

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI
Engenharia Agrícola e Ambiental

Múcio Abraão Sousa de Assis

**DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DE ADUTORA DE
PIVÔ CENTRAL SOB JORNADA DE OPERAÇÃO NOTURNA**

Unai
2023

MÚCIO ABRAÃO SOUSA DE ASSIS

**DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DE ADUTORA DE PIVÔ CENTRAL SOB
JORNADA DE OPERAÇÃO NOTURNA**

Trabalho apresentado como parte integrante da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

Orientador: Prof. Dr. Hermes Soares da Rocha

**Unai
2023**

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu,
mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre
aquilo que todo mundo vê” Arthur Schopenhauer*

AGRADECIMENTOS

Gostaria, primeiramente, de agradecer a Deus, que com Sua bondade e misericórdia, me ajudou a chegar até aqui. Agradeço também à minha mãe, por todo o apoio, paciência, compreensão, amor e carinho ao longo desses anos. À minha namorada, Gabriella, que, com todo amor, carinho e compreensão, me mostrou o caminho e trouxe tranquilidade nos dias mais difíceis. Você é a luz do meu dia, e sem o seu apoio, eu não teria conseguido. À minha irmã, Muriel, que sempre me encorajou com suas palavras e ensinamentos. Você me inspira a ser uma pessoa melhor. Obrigado por tudo. À Ana Júlia, a caçula, que amo tanto e sempre me alegra com suas histórias da escola. Agradeço por todo o apoio. À Maria Eduarda e à Camila, por acreditarem em mim e me apoiarem.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão à minha tia Judith, tia Idalina, meu tio José e minhas primas Mila, Thais, Taina e Tauany. Agradeço sinceramente por todo o apoio que me ofereceram e pelas palavras de encorajamento que sempre me impulsionaram. Sou verdadeiramente grato pela presença de cada um de vocês em minha vida. Obrigado do fundo do meu coração.

Também gostaria de agradecer a todos aqueles que não mencionei aqui, mas que sabem que mantenho um imenso apreço por eles.

E, principalmente, quero agradecer ao meu orientador, Prof. Dr. Hermes. Seu auxílio, entendimento do assunto e orientação foram a base central para que eu pudesse concluir este trabalho. Meu mais profundo e sincero obrigado.

RESUMO

A irrigação tem se tornado de suma importância para produção de alimentos e, conseqüentemente para a economia brasileira. A área irrigada produz em torno de 2,7 vezes mais quando comparado aos cultivos de sequeiro e permite produzir mais alimentos sem a necessidade de abertura de novas áreas. Considerando que boa parte da nossa matriz energética provém da geração hidrelétrica e que o consumo de energia entre 23 horas e 5 da manhã é menor devido os hábitos da população, ANEEL instituiu desconto para os irrigantes que fizerem uso da irrigação neste horário. Com isso, o dimensionamento dos sistemas de irrigação que possam explorar tal horário pode permitir ao produtor uma redução significativa nos custos de produção. Assim, é objetivo deste trabalho definir a lâmina de irrigação para que se alcance o máximo potencial irrigável dentro do horário noturno, visando ampliar a eficiência de uso dos recursos, especialmente água e energia. O estudo foi realizado sobre diferentes altitudes e para o sistema de irrigação por pivô central na região de Unaí – MG e Formosa – GO, com pivôs de 92 ha (Pivô 1) e 120 ha (Pivô 2), respectivamente. Uma vez encontrada a lâmina, definiu-se o melhor diâmetro da adutora, otimizado para o menor custo operacional anual, sendo este último composto em sua maioria pelo consumo de energia. Obteve-se os diâmetros de 300 mm e 350 mm para as adutoras do Pivô 1 e Pivô 2. A irrigação por pivô central se mostrou financeiramente atrativa nas duas condições avaliadas.

Palavras-chave: Energia, recursos hídricos, lâmina de irrigação, otimização, tarifação da energia elétrica

ABSTRACT

Irrigation has become of paramount importance for food production and, consequently, for the Brazilian economy. The irrigated area produces around 2.7 times more when compared to rainfed crops and allows for the production of more food without the need to open new areas. Considering that a large part of our energy matrix comes from hydroelectric generation and that energy consumption between 11 pm and 5 am is lower due to the habits of the population, ANEEL instituted a discount for irrigators who use irrigation at this time. Thus, the dimensioning of irrigation systems that can exploit such a schedule can allow the producer a significant reduction in production costs. Thus, the objective of this work is to define the irrigation depth in order to reach the maximum irrigable potential within the night time, aiming to increase the efficiency of resource use, especially water and energy. The study was carried out at different altitudes and for the center pivot irrigation system in the region of Unaí – MG and Formosa – GO, with pivots of 92 ha (Pivô 1) and 120 ha (Pivot 2), respectively. Once the blade was found, the best pipeline diameter was defined, optimized for the lowest annual operating cost, the latter being mostly composed of energy consumption. The diameters of 300 mm and 350 mm were obtained for the pipelines of Pivô 1 and Pivô 2, with a payback period of 02 and 03 years, respectively. Center pivot irrigation proved to be financially attractive in both evaluated conditions.

Keywords: Energy, water resources, irrigation depth, optimization, electricity billing

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Princípio de funcionamento das Bombas Cinéticas (a), com o fluxo da água em bombas radiais (b).	16
Figura 2 – Sistema de captação direta simples (a) e captação com associação de bombas em série (b).	17
Figura 3 – Sistema de captação em paralelo (a) e sem série/paralelo (b).	17
Figura 4 – Configuração típica de montagem sistema de sucção simples.	18
Figura 5 – Configuração típica de montagem sistema de recalque simples.	19
Figura 6 – Matriz energética brasileira.	20
Figura 7 – Área de estudo 1 (Pivô 1 – Área de 92 ha – Fazenda Floresta)	31
Figura 8 – Área de estudo 2 (Pivô 2 – Área de 120 ha – Fazenda Agrosalgueiro)	32
Figura 9 – Variação dos custos operacionais (CO), de investimento (CI) e total (CT) de um sistema de bombeamento em função da tubulação (CARVALHO & OLIVEIRA, 2020)	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descontos percentuais tarifários para irrigação em horário especial	22
Tabela 2 – Frações de uso do horário noturno e respectivos tempos de funcionamento do pivô central	29
Tabela 3 - Vazão, diâmetro e velocidade praticada, dimensionados para as fazendas Floresta e Agrosalgueiro	40
Tabela 4 – Área, lâmina, vazão, comprimento, diâmetro, velocidade da água, perda de carga e potência calculada para a adutora do Pivô 1 – Fazenda Floresta	41
Tabela 5 – Cotações para tubos de PVC de diferentes diâmetros (Mês de referência: Julho: 2023).....	42
Tabela 6 – Custo fixo anual (CFA) para diferentes diâmetros da adutora do Pivô 1 – Fazenda Floresta	42
Tabela 7 – Custo operacional anual (COA) para diferentes diâmetros da adutora do Pivô 1 – Fazenda Floresta	42
Tabela 8 – Custos (fixo, operacional e total) anuais da adutora do Pivô 1 – Fazenda Floresta	43
Tabela 9 – Área, lâmina, vazão, comprimento, diâmetro, velocidade da água, perda de carga e potência calculada para a adutora do Pivô 2 – Fazenda Agrosalgueiro	44
Tabela 10 – Custo fixo anual (CFA) para diferentes diâmetros da adutora do Pivô 2 – Fazenda Agrosalgueiro	44
Tabela 11 – Custo operacional anual (COA) para diferentes diâmetros da adutora do Pivô 2 – Fazenda Agrosalgueiro	44
Tabela 12 – Custos (fixo, operacional e total) anuais da adutora do Pivô 2 – Fazenda Agrosalgueiro	44

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 Pivô central	14
3.2 Sistema de recalque	16
3.2.1 <i>Bombeamento</i>	16
3.2.2 <i>Tubulação de sucção</i>	18
3.2.3 <i>Recalque e Adutora</i>	18
3.3 Estrutura tarifária	20
3.3.1.1 <i>Sistema de bandeiras tarifárias</i>	22
3.4 Evapotranspiração	23
4. METODOLOGIA	24
4.1 Descrição do estudo	24
4.2 Critérios de dimensionamento e coleta dos dados	24
4.2.1 <i>Estudo da ETo</i>	24
4.2.2 <i>Evapotranspiração da cultura (ETc)</i>	25
4.2.3 <i>Irrigação total necessária</i>	26
4.2.4 <i>Definição da lâmina de irrigação em horário noturno</i>	26
4.2.5 <i>Procedimento para o cálculo da tarifa</i>	27
4.2.5.1 <i>Grupo B</i>	27
4.2.5.2 <i>Grupo A horo-sazonal verde</i>	27
4.2.5.3 <i>Cálculo da tarifa horária noturna</i>	28
4.3 Classificação climática das áreas de estudo	30
4.4 Área de estudo	30
4.4.1 <i>Fazenda Floresta</i>	30
4.4.2 <i>Fazenda Agrosalgueiro</i>	31
4.5 Dimensionamento econômico	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1 Demanda hídrica das culturas comerciais da região	39
5.2 Lâmina irrigação Fazenda Floresta e Fazenda Agrosalgueiro	40
5.3 Definição do diâmetro econômico – Fazenda Floresta	40
5.4 Definição do diâmetro econômico – Fazenda Agrosalgueiro	43
6. CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS	48

1. INTRODUÇÃO

A agricultura é uma das maiores invenções da humanidade, se não a maior, pois foi através dela que o homem deixou de ser nômade, e a partir desse avanço a humanidade pode se especializar em técnicas que permitiram o desenvolvimento de toda uma sociedade, uma vez que o homem não precisou viajar entre regiões para buscar pelo alimento, pode então dedicar agora o tempo livre a buscar por outras ciências como medicina, economia, matemática, direito, entre outras.

Considerando os dias atuais, a agricultura passou por novas revoluções com a descoberta de métodos corretivos do solo (adubos e calcário), possibilitando o cultivo em solos antes considerados impróprios para a agricultura e otimizando a produtividade em solos que já são aptos para a função (LOPES et al., 2007). Com o crescente aumento da população mundial, a demanda por alimento cresce proporcionalmente. De acordo com a ONU (2015), a população mundial em 2050 será superior a 9,5 bilhões de pessoas. Portanto, a demanda por alimentos tem-se tornado cada vez maior e, com isso, a busca por mais áreas para a produção de alimentos tem entrado em conflito com as questões ambientais de produção sustentável (BORGHETTI et al., 2017). Somente com a sustentabilidade garantir-se-á às futuras gerações o direito de acessos aos recursos naturais que dispomos atualmente. Logo, a necessidade de se produzir mais com menos área somente será possível através da irrigação. Contudo, é necessário o seu uso de maneira racional, sem exaurir os recursos naturais (BORGHETTI et al., 2017).

A irrigação é uma técnica que consiste em pulverizar a água sobre a planta simulando a chuva, visando suprir a demanda hídrica da cultura nos períodos de estiagem (veranicos), garantir a produção na entressafra, e em algumas regiões a produção de uma terceira safra (Medeiro 2010). Segundo Medeiros (2010), apesar da irrigação ter um papel de suma importância para a produção de alimentos, a maneira como a água vem sendo utilizada terá seu uso controlado, pois em algumas regiões a indústria e as cidades concorrem pelo uso da água. Ainda de acordo com o autor, é necessária uma estruturação a nível de bacia hidrográfica do uso da água, tornando o seu uso racional, reduzindo os possíveis riscos de racionamento. Da maneira como os projetos de irrigação são desenvolvidos, seus estudos relacionados ao uso e manejo de irrigação, carecem não só de conhecimento científico, mas também de experiência prática e técnica, fomentando a área técnica com o conhecimento científico, garantido assim, que a sociedade de hoje e a de amanhã possam usufruir do conhecimento adquirido.

A alta demanda de alimentos ocasionada pelo aumento populacional trouxe ao Brasil um importante destaque no cenário mundial sobre a produção de alimentos, e justamente com essa elevação da demanda, resultou a necessidade de se produzir mais com menos recursos. Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2020), com pouco mais de 6 milhões de hectares plantados comparado com os mais de 51,4 milhões hectares cultivados, a agricultura irrigada foi responsável por mais de 20% de toda a produção nacional. Segundo BORGHETTI et al. (2017), a nível global, as áreas irrigadas correspondem a menos de 20% da área total cultivada do planeta, entretanto produzem mais de 40% dos alimentos, fibra e culturas bioenergéticas. Ainda segundo o autor, o Brasil possui 12% da água doce superficial disponível no planeta, portando tem papel de grande importância no contexto mundial de produção de alimentos, não podendo se eximir do compromisso de produzir com responsabilidade.

Segundo BORGHETTI et al., (2017), a agricultura irrigada é responsável por produzir pelos menos 2,7 vezes mais quando comparado ao sequeiro, uma vez que estes ficam à mercê do regime de chuvas cada vez mais irregulares e inconstantes. De acordo com a CONAB (2014), o país possui mais de 55 milhões de hectares de agricultura de sequeiro, além de mais de 160 milhões de hectares de pastagem. BORGHETTI et al. (2017) afirmam que a prática da irrigação se torna ainda mais sustentável quando boa parte dessas áreas já abertas podem ser se tornar áreas irrigadas, uma vez que haja disponibilidade hídrica, assim aumentando a produção de alimentos sem a necessidade de abertura de novas áreas. Neste contexto, podemos concluir que o uso da irrigação tem como objetivo aumentar a produção de alimentos dispondo-se de uma mesma área. Entretanto, o uso por si só da irrigação não é um fator decisivo para o aumento da produtividade. Para alcançar tal feito, são necessários avanços tecnológicos contínuos, a exemplo das técnicas de correção e adubação do solo, do manejo de pragas e doenças e a própria irrigação.

Atualmente, o Brasil possui 8,2 milhões de hectares irrigados, possuindo ainda um potencial de expansão de 75% dessa área até 2040 (Atlas irrigação – Brasil, 2021). Isso representa uma média aproximada de 366 mil hectares ano⁻¹. É necessário considerar que esse crescimento precisa ocorrer de maneira responsável, levando em consideração tanto a necessidade hídrica quanto energética, bem como sua disponibilidade. Com o objetivo de dimensionar adequadamente um equipamento de irrigação, torna-se imprescindível a consideração de diversos fatores, incluindo o clima característico da região em questão, as principais culturas comerciais cultivadas e o comportamento hídrico específico dessas culturas,

levando em consideração suas respectivas janelas de plantio. Além disso, é fundamental estabelecer uma lâmina de irrigação que proporcione uma eficiência ótima, permitindo ao produtor otimizar a utilização do equipamento durante o período noturno, resultando assim na redução dos custos operacionais associados.

Essa abordagem abrangente e criteriosa, que leva em conta múltiplos aspectos, visa garantir que o dimensionamento do equipamento de irrigação seja realizado de forma precisa e adequada às necessidades específicas da região e das culturas em questão. Ao considerar o clima local, é possível compreender as demandas hídricas das culturas ao longo do ciclo de crescimento, assim como as condições de disponibilidade de água do ambiente. Por sua vez, o conhecimento detalhado sobre as culturas comerciais permite uma análise mais precisa de seus requerimentos hídricos e das melhores estratégias de irrigação a serem adotadas.

Ao determinar uma lâmina de irrigação que permita um aproveitamento eficiente do equipamento durante o período noturno, é possível otimizar o uso de recursos, minimizar desperdícios e reduzir os custos operacionais envolvidos no processo de irrigação. Essa consideração estratégica é particularmente relevante em um cenário em que a gestão eficiente dos recursos hídricos e a busca pela sustentabilidade são cada vez mais prementes.

Portanto, esse trabalho tem como objetivo principal oferecer uma contribuição significativa no desenvolvimento de um dimensionamento adequado da tubulação dos equipamentos de irrigação, considerando um conjunto abrangente de fatores, visando à otimização dos recursos hídricos disponíveis e à redução dos custos operacionais associados à irrigação.

Considerando a hipótese de que é possível otimizar a eficiência da irrigação por pivô central durante o horário noturno, por meio da definição adequada da lâmina de irrigação com base nas características das culturas e nas condições climáticas regionais, este trabalho foi desenvolvido nas regiões de Unaí – MG e Formosa – GO, uma vez que essas regiões possuem uma das maiores áreas irrigadas do Brasil e ainda estão em expansão de área irrigada (ANA, 2022), e considerando que as altitudes para essas regiões são distintas, sendo uma região situada acima de 900 metros conhecida como região de Chapada, quanto uma região de altitude inferior a 650 metros, conhecida como região do Vão.

O enfoque principal foi investigar a viabilidade de se aplicar uma lâmina de irrigação que maximize a eficiência do sistema de irrigação por pivô central, especialmente durante o período noturno. Para isso, foram analisadas as particularidades das culturas a serem irrigadas e as características climáticas específicas de cada região. A intenção é proporcionar uma

contribuição significativa para o aprimoramento da gestão da irrigação nessas localidades, considerando a importância de utilizar os recursos hídricos de forma eficiente e sustentável.

Dessa forma, a pesquisa busca oferecer informações relevantes e embasadas cientificamente, a fim de auxiliar produtores rurais e profissionais do setor na tomada de decisões mais assertivas, promovendo o uso consciente da água e contribuindo para a sustentabilidade da agricultura na região estudada.

2. OBJETIVOS

- Avaliar o diâmetro econômico para a adutora de pivô central sob jornada noturna de operação.
- Avaliar a lâmina de irrigação que potencializa a exploração da operação do sistema de irrigação por pivô central em horário noturno.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Pivô central

O pivô central surgiu em 1948, desenvolvido por Frank L. Zybach, com patente liberada em 1952, a qual foi vendida à empresa americana Valley, por volta de 1954. O equipamento teve uma excelente aceitação no mercado; e isso aconteceu por possuir boa adaptabilidade a terrenos suavemente ondulados (declividade de até 30%) (Carvalho 2010), pouca necessidade de mão de obra capacitada para o manuseio, manutenção simples composta em sua grande parte por mecânica, além da possibilidade de se irrigar grandes áreas com apenas um equipamento (Medeiros, 2005). Além desses, outros fatores, como o menor custo por hectare em relação a outros sistemas de equipamentos, economia de 15% a 30% de água quando comparado ao método de irrigação por inundação, eficiência de irrigação entre 80% e 90% (FRIZZONE et al., 2017), também foram relevantes para a consolidação do sistema. Complementarmente, Saleme (2010) corrobora que a uniformidade da distribuição em sistema de aspersão varia entre 75% a 90%, consolidando como o sistema mais utilizado para irrigação de grãos no Brasil.

A estrutura do pivô é composta por uma torre central fixa interligada por tubos de aço galvanizado a outras torres móveis (a distância entre torres é chamada de vão). Ao longo do vão ficam várias saídas para os aspersores (constituídos de 2 a 3 saídas por tubo), com a estrutura é sustentada por aço em formato A, onde estão localizadas as rodas, irrigando uma área circular. A parte final suspensa localizada após a última torre é denominada lance em balanço, portanto tanto o comprimento das torres, quanto o lance em balanço varia de acordo com a área do projeto. Em algumas situações podem ser utilizados no final do lance em balanço um canhão para aumentar a área irrigada. De acordo com a vazão de projeto e a pressão requerida para pleno funcionamento do canhão pode ser necessário utilizar uma bomba booster para elevar a pressão e obter uma eficiência de operação (COLOMBO, 2013). O vão, que pode ser composto por 9, 8, 7 e 6 tubos, a depender da declividade do terreno em que o equipamento será instalado onde inclinações menores permitem comprimento de lance maior. Portanto, vãos compostos por 6 tubos de 6,86 metros tem aproximadamente 41,21 metros, podendo variar de acordo com o fabricante e que geralmente, os sistemas de irrigação por pivô central são instalados em terrenos com declividade entre 15% e 20% (FRIZZONE et al., 2018). No entanto, alguns equipamentos apresentaram problemas de operação em declividades acima de 15%. Portanto, recomenda-se que sistemas de grande porte operem com declividades menores.

Segundo Lima A. (2010), uma alternativa para o dimensionamento da parte aérea é considerar a declividade e o comprimento máximo aceitável. Para declividades entre 10% e 15%, recomenda-se utilizar vãos de 7 tubos com 48 metros de comprimento. Para declividades entre 5% e 10%, a sugestão é utilizar vãos de 8 tubos com 54,86 metros de comprimento. Em terrenos com declividade menor ou igual a 5%, é possível instalar vãos de 9 tubos com 61,72 metros de comprimento. No entanto, Frizzone et al. (2018) ressalta que a determinação do comprimento máximo do vão depende do diâmetro da tubulação, do comprimento da linha lateral e da declividade do terreno, sendo importante obter essas informações junto aos fabricantes correspondentes.

De acordo com Lima (2010), outro elemento que exerce influência na configuração dos segmentos é o diâmetro dos tubos. No comércio são encontrados tubos de 10", 8 5/8", 8" e 6 5/8", além do vão em balanço que usualmente é composto por tubos de 5/16". Os vãos compostos por tubos de 10 polegadas requerem segmentos de menor extensão devido ao peso da estrutura, bem como às preocupações com sulcos decorrentes do deslocamento das rodas. Portanto, para tubos de 10 polegadas, recomenda-se o uso de segmentos compostos por 6 tubos, mesmo em inclinações inferiores a 5%. Os demais diâmetros seguem as inclinações já mencionadas. A altura do equipamento varia de acordo com a cultura que será cultivada, sendo uma média geral de 3 metros de vão-livre quando se trata de equipamentos destinados à irrigação de culturas de grãos. Em caso de culturas frutíferas, que possuem maior estatura em comparação com culturas anuais, a altura do equipamento pode atingir até 5 metros de vão-livre. Cada tipo de pneu deve ser escolhido de acordo com o tipo de solo, formato de terreno e cultura a ser irrigada; e podem variar entre 24" e 28" de altura, com 12,4"; 14,9" e 16,9" de largura usualmente.

O dimensionamento do diâmetro da tubulação que compõem linha lateral varia de acordo com o tamanho do equipamento, podendo ter o mesmo e único diâmetro, ou diâmetros diferentes associados em série, sendo esse último utilizado em equipamentos que possuem maior porte, reduzindo a perda de carga no sistema de irrigação (CARVALHO et. al., 2008). Portanto, no processo do desenvolvimento da linha lateral cabe ao projetista buscar instrumentos matemáticos que auxiliem na otimização da composição do pivô central, galgando a eficiência energética reduzindo custo de produção sem o desperdício de água e energia no sistema de bombeamento, sendo que essa é a ambição de toda uma sociedade que presa pelo uso racional dos recursos hídricos e a possibilidade da expansão da agricultura moderna de maneira sustentável (MEDEIROS, 2010).

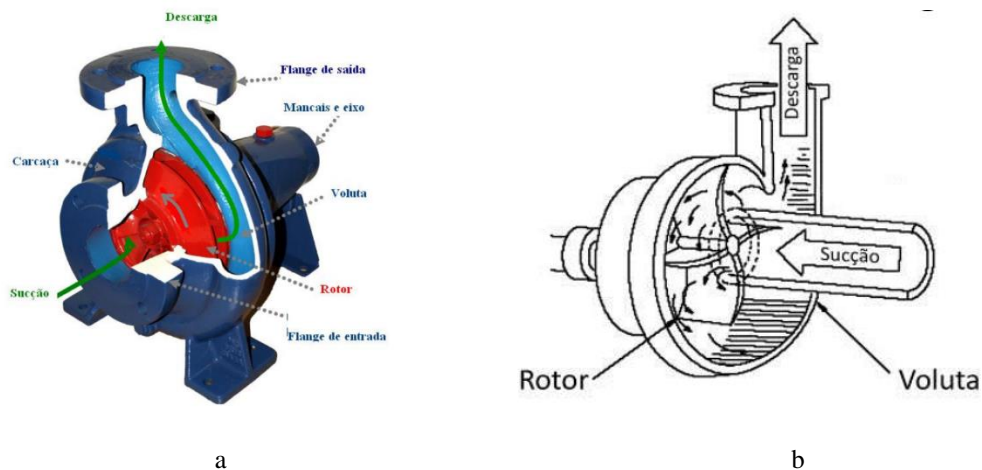
3.2 Sistema de recalque

3.2.1 Bombeamento

Os sistemas de bombeamento são dimensionados com objetivo de atender a vazão solicitada pela cultura e fornecer a energia (pressão) necessária à pressurização do sistema de irrigação.

As bombas cinéticas são compostas por uma parte externa denominada carcaça que agrupa todo o sistema, na parte interna da carcaça está presente o rotor que é dotado de pás (Figura 1a). Este, por sua vez, possui um eixo, que acoplado ao eixo do motor elétrico, é responsável pela rotação da bomba, e quando iniciado o giro do rotor o fluido entra pela sucção (Figura 1b), junto ao rotor existe uma espiral na carcaça, denominada voluta, originando um movimento crescente conduzindo o fluido diretamente para um bocal de descarga. Graças ao crescimento da voluta ao longo da sua trajetória no interior da carcaça a energia cinética fornecida ao fluido converte-se em energia de pressão (Gomes, et al., 2012).

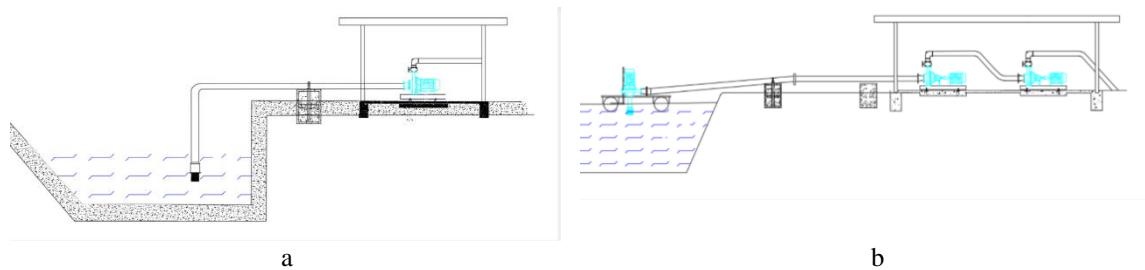
Figura 1 – Princípio de funcionamento das Bombas Cinéticas (a), com o fluxo da água em bombas radiais (b). Fonte (Gomes et al., 2012)



A disposição dos conjuntos motobomba variam de acordo com a necessidade do projeto, sendo sistemas de captação simples ou captação direta (Figura 2a), selecionados quando a pressão necessária e a vazão podem ser fornecidas por apenas um sistema de conjunto. Em situações onde a pressão necessária não pode ser atendida por apenas um equipamento, pode ser necessária a implementação de um segundo conjunto em série (Figura 2b). Essa quantidade

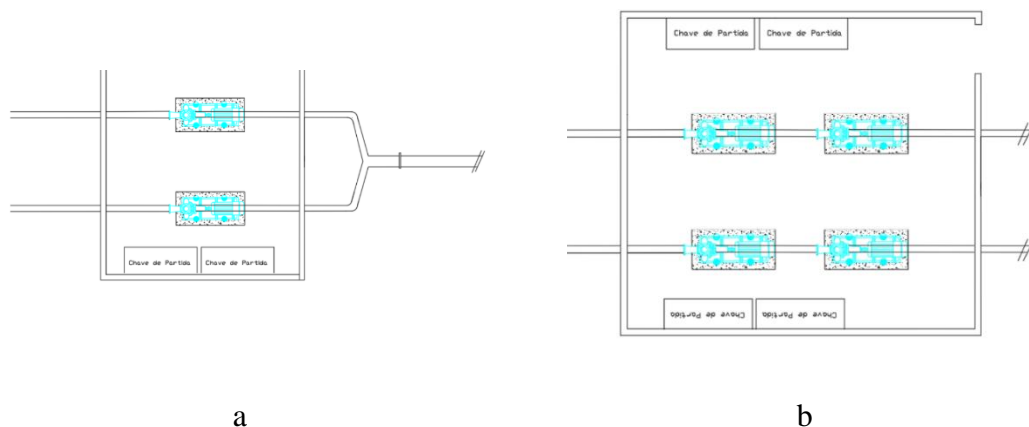
de conjuntos varia de acordo com a necessidade de projeto, podendo em algumas situações serem utilizadas 4 a 5 conjuntos em série.

Figura 2 – Sistema de captação direta simples (a) e captação com associação de bombas em série (b).
Elaboração própria com base em Peres (2019)



Em situações em que a vazão necessária não pode ser fornecida apenas por uma bomba, torna-se necessária a implantação de um novo conjunto, só que agora associados paralelo (Figura 3a). Nessa situação, a altura manométrica se mantém a mesma e a vazão de projeto é dividida entre 2 sistemas. Portanto, ainda sim, a disposição do conjunto motobomba pode ser utilizada no formato série paralelo (Figura 3b), dividindo a vazão e a pressão conforme mencionado anteriormente, ressaltando-se que a disposição dos conjuntos deve ser escolhida de acordo com a necessidade do sistema projetado. Portanto, o intuito maior de se dividir o sistema é encontrar conjuntos que possam garantir o funcionamento do projeto, assim como, utilizar conjuntos motobomba com a melhor eficiência possível.

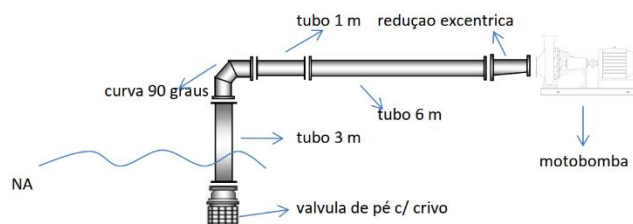
Figura 3 – Sistema de captação em paralelo (a) e sem série/paralelo (b). Elaboração própria com base em Peres (2019)



3.2.2 Tubulação de sucção

A tubulação de sucção é responsável por conduzir a água até a entrada da bomba (Figura 4), podendo ser afogada ou não. Nessa última situação, a linha da água está acima do eixo da bomba, sendo esse tipo de condição que geralmente pode ser visto em situações em que a captação ocorre em barragens ou piscinas de armazenamento de água para irrigação.

Figura 4 – Configuração típica de montagem sistema de sucção simples. Elaboração própria com base em Peres (2019)



Item	Descrição
1	Válvula de pé com crivo
2	Tubo AZ FL (informar comprimento)
3	Curva AZ FL 90°
4	Redução Excêntrica
5	Conjunto Motobomba

No trecho de sucção a velocidade da água deve ser menor que 2 m s^{-1} , a fim de evitar de reduzir a perda de carga e aumentar eficiência energética do sistema, sendo comum a adoção do diâmetro imediatamente superior ao obtido no dimensionamento para o trecho de recalque. A localização do conjunto motobomba deve ser o mais próximo da água possível, tornando o comprimento de sucção menor. Além disso, a inclinação deve ser a menor possível, com a válvula pé com crivo devendo estar localizada bem abaixo do nível da água, a fim de evitar admissão de ar no sistema e causar sérios problemas de funcionamento, além de comprometer a estrutura do rotor e carcaça da bomba, bem como impedir a entrada de corpos estranho na tubulação (Carvalho, 2001).

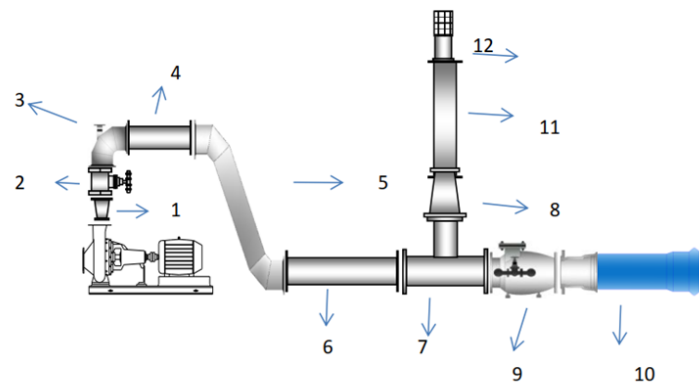
3.2.3 Recalque e Adutora

De acordo com Silva (2018), ao realizar o estudo da adutora pelo viés econômico, nota-se que a mesma é a unidade mais importante do sistema de abastecimento de água, pois havendo

o menor dos problemas que possam ocorrer em interrupção, poderá comprometer o fornecimento a água, seja em ambiente rural ou urbano. Portanto, os critérios de dimensionamento devem considerar toda a vida útil que o sistema estiver empregado.

Durante o dimensionamento do sistema de recalque ou adução, é necessário levar em consideração três aspectos principais: a vazão de adução, o período de funcionamento e a eficiência do sistema (SILVA et al., 2003). O sistema de recalque é responsável por conduzir a água da saída da bomba até a adutora e, conseqüentemente, até o local de destino, que pode ser uma piscina de armazenamento de água ou um pivô, por exemplo. O comprimento do trecho que compreende desde a saída da bomba até o início da adutora pode variar de acordo com a posição do conjunto motobomba e a quantidade de conjuntos de bombeamento em série ou paralelo (Figura 5).

Figura 5 – Configuração típica de montagem sistema de recalque simples. Elaboração própria com base em Peres (2019)



Ítem	Descrição
1	Peça de Aumento
2	Registro Gaveta
3	Curva AZ FL saída
4	Tubo AZ FL
5	Curva dupla AZ FL
6	Tubo AZ FL
7	Derivação TE
8	Red. Concentrica
9	Válvula de retenção
10	Extremidade FL X BOLSA
11	Tubo AZ FL
12	Ventosa

Segundo Frizzzone et al. (2018), o dimensionamento de um sistema hidráulico consiste em determinar a velocidade do escoamento (v), a vazão (Q) o diâmetro do tudo (D), e a perda

de carga (h_f), uma vez que a vazão do sistema é uma incógnita, e segundo Mantovani et al. (2009) a velocidade em um sistema de recalque deve ser entre 1 e 2 m s^{-1} pode se explicitar o diâmetro, equação 1.

$$Q = V \frac{\pi D^2}{4} \quad (1)$$

em que:

Q = vazão do sistema ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$);

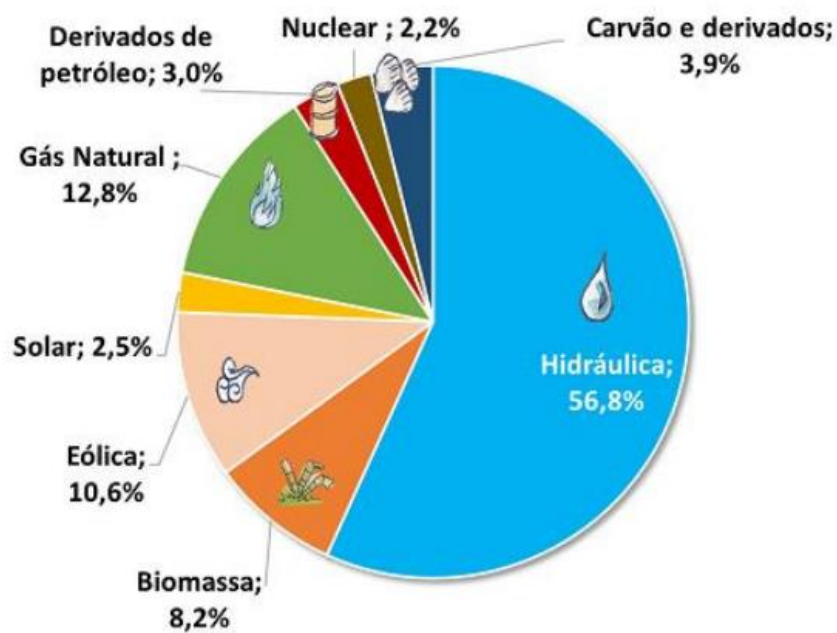
V = Velocidade média de escoamento (m s^{-1});

D = diâmetro do tubo (m).

3.3 Estrutura tarifária

O perfil de comportamento do consumo ao longo do dia encontra-se vinculado aos hábitos do consumo e às características próprias do mercado de cada região (CARVALHO et al., 2020). Segundo SOBREIRA (2023), o Brasil possui umas das matrizes energéticas mais sustentáveis do mundo, uma vez que mais de 78% da nossa geração de energia provém de fontes limpas (hidrelétrica, eólica, biomassa e solar), conforme Figura 6.

Figura 6 – Matriz energética brasileira. Fonte: SOBREIRA (2023).



Apesar da boa capacidade da nossa matriz energética, CARVALHO et al. (2020), salientam que a maior parte de energia produzida no Brasil provém de hidrelétrica e depende

do período chuvoso para garantir o pleno funcionamento. Assim, o funcionamento da hidrelétrica depende do seu enchimento que ocorre no final do período chuvoso, o que faz com que o maior potencial de geração de energia ocorra neste período, quando as represas se encontram em plena carga. Baseando-se nessas informações, deu-se origem a nova ESTRUTURA TARIFÁRIA Horo-Sazonal, que estabelece que os valores a serem repassados ao consumidores final dependem do horário do dia e períodos do ano (CARVALHO et al., 2020).

Os períodos do ano ficaram divididos em período seco e período úmido (BEZERRA, 2019; CARVALHO et al., 2020), conforme definido abaixo:

- **Período seco:** compreende os meses de estiagem das chuvas, que ocorre em boa parte do país de maio a novembro. Nesse período a incidência de chuvas é menor ou quase nula. Como consequência aumenta os custos de produção de energia, uma vez que o comprometimento da geração de energia elétrica a partir da água torna necessário o acionamento das termelétricas.
- **Período úmido:** compreende os meses de novembro a abril onde ocorre os períodos chuvoso, consequentemente os níveis dos reservatórios estão altos, reduzindo a necessidade de acionamento das termelétricas.

Ainda dentro de cada um destes períodos (seco ou úmido), o consumo de energia varia ao longo do dia, ou seja, durante uma parte do dia o consumo de energia elétrica é mais intensificado (CARVALHO et al., 2019). Portanto, a divisão do dia ficou como horário de ponta, fora de ponta e tarifa noturna (BEZERRA, 2019; CARVALHO et al., 2020):

- **Horário ponta:** compreende o período das 17 horas às 22 horas e atinge um valor máximo de demanda por volta das 19 horas. Neste período, o consumo energético atinge um pico considerável, sobrecarregando todo o sistema energético brasileiro e aumentando significativamente o custo da energia. O uso da energia neste horário pode custar até 10,6 vezes mais que o horário fora de ponta. Para fins práticos, a ANEEL definiu esse período como sendo 3 horas consecutivas, que geralmente ocorre das 18 horas as 21 horas, com exceção dos sábados, domingos e feriados nacionais.
- **Fora ponta:** compreende as 21 horas complementares, nas quais a energia produzida/consumida possui um custo menor.

Tarifa Noturna: considerando que entre 23 horas e 5 horas o consumo de energia é relativamente menor, portando a disponibilidade maior para o consumo, o irrigante que fizer o uso da energia destinada à irrigação neste horário terá a possibilidade de obter descontos, conforme estabelece a Tabela 1, para o Estado de Minas Gerais os descontos são aplicados de 90% a 73% para os municípios que compõem a região da SUDENE e demais regiões e 80% a 67%. Desse modo, os irrigantes poderão obter descontos ao usar o equipamento no período compreendido das 21:30 horas às 6 horas do dia seguinte, de acordo com as modalidades de descontos a serem aplicados.

Tabela 1 - Descontos percentuais tarifários para irrigação em horário especial

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

Fonte: Aneel, 2020a

O grupo A é subdividido em 5 subgrupos, sendo eles: A1, A2, A3, A3a, A4 e As. Destes subgrupos, o irrigante pode ser enquadrado em A3 – serviço público de irrigação (69 kV), A3a (30 kV a 44 kV) ou A4 (2,3 kV a 25 kV). Já o grupo B são aqueles atendidos por rede monofásica, de 5 kVA a 37,5 kVA; e rede trifásica variando de 15 kVA a 75 kVA e o irrigante é enquadrado como B2, segundo resolução normativa nº 414/2010 ANEEL.

CARVALHO et al. (2020), apresenta que a obtenção do desconto noturno ocorre mediante a cadastro do produtor na concessionária. A CEMIG informa na hora do cadastro que o cliente deve estar munido do documento de outorga, que comprove o uso da energia exclusivamente para a irrigação, sendo que após a verificação será instalado um sistema de medição elétrica que fará a contagem de horário noturno utilizado.

3.3.1.1 Sistema de bandeiras tarifárias

Segundo DANNA et al. (2020), para a compreensão dos fundamentos que deram origem ao sistema tarifário de bandeiras tarifárias em 2015, que incrementa valores adicionais ao custo

da energia além dos mencionados anteriormente, é necessário avaliar a capacidade de geração de energia no contexto geral.

Em decorrência da escassez de chuva, o nível do reservatório das hidrelétricas diminui, conseqüentemente a capacidade de geração de energia diminuem, e isso implica na busca por outras formas de geração de energia. Nesse caso, acionam-se as termelétricas, que possuem um custo maior na produção da energia. E para cobrir esses custos, em 2015 foi criado o sistema de bandeiras para sinalizar a necessidade de fazer acréscimo no valor da energia (COSTA et al., 2017; CARVALHO et al., 2020; DANNA et al., 2020). Portanto as bandeiras ficaram caracterizadas de acordo com a capacidade de produção de energia de energia dos reservatórios, resultando as seguintes características adotadas (CARVALHO et al., 2020; DANNA et al., 2020):

- **Bandeira Verde:** condições favoráveis para a geração de energia, não implica em aumento da tarifa;
- **Bandeira Amarela:** este é um sinal de atenção para os consumidores de que as condições estão ficando desfavoráveis, e a tarifa nesse momento sofre um acréscimo;
- **Bandeira Vermelha – patamar 1:** nesse patamar a os níveis dos reservatórios estão entrando em condição crítica e, portanto, o Operador Nacional do Sistema (ONS) reduz a geração de energia proveniente das hidrelétricas e, conseqüentemente, aumentasse o uso das termelétricas. Portanto, a geração de energia fica mais onerosa e assim a tarifa sofre acréscimos;
- **Bandeira vermelha – patamar 2:** as condições para geração de energia estão ainda mais onerosas, resultando em um aumento significativo no custo para o consumidor.

3.4 Evapotranspiração

Os principais elementos climáticos que afetam a evapotranspiração são: radiação solar, temperatura do ar, déficit de pressão de vapor e velocidade do vento, tipo da cultura, densidade, variedade e a fase de crescimento. Uma vez que há diferenças na resistência estomática, altura da cultura, rugosidade do dossel, refletividade e cobertura do solo pela vegetação, resultam em diferentes valores de ET_0 sob as mesmas condições climáticas e de solo (ALLEN et al., 1998).

O método Penman-Monteith FAO baseia-se em princípios físicos, parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos, além de ter procedimento para estimar os parâmetros quando há ausência de dados. Portanto, é recomendado como método padrão para determinar a ET_0 .

4. METODOLOGIA

4.1 Descrição do estudo

A partir do estudo de climático de duas regiões com altitudes diferentes, definiu-se uma lâmina de irrigação e, portanto, variáveis climáticas diferentes sob a hipótese de funcionamento do equipamento para produção de 3 safras ano. Os dados apresentados tratam de informações reais de projetos dimensionados pelo autor e implantados em 2022 nas propriedades que os adquiriram. Os equipamentos começaram a funcionar na safra da soja de 2022/2023, estando, portanto, com 8 meses de funcionamento aproximadamente, em julho de 2023.

Durante o desenvolvimento dos projetos buscou-se definir uma lâmina de irrigação que otimiza o uso do pivô central durante o horário noturno, reduzindo assim os custos variáveis com energia, que desde 2015, após implantação das bandeiras verde, amarela e vermelha, tem onerado os custos de produção aos irrigantes.

Segundo Frizzone et al. (2018) a vazão do sistema é uma incógnita, logo resta a velocidade e o diâmetro. Adotou-se para esse trabalho o método da velocidade econômica, onde buscou-se a eficiência do uso do equipamento no horário noturno aproveitando o desconto no uso do Kwh (Tabela 1). Os critérios consistem em selecionar o diâmetro da adutora que minimiza o custo anual do sistema, composto tanto pelo custo variável (consumo energia anual) quanto o custo fixo (investimento adutora).

4.2 Critérios de dimensionamento e coleta dos dados

4.2.1 Estudo da ETo

Para estudo da evapotranspiração de referência (ETo) foi adotado o método Penman-Monteith FAO 56 (Allen et al., 1998), considerado como método padrão a ser adotado para definição da ETo pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO-ONU), conforme Eq. 2:

$$ETo = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (2)$$

em que:

ETo – evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹);

- R_n – radiação líquida na superfície das culturas ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);
 G – fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);
 T – média diária da temperatura do ar a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$);
 u_2 – velocidade do vento a 2 m de altura (m s^{-1});
 e_s – pressão da saturação de vapor (kPa);
 e_a – pressão de vapor atual (kPa);
 $(e_s - e_a)$ – déficit de saturação de vapor (kPa);
 Δ – inclinação da curva da pressão de vapor versus temperatura ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$);
 γ – constante psicrométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

Para definição da ET_o (Evapotranspiração de Referência), foram utilizados os dados de duas estações meteorológicas: a estação convencional de Formosa (83379) e a estação automática de Unai (Código A-542), ambas pertencentes ao INMET. Os valores encontrados foram de $3,9 \text{ mm dia}^{-1}$ e $4,17 \text{ mm dia}^{-1}$, respectivamente.

4.2.2 Evapotranspiração da cultura (ET_c)

A ET_c é o produto da ET_o pelo coeficiente de cultivo - kc (Eq. 3), sendo que este reflete a necessidade hídrica da cultura de acordo com cada fase de desenvolvimento.

$$ET_c = ET_o * K_c \quad (3)$$

em que:

- ET_c – evapotranspiração da cultura (mm d^{-1});
 ET_o – evapotranspiração de referência (mm d^{-1}); e
 kc – coeficiente da cultura.

Conforme definido por Allen et al., (1998), o kc não é fixo ao longo de todo o desenvolvimento da cultura, devendo-se adotar um valor específico de kc para cada fase de desenvolvimento para o manejo da irrigação nos cultivos. Entretanto para facilitar os cálculos adotou-se a K_c como 1,15, sendo, portanto, ET_c para a região de Unai e Formosa $4,8 \text{ mm dia}^{-1}$ e $4,48 \text{ mm dia}^{-1}$, respectivamente.

4.2.3 Irrigação total necessária

A irrigação total necessária (ITN) consiste na relação entre a ET_c e a eficiência de projeto inicialmente definida para o equipamento, conforme Eq. 4.

$$ITN = \frac{ET_c}{E_a} \quad (4)$$

em que:

ITN – irrigação total necessária ($mm\ d^{-1}$);

ET_c – evapotranspiração da cultura ($mm\ d^{-1}$);

EA – eficiência de aplicação (%)

Após a definição da ITN, realizou-se o estudo da lâmina que permitiria o melhor aproveitamento do tempo de funcionamento do equipamento dentro do horário noturno. A eficiência de projeto adotada para o equipamento foi de 85%. Conforme Toledo et al. (2017), em um estudo realizado em várias regiões incluindo Unai, com equipamentos com mais de 20 anos instalados, a eficiência encontrada na região variou de 85% a 90%. Portanto a ITN para a região de Unai e Formosa é de $5,64\ mm\ dia^{-1}$ e $5,27\ mm\ dia^{-1}$ respectivamente.

4.2.4 Definição da lâmina de irrigação em horário noturno

Para definir a lâmina irrigada em jornada de trabalho noturno (Eq. 5), foi definido os critérios de eficiência de maneira empírica, simulando-se eficiência variando entre 60% (mínima adotada) e 90% (máxima adotada).

$$L_{HN} = \frac{ITN * T_F}{\frac{T_{HN}}{E_{HN}}} \quad (5)$$

em que:

L_{KN} = Lâmina horário noturno ($mm\ d^{-1}$);

ITN = Irrigação Total Necessária ($mm\ d^{-1}$);

T_F = Tempo de funcionamento diário equipamento ($h\ d^{-1}$);

T_{HN} = Tempo de horário noturno definido pela ANEEL ($8,5\ h\ d^{-1}$); e

E_{HN} = Eficiência de horário noturna que se deseja (decimal).

Considerando a eficiência a ser obtida com o equipamento de 75%, a lâmina de horário noturno obtida, para as regiões de estudo foram 10,45 mm dia⁻¹ para Unaí e 9,7 mm dia⁻¹, uma vez que ambas as lâminas calculadas estão próximas, adotou-se 10 mm dia⁻¹ para ambos os projetos nessa fase inicial.

4.2.5 Procedimento para o cálculo da tarifa

4.2.5.1 Grupo B

O cálculo das tarifas é determinado pela ANNEL, variando conforme o consumidor. Ao consumidor enquadrado no grupo B será aplicada uma tarifação única, o que implica que de acordo com o consumo ocorrer a cobrança, podendo o mesmo o aproveitamento do desconto de irrigante, de modo que a Eq. 6 permite calcular o custo final com energia.

$$\text{Custo final (R\$)} = C * CEE \quad (6)$$

em que:

C – consumo de energia (kWh);

CEE – custo da energia elétrica (R\$ kWh⁻¹).

O consumo mensal é calculado de acordo com a potência do motor, e o tempo de trabalho do mesmo (Eq. 7).

$$C = \text{Pot}(\text{cv}) * 0,736(\text{kW cv}^{-1}) * T \text{ (horas)} \quad (7)$$

Pot – potência do motor (cv);

0,736 – fator de conversão de cv para kWh;

T – período de funcionamento do motor elétrico (horas mês⁻¹).

4.2.5.2 Grupo A horo-sazonal verde

O grupo A, possui várias classes, sendo que as classes variam de acordo com a demanda de energia a ser contratada pelo irrigante e sua tarifação pode ser subdividida em tarifa verde ou azul.

A tarifa azul é destinada aos consumidores com potência igual ou superior a 500 kW, sendo que estes não podem suspender o seu uso no período de ponta. Compõem o cálculo da fatura a “demanda na ponta, demanda fora de ponta, consumo na ponta e consumo fora de ponta”. A "tarifa verde" é direcionada a consumidores de médio porte, permitindo que modifiquem seus padrões de consumo de energia elétrica para os horários de menor demanda

e menor custo por kWh. Essa opção tarifária é vantajosa para os produtores, possibilitando economia nos gastos com energia elétrica, ao mesmo tempo em que contribui para a redução do consumo em horários de pico.

Neste caso, ao fazer o uso do horário de ponta (18 horas às 21 horas) estará sujeito a pagar o kWh, multiplicado por 10,6 vezes o custo consumido fora de ponta (CARVALHO et al., 2020). O cálculo da tarifação é dado pela Eq. 8:

$$\text{Custo final (R\$)} = DC Td + Cp Tp + Cfp Tfp \quad (8)$$

em que:

Dc – demanda contratada (kW);

Td – tarifa da demanda (R\$ kW⁻¹);

Cp – consumo da energia em horário de ponta (kWh);

Tp – tarifa de consumo em horário de ponta (R\$ kW⁻¹);

Cfp – consumo de energia em horário fora de ponta (kWh); e

Tfp – tarifa do consumo em horário fora de ponta (R\$ kW⁻¹).

4.2.5.3 Cálculo da tarifa horária noturna

Uma vez compreendido o cálculo é necessário calcular a tarifa média de acordo com o uso do equipamento, pois uma vez utilizado o desconto de irrigante noturno o valor do kWh é menor.

O equipamento foi dimensionado para aplicar a lâmina de projeto durante 21 horas diárias, excluindo as 3 horas de pico devido ao seu alto custo. Assim, das 21 horas mencionadas, 8,5 horas representam a faixa de trabalho em que o irrigante tem direito a desconto, compreendida das 21h30 às 6h do dia seguinte. Dessa forma, essas 8,5 horas representam 40% do tempo total de funcionamento. Para um equipamento que opere exclusivamente no horário noturno, deve-se considerar que seu funcionamento ocorrerá em 8 horas e 30 minutos. No entanto, ao funcionar por 21 horas, apenas 40% do tempo de uso será durante o horário noturno. Portanto, a Tabela 2 representa a quantidade de horas trabalhadas e a eficiência do uso no horário noturno.

Tabela 2 – Frações de uso do horário noturno e respectivos tempos de funcionamento do pivô central

Fração de uso do horário noturno (%)	Tempo de funcionamento (horas)
100	8,5
95	9,54
90	10,58
85	11,63
80	12,67
75	13,71
70	14,75
65	15,79
60	16,83
55	17,88
50	18,92
45	19,96
40	21

$$* = 8,5 - [(100-95) * (8,5-21)/(100-40)]$$

A variação da tarifa noturna é determinada pelo uso do equipamento durante esse período, e, para calcular a fração horária do horário noturno, é imprescindível compreender a eficiência do equipamento. Nesse sentido, torna-se necessário estabelecer uma estimativa inicial da eficiência, e assim calcular o custo do kWh conforme a eficiência desejada.

Na região de estudo adotada, o custo do kWh, segundo a Cemig, é de 0,7406 R\$ kWh⁻¹. Contudo, ao considerar o desconto do irrigante grupo B de 63%, o custo do kWh para o horário noturno é de 0,24719 R\$ kWh⁻¹, revelando que uma maior eficiência do equipamento resulta em um custo mais vantajoso.

Ao considerarmos uma eficiência mínima de 60% para o horário noturno, o equipamento, conforme tabela 2, funcionará aproximadamente 16,83 horas diárias. Com base na Eq. 9, torna-se possível calcular o custo médio do kWh para essa eficiência de 60%.

$$\text{kWh (60\%)(R\$)} = [(T_{FN} * \text{kWh}_N) + (T_{F,D} * \text{kWh}_D)]/T_T \quad (9)$$

em que:

kWh (60%) – custo do kWh eficiência de irrigação de 60% (R\$);

T_{FN} – tempo de funcionamento horário noturno (horas);

kWh_N – tarifa noturna com desconto (R\$ kWh⁻¹);

$T_{F,D}$ – tempo de funcionamento horário diurno (horas);

kWh_D – tarifa diurna sem desconto (R\$ kWh⁻¹);

T_T – Tempo de funcionamento referente a eficiência adotada (Hora).

Usando a equação acima foi calculado o custo do kWh para a região de aproximadamente 0,49559 R\$ kWh⁻¹.

4.3 Classificação climática das áreas de estudo

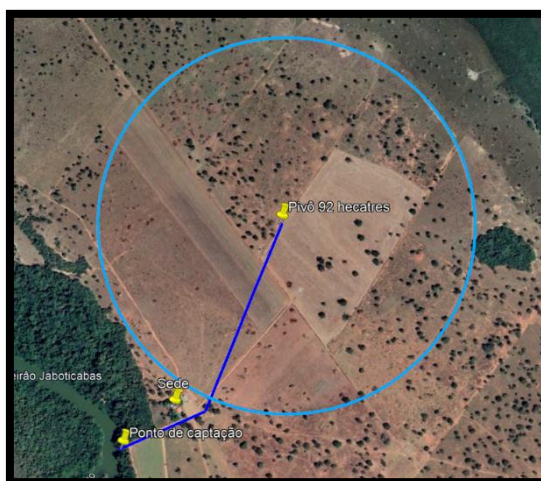
O clima da área da região de Unai – MG é caracterizado segundo Silva et al. (2017), na classificação de Koppen, como Aw, período de chuva bem definido e compreendido de novembro a abril; e período de estiagem de maio a outubro. Clima tropical, com precipitação média de 1322 mm (INMET, 2010). Segundo Novais (2020), Formosa está situada no tropical semiúmido central, com precipitação média entre 1400 à 1880 metros, sendo meses secos compreendidos de maio a outubro.

4.4 Área de estudo

4.4.1 Fazenda Floresta

A Fazenda Floresta fica localizada no município Unai – MG, sendo a sede da fazenda situada às coordenadas 16° 38' 51,66" S e 46° 28' 53,57" O, com o centro do pivô localizado a 16° 38' 37, 29" S, 46° 29' 7,92" O e 540 metros de altitude. O produtor forneceu o mapa planialtimétrico, do qual foram retiradas as informações de desnível e distâncias e área. A captação ocorre no Rio Preto (Figura 7), do desnível entre o nível da água e o talude são 25 metros, do início do talude até o centro do pivô 9 metros, o desnível da linha lateral 5 metros, altura dos aspersores 3,75m, perda de carga em peças especiais 5 mca e a pressão no balanço (final) 18 mca.

Figura 7 – Área de estudo 1 (Pivô 1 – Área de 92 ha – Fazenda Floresta)



A definição das perdas de carga na parte área e adutora só podem ser obtidas quando se conhece a vazão de projeto. Uma vez que a lâmina de água tenha sido definida previamente de acordo com a demanda da cultura, com um valor de 10 mm, a vazão do projeto pode ser calculada utilizando a Equação 12, resultando em $438 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. A parte aérea do sistema foi configurada da seguinte maneira: 4 lances padrão de 10 polegadas, com cada lance medindo 41,21 m; 3 lances longos de $8 \frac{5}{8}$ " com 54,86 m de comprimento, consistindo em 8 tubos por lance; 3 lances médios de $8 \frac{5}{8}$ " com 48 m de comprimento; 1 lance médio de $6 \frac{5}{8}$ " com um balanço de 16,31 m. Para cada tubo, foram consideradas 3 saídas, totalizando 237 saídas. Com essa configuração, foi calculada uma perda de carga de 6,93 mca na tubulação da parte aérea. A adutora utilizada inicialmente no estudo tinha um diâmetro nominal de 300 mm, com um diâmetro interno real de 312 mm. A perda de carga calculada para o comprimento total da adutora, que é de 917 metros, foi de 2,25 mca. Com base nesse projeto, a altura manométrica total calculada foi de 75 mca.

4.4.2 Fazenda Agrosalgueiro

O segundo projeto estudado foi realizado para a Fazenda Agrosalgueiro, com sede localizada nas seguintes coordenadas: latitude $15^\circ 22' 6,23'' \text{ S}$, longitude $46^\circ 50' 32,19'' \text{ O}$ e altitude do centro do equipamento pivô central a 1013 metros na latitude $15^\circ 20' 18,06'' \text{ S}$ e longitude $46^\circ 50' 18,15'' \text{ O}$ (Figura 8), no município de Formosa-GO. Através do levantamento planialtimétrico fornecido pelo cliente, foi possível coletar os desníveis, sendo o desnível do

ponto de captação até o centro do equipamento igual a 45 metros; e do centro do pivô ao ponto mais alto 7 metros, com pressão no balanço (final) de 18 mca.

Figura 8 – Área de estudo 2 (Pivô 2 – Área de 120 ha – Fazenda Agrosalgueiro)



Considerando que a altura manométrica total do projeto com as informações obtidas nos desníveis, perda de carga localizada e pressão necessária de funcionamento, obteve-se 70 mca com uma lâmina de 10 mm, que representa uma vazão de $571 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (Eq 11), a serem aplicados num tempo de funcionamento de 21 horas. Nessa situação, a potência necessária para atender a demanda do projeto é de aproximadamente 211 cv, obtidos através da Equação 10:

$$\text{Pot}(\text{cv}) = \frac{Q H}{2,7 E_f} \quad (10)$$

em que:

Pot = potência (cv);

H = altura manométrica (mca);

2,7 = fator de conversão para motores elétricos;

Ef = Eficiência média da bomba (adotado o valor de 75%).

$$Q = \frac{L \cdot A \cdot 10}{T_F} \quad (11)$$

Em que:

Q = vazão do sistema ($\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$);

L = lâmina do equipamento (mm dia^{-1});

A = área (ha);

10 = fator de conversão de mm para m³;

T_F = tempo de funcionamento do sistema.

A carga disponibilizada para este projeto é de 300 kVA, e sendo a potência máxima que permitida nesse sistema de 375 cv, tornou-se necessário limitar a perda de carga na parte aérea.

Sendo assim, uma composição da parte aérea adotada a fim de reduzir as perdas de cargas, devida à limitação de energia disponível para esse projeto de 300 kVA, e respeitando as limitações de desnível do terreno, a parte aérea definida com 1 lance inicial de 10” de 6 tubos resultando 41,21 m, 5 lances padrão de 10” de 41,21 m cada, 5 lances médios de 8 5/8” de 48 m com 7 tubos cada lance, 1 lance longo de 8 5/8” de 54,86 m de comprimento com 8 tubos em cada lance, 1 lance longo de 6 5/8” com 54,86 m e por fim um lance em balanço de 5/16” com 16,31 m, totalizando um raio irrigado de 614,92 m. Com tal composição, adotou-se altura dos aspersores 3 metros, com 3 saídas por tubo, totalizando 273 saídas, calculando-se a perda de carga na linha lateral considerando um fator de redução de perda carga (F) igual a 0,548, uma vez que não existe canhão neste equipamento (CHU; MOE, 1972). Para tal, obteve-se uma perda de carga de 16,13 mca.

A distância entre o ponto de captação e o centro do pivô é de aproximadamente 961 metros, a perda de carga foi calculada através da fórmula de Hazen – Willians (Eq.12), adotou-se para as perdas de cargas localizada pelo método dos comprimentos equivalentes que, segundo Peres (2019), podem ser tomadas como sendo equivalentes a 5% do comprimento contínuo, portanto o comprimento total da adutora para cálculos de perda de carga tanto na adutora quanto localizada foi de 1009 metros.

$$hf = 10,65 \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} D^{4,871}} L \quad (12)$$

em que:

hf = perda de carga ao longo do trecho (mca);

Q = vazão do sistema (m³ s⁻¹);

C = Coeficiente de rugosidade tabelado conforme material (adimensional);

D = diâmetro interno (m);

L = comprimento total da tubulação (m).

Segundo Mantovani et al. (2009) e Perroni et al. (2011), recomenda-se que a velocidade de escoamento em uma tubulação fique entre 1 e 2 m s⁻¹, proporcionado as menores perdas de

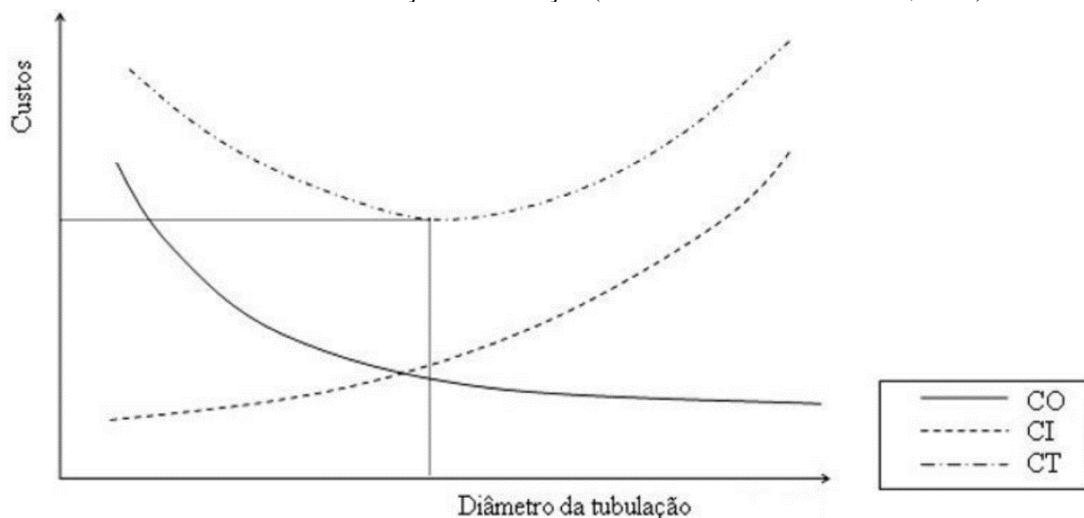
carga, evitando assim golpes de Aríete quando ocorrer as interrupções no bombeamento e proporcionando assim menor custo de energia. A altura manométrica total foi de aproximadamente 108 mca. A captação ocorreu de maneira afogada e, portanto, a altura de sucção foi considerada negativa.

4.5 Dimensionamento econômico

O dimensionamento econômico de uma tubulação é estabelecido quando, para cada condição, o diâmetro determinado busca reduzir ao máximo o somatório do custo fixo com o custo anual variável (BERNARDO et al., 2006). Segundo ZOCOLER et al. (2006), o simples fato de se utilizar um diâmetro interno de 0,250 m quando o recomendado deveria ser 0,284 m, ocasionaria um consumo adicional de energia elétrica de 30.800 kWh por ano.

Lima et al. (2009) salienta que, quanto maior a vida útil do equipamento, melhores são as chances de retorno do investimento em uma tubulação que possibilite a redução dos custos de energia elétrica (BATISTA E COELHO (2003), corrobora que as potências dos conjuntos motobomba, despesas de operação, e diâmetro da tubulação estão interligadas, sendo que o dimensionamento do sistema deve ocorrer considerando os critérios econômicos (Figura 9).

Figura 9 – Variação dos custos operacionais (CO), de investimento (CI) e total (CT) de um sistema de bombeamento em função da tubulação (CARVALHO & OLIVEIRA, 2020)



Segundo Silva (2020), o método adotado na escolha do conjunto motobomba, em consequência da adutora e do tipo de energia utilizada e da eficiência do sistema, pode representar em consumo de energia até 70% dos custos variáveis. Peres (2019) salienta que é um equívoco comum acreditar que a água ao sair da tubulação, com elevada velocidade,

significa que o sistema está em funcionamento apropriado. Ainda segundo o autor, a observação de sistema de bombeamento operando tanto técnica quanto economicamente, pode se verificar que a velocidade média econômica na adutora e recalque é da ordem de 2 m s^{-1} , enquanto a tubulação de sucção a velocidade média é da ordem de 1 m s^{-1} . Outro fator apresentado pelo autor considera que ao impor velocidades menores na tubulação de sucção, evita-se a ocorrência da cavitação.

Peres (2019) apresenta vários modelos econômicos para se dimensionar o melhor diâmetro econômico, sendo eles:

- Método das velocidades econômicas: neste método o projetista adota como velocidade 2 m s^{-1} para a tubulação de recalque e quando o diâmetro encontrado fica entre dois diâmetros comerciais, adota-se o diâmetro superior para o recalque e, conseqüentemente, aquele imediatamente acima para a tubulação de sucção. A escolha do diâmetro é realizada pela Eq. 13 (equação continuidade, com $V = 2 \text{ m}^{-1}$):

$$D = 1,129 \sqrt{\frac{Q}{V}} \quad (13)$$

em que:

Q = vazão do sistema $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$;

V = velocidade da água na tubulação (Adota-se $V = 2 \text{ m s}^{-1}$ nesse caso)

- Método de Bresse: aplica-se a sistema de bombeamento que operam de forma contínua, e sua expressão matemática é apresentada pela Eq. 14:

$$D = K\sqrt{Q} \quad (14)$$

em que: K é dado como um coeficiente variável entre 0,9 e 1,4.

Ao se dotar $K = 0,9$, assemelha-se a definir vazão em $1,57 \text{ m s}^{-1}$. Neste método, quando o diâmetro não coincidir com aqueles encontrados comercialmente, adota-se o diâmetro comercial inferior para a linha de recalque o diâmetro comercial imediatamente superior para linha de sucção.

- Método da ABNT: este método destina-se a sistemas que funcionam apenas durante algumas horas, portanto, de maneira intermitente, e o seu modelo matemático é dado pela Eq. 15:

$$D = 0,586T^{0,25}\sqrt{Q} \quad (15)$$

em que: T é o número de horas trabalhadas por dia.

Quando o diâmetro calculado não coincidir com o comercial adota-se o diâmetro comercial acima para a tubulação de sucção e o imediatamente abaixo para a tubulação de recalque.

Devido ao contexto em que os equipamentos foram dimensionados e instalados, a importância econômica, e os custos de energia cada vez maiores, adotou-se para definição o método da análise econômica. Segundo GOMES (2019) para ser possível realizar uma comparação entre alternativas de projeto e optar pelo menor custo, é necessário converter as despesas anuais de exploração em valores fixos atuais ou em gastos fixos em amortizações anuais. Portanto, tal método consiste em calcular o custo fixo anual, somado do custo operacional e definir, portanto, o diâmetro que melhor se adequa ao projeto, com o melhor equilíbrio entre o custo fixo e o custo operacional anual, obtido a partir da aplicação do fator de recuperação de capital (Eq. 16) ao custo de investimento inicial (tubos), em R\$ m⁻¹ (Eq. 17). PERES (2019) salienta que o custo de capital deve refletir o retorno financeiro que o proprietário obterá caso ele aplicasse em uma atividade econômica alternativa ou seja, custo de oportunidade. Neste trabalho adotou-se a Taxa Selic como referência e, portanto, o valor de i igual a 13,75% (base para julho/2023). Para calcular o custo operacional anual primeiro deve-se calcular o custo consumo anual com o sistema de bombeamento (Eq. 18).

A. Cálculo do custo fixo anual (CFA)

$$FRC = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (16)$$

em que:

FRC = Fator de recuperação de capital (decimal);

i = taxa anual de juros real (decimal);

N = vida útil dos tubos (anos).

$$CFA = FRC \cdot C_{\text{tubo}}(\text{R\$ m}^{-1}) \quad (17)$$

em que:

$C_{\text{tubo}}(\text{R\$ m}^{-1})$ = custo de uma barra de PVC DEFOFO, de aproximadamente 6 metros de comprimento.

Foram adotados o valor de Fator de Recuperação de Capital (FRC) igual a 0,1404. Considerando a taxa de juros (i) baseada na taxa SELIC de julho de 2023, de 13,75%. A vida útil dos tubos considerada foi de 30 anos. Os valores das tubulações de recalque em PVC DEFOFO (diâmetro interno de ferro fundido) foram obtidos por meio da empresa COORPLASTIK LTDA

Após a obtenção do CFA, é necessário multiplicar o mesmo pelo comprimento total do sistema de recalque.

B. Custo operacional anual (COA)

Para o cálculo do custo de operação do equipamento ao longo de um ano (COA), utilizou-se a Eq. 17:

$$\text{Consumo}_{\text{anual}} = \text{Pot}(\text{cv}) * 0,736(\text{kW/cv}) * T \quad (18)$$

em que:

Consumo = Consumo anual, em kWh;

Pot (cv) = Potência do conjunto motobomba, em cv, obtida pela Eq. 2;

0,736 = fator de conversão cv para kW, ou kW para cv; e

T = tempo de operação do sistema de bombeamento anualmente (h ano^{-1}).

O tempo adotado para este trabalho, considerando que o equipamento irá funcionar 3 safras e irrigando um total de aproximadamente 700 mm de irrigação total, e tendo em vista que a lâmina de funcionamento do equipamento dimensionado é de aproximadamente 10 mm, foi 21 horas.

É possível calcular o tempo necessário para uso do equipamento, sendo sua expressão matemática apresentada na Eq. 19:

$$T (\text{h ano}^{-1}) = \frac{\text{lamina anual}}{\left(\frac{L_{\text{Eq}}}{T_{\text{Eq}}}\right)} \quad (19)$$

A lâmina de irrigação anual considera o volume a ser irrigado no ano do estudo e a lâmina diária do equipamento em mm (L_{eq} – para os projetos foi de 10 mm); T_{eq} é o tempo diário de funcionamento do equipamento em horas (neste caso 21 horas). Substituindo os valores apresentados, o tempo anual de funcionamento deste equipamento é de aproximadamente 1470 horas ano⁻¹.

Definido o consumo anual, calcula-se o COA, através da Eq. 20:

$$COA = \text{Consumo}_{\text{anual}}(\text{kW}) * CEE \quad (20)$$

em que:

CEE – representa o custo da energia elétrica, em R\$ kWh⁻¹, fornecido pela concessionária de energia onde o sistema está instalado.

C. Custo total anual (CTA)

O custo total anual foi obtido pela soma do custo fixo anual (CFA) e o custo operacional anual (COA), conforme Equação 21:

$$CTA = CFA + COA \quad (21)$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Demanda hídrica das culturas comerciais da região

Ao realizar o estudo do clima das regiões de Unaí-MG e Formosa-GO, para definir a lâmina de irrigação das fazendas Floresta e Agrosalgueiro, considerou-se a evapotranspiração de referência (ET_c) para cada região, levando em conta as altitudes de 540 m e 1013 m, com base nos dados climáticos obtidos na estação do INMET, sendo a estação da região de Unaí localizada na Fazenda Experimental da Factu (Faculdade de Ciência e Tecnologia de Unaí), enquanto a estação de Formosa – GO está localizada próximo ao Aeroporto de Formosa. Calculou-se a evapotranspiração real (ET_c) conforme o desenvolvimento das culturas, adotando coeficientes de cultura (K_c) apropriados para cada fase de crescimento.

Os valores obtidos para a ET_o foram de $4,7 \text{ mm dia}^{-1}$ em Unaí, com ET_c média de aproximadamente $5,3 \text{ mm dia}^{-1}$ para a soja, $6,1 \text{ mm dia}^{-1}$ para o milho (plantado em janeiro e com ciclo finalizado em maio) e $4,72 \text{ mm dia}^{-1}$ para o feijão (plantado em maio e com ciclo finalizado em setembro). Para Formosa, os valores foram de $5,3 \text{ mm dia}^{-1}$ para a soja, $5,7 \text{ mm dia}^{-1}$ para o milho e $4,45 \text{ mm dia}^{-1}$ para o feijão.

A eficiência de irrigação para o pivô central foi estabelecida em 85%, com base em Mantovani et al. (2009). No entanto, Toledo et al. (2017), ao avaliar 21 pivôs em diferentes regiões de Minas Gerais, obteve uma eficiência média de 91,30%. Para ser conservador, adotou-se o valor de 85% para a eficiência de projeto. Com isso, calculou-se a necessidade total de irrigação para cada cultura, sendo de $6,35 \text{ mm dia}^{-1}$ para a soja, $7,17 \text{ mm dia}^{-1}$ para o milho e $5,55 \text{ mm dia}^{-1}$ para o feijão na Fazenda Floresta. Para a Fazenda Agrosalgueiro, os valores foram de $6,23 \text{ mm dia}^{-1}$, $6,7 \text{ mm dia}^{-1}$ e $5,23 \text{ mm dia}^{-1}$, respectivamente. Leite et al. (2018), ao realizar o estudo da ET_c para a região de Formosa – GO consideraram o coeficiente de cultivo para o milho em sua fase maior demanda hídrica, sendo K_c igual a 1,20 e eficiência do equipamento 85% o valor obtido é de 6 mm dia^{-1} para ET_c ; e $7,1 \text{ mm dia}^{-1}$ para os períodos de maior consumo considerando a eficiência do equipamento.

É importante destacar que esses valores constituem valores médios, portanto ocorrem picos de consumo em certos períodos, principalmente durante as fases reprodutiva e de enchimento dos grãos. Nessas situações, pode haver insuficiência no suprimento de água, comprometendo seriamente a produtividade. Portanto, é fundamental que o projetista faça uma análise detalhada da demanda hídrica da cultura e defina adequadamente a lâmina de irrigação,

considerando os períodos de maior demanda. Superestimar ou subestimar a vazão do sistema, o volume de água, a potência do conjunto motobomba, o diâmetro da adutora e o consumo de energia podem resultar em problemas e prejuízos para o produtor.

5.2 Lâmina irrigação Fazenda Floresta e Fazenda Agrosalgueiro

Conforme apresentado anteriormente, a demanda de irrigação média para as culturas comerciais na região variou em função do clima e da época do ano, sendo aproximadamente os valores médios da ET_c $6,35 \text{ mm d}^{-1}$ para a região do vão e $6,05 \text{ mm d}^{-1}$ para a região da chapada.

Definiu-se a lâmina de irrigação com base na eficiência de uso do horário noturno desejada para dimensionar o equipamento. A Tabela 3 apresenta a vazão, diâmetro e velocidade praticada no dimensionamento para as fazendas Floresta e Agrosalgueiro.

Tabela 3 - Vazão, diâmetro e velocidade praticada, dimensionados para as fazendas Floresta e Agrosalgueiro

Área (92 ha)	Eficiência de horário Noturno Faz. Floresta							Diâmetro da adutora (mm)
Hor. Noturno desejado (%)	90%	85%	80%	75%	70%	65%	60%	
Lâmina do equipamento (mm (21h)^{-1})	14,1	13,3	12,6	11,8	11,0	10,2	9,4	
Vazão ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$)	618,6	584,2	549,8	515,5	481,1	446,7	412,4	
Velocidade (m s^{-1})	4,0	3,8	3,5	3,3	3,1	2,9	2,6	0,212
	2,8	2,6	2,5	2,3	2,2	2,0	1,9	0,262
	2,1	2,0	1,9	1,7	1,6	1,5	1,39	0,312
	1,6	1,5	1,45	1,4	1,3	1,2	1,	0,361
Área (120 ha)	Eficiência de horário Noturno Faz. Agrosalgueiro							Diâmetro da adutora (mm)
Hor. Noturno desejado (%)	90%	85%	80%	75%	70%	65%	60%	
Lâmina do equipamento (mm (21h)^{-1})	13,5	12,7	12,0	11,2	10,5	9,7	9,0	
Vazão ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$)	768,7	726,0	683,3	640,6	597,9	555,2	512,5	
Velocidade (m s^{-1})	4,9	4,6	4,3	4,1	3,8	3,5	3,2	0,262
	3,2	3,0	2,8	2,7	2,5	2,3	2,1	0,312
	2,3	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,5	0,361
	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	0,409

5.3 Definição do diâmetro econômico – Fazenda Floresta

De acordo com Cirilo (2003), o diâmetro mais adequado para a tubulação de um sistema de adução é aquele que equilibra o custo de implantação e o custo de operação. Marques e Sousa

(2009) corroboram essa afirmação, ressaltando que a escolha de uma adutora deve considerar diversos diâmetros comerciais e analisar os custos de implantação e operação de cada um.

Gomes (2009) menciona que os custos das tubulações são predominantes em comparação com outros custos, pois têm um valor final mais elevado. No entanto, os custos de operação e manutenção, principalmente os relacionados à energia, representam despesas mensais que podem encarecer o projeto ao longo do tempo. Portanto, o autor conclui que o custo de implantação de uma adutora é inversamente proporcional ao custo operacional.

Peres (2019) destaca que, em projetos de maior escala, é necessária uma avaliação mais detalhada dos custos de implantação e operação para determinar o diâmetro econômico. Conforme apresentado na Tabela 3, isso resultaria em uma eficiência de aproximadamente 65%. A Tabela 4 apresenta as perdas de carga calculadas pela fórmula de Hazen-Williams, a velocidade determinada pela equação da continuidade e, por fim, o cálculo da potência. Para as perdas de carga localizadas adotou-se o método dos comprimentos equivalentes, com um acréscimo de 5% ao comprimento total da adutora.

Tabela 4 – Área, lâmina, vazão, comprimento, diâmetro, velocidade da água, perda de carga e potência calculada para a adutora do Pivô 1 – Fazenda Floresta

Área (ha)	Lâmina (mm)	Vazão (m ³ h ⁻¹)	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	Velocidade (m s ⁻¹)	Hf (mca)	Potência (cv)
92,0	10,0	438,10	890,00	0,200	3,45	47,69	103
92,0	10,0	438,10	890,00	0,250	2,26	16,08	35
92,0	10,0	438,10	890,00	0,300	1,60	6,62	14
92,0	10,0	438,10	890,00	0,350	1,19	3,12	7

A definição do diâmetro seguiu o modelo proposto por Marques e Sousa (2009), que consiste em determinar uma vazão específica que atenda às demandas das culturas e avaliar essa vazão para diferentes diâmetros. Segundo Mello (1998), em seu estudo sobre a determinação da velocidade máxima em adutoras, concluiu-se que adutoras de plástico permitem uma velocidade máxima de 4,5 m s⁻¹. Já Azevedo e Netto (2015) afirmam que, embora exista uma velocidade admissível em tubulações de recalque, o dimensionamento deve ocorrer com base em critérios econômicos. Esses autores apresentam uma faixa de velocidade econômica entre 0,75 e 1,5 m s⁻¹.

Seguindo a metodologia de análise econômica proposta por Peres (2019), definiu-se o fator de recuperação fiscal (FRC) considerando uma taxa de juros (i) de 13,75%, que corresponde à taxa de juros da Selic em 14 de julho de 2023, e uma vida útil dos tubos (N) de 30 anos. O FRC calculado foi de 0,1404. A Tabela 5 abaixo apresenta os valores do PVC para

os diâmetros selecionados neste projeto, obtidos por meio de consulta a fornecedores da empresa Coorplastik Ltda.

Tabela 5 – Cotações para tubos de PVC de diferentes diâmetros (Mês de referência: Julho: 2023)

Diâmetro (mm)	C_{Tubo} (R\$ barra)*	C_{tubo} (R\$ m)
0,200	R\$ 385,90	R\$ 64,32
0,250	R\$ 577,66	R\$ 96,28
0,300	R\$ 818,02	R\$ 136,34
0,350	R\$ 1.236,56	R\$ 206,09
0,400	R\$ 1.578,97	R\$ 263,16

*barra comercialmente possui 6 metros

O custo fixo anual seguiu os critérios já previamente informados na metodologia e são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Custo fixo anual (CFA) para diferentes diâmetros da adutora do Pivô 1 – Fazenda Floresta

Diâmetro (mm)	C_{tubo} (R\$ m)	CFA (R\$ m)	CFA (R\$)
0,200	R\$ 64,32	R\$ 9,03	R\$ 8.039,28
0,250	R\$ 96,28	R\$ 13,52	R\$ 12.034,13
0,300	R\$ 136,34	R\$ 19,15	R\$ 17.041,44
0,350	R\$ 206,09	R\$ 28,94	R\$ 25.760,70

A Tabela 7 abaixo apresenta os dados obtidos para o custo operacional anual (COA), incluindo os valores do custo da energia consumida (R\$ kWh⁻¹), com base na CEMIG, e considerando o enquadramento dos proprietários como B2. O valor adotado conforme Eq. 09 é de aproximadamente 0,49559 R\$ kWh⁻¹, para eficiência de 60% conforme tabela 3, com referência para julho de 2023.

Tabela 7 – Custo operacional anual (COA) para diferentes diâmetros da adutora do Pivô 1 – Fazenda Floresta

Diâmetro (mm)	Hf (mca)	Potência (cv)	Consumo (kwh)	COA (R\$)
0,200	47,69	103	111.620,03	R\$ 55.317,79
0,250	16,08	35	37.643,80	R\$ 18.655,90
0,300	6,62	14	15.488,22	R\$ 7.675,81
0,350	3,12	7	7.309,77	R\$ 3.622,65

O custo total anual (CTA) é obtido pela soma dos valores do custo fixo anual (CFA) e do custo operacional anual (COA), conforme Tabela 8. Sendo assim, apresenta-se o Custo Operacional Anual (COA). Nota-se que o diâmetro de 250 mm parece mais atrativo em termos de custo fixo inicial para implantação da adutora em comparação com o diâmetro de 300 mm entretanto é importante considerar o custo operacional, pois ele é inversamente proporcional ao custo inicial, sendo assim ao analisar o custo total anual tabela 8, podemos notar que a escolha

do diâmetro comercial que terá o menor custo total anual será o de 300 mm, uma vez que o seu custo operacional é significativamente menor que o de 250.

Tabela 8 – Custos (fixo, operacional e total) anuais da adutora do Pivô 1 – Fazenda Floresta

Diâmetro (mm)	CFA (R\$)	COA (R\$)	CTA (R\$)
0,200	R\$ 8.039,28	R\$ 55.317,79	R\$ 63.357,07
0,250	R\$ 12.034,13	R\$ 18.655,90	R\$ 30.690,03
0,300	R\$ 17.041,44	R\$ 7.675,81	R\$ 24.717,25
0,350	R\$ 25.760,70	R\$ 3.622,65	R\$ 29.383,35

Um fator relevante é o impacto das bandeiras tarifárias de energia elétrica, que variam de acordo com as condições de oferta e demanda hídrica. Em situações de escassez hídrica, as bandeiras tarifárias tendem a refletir um aumento significativo no custo energético, o que pode influenciar a escolha do diâmetro mais adequado.

Além disso, deve-se levar em conta o consumo de energia do motor elétrico associado ao diâmetro escolhido, bem como o custo do cabeamento necessário para a instalação do sistema de bombeamento.

Nesse contexto, recomenda-se realizar uma análise mais detalhada que leve em conta não apenas o custo operacional imediato, mas também o impacto das bandeiras tarifárias e os custos energéticos em diferentes cenários de oferta hídrica.

Essa afirmação pode ser validada quando se analisa o diâmetro de 350 mm comparando o custo operacional com o diâmetro de 300 mm que parece mais atrativo.

5.4 Definição do diâmetro econômico – Fazenda Agrosalgueiro

A definição do diâmetro econômico na Fazenda Agrosalgueiro seguiu os mesmos critérios adotados na Fazenda Floresta, porém para um pivô que abrange uma área de 120 há (Tabela 9). Os diâmetros selecionados para o estudo foram baseados na vazão fornecida pelo equipamento. Devido ao aumento da área de irrigação, a vazão também aumenta. Portanto, nesse estudo, considerou-se uma bitola inicial da adutora maior em comparação ao estudo anterior. Com base na análise de eficiência de exploração do horário noturno, a lâmina selecionada foi novamente de 10 mm a cada 21 horas. Essa lâmina teoricamente possui uma eficiência estimada superior a 68%. Por outro lado, a mesma lâmina aplicada na região de Unaí, MG, resultou numa eficiência estimada de aproximadamente apenas 65%.

Tabela 9 – Área, lâmina, vazão, comprimento, diâmetro, velocidade da água, perda de carga e potência calculada para a adutora do Pivô 2 – Fazenda Agrosalgueiro

Área (ha)	Lâmina (mm)	Vazão (m ³ h ⁻¹)	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	Velocidade (m s ⁻¹)	Hf (mca)	Potência (cv)
120,0	10,5	571,43	1039,50	0,250	2,95	29,26	83
120,0	10,5	571,43	1039,50	0,300	2,09	12,04	34
120,0	10,5	571,43	1039,50	0,350	1,55	5,68	16
120,0	10,5	571,43	1039,50	0,400	1,21	2,97	8

Os valores de C_{tubo} (R\$ barra⁻¹) representam os preços por barra de 6 metros, que são os comprimentos disponíveis comercialmente. No entanto, é importante destacar que apenas 5,75 metros dessa barra são utilizáveis, devido à perda de aproximadamente 12,5 centímetros em cada extremidade durante a montagem do PVC. Ao calcular o custo total do tubo, é fundamental considerar o comprimento total, levando em conta essa especificidade, a fim de evitar erros no cálculo do custo fixo. Portanto, é necessário realizar o cálculo do custo fixo com atenção a esse detalhe para obter um valor correto. Os valores do custo fixo anual podem ser observados na Tabela 10.

Tabela 10 – Custo fixo anual (CFA) para diferentes diâmetros da adutora do Pivô 2 – Fazenda Agrosalgueiro

Diâmetro (mm)	C_{tubo} (R\$ m ⁻¹)	CFA (R\$ m ⁻¹)	CFA (R\$)
0,250	R\$ 96,28	R\$ 13,52	R\$ 13.386,28
0,300	R\$ 136,34	R\$ 19,15	R\$ 18.956,21
0,350	R\$ 206,09	R\$ 28,94	R\$ 28.655,16
0,400	R\$ 263,16	R\$ 36,96	R\$ 36.589,92

O cálculo do COA representa os valores gastos com energia de acordo com o tempo trabalhado, considerando que o tempo de trabalho adotado para este equipamento foi de aproximadamente 1470 horas e 700 mm irrigados por ano, com lâmina de 10 mm (21 h)⁻¹. Considerou-se que tal lâmina para a Fazenda Agrosalgueiro representa uma fração de exploração do horário noturno próxima de 65% e, também, o valor de R\$ 0,48008 kWh⁻¹, conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 – Custo operacional anual (COA) para diferentes diâmetros da adutora do Pivô 2 – Fazenda Agrosalgueiro

Diâmetro (mm)	Hf (mca)	Potência (cv)	Consumo (kwh)	COA (R\$)
0,250	29,26	83	89.338,92	R\$ 42.890,54
0,300	12,04	34	36.757,74	R\$ 18.319,21
0,350	5,68	16	17.348,06	R\$ 8.328,60
0,400	2,97	8	9.052,58	R\$ 4.346,03

Analisando os valores do custo total anual no primeiro ano, nota-se que o diâmetro de 250 mm é o que possui o melhor custo de investimento inicial (Tabela 12). Entretanto, quanto maior o tempo de análise mais assertiva será a capacidade de tomada de decisão com relação ao diâmetro da adutora. Nos anos seguintes, foram novamente somados os valores de COA, que representam os gastos com energia, evidenciando o diâmetro de 350 mm como mais atrativo para a adutora, embora não seja o de menor custo de investimento no início da operação com a atividade, no primeiro ano. Analisando a tabela acima, podemos observar que os custos anuais têm um impacto significativo no dimensionamento da adutora. De acordo com GOMES (2009), os custos de energia são um fator importante e podem ter um efeito significativo nos custos de manutenção da adutora.

Tabela 12 – Custos (fixo, operacional e total) anuais da adutora do Pivô 2 – Fazenda Agrosalgueiro

Diâmetro (mm)	CFA (R\$)	COA (R\$)	CTA (R\$)
0,250	R\$ 13.386,28	R\$ 42.890,54	R\$ 56.276,82
0,300	R\$ 18.956,21	R\$ 18.319,21	R\$ 37.275,43
0,350	R\$ 28.655,16	R\$ 8.328,60	R\$ 36.983,76
0,400	R\$ 36.589,92	R\$ 4.346,03	R\$ 40.935,96

É importante considerar que os produtores obtiveram financiamentos com um prazo de 10 anos para pagamento, com 2 anos de carência e taxas de juros corrente da época em que os financiamentos foram feitos. Nesse caso, o investimento na adutora de 350 mm se apresenta mais vantajoso, uma vez que o impacto do investimento é significativamente encarecido devido ao pagamento de juros.

As escolhas realizadas para as Fazendas Floresta e Agrosalgueiro, baseadas em critérios econômicos, forneceram resultados promissores para o dimensionamento da tubulação de recalque em sistemas de irrigação, com a obtenção de uma lâmina de irrigação que otimiza o uso do equipamento durante o horário noturno. No entanto, é fundamental destacar a importância da continuidade dos estudos e do acompanhamento do consumo energético em ambas as fazendas, a fim de validar as informações obtidas neste trabalho.

A evolução contínua dessas análises permitirá a verificação e a validação das informações desenvolvidas, bem como a possibilidade de ajustes e refinamentos, se necessário. Isso contribuirá para a geração de um conhecimento técnico mais sólido na área da irrigação, fornecendo informações confiáveis e atualizadas aos produtores.

A demanda crescente por energia e água representa um desafio significativo para o setor agrícola. Portanto, o aprimoramento contínuo dos estudos nessa área é essencial para auxiliar

os produtores na tomada de decisões informadas, visando o uso eficiente desses recursos escassos e o aumento da sustentabilidade dos sistemas de irrigação.

Este trabalho fornece subsídio para uma melhor compreensão do dimensionamento da tubulação de recalque, considerando fatores econômicos e eficiência de irrigação, explorando o máximo potencial de uso da técnica em jornada de trabalho noturno, quando os custos com energia são menores. É importante ressaltar a necessidade de estudos futuros que aprimorem e aprofundem as análises realizadas, contribuindo para o avanço da área de irrigação e fornecendo suporte técnico para os produtores enfrentarem os desafios atuais e futuros relacionados ao consumo de energia e água.

As velocidades com melhor aproveitamento para os diâmetros considerados economicamente viáveis foram de 1,60 e 1,55 m s⁻¹, respectivamente, o que está alinhado com diversos autores mencionados anteriormente, e que pode proporcionar o melhor equilíbrio financeiro na avaliação. Recomenda-se que em trabalhos futuros seja incluída a análise do custo fixo da parte aérea e seu impacto no custo operacional. Essa abordagem permitirá uma perspectiva mais abrangente do sistema como um todo, considerando a composição da parte aérea em diferentes diâmetros comerciais e com o objetivo é encontrar o ponto de equilíbrio ideal entre o custo fixo (adutora e parte aérea) e o custo operacional (energia e manutenção). Isso contribuirá para uma avaliação mais completa e eficiente do sistema.

A escolha adequada do diâmetro da tubulação de recalque é crucial para o desempenho eficiente do sistema de irrigação. Além disso, é essencial considerar os aspectos financeiros ao longo do tempo para garantir uma decisão acertada. Portanto, recomenda-se realizar uma análise criteriosa, levando em conta as técnicas de manejo de irrigação, uma vez que o consumo varia de acordo com as fases de desenvolvimento da cultura, a área de aplicação e as culturas comerciais de cada localidade, considerando também as variações climáticas e os custos de manutenção. Além disso, é importante levar em conta o custo da composição da parte aérea da adutora, pois essa pode ter um grande impacto no custo total de energia.

Ao realizar essas análises em outros estudos, será possível obter maior clareza e assertividade no dimensionamento econômico dos sistemas de irrigação. Dessa forma, será possível tomar decisões mais assertivas para escolher o sistema de bombeamento mais adequado e eficiente em cada contexto.

Por fim, este estudo fornece informações valiosas para auxiliar os agricultores e profissionais do setor na tomada de decisões relacionadas ao dimensionamento e seleção adequada da tubulação de recalque em sistemas de irrigação, com possíveis contribuições para

o avanço do conhecimento e subsídios práticos para a eficiência e sustentabilidade da agricultura irrigada.

6. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos verificou-se que a lâmina de irrigação de 10 mm a cada 21 horas demonstrou uma eficiência de exploração do tempo de funcionamento em horário noturno variando entre 60% e 64% na região de Unaí – MG. Para Formosa - GO, essa eficiência foi estimada entre 65% e 68% durante o horário noturno.

Ao considerar os diâmetros calculados para a tubulação de recalque, o diâmetro de 300 mm foi a escolha mais adequada para o Pivô 1 (Fazenda Floresta), enquanto o diâmetro de 350 mm se mostrou mais apropriado para o Pivô 2 (Fazenda Agrosalgueiro), ambos com velocidade de escoamento da água na adutora de aproximadamente $1,6 \text{ m s}^{-1}$. Vale ressaltar que a seleção do diâmetro deve ser baseada em uma análise financeira abrangente, levando em consideração os custos fixos e operacionais associados.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília, DF: ANA, 2017. 86 p. 12

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Nota Técnica nº 0126/2010-SRD/SRE/Aneel - Brasília-DF, 2010**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: 1 de junho de 2023

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Disponível em: <<http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>>. Acesso em: 11 de junho de 2023.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO – Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALENCAR, L. P. de; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C. **Estimativa da Evapotranspiração de Referência (ET_o Padrão FAO), para Minas Gerais, na Ausência de Alguns Dados Climáticos**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 35, n. 1, p. 39-50, 2015

BARRETO, A. N.; SILVA, A. M.; LOPES, W. S. **Importância da irrigação na agricultura brasileira: desafios e perspectivas**. Revista Irriga, Botucatu, v. 25, n. 3, p. 541-556, 2020.

BATISTA, M.B.; COELHO, M.M.L.P. **Fundamentos de engenharia hidráulica**. Belo Horizonte, UFMG, 2003. 440 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa. Ed: UFV, 2006. 625 p.

BORGHETTI, J. R. et al. (Editores). **Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil: Identificação de Áreas Prioritárias**. Brasília: Embrapa, 2017.

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. PROIRIGA - Programa de Modernização e Fortalecimento da Irrigação. Disponível em:

<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/proirriga>. Acesso em: 14 jul. 2023.

CARVALHO, J.A.; REIS, J.B.R.S. **Avaliação dos custos de energia de bombeamento e determinação do diâmetro econômico da tubulação**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v.24, n.2, p.411-449, 2000.

CARVALHO, J. A.; OLIVEIRA, L. F. C.; **Instalação de bombeamento para irrigação: hidráulica e consumo de energia**. 3. Ed., rev. e ampl. – Lavras: Ed. UFLA, 2020.

CEMIG. **Valores de tarifas e serviços**. Disponível em:

<https://www.cemig.com.br/atendimento/valores-de-tarifas-e-servicos/>. Acesso em: 14 jul. 2023.

COLOMBO, A. Pivô central. In: MIRANDA, J. H. de; PIRES, R. C. de. M. **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2003. Cap. 11. v.2. p. 209-258.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. (2014). **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, safras: 2013/2014**. Brasília, DF.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. (2015). **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, safras: 2014/2015**. Brasília, DF.

COSTA, J. de O.; COELHO, R. D.; ALMEIDA, A. N. de; FARIAS, A.I.J. **Energia elétrica e irrigação no Brasil: impacto das bandeiras tarifárias**. Piracicaba, Brasil, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Esalq/Universidade de São Paulo – USP, junho 2017.

DANNA, D.; PAIVA, L. H. **Economia comportamental e o aperfeiçoamento das bandeiras tarifárias da energia elétrica**. Revista de Estudos em Gestão, Economia e Negócios (REGEN), v. I, n. I, p. 130-156, 2020.

EMBRAPA. **Evolução da produção. Brasília, DF: Embrapa, 2018.** Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/153552/1/Evolucao-da-producao.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2023.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Perspectivas da agricultura e do desenvolvimento rural nas Américas: Uma visão para a América Latina e Caribe 2015-2026.** Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/DdPXZbMzxby89xBDg3XCTgr/?lang=pt>. Acesso em: 16 jun. 2023.

GOMES, H. P.; BEZERRA, S. de T. M. Ações de Eficiência Energética. In: GOMES, H. P.; CARVALHO, P. S. O. de. (org). **Manual de Sistemas de Bombeamento: eficiência energética.** João Pessoa: Editora Universitária UFPB, 2012. p. 129-140.

GOMES, H. P. **Abastecimento de água.** João Pessoa: LENHS/UFPB, 2019.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas (1961- 1999),** Versão Revista e Ampliada. Brasília: Inmet, 2010. CD-ROM. KÖPPEN, W. Grundriss der Klimakunde: Outline of climate science. Berlin: Walter de Gruyter, 1931. 388p.

JARDIM, S. B. **Sistema de Bombeamento.** 1 ed. Porto Alegre: Sagra-de Luzzatto, 1992. 164p.

LIMA, A. C.; GUIMARÃES JÚNIOR, S.C.; FIETZ, C.R; CAMACHO, J.R. **Avaliação e análise da eficiência energética na irrigação em sistemas de pivô central.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, n.4, jul./ago., 2009.

LIMA, A. C.; GUIMARÃES JÚNIOR, S.C.; CAMACHO, J.R.; SALERNO, C.H. **Desenvolvimento de indicadores de eficiência energética para avaliação de pivôs centrais de irrigação.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa. Anais... Jaboticabal: SBEA, 2006. 1 CD-ROM.

LIMA, L. A. **Pivô central: história e características**. **Blog Irrigação**, 2010. Disponível em: <https://irrigacao.blogspot.com/2010/02/pivo-central-historia-e-caracteristicas.html>. Acesso em: 14 jul. 2023.

LEITE, C. V.; ALVES J. J.; VICENTE, M. R.; EVANGELISTA, A.W. P.; CASAROLI, D. **Jornada diária de trabalho como critério de dimensionamento econômico para sistemas de irrigação por pivô central**. *Revista Engenharia na Agricultura*, v. 26, n. 6, p. 526-540, 2018.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras – UFLA. 2007

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. Ed., Editora UFV. Viçosa. 2009. 355 p.

MEDEIROS, Antônio M. M. **Otimização de sistemas de irrigação por aspersão pivô central** [manuscrito]. 2010. (Dissertação de Doutorado) – Universidade Federal de Goiás, Goiás, GO.2010.

NOVAIS, Giuliano Tostes. **Classificação climática aplicada ao Estado de Goiás e ao Distrito Federal, Brasil**. *Boletim Goiano de Geografia, Formosa*, v. 40, p. e62297, 2020. DOI: 10.5216/BGG.v40.62297.

NUNES, M. F. **Custo de produção em área irrigada de soja, milho e feijão no Noroeste Paulista**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Engenharia - Campus de Ilha Solteira. 2021.

ONU. United nations, department of economic and social affairs. The United Nations, Population Division, Population Estimates and Projections Section, 2012.

PERES, J. G. **Hidráulica Agrícola**. São Carlos: EdUFSCAR, 2019. 419 p.

PERRONI, B. L. T.; CARVALHO, J. A.; FARIA, L.C. **Velocidade econômica de escoamento e custos de energia de bombeamento**. Engenharia Agrícola, v.31, n.3, p.487-496, 2011. DOI:10.1590/S0100-69162011000300009.

Rodrigues, L. N. **Agricultura irrigada e sua importância na produção de alimento. Nexo Água-Alimento**, [s.l.], [s.n.]. Disponível em: [https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/71510678/artigo-agricultura-irrigada-e-sua-importancia-na-producao-de-alimento-nexo-agua-](https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/71510678/artigo-agricultura-irrigada-e-sua-importancia-na-producao-de-alimento-nexo-agua-alimento#:~:text=Ela%20traz%20benef%C3%ADcios%20importantes%20relacionados,h%C3%ADrica%2C%20cada%20vez%20mais%20comuns)

[alimento#:~:text=Ela%20traz%20benef%C3%ADcios%20importantes%20relacionados,h%C3%ADrica%2C%20cada%20vez%20mais%20comuns](https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/71510678/artigo-agricultura-irrigada-e-sua-importancia-na-producao-de-alimento-nexo-agua-alimento#:~:text=Ela%20traz%20benef%C3%ADcios%20importantes%20relacionados,h%C3%ADrica%2C%20cada%20vez%20mais%20comuns). Acesso em: 16 jun. 2023.

SAATH, K. C.de O.; FACHINELLO, A. L.. **Crescimento da Demanda Mundial de Alimentos e Restrições do Fator Terra no Brasil**. Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos, [S.l.], v. 13, n. 2, p. 251-271, jun. 2019.

SILVA, S. C. S. **Custo de bombeamento de água em sistema de irrigação sob diferentes modalidades tarifárias**. Dissertação (Mestrado Profissional em Conservação dos Recursos Naturais do Cerrado) - Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, 2020.

SILVA, J. A. O. **Projeto de saneamento Caiapônia**. Trabalho apresentado na disciplina de saneamento básico- Curso de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2018.

SILVA, J. F. F.; VIEIRA, J. M. P.; HAIE, N. **Dimensionamento Otimizado de Sistemas Adutores Elevatórios de Água Uma ferramenta essencial para o planejamento e gestão dos sistemas de abastecimento de água** Engenharia Civil – UM, n.16, 2003.

SILVA, D.V; CUNHA. F.F; VICENTE. M.R; ALENCAR.C. A. B; SOUZA.I.P. **Análise de precipitação, balanço hídrico climatológico e classificação climática no município de Unaí-MG**. Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium, Ituiutaba, v. 8, n. 1, p. 68-82, jan. / jun. 2017.

SOBREIRA, M. de G. **Análise tarifária de modalidades de contratação de energia no setor elétrico brasileiro**. Recife, 2023.

TOLEDO, C. E.; ALBUQUERQUE, P. E. P. de; SOUZA, C. M. P. de. Eficiência da **Aplicação da Água por Pivô Central em Diferentes Regiões de Minas Gerais**. Irriga, Botucatu, v. 22, n. 4, p. 821-831, outubro-dezembro, 2017.

VIEIRA, P. A.; CONTINI, E.; HENZ, G. P.; NOGUEIRA, V. G. de C. (Eds.). **Geopolítica do alimento: o Brasil como fonte estratégica de alimentos para a humanidade**. Brasília, DF: Embrapa, 2019.

ZOCOLER, J.L.; BAGGIO FILHO, F.C.; OLIVEIRA, L.A.F.; HERNANDEZ, F.B.T. **Model for determining flow diameter and economic velocity in water elevating systems**. **Mathematical Problems in Engineering**, Nasr City, v.2006, p.1-17, 2006.