



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE BOM JESUS DA LAPA
ENGENHARIA MECÂNICA

FLÁVIA GUEDES LARANJEIRA BARBOSA

DURABILIDADE DE BOMBAS UTILIZADAS NA IRRIGAÇÃO COM ÁGUA
PROVENIENTE DE SISTEMAS DE SANEAMENTO RURAL: ESTUDO DE CASO E
AVALIAÇÃO TÉCNICA

BOM JESUS DA LAPA-BA

2025

FLÁVIA GUEDES LARANJEIRA BARBOSA

DURABILIDADE DE BOMBAS UTILIZADAS NA IRRIGAÇÃO COM ÁGUA
PROVENIENTE DE SISTEMAS DE SANEAMENTO RURAL: ESTUDO DE CASO E
AVALIAÇÃO TÉCNICA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia
Mecânica, do Centro Multidisciplinar de
Bom Jesus da Lapa, da Universidade
Federal do Oeste da Bahia.

ORIENTADOR: PROF. ME. IURI BENEDITO DA SILVA SANTOS

BOM JESUS DA LAPA-BA

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

B238

Barbosa, Flávia Guedes Laranjeira

Durabilidade de bombas utilizadas na irrigação com água proveniente de sistemas de saneamento rural: estudo de caso e avaliação técnica. / Flávia Guedes Laranjeira Barbosa. – 2025.

53f.: il.

Orientador: Prof. Me. Iuri Benedito da Silva Santos

TCC - Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa - BA, 2025.

1. Irrigação. 2. Bombas hidráulicas. 3. Agricultura familiar. 4. Engenharia Mecânica. I. Santos, Iuri Benedito da Silva. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia – Centro Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa - BA. III. Título.

CDD 631.587

Biblioteca Universitária de Bom Jesus da Lapa – UFOB

FLÁVIA GUEDES LARANJEIRA BARBOSA

DURABILIDADE DE BOMBAS UTILIZADAS NA IRRIGAÇÃO COM ÁGUA
PROVENIENTE DE SISTEMAS DE SANEAMENTO RURAL: ESTUDO DE CASO E
AVALIAÇÃO TÉCNICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
curso de Engenharia Mecânica, do Centro
Multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa, da
Universidade Federal do Oeste da Bahia.

Bom Jesus da Lapa, 18 de dezembro de 2025.

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou este Projeto:

Prof. Me. Iuri Benedito da Silva Santos

Universidade Federal do Oeste da Bahia-UFOB

Prof. Me. Lucas Aninger De Barros Rocha

Universidade Federal do Oeste da Bahia-UFOB

Eng. Lindanir de Jesus Silva

Cooperativa de produtores Rurais Grande Oeste- CPRGO

BOM JESUS DA LAPA-BA

2025

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, fruto de esforço e perseverança, primeiramente a Deus, pela força e inspiração em cada etapa desta jornada.

À minha amada filha Maria Júlia, que é a minha maior motivação e alegria, por cada sorriso e por me mostrar a beleza da vida além de qualquer desafio.

Ao meu esposo João Marcus, pelo apoio incondicional, paciência e incentivo constante que foram essenciais para a realização deste sonho

Ao meu pai Diron (in memoriam), por seus ensinamentos e por ser uma estrela guia que ilumina o meu caminho. Sua memória e seu legado vivem em mim.

À minha mãe Elisângela, por seu amor inabalável, por acreditar em mim e por ser um exemplo de dedicação e resiliência.

À minha irmã Palloma, pela parceria, carinho e por estar sempre ao meu lado, compartilhando os desafios e as vitórias.

Aos meus avós Célia, Carlos Leônidas, Onilda e Rosalvo (in memoriam) pela sabedoria, pelo amor e pelas raízes que me sustentam e me inspiram a seguir em frente.

E aos meus colegas, em especial: Flávio e Marlon, pela jornada compartilhada, pelo companheirismo e pelas trocas que enriqueceram tanto a minha formação quanto a minha vida.

A vocês, minha eterna gratidão e todo o meu amor.

“Já fracassei e tropecei nos meus próprios erros, mas superei e fiquei de pé, vou vencer
qualquer dificuldade não importa o tamanho que ela é!”

Cil Alves

RESUMO

Este trabalho investiga a durabilidade de bombas hidráulicas utilizadas na irrigação com água residuária tratada em propriedades rurais do Semiárido brasileiro. A pesquisa tem como objetivo principal compreender os impactos técnicos e operacionais decorrentes do uso de efluentes no desempenho das bombas, especialmente em contextos de agricultura familiar com infraestrutura limitada. A metodologia adotada incluiu revisão bibliográfica, seleção de estudo de caso, entrevistas semiestruturadas e observações técnicas em campo. Os resultados esperados envolvem a identificação de fatores críticos que afetam a durabilidade dos equipamentos, como abrasividade, corrosão, entupimentos e consumo energético elevado, propondo soluções de baixo custo e adaptadas à realidade rural. A contribuição da pesquisa está no fornecimento de dados técnicos que auxiliem na escolha de materiais, manutenção preventiva e dimensionamento adequado de bombas, fortalecendo a resiliência hídrica da agricultura familiar.

Palavras-chave: irrigação, bombas hidráulicas, águas residuárias, durabilidade, agricultura familiar.

ABSTRACT

This work investigates the durability of hydraulic pumps used in irrigation with treated wastewater in rural areas of the Brazilian Semi-arid region. The main goal is to understand the technical and operational impacts of using effluents on pump performance, particularly in smallholder agriculture with limited infrastructure. The methodology included literature review, case study selection, semi-structured interviews, and technical field observations. Expected results include the identification of critical factors affecting equipment durability such as abrasiveness, corrosion, clogging, and high energy consumption, proposing low-cost and rural-adapted solutions. The analysis also aims to support public policies related to efficient water use and sustainable irrigation in the Semi-arid region. The research contributes technical data to assist in material selection, preventive maintenance, and proper pump sizing, enhancing the water resilience of smallholder farming.

Keywords: irrigation, hydraulic pumps, wastewater, durability, smallholder agriculture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Representação esquemática das unidades do sistema SITRAE, com reatores anaeróbios, filtros e distribuição do efluente tratado no solo cultivado com milho.	16
Figura 2- Ilustração esquemática dos impactos do reuso de águas residuais na agricultura. (a) Impactos ambientais associados à irrigação com águas residuais tratadas; (b) Riscos à saúde pública decorrentes do uso de águas residuais tratadas na irrigação de culturas; (c) Impactos econômicos da irrigação com águas residuais tratadas.	18
Figura 3- Corte da bomba centrífuga	22
Figura 4- Bomba Monoestágio	22
Figura 5- Bomba Multiestágio	23
Figura 6- Bomba Submersível	23
Figura 7 - Bomba Submersa Tipo Caneta	24
Figura 8- Partes da carcaça e do rotor de uma bomba periférica: A. Sucção, B. Descarga, C. Canal, D. Palhetas.....	25
Figura 9- A pressão produzida em uma bomba periférica aumenta continuamente da sucção à descarga: A. Sucção, B. Descarga. P. Pressão, onde $P_4 > P_3 > P_2 > P_1$	25
Figura 10- Emissores com proteção anti-inseto e membrana autocompensante. Fonte: Vasconcelos & Barbosa (2016).	28
Figura 11- Lagoas de Polimento- tratamento solar das águas residuárias.....	36
Figura 12- REATOR UASB.....	37
Figura 13- Manutenção realizada na bomba.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Ficha Técnica Da Bomba Da ETFAB	38
Tabela 2- Checklist de Manutenção e Falhas Da ETFAB	39
Tabela 3- Ficha Técnica da Bomba da EFAMJ	40
Tabela 4- Checklist de Manutenção e Falhas da EFAMJ	41
Tabela 5- Ficha Técnica da Bomba da EFA Caculé	42
Tabela 6- Checklist de Manutenção e Falhas da EFA Caculé	42
Tabela 7- Ficha Técnica da Bomba da EFA Jaboticaba	43
Tabela 8- Checklist de Manutenção e Falhas da EFA Jaboticaba	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

FAO. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Consulte

IoT. Internet das Coisas

MCA. Metros de Coluna de Água

SITRAE. Sistema Integrado de Tratamento e Reuso Agrícola de Esgoto

UASB. Upflow Anaerobic Sludge Blanket

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 OBJETIVO GERAL	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
1.2 JUSTIFICATIVA	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 A agricultura familiar no semiárido brasileiro.....	19
2.2 Semiárido brasileiro	20
2.3 Bombas hidráulicas.....	21
2.3.1 Tipos de bombas hidráulicas	21
2.3.2 Componentes principais	26
2.4 Dimensionamento	26
2.5 Manutenção.....	28
2.6 Manutenção em bombas hidráulicas.....	31
3 METODOLOGIA.....	33
3.1 1ª ETAPA: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:	33
3.2 2ª ETAPA: SELEÇÃO DE CASO:	33
3.3 3ª ETAPA: COLETA DE DADOS:	34
3.4 4ª ETAPA: REVISÃO DE DADOS:	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4.1 RESULTADOS	36
4.2 DISCUSSÃO	38
5 CONCLUSÃO.....	45
REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

A agricultura familiar tem um papel essencial na segurança alimentar e na economia do Brasil. Segundo o IBGE (2017), mais de 77% dos estabelecimentos rurais são classificados nessa categoria, sendo responsáveis por cerca de 70% dos alimentos consumidos internamente. Além da produção de alimentos, esse modelo preserva tradições, fortalece comunidades e incentiva práticas sustentáveis no uso dos recursos naturais.

Entretanto, agricultores familiares enfrentam desafios constantes, especialmente na disponibilidade de água para irrigação, algo ainda mais crítico em regiões de escassez hídrica, como o Semiárido brasileiro. Com as mudanças climáticas e o uso inadequado dos recursos hídricos, soluções alternativas vêm ganhando espaço, como o reúso de águas residuárias tratadas. De acordo com estudos (SILVA, 2014; FAO, 2020), essa prática permite a preservação da água potável e melhora a fertilidade do solo devido aos nutrientes presentes no esgoto tratado (VON SPERLING, 2005; BRASIL, 2014).

No Semiárido, projetos como o Sistema Bioágua Familiar e o Projeto REAQUA mostram que é possível tratar e reutilizar efluentes domésticos na irrigação, garantindo segurança hídrica e alimentar para as famílias agricultoras (CEPAL, 2020; MORAES et al., 2023; MOURA et al., 2023). No entanto, para que esses sistemas funcionem de forma eficiente, é necessário investimento em infraestrutura adequada. As bombas hidráulicas, fundamentais para a irrigação, enfrentam desafios técnicos ao lidar com efluentes, pois estes fluidos apresentam maior quantidade de partículas em suspensão, matéria orgânica e substâncias gordurosas que podem afetar os equipamentos (TONETTI et al., 2018; GRANATA et al., 2016; ALMEIDA et al., 2018).

A abrasividade e viscosidade da água de reúso podem acelerar o desgaste de componentes como rotores e vedantes, tornando a manutenção mais frequente e aumentando os custos operacionais (GOMES et al., 2017; PEREIRA et al., 2017). Além disso, problemas como entupimentos, corrosão de partes metálicas e a formação de biofilmes podem comprometer a distribuição da água e reduzir a eficiência dos sistemas de irrigação (PIGNATA et al., 2017; BATCHABANI; FUAMBA, 2012).

A escolha de materiais adequados e o correto dimensionamento da rede hidráulica são fundamentais para a durabilidade das bombas. No entanto, em áreas rurais com infraestrutura precária, esses cuidados nem sempre são adotados, o que pode comprometer a longevidade dos equipamentos e a viabilidade dos sistemas (SANTIAGO et al., 2015; AMALFITANO et al., 2017). Além disso, a falta de regulamentações específicas para o reúso agrícola em pequena escala e a escassez de estudos sobre o desempenho real dos equipamentos dificultam a expansão dessas soluções.

Outro fator crítico é a energia necessária para manter os sistemas funcionando. Bombas mal dimensionadas ou ineficientes podem elevar os custos operacionais e reduzir sua vida útil (CHOWDHURY et al., 2020; JONES, 2016). Como alternativa, pesquisadores vêm desenvolvendo estratégias para otimizar o uso da energia, como sistemas híbridos com energia solar e materiais mais resistentes à abrasão (MORAN, 2016; KUREK; OSTFELD, 2013).

Com milhões de brasileiros ainda sem acesso ao saneamento básico (IBGE, 2017), é fundamental desenvolver tecnologias acessíveis e eficientes para garantir a sustentabilidade da agricultura familiar. Bombas hidráulicas duráveis e bem projetadas são essenciais para a viabilidade desses sistemas de irrigação. Por isso, compreender o comportamento desses equipamentos em uso com águas residuárias tratadas torna-se essencial para melhorar seu desempenho, reduzir falhas e propor alternativas mais eficientes, tanto em termos de materiais quanto de consumo energético.

Neste contexto, o presente trabalho busca contribuir com o avanço de soluções técnicas voltadas à irrigação sustentável, fornecendo subsídios para decisões de engenharia, inovações tecnológicas voltadas ao fortalecimento da agricultura familiar no Semiárido brasileiro.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este estudo investiga a durabilidade e o desempenho das bombas hidráulicas na irrigação com água de reúso, analisando seus impactos e propondo soluções para aumentar sua vida útil e eficiência.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O foco é identificar os desafios das bombas ao operar no sistema de irrigação com água de reuso proveniente de unidades de saneamento rural, avaliando seu funcionamento e alternativas para melhorar a eficiência, como materiais mais resistentes e novas tecnologias.

- I. Identificar os desafios enfrentados pelas bombas hidráulicas ao operar com águas residuárias tratadas no Semiárido brasileiro;
- II. Avaliar o funcionamento das bombas em sistemas de irrigação;
- III. Explorar alternativas para melhorar a eficiência dos equipamentos, como o uso de materiais mais resistentes;
- IV. Analisar a importância da capacitação técnica dos operadores para o uso e manutenção adequada de sistemas de irrigação com água de reuso.

1.2 JUSTIFICATIVA

A escassez de água no Semiárido torna o reuso de águas residuárias uma solução viável para a irrigação. No entanto, as bombas hidráulicas enfrentam desgaste acelerado devido às partículas e substâncias presentes na água. A falta de estudos detalhados e regulamentações específicas dificulta a implementação de sistemas eficientes.

Devido às falhas das bombas, os impactos são significativos: redução da produtividade, perda de cultivos e insegurança alimentar. A limitação de acesso à água compromete a alimentação escolar, agravando o custo econômico e a aprendizagem dos alunos.

Diante desse cenário, esta pesquisa visa fornecer informações técnicas e práticas que auxiliem na escolha e uso de bombas hidráulicas mais duráveis e eficientes, contribuindo para decisões mais acertadas por parte dos operadores, alunos e gestão. O estudo também busca fortalecer a segurança hídrica e alimentar das Escolas Família Agrícola da Rede AECOFABA, por meio de soluções acessíveis e sustentáveis que viabilizem a continuidade da produção agrícola mesmo em condições adversas de disponibilidade hídrica.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

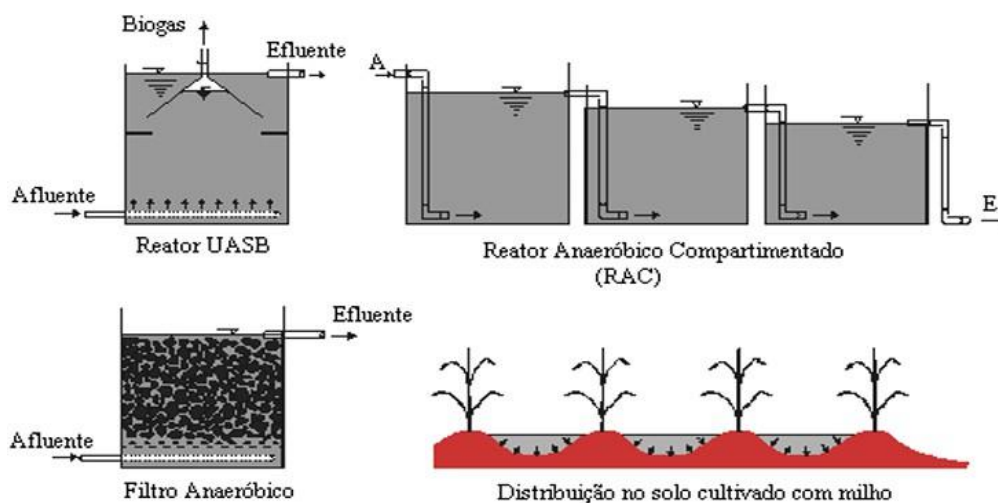
A crescente escassez de recursos hídricos tem estimulado a adoção de práticas alternativas na agricultura, entre as quais se destaca o reuso de águas residuárias tratadas para fins de irrigação. Essa abordagem tem sido amplamente discutida na literatura científica, que ressalta seus benefícios econômicos, ambientais e agronômicos. De acordo com Jaramillo e Restrepo (2017), o reuso de águas residuais pode reduzir significativamente a pressão sobre fontes convencionais de água doce e, ao mesmo tempo, contribuir para o controle da poluição hídrica. Além disso, essa prática permite o aproveitamento de nutrientes presentes no efluente, o que se traduz em economia com fertilizantes e incremento da produtividade agrícola.

Nesse contexto, estudos como o de Javarez Júnior et al. (2010) mostraram a viabilidade do uso de efluentes provenientes de sistemas modulares de tratamento, compostos por reatores anaeróbios do tipo UASB e filtros anaeróbios, para irrigação da cultura do milho. Os resultados indicaram ganhos de produtividade de até 6593 kg/ha durante a safrinha, além de significativa redução nos custos operacionais. Esses sistemas demonstraram boa eficiência de remoção de carga orgânica, mesmo operando com baixo custo energético, o que os torna adequados para pequenas comunidades rurais. No entanto, tais sistemas ainda apresentam desafios relacionados à estabilidade da qualidade do efluente ao longo do tempo e ao risco sanitário, principalmente em cultivos cujas partes comestíveis estão em contato direto com a água aplicada.

A Figura 1 apresenta uma representação esquemática do Sistema Integrado de Tratamento e Reuso Agrícola de Esgoto (SITRAE), utilizado no experimento com irrigação da cultura do milho. O sistema é composto por diferentes unidades de tratamento: um reator anaeróbio do tipo UASB, um reator anaeróbio compartimentado (RAC) e filtros anaeróbios. Após o tratamento, o efluente é direcionado para distribuição controlada no solo cultivado.

Essa configuração modular, feita com materiais de baixo custo como PVC e fibra de vidro, permite que a operação em condições reais de campo, considerando as variações de vazão e facilitando sua adoção por pequenas propriedades rurais.

Figura 1- Representação esquemática das unidades do sistema SITRAE, com reatores anaeróbios, filtros e distribuição do efluente tratado no solo cultivado com milho.



Fonte: Adaptado de JAVAREZ JÚNIOR, A. et al. (2010).

A qualidade do efluente é um fator determinante para a eficiência e longevidade dos sistemas hidráulicos utilizados na irrigação. Parâmetros como condutividade elétrica, pH, carga de sólidos em suspensão, turbidez e presença de nutrientes como nitrogênio e fósforo influenciam diretamente a operação de bombas hidráulicas. Mancuso e Santos (2003) apontam que águas com elevada concentração de sólidos em suspensão tendem a causar abrasão e obstrução de componentes mecânicos, comprometendo a durabilidade das bombas. Esse fator é particularmente relevante quando se consideram os efeitos cumulativos da operação contínua em ambientes rurais, muitas vezes desprovidos de manutenção técnica especializada.

Neste cenário, as bombas hidráulicas desempenham papel fundamental, pois são os principais equipamentos responsáveis por garantir o transporte contínuo e pressurizado da água de reuso desde os pontos de tratamento até os sistemas de irrigação (ZUIDEMA et al., 2020). A operação desses equipamentos está diretamente condicionada às características físico-químicas do efluente, como a presença de sólidos suspensos, sais dissolvidos e variações de pH, que podem causar desde incrustações e corrosão em componentes metálicos até aumento da perda de carga em tubulações (PISTOCCHI et al., 2018).

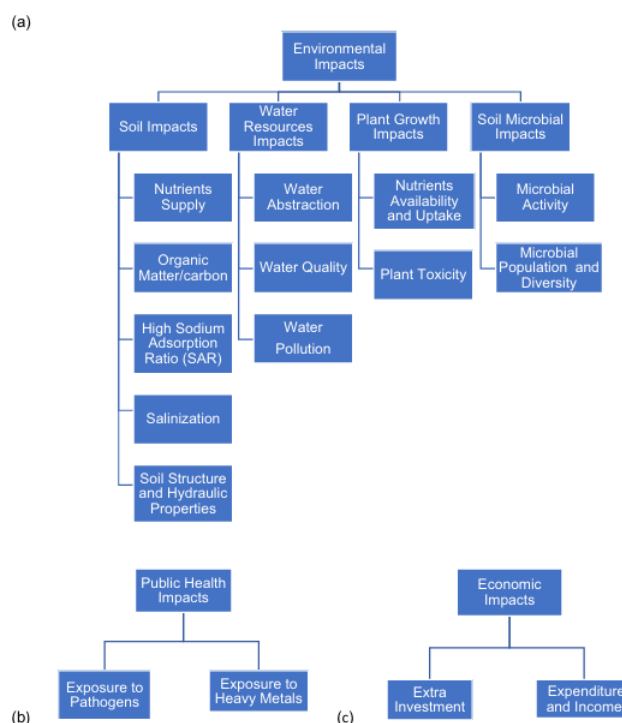
De acordo com Barreto e Campos (2009), sistemas operando com água residuária apresentaram aumento de até 30,77% nas perdas de carga em adutoras e até 22,02% em

mangueiras, quando comparados à operação com água limpa, implicando maior exigência de potência das bombas e consequente desgaste dos seus componentes. Além disso, o dimensionamento e escolha adequada das bombas são decisivos para assegurar a eficiência energética e operacional do sistema como um todo. A correta compatibilização entre a pressão exigida pelos emissores e a capacidade das bombas evita tanto o subdimensionamento, que pode comprometer a uniformidade da irrigação, quanto o superdimensionamento, que resulta em consumo energético excessivo e redução da vida útil dos equipamentos (BELAUD et al., 2020).

A influência da qualidade da água sobre a eficiência dos sistemas de irrigação por gotejamento foi estudada por Al-Mefleh et al. (2021), os quais analisaram o desempenho de emissores sob diferentes pressões operacionais com uso de águas residuárias tratadas. Observou-se que, embora a vazão média tenha se mantido relativamente estável em diferentes faixas de pressão, a tendência ao entupimento aumentava com o tempo de operação, especialmente quando a pressão era inferior a 0,5 bar. Esse resultado evidencia a importância da pressão adequada na operação dos emissores, pois pressões insuficientes favorecem a sedimentação de partículas e, conseqüentemente, exigem que as bombas operem em faixas mais elevadas, o que pode gerar sobrecarga e desgaste precoce.

A durabilidade dos equipamentos hidráulicos também está associada à escolha do método de irrigação, conforme analisado por Vasconcelos e Barbosa (2016), em estudo sobre a adequação de técnicas de irrigação com uso de água de reuso em plantações de eucalipto. Os autores realizaram uma análise comparativa de diversos métodos de irrigação, considerando critérios técnicos e operacionais como propensão ao entupimento, necessidade de mão de obra, custos de manutenção e eficiência na aplicação da água. Constatou-se que o sistema de micro aspersão apresentou o melhor desempenho geral, sendo mais resistente a obstruções, adequado a diferentes topografias e menos exigente em termos de pressão, o que contribui para a preservação das bombas e menor necessidade de intervenção técnica.

Figura 2- Ilustração esquemática dos impactos do reuso de águas residuais na agricultura. (a) Impactos ambientais associados à irrigação com águas residuais tratadas; (b) Riscos à saúde pública decorrentes do uso de águas residuais tratadas na irrigação de culturas; (c) Impactos econômicos da irrigação com águas residuais tratadas.



Fonte: Elaborada com base em informações de JARAMILLO e RESTREPO (2017); OFORI et al. (2021).

Adicionalmente, estudos internacionais, como o de Ofori et al. (2021), destacam que a aplicação de águas residuárias tratadas pode afetar a estrutura do solo, provocar salinização e alterar a microbiota local. Esses fatores, ao impactarem a condutividade hidráulica do solo, também influenciam a carga de trabalho das bombas hidráulicas, exigindo ajustes operacionais e, por vezes, substituições mais frequentes dos equipamentos. A presença de contaminantes emergentes, como micro plásticos e resíduos farmacêuticos, também representa uma preocupação crescente em relação ao acúmulo de incrustações em partes móveis das bombas, o que reforça a necessidade de manutenção preditiva e uso de materiais resistentes à corrosão.

Por fim, do ponto de vista econômico, o reuso de águas residuárias apresenta vantagens relevantes. Além da redução de custos com fertilizantes, como apontado por Jaramillo e

Restrepo (2017), o uso de efluentes permite a ampliação da área irrigada mesmo em regiões com baixa disponibilidade hídrica, aumentando a resiliência dos sistemas agrícolas. No entanto, essas vantagens só se concretizam plenamente quando há compatibilidade entre a qualidade da água e os componentes hidráulicos utilizados, o que inclui o dimensionamento correto das bombas, o uso de filtros eficientes e a adoção de práticas regulares de manutenção.

Conclui-se, portanto, que a durabilidade e eficiência das bombas hidráulicas em sistemas de irrigação que utilizam águas residuárias tratadas estão intrinsecamente ligadas à qualidade do efluente, à escolha apropriada do sistema de irrigação e às condições operacionais, especialmente de pressão. Embora o reuso represente uma solução promissora para a sustentabilidade hídrica e agrícola, sua implementação exige planejamento técnico detalhado, avaliação periódica da qualidade da água e adequação dos sistemas hidráulicos às particularidades do ambiente rural. O equilíbrio entre eficiência energética, longevidade dos equipamentos e segurança ambiental é fundamental para o sucesso dessas iniciativas a longo prazo.

2.1 A agricultura familiar no semiárido brasileiro

A agricultura familiar no Semiárido brasileiro desempenha papel estratégico na segurança alimentar e na sustentabilidade rural, embora enfrente grandes desafios ambientais, climáticos e socioeconômicos. A região semiárida, que se estende por nove estados do Nordeste e parte do norte de Minas Gerais, abriga cerca de 26 milhões de habitantes e apresenta baixos índices pluviométricos (entre 400 e 800 mm anuais), com distribuição irregular (Santos et al., 2023).

Segundo Nunes, Cruz e Silva (2020), mais de 80% dos estabelecimentos agropecuários da região pertencem à agricultura familiar, a qual, apesar de sua importância para o abastecimento local, opera com baixa mecanização, limitada capacidade de investimento e acesso restrito à assistência técnica. Essa condição estrutural limita a adoção de tecnologias voltadas ao uso eficiente da água, como irrigação localizada ou reuso de efluentes tratados.

Além disso, a predominância de pequenas propriedades é um fator restritivo para o uso de tecnologias de armazenamento e distribuição hídrica. Cerca de 63,4% dos estabelecimentos da agricultura familiar no Semiárido possuem até 10 hectares, o que compromete o uso de

técnicas modernas de irrigação e exige soluções de baixo custo e simples manutenção (Nunes, Cruz e Silva, 2020). O acesso à assistência técnica e extensão rural também é extremamente limitado: apenas 18,2% dos agricultores familiares declararam ter recebido algum tipo de orientação técnica segundo o Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2020).

Baiardi (2017) destaca que a construção histórica da agricultura familiar no Brasil, marcada por processos de marginalização e políticas agrícolas voltadas prioritariamente ao agronegócio, agravou as dificuldades de estruturação produtiva no Semiárido. Como resposta, políticas públicas como o Programa "Água para Todos" e a construção de cisternas têm buscado ampliar o acesso à água para produção e consumo humano, representando avanços significativos para a convivência com a seca (Santos et al., 2023).

Outro ponto relevante é a articulação social e o cooperativismo. Experiências de organização coletiva têm demonstrado que o acesso a mercados institucionais, crédito e tecnologias apropriadas é fortalecido quando agricultores se unem em associações ou cooperativas (Nunes, Cruz e Silva, 2020). Ainda assim, as políticas públicas precisam ser regionalizadas e integradas, considerando os saberes tradicionais locais e os desafios ambientais específicos da região.

Portanto, a agricultura familiar no Semiárido, apesar de sua importância para o desenvolvimento rural sustentável, exige maior apoio técnico, investimentos em tecnologias acessíveis que considerem suas especificidades territoriais, climáticas e socioeconômicas.

2.2 Semiárido brasileiro

O Semiárido brasileiro ocupa uma área de aproximadamente 12% do território nacional, abrangendo todos os nove estados do Nordeste e parte do norte de Minas Gerais, e é caracterizado por ser a região semiárida mais habitada e chuvosa do planeta (INSA, 2025; Brasil Escola, 2024). As chuvas, que variam entre 200 e 800 mm por ano, concentram-se principalmente entre novembro e abril, enquanto o restante do ano é dominado por episódios prolongados de estiagem (ASA Brasil, 2025; Moura et al., 2019). Esta distribuição irregular de precipitação, aliada a altas taxas de evapotranspiração—que podem alcançar até 3.000 mm anuais (ASA Brasil, 2025), gera um severo déficit hídrico, tornando a retenção e o manejo da

água cruciais para a sobrevivência da população local.

A geologia da região, com solos rasos sobre embasamento cristalino, promove baixa infiltração e alta perda por escoamento superficial (FunDAJ, 2025), enquanto a presença de rios intermitentes evidencia a fragilidade da rede hídrica (IBGE, 2025). Essas condições ampliam a vulnerabilidade ao risco de seca, sendo que, em estados como a Bahia, mais de 70% do território compõe o chamado “Polígono das Secas”, com expansão do processo de desertificação em 68% das áreas (SÃO JOSÉ, R. V. DE et al. 2023).

Além disso, a evapotranspiração e as altas temperaturas médias anuais, próximas de 26 °C, intensificam a perda de umidade do solo e demandam estratégias sustentáveis de convívio com a seca, como cisternas, açudes, sistemas simplificados de irrigação e mobilização comunitária (ASA Brasil, 2025; FunDAJ, 2025). O bioma predominante, a Caatinga, adaptado à aridez, permanece com cobertura vulnerável à intervenção humana, com perda da biodiversidade e alteração no equilíbrio ambiental.

Em resumo, o Semiárido brasileiro apresenta uma combinação única de desafios: clima árido, solos desfavoráveis, escassez e irregularidade hídrica, além de vulnerabilidade social. Essas condições exigem adoção de políticas estruturadas, associação comunitária e tecnologias adaptadas, que garantam acesso confiável à água, promovendo a sustentabilidade e a convivência com a seca, sem comprometer cultural e ecologicamente a estabilidade da região.

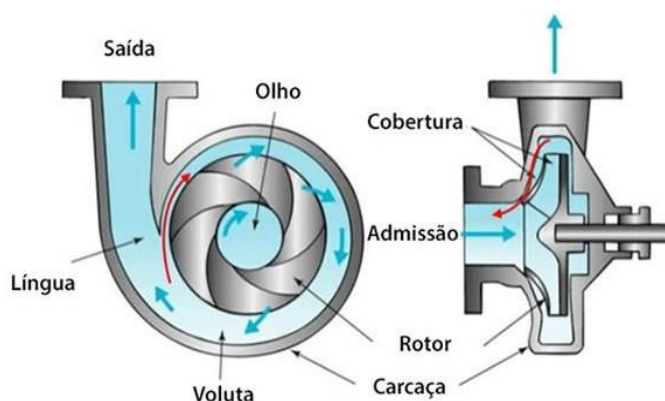
2.3 Bombas hidráulicas

As bombas hidráulicas constituem o coração de qualquer sistema de irrigação, sendo responsáveis por gerar a pressão necessária ao transporte da água até a cultura. A seleção de um tipo de bomba adequada depende do contexto de uso, da fonte de água disponível e da energia disponível.

2.3.1 Tipos de bombas hidráulicas

Bombas centrífugas são as mais utilizadas na agricultura (Laís, 2025). As bombas centrífugas operam com base no princípio da força centrífuga.

Figura 3- Corte da bomba centrífuga



Fonte: VALLAIR (2025)

Quando o fluido entra na bomba através do olho do rotor, ele é acelerado pela rotação do rotor e lançado radialmente para fora em direção à periferia da câmara da bomba. Aqui acontece a transformação de energia mecânica, fornecida pelo motor ao eixo do rotor, em energia cinética. São adequadas para grandes volumes e sistemas de gotejamento ou aspersão (Hidralpress, 2025). Essas bombas apresentam variantes, como:

- Monobloco: motor e bomba integrados, ideais para pequenas propriedades por sua simplicidade (Bombasapi, 2025).

Figura 4- Bomba Monoestágio



Fonte: BOMBASEDAPI. (2025)

- Multietapa: com múltiplos rotores em série, atingem maiores pressões, indicadas para terrenos acidentados (Bombasapi, 2025).

Figura 5- Bomba Multiestágio



Fonte: BOMBASEDAPI (2025)

- Submersível: instaladas debaixo d'água em poços ou reservatórios, eficientes em profundidades elevadas e com menor ruído (Astech, 2025).

Figura 6- Bomba Submersível



Fonte: ASTECH Bombas (2025)

Principalmente no Semiárido, a bomba centrífuga submersível é frequentemente empregada pela facilidade de acesso a aquíferos profundos, estabilidade operacional e maior durabilidade, com menor exposição ao ambiente externo (MPI Technology, 2024; Astech,

2025).

- Submersa tipo Caneta: A bomba caneta é projetada para operar totalmente submersa, utilizando um motor elétrico acoplado que transfere movimento a um conjunto de rotores responsáveis pela elevação da água.

Figura 7 - Bomba Submersa Tipo Caneta



Fonte: Intech Machine (2025)

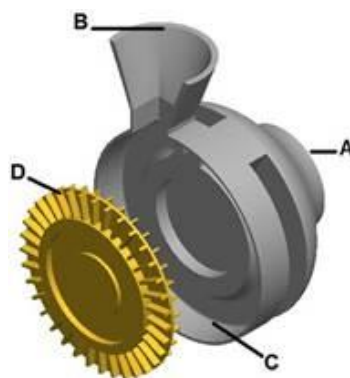
Quando acionado, o motor gira esses rotores em alta velocidade, gerando a pressão necessária para impulsionar a água do fundo do poço até a superfície de forma contínua e eficiente. Essa configuração garante alto desempenho mesmo em grandes profundidades, tornando a bomba adequada para captação em poços tubulares profundos. (Blog Anauger, 2025)

- Periférica

As bombas periféricas são máquinas rotodinâmicas capazes de gerar altas alturas manométricas com baixas vazões, utilizando um único rotor. Essas bombas apresentam um design compacto e a capacidade de operar com uma baixa perda de pressão nominal (NPSH). (Carlos Camargo, 2018)

Nas bombas periféricas, o impulsor é formado por uma dupla fileira de pás espaçadas ao redor de sua periferia, que é alojada em uma voluta com um canal característico que facilita o fluxo em direção à descarga.

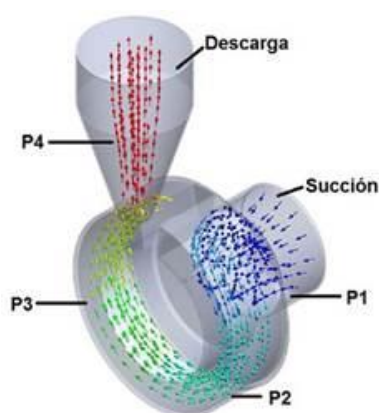
Figura 8- Partes da carcaça e do rotor de uma bomba periférica: A. Sucção, B. Descarga, C. Canal, D. Palhetas.



Fonte: (Carlos Camargo, 2018)

O fluido circula internamente através da carcaça que conecta a porta de sucção à porta de descarga.

Figura 9- A pressão produzida em uma bomba periférica aumenta continuamente da sucção à descarga: A. Sucção, B. Descarga. P. Pressão, onde $P_4 > P_3 > P_2 > P_1$



Fonte: (Carlos Camargo, 2018)

À medida que o impulsor gira, ele atinge o fluido com as pás; devido a essa transferência de energia, o fluido pode sair pela porta de descarga.

2.3.2 Componentes principais

Independentemente do tipo, todas as bombas hidráulicas compartilham elementos essenciais:

- Motor (elétrico, a diesel ou solar): converte energia em movimento;
- Rotor (impelidor): cria a força centrífuga e direciona o fluxo (Hidralpress, 2025);
- Carcaça: conduz o fluido e protege o rotor;
- Selos mecânicos e vedações: impedem vazamentos entre eixos e carcaça;
- Eixo: transmite movimento do motor ao rotor;
- Tubulações de sucção e recalque: conduzem a água até a bomba e depois para o sistema de irrigação;

A presença de sólidos suspensos ou elevada salinidade pode causar abrasão no rotor e desgaste dos selos, reduzindo a vida útil do equipamento (Hidralpress, 2025). Já os sistemas submersos oferecem maior proteção, protegendo componentes críticos da exposição ao sol, poeira e calor (Astech, 2025).

2.4 Dimensionamento

O dimensionamento adequado do conjunto motobomba é essencial para garantir a eficiência hidráulica e energética de sistemas de irrigação em propriedades rurais. O trabalho de Nogueira (2022) apresenta um estudo de caso onde, a partir de um poço semiartesiano e mina de água em uma propriedade rural, foi realizado o dimensionamento completo do sistema de bombeamento. O autor usa cálculos de vazão, altura manométrica e análise comparativa dos componentes para selecionar a bomba mais adequada ao contexto, resultando em maior eficiência e qualidade de vida local (Nogueira, 2022).

Em estudo conduzido em Minas Gerais por Souza et al. (2021), a metodologia de dimensionamento envolveu o cálculo da vazão necessária para irrigar uma área de cultivo (aproximadamente 40 m³/h), além da determinação da altura manométrica total, considerando desnível (35 m) e perdas de carga (≤ 228 m de tubulação), resultando em aproximadamente

70 mca (Souza et al., 2021).

As equações clássicas são amplamente utilizadas, como as recomendadas por Bernardo et al. (2005), que definem a altura manométrica (MCA) como a soma da altura de sucção, recalque e perdas de carga, além da potência da bomba por meio da equação 1:

$$P_{MB} = \frac{Q \cdot H_M}{75 \cdot \eta_B \cdot \eta_M}$$

A essas estimativas soma-se um fator de segurança entre 10–30%, conforme a faixa de potência da bomba (Bernardo et al., 2005; Fonte: Livro Sistemas de Irrigação).

O cálculo da vazão pode ser realizado por meio da equação empírica:

$$Q(m^3/h) = 10 \times A(ha) \times Li(mm/dia)/H(h/dia)$$

como aplicado por Oliveira Filho et al. (2010), onde A é a área irrigada, Li é a lâmina de irrigação e H as horas diárias de bombeamento.

Na prática, após obter vazão e MCA, recomenda-se consultar curvas dos fabricantes e escolher um modelo que opere próximo ao ponto de melhor eficiência (BEH), garantindo rendimento acima de 60–70% (Souza et al., 2021). O uso de ferramentas como o programa AGRIBOMBAS facilita a escolha do rotor e motor ideais para cada caso (Oliveira Filho et al., 2010).

O dimensionamento hidráulico ainda deve contemplar os componentes de tubulação, válvulas e conexões que influenciam diretamente nas perdas de carga e, consequentemente, na altura e potência exigidas ao sistema (Freires do Carmo et al., 2016). A correta definição do diâmetro dos tubos primários e secundários, conforme equações de Bresse, evita quedas de pressão que podem prejudicar uniformidade e consumo energético (Souza et al., 2021).

Conclui-se que um bom dimensionamento do sistema de bombeamento integra cálculos precisos de vazão e pressão, análise das perdas de carga, escolha de bombas eficientes com segurança técnica, além de consulta às curvas características dos componentes. Esse processo assegura economia de energia e maior durabilidade do sistema, conforme evidenciado nos

estudos apresentados.

2.5 Manutenção

A manutenção regular dos sistemas de irrigação é essencial para garantir eficiência operacional, prolongar a vida útil dos equipamentos e evitar problemas que possam comprometer a produção agrícola. Um estudo da Universidade da Flórida salientou que o acúmulo de sedimentos, algas e microrganismos nos filtros e emissores é uma das principais causas de obstruções, compromete a distribuição da água e pode danificar peças do sistema se não houver manutenção adequada (Kadyampakeni & Schumann, 2020).

A Figura 10 ilustra o detalhe de emissores utilizados em sistemas de irrigação localizada, como o gotejamento, evidenciando dispositivos anti-inseto e membranas autocompensantes, que ajudam a manter a uniformidade da irrigação e minimizar entupimentos.

Figura 10- Emissores com proteção anti-inseto e membrana autocompensante. Fonte: Vasconcelos & Barbosa (2016).



Fonte: VASCONCELOS & BARBOSA (2025)

Para prevenir tais problemas, recomenda-se o uso de filtros de tela, disco ou areia instalados no ponto de aspiração da bomba, com limpeza rotineira feita sempre que houver diferença de pressão acima de 5–7 psi entre antes e depois do filtro.

Além disso, tratamentos periódicos como acidificação para controle de carbonatos e cloração para eliminar organismos biológicos são fundamentais para manter a funcionalidade do sistema (Kadyampakeni & Schumann, 2020).

Além dessas medidas operacionais, é importante compreender os fundamentos técnicos da manutenção e as classificações adotadas na literatura especializada, sobretudo em sistemas hidráulicos aplicados à irrigação.

A manutenção é uma atividade essencial para garantir o funcionamento contínuo, seguro e eficiente de sistemas hidráulicos, como bombas utilizadas em processos industriais, agrícolas e de abastecimento. Ela pode ser entendida como um conjunto de práticas técnicas aplicadas ao longo do ciclo de vida do equipamento com o objetivo de restaurar ou preservar sua funcionalidade, minimizando falhas e paradas não planejadas. Com o avanço das tecnologias, as estratégias de manutenção vêm se diversificando e se especializando para atender diferentes contextos operacionais (KUMAR et al., 2023).

A manutenção corretiva é aquela realizada após a ocorrência de uma falha, sendo considerada reativa. Ela pode ser imediata, quando feita em caráter emergencial, ou planejada, quando se consegue antecipar a falha e programar a intervenção. Embora seja inevitável em alguns casos, a corretiva não planejada pode causar interrupções críticas e altos custos operacionais. Em contrapartida, a manutenção preventiva, realizada com base em intervalos de tempo ou uso, visa evitar a ocorrência de falhas por meio de inspeções, limpezas, ajustes e trocas de componentes antes que apresentem defeitos (KUMAR et al., 2023).

Com a introdução de sensores e métodos de análise de dados, a manutenção preditiva passou a ganhar espaço. Ela se baseia no monitoramento de condições reais de operação, como por exemplo a vibração, temperatura, pressão e desgaste, para prever falhas e realizar intervenções apenas quando necessário. Em sistemas hidráulicos, essa abordagem tem sido potencializada por tecnologias como gêmeos digitais (*digital twin*) e aprendizado de máquina, que permitem simular o comportamento dos componentes e antecipar problemas com alta precisão (WANG et al., 2022).

Além dessas, há também a manutenção detectiva, focada na identificação de falhas ocultas que não produzem sintomas aparentes. Esse tipo de manutenção é fundamental em sistemas de segurança e controle, como válvulas de alívio e sensores de alarme, que devem

estar sempre funcionais, mesmo que não sejam ativados com frequência. Algumas técnicas, como ensaios não destrutivos, testes funcionais e simulações de falhas são comumente empregadas nesse contexto (SRIVYAS et al., 2018).

Nos últimos anos, o uso de sistemas de monitoramento contínuo e análise de condição tem sido cada vez mais comum em bombas hidráulicas. Métodos como a análise de vibração, inspeções de desempenho hidráulico e controle da qualidade do fluido têm mostrado grande eficácia na detecção precoce de falhas e no prolongamento da vida útil dos equipamentos. Essa integração entre diagnóstico e manutenção tem sido apontada como fundamental para estratégias eficientes de confiabilidade operacional (BEEBE, 2004; YANG et al., 2022).

A tecnologia IoT (Internet das Coisas) tem sido aplicada em sistemas de irrigação por gotejamento, permitindo a manutenção preditiva e preventiva. Chaubey e Jani (2023) apresentaram um sistema inteligente que monitora parâmetros como umidade do solo, pressão e vazão em tempo real, acionando alertas quando observadas quedas de desempenho ou riscos de obstrução. Com isso, a manutenção torna-se proativa, evitando falhas e assegurando o adequado funcionamento da bomba hidráulica.

No caso de uso de águas residuárias ou água salina, a manutenção se torna ainda mais crítica. Cossich et al. (2024) demonstraram que bombas centrífugas e diafragma operando com água salinizada requerem substituições de componentes internos em 1 a 2 anos devido à corrosão e obstruções por precipitados minerais. Esse tipo de manutenção, quando negligenciado, pode elevar o consumo de energia e reduzir drasticamente a eficiência da bomba.

Portanto, a manutenção eficaz em sistemas de irrigação envolve três níveis essenciais:

- I. Manutenção de filtros e emissores, com inspeções regulares de pressão e limpeza (Kadyampakeni & Schumann, 2020);
- II. Manutenção preditiva com IoT, que permite detectar falhas antes que se agravem (Chaubey & Jani, 2023);
- III. Manutenção específica para águas de baixa qualidade, que inclui tratamento químico e revisão periódica de componentes afetados por corrosão e incrustações (Cossich et al., 2024).

A combinação dessas abordagens resulta em sistemas de bombeamento mais confiáveis,

econômicos e com vida útil prolongada, o que é crucial para a sustentabilidade da agricultura familiar no Semiárido.

Portanto, neste trabalho, será adotada uma abordagem preventiva de manutenção, com foco em ações programadas como inspeções e limpezas periódicas. Essa escolha visa aumentar a durabilidade dos equipamentos, evitar falhas inesperadas e garantir maior eficiência no uso de sistemas hidráulicos em irrigação com águas residuárias.

2.6 Manutenção em bombas hidráulicas

A manutenção das bombas hidráulicas é essencial para garantir a confiabilidade do sistema, reduzir tempo de inatividade e prolongar a vida útil dos equipamentos. Com o avanço de tecnologias, especialmente o uso de IoT e manutenção preditiva, tem sido possível melhorar significativamente a eficiência operacional desses sistemas (KUMAR et al., 2023; YANG et al., 2022; DE SOUZA et al., 2022; CHAUBEY; JANI, 2023).

Estudos recentes destacam que a combinação de bombas fotovoltaicas com sistemas IoT permite monitorar variáveis críticas como pressão, vazão, temperatura e vibração, possibilitando a identificação precoce de falhas e planejamento de manutenção. Por exemplo, a integração de painéis solares com sensores em tempo real demonstrou melhorias na gestão e redução de falhas por desgaste ou entupimento (Xiao et al., 2025).

Além disso, soluções preditivas baseadas em machine learning têm sido eficazes na manutenção de bombas em redes de saneamento. A empresa SpiralData desenvolveu algoritmos com mais de 95% de precisão para prever falhas em estações de bombeamento, permitindo intervenções antes que ocorram paradas inesperadas (SPIRALDATA, s.d.).

Também há avanços no uso de sensores embarcados em bombas para diagnóstico local. Equipamentos com monitoramento direto (on-device intelligence) conseguem identificar aceleração de vibração, sobreaquecimento ou desbalanceamento, emitindo alertas que facilitam a manutenção preventiva (Zhang et al., 2023).

Por fim, modelos pioneiros utilizam machine learning para estimar a performance de bombas de poço, analisando dados de altitude manométrica e eficiência geral. Tais abordagens

ajudam a antecipar deterioração e evitar falhas mecânicas, especialmente válidas para sistemas em zonas remotas, como o Semiárido (Wang et al., 2024).

Essas tecnologias aproximam-se do conceito de Industry 4.0 para irrigação, onde sensores inteligentes, IoT, cloud e inteligência artificial interagem para transformar bombas hidráulicas em sistemas autônomos e resilientes, reduzindo falhas, custos e custos energéticos (DE SOUZA et al., 2022).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo será descrito o método proposto nesta pesquisa, o qual será implementado por meio de um estudo de campo em Escolas Famílias Agrícolas, localizadas na Bahia, onde se faz uso de água proveniente de sistemas de saneamento rural para irrigação. A pesquisa adota uma abordagem qualitativa com delineamento exploratório, com o objetivo de descrever os dados obtidos por meio de revisão bibliográfica, entrevistas semiestruturadas e visitas técnicas aos sistemas de irrigação em operação com levantamento de dados operacionais de vazão, além da análise de registros de manutenção, frequência de falhas e uso de análises estatísticas descritivas e inferenciais quando necessário.

3.1 1ª ETAPA: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:

Inicialmente, para fundamentar a pesquisa, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre bombas hidráulicas, reuso de águas residuárias na agricultura irrigada, e desafios técnicos e operacionais na condução de sistemas de irrigação com efluentes. Essa pesquisa bibliográfica ocorreu em bases de dados e portais acadêmicos como: Portal de Periódicos da CAPES, Google Acadêmico, Scientific Electronic Library Online (SciELO), ScienceDirect e SpringerLink.

Para localizar artigos e trabalhos pertinentes ao tema foram utilizadas as seguintes palavras-chave: bombas hidráulicas, irrigação com água de reuso, eficiência energética, durabilidade de equipamentos, manutenção preditiva, reuso agrícola, saneamento rural, sistemas de bombeamento e agricultura familiar.

A leitura e análise desses materiais permitiram identificar metodologias, critérios técnicos e dados de referência que serviram de base para avaliar o desempenho das bombas hidráulicas em condições de operação com água residuária tratada, além de subsidiar a análise dos fatores que influenciam falhas e desgastes nos sistemas.

3.2 2ª ETAPA: SELEÇÃO DE CASO:

A seleção do estudo de caso foi realizada a partir de um mapeamento das Escolas

Famílias Agrícolas da Rede AECOFABA que utilizam sistemas de irrigação com água de reuso proveniente de unidades de saneamento rural (como fossas sépticas biodigestoras, filtros anaeróbios ou sistemas modulares).

Os critérios de escolha consideraram propriedades de pequeno porte ligadas à agricultura familiar, com histórico de uso do reuso agrícola e disponibilidade para fornecer dados técnicos, bem como permitir o acompanhamento de visitas e entrevistas. Esta etapa foi fundamental para garantir a coleta de informações reais sobre a operação e o desempenho dos conjuntos motobomba em ambientes rurais e com infraestrutura limitada.

3.3 3ª ETAPA: COLETA DE DADOS:

Para a coleta de dados, foram aplicadas entrevistas semiestruturadas, com roteiros específicos para alunos e gestores responsáveis e operadores dos sistemas de irrigação. As perguntas foram organizadas em três blocos principais:

- I. Caracterização do sistema de irrigação e da propriedade rural;
- II. Levantamento do processo operacional, incluindo práticas de manutenção e monitoramento das bombas;
- III. Diagnóstico da gestão técnica e percepção sobre falhas e eficiência do sistema.

As entrevistas foram realizadas com visitas técnicas para observação direta do funcionamento dos conjuntos motobomba, incluindo análise visual de componentes (rotores, vedantes, tubulações) e medições pontuais de parâmetros operacionais de vazão.

3.4 4ª ETAPA: REVISÃO DE DADOS:

A análise dos dados coletados foi feita em duas etapas:

- I. uma análise descritiva, classificando as informações em três dimensões: características do equipamento, características do fluido (efluente tratado) e condições de operação;

- II. uma análise interpretativa, buscando evidenciar pontos críticos relacionados a desgaste, falhas recorrentes ou interrupções no fornecimento de água.

A partir disso, foram aplicadas ferramentas de análise inspiradas nos conceitos de manutenção preditiva e gestão de processos, para identificar gargalos e propor melhorias que possam ser implementadas a baixo custo e de forma compatível com a realidade da agricultura familiar.

Ao final dessas etapas, compreendemos com mais profundidade os principais fatores que comprometem a durabilidade das bombas hidráulicas utilizadas na irrigação com água de reuso, especialmente em contextos de sistema de saneamento rural com reator UASB.

O estudo teve por objetivo identificar problemas recorrentes, como corrosão, entupimentos, abrasividade e desgaste acelerado das peças, além de mapear como os usuários do sistema lidam com a manutenção desses equipamentos no dia a dia.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RESULTADOS

O estudo de caso realizado nas Escolas Agrícolas da Rede AECOFABA, com foco nas bombas hidráulicas utilizadas para irrigação com água proveniente de sistemas de saneamento rural, visa analisar a durabilidade dessas bombas, que operam com água de reuso tratada por reator UASB. As entrevistas com operadores e alunos das escolas forneceram dados relevantes sobre o desempenho das bombas e as dificuldades encontradas no processo de irrigação

Com base nas respostas coletadas, observou-se que o sistema de irrigação por gotejamento, implantado em 2022, utiliza água tratada por reator UASB para irrigação de lavouras e pomares, com uma média de 10 a 15 m³ de água reutilizada por dia, dependendo da unidade escolar. A escolha do modelo das bombas foi pré-definida no projeto e variou entre bombas centrífugas de 0,5 a 3 cv, com a bomba caneta de 3 cv utilizada para o sistema de irrigação.

Figura 11- Lagoas de Polimento- tratamento solar das águas residuárias.



Fonte: Autora (2025)

Figura 12- REATOR UASB



Fonte: Autora (2025)

Em relação à durabilidade das bombas, as falhas mais recorrentes foram atribuídas a entupimentos devido à presença de matéria orgânica e cabelo na água, além de corrosão do rotor e do eixo.

A manutenção das bombas é feita regularmente, com trocas anuais ou quando ocorrem falhas de funcionamento. Os alunos responsáveis pelo sistema operam as bombas, após receberem treinamento inicial. As bombas são monitoradas por timers, e as falhas são registradas principalmente durante o verão, quando o volume de água no sistema é maior.

Figura 13- Manutenção realizada na bomba



Fonte: Autora (2025)

A instalação de caixas de pré-filtragem foi apontada como uma melhoria importante, já que ajudou a reduzir a quantidade de entupimentos e a manutenção das bombas. O aumento da produtividade agrícola, especialmente nas culturas de manga, banana, melancia e abóbora, foi citado como um benefício direto do reuso de água, uma vez que a área irrigada aumentou, e os recursos hídricos disponíveis se tornaram mais eficientes.

4.2 DISCUSSÃO

Os dados coletados indicam que, apesar das dificuldades encontradas, como os entupimentos frequentes e a necessidade de manutenção constante, o sistema de irrigação tem sido eficaz no aumento da produtividade agrícola e na economia de água.

As Tabelas 1 e 2 descrevem os dados obtidos da Escola Técnica da Família Agrícola da Bahia- ETFAB.

Tabela 1- Ficha Técnica Da Bomba Da ETFAB

FICHA TÉCNICA DA BOMBA	
Escola:	Escola Técnica Da Família Agrícola Da Bahia-ETFAB
Tipo de bomba	Centrifuga
Marca e modelo	Amanco Xkm 60
Potência	0,5cv
Vazão nominal	40 l / min
Data de instalação	04/08/2025
Horas estimadas de operação	8 horas por dia
Tipo de pré-filtragem:	Cano com tela mosquiteiro
Condições observadas (ruídos, vibração, desgaste):	x

Fonte: Autora (2025)

A bomba centrífuga Amanco Xkm 60, com potência de 0,5cv e vazão nominal de 40 l/min, foi instalada em 04 de agosto de 2025 na ETFAB. A bomba tem operação estimada de 8 horas por dia, utilizando um cano com tela mosquiteiro como pré-filtragem. As condições observadas, como ruídos, vibração e desgaste, não identificadas, mas a necessidade de manutenção corretiva ao longo do tempo mostra que a bomba sofreu desgaste, especialmente por entupimentos causados por cabelo.

Tabela 2- Checklist de Manutenção e Falhas Da ETFAB

CHECKLIST DE MANUTENÇÃO E FALHAS				
Data da manutenção	Tipo (preventiva/corretiva)	Teste de vazão	Descrição da falha	Observações adicionais
10/02/2025	Corretiva	5	Entupimento	Entupimento por cabelo
10/03/2025	Preventiva	35		Limpeza
07/03/2025	Preventiva	30		Limpeza
07/04/2025	Corretiva	7	Entupimento	Entupimento por cabelo
05/05/2025	Preventiva	30		Limpeza
02/06/2025	Preventiva	30		Limpeza
07/07/2025	Corretiva	28	Entupimento	Entupimento por cabelo
04/08/2025	Corretiva	12	Corrosão do rotor	Troca de bomba
08/09/2025	Preventiva	39		Limpeza

Fonte: Autora (2025)

A bomba da ETFAB apresentou falhas recorrentes de entupimentos, causados por cabelo, observados em 10/02, 07/04, e 07/07 de 2025. Além disso, houve a necessidade de troca da bomba em 04/08/2025, devido à corrosão do rotor. A manutenção preventiva, com limpeza regular e troca de bomba, é importante para garantir o funcionamento contínuo da bomba. A

pré-filtragem com tela mosquiteiro não foi eficaz em prevenir o entupimento, sugerindo que uma mudança no sistema de pré-filtragem ou aumento da frequência de limpezas pode ser necessária para evitar futuras falhas.

As Tabelas 3 e 4 descrevem os dados obtidos da Escola Família Agrícola Mae Jovina – EFAMJ

Tabela 3- Ficha Técnica da Bomba da EFAMJ

FICHA TÉCNICA DA BOMBA	
Escola:	Escola Família Agrícola Mae Jovina- EFAMJ
Tipo de bomba	Periférica
Marca e modelo	Amanco Xkm 80
Potência	1cv
Vazão nominal	60l/ min
Data de instalação	06/06/2025
Horas estimadas de operação	4 horas por dia
Tipo de pré-filtragem:	Cano com tela mosquiteiro
Condições observadas (ruídos, vibração, desgaste):	x

Fonte: Autora (2025)

A bomba periférica Amanco Xkm 80, instalada em 06 de junho de 2025 na EFAMJ, possui potência de 1cv e vazão nominal de 60 l/min, com uma estimativa de operação de 4 horas por dia. A pré-filtragem também utiliza um cano com tela mosquiteiro. Embora as condições de operação, como ruídos e vibração, não tenham sido especificadas, a manutenção corretiva indicou falhas que precisam ser avaliadas para entender melhor o impacto do sistema de pré-filtragem.

Tabela 4- Checklist de Manutenção e Falhas da EFAMJ

CHECKLIST DE MANUTENÇÃO E FALHAS				
Data da manutenção	Tipo (preventiva/corretiva)	Teste de vazão l/h	Descrição da falha	Observações adicionais
14/02/2025	Corretiva	8	Entupimento	Entupimento por cabelo
14/03/2025	Preventiva	50		Limpeza
11/03/2025	Preventiva	48		Limpeza
11/04/2025	Corretiva	10	Entupimento	Entupimento por cabelo
09/05/2025	Preventiva	40		Limpeza
06/06/2025	Corretiva	28	Corrosão do rotor	Troca da bomba
11/07/2025	Preventiva	59		Limpeza
08/08/2025	Preventiva	59		Limpeza
12/09/2025	Corretiva	5	Entupimento	Entupimento por cabelo

Fonte: Autora (2025)

A bomba da EFAMJ apresentou falhas recorrentes de entupimentos causados por cabelo, registrados em 14/02, 14/03, 11/04 e 12/09 de 2025. A troca da bomba foi necessária em 06/06/2025 devido à corrosão do rotor. Além disso, as manutenções preventivas, com limpezas realizadas periodicamente, mostram a importância de um acompanhamento constante para evitar falhas graves. A eficácia do sistema de pré-filtragem deve ser revista, visto que os entupimentos ainda ocorrem, indicando que o sistema pode ser ineficaz para a quantidade de resíduos.

As Tabelas 5 e 6 descrevem os dados obtidos da Escola Família Agrícola De Caculé - EFA Caculé.

Tabela 5- Ficha Técnica da Bomba da EFA Caculé

FICHA TÉCNICA DA BOMBA	
Escola:	Escola Família Agrícola De Caculé – EFA Caculé
Tipo de bomba	Centrifuga
Marca e modelo	Ms bombas mc-50
Potência	0,5 cv
Vazão nominal	80 l / min
Data de instalação	20/03/2024
Horas estimadas de operação	4 horas por dia
Tipo de pré-filtragem:	Caixa de tela e caixa de areia
Condições observadas (ruídos, vibração, desgaste):	x

Fonte: Autora (2025)

A bomba centrífuga Ms Bombas MC-50 foi instalada em 20 de março de 2024 na EFA Caculé, com potência de 0,5cv e vazão nominal de 80 l/min, e uma operação estimada de 4 horas diárias. A pré-filtragem é feita por uma caixa de tela e uma caixa de areia, uma solução que parece estar funcionando adequadamente, visto que não foram observadas falhas significativas.

Tabela 6- Checklist de Manutenção e Falhas da EFA Caculé

CHECKLIST DE MANUTENÇÃO E FALHAS				
Data da manutenção	Tipo (preventiva/corretiva)	Teste de vazão	Descrição da falha	Observações adicionais
10/02/2025	Preventiva	78		Limpeza
10/03/2025	Preventiva	76		Limpeza
07/03/2025	Preventiva	76		Limpeza
07/04/2025	Preventiva	76		Limpeza
05/05/2025	Preventiva	75		Limpeza
02/06/2025	Preventiva	74		Limpeza

07/07/2025	Preventiva	73	Limpeza
04/08/2025	Preventiva	74	Limpeza
08/09/2025	Preventiva	73	Limpeza

Fonte: Autora (2025)

Na EFA Caculé, a bomba não apresentou falhas corretivas durante o ano de 2025, com todas as manutenções sendo preventivas, principalmente com limpezas regulares realizadas. O desempenho consistente da bomba, sem falhas graves, reflete o sucesso do processo de manutenção preventiva. A manutenção constante tem contribuído para evitar falhas, e o sistema de pré-filtragem parece ser eficaz, já que não foram relatados entupimentos ou outras falhas relacionadas à filtragem.

As Tabelas 7 e 8 descrevem os dados obtidos da Escola Família Agrícola de Jaboticaba - EFA Jaboticaba

Tabela 7- Ficha Técnica da Bomba da EFA Jaboticaba

FICHA TÉCNICA DA BOMBA	
Escola:	Escola Família Agrícola de Jaboticaba- EFA JABOTICABA
Tipo de bomba	Periférica
Marca e modelo	Amanco Xkm 80
Potência	1cv
Vazão nominal	60l/min
Data de instalação	12/01/2024
Horas estimadas de operação	6 horas
Tipo de pré-filtragem:	Caixa de tela
Condições observadas (ruídos, vibração, desgaste):	x

Fonte: Autora (2025)

A bomba periférica Amanco Xkm 80, instalada na EFA Jaboticaba em 12 de janeiro de

2024, com potência de 1cv e vazão nominal de 60 l/min, foi projetada para operar por 6 horas diárias. O sistema de pré-filtragem utilizado é uma caixa de tela, que parece ser adequada, mas a recorrência de falhas sugere que uma análise mais detalhada seja feita sobre a eficiência dessa filtragem.

Tabela 8- Checklist de Manutenção e Falhas da EFA Jaboticaba

CHECKLIST DE MANUTENÇÃO E FALHAS				
Data da manutenção	Tipo (preventiva/corretiva)	Teste de vazão	Descrição da falha	Observações adicionais
12/02/2025	Preventiva	60		Limpeza
12/03/2025	Preventiva	59		Limpeza
09/03/2025	Preventiva	57		Limpeza
09/04/2025	Preventiva	55		Limpeza
07/05/2025	Preventiva	56		Limpeza
04/06/2025	Preventiva	55		Limpeza
09/07/2025	Preventiva	54		Limpeza
06/08/2025	Preventiva	55		Limpeza
10/09/2025	Preventiva	54		Limpeza

Fonte: Autora (2025)

Na EFA Jaboticaba, os problemas mais frequentes antes da instalação da caixa de passagem com filtro eram os entupimentos causados por cabelo. Embora as manutenções preventivas tenham sido realizadas regularmente, com testes de vazão e limpezas constantes, a diminuição de recorrência dos entupimentos indica que o sistema de pré-filtragem se tornou bastante adequado para o volume de resíduos. Uma solução para esse problema foi aumentar a frequência de limpeza, a EFA Jaboticaba, assim como a EFA de Caculé diminuíram bastante a frequência de manutenções de entupimento após a melhoria do sistema com o uso de caixas filtrantes, isso mostra que as EFAs que não usam esse sistema têm menor durabilidade das bombas e maior quantidade de manutenções.

5 CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo investigar a durabilidade das bombas hidráulicas utilizadas na irrigação com águas residuárias tratadas em propriedades rurais das Escolas Famílias Agrícolas da Bahia que dispõem desse sistema, especialmente no contexto da agricultura familiar. A pesquisa analisou os impactos técnicos e operacionais das bombas em sistemas de irrigação que utilizam efluentes tratados, com foco em identificar os principais fatores que afetam a durabilidade dos equipamentos e propor soluções para melhorar sua eficiência e longevidade.

Os resultados apontaram que as falhas mais recorrentes nas bombas estão relacionadas a entupimentos, corrosão e desgaste acelerado dos componentes, causados principalmente pela abrasividade e presença de matéria orgânica na água de reuso. A manutenção preventiva, embora realizada regularmente, revelou-se insuficiente para evitar falhas frequentes, sugerindo a necessidade de melhorias no sistema de pré-filtragem e no dimensionamento adequado das bombas. A implementação de caixas de pré-filtragem mais eficazes pode reduzir consideravelmente os problemas de entupimento e melhorar a eficiência do sistema.

Além disso, o estudo indicou que a escolha adequada dos materiais das bombas e a capacitação técnica dos operadores são fundamentais para garantir o funcionamento eficiente e a durabilidade dos equipamentos. A utilização de bombas projetadas para suportar as condições específicas de operação com águas residuárias e a adoção de práticas de manutenção mais rigorosas são essenciais para minimizar os custos operacionais e aumentar a viabilidade dos sistemas de irrigação.

Os achados desta pesquisa ressaltam a importância de um dimensionamento correto dos sistemas hidráulicos e da manutenção contínua. O reuso de águas residuárias, embora uma solução promissora para enfrentar a escassez hídrica, exige investimentos em infraestrutura adequada e tecnologias de baixo custo, que garantam o desempenho adequado dos sistemas de irrigação.

A durabilidade das bombas hidráulicas em sistemas de irrigação com águas de reuso depende da sinergia entre o uso de tecnologias adequadas, práticas de manutenção eficientes e o dimensionamento correto dos equipamentos. Esta pesquisa contribui para a melhoria contínua

desses sistemas, fornecendo dados técnicos que podem embasar futuras decisões de engenharia e aumentar a resiliência hídrica nas comunidades rurais.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. Atlas do Reúso da Água na Agricultura Irrigada. Brasília: ANA, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br>. Acesso em: 05 maio 2025.

ALMEIDA, J. A. S. et al. Desempenho de bombas hidráulicas submetidas a água residuária: estudo de caso em propriedades rurais. *Revista Engenharia Agrícola*, v. 38, n. 2, p. 277–284, 2018.

BRASIL. Ministério das Cidades. Manual para uso de águas residuárias tratadas na agricultura irrigada. Brasília: 2014. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr>. Acesso em: 05 maio 2025.

CEPAL – Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe. Reúso da água como estratégia de adaptação às mudanças climáticas no Semiárido Brasileiro. Santiago: 2020. Disponível em: <https://repositorio.cepal.org>. Acesso em: 05 maio 2025.

GOMES, D. P. et al. Perdas de carga em sistemas de irrigação com águas residuárias. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 41, n. 4, p. 453–460, 2017.

GRANATA, G.; PAZ, V. P. da S.; MONTES, C. R. Avaliação de perdas de carga em sistemas de irrigação por gotejamento com águas residuárias. *Journal of Agricultural Engineering*, v. 51, n. 2, p. 1028–1035, 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário 2017: Resultados Preliminares. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <https://censoagro.ibge.gov.br>. Acesso em: 05 maio 2025.

JONES, T. R. Irrigação de precisão: modelos computacionais para otimização hidráulica. *Journal of Agricultural Engineering*, v. 21, n. 3, p. 223-230, 2016.

KUREK, M.; OSTFELD, A. Modelos híbridos de bombeamento para sistemas de irrigação rural. In: International Water Association, 2013, Buenos Aires. Anais... Buenos Aires, 2013.

MARCHI, A. M.; VAN ZYL, J. J. Durabilidade das bombas hidráulicas em sistemas de irrigação. *Engenharia de Águas*, v. 28, n. 4, p. 42-50, 2017.

MORAES, T. C. M. et al. REAQUA: Sistema de reúso de água para comunidades rurais. *Revista Aracê*, v. 5, n. 1, p. 1–12, 2023. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/2543>. Acesso em: 05 maio 2025.

PEREIRA, L. S. et al. Irrigação com efluente tratado: desafios e perspectivas. *Revista Espaços*, v. 38, n. 6, p. 21–29, 2017. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com>. Acesso em: 05 maio 2025.

SANTIAGO, F. A. et al. A durabilidade das bombas em sistemas de irrigação: fatores que influenciam o desgaste. *Irrigação e Tecnologia*, v. 22, n. 2, p. 130-140, 2015.

SILVA, L. B. Desafios e soluções para o abastecimento hídrico no Semiárido brasileiro. *Revista de Engenharia de Água*, v. 12, n. 4, p. 78-85, 2014.

TONETTI, G. R.; PEREIRA, R. G. Desempenho de bombas hidráulicas em sistemas de irrigação com águas residuárias. *Journal of Water Resources Engineering*, v. 18, n. 1, p. 45-53, 2018.

VAN ZYL, J. J. et al. A durabilidade das bombas hidráulicas em sistemas rurais de irrigação: desafios e soluções. *Engenharia Agrícola*, v. 31, n. 3, p. 87-95, 2004.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2005.

CHOWDHURY, P.; JONES, T. R. Otimização energética em sistemas de irrigação. *Journal of Irrigation Science*, v. 42, n. 2, p. 98-107, 2020.

BATCHABANI, A.; FUAMBA, I. A influência da composição da água na durabilidade das bombas. *Journal of Rural Engineering*, v. 19, n. 2, p. 145-152, 2012.

AL-MEFLEH, Naji K.; TALOZI, Samer; ABU NASER, Khaled. Assessment of treated wastewater reuse in drip irrigation under different pressure conditions. *Water*, Basel, v. 13, n. 8, p. 1033, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13081033>.

BARRETO, Luiz Cláudio; CAMPOS, João Romildo Santana de. Perdas de carga em sistemas de irrigação localizada com uso de esgoto doméstico tratado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 13, n. 3, p. 275–281, 2009.

JARAMILLO, María Fernanda; RESTREPO, Inés. Reúso de águas residuárias na agricultura: uma revisão sobre suas limitações e benefícios. *Sustainability*, Basel, v. 9, n. 10, p. 1734, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/su9101734>.

JAVAREZ JÚNIOR, Antônio; RIBEIRO, Túlio Assunção Pires; PAULA JÚNIOR, Durval Rodrigues de. Eficiência do reuso de águas residuárias na irrigação da cultura do milho. *Irriga, Botucatu*, v. 15, n. 3, p. 231–247, 2010. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/230>.

MANCUSO, Paulo César Santos; SANTOS, Helena Neves. Reúso de água. 2. ed. São Paulo: Manole, 2003.

OFORI, Solomon et al. Treated wastewater reuse for irrigation: Pros and cons. *Science of the Total Environment*, Amsterdam, v. 760, 144026, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144026>.

VASCONCELOS, Tharcísio Xavier de; BARBOSA, Walter Yuri Anacleto. Estudo da adequação de técnicas de irrigação usando água de reuso proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstico. 2020. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/46689>.

BAIARDI, Amílcar. Gênese e evolução da agricultura familiar: desafios na realidade brasileira e as particularidades do Semiárido. *Revista Econômica do Nordeste*, Fortaleza, v. 45, Supl. Especial, p. 143–156, maio 2017. IBGE. Censo Agropecuário 2017: resultados definitivos. Rio

de Janeiro: IBGE, 2020.

NUNES, E. M.; CRUZ, M. S.; SILVA, V. M. Agricultura familiar e cooperativismo no Brasil: uma caracterização a partir do Censo Agropecuário de 2017. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, Brasília, v. 58, esp., 2020.

SANTOS, J. S.; SOUZA, J. M. J.; CABRAL, L. G. D. C.; NASCIMENTO, M. L. S. Agricultura familiar no Semiárido potiguar: desafios socioambientais para o desenvolvimento sustentável. *Anais do Encontro Internacional e Nacional de Política Social*, v. 1, n. 1, 2023.

ASA BRASIL – Articulação no Semiárido Brasileiro. Características do clima Semiárido. 2025. Disponível em: <https://www.asabrasil.org.br/semiario>.

FUNDAJ. Semi-Árido: proposta de convivência com a seca. João Suassuna. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/fundaj/pt-br/destaques/...IBGE>. Semiárido brasileiro. 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>.

MOURA, et al. Regime pluviométrico do semiárido baiano. 2019. In: Estudo de risco de seca no Semiárido da Bahia. Scielo. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/mercator/a/>.

SÃO JOSÉ, R. V. DE et al. DROUGHT RISK IN THE SEMI-ARID OF BAHIA. *Mercator*, v. 22, n. 2023, p. 1–12, 31 dez. 2023.

ARQUITETURA DITA por Laís. Bombas Centrífugas: Funcionamento e Tipos. Hidralpress, 24 jan. 2025. Disponível em: <https://www.hidralpress.com.br/blog>.

ASTECH Bombas. Bomba centrífuga submersa: guia completo e vantagens. Astech Bombas, [s.d.]. Disponível em: <https://www.astechbombas.com.br/blog>.

BOMBASEDAPI. Manutenção de bomba hidráulica: dicas essenciais. Bombasapi, [s.d.]. Disponível em: <https://www.bombasapi.com.br/blog>.

BOMBASEDAPI. Bomba centrífuga para irrigação: guia completo para escolha e uso. Bombasapi, [s.d.]. Disponível em: <https://www.bombasapi.com.br/blog>. MPI Technology. 6 vantagens da bomba centrífuga submersa para irrigação. Astech Bombas, 2024. Disponível em:

<https://www.astechbombas.com.br/blog>.

BENZAOUIA, Mohammed; BEKKAY, Hajji; RABHI, Abdelhamid et al. Energy management strategy for an optimum control of a standalone photovoltaic-batteries water pumping system for agriculture applications. arXiv, 2021. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2108.02460>.

NOGUEIRA, Eduardo Antonio Campache. Dimensionamento de um sistema de bombeamento para uma propriedade rural. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2022.

SOUZA, Francisco et al. Dimensionamento e análise de sistemas energéticos para irrigação em fazendas no estado de Minas Gerais. Revista de Engenharia na Agricultura, Minas Gerais, 2021. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/5606/560659001005>.

BERNARDO, E. et al. Sistemas de irrigação: cálculo da potência da bomba hidráulica. IEL/BA – Instituto Euvaldo Lodi, 2005.

FREIRES DO CARMO, Francicleiton; DUTRA, Indalécio; BATISTA, Adriana Alves et al. Dimensionamento hidráulico e avaliação de um sistema de irrigação localizada de baixo custo. Revista Engenharia na Agricultura, UFV, v.24, n.4, p.302–313, 2016. DOI: 10.13083/reveng.v24i4.624.

OLIVEIRA FILHO, Delly et al. Dimensionamento de motores para o bombeamento de água. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.30, n.6, p.1012–1022, 2010.

CHAUBEY, Nirbhay K.; JANI, Keyurbhai A. IoT and Neural Network-Based Water Pumping Control System for Smart Irrigation. SSRG International Journal of Electrical and Electronics Engineering, Ahmedabad, v. 10, n. 7, p. 22–30, jul. 2023.

COSSICH, Vinicius et al. Pump model for drip irrigation with saline water, powered by a photovoltaic solar panel with direct and intermittent application. Sustainability, Basel, v. 17, n. 9, p. 3981, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17093981>.

KADYAMPAKENI, Davie; SCHUMANN, Arnold. How to keep your irrigation system properly maintained. Citrus Industry, maio 2020.

DE SOUZA, Danilo F.; DA GUARDA, Emeli L. A.; DA SILVA, Welitom T. P.; SAUER, Ildo L.; TATIZAWA, Hédio. Perspectives on the Advancement of Industry 4.0 Technologies Applied to Water Pumping Systems: Trends in Building Pumps. *Energies*, Basel, v. 15, n. 9, p. 3319, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15093319>.

SPIRALDATA. Predictive maintenance for a water reuse utility. SpiralData, s.d.

WANG, X.; et al. Predicting deep well pump performance with machine learning. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2024.

XIAO, L.; et al. Integration of smart water management and photovoltaic pumping. *Science of the Total Environment*, 2025. DOI incluído no artigo.

ZHANG, Y.; et al. On-device intelligence for malfunction detection of water pump systems. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2023.

BEEBE, R. Predictive Maintenance of Pumps Using Condition Monitoring. Technical Paper, 2004.

KUMAR, N.; SHARMA, R.; YADAV, A. From Corrective to Predictive Maintenance: A Review of Maintenance Approaches for the Power Industry. ResearchGate, 2023.

SRIVYAS, P. D.; GUPTA, R.; PANDEY, A. Study of Various Maintenance Approaches, Types of Failure and Failure Detection Techniques Used in Hydraulic Pumps: A Review. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2018.

WANG, L.; ZHOU, J.; WANG, Y.; XIA, Y. Fault Diagnosis and Predictive Maintenance for Hydraulic System Based on Digital Twin Model. *AIP Advances*, v. 12, n. 6, 2022.

YANG, Y.; LU, Y.; MA, X.; ZHENG, H. Current Status and Applications for Hydraulic Pump Fault Diagnosis: A Review. *Sensors*, v. 22, n. 24, 2022.

APÊNDICE A — Entrevista com operadores e gestores do sistema de irrigação das Escolas Famílias Agrícolas da Rede AECOFABA.

Prezados,

Estou realizando um estudo, visando documentar os desafios e oportunidades de melhoria no uso de bombas hidráulicas para irrigação com água de reuso nas unidades escolares da rede AECOFABA, que possuem o sistema de saneamento básico rural com reator UASB, a fim de aumentar a durabilidade dos equipamentos de bombeamento e a eficiência do sistema.

Para tanto, gostaria de contar com a sua contribuição, respondendo às seguintes questões:

- Há quanto tempo a escola utiliza sistemas de irrigação com água de reuso?
- Pode fazer um breve histórico do projeto de irrigação e como foi implantado?
- Qual tipo de sistema de tratamento de água residuária está sendo utilizado?
- Qual o volume médio de água tratada e reaproveitada para irrigação?
- Como foi feita a escolha dos modelos de bombas hidráulicas?
- Quantas bombas estão em operação atualmente?
- Qual a frequência de manutenção das bombas?
- Como é feito o monitoramento do funcionamento das bombas (pressão, vazão, energia)?
- Há registros de falhas recorrentes nos equipamentos? Quais?
- Quais são as maiores dificuldades para manter as bombas funcionando de forma eficiente?
- Existe treinamento técnico para os operadores? Como é feito?
- Há algum apoio de assistência técnica ou de fornecedores?
- Qual o custo médio anual com manutenção de bombas?
- Existe planejamento para substituição futura desses equipamentos?
- Como é feita a avaliação da qualidade da água de reuso?
- O sistema tem apresentado bons resultados em termos de produtividade agrícola?
- Quais seriam as principais melhorias que vocês gostariam de implementar?

APÊNDICE B — Entrevista com os alunos que operam o sistema de irrigação com água de reuso.

Prezados alunos,

Gostaria de entender melhor a sua experiência no uso de bombas hidráulicas para irrigação com água de reuso, visando identificar pontos de melhoria e contribuir para soluções mais duráveis e eficientes. Por favor, ajudem respondendo:

- Vocês já conheciam o reuso de água para irrigação antes desse projeto?
- Como foi feita a adaptação da propriedade para utilizar água de reuso?
- Qual foi o maior benefício percebido com o reuso?
- Quais foram as maiores dificuldades no uso das bombas hidráulicas?
- Já tiveram falhas ou paradas inesperadas? Com que frequência?
- Quem realiza a manutenção da bomba de irrigação?
- Vocês receberam treinamento para operar o sistema?
- Conseguem irrigar a lavoura durante todo o ano?
- Houve aumento na produtividade depois da implantação do reuso?
- A qualidade da água influenciou no desempenho da bomba?
- Qual seria a principal mudança que gostariam de ver no sistema?
- Existe alguma época do ano em que as falhas das bombas são mais frequentes?
- Qual seria, na opinião de vocês, a maior prioridade para melhorar a durabilidade e eficiência da irrigação?