água e 30% da energia consumidas durante o processo de irrigação poderiam ser economizados apenas com a realização de um manejo adequado. Para isso, medidas simples como a determinação da quantidade de água a ser aplicada, o momento de sua aplicação, a seleção do método de partida de motores e a escolha das tarifas energéticas assumem papel fundamental para a redução dos custos de produção.

4 Referências

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – Resolução nº 414/2010. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada.

ANEEL -AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Bandeiras Tarifárias. Disponível em < <https://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>> .Acesso em 14 jan 2020a

ANEEL -AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Homologatória nº 2.094 de 21 de junho de 2016. Agência Nacional de Energia Elétrica. - Brasília: ANEEL, 2016.

BERNARDO, S. MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. Manual de irrigação. Editora UFV, 9ed. 2019

BRASIL 2010. Resolução Normativa nº418/2010. Retifica a Resolução Normativa ANEEL no 414, de 2010

BRASIL 2012. Resolução Normativa nº479/2012. Altera a Resolução Normativa nº414/2010, que estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada.

BRASIL 2013a. DECRETO Nº 7.891/2013. Dispõe sobre as concessões de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, sobre a redução dos encargos setoriais e sobre a modicidade tarifária

BRASIL 2013b. Resolução Normativa nº547/2013. Estabelece os procedimentos comerciais para aplicação do sistema de bandeiras tarifárias.

BRASIL 2015 - LEI Nº 13.203/ 2015. Dispõe sobre a repactuação do risco hidrológico de geração de energia elétrica; institui a bonificação pela outorga

CARLI, F. Controle dinâmico inteligente para reguladores de tensão de redes de distribuição de energia. Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, São Leopoldo, RS, 2018

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 Agro tecnologia, v.4, n.2, 2000.

CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. Falta de Energia Elétrica e os Prejuízos na Pecuária Leiteira. Disponível em < <https://www.cnabrasil.org.br/artigos/falta-de-energia-el%C3%A9trica-e-os-preju%C3%ADzos-na-pecu%C3%A1ria-leiteira>>. Acesso em 14 jan 2020.

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, S. L. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. **Bahia Agrícola**, v. 07, n. 01, p. 57-60, 2005

ENERGIBELL. Disponível em < <https://energibell.com.br/2019/03/01/conheca-os-4-principais-tipos-de-geradores-de-energia-eletrica/>>. Acesso em 14 jan 2020

FRANCHI, Claiton Moro. **Acionamentos elétricos**. Editora Saraiva, 2018.

GOMES, H. P. Sistemas de bombeamento. **João Pessoa, Editora Universitária UFPB**, 2009.

GRUPEL. Como verificar a potência necessária para um gerador? Disponível em < <https://grupel.eu/grupel/potencia-necessaria-um-gerador/>>. Acesso em 14 jan 2020

OLIVEIRA, C. G. Estudo sobre conservação de energia elétrica e qualidade de energia elétrica. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, 2009.

RÊGO SEGUNDO, A. K.; CARDOSO, C. Eletrônica de Potência e Acionamentos Elétricos. Rede Etec Brasil, 2015

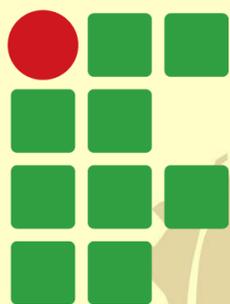
REIS, J. S. Sistema de controle aplicado à automação de irrigação agrícola. BS thesis. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015

SOUZA, M. O.; JESUS, J.O.; LIMA, E. P.; CARDOZO FILHO, A.; OLIVEIRA, I. N. Análises das correntes de partida de um motor trifásico acionado por chave convencional e por inversor de frequência. Ciências exatas e tecnológicas. Maceió. v. 4, n. 1, 2017 |

VOLPIANO, S. L. Eletrônica de potência aplicada ao acionamento de máquinas elétricas. Editora Senai-SP, 2013

WEG – Guia de Seleção de Partidas. Disponível em <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-guia-de-selecao-de-partidas-50037327-manual-portugues-br.pdf>> Acesso em 20 mar. 2020.

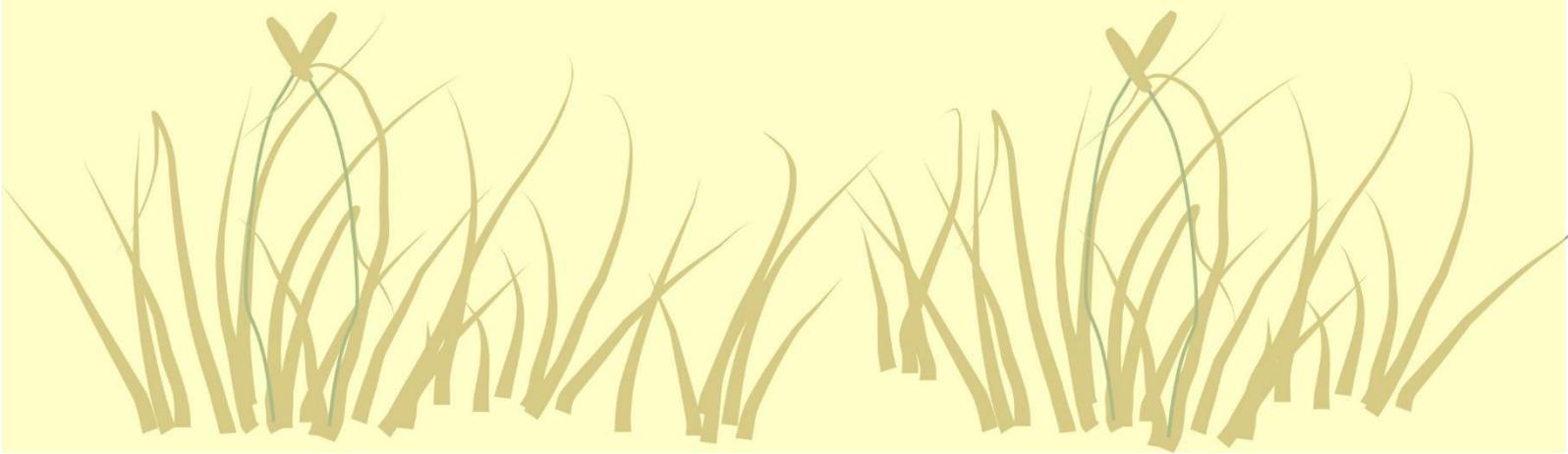
ZAGO, Emmanuelle Albara. Desempenho De Um Sistema De Irrigação Por Gotejamento Utilizando Energia Fotovoltaica. Dissertação(Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.

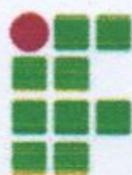


INSTITUTO FEDERAL

Goiano

Campus
Urutaí





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

Nome Completo do Autor: Saulo Cesar da Silva

Matrícula: 2019101330940124

Título do Trabalho: CUSTO DO BOMBEAMENTO DE ÁGUA EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO SOB DIFERENTES MODALIDADES TARIFÁRIAS

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: __/__/__

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:

1. 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;
2. 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;
3. 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.

URUTAI

05/08/2020.

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 39/2020 - CREPG-UR/CCPG-UR/DPGPI-UR/DG-URT/CMPURT/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO

ATA Nº/58

BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos quatro dias do mês de agosto do ano de dois mil e vinte, às 13h (treze horas, reuniram-se os componentes da banca examinadora em sessão pública realizada por videoconferência, para procederem a avaliação da defesa de dissertação em nível de mestrado, de autoria de **Saulo Cesar da Silva**, discente do **Programa de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado do Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí**. A sessão foi aberta pelo presidente da banca examinadora, **Prof. Dr. José Antonio Rodrigues de Souza**, que fez a apresentação formal dos membros da banca. A palavra, a seguir, foi concedida ao autor da dissertação para, em 30 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o examinado, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado, e procedidas às correções recomendadas, a dissertação foi **APROVADA** mediante correções, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS DO CERRADO**, na área de concentração em **Ciências Ambientais**, pelo Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do Programa de Pós-Graduação em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado da versão definitiva da dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, a defesa perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60 (sessenta) dias** da sua ocorrência. A banca examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa dissertação em periódicos após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de dissertação de mestrado, e para constar, foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada eletronicamente pelos membros da banca examinadora.

Membros da Banca Examinadora

Nome	Instituição
Prof. Dr. José Antonio Rodrigues de Souza	de IF Goiano - Campus Urutaí
Profa. Dra. Débora Astoni Moreira	IF Goiano - Campus Urutaí
Prof. Dr. Leandro Caixeta Salomão	IF Goiano - Campus Urutaí
Prof. Dr. Gilson Dourado da Silva	IF Goiano - Reitoria

Documento assinado eletronicamente por:

- Gilson Dourado da Silva, PRO-REITOR - CD0002 - PRODI-REI, em 04/08/2020 15:55:01.
- Leandro Caixeta Salomao, COORDENADOR DE CURSO - FUC0001 - CCEG-UR, em 04/08/2020 15:06:34.
- Debora Astoni Moreira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 04/08/2020 14:13:56.
- Jose Antonio Rodrigues de Souza, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 04/08/2020 14:12:28.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 30/07/2020. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 167709

Código de Autenticação: c6162f4bc4



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Urutaí

Rodovia Geraldo Silva Nascimento, Km 2,5, Zona Rural, None, URUTAI / GO, CEP 75790-000

(64) 3465-1900



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

FOLHA DE APROVAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Título da dissertação: Custo do bombeamento de água em sistema de irrigação sob diferentes modalidades tarifárias

Orientador: José Antonio Rodrigues de Souza

Autor: Saulo Cesar da Silva

Dissertação de Mestrado **APROVADA** em **04 de agosto de 2020**, como parte das exigências para obtenção do Título **MESTRE EM CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS DO CERRADO**, pela Banca Examinadora especificada a seguir:

Prof. Dr. **José Antonio Rodrigues de Souza** - Orientador
Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí

Profa. Dra. **Débora Astoni Moreira**
Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí

Prof. Dr. **Leandro Caixeta Salomão**
Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí

Prof. Dr. **Gilson Dourado da Silva**
Instituto Federal Goiano - Reitoria

Documento assinado eletronicamente por:

- Gilson Dourado da Silva, PRO-REITOR - CD0002 - PRODI-REI, em 04/08/2020 15:54:23.
- Leandro Caixeta Salomao, COORDENADOR DE CURSO - FUC0001 - CCEG-UR, em 04/08/2020 15:05:55.
- Debora Astoni Moreira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 04/08/2020 14:13:39.
- Jose Antonio Rodrigues de Souza, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 04/08/2020 14:10:25.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 31/07/2020. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 168141

Código de Autenticação: cc79071136



