



VINÍCIUS REIS BASTOS MARTINS

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA LOCALIZADO DE
IRRIGAÇÃO PARA CULTIVO AGROFLORESTAL:
SIMULAÇÃO HIDRÁULICA E ANÁLISE ENERGÉTICA**

**LAVRAS – MG
2019**

VINÍCIUS REIS BASTOS MARTINS

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA LOCALIZADO DE
IRRIGAÇÃO PARA CULTIVO AGROFLORESTAL: SIMULAÇÃO
HIDRÁULICA E ANÁLISE ENERGÉTICA**

Relatório de estágio supervisionado apresentado
à Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Engenharia Agrícola,
para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Pedro Castro Neto
Orientador

Prof. Víctor Buono, da Silva Baptista
Coorientador

**LAVRAS – MG
2019**

VINÍCIUS REIS BASTOS MARTINS

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA LOCALIZADO DE IRRIGAÇÃO PARA
CULTIVO AGROFLORESTAL: SIMULAÇÃO HIDRÁULICA E ANÁLISE
ENERGÉTICA**

Relatório de estágio supervisionado apresentado
à Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Engenharia Agrícola,
para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 02 de dezembro de 2019.

Prof. Víctor Buono, da Silva Baptista DEG - UFLA

Ms. Geovani Marques Laurindo DEA - UFLA

Prof. Dr. Antônio Carlos Fraga DAG - UFLA

Prof. Dr. Alberto Colombo DRS - UFLA

Prof. Dr. Pedro Castro Neto
Orientador

Prof. Víctor Buono, da Silva Baptista
Coorientador

**LAVRAS – MG
2019**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por iluminar meu caminho até aqui e por todo o conforto nos momentos mais difíceis. Aos meus pais, Nanci e Gê, por serem sempre minha fonte de inspiração e por toda dedicação para que eu conseguisse concluir essa etapa em minha vida. Ao meu irmão Vitor, por ser meu melhor amigo e conselheiro, por nunca medir esforços para me ajudar e por me apoiar na realização de todos os meus sonhos. À minha irmã Josiane, por todo carinho e apoio.

Agradeço aos meus avós Geraldo, Arlete, Imaculada e ao anjo da nossa família, que está nos guiando ao lado de Deus, Edson de Oliveira Martins (in memoriam), meu querido e amado vô tiça. Aos familiares que, mesmo distantes, torceram para minha conquista. Agradeço à minha namorada e companheira, Natália, por toda ajuda, incentivo e por sempre acreditar e me apoiar em todos os meus sonhos. Agradeço a todos os meus irmãos da República Mula Manca, minha segunda família. Aos melhores professores e orientadores, Pedrão, Fraga e Guará, obrigado por me apoiar e me fazer crescer tanto profissionalmente como pessoalmente.

Aos meus grandes amigos de G-óleo por toda amizade e parceria durante seis anos, em especial, Geovani, Tinhoso, Douglas e Peron. Aos amigos de UFLA que tornaram a trajetória menos árdua e a todos os professores e funcionários que contribuíram para minha formação.

Agradeço a Universidade Federal de Lavras por proporcionar a minha formação e ao G-óleo, OLEA e CNPq.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vazão dos setores.	16
Tabela 2 - Comprimentos equivalentes de sucção e cabeçal de controle do bombeamento.....	17
Tabela 3 - Descrição do cavalete dos setores.	20
Tabela 4 - Cálculo analítico da distribuição de pressão para a linha de derivação do setor 1.....	21
Tabela 5 - Altura manométrica total dos setores.	22
Tabela 6 - Ajuste da altura manométrica dos setores em relação a altura manométrica necessária da bomba.	24
Tabela 7 - Rotações e frequências de operação do motor para cada setor.	26
Tabela 8 - Passos realizados para a configuração do inversor.	30
Tabela 9 - Referências para acesso do multispeed.	31
Tabela 10 - Comparativo dos parâmetros calculados e simulados.	39
Tabela 11 - Coeficientes de uniformidade dos setores pelo EPANET 2.0.	40
Tabela 12 - Análise de consumo específico.	41
Tabela 13 - Consumo energético dos setores.	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa planialtimétrico da área.	11
Figura 2 - Mapa da área com as respectivas linhas de irrigação por gotejamento.....	13
Figura 3 - Mapa da área com a divisão dos setores.	15
Figura 4 - Detalhamento de montagem do bombeamento.	18
Figura 5 - Detalhamento de montagem do cavalete dos setores.	19
Figura 6 - Pontos de operação inicial.	23
Figura 7 - Pontos de operação dos setores com a utilização de registros.	25
Figura 8 - Ponto de operação do setor 1 com ajuste da rotação do motor.	27
Figura 9 - Ponto de operação do setor 2 com ajuste da rotação do motor.	27
Figura 10 - Ponto de operação do setor 3 com ajuste da rotação do motor.	28
Figura 11 - Esquema de ligação elétrica entre a rede, o inversor e a motobomba.	29
Figura 12 - Layout de montagem do sistema de automação.	32
Figura 13 - Mapa gerado pelo EPANET 2.0 para o setor 1.	36
Figura 14 - Mapa gerado pelo EPANET 2.0 para o setor 2.	36
Figura 15 - Mapa gerado pelo EPANET 2.0 para o setor 3.	37
Figura 16 - Simulação realizada pelo EPANET 2.0 para o setor 1.	38
Figura 17 - Simulação realizada pelo EPANET 2.0 para o setor 2.	38
Figura 18 - Simulação realizada pelo EPANET 2.0 para o setor 3.	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1. Agricultura familiar	3
2.2. Sistemas Agroflorestais	4
2.3. Irrigação	5
2.4. Irrigação por gotejamento	6
2.5. EPANET 2.0	7
2.6. Inversor de Frequência	8
3. DESCRIÇÃO DO LOCAL DO ESTÁGIO	10
3.1. Localização	10
3.2. Estrutura	10
3.3. Serviços prestados	10
4. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS E RESULTADOS OBTIDOS	11
4.1. Avaliação das necessidades da propriedade	11
4.2. Layout da área a ser irrigada	11
4.3. Rede hidráulica	15
4.4. Dimensionamento hidráulico	17
4.4.1. Sucção e cabeçal de controle do bombeamento	17
4.4.2. Cavalete dos setores	20
4.4.3. Cálculo das pressões de entradas nos setores	21
4.4.4. Altura manométrica total dos setores	24
4.4.5. Pontos de Operação	25

4.5.	Dimensionamento elétrico e de comando	30
4.6.	Simulação com EPANET 2.0	35
4.6.1.	Edição e conversão do mapa do AutoCAD.....	36
4.6.2.	Entrada de dados para EPANET 2.0	36
4.6.3.	Simulação do sistema no EPANET 2.0	37
4.6.4.	Comparativo entre EPANET 2.0 e EXCEL®	41
4.6.5.	Coeficiente de uniformidade de aplicação de água.....	42
4.7.	Análise Energética	43
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
6.	REFERÊNCIAS	46

1. INTRODUÇÃO

A agricultura familiar é caracterizada basicamente pelo cultivo da terra em uma propriedade rural com até quatro módulos fiscais, gerenciada pelo proprietário e integrantes da sua família onde a atividade produtiva agropecuária é a principal fonte geradora de renda. Neste tipo de cultivo, é de grande importância a diversificação dos plantios visando garantir a sustentabilidade do sistema de produção ao longo dos anos, bem como procurando obter o máximo de rendimento econômico por área. Visando atender a necessidade de pequenos produtores e associar um modelo de exploração agrícola sustentável que promova benefícios econômicos e ecológicos, muitas vezes são empregados os Sistemas Agroflorestais (SAFs). Os SAFs estabelecem o uso de plantas lenhosas perenes consorciadas com espécies agrícolas e/ou forrageiras, com ou sem a presença animal, em uma mesma unidade de manejo, de acordo com um arranjo espacial e temporal, com alta diversidade de espécies e interações ecológicas entre estes componentes.

Embora o uso de SAFs seja crescente, muito ainda deve ser feito visando a maior eficiência desse tipo de cultivo para maior geração de renda ao produtor. Dentre as práticas que permitem o maior aproveitamento e sustentabilidade do sistema está o emprego de insumos mecânicos automatizados, principalmente a irrigação. O uso de um sistema automatizado de irrigação permite a aplicação do volume correto de água demandado no cultivo, atendendo a sua demanda, e ainda a análise de variáveis que podem interferir no resultado final da prática agrícola. A adoção de sistemas eficientes, portanto, resulta em redução no consumo de energia, água e em maiores produtividades e rentabilidade ao produtor.

A utilização do sistema de irrigação por gotejamento tem importante impacto no uso eficiente dos recursos hídricos, sendo mínimas as perdas por evaporação ou escoamento superficial, podendo resultar ainda em redução de custo com energia elétrica. Esse tipo de sistema, portanto, adéqua-se bem as necessidades do pequeno produtor agrícola, que visa sempre a maior economia dos recursos. Apesar da eficiência comprovada do sistema de irrigação por gotejamento, muitas vezes ele não é empregado. Na agricultura familiar, por exemplo, a falta de instrução, orientação técnica bem como o alto custo associado à sua implantação, fazem com que o agricultor evite o uso da irrigação ou o faça sem auxílio de mecanismos de automatização.

Diante do exposto, os objetivos do trabalho foram, o dimensionamento de um sistema de irrigação por gotejamento na propriedade rural Sítio Trovão, administrada pela empresa de base tecnológica incubada OLEA (Óleos, lipídeos e ésteres LTDA-ME) , a simulação hidráulica do sistema no software EPANET 2.0 e a análise energética comparativa entre duas configurações de projeto, utilizando registro e inversor de frequência, para ajuste do ponto de operação do sistema.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Agricultura familiar

A agricultura familiar tem dinâmica e características particulares quando comparada a outros sistemas de produção agrícola. Nela, a gestão da propriedade é compartilhada pela família e a atividade produtiva agropecuária é a principal fonte geradora de renda. A diversidade produtiva também é uma característica marcante deste setor, sendo grande parte da produção de alimentos direcionada para mercado interno brasileiro. A Lei 11.326 de julho de 2006 define as diretrizes para formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e os critérios para identificação desse público, dentre eles, não dispor de uma extensão territorial maior que quatro módulos fiscais. Isso corresponde ao número mínimo em hectares que uma propriedade rural deve possuir para que seu reconhecimento como agricultura familiar seja viável (BRASIL, 2006; CUNHA; ROCHA, 2015).

O sistema de produção adotado pela agricultura familiar tem relevância para a produção de alimentos e absorção de mão de obra no campo. Os dados do Censo Agropecuário de 2006 mostram que 84,4% do total dos estabelecimentos agropecuários brasileiros pertencem a grupos familiares. São aproximadamente 4,4 milhões de estabelecimentos, produzindo uma grande porcentagem dos principais alimentos que chegam à mesa do brasileiro (BRITO, A. 2016; FRANÇA; DELGROSSI; MARQUES, 2009; BARRETO, S. B., 2018). De acordo com o mesmo estudo, ela constitui a base econômica de 90% dos municípios brasileiros com até 20 mil habitantes; responde por 35% do produto interno bruto nacional; e absorve 40% da população economicamente ativa do país. A agricultura familiar possui importância econômica vinculada ao abastecimento do mercado interno e ao controle da inflação dos alimentos consumidos pelos brasileiros, estando intimamente ligada a segurança alimentar (BRITO, A. 2016). Observa-se ainda o exponencial crescimento da agricultura familiar no Brasil, onde o impacto dessa atividade tem gerado renda, garantia de alimentação, preservação ambiental e de recursos econômicos. (CUNHA; ROCHA, 2015; DELGADO et al., 2017; BARRETO, S. B., 2018).

O cultivo baseado no modelo da agricultura familiar exige uma grande conscientização por parte do agricultor na escolha do modelo de exploração a ser adotado. Visando garantir a

sustentabilidade do sistema de produção ao longo dos anos, bem como procurando obter o máximo de rendimento econômico possível por área, o produtor deve fazer escolhas assertivas tanto em relação às culturas quanto ao manejo a ser adotado. Como, na maioria das vezes, para atingir resultados satisfatórios, a exploração das terras ocorre de maneira intensiva, é preciso atenção redobrada na reposição de nutrientes, na implantação de práticas de conservação do solo e diversificação de culturas e espécies utilizadas (ABDO et al., 2008).

2.2. Sistemas Agroflorestais

Visando atender a necessidade de pequenos produtores e associar um modelo de exploração agrícola sustentável que promova benefícios econômicos e ecológicos, foi criado o modelo de Sistema Agroflorestal. Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) ou Agroflorestas são caracterizados por estabelecerem o uso de plantas lenhosas perenes consorciadas com espécies agrícolas e/ou forrageiras, com ou sem a presença animal, em uma mesma unidade de manejo, de acordo com um arranjo espacial e temporal, com alta diversidade de espécies e interações ecológicas entre estes componentes. Os modelos Agroflorestais possibilitam uma grande diversidade de associações entre diferentes espécies, entretanto, para caracterizá-lo, é obrigatória a presença de espécies florestais. Essas últimas são partes fundamentais e devem integrar tais sistemas de exploração (ABDO et al., 2008). Esse modelo torna-se uma alternativa interessante para pequenos agricultores que buscam obter uma exploração economicamente viável intensiva, utilizando-se de uma diversidade de plantas em vários estratos, numa mesma área (ALTIERI; NICHOLLS, 2011; MICCOLIS et al., 2016; PADOVAN; PEREIRA; FERNANDES, 2018).

O Sistema Agroflorestal permite ao produtor a obtenção de benefícios diretos, via produtos como madeira, mel e plantas medicinais, através de melhorias na qualidade química, física e biológica do solo, bem como de benefícios indiretos, que envolvem bem estar e saúde pública, proteção do solo e dos mananciais, bem como outros benefícios sociais como turismo e educação ambiental (ABDO et al., 2008; MICCOLIS et al., 2016; PAULUS, 2016).

Para a adoção de SAFs em larga escala, faz-se necessário mais conhecimento técnico-científico para subsidiar os agricultores em tomadas de decisão, principalmente com relação a qual cultura florestal implantar. Apesar das recomendações quanto às espécies variar com a região e com o sistema em que ela será implantada, muitas espécies arbóreas são promissoras

para a composição de sistemas agroflorestais biodiversos (NASCIMENTO, 2016; PODOVAN et al., 2017). Dentre elas encontra-se a Moringa (*Moringa oleífera Lam.*). Mesmo não sendo uma árvore nativa do Brasil, a Moringa tem sido utilizada graças aos seus diversos benefícios à saúde humana como alto valor alimentar, medicinal, condimentar, melífero, combustível e no tratamento de água para o consumo humano (BEZERRA et al., 2004; PADOVAN; PEREIRA; FERNANDES, 2018).

Embora o uso de Sistemas Agroflorestais esteja aumentando nas áreas nacionais, muito deve ser feito tanto na adequação técnica dos modelos escolhidos como na adoção de políticas agrícolas, que amparam o produtor a fim de que ele possa obter maior benefício desse modelo de agricultura. Para atingirem o resultado esperado, portanto, os produtores devem ter como aliado imprescindível o manejo adequado e tecnicamente embasado (ABDO et al., 2008).

As atividades exercidas pelo agricultor familiar dentro dos sistemas agroflorestais, na grande maioria das vezes, não envolvem o uso de insumos mecânicos automatizados. Isso não é diferente quando tratamos do processo de irrigação, onde muitos produtores ainda optam por manejar o cultivo por meio da mão de obra humana, devido ao alto custo de implementação dos sistemas automatizados, ou tendem a temer a tecnologia pelo fato de não possuírem conhecimento e orientação técnica. Contudo, o uso de um sistema automatizado de irrigação facilita a aplicação do volume correto de água demandado no cultivo e o controle das operações de fertirrigação. A adoção de sistemas eficientes, portanto, resulta em redução no consumo de energia, água e em maiores produtividades e rentabilidade ao produtor no final do cultivo (ALVARENGA; FERREIRA; FORTES, 2014; CUNHA;ROCHA, 2015).

2.3. Irrigação

A irrigação é um método utilizado desde a antiguidade com a finalidade de oferecer o volume essencial de água ao cultivo, do instante em que ocorre o déficit hídrico, até que o solo esteja úmido ou molhado (CASTRO, 2003). A necessidade das plantas quanto à água é pertinente ao desenvolvimento metabólico que ela realiza. Uma pequena parte da água absorvida pelas raízes é mantida no sistema da planta e a maior parte dela é perdida em forma de vapor de água, principalmente pelo processo de transpiração. A água é, portanto, fundamental ao desenvolvimento e bom funcionamento do sistema metabólico das plantas, já que age como um

sistema de transporte de nutrientes do solo para a planta. (ALBUQUERQUE; DURÃES, 2007; CUNHA;ROCHA, 2015).

Os sistemas de irrigação são indispensáveis na agricultura para suprir em épocas com escassez de água ou até mesmo para viabilizar o plantio em determinadas regiões. Dependendo da topografia, do solo, cultura a ser implantada, do clima que predomina na região, da disponibilidade de água, dos recursos financeiros e outras características pertinentes a implantação de um sistema de irrigação, diferentes métodos podem ser adotados. Dentre eles estão à irrigação de superfície, aspersão e localizada, com variações ainda possíveis dentro de cada método (CUNHA;ROCHA, 2015).

2.4.Irrigação por gotejamento

A irrigação por gotejamento baseia-se na aplicação da água diretamente no sistema radicular por meio de um sistema hidráulico com baixa vazão e alta frequência. A região do solo onde é umedecido pelo sistema é chamada de bulbo molhado, o tamanho deste bulbo varia em função de fatores como textura do solo, vazão e volume de água aplicado. O sistema de gotejamento normalmente é constituído pelos seguintes componentes: motobomba, cabeçal de controle, tubulações (principais, laterais e ramais de derivação), válvulas e emissores (gotejadores) (OLIVEIRA, 2016).

A utilização do sistema de irrigação por gotejamento tem importante impacto no uso eficiente dos recursos hídricos, sendo mínimas as perdas por evaporação ou escoamento superficial, podendo resultar ainda em redução de custo com energia elétrica (LIMA JUNIOR; SILVA, 2010; OLIVEIRA, 2016). Para que um sistema de irrigação seja eficientemente empregado, é necessário que apresente alta uniformidade de aplicação. Isso resulta na necessidade da verificação da uniformidade do sistema de irrigação através de avaliações periódicas em campo (CAMPÊLO et al., 2014). As avaliações de operação dos sistemas de irrigação envolvem diversos parâmetros de desempenho, como vazão e uniformidade de aplicação de água, considerados fundamentais para tomadas de decisões em relação ao diagnóstico do sistema (PAULINO et al., 2009).

Apesar da boa eficiência conhecida do sistema de irrigação por gotejamento, muitas vezes ele não é empregado. Na agricultura familiar, por exemplo, a falta de instrução, orientação

técnica bem como o alto custo associado à sua implantação, fazem com que o agricultor evite o uso da irrigação ou o faça sem auxílio de mecanismos de automatização. Dessa forma, muitas vezes, todo o controle e monitoramento são feitos de forma manual, o que pode acarretar inúmeros problemas provenientes do manejo inadequado da irrigação, como desperdício de água, energia e déficit na produção (CUNHA;ROCHA, 2015). Outro agravante é que, na maioria das vezes, a agricultura familiar associa um conjunto de espécies agrícolas, florestais e ornamentais, à exemplo do que acontece nos sistemas agroflorestais, com diferentes espaçamentos, em um mesmo local. Sem automatização, portanto, é difícil, na prática, atender adequadamente à necessidade hídrica de cada cultura implantada, resultando novamente em desperdício de água, energia e até mesmo em queda de produtividade. Assim, fica clara a necessidade de elaborar um sistema de irrigação automatizado, voltado para a agricultura familiar e para toda a sua complexidade. Para atender a este mercado, portanto, o sistema deve ser eficientemente capaz de monitorar e controlar as variáveis relacionadas à irrigação de forma independente para cada cultura estabelecida na área agrícola, trazer benéficos em termos de economia de energia e uso racional dos recursos hídricos, bem como apresentar baixo custo e ser acessível ao agricultor.

2.5.EPANET 2.0

O EPANET é um software de domínio público desenvolvido pela United States Environmental Protection Agency's (EPA), que é capaz de simular o comportamento hidráulico de redes de tubulações de distribuição de água. Contém um conjunto de ferramentas de cálculo para apoio à simulação hidráulica (UFPR , 2010), sem limitação do número de componentes da rede analisada: cálculo da perda de carga utilizando as fórmulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning; consideração das perdas de carga singulares em curvas, alargamentos, estreitamentos, etc.; modelagem de bombas de velocidade constante ou variável; cálculo da energia de bombeamento e do respectivo custo; modelagem dos principais tipos de válvulas, incluindo válvulas de seccionamento, de retenção, reguladoras de pressão e de vazão; modelagem de reservatórios de armazenamento de nível variável de formas diversas, através de curvas de volume em função da altura de água; múltiplas categorias de consumo nos nós, cada uma com um padrão próprio de variação no tempo; modelagem da relação entre pressão e vazão efluente de dispositivos emissores (p.ex. aspersores de irrigação, ou consumos dependentes da

pressão); possibilidade de basear as condições de operação do sistema em controles simples, dependentes de uma só condição (p.ex., altura de água num reservatório de nível variável, tempo), ou em controles com condições múltiplas (ROSSMAN, 2012).

Pesquisas utilizando a simulação pelo EPANET 2.0 tem mostrado a eficácia deste software. Souza et al. (2014), fazendo simulação de modelo hidráulico de pivô, concluiu que o software se mostrou uma ferramenta adequada para simulação do processo de irrigação com altura manométrica variável e com controle de velocidade, podendo definir o percentual de economia de energia elétrica. Concluiu ainda que o uso do simulador permite a otimização do sistema de irrigação pelo dimensionamento adequado de motor, tubulação, emissores e demais componentes do sistema, refletindo sobre a vida útil dos equipamentos.

Segundo Baptista (2016), é possível utilizar o EPANET 2.0 para simulações hidráulicas de sistemas de irrigação do tipo pivô central, desde que haja uma ferramenta de edição dos dados de entrada, pois o processo de edição é muito lento, tornando inviável a utilização do programa para essa situação. Em razão da facilidade na visualização dos resultados, e pela sua facilidade de edição, proporcionada pelo aplicativo desenvolvido para descrever a rede de distribuição os mais diversos tipos de sistemas de irrigação do tipo pivô central, o EPANET 2.0 também pode ser utilizado como uma ferramenta didática para o ensino da hidráulica de pivôs centrais.

2.6. Inversor de Frequência

Inversores de frequência são equipamentos eletrônicos capazes de variar a velocidade e sentido de giro de motores elétricos. Tem como principal função alterar a frequência da tensão que alimenta o motor, fazendo com que o motor siga frequências diferentes das fornecidas pela rede, que é sempre constante. Desta forma, podemos facilmente alterar a velocidade de rotação do motor de modo muito eficiente. O uso de inversores de frequência é responsável por uma série de vantagens, dependendo dos modelos oferecidos pelos fabricantes, como a capacidade de variar a velocidade com controles especiais já implantados no equipamento, que proporcionam regulação de velocidade sem grande perda de torque do motor, aceleração suave através de programação, frenagem direta no motor sem a necessidade de freios mecânicos além de diversas formas de controles preferenciais e controles externos que podem ser, inclusive, por meio de redes de comunicação. Além destas vantagens, os inversores ainda possuem excelente custo-

benefício, pois proporcionam economia de energia elétrica, maior durabilidade de engrenagens, polias e outras transmissões mecânicas por acelerar suavemente a velocidade (FRANCHI, 2009).

A aplicação de inversores de frequência no acionamento de sistemas de bombeamento para irrigação por aspersão pode ser viável, desde que, as características de funcionamento do sistema apresentem condições de operação que tenham variações de vazão e pressão nas tubulações (ARAÚJO, 2003). Araújo (2003) obteve ainda uma redução de aproximadamente 30% do consumo da energia elétrica no sistema com aplicação do inversor de frequência, para as condições definidas em seu experimento, considerando que tanto o motor elétrico como a bomba operaram dentro de suas características eletro-mecânicas. Campana et al. (2003) acreditam que pode ser viável o uso de inversores em outros tipos de sistemas de irrigação por aspersão e localizada. Isto se deve aos diferentes requisitos de potência no eixo do motor elétrico, utilizado para o bombeamento d'água, ao longo da área irrigada.

3. DESCRIÇÃO DO LOCAL DO ESTÁGIO

3.1. Localização

O estágio foi executado na propriedade rural Sítio Trovão, administrada pela OLEA (Óleos, lipídeos e ésteres LTDA-ME), empresa incubada na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Localizada na zona rural do município de Ijaci-MG, a propriedade possui certificação orgânica aprovada pelo Organismo Participativo de Avaliação da Conformidade - OPAC "Orgânicos Sul de Minas". Apresenta aproximadamente 9,5 ha de área, com altitude média de 875 metros acima do nível do mar e georreferenciada nos pontos de Latitude 21°13' Sul e Longitude de 44°56' Oeste. O regime pluvial médio anual é de 1462 mm e 85% deste total é concentrado no período de outubro a março, com temperatura média de 20,3 °C, de acordo as normais climatológicas de 1981-2010 (INMET, 2018).

3.2. Estrutura

O Sítio Trovão conta com dois módulos, um com a adoção do sistema agroflorestal orgânico já certificado e outro com o sistema livre de agrotóxicos. No módulo de cultivo orgânico, foram implantados 5340m² com a cultura da Moringa, e 3000 m² com o sistema agroflorestal. Neste último, estão instalados 180 metros de linhas para culturas tutoradas como maracujá, amora e pitaia e aproximadamente 1400 metros lineares de canteiros onde serão cultivadas moringa, café, banana, marmelo, citrus, leguminosas, milho e hortaliças em geral.

3.3. Serviços prestados

No Sítio Trovão está sendo implementada uma indústria de alimentos orgânicos, com foco principal nos produtos advindos da Moringa. A unidade de beneficiamento (agroindústria) encontra-se em construção com acompanhamento de técnico da EMATER-MG, devendo ser concluída nos primeiros meses de 2020. No local também é prestado serviço de extensão e pesquisa com alunos da UFLA.

4. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS E RESULTADOS OBTIDOS

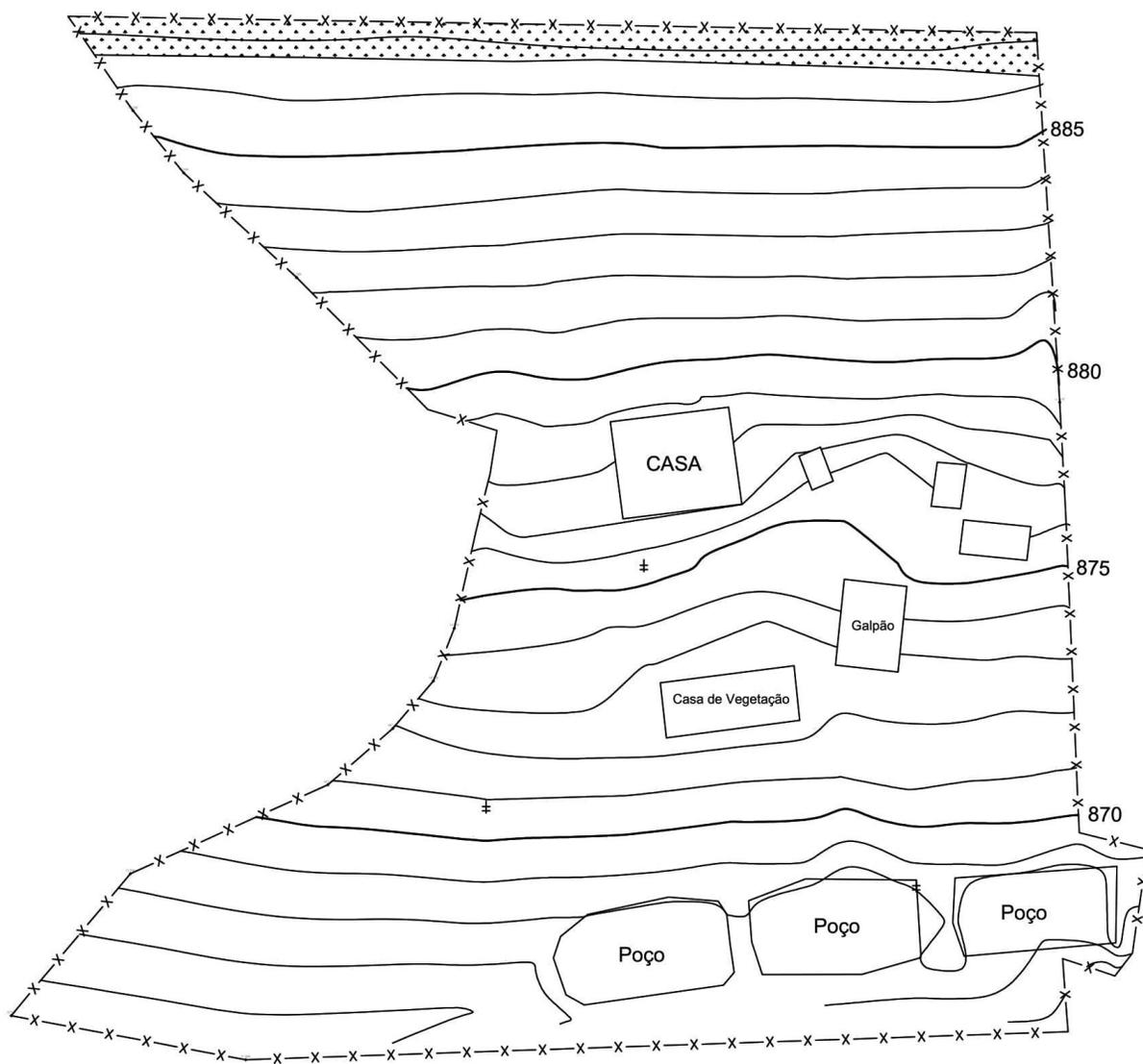
4.1. Avaliação das necessidades da propriedade

O primeiro passo do estágio, foi o entendimento do objetivo do projeto junto aos administradores, para que o mesmo fosse executado com o intuito de atender as necessidades específicas dos sistemas de cultivos ali instalados. Nessa etapa, foi verificada a necessidade de automação de todo o sistema de irrigação, do emprego de mecanismos que permitissem a maior sustentabilidade do sistema, gerando economia de água e energia. A partir desse entendimento, o projeto foi executado visando a mínima necessidade de mão de obra, baixo custo energético, consumo consciente da água e aproveitamento de materiais e equipamentos presentes na propriedade.

4.2. Layout da área a ser irrigada

O Layout do projeto foi realizado com levantamento planialtimétrico (Figura 1) da área.

Figura 1. Mapa planialtimétrico da área (Sem escala)



Fonte: Do autor (2019).

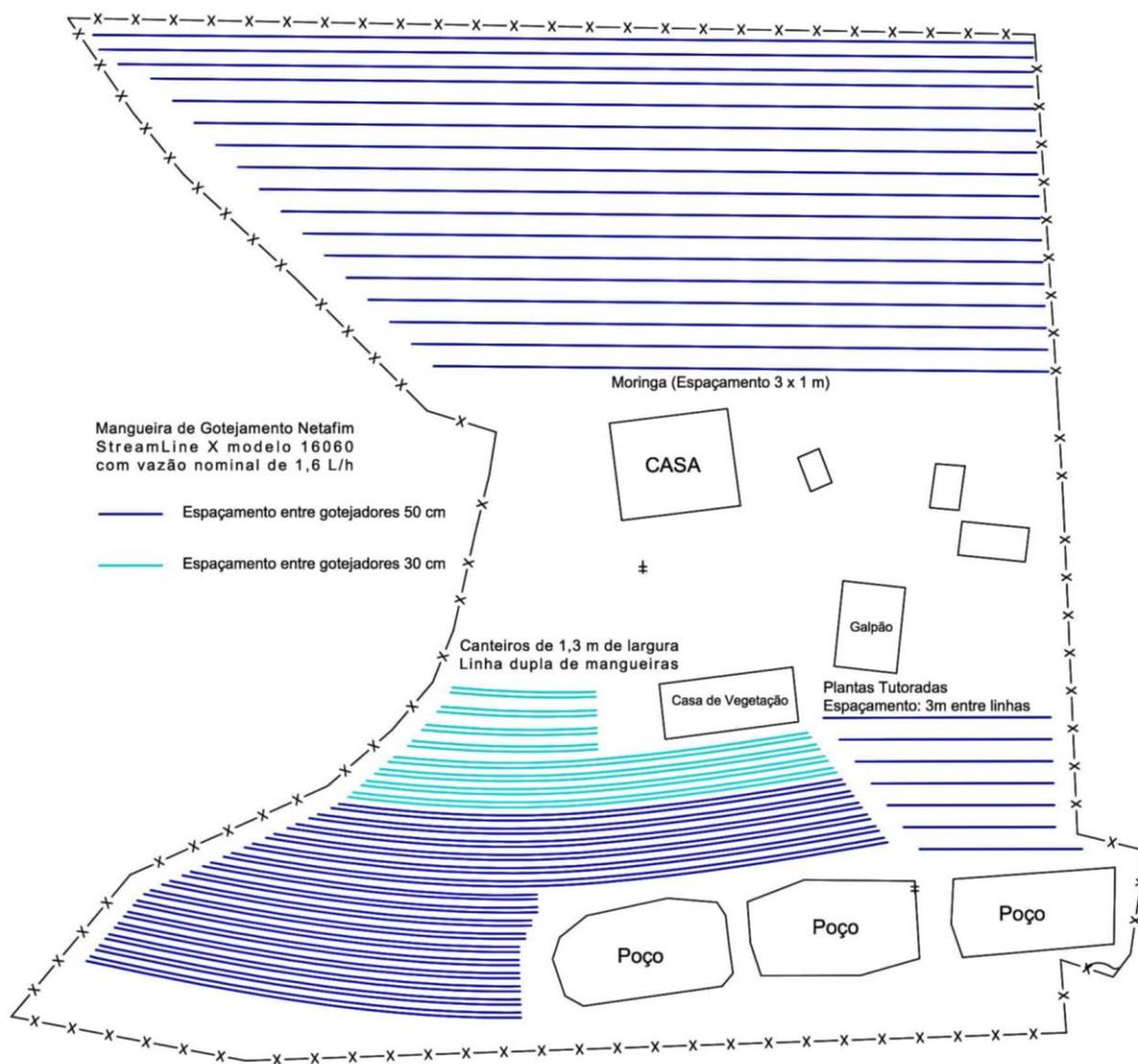
Com o reconhecimento das áreas em campo, juntamente com o mapa planialtimétrico, foi desenvolvido o layout do sistema de irrigação. Tendo em vista que a empresa já possuía as mangueiras de gotejamento, o layout foi feito de acordo as características dos produtos disponíveis bem como a disposição das linhas de plantio e canteiros já existentes na área. As mangueiras utilizadas são da marca Netafim, modelo Streamline X 16060 (Anexo 2), com vazão nominal de 1,60 L h⁻¹ e pressão recomendada de serviço de 100 kPa, de equação característica:

$$q=0,568H^{0,45}$$

Em que: q – Vazão do gotejador em L.h⁻¹; H – Carga hidráulica no emissor em metros; 0,568 – coeficiente de descarga K em L.h⁻¹.m^{-0.45}; 0,45 – expoente de descarga x.

Na Figura 2, pode-se observar a disposição das linhas de irrigação (mangueira gotejadora), representadas em linhas contínuas, que foram instaladas respeitando as linhas de plantio e canteiros já existentes, ambos alocados em nível. Para os canteiros foram adotadas linhas duplas de gotejamento espaçadas de 0,70 metros, em função da largura dos mesmos de 1,30 metros. As linhas de cor azul escuro e azul claro representam respectivamente as mangueiras com espaçamento entre gotejadores de 0,50 e 0,30 metros.

Figura 2. Mapa da área com as respectivas linhas de irrigação por gotejamento.



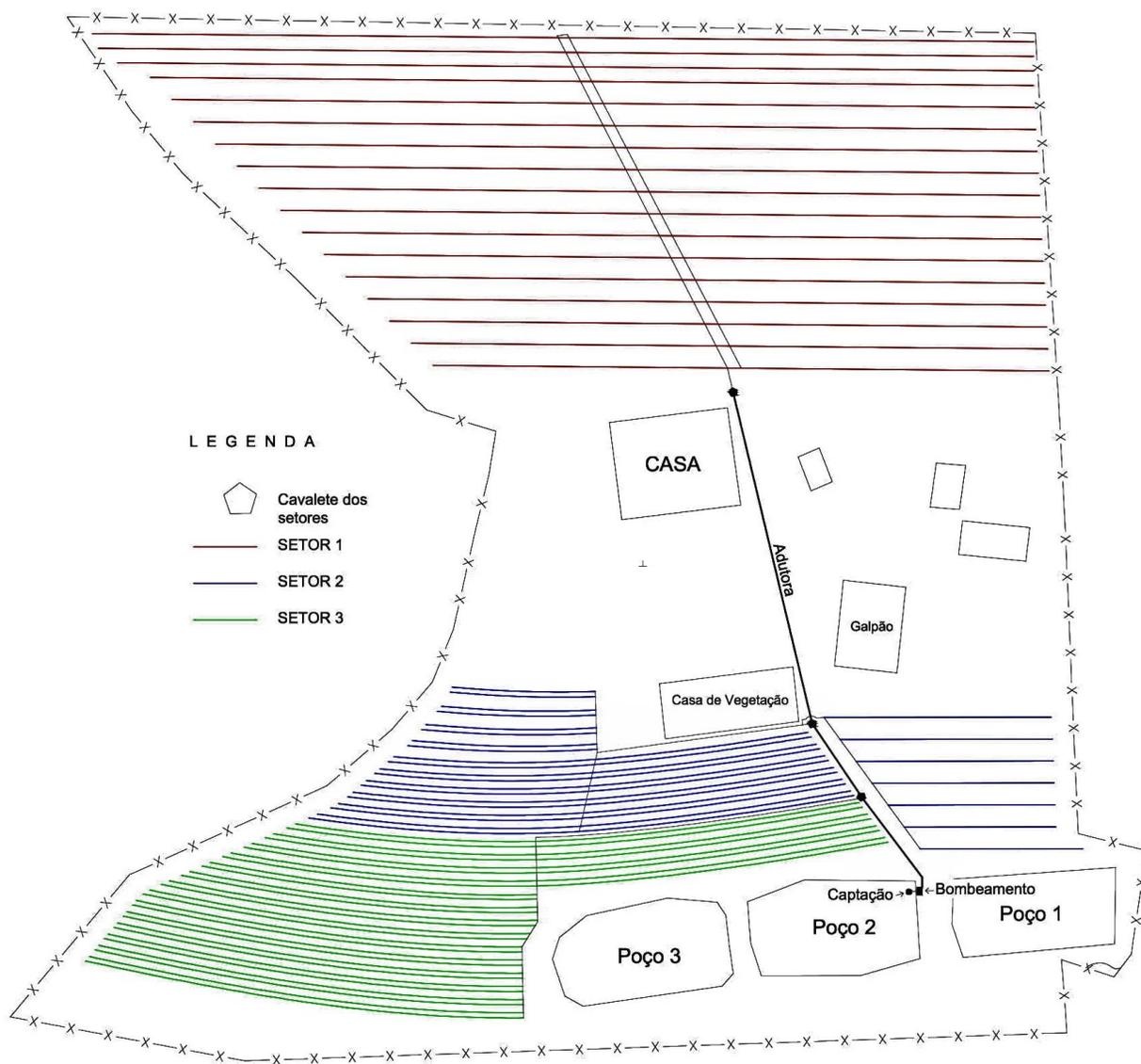
Fonte: Do autor (2019).

4.3. Rede hidráulica

Tendo em vista que a empresa já possuía a motobomba MEAL 1420V (Anexo 1) com motor elétrico de potência de 2 CV da marca Schneider, foi realizada a divisão dos setores e a disposição das tubulações da adutora, linhas principais e linhas de derivação visando o aproveitamento deste equipamento. Para a divisão dos setores foi levado em conta a vazão necessária para a área de Moringa no espaçamento de 3 metros entre linhas e 1 metro entre plantas na linha. A vazão do setor foi de $5,79 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, referente a 1809 metros de mangueira gotejadora, com emissores espaçados de 0,50 metros e com vazão nominal de $1,6 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$.

A partir da definição da área de moringa como sendo o setor 1 (Figura 3), foram definidos os setores 2 e 3, adequando comprimento de mangueira versus vazão necessária. A figura 3, representa o mapa da divisão dos três setores na área, bem como a rede de tubulações de condução de água, a locação dos cavaletes dos setores, o ponto de captação no poço 2 e o local onde será instalada a casa de bombeamento. Os setores foram divididos e projetados para operar de forma independente, e foram configurados para que as linhas de derivação conduzam a vazão no sentido da declividade, com o intuito de melhorar a uniformidade de pressão de entrada nas linhas laterais (mangueiras gotejadoras).

Figura 3. Mapa da área com a divisão dos setores.



Fonte: Do autor (2019).

A tabela 1 apresenta a vazão total de cada setor com relação ao comprimento de mangueiras e espaçamento entre gotejadores. A vazão total de cada setor foi calculada pela equação 1:

$$Q_{\text{setor}} = \frac{L_s q}{1000 S_E} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: Q_{setor} – vazão total do setor, $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$; L_s – comprimento da mangueira gotejadora, com diferentes espaçamentos entre emissores ($s=0,30\text{m}$ e $s=0,50\text{m}$), m; q – vazão nominal do gotejador ($1,60 \text{L h}^{-1}$); S_E – espaçamento entre gotejadores, m; 1000 – fator que representa 1000L m^{-3} .

Tabela 1. Vazão dos setores

	Comprimento de mangueira		Q ($\text{m}^3.\text{h}^{-1}$)
	$L_s = 0,50$	$L_s = 0,30$	
SETOR 1	1809	0	5,79
SETOR 2	467	676	5,10
SETOR 3	1741	0	5,57

Fonte: Do autor (2019).

4.4. Dimensionamento hidráulico

4.4.1. Sucção e cabeçal de controle do bombeamento

O cabeçal de controle foi projetado para realizar as funções de aferição e regulagem de pressão, fertirrigação e filtragem. Ele é composto por dois sistemas auxiliares, um by-pass na válvula de retenção para facilitar a escorva da bomba quando necessário e uma tomada d'água interligada a uma bomba auxiliar que recalca para um Venturi, possibilitando assim a injeção de fertilizante líquido na adução de água. O comprimento equivalente (L_{eq}), com valores baseados na tabela de Perdas de Carga Localizadas da Universidade Federal de Goiás (2019), para cálculo

da perda de carga localizada, foi determinado em função da quantidade e do tipo de conexões, apresentados na Tabela 2.

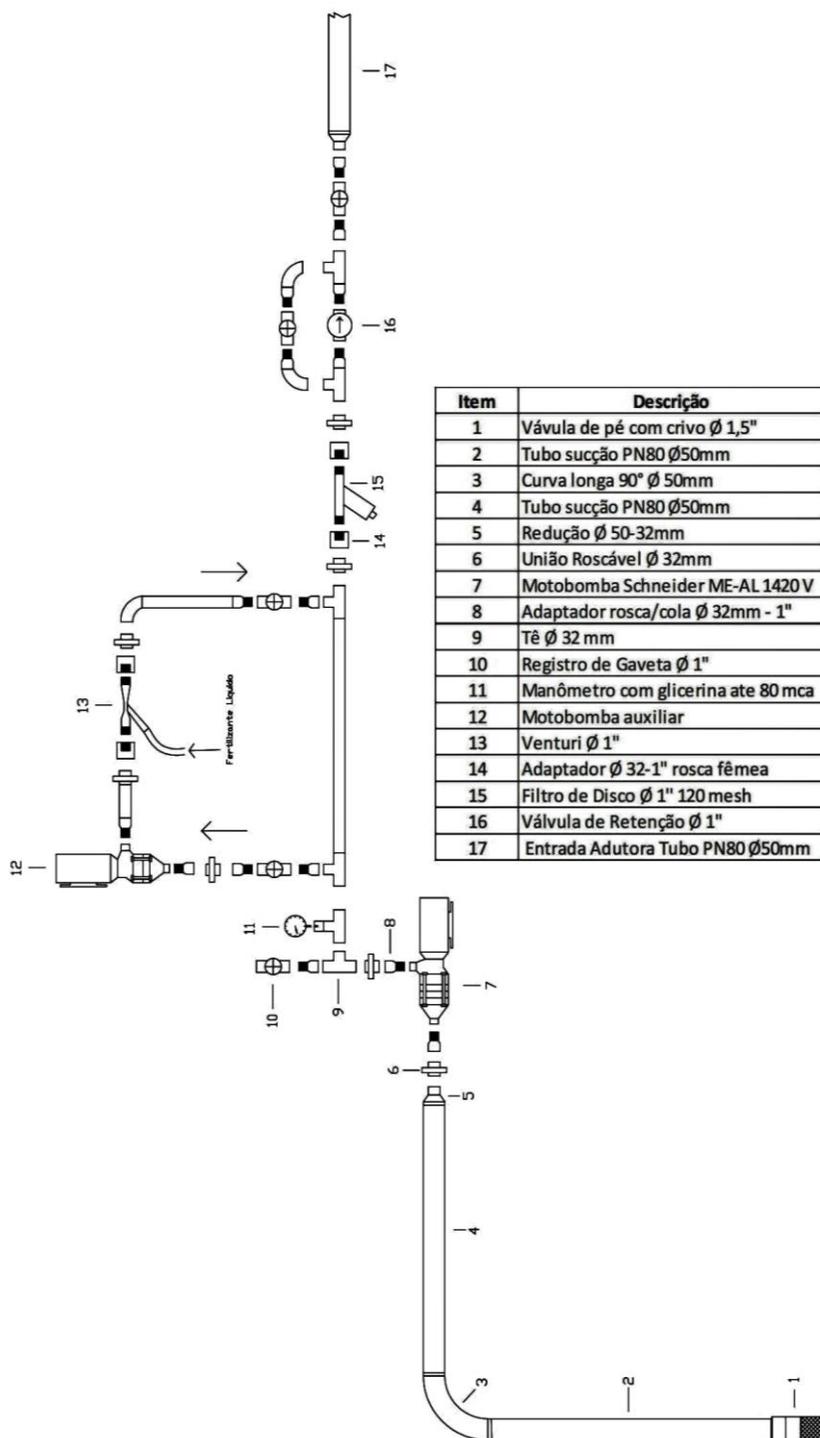
Tabela 2. Comprimentos equivalentes de sucção e cabeçal de controle do bombeamento.

Item	Descrição	Quantidade	Leq	Quantidade considerada para cálculo	Leq Total
1	Válvula de pé com crivo Ø 1,5"	1	18,3	1	18,3
2	Tubo de sucção PN80 Ø50mm	1,5	1,5	1	1,5
3	Curva longa 90° Ø 50mm	1	1,2	1	1,2
4	Tubo de sucção PN80 Ø50mm	2	2	1	2
5	Redução Ø 50-32mm	2	1	1	1
6	União Roscável Ø 32mm	8	1	1	1
				Leq sucção total (m)	25
7	Motobomba Schneider ME-AL 1420 V	1	0	0	0
8	Adaptador rosca/cola Ø 32mm - 1"	15	0,5	5	2,5
9	Tê Ø 32 mm	6	0,9	5	4,5
10	Registro de Gaveta Ø 1"	5	0,3	1	0,3
11	Manômetro com glicerina até 80 m.c.a.	1	0	0	0
12	Motobomba auxiliar	1	0	0	0
13	Venturi Ø 1"	1	0	0	0
14	Adaptador Ø 32-1" rosca fêmea	4	0,5	2	1
15	Filtro de Disco Ø 1" 120 mesh	1	2,3	1	2,3
16	Válvula de Retenção Ø 1"	1	3,8	1	3,8
17	Entrada Adutora Tubo PN80 Ø50mm	0	0	0	0
				Leq cabeçal total (m)	14,4

Fonte: Do autor (2019).

Na figura 4 observa-se o layout de montagem da tubulação de sucção bem como o cabeçal de controle do bombeamento com o sistema para realizar fertirrigação.

Figura 4. Detalhamento de montagem do bombeamento.

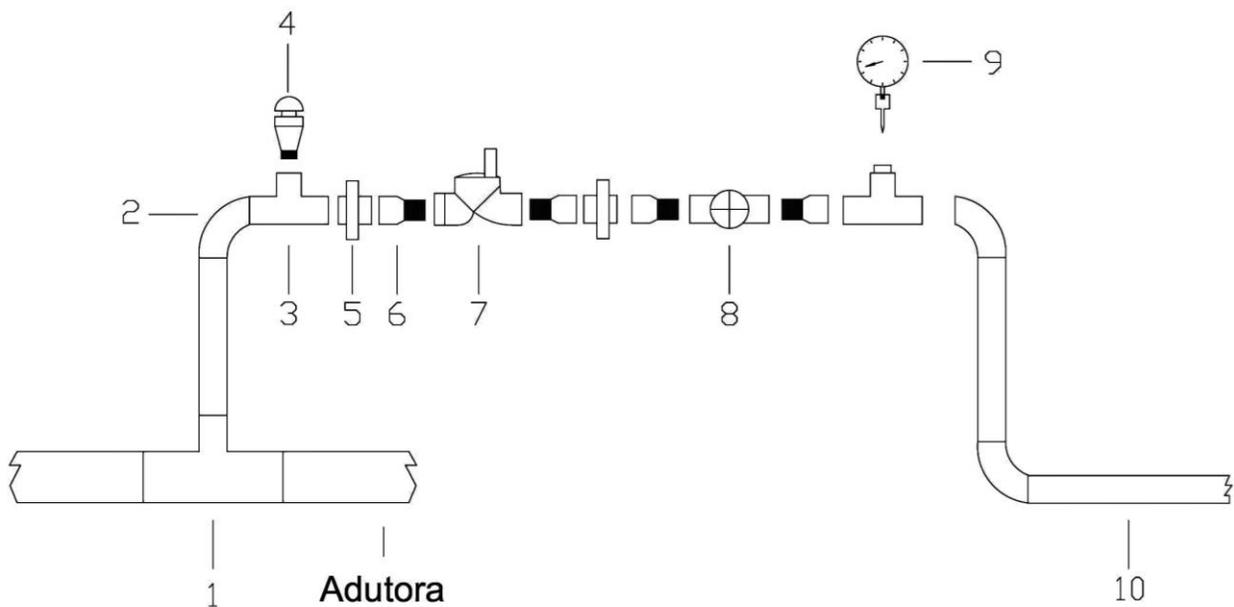


Fonte: Do autor (2019).

4.4.2. Cavalete dos setores

Os cavaletes dos setores foram projetados para realizar a abertura e fechamento da passagem de água para as linhas principais dos setores de forma automática, respondendo ao comando de um controlador eletrônico. Os mesmos também possuem a função de regular e aferir a pressão, bem como uma válvula ventosa com função de expulsar o ar que porventura esteja na tubulação, interferindo no funcionamento correto das válvulas automáticas. A figura 5 ilustra o layout de montagem do cavalete, e a tabela 3 a descrição e quantidade das peças com os respectivos comprimentos equivalentes (L_{eq}), para o cálculo da perda de carga relacionado a tubulação de diâmetro de 32mm.

Figura 5. Detalhamento de montagem do cavalete dos setores.



Fonte: Do autor (2019).

Tabela 3. Descrição do cavalete dos setores.

Item	Descrição	Quantidade	Leq (m)	Leq Total (m)
1	Tê Ø 50-32mm	1	4,6	4,6
2	Curva longa 90° Ø 32mm	2	0,7	1,4
3	Tê Ø 32mm	2	1,5	3
4	Ventosa Ø 1"	1	0	0
5	União Roscável Ø 32mm	2	1,5	3
6	Adaptador rosca/cola Ø 32mm - 1"	4	0,4	1,6
7	Válvula solenoide Ø 1"	1	0,5	0,5
8	Registro de gaveta Ø 1"	1	0,4	0,4
9	Manômetro de Verificação	1	0	0
10	Saída da linha principal Ø 32mm	1	0	0
Leq total do cavalete (m) - Ø 32mm				14,5

Fonte: Do autor (2019).

Em que: L_{eq} – comprimento equivalente para cálculo de perda de carga localizada.

4.4.3. Cálculo das pressões de entradas nos setores

O dimensionamento hidráulico dos setores teve início com a determinação da pressão de entrada nas linhas de derivações (P_i). Essa pressão foi determinada pela junção de dois fatores, a perda de carga trecho a trecho (HF_i) da linha de derivação com diâmetro do tubo de 32mm e o desnível (Z) da mesma. Com esses valores foi possível entender como se comportava a distribuição de pressão (P_i) nas entradas das linhas laterais (mangueiras gotejadoras). Para esta etapa, utilizou-se da equação de perda de carga de Darcy-Weisbach (Equação 2) e a equação de Bernoulli (Equação 3). A partir da equação 3, obteve-se a equação derivada para o cálculo da pressão de entrada (Equação 4). Como exemplo, a tabela 4 apresenta os valores de perdas de carga trecho a trecho da linha de derivação do setor 1, bem como a distribuição da carga de pressão nas entradas das mangueiras gotejadoras. A partir da análise da distribuição de pressão e pelo fato das linhas de derivações estarem a favor da declividade, foi estabelecida a carga de

pressão de entrada nas linhas de derivações, de 9 metros. Com isso foi possível obter melhor distribuição de pressão nas entradas das linhas laterais, e o aumento de pressão com o desnível é minimizado pela perda de carga existente nos trechos, fazendo com que as linhas laterais com menor altitude não trabalhem com excesso de pressão.

$$HF_i = 8 f \frac{L_T}{DI^5} \frac{Q_{Trecho_i}^2}{\pi^2 g} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que: f – fator de atrito de Darcy-Weisbach (adimensional); g – Aceleração da gravidade em $m.s^{-1}$

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + hf_{1-2} \quad (\text{Equação 3})$$

$$\frac{P_{i+1}}{\gamma} = \frac{P_i}{\gamma} + (Z_i - Z_{i+1}) - HF_i \quad (\text{Equação 4})$$

Em que: γ - Peso específico da água.

$$Q_{Linha_i} = \frac{L_{Linha_i}^{3,2}}{1000 \cdot 3600} \quad (\text{Equação 5})$$

Em que: L_{Linha_i} – Comprimento de mangueira abastecido pela saída no trecho i , em metros; Q_{Linha_i} – Vazão da mangueira com comprimento L_{Linha_i} , em $m^3.s^{-1}$; 3,2 – vazão da mangueira de gotejamento a cada metro (2 gotejadores por metro) em $L.h^{-1}$; 1000 - fator que representa 1000 $L.m^{-3}$; 3600 – fator que representa 3600 $s.h^{-1}$.

$$Q_{Trecho_i} = Q_{Trecho_{i-1}} - Q_{Linha_i} \quad (\text{Equação 6})$$

Tabela 4. Cálculo analítico da distribuição de pressão para a linha de derivação do setor 1.

Trecho i	L_T	Q_{Trecho i}	Z_i	V	Re	f	HF_i	Pi
1	1	1,61E-03	887,00	1,999	63788,92	0,01991	1,27E-01	9,00
2	2	1,49E-03	886,59	1,857	59240,13	0,02028	2,23E-01	9,29
3	2	1,38E-03	886,18	1,716	54761,85	0,02068	1,94E-01	9,41
4	2	1,27E-03	885,76	1,578	50354,11	0,02112	1,68E-01	9,57
5	3	1,16E-03	885,35	1,445	46087,41	0,02159	2,15E-01	9,67
6	3	1,06E-03	884,94	1,314	41926,49	0,02211	1,82E-01	9,82
7	3	9,55E-04	884,53	1,187	37871,37	0,02268	1,53E-01	10,01
8	3	8,55E-04	884,12	1,063	33922,02	0,02331	1,26E-01	10,24
9	3	7,58E-04	883,71	0,943	30078,47	0,02403	1,02E-01	10,51
10	3	6,64E-04	883,29	0,826	26340,70	0,02484	8,09E-02	10,81
11	3	5,72E-04	882,88	0,712	22708,71	0,02577	6,24E-02	11,14
12	3	4,84E-04	882,47	0,601	19182,52	0,02689	4,64E-02	11,49
13	3	3,96E-04	882,06	0,493	15726,84	0,02825	3,28E-02	11,86
14	3	3,12E-04	881,65	0,388	12376,95	0,03000	2,16E-02	12,24
15	3	2,30E-04	881,24	0,286	9132,85	0,03237	1,27E-02	12,64
16	3	1,51E-04	880,82	0,188	5994,54	0,03596	6,07E-03	13,04
17	3	7,47E-05	880,00	0,093	2962,01	0,04289	1,77E-03	13,86

Fonte: Do autor (2019).

Onde: Trecho_i- Trecho de tubulação entre duas saídas para mangueiras gotejadoras; L_T – Comprimento do trecho i, em metros; Q_{Trecho i} – Vazão do trecho i calculada pela equação 6, em m³.s⁻¹; Z – Cota de altitude da saída i, em metros; V – velocidade da água no tubo em m.s⁻¹; Re – número de Reynolds; f – Fator de atrito para equação de Darcy-Weisbach; HF_i – Perda de carga calculada pela equação 2; Pi – Carga hidráulica no início da linha de gotejamento o trecho i calculada pela equação 4, em metros.

4.4.4. Altura manométrica total dos setores

Para o cálculo da Altura manométrica total (HMT) dos setores foi levado em conta os seguintes parâmetros: Carga hidráulica de entrada necessária na linha de derivação; desnível máximo em relação a motobomba; perdas de carga na sucção, no cabeçal de controle, na adutora, no cavalete do setor e na linha principal do setor. Pela tabela 5 pode-se observar detalhadamente esses parâmetros e os valores calculados.

Tabela 5. Altura manométrica total dos setores.

	SETOR 1	SETOR 2	SETOR 3
Vazão (Q) (m ³ .h-1)	5,79	5,1	5,57
Carga hidráulica de entrada na linha de derivação (Pi)	9,0	9,0	9,0
Altura de sucção (Hs)	1,5	1,5	1,5
Desnível (Z)	19,0	4,0	2,0
Leq sucção Ø 50mm	25,0	25,0	25,0
Leq cabeçal Ø 32mm	14,4	14,4	14,4
Comprimento da adutora Ø 50mm	73,0	27,0	15,0
Hf referente ao Ø 50mm	1,49	0,634	0,57
Comprimento da Linha principal Ø 32mm	55,0	30,0	45,0
Leq Cavalete Ø 32mm	14,5	14,5	14,5
Hf referente ao Ø 32mm	10,64	4,85	8,76
Coefficiente k	0,362	0,211	0,301
HMT	41,63	19,98	21,83

Fonte: Do autor (2019).

Em que: Valores apresentados na tabela em metros; L_{eq} – comprimento equivalente para cálculo de perda de carga localizada; H_f – perda de carga calculada pela fórmula de Darcy-Weisbach; HMT – Altura manométrica total requerida pelo setor em metros; k – Coeficiente para cálculo da HMT com a vazão sendo uma variável seguindo a equação 7.

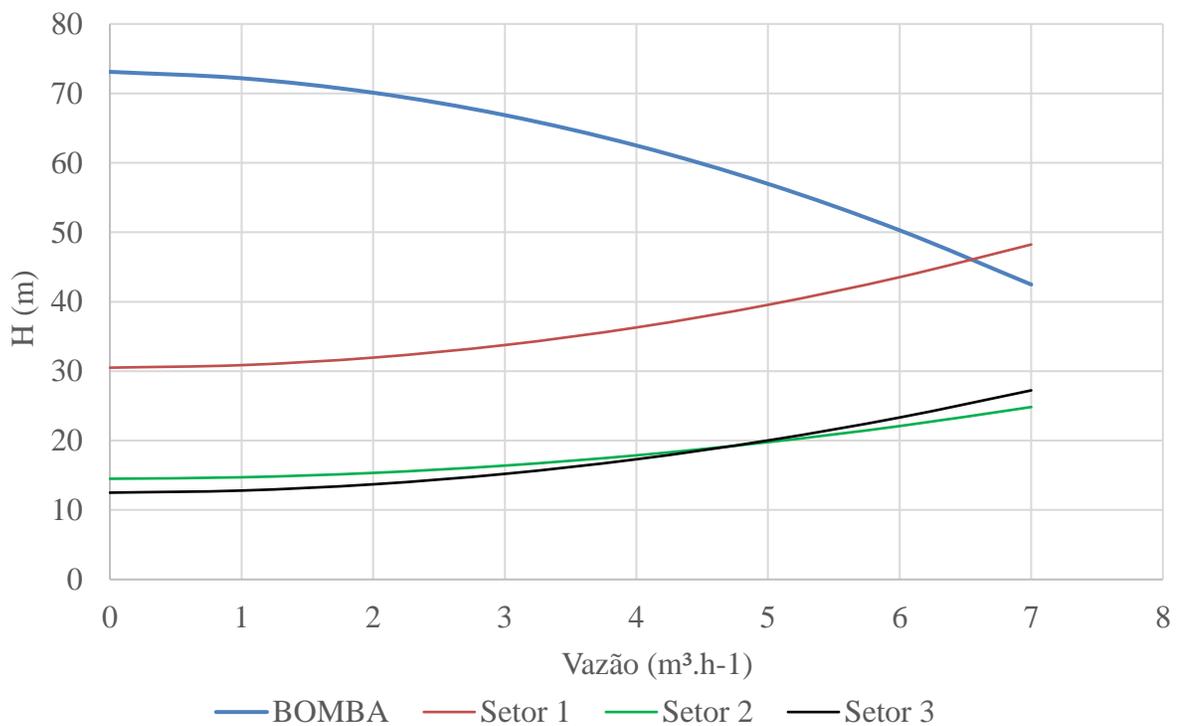
A altura manométrica total de cada setor com a vazão sendo uma variável pode ser observada pela equação a seguir:

$$HMT = (P_i + H_s + Z) + k Q^2 \quad (\text{Equação 7})$$

4.4.5. Pontos de Operação

Os pontos de operação foram calculados com auxílio de planilhas e gráficos eletrônicos no Excel®, a partir dos quais foram obtidas as curvas dos sistemas de cada setor (Figura 6), a curva característica de operação da motobomba pode ser observada no Anexo 1. O único setor que apresentou ponto de operação com a motobomba foi o setor 1, ainda assim, com uma vazão superior à vazão necessária já calculada para o setor 1 de $5,79 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (Tabela 1).

Figura 6. Pontos de operação inicial



Fonte: Do autor (2019)

A primeira alternativa para ajuste dos pontos de operação foi a simulação da utilização de um registro de gaveta com a finalidade de produzir uma perda de carga nos sistemas dos setores. Para determinar qual o valor necessário para esta perda de carga, utilizou-se da equação ajustada da curva característica (Q-H) da bomba (Equação 8). A altura manométrica de funcionamento da bomba foi calculada com a vazão de cada setor. Com esse valor, pode-se obter a diferença entre a altura manométrica total necessária de cada setor e a altura manométrica da bomba (H_{manB}) a qual corresponde a vazão necessária dos mesmos.

$$H_{man_B} = -0,5766 Q^2 - 0,3544 Q + 73,104 \quad (\text{Equação 8})$$

Em que: H_{man_B} – Altura manométrica de funcionamento da bomba, m; Q – vazão em $m^3.h^{-1}$

O valor de altura manométrica de funcionamento da bomba para a vazão de cada setor, bem como o valor da diferença de pressão, que é a perda de carga que o registro de gaveta realizaria no sistema, estão apresentados na tabela 6.

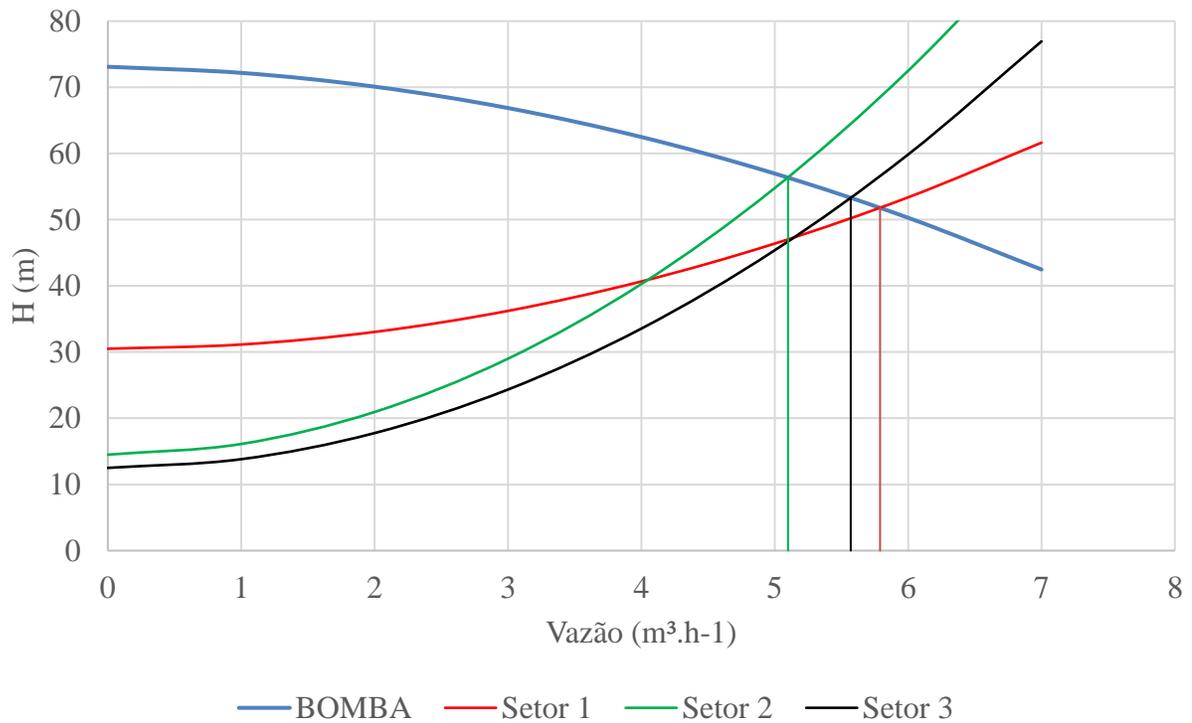
Tabela 6. Ajuste da altura manométrica dos setores em relação a altura manométrica necessária da bomba.

	SETOR 1	SETOR 2	SETOR 3
Vazão ($m^3.h^{-1}$)	5,79	5,1	5,57
Altura manométrica de funcionamento do setor (m)	41,63	19,98	21,83
Pressão de operação da bomba para a vazão necessária (m)	51,8	56,4	53,3
Coefficiente k com a utilização do registro	0,635	1,611	1,315
Perda de carga realizada pelo registro (m)	10,7	36,42	31,47

Fonte: Do autor (2019).

A partir dos resultados obtidos na tabela 6, foi plotado o gráfico com os pontos de operações corrigidos por esta perda de carga fictícia realizada pelo registro. A figura 7 apresenta os pontos de operações após a modificação da curva original do sistema. Com isso foi possível observar que os três setores passaram a ter ponto de operação com a motobomba referente à vazão necessária para cada setor. Uma observação para essa alternativa de ajuste do ponto de operação, é a possibilidade de ocorrência de cavitação no registro.

Figura 7. Pontos de operação dos setores com a utilização de registros.



Fonte: Do autor (2019)

A segunda alternativa para obtenção dos pontos de operações, escolhida para o projeto, foi a modificação da curva característica de operação da motobomba por meio de variação na rotação do motor. O cálculo da rotação necessária do motor para o ajuste do ponto de operação de cada setor, foi feito com base nas equações de Rateaux (Equações 9, 10 e 11).

$$H'_1 = H_1 \left(\frac{n'_1}{n_1} \right)^2 \quad (\text{Equação 9})$$

$$Q'_1 = Q_1 \left(\frac{n'_1}{n_1} \right) \quad (\text{Equação 10})$$

Onde: H_1 – Altura manométrica de um ponto aleatório da curva característica original da bomba; Q_1 – Vazão de um ponto aleatório da curva característica original da bomba referente a altura manométrica H_1 ; n_1 – Rotação característica original do motor da bomba (3600 rpm para a motobomba do projeto); n'_1 – Nova rotação do motor; H'_1 – Altura manométrica da bomba referente a nova rotação n'_1 ; Q'_1 – Vazão da bomba referente a altura manométrica H'_1 ;

Para cada setor foi calculada uma rotação do motor, que ajustou a curva característica da bomba para a vazão, e altura manométrica necessária do mesmo, o que pode ser visto na tabela 7, juntamente com os rendimentos da bomba para os três pontos de operação.

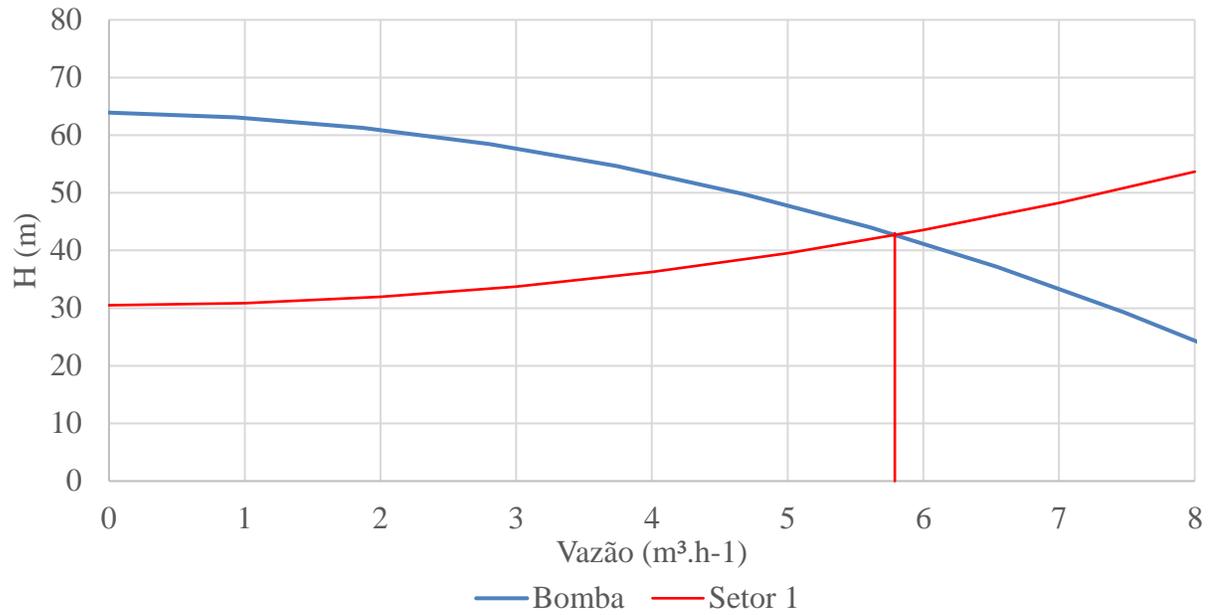
Tabela 7. Rotações e frequências de operação do motor para cada setor.

	Q'_1 ($m^3 \cdot h^{-1} \cdot h$)	H'_1 (m)	n'_1 (rpm)	Frequência (Hz)	Rendimento (%)
SETOR 1	5,79	41,63	3366	56,10	49,64
SETOR 2	5,10	19,98	2538	42,30	50,65
SETOR 3	5,57	21,83	2718	45,30	50,17

Fonte: Do autor (2019).

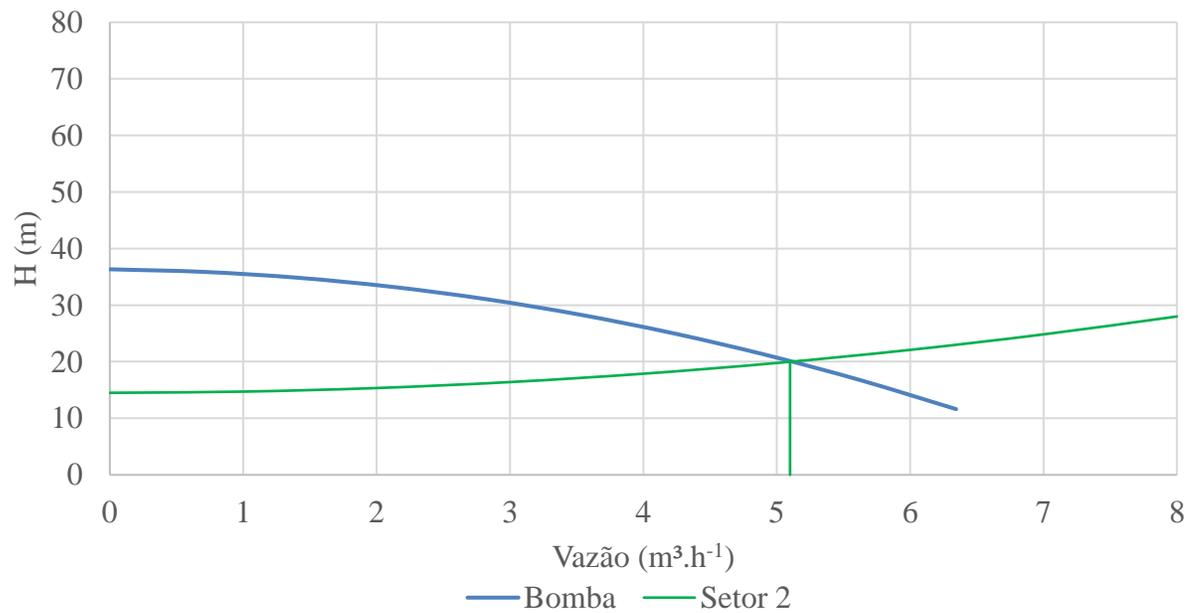
As curvas características da bomba referentes as novas rotações do motor, bem como a curva característica original de cada setor, foram plotadas em gráficos separados (Figuras 8, 9 e 10). Com base nestes gráficos, podem ser observados os novos pontos de operações de cada um dos três setores.

Figura 8. Ponto de operação do setor 1 com ajuste da rotação do motor.



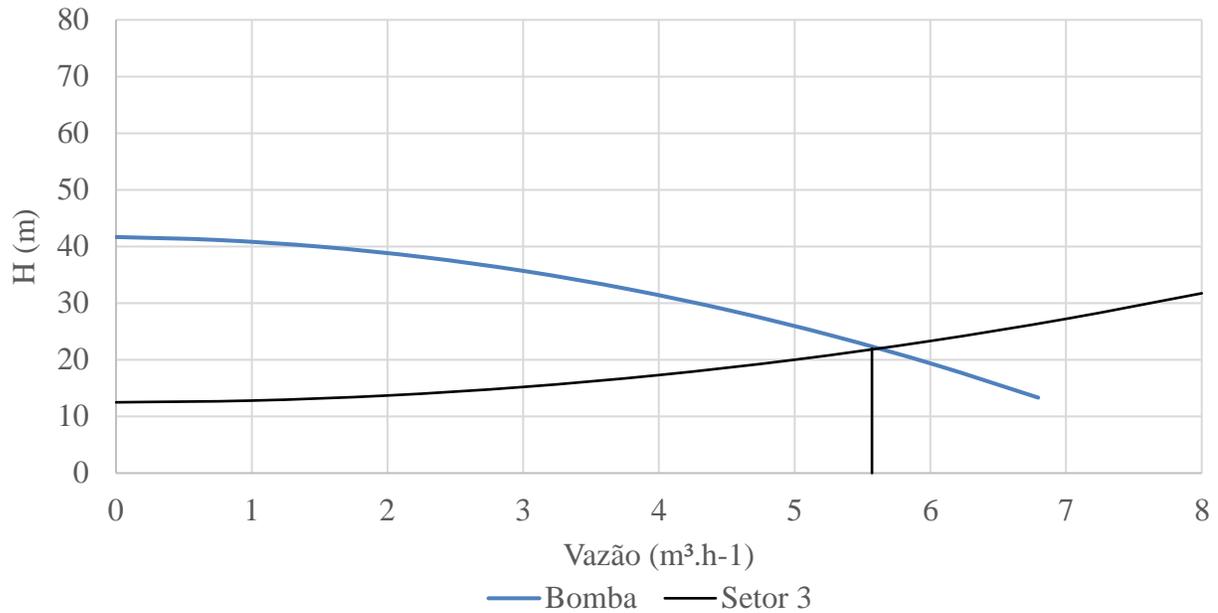
Fonte: Do autor (2019)

Figura 9. Ponto de operação do setor 2 com ajuste da rotação do motor.



Fonte: Do autor (2019)

Figura 10. Ponto de operação do setor 3 com ajuste da rotação do motor.



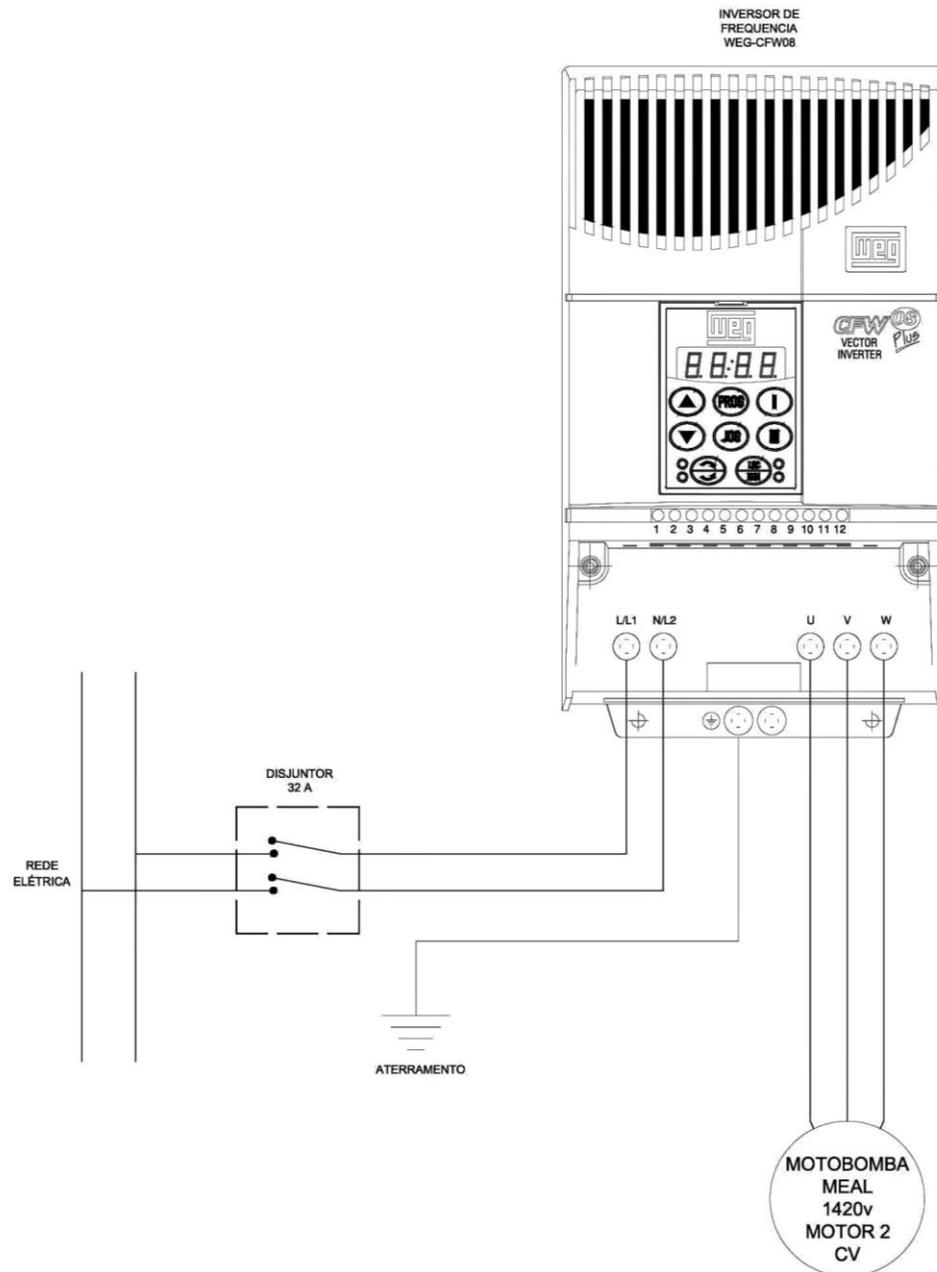
Fonte: Do autor (2019)

Para realizar de forma automática o ajuste da rotação do motor, foi escolhido o equipamento inversor de frequência.

4.5. Dimensionamento elétrico e de comando

Para realizar a automação de todo sistema, foram adotados equipamentos já existentes na empresa. Dentre eles um controlador eletrônico de irrigação Rain-Bird de 6 estações, válvulas solenoides elétricas da marca Rain-Bird com controle de fluxo e um inversor de frequência modelo CFW 08 da marca WEG para motor de até 3 CV. Visto que a rede elétrica na propriedade é monofásica e o motor é trifásico, o inversor de frequência já seria empregado para a conversão dessa energia. Na figura 11 é demonstrado o esquema de ligação elétrica entre a rede, o inversor e a motobomba. De acordo com as informações do fabricante, o inversor deve ser protegido por um disjuntor de 32 amperes e também deve ser devidamente aterrado.

Figura 11. Esquema de ligação elétrica entre a rede, o inversor e a motobomba.



Fonte: Do autor (2019)

Onde: L/L1 e L/L2 – Entradas de linha do inversor; U, V e W – Saídas para alimentação do motor trifásico.

O controlador Rain-Bird define toda a programação temporal da irrigação como os dias, horários e tempo de funcionamento que cada setor irá operar. O mesmo irá fazer essa função, controlando as válvulas solenoides existentes nos cavaletes de cada setor e acionando relés para configuração do inversor de frequência e partida do motor.

O inversor de frequência foi configurado para trabalhar em modo Multispeed. Este modo permite, através das cinco entradas digitais do mesmo, acessar até oito configurações pré-programadas de frequências de funcionamento do motor, fazendo assim a adequação da rotação pré-definida para operação de cada setor. As configurações através das entradas digitais se darão por meio de quatro relés de interface 24 Volts que serão acionados simultaneamente às válvulas solenoides em campo. Para essa configuração de controle, foi adotado os passos e indicações do manual do inversor (WEG, 2019) e elaborado um passo a passo de programação do mesmo através do painel de interação existente no equipamento. As configurações do mesmo são por meio de parâmetros do inversor. Estes possuem um prefixo P seguido por uma sequência de três números, onde cada parâmetro é responsável por uma configuração específica do inversor, descrita no manual. Os passos utilizados para realização desta etapa, estão descritos a seguir, na tabela 8.

Tabela 8. Passos realizados para a configuração do inversor.

Parâmetro	Valor de Entrada	Descrição da configuração
P000	5	Permite a modificação das configurações
P204	5	Restaura os parâmetros com todas as configurações de fábrica
P000	5	Permite a modificação das configurações
P221	6	Habilita o Multispeed como referência da velocidade do motor
P222	6	Habilita o Multispeed como referência da velocidade do motor
P263	1	Define a função da entrada digital 1 como Habilita geral
P264	7	Define a função da entrada digital 2 como Multispeed
P265	7	Define a função da entrada digital 3 como Multispeed
P266	7	Define a função da entrada digital 4 como Multispeed
P124	0	Define a frequência de alimentação do motor na função Habilita geral
P128	56,10	Define a frequência de alimentação do motor da referência 5 do Multispeed

P126	42,30	Define a frequência de alimentação do motor da referência 3 do Multispeed
P125	45,30	Define a frequência de alimentação do motor da referência 2 do Multispeed
P229	1	Define a seleção de comando local como sendo os bornes de entradas digitais
P220	4	Define como acesso às configurações somente as entradas digitais
P399	-	Rendimento nominal do motor (%)
P400	-	Tensão nominal do motor (V)
P401	-	Corrente nominal do motor (A)
P402	3600	Velocidade nominal do motor (rpm)
P403	60	Frequência nominal do motor (Hz)
P404	7	Define a potência do motor como sendo de 2CV ou 1,5kW
P407	-	Define o Fator de potência nominal do motor
P202	1	Define o tipo de controle V/F como sendo quadrático, respeitando assim a relação quadrática referente a curva torque versus rotação da bomba

Fonte: Do autor (2019).

As referências da função multispeed do inversor, são acessadas por meio das entradas digitais de acordo a tabela 9.

Tabela 9. Referências para acesso do multispeed.

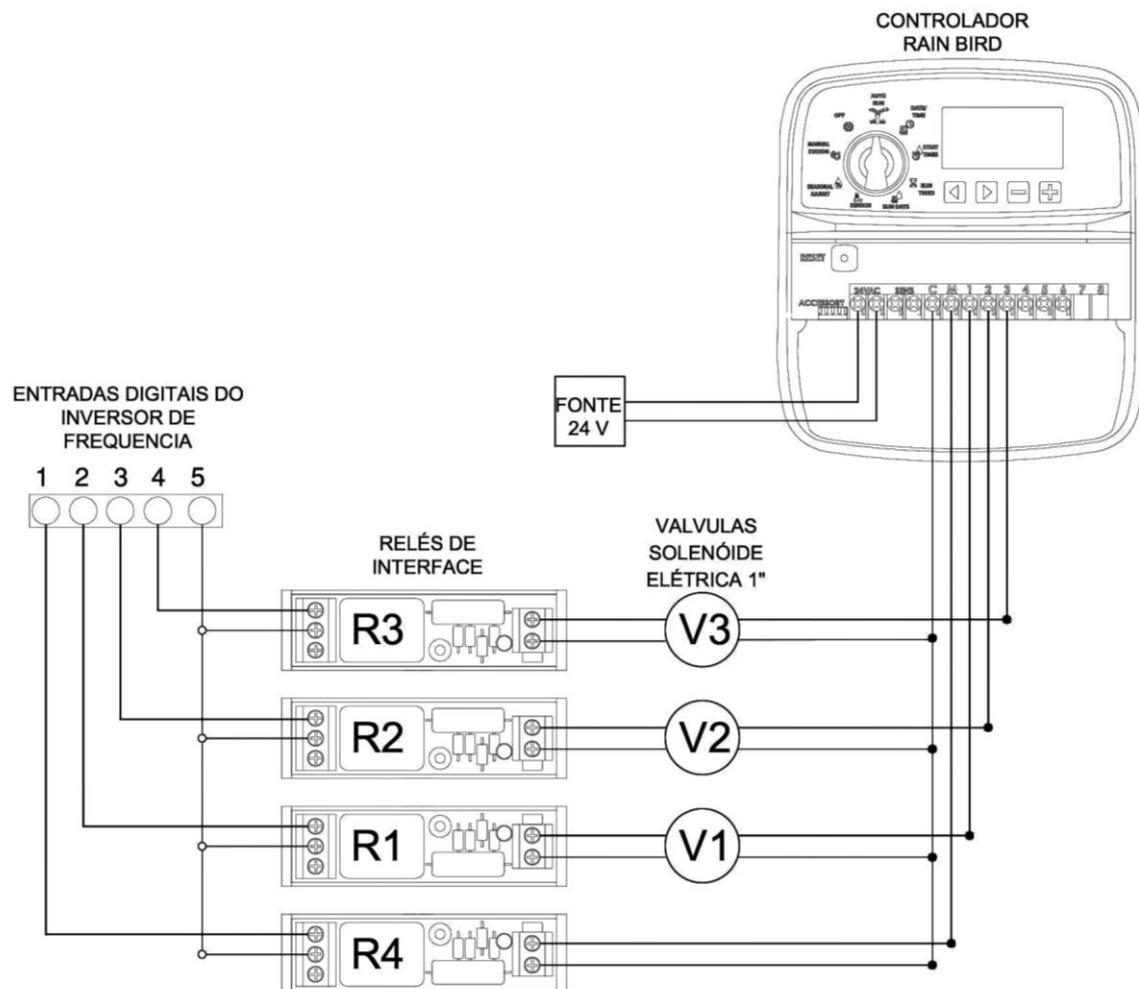
Referência do Multispeed	Acessa a configuração do parâmetro	Entrada Digital			
		1	2	3	4
1	P124	0 V	Aberta	Aberta	Aberta
5	P128	0 V	0 V	Aberta	Aberta
3	P126	0 V	Aberta	0 V	Aberta
2	P125	0 V	Aberta	Aberta	0 V

Fonte: Do autor (2019).

A figura 12, apresenta o layout de montagem e ligação dos equipamentos para o controle automatizado de todo sistema. Os relés de interface representados por R1, R2, R3 e R4 são relés com tensão de comando de 24 volts, mesma tensão de saída das portas digitais do controlador que alimentam as válvulas solenoides elétricas dos setores, representadas por V1, V2 e V3. A entrada

digital 5 fornecerá a tensão de 0 volts para as outras entradas digitais de acordo ao acionamento de cada relé. O relé R4 será acionado pelas portas digitais C (comum) e M do controlador que é chamada de válvula mestre, habilitando assim, simultaneamente com cada setor, a função habilita geral do inversor.

Figura 12. Layout de montagem do sistema de automação



Fonte: Do autor (2019).

Detalhamento da sequência de funcionamento do controle automatizado do projeto:

- Setor 1: No dia, hora e tempo de duração pré-programados, o controlador energiza com 24 volts as portas M e 1; Válvula solenoide V1 é acionada; Relés R4 e R1 são acionados, alimentando com 0 volts as entradas digitais 1 e 2 do inversor; função habilita geral e a referência 5 do multispeed são acionadas; motobomba é alimentada com 56,10 Hz resultando assim em uma rotação de 3366 r.p.m.
- Setor 2: No dia, hora e por tempo pré-programado, o controlador energiza com 24 volts as portas M e 2; Válvula solenoide V2 é acionada; Relés R4 e R2 são acionados, alimentando com 0 volts as entradas digitais 1 e 3 do inversor; função habilita geral e a referência 3 do multispeed são acionadas; motobomba é alimentada com 42,30 Hz resultando assim em uma rotação de 2538 r.p.m.
- Setor 3: No dia, hora e por tempo pré-programado, o controlador energiza com 24 volts as portas M e 3; Válvula solenoide V3 é acionada; Relés R4 e R3 são acionados, alimentando com 0 volts as entradas digitais 1 e 4 do inversor; função habilita geral e a referência 2 do multispeed são acionadas; motobomba é alimentada com 45,30 Hz resultando assim em uma rotação de 2718 r.p.m.

4.6. Simulação com EPANET 2.0

Com o objetivo de avaliar os cálculos hidráulicos e realizar o zoneamento de todo o projeto quanto à intensidade de aplicação de água pelos gotejadores, utilizou-se o software de simulação de redes hidráulicas EPANET 2.0. Para esta etapa, alguns padrões foram seguidos:

- Os Nós, no EPANET, são junções entre tubulações e/ou emissores desde que o usuário forneça as características necessárias para tal, como o coeficiente “K” da equação do emissor, bem como o expoente de descarga “x” da mesma. Outra informação importante a ser fornecida para os nós, são suas respectivas cotas de altitude;
- Tubulações são representadas por trechos (links) que requerem diversas características, como diâmetro interno, comprimento, rugosidade relativa de acordo com a equação de perda de carga selecionada para cálculo e nós de início e final, determinando assim o sentido da vazão.

4.6.1. Edição e conversão do mapa do AutoCAD

Como a edição do mapa diretamente no software é um processo lento, o mesmo foi feito no software AutoCAD e convertido para arquivo de leitura do EPANET 2.0 com auxílio do software EpaCAD. Para realizar essa conversão de forma correta, foi necessário seguir as seguintes recomendações:

- A criação de linhas no software AutoCAD deve ser feita no sentido da vazão de cada trecho e o comprimento das mesmas serão o comprimento dos trechos no EPANET;
- Cada junção entre linhas, representa um nó no EPANET;
- Foram feitos mapas separados para cada setor em arquivos distintos;
- Para representação das mangueiras gotejadoras, foi criada uma sequência de linhas com comprimento equivalente aos espaçamentos entre gotejadores para que cada junção entre linhas represente um gotejador;
- Foram atribuídas cotas (Eixo Z) no AutoCAD para cada segmento de trechos que representam as mangueiras gotejadoras, para que quando convertido, as mesmas cotas são atribuídas aos nós no EPANET;
- Após essas etapas concluídas no AutoCAD, o arquivo foi salvo no formato *.dxf*, e convertido para o formato *.inp* pelo software EpaCAD.

4.6.2. Entrada de dados para EPANET 2.0

Em posse do arquivo *.inp* convertido, o mesmo foi aberto utilizando o software EPANET 2.0, onde já se pôde observar o mapa de cada setor com trechos e nós. Adicionou-se a cada um dos mapas de cada setor, um reservatório de nível fixo, trecho representando a tubulação de sucção com comprimento virtual de 25 metros (comprimento fictício da tubulação composta por seu comprimento real mais o comprimento equivalente), bomba e sua curva característica de operação, trecho com comprimento de 14,4 metros representando o cabeçal de controle e sua perda de carga real, e, por fim, trecho com comprimento de 14,5 metros representando o cavalete do setor e sua perda de carga real.

Após esta etapa de edição no software, foi necessário modificar o arquivo texto do projeto do EPANET para facilitar a inserção de alguns dados. Para isso, no EPANET, o arquivo foi

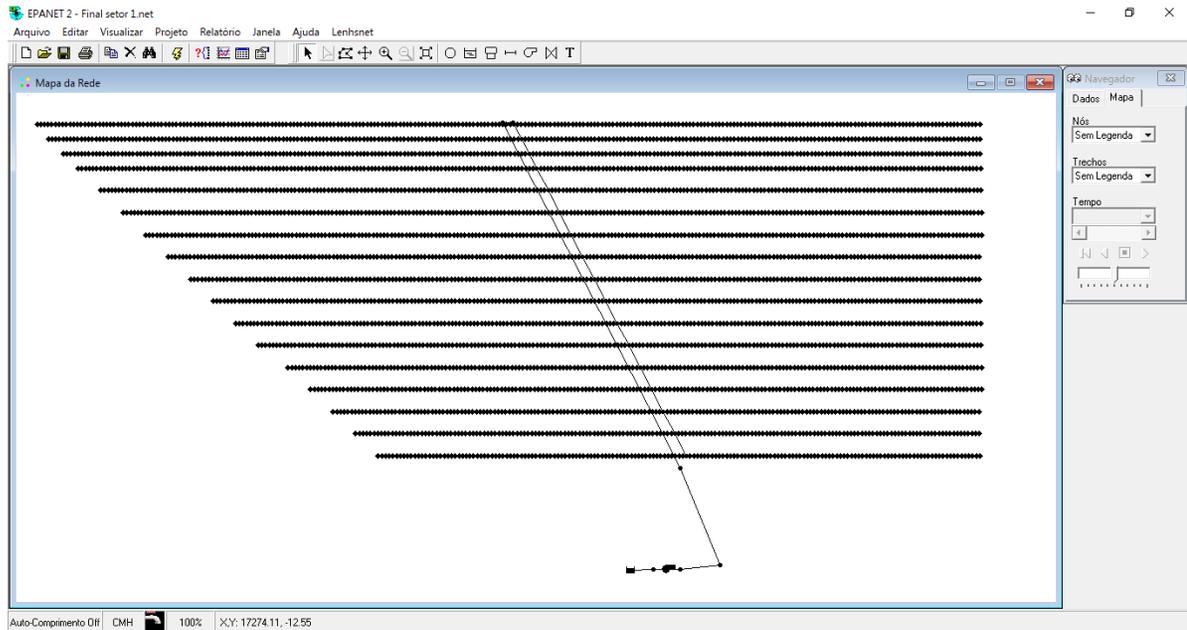
exportado como rede e aberto em um software (Excel®) capaz de editar arquivos separados por tabulação. Neste arquivo de texto, foram realizadas as seguintes etapas:

- Inseriu-se o coeficiente de descarga K (0,000568 em $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-0,45}$) da equação do gotejador em cada nó que representa um emissor;
- Inseriu-se o diâmetro interno ($\varnothing = 16,2 \text{ mm}$) e a rugosidade relativa ($\varepsilon = 0,01 \text{ mm}$) de cada trecho que representa a mangueira de gotejamento;
- O arquivo modificado foi salvo como arquivo no formato *.txt*;
- Este arquivo foi aberto no software Bloco de Notas onde foi substituído todas as aspas do arquivo por nada;
- O arquivo final após todas as modificações foi aberto novamente pelo EPANET 2.0.

4.6.3. Simulação do sistema no EPANET 2.0

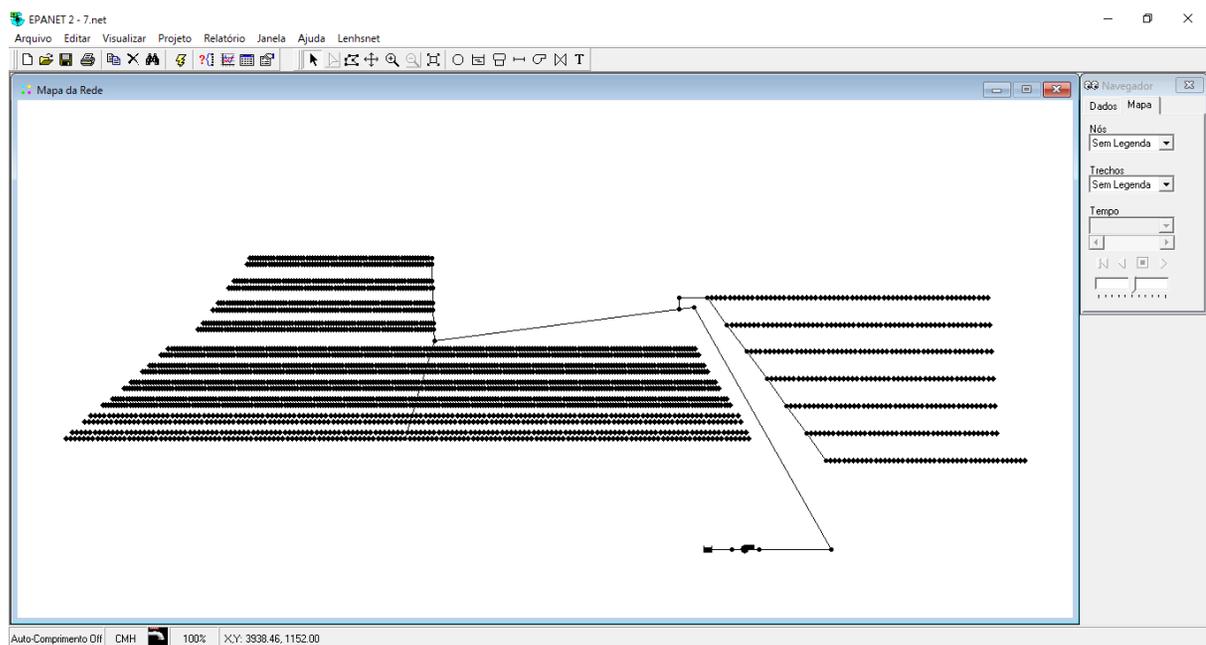
Os mapas configurados para simulação de cada setor podem ser observados nas figuras 13 para o setor 1, 14 para setor 2 e 15 para setor 3.

Figura 13. Mapa gerado pelo EPANET 2.0 para o setor 1.



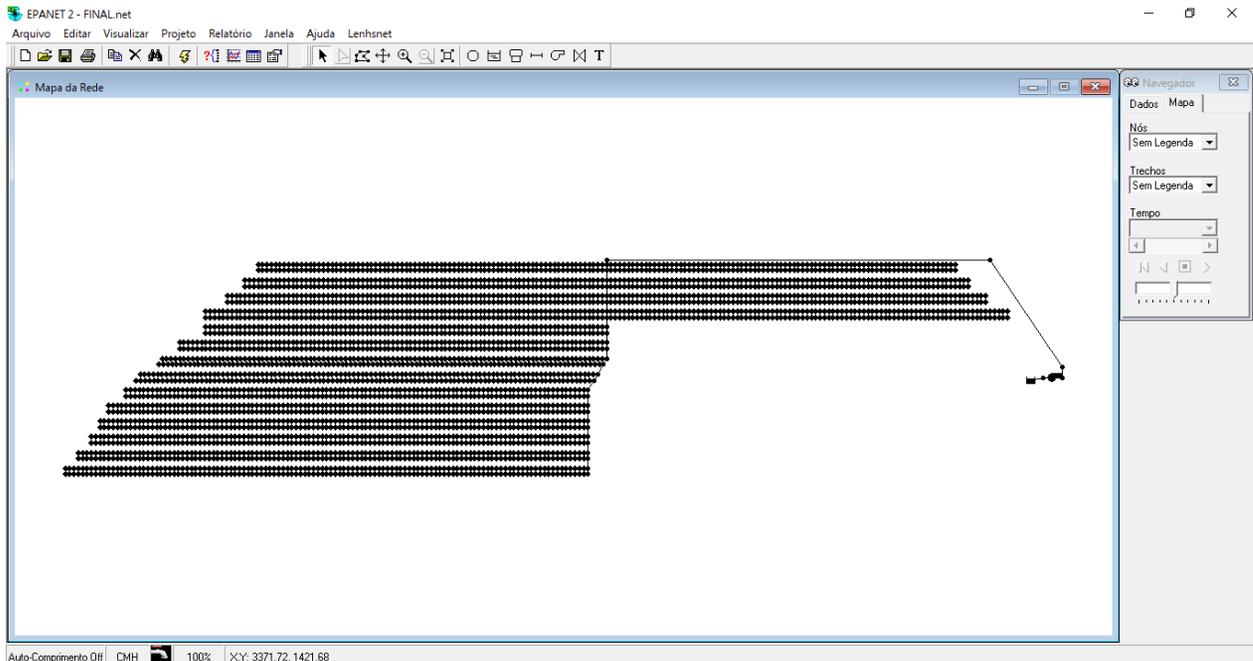
Fonte: Do autor (2019)

Figura 14. Mapa gerado pelo EPANET 2.0 para o setor 2.



Fonte: Do autor (2019)

Figura 15. Mapa gerado pelo EPANET 2.0 para o setor 3.

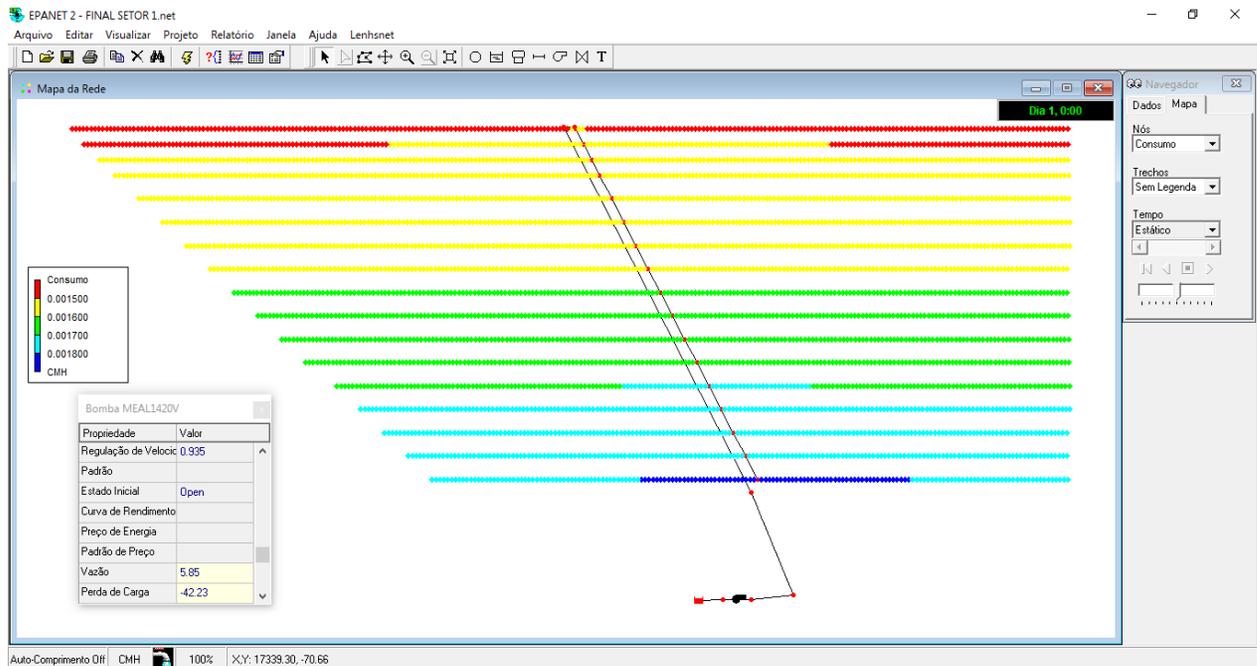


Fonte: Do autor (2019)

Para realizar a simulação hidráulica foi necessário configurar as unidades, como a vazão em $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$, equação para cálculo da perda de carga, sendo a equação de Darcy-Weisbach com coeficiente de rugosidade de 0,01 mm, e o expoente de descarga do emissor como sendo 0,45, fornecido pelo fabricante. Para cada setor foi inserido o valor da relação de velocidade da bomba, referente aos cálculos anteriores. Com as unidades configuradas foi possível realizar a simulação.

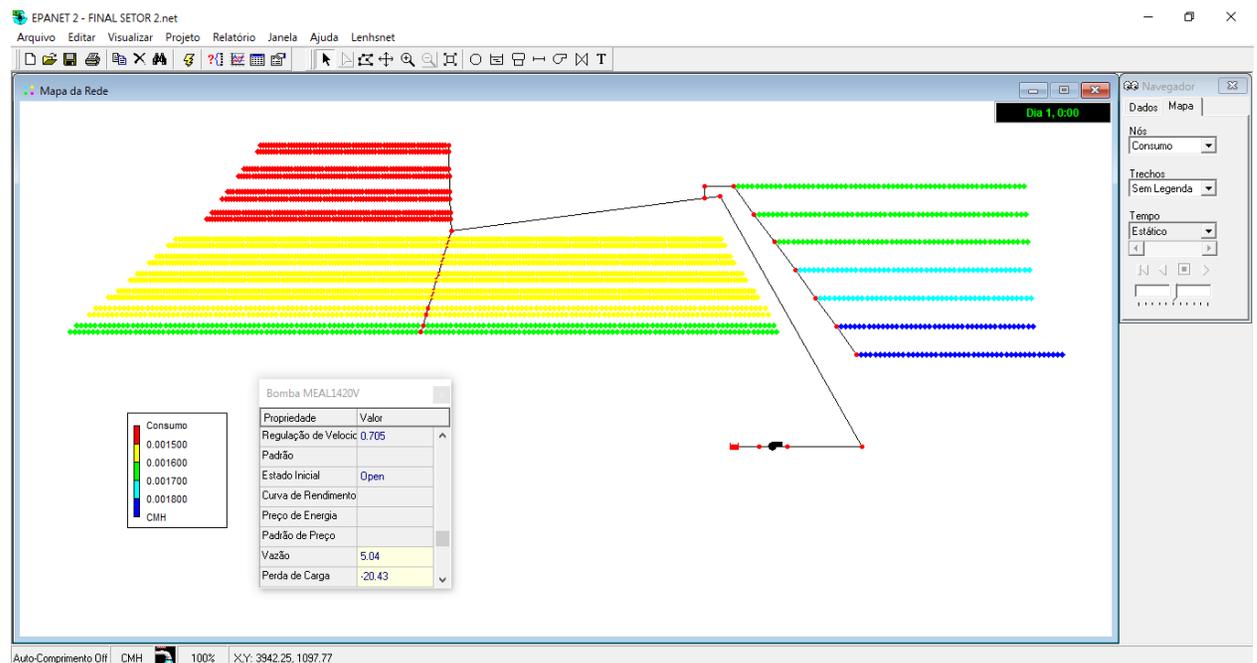
As simulações dos setores 1, 2 e 3 podem ser observadas nas imagens 16, 17 e 18 respectivamente. Os valores de consumo dos nós referem-se a vazão dos gotejadores em $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$. Nas imagens também podem ser observadas as características de operação da bomba, como a vazão em $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$, altura manométrica de operação em metros (representada pelo termo perda de carga) e a relação entre a velocidade ajustada do motor e a velocidade nominal.

Figura 16. Simulação realizada pelo EPANET 2.0 para o setor 1



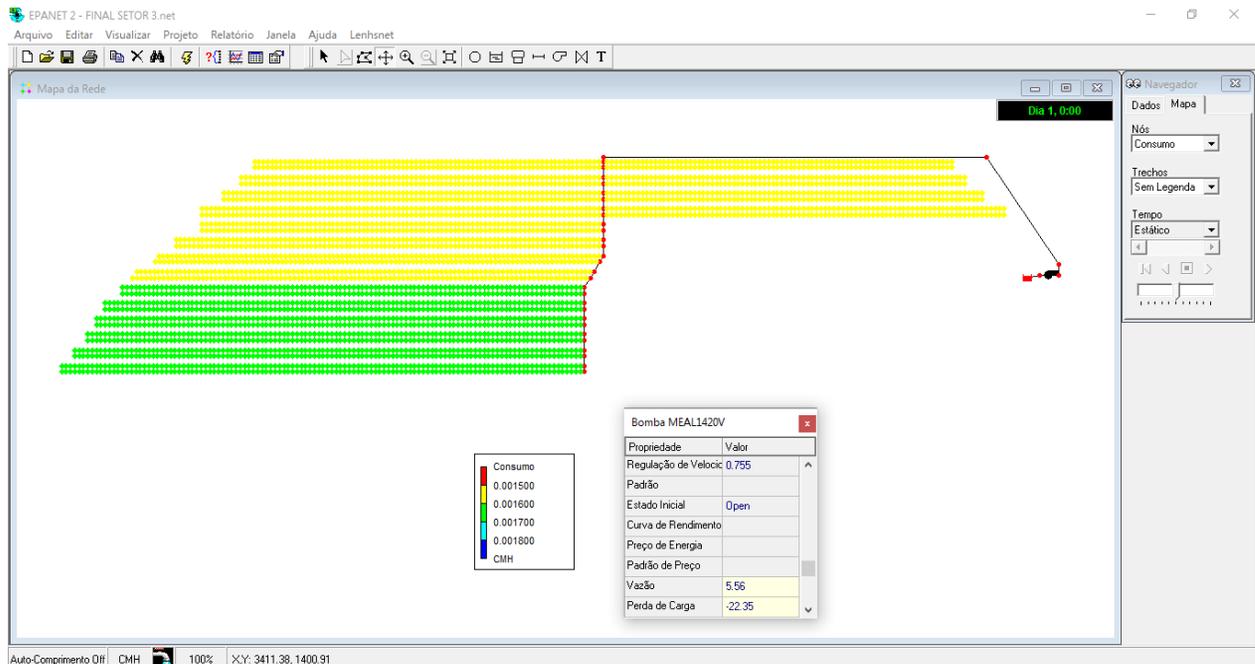
Fonte: Do autor (2019)

Figura 17. Simulação realizada pelo EPANET 2.0 para o setor 2.



Fonte: Do autor (2019)

Figura 18. Simulação realizada pelo EPANET 2.0 para o setor 3.



Fonte: Do autor (2019)

4.6.4. Comparativo entre EPANET 2.0 e EXCEL®

A tabela 10 apresenta os valores de três variáveis do projeto que foram simuladas no EPANET 2.0 e calculadas analiticamente, no EXCEL®. Essas variáveis são: P_i – Carga de pressão hidráulica no início da linha de derivação, em metros; HMT – Altura manométrica total de operação da bomba, em metros; Q – Vazão do setor em $m^3 \cdot h^{-1}$.

Tabela 10. Comparativo dos parâmetros calculados e simulados.

	P_i		HMT		Q	
	EXCEL	EPANET	EXCEL	EPANET	EXCEL	EPANET
SETOR 1	9,00	8,70	41,63	42,23	5,79	5,85
SETOR 2	9,00	8,82	19,98	20,43	5,10	5,04
SETOR 3	9,00	8,92	21,83	22,35	5,57	5,56

Fonte: Do autor (2019).

4.6.5. Coeficiente de uniformidade de aplicação de água

Para avaliação da uniformidade de aplicação de água dos setores, de modo analítico, foi gerado um relatório de consumo com todos os nós que representam os gotejadores no EPANET 2.0. Esse relatório foi analisado em uma planilha no software EXCEL®. Para cálculo, utilizou-se da equação de coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) (Equação 11) e da equação para uniformidade de distribuição (CUD) (Equação 12). A tabela 11 apresenta os valores de CUC e CUD para cada setor do projeto de acordo a simulação realizada pelo EPANET 2.0.

$$CUC=100 \left[1 - \frac{\sum_i^n |Q_i - Q|}{n Q} \right] \text{ (Equação 11)}$$

Onde: CUC – Coeficiente de uniformidade de Christiansen, em %; Q_i – vazão do gotejador i em $m^3.h^{-1}$; n – número de gotejadores; Q – média da vazão de n gotejadores $m^3.h^{-1}$; 100 – fator para conversão de decimal em porcentagem.

$$CUD=100 \left(\frac{Q_{25\%}}{Q} \right) \text{ (Equação 12)}$$

Onde: CUD – Coeficiente de uniformidade de distribuição, em %; $Q_{25\%}$ - Média dos 25% menores valores de vazão dos gotejadores $m^3.h^{-1}$; Q - média da vazão de n gotejadores $m^3.h^{-1}$.

Tabela 11. Coeficientes de uniformidade dos setores pelo EPANET 2.0.

	SETOR 1	SETOR 2	SETOR 3
n	3636	3254	3520
Q (m³.h⁻¹)	0,001609	0,001556	0,001581
\sum_i^n	0,294197	0,226092	0,156097
CUC (%)	94,97	95,52	97,19
CUD (%)	93,55	93,26	95,87

Fonte: Do autor (2019).

Onde: n – Número de gotejadores de cada setor; Q - média da vazão de n gotejadores em $m^3.h^{-1}$; \sum_i^n - Somatório dos desvios.

4.7. Análise Energética

Foi feito a análise energética do projeto, levando em conta as alternativas para ajuste do ponto de operação da bomba com o sistema. Foi realizando um comparativo com base na equação de consumo específico (C_E) (Equação 13) (BAPTISTA, 2019) que analisou o C_E das situações de ajuste dos pontos de operação utilizando o registro de gaveta (Situação 1) bem como o inversor de frequência (Situação 2). A tabela 12 apresenta os resultados de consumo obtidos.

$$C_E = \frac{HMT \cdot 9810}{3600 \cdot \eta} \text{ (Equação 13)}$$

Onde: C_E – Consumo específico em $Wh.m^{-3}$; HMT – Altura manométrica total de operação da bomba, em metros; η - Rendimento da bomba em porcentagem.

Tabela 12. Análise de consumo específico

	SETOR 1	SETOR 2	SETOR 3
HMT_R	51,8	56,4	53,3
η_R	49,8	50,8	50,3
HMT_I	41,63	19,98	21,83
η_I	49,64	50,65	50,17
C_{ER} (kWh.m⁻³)	0,28	0,30	0,29
C_{EI} (kWh.m⁻³)	0,23	0,11	0,12

Fonte: Do autor (2019).

Onde: HMT_R – Altura manométrica total de operação da bomba na situação 1, em metros; η_R – Rendimento da bomba em % na situação 1; HMT_I – Altura manométrica total de operação da bomba na situação 2, em metros; η_I – Rendimento da bomba em % na situação 2; C_{ER} – Consumo específico na situação 1, em kWh.m⁻³; C_{EI} – Consumo específico na situação 2, em kWh.m⁻³;

Por estes resultados apresentados na tabela 12, é possível observar a vantagem em relação ao custo energético, da utilização do inversor de frequência como alternativa para ajuste dos pontos de operações dos sistemas. Realizou-se uma simulação de gasto monetário com energia

elétrica para uma situação onde cada setor operara durante 4 horas por dia, 30 dias no mês, com a tarifa de energia de R\$ 0,53753 por KWh consumido. Essa tarifa foi obtida pelo site da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) acessado no dia 27 de novembro do ano de 2019, considerando a categoria de consumo B2 Rural - Normal, e a bandeira de consumo mais onerosa, PATAMAR 2. Os valores dessa simulação podem ser observados na tabela 13:

Tabela 13. Consumo energético dos setores.

	SETOR 1	SETOR 2	SETOR 3
Volume bombeado por mês	694,8	612	668,4
KWh consumidos situação 1	196,9	185,1	192,9
KWh consumidos situação 2	158,8	65,8	79,3
Custo por mês Situação 1	R\$ 105,85	R\$ 99,51	R\$ 103,69
Custo por mês Situação 2	R\$ 85,35	R\$ 35,36	R\$ 42,60

Fonte: Do autor (2019).

Com a análise energética foi possível determinar o gasto mensal para essa situação simulada. Os valores foram: R\$ 309,05 por mês utilizando registros de gaveta para adequar o ponto de operação e R\$ 163,31 por mês utilizando o inversor de frequência. A economia de R\$ 145,74 por mês, neste caso, justifica a compra do inversor de frequência, caso a empresa não o possuísse, pois, o pagamento do mesmo se faria em pouco mais de seis meses com o valor monetário economizado no gasto de energia elétrica. Este equipamento custa em média no mercado atual, R\$ 900,00.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O dimensionamento do sistema de irrigação foi possível através dos cálculos analíticos apresentados. A simulação hidráulica com o auxílio do EPANET 2.0 se mostrou muito eficiente para a confirmação dos cálculos analíticos, principalmente para visualização do comportamento do sistema hidráulico com a variação da rotação da bomba. Essa simulação permite analisar como está a distribuição de água em todo o projeto, fornecendo os parâmetros necessários para o zoneamento correto para plantio no sistema agroflorestal, alocando culturas com menor demanda hídrica nos canteiros com menor aplicação de água e as culturas com maior demanda hídrica nos canteiros com maior aplicação. Como o projeto possui diversas culturas em diferentes espaçamentos, a indicação de tempo de irrigação para os setores não é recomendada tecnicamente. Este parâmetro deve ser determinado por observações fisiológicas das culturas em campo e facilmente alterado por modificação na programação do controlador eletrônico. O emprego do inversor de frequência se mostrou acessível pela economia energética proporcionada, sendo considerado uma ferramenta excepcional de automação de sistemas de irrigação, promovendo economia energética e maior uniformidade de distribuição de água pela opção de ajuste da rotação da bomba para adequação da necessidade hidráulica de cada setor.

6. REFERÊNCIAS

- ABDO, M. T. V. N., VALERI, S. V., & MARTINS, A. L. M.. Sistemas agroflorestais e agricultura familiar: uma parceria interessante. *Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária*, 2008, 1.2: 50-59.
- ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. *Uso e manejo de irrigação*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007.
- ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. O potencial agroecológico dos sistemas agroflorestais na América Latina. *Agriculturas*, v. 8, n. 2, p. 31-34, 2011.
- ALVARENGA, A. C., FERREIRA, V. H., FORTES, M. Z.. *Energia solar fotovoltaica: uma aplicação na irrigação da agricultura familiar*. *Sinergia*, São Paulo, 15.4: 311-318, 2014.
- ARAÚJO, J. A. B.. *Aplicação de inversor de frequência para economia de energia elétrica, em sistema de irrigação por aspersão*. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas do Campus de Botucatu – UNESP, Botucatu, 2003.
- BAPTISTA, V. B. S.. *Uso do EPANET 2.0 na avaliação hidráulica de sistemas de irrigação por pivô central*. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.
- BAPTISTA, V. B. S., CÓRCOLES, J. I., COLOMBO, A., MORENO, M. Á.. Feasibility of the Use of Variable Speed Drives in Center Pivot Systems Installed in Plots with Variable Topography. *Water*, 2019, 11.10: 2192.
- BARRETO, S. D. B.. *Selo de Identificação da Participação da Agricultura Familiar (SIPAF): reconhecimento social da agricultura familiar brasileira*. Dissertação apresentada à Universidade de Brasília - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Programa de Pós-graduação em Agronegócios, 2018.
- BEZERRA, A. M. E., MOMENTÉ, V. G., & MEDEIROS FILHO, S.. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) em função do peso de sementes e do tipo de substrato. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 22, n. 2, p. 295-299, 2004.
- BRASIL. Lei nº 11.326, 24 de Julho de 2006. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111326.htm> Acesso em: 20/11/2019.
- BRITO, A. Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário (SEAD), 2016. <<http://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/454156/>> In: FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Acesso em: 21/11/2019.

CAMPANA, S., OLIVEIRA FILHO, D., & SOARES, A. A. Inversores de frequência: uma alternativa para racionalização do uso da energia elétrica em sistemas de irrigação pivô central. In: Proceedings of the 3. Encontro de Energia no Meio Rural, 2003.

CAMPÊLO, A. R.; FERNANDES, C. N. V.; SILVA, A. R. A.; OLIVEIRA, S. R. M.; BEZERRA, F. M. L.; CÂNDIDO, M. J. D. Avaliação de sistemas de irrigação por aspersão em malha em áreas cultivadas com capim-braquiária. Revista Agropecuária Técnica, v. 35, n. 1, p. 1-12, 2014.

CASTRO, N. Apostila de irrigação. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

CUNHA, K. C. B. da; ROCHA, R. V. Automação no processo de irrigação na agricultura familiar com plataforma Arduino. RECoDAF – Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar, Tupã, v. 1, n. 2, p. 62-74, jul./dec. 2015. ISSN: 2448-0452

DELGADO, G. C.. BERGAMASCO, S. M. P. P. et al.. Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário (SEAD), 2017. <<http://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/522540/>> In: FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Acesso em: 21/11/2019.

FRANÇA, C. G.; DELGROSSI, M. E.; MARQUES, V. P. M. A. O censo agropecuário 2006 e a agricultura familiar no Brasil. Brasília: MDA, 2009. Disponível em: <<https://www.bb.com.br/docs/pub/siteEsp/agro/dwn/CensoAgropecuario.pdf>>. Acesso em: 21/11/2019.

FRANCHI, C. M. Inversores de frequência: teoria e aplicações. Saraiva Educação SA, 2009.

INMET: Instituto nacional de meteorologia; Normais climatológicas do Brasil 1981-2010, 2018. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 20/11/2019.

LIMA JUNIOR, J. A.; SILVA, A. L. P. Diâmetro efetivo e coeficiente de uniformidade de areia utilizada em filtros empregados no sistema de irrigação. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 6, n. 11, p.1-8, 2010.

MICCOLIS, A., PENEIREIRO, F. M., MARQUES, H. R., VIEIRA, D. L. M., ARCO-VERDE, M. F., HOFFMANN, M. R., REHDER, T., PEREIRA, A. V. B.. Restauração ecológica com sistemas agroflorestais: como conciliar conservação com produção. Brasília, DF: Instituto Sociedade, População e Natureza, 2016.

NASCIMENTO, J. S. Estudos multidisciplinares em arranjos agroflorestais biodiversos na região Sudoeste de Mato Grosso do Sul. Dissertação (Mestrado em Agronegócios). Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS. 127 p., 2016.

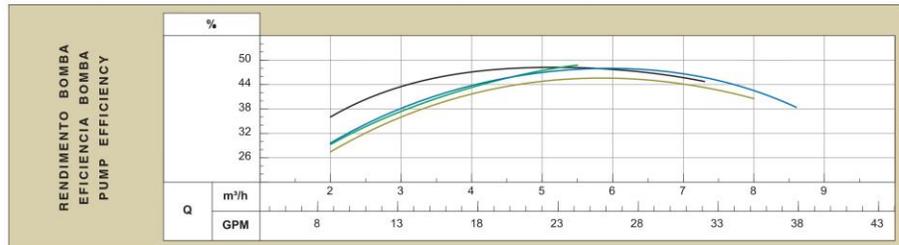
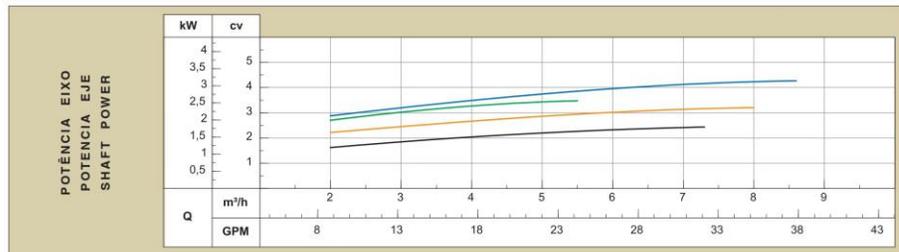
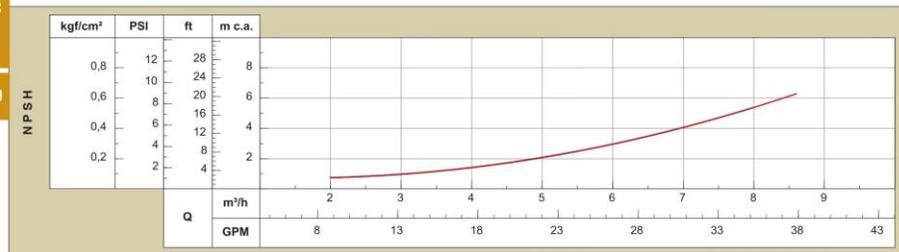
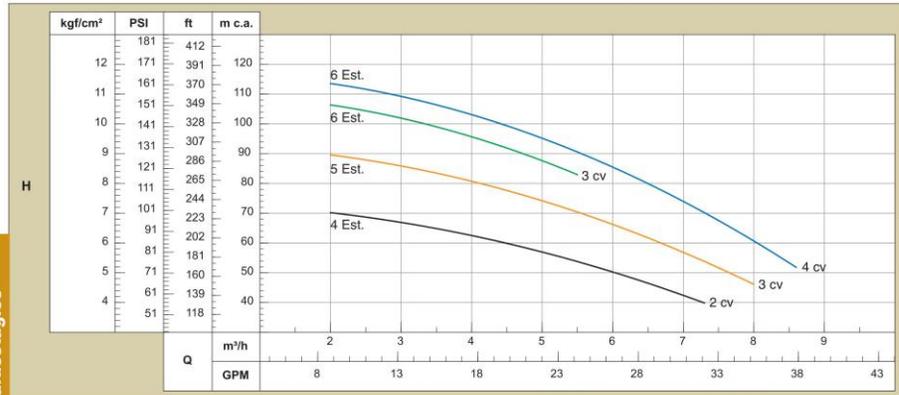
- OLIVEIRA, V. Agronegócio interior: irrigação por gotejamento. Fev/2016. <<http://agronegociointerior.com.br/irrigacao-por-gotejamento/>> Acesso em: 19/11/2019.
- PADOVAN, M. P., PEREIRA, Z. V., & FERNANDES, S. S. L. Espécies arbóreas nativas pioneiras em sistemas agroflorestais biodiversos. *Revista GeoPantanal*, 13.24: 53-68., 2018.
- PADOVAN, M. P., PEREIRA, Z. V., FERNANDES, S. S. L., NASCIMENTO, J. S., & AGOSTINHO, P. R. Performance de espécies arbóreas nativas pioneiras em sistemas agroflorestais sob bases agroecológicas. In: Embrapa Agropecuária Oeste-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO RURAL SUSTENTÁVEL; JORNADA QUESTÃO AGRÁRIA E DESENVOLVIMENTO, 4., 2017, Marechal Cândido Rondon, PR. Interdisciplinaridade e desenvolvimento rural sustentável:[anais]. Marechal Cândido Rondon, PR: UNIOESTE, 2017, 2017.
- PAULINO, M. A. O.; FIGUEIREDO, F. P.; FERNANDES, R. C.; MAIA, J. T. L. S.; GUILHERME, D. O.; BARBOSA, F. S. Avaliação da uniformidade e eficiência de aplicação de água em sistemas de irrigação por aspersão convencional. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* v.3, n.2, p.48-54, 2009.
- PAULUS, L. A. R. Análise da viabilidade financeira de sistemas agroflorestais biodiversos no Vale do Ivinhema, em Mato Grosso do Sul. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2016.
- PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS (equivalência em metros de tubulação) - Universidade federal de goiás. Escola de engenharia civil. <<http://eec-ufg.tripod.com/IHSP/Perdas.pdf>> 2019.
- ROSSMAN, L. EPANET 2 users manual. Technical Report EPA/600/R-00/057, U.S. Environmental Protection Agency, National Risk Management Research Laboratory Cincinnati, OH 45268, 2000. Disponível em <http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P1007WWU.pdf>
- SOUZA, A. G., OLIVEIRA, A. M., MEDEIROS, A. M. M., NERY, J. W. L., MIGUEL, M. L. S., JÚNIOR, W. J. M.. Estimação da economia de energia elétrica em sistemas de irrigação a pivô central usando um software livre. Anais do V Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Foz do Iguaçu – PR, Brasil, 2014. ISSN 2177-6164.
- UFPR- PET ENGENHARIA CIVIL. Simulações de Comportamentos Hidráulicos, Temporada de Cursos, 2010.de Comportamentos Hidráulicos, Temporada de Cursos, 2010.
- WEG, W. M. Inversor de Frequência. Manual do usuário CFW-08, 2012. Disponível em: <<https://www.weg.net/institucional/US/en/search/downloadcenter?q=1-2141.pdf>> Acesso em: 19/10/2019.

ANEXOS

Anexo 1 - Curvas MEAL 1420V (2 CV, 4 estágios)

	MODELO	ME-1 V	76960	sch NAC 60 Hz II polos/poles		
	MODEL					
Sucção / Succión / Suction	1"	Potência / Potencia / Power [kW(cv)]	1,5 (2)	2,2 (3)	2,2 (3)	3 (4)
Recalque / Descarga / Discharge	1"	Rotor / Impulsor / Impeller [mm]	91(1) / 107(3)	91(1) / 107(4)	91(1) / 107(5)	107
		Estágios / Etapas / Stages	4	5	6	6

Multiestágios



Obs: -Curvas características conforme ISO 9906 anexo "A".
 -Desempenho hidráulico de acuerdo a la ISO 9906 anexo "A".
 -Hydraulic performance according to ISO 9906 annex-A.

Anexo 2 - Mangueira gotejadora Netafim StreamLine X

DRIPPERS TECHNICAL DATA

0.20, 0.25 mm wall thickness dripperlines

FLOW RATE* (L/H)	MAX. WORKING PRESSURE** (BAR)	WATER PASSAGES DIMENSIONS WIDTH-DEPTH-LENGTH (MM)	FILTRATION AREA (MM ²)	CONSTANT K	EXPONENT X	RECOMMENDED FILTRATION (MICRON)/(MESH)
0.72	1.0/1.2/1.9	0.59 x 0.33 x 25	12	0.238	0.48	130/120
1.05		0.51 x 0.44 x 13	14	0.373	0.45	130/120
1.60		0.65 x 0.55 x 13	15	0.568	0.45	130/120
2.20		0.72 x 0.65 x 13	15	0.780	0.45	130/120
2.80		0.84 x 0.73 x 13	15	0.993	0.45	200/80

* Flow rate at 1.0 bar **According to dripperlines inside diameter

FLOW RATE (L/H) VS. PRESSURE (BAR)

0.20, 0.25 mm wall thickness dripperlines

FLOW RATE* (L/H)	PRESSURE (BAR)										
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3	1.5	1.7
0.72	0.40	0.46	0.52	0.56	0.61	0.65	0.72	0.75	0.82	0.87	0.93
1.05	0.61	0.70	0.77	0.84	0.90	0.95	1.05	1.10	1.18	1.26	1.33
1.60	0.93	1.06	1.17	1.27	1.36	1.45	1.60	1.67	1.80	1.92	2.03
2.20	1.28	1.46	1.61	1.75	1.87	1.99	2.20	2.29	2.47	2.64	2.79
2.80	1.85	2.05	2.22	2.38	2.53	2.67	2.80	2.92	3.15	3.36	3.55

*Nominal flow rate at 1.0 bar pressure