



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

**CARNEIRO HIDRÁULICO ARTESANAL COM CAMPÂNULAS DE PVC E AÇO
ZINCADO**

WALLACE WALKER LIMA
Orientador: Prof. Dr. Marcelo Zolin Lorenzoni

POSSE - GO
2024

Wallace Walker Lima

**CARNEIRO HIDRÁULICO ARTESANAL COM CAMPÂNULAS DE PVC E AÇO
ZINCADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto Federal Goiano - Campus Posse como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Agronomia.

Orientador: Dr. Marcelo Zolin Lorenzoni.

POSSE – Goiás
2024

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

LW195c Lima, Wallace Walker
CARNEIRO HIDRÁULICO ARTESANAL COM CAMPÂNU-
LAS DE PVC E AÇO ZINCADO / Wallace Walker Lima; orientador
Marcelo Zolin Lorenzoni. -- Posse, 2024.
33 p.

TCC (Graduação em Agronomia) -- Instituto Federal
Goiano, Campus Posse, 2024.

1. Bombeamento. 2. Energia Renovável. 3. Golpe de
Ariete. 4. Rendimento. I. Lorenzoni, Marcelo Zolin,
orient. II. Título.



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

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica (assinale com X)

- Tese
- Dissertação
- Monografia – Especialização
- Artigo - Especialização
- TCC - Graduação
- Artigo Científico
- Capítulo de Livro
- Livro
- Trabalho Apresentado em Evento
- Produção técnica. Qual: _____

Nome Completo do Autor: Wallace Walker Lima

Matrícula: 2019107200240091

Título do Trabalho: CARNEIRO HIDRÁULICO ARTESANAL COM CAMPÂNULAS DE PVC E AÇO ZINCADO

Restrições de Acesso ao Documento [Preenchimento obrigatório]

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 31/07/2024

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

A referida autora declara que:

1. O documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe

os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;

2. Obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;

3. Cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Posse, 2 de julho de 2024

Wallace Walker Lima

Assinado eletronicamente pelo o Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Marcelo Zolin Lorenzoni

Assinatura eletrônica do(a) orientador(a)

Documento assinado eletronicamente por:

- Wallace Walker Lima, 2019107200240091 - Discente, em 02/07/2024 17:22:06.
- Marcelo Zolin Lorenzoni, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 02/07/2024 17:18:25.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 02/07/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 612080
Código de Autenticação: 3cce6d8da4



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Posse

GO - 453 km 2,5, Fazenda Vereda do Canto, None, Distrito Agroindustrial, POSSE / GO, CEP 73900-000

(62) 3481-4677



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

Documentos 4/2024 - CPPGI-POS/CMPPPOS/IFGOIANO

FOLHA DE APROVAÇÃO

WALLACE WALKER LIMA

CARNEIRO HIDRÁULICO ARTESANAL COM CAMPÂNULA DE PVC E AÇO ZINCADO

Trabalho de Curso defendido e aprovado em 06/06/2024 pela comissão examinadora constituída pelos membros:

(Assinado Eletronicamente)

Marcelo Zolin Lorenzoni

Presidente/Orientador(a)

(Assinado Eletronicamente)

Álvaro Henrique Cândido de Souza

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Danilo Gomes de Oliveira

Membro

Documento assinado eletronicamente por:

- Alvaro Henrique Candido de Souza, COORDENADOR(A) DE CURSO - FUC1 - CCTAI-CRI, em 14/06/2024 09:57:03.
- Danilo Gomes de Oliveira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 06/06/2024 11:54:12.
- Marcelo Zolin Lorenzoni, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 06/06/2024 10:29:04.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 05/06/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 605510
Código de Autenticação: b4c8459a39



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Posse

GO - 453 km 2,5, Fazenda Vereda do Canto, 01, Distrito Agroindustrial, POSSE / GO, CEP 73900-000

(62) 3481-4677

RESUMO

Algumas propriedades rurais carecem pela escassez de recursos valiosos como a água e energia elétrica, principalmente as situadas em regiões remotas, limitando a subsistência de famílias e desenvolvimento regional. As formas alternativas de energia renovável estão cada vez mais crescente, uma opção para o recalque de água é o carneiro hidráulico artesanal, que tem como princípio de funcionamento o uso da energia cinética da água, dispensando a energia elétrica ou combustíveis fósseis. Contudo, a vazão de recalque de um carneiro hidráulico artesanal é considerada baixa, podendo haver melhorias para que ele possa atender a propriedades com maiores demandas de água. O objetivo desse trabalho foi realizar um estudo de caso por meio das implantações do protótipo de um carneiro hidráulico artesanal com a campânula de ar modificada e do carneiro hidráulico artesanal original, em dois experimentos instalados em propriedade rurais distintas. Os modelos foram testados inicialmente no Instituto Federal Goiano – Campus Posse e na fazenda Tafarel, a fim de verificar os parâmetros de pressão de recalque, vazão de recalque, rendimento de bombeamento e rendimento econômico. O esquema fatorial adotado foi de 2x2, considerando duas campânulas constituídas de materiais distintos (PVC e aço zincado) e duas alturas de recalque (4 m e 6 m) e cinco repetições. Os dados foram analisados, em caso de significância, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Foi verificado que o protótipo utilizando a campânula de aço zincado superou o original em relação aos parâmetros de vazão de recalque, pressão e rendimento de bombeamento.

Palavras-chave: bombeamento, energia renovável, golpe de aríete, rendimento.

ABSTRACT

Some rural properties lack valuable resources such as water and electricity, especially those located in remote regions, limiting family subsistence and regional development. Alternative forms of renewable energy are increasingly growing, one option for water repression is the artisanal hydraulic ram, which has as its operating principle the use of the kinetic energy of water, eliminating the need for electrical energy or fossil fuels. However, the discharge flow of a homemade hydraulic ram is considered low, and there may be improvements so that it can serve properties with greater water demands. The objective of this work was to carry out a case study through the implementation of the prototype of a homemade hydraulic ram with a modified air bell and the original artisanal hydraulic ram, in two experiments installed on different rural properties. The models were initially tested at the Instituto Federal Goiano – Campus Posse and at the Tafarel farm, in order to verify the parameters of boost pressure, boost flow, pumping yield and economic yield. The factorial scheme adopted was 2x2, considering two bells made of different materials (PVC and zinc-plated steel) and two settlement heights (4 m and 6 m) and five replications. Data were analyzed, in case of significance, using the Tukey test at 5% probability. It was verified that the prototype using the zinc-plated steel bell outperformed the original in relation to the parameters of discharge flow, pressure and pumping performance.

Keywords: pumping, renewable energy, water hammer, yield.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Principais componentes de um carneiro hidráulico.	5
Figura 2: Fases de bombeamento do carneiro hidráulico.	7
Figura 3: Esquema geral do funcionamento do carneiro hidráulico instalado.	7
Figura 4: Esquema de instalação do carneiro hidráulico; (A) Em área no IF Goiano – Campus Posse; (B) Em área na Fazenda Tafarel.	10
Figura 5: Fabricação da campânula de aço zincado; (A) Solda de oxigênio no topo do tubo de aço; (B) Materiais para vedar a base da campânula com um adaptador de rosca; (C) Campânula de aço concluída.	11
Figura 6: Fonte de alimentação do carneiro hidráulico; (A) Barragem artificial para alimentação; (B) Redução da tubulação de 50mm para 25mm de diâmetro; (C) Tela de proteção na entrada da tubulação de 50mm.	12
Figura 7: Regulagem da frequência de bombeamento.	13
Figura 8: Metodologias de aferição adotadas; (A) Medindo a pressão; (B) Aferição das vazões.	14
Figura 9: Vazão de recalque (Q_r); (A) relacionada as alturas de recalque no IF Goiano – Campus Posse; (B) relacionada com o material da campânula na Fazenda Tafarel; (C) relacionada as alturas de recalque na Fazenda Tafarel. Letras diferem estatisticamente pelo teste de Tukey. Posse – GO, 2024.	18
Figura 10: Pressão de recalque (P); (A) Relacionada ao material de composição da campânula no IF Goiano - Campus Posse; (B) relacionada as alturas de recalque no IF Goiano - Campus Posse; (C) relacionada ao material de composição da campânula na Fazenda Tafarel; (D) relacionada as alturas de recalque na Fazenda Tafarel. Letras diferem estatisticamente pelo teste de Tukey. Posse – GO, 2024.	19
Figura 11: Valores de rendimento de bombeamento (R) de acordo com o material da campânula (PVC e aço) no IF Goiano – Campus Posse. Letras diferem estatisticamente pelo teste de Tukey. Posse – GO, 2024.	20
Figura 12. Desdobramento da interação para a variável rendimento de bombeamento, considerando as campânulas constituídas por diferentes materiais (PVC e aço), e as alturas de recalque (4m e 6m) na Fazenda Tafarel. Letras diferem estatisticamente pelo teste de Tukey. Posse – GO, 2024.	20
Figura 13. Desdobramento da interação para a variável rendimento econômico (RE), considerando as campânulas constituídas por diferentes materiais (PVC e aço), e as alturas de recalque (4m e 6m) no IF Goiano – Campus Posse. Letras diferem estatisticamente pelo teste de Tukey. Posse – GO, 2024.	21
Figura 14. Desdobramento da interação para a variável rendimento econômico (RE), considerando as campânulas constituídas por diferentes materiais (PVC e aço), e as alturas de recalque (4m e 6m) na Fazenda Tafarel. Letras diferem estatisticamente pelo teste de Tukey. Posse – GO, 2024.	22
Figura 15: Desdobramento da interação para a variável rendimento econômico (RE), considerando as campânulas constituídas por diferentes materiais (PVC e aço), e as alturas de recalque (4m e 6m) no IF Goiano – Campus Posse. Letras diferem estatisticamente pelo teste de Tukey. Posse – GO, 2024.	24

Figura 16: Desdobramento da interação para a variável rendimento econômico (RE), considerando as campânulas constituídas por diferentes materiais (PVC e aço), e as alturas de recalque (4m e 6m) na Fazenda Tafarel. Letras diferem estatisticamente pelo teste de Tukey. Posse – GO, 2024. 24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resumo da tabela de Análise de Variância referente aos parâmetros avaliados no IF Goiano – Campus Posse..... 17

Tabela 2: Resumo da tabela de Análise de Variância referente aos parâmetros avaliados na Fazenda Tafarel..... 17

SUMÁRIO

RESUMO	II
ABSTRACT	III
LISTA DE FIGURAS	IV
LISTA DE TABELAS	V
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo geral.....	3
2.2 Objetivos específicos	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Sistemas de bombeamento	4
3.2 Carneiro hidráulico	5
3.3 Princípios de funcionamento.....	6
3.4 Rendimento teórico	8
4. MATERIAIS E MÉTODOS	10
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso indispensável para as atividades cotidianas e agropecuárias, podendo ser captada de cursos hídricos superficiais ou poços subterrâneos através de sistemas de bombeamento. Se tratando de atividades agropecuárias, a água é fundamental para a produção animal e de alimentos, a fim de suprir a demanda dos animais e das plantas. No entanto, para o bombeamento da água, o produtor precisa investir em energia (elétrica ou fóssil), recurso que nem sempre está facilmente acessível a algumas localidades.

Nessas propriedades rurais, comumente, a fonte de água está localizada abaixo do nível do reservatório, sendo necessário o uso de tubulações e sistemas de bombeamento para fornecer pressão ao fluido e elevar a água. Todavia, com a escassez de energia elétrica em algumas regiões associado ao custo pelo consumo, formas alternativas de recalque de água, que usam a energia do próprio fluido têm sido difundidas, como o uso do carneiro hidráulico (RIBEIRO, 2022).

O carneiro hidráulico é considerado uma bomba hidráulica simples, possuindo características geratriz e operatriz (MACINTYRE, 1980 apud ABATE e BOTREL, 2002). Sua fonte de energia provém basicamente de uma queda d'água, na qual a energia é gerada através da interrupção abrupta do movimento do fluido, provocando o golpe de aríete, no qual gera uma sobre pressão, que eleva parte da água para um nível superior (SARTURI e DAGOSTINI, 2019). Diante disso, o carneiro hidráulico pode ser utilizado de forma estratégica, sendo essencial para as propriedades que carecem de recursos como a energia elétrica ou combustíveis fósseis, mas se torna útil também como uma bomba reserva para os locais onde a eletricidade é interrompida frequentemente devido a dificuldades de acesso das redes elétricas ao local.

Do ponto de vista hidráulico, o golpe de aríete é considerado prejudicial à tubulação, contudo, o carneiro hidráulico artesanal utiliza esse fenômeno como o principal mecanismo de funcionamento para recalcar a água (PERIUS, 2023). É um equipamento acessível por possuir peças simples e de fácil aquisição, além de baixo custo, o que torna possível a confecção de forma artesanal. Porém, apesar das vantagens mencionadas, a vazão de recalque do carneiro hidráulico é considerada baixa, sendo um ponto a ser melhorado (OLIVEIRA, 2022) assim como o seu rendimento.

Dessa forma, com a possibilidade de confecção manual do carneiro hidráulico, é necessário a realização de testes práticos, mediante a substituição de peças com materiais distintos, para obter dados suficientes e com isso identificar qual a melhor condição de trabalho,

apresentando melhores rendimentos durante sua operação e conseqüentemente, o incremento de eficiência de bombeamento.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Verificar o desempenho de um carneiro hidráulico artesanal com campânula de PVC e aço zincado para duas alturas de recalque.

2.2 Objetivos específicos

- Implantar o carneiro hidráulico artesanal com campânula de PVC e aço zincado na Escola Fazenda do IF Goiano Campus Posse e em propriedade rural, para elevar a água a 4 e 6 m de altura;
- Avaliar os parâmetros para as duas condições (alturas e materiais), referentes à vazão e pressão de recalque, rendimento de bombeamento e rendimento econômico;
- Indicar qual o melhor material para ser utilizado como campânula.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Sistemas de bombeamento

Desde a antiguidade o homem busca o desenvolvimento de tecnologias que permitem retirar água dos corpos hídricos, sendo a roda Persa o primeiro mecanismo que surgiu, constituída por um eixo horizontal contendo calhas, onde o sistema era acionado por tração animal, e com o avanço da tecnologia, esse acionamento passou a ser feito com o próprio escoamento da água (COSTA, 2019).

A água é fundamental nas atividades agrícolas desenvolvidas em uma propriedade rural. No entanto, é necessário haver recursos que possibilitem a condução da água até as áreas onde as atividades estão sendo realizadas. A condução da água, depende de uma fonte de energia, seja elétrica, potencial ou gravitacional (DAL et al., 2016).

Um sistema de bombeamento convencional é composto basicamente por instalações e equipamentos responsáveis pelo deslocamento de um fluido entre dois pontos distintos, superando distâncias e desníveis geométricos. Por meio do conjunto de tubulações, acessórios e bombas, um sistema de bombeamento transforma diversas formas de energia em energia mecânica. Essa energia mecânica é transferida para o fluido, transportando-o para um reservatório ou ponto de consumo localizados em um nível superior ao da captação do fluido (REGO JÚNIOR, 2023).

Segundo Morales (2011), há diversos tipos de sistemas de bombeamento de água que podem ser implantados em uma propriedade rural. Esses sistemas são classificados com base em suas fontes de energia e características técnicas, e cada um irá dispor vantagens e desvantagens. Os sistemas de bombeamento com motores de combustão interna por exemplo, são bem difundidos por não dependerem de condições meteorológicas e geográficas para funcionar, além de possuírem uma facilidade de aquisição de peças e recurso humano para sua instalação e manutenção. Por outro lado, o custo operacional é elevado (necessita de um fornecimento periódico de combustíveis) e o sistema emite gases nocivos ao meio ambiente.

Se tratando dos sistemas de bombeamento ligados a rede elétrica convencional, esses possuem baixos custos de investimento e operacional, fácil aquisição de materiais, e baixo impacto ambiental, mas por outro lado exigem uma distribuição de rede elétrica no local. Para os sistemas de bombeamento fotovoltaicos, são destacadas vantagens como a independência de combustíveis, baixa necessidade de manutenção, fácil instalação e deslocamento, longa vida do gerador e autonomia operacional. Contudo, possui custo inicial elevado, depende de

condições climáticas, e há uma dificuldade em se obter materiais e mão de obra qualificada para a manutenção do sistema (MORALES, 2011).

Em relação ao bombeamento utilizando a própria força da água, podemos destacar como vantagens o não uso de fontes de energia externa (eletricidade ou combustíveis fósseis), a energia para o funcionamento é renovável, possui manutenção simples, fácil instalação, e não requer lubrificações, porém o rendimento é baixo (DIAS, 2020).

3.2 Carneiro hidráulico

O carneiro hidráulico foi inventado em 1772 por John Whitehurst, sendo necessário a presença de um operador para funcionar. Com o passar do tempo, os irmãos Montgolfier o automatizaram, chegando no que conhecemos hoje (DIAS, 2020).

O carneiro hidráulico é um equipamento usado para bombear a água de forma simples, barata e sustentável ao meio ambiente. A estrutura do sistema de um carneiro hidráulico é composta por um reservatório de alimentação localizado em nível superior, tubos que se ligam ao reservatório de alimentação, o próprio carneiro hidráulico, um reservatório de armazenamento, e tubulação de recalque que se conecta ao reservatório de armazenamento (VIEIRA, 2015).

Os principais componentes dessa bomba hidráulica são duas válvulas e uma câmara de ar (Figura 1), responsáveis pelo recalque da água, por meio do uso da sobre pressão gerada pelo golpe de aríete, um fenômeno que ocorre quando há interrupção abrupta do fluido que corre na tubulação (LUCHESE, 2020).

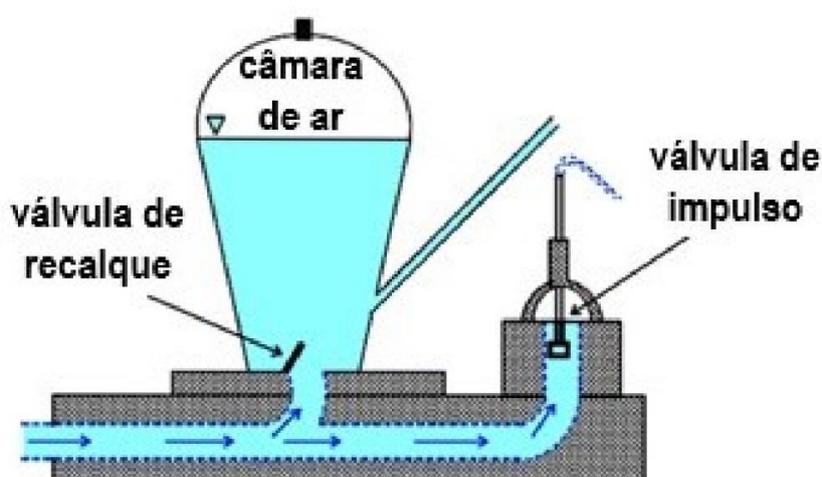


Figura 1: Principais componentes de um carneiro hidráulico.
Fonte: Dias, 2020.

A válvula de impulso é a responsável por gerar o golpe de aríete, a válvula de recalque irá manter o fluído dentro da câmara de ar (campânula), e essa câmara de ar irá receber o fluído provindo após o golpe de aríete, que logo em seguida é recalcado para um reservatório de armazenamento. Durante o processo, a campânula recebe o golpe de aríete, podendo sofrer deformações as quais o nível irá depender do tipo de composição do material utilizado.

Oliveira (2022), analisou a eficiência de carneiros hidráulicos equipados com campânulas constituídas por três materiais distintos (garrafa PET, tubo PVC e extintor de incêndio), e chegou à conclusão de que os materiais mais resistentes proporcionaram um melhor rendimento devido a terem sofrido menores deformidades.

3.3 Princípios de funcionamento

Para iniciar o funcionamento, o carneiro hidráulico deve estar instalado a no mínimo um metro abaixo do nível da fonte de alimentação do sistema (YKEDA et al., 2019). A água ao chegar no carneiro hidráulico sai pela válvula de impulso, quando ela atinge uma velocidade elevada, a válvula se fecha repentinamente, provocando o golpe de aríete que contribui para a elevação da água a níveis superiores.

O golpe de aríete pode ser observado ao fecharmos bruscamente a saída de água de uma mangueira, gerando um movimento independente dela, e esse mesmo princípio é usado pelo carneiro hidráulico para o recalque da água.

A figura 2 demonstra as fases para o funcionamento do carneiro hidráulico. Na fase 1, com a sobre pressão gerada pelo golpe de aríete, a água tende a voltar pela tubulação de alimentação, e passa pela válvula de recalque (válvula de retenção), dando de encontro com a campânula (fase 2). Nesta etapa, o ar da campânula é comprimido, aumentando a energia potencial do volume de água, e como a válvula de retenção é unidirecional, a única saída da água se torna a tubulação de recalque (fase 3). Por fim, a válvula de impulso (chamada também de válvula de desperdício) se abre, fazendo com que a água provinda da alimentação corra novamente pela tubulação (fase 4), reiniciando o ciclo (PERIUS, 2023).

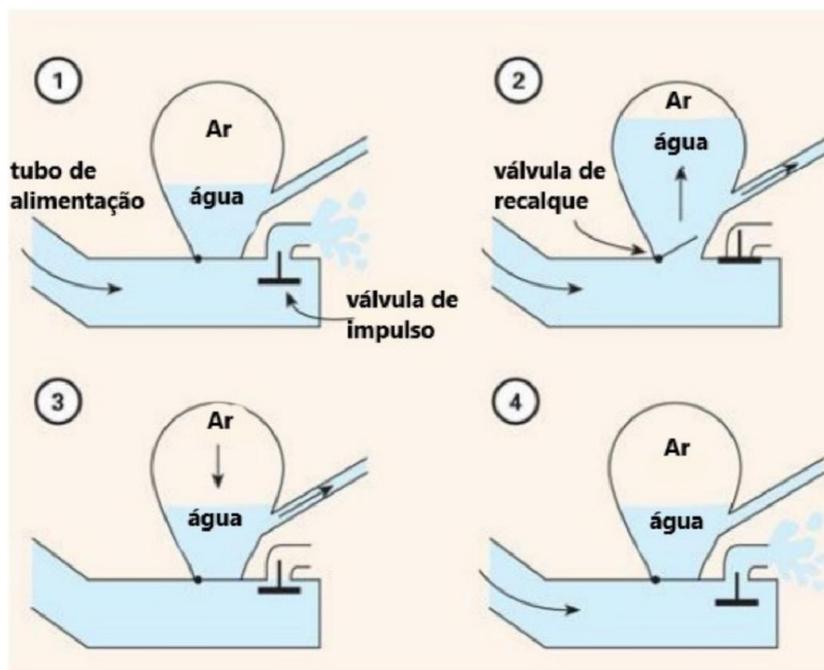


Figura 2: Fases de bombeamento do carneiro hidráulico.

Fonte: Dias, 2020.

Para o correto funcionamento, o sistema precisa de um declive para gerar a energia potencial gravitacional, e assim dar início ao funcionamento da bomba hidráulica (Figura 3). Quando a água provinda da alimentação corre na tubulação até a válvula de impulso, a energia potencial gravitacional se converte em energia cinética. A água então sobe para a campânula, comprimindo o ar. Por fim, a água escapa pela tubulação de recalque e segue para o reservatório (RIBEIRO, 2022).

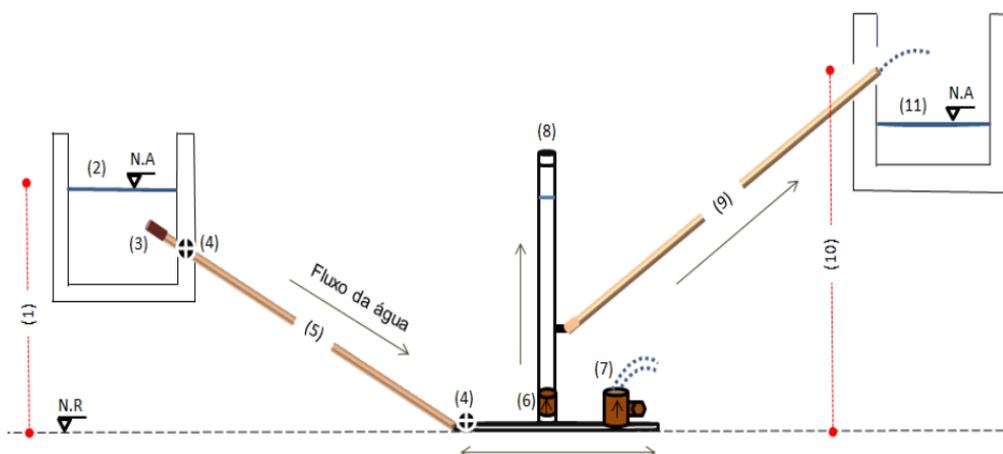


Figura 3: Esquema geral do funcionamento do carneiro hidráulico instalado.

Fonte: Costa, 2019.

Segundo Dias (2020), podemos destacar como principais vantagens do carneiro hidráulico artesanal, o não uso de fontes de energia externa como a eletricidade ou combustíveis fósseis para seu funcionamento, possui uma simples e pouca manutenção, é de fácil instalação, não requer lubrificações, é fonte de energia renovável, e não envolve custos na operação. Como desvantagens, são citadas o rendimento limitado pelas condições locais, e o ruído causado quando ocorre o fenômeno do golpe de aríete.

Buscando trabalhar em um ponto de melhoria do carneiro hidráulico, diversos autores elaboraram projetos no intuito de otimizar o rendimento de bombeamento. Abate e Botrel (2002), avaliaram o desempenho de um carneiro hidráulico submetido a dois materiais distintos na composição da tubulação de alimentação (PVC e aço galvanizado), e três alturas de desnível na alimentação (2,1, 3,8 e 4,7 metros). Os autores concluíram que até os 4,2 metros de desnível, a tubulação de PVC entrega um melhor rendimento, contudo, acima desse valor, a tubulação de aço se sobressai na eficiência.

Ribeiro e Lourençoni (2015), confeccionaram um carneiro hidráulico de PVC e adotaram cinco frequências de bombeamento diferentes (36, 40, 48, 60 e 80 batidas por minuto). O resultado dos autores mostra que as frequências de maiores rendimentos para as condições locais foram as de 48, 60 e 80 batidas por minuto.

3.4 Rendimento teórico

De acordo com Vieira (2015), o máximo de rendimento que um carneiro hidráulico pode alcançar, é de 60%. Para Silveira et al. (2015), o rendimento varia entre 20% e 70%, onde os carneiros hidráulicos confeccionados com garrafas PET ou PVC, ficam entre 30% e 60% de rendimento. Contudo, esses valores podem ser bem menores. Diversos fatores podem influenciar nesse rendimento, como a altura de recalque e a frequência de bombeamento. Outro fator que interfere, é a proporção entre as alturas de sucção e recalque, em que quanto maior a altura de recalque em relação a de sucção, menor será o rendimento.

Em um trabalho realizado por Borzi e Prado (2018), com o objetivo de avaliar os rendimentos de carneiros hidráulicos constituídos por diferentes volumes de câmara de ar e posicionamentos de válvula de escape, verificaram que, ao analisarem as curvas de rendimento dos carneiros, a vazão de recalque sofria redução quase que constantemente a medida em que se incrementava a altura de recalque.

Silveira et al. (2015), implantaram um carneiro hidráulico constituído de PVC, em um local sujeito a queda de alimentação de 2,5 metros, e avaliaram seus parâmetros de rendimento nas alturas de recalque de 1, 1,5, 2, 2,5 e 3 metros. Eles constaram que a cada 0,5 metros de

altura de recalque, a vazão reduzia em 20%, e o desperdício aumentava. Ou seja, a medida em que se eleva a altura, mantendo o desnível de alimentação constante, o rendimento é reduzido.

É descrito por Perius (2023), que a sobrepressão gerada pelo golpe de aríete, na qual influência diretamente sobre o rendimento do carneiro hidráulico, sofre limitações por diversos fatores, como o material usado na fabricação dos tubos e acessórios, o tempo de fechamento da válvula de desperdício, e as características do próprio líquido a ser bombeado.

Um fator importante a ser considerado para o rendimento, é a perda de carga, conceituada como a transformação da energia cinética em calor. A perda de carga está relacionada ao atrito do líquido com a parede interna da tubulação, e pode ser vista por meio da fórmula de Hazen-Williams, que é usada para verificar o coeficiente de perda de carga distribuída de acordo com cada tipo de material usado (PERIUS, 2023). O coeficiente de perda de carga é inversamente proporcional a perda de carga. Um material de PVC que possui o coeficiente de perda de carga no valor de 140, irá apresentar menor perda de carga se comparado ao aço galvanizado, cujo valor do coeficiente de perda é 125.

Contudo, apesar do aço galvanizado sofrer com maiores perdas de carga, Abate e Botrel (2002) afirmam que ele apresenta uma vantagem sobre o PVC, principalmente em relação as conexões. A deformidade do aço é muito baixa, o que melhora a propagação do golpe de aríete, proporcionando dessa forma, um aumento da sobrepressão responsável pelo recalque do líquido.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliação do carneiro hidráulico, foram montados dois experimentos em localidades distintas. O primeiro experimento foi implantado em uma área da Escola Fazenda do Instituto Federal Goiano – Campus Posse (Latitude 14° 06' 30" S e Longitude 46° 19' 38" W). Como pode ser observado no esquema da figura 4A, para a fonte de alimentação do carneiro hidráulico, utilizou-se uma caixa d'água posicionada no topo de um declive, simulando dessa forma, a queda da água de um manancial, com a função de acelerar o movimento da água pela gravidade para fornecer a energia cinética ao carneiro hidráulico.

O segundo experimento foi instalado em uma área na fazenda Tafarel, localizada no povoado Sumidouro, a 30 km da cidade de Posse Goiás (Latitude 13° 55' 04" S e Longitude 46° 20' 19" W). A bomba hidráulica foi colocada próximo ao manancial da propriedade, conforme o esquema abaixo (Figura 4B), onde podemos observar o carneiro hidráulico (CH) na parte inferior do terreno, a altura de recalque (H), altura de alimentação (h), e a barragem de alimentação localizada na região superior da área.

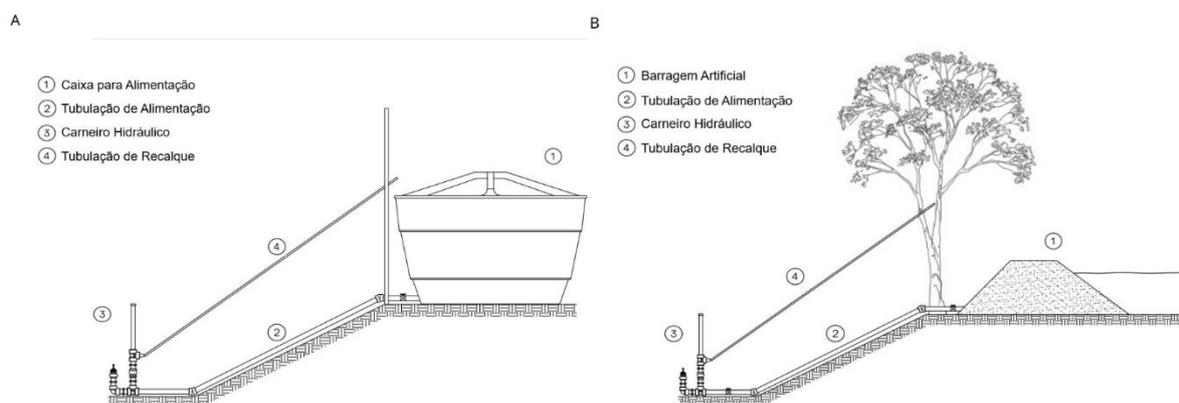


Figura 4: Esquema de instalação do carneiro hidráulico; (A) Em área do IF Goiano – Campus Posse; (B) Em área da Fazenda Tafarel.

Fonte: Autor, 2024.

Em ambos os locais do experimento, foi usada a mesma metodologia, adotando-se um esquema fatorial 2×2 com cinco repetições, sendo o primeiro fator constituído de duas campânulas de materiais diferentes (PVC e aço), e o segundo fator de duas alturas de recalque (4 m e 6 m). As repetições eram realizadas em intervalos de 30 minutos após o funcionamento da bomba hidráulica.

O carneiro hidráulico artesanal original foi adquirido em uma loja online. Visando reduzir o erro experimental, foi feita a substituição da campânula de PVC desse carneiro hidráulico original, por uma de aço, ou seja, foi utilizado apenas um carneiro hidráulico artesanal para representar os dois modelos do projeto, realizando apenas a troca das campânulas durante o experimento.

A campânula fabricada, foi feita com um tubo de aço zincado de 40 cm de comprimento. Usando solda de oxigênio, foi colocada uma tampa no topo (Figura 5A). Na base do tubo de aço zincado, foi acoplado um adaptador de rosca para rosquear a campânula no carneiro hidráulico (Figuras 5B e 5C).

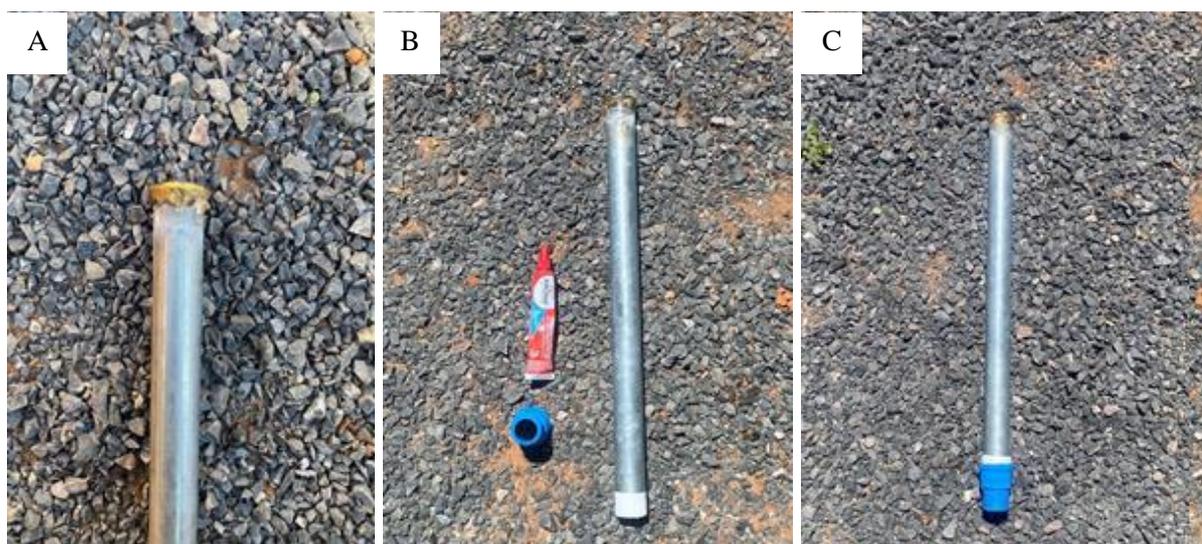


Figura 5: Fabricação da campânula de aço zincado; (A) Solda de oxigênio no topo do tubo de aço; (B) Materiais para vedar a base da campânula com um adaptador de rosca; (C) Campânula de aço concluída.

Fonte: Autor, 2024.

Na área do IF Goiano – Campus Posse, utilizou-se uma caixa d’água para alimentar a bomba hidráulica. Já na Fazenda Tafarel, foi necessário a construção de uma pequena barragem artificial (Figura 6A), onde colocou-se uma tubulação de 50mm de diâmetro, com redução para uma de 25mm (Figura 6B). Na entrada da tubulação de 50mm, fixou-se uma tela de proteção (Figura 6C), com o objetivo de evitar a entrada de impurezas no sistema de bombeamento.



Figura 6: Fonte de alimentação do carneiro hidráulico; (A) Barragem artificial para alimentação; (B) Redução da tubulação de 50mm para 25mm de diâmetro; (C) Tela de proteção na entrada da tubulação de 50mm.

Fonte: Autor, 2024.

A altura do desnível de alimentação da bomba hidráulica, foi medida com o auxílio de uma fita métrica e calculada pelo teorema de Pitágoras, sendo obtidas as alturas de 2,18 m e 1,82 m para o experimento instalado na Escola fazenda do IF Goiano Campus Posse e na Fazenda Tafarel, respectivamente.

Em relação a vazão de alimentação, no IF Goiano - Campus Posse foi de 1680 L/h, e na Fazenda Tafarel foi aferido 1638 L/h.

O número de batidas por minuto (frequência de bombeamento) foi definido com o auxílio de um cronômetro e um alicate para regulagem das porcas da válvula de admissão (Figura 7), sendo que em ambos os locais, adotou-se uma frequência de bombeamento de 61 batidas por minuto.



Figura 7: Regulagem da frequência de bombeamento.

Fonte: Autor, 2024.

De acordo com Ykeda et al. (2019), cada caso possui uma frequência de bombeamento ideal. Diante disso, a mesma frequência foi usada nos dois experimentos, uma vez que as condições de alimentação e recalque eram semelhantes.

Para se dar início ao funcionamento correto do carneiro hidráulico, independente do modelo ou local de instalação, foi necessário primeiramente que se elevasse a tubulação de recalque até a altura de recalque desejada, e posteriormente realizou-se a regulagem da frequência de bombeamento (batidas/minuto da válvula). Dessa forma, são evitadas uma vibração anormal da válvula de impulso (que pode ser confundida com defeito na mola), e a redução do recalque do fluido, que ocorrem caso a altura manométrica de recalque esteja baixa a ponto de não oferecer resistência para se iniciar um novo ciclo de recalque no carneiro hidráulico.

O preço total do carneiro hidráulico equipado com campânula de PVC já instalado, foi de R\$295,76. E o carneiro hidráulico equipado com campânula de aço zincado já instalado, teve um custo total de R\$361,86.

As variáveis analisadas foram pressão de recalque, vazões de alimentação e recalque, e rendimentos de bombeamento e econômico.

A pressão de recalque foi aferida com o auxílio de um manômetro (Figura 8A), sendo acoplado na saída da mangueira de recalque. Para medir as vazões, foi utilizado um cronômetro e um recipiente de volume conhecido (Figura 8B), que serviram para aferir o volume do fluido por um determinado tempo, baseando-se no princípio da seguinte fórmula:

$$Q = \frac{V}{\Delta t} \quad (1)$$

Em que:

Q: vazão (m³/s);

V: volume (L);

Δt : intervalo de tempo (s).

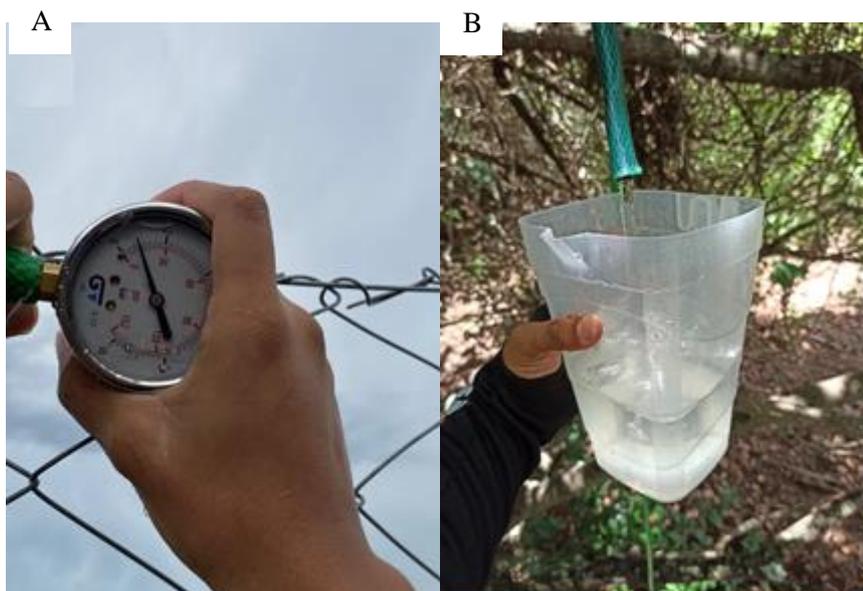


Figura 8: Metodologias de aferição adotadas; (A) Medindo a pressão; (B) Aferição das vazões.

Fonte: Autor, 2024.

Em relação ao rendimento de bombeamento, foi calculado de acordo com a fórmula adotada por Ribeiro (2022):

$$R = \frac{qH}{Qh} \quad (2)$$

Em que:

R: rendimento de bombeamento (%);

q: vazão elevada (m³/s);

H: altura da elevação (m);

Q: vazão recebida (m³/s);

H: altura da queda (m).

Para calcular o rendimento econômico (RE), visando analisar o custo-benefício de ambos os modelos de carneiro hidráulico artesanal, foi usada a fórmula 3.

$$RE = \frac{Qb}{c} \quad (3)$$

Em que:

RE: rendimento econômico (L/dia/R\$);

Qb: vazão bombeada (L/dia);

C: custo do carneiro hidráulico (R\$).

O esquema a seguir (Figura 9) apresenta com detalhes as peças e conexões do carneiro hidráulico utilizado. E na figura 10 estão o equipamento implantado em ambos os locais de experimento.

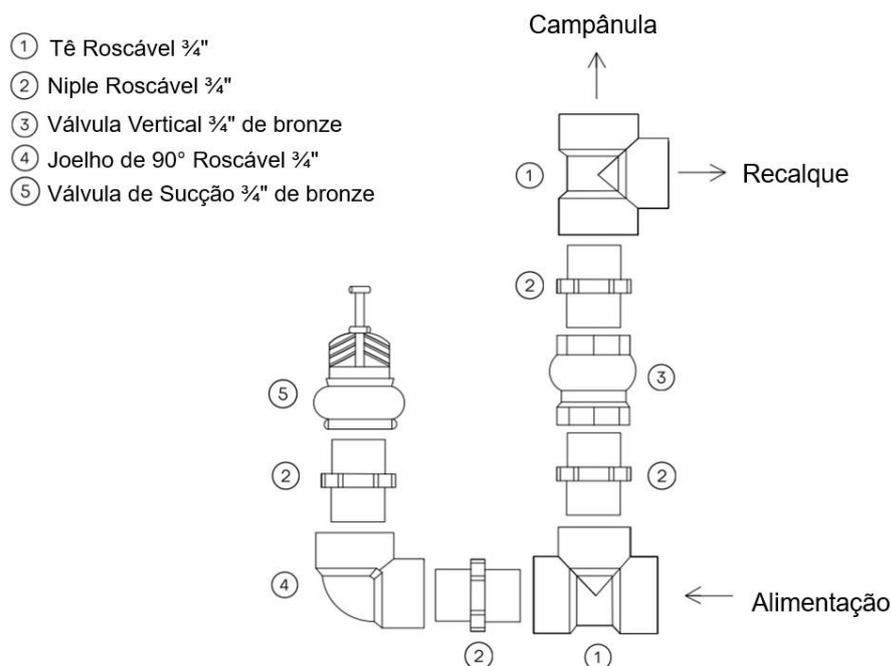


Figura 9: Peças e conexões do carneiro hidráulico utilizado.

Fonte: Autor, 2024.

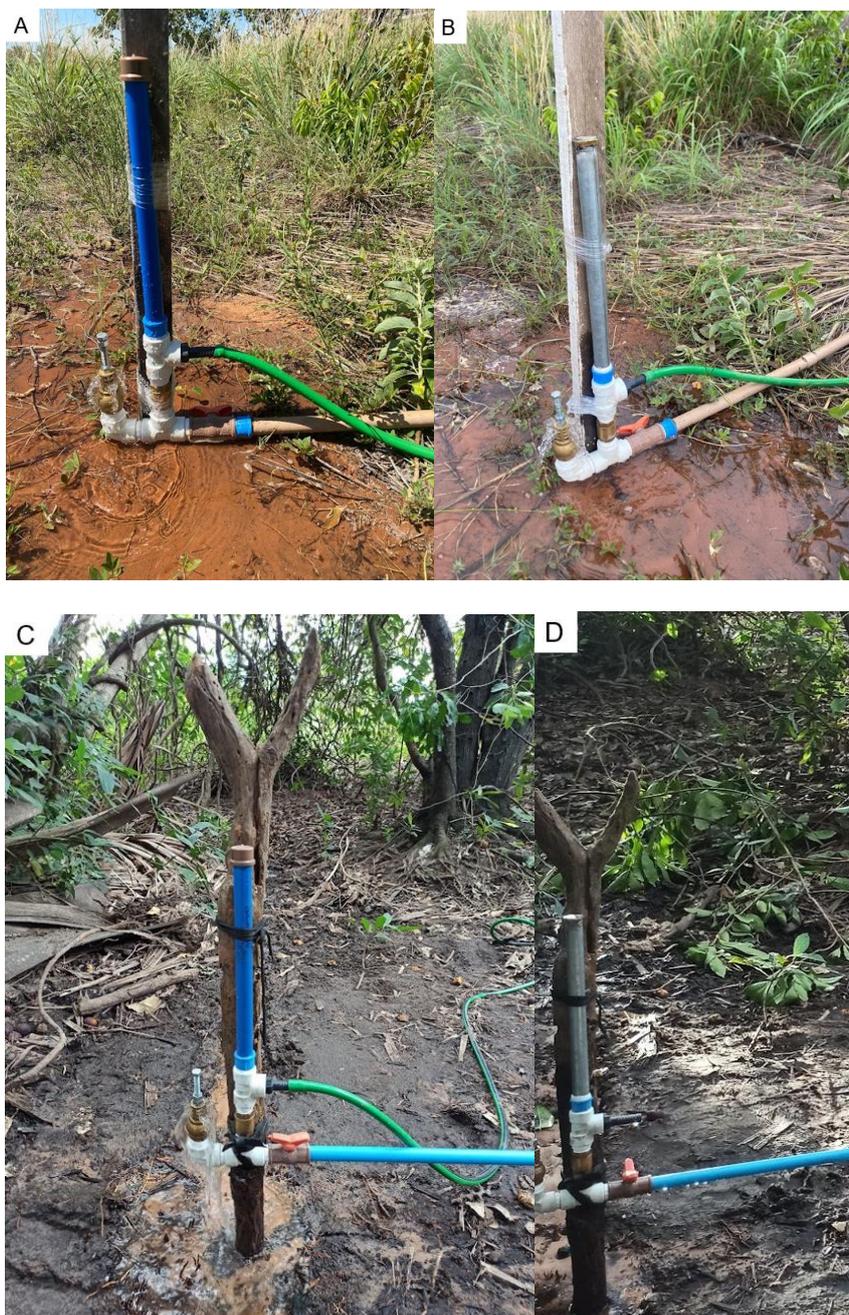


Figura 10: Modelos instalados nos locais de experimento; A: Campânula de PVC no IF Goiano – Campus Posse; B: Campânula de aço no IF Goiano – Campus Posse; C: Campânula de PVC na Fazenda Tafarel; D: Campânula de aço na Fazenda Tafarel.

Fonte: Autor, 2024.

Os dados coletados foram submetidos a análise de variância, com 5% de probabilidade e em caso de significância, analisadas pelo Teste de Tukey, utilizando o software Sisvar (FERREIRA, 2014).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Se tratando dos parâmetros avaliados, nas tabelas 1 e 2 encontram-se os valores e significâncias referentes a vazão de recalque (Qr), pressão de recalque (P), rendimento de bombeamento (R) e rendimento econômico (RE), para os experimentos instalados no Campus Posse e na fazenda Tafarel, respectivamente.

Tabela 1: Resumo da tabela de Análise de Variância referente aos parâmetros avaliados no IF Goiano – Campus Posse.

Valores de F					
Variável	Material (M)	Altura de Recalque (Hr)	M x Hr	CV (%)	Média Geral
Vazão de Recalque (Qr)	3,879 ^{ns}	314,182*	0,242 ^{ns}	5,02	1,81
Pressão de Recalque (P)	11543,143*	7,143*	2,571 ^{ns}	1,04	0,807
Rendimento de Bombeamento (R)	4,846*	0,011 ^{ns}	0,890 ^{ns}	4,91	14,236
Rendimento Econômico (RE)	50,477*	326,565*	5,345*	4,95	7,989

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, ^{ns} não significativo pelo teste F.

Tabela 2: Resumo da tabela de Análise de Variância referente aos parâmetros avaliados na Fazenda Tafarel.

Valores de F					
Variável	Material (M)	Altura de Recalque (Hr)	M x Hr	CV (%)	Média Geral
Vazão de Recalque (Qr)	8,471*	46,118*	2,118 ^{ns}	9,31	0,99
Pressão de Recalque (P)	8893,5*	28,167*	4,167 ^{ns}	0,5	1,1015
Rendimento de Bombeamento (R)	11,403*	8,806*	4,618*	9,09	9,6807
Rendimento Econômico (RE)	3,594 ^{ns}	47,093*	4,472*	9,47	4,3532

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, ^{ns} não significativo pelo teste F.

Como pode ser observado, a tabela 1 (IF Goiano – Campus Posse), mostra valor significativo da Qr somente para o parâmetro da altura de recalque. Já na tabela 2 (Fazenda Tafarel), a Qr apresentou valores significativos em relação ao tipo de material utilizado para a confecção da campânula, e em relação as alturas de recalque.

Em relação as alturas de recalque, em ambos os locais a Qr foi maior nos 4 metros (Figuras 9A e 9C), corroborando com o trabalho de Borzi e Prado (2018), onde se tem uma redução constante da vazão à medida em que se eleva a altura de recalque. Na Fazenda Tafarel, o carneiro hidráulico (CH) com campânula de PVC apresentou uma Qr significativamente inferior ao CH com campânula de aço zincado (Figura 9B).

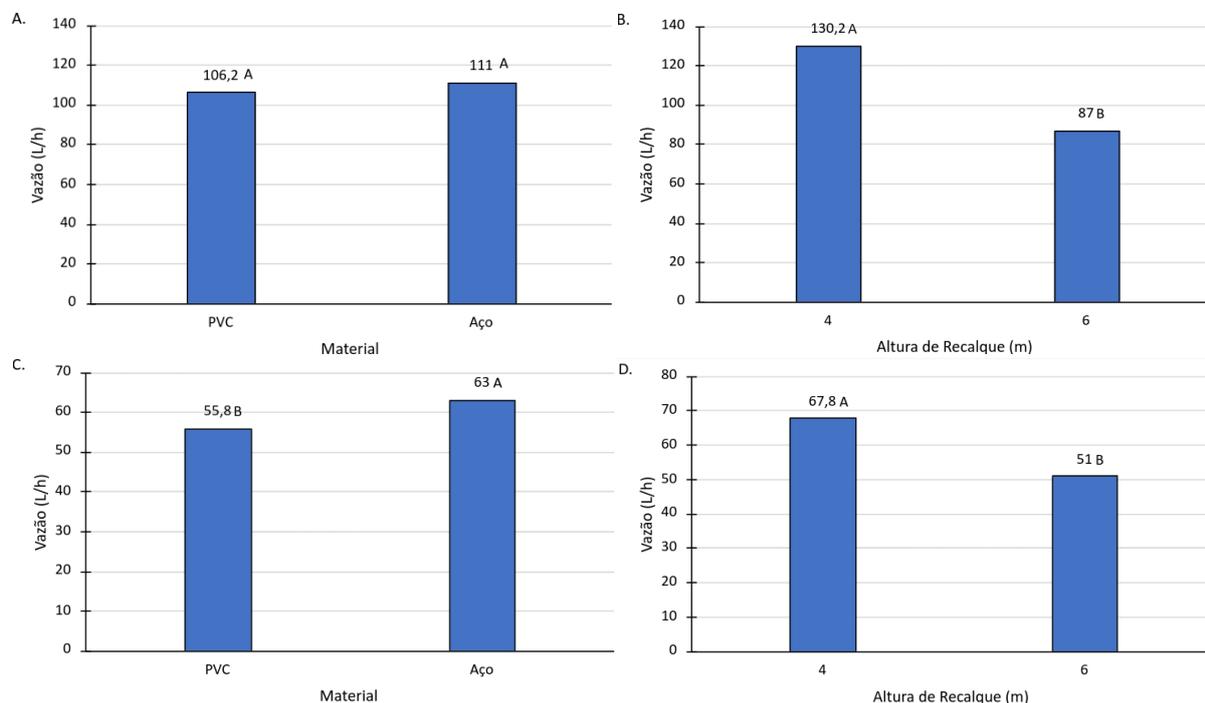


Figura 11: Vazão de recalque (Qr); (A) Relacionada ao material de composição da campânula no IF Goiano - Campus Posse; (B) relacionada as alturas de recalque no IF Goiano - Campus Posse; (C) relacionada ao material de composição da campânula na Fazenda Tafarel; (D) relacionada as alturas de recalque na Fazenda Tafarel. Letras diferem estatisticamente pelo teste de Tukey. Posse – GO, 2024.

Se tratando da pressão de recalque, nos dois locais do experimento, os valores foram significativos considerando os materiais de composição da campânula e as alturas de recalque (Tabelas 1 e 2). Em ambos os locais, houve um aumento da P ao se utilizar a campânula de aço zincado (Figuras 10A e 10C), resultado esse semelhante ao encontrado por Oliveira (2022) após avaliar três campanulas constituídas por materiais diferentes.

Vale ressaltar que um material mais rígido propaga melhor o golpe de aríete devido a sua menor deformidade (ABATE e BOTREL, 2002), fato que explica o aumento de P adotando-se o carneiro hidráulico equipado com a campanula de aço zincado. O valor da P também se apresentou mais elevado nas alturas de recalque de 4 metros em ambos os locais do experimento (Figuras 10B e 10D).

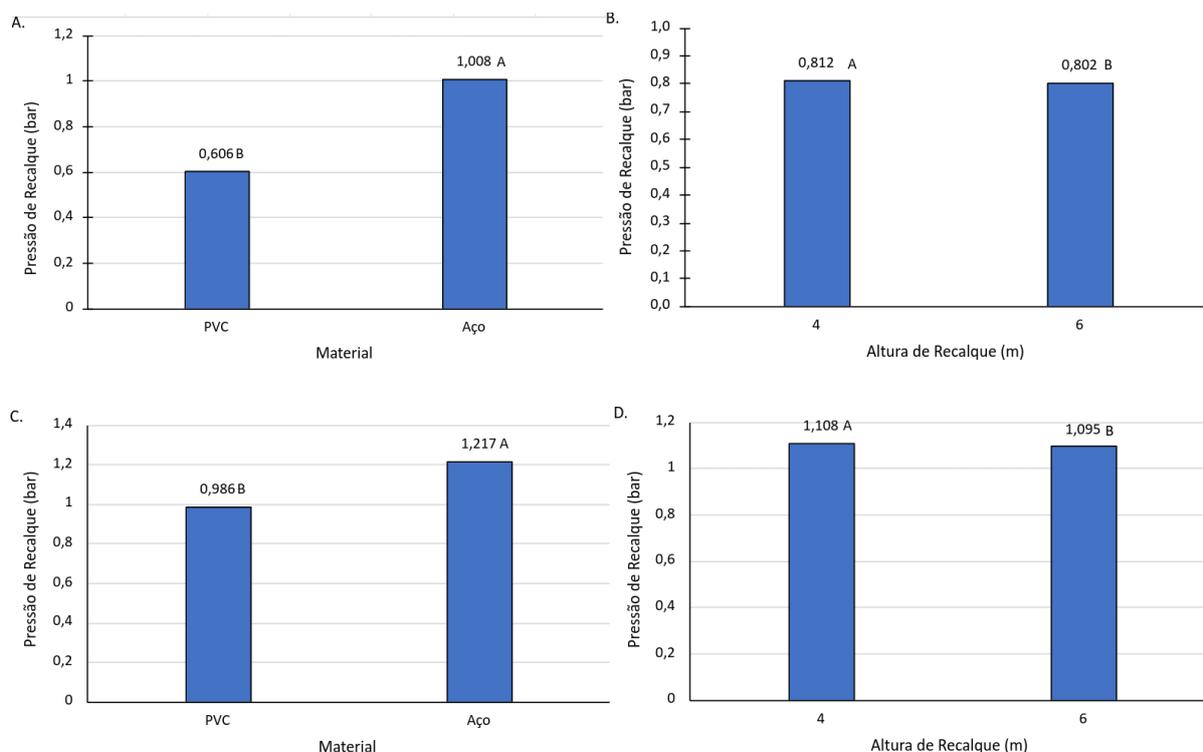


Figura 10: Pressão de recalque (P); (A) Relacionada ao material de composição da campânula no IF Goiano - Campus Posse; (B) relacionada as alturas de recalque no IF Goiano - Campus Posse; (C) relacionada ao material de composição da campânula na Fazenda Tafarel; (D) relacionada as alturas de recalque na Fazenda Tafarel. Letras diferem estatisticamente pelo teste de Tukey. Posse – GO, 2024.

No IF Goiano – Campus Posse, o valor do R foi significativo para o material de composição da campânula (Tabela 1). Na Fazenda Tafarel, o R apresentou valores significativos para o material de composição da campânula, a altura de recalque, e para o desdobramento da interação do R com o material e a altura de recalque (Tabela 2).

O R em ambos os locais foi superior para o carneiro hidráulico equipado com a campânula de aço zincado, o que já era esperado, uma vez que essa campânula proporcionou maiores valores de Qr e P para a bomba hidráulica. A figura 11 apresenta um resultado obtido na área do IF Goiano – Campus Posse, onde a campânula de aço zincado possui um maior valor de R.

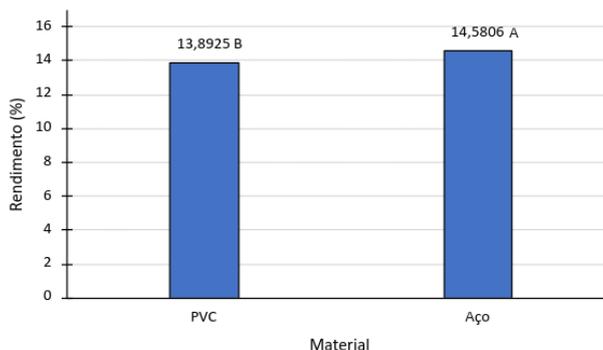


Figura 13: Valores de rendimento de bombeamento (R) de acordo com o material da campânula (PVC e aço) no IF Goiano – Campus Posse. Letras diferem estatisticamente pelo teste de Tukey. Posse – GO, 2024.

Em relação ao desdobramento da interação do R com o material de composição da campânula e a altura de recalque, se tratando da Fazenda Tafarel, podemos observar na figura 12 que somente na altura de recalque de 6 metros houve uma diferença significativa de R quando se compara os materiais, onde a campânula de aço zincado se sobressai.

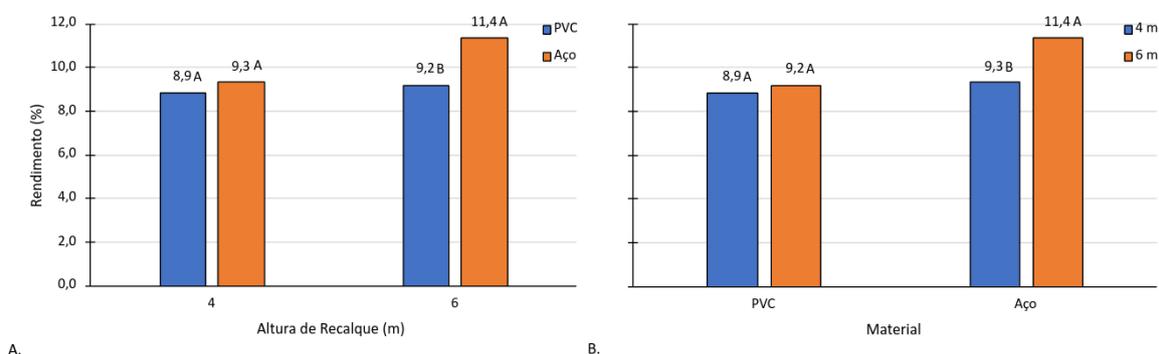


Figura 14: Desdobramento da interação para a variável rendimento de bombeamento, considerando as campânulas constituídas por diferentes materiais (PVC e aço), e as alturas de recalque (4m e 6m) na Fazenda Tafarel. Letras diferem estatisticamente pelo teste de Tukey. Posse – GO, 2024.

De acordo com Vieira (2015), a medida em que a altura de recalque aumenta, ocorre a redução da porcentagem do R. Contudo, no carneiro hidráulico equipado com campânula de aço zincado, por meio da fórmula apresentada por Ribeiro (2022), foi calculado um R superior para a altura de recalque de 6 metros (11,4%), e inferior para a de 4 metros (9,3%).

Esse resultado se deve a estrutura da fórmula 2, onde o produto da vazão de recalque pela altura de recalque (valores que variam nesse experimento) é dividido pelo produto da vazão de alimentação pela altura do desnível de alimentação (valores constantes nesse experimento). Quando há o aumento de um dos valores variáveis (valores no numerador da fração da fórmula), como foi o caso da altura de recalque para 6 metros, e redução não significativa do outro valor variável (vazão de recalque), o produto desses, dividido pelo

produto dos valores constantes (valores no denominador da fração da fórmula), irá resultar em um aumento de rendimento de bombeamento, pois houve um aumento do valor a ser dividido na fórmula (aumentou-se o valor do numerador da fração da fórmula).

Contudo, se a altura de recalque aumentar, e a vazão de recalque apresentar redução significativa, o R diminui, uma vez que o valor a ser dividido fica menor, enquanto o valor do produto das constantes irá se manter. Ou seja, o carneiro hidráulico equipado com campânula de aço zincado conseguiu manter uma vazão de recalque significativa mesmo diante do aumento da altura de recalque para 6 metros, o que gerou o aumento da porcentagem de R calculado por meio da fórmula apresentada por Ribeiro (2022).

Se tratando do rendimento econômico (RE), na tabela 1 (IF Goiano – Campus Posse), os valores de RE foram significativos para o material de composição da campânula, a altura de recalque, e para o desdobramento da interação do RE com o material e a altura de recalque. Na tabela 2 (Fazenda Tafarel), temos que os valores de RE foram significativos para as alturas de recalque, e para o desdobramento da interação do RE com o material e a altura de recalque.

Considerando o desdobramento da interação do RE com o material de composição da campânula e a altura de recalque no IF Goiano – Campus Posse (Figura 13), nota –se que em ambas as alturas de recalque, o PVC apresentou um valor mais alto de RE, isso devido ao seu menor custo total.

Para os dois materiais de composição da campânula, a altura de recalque de 4 metros proporcionou um valor superior de RE, resultado provindo do fato de que as maiores vazões de recalque foram alcançadas nessa altura de recalque, compensando o preço pago pela bomba hidráulica e pelas tubulações de alimentação e de recalque.

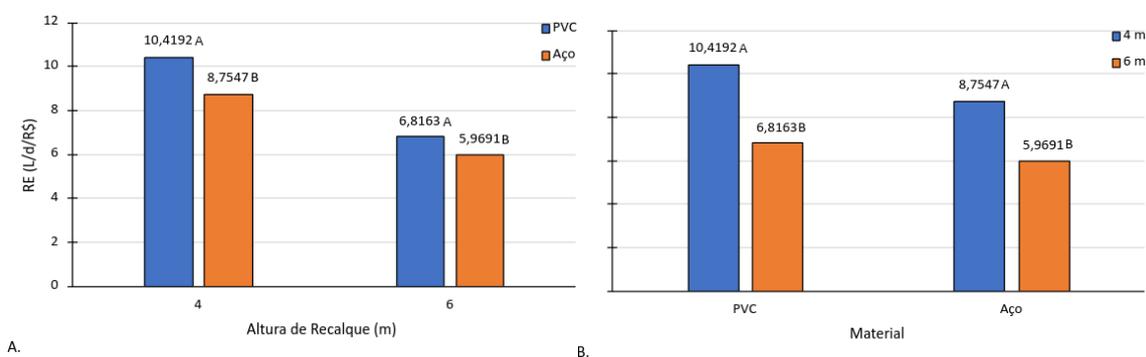


Figura 15: Desdobramento da interação para a variável rendimento econômico (RE), considerando as campânulas constituídas por diferentes materiais (PVC e aço), e as alturas de recalque (4m e 6m) no IF Goiano – Campus Posse. Letras diferem estatisticamente pelo teste de Tukey. Posse – GO, 2024.

Na Fazenda Tafarel, o desdobramento da interação do RE com o material de composição da campânula e a altura de recalque (Figura 14) mostra que para as alturas de recalque, somente nos 4 metros a campânula de PVC apresentou um RE mais alto. Analisando os 6 metros de recalque, os RE dos materiais se encontram estatisticamente iguais, o que favorece a adoção do CH equipado com campânula de aço zincado, pois o modelo proporciona maior rendimento de bombeamento. Para os materiais de composição da campânula, em ambos, a altura de recalque de 4 metros obteve um valor de RE superior.

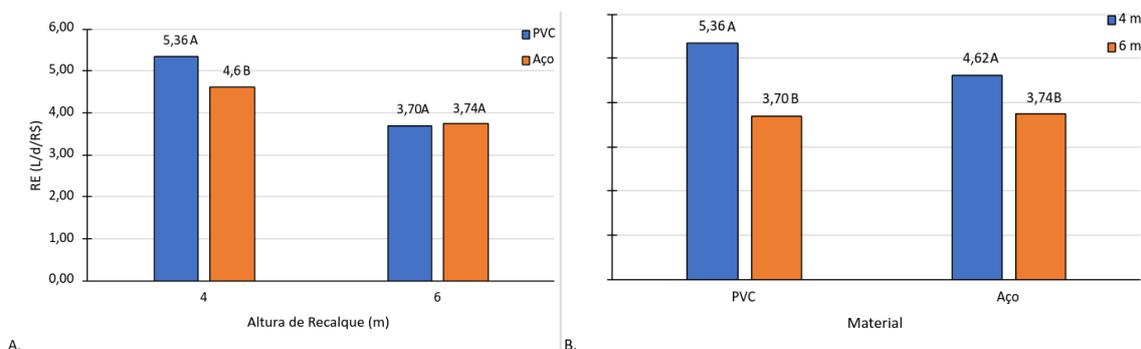


Figura 16: Desdobramento da interação para a variável rendimento econômico (RE), considerando as campânulas constituídas por diferentes materiais (PVC e aço), e as alturas de recalque (4m e 6m) na Fazenda Tafarel. Letras diferem estatisticamente pelo teste de Tukey. Posse – GO, 2024.

O preço total do CH equipado com campânula de PVC já instalado, foi de R\$295,76, tornando-o mais em conta que o CH equipado com campânula de aço zincado já instalado (R\$361,86). No entanto, o investimento no CH protótipo se mostrou mais viável na adoção da altura de recalque de 6 metros na Fazenda Tafarel, uma vez que proporcionou o valor de R superior, e o valor do RE igual ao do CH original.

A bomba hidráulica equipada com campânula de PVC apresentou um valor de rendimento econômico maior que o do protótipo na altura de recalque de 4 metros em ambos os locais do experimento. Contudo, na Fazenda Tafarel, os rendimentos econômicos dos CH foram estatisticamente iguais perante os 6 metros de altura de recalque, tornando o protótipo mais adequado para o uso nessa situação, uma vez que ele proporciona valores superiores de vazão de recalque, pressão de recalque e rendimento de bombeamento.

6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

O presente trabalho, constatou que o CH equipado com campânula de aço zincado se mostrou superior em relação ao CH equipado com campânula de PVC no que diz respeito aos parâmetros de vazão de recalque, pressão de recalque e rendimento de bombeamento.

Em relação ao rendimento econômico, o CH equipado com campânula de PVC se mostrou superior em ambas as alturas de recalque (4m e 6m) considerando a área do IF Goiano – Campus Posse. Já se tratando da área da Fazenda Tafarel, o resultado foi semelhante na altura de recalque de 4 metros, sendo diferente somente na altura de recalque de 6 metros, onde os valores do rendimento econômico dos dois modelos se apresentaram estatisticamente iguais.

Diante disso, é recomendada a adoção do CH equipado com campânula de aço zincado nas condições da área do IF Goiano – Campus Posse, ou na altura de recalque de 4 metros da Fazenda Tafarel, somente se houver a possibilidade de redução de custos com as adoções dos materiais e confecção da campânula (aço zincado, conexão rosqueada, solda de oxigênio).

Na altura de recalque de 6 metros da Fazenda Tafarel, recomenda-se a adoção do CH equipado com campânula de aço zincado, uma vez que ele apresentou um valor de rendimento econômico estatisticamente igual ao do CH equipado com campânula de PVC, e obteve valores superiores de vazão de recalque, pressão de recalque e rendimento econômico nessas condições.

O CH equipado com campânula de aço zincado demonstrou maior potencial para se testar valores mais elevados de alturas de recalque, pois manteve sua pressão de recalque superior em ambos os locais. E para potencializar o desempenho do CH, podem ser aplicadas melhores condições de alimentação, como maiores vazões e desníveis para alimentar a bomba hidráulica.

Futuramente, estudos podem ser realizados com a inclusão de uma válvula snifer no protótipo do CH desenvolvido. Dessa forma, poderá ser analisada a influência dela sobre parâmetros como vazão, pressão, rendimento, e vida útil do equipamento.

Outra modificação que pode ser realizada e analisada, é o aumento do diâmetro da tubulação de alimentação, se iniciando com 100 milímetros, reduzindo para 50 milímetros, e finalmente para 25 milímetros. Dessa forma, espera-se que a pressão de recalque da bomba hidráulica aumente.

Por fim, podem ser testadas outras frequências de bombeamento para as diferentes alturas de recalque, buscando alcançar a máxima eficiência da bomba hidráulica artesanal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABATE, Caroline; BOTREL, Tarlei Arriel. Carneiro hidráulico com tubulação de alimentação em aço galvanizado e em PVC. **Scientia Agricola**, v. 59, p. 197-203, 2002.

BORZI, Nyara Regina Grando; DO PRADO, Giuliani. Construção e avaliação de carneiros hidráulicos. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 5, pág. 2954-2963, 2018.

COSTA, Natalice de Andrade Muniz. **Adoção do carneiro hidráulico para estudo didático**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental). Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2019. 48 f.

DAL BEM, Julio César Trevisan et al. Solução para bombeamento de água em propriedades rurais utilizando energia solar fotovoltaica. In: **Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS**. 2016. p. 1-8.

DIAS, Lenon Costa. **Avaliação do efeito do volume da câmara de ar combinado com a frequência de bombeamento em um carneiro hidráulico**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019. 66 f.

DUARTE, Luana Cristina et al. Mercados para a agricultura familiar. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 44370-44384, 2020.

FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

LUCHESE, Thiago. Considerações teóricas a respeito de um carneiro hidráulico sob condições ideais de funcionamento. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 46766-46787, 2020.

MORALES, Luis Roberto Valer. **A utilização de sistemas fotovoltaicos de bombeamento para irrigação em pequenas propriedades rurais**. 2011. Tese (Mestrado em Energia). Universidade de São Paulo, 2011. 170 f.

OLIVEIRA, Suéli. Análise energética da utilização de um carneiro hidráulico. **14º jornada científica e tecnológica e 11º simpósio de pós-graduação do IFSuldeMinas**, v. 14, n. 2, 2022.

PERIUS, Rafael Henrique Mallmann. **Desempenho de um carneiro hidráulico de 1º construído em aço galvanizado atuando com uma e duas válvulas de impulso**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Pampa, 2023. 56 f.

REGO JÚNIOR, Luciano Freitas do. **Sistema de bombeamento fotovoltaico em propriedade rural—um estudo de caso**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Campina Grande, 2023. 63 f.

RIBEIRO, Ruan Bertolo. **Construção de uma bancada de teste didática-científica para carneiro hidráulico**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica). Instituto Federal do Espírito Santo, 2022. 40 f.

RIBEIRO, Vinícius Pereira Melo; LOURENÇONI Dian. Avaliação de um carneiro hidráulico artesanal. **Revista de Iniciação Científica – UNIFEG**, n.15, p. 1-10, 2015.

SARTURI, Indiamara; DAGOSTINI, Carlos Maurício. Construção e avaliação de um carneiro hidráulico em duas propriedades rurais. **Conhecimento em Construção**, v. 6, p. 61-72, 2019.

SILVEIRA, Lauro Alberto da et al. Construção e rendimento de carneiro hidráulico de PVC. In: **IV Congresso Estadual de Iniciação Científica do IF Goiano**. 2015.

VIEIRA, Felipe Leite. **Estudo e aplicação do carneiro hidráulico para bombeamento de água e controle de vazão**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química). Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de Lorena, 2015. 57 f.

YKEDA, Gustavo Eiji; DA SILVA BARBOSA, Fernando; DEL PINO, Miguel Angel Isaac Toledo. Estudo do rendimento de bombeamento para um protótipo de carneiro hidráulico de PVC. **Revista Agrogeoambiental**, v. 11, n. 1, 2019.