

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

**LEVANTAMENTO DE DADOS PARA PARAMETRIZAÇÃO DE
INVERSOR DE FREQUÊNCIA EM ÁREA DE PIVÔ CENTRAL
NO NORTE DE MINAS**

ATHOS FELIPE SANTOS MARQUES

MONTES CLAROS

2021

Athos Felipe Santos Marques

**LEVANTAMENTO DE DADOS PARA PARAMETRIZAÇÃO DE INVERSOR DE
FREQUÊNCIA EM ÁREA DE PIVÔ CENTRAL NO NORTE DE MINAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientador: Prof.º Dr. Rodolpho Cesar dos Reis Tinini

Montes Claros, MG

2021

Athos Felipe Santos Marques. LEVANTAMENTO DE DADOS PARA
PARAMETRIZAÇÃO DE INVERSOR DE FREQUÊNCIA EM ÁREA DE PIVÔ
CENTRAL NO NORTE DE MINAS.

Aprovado pela banca examinadora composta por:

Prof. Dra. Júlia Ferreira da Silva – ICA/UFMG

Lucas Tadeu Alves Carneiro – Especialização Geoprocessamento Aplicado - IFNMG

Prof. Rodolpho César dos Reis Tinini– Orientador ICA/UFMG

Montes Claros, 10 de Setembro de 2021

Dedico aos meus pais, irmãos e amigos,
que fazem a minha caminhada ser mais
agradável e prazerosa.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me permitir seguir por caminhos cada vez mais desafiadores e, mesmo tropeçando, me permitir levantar.

À Universidade Federal de Minas Gerais pelo espaço e recursos cedidos e pelo conhecimento adquirido durante esse tempo de estudo.

Ao corpo Docente do Instituto de Ciências Agrárias e ao Colegiado de Engenharia Agrícola e Ambiental pelo apoio, que contribuiu para que este estudo fosse desenvolvido.

Aos proprietários da fazenda que serviu como campo experimental, aos técnicos que também me transmitiram conhecimento sobre o objeto de estudo e permitiram as condições para avaliação do equipamento.

Aos colegas Cássio, Hermes, Mariana, Maria Fernanda, Rodrigo Rocha e Rodrigo Salvador, pelos momentos de convivência e auxílio de conhecimento que contribuíram para o meu maior conhecimento e satisfação

À minha família pelo amor, apoio e incentivo mesmo nos momentos mais difíceis.

*“Comece onde você está. Use o que você tem.
Faça o que você pode.”*

(Arthur Ashe)

RESUMO

Com as novas práticas na área da irrigação, surgem novas ferramentas de tecnologias, que mudam o modelo de eficiência na produção agrícola e auxiliam no controle de custos da produção, além da melhor utilização dos recursos. O inversor de frequência é uma dessas ferramentas que busca diminuir a frequência (Hz) do motor elétrico. Com o presente trabalho buscou-se levantar dados para dimensionar a taxa de rotação de um conjunto motobomba necessária para a parametrização de um inversor de frequência. Para o levantamento do desnível foi realizado um levantamento planialtimétrico, além da avaliação do equipamento de pivô central e do sistema de bombeamento evidenciando características hidráulicas do sistema. Utilizou-se também conhecidas equações fundamentais de motores para estimar a taxa de rotação necessária em diferentes glebas da área. Os resultados foram analisados em porcentagem da diminuição da rotação do motor e em pressão necessária na extremidade do sistema. O sistema estudado apresentou redução da rotação em função do desnível.

Palavras-Chave: Curvas de Nível. Bomba Hidráulica. Motor Elétrico.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1:	Fluxograma de ação para obtenção dos dados trabalhados.....	19
Figura 2:	Base do GPS receptor integrado, precisão horizontal de 8 mm.....	20
Figura 3:	Separação de glebas da área irrigada do pivô avaliado.....	21
Figura 4:	Pontos de Avaliação do equipamento pivô.....	22
Figura 5:	Curva hidráulica do bombeamento estudado.....	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados hidráulicos e estruturais do pivô central.....	25
Tabela 2: Dados hidráulicos do bombeamento.....	26
Tabela 3: Relação entre glebas, desnível e pressão esperada.....	27
Tabela 4: Rotação por minuto necessária em diferentes pontos	28
Tabela 5: Altura manométrica necessária em diferentes pontos.....	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A – Amperes – Unidade de corrente Elétrica;

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada;

CNA - Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil;

Cv – Cavalo-vapor – Unidade de potência;

G1, G2,G3, (...) – Gleba 1, Gleba 2, Gleba 3, (...);

Hz – Hertz – Unidade de frequência;

Ic – Índice de carregamento (utilização) de um motor elétrico;

M – Metros – Unidade de distância;

Mca – Metros de Coluna D'água. Unidade de medida de pressão;

P1, P2, P3(...) – Ponto 1, Ponto 2, Ponto 3(...);

Pb – Pressão da bomba em funcionamento;

Pc – Pressão no centro do pivô central, antes da primeira saída de aspersor;

PEP – Pressão esperada na ponta do pivô;

PIB – Produto Interno Bruto;

Pp – Pressão na ponta do pivô, final da linha lateral depois do último aspersor;

PSI – Unidade de medida de pressão

Pshutoff – Pressão da bomba aferida com vazão 0;

RPM – Rotações por minuto – Unidade de frequência;

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1 Irrigação por pivô central.....	14
2.2 Bombeamento.....	16
2.3 Inversor de frequência.....	17
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1 Desenvolvimento do trabalho.....	19
3.2 Condução Experimental.....	19
3.3 Levantamento planialtimétrico.....	19
3.4 Levantamento de dados do conjunto motobomba e pivô.....	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
5 CONCLUSÃO.....	29
REFERÊNCIAS.....	30
Anexo 1.....	33

1 INTRODUÇÃO

Depois de alcançar crescimento recorde no ano de 2020, o Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio brasileiro, teve altas constantes e cresceu 5,35 % no primeiro trimestre de 2021 (CNA-CEPEA,2021). O crescimento da tecnologia agrícola do país e a pesquisa de práticas que efetivamente empreguem essa tecnologia aos métodos de cultivo são também responsáveis por parte desse crescimento, seguindo uma tendência mundial.

Dentre as práticas que mais mudam o modelo e a eficiência de produção agrícola, está a irrigação. De acordo com Bernardo, Soares e Mantovani (2019), no conceito antigo, a irrigação era vista como uma técnica que visava basicamente a luta contra a seca, já em uma visão mais atual, a irrigação também é um tipo de estratégia que visa aumentar a rentabilidade da propriedade por meio da produção e produtividade, sempre se atentando para os meios sustentáveis de fazê-lo. Dentro da prática de irrigar, novas tecnologias estão sendo acopladas aos sistemas a fim de aumentar a eficiência e trazer maior controle de custos da produção, além de um menor desperdício dos recursos naturais.

Analisando os tipos e métodos de irrigação praticados atualmente, a irrigação por pivô central é uma prática já bastante difundida entre os produtores brasileiros, apesar de a implantação de um equipamento destes ser considerado um alto investimento inicial, mas com algumas safras e um bom controle do capital investido, ela se torna uma das maneiras mais rentáveis de se irrigar, pelas grandes áreas em que normalmente são instalados estes equipamentos. Por serem equipamentos instalados em grandes áreas, produtores estão sempre buscando maneiras de melhorar o manejo, diminuir o consumo elétrico e hídrico dos equipamentos, além de aumentar a segurança, tecnologia e durabilidade dos equipamentos da fazenda.

Dentre os atributos das bombas centrífugas utilizadas para pressurizar um sistema de irrigação, a altura manométrica e vazão podem ser consideradas como principais características do bombeamento que definem a uniformidade do sistema. A vazão se dá pelo fluxo por período e é equivalente, proporcionalmente à velocidade de rotação do rotor. Essa velocidade de rotação pode não ser o

suficiente para manter a pressurização do sistema, ou ser elevada para determinada posição do pivô em determinados pontos de declividade do solo, deixando o sistema despressurizado ou aumentando a pressão no final da linha lateral do equipamento injustificadamente.

Para esse cenário, as ferramentas de tecnologia agregadas são fundamentais, pois trazem mais eficiência e adaptabilidade de projeto para as diferentes realidades de instalação do equipamento e manejo da cultura.

Conceitualmente, automação provém da ação de um dispositivo que verifica o seu próprio funcionamento e sem a ação humana recolhe informações e introduz correções a um sistema(citação). As indústrias de alta tecnologia embarcada conhecem equipamentos que, trazidos ao âmbito da agricultura, podem mudar a forma como projetos são concebidos e com as adversidades de cada caso encontrado podem ser gerenciadas.

Aliado às novas tecnologias e ao manejo de irrigação, é cada vez mais comum se encontrar em fazendas, principalmente as ambientalmente certificadas, a utilização do dispositivo Inversor de Frequência. Esse aparelho “substitui” os painéis de partidas convencionais, como alternativa para o melhor controle de utilização de energia e programação na partida, funcionamento e parada do motor. O levantamento e parametrização do equipamento para mudanças na ação de um motor elétrico, em função da declividade, pode trazer menor utilização da potência disponível no conjunto.

Com este presente trabalho, buscou-se levantar dados para dimensionar a taxa de rotação de um conjunto motobomba necessária para a parametrização de um inversor de frequência, fazendo com que o motor trabalhe próximo ao ponto ótimo de funcionamento e não ultrapasse o limite inferior de pressurização do sistema, ao mesmo tempo que trabalha o mais próximo possível desse limite.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 IRRIGAÇÃO POR PIVÔ CENTRAL

Bernardo (2019) descreve a irrigação contemporânea como uma forma de aumentar a produtividade e diminuir os custos por perdas, e não mais apenas salvar a lavoura de grandes estresses hídricos no período de seca ou estiagem.

Nerys (2006), descreve que o sistema de irrigação por pivô central é formado por um conjunto de torres móveis que suporta uma tubulação aérea, denominada linha lateral, onde se situam os aspersores responsáveis pela irrigação. A tubulação aérea é conectada a um ponto central fixo, de um modo tal que permita a sua rotação, resultando numa área irrigada circular.

Em uma operação de alto valor investido como essa, projetos mal dimensionados podem representar grande problema econômico e ambiental. Diante da crise hídrica que enfrentamos um bom projeto se torna essencial para a viabilidade econômica dos empreendimentos agrícolas. Assim, avaliações com medidas corretivas e ajustes práticos ao equipamento são necessárias em situações em que o objetivo projetado não foi alcançado ou onde a eficiência mediana se torna um fator limitante para o empreendimento.

Folegatti, Pessoa e Paz (1998) estudando a avaliação do desempenho de um pivô central de grande porte e baixa pressão concluíram que a capacidade de aplicação de água do sistema de pivô central é elevada, permitindo ao sistema suprir adequadamente as necessidades hídricas das culturas irrigadas para alta produtividade.

No decorrer da linha lateral de um pivô central existe diferença nas áreas irrigadas por cada aspersor, onde o último aspersor irriga uma área reconhecidamente maior do que o aspersor mais próximo do centro. Medeiros (2010) estudando a otimização de um sistema de irrigação por aspersão pivô central, lembra da necessidade de pressões mais elevadas no final da linha lateral, principalmente quando se emprega o aspersor canhão (equipamento que distribui horizontalmente a água na extremidade do equipamento, pouco utilizado atualmente) na extremidade da linha. Esta elevação de pressão deve ser adequada,

de modo a não pulverizar excessivamente o jato de água lançado pelo bocal do aspersor, que poderá agravar as perdas por deriva. Esses parâmetros garantem, por sua vez, um ganho na uniformidade da lâmina do equipamento, então faz-se uma compensação entre a vazão do aspersor e sua pressão. A maior uniformidade da lâmina de água do equipamento permite, além de maior capacidade produtiva, maior eficiência dos recursos hídricos e elétricos da propriedade.

Segundo Bernardo e Mantovani (2019), outro fator importante na irrigação por pivô central é a declividade geométrica do terreno, que influencia diretamente na perda de carga no final da linha lateral, podendo despressurizar o equipamento, caso haja aclive intenso, e aumentar a pressão desnecessariamente, nos casos de declividade acentuada.

Pinto, Silva e Oliveira (2006) estudando a influência de variáveis climáticas, como a deriva causada pelo vento, e hidráulicas como a baixa eficiência do conjunto motobomba, e pressão nos bocais do equipamento no desempenho da irrigação de um pivô central, concluíram que devido a insuficiência de pressurização promovida pela estação de bombeamento do pivô, o sistema avaliado apresentou, no final da linha lateral, pressão menor do que a de projeto e, como consequência, a lâmina de água ficou abaixo da média.

Nerys (2006) descreve que a captação de água em sistemas de irrigação pressurizados é feita através de bombas d'água, que retiram água de lagos naturais ou artificiais ou ainda de rios. Na maioria das vezes são utilizados lagos artificiais como reservatórios de água, que podem ser alocados de acordo com a necessidade do ponto para captação afim de diminuir o gasto energético de grandes distribuições de água para irrigação em grandes propriedades.

É defendido por Bernardo, Soares e Mantovani (2019) e também por Moreno et al. (2010) a evidência que um dos principais gastos constantes dos sistemas de irrigação é a energia elétrica, que pode chegar a 25 % do custo total da área irrigada. Essa energia é gasta em sua maioria com o sistema de bombeamento, mas também evidenciaram a parcela de energia empregada para o sistema de movimentação das torres do pivô central. A melhor interpretação das variáveis dentro desse sistema, aliada com os processos de automação, devem gerar eficiência energética consideravelmente maior em situações de variabilidade de demanda de potência.

2.2 BOMBEAMENTO

De acordo com Schiavi (2013), bombas hidráulicas são equipamentos utilizados para o transporte de fluidos de um ponto a outro através de tubulações, existindo no mercado vários tipos de bombas, cada qual mais indicada a ser utilizada em um tipo de aplicação específica.

Nos sistemas de irrigação pressurizados, bombas centrífugas são utilizadas para entregar a vazão e pressão necessária no sistema e assim manter a constância da taxa de aplicação de água e garantir que cada área seja irrigada com a mesma quantidade de água, independente da distância do ponto de captação.

Carvalho (1992) discorrendo sobre bombas em estações elevatórias diz que a escolha do tipo de motor para o acionamento da bomba depende de uma gama de fatores como custo de energia e sua disponibilidade na área, potência necessária, necessidade de mobilidade do conjunto motobomba e investimento inicial.

Após analisar esses fatores é necessário então escolher o tipo de motor a ser utilizado e a escolha geralmente se restringe ao motor elétrico ou um motor de combustão interna que geralmente é a diesel, que são os mais comuns e eficientes do mercado.

De acordo com Elias (2014), numa imensa maioria de projetos de sistemas de bombeamento há estruturas superdimensionadas em relação a demanda real do processo. Não é difícil encontrar em visitas a irrigantes sistemas que estejam nessa situação, para não subdimensionar o sistema e causar maiores investimentos a curto prazo, os sistemas são superdimensionados, gerando uma operação mais onerosa com o decorrer dos anos.

Segundo Weg (1998), o índice de carregamento de um motor, que é a razão entre a amperagem de trabalho de um motor e a amperagem nominal especificada, deve ser um número entre 85 e 100 %, o que corresponde à faixa de melhor rendimento do equipamento. Diminuindo a demanda de potência da bomba para o motor esse índice cai, e assim pode-se gerar um sistema que funciona abaixo de sua capacidade nominal em situações em que essa potência não é requerida pontualmente.

De acordo com Coutinho e Soares (2017, p.798), “bombas de rotação variável são bombas com motores acoplados a inversores de frequência, equipamentos capazes de alterar a frequência do sinal elétrico para que as bombas possam operar em diferentes velocidades de rotação”.

Ainda como descrito por Coutinho e Soares (2017), a operação da bomba em diferentes velocidades de rotação resulta em alterações em suas curvas características e, conseqüentemente, em seu desempenho. Tais alterações no comportamento da bomba podem ser previstas pelas relações de semelhança. Parte-se do pressuposto de que bombas geometricamente semelhantes trabalham em condições de semelhança, desde que tenham a mesma eficiência, ou seja, as características adimensionais da bomba permanecem constantes.

Com a utilização de sistemas que permitem esse controle da velocidade de rotação dos motores elétricos (inversores de frequência) e conseqüentemente variação na operação das bombas hidráulicas, conseguimos interferir nos períodos em que a demanda por potência seja mais baixa, entregando somente o necessário para manter o sistema funcionando em seus padrões de projeto.

2.3 INVERSOR DE FREQUÊNCIA

Com o desenvolvimento da área de eletrônica de potência, os acionadores eletrônicos ganharam mais importância e espaço no acionamento de sistemas de bombeamento que operam através de motores de indução trifásicos (MOREIRA, 2008).

De acordo com Gomes, Soares e Teixeira (2009), esses equipamentos também conhecidos como Conversores controlam totalmente a velocidade do motor de zero até a frequência máxima nominal ou até mesmo superiores a esse valor, sendo utilizados em motores elétricos de indução, substituindo e sendo mais econômicos do que equipamentos mecânicos e rudimentares de variação de velocidade como polias, variadores hidráulicos e eletromagnéticos.

Os inversores ajustam seus parâmetros de modo a manter o rendimento de um motor na condição nominal de carga ou próximo dela, portanto, o inversor adapta-se conforme as solicitações da carga acionada pelo motor (SILVA 2012)

Moreira (2008) relata que tais dispositivos podem ser utilizados através do controle sobre a tensão e a frequência, quando se deseja um acionamento suave das bombas (soft-start), através do controle de rotação durante a partida e o desligamento da bomba (aceleração e desaceleração), eliminando-se os picos de correntes no motor e resultando em economia de energia elétrica, além do aumento da vida útil do motor.

Schiavi (2013) aponta que a frequência padrão da rede elétrica no Brasil é de 60Hz e a velocidade de um motor é diretamente proporcional a este parâmetro, e que se encontra no inversor de frequência uma grande ferramenta para variar a frequência de trabalho, a velocidade de rotação do motor e conseqüentemente, a curva característica da bomba, garantindo maior versatilidade ao motor de indução quanto ao seu controle.

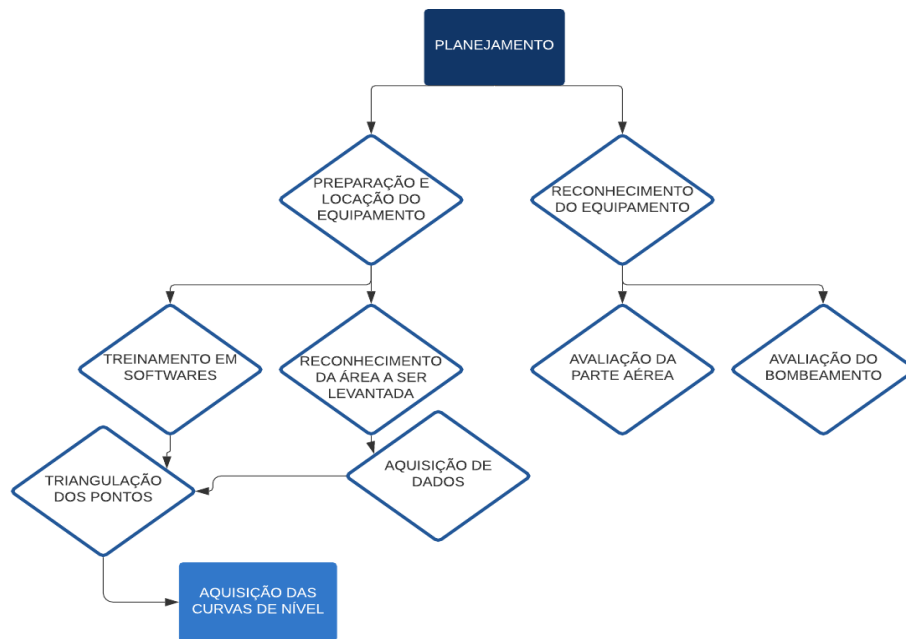
Elias (2014) estudando a análise de viabilidade do uso de inversor de frequência na partida do conjunto motor-bomba, argumenta que a utilização de inversores de frequência em sistemas de bombeamento é viável, quando o sistema apresenta condições de operação que necessitem de variação de vazão e pressão nas tubulações e quando há a necessidade do controle sobre a rotação, partida e desligamento do motor, com a finalidade de racionalizar o uso de energia elétrica.

Campana (2003), estudando inversores de frequência para racionalizar a energia elétrica em um pivô central, conclui que a utilização de inversores de frequência propicia a liberação de carga no transformador. Desta forma, caso haja outras cargas instaladas no transformador, propõe-se o estudo do benefício econômico da alternativa de Gerenciamento do Lado da Demanda denominado remanejamento de cargas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Desenvolvimento do trabalho

Figura1: Fluxograma do desenvolvimento do trabalho



Fonte: Do autor, 2018.

3.2 Condução Experimental

Este trabalho foi conduzido na região de Pirapora e Buritizeiro, Minas Gerais, conhecidas regionalmente pela agricultura em constante crescimento e por serem banhadas pelo Rio São Francisco e Rio das Velhas. A área trabalhada pertence a um agricultor da região e a área plantada encontra-se a cerca de 600 m de altitude.

3.3 Levantamento Planialtimétrico

O mapeamento da área foi realizado com o objetivo de melhorar a precisão das curvas de nível e da malha de triangulação após processamento,

utilizou-se um GPS RTK TPS T10 (FIGURA 2) trabalhando com precisão horizontal de 8 milímetros, com controladora TPS trabalhando com software SurvCE. O levantamento correspondeu, principalmente, à área irrigada do Pivô 12 da fazenda, que corresponde a 77,9 ha aproximadamente e é destinada para produção de grãos na maior parte do ano.

Os pontos de coleta de dados dentro da área foram estipulados previamente, seguindo linhas retas imaginárias paralelas, que cortavam toda a área do pivô, além do levantamento em toda a área circular que limita o pivô. O TPS T10 foi configurado para coleta automática de dados a cada 3 (três) segundos. A metodologia usada foi definida a partir de testes passados para outros levantamentos e demonstrou ter bons resultados para os propósitos aplicados, resultados esses testados em projetos ainda não publicados.

O equipamento foi adaptado para ser acoplado em uma motocicleta para facilitar a coleta dos dados e o deslocamento do GPS por toda a área. A base do equipamento TPS T10 foi instalada e configurada em um ponto alto do terreno, para diminuir interferências na comunicação entre a base e o Rover, que é deslocado para obtenção dos pontos.

Figura 2: Base do GPS receptor gps Topomap T10 RTK, precisão horizontal de 8 mm.



Fonte: Do autor, 2018.

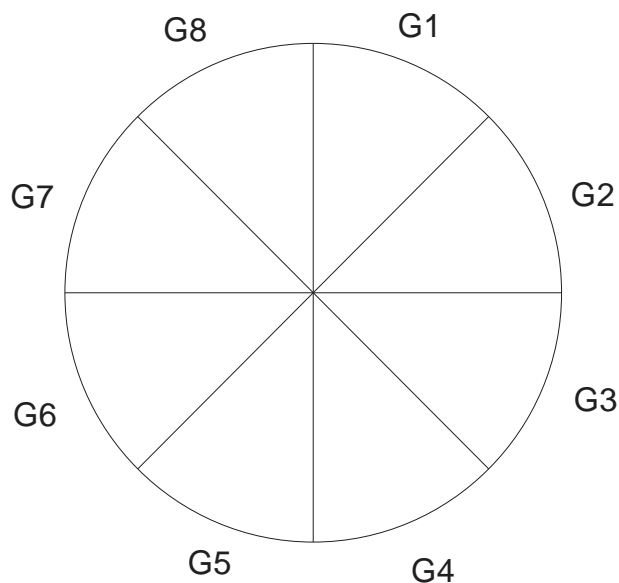
Com o levantamento planialtimétrico obteve-se pontos geolocalizados com longitude, latitude e cota do terreno. Tais dados foram importados para um computador que possui o software MétricaTOPO, que é destinado a cálculos topográficos e modelagem, e AutoCAD, reconhecido programa para projetos de engenharia e arquitetura.

A triangulação dos pontos foi realizada objetivando criar uma malha espaçada, precisa e sem sobreposições de triangulação, assim, pontos muito próximos ou duplicados foram excluídos antes da criação da triangulação, gerando curvas de nível mais suavizadas e condizentes com o campo.

A partir do processamento desses dados, obteve-se as curvas de nível para a área irrigada em questão (Anexo 1). As linhas intermediárias foram dispostas a cada 1 m (um metro) e as linhas mestras a cada 5 m (cinco metros), a maior cota foi de 561 m (quinhentos e sessenta e um metros) e a menor de 523 m (quinhentos e vinte e três metros), que está localizada a noroeste da área irrigada.

Após a definição das curvas de nível, foram demarcadas linhas imaginárias dentro da área do pivô (FIGURA 3) com o objetivo de utilizar como parâmetro para o cálculo de perda de carga média em cada parte da circunferência do pivô. Constatou-se também, de acordo com o levantamento, que o ponto de maior perda de carga por desnível do terreno, fica na parte sudeste do equipamento, na gleba denominada "G3".

Figura3: Separação de glebas imaginárias da área irrigada do Pivô



Legenda: Gn – Gleba na área do equipamento

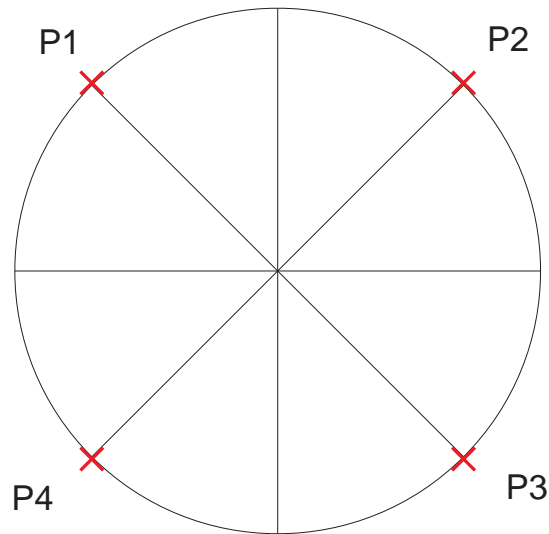
Fonte: Do autor, 2018.

3.4 Levantamentos de dados do conjunto motobomba e pivô

Com as glebas de desnível demarcadas, as avaliações do conjunto motobomba (Marca, modelo, potência etc.) e do pivô foram realizadas para determinar o ponto de funcionamento com aferição de $P_{shutoff}$, P_b , I_c , P_c e P_p do equipamento no ponto de maior perda de carga, podendo analisar a curva da bomba e determinar o seu ponto de trabalho. As pressões do bombeamento e do pivô central foram aferidas com manômetros novos, que passaram por testes de campo para atestar sua precisão.

Após a obtenção dos dados do bombeamento, foram escolhidas quatro posições da circunferência do equipamento para o levantamento de dados que serviram de base para a simulação da rotação por minuto necessária, um dos parâmetros para a configuração do Inversor de Frequência. Aferiu-se para cada uma das quatro posições da área irrigada (FIGURA4) o desnível enfrentado, a amperagem de entrada da alimentação do conjunto motobomba e a pressão na ponta do equipamento.

Figura 4: Pontos de Avaliação do equipamento Pivô



Legenda: Pn – Ponto de avaliação na área do pivô.

Fonte: Próprio autor, 2021.

Para o cálculo da rotação do motor necessária, usada para entrada no Inversor de Frequência, foram utilizadas as Equações 1 e 2,

De acordo com Coutinho e Soares (2017), para casos nos quais somente a velocidade de rotação é alterada, as Equações 1, 2 e 3, chamadas de equações de semelhança podem ser derivadas:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1)$$

Onde:

Q: vazão da bomba (m³/s);

N: velocidade de rotação da bomba (rpm);

1 e 2: dois valores distintos de vazão e rotação.

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \quad (2)$$

Onde:

H: altura manométrica da bomba (mca).

N: velocidade de rotação da bomba (rpm);

1 e 2: dois valores distintos de altura manométrica e rotação.

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \quad (3)$$

Onde:

P: potência da bomba (cv)

N: velocidade de rotação da bomba (rpm);

1 e 2: dois valores distintos de potência e rotação.

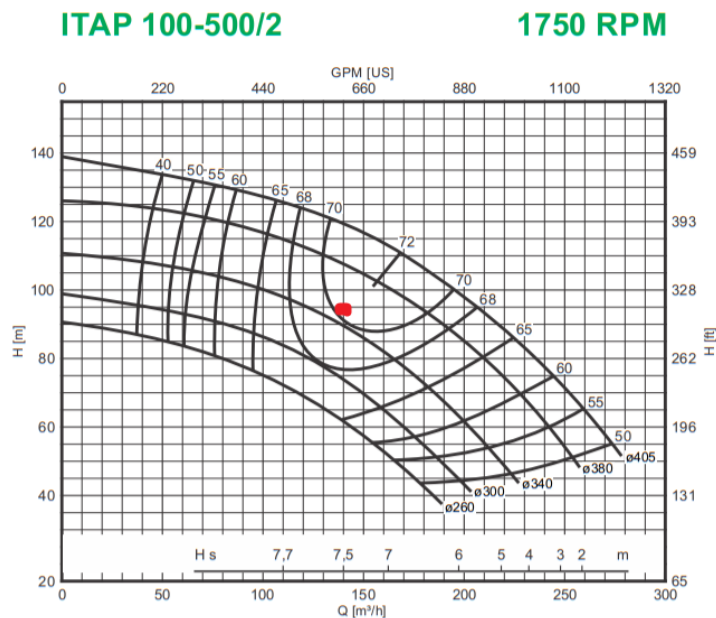
Os dados obtidos não foram trabalhados estatisticamente com nenhum modelo ou rotina específica pois não houve necessidade prática de aplicação para encontrar os valores buscados, sendo necessário apenas a utilização das equações para encontrar cada incógnita.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Foi constatado o ponto de trabalho do bombeamento do Pivô, que é o ponto onde se encontra na curva característica de um bombeamento hidráulico a relação da vazão com a altura manométrica, obtendo o valor de eficiência de trabalho. Com a avaliação observou-se que se constitui por duas bombas de marca Imbil, modelo ITAP 100 500/2, instaladas em paralelo garantindo a somatória das vazões, com uma potência instalada de 200 CV, sendo dois motores trifásicos WEG W22 Plus de 100 CV cada, com amperagem nominal de 141 A. Essas características são destacadas pelo ponto em vermelho no gráfico (FIGURA 5), que relaciona altura manométrica em metros de coluna d'água e vazão em metros

cúbicos por hora. Esses dados são cedidos pelo fabricante e variam de acordo com cada modelo de bombeamento, tamanho do rotor utilizado e rotação do motor.

Figura5: Curva da bomba em questão, rotação do motor e ponto de trabalho.



Legenda: H – Altura manométrica em metros de coluna d’água

Q – Vazão em metros cúbicos por hora

Fonte: Catálogo do fabricante.

O bombeamento em questão está trabalhando com boa eficiência (70 %), percebe-se que próximo à eficiência máxima que pode ser alcançada, o que dá indício de um bom projeto e bom dimensionamento do conjunto.

Os dados técnicos referentes a parte aérea do equipamento foram obtidos por meio da avaliação da parte aérea e observação em campo.

Tabela 1 - Dados de avaliação da parte aérea do Pivô 12.

Característica do equipamento	Valor encontrado
Área(ha):	77,9
Giro do Equipamento(Graus):	360
Emissores:/Válvula:	I-WOB UP3 10 PSI
Tipo de painel:	Analógico
Lâmina diária (mm/21h):	6,15
Vazão (m³/h):	280,6
Alcance canhão (m):	0
Número de Emissores:	218
Defletor:	Rotativo
Velocidade a 100% (m/h):	247,9
Tempo a 100% (h):	13,3
Alt. Emissores (m):	3,54
Revestimento:	Aço Zincado

Fonte: Do autor, 2018.

Pela avaliação do equipamento o funcionamento pode ser classificado e a aferição de dados importantes como o tempo de giro de 13,3 horas pode ser feita, o que significa que, na melhor das hipóteses para um cenário controlado de manejo de irrigação, esse equipamento completa uma irrigação em área total no período mínimo de 13,3 horas de funcionamento do conjunto motobomba de 100 CV que, se utilizado todos os dias, aponta um consumo médio de 25.735 kWh no mês, segundo WEG (1998).

Os dados obtidos na aferição do bombeamento e pivô central estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Dados obtidos da aferição de pressão do bombeamento e do pivô central no ponto mais elevado do terreno (P1).

Atributo	Bomba 1	Bomba 2
Pshutoff (mca)	110	110
Pb (mca)	95	94,5
Pc (mca)	45	45
Pp (mca)	12	12
Amp Média(A)	133	132
IC (%)	94,3%	93,9%

Fonte: Do autor, 2018

Essa avaliação permite analisar que o índice de carregamento dos motores trabalhados está dentro dos padrões necessários segundo WEG (1998), e que ambos apresentam características muito semelhantes. Conforme citado por Nascimento *et al.* (2013), na associação em paralelo, para cada Altura Manométrica Total, o valor da vazão total do sistema será a soma da vazão correspondente de cada tubulação.

Tendo em vista que a pressão mínima para uniformidade adequada do equipamento é de 7 mca, baseando-se nas válvulas reguladoras de pressão instaladas de 10 psi, do próprio fabricante do equipamento, o ponto onde era necessário menos esforço do conjunto motobomba foi o ponto de mesma altitude do centro do equipamento, ou seja, 545 m (quinhentos e quarenta e cinco metros), pois empiricamente, tomando o centro do pivô como referência, os aspersores mais próximos ao centro não sofrem interferência do desnível que, quando negativo, beneficia a pressão ao longo da linha lateral até o final da mesma.

Para definir a taxa de rotação que deve ser reduzida por meio do inversor, simula-se, quando não é possível monitorar a pressão a cada metro de rodagem do equipamento, a pressão na ponta levando em consideração a taxa de declividade e tendo como fonte de dados o levantamento realizado.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados, em que foi relacionado a posição do equipamento com a pressão esperada na sua ponta, somando ou subtraindo o desnível médio de cada posição pela posição conhecida.

Tabela 3: Cota no final de cada gleba, porcentagem de desnível em relação ao centro do pivô e pressão atual esperada na ponta do equipamento.

Gleba	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
Cota(m)	542	553	560	551	533	526	525	533
Desnível (%)	2%	3%	2%	-2%	-4%	-2%	0%	2%
PEP (mca)	30	19	12	21	39	46	47	39

Fonte: Do autor, 2018.

Nos dados trabalhados que serviram para gerar a Tabela 3, foi simulado o valor da pressão na extremidade do pivô ,com base no valor do desnível em cada

ponto especificado. Nota-se que o equipamento trabalha dentro da pressão esperada, sem aparente falha de dimensionamento relativo à falta de pressão, pois no ponto de cota 560 (G3) a pressão está dentro da variação designada, não prejudicando a vazão dos bocais no ponto crítico de funcionamento, onde o motor está trabalhando com sua capacidade máxima de vazão e pressão, para as quais foi dimensionado.

De acordo com Frizzone (1992), para o bom funcionamento de um sistema de irrigação pressurizado, a alta uniformidade de distribuição de água entre os emissores é de grande importância, podendo ser influenciada pela combinação de diversos fatores, entre eles a variação de vazão dos emissores de água e as válvulas reguladoras recebendo pressão mínima satisfatória ao longo da linha lateral.

Nota-se pela Tabela 3 que a pressão esperada é maior do que a mínima especificada pelo fabricante, para que a uniformidade seja satisfatória (12 mca). Ainda segundo o fabricante, pressões abaixo das estipuladas diminuem a vazão disponível para aquele bocal. Essa pressão foi estabelecida para manter uma margem de segurança para futura despressurização do equipamento, que é comum no decorrer do tempo por desgastes naturais.

Os resultados obtidos são considerados comuns, pois segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2019), equipamentos de irrigação pressurizados são dimensionados para atender a demanda hidráulica na situação crítica de relevo e o equipamento avaliado tem a pressão mínima necessária no ponto mais alto do desnível. Então, em situações de menor necessidade da pressurização, o motor não diminui seu trabalho.

Na Tabela 4 são apresentados os dados estimados através das equações de semelhança e os dados utilizados para parametrização do inversor de frequência. Utilizando as Equações 1 e 2, pode-se estimar a velocidade de rotação da bomba para cada gleba do pivô.

Como resultado dos dados estimados através das equações de semelhança, eles já podem ser inseridos no inversor de frequência para que seja parametrizada a nova taxa de entrada em Hz e para que ocorra efetiva redução do trabalho do motor.

Tabela 4: Rotação (RPM) necessária para garantir a pressurização mínima de 12 mca em cada gleba do pivô e porcentagem de economia de trabalho motor.

Gleba	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
Rotação								
Necessária (rpm)	1575,5	1684,3	1750	1665	1480,6	1402,3	1390,7	1480,6
Redução de Rotação (%)	9,97%	3,75%	0,00%	4,85%	15,40%	19,87%	20,53%	15,40%

Fonte: Do autor, 2018

Alguns inversores trabalham com sistema de parametrização automático, que ao inserir o modelo do motor elétrico, dados da bomba hidráulica e informar dados de rotação necessárias leituras são realizadas por meio de pressostatos no final da linha lateral do equipamento, mas para o objeto de estudo, o inversor que poderia ser utilizado seria o com temporizador, que permite que entre um intervalo de tempo (revolução do pivô) o equipamento altere a taxa de entrada de forma pré-programada (TABELA 5).

Tabela 5: Alteração de altura manométrica necessária para garantir pressurização mínima de 12mca em cada gleba do pivô.

Gleba	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
Rotação Reduzida Estimada (rpm)	174,5	65,7	0	85	269,4	347,7	359,3	269,4
Pressão na bomba (mca)	77,0	88,0	95,0	86,0	68,0	61,0	60,0	68,0

Fonte: Do autor, 2018

Observou-se que para um equipamento que trabalha regularmente dentro do projetado, como foi constatado com a avaliação, as pressões atingidas no decorrer do giro do equipamento são superiores àquela necessária, o que justifica o

estudo para qualquer equipamento em que exista interesse em utilizar a tecnologia do inversor de frequência.

5 CONCLUSÃO

Durante a execução e desenvolvimento do trabalho diversos dados, não levantados, se tornaram necessários para que a metodologia usada e os resultados obtidos tivessem o maior alcance em modelos de inversores de frequência que necessitassem de uma maior variedade de informação, porém, para esse tipo de aquisição de dados de parametrização necessita-se de uma revisão de literatura mais aprofundada, com diretrizes de elétrica que seriam complementares ao trabalho realizado. Desta forma, os resultados obtidos neste trabalho deixam abertas a oportunidade de desenvolvimento de trabalhos futuros, mais abrangentes, com mais áreas experimentais, com diferentes topografias e com maior detalhamento do processo de parametrização.

Com a avaliação do sistema e o levantamento planialtimétrico o presente trabalho mostrou que em um cenário onde a instalação de um inversor de frequência é cogitada, deve-se estudar o desnível do terreno para uma configuração mais precisa do equipamento, que pode diminuir consideravelmente a rotação do motor e diminuir a potência necessária para pressurização do sistema, diminuindo os custos com energia para irrigação. Além disso, a instalação de um inversor de frequência pode remediar uma situação em que exista um conjunto motobomba superdimensionado para o equipamento, evitando o desgaste prematuro de toda a rede hidráulica e do conjunto motobomba.

REFERÊNCIAS

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C.; da Silva D. D. **Manual de Irrigação**. 9ª ed. Viçosa, MG: UFV, 2019. 625 p.

CAMPANA, S., OLIVEIRA FILHO, D., SOARES, A.A. et al. **Inversores de frequência: uma alternativa para racionalização do uso da energia elétrica em sistemas de irrigação pivô central**. In: Encontro de energia no meio rural, 3., 2000, Campinas. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022000000200029&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 30 out. 2018.

CAMPANA, S. et al. Energia Na Agricultura: Estudo comparativo de métodos para estimativa do carregamento e rendimento de motores elétricos para auditoria energética. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande - Pb, v. 4, n. 2, p.241-246, 19 out. 1999. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/N9hPhck7ZmygbY79hV8VQQw/?lang=pt>> Acesso em: 21 ago de 2020.

CARVALHO, D. F. **Instalações elevatórias**. Bombas. FUMARC-Fundação Mariana Resende Costa. 5ª Edição. Belo Horizonte, 1992.

COUTINHO, R. S.; SOARES, A. K. Simulação de bombas com velocidade de rotação variável no EPANET. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Goiânia - Go, v. 22, n. 4, p.797-808, 20 ago. 2017. Disponível em <<https://www.scielo.br/j/esa/a/DtjRhBh4NnM47CxqN5Jtr5y/?lang=pt>> Acesso em 02 jan. 2019.

ELIAS, M. A. da C. **Análise de viabilidade do uso de inversor de frequência na partida do conjunto motor-bomba**. 2014. 75 f. TCC (Graduação) - Curso de Técnico em Mecânica, Centro de Tecnologias do GÁS e Energias Renováveis Curso Técnico em Mecânica, Natal - Rn, 2014.

FOLEGATTI, M.V., PESSOA, P.C.S., PAZ, V.P.S. Avaliação do desempenho de um pivô cenral de grande porte e baixa pressão. **Scientia Agricola** vol. 55, n. 1, Piracicaba Jan. 1998. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90161998000100019>>. Acesso em 18 de fev de 2019.

FRIZZONE, J.A. **Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência**. Piracicaba: ESALQ, Dept. Eng. Rural, 1992. 53p.

GIACOMELLI, S. D. D. Produção agrícola mundial: o potencial do Brasil. **Revista da Fundação Milton Campos**, n. 25,9-42 p. EMBRAPA – Brasília, 2006Capítulo disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/160161/1/Producao-agricola-mundial.pdf>>. Acesso em: 09 out. 2018.

IMBIL - Soluções em bombeamento. Catálogo técnico de bombas ITAP – Edição 06/2015. 69p. Disponível em: <http://imbil.com.br/Imbil/upload/produto/Portugues/ITAP_web.pdf>. Acesso em 11 de fev. de 2020.

MEDEIROS, A. M. M. **Otimização de Sistema de Irrigação Por Aspersão Pivô Central** . 2010. 131 p. Tese de Pós Graduação (Pós graduação em Agronomia)- Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia - GO, 2010. Disponível em: <<http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tde/439>> .Acesso em 15 jan. 2020.

MORENO, M. A., CÓRCOLES, J. I., TARJUEL, J. M., ORTEGA, J. F. Energy efficiency of pressurized irrigation networks managed on-demand and under a rotation schedule. **Biosystems Engineering**, London, p. 349-363, 2010. Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/eagri/a/h7N988NMywVrddj7q77Z3KC/?lang=en&format=html>>.Acesso em 22 jun. de 2020.

NASCIMENTO, E. R. B. **Construção de uma bancada didática de baixo custo para realização de ensaios de bombas em série e bombas em paralelo.** COBENGE – 41º Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Gramado – Rio Grande do Sul. 2013. Disponível em:<https://www.turing.pro.br/anais/COBENGE-2013/pdf/117404_1.pdf>. Acesso em 08 jan. 2019.

NERYS, J. W. L. *et al.* **Conversor de frequência aplicado na efficientização de sistemas de irrigação do tipo pivô central** . 3. ed. Goiânia - GO: [s.n.], 2006. 197 p. v. 11. Disponível em: <<https://sobraep.org.br/artigo/conversor-de-frequencia-aplicado-na-eficientizacao-de-sistemas-de-irrigacao-do-tipo-pivo-central/>>.Acesso em 26 mai. de 2020.

CNA (Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil) e CEPEA (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. PIB do Agronegócio. – Universidade de São Paulo). **Relatório trimestral de 10 de junho de 2021– ESALQ-USP.** Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>> Acesso em 12 mai. 2020.

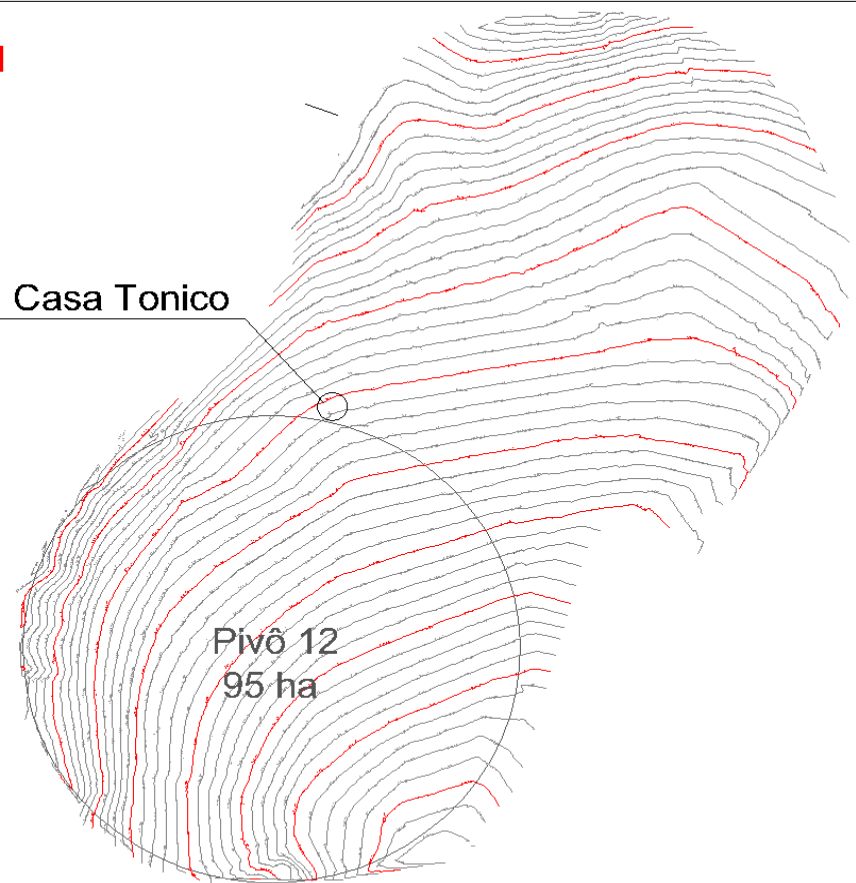
PINTO, J. M., SILVA, C.L. da, OLIVEIRA, C.A. da S. Influência de variáveis climáticas e hidráulicas no desempenho da irrigação de um pivô central no oeste baiano. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.26, n.1 p 76-85, Jan. 2006. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/eagri/a/6RWSjfwynyhmqbJkHxn7xfRD/?lang=pt>>. Acesso em 18 de ago. de 2020.

SCHIAVI, Maurício Sampaio. **Análise da viabilidade econômica na implantação de inversores de frequência em sistemas de bombeamento.** 2013. 55 f. Trabalho de Graduação (Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/121099/000739894.pdf?sequencia=1>>.Acesso em 13 de jun. de 2020.

WEG. **Economia de energia em motores elétricos.** Jaraguá do Sul: v.1, 1998. 24p



ANEXO 1



LEGENDA

- Limite dos Pivôs
- Curvas Mestre
- Curvas de Nível

PROJETO: LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO	CÓDIGO: 1005	FOLHA: 2 / 2	
FASE: PROJETO FINAL	DATA: 10-01-2018	REVISÃO: R01	ESCALA: 1 : 25.000
CONTEÚDO: CURVAS DE NÍVEL	PROPRIEDADE: FAZ. CARAVELAS	MUNICÍPIO/ESTADO: BURITIZEIRO - MG	PROPRIETÁRIO: GILES APPELT
	CONSULTOR PROJETA: ATHOS MARQUES	CADISTA: ATHOS MARQUES	CONSULTOR REVISOR:

21 - 7 463 9271