ANÁLISE PARA O DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE BOMBEAMENTO PARA UM POÇO ARTESIANO

Autor: Augusto Costa Marini, augusto.marini@edu.pucrs.br
Orientadora: Professora Dra. Karina Ruschel

Resumo. *O crescente interesse por soluções sustentáveis e eficientes em áreas rurais tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias que visam otimizar o uso dos recursos naturais, garantindo a preservação ambiental e a redução de custos. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo de analisar a implementação e dimensionamento de um sistema de bombeamento para um poço artesiano localizado na região da serra, Caminhos de Pedra, em Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul. A análise abrange aspectos técnicos e econômicos, como o custo da bomba e materiais. A escolha e o dimensionamento da bomba foram realizados visando o gerenciamento hídrico e a sustentabilidade da propriedade. Foi realizada uma análise geográfica para verificar o local da perfuração do solo, sendo necessário o estudo da região para identificar o tipo de aquífero presente, estimar a profundidade e dimensionar a tubulação do projeto. Além disso, foi realizada uma análise físico-química da água para identificar suas propriedades, possibilitando aplicações como irrigação, limpeza e alguns fins menos nobres. Com o sistema dimensionado, escolheu-se uma motobomba submersa Leão 101,6 mm modelo 4R5IB-17 230, com potência de 3,5 CV, monofásico, devido à sua eficiência para as condições de operação da propriedade, e uma camisa de 6 polegadas para o melhor aproveitamento e redução de perdas de eficiência. O custo total dos materiais foi de R$ 30.407,24, abrangendo bomba, tubulação e acessórios. O tempo necessário para encher uma caixa d'água de 10.000 litros foi calculado em 3 horas e 20 minutos, o que atende às demandas diárias da propriedade de forma eficiente. A solução proposta é sustentável e economicamente viável, permitindo o uso racional dos recursos hídricos, reduzindo impactos ambientais e otimizando os custos operacionais.*
Palavras-chave*: Sustentáveis, Água, Bombas hidráulicas, Gerenciamento Hídrico.*

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por soluções sustentáveis e eficientes em áreas rurais tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias e projetos que visam a otimização e aproveitamento de recursos naturais, como a água, promovendo ao mesmo tempo a redução de custos. Dentro desse contexto, o desenvolvimento sustentável deve satisfazer as necessidades das gerações presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as próprias necessidades (COMISIÓN, 1992). A implementação de um sistema de bombeamento em poços artesianos é uma estratégia que pode garantir o abastecimento contínuo de água para diferentes atividades rurais, como irrigação e consumo doméstico.

Os poços artesianos dão acesso as águas subterrâneas que são encontradas abaixo da superfície do solo, preenchendo os poros das rochas e dos sedimentos, comumente chamados de aquíferos. É o recurso natural mais extraído do subsolo brasileiro. A quantidade de água bombeada para variadas aplicações no Brasil, pelos aproximados 2,5 milhões de poços, ultrapassa os 17.580 m³ /ano. Este volume seria o suficiente para abastecer a cada ano a população atual brasileira ou 10 regiões metropolitanas do porte da cidade de São Paulo (Hirata *et al* 2019).

No Brasil, cerca de 33 milhões de pessoas vivem sem acesso à água potável, segundo dados divulgados pelo Instituto Trata Brasil (2024), destacando ainda que o Brasil abriga dois dos maiores aquíferos do mundo, o Aquífero Guarani, localizado na região Centro-Sul, e o Aquífero Alter do Chão, na região Norte. Além disso, conforme apresentado na Figura 1, há outros aquíferos relevantes que poderiam contribuir significativamente para atender a essa demanda populacional.

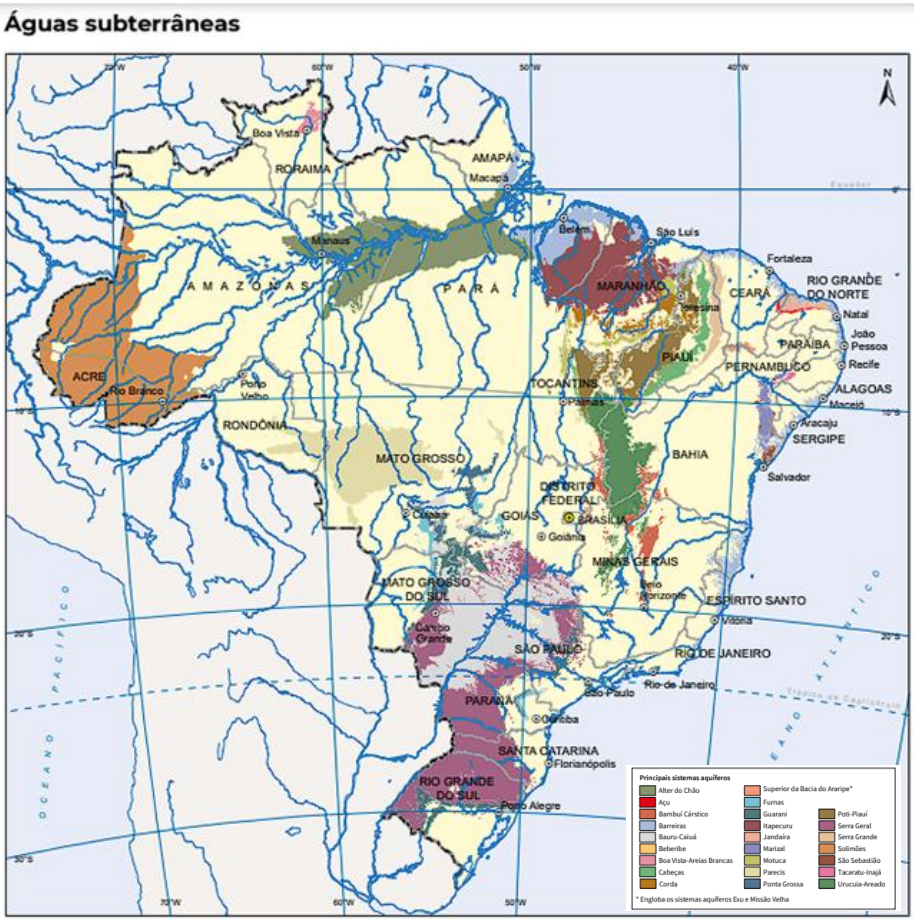


Figura 1. Informações dos aquíferos Brasileiros. Fonte: (Atlas Geográfico Escolar do IBGE, 2024).

As águas subterrâneas são frequentemente caracterizadas por boa qualidade natural e, em muitos casos, não necessitam de tratamento. No entanto, com a crescente urbanização e intensificação das atividades industriais, especialmente após 1960, aumentaram os relatos de contaminação dos aquíferos e das águas subterrâneas (Hirata et al., 2019). Entre os contaminantes mais comuns, destacam-se o ferro e o manganês, além de outros elementos como flúor, cromo, bário e arsênio, que são frequentemente incorporados à água por meio do intemperismo e dissolução de minerais nas rochas (Hirata et al., 2006; Bertolo *et al*, 2007). Casos de contaminação de aquíferos em áreas sem redes de esgoto são amplamente documentados, tanto no Brasil quanto no exterior (Foster et al., 2002; Suhogusoff et al., 2013), além disto, falta de redes de saneamento básico e as precárias condições das redes existentes, devido a falhas de projeto e manutenção, são causas significativas de degradação de aquíferos, resultando em grandes áreas e volumes contaminados no Brasil (Hirata et al., 2015).

Embora seja imprescindível para a vida, a água ainda é um recurso desvalorizado, especialmente quando localizada no subsolo. Assim como outros recursos naturais, a água doce é finita e, com a crescente pressão das atividades humanas e da agricultura intensiva, seus impactos no abastecimento têm se tornado cada vez mais evidentes (FAO, 2022). Este cenário torna a gestão dos recursos hídricos uma prática indispensável para garantir a preservação da qualidade e quantidade da água, protegendo mananciais, nascentes e cursos d'água, especialmente nas áreas urbanas, assegurando a sustentabilidade do abastecimento.

Nesse contexto, o dimensionamento adequado de sistemas de bombeamento para poços artesianos se torna fundamental. A escolha correta de um sistema de bombeamento, bem como a análise dos fatores envolvidos em sua instalação e operação, são cruciais para garantir a eficiência energética e atender à demanda hídrica necessária. Segundo (Çengel, 2012), a escolha de um sistema de bombeamento depende de diversos fatores, incluindo as características do terreno, o tipo de fluido a ser transportado e as condições operacionais do sistema. Já (Fox et al, 2018) destacam que o correto dimensionamento da altura manométrica total e das perdas de carga é essencial para evitar sobrecargas e desperdícios. Para poços artesianos, é necessário considerar parâmetros técnicos como as dimensões do poço, a vazão requerida, a altura manométrica total e a potência do sistema. Sistemas mal dimensionados podem resultar em consumo excessivo de energia, falhas prematuras e, em alguns casos, falha no abastecimento, contrariando os princípios de sustentabilidade e eficiência.

Este trabalho tem como objetivo analisar o cenário para aplicar e dimensionar um sistema de bombeamento para um poço artesiano, buscando atender às necessidades de gestão hídrica eficiente e sustentável. A proposta é alavancar a eficiência do sistema, reduzindo custos operacionais e preservando os recursos hídricos para as futuras gerações, alinhando as práticas de bombeamento com os princípios de sustentabilidade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A população global está crescendo rapidamente, e estimativas mostram que com as práticas atuais, o mundo enfrentará um déficit de 40% entre a demanda prevista e o suprimento disponível de água até 2030 (Water Resource Management, 2024). As taxas de crescimento de demanda por água são insustentáveis em todos os setores (International Commission on Irrigation and Drainage, 2017). Por exemplo, a retirada de água entre 1960 e 2018 aumentaram 100% na agricultura, de 90% a 300% na indústria e de 300% a 600% no uso doméstico (Otto e Schleifer, 2020; Pirlea et al., 2023; Ritchie e Roser, 2018). Assim, espera-se que o consumo de água não destinada à irrigação mais do que duplique até 2050, o que pode necessitar a redistribuição de água da agricultura para centros urbanos a fim de atender às necessidades de água potável nas cidades em crescimento (Rosegrant et al., 2009; UNESCO, 2023).

2.1 Gerenciamento Hídrico

Segundo dados quantitativos, levantados por hidrólogos, 97,5% da água disponível na Terra é salgada e 2,493% estão concentrados em geleiras ou regiões subterrâneas de difícil acesso, portanto sobram, apenas 0,007% de água doce para o uso humano, disponível em rios, lagos e na atmosfera (SHIKLOMANOV, 1998). Logo, o uso desse bem precisa ser pensado para que não prejudique nenhum dos diferentes usos que ela tem para a vida humana (ANA, 2024).

A Gestão de Recursos Hídricos (GRH) pode ser entendida como um conjunto de ações que visam regular os usos da água com base na legislação pertinente (Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, 2020). Segundo (Ioris, 2006), a GRH corresponde a "um processo marcado pelo caráter de redimensionamento ou intervencionista da dialética sócio natural, cuja intenção é a satisfação das necessidades humanas mediante a manipulação do ciclo hidrológico". O gerenciamento de recursos

hídricos ocorre por meio da implementação de instrumentos que promovem o uso múltiplo da água, de forma indissociável à GRH (Foleto, 2018).

Em dezembro de 1996, o Congresso Nacional aprovou o Projeto de Lei Nacional de Recursos Hídricos, que resultou na instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos e na criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Em 8 de janeiro de 1997, foi sancionada a (Lei Federal 9.433/1997), que dotou o Brasil dos instrumentos legais e institucionais necessários ao ordenamento da disponibilidade e do uso sustentável das águas, onde trouxe uma série de elementos importantes para o gerenciamento de recursos hídricos, destacando as necessidades de um manejo integrado considerando a ocupação da paisagem, promoção dos usos múltiplos da água, a estimulação de uma gestão descentralizada, necessidade de planejamento nos diferentes níveis, instrumentos de gestão e a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGREH).

Para a execução desses instrumentos, foi criada a Agência Nacional de Águas (ANA), através da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. A ANA, diferentemente de outras agências reguladoras, é uma agência gestora de recursos naturais e não de serviços públicos, como ocorre nos setores de eletricidade e telefonia.

2.2 Água Subterrânea

A água subterrânea é encontrada abaixo da superfície terrestre, preenchendo os espaços entre rochas sedimentares ou as fissuras, falhas e fraturas presentes em rochas mais compactas. Ela desempenha um papel crucial na manutenção da umidade do solo, essencial para a agricultura e o ecossistema, além de ser responsável por alimentar rios, lagos e outros corpos d'água. Esse tipo de água também é uma parte fundamental do ciclo hidrológico, que envolve a movimentação da água na Terra, representando uma fração significativa da água proveniente da precipitação (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - ABAS, 2024). Dessa forma, as águas subterrâneas não são apenas uma fonte de abastecimento direto para consumo humano e animal, mas também desempenham um papel ecológico importante na regulação de diversos processos naturais, como a manutenção da biodiversidade.

No contexto global, as águas subterrâneas são consideradas uma das principais fontes de água doce, especialmente em áreas com escassez de fontes superficiais ou em regiões mais distantes da infraestrutura urbana. Elas têm se mostrado uma solução viável para o abastecimento de água em muitos municípios, especialmente nas áreas rurais, onde a falta de infraestrutura de saneamento básico torna o acesso a água potável um desafio constante. De acordo com a (Secretaria de Recursos Hídricos do Brasil, 2024), o volume de água subterrânea de boa qualidade para o consumo humano, encontrado a profundidades inferiores a 1.000 metros, é estimado em 112.000 km³. Este volume de água representa uma reserva significativa, capaz de atender a uma parte substancial da demanda por água potável em várias regiões do país.

Ainda segundo a (Agência Nacional de Águas, 2024), a realidade do abastecimento hídrico no Brasil é desigual. Atualmente, 58% dos municípios brasileiros utilizam exclusivamente fontes de água superficiais para o abastecimento, como rios e reservatórios, enquanto os outros 42% dependem de poços subterrâneos para complementar a distribuição de água potável. Essa dependência dos poços artesianos tem aumentado especialmente em áreas rurais e regiões onde os recursos hídricos superficiais são escassos ou contaminados. A Figura 2 ilustra a porcentagem de estados que utilizam poços artesianos para o abastecimento, destacando a relevância dessa fonte de água no cenário nacional.

A água subterrânea, portanto, não apenas representa uma solução imediata para os desafios do abastecimento hídrico, mas também uma reserva estratégica para o futuro, considerando os efeitos das mudanças climáticas e a crescente demanda por água potável.

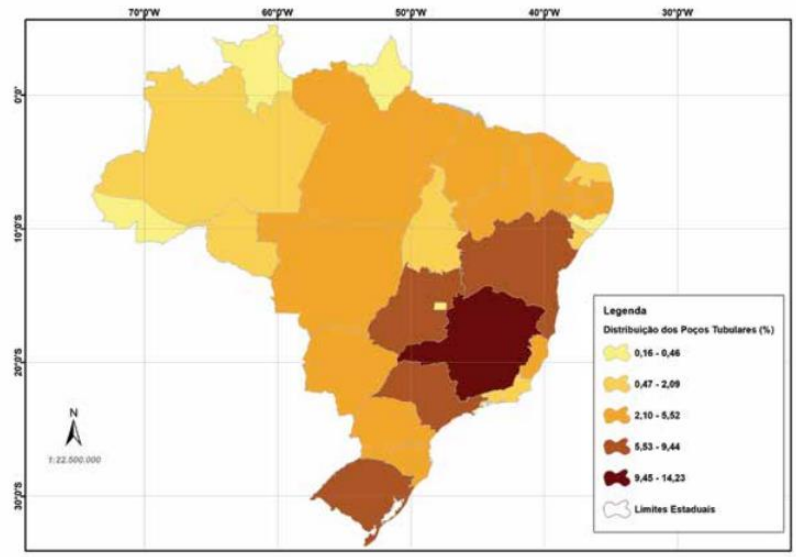


Figura 2. Dependência dos estados brasileiros por água subterrânea para uso rural segundo a distribuição de poços tubulares (IBGE, 2017).

Além disso, (Hirata *et al*, 2019) destaca que inúmeras atividades econômicas utilizam as águas subterrâneas para suprir suas necessidades pelo país, representado na Figura 3, sendo o seu uso distribuído entre atendimento doméstico (30%), agropecuário (24%), abastecimento público urbano (18%) e abastecimento múltiplo (14%), cujo destino é em grande parte diversificado para a prestação de serviços urbanos.

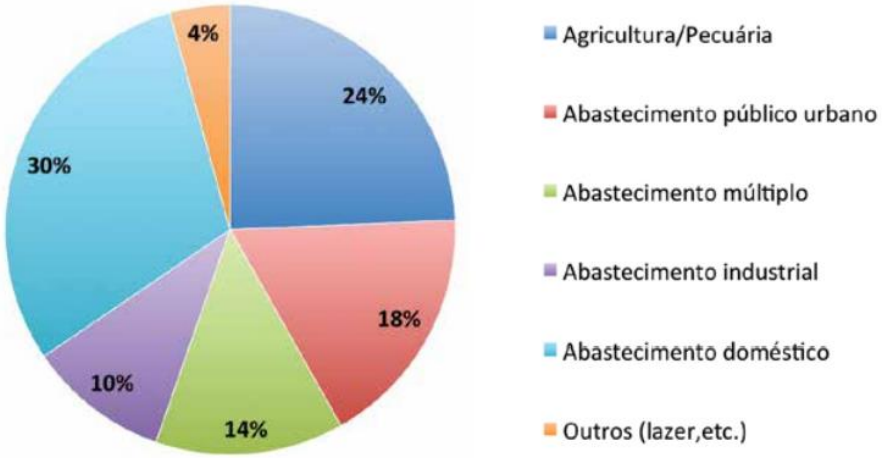


Figura 3. Perfil de usuários de água subterrânea no país (CPRM, 2018).

2.2.1 Captação de Água

Seeger, Sari e Paiva (2007) destacam que, diante da crescente preocupação com o meio ambiente e o uso consciente da água, o uso de água tratada para fins menos nobres torna-se cada vez mais inviável. Esse cenário tem impulsionado a adoção de sistemas de aproveitamento de águas pluviais para usos não potáveis, uma prática que contribui significativamente para a proteção dos recursos hídricos. Nesse contexto, Carli, De Conto, Beal e Pessin (2013) afirmam que ações de conservação surgem como alternativas viáveis para promover o uso sustentável da água.

Macintyre (2020) ressalta que, quando o abastecimento por meio da rede municipal não é viável, a captação de água por fontes alternativas se torna essencial. Nessa abordagem, considera-se tanto a demanda quanto a oferta de água, adotando uma visão sistêmica. O conceito de conservação, portanto, vai além do uso racional da água potável, incluindo a utilização de fontes alternativas para fins menos exigentes em termos de qualidade e a minimização do consumo de água potável, conforme reforçado por Carli, De Conto, Beal e Pessin (2013).

O uso racional da água deve estar intimamente associado a uma gestão eficiente dos recursos hídricos, abrangendo não apenas a demanda, mas também a oferta. (Oliveira, Ilha, Gonçalves e Reis, 2007) sugerem que fontes de água de qualidade inferior podem ser empregadas para atender a necessidades que não exigem elevados padrões de qualidade, como no caso da irrigação e outros usos não potáveis.

Além disso, a captação de águas pluviais não só contribui para a conservação dos recursos hídricos, mas também ajuda a minimizar os impactos das precipitações, especialmente em áreas urbanas com alta impermeabilização do solo. Fernandes, Medeiros Neto e Mattos (2007) afirmam que essa prática pode ser considerada uma medida não estrutural dentro da drenagem urbana, oferecendo benefícios tanto ambientais quanto urbanos.

A captação e aproveitamento da água da chuva que cai sobre os telhados é uma forma simples e eficaz de coleta. A água da chuva é conduzida por calhas e tubos até um reservatório, denominado cisterna (Fernandes, Medeiros Neto e Mattos, 2007). Essas cisternas são reservatórios semienterrados projetados para o armazenamento de águas pluviais, visando o uso humano, especialmente para aproveitar a água coletada durante os meses chuvosos, que pode ser utilizada nos períodos de escassez hídrica (Lima e Machado, 2008).

O conceito de aproveitamento da água pluvial é simples, mas bastante difundido, permitindo que a água da chuva, proveniente da cobertura dos edifícios, seja recolhida ao invés de ser desperdiçada (Tomaz, 2003). Segundo (May, 2004), as principais finalidades de uma cisterna são o reaproveitamento da água da chuva, que pode ser utilizada para irrigação, jardinagem, limpeza e outras atividades, trazendo benefícios socioeconômicos significativos.

Embora o objetivo principal da cisterna seja a economia de água, é importante notar que a qualidade da água pode ser comprometida em ambientes urbanos. Por isso, recomenda-se o uso da água captada para atividades domésticas, como lavar pisos, carros e regar plantas, ou após tratamento, para consumo humano (Menezes et al., 2013). Dessa forma, as cisternas representam uma solução sustentável e de baixo custo, permitindo que residências e até mesmo comunidades possam se abastecer e preservar a água de maneira eficiente (Menezes et al., 2013). A Figura 4, ilustra um sistema de cisterna, iniciado com a captação da água através da calha instalada na residência, que se conecta a tubos direcionados para o reservatório.

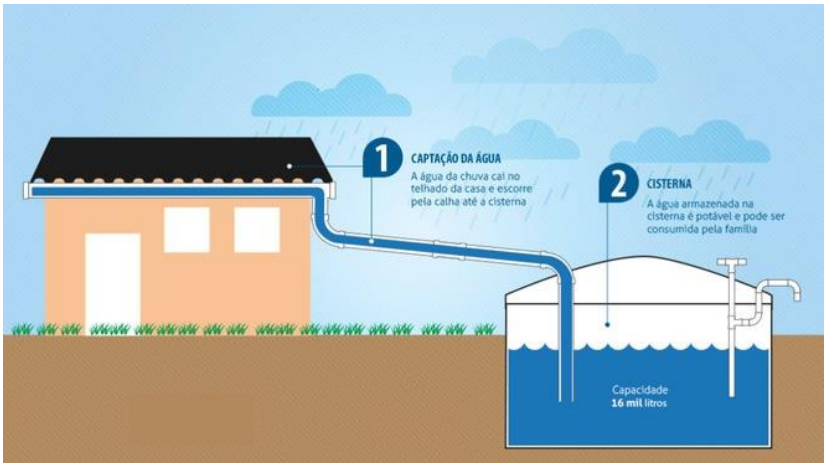


Figura 4. Sistema de captação de água por cisterna. / (Fonte: Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome, 2024).

2.2.2 Poço Artesiano

Outro sistema alternativo a água disponibilizada pelas concessionárias é a água de poço artesiano. Segundo Todd (1959) caracteriza poço artesiano como "um furo ou cava, geralmente vertical, perfurado no solo para trazer a água subterrânea à superfície". Ressaltando o conceito de Todd (1959), a Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (2024), explica que poço é o nome genérico dado a toda e qualquer perfuração, por meio da qual é possível extrair a água presente em um aquífero. Garcez (1974) complementa que poço artesiano é aquele perfurado em aquíferos artesianos ou confinado, onde a água jorra naturalmente.

Um poço artesiano é um sistema que possibilita ter acesso a água onde não existe rede pública de abastecimento de água, ou quando se pretende reforçar o volume de água de abastecimento, tem-se a possibilidade do uso da água através de um sistema de bombeamento. As instalações de captação de poços vão desde as simples instalações para residências isoladas até as grandes instalações (Macintyre, 2020).

Markowicz et al (2006) explicam que um poço tubular profundo, é uma obra de engenharia geológica de acesso a águas subterrâneas, executada com sonda perfuratriz mediante perfuração vertical com diâmetro variável entre 101,6mm à 914,4mm e grandes profundidades, geralmente entre 50 e 400 metros. Para início da construção de um poço tubular profundo ou artesiano deve-se ter projeto executivo do poço em conformidade com a (ABNT NBR 12.212), especificações dos materiais e equipamentos auxiliares, especificações de serviços complementares, cronograma físico da obra, equipamento de perfuração, responsável técnico habilitado, fiscal e condições de recebimento do poço (NBR 12224:1992).

A Figura 5 representa um sistema de captação de água submersa, ilustrando o processo de bombeamento de água de aquíferos subterrâneos em um poço freático e um poço artesiano (Macintyre, 2020).

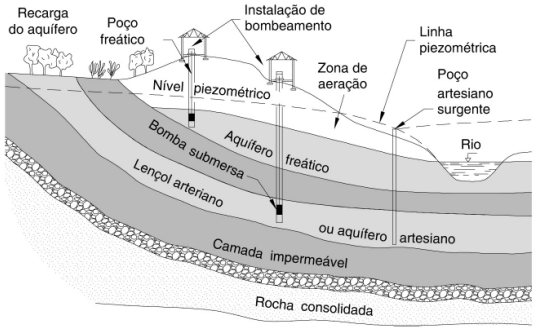


Figura 5. Sistema de captação de água em poços. / (Fonte: Macintyre, 2020).

2.3 Análise Geográfica, Perfuração e Estrutura do poço

Na instalação de um poço artesiano raso devem ser levadas em consideração algumas condições básicas como boa posição do lençol freático, situação em pontos mais elevados do terreno, situar-se o mais distante possível e em direção oposta à de escoamentos subterrâneos provenientes de focos conhecidos ou prováveis de poluição (Garcez, 1974). A análise do tipo de solo também influencia a escolha da técnica de perfuração e do modelo de bomba a ser utilizado, uma vez que a resistência e a composição do solo impactam a capacidade de captação de água e o desempenho da bomba submersa (Silva et al, 2020).

Para a perfuração correta, é descrito com as seguintes etapas, perfuração inicial para colocação do tubo de boca, execução de furo-piloto ou furo-guia, amostras de calha, perfuração nos diâmetros e profundidades projetados, verificação dos parâmetros da perfuração e verificação das condições reológicas do fluido de perfuração (ABNT NBR 12244). Uma evidência dos progressos ocorridos é a introdução dos métodos rotacionais de perfuração, que proporcionam maior eficiência e rapidez no processo de perfuração (SEIXAS et al, 2010).

Segundo (Souza, 2019), a seleção correta do método de perfuração é essencial para garantir a estabilidade do poço e a segurança durante o processo. O uso de revestimentos adequados, como tubos de aço ou PVC, ajuda a evitar o desmoronamento das paredes e assegura a qualidade da água captada (Alves et al, 2021).

A (NBR 12212) estabelece que o diâmetro nominal do poço deve ser determinado pelo diâmetro interno do tubo de revestimento definitivo, normalizado. Na norma é recomendo o diâmetro nominal mínimo de 150 mm, podendo, entretanto, serem usados 125 mm, 100 mm e 75 mm, em condições especiais para poços de pequena vazão.

2.4 Bombas Hidráulica

Conforme (Hen, 2019), uma máquina de fluxo é o equipamento que promove a troca energética entre um sistema mecânico e um escoamento, transformando energia mecânica em energia de fluxo ou energia de fluxo em energia mecânica. Ainda especifica a subdivisão em dois tipos, máquinas de deslocamento positivo e máquinas de fluxo. Máquinas de fluxo, denominadas como máquinas dinâmicas, o fluido não se encontra em momento algum confinado, e sim num fluxo contínuo através da máquina, submetido a trocas de energia devido a efeitos dinâmicos.

Macintyre (2020) simplifica explicando que as bombas são dispositivos mecânicos projetados para transferir líquidos entre diferentes pontos, com condições específicas variáveis tais como a pressão atmosférica ou a gravidade. Hen (2019) cita também que as máquinas de fluxo são mais

utilizadas em regiões de média e grande vazão, enquanto máquinas de deslocamento positivo para médias e grandes alturas de elevação e pequena vazão, representado na Figura 6.

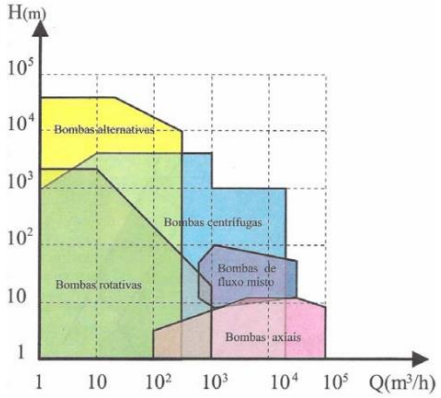


Figura 6. Campo de aplicação de bomba. / (Fonte: Hen, 2019).

2.4.1 Dimensionamento

A seleção de uma bomba envolve uma sequência de etapas que consideram os parâmetros específicos da aplicação. Primeiramente, é necessário identificar as propriedades físicas e químicas do fluido, o diâmetro das tubulações, a distância a ser percorrida e as características dos materiais envolvidos, de modo a selecionar o equipamento mais adequado (Çengel, 2012).

A Figura 7 apresenta as etapas de cálculo necessárias para o correto dimensionamento de um sistema de bombeamento.

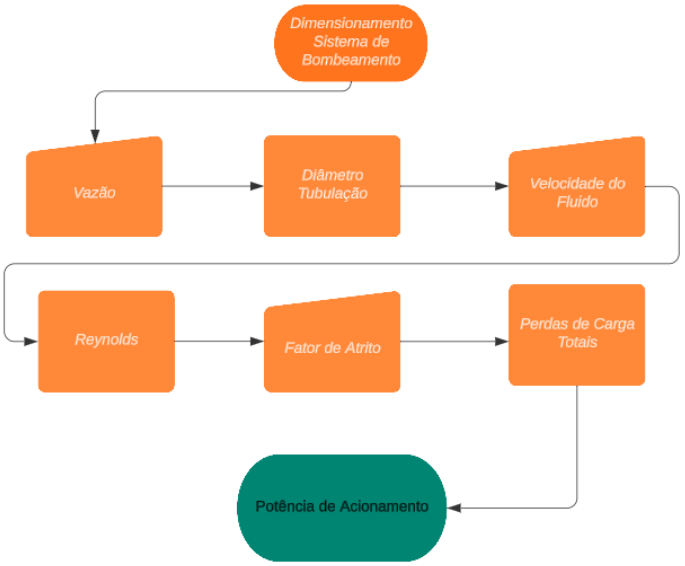


Figura 7. Fluxograma representativo das etapas necessárias para o dimensionamento de um sistema de bombeamento (AUTOR, 2024).

Após definir os parâmetros iniciais, calcula-se a altura manométrica total (H_{man}), que é a soma de todas as perdas de carga no sistema (FOX et al, 2018),

$$H_{man} = h_s + h_r + j_{ld} + j_{acc} + h_{vel}, \quad (1)$$

onde (Jld) é a perda de carga causada pelo atrito entre o fluido e as paredes das tubulações, (Jacc) que inclui as perdas adicionais geradas por acessórios como válvulas e curvas, (hvel) relacionada à diferença de velocidades do fluido em diferentes trechos do sistema, (hs) é a diferença de altura entre a sucção da bomba e o equipamento e (hr) altura entre o equipamento e o ponto máximo de recalque. A soma desses fatores define a energia necessária para movimentar o fluido no sistema. O próximo passo é determinar o número de Reynolds (Re), que classifica o regime de escoamento do fluido como laminar ou turbulento,

$$Re = \frac{\vec{v}.D}{\nu}. \quad (2)$$

onde $\vec{v}$ é a velocidade do escoamento [m/s], D é o diâmetro da tubulação [m] e ν é o coeficiente de viscosidade cinemática do fluido [m/s^2]. Com o regime de escoamento identificado, define-se o fator de atrito ou encontra-se graficamente (Çengel, 2012). Para escoamento laminar (Re < 2300),

$$f = \frac{64}{Re}, \quad (3)$$

para o regime turbulento (Re > 4000), pode-se utilizar a equação de Colebrook,

$$f = 0{,}0055 \,.\left[1 + \left(20.000 \,.\frac{\varepsilon}{D} \,.\frac{10^6}{Re}\right)^{\frac{1}{3}}\right]. \quad (4)$$

As perdas de carga na tubulação acontecem devido ao atrito entre o fluido e as paredes internas da tubulação. É calculada pela fórmula de Darcy-Weisbach (Çengel, 2012),

$$hf = f\frac{L}{D}\frac{v^2}{2g}, \quad (5)$$

onde L é o comprimento da tubulação [m]. As perdas de carga em acessórios são calculadas pelo coeficiente de perda de carga (Kl). Esses valores são somados para determinar o impacto total dos acessórios na perda de carga utilizando tabelas específicas (Çengel, 2012),

$$hl = Kl\frac{v^2}{2g}. \quad (6)$$

Por fim, determina-se a potência necessária para acionar a bomba, esse valor é ajustado com um fator de segurança, que varia conforme a potência do equipamento (Çengel, 2012),

$$W_{ac} = \frac{\rho.g.H_{man}.Q}{\eta_G}. \quad (7)$$

2.5 Análise Econômica

De acordo com Vannucci (2017), o aumento da demanda por agilidade e segurança nos métodos de cálculo financeiro é essencial para a avaliação de projetos de investimento em diversos setores da economia. Esse conhecimento é fundamental para tomar decisões importantes com base na análise de viabilidade econômica, como no caso de investimentos de capital (Blank e Tarquin, 2011).

Para a correta análise econômica do produto, faz-se necessário a utilização de conceitos da Engenharia Econômica aplicados a engenharia e que para (Blank e Tarquin, 2011), envolvem formular, estimar e avaliar os resultados econômicos, quando alternativas para realizar determinado propósito estão disponíveis. A análise financeira reduz a probabilidade de o investidor cometer erros, custos desnecessários, evitando perdas e até o desperdício de capital (Wernke, 2017).

2.5.1 Payback

O Payback é um indicador financeiro que estima o tempo necessário para que o investimento inicial compense com os ganhos acumulados, Brealey *et al* (2018). Este cálculo avalia a viabilidade econômica do projeto, indica o período em que o investimento começa a gerar lucro líquido, se dá pela razão do investimento inicial pelo fluxo de caixa anual estimado, sendo um método simples e amplamente utilizado devido à sua facilidade de compreensão, ele não leva em consideração o valor do dinheiro ao longo do tempo, o que o torna um complemento necessário a outras análises financeiras que consideram rentabilidade e risco ao longo do tempo, e o fluxo de caixa descontado em sua equação, tem o acréscimo do termo de taxa mínima de atratividade (TMA), onde considera um parâmetro como taxa de juros oriunda de alguma base, por exemplo inflação prevista do país.

$$Fluxo\ de\ caixa\ descontado = \frac{FC_{simples}}{(n+TMA)^n} \qquad (8)$$

$$Payback\ descontado = \frac{Investimento\ inicial,}{Fluxo\ de\ caixa\ descontado} \qquad (9)$$

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

A metodologia deste estudo baseia-se em uma pesquisa detalhada sobre os processos necessários para o dimensionamento de um sistema de bombeamento utilizado em um poço artesiano, localizado em uma propriedade rural nos Caminhos de Pedra, Bento Gonçalves, com foco em eficiência e sustentabilidade. Para embasar a análise, foram utilizadas referências encontradas no Google Acadêmico, literatura especializada em hidráulica e mecânica de fluidos, além de artigos e trabalhos acadêmicos que abordam bombas submersas e sistemas de captação de água subterrânea.

Sendo assim, foi analisado o possível cenário para aplicação do sistema de captação de água levando em conta o trajeto necessário, sendo 260 metros de comprimento com uma altura geométrica de 46 metros.

Na Figura 8, observa-se o início da captação de água situada no poço artesiano (ponto A), e todo o caminho necessário até o local de armazenamento (ponto B) para utilização da água por gravidade e na Tabela 1 as coordenadas de cada ponto.

Figura 8. Foto do cenário proposto, e as marcações. (Google Earth, 2024 e Autor, 2024).

Ponto	Coordenadas
A (Captação)	29º10'32"S 51º25'34"W 522 m
B (Recalque)	29º10'40"S 51º25'34"W 568 m

Tabela 1. Coordenadas (Google Earth, 2024).

3.1 Parâmetros para o Dimensionamento do Sistema de Bombeamento

Segundo (Carvalho, 1977), o primeiro passo para o dimensionamento de um sistema de bombeamento é definir qual será a vazão recalcada. Para o cenário, onde a instalação será dimensionada de acordo com as restrições, foi definido que a bomba trabalharia 3 horas para encher completamente o reservatório de 10.000 litros.

Atendendo a Figura 8 e Tabela 1, tem-se o desnível do terreno, onde o ponto de captação encontra-se a 522 metros e o recalque a 568 metros de altitude em relação ao nível do mar. O comprimento entre a captação (ponto A) e o recalque (ponto B) é igual a 260 metros de extensão e 46 de altura geométrica.

Comentado [KR1]: Tem outro cenário?

3.2 Cenário e suas Características Principais

Na localização do determinado projeto, o abastecimento de água acontece através da captação superficial de rios. O subsistema de águas superficiais, que se destina ao abastecimento de Bento Gonçalves, é formado pelas captações do Rio das Antas, Rio Burati e Arroio Barracão, cujas vazões são encaminhadas diretamente à estação de tratamento de água, a Corsan. A Figura 9 ilustra o local do projeto e os canais de abastecimento de água.

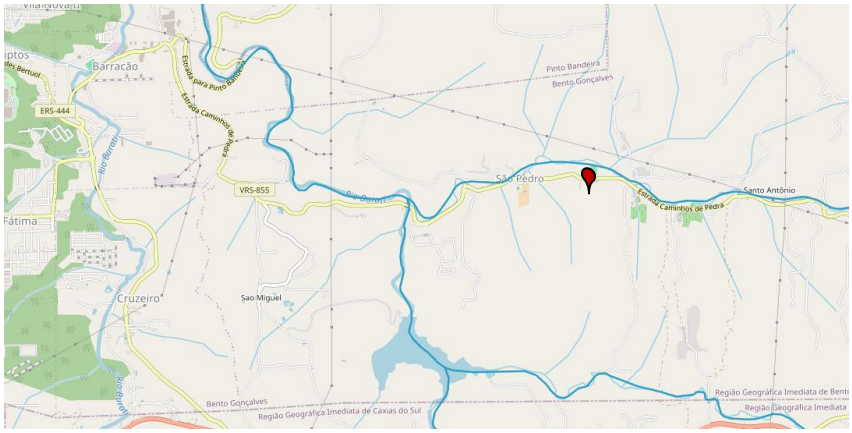


Figura 9. Mapa de informações hidrográficas de São Pedro, Caminhos de Pedra. / (SIOUT, 2024).

3.3 Análise Geográfica

O poço encontra-se situado no derrame basáltico da formação Serra Geral, onde se espera uma camada alternada de solo e rocha com aproximadamente 10 metros de espessura. O aquífero a ser explorado caracteriza-se por sua ocorrência nas fraturas do basalto, sendo projetada uma profundidade final para o poço em torno de 100 metros. A Figura 10 ilustra a localização e o tipo de domínio geológico predominante na região.

Figura 10. Aquífero presente no local da perfuração (Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA, 2024).

3.4 Perfuração do Poço

A perfuração rotopneumática utiliza ar comprimido para a remoção do material escavado durante o processo. O ar é conduzido pela haste de perfuração, saindo pelos orifícios da broca, e retorna pelo espaço anelar do poço, carregando os detritos para a superfície. Nesse sistema, o ar comprimido movimenta-se em alta velocidade pelo espaço anelar, promovendo a remoção eficiente dos fragmentos escavados, seja para a superfície ou para as fissuras da rocha. Esse método é especialmente indicado para rochas coesas e altamente resistentes.

A Figura 11 ilustra o equipamento rotopneumática utilizado para a perfuração do solo.

Figura 11. Equipamento usado para perfuração do tipo roto-pneumático. / (Fonte: MB Geologia e Meio Ambiente, 2024).

3.5 Bombas Hidráulicas

3.5.1 Dimensionamento

Para dimensionar a bomba hidráulica, foi realizada uma análise detalhada do sistema de bombeamento, levando em consideração os parâmetros hidráulicos e as condições operacionais do projeto. A metodologia adotada envolveu a definição do parâmetro do sistema, representada na Tabela 2.

	Símbolo	Valor	Unidade
Vazão Requerida	Q	3	m^3/h
Comprimento Total da Tubulação	L	260	m
Diâmetro da Tubulação	D	0,05	m
Altura Geométrica	hr	146	m
Reynolds	Re	21220	-

Tabela 2. Parâmetros do sistema (AUTOR, 2024).

Além disso, foram considerados os acessórios presentes no sistema, como válvulas de retenção e curvas flangeada de 90°, cada um com seus respectivos coeficientes de perda de carga (Kl) representados na Tabela 3.

	Símbolo	Valor
Válvula de Retenção	Kl	2,0
Curva Suava de 90º Flangeada	Kl	0,3

Tabela 3. Coeficiente de perda de carga dos acessórios (AUTOR,2024).

3.5.2 Altura Manométrica Total e Potência de Acionamento

Na análise da altura manométrica total ou (perda de carga total) para o sistema de bombeamento utilizando a Equação 1, considerou-se a altura geométrica de 15 diferentes alturas e relacionado com os dados apresentados na Tabela 2. A Tabela 5 apresenta a altura manométrica total em função da altura geométrica para diferentes cenários. Esta tabela fornece valores que relacionam a altura geométrica com a altura manométrica total, levando em consideração perdas de carga e outros fatores que afetam a performance do sistema.

Os valores de altura manométrica total na tabela são obtidos a partir de medições experimentais para diferentes condições operacionais da bomba. A potência de acionamento calculada utilizando a Equação 7, indica a potência necessária para movimentar o fluido nas diferentes alturas manométricas totais.

A partir da Tabela 4, foi possível comparar essas condições com os valores de altura manométrica total correspondentes e estimar a potência necessária para o acionamento da bomba, com base na profundidade e no tipo de instalação.

Esses dados permitiram otimizar o processo de dimensionamento da bomba, assegurando que a escolha do equipamento seja adequada para as condições específicas do projeto, maximizando a eficiência energética e operacional do sistema de bombeamento.

Altura Geométrica (m)	Altura Manométrica Total (m.c.a)	Potência de Acionamento (CV)
10	11,24	0,178
20	21,24	0,337
30	31,24	0,496
40	41,24	0,655
50	51,24	0,814
60	61,24	0,972
70	71,24	1,131
80	81,24	1,290
90	91,24	1,449
100	101,24	1,608
110	111,24	1,766
120	121,24	1,925
130	131,24	2,084
140	141,24	2,243
150	151,24	2,402

Tabela 4. Tabela de diferentes alturas geométricas relacionadas à altura manométrica total e a potência de acionamento necessária (Autor, 2024).

4 RESULTADOS

4.1 Análise Físico-Química

A análise físico-química da água foi realizada no Laboratório de Processos Ambientais (LAPA) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, utilizando técnicas e equipamentos apropriados para assegurar precisão nos resultados. Na Tabela 5, são apresentados os principais parâmetros avaliados, juntamente com os valores obtidos.

Análise	Valor	Unidade
pH	6,28	-
Condutividade Elétrica	0,524	mS/cm
Turbidez	12,5	UNT
Cor	Nada detectado	-
Cloretos	Nada detectado	-
Dureza	Nada detectado	-

Tabela 5. Parâmetros da qualidade da água (LAPA, 2024).

Pelos resultados dos testes realizados, conclui-se que a amostra representa água de boa qualidade, sendo adequada para as aplicações como irrigação e lavagem de utensílios.

4.2 Definição dos Parâmetros

4.2.1 Diâmetro da Tubulação

A partir da demanda de vazão de 3,0 m³/h, define-se o diâmetro ideal da tubulação para o projeto, considerando não apenas a influência deste parâmetro na potência de acionamento da bomba, mas também o custo por metro de tubulação. A escolha do diâmetro adequado tem impacto direto na eficiência do sistema, pois, ao aumentar o diâmetro da tubulação, a potência necessária para o acionamento da bomba tende a diminuir, o que pode resultar em uma economia operacional a longo prazo.

O gráfico da Figura 12 ilustra a relação entre os diâmetros comerciais da tubulação e sua influência no desempenho da bomba. A partir deste gráfico, observa-se que, à medida que o diâmetro da tubulação aumenta, a potência exigida da bomba diminui, o que deve ser cuidadosamente avaliado para equilibrar os custos de instalação e operação do sistema.

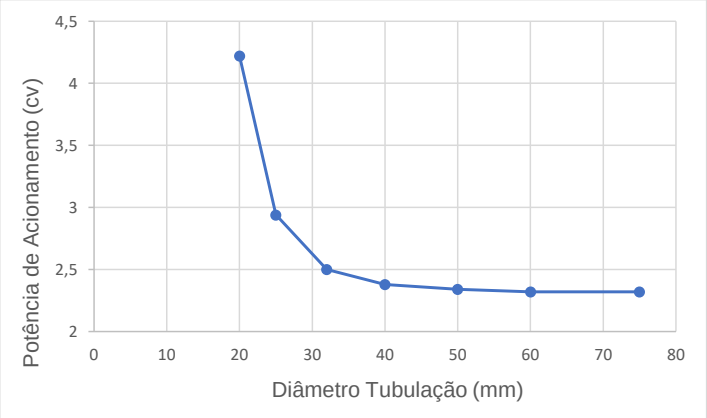


Figura 12. Parâmetros de diâmetro x potência (AUTOR, 2024).

4.2.2 Velocidade do Fluido

A velocidade do fluido na saída do recalque pode ser calculada considerando que, em sistemas de bombeamento, velocidades entre 0,5 e 2 m/s são geralmente recomendadas para evitar perdas de carga excessivas e assegurar a eficiência do sistema (ABNT NBR 5626).

O gráfico da Figura 13 apresenta a relação entre a velocidade do fluido no recalque e os diferentes diâmetros comerciais disponíveis, evidenciando o impacto direto da escolha do diâmetro na performance do sistema.

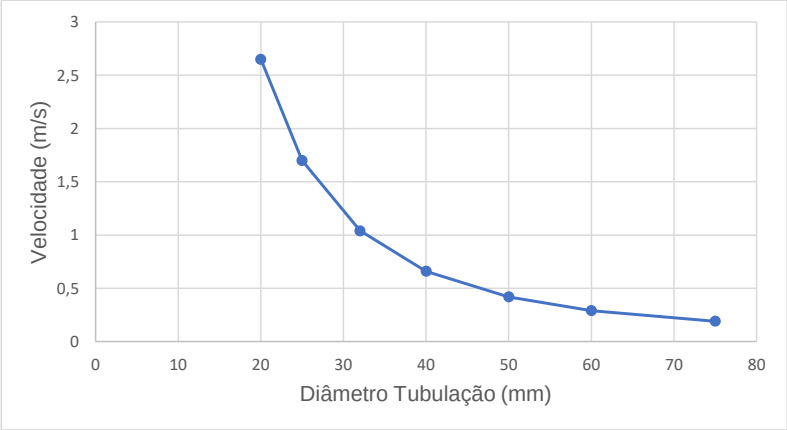


Figura 13. Parâmetros de diâmetro x velocidade (AUTOR, 2024).

4.2.3 Perdas de Carga da Tubulação

Após, calcula-se as perdas de carga ao longo do sistema relacionado com a definição dos diâmetros da tubulação de recalque, estimado em 260 metros. Para o projeto, selecionou-se o material Policloreto de Vinila (PVC), com uma rugosidade absoluta muito baixa, sendo ϵ = 0,0000015 m. Todos os tubos, conexões, válvulas e acessórios de canalização para o recalque de água são fabricados comercialmente em PVC e seguem as normas ABNT NBR 8219.

O gráfico da Figura 14 representa o valor de perda de carga em cada diâmetro de tubulação, utilizando a Equação 5.

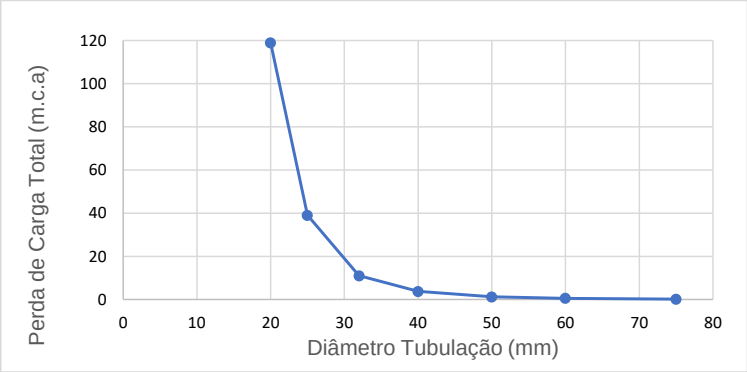


Figura 14. Parâmetros de diâmetro x perda de carga distribuída (AUTOR, 2024).

4.2.4 Perda de Carga Localizada

Considera-se também a perda de carga localizada devido à passagem do fluido por acessórios ou irregularidades no sistema de tubulação, como curvas, válvulas, conexões e reduções. Essas perdas são causadas por alterações na direção ou na velocidade do fluxo e são importantes para o dimensionamento correto de sistemas hidráulicos.

A Tabela 6 representa os acessórios que serão utilizados no projeto e sua perda de carga, utilizando a Equação 6.

Acessórios	Qnt.	KL	hl (m.c.a)
Curva 90º	2	0,3	0,000235
Válvula de Retenção	1	2,0	0,000783

Tabela 6. Parâmetros de perda de carga localizada (AUTOR, 2024).

4.2.5 Perda de Carga Total

A perda de carga total, também denominada altura manométrica total, representa a energia necessária para superar as resistências hidráulicas do sistema e elevar o fluido até o ponto desejado. Esse valor é essencial para o correto dimensionamento da bomba, garantindo que ela forneça energia suficiente para o transporte da água.

O gráfico da Figura 15 representa a perda de carga total do sistema relacionado a cada diâmetro de tubulação, sendo utilizado a Equação 1.

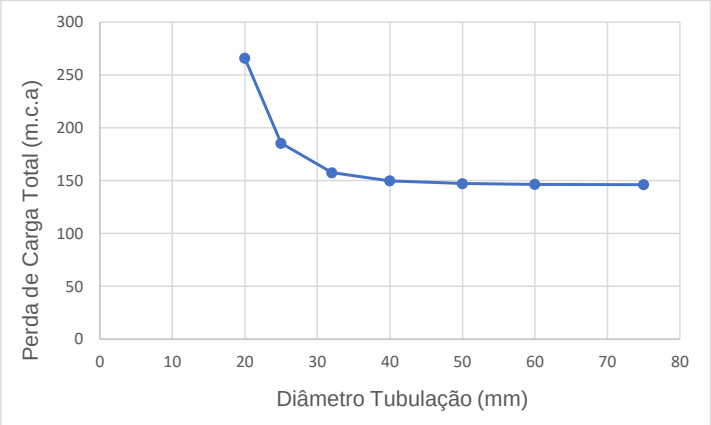


Figura 15. Parâmetros de diâmetro x perda de carga total (AUTOR, 2024).

4.2.6 Seleção da Bomba

No deslocamento de fluidos entre diferentes locais, as bombas centrífugas são amplamente utilizadas, tanto em instalações de pequeno quanto de grande porte. Para garantir a aplicação correta e atender às necessidades específicas dos sistemas de bombeamento, é essencial compreender as particularidades dessas máquinas. A principal característica das bombas centrífugas é a curva que relaciona a pressão manométrica com a vazão. Por isso, entender a dinâmica de operação é um passo fundamental no estudo de sua aplicação.

Após os cálculos realizados, foram consultados diversos catálogos de fabricantes de bombas centrífugas com capacidade para atender à demanda hídrica do projeto. Com base nos catálogos do fabricante Bombas Leão, foi selecionado o equipamento que atende às especificações requeridas, incluindo uma vazão mínima de 3 m³/h e uma altura manométrica de 147,24 m, relacionada com a tubulação de 50 mm de diâmetro.

Foi feita uma análise técnica da documentação da bomba submersa, com foco na curva operacional do equipamento, considerando as perdas de carga acumuladas no sistema, presente no Apêndice 2. A bomba foi selecionada conforme o Apêndice 3, que contém as características técnicas de diferentes modelos disponíveis no mercado.

4.3 Componentes

4.3.1 Boia Eletrônica

O sensor de nível de água com boia horizontal é um dispositivo eletrônico que detecta o nível de líquido em um reservatório. O sensor funciona como uma chave magnética, ao ser fechada, devido à elevação da boia horizontal será permitida a condução da corrente elétrica, que responderá para o contator, desligando a energia fornecida para a bomba. A Figura 16 mostra o sistema de funcionamento da boia elétrica.

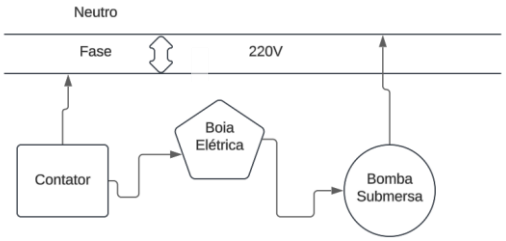


Figura 16. Fluxograma do sistema de boia elétrica (AUTOR, 2024).

4.3.2 Camisa

É um componente utilizado principalmente para melhorar o desempenho e a vida útil da bomba em aplicações de poços artesianos, sendo sua principal função criar um fluxo direcionado de água ao redor da bomba, garantindo a refrigeração adequada do motor submerso e evitando problemas operacionais. Devido a tubulação ser de 152,4mm e as conexões da bomba de 101,6mm, será utilizado a camisa de sucção.

4.4 Comparação com Aplicativo de Dimensionamento

De acordo com os dados fornecidos pelo aplicativo ESB-BR, desenvolvido pela empresa ABARA, foi selecionada uma bomba com potência de 3 CV para atender às restrições e especificações do projeto. Essa escolha foi baseada na análise detalhada das condições operacionais, como a altura manométrica total, a vazão desejada, e a eficiência energética do sistema. O aplicativo permitiu uma simulação precisa, auxiliando na identificação do equipamento mais adequado para garantir o desempenho esperado e atender aos requisitos técnicos e econômicos do projeto, informado no Apêndice 4.

4.5 Análise Econômica

Com o levantamento detalhado de materiais, foi possível elaborar um orçamento preliminar, estimando os custos unitários dos componentes e o valor aproximado da instalação do sistema. A estimativa de custos baseou-se em valores históricos de projetos já realizados que empregaram esses mesmos materiais ou similares.

Tendo valores totais presentes nas Tabela 7 e 8 estimado para execução do projeto e o custo de cada componente, é possível obter o indicador financeiro que auxiliará na escolha ideal dos equipamentos para a aplicação.

Descrição	QTD	Custo Unitário (R$)	Custo total (R$)
Bomba Submersa 3 CV	1und.	R$ 4.155,44	R$ 4.155,44
Cotovelo 90º	2und.	R$ 9,00	R$ 18,00
Válvula de Retenção	1und.	R$ 70,00	R$ 70,00
Tubulação Ø50mm PVC	260 Metros	R$ 18,63 /m	R$ 4.843,80
Camisa de sucção	1und.	R$ 1.200,00	R$ 1.200,00
Boia Elétrica Para Bomba	1und.	R$ 120,00	R$ 120,00
		Custo Total (R$)	R$ 10.407,24

Tabela 7. Custo dos materiais (AUTOR, 2024).

Descrição	Custo Total
Perfuração	R$ 18.000,00
Instalação do Sistema	R$ 2.000,00
Custo Total	R$ 20.000,00

Tabela 8. Custo dos serviços (AUTOR, 2024).

4.5.1 Payback

O investimento inicial do projeto foi de R$ 30.407,24, um valor que abrange todas as despesas necessárias para a implementação do sistema de bombeamento, incluindo a perfuração do poço artesiano, instalação da bomba, e outros custos operacionais iniciais.

Com base nas projeções utilizando a Equação 8, o fluxo de caixa descontado do primeiro ano está representado na Tabela 9.

	Ano	Valor
FC Descontado	1	R$ 4.545,45

Tabela 9. Fluxo de Caixa Descontado (AUTOR, 2024).

O Payback descontado corresponde ao tempo necessário para que o valor presente dos fluxos de caixa iguale-se ao investimento inicial. Neste caso, o cálculo a partir da Equação 9, indicou que o Payback descontado será de 7 anos. Isso significa que, ao aplicar a taxa de desconto sobre os fluxos de caixa anuais, o retorno do investimento ocorrerá ao final do 7º ano de operação, representado na Tabela 10.

Investimento inicial (R$)	Payback Descontado (ano)
R$ 30.407,24	7

Tabela10. Payback do Investimento (AUTOR, 2024).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi o dimensionamento e a implementação de um sistema de bombeamento de água para um poço artesiano, projetado para atender às necessidades hídricas de um sítio localizado nos Caminhos de Pedro, em Bento Gonçalves. O sistema foi projetado para fornecer uma vazão constante de 3,0 m^3/h, garantindo o abastecimento eficiente e contínuo de um reservatório com capacidade de 10.000 litros em um intervalo de tempo de três horas e vinte minutos. Esta capacidade foi definida com base na demanda média de consumo do local, levando em consideração tanto o abastecimento residencial quanto o uso potencial para atividades agrícolas e de irrigação em pequena escala.

Para o desenvolvimento do projeto, foram consideradas diversas restrições e especificidades do local, abrangendo não apenas os aspectos técnicos, mas também os fatores econômicos, ambientais e sociais que impactam a viabilidade e a sustentabilidade da solução proposta. Entre os principais custos do sistema, destaca-se a perfuração do poço artesiano, que representou uma parcela significativa do investimento, totalizando R$ 18.000,00 do custo total de R$ 30.407,24. O valor restante foi destinado à aquisição e instalação da bomba submersa, bem como à implementação de toda a infraestrutura necessária para garantir o funcionamento adequado do sistema, incluindo a parte elétrica e os

controles de operação. Com a análise do fluxo de caixa, foi possível estimar um *payback* de sete anos, com uma economia de cinco mil reais por ano.

Embora este sistema de bombeamento represente uma solução de escala reduzida quando comparado às tecnologias empregadas em projetos de maior porte, como irrigação de grandes lavouras ou sistemas de abastecimento urbano, ele foi concebido para servir como um recurso didático e de demonstração. Sua implementação oferece uma oportunidade para que professores, acadêmicos da universidade e a comunidade externa possam aprender e observar a aplicação prática de tecnologias de bombeamento, com foco no gerenciamento hídrico e na otimização dos recursos naturais.

Com isso, a implementação do sistema proporciona um exemplo prático de como soluções inteligentes e adequadas à realidade local podem ser aplicadas de forma eficaz em contextos rurais, permitindo que a comunidade tenha acesso a água de forma mais eficiente e independente. Como sugestão para projetos futuros, seria relevante realizar uma análise da vida útil da bomba em relação aos elementos encontrados na água por meio da análise físico-química, um tema ainda pouco explorado em artigos e livros atuais. Ademais, é interessante considerar o estudo da aplicação de múltiplas bombas no mesmo sistema de bombeamento, buscando maior eficiência e redução de custos operacionais.

Este trabalho alcançou o objetivo de analisar e dimensionar um sistema de bombeamento, atendendo às restrições propostas, além disso, desempenhou um papel significativo na disseminação de conhecimentos técnicos sobre o gerenciamento de recursos hídricos em áreas rurais. Ao enfatizar a importância do uso sustentável da água, o projeto busca promover práticas responsáveis no aproveitamento de fontes hídricas, contribuindo diretamente para a preservação ambiental e para o desenvolvimento sustentável de comunidades rurais.

6 AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha mais profunda gratidão a todos que, contribuíram para a realização deste trabalho. Agradeço ao meu pai, por me proporcionar a oportunidade de realizar esta graduação, sem o qual este sonho não seria possível. À minha mãe, que, com seu apoio constante e incondicional, está sempre presente em todos os momentos da minha vida, meu eterno agradecimento. Agradeço também à minha irmã e ao meu cunhado, por toda a paciência e compreensão ao me aturarem em casa durante essa caminhada. E à minha namorada, minha companheira incansável, pelo suporte, carinho, amor e parceria, tornando esta fase da minha vida a melhor até agora.

Não posso deixar de agradecer à minha orientadora, Professora Dra. Karina Ruschel, pelo suporte, auxílio e norteamento imprescindíveis ao longo deste trabalho. Seu conhecimento e orientação foram fundamentais para o desenvolvimento deste projeto e para a realização dos objetivos propostos.

Gostaria de agradecer também ao LAPA pela ajuda com o processo de análise físico-química da água, possibilitando conhecer os parâmetros da água.

Por fim, agradeço a Deus, âncora de tudo, por guiar cada passo e me fortalecer nesta trajetória.

7 REFERÊNCIAS

ABAS. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. Águas subterrâneas, o que são? Disponível em: http://www.abas.org/educacao.php. Acesso em: 16 de maio de 2014.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) - Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/cooperacao-internacional/agua-no-mundo

Boff, Leonardo. Sustentabilidade: o que é; o que não é. 5ª ed. Petrópolis: Vozes, 2016.

Brealey, R. A.; Myers, S. C.; Allen, F. Princípios de Finanças Corporativas. 12. ed. McGraw-Hill, 2018.

Carli, L. N., De Conto, S. M., Beal, L. L., & Pessin, N. Racionalização do uso da água em uma instituição de ensino superior – Estudo de caso da Universidade de Caxias do Sul. GeAS – Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, 2(1), 143-165. 2013.

CEDERSTROM, D.J. Geology and ground-water resources of St. Croix. V.I: U.S. Geol. Survey Water Supply paper 1067. 1950.

Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (CMMAD). Nuestro futuro común. Madrid: Alianza Editorial, 1992.

Dias, Reinaldo. Gestão Ambiental, Responsabilidade Social e Sustentabilidade. 1 e.d. São Paulo-SP: Atlas, 2006.

Fernandes, D. R. M., Medeiros Neto, V. B., & Mattos, K. M.da C. Viabilidade Econômica do Uso da Água da Chuva: Um Estudo de Caso da Implantação de Cisterna na UFRN/RN. XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Foz do Iguaçu, PR, Brasil. 2007.

Freitas, Eduardo de. "Origem da água"; Brasil Escola. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/geografia/origem-agua.htm. Acesso em 18 de novembro de 2024.

Freitas, M. B. & Almeida, L. M. Qualidade da água subterrânea e sazonalidade de organismos coliformes em áreas densamente povoadas com saneamento básico precário. In: X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. CD-ROM, São Paulo: Sonopress-Rimo, 1998.

Gadotti, Moacir. Educar para sustentabilidade: uma contribuição à Década da Educação para o Desenvolvimento Sustentável. São Paulo: Instituto Paulo Freire, 2008.

Garcez, L. Nogueira. Elementos de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda. 2° edição, 1974. 205 p.

Hirata, R.; Foster, S.; Oliveira, F. Águas Subterrâneas Urbanas no Brasil: avaliação para uma gestão sustentável. 1. ed. São Paulo: Instituto de Geociências e FAPESP, 2015. v. 1. 112p.

Hirata, R.; Zobbi, J.; Fernandes, A.; Bertolo, R. Hidrogeología del Brasil: Una breve crónica de las potencialidades, problemática y perspectivas. Boletín Geológico y Minero, Madrid, v. 217, n.1, p. 25-36. 2006.

Hen, Érico Antonio Lopes; Máquinas de fluido- 4. Ed. – Santa Maria: Ed. Da UFSM, 2019.

IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Dados sobre Domicílios no Estado do Rio de Janeiro. Anuário Estatístico do Brasil, v. 54. Rio de Janeiro: IBGE, 1994.

International Commission on Irrigation and Drainage (ICID). A road map to ICID vision 2030: a water secure world free of poverty and hunger. New Delhi, India: International Commission on Irrigation and Drainage (ICID). 2017.

Instituto trata brasil. Rio Grande Do Sul, 2024.

Libânio, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 2. ed. São Paulo: Átomo, 2008.

Macintyre, Archibald J. Manual de Instalações Hidráulicas e Sanitárias. Disponível em: Minha Biblioteca, (2nd edição). Grupo GEN, 2020.

Markowicz, J, F.; Lim, F, Z.; Lopes, J, D, S.; Gomes, J, A. Perfuração de poços artesianos e semiartesianos. Viçosa-MG, CPT, 2006.

Maxey, G. B. Hydrostratigraphic Units. Journal of Hydrology, v-2 p.124-129, 1964.

Menezes, G. F. F., Santos, D. B., Batista, R. O., Azevedo, D. O., Santana, G. S., Silva, A. S., & Duarte, A. J. A. P. Indicadores de qualidade, manejo e uso de água pluvial armazenada em cisternas do semiárido baiano. Revista Agrarian, v. 6, n. 22. Recuperado em 10 de fevereiro, 2013.

Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome. Disponível em: https://www.gov.br/mds/pt-br/noticias-e-conteudos/desenvolvimento-social/noticias-desenvolvimento-social/no-dia-mundial-da-agua-mds-alerta-para-importancia-do-cuidado-com-as-cisternas.

Nalini, José Renato. Ética Ambiental. 3ª ed. Campinas-SP: Millenium, 2010.

Nordberg, G. F.; Goyer, R. A.; Clarkson, T. W. Impact of effects of acid precipitation on toxicity of metals. Environmental Health Perspectives, 63:169-180, 1985.

Otto, B. e Schleifer, L. Domestic water use grew 600% over the past 50 years. Washington, D.C., USA: World Resources Institute (WRI), 2020.

Philippi Jr., Arlindo. Interdisciplinaridade em Ciências Ambientais. São Paulo-SP: Signus, 2000.

Pirlea, A.F., Serajuddin, U., Wadhwa, D. & Welch, M. Clean water & sanitation: strains on freshwater resources. In: Atlas of Sustainable Development Goals 2023. Washington, D.C., USA: World Bank, 2023.

Ritchie, H. e Roser, M. Water use and stress. United Kingdom: Our World In Data.org, 2018.

Rosegrant, M.W., Ringler, C. e Zhu, T. Water for agriculture: maintaining food security under growing scarcity. Annual Review of Environment and Resources, 34(1), 205–222, 2009.

Sampat, P. Expondo a Poluição Freática. In: Estado do Mundo 2001, WWI.

Seaber, P. R. Definition of hydrostratigraphic units. In: Annual Symposium on Florida Hydrogeology, 2, Northwest Florida Water Management District. Public Information Bulletin, v. 82, n.3, p. 25-26, 1982.

Seaber, P. R. Evolution of Classification and Nomenclature of Hydrogeologic Units. EOS, v. 67, n. 16, p. 28, 1986.

Seaber, P. R. Hydrostratigraphic Units. In: Rosenshein J. S.; Seaber P. R. (Eds.) Hydrogeology: The Geology of North America, Boulder, CO: W. Back/Geological Society of America, p. 9-14, 1988.

Seeger, L. M. K., Sari, V., & Paiva, E. M. C. D. Análise comparativa do aproveitamento da água da chuva na lavagem de veículos em duas cidades da Região Sul e Centro-Oeste. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 17. São Paulo. Anais... São Paulo: [s.n.], 1-13, 2007.

Seixas, Jairo Ezequiel de et al. Aditivação de Fluídos de Perfuração. 2010.

Silva, Carla Mariana Rocha Brittes da; Leão, Suchilla Garcia. Sustentabilidade: desafios da realidade para um (re)pensar na educação. Revista Educação Pública, v. 20, nº 24, 30 de junho de 2020. Disponível em: https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/20/24/sustentabilidade-desafios-da-realidade-para-um-repensar-na-educacao.

Todd, D. K. Hidrologia de Águas Subterrâneas. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda., 1959.

Tomaz, P. Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis. São Paulo: Navegar, 2003. 180p.

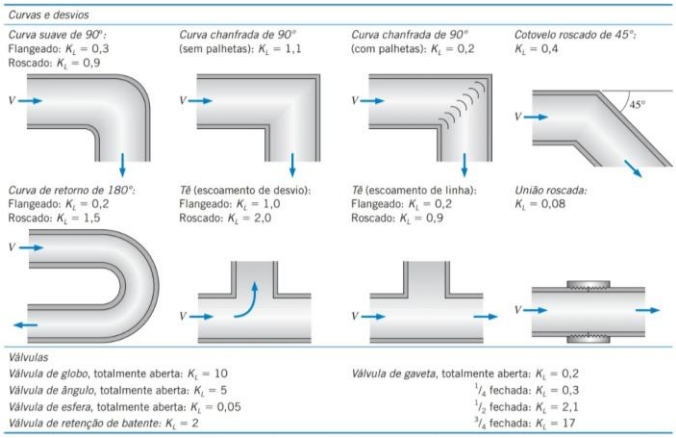
United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). The United Nations World Water Development Report 2023: Partnerships and Cooperation for Water. Paris, France: UNESCO, 2023.

Vannucci, L. R. Matemática financeira e engenharia econômica: princípios e aplicações [livro eletrônico]. 2ª ed. São Paulo: Blucher, v. PDF, 2017.

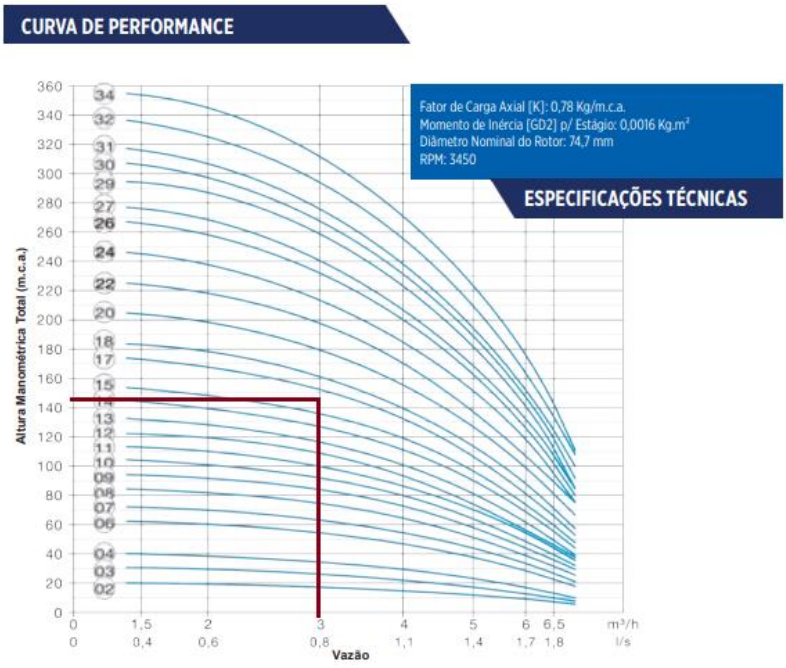
Vidigal, Mario et al. Dicionário breve de filosofia. Portugal: Presença, 2000.

Wernke, R. Análise de custos e preços de venda: Ênfase em aplicações e casos nacionais. [S.l.]: Saraiva, 2017.

8 ANEXOS



Apêndice 1. Perda de Carga por acessórios (Çengel, 2015).



Apêndice 2. Curva de seleção de Bomba (Bombas Leão, 2024).

TABELA DE SELEÇÃO

Modelo	Potência (cv)	Estágios	Características Hidráulicas Vazão (m^3/h) 0	1,5	2	3	4	5	6	6,5	Peso (Kg)	Ø mínimo do Poço (pol.)	DIMENSÕES (mm) Ø	M	B	C
			Altura Manométrica Total (m.c.a.)													
4RSIB-02 370	0,5	2	22	20,5	19,5	17,5	15	12	8,5	7	18,0			435	204	639
4RSIB-03 370	0,7	3	32	30,5	29	26,5	22,5	17,5	12,5	10	16,5			435	225	660
4RSIB-04 370	0,7	4	43	40	38,5	34,5	29,5	23	16,5	13	16,8			435	247	682
4RSIB-06 370	1	6	67	62	60	54	47,5	37,5	28,5	22,5	19,1			485	291	776
4RSIB-07 370	1	7	78	72	70	63	55	44	33	26,5	19,5			485	313	798
4RSIB-08 370	1,5	8	90	84	82	75	64,5	51	39	31,5	40,7			485	336	821
4RSIB-09 370	2	9	101	94	91	84	73	57,5	44	36	34,4			695	358	1053
4RSIB-10 370	2	10	112	104	101	92	80	63,5	48	39,5	35,3			695	380	1075
4RSIB-11 370	2	11	122	113	110	100	87	70	53	44	36,1			695	402	1097
4RSIB-12 370	2,5	12	132	122	119	109	94	74	56,5	46	28,5			745	424	1169
4RSIB-13 370	2,5	13	143	132	128	116	101	81	61,5	49,5	28,9			745	446	1191
4RSIB-14 370	3	14	155	144	139	127	112	90	69	55,5	31,4			745	468	1213
4RSIB-15 370	3	15	165	153	148	136	119	96	73	59,5	33,0	4"	97	745	490	1235
4RSIB-17 XXX*	3,5	17	188	173	167	152	133	108	81	66	33,3			824	560	1384
4RSIB-18 XXX*	3,5	18	200	183	178	161	140	115	87	71	33,6			824	582	1406
4RSIB-20 350	4	20	222	204	198	179	155	127	98	81	37,6			824	682	1506
4RSIB-22 350	4	22	242	224	218	196	170	137	107	89	38,1			824	727	1551
4RSIB-24 350	4,5	24	264	245	238	212	187	149	116	95	38,6			824	771	1595
4RSIB-26 350	5	26	287	266	258	232	201	163	125	102	42,5			824	815	1639
4RSIB-27 350	5	27	298	276	268	241	208	169	131	107	42,7			824	837	1661
4RSIB-29 350	5,5	29	319	294	287	257	224	181	140	112	43,2			824	881	1705
4RSIB-30 350	6	30	331	306	298	267	233	190	146	119	43,6			824	903	1727
4RSIB-31 350	6	31	343	316	307	277	238	195	152	124	43,9			824	925	1749
4RSIB-32 450	7	32	359	335	325	293	254	209	164	134	52,1			904	948	1852
4RSIB-34 450	8	34	380	354	345	311	269	222	176	143	52,8			904	992	1896

Apêndice 3. Tabela de seleção de bomba (Bombas Leão, 2024).

FOLHA DE DADOS

CLIENTE:		DATA:	20/11/2024
REFERÊNCIA:			

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO			
01	Liquido bombeado	Agua	
02	Temperatura de operação	25	°C
03	Peso específico / Densidade	1,00	kg/dm³
04	Viscosidade	1	cSt
05	Vazão nominal	3	m³/h
06	Altura manométrica total	140	m
07	Pressão de sucção	-	bar
08	Pressão de recalque	-	bar
09	NPSH disponível	-	m
10	Obs.:		
BOMBA			
12	Modelo	TBPS3 23	
13	Nº de estágios	23	
14	Rendimento	49,3	%
15	Potência efetiva	3,2	cv
16	Motor recomendado	3	cv
17	Rotação nominal	3.500	rpm
18	NPSH requerido	1,83	m
19	AMT de Shut-off	216,31	m
MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO			
22	Corpo	A 48 CL200	
23	Rotor	Termoplástico	
24	Intermediária / Estágio	A 351 CF 8	
25	Anéis de desgaste do Corpo	-	
26	Anéis de desgaste do Rotor	-	
27	Eixo / Alongamento	AISI 420	
28	Luva de proteção do eixo	AISI 316	
29	Sobreposta	-	
30	Outros		

DETALHES CONSTRUTIVOS DA BOMBA							
31	Bocais	Flangeados		Roscados	X		
32		Diametro		Norma		Classe	
33	Sucção	1.1/2"		BSP		-	
34	Descarga	1.1/2"		BSP		-	
35	Montagem	○ MONOBLOCO		○ MANCAL			
36	Rotor	Rotor fechado					
37		Em balanço		Entre mancais	X		
38		Diâmetro:	Máximo	76	mm		
39			Projetado	76	mm		
40			Mínimo	76	mm		
41	Vedação	Selo mecânico	X	Gaxeta			
42	Selo mecânico	Tipo	Tipo 21 - John Crane				
43		Plano de selagem	-				
44		Materiais	Ceramica/Grafite/Buna N				
45	Gaxeta	-					
46	Câmara de refrigeração	Sim ☐	Não ☑				
47	Lubrificação mancais	Graxa	X	Óleo			
48	Motor elétrico	Monofásico	X	Trifásico			
49		Fabricante	WEG	Potência	3	cv	
50		N.polos	2	Frequencia	60	Hz	
51		Tensões	220/380/440V	Carcaça			
52		Tipo	WEG Magnum IP55	Isolação	F		
53	Luva elástica	Fabricante	-				
54		Modelo	-				
55		Espaçador	◉ SEM				
56	Base	Não acompanha					
57		Referência	-				
58	Protetor de luva	Aço ☐	Latão ☐				
59	Pintura padrão	Thebe ☑	Cliente ☐				
60	Acessórios						

Apêndice 4. Software dimensionamento de sistema de bombeamento (Ebara, 2024)