



KELVIN ANDERSON RIBEIRO CARVALHO

**ÁGUA NO BAIRRO PONTE ALTA - LAVRAS, MG:
DIAGNÓSTICO E PROJETO DE SISTEMA ABASTECIMENTO**

LAVRAS – MG

2023

KELVIN ANDERSON RIBEIRO CARVALHO

**ÁGUA NO BAIRRO PONTE ALTA - LAVRAS, MG: DIAGNÓSTICO E PROJETO DE
SISTEMA ABASTECIMENTO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de bacharel.

Prof^a. Dra. Paula Peixoto Assemany

Orientadora

Prof^a. Dra. Camila Silva Franco

Coorientadora

LAVRAS – MG

2023

**Ficha catalográfica elaborada pela Coordenadoria de Processos Técnicos
da Biblioteca Universitária da UFLA**

Carvalho, Kelvin Anderson Ribeiro

ÁGUA NO BAIRRO PONTE ALTA - LAVRAS, MG:
diagnóstico e projeto de sistema abastecimento / Kelvin
Anderson Ribeiro Carvalho. - 2023.

84 p. : il.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Paula Peixoto Assemany.

Corientadora: Prof^ª. Dra. Camila Silva Franco.

TCC (graduação)–Universidade Federal de Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. Saneamento. 2. Captação de água. 3. Tratamento de
água. I. Assemany, Paula Peixoto. II. Franco, Camila Franco.
III. Título.

KELVIN ANDERSON RIBEIRO CARVALHO

ÁGUA NO BAIRRO PONTE ALTA - LAVRAS, MG: DIAGNÓSTICO E PROJETO DE SISTEMA ABASTECIMENTO

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de bacharel.

APROVADO em 14 de Novembro de 2023.

Dra. Paula Peixoto Assemany UFLA
Dr. Michael Silveira Thebaldi UFLA
Dra. Luciana Sanches UFLA


Prof^a. Dra. Paula Peixoto Assemany
Orientadora

Prof^a. Dra. Camila Silva Franco
Co-Orientadora

**LAVRAS – MG
2023**

Dedico à minha mãe, irmãos e amigos, que nunca desistem de mim.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer à minha mãe, que é a pessoa mais incrível que já conheci e à qual serei eternamente grato. Sua constante apoio e incentivo foram fundamentais para o meu sucesso acadêmico. Também quero agradecer aos meus amigos, que tornaram meus dias mais alegres, especialmente nos momentos de luta nos estudos. Entre eles, posso citar Caroline Ferreira, uma das pessoas que mais me ajudou. Fico profundamente grato ao meu supervisor de estágio, Felipe Nogueira, por me dar a oportunidade de crescimento quando mais precisei durante a pandemia. Por fim, todos os professores da UFLA, principalmente quero estender minha gratidão às minhas orientadoras, Dra. Paula Peixoto e Dra. Camila Franco, por todo o apoio e orientação que me proporcionaram nessa última etapa do percurso acadêmico. À todos vocês, meu sincero obrigado por fazerem parte desta jornada e por contribuírem para o meu sucesso.

O mundo é cruel, mas ainda assim, eu te amo
(Ai Higuchi)

RESUMO

Certas comunidades rurais sofrem com a escassez de água potável devido à falta de atenção das autoridades e à distância de centros urbanos, causando um grande impacto no crescimento social e econômico. Assim, este trabalho tem como objetivo abordar e apresentar alternativas de resolução do problema de escassez de um sistema de abastecimento de água na comunidade de Ponte Alta, localizada em Lavras, MG. Esta comunidade enfrenta desafios significativos em relação ao abastecimento de água, com muitos moradores recorrendo a fontes alternativas que não passam por um tratamento adequado, ocasionando grandes riscos sua saúde. A metodologia empregada neste estudo envolveu uma pesquisa abrangente, incluindo diagnóstico, coleta de amostras em campo e análises em laboratório das águas consumidas nas residências. Isso permitiu uma compreensão aprofundada da situação local, identificando os riscos à saúde e as necessidades da comunidade em relação ao fornecimento de água. Além disso, análises computacionais de georreferenciamento, como criação de mapas e gráficos, foram realizadas para identificar fontes de captação próximas e avaliar a viabilidade de distribuição desse recurso essencial para melhorar a qualidade de vida dos moradores. Notou-se que a qualidade da água consumida pelos moradores atualmente não atende ao limite máximo de cor aparente e turbidez, de acordo com os padrões organolépticos da legislação vigente. Assim, buscando oferecer soluções sustentáveis e garantir que todos os moradores tenham acesso à água potável, um sistema de abastecimento, incluindo as etapas de captação, tratamento, reservação e distribuição de água, foi projetado seguindo recomendações de normas técnicas de projeto. A estação de tratamento de água deverá ser composta de unidades de filtro lento e desinfecção por cloração. Além disso, definiu-se que a água tratada deverá ser distribuída a partir de um reservatório elevado de 7000 L de capacidade até os pontos de consumo por meio de uma rede ramificada de PEAD com 32 mm de diâmetro e com 2,06 km de extensão. Adicionalmente, dentre os resultados obtidos, destaca-se a necessidade de implantação de duas estações de recalque com a função de elevar a água da captação à ETA simplificada e, logo em seguida, até o reservatório elevado. Também foi identificada a necessidade de instalação de uma válvula redutora de pressão, pois a diferença de nível entre o ponto de reservação até o ponto mais baixo da rede resultou em valor de pressão na rede superior ao máximo estabelecido pela norma técnica correspondente.

Palavras-chave: 1. Saneamento. 2. Captação de água. 3. Tratamento de água.

ABSTRACT

Certain rural communities face a scarcity of potable water due to a lack of attention from authorities and the distance from urban centers, causing significant impact in social and economic growth. Thus, this work aims to address and resolve the scarcity issue of a water supply system in the Ponte Alta community, located in Lavras, MG. This community encounters substantial challenges regarding water supply, with many residents resorting to alternative sources lacking adequate treatment, posing significant health risks. The methodology applied in this study encompassed comprehensive research, including diagnosis, field sample collection and laboratory analysis of the water consumed in households. This facilitated a profound understanding of the local situation, identifying health risks, and the community's water supply needs. Additionally, georeferencing computational analyses, such as map and graph creation, were conducted to identify nearby water sources and evaluate the feasibility of distributing this crucial resource to enhance residents' quality of life. It was observed that the quality of water currently consumed by residents exceeds the maximum limits for apparent color and turbidity, according to the organoleptic standards of legislation. Therefore, striving to offer sustainable solutions and ensure access to potable water for all residents, a water supply system was designed, including stages of collection, treatment, storage, and distribution, following technical project standards. The water treatment station is anticipated to comprise slow sand filter units and chlorination for disinfection. Furthermore, it was determined that treated water should be distributed from a 7,000-liter elevated reservoir to consumption points through a branched PEAD network with a diameter of 32 mm, spanning 2.06 km. Additionally, among the results obtained, there is a highlighted need for the implementation of two booster stations to lift water from the collection point to the simplified water treatment plant (ETA) and subsequently to the elevated reservoir. Furthermore, the installation of a pressure reducing valve was identified as necessary since the difference in elevation between the storage point and the network's lowest point resulted in a network pressure exceeding the maximum established by the corresponding technical standard.

Keywords: 1. Sanitation. 2. Water abstraction. 3. Water treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Variantes de técnicas de tratamento que empregam a filtração lenta.	19
Figura 3.2 – Rede ramificada "espinha de peixe".	20
Figura 3.3 – Rede malhada.	21
Figura 3.4 – Rede mista.	21
Figura 4.1 – Localização da área de estudo.	23
Figura 4.2 – Localização da Bacia do Rio Grande.	24
Figura 4.3 – Localização da microbacia a qual está situada o bairro Ponte Alta.	24
Figura 4.4 – Estrutura de vidro para amostragem.	27
Figura 4.5 – Turbidímetro do modelo AP2000, marca Policontrol, utilizado para determinação da turbidez das amostras coletadas na comunidade Ponte Alta.	28
Figura 4.6 – Equipamento utilizado para determinação do pH das amostras coletadas na comunidade Ponte Alta.	29
Figura 4.7 – Espectrofotômetro utilizado para determinação da cor das amostras coletadas na comunidade Ponte Alta.	30
Figura 4.8 – Centrífuga utilizado nas amostras coletadas na comunidade Ponte Alta.	30
Figura 4.9 – Partes constituintes de um sistema de abastecimento de água.	31
Figura 4.10 – Esquema do sistema de sucção e recalque.	34
Figura 4.11 – Reservatório a montante.	39
Figura 5.1 – Utilização da água na comunidade Ponte Alta em Lavras - MG.	45
Figura 5.2 – Fonte de captação de água pelos moradores da comunidade Ponte Alta em Lavras - MG.	46
Figura 5.3 – Profundidade dos poços freáticos na comunidade de Ponte Alta em Lavras - MG.	46
Figura 5.4 – Tratamento aplicado à água para consumo dos moradores da comunidade Ponte alta em Lavras - MG.	47
Figura 5.5 – Frequência da limpeza dos reservatórios prediais da comunidade Ponte alta em Lavras - MG.	48
Figura 5.6 – Distâncias da fossa negra à captação de água das residências na comunidade Ponte Alta em Lavras - MG.	49
Figura 5.7 – Destinação dos resíduos sólidos das residências na comunidade Ponte Alta em Lavras - MG.	49

Figura 5.8 – Turbidez das amostras de água da comunidade de Ponte Alta.	50
Figura 5.9 – pH das amostras de água da comunidade Ponte Alta.	51
Figura 5.10 – Cor das amostras de água da comunidade Ponte Alta.	51
Figura 5.11 – Mapa com terreno e curvas topográficas da Comunidade Ponte Alta em Lavras-MG.	52
Figura 5.12 – Mapa com terreno e rede de drenagem da Comunidade Ponte Alta em Lavras-MG.	53
Figura 5.13 – Localização da captação e da ETA (reservatório).	55
Figura 5.14 – Curva característica da bomba <i>versus</i> Curva característica da instalação. . .	57
Figura 5.15 – Curvas da bomba 2CDX 70 no ponto de trabalho da bomba.	58
Figura 5.16 – Ponto de trabalho da bomba BCR-2000.	65
Figura 5.17 – Curvas da bomba BCR-2000 no ponto de trabalho da bomba.	66

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	Objetivo	13
2.1	Objetivo geral	13
2.2	Objetivos específicos	13
3	Referencial Teórico	14
3.1	Saneamento no Brasil	14
3.2	Qualidade de água	15
3.3	Tratamento de água	16
3.3.1	Estação de tratamento de ciclo completo	17
3.3.2	Filtro lento	18
3.4	Reservação e distribuição de água	19
4	Material e Métodos	23
4.1	Caracterização da área de estudo	23
4.2	Diagnóstico sobre as condições de saneamento da população	25
4.3	Levantamento populacional	25
4.4	Caracterização topográfica da área para identificação de fontes de captação de água	26
4.5	Coleta das amostras da água consumida	26
4.6	Análises da água consumida nas residências	27
4.7	Cálculo das vazões de projeto	30
4.8	Dimensionamento do sistema elevatório	32
4.8.1	Diâmetro de sucção e recalque	32
4.8.2	Determinação da altura manométrica	33
4.8.3	Escolha do conjunto motobomba	35
4.8.4	Cavitação	35
4.9	Dimensionamento do tratamento da água: filtro lento e desinfecção	36
4.10	Traçado e dimensionamento da rede de distribuição de água	39
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45

5.1	Diagnóstico sobre o abastecimento de água	45
5.2	Qualidade da água	50
5.3	Caracterização topográfica da área de estudo	52
5.4	Estimativa das vazões de projeto	53
5.5	Captação	54
5.6	Definição da bomba	56
5.7	Dimensionamento e operação do filtro lento	58
5.8	Rede de abastecimento de água	61
5.9	Reservatório	64
6	CONCLUSÃO	68
	REFERÊNCIAS	70
	APENDICE A – Ábaco de Fair-Whipple-Hsiao para tubulações de cobre e plástico	74
	APENDICE B – Levantamento em campo sobre as condições de saneamento dos moradores de Bairro Ponte Alta	75
	APENDICE C – Dimensionamento de captação a ETA simplificada	78
	APENDICE D – Detalhamento do filtro lento	79
	APENDICE E – Representação do reservatório	80
	APENDICE F – Detalhamento da ETA simplificada e reservatório	81
	APENDICE G – Dimensionamento do bombeamento ao reservatório	82
	APENDICE H – Planta das canalizações	83
	APENDICE I – Tabela de dimensionamento da rede de distribuição	84

1 INTRODUÇÃO

A água para os seres vivos é de total importância para sua sobrevivência e seu desenvolvimento. A água é um recurso que, para muitos, é de difícil acesso, em função de sua distribuição irregular no planeta e comprometimento da qualidade, tornando-se cerne nas políticas públicas.

O Brasil é o país com a maior reserva de água doce do planeta, devido à grande bacia hidrográfica do Rio Amazonas, mesmo assim muitas pessoas sofrem com a impossibilidade de ter uma água potável para consumo no país. Enquanto as zonas urbanas da cidade possuem o devido tratamento e adequada distribuição de água, grande parte das populações rurais é atendida com águas inadequadas para consumo humano, em decorrência da distância e negligência do poder público (BRITO, 2012).

Estudos realizados desde 1854, como o de John Snow, evidenciam os graves impactos que a falta de tratamento de recursos hídricos pode ter na saúde humana. Um exemplo notável é o surto de cólera na cidade de Londres, que demonstrou claramente essa conexão (MAGALHÃES JÚNIOR; LOPES, 2022).

Dada a ocorrência de surtos epidemiológicos recentes, notadamente a pandemia de Covid-19, é relevante observar que a água pode também ter desempenhado um papel significativo como fonte de surtos, exemplificado pela prevalência da esquistossomose no Egito (MAGALHÃES JÚNIOR; LOPES, 2022). Esses eventos aumentam a importância crucial de assegurar que as fontes hídricas sejam devidamente tratadas e mantenham condições sanitárias adequadas para o consumo humano

O acesso a um sistema de abastecimento de água potável pode ter um impacto significativo no crescimento social e econômico de uma região. Como afirmado no Princípio 4 da Declaração de Dublin, "a água possui um valor econômico em todos os seus usos e deve ser reconhecida como um bem econômico"(GRANZIERA, 2023). Isso significa que a água também desempenha um papel fundamental na geração de capital, seja por meio da agricultura, da criação de animais, ou ao atrair empresas que criam empregos e estimulam o desenvolvimento econômico.

A comunidade de Ponte Alta, em Lavras, MG é um exemplo, pois não possui sistema público de distribuição e/ou tratamento de água. Assim, os habitantes se adaptam em captações individuais de água, sem critérios técnicos adequados, em mananciais superficiais ou subterrâneos. Portanto, o objetivo deste trabalho foi projetar um sistema de abastecimento de

água potável eficiente e econômico, garantindo sua viabilidade e funcionalidade na comunidade Ponte Alta.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Elaborar projeto de um sistema de abastecimento de água potável eficiente e econômico, garantindo sua viabilidade técnica e funcionalidade para a comunidade de Ponte Alta, Lavras - MG.

2.2 Objetivos específicos

Dentre os objetivos específicos desse trabalho, têm-se:

- Diagnóstico ambiental e das condições de saneamento da comunidade.
- Caracterização topográfica e hidrográfica da área de estudo, com geração de mapas.
- Dimensionamento da tomada e captação de água.
- Dimensionamento de estação de tratamento de água simplificada.
- Dimensionamento de sistema de abastecimento de água, incluindo as etapas de reservação e distribuição.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Saneamento no Brasil

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento de 2021 (BRASIL, 2021a), no Brasil, onde residem cerca de 213,3 milhões de habitantes, 84,2% da população tem acesso ao fornecimento de água por meio de redes, totalizando 177 milhões de pessoas. No entanto, é preocupante notar que a maioria desses atendimentos se concentra em áreas urbanas, deixando 9,5 milhões de brasileiros em zonas rurais sem acesso ao fornecimento de água.

A Lei nº 11.445 (BRASIL, 2007) estabelece que o atendimento à população rural deve ser adaptado às suas circunstâncias sociais e econômicas peculiares, garantindo condições mínimas e adequadas para suas moradias. No entanto, dados revelam que 33,4% domicílios rurais não são atendidos por redes de distribuição de água, dependendo principalmente de poços ou nascentes. Em contraste, 93,8% dos domicílios urbanos são abastecidos por sistemas coletivos de distribuição de água. E o acesso ao esgotamento sanitário também é mais favorável nas áreas urbanas, com apenas 25% dos domicílios urbanos sem acesso à rede geral de esgoto, em comparação com 92% dos domicílios na zona rural (BRASIL, 2019).

Rocha (2006) destaca a importância do tratamento de águas subterrâneas e subsuperficiais, uma vez que há um equívoco comum de que essas águas são potáveis. É essencial promover uma melhor educação higiênico-sanitária nas populações que dependem dessas fontes de água, pois é comum utilizá-las assim que são captadas.

Para entender a deficiência no saneamento em áreas rurais, Brito (2012) cita um dos principais motivos. Segundo o autor, as políticas públicas existentes e as decisões de governos anteriores podem representar obstáculos significativos para uma nova administração que pretende implementar políticas atualizadas. Isso ocorre porque as alocações de recursos em tempos passados, fazem com que os procedimentos sejam burocráticos e complexos, dificultando a rápida redistribuição de recursos.

Brito (2012) conclui que o acesso ao saneamento para todos é uma questão de justiça social, que vai além da alocação de recursos financeiros. Envolve também a eliminação de barreiras burocráticas e a implementação eficaz de políticas públicas. Portanto, garantir que todas as comunidades, incluindo as rurais, tenham acesso adequado ao saneamento é um desafio que exige não apenas financiamento, mas também uma abordagem mais eficiente e eficaz na gestão de recursos e tomada de decisões.

3.2 Qualidade de água

A água é composta por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio, formando a conhecida molécula H_2O , na qual esses componentes se organizam em um ângulo de 105° . Essa configuração resulta na separação de cargas, dando origem a um fenômeno chamado de enlaces de hidrogênio. As ligações de hidrogênio criam forças atrativas entre as moléculas de água e são responsáveis pelas propriedades físicas e químicas únicas desse líquido, como sua notável solubilidade, tornando-o conhecido como o "solvente universal" (RICHTER, 2017).

No ciclo hidrológico, a água acumula impurezas, incluindo matéria orgânica e mineral, tanto de fontes naturais e de atividades humanas. Conforme Heller e Pádua (2010a), a natureza e a quantidade dessas impurezas variam de acordo com a localização geográfica, o clima e a vegetação. Infelizmente, a água também pode abrigar microrganismos nocivos, sendo as bactérias, fungos, algas e protozoários. Esses microrganismos têm a capacidade de produzir toxinas e causar doenças, inclusive pandemias, representando um risco significativo para a saúde pública.

Portanto, quando se trata do manancial de captação, é indispensável o monitoramento constante da qualidade e caracterização de suas propriedades durante seu uso, a fim de detectar possíveis alterações e garantir a eficácia do tratamento adequado.

A turbidez é um dos parâmetros utilizados para avaliar a qualidade da água. Trata-se de uma propriedade ótica que afeta a absorção da água em relação a feixes de luz. Em vez de o feixe de luz ser transmitido em linha reta, a turbidez faz com que ele se disperse em várias direções ou em outras palavras “uma medida do grau de interferência da passagem de luz através do líquido” (BRASIL, 2014b). Quando uma amostra de água apresenta alta turbidez, isso indica a presença de partículas em suspensão de diferentes tamanhos apresentando uma água opaca (SPERLING, 1996). Entre essas partículas, é comum encontrar materiais como argilas, matéria orgânica, silte e diversos micro-organismos.

O potencial hidrogeniônico, mais conhecido como pH, segundo Heller e Pádua (2010a), é a medida da atividade dos íons hidrogênio e expressa a intensidade de condições ácidas ($pH < 7,0$) ou alcalinas ($pH > 7,0$). Quando a água tende de apresentar valores próximos a 7,0 (valor neutro) significa que a água é natural, quando seu pH não é mais interferido com adição de ácido ou base.

A compreensão do pH propicia a possibilidade de monitorar o potencial corrosivo de uma substância, além de permitir a determinação da quantidade necessária de reagentes para a

realização da coagulação da água e o controle do crescimento de microrganismos. Dessa maneira, o conhecimento do pH desempenha um papel crucial na gestão e no tratamento adequado da água, garantindo sua qualidade e segurança para diferentes finalidades (SCHORR, 2022). Richter e Azevedo Netto (1991) completam dizendo que águas com pH baixos são corrosivas ou agressivas em certos materiais da construção e com pH altos podem ocasionar incrustações nas mesmas matérias, afetando diretamente tubulações ou reservatórios em sistemas de abastecimento de água

A água em seu estado ideal se caracteriza pela ausência de qualquer coloração. A modificação na coloração da água ocorre principalmente devido à presença de substâncias dissolvidas ou suspensas, bem como à influência de ácidos fúlvicos e húmicos. Para Pavanelli (2001) decomposição de matéria vegetal pode introduzir tonalidades diferentes à água em comparação ao seu estado natural, porém, no presente caso, essa alteração não acarreta riscos à saúde.

Há duas categorias distintas de coloração: a cor aparente e a cor verdadeira. A cor aparente é manifestada quando a água exibe certo grau de turbidez, sendo essa turbidez removível após uma centrifugação da amostra. A cor verdadeira, por sua vez, emerge após a referida centrifugação, sendo caracterizada pela presença de sólidos dissolvidos. Segundo Souza (2001), por mais que água apresente estar límpida, não exclui o fato de ela conter produtos tóxicos ou perigosos.

Além disso, é importante mencionar o anexo 11 da PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021 (BRASIL, 2021b), que detalha que valores de turbidez e cor aparente superiores a 5 NTU e 15 uH, respectivamente, pode ser rejeitada pelo seu aspecto, conhecido como padrão organoléptico, e o limite máximo de turbidez da água após o tratamento é estabelecido em 1 NTU, garantindo a ausência de risco de contaminação microbiológica e aumentando a eficácia da desinfecção.

3.3 Tratamento de água

Richter e Azevedo Netto (1991) identificam que um bom projeto de estação de tratamento de água deve ser capaz de fornecer água de qualidade adequada para uma variedade de contextos. Ao longo do tempo, houve um desenvolvimento significativo de tecnologias que possibilitam o tratamento eficaz da água, atendendo a diferentes localidades e situações socioeconômicas.

Ao escolher os processos ideais para obter água pura, é fundamental considerar diversos fatores, como segurança, facilidade de execução da obra, disponibilidade de equipamentos na região, custos e simplicidade de operação e manutenção. Richter (2017) enfatiza que a escolha do método de tratamento adequado deve levar em consideração as características físicas e químicas da água e sua tratabilidade. No Brasil, os sistemas de tratamentos de água de ciclo completo são os mais utilizados.

3.3.1 Estação de tratamento de ciclo completo

A estação de tratamento de ciclo completo é o modelo predominante no Brasil e emprega várias etapas, incluindo coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. Esse método tem uma capacidade de tratamento que pode lidar com cargas de até 1000 unidades nefelométricas de turbidez (UNT ou NTU). No entanto, quando a turbidez da água é muito baixa, inferior a 50 NTU por exemplo, ele pode sobrecarregar os filtros, pois não consegue formar flocos pesados na floculação, tornando-se a decantação ineficiente (RICHTER, 2017).

A etapa de coagulação no sistema de tratamento de água faz com que haja a transformação das impurezas presentes no efluente, tanto as em suspensão quanto as dissolvidas. Isso é alcançado pela adição de um coagulante químico, que induz um processo de hidrólise, polimerização e reação com a alcalinidade da água, resultando na geração de íons positivos na solução (SCHORR, 2022). Todo esse processo ocorre em tanques de mistura rápida, que podem ser de tipos mecânicos ou hidráulicos.

A coagulação e a floculação são duas etapas cruciais no tratamento de água, como enfatizado por Richter (2017). A floculação é responsável por promover a formação de flocos, que serão visíveis a olho nu, devido às colisões de partículas desestabilizadas pelo processo anterior de coagulação. A formação de flocos ocorre por meio de uma mistura lenta, que pode ser alcançada por chicanas horizontais ou verticais (floculação hidráulica) ou por meio de equipamentos eletromecânicos, como explicado por Schorr (2022).

Em seguida, o efluente passa para os decantadores, onde ocorre a sedimentação, permitindo que os flocos se depositem por gravidade no fundo das câmaras. A sedimentação é eficaz na remoção de aproximadamente 70% a 80% dos materiais sedimentáveis na água, bem como entre 40% e 70% dos sólidos suspensos e até 30% a 40% da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) presente (SCHORR, 2022).

A filtração é o processo mais importante na cadeia de tratamento, conforme destacado por Richter (2017). A essência da filtração é a passagem do efluente por camadas de substâncias porosas, onde essas impurezas são retidas. Essas camadas porosas normalmente são compostas por areia, carvão e seixos. Existem dois tipos principais de filtração: filtração rápida, a mais comum, e a pôr filtro lento. Ambos envolvem processos físico-químicos, mas a filtração lenta pode incorporar processos biológicos para a remoção de impurezas. Outra principal diferença entre os dois tipos de filtro, além dos processos biológicos, é a taxa de filtração. Os filtros rápidos funcionam até 300 vezes mais rapidamente do que os filtros lentos, conforme indicado por Schorr (2022). Isso demonstra que os filtros rápidos são mais adequados para atender a grandes demandas, como centros urbanos, enquanto os filtros lentos são mais apropriados para pequenas comunidades.

A Portaria GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021 (BRASIL, 2021b) estipula que a água destinada ao consumo humano, quando fornecida coletivamente em grandes ou pequenos portes, deve passar por um processo de desinfecção ou cloração. O objetivo dessa etapa é inativar os microrganismos patogênicos presentes na água. Embora as outras etapas do tratamento contribuam para a redução desses microrganismos, somente a desinfecção tem a capacidade de inativá-los e prevenir seu crescimento na rede de distribuição. Dentre os produtos usados para esse processo, têm-se o cloro, o ozônio, o iodo, entre outros, sendo o cloro considerado o mais eficaz em pequenas comunidades e com potencial residual (BRASIL, 2014a).

3.3.2 Filtro lento

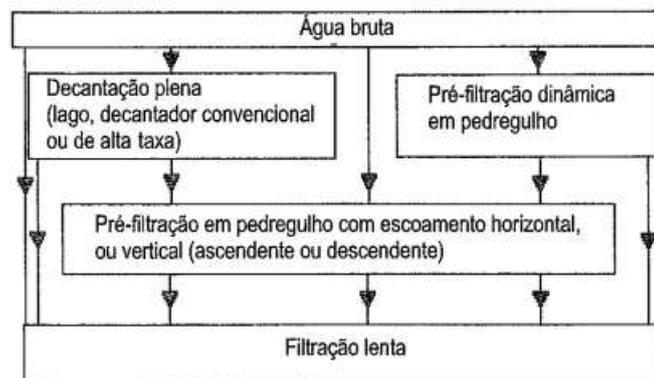
Os filtros lentos são comumente empregados em comunidades rurais e demonstram eficácia particularmente em águas com níveis reduzidos de turbidez e cor, dispensando a etapa de coagulação. Esses filtros são compostos por camadas de meios filtrantes, como areia e seixos, por onde a água passa e é tratada gradualmente. Esse tipo de filtro é capaz de eliminar completamente a turbidez, 25% da cor e 60% do ferro presente no líquido como apresentado por Richter (2017).

No início da utilização do filtro lento, a água que passa por ele ainda não apresenta a qualidade desejada. Entretanto, ele se revela altamente eficiente na remoção de bactérias devido à formação de uma camada biológica na parte superior. Essa camada biológica se desenvolve ao longo do amadurecimento do filtro formando lodos, conhecida como "schmutzdecke", expressão alemã que significa "camada de sujeira", que passa a absorver partículas menores, como

coloides e emulsóides. O processo de amadurecimento pode levar de 2 a 3 semanas e permite que o filtro forneça água de boa qualidade durante um período com esse mesmo tempo. Entretanto, após esse intervalo, é necessária a limpeza do filtro. A lavagem é essencial devido ao aumento da resistência causada pela camada de lodo, que resulta em um maior esforço para a passagem da água (HELLER; PÁDUA, 2010b).

É recomendado realizar uma pré-filtração antes do filtro lento, a fim de separar os materiais em suspensão presentes na água bruta. Isso pode ser alcançado por meio de outros tipos de filtros ou até mesmo por processos de decantação, conforme ilustrado na Figura 3.1. No entanto, Heller e Pádua (2010b) relatam que a utilização desse esse pré-tratamento é especialmente necessário quando a turbidez da água bruta é maior que 10 NTU, indicando uma alta concentração de sólidos suspensos.

Figura 3.1 – Variantes de técnicas de tratamento que empregam a filtração lenta.



Fonte: Di Bernardo et al. (1999).

3.4 Reservação e distribuição de água

Um sistema de abastecimento de água tem como objetivo fornecer água potável de maneira contínua à população presente, conforme proposto por Heller e Pádua (2010a). Esse fornecimento deve atender à quantidade, qualidade e pressão adequadas para satisfazer as atividades diárias dos consumidores.

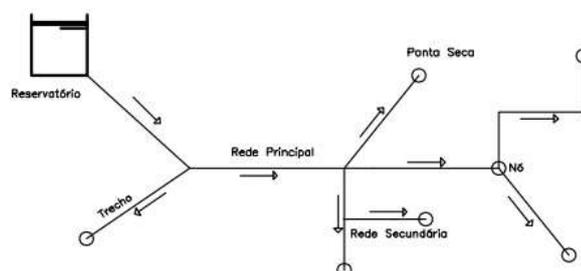
Heller e Pádua (2010a) explicam que a denominação de rede de distribuição “provém da forma como as suas tubulações são instaladas, formando rede de condutos interligados entre si e possibilitando diversas derivações para a distribuição da água potável aos imóveis abastecidos”.

Quando a rede de distribuição é mal projetada há o aumento de perdas de água e de qualidade da água.

Uma rede de distribuição de água é composta por dois tipos de canalizações: as principais e as secundárias. As principais são tubulações de maior diâmetro, frequentemente chamadas de condutos tronco ou canalizações mestras, e têm a função de fornecer água para as secundárias. As secundárias, por outro lado, possuem diâmetros menores e servem para abastecer pontos específicos de consumo. A disposição e o direcionamento das canalizações nas redes de distribuição podem ser classificados em três categorias principais: ramificada, malhada e mista.

Uma rede ramificada ocorre quando a canalização principal, que é alimentada por um reservatório, abastece diretamente as tubulações secundárias, com um único sentido de fluxo em cada trecho. Em outras palavras, a água flui em uma única direção, de forma sequencial, na rede, a qual pode ser visualizado na Figura 3.2.

Figura 3.2 – Rede ramificada "espinha de peixe".



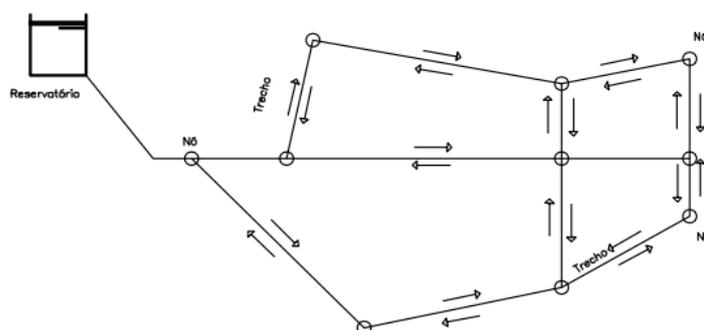
Fonte: modificado de Tsutiya (2006).

Já as redes malhadas, como mostrado na Figura 3.3 são caracterizadas pela formação de ciclos, anéis e blocos nas tubulações principais. Essa configuração possibilita que um ponto de consumo seja atendido por diversos caminhos diferentes, criando maior flexibilidade para a manutenção da rede e atendimento às demandas.

Por fim as redes mistas possuem as características das outras duas, ramificações, anéis e blocos, como mostra a Figura 3.4.

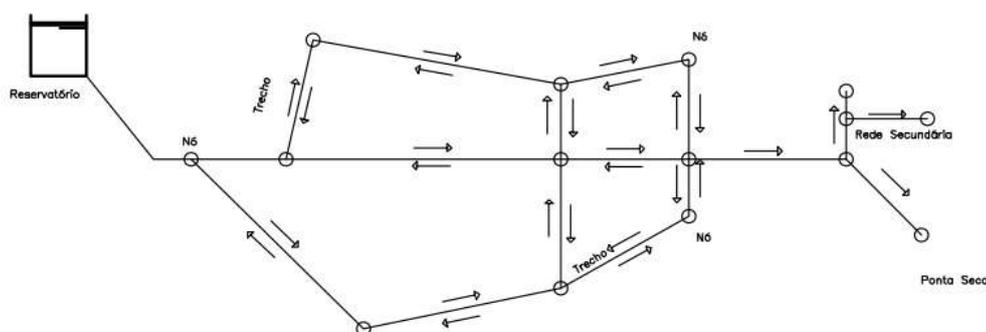
Em um projeto de abastecimento de água, é crucial coletar dados precisos de vários parâmetros ao longo de todas as tubulações. Entre esses parâmetros, destacam-se a pressão disponível e as vazões em cada segmento do projeto. Esses valores são influenciados por diver-

Figura 3.3 – Rede malhada.



Fonte: modificado de Tsutiya (2006).

Figura 3.4 – Rede mista.



Fonte: modificado de Tsutiya (2006).

dos fatores, como os diâmetros utilizados nas tubulações, a topografia do terreno, as vazões de distribuição e as perdas de carga ao longo do fluxo.

Para desenvolver o sistema de abastecimento, Tsutiya (2006) enfatiza a necessidade de condições de demanda máxima, evitando uma deficiência durante horas ou até mesmo dias do ano. Por isso apresenta os coeficientes K_1 e K_2 , o coeficiente do dia de maior consumo e o coeficiente da hora de maior consumo, respectivamente, que são levados em consideração nas vazões, desde a captação até a distribuição. Cada uma dessas vazões depende de variáveis específicas e compartilhadas, tais como população e consumo médio per capita, entre outras.

A NBR 12218 (ABNT, 2017) estabelece diretrizes essenciais para o sistema de abastecimento de água. Ela recomenda que a pressão mínima seja de 10 metros de coluna d'água (mca) ou 100 quiloPascals (kPa) para garantir que o escoamento seja suficiente para abastecer reservatórios de domicílios, especialmente em posições críticas. A mesma norma estabelece que a pressão máxima não deve ultrapassar 50 mca (500 kPa) para evitar danos à resistência mecânica das canalizações e para controlar perdas de carga (OTTERSBAACH, 2019).

Heller e Pádua (2010a) destacam a importância da velocidade máxima em tubulações com diâmetros inferiores a 50 mm. Os autores recomendam que essas tubulações mantenham uma velocidade máxima conforme indicado na Tabela 3.1 e devam ser construídas com materiais não corrosivos, como o PVC e o PEAD, por exemplo.

Tabela 3.1 – Limites de velocidade e vazão em tubulações com $D < 50$ mm.

Diâmetro nominal		Velocidade Máxima (m/s)	Vazão máxima (l/s)
Polegadas	mm		
3/4"	25	0,35	0,13
1"	32	0,42	0,25
1 1/4"	40	0,50	0,49
1 1/2"	50	0,60	0,91

Fonte: HELLER e PÁDUA (2010a).

Os reservatórios de distribuição de água, como apresentado por Tsutiya (2006), “são elementos visíveis e de maior destaque no sistema de distribuição de água”, desempenhando um papel de extrema importância no projeto geral. Entre seus objetivos, destacam-se a segurança ao abastecimento, regularizar pressões e regularizar a vazão.

No que diz respeito à regulação das vazões, esse aspecto é de suma importância. Isso ocorre porque o sistema de abastecimento de água é dimensionado com base no momento do dia e hora de maior consumo, relacionado aos coeficientes K_1 e K_2 . E a vazão de captação é calculada considerando apenas o dia de maior consumo (K_1). Portanto, quando a demanda das residências na comunidade está em baixa, é necessário contar com o armazenamento do excedente de água, para que o reservatório consiga auxiliar no fornecimento de água para a rede em momentos de maior demanda.

Conforme a NBR 12216 (ABNT, 1992), as unidades de armazenamento podem ser instaladas a jusante, a montante ou em posições intermediárias em relação à rede de distribuição.

Na área urbana, mais de 95% das residências são atendidas por uma rede geral de abastecimento de água e esgoto, com apenas uma pequena parcela da população recorrendo a outras fontes para suas necessidades relacionadas à saneamento básico. No entanto, na zona rural, cerca de 57% da população obtém água por meio de sistemas de abastecimento, enquanto um pouco mais da metade possui um sistema adequado de coleta de esgoto, de acordo com dados do IBGE (2010). As fontes de captação de água na zona rural incluem águas pluviais armazenadas, poços e nascentes. Os métodos utilizados para o tratamento de esgoto na zona rural tendem a ser mais rudimentares, como valas, despejo em rios ou lagos e fossas.

A falta de saneamento adequado é um grande fator contribuinte para doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado (DRSAIs), que compreende um conjunto de problemas de saúde causados por condições ambientais precárias, infraestrutura inadequada e falta de serviços de saneamento que dificultam a manutenção de uma vida saudável. Em Lavras, no ano de 2021, foram registrados 11 casos de internação e 5 mortes relacionados a essas doenças, de acordo com dados do DATASUS (2021).

4.2 Diagnóstico sobre as condições de saneamento da população

Elaborou-se um questionário (Apêndice B) destinado aos proprietários de residências na comunidade Ponte Alta com o objetivo de levantar dados relacionadas ao número de moradores nas residências, padrões de consumo de água, métodos de captação de água utilizados, gestão de resíduos sólidos e acesso aos serviços saneamento de água e esgoto. As perguntas contidas no formulário têm como finalidade compreender a qualidade atual de vida dos moradores e obter informações relevantes para o planejamento de um sistema de abastecimento de água eficiente para atender às necessidades da comunidade.

A pesquisa em campo foi realizada no mês de setembro de 2022, a fim de obter as respostas das perguntas propostas (Apêndice B). Foram entrevistadas quinze proprietários da comunidade, entretanto, em decorrência da observação in loco, foi possível efetuar uma contagem de vinte e cinco habitações.

4.3 Levantamento populacional

A partir dos quinze proprietários entrevistados, contabilizou-se o total de cinquenta e três moradores residentes. Consequentemente, dada a ausência de dados referentes a onze resi-

dências, procedeu-se a estimativa de quatro indivíduos adicionais por domicílio. Deste modo, denota-se que o escopo da presente proposta visa contemplar as demandas de uma população arredondada de cem habitantes, compreendendo os atuais habitantes dessa localidade.

4.4 Caracterização topográfica da área para identificação de fontes de captação de água

Para estabelecer uma fonte alternativa de captação de água nas proximidades da comunidade, foi empreendido um estudo abrangente da topografia e vegetação da região circunvizinha. A utilização de dados provenientes do Google Earth proporcionou uma visão geral da topografia da área, destacando as elevações mais proeminentes e as áreas de menor altitude, delineando o trajeto que a água percorre até a chegada de uma manancial.

Para a execução deste estudo, foi empregado o software QGIS versão 3.30.1, uma ferramenta amplamente reconhecida por sua relevância na geração de mapas geográficos, essenciais em diversas análises, como a produção de mapas planialtimétricos, delimitações de bacias hidrográficas, demarcação de limites municipais, entre outras aplicações.

Inicialmente, foram obtidos os dados do banco de dados disponibilizados pelo portal TOPODATA (INPE, 2008). Este portal se baseia nos dados coletados pela missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), que consistiu em uma empreitada realizada pelo ônibus espacial Endeavour, equipado com um radar interferométrico capaz de gerar os renomados Modelos Digitais de Elevação (MDE). Esses dados estão armazenados no USGS (United States Geological Survey) e acessíveis globalmente através da internet (GIOVANINI, 2020).

Os dados estão segmentados em microrregiões, sendo a microrregião correspondente à área de estudo identificada como 21_465.

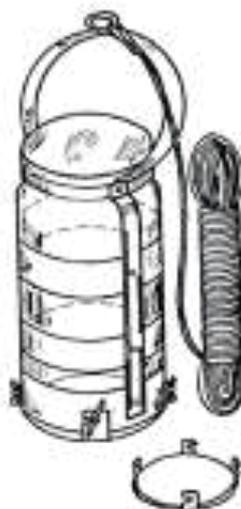
OA ferramenta “r.fill.dir” foi utilizada para filtrar e gerar um mapa que reflete as direções de fluxo, a partir de um mapa contendo elevações. Outra ferramenta utilizada foi a r.watershed, responsável por gerar a delimitação de bacias hidrográficas. Com o auxílio dessas ferramentas, obteve-se a criação de mapas nas proximidades da comunidade representando o fluxo de drenagem e os segmentos de fluxo.

4.5 Coleta das amostras da água consumida

Foi realizada no mês de setembro de 2023, a coleta de duas amostras de água por residência utilizada para consumo, sendo uma dessas amostras de garantia caso a outra se perdesse.

Para realizar a coleta, foi empregado um dispositivo coletor de vidro e uma corda de barbante comum (Figura 4.4), para coletas em poços freáticos. Em outros casos em que a água é proveniente direto de córregos, foi-se retirada da torneira da própria residência. Para a amostragem, seguiu-se rigorosamente seguidas as diretrizes preconizadas pela NBR 9898 (ABNT, 1987).

Figura 4.4 – Estrutura de vidro para amostragem.



Fonte: ABNT (1987).

Além da lavagem conforme orientado pela NBR 9898 (ABNT, 1987), durante a etapa de coleta em poços, procedeu-se a 2 a 3 ciclos de enxague dos recipientes com a própria água da amostra, a fim ambientar o recipiente. No caso da água coletada diretamente das torneiras residenciais, permitiu-se o escoamento contínuo da água pelas tubulações, por um período de 2 a 3 minutos, antes de efetuar a coleta propriamente dita. Esta medida visou mitigar quaisquer influências decorrentes de resíduos remanescentes nas tubulações, assegurando a integridade das amostras.

4.6 Análises da água consumida nas residências

Uma vez coletadas as amostras de água das residências, uma das duas amostras coletadas foi analisada no Laboratório de Qualidade de Água da UFLA, localizado no Prédio Laboratórios da DAM.

Foram realizadas análises de turbidez, pH e cor, para que seja estudado o estado atual das águas consumidas pela comunidade e a fim de prever o tratamento adequado, eficiente e economicamente viável para a região. Todas as análises foram realizadas um dia após a

coleta. Os equipamentos foram manuseados pelo próprio autor do trabalho e acompanhado pela técnica presente no laboratório, e seguindo as orientações do Manual de Análises Laboratoriais (GIACOPPO; FONSECA, 2021).

Na análise de turbidez de água foi empregado o método nefelométrico, fundamentado na comparação entre um feixe de luz incidindo sobre uma amostra padrão, sob condições estabelecidas, e um feixe de luz incidindo sobre a amostra de água em análise, para determinação do valor de Unidades Nefelométrica de Turbidez (NTU). Consequentemente, à medida que a dispersão da luz aumenta, a turbidez da amostra também aumenta. Utilizou-se o turbidímetro (modelo AP2000, marca Policontrol) (Figura 4.5).

Figura 4.5 – Turbidímetro do modelo AP2000, marca Policontrol, utilizado para determinação da turbidez das amostras coletadas na comunidade Ponte Alta.



Fonte: Do autor (2023).

Utilizou-se um peagâmetro modelo 210, marca Luca e modelo 210 (Figura 4.6), que ao imergir o eletrodo na amostra, ele gera milivolts, que o aparelho converte em um valor de pH de 0 a 14.

Figura 4.6 – Equipamento utilizado para determinação do pH das amostras coletadas na comunidade Ponte Alta.



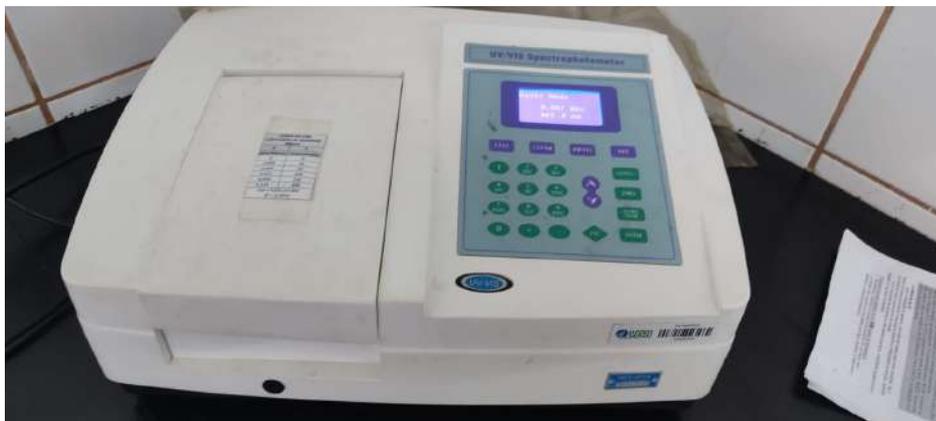
Fonte: Do autor (2023).

Para análise de cor verdadeira da água, primeiramente ajustou-se o pH das amostras para 7,0. Como as amostras apresentavam uma média de pH menor que 7,0, seguiu-se as orientações fornecidas pelo Manual de Análises Laboratoriais (GIACOPPO; FONSECA, 2021), que indicou a necessidade de adição de uma base, hidróxido de sódio (NaOH), para atingir o pH desejado. Após a realização dos ajustes, as medições foram conduzidas utilizando um espectrofotômetro modelo UV-VIS spectrophotometer (Figura 4.7), no comprimento de onda de 465nm.

Para determinar a cor verdadeira, procedeu-se à centrifugação de cada amostra, com o uso de uma centrífuga da marca Centribio e modelo 80-2B (Figura 4.8), a fim de eliminar as partículas sólidas em suspensão. O espectrofotômetro registra a absorbância da amostra, e para obter os valores tanto da cor aparente quanto da cor verdadeira, realizou-se a calibração utilizando a curva padrão expressa pela Equação 4.1.

$$COR = 4101,01 \cdot abs \quad (4.1)$$

Figura 4.7 – Espectrofotômetro utilizado para determinação da cor das amostras coletadas na comunidade Ponte Alta.



Fonte: Do autor (2023).

Figura 4.8 – Centrífuga utilizado nas amostras coletadas na comunidade Ponte Alta.



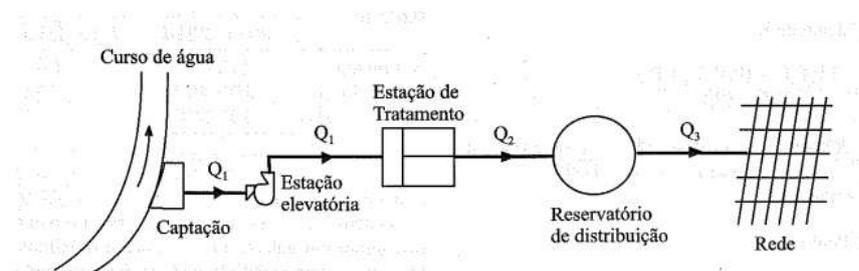
Fonte: Do autor (2023).

4.7 Cálculo das vazões de projeto

No contexto deste estudo, designa-se a vazão da fase de captação e adução como Q_1 , a vazão proveniente da Estação de Tratamento de Água (ETA) como Q_2 e, por último, a vazão destinada à distribuição como Q_3 . As equações fundamentam-se nos parâmetros K_1 , K_2 , na população a ser atendida (P) e por fim no consumo médio per capita (q). Na Figura 4.9 são demonstradas as vazões (Q) que serão obtidas para as diferentes etapas do sistema.

Tsutiya (TSUTIYA, 2006) considera em suas equações a existência de uma vazão específica para indústrias, no entanto, não aborda as perdas de água ao longo da distribuição. Houve-se a adaptação da equação à situação na comunidade, onde não há indústrias, e levando em conta a possibilidade de perdas de água devido a vazamentos nos canos e instalações hidráulicas precários.

Figura 4.9 – Partes constituintes de um sistema de abastecimento de água.



Fonte: TSUTUYA (2006).

A vazão de captação (Q_1) corresponde à vazão que passa pelo conjunto motobomba e pela adutora de recalque. Essa vazão foi determinada por meio da Equação 4.2.

$$Q_1 = \left(\frac{K_1 \cdot P \cdot q}{86400} \right) \cdot C_{eta} \cdot Cd \quad (4.2)$$

Sendo:

Q_1 = Vazão de captação, em L/s;

K_1 = Coeficiente de maior consumo diário;

P = População atendida pelo sistema;

q = Consumo médio per capita, em L/hab·dia;

C_{eta} = Consumo da ETA;

Cd = Perda na distribuição.

Após a ETA, tem-se a vazão até o reservatório (Q_2), porém nessa etapa já se desconsidera as perdas na ETA. Sobrando os termos mostrados na Equação 4.3:

$$Q_2 = \left(\frac{K_1 \cdot P \cdot q}{86400} \right) \cdot Cd \quad (4.3)$$

Sendo:

Q_2 = Vazão da ETA, em L/s;

Por fim, a vazão que sai do reservatório (Q_3) foi determinada pela Equação 4.4.

$$Q_3 = \left(\frac{K_1 \cdot K_2 \cdot P \cdot q}{86400} \right) \cdot Cd \quad (4.4)$$

Sendo:

Q_3 = Vazão de distribuição, em L/s;

K_2 = Coeficiente da hora de maior consumo;

Conforme a NBR 12218 (ABNT, 2017), os valores recomendados para os coeficientes do dia de maior consumo (K_1) e para o coeficiente da hora de maior consumo (K_2) são 1,2 e 1,5, respectivamente. Esses coeficientes têm a finalidade de ajustar as estimativas de vazão para um padrão específico de consumo.

A fim de atender às necessidades diárias de todas as pessoas, considerando as atividades que envolvem o uso de água e entre outras comuns no meio rural, como criação de animais e irrigação, a quantia de consumo médio per capita adotado foi de 200 L/hab·dia. Na comunidade não será considerada a existência de indústrias e além disso, é importante considerar a possibilidade de perda de água durante a distribuição para as casas, muitas vezes causada por vazamentos nas tubulações, sobrepressão na rede e instalações hidráulicas inadequadas ou mal executadas. Neste trabalho, considerou-se a majoração de 3% do volume de água será utilizado para limpeza da estação de tratamento e 20% da água calculada para ser distribuída pode ser perdida devido a esses fatores.

4.8 Dimensionamento do sistema elevatório

4.8.1 Diâmetro de sucção e recalque

O diâmetro interno do tubo de recalque foi selecionado seguindo a equação de Forchheimer sugerida por Justino e Nogueira (2012), que correlaciona o tempo de operação da bomba e a vazão de projeto de bombeamento (Q_1), conforme Equação 4.5. A escolha do diâmetro específico foi orientada pelas opções disponíveis no mercado de tubos de PEAD no Brasil, como ilustrado na Tabela 4.1.

$$Dr = 1,3 \cdot \left(\frac{T}{24}\right)^{\frac{1}{4}} \cdot \sqrt{Q_1} \quad (4.5)$$

Sendo:

Dr = Diâmetro no recalque, em mm;

T = tempo de trabalho do bombeamento, em horas;

O diâmetro de sucção foi determinado com base no próprio diâmetro de recalque, sendo este um diâmetro superior no cálculo de recalque.

Tabela 4.1 – Diâmetros comerciais de tubos PEAD no Brasil.

SDR	Diâmetro (mm)	Espessura (mm)
17	32	2,0
17	40	2,4
17	50	3,0
17	63	3,8
17	75	4,5

Fonte: Belfano. (2023).

4.8.2 Determinação da altura manométrica

A altura manométrica foi determinada pela Equação 4.6.

$$H_m = h_{fr} + h_{fs} + H_r + H_s \quad (4.6)$$

Sendo:

H_m = Perda de carga total, em mca;

h_{fr} = Perda de carga no recalque, em mca;

h_{fs} = Perda de carga na sucção, em mca;

H_r = Altura geométrica no recalque, em mca;

H_s = Altura geométrica na sucção, em mca.

É possível calcular separadamente a perda de carga localizada e distribuída. Porém o método do comprimento equivalente (L_{eq}) fundamenta-se em calcular a perda de carga localizada como se fosse uma extensão adicional da tubulação, assim foi feito o cálculo da perda de carga com o L_{eq} . Para encontrar o L_{eq} , foi necessário multiplicar o número de diâmetros das peças pelo diâmetro real da tubulação, como apresentado na Equação 4.7. O esquema apresentado na Figura na 4.10 ilustra as peças do sistema de sucção e recalque.

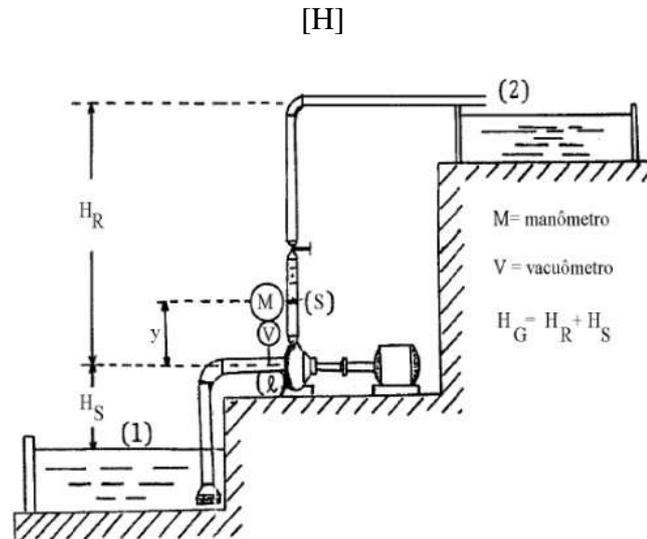
$$L_{eq} = \sum N^{\circ} \text{Diâmetros} \cdot D \quad (4.7)$$

Sendo:

L_{eq} = Comprimento equivalente, em m;

D = Diâmetro da tubulação (de sucção ou de recalque), em m.

Figura 4.10 – Esquema do sistema de sucção e recalque.



Fonte: MACINTYRE (1997).

Ao considerar o comprimento total (L), definido conforme Equação 4.8, resultante da soma do comprimento real da tubulação com o somatório dos comprimentos equivalentes gerados pelas peças inseridas na tubulação, obtém-se:

$$L = L_{real} + L_{eq} \quad (4.8)$$

Sendo:

L = Comprimento total, em m;

L_{real} = Comprimento real da tubulação, em m;

Ao empregar a fórmula de Flamant proposta por Heller e Pádua (2010a) para diâmetros menores que 50 mm, Equação 4.9, torna-se possível calcular a perda de carga tanto no recalque quanto na sucção.

$$H_f = \frac{6,104 \cdot b \cdot Q^{1,75} \cdot L}{D^{4,75}} \quad (4.9)$$

Sendo:

H_f = Perda de carga, em mca;

Q = Vazão, em L/s;

b = Fator de atrito do material;

L = Comprimento total, em m;

D = Diâmetro da tubulação, em m.

4.8.3 Escolha do conjunto motobomba

Para tal, foi utilizado o catálogo de bombas da empresa Thebe (THEBE BOMBAS HIDRÁULICAS, 2023) foi utilizado para essa seleção, com linhas e modelos para líquidos não agressivos quimicamente, em uma temperatura de 20°C. Todas as bombas verificadas atendem às tolerâncias definidas pela norma NBR 16704 (ABNT, 2019), que visa prevenir a ocorrência de cavitação nas bombas em operação.

Para garantir o desempenho satisfatório do projeto, é fundamental identificar o ponto de trabalho da bomba, uma vez que parte da energia potencial fornecida à bomba não é totalmente aproveitada devido ao calor gerado pelo atrito (TAGLIAFERRO, 2011). Isso é feito sobrepondo duas curvas: a curva característica do sistema, fornecida pela variação de diferentes valores de Q de captação obtendo seus Hm referentes (Equação 4.6), e a curva característica da bomba, fornecida pelo fabricante em seu catálogo. O ponto de interseção dessas curvas representa o ponto de trabalho, onde a bomba é capaz de fornecer a carga manométrica necessária para manter uma vazão adequada para a demanda.

4.8.4 Cavitação

A cavitação é um fenômeno crucial a ser evitado, pois ocorre quando a pressão na entrada da sucção da bomba cai abaixo da pressão de vaporização do fluido bombeado. Isso pode resultar em perda de desempenho da bomba e até mesmo causar danos ao seu funcionamento adequado, Coelho (2006) completa “[...] causando avarias em partes dos sistemas, ruído audível, vibrações, perdas de eficiência e operação errática do rotor hidráulico”. Para evitar esses problemas, é essencial a compreensão dos valores de NPSH disponível e requerido (Net Positive Suction Head). O NPSH é uma medida da energia absoluta presente no líquido na entrada da sucção de uma bomba, em relação à pressão atmosférica.

Para a verificação de ocorrência de cavitação todos autores (HELLER; PÁDUA, 2010a; TSUTIYA, 2006; GOMES, 2009) trabalham com a comparação do NPSH disponível com o NPSH requerido. No caso, o NPSH disponível precisa ser maior que o requerido:

$$NPSH_d > NPSH_R$$

Os fabricantes de bombas forneçam o valor do NPSH requerido pela bomba. E para o NPSH disponível para bombas não afogadas realiza-se o cálculo a partir da Equação 4.10 (HELLER; PÁDUA, 2010a):

$$NPSH_d = P_{atm, local} - H_s - h_{fs} - H_v \quad (4.10)$$

Sendo:

$NPSH_d$ = Altura de Sucção Positiva Disponível, em mca;

$P_{atm, local}$ = Pressão atmosférica do local, em mca;

H_s = Altura geométrica na sucção, em mca.

h_{fs} = Perda de carga na sucção, em mca;

H_v = Pressão de vapor da água, em mca.

A pressão atmosférica foi calculada pela Equação 4.11 utilizada por Mendonça (2023), dependendo unicamente da altitude que a bomba será instalada.

$$P_{atm, local} = 10,33 - 0,0012 \cdot altitude \quad (4.11)$$

Sendo:

$P_{atm, local}$ = Pressão atmosférica da instalação da bomba, em mca;

Altitude = Altitude da instalação da bomba, em mca.

A pressão de vapor da água é influenciada diretamente pela sua temperatura. Conforme a temperatura diminui, a pressão de vapor também diminui. Essa relação significa que, quando as moléculas de água possuem uma energia cinética suficientemente alta, isso permite que elas transitem para o estado de vapor. A Tabela 4.2 apresenta os valores de pressão de vapor (H_v) da água para diversas temperaturas ($^{\circ}C$), expressos em metros de coluna d'água (mca).

4.9 Dimensionamento do tratamento da água: filtro lento e desinfecção

O método de tratamento escolhido para a comunidade de Ponte Alta foi a filtração lenta, uma técnica amplamente utilizada em pequenas comunidades com uma taxa de filtração que varia entre 3 a 9 $m^3/m^2 \cdot dia$ (RICHTER, 2017). Uma das principais vantagens desse método é a dispensa do uso de coagulantes químicos, o que reduz a necessidade de limpeza frequente e

Tabela 4.2 – Pressão de vapor da água em função da temperatura.

T (°C)	Pv/ (mca)
15	0,174
20	0,238
25	0,323
30	0,433
40	0,752
50	1,258

Fonte: SOBRINHO e CONTRERA (2013).

simplifica a operação, especialmente em regiões remotas. A única desvantagem é a demanda por uma área relativamente grande para sua implementação, mas isso não se aplica a este projeto, uma vez que a área escolhida para a operação é ampla, conforme demonstrado na etapa de caracterização da área de estudo.

O sistema de filtração lenta adotado para a comunidade será implementado na forma de tanque retangular, a fim de compensar a baixa taxa de filtração. Esses tanques estarão equipados com duas válvulas, permitindo o controle tanto do afluente quanto do efluente, mantendo assim uma taxa de filtração constante.

Richter (2017) define o número de filtros para uma determinada população a abastecer conforme a Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Número de unidade por população atendida.

População a abastecer	Prática inglesa	Azevedo Netto
100 - 200	1 + 1*	2**
2000 - 10000	2 + 1*	3**
10000 - 60000	3 + 1*	3**

*Unidade adicional de reserva **Sem considerar a reserva

Fonte: RICHTER (2017).

Para este projeto, foi-se adotada uma população aproximada de 100 habitantes, o que resultou na necessidade de implementar duas unidades de filtração para atender às demandas da comunidade. A decisão de ter pelo menos duas unidades não está vinculada à população, mas sim à garantia de continuidade no fornecimento de água. Caso uma das unidades precise passar por limpeza ou manutenção, a outra unidade estará em operação, prevenindo a interrupção no abastecimento de água para os moradores.

A área do filtro, Equação 4.12, foi determinada pela divisão da vazão de entrada na estação de tratamento (Q_2) pela taxa de filtração que conforme a NBR 12216 (ABNT, 1992)

não deve ser superior a $6 \text{ m}^3/\text{m}^3\cdot\text{dia}$. O valor máximo foi adotado para impedir a escassez de água para comunidade e diminuindo a área total ocupada pelos filtros. A proporcionalidade de 2:1 entre comprimento e largura foi adotada para determinar as dimensões do tanque retangular,

$$A = \frac{Q_2}{t} \quad (4.12)$$

Sendo:

A = Área do filtro, em m^2 ;

Q_2 = Vazão da ETA, em m^3/dia ;

t = taxa de filtração, em $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dia}$.

A configuração do filtro lento consiste em múltiplas estruturas, iniciando no topo com uma camada de areia fina com granulometria entre 0,25 e 0,35 mm e coeficiente de uniformidade de 2-3. A camada de areia é suportada por estratos de pedregulhos, variando em tamanho de pedregulhos finos a pedregulhos grossos, com diâmetros de 5 a 80 mm, em uma sequência crescente.

A perda de carga proveniente leitos filtrantes do filtro lento, foi-se obtida através da Equação 4.13, para as propriedades de cada camada filtrante.

$$hf = \frac{180 \cdot \mu \cdot (1 - P)^2 \cdot t \cdot Lf}{\gamma \cdot P^3 \cdot \psi \cdot deq^2} \quad (4.13)$$

Sendo:

hf = perda de carga no meio filtrante limpo, em m;

P = porosidade do meio filtrante;

μ = viscosidade dinâmica da água, em $\text{Pa}\cdot\text{s}$

γ = peso específico da água, em N/m^3 ;

Lf = espessura do meio filtrante, em m;

ψ = esfericidade do meio filtrante;

deq = Diâmetro do grão equivalente a uma esfera de mesmo volume; em m;

t = taxa de filtração, em $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dia}$.

A PORTARIA GM/MS Nº 888 (BRASIL, 2021b) estabelece a obrigatoriedade da etapa de desinfecção da água para águas distribuídas de forma coletiva. Portanto, após a etapa de

filtração lenta, deverá ser instalada uma caixa cloradora cuja função é de complementar pela adição de cloro à água que será consumida pelos moradores, a fim de inativar os microrganismos patogênicos. A água deve permanecer em contato com pastilhas de hipoclorito de sódio por um período específico para garantir sua desinfecção. Esse tempo de contato foi determinado com base em uma tabela presente no Anexo 3 da própria legislação (BRASIL, 2021b), levando em consideração a concentração de cloro residual livre, a temperatura e o pH da água.

O dimensionamento do volume do equipamento foi calculado multiplicando a vazão de tratamento pelo tempo de contato estabelecido pela legislação vigente, como mostrado na Equação 4.14. Também serão instaladas válvulas de entrada e saída, que têm a importante função de controlar a vazão, garantindo que o tempo de contato necessário seja cumprido.

$$Vc = Q_2 \cdot Thc \quad (4.14)$$

Sendo:

Vc = Volume da caixa cloradora, em L;

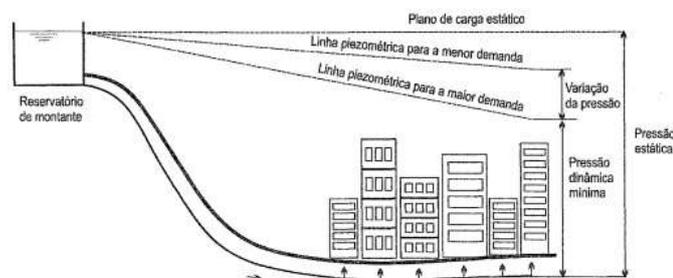
Q_2 = Vazão da ETA, em L/s;

Thc = Tempo de contato com o cloro, em s.

4.10 Traçado e dimensionamento da rede de distribuição de água

Neste estudo, optou-se por um reservatório a montante, cujo nome já sugere a sua localização a montante da rede de distribuição, na mesma área dos filtros, conforme ilustrado na Figura 4.11.

Figura 4.11 – Reservatório a montante.



Fonte: TSUTIYA (2006).

O número de zonas de pressão do projeto foi determinado pela diferença vertical entre a cota mais alta e a mais baixa do projeto, conforme a Equação 4.15. Se essa diferença for

inferior a 40 m, haverá apenas uma zona de pressão. No entanto, se a diferença for superior a 40 m, será necessária uma zona de pressão adicional a cada 40 m de elevação. Para cada zona de pressão, é necessário ter um reservatório correspondente, o que ajuda a aliviar a pressão em pontos com cotas significativamente inferiores ao reservatório.

$$\Delta H_g = Z_M - Z_m \quad (4.15)$$

Sendo:

ΔH_g = Zona de pressão, em m;

Z_M = Maior cota topográfica, em m;

Z_m = Menor cota topográfica, em m;

Para o cálculo da capacidade do reservatório, Tsutiya (TSUTIYA, 2006) propõe o Método do Volume Útil, aplicado caso não há conhecimento sobre a curva de consumo disponível, ou caso a curva de consumo esteja disponível. Uma vez que o histórico de consumo de água na comunidade não é disponível, utilizou-se o primeiro caso. Tsutiya (2006) sugere uma hipótese sobre a curva de consumo, assumindo que ela tem a forma senoidal, conforme a Equação 4.16, e a partir dela, foi obtido o volume necessário conforme a Equação 4.17.

$$Q_3 = (K_2 - 1) \cdot \frac{V}{24} \cdot \text{sen} \frac{\pi}{12} + \frac{V}{2} \quad (4.16)$$

$$C = \int_8^{20} Q_3 \cdot dt - \frac{V}{24} \cdot 12 \quad (4.17)$$

Ao resolver a Equação 4.17, aplicando-a ao período de tempo em que a vazão de consumo é superior à vazão de captação, chegou-se à Equação 4.18.

$$V = 86400 \cdot Q_3 \cdot \left(\frac{K_2 - 1}{\pi} \right) \quad (4.18)$$

Sendo:

V = Volume mínimo do reservatório, em L;

Q_3 = Vazão de distribuição, em L/s;

K_2 = Coeficiente de hora de maior consumo.

Para garantir o abastecimento de água ao reservatório elevado, foi dimensionada uma bomba da mesma forma que a bomba de captação em função dos diâmetros de recalque e sucção, bem como o NPSH para garantir o funcionamento adequado da bomba ao superar a altura manométrica necessária após a caixa cloradora e seu ponto de trabalho, conforme procedimento descritos no item 4.8.

Foi selecionada a configuração de rede ramificada em forma de "espinha de peixe" para a distribuição de água, exemplificada na Figura 3.2. Esse tipo de rede é frequentemente empregada quando não existem conexões diretas entre as ruas ou quando há restrições topográficas, como é o caso da região analisada. Nomeou-se cada nó da rede com letras e com a prioridade de que cada residência tenha a rede passando o mais próximo possível.

O fluxo do escoamento será completamente conduzido via condutos forçados por gravidade, e eliminando a necessidade de aplicar energia mecânica ao sistema, ou seja, sem a utilização de bombas. Para determinar a velocidade do escoamento e a pressão disponível em cada trecho, foram calculados diversos variáveis do dimensionamento do sistema, A obtenção da vazão específica foi realizada com o emprego da Equação 4.19, que está relacionada à vazão de distribuição (Q_3), dividida pelo comprimento total da tubulação de distribuição.

$$qm = \frac{Q_3}{L} \quad (4.19)$$

Sendo:

qm = Vazão específica de distribuição em marcha, em L/s·m

Q_3 = Vazão de distribuição, em L/s;

L = Comprimento da rede de distribuição com consumo de água, m.

Posteriormente, calculou-se a vazão em marcha de cada trecho (nó a nó) do sistema, multiplicando-se a da vazão específica de distribuição em marcha pelo comprimento total da tubulação no trecho ($qm \cdot L$)

Com isso, pôde-se calcular a vazão a jusante e a montante de cada trecho. Para a vazão de jusante foi definido uma vazão igual 0 L/s rédeas extremidades de jusante terminais (pontas secas). Para os outros trechos, calculou-se conforme Equação 4.20:

$$Q_j = qm \cdot \sum L_{\text{trechos jusantes}} \quad (4.20)$$

Sendo:

Q_j = Vazão jusante, em L/s

$L_{\text{trechos jusantes}}$ = Comprimento dos trechos jusantes, em m;

A vazão no trecho a montante é influenciada tanto pela vazão a jusante quanto pela contribuição do próprio trecho, calculado conforme Equação 4.21:

$$Q_m = Q_j + q_m \cdot L \quad (4.21)$$

Sendo:

Q_m = Vazão montante, em L/s;

L = Comprimento do trecho, em m.

A vazão fictícia desempenha um papel crucial, por exemplo, na seleção adequada do diâmetro dos tubos de PEAD considerando os diâmetros comerciais disponíveis no Brasil (Tabela 4.1) em conjunto com o Ábaco de Fair-Whipple-Hsiao (Apêndice A). No âmbito do dimensionamento, Heller e Pádua (2010a) indicam a Equação 4.22 para trechos sem pontas secas, e nos trechos com ponta secas utiliza-se Equação 4.23.

$$Q_f = \frac{(Q_m + Q_j)}{2} \quad (4.22)$$

$$Q_f = 0,58 \cdot Q_m \quad (4.23)$$

Sendo:

Q_f = Vazão fictícia, em L/s;

Com a vazão fictícia e diâmetro definido, a velocidade de escoamento da água em cada trecho foi obtida pela Equação 4.24. A importância de conhecer a velocidade é para que não seja inferior a 0,40 m/s (ABNT, 2017), valores inferiores resultam em problemas, como a corrosão dos materiais e a deposição de partículas em suspensão na água conforme Heller e Pádua (2010b).

$$V = \frac{4Q_f}{\pi D^2} \quad (4.24)$$

Sendo:

V = Velocidade da água, em m/s;

D = Diâmetro da tubulação, em m.

Seguido da coleta das cotas de cada nó, obtidas a partir das curvas de nível obtidas, foi possível determinar as cotas piezométricas dos segmentos. A altura total do nível de água no reservatório, ou a cota piezométrica do reservatório (X), foi calculada conforme a Equação 4.25, faz a referência a pressão mínima de 10 mca, a cota e a perda de carga acumulada até o ponto crítico (ponto d'), sendo ele o nó com maior altitude. O cálculo de perda de carga foi realizado conforme Equação 4.9.

$$X = P_{\text{mín}} + Z_{d'} + \Delta h_{\text{até } d'} \quad (4.25)$$

Sendo:

X = Cota piezométrica do reservatório, em mca;

P_{min} = Pressão mínima de rede (10 mca), em mca;

$Z_{d'}$ = Cota do ponto crítico, em mca;

$\Delta h_{\text{até } d'}$ = Perda de carga acumulada até o ponto crítico, em mca.

A cota piezométrica dos demais trechos é definida como o valor que expressa a perda acumulada de energia da água ao longo do comprimento até o respectivo ponto. Para isso, subtrai-se da cota piezométrica do reservatório (X , mca) a perda de carga acumulada (Δh) conforme Equação 4.26). Essa operação oferece uma indicação de quantos metros de coluna de água o sistema fornece ao nó em consideração.

$$C_{p_{\text{Jusante}}} = X - \sum \Delta h_{\text{até o nó}} \quad (4.26)$$

Sendo:

$C_{p_{\text{Jusante}}}$ = Cota piezométrica jusante, em mca;

X = Cota piezométrica do reservatório, em mca;

$\Delta h_{\text{até o nó}}$ = Perda de carga até o nó, em mca;

Por fim, procede-se o cálculo da pressão disponível nos segmentos, prognosticando a possibilidade de pressão excessivamente baixa, que inviabilizaria o fornecimento de água, ou pressão excessivamente elevada, que acarretaria problemas nas tubulações e nos dispositivos domiciliares. Esse cálculo é efetuado subtraindo-se a cota piezométrica da cota do terreno, tanto a montante quanto a jusante, conforme exemplificado abaixo pela Equação 4.27:

$$\textit{Pressão disponível} = CP - Z \quad (4.27)$$

Sendo:

CP = Cota piezométrica, em mca;

Z = Cota do terreno, em mca.

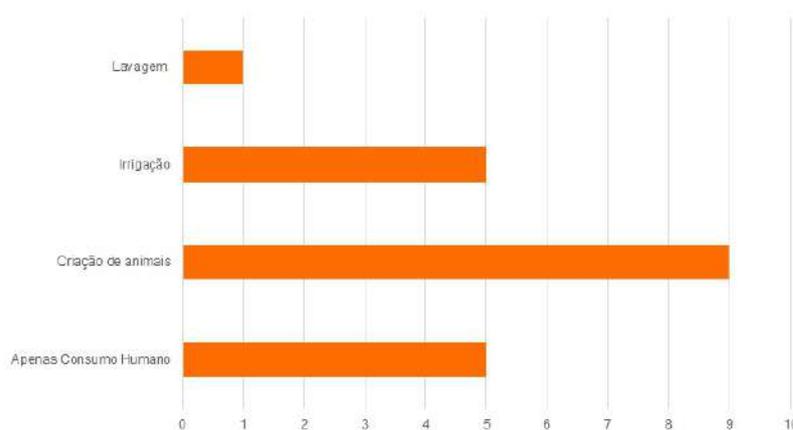
Em casos que o limite mínimo de pressão disponível não seja atendida, é sugerida a modificação dos diâmetros dos tubos, modificação do nível de água no reservatório ou a instalação de válvula redutora de pressão nos nós que excederam. E nos casos em que a velocidade de escoamento (m/s) não satisfaça o mínimo, tem como solução a diminuição dos diâmetros ou a instalação de válvulas de descarga.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Diagnóstico sobre o abastecimento de água

O objetivo do diagnóstico sobre o abastecimento e esgoto sanitário foi conhecer as condições atuais e a percepção dos moradores em relação ao consumo de água. Todas as habitações empregam água para consumo humano. Não obstante, algumas delas a utilizam para a dessecação animal e irrigação, conforme Figura 5.1. Mais da metade dos entrevistados mantém algum tipo de animal, ainda que poucos, tais como galinhas, cães, gatos, equinos e bovinos, o que denota um consumo reduzido para tais propósitos. Similarmente, o mesmo padrão se observa quanto à irrigação e atividades de lavagem das residências. Embora o consumo hídricos associados a essas atividades sejam baixos individualmente, seu consumo combinado representa um valor relevante e foi considerado no consumo médio per capita (q).

Figura 5.1 – Utilização da água na comunidade Ponte Alta em Lavras - MG.



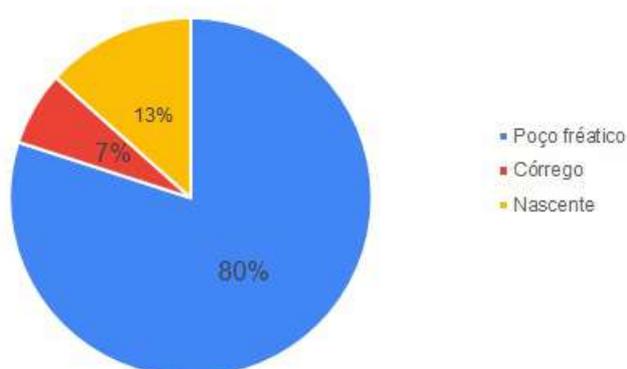
Fonte: Do autor (2023).

Conforme Figura 5.2, do total das famílias avaliadas estabeleceram a sua própria infraestrutura de captação de água, valendo-se de poços freáticos. A obtenção desse recurso hídrico implicou na construção autônoma dessas estruturas, demandando investimentos de recursos financeiros pessoais, uma vez que a localidade não dispõe de um sistema centralizado de abastecimento de água. A outra parcela, representando 20% das famílias, se deslocam até cursos d'água ou nascentes adjacentes à comunidade para coletar água através de baldes, dada a limitação de recursos financeiros para aquisição de outras modalidades de captação.

A Figura 5.3 ilustra as variações na profundidade dos poços freáticos necessária para a obtenção da água desejada, apresentando um nível máximo e mínimo de 15 m e 3 m, respectivamente, e uma média aproximada de 10 m para todas as residências que adotaram esse sistema.

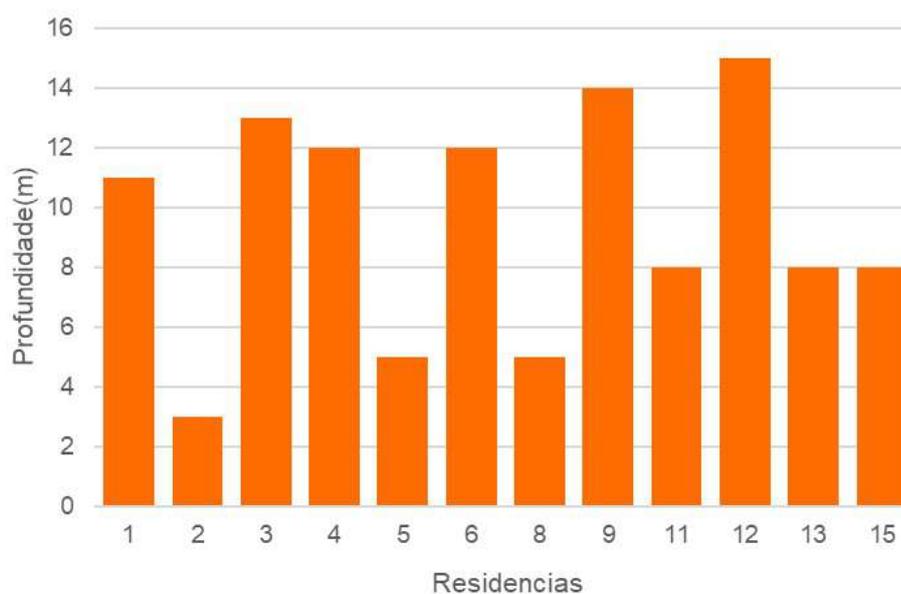
Estes dados de profundidades mostram ser de relevância significativa, especialmente considerando que numerosas famílias residentes em áreas rurais enfrentam restrições financeiras que as impedem de absorver despesas que extrapolem seus orçamentos. Estudos como de Capp et al. (2012) comprovam que a qualidade da água está também relacionada a profundidade de poços freáticos, por reduzir a possibilidade de contaminação de agentes externos presentes no solo. Portanto, as fontes de água das residências 2, 5 e 8 maiores chances de contaminação por serem as com menores profundidades.

Figura 5.2 – Fonte de captação de água pelos moradores da comunidade Ponte Alta em Lavras - MG.



Fonte: Do autor (2023).

Figura 5.3 – Profundidade dos poços freáticos na comunidade de Ponte Alta em Lavras - MG.

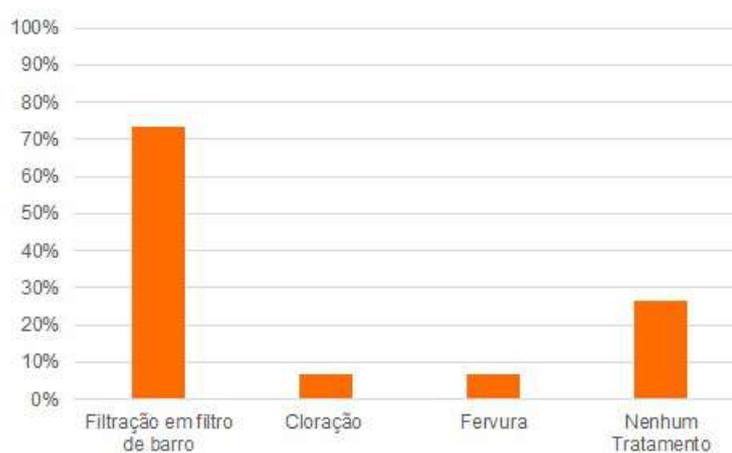


Fonte: Do autor (2023).

O consumo de água sem tratamento representa um potencial perigo substancial para aqueles que a consomem, devido a presença de microrganismos que comprometem a saúde.

Entre as doenças resultantes dessa exposição destacam-se a diarreia, febre tifoide, hepatite A, leptospirose, cólera e infecções intestinais (SPERLING, 1996). É crucial ressaltar um outro aspecto relevante, que muitas famílias optam por filtrar a água exclusivamente por meio de filtros de barro, que quando não usados corretamente podem ser insuficientes para eliminar causadores de contaminação hídrica. Cerca de 25% das casas não aplicam nenhum método para tratamento de água antes do consumo da água, consumindo-a da forma como é retirada do meio ambiente. Adicionalmente, é importante mencionar que das residências entrevistadas, apenas uma adota medidas tratamento de água, como a adição de cloro e a fervura da água antes do consumo (Figura 5.4). Esta prática é considerada ideal, especialmente em cenários onde um sistema básico de tratamento não está disponível.

Figura 5.4 – Tratamento aplicado à água para consumo dos moradores da comunidade Ponte alta em Lavras - MG.

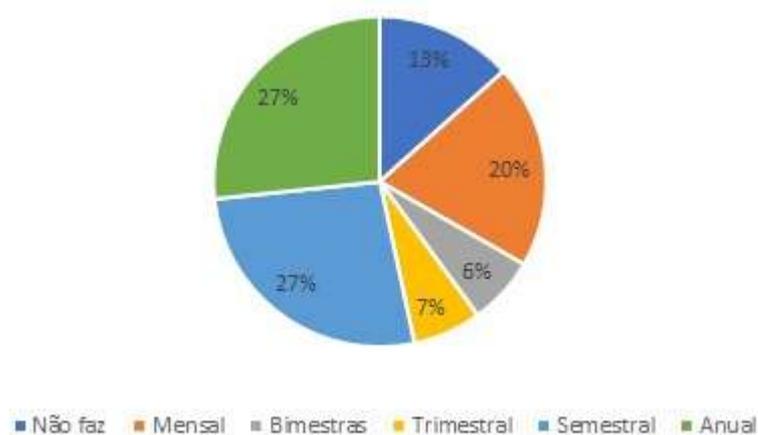


Fonte: Do autor (2023).

As impurezas presentes nos reservatórios de água provocam alterações significativas nas características como a coloração, o sabor e podem conferir um odor desagradável à água. Para manter a qualidade ideal, é recomendável realizar uma limpeza semestralmente dos reservatórios prediais. No entanto, em situações em que a qualidade da água possa estar comprometida devido a fatores como contaminação, é aconselhável aumentar a frequência da limpeza (SÃO PAULO, 2021). No total 40% das residências estão irregulares com a higiene do reservatório. A partir da Figura 5.5, observa-se que 7% das residências da comunidade não realizam a limpeza num período recomendado, e 27% das casas não fazem nenhum tipo de limpeza periódica na caixa de água predial.

A ausência de sistemas de saneamento básico na comunidade leva os moradores a buscarem alternativas muitas vezes rudimentares. A pesquisa evidenciou que a opção predominante

Figura 5.5 – Frequência da limpeza dos reservatórios prediais da comunidade Ponte alta em Lavras - MG.



Fonte: Do autor (2023).

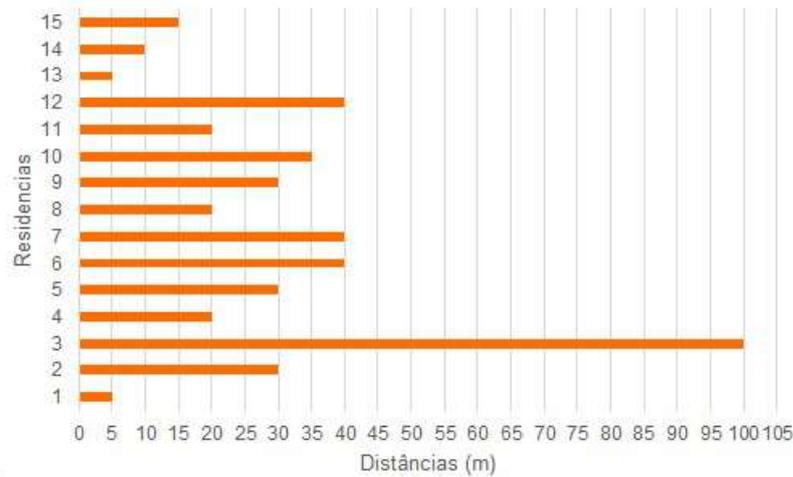
para o descarte do esgoto domiciliar é a fossa negra. No entanto, a utilização de fossas negras não é recomendável, uma vez que essa prática acarreta problemas ambientais significativos, comprometendo a saúde de seus habitantes e poluição ambiental da região.

A fossa negra, que consiste em um método de descarte de efluentes, apresenta desafios ambientais. Isso ocorre devido ao fato de que os efluentes são lançados diretamente no solo, sem a implementação de qualquer forma de tratamento ou proteção do solo e lençóis freáticos. Esse processo resulta em uma decomposição anaeróbia dos resíduos (WALLER, 1994). A preocupação central pode ser notada na Figura 5.6, que reside no elevado risco de contaminação das fontes de água circundantes que esse sistema pode possivelmente ocasionar, como cursos d'água e o lençol freático, por meio das substâncias provenientes das fossas.

A NBR 7229 (ABNT, 1993) estabelece diretrizes para a instalação de sistemas sépticos ou fossas negras, recomendando uma distância mínima de 15 m em relação aos pontos de captação de água. A análise revela que quatro das famílias possuem suas fossas negras a uma distância inferior ao que é preconizado pela norma, o que gera um grande risco de contaminação. De forma mais crítica, duas residências apresentam apenas 5 m de distanciamento entre a fossa negra e a fonte de captação de água.

A comunidade em questão demonstra uma abordagem responsável em relação aos resíduos sólidos, adotando a prática de transportá-los até bairro João da Cruz Botrel, cerca de 1,3 km de distância da casa mais próxima, onde a prefeitura dispõe de um sistema de coleta apropriado para atender às comunidades circunvizinhas. Os dados são apresentados pela Figura 5.7. Em determinados cenários, os moradores optam pela queima como método de descarte

Figura 5.6 – Distâncias da fossa negra à captação de água das residências na comunidade Ponte Alta em Lavras - MG.



Fonte: Do autor (2023).

dos resíduos. A relevância dessas constatações reside na capacidade de minimizar a probabilidade de contaminação de fontes hídricas próximas, conferindo um papel preventivo crucial a esse conjunto de informações. No entanto, a queima sem controle de resíduos sólidos urbanos pode poluir a atmosfera, com a emissão de substâncias poluentes no ar decorrentes dos eventos de queimadas, principalmente em épocas mais secas do ano, não sendo uma prática ambientalmente recomendada.

Figura 5.7 – Destinação dos resíduos sólidos das residências na comunidade Ponte Alta em Lavras - MG.



Fonte: Do autor (2023).

5.2 Qualidade da água

A Tabela 5.1 apresenta os resultados das análises laboratoriais de turbidez, pH e cor das amostras coletadas ao longo no estudo. Em seguida, são apresentadas as Figuras 5.8, 5.9 e 5.10, nas quais é possível visualizar as amostras que estão de acordo com o padrão de potabilidade para consumo segundo a PORTARIA GM/MS Nº 888 (BRASIL, 2021b).

Tabela 5.1 – Resultados das características físicas e químicas das águas coletadas em poços freáticos, córregos e nascente na comunidade Ponte Alta.

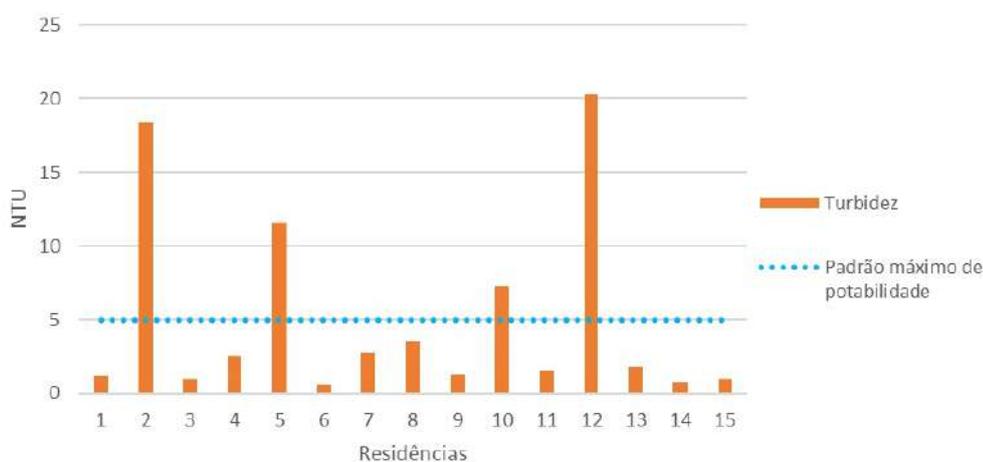
Variável	Residências															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Turbidez (NTU)	1,22	18,4	0,95	2,51	11,6	0,63	2,74	3,49	1,26	7,28	1,57	20,3	1,78	0,77	0,96	
pH	5,68	6,02	5,06	5,68	5,5	6,53	5,55	5,59	5,1	5,7	5,95	5,41	5,3	6,6	7,32	
Cor (uH)	Aparente	0,00	45,11	16,40	12,30	82,02	12,30	16,40	20,51	28,71	61,52	4,10	336,29	16,40	20,51	12,30
	Verdadeira	32,81	41,01	12,30	0,00	32,81	0,00	4,10	8,20	8,20	53,31	4,10	151,74	8,20	12,30	4,10
Fonte de Captação	PF ¹	PF	PF	PF	PF	PF	Córrego	PF	PF	Córrego	PF	PF	PF	Nascente	PF	

¹ Poço freático.

Fonte: Do autor (2023).

A proposta deste trabalho é o tratamento por meio do filtro lento, que possibilita a completa remoção da turbidez presente na água. Das 15 amostras analisadas, constatou-se que 26% delas apresentam valores de turbidez superiores ao padrão organoléptico da legislação destinada ao consumo humano. Tais resultados sugerem potencial ameaça à saúde das famílias associadas a essas amostras, devido a discrepância dos valores encontrados com valores limites de 1 e 5 NTU.

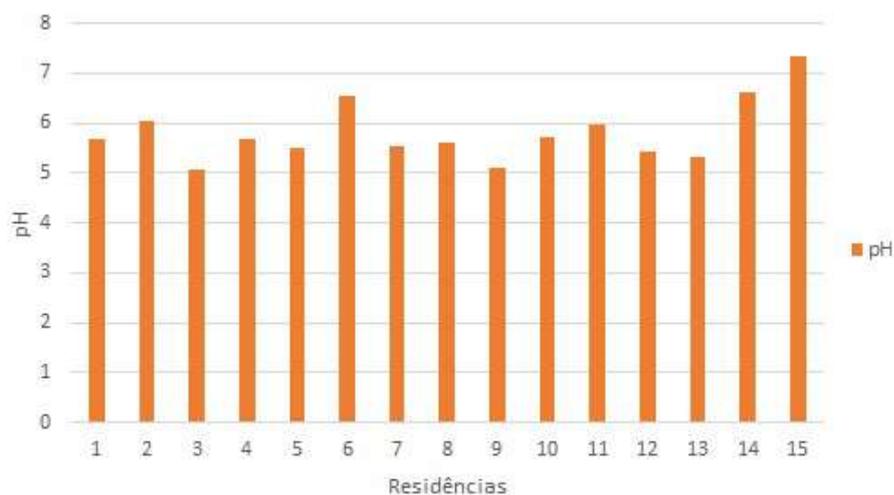
Figura 5.8 – Turbidez das amostras de água da comunidade de Ponte Alta.



Fonte: Do autor (2023).

Para o consumo humano, o pH ideal da água situa-se no intervalo de 6,0 a 9,0, de acordo com as diretrizes estabelecidas de desinfecção da PORTARIA GM/MS Nº 888 (BRASIL, 2021b) para concentração de cloro residual.

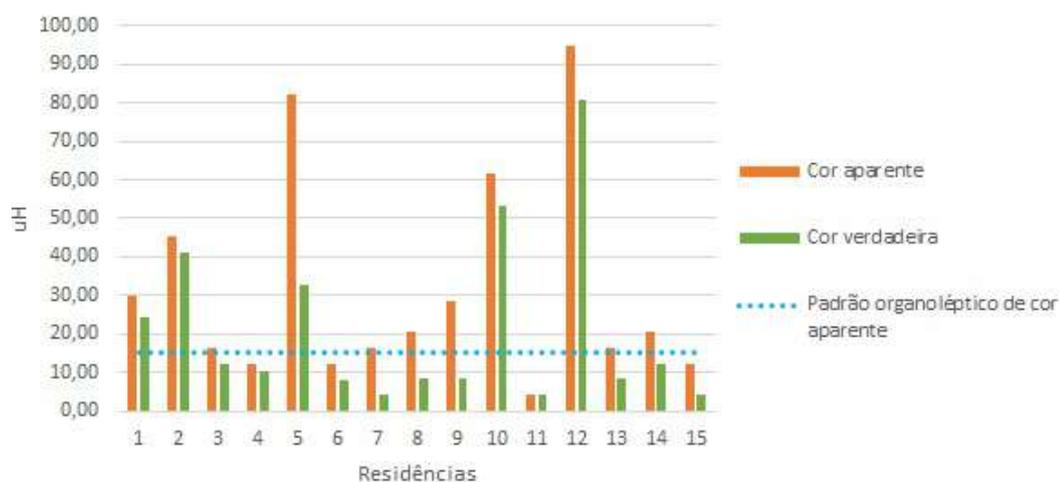
Figura 5.9 – pH das amostras de água da comunidade Ponte Alta.



Fonte: Do autor (2023).

Os resultados de cor podem ser vistos na Figura 5.10 foram obtidos através da Equação 4.1.

Figura 5.10 – Cor das amostras de água da comunidade Ponte Alta.



Fonte: Do autor (2023).

Outra preocupação digna de nota reside na coloração e turbidez da água. É importante mencionar que águas com elevados níveis de coloração e baixos índices de turbidez apresentam complexidades no tratamento. Em tais situações, existe a possibilidade de os coagulantes não

obterem uma formulação sólida substancial. Isso pode dificultar a eficácia do tratamento da água, prejudicando a remoção das impurezas presentes.

Sobre o padrão organolético, ele é importante para prever a presença de substâncias capazes de alterar o gosto, sabor e odor da água, levando à rejeição por parte da população. Nessa pesquisa, identifica-se um total de 12 residências que a água consumida não atende ao limite máximo de cor aparente e turbidez do padrão organolético.

5.3 Caracterização topográfica da área de estudo

As Figuras 5.11 e 5.12 ilustram os mapas gerados utilizando o QGIS. Esses mapas foram criados com intervalos de cota topográfica de 5 m, variando da maior e menor altitude de 960 e 890 m, respectivamente, abrangendo a microbacia na qual a comunidade Ponte Alta está localizada. A amplitude geométrica vertical ao longo dessa área é 70 m.

Figura 5.11 – Mapa com terreno e curvas topográficas da Comunidade Ponte Alta em Lavras-MG.



Fonte: Do autor (2023).

Na região estão inseridas três nascentes próximas, apresentadas na Figura 5.12. A nascente A encontra-se nas proximidades da residência 7, sendo a fonte da qual os próprios moradores consomem para uso. De acordo com as análises da água, as variáveis de turbidez, pH e cor dessa água atendem aos requisitos para consumo pela PORTARIA GM/MS Nº 888 (BRASIL,

Figura 5.12 – Mapa com terreno e rede de drenagem da Comunidade Ponte Alta em Lavras-MG.



Fonte: Do autor (2023).

2021b), indicando ser boa fonte para a captação de água na região. A nascente B, localizada nos fundos da residência 10, apresentou características altamente inadequadas para o consumo humano, entretanto os próprios moradores consomem dessa fonte. Quanto à nascente C, sua localização não é favorável para a captação de água, uma vez haveria a necessidade de bombeá-la em um trajeto não estratégico até à Estação de Tratamento de Água (ETA) e em seguida para distribuição.

Uma característica comum entre essas nascentes é a sua localização na mesma bacia hidrográfica da comunidade, o que configura uma vantagem significativa para a captação e a distribuição de água, apesar das diferenças em relação à qualidade e consequentemente de suas condições de utilização.

5.4 Estimativa das vazões de projeto

Para desenvolver o sistema de abastecimento na região da Ponte Alta, as vazões envolvidas em cada etapa do sistema (Q_1 , Q_2 e Q_3) foram calculadas, desde a captação até a distribuição. Cada uma dessas vazões depende de variáveis específicas e compartilhadas, tais como população e consumo médio per capita, entre outras. A Tabela 5.2 apresenta os parâmetros adotados e as vazões de projeto.

Tabela 5.2 – Parâmetros e vazões de projeto.

Parâmetros		
População	K_1	K_2
100	1,2	1,5
q (L/hab·dia)	Limpeza	Perdas
200	3%	20%
Vazões		
Q_1 (L/s)	Q_2 (L/s)	Q_3 (L/s)
0,343	0,333	0,500

Fonte: Do autor (2023).

Nota-se que $Q_{7,10}$ (19,5 L/s) da microbacia da comunidade é capaz de atender a demanda de Q_1 (0,343 L/s).

5.5 Captação

A captação de água na nascente A foi decidida em função da localização da estação de tratamento de água simplificada (ETA) e reservatório na cota de 950 m, e da qualidade da água nesta nascente, como discutido anteriormente. Essa localização favorece a inclinação natural do terreno, direcionando o fluxo da água por gravidade após o reservatório, em vez de seguir paralelamente às curvas de nível. As localizações da captação e da ETA (reservatório) estão indicadas na Figura 5.13. Além disso, de acordo com a vazão específica apresentada para a sub-bacia Vertentes do Rio Grande e a área total da microbacia da comunidade, verifica-se vazão disponível superior à vazão necessária para a captação (item 4.01).

A captação será realizada por meio de um sistema de motobomba com o método de sucção na fonte de água superficial e posterior recalque a partir do eixo da bomba. Esse processo eleva a energia da água até a ETA. A diferença de cota entre os dois pontos, da fonte ao local da ETA, é aproximadamente 50 m.

Com um tempo de funcionamento da bomba de 24 horas e uma vazão de captação de 0,343 L/s, obteve-se o diâmetro interno do recalque da bomba conforme Equação 4.5 (Tabela 5.3). Arredondando-o para os diâmetros disponíveis no mercado. Além disso, também são apresentados o diâmetro interno e externo de sucção, que é um número acima do diâmetro de recalque.

Figura 5.13 – Localização da captação e da ETA (reservatório).



Fonte: Do autor (2023).

Tabela 5.3 – Diâmetros das tubulações de sucção e recalque.

		Dr(mm)	Ds(mm)
Teórico	Interno	24,1	-
	Externo	27,8	35,2
Comercial	Interno	32,0	40,0
	Externo	35,2	43,8

Fonte: Do autor (2023).

O número de diâmetro das peças a ser considerado é aquele correspondente à seção da tubulação que está sendo calculada, seja no trecho de recalque ou sucção. A Tabela 5.4 ilustra todas as peças que serão empregadas e o cálculos de Leq da sucção e do recalque.

Tabela 5.4 – Peças utilizadas no sistema de bombeamento e seus nº de diâmetros.

Sucção	Nº de diâmetros	Recalque	Nº de diâmetros
Válvula de pé e crivo	250	Válvula de retenção	100
Curva 90°	17,5	Válvula gaveta aberta	8
Redução	171,5	Curva 90°	17,5
Saída de canalização	35	Curva 90°	17,5
		Saída de canalização	35
Les(m)	16,68	Ler(m)	4,95

Fonte: Do autor (2023).

Por meio da equação Flamant, calculou-se a perda de carga para as tubulações de PEAD, com o coeficiente de atrito (b) de 0,000135. Ambos os diâmetros de sucção quanto o de recalque resultaram em valores adequados para aplicação da equação. Desta forma, a partir da Equação 4.9, a perda de carga foi calculada para todo o sistema junto com a altura manométrica de bombeamento, incluindo a diferença de nível entre a fonte de água (908 m) e o eixo da bomba (911 m), e entre o eixo da bomba e a cota da ETA (950 m). Em outras palavras, essa abordagem considera a diferença geométrica entre os pontos do sistema. Na Tabela 5.5 estão descritos os valores obtidos de perda de carga e alturas manométricas de sucção e de recalque.

Tabela 5.5 – Perda de carga e altura manométrica.

Sucção			Recalque		
Ls(m)	hfs (mca)	Hfs (mca)	Lr(m)	hfr (mca)	Hfr (mca)
24,68	0,08	3,00	521,73	9,14	38,00
Hm (mca)			50,22		

Fonte: Do autor (2023).

5.6 Definição da bomba

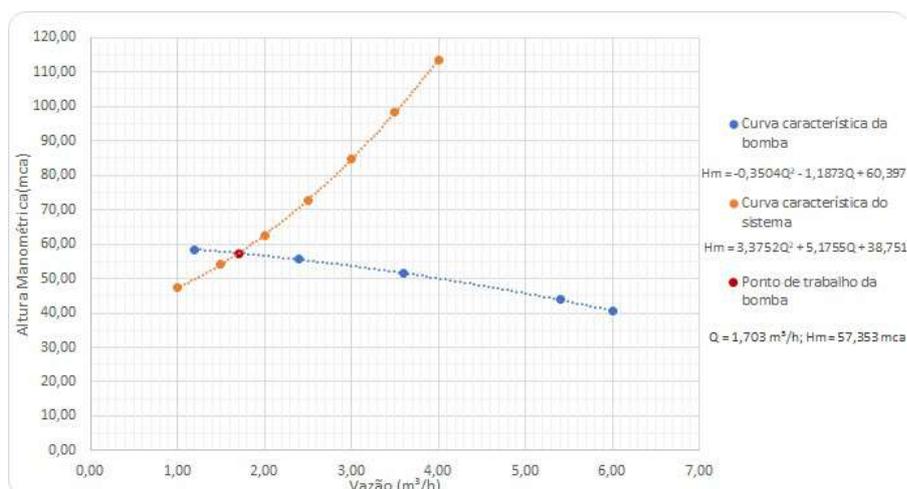
Considerando uma altura manométrica de 50,22 mca e uma vazão de 1,234 m³/h (0,343 L/s), foi possível selecionar a bomba apropriada a partir do catálogo de bombas da empresa Thebe (THEBE BOMBAS HIDRÁULICAS, 2023). A bomba adotada foi a 2CDX 70 do modelo 200, com uma rotação de 3500 rpm, monobloco e com motor monofásico ou trifásico. Ela possui entrada e saída rosqueadas, a de sucção de 1.1/2” e de recalque de 1”, ambas com rosca BSP.

Foi feita a análise do ponto de trabalho da bomba usando a Figura 5.14, que apresenta a curva característica da instalação e a curva característica da bomba. O ponto de interseção entre essas curvas determinará o ponto ótimo da bomba.

No ponto de interseção obteve a vazão de 1,703 m³/h (0,473 L/s) e altura manométrica de 57,353 mca, retornou valores próximos ao ponto de trabalho calculado.

O rendimento e o rotor da bomba são fornecidos pelo próprio catálogo do fabricante da bomba através do ponto de trabalho da bomba. O rendimento de uma bomba está relacionado com a eficiência na conversão da energia elétrica consumida em trabalho realizado pela bomba.

Figura 5.14 – Curva característica da bomba *versus* Curva característica da instalação.



Fonte: Do autor (2023).

Todos os dados obtidos estão presentes na Tabela 5.6, incluindo os obtidos após o ponto de trabalho da bomba (Figura 5.15). Em seguida verificou-se a ocorrência de cavitação no sistema, através do NPSH requerido e com NPSH disponível.

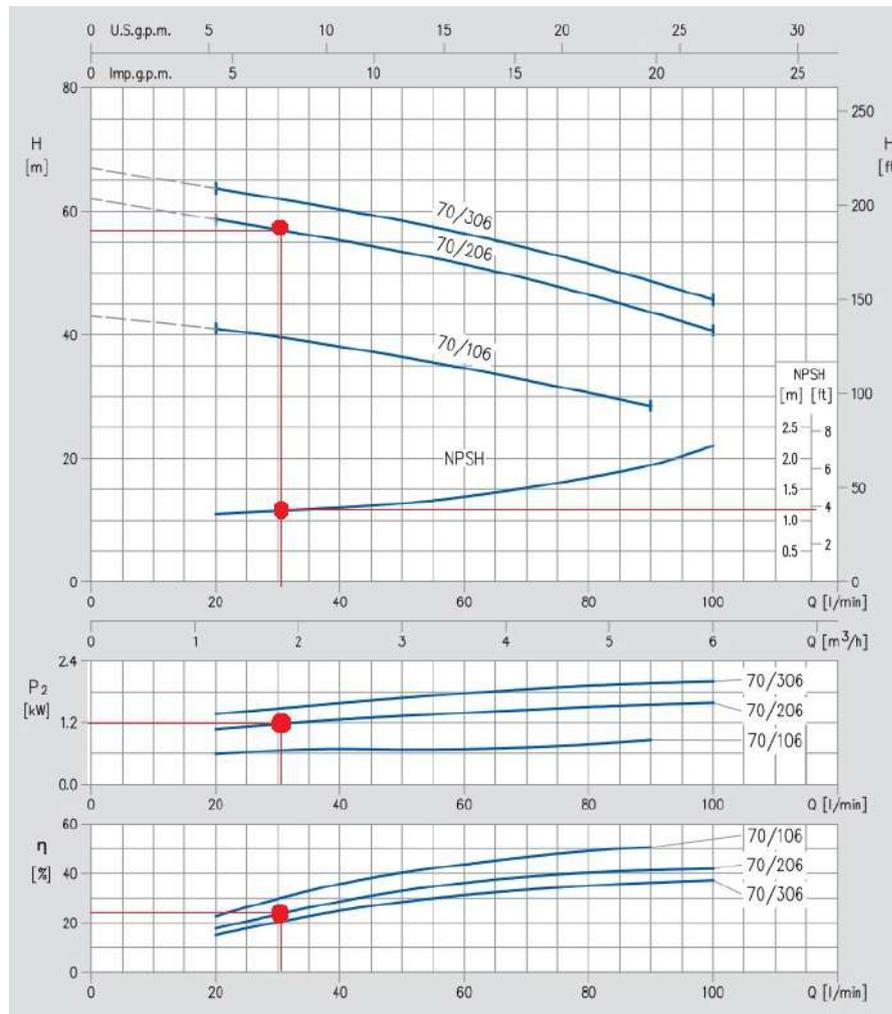
Tabela 5.6 – Resultados dos cálculos da bomba utilizada na captação de água da comunidade de Ponte Alta.

Parâmetro	Valor
Hm	57,35 mca
Vazão	0,47 L/s
Rotor	70/206 Ømm
Rendimento	23%
Potência	1,63 CV
NPSHr	1,2 mca

Fonte: Do autor (2023).

Considerou-se uma temperatura ambiente de 20°C que é apropriada devido à altitude elevada da região e à presença de uma vasta área verde ao redor da captação. Com essa temperatura utilizando a Tabela 4.2, e a pressão de vapor da água obtida foi 0,235 mca. A Equação 4.11 para a altitude da bomba de 912 m; retornou o resultado de 9,23 mca de pressão atmosférica. Obteve-se então o NPSH disponível de 5,92 mca, e em seguida foi certificado que não ocorrerá cavitação no sistema, já que o NPSH disponível (5,92 mca) foi superior ao NPSH requerido (1,2 mca). Portanto, com essa condição atendida, a bomba não terá problema de cavitação e não terá o seu funcionamento comprometido por esse tipo de problema.

Figura 5.15 – Curvas da bomba 2CDX 70 no ponto de trabalho da bomba.



Fonte: Adaptado de Thebe Bombas (2023).

5.7 Dimensionamento e operação do filtro lento

O filtro terá uma caixa de entrada, com a função de receber a água bombeada e através de grades controlar o fluxo para as camadas de filtração de um filtro ou do outro. A seção de areia terá uma profundidade de 1 metro. A profundidade total da camada de pedregulho será 30 cm, subdividida em 5 cm de pedregulhos finos, 5 cm de pedregulhos médios e 20 cm de pedregulhos grossos. Na parte inferior do filtro, serão implantados drenos, incluindo um dreno principal localizado no eixo longitudinal do filtro, com a função de encaminhar a água captada até a caixa de saída, e os drenos secundários igualmente espaçados nas laterais, alimentando o dreno principal. Todos os drenos terão a capacidade de drenagem a uma velocidade de 0,30 m/s.

A Tabela 5.7 mostra o resultado da perda de carga em cada leito filtrante do filtro lento, considerando μ de 0,001 Pa · s e γ de 9810 N/m³. Foi obtido a soma de hf de 1,674 mca, esse resultado é proveniente do hf da camada de areia, enquanto as camadas de seixos foram valores insignificantes.

Tabela 5.7 – Perda de carga nos leitos filtrantes do filtro lento.

Leito filtrante	P	Lf (m)	ψ	deq (m)	hf(mca)
Areia	0,36	1	0,75	0,0001	1,6739
Fino	0,45	0,05	0,70	0,0095	$5 \cdot 10^{-6}$
Pedregulho Médio	0,45	0,05	0,70	0,0236	$8 \cdot 10^{-7}$
Grosso	0,45	0,2	0,70	0,0378	$1 \cdot 10^{-6}$

Fonte: Do autor (2023).

De posse da Q_2 (0,333 L/s) e da taxa de filtração máxima permitida pela norma (6 m³/m² · dia), as dimensões dos filtros lentos foram obtidas conforme Tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Dimensionamento do filtro lento.

Q_2 (m ³ /dia)	t (m ³ /m ² ·dia)	A (m ²)	a (m)	b(m)
28,80	6,00	4,80	3,10	1,55

Fonte: Do autor (2023).

O detalhamento do filtro lento pode ser visualizado no Apêndice D, com suas dimensões, registros, caixa de entrada e saída da água, canalizações e camadas filtrantes. Para que a água tratada não seja contaminada depois de tratada, será prevista uma tampa sanitária de alumínio contra intempéries na caixa de saída.

A limpeza do filtro deve ser realizada após esvaziar todo o volume de água, permitindo que o lodo fique exposto ao sol. Esse procedimento faz com que o lodo encolha e forme uma placa que pode ser facilmente removida. A etapa seguinte envolve na eliminação da camada biológica, que consiste em raspar aproximadamente 0,5 a 3 cm da superfície. O método preconizado por Ritcher (2017) segue as seguintes etapas:

- Remoção de qualquer material flutuante presente.
- Drenagem da água até que o nível se situe ligeiramente abaixo da superfície da areia.
- Retirada de 0,5 cm a 3 cm de camada de areia.
- Lavagem das paredes do filtro, se necessário.

Para o processo de limpeza será embutido em cada filtro lento tubulações com registros para realização da drenagem do fluido no nível de água sugerido para remoção da areia. Após a operação de limpeza, é recomendado que se observe se a maturação do filtro é restabelecida no período subsequente, antes de distribuir a água novamente para consumo doméstico.

Após a água passar pelo tratamento no filtro lento, ela será direcionada para uma caixa cloradora. O cálculo da capacidade foi realizado de acordo com a Equação 4.14. Segundo a legislação vigente (BRASIL, 2021b), o tempo de contato necessário é de 19 minutos considerando o pH da água de 6,0; sua temperatura de 20°C e uma concentração de cloro residual na rede desejada, de 0,6 mg/L. Essa concentração é de uma garantia que todas as residências terão pelo menos o valor mínimo proposto pela legislação ao longo da rede (de 0,2 mg/L). Os resultados estão detalhados na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Volume da caixa cloradora.

Q ₂ (L/s)	Thc(s)	Vc(L)
0,333	1140	380,000

Fonte: Do autor (2023).

Para o volume calculado será arrendado para 400 L, a qual é possível encontrar no comércio.

O controle do tempo de contato com o cloro é realizado por meio da regulagem da vazão, realizada por um operador hidráulico. Esse profissional ajusta através de dois registros postos a montante e a jusante da caixa, com suas respectivas vazões para garantir o tempo adequado de contato.

Uma opção sugerida é o uso de pastilhas de hipoclorito de cálcio com um teor de cloro ativo de 65%. Inicialmente, será adicionada uma de 200 gramas à água, e ela dissolverá gradualmente. Será a responsabilidade de um membro da comunidade recarregar a caixa de cloração quando necessário, à medida que as pastilhas se esgotam.

A caixa cloradora será instalada a uma profundidade de 0,42 metros abaixo do nível do terreno. Isso permitirá que o efluente, após sair do filtro lento, seja devidamente conduzido para o próximo estágio do processo. Um esquema detalhado da Estação de Tratamento de Água (ETA) pode ser encontrado no Apêndice F.

Durante os primeiros dias de operação da ETA simplificada, é necessário realizar medições diárias da concentração de cloro na saída do reservatório e na residência mais distante da comunidade (nó mais afastado). Essas verificações são essenciais para garantir que a concen-

tração de cloro seja mantida acima de 0,2 mg/L. Se os resultados indicarem uma concentração menor, será necessário a diminuição da vazão para possibilitar um maior tempo de contato com o cloro ou adoção de mais pastilhas ou com maior concentração de cloro. Para assegurar o sucesso desse tratamento, é essencial monitorar regularmente o sistema, com análises bimestrais, evitando assim possíveis riscos à saúde dos consumidores.

Todos esses processos tem como vantagem em relação a outros sistemas de tratamento, a de não requer uma elevada demanda de operação, evitando a necessidade de manuseio de produtos químicos ou manutenção por parte dos moradores da comunidade, apenas sua limpeza recorrente.

5.8 Rede de abastecimento de água

A rede proposta (Apêndice H) distribuirá água entre 2060,44 m de tubulação de rede que possuem casas adjacentes, atendendo 100 habitantes, com um consumo médio de 200 L/hab · dia. O sistema de distribuição terá início em um reservatório elevado situado ao lado da ETA simplificada, ponto A', a uma altitude de 951 m, e se estende até um ponto mais baixo, J, a uma altitude de 897,50 m. É notável a presença de dois condutos principais, AD e AJ, que se ramificam em condutos secundários para a distribuição de água potável por toda a comunidade.

Além disso, é importante observar que existem duas zonas de distribuição que se ramificam a partir do ponto A. Essas zonas podem ser denominadas como "zona alta", que abrange as áreas com os trechos que possuem as maiores pressões disponíveis, devido à sua cota baixa, e "zona baixa", que abrange as áreas com os trechos com as menores pressões disponíveis, nesse caso devido à sua cota alta.

A seleção do material para as tubulações foi-se levado em consideração a redução dos custos do projeto, bem como as necessidades de dimensionamento para atender a população. Por esse motivo, optou-se pelo uso de PEAD, devido ao seu custo comparativamente mais baixo e à facilidade de instalação em comparação com ao PVC.

Esses dados são fundamentais para o dimensionamento, começando pela vazão específica de distribuição em marcha em cada trecho, calculada com base na Equação 4.19, com o valor de 0,00024 L/s.

Após, realizou-se os cálculos das vazões: $q_m \cdot L$, de jusante (Q_j), montante (Q_m) e fictícia (Q_f) de cada trecho. Os trechos com a vazão igual 0 L/s foram BC, DE, DF, GH, IK, IJ e IM. Para os outros, a Equação 4.20 foi aplicada. E para a vazão montante Equação 4.19,

e fictícia Equação 4.22 ou Equação 4.23. Assim foi obtida a Tabela 5.10 que demonstra de vermelho a zona baixa e de verde a zona alta.

Tabela 5.10 – Vazões de abastecimento da rede projetada.

Trecho	L(M)	Vazão(L/s)			
		Qj	qm·L	Qm	Qf
IM	165,72	0,000	0,040	0,040	0,023
IJ	513,91	0,000	0,125	0,125	0,072
IK	71,05	0,000	0,017	0,017	0,010
GH	691,44	0,000	0,168	0,168	0,097
DF	148,41	0,000	0,036	0,036	0,021
DE	128,7	0,000	0,031	0,031	0,018
BD	177,19	0,067	0,043	0,110	0,089
BC	164,02	0,000	0,040	0,040	0,023
GI	160,54	0,182	-	0,182	0,182
AG	383,55	0,350	-	0,350	0,350
AB	261,92	0,150	-	0,150	0,150
A'A	16,44	0,500	-	0,500	0,500

Fonte: Do autor (2023).

Aplicando o ábaco de Fair-Whipple-Hsiao (Apêndice A), notou-se que os valores da vazão fictícia são baixos. Assim foi decidido aplicar o diâmetro idêntico em toda rede, tendo como base os primeiros trechos, conforme indicados na Tabela 5.10 e com suas respectivas perdas de cargas unitária e contínua, através da Equação 4.9 modificada para tubos de polietileno, com b de 0,000135.

Tabela 5.11 – Velocidades e perdas de carga unitária e distribuída na rede projetada.

Trecho	D(mm)	v(m/s)	J(m/m)	$\Delta H(m)$
IM	32	0,029	0,00008	0,01347
IJ	32	0,090	0,00059	0,30281
IK	32	0,012	0,00002	0,00131
GH	32	0,121	0,00099	0,68479
DF	32	0,026	0,00007	0,00995
DE	32	0,023	0,00005	0,00672
BD	32	0,110	0,00084	0,14933
BC	32	0,029	0,00008	0,01310
GI	32	0,227	0,00297	0,47628
AG	32	0,435	0,00930	3,56703
AB	32	0,187	0,00211	0,55338
A'A	32	0,622	0,01736	0,28547

Fonte: Do autor (2023).

É evidente que muitos trechos apresentam velocidades inferiores às recomendadas pela NBR 12218 (ABNT, 2017), que estabelece um valor mínimo de 0,60 m/s. A solução proposta nessa situação é a instalação de válvulas de descarga em pontos estratégicos, ao invés da diminuição do diâmetro, que não seria suficiente para aumentar a velocidade até a adequada. Essas válvulas permitem retirar água da rede para fins de limpeza e manutenção, o que pode eliminar elementos indesejados que se acumulam ao longo do tempo.

Para evitar a instalação de válvulas de descarga em todos os trechos, uma abordagem estratégica é colocá-las em pontos-chave, como o ponto D. A válvula além de atender o ponto D, atenderá os pontos a jusantes dele, ou seja, os pontos F e E. A Tabela 5.12 apresenta a localização das válvulas de descarga e os nós que elas atendem.

Tabela 5.12 – Instalação de válvulas de descarga.

Nó de instalação da válvula	Nós atendidos pela válvulas
D	D, E e F
B	B e C
G	G e H
I	I, J, K e M

Fonte: Do autor (2023).

As cotas topográficas de cada ponto foram coletadas, através da Planta de canalizações (Apêndice H), e a partir dessa referência, continuou-se o cálculo das demais cotas piezométricas e pressão disponível (Tabela 5.13). Utilizando a Equação 4.25, conseguiu-se determinar a cota piezométrica do reservatório sendo o ponto de partida para o dimensionamento das pressões na rede. O reservatório será elevado e a base dele deverá ter 7,29 m no mínimo. Isso é necessário para garantir que as pressões mínimas na rede estejam em conformidade com os requisitos da NBR 12216 (ABNT, 1992), que exige pelo menos 10 mca.

Tabela 5.13 – Resultados das cotas piezométricas e pressões disponível.

Trecho	Cota topográfica(mca)		Cota piezométrica(mca)		Pressão disponível(mca)	
	Montante	Jusante	Montante	Jusante	Montante	Jusante
IM	926,00	920,00	953,96	953,94	27,96	33,94
IJ	926,00	897,50	953,96	953,65	27,96	56,15
IK	926,00	926,00	953,96	953,96	27,96	27,96
GH	940,00	927,00	954,43	953,75	14,43	26,75
DF	924,00	910,00	957,30	957,29	33,30	47,29
DE	924,00	923,00	957,30	957,29	33,30	34,29
BD	925,00	924,00	957,45	957,30	32,45	33,30
BC	925,00	931,00	957,45	957,43	32,45	26,43
GI	940,00	926,00	954,43	953,96	14,43	27,96
AG	948,00	940,00	958,00	954,43	10,00	14,43
AB	948,00	925,00	958,00	957,45	10,00	32,45
A'A	951,00	948,00	958,29	958,00	7,29	10,00

Fonte: Do autor (2023).

No entanto, no trecho IJ, a pressão estática máxima de 60,79 mca, excede as recomendações da Norma, com uma diferença de 10 mca. Para resolver esse problema e reduzir a pressão no ponto J, é recomendada a instalação de uma válvula redutora de pressão. Este dispositivo é uma válvula equipada com um conjunto de molas projetado para realizar exatamente o que seu nome sugere. Uma válvula de $\frac{3}{4}$ " disponível no mercado é capaz de reduzir a pressão em até 5,5 bar (55 mca). A tabela do dimensionamento pode ser encontrada no Apêndice I.

5.9 Reservatório

O volume do reservatório foi calculado aplicando a Equação 4.18, e o resultado (Tabela 5.14) indicou a necessidade de um reservatório com capacidade de aproximadamente de 16% do volume do dia de maior consumo ($86400 \cdot Q_3$). Com a altura do reservatório, obtida no dimensionamento da rede de distribuição, de 7,29 m, é viável a utilização de reservatórios tubulares, que possuem grandes dimensões de volume e altura.

Tabela 5.14 – Volume do Reservatório.

$\frac{K_2-1}{\pi}$	Volume de maior consumo (L)	Vr (L)
0,16	43200	6875,49

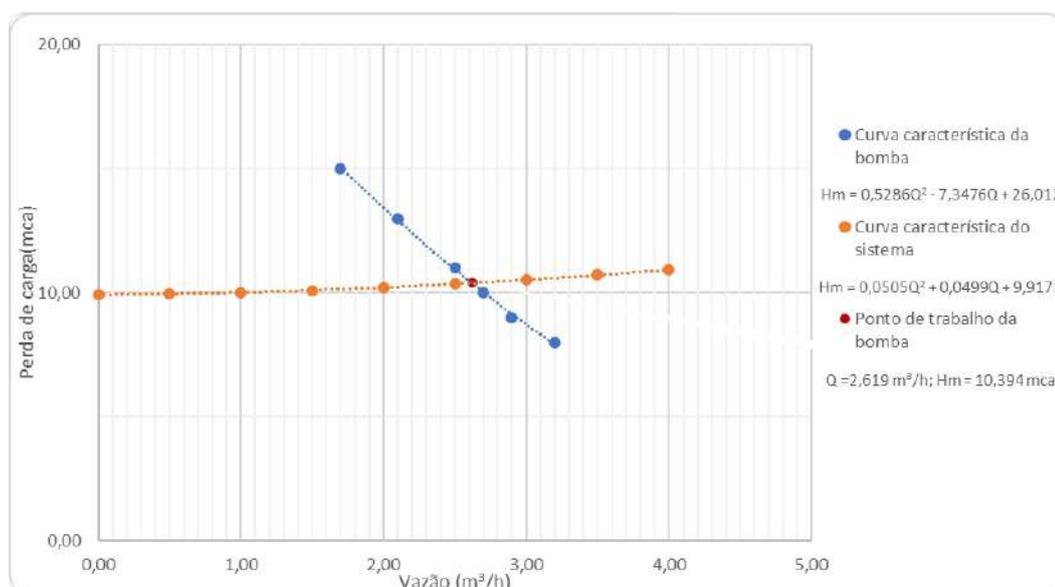
Fonte: Do autor (2023).

Como sugestão, foi escolhido o reservatório da marca FAZFORTE, com capacidade de 7000 L, fabricada em aço carbono, material com durabilidade e resistência contra o sol e chuva. O Apêndice E apresenta o reservatório e suas dimensões.

Deu-se a cota mínima do reservatório de 958,25 metros, o necessário para garantir que a pressão em todas as residências esteja em conformidade com os requisitos da NBR 12216 (ABNT, 1992), que exige pelo menos 10 mca. Analisando a zona de pressão, a diferença entre a cota do ponto do reservatório (A'), de 951 metros, e a menor cota de distribuição de água (J), de 897,50 metros, obteve-se uma diferença de 53,5 metros. No entanto, levando em consideração a viabilidade econômica e o fato de já ser sido planejado a instalação de uma válvula redutora de pressão, optou-se por ter apenas uma zona de pressão e de um reservatório para atender à comunidade.

Para o bombeamento da água da caixa cloradora até o reservatório elevado, usou-se a mesma metodologia do bombeamento de captação. Porém, com a ressalva no cálculo da altura manométrica, em que foi somada o valor da perda de carga do filtro lento. No Apêndice G está apresentado o dimensionamento da bomba. Então, para a vazão de 0,50 L/s e altura manométrica de 10,15 mca, a bomba que se mostrou mais apta ao projeto foi a bomba BCR-200,, obtida pelo catálogo da empresa Schneider Motobombas (SCHNEIDER MOTOBOMBAS, 2023). Seu ponto de trabalho está demonstrado na Figura 5.16.

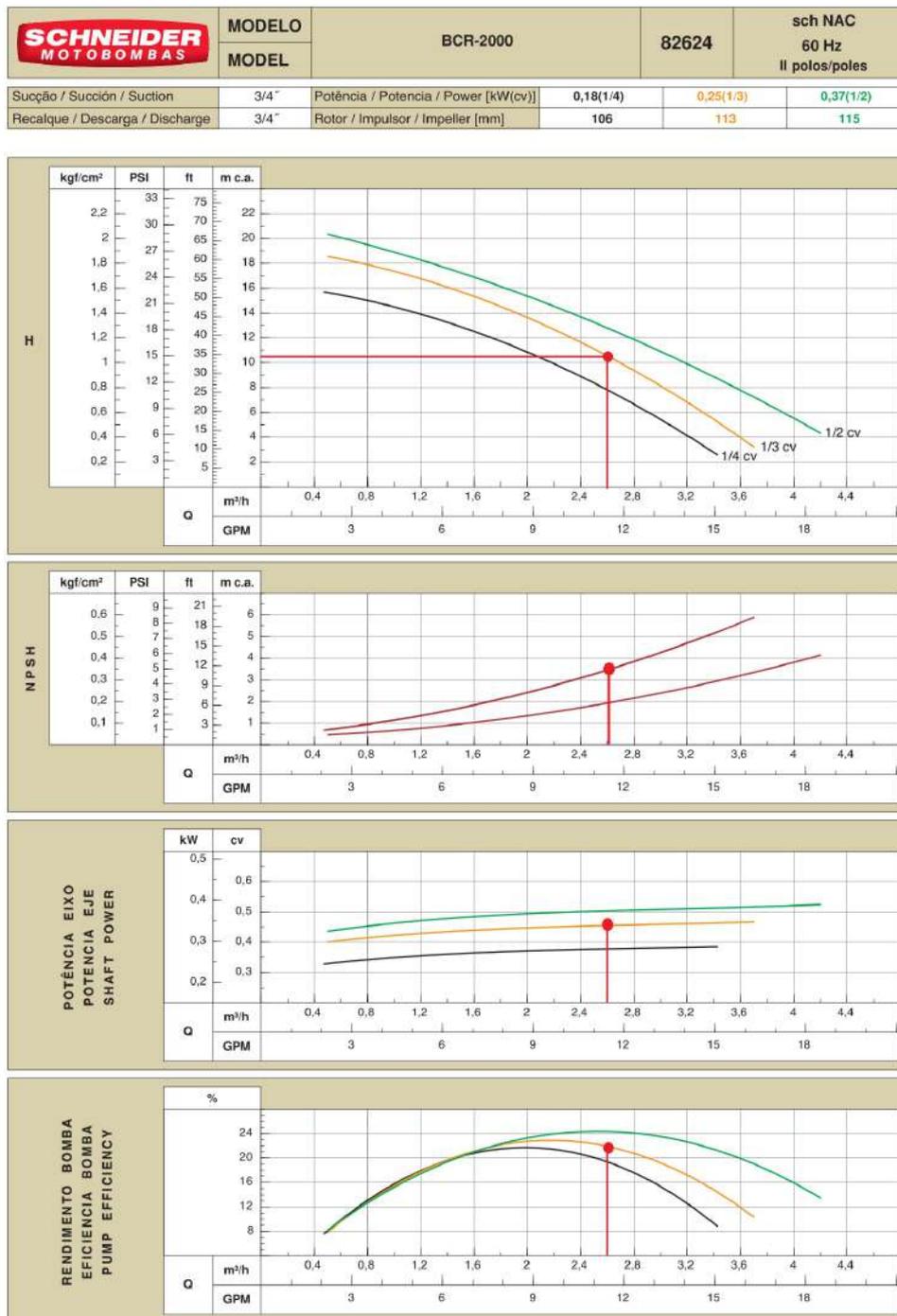
Figura 5.16 – Ponto de trabalho da bomba BCR-2000.



Fonte: Do autor (2023).

Os parâmetros da bomba em seu ponto de trabalhos estão apresentados pela Figura 5.17 e a Tabela 5.15 detalha as características da bomba, que desempenhará o papel de abastecer o reservatório com uma vazão muito próxima à vazão requerida para a distribuição de água. No Apêndice F, o sistema logo após a caixa cloradora até o reservatório é representado.

Figura 5.17 – Curvas da bomba BCR-2000 no ponto de trabalho da bomba.



Fonte: Adaptado de Schneider Motobombas (2023).

Tabela 5.15 – Resultados dos cálculos da bomba utilizada no abastecimento do reservatório da comunidade de Ponte Alta.

Parâmetro	Valor
Hm	8,53 mca
Vazão	0,53 L/s
Rotor	107 Ømm
Rendimento	22,5%
Potência	0,45 CV
NPSHr	3,5 mca

Fonte: Do autor (2023).

Conferiu-se que o NPSH disponível (8,92 mca) é maior que NPSH requerido (3,50 mca), e nota-se que no sistema de bombeamento para o reservatório não ocorrerá cavitação.

Para prever o momento da parada do bombeamento, é necessária a instalação de uma boia elétrica conectada à bomba. Quando o nível da água atingir a altura 7,20 m no reservatório, a bomba deixará de fornecer água até que o reservatório seja esvaziado até 5,00 m. As boias elétricas vêm com um contrapeso que permite a calibração da altura da água no nível desejado. Foi importante considerar a potência da bomba, que é de 0,45 CV, pois as boias elétricas comuns funcionam com uma potência máxima de 1,0 CV assim evitando danos aos equipamentos.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo apresentar à comunidade de Ponte Alta uma solução para o abastecimento de água, pois ela enfrenta um considerável déficit em saneamento básico por estar na zona rural da cidade de Lavras. Assim, os residentes tiveram que se adaptar às condições em que vivem, e recorrem, por exemplo, a poços freáticos e nascentes como fonte de água, soluções pouco adequadas para garantia de segurança sanitária. Embora essa seja uma solução comum na região, ela está longe de ser regular e ainda requer tratamentos apropriados para tornar a água segura para o consumo, reduzindo o risco de doenças para os habitantes, seus familiares, outros membros da comunidade e até mesmo para os seres vivos, como animais e plantas.

Os moradores demonstram conscientização em relação a várias práticas ambientais, como o descarte adequado de resíduos sólidos e a manutenção regular de seus reservatórios de água. No entanto, a situação é mais preocupante quando se trata do tratamento do esgoto doméstico, já que todas as casas entrevistadas utilizam fossas negras, e muitas das vezes localizadas próximas à fonte de captação de água.

Os resultados das análises laboratoriais revelaram que a maioria das residências apresenta níveis aceitáveis de turbidez, pH e cor da água. No entanto, uma pequena parcela não atingiu os padrões desejados para consumo humano. Por esse motivo, foi proposta a implementação do tratamento de água por meio do filtro lento e desinfecção por cloração, o que possibilitaria a melhoria da qualidade da água e, conseqüentemente, a elevação da qualidade de vida dos moradores.

Além disso, destaca-se a importância de manter a economicidade como um dos principais objetivos deste projeto. Em áreas rurais, os recursos podem ser escassos, e é fundamental manter um orçamento acessível. Algumas das medidas econômicas propostas ao longo deste trabalho incluíram o uso de canos de PEAD, que são tão eficazes quanto outros materiais, a adoção do filtro lento, que elimina a necessidade de construir grandes Estações de Tratamento de Água (ETAs), e a utilização da topografia natural da comunidade, minimizando o uso de bombas, exceto na adução para a ETA e para recalque para o reservatório elevado.

O sistema de abastecimento de água projetado se mostrou tecnicamente adequado, desde o processo de bombeamento na área de captação até a distribuição nas residências. Não foram detectados problemas, como cavitação da bomba, e a pressão de água em cada casa atendeu aos requisitos estabelecidos pelas normas brasileiras na maioria dos pontos. Com uma

extensão total de tubulação de 2,060 km, utilizando diâmetros de 32 mm e em todo o projeto, juntamente com um reservatório de 7000 L, o sistema se mostrou eficaz para atender às necessidades de água de toda a comunidade.

O sistema de abastecimento proposto deve ser monitorado regularmente para garantir a qualidade da água distribuída, bem como a manutenção de todos os processos, incluindo desinfecção, filtro lento, reservatório e distribuição. Destaca-se ainda a importância da preservação do ambiente, onde será realizada a captação, evitando a poluição do manancial e comprometendo o tratamento da água. Esses fatores são de fundamental importância para o funcionamento adequado do sistema projetado.

Como sugestão para trabalhos futuros, cita-se o estudo hidrológico do manancial de captação e a precificação desse projeto. Isso proporcionará uma análise mais aprofundada dos recursos hídricos disponíveis, além de viabilizar uma avaliação financeira precisa para sua implementação

REFERÊNCIAS

- ANA. **Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Grande**. 2017. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1deRPfL823Q76n7TjPDIRIIPXtr4_0HP/view>. Acesso em: 17 nov. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9898**. Rio de Janeiro, 1987. 22 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12216**. Rio de Janeiro, 1992. 18 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229**. Rio de Janeiro, 1993. 22 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218**. Rio de Janeiro, 2017. 23 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16704**. Rio de Janeiro, 2019. 89 p.
- BELFANO. **Diâmetros De Tubo De PEAD**. 2023. Disponível em: <<https://www.belfano.com.br/portifolio/tubo-pead-polietileno-alta-densidade-norma-din-8074/>>. Acesso em: 15 nov. 2023.
- BERNARDO, L. D.; BRANDÃO, C. C. S.; HELLER, L. **Tratamento de Águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.
- BRASIL. **LEI Nº 11.445, DE 5 DE JANEIRO DE 2007**. Brasília, 2007. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2007/lei-11445-5-janeiro-2007-549031-norma-Atualizada-pl.pdf>>.
- BRASIL. **Manual de Cloração de Água em Pequenas Comunidades**. Brasília, 2014. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manualdecloracaodeaguaempequenascomunidades.pdf>.
- BRASIL. **Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em ETAs**. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38937/Manual+de+controle+da+qualidade+da+Água+para+técnicos+que+trabalham+em+ETAs+2014.pdf/85bbdbc-8cd2-4157-940b-90b5c5bfc87>>.
- BRASIL. **Plano Nacional de Saneamento Básico**. 2019. Disponível em: <http://www.agersa.ba.gov.br/wp-content/uploads/2019/03/Versaoatualizada07mar2019_consultapublica.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2023.
- BRASIL. **Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional**. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/painel>>. Acesso em: 17 set. 2023.
- BRASIL. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**. Brasília, 2021. Disponível em: <https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html>.
- BRITO, A. L. N. et al D. P. Da fragmentação à articulação: A política nacional de saneamento e seu legado histórico. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, RBEUR, v. 14, n. 1, p. 68–83, 2012.

CAPP, N. et al. Qualidade da água e fatores de contaminação de poços rasos na área urbana de anastácio (ms). **Geografia Ensiono Pesquisa**, p. 77–92, 2012.

CBH GRANDE. **A Bacia do Rio Grande**. 2023. Disponível em: <<https://www.cbhgrande.org.br/a-bacia>>. Acesso em: 01 ago. 2023.

COELHO, W. R. **Análise do Fenômeno de Cavitação em Bomba Centrífuga**. Ilha Solteira, 2006. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/88879/coelho_wr_dr_ilha_prot.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

FAZFORTE. **TBL 701**. 2023. Disponível em: <<https://www.fazforte.com.br/caixa-dagua-7000-litros.html>>. Acesso em: 28 set. 2023.

GIACOPPO, J. O. S.; FONSECA, L. C. **Manual de Análises Laboratoriais**. Lavras, 2021. Disponível em: <<https://drive.google.com/drive/folders/1ABn6BI7LKMefuywfMy5HvUxvwi9smILy>>.

GIOVANINI, A. **SRTM: Missão, Dados e Produtos**. 2020. Disponível em: <<https://adenilsongiovanini.com.br/blog/srtm-missao-dados-e-produtos/>>. Acesso em: 01 ago. 2023.

GOMES, H. P. **Sistemas de Bombeamento: Eficiência Energética**. 1. ed. João Pessoa: UFPB, 2009.

GRANZIERA, M. L. M. **Direito de Águas: Disciplina Jurídica das Águas Doces**. 5. ed. Indaiatuba, SP: FOCO, 2023.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. d. **Abastecimento de Água Para Consumo Humano V**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010. v. 1.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. d. **Abastecimento de Água Para Consumo Humano V**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010. v. 2.

IBGE. **Censo Brasileiro de 2010**. 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/lavras/pesquisa/23/25124>>. Acesso em: 17 ago. 2023.

IBGE. **Censo Brasileiro de 2022**. 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/lavras.html>>. Acesso em: 17 ago. 2023.

INFOSANBAS. **Lavras – MG**. 2023. Disponível em: <<https://infosanbas.org.br/municipio/lavras-mg/>>. Acesso em: 22 set. 2023.

INPE. **Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. 2008. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>>. Acesso em: 01 ago. 2023.

JUSTINO, D. a.; NOGUEIRA, E. Dimensionamento do sistema de recalque para abastecimento de água da comunidade de macundú, distrito de são joão marcos, município de rio claro, rio de janeiro. Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2012.

MACINTYRE, A. J. **Bombas e Instalações de Bombeamento**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTS, 1997.

MACINTYRE, A. J. **Redes de Distribuição de Água**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; LOPES, F. W. d. A. o. **Recursos Hídricos: As Águas na Interface Sociedade-Natureza**. 1. ed. [S.I.]: Oficina de Textos, 2022.

MENDONÇA, F. C. **Aula 2 – Hidrostática**. 2023. Disponível em: <http://www.leb.esalq.usp.br/leb/disciplinas/Fernando/leb472/Aula_2/Aula%202_Hidrostatica%20-%20Parte%201.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2023.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **DATASUS - Tecnologia da Informação a Serviço do SUS**. 2021. Disponível em: <<https://infosanbas.org.br/municipio/lavras-mg/#abastecimento-de-agua>>. Acesso em: 17 ago. 2023.

OTTERSBACH, R. da S. Dimensionamento de rede de abastecimento de água no distrito de vila nova, interior do município de pitanga, paraná. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2019.

PAVANELLI, G. Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

RICHTER, C. A. **Água: Métodos e Tecnologia de Tratamento**. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2017.

RICHTER, C. A.; NETTO, J. M. d. A. **Tratamento de Água: Tecnologia Atualizada**. 13. ed. São Paulo: Blucher, 1991.

ROCHA, C. et al. **Avaliação da Qualidade da Água e Percepção Higiênico-Sanitária na Área Rural de Lavras, Minas Gerais, Brasil, 1999-2000**. Rio de Janeiro, 2006.

SÃO PAULO. **Limpeza de Caixa d'Água**. 2021. Disponível em: <<https://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=142>>. Acesso em: 20 set. 2023.

SCHNEIDER MOTOBOMBAS. **Tabela de Seleção de Bombas e Motobombas**. 2023. Disponível em: <https://schneidermotobombas.blob.core.windows.net/media/321009/schneider_tabela_selecao_2023-05_web.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2023.

SCHORR, A. de S. **Tratamento de Águas e Efluentes**. 1. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2022.

SOBRINHO, P. A.; CONTRERA, R. C. **Redes de Distribuição de Água**. 1. ed. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013.

SOUZA, E. R. D. Noções sobre qualidade da água. Instituto Superior Técnico de Lisboa, Lisboa, 2001.

SPERLING, M. V. **Introdução à Qualidade das Águas**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 1996.

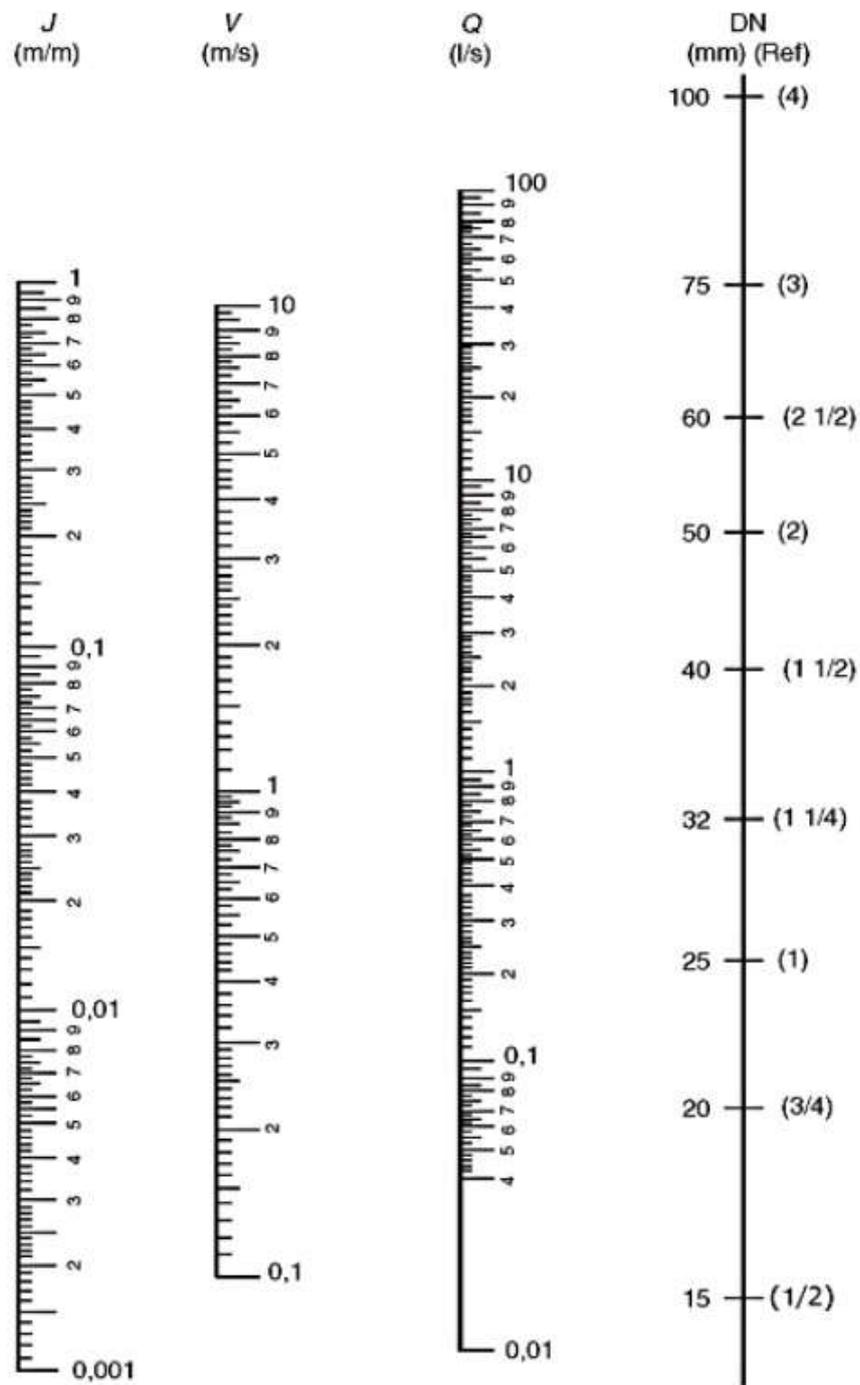
TAGLIAFERRO, G. V. **Apostila de Bombas**. 2011. Disponível em: <http://www.dequi.eel.usp.br/~tagliaferro/Apostila_de_Bombas.pdf>. Acesso em: 21 set. 2023.

THEBE BOMBAS HIDRÁULICAS. **Catálogo Geral**. 2023. Disponível em: <<https://www.ebara.com.br/download/ZG93bmXvYWQvY2F0YWxvZ28tZ2VyYWwtZGUtY3VydmFzLXNlcmhZGFzLTIwMjltY29tcGxldG8>>. Acesso em: 10 jul. 2023.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

WALLER, R. M. **Ground Water and the Rural Homeowner**. Washington, D.C.: USGS Publishing Network, 1994.

APÊNDICE A – Ábaco de Fair-Whipple-Hsiao para tubulações de cobre e plástico



Fonte: Macintyre (2017).

APÊNDICE B – Levantamento em campo sobre as condições de saneamento dos moradores de Bairro Ponte Alta

1. Quantidade de moradores na residência:

Marque todas que se aplicam.

- 1
 2
 3
 4
 5
 Outro: _____

2. Quantidade de banheiros na residência:

Marcar apenas uma oval.

- 1
 2
 3
 4
 5
 Outro: _____

3. Uso da água:

Marque todas que se aplicam.

- Consumo humano
 Criação de animais
 Irrigação
 Lavagem
 Descarga
 Outro: _____

4. Quais e quantos animais ? (Caso haja criação de animais)

5. Fonte de captação de água:

Marque todas que se aplicam.

- Poço freático
 Córrego
 Lago artificial
 Nascente
 Outro: _____

6. Profundidade do poço ? (Caso seja poço artesiano ou freático)

7. Tratamento utilizado na água coletada:

Marque todas que se aplicam.

- Nenhum tratamento
- Filtração
- Fervura
- Cloração
- Água mineral
- Filtração e fervura
- Filtração e cloração
- Outro: _____

8. Tipo material do reservatório:

Marque todas que se aplicam.

- PVC
- Alvenaria
- Fibra de vidro
- Amianto
- Outro: _____

9. Frequência de limpeza do reservatório:

Marcar apenas uma oval.

- Não faz
- Mensal
- Bimensal
- Trimensal
- Semestral
- Anual
- Outro: _____

10. Destinação do esgoto doméstico:

Marque todas que se aplicam.

- Fossa negra
- Fossa séptica
- Lançamento em corpo d' água
- Solo
- Solução coletiva
- Outro: _____

11. Distância da fossas às captações de água (quando possível):

12. Destinação dos resíduos sólidos:

Marque todas que se aplicam.

- Queima
- Enterra
- Ponto de entrega
- Coleta convencional
- Leva a cidade
- Orgânico para animais ou compostagem
- Outro: _____



UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

DECLARAÇÃO

Declaro, para os devidos fins, que o trabalho de conclusão de curso do discente Kelvin Anderson Ribeiro Carvalho, do curso de Engenharia Civil, sob minha orientação, intitulado “Água no bairro Ponte Alta – Lavras, MG: diagnóstico e projeto de abastecimento” não necessita de aprovação pela Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da UFLA (COEP/UFLA), com a justificativa de se tratar de um diagnóstico que envolve pesquisa de opinião com participantes não identificados; e pesquisa com bancos de dados, cujas informações são agregadas, sem possibilidade de identificação individual.

Lavras, 20/11/2023

A handwritten signature in black ink, reading 'Paula Peixoto Assemany', is written over a horizontal line.

Paula Peixoto Assemany (DAM/UFLA)

APÊNDICE C – Dimensionamento de captação a ETA simplificada

Dados			
Cota da fonte de água (m)	909,00	Comprimento da tubulação de sucção (m)	5,00
Cota da ETA simplificada (m)	950,00	Comprimento da tubulação de recalque (m)	516,15
Cota da bomba (m)	912,00	Vazão (L/s)	0,343
Altitude da bomba (m)	912,00	Temperatura média da água (°C)	20

		Dr(mm)	Ds(mm)
Teórico	Interno	24,1	-
Comercial	Interno	27,8	35,2
	Externo	32,0	40,0

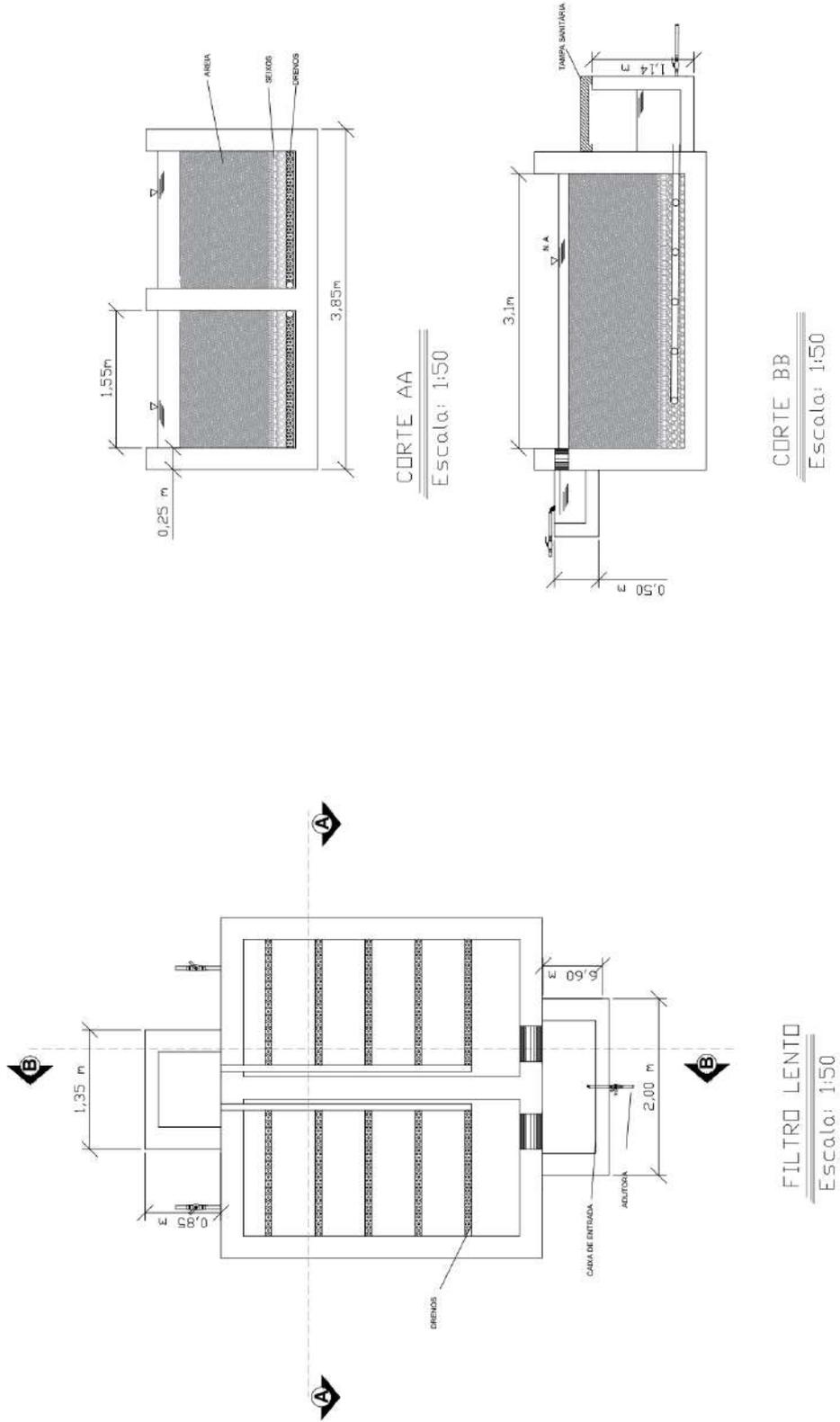
Sucção	Nº de diâmetros	Recalque	Nº de diâmetros
Válvula de pé e crivo	250	Válvula de retenção	100
Curva 90°	17,5	Válvula gaveta aberta	8
Redução	171,5	Curva 90°	17,5
Saída de canalização	35	Curva 90°	17,5
		Saída de canalização	35
Les(m)	16,68	Ler(m)	4,95

Sucção			Recalque		
Ls(m)	hfs (mca)	Hfs (mca)	Lr(m)	hfr (mca)	Hfr (mca)
21,68	0,08	3,00	521,10	9,14	38,00
Hm (mca)			50,22		

P atm(mca)	Hv água (mca)	Npsh disponível(mca)	Npsh Requerido(mca)
9,24	0,24	5,92	1,20

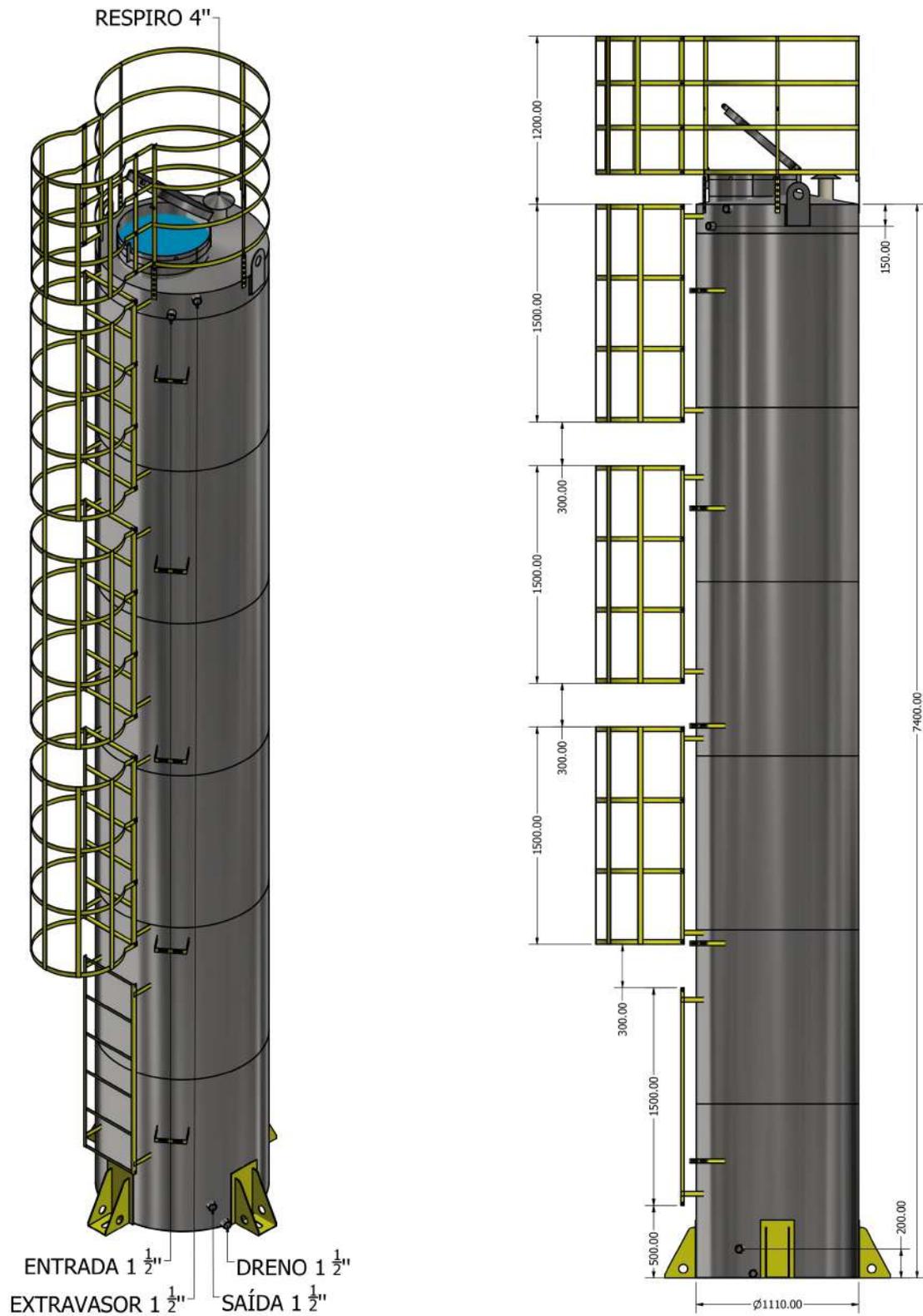
Fonte: Do autor (2023).

APÊNDICE D – Detalhamento do filtro lento



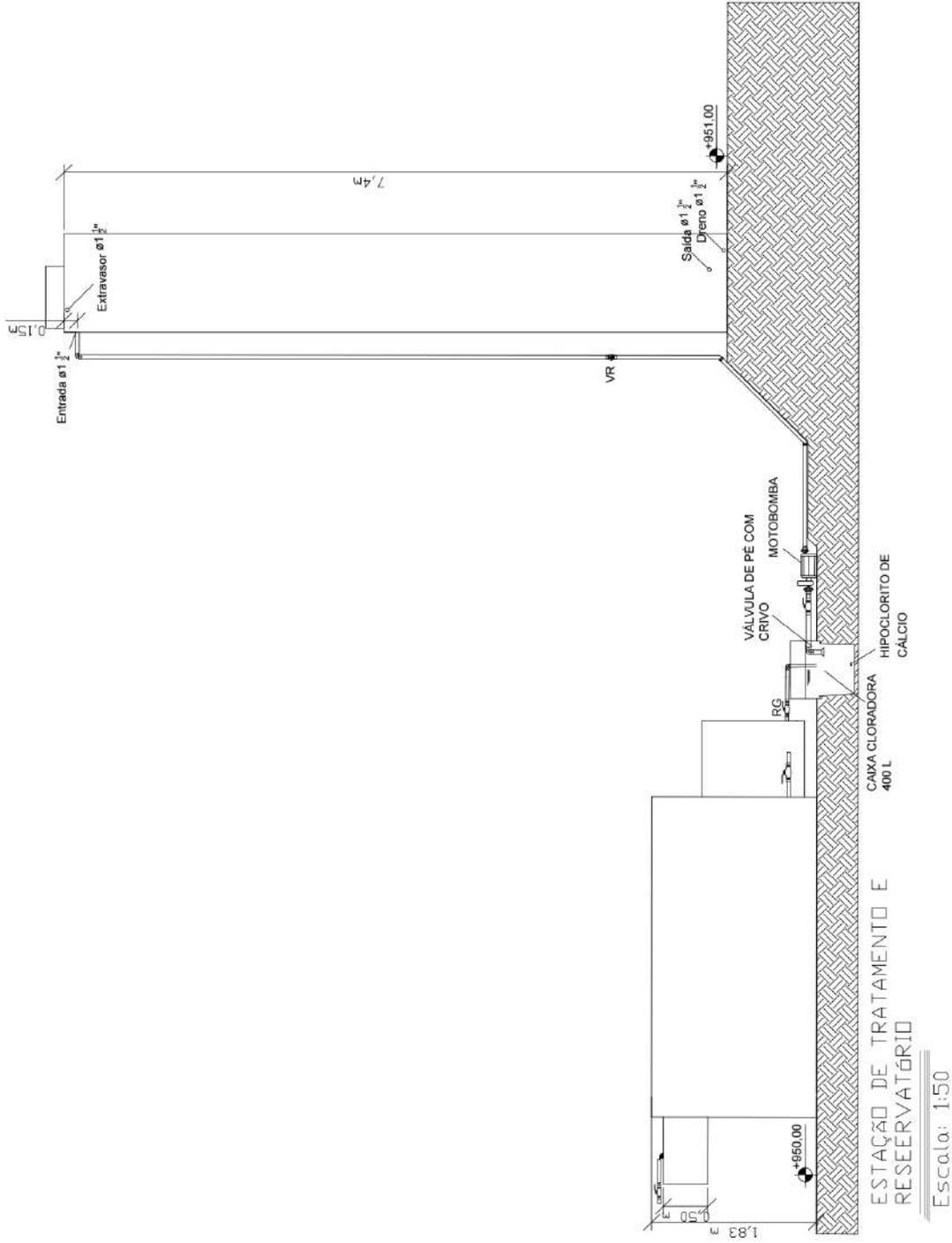
Fonte: Do autor (2023).

APÊNDICE E – Representação do reservatório



Fonte: FAZFORTE (2023).

APÊNDICE F – Detalhamento da ETA simplificada e reservatório



Fonte: Do autor (2023).

APÊNDICE G – Dimensionamento do bombeamento ao reservatório

Dados			
Cota da caixa cloradora (m)	950,00	Comprimento da tubulação de sucção (m)	0,70
Cota da entrada reservatório (m)	958,20	Comprimento da tubulação de recalque (m)	10,00
Cota da bomba (m)	950,00	Temperatura média da água (°C)	20
Altitude da bomba (m)	950,00	Vazão (L/s)	0,50

		Dr(mm)	Ds(mm)
Teórico	Interno	29,07	-
	Externo		
Comercial	Interno	35,2	44,0
	Externo	40,0	50,0

Sucção	Nº de diâmetros	Recalque	Nº de diâmetros
Válvula de pé e crivo	250,0	Válvula de retenção	100,00
Curva 90°	17,5	Válvula gaveta aberta	8,00
Válvula gaveta aberta	8,0	Curva 90°	17,50
Saída de canalização	35,0	Curva 90°	17,50
		Saída de canalização	35,00
		Curva de 45°	15,00
		Curva de 45°	15,00
Les(m)	13,66	Ler(m)	7,32

Sucção			Recalque			Filtro lento
Ls(m)	hfs (mca)	Hfs (mca)	Lr(m)	hfr (mca)	Hfr (mca)	hf (mca)
14,362	0,04	0,00	17,32	0,19	8,25	1,67
Hm (mca)			10,15			

P atm(mca)	Hv água (mca)	Npsh disponível(mca)	Npsh Requerido(mca)
9,19	0,24	8,92	3,50

Fonte: Do autor (2023).

APÊNDICE I – Tabela de dimensionamento da rede de distribuição

Trecho	L (M)	Vazão(L/s)			D(mm)	v(m/s)	J(m/m)	H(m)	Cota topográfica(mca)		Cota piezométrica(mca)		Pressão disponível(mca)	
		qmL	Qm	Qf					Montante	Jusante	Montante	Jusante	Montante	Jusante
IM	165,72	0,000	0,040	0,023	32	0,029	0,00008	0,01347	926,00	920,00	953,96	953,94	27,96	33,94
IJ	513,91	0,000	0,125	0,072	32	0,090	0,00059	0,30281	926,00	897,50	953,96	953,65	27,96	56,15
IK	71,05	0,000	0,017	0,010	32	0,012	0,00002	0,00131	926,00	926,00	953,96	953,96	27,96	27,96
GH	691,44	0,000	0,168	0,097	32	0,121	0,00099	0,68479	940,00	927,00	954,43	953,75	14,43	26,75
DF	148,41	0,000	0,036	0,021	32	0,026	0,00007	0,00995	924,00	910,00	957,30	957,29	33,30	47,29
DE	128,7	0,000	0,031	0,018	32	0,023	0,00005	0,00672	924,00	923,00	957,30	957,29	33,30	34,29
BD	177,19	0,067	0,043	0,110	32	0,110	0,00084	0,14933	925,00	924,00	957,45	957,30	32,45	33,30
BC	164,02	0,000	0,040	0,023	32	0,029	0,00008	0,01310	925,00	931,00	957,45	957,43	32,45	26,43
GI	160,54	0,182	-	0,182	32	0,227	0,00297	0,47628	940,00	926,00	954,43	953,96	14,43	27,96
AG	383,55	0,350	-	0,350	32	0,435	0,00930	3,56703	948,00	940,00	958,00	954,43	10,00	14,43
AB	261,92	0,150	-	0,150	32	0,187	0,00211	0,55338	948,00	925,00	958,00	957,45	10,00	32,45
A'A	16,44	0,500	-	0,500	32	0,622	0,01736	0,28547	951,00	948,00	958,29	958,00	7,29	10,00
L(m)		2060,44	qm(l/sm)	0,00024										
Cota do reservatório(m)		951,00	Q4(L/s)	0,500										
Altura do reservatório(m)		7,29	X(mca)	958,29										
Estática Máxima		60,79	Zona de pressão	53,50										

Fonte: Do autor (2023).