



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Curso de Graduação em Engenharia Civil

Marco Túlio Gurgel Mendonça

**DIAGNÓSTICO DAS REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA
EM CACHOEIRA DO CAMPO E PROPOSIÇÃO DE
MELHORIAS**

Ouro Preto

2019

Diagnóstico das redes de distribuição de água em Cachoeira do Campo e
proposição de melhorias

Marco Túlio Gurgel Mendonça

Monografia de conclusão de curso para
obtenção do grau de Engenheiro Civil na
Universidade Federal de Ouro Preto
defendida e aprovada em 17 de dezembro
de 2019 como parte dos requisitos para a
obtenção do Grau de Engenheiro Civil.

Área de concentração: Hidráulica

Orientadora: Prof^a. Ma. Maria Luíza Teófilo Gandini - UFOP

Ouro Preto

2019

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

M539d Mendonca, Marco Tulio Gurgel.
Diagnóstico das redes de distribuição de água em Cachoeira do Campo e proposição de melhorias. [manuscrito] / Marco Tulio Gurgel Mendonca. - 2019.
47 f.: il.: color., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Ma. Maria Luíza Teófilo Gandini.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Civil .

1. Abastecimento de água. 2. Cachoeira do Campo (Ouro Preto, MG).
3. Água - Distribuição. 4. Canais de distribuição. I. Gandini, Maria Luíza Teófilo. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 624

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

Marco Túlio Gurgel Mendonça

Diagnóstico das redes de distribuição de água em Cachoeira do Campo e proposição de melhorias

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

Aprovada em 17 de dezembro de 2019

Membros da banca

Ma. Maria Luíza Teófilo Gandini - Orientadora - Universidade Federal de Ouro Preto
Dra. Ana Letícia Pilz de Castro - Universidade Federal de Ouro Preto
Eng. André Vinícius dos Reis Pereira - Universidade Federal de Ouro Preto

Maria Luíza Teófilo Gandini, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 15/09/2022



Documento assinado eletronicamente por **Maria Luiza Teofilo Gandini**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/09/2022, às 00:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Letícia Pilz de Castro**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 21/09/2022, às 08:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Andre Vinicius dos Reis Pereira**, **TECNICO DE LABORATORIO AREA**, em 21/09/2022, às 15:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0400316** e o código CRC **6FA58261**.

AGRADECIMENTOS

À professora Maria Luíza, por toda a ajuda, paciência e conhecimento transmitidos para a realização desse trabalho. Que inclusive pôde abrir as portas para um trabalho que pode vir a ajudar o futuro da distribuição de água em Ouro Preto.

Ao professor Gilberto, ao André e ao Laboratório de Hidráulica pelo conhecimento compartilhado e empréstimo dos equipamentos, providenciais para o desenvolvimento prático da atividade.

À equipe do SEMAE/OP, por todo apoio para a realização e toda a ajuda técnica. Em especial, ao Luciano e ao Elísio pelo conhecimento e vontade de realizar mudanças na realidade do município.

RESUMO

É de suma importância para o município de Ouro Preto ter o máximo de dados possíveis sobre o seu sistema de abastecimento de água. Assim, vendo a dificuldade do SEMAE/OP em mapear e catalogar as informações, este trabalho teve como objetivo identificar e mapear as diversas redes de distribuição de Cachoeira do Campo. Além disso, mapear também a maioria das áreas de abrangência dos reservatórios do distrito. Com a catalogação da informação, pode-se checar parâmetros hidrodinâmicos da rede, como os limites de pressão em cada setor de abastecimento, verificando seus valores em campo e teoricamente, a partir de equações matemáticas. Dentre os resultados obtidos, além do mapeamento das áreas de abrangência e das redes de distribuição, foi possível apontar intervenções para o sistema, com a proposta de reduzir a pressão, o que evitaria falhas na rede de abastecimento.

Palavras-chaves: Sistema de abastecimento de água. Cachoeira do Campo. Setor de abastecimento. Redes de distribuição.

ABSTRACT

It's so important to the city of Ouro Preto to have the maximum of data available about their water supply system. In that way, realizing the difficulty of SEMAE/OP to map and catalog the information, this work had the objective to map different water supplies distribution nets of Cachoeira do Campo. Moreover that, also map the most of water tanks influence in the district. With the information cataloged, it has been checked hydrodynamic parameters, as water pressure limits in each supply sector, verifying its real values and theoretically, based on math equations. Among the obtained results, besides the mapping of scope areas and the distribution nets, it was possible to point interventions for the water supply system, decreasing high pressures to avoid failures at the distribution nets.

Keywords: Water supply system. Cachoeira do Campo. Supply sector. Distribution nets.

LISTA DE SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ETA: Estação de Tratamento de Água

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PVC: Policloreto de Polivinila

SEMAE/OP: Serviço Municipal de Água e Esgoto de Ouro Preto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivo	1
1.1.1	Objetivos Específicos.....	2
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1	Conduitos forçados.....	3
2.1.1	Conceitos básicos	3
2.2	Mananciais e captações	8
2.3	Aduadoras	8
2.4	Estações de tratamento.....	9
2.5	Reservatórios de distribuição	9
2.6	Estações Elevatórias	10
2.7	Redes de distribuição	10
2.7.1	Rede ramificada.....	11
2.7.2	Rede malhada.....	11
2.7.3	Rede mista.....	12
2.8	Setorização e subsetorização.....	13
3	MATERIAIS E MÉTODOS	15
3.1	Área de estudo	15
3.2	Mapeamento e zoneamento dos setores de distribuição de água do distrito	16
3.3	Mapeamento das redes de distribuição de água	16
3.3.1	Setor do Tombadouro	16
3.3.2	Setores do Soledade, Urbaville e Metalúrgicos.....	17
3.4	Verificação das pressões nos setores	17

3.4.1	Setor Tombadouro	19
3.4.2	Setor Soledade, Urbaville e Metalúrgicos	21
3.5	Verificação da viabilidade de utilizar o reservatório Soledade para atender o setor Tombadouro.....	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
4.1	Mapeamento e zoneamento dos setores de distribuição de água do distrito	26
4.2	Verificação das pressões para os setores	27
4.2.1	Setor Tombadouro	27
4.2.2	Setor Soledade	30
4.2.3	Setor Metalúrgicos	32
4.2.4	Setor Urbaville.....	34
4.3	Verificação da viabilidade de utilizar o reservatório Soledade para atender o setor Tombadouro.....	37
5	CONCLUSÃO	39
5.1	Sugestão para trabalhos futuros.....	39
	REFERÊNCIAS	41
	APÊNDICE A – MAPA DOS SETORES DE ABASTECIMENTO DE CACHOEIRA DO CAMPO.....	43
	APÊNDICE B.1 – MAPEAMENTO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DO SETOR TOMBADOURO	44
	APÊNDICE B.2 – MAPEAMENTO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DO SETOR SOLEDADE.....	45
	APÊNDICE B.3 – MAPEAMENTO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DO SETOR METALÚRGICOS.....	46

ANEXO I – PROJETO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DO SETOR URBAVILLE.....	47
--	----

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que a água, ao longo da história, é indispensável para a vivência e o desenvolvimento humano. Desde o antigo Egito, evidencia-se esse fato com um amplo sistema de drenagem e irrigação datado de 3200 a.C. Para isso, são necessários sistemas para controlar, conservar e conduzir a água (HWANG, 1984).

Um sistema de abastecimento é definido por um conjunto de obras e equipamentos desde a captação de água nos mananciais, do transporte pelas adutoras, do tratamento nas estações até as redes de distribuição, em quantidade e qualidade necessárias para o consumo humano (BAPTISTA, 2003).

As redes de distribuição são as responsáveis por conduzir a água até os consumidores finais, que podem ser prédios residenciais, comerciais ou industriais. Para tal fim, as concessionárias responsáveis pelo empreendimento têm a incumbência de conhecer as condições físicas e hidráulicas dos dutos, as localizações e seus respectivos destinos, garantindo a eficiência do sistema e o prolongamento de sua utilização através dos anos.

Além da importância de estudar a distribuição de água em um centro urbano, é vital conhecer a população da área abrangida e o seu possível crescimento, visto a grande expansão populacional ainda vigente nos centros urbanos, devido às cidades cada vez mais verticais e ao êxodo rural. Tal aumento exige reformulações rápidas no sistema e a construção por etapas (AZEVEDO NETTO, 1998).

Em Cachoeira do Campo, distrito de Ouro Preto, notam-se diversos problemas acerca do sistema de distribuição de água. O sistema de abastecimento foi construído e ampliado continuamente com poucos critérios técnicos e sem cadastramento de projetos e execuções deles. Com isso, há dificuldade da empresa responsável pelo sistema em solucionar problemas e propor melhorias. Visando melhorar a atuação da empresa, deve-se cadastrar, mapear e analisar todos os conjuntos de estruturas do abastecimento do distrito.

1.1 Objetivo

O objetivo principal deste trabalho é atuar juntamente com o SEMAE/OP (Serviço Municipal de Água e Esgoto de Ouro Preto) nos reservatórios e redes de distribuição

do sistema denominado Funil, que é um dos dois sistemas que abastecem a população do distrito de Cachoeira do Campo, cadastrando os dutos, agregando assim, informações para consulta futura da concessionária. Com o cadastramento e análise, propor melhorias para o sistema.

1.1.1 Objetivos Específicos

Pretende-se especificamente neste trabalho:

- refinar dados previamente coletados pela concessionária;
- mapear os setores do distrito;
- avaliar condições operacionais de reservatórios quanto à quantidade de água para a população local;
- avaliar a utilização do reservatório Soledade para abastecer também o setor Tombadouro e
- medir pressões em pontos importantes das redes de distribuição do distrito.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para o ser humano conseguir utilizar adequadamente a água, são necessárias diversas estruturas. Define-se por sistema de abastecimento um agrupamento de obras, equipamentos e serviços designados a guarnecer água potável para um conjunto populacional para habitações, comércios, indústrias etc. Geralmente, é composto pelos mananciais, captação, tratamento, elevação, reservação e distribuição (AZEVEDO NETTO, 1998).

Para implantar um sistema, é imprescindível elaborar projetos e estudos para definir obras a serem executadas, visando não só a necessidade atual da população, mas também o seu futuro (BAPTISTA, 2003). Nos itens a seguir, tratar-se-á de conceitos fundamentais relacionados à rede de distribuição de água de uma cidade.

2.1 Conduitos forçados

Define-se por conduto forçado tubulações em que a pressão interna é diferente da pressão atmosférica, sendo ela maior ou menor. O fluido enche completamente as seções transversais da tubulação (SILVESTRE, 1979).

São condutos forçados por exemplo todo o transporte de um sistema de distribuição de água, as adutoras, as redes de distribuição e as redes de sucção e recalque de uma estação elevatória (AZEVEDO NETTO, 1998).

2.1.1 Conceitos básicos

Usualmente, para dimensionamento de tubulações de um sistema de abastecimento de água, considera-se para simplificação que o fluido é incompressível e o escoamento está em regime permanente e uniforme.

No regime permanente as grandezas que caracterizam o escoamento independem do tempo, ou seja, em cada ponto elas são constantes ao longo do tempo (AZEVEDO NETTO, 1998). No regime uniforme, as grandezas não variam com o espaço, a movimentação uniforme significa que a velocidade média se mantém constante, isto é, as seções transversais do escoamento permanecem igual ao longo do trajeto.

A linha de energia pode ser definida como a posição geométrica da soma das cargas energéticas físicas do fluido. A linha segue a Equação de Bernoulli (2.1) entre pontos em um escoamento incompressível, permanente e uniforme:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{p1-2} \quad (2.1)$$

sendo:

z = carga da posição. Energia potencial em relação a um plano de referência;

p/γ = energia da pressão ou piezométrica;

$V^2/2g$ = energia cinética e

h_p = perda de energia entre os dois pontos.

As parcelas de energia da Equação de Bernoulli podem ser esquematizadas como apresentado na Figura 1.

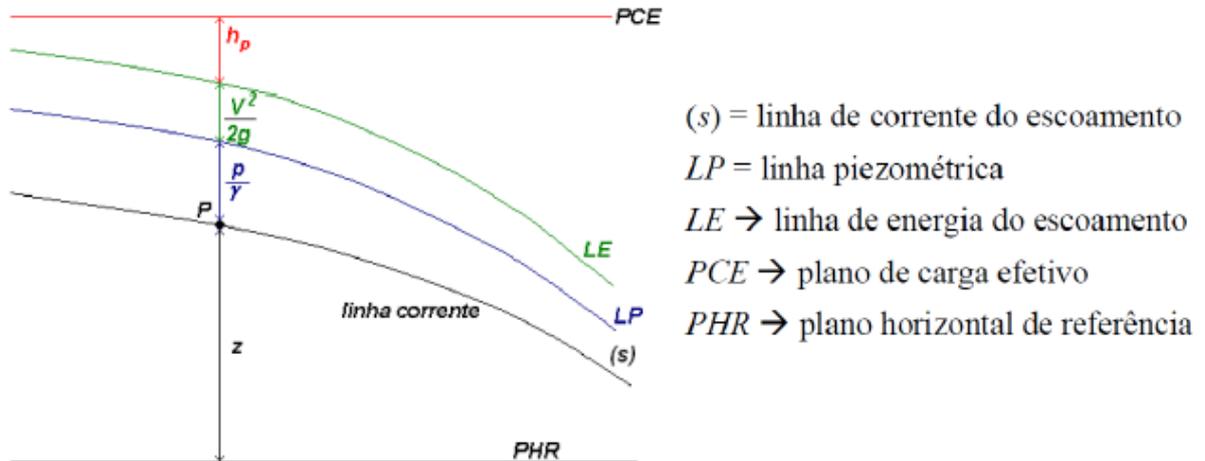


Figura 1: Parcelas da Equação de Bernoulli, entendidas como altura em um escoamento permanente, uniforme e de fluido incompressível (SILVA, 2015).

Utilizando pressões relativas podem existir três situações: a linha piezométrica, acima, abaixo ou coincidir com a linha de corrente. Caso a linha piezométrica esteja abaixo ou acima da linha de corrente, o escoamento se dá em conduto forçado (SILVESTRE, 1979).

Observa-se que, em dutos reais, existem perdas de energia devido ao atrito do fluido com as paredes da tubulação, ocasionando diminuição da energia ao longo do trajeto do fluido, ou seja, uma perda por comprimento. Essa carga perdida é depende diretamente da natureza das paredes da tubulação, do diâmetro e da velocidade do escoamento (PORTO, 1998).

Além da perda contínua de carga, sabe-se que, habitualmente, em um sistema de condução de água, existem peças especiais que elevam a turbulência do escoamento, gerando mais perdas por atrito. Registros, conexões, curvas e válvulas em geral são responsáveis por dissipação de energia (AZEVEDO NETTO, 1998). Assim, para obter resultados de energia nas tubulações, deve-se considerar as perdas de carga contínuas na tubulação e as localizadas, provocadas por peças especiais e por acidentes.

As formulações desenvolvidas ao longo dos anos para a determinação da perda de carga contínua em um escoamento são empíricas. Entre elas, ressaltam-se as fórmulas de Darcy-Weisbach e Hazen-Williams. A fórmula de Darcy-Weisbach (Equação 2.2), chamada de Equação Universal de Perda de Carga, é dada a seguir:

$$h_p = f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right) = \frac{8fLQ^2}{\pi^2 g D^5} \quad (2.2)$$

sendo h_p a perda de carga em m, L o comprimento da tubulação em m, D o diâmetro em m, V a velocidade média em m/s, g a aceleração da gravidade em m/s², Q a vazão em m³/s e f o fator de atrito.

O fator de atrito é definido em função da rugosidade de um tubo e pode ser encontrado em formulações complexas, que podem ser simplificadas utilizando o Ábaco de Moody, esse fator depende do número de Reynolds (razão entre as forças inerciais e as forças viscosas de um fluido) e da rugosidade relativa (e/D), sendo “ e ” a rugosidade absoluta e “ D ” o diâmetro (PORTO, 1998).

A fórmula de Hazen-Williams é dada pela Equação 2.3:

$$h_p = \left(\frac{10,643L}{D^{4,87}} \right) \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,85} \quad (2.3)$$

sendo h_p a perda de carga em m, L o comprimento da tubulação em m, D o diâmetro em m, Q a vazão em m^3/s e C é a constante de Hazen-Williams, que depende da natureza e condições do material empregado nas paredes do tubo, explicitado na Tabela 1.

Tabela 1: Constante de Hazen-Williams para diferentes materiais de tubulação (AZEVEDO NETTO, 1998).

Tubos	Novos	± 10 anos	± 20 anos
Aço corrugado (chapa ondulada)	60	-	-
Aço galvanizado roscado	125	100	-
Aço rebitado, novos	110	90	80
Aço soldado, comum (revestimento betuminoso)	125	110	90
Aço soldado com revestimento epóxico	140	130	115
Chumbo	130	120	120
Cimento amianto	140	130	120
Cobre	140	135	130
Concreto, bom acabamento	130	-	-
Concreto, acabamento comum	130	120	110
Ferro fundido, revestimento epóxico	140	130	120
Ferro fundido, revestimento com argamassa de cimento	130	120	105
Latão	130	130	110
Madeira, em aduelas	120	120	110
Tijolos, condutos bem executados	100	95	90
Vidro	140	140	140
PVC	140	135	130

Vale ressaltar que cada formulação é melhor aplicada em diferentes casos. A de Hazen-Williams é aplicável a condutos com seção superior a 50mm e inferior a 3.500mm, com velocidade menor de 3 m/s e escoamento turbulento de transição (AZEVEDO NETTO, 1998). A de Darcy-Weisbach serve para todos os diâmetros, para qualquer material e qualquer fluido (SILVESTRE, 1979).

Além da perda de carga contínua de tubulação, as perdas locais também devem ser consideradas. Um dos métodos mais utilizados para o cálculo é o método dos comprimentos equivalentes ou virtuais. Ele consiste em adicionar ao comprimento verdadeiro de uma tubulação um comprimento de tubo de mesmo diâmetro capaz de exercer a mesma perda de energia. Assim, utiliza-se o comprimento total para calcular a perda de carga total de uma tubulação (SILVESTRE, 1979).

Para facilitação de cálculo, pode-se organizar uma tabela com os valores dos comprimentos equivalentes de diversos equipamentos e seus respectivos diâmetros, como a Tabela 2.

Tabela 2: Comprimentos equivalentes em m de diversos dispositivos para tubulações de ferro ou aço para cálculo da perda de carga (AZEVEDO NETTO, 1998).

Diâm. Nominal (mm)	13	19	25	32	38	50	63	75	100	125	150	200	250	300
Diâm. Nominal (pol.)	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6	8	10	12
Cotovelo 90° RL	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	2,1	2,7	3,4	4,3	5,5	6,1
Cotovelo 90° RM	0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,4	1,7	2,1	2,8	3,7	4,3	5,5	6,7	7,9
Cotovelo 90° RC	0,5	0,7	0,8	1,1	1,3	1,7	2	2,5	3,4	4,2	4,9	6,4	7,9	9,5
Cotovelo 45°	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2	1,5	1,9	2,3	3	3,8	4,6
Curva 90° r/D=1,5	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,3	1,6	1,9	2,4	3	3,6
Curva 90° r/D=1,0	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1	1,3	1,6	2,1	2,5	3,3	4,1	4,8
Curva 45°	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,1	1,5	1,8	2,2
Entrada normal	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,6	2	2,5	3,5	4,5	5,5
Entrada em borda	0,4	0,5	0,7	0,9	1	1,5	1,9	2,2	3,2	4	5	6	7,5	9
Valv. Gaveta (aberta)	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,4	1,7	2,1
Valv. Globo (aberta)	4,9	6,7	8,2	11,3	13,4	17,4	21	26	34	43	51	67	85	102
Valv. Ângulo (aberta)	2,6	3,6	4,6	5,6	6,7	8,5	10	13	17	21	26	34	43	51
Tê pass. Direta	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	2,1	2,7	3,4	4,3	5,5	6,1
Tê pass. Lateral	1	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4	10	13	16	19
Válv. Pé com crivo	3,6	5,6	7,3	10	11,6	14	17	20	23	30	39	52	65	78
Saída de canalização	0,4	0,5	0,7	0,9	1	1,5	1,9	2,2	3,2	4	5	6	7,5	9
Válv. Retenção leve	1,1	1,6	2,1	2,7	3,2	4,2	5,2	6,3	8,4	10,4	12,5	16	20	24
Válv. Retenção pesada	1,6	2,4	3,2	4	4,8	6,4	8,1	9,7	12,9	16,1	19,3	25	32	38

De acordo com Azevedo Netto (1998), deve-se desprezar as perdas de carga locais em tubulações com mais de 4.000m de extensão e em escoamentos com a velocidade muito baixa. Com isso, geralmente podem ser desprezadas as perdas localizadas em adutoras, redes distribuição e outras tubulações de um sistema de abastecimento de água.

2.2 Mananciais e captações

Os mananciais são as fontes de coleta de um sistema de abastecimento, passíveis de aproveitamento público. São divididos em mananciais subterrâneos e superficiais. Esses mananciais devem atender às condições mínimas de qualidade física, química, biológica e bacteriológica. Deve-se também prever a capacidade de suprir a população que o sistema abastecerá em um futuro próximo (BABBITT, 1973).

Captação é definida por um conjunto de estruturas capazes de retirar a água do manancial para o sistema de abastecimento. A captação deve ser projetada para que, em qualquer época, a estrutura possa coletar água da melhor qualidade possível (YASSUDA, 1976).

Em mananciais superficiais, a captação é feita por barragens de acumulação ou de manutenção de nível quem complementam a vazão em períodos de seca. Para captação subterrânea, são escavados poços para captar a afluência de água do lençol freático.

2.3 Adutoras

Adutoras são as canalizações principais de um sistema de abastecimento de água. Interligam as captações às estações de tratamento ou estações elevatórias, as estações aos reservatórios de distribuição e os reservatórios às redes de distribuição (GARCEZ, 1974). Quando se deriva de uma adutora principal outras adutoras destinadas a conduzir água até outros pontos do sistema, estas são chamadas de subadutoras.

As adutoras podem trabalhar por gravidade (conduto livre ou conduto forçado) quando apenas a força gravitacional, devido ao desnível topográfico, é capaz de conduzir o fluido até seu destino ou por recalque, quando são necessárias bombas e motores inserindo energia ao sistema para promover o escoamento. São divididos em tubulações de sucção e recalque (BABBITT, 1973).

De acordo com Tsutiya (2006), é importante salientar que a velocidade nas tubulações não pode ser muito pequena, pois eleva o tamanho dos diâmetros da seção transversal, causa deposição de sedimentos e dificulta a saída de ar pelas

ventosas. Tsutiya (2006) frisa que o valor mínimo de 0,5 m/s está sendo utilizado em projetos.

Não obstante, uma velocidade muito alta causa pressões muito elevadas, provocando danos e diminuindo a vida útil da adutora e seus respectivos acessórios. Tsutiya (2006) destaca que o valor de 3,0 m/s, considerando aspectos técnicos e financeiros, é o máximo viável.

2.4 Estações de tratamento

Compreende-se que um sistema de abastecimento de água deve fornecer à população água potável. O tratamento que transforma a água bruta em água potável é feito nas estações de tratamento de água (ETA) (DI BERNARDO, 1993).

Conforme Di Bernardo (1993), os principais processos do tratamento utilizados são o micro-peneiramento, a aeração, a coagulação, a floculação, a decantação, a filtração, a desinfecção, o tratamento por contato, o controle de corrosão etc.

Usualmente, água coletada de mananciais subterrâneos requerem menos processos de tratamento do que a água coletada superficialmente, devido à turbidez da água (TSUTIYA, 2006).

2.5 Reservatórios de distribuição

Yassuda (1978) pontua que os reservatórios de distribuição são dimensionados para atender a população independentemente da variação de vazão que chega no sistema, assegurar uma reserva de água para combate à incêndios, manter uma reserva para atender as condições de emergência e assegurar a pressão na rede de distribuição de água.

Tsutiya (2006) completa que de acordo com a localização no terreno, existem quatro tipos de reservatórios: reservatório enterrado, semienterrado, apoiado e elevado. O reservatório elevado só é utilizado quando as condições topográficas não conseguem oferecer pressão mínima às redes de distribuição, logo é necessário aumentar a cota do nível d'água. Os custos relacionados ao reservatório elevado são bem maiores que os outros tipos de reservatório.

2.6 Estações Elevatórias

Quando não é possível transportar a água até o destinatário final por meio de gravidade, são empregados sistemas que introduzem energia no escoamento, permitindo vencer as dificuldades criadas pelo relevo do território. Sendo assim, as estações elevatórias são elementos de grande importância em um sistema de abastecimento de água, podendo ser utilizadas na captação, nas adutoras, no tratamento e nas redes de distribuição de água (GOMES, 2002).

Com o avanço de tecnologias eletromecânicas, a utilização de estações elevatórias em um sistema vem sendo cada vez mais viável, facilitando a resolução de variados problemas (TSUTIYA, 2006). O mesmo autor ainda destaca que a existência de tubulações capazes de resistir à altas pressões, a disponibilidade crescente de energia elétrica e o aperfeiçoamento de bombas são algumas das razões que tornam a utilização de um conjunto bomba-motor mais acessível.

Todavia, usufruir de estações elevatórias intensivamente tem aumentado o gasto de energia elétrica, sendo um dos principais custos operacionais de uma prestadora de serviços de abastecimento. Exemplificando, de acordo com o SEMAE/OP, concessionária de água da cidade de Ouro Preto - MG, os gastos de apenas uma Estação Elevatória com energia elétrica é de aproximadamente R\$95.000,00 mensais.

2.7 Redes de distribuição

A rede de distribuição é a parte do sistema de abastecimento destinada a levar a água até o consumidor final, de forma contínua, em quantidade, qualidade e pressão adequada. Tsutiya (2006) elenca que a rede de distribuição é o componente de maior custo na implementação, compreendendo mais de 50% do valor total da obra. Por isso, cabe especial atenção em seu dimensionamento.

Além disso, esse autor ainda expõe que as redes de distribuição não estão sob vigilância durante sua concepção. Como outros elementos do sistema de abastecimento estão visíveis, desenterrados permanentemente, as equipes responsáveis pela obra concentram sua atenção ininterruptamente durante a implantação. O mesmo não pode ser dito da execução das redes. O erro na implantação de uma rede de distribuição requer uma manutenção mais complicada que nos outros componentes do sistema, visto que as tubulações são de difícil acesso.

Existem três tipos de redes de distribuição. As redes ramificadas, as redes malhadas e as mistas, que serão detalhadas a seguir.

2.7.1 Rede ramificada

Classifica-se a rede como ramificada quando o escoamento se dá por uma tubulação principal, alimentado por uma estação elevatória ou um reservatório, e desse duto são feitas ramificações diretas para os condutos secundários (GOMES, 2002). O sentido da vazão é conhecido em todos os trechos, como explicitado na Figura 2.

A utilização de rede ramificada é especificamente recomendada para sistemas de abastecimento pequenos. Como todas as ramificações são derivadas de apenas uma tubulação, um defeito na rede interrompe o abastecimento de água de toda a rede, inviabilizando sua utilização em centros urbanos (BAPTISTA, 2003).

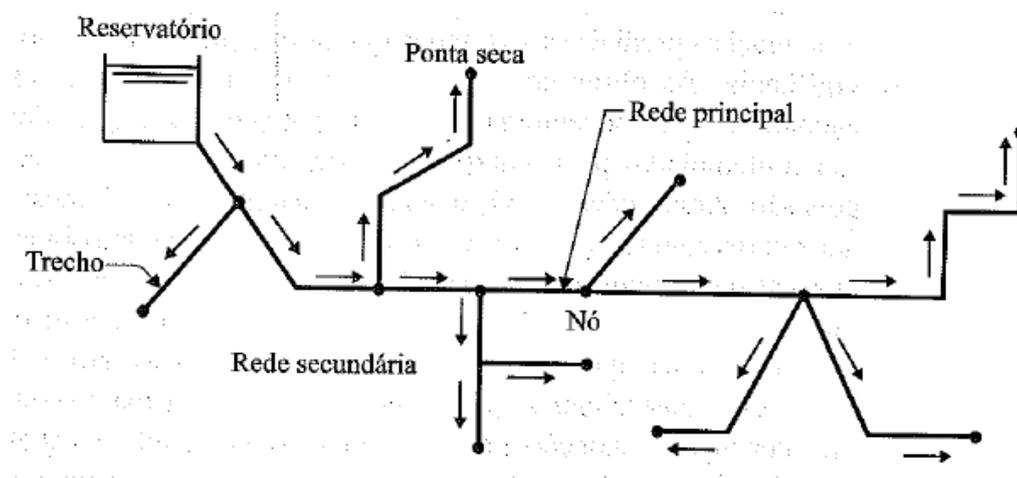


Figura 2: Esquema de uma rede ramificada. As setas indicam o sentido da vazão (TSUTIYA, 2006).

2.7.2 Rede malhada

As redes malhadas são caracterizadas por tubulações que formam anéis, garantindo o abastecimento de qualquer ponto da rede por mais de um conduto. Isso permite maior flexibilização para satisfazer a demanda e a manutenção da rede sem

interromper o abastecimento (SILVESTRE, 1979). Este tipo de rede é exemplificado pela Figura 3.

Para dimensionamento, são utilizados os mesmos conceitos hidráulicos de condutos forçados, como a equação de Bernoulli (Equação 2.1) e fórmula para cálculo das perdas de carga de Darcy-Weisbach (Equação 2.2) e Hazen-Williams (Equação 2.3).

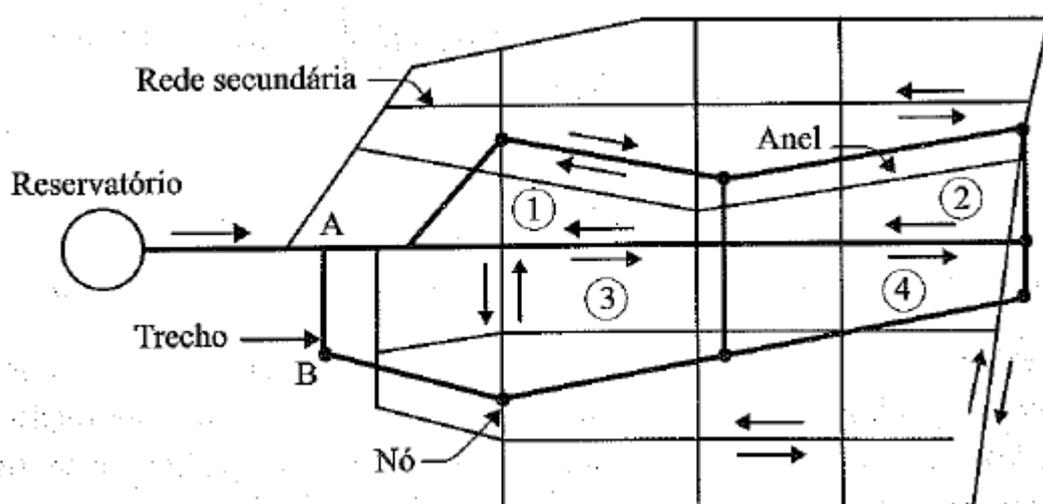


Figura 3: Esquema de uma rede malhada com quatro anéis (TSUTIYA, 2006).

2.7.3 Rede mista

Por fim, têm-se as redes mistas, que são associações entre as redes ramificadas e malhadas (GOMES, 2002). Ela está representada pela Figura 4.

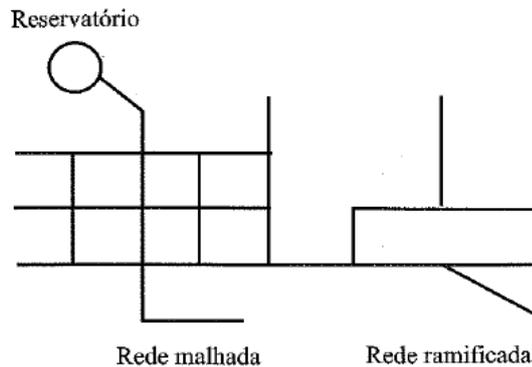


Figura 4: Esquema de uma rede mista, associando as redes malhadas e ramificadas (TSUTIYA, 2006).

2.8 Setorização e subsetorização

Cada zona de tubulações de água que levam o fluido até o consumidor final é chamada de setor. Um setor pode ser abastecido direto por uma adutora do sistema ou por um reservatório (BABBITT, 1973).

Esses setores são definidos devido, principalmente, às condições topográficas locais e os consumidores da área a ser atendida. Com isso, torna-se possível definir os locais dos reservatórios, a capacidade, a população que será atendida por ele e as dimensões da malha.

Cada setor pode ter uma ou mais zonas de pressão, também dependente da topografia da área, essas zonas subdividem-se em zonas de altas pressões e baixas pressões (TSUTIYA, 2006).

Pela norma ABNT NBR 12.218/1994, para o dimensionamento de redes, deve-se atender a pressão mínima de 100 kPa (1,02 kgf/cm²) e máxima de 500 kPa (5,1 kgf/cm²). Para atender ao limite de pressão, a rede deve ser dividida em zonas de pressão. A zona alta deve ser abastecida por um reservatório elevado ou uma estação elevatória. As zonas médias e baixas devem ser abastecidas por um reservatório apoiado, enterrado ou semienterrado, conforme é mostrado na Figura 5.

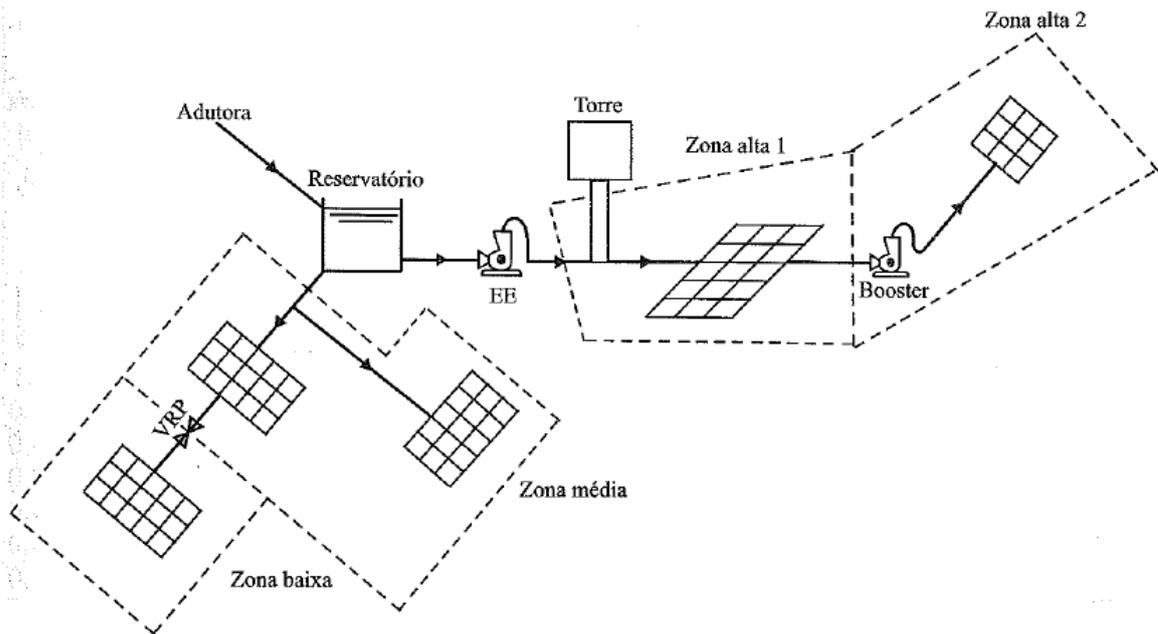


Figura 5: Esquema de abastecimento de água atendendo a diferentes setores e pressões (TSUTIYA, 2006).

Nas zonas onde não é possível estabelecer-se naturalmente dentro da faixa de pressão proposta pela ABNT NBR 12.218/1994, deve-se utilizar artifícios para garantir o abastecimento satisfatório: *boosters* e estações elevatórias para pressões baixas e válvulas redutoras de pressão para pressões altas.

A setorização ou ressetorização busca o equilíbrio das pressões no sistema, buscando a eliminação máxima de perdas hidráulicas e a mínima utilização de energia externa ao sistema.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do trabalho, contou-se com o apoio do Serviço Municipal de Água e Esgoto de Ouro Preto (SEMAE/OP), obtendo-se dados do distrito de Cachoeira do Campo. Além disso, todos os equipamentos utilizados em campo são do Laboratório de Hidráulica da Escola de Minas da UFOP.

3.1 Área de estudo

A cidade de Ouro Preto está localizada a aproximadamente 80 km a sudeste da capital de Minas Gerais, Belo Horizonte. De acordo com o IBGE, a cidade tem 70.281 habitantes num território de 1.241,87 km², dado do censo de 2010.

Cachoeira do Campo é um dos distritos de Ouro Preto, e sua localização pode ser vista na Figura 6. Tem uma área total de 51,91 km² e possui aproximadamente 9.000 habitantes. Se encontra a 18 km da sede do município.



Figura 6: Localização do distrito de Cachoeira do Campo no município de Ouro Preto (OURO PRETO WORLD, 2019).

3.2 Mapeamento e zoneamento dos setores de distribuição de água do distrito

Primeiramente, verificou-se com o SEMAE/OP as zonas de abrangência de cada reservatório do distrito e os projetos de implantação das redes de distribuição. Verificou-se que não existia nenhum documento ou mapa com essas informações. Assim, foi feita a coleta de informações com os responsáveis técnicos da concessionária, juntando a experiência e o conhecimento de alguns profissionais para se estabelecer as regiões que cada reservatório abrangia.

Depois da coleta das informações, utilizou-se o Google Earth para se traçar cada setor de distribuição. Os setores coletados foram nomeados com o nome de cada reservatório. São eles: Metalúrgicos, Soledade, Dionísio, Tombadouro, Urbaville, Alto Beleza, Recanto dos Pássaros, Alto do CAIC, Cruzeiro, Vila Alegre, Alta Vila e Aldebaran. Vale salientar que esses setores não abrangem toda a área do distrito e que existem alguns setores, não tratados no trabalho, em que o abastecimento é particular com poços privados, e algumas áreas não têm um setor bem estabelecido, com a alimentação das redes vindo diretamente da adutora.

3.3 Mapeamento das redes de distribuição de água

Os setores seguintes foram escolhidos devido à menor complexidade da rede, ao conhecimento dos funcionários da concessionária, ao abastecimento direto pelo reservatório, à idade dos setores e aos problemas encontrados neles.

3.3.1 Setor do Tombadouro

O setor do Tombadouro, abastecido por um reservatório de capacidade de 55.000 litros, é um dos mais antigos do distrito. Assim, não existe nenhum dado sobre seu funcionamento e sua rede a não ser a experiência e conhecimento dos funcionários da SEMAE/OP.

No dia 26 de novembro de 2019, foi realizado um acompanhamento com a concessionária para se verificar o diâmetro das tubulações e onde estão localizadas.

Com o uso do *software* AutoCAD, desenhou-se a tubulação, com suas distâncias e equipamentos, como joelhos, tês e registros para o cadastramento das informações obtidas em campo.

3.3.2 Setores do Soledade, Urbaville e Metalúrgicos

Como os setores do Soledade, Urbaville e Metalúrgicos tratam-se de setores mais novos, obtiveram-se as plantas dos projetos de implantação das redes de distribuição com o SEMAE/OP. Além disso, verificou-se também em campo as mudanças entre o projeto e a execução das malhas.

Novamente recorreu-se ao *software* AutoCAD, para o desenho da tubulação e seus acessórios, tais como joelhos, tês, registros e válvulas redutoras de pressão e assim registrar as informações obtidas em campo.

3.4 Verificação das pressões nos setores

Para a verificação dos setores, são necessários dados como: a população atendida por cada setor, as pressões disponíveis dentro das malhas e a capacidade útil do reservatório.

Para se verificar as pressões dentro dos setores, utilizou-se um manômetro graduado de 0,1 em 0,1 kgf/cm² e um fundo de escala de 10 kgf/cm². Esse equipamento foi acoplado a um registro de esfera de ½".

Sendo inviável realizar furos na rede de distribuição, focou-se em realizar tomadas de pressão em pontos estratégicos da malha, geralmente próximo às saídas do reservatório e nos lugares mais distantes e com maior variação de cota. Porém, visto que a altura manométrica só poderia ser aferida em saídas já existentes, ela só foi coletada em pontos que seriam possíveis sua medição sem danos à rede, geralmente dentro de residências em construção ou onde houvesse a possibilidade de entrada com o equipamento.

Foram realizadas duas medidas no setor do Urbaville, uma próxima e uma distante do reservatório, uma no setor do Tombadouro, Soledade e Metalúrgicos, todas essas distante do reservatório, uma vez que a altura manométrica em pontos próximos ao reservatório pode ser calculada com menor probabilidade de erros.

A medição foi feita com o manômetro previamente descrito, acoplado a um registro para evitar possíveis danos ao equipamento devido às altas pressões. A montagem está exemplificada na Figura 7.



Figura 7: Exemplo de instalação do manômetro acoplado com registro na rede de distribuição de água do distrito (AUTOR, 2019).

Para o cálculo da pressão teórica, fez-se o levantamento do número de residências, tanto em campo quanto pelo Google Earth. Ademais, trabalhos de caracterização dos reservatórios realizados anteriormente com a concessionária foram utilizados como fonte para encontrar a cota do máximo nível d'água dos setores. Os dados utilizados são apresentados na Tabela 3. A vazão da tubulação foi estimada quantificando o número aproximado de residências e lotes na região abastecida por ela. Presumiu-se 3,3 habitantes por residência, média adotada pelo IBGE. Além disso, estimou-se um consumo de 250 litros por habitante por dia, média calculada pelo SEMAE/OP.

Tabela 3: Dados dos reservatórios de distribuição de água utilizados para o cálculo da altura manométrica (VALENTE, 2018).

Reservatório	Volume (l)	SAÍDA		Cota da base (m)	Cota do topo (m)
		Material	Diâmetro (mm)		
Urbaville	165.000	Ferro fundido	60	1.165	1.178
Metalúrgicos	200.000	PVC	50 e 100	1.136	1.147
Tombadouro	55.000	Ferro fundido	80	1.115	1.137
Soledade	45.000	Aço galvanizado	75	1.128	1.133,8

Devido à dificuldade de coleta de dados em campo e pelo valor ser desprezível em tubulações maiores do que 4.000 m, como dito anteriormente, desconsiderou-se a perda de carga localizada em todas as redes.

Assim, com o mapa da rede, o número de habitantes e o desnível da linha piezométrica, calculou-se a pressão teórica para comparação com a pressão encontrada em campo.

Além disso, para descobrir as pressões em pontos de interesse da rede, como nos maiores desníveis e nas maiores distâncias, utilizou-se apenas a modelagem matemática, com a perda de carga calculada pela Equação 2.3 e a pressão calculada pela diferença de nível menos a perda de energia acumulada ao longo da tubulação.

3.4.1 Setor Tombadouro

Para analisar os limites de pressão no setor Tombadouro, percorreu-se a rede até um lote vago pertencente a um dos funcionários da SEMAE/OP, na localização mostrada na Figura 8. Como não existiam pontos para acoplar o manômetro com o registro, realizou-se um aquecimento de outro tubo PVC conectado a um joelho com rosca, sendo possível então conectar o equipamento, conforme mostrado na Figura 9.

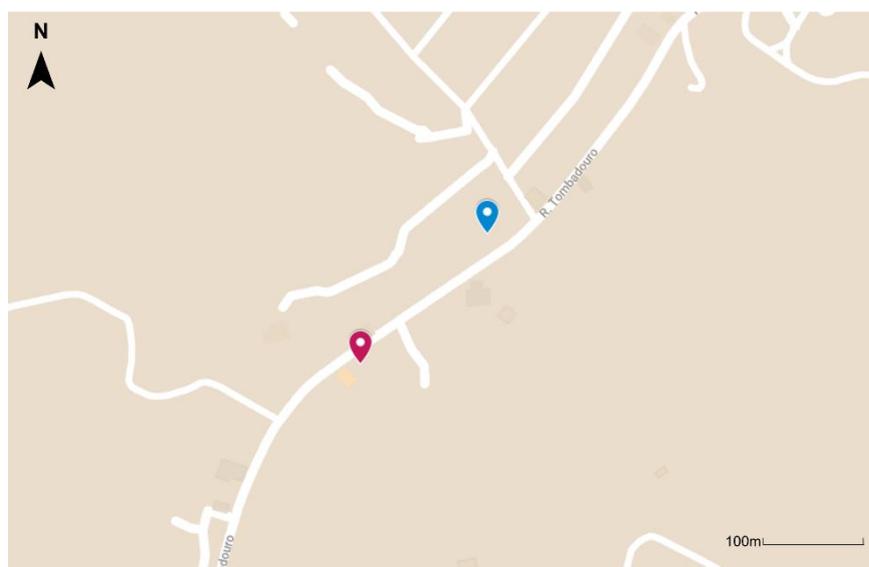


Figura 8: Localização do reservatório Tombadouro, em azul e da tomada de pressão em vermelho (GOOGLE MAPS, 2019).



Figura 9: Aquecimento de um tubo PVC, para conexão com a saída da rede. O manômetro foi acoplado no Joelho azul rosqueado (AUTOR, 2019).

Além disso, desenhou-se no Google Earth o ponto mais distante e com maior declividade da rede, mostrado na Figura 10. O reservatório, de acordo com dados do SEMAE/OP, tem altura total de 22 m. Com todos os dados obtidos, calculou-se a pressão teórica para verificar se estava dentro dos parâmetros da ABNT NBR 12.218/1994.

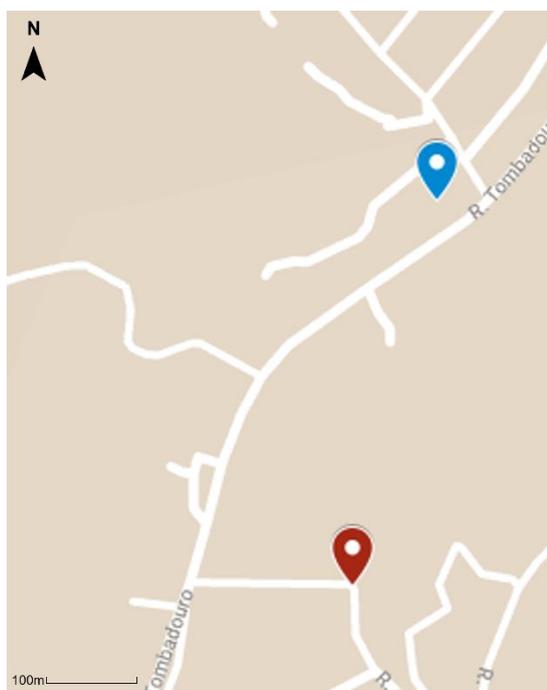


Figura 10: Localização do reservatório Tombadouro, em azul e do ponto para estimar a pressão teórica em vermelho (GOOGLE MAPS, 2019).

Vale ressaltar, que devido às poucas informações encontradas e a pouca relevância destas, as perdas de carga localizadas foram desprezadas.

3.4.2 Setor Soledade, Urbaville e Metalúrgicos

Para analisar a pressão no setor Soledade, utilizou-se um registro localizado em uma plantação de feijão, com a permissão do proprietário do terreno, com a localização evidenciada na Figura 11. Para o cálculo da pressão teórica, desprezou-se a perda de carga, devido ao empreendimento ter pouquíssimos consumidores, fazendo a vazão ficar próxima de zero.

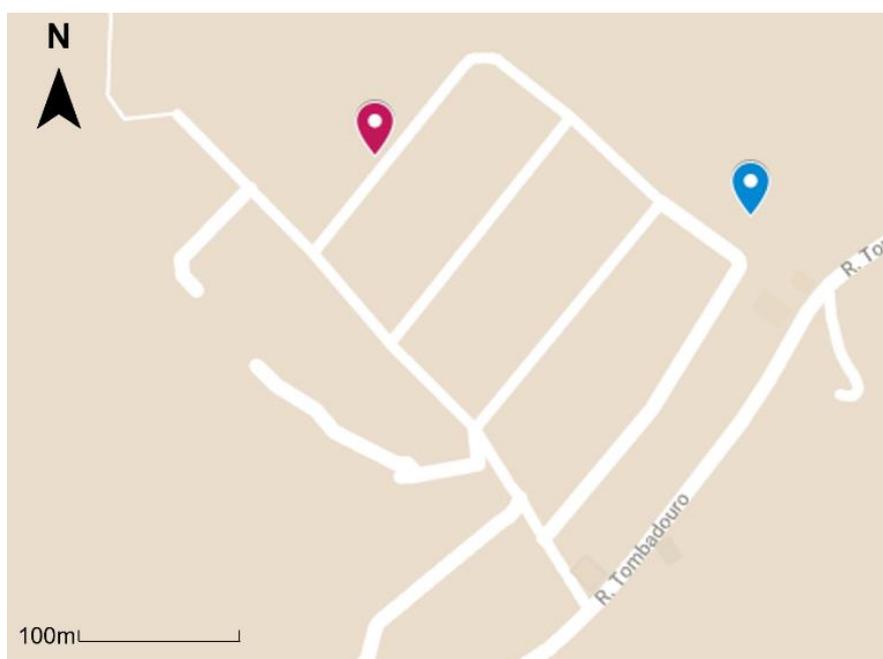


Figura 11: Localização do reservatório Soledade, em azul e da tomada de pressão em vermelho (GOOGLE MAPS, 2019).

Ademais, um ponto com maior diferença de cota foi adicionado no Google Earth, mostrado na Figura 12. Com o perfil da tubulação, calculou-se pela diferença de nível e a perda de carga a pressão teórica no local. Simulou-se que os 167 lotes do empreendimento consumirão água.

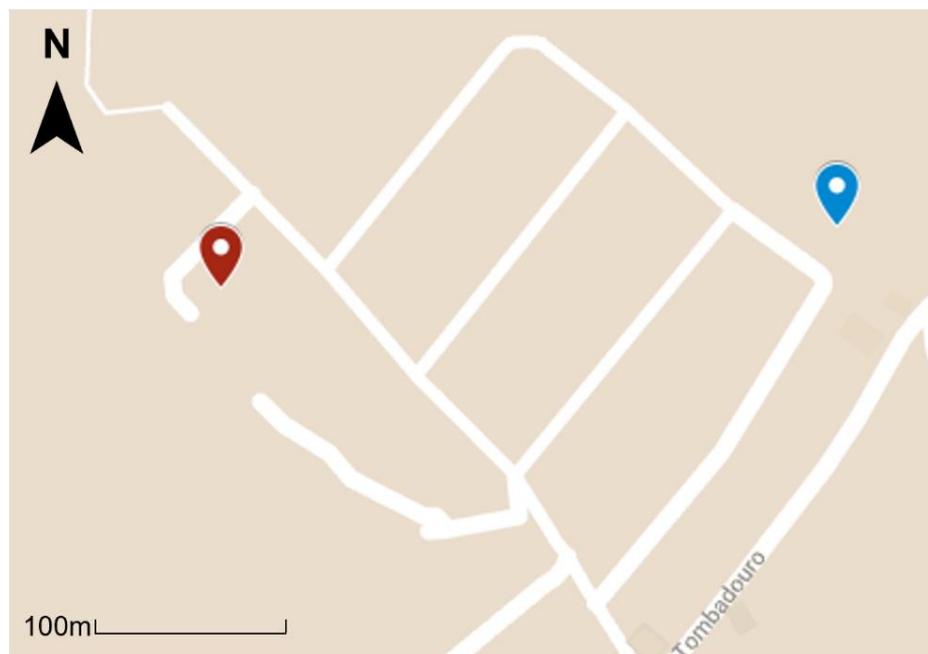


Figura 12: Localização do reservatório Soledade, em azul e do ponto para estimar a pressão teórica em vermelho (GOOGLE MAPS, 2019).

No setor Urbaville, conforme exposto na Figura 13, as tomadas de pressão foram feitas em uma edificação em construção, próxima ao reservatório e em um registro localizado na entrada de um lote vago, mais distante da reservação. Para se calcular a pressão teórica, a perda de carga foi desprezada, devido a poucos consumidores no local. Como já existiam pontos próximos e distantes da saída d'água, não foi simulado nenhum outro ponto. Até porque na parte com menor cota do setor, existe uma válvula redutora de pressão.

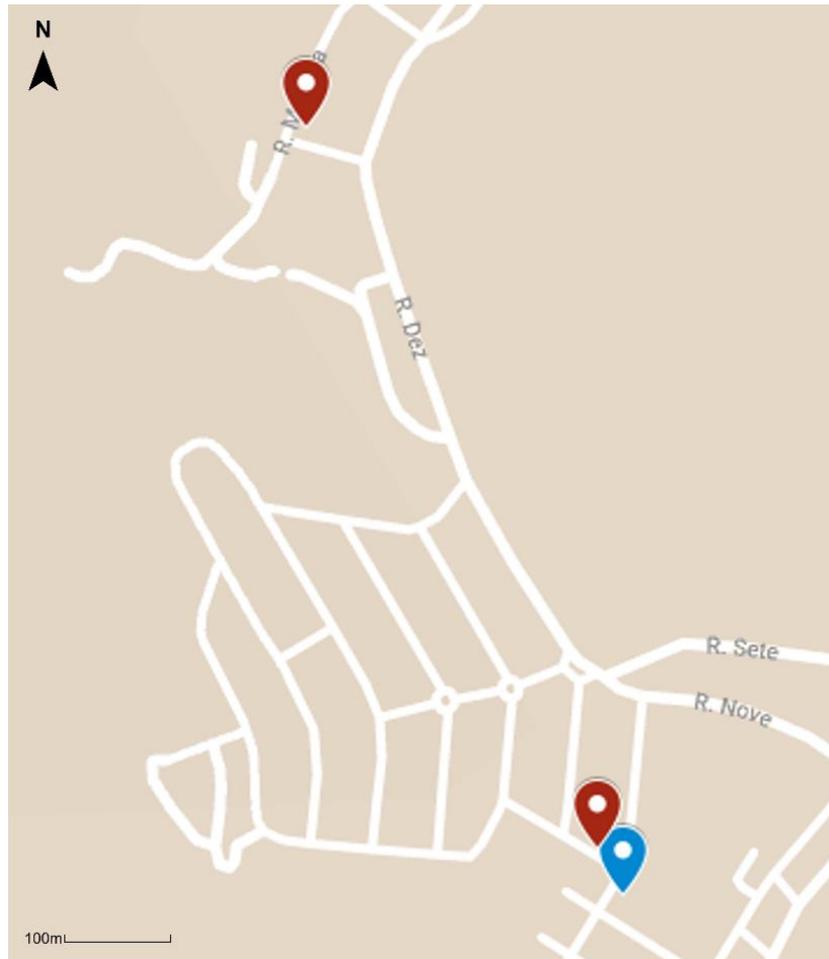


Figura 13: Localização do reservatório Urbaville, em azul e das tomadas de pressão em vermelho (GOOGLE MAPS, 2019).

No Metalúrgicos, a tomada de pressão foi feita em uma edificação em construção. Sua localização pode ser vista na Figura 14. Para verificar o comportamento da rede na zona baixa, que não está em funcionamento, utilizou-se o Google Earth para se determinar o ponto mais baixo do setor, sua posição está demarcada na Figura 15. Traçaram-se os dois perfis e foi realizada a coleta dos dados.

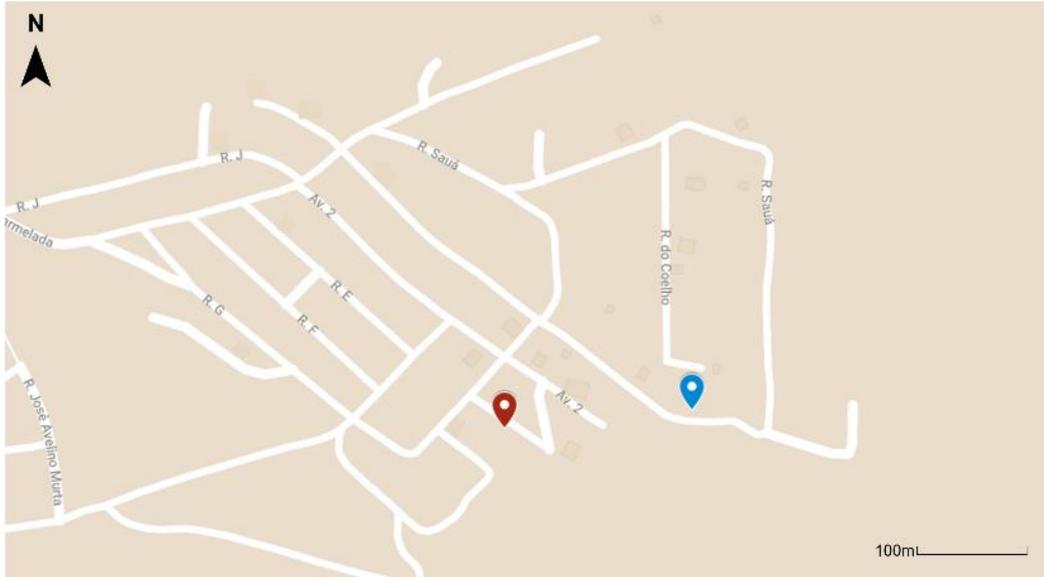


Figura 14: Localização do reservatório Metalúrgicos, em azul e da tomada de pressão em vermelho (GOOGLE MAPS, 2019).



Figura 15: Localização do reservatório Metalúrgicos, em azul e do ponto para estimar a pressão teórica em vermelho (GOOGLE MAPS, 2019).

3.5 Verificação da viabilidade de utilizar o reservatório Soledade para atender o setor Tombadouro

O reservatório Tombadouro é um dos reservatórios mais antigos de Cachoeira do Campo. Ele foi construído em concreto armado e hoje apresenta grandes patologias, como armaduras aparentes e corroídas. Além disso, existem diversos problemas de funcionamento, justamente pela idade e pela falta de manutenção. Por isso, foi avaliado se o reservatório Soledade poderá ser capaz de atender totalmente o empreendimento para o qual ele foi construído e ao setor abastecido pelo reservatório Tombadouro.

Primeiramente, simulou-se no Google Maps o caminho que a tubulação percorreria do reservatório Soledade até o fim do setor Tombadouro. O caminho utilizado foi o já existente do setor, em ferro fundido, conectado à tubulação de PVC do reservatório Soledade. Tendo o perfil da tubulação desenhado, calculou-se a perda de carga, dividida em três trechos, com três diâmetros diferentes utilizando a Equação 2.3. Após o cálculo, descobriu-se a pressão local.

Com o número de lotes do loteamento Soledade, obteve-se a vazão máxima diária que o reservatório teria que suportar. Com esse valor e o número de residências abastecido pelo Tombadouro, descobriu-se a vazão que o reservatório Soledade deveria aguentar.

Devido ao fato de o SEMAE/OP não possuir catalogado nenhum dado sobre a quantidade de água que entra nos reservatórios durante o dia, não é possível verificar com certeza a capacidade do reservatório para atender os dois setores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Mapeamento e zoneamento dos setores de distribuição de água do distrito

O mapa contendo cada setor de abastecimento encontra-se representado no Apêndice A. Pode-se observar que o mapa realizado em conjunto com o SEMAE/OP é bem abrangente, onde quase todo o distrito é abastecido por essa setorização. Existem alguns locais, como o conjunto popular do Alto do CAIC, que devido à pouca pressão exercida pelo reservatório no local, são abastecidos diretamente pela adutora local. Existe ainda o interesse da concessionária da possibilidade de ligação dessa região com o reservatório Urbaville.

A região setorizada pelo reservatório Aldebaran também é abastecida hoje diretamente pela adutora. O reservatório está desativado no momento, por causa de defeito na entrada de água.

Os mapas contendo cada rede de distribuição estão localizados no Apêndice B. No setor Soledade, a tubulação de saída do reservatório é de 75 mm. Para evitar possíveis danos na rede, ela foi instalada embaixo das calçadas, atravessando a rua apenas em alguns pontos. O reservatório é separado em dois: o superior para abastecer a zona alta do loteamento e o inferior para a zona baixa. A rede de distribuição é mista, tendo apenas a rede malhada na zona baixa do empreendimento, com apenas um anel. Além disso, pela planta do loteamento, observaram-se 167 lotes no local.

No setor Tombadouro, observou-se também uma rede ramificada. Essa rede sai do reservatório com 80 mm, em ferro fundido, e abastece a Rua Tombadouro e suas pequenas derivações. Apenas na rua Sagrada Família ramifica-se uma tubulação de 25 mm, que segue até o final dela. A rede termina na Rua Santo Antônio. O reservatório apresenta problemas na boia, portanto a vazão nele é ininterrupta. Com isso, o desperdício de água acontece constantemente. O registro que abastece o reservatório é deixado parcialmente aberto, contando com a experiência dos funcionários do SEMAE/OP para manejá-lo.

No setor Urbaville, diversas diferenças de implantação e projeto foram notadas. No projeto, documentado no Anexo I, a rede malhada de 60 mm se posicionava

sempre no meio das ruas. Na implantação, notou-se uma rede ramificada, passando sob as calçadas. A rede segue pela rua Dez e termina na rua Mariana, onde começa o abastecimento pelo Reservatório do Cruzeiro.

No Metalúrgicos, a rede, também ramificada, é dividida em 50 mm e 100 mm. A tubulação de 50 mm abastece a parte alta do distrito, como mostrada no mapa do Apêndice B.3 e a tubulação de 100 mm abastecerá a parte baixa do distrito. Isto se dá porque notaram-se altas pressões na zona baixa do distrito. Assim, a tubulação, como mostrada no mapa, está construída, mas a zona é alimentada pela rede ligada diretamente à uma adutora.

As regiões restantes não apresentadas no mapa são abastecidas diretamente por adutoras, possuem distribuição de água própria, com poços e reservatórios privados, ou não foram mapeadas neste trabalho.

4.2 Verificação das pressões para os setores

Os subtópicos a seguir apresentam os dados de pressão coletados em campo de cada setor, bem como o perfil da tubulação.

4.2.1 Setor Tombadouro

A pressão coletada em campo atingiu o valor de 1,95 kgf/cm², conforme mostrado na Figura 16.



Figura 16: Medida de pressão em um ponto da rede do reservatório Tombadouro (AUTOR, 2019).

Com os dados coletados em campo, foi possível fazer o traçado do perfil da tubulação, obtendo o seu comprimento e suas cotas iniciais e finais. O comprimento total da tubulação é de 206 m, a cota inicial é de 1.115 m e a final é de 1.108 m. O perfil é mostrado na Figura 17.

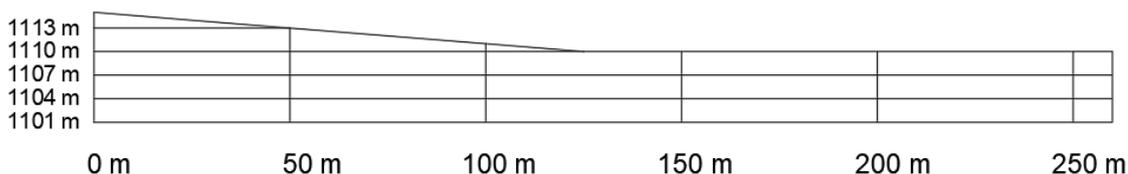


Figura 17: Perfil da tubulação da base do reservatório Tombadouro até o ponto de tomada de pressão em campo (AUTOR, 2019).

Analiticamente, com os dados obtidos mostrados na Tabela 4, utilizando a fórmula de Hazen-Williams (Equação 2.3) obteve-se um valor de pressão no ponto de 2,9 kgf/cm².

Tabela 4: Dados obtidos para o cálculo da pressão teórica no ponto de pressão (AUTOR, 2019).

SETOR TOMBADOURO			
Nº de residências	72	Cota do topo do reservatório (m)	1.137
L (m)	206	Diâmetro (mm)	80
Cota de saída (m)	1.115	C Hazen-Williams (Ferro fundido 20 anos)	105
Cota final (m)	1.108		

Tal discrepância no comparativo entre as pressões teóricas e em campo pode estar atrelado a uma possível perda de água na tubulação, devido às rachaduras, trincas e conexões com defeito, diminuindo a pressão da rede. Além disso, dada a idade do material e que a rede é composta, é possível que uma deposição de ferro tenha diminuído a seção transversal da tubulação, aumentando muito a perda de carga contínua.

No fim da tubulação abastecida pelo reservatório, foi estimado um comprimento total de 731 m e uma cota final de 1.090 m, como o perfil mostrado pela Figura 18. Com os dados mostrados na Tabela 5, e utilizando-se a fórmula de Hazen-Williams (Equação 2.3) obteve-se um valor de pressão no ponto de 1,51 kgf/cm².

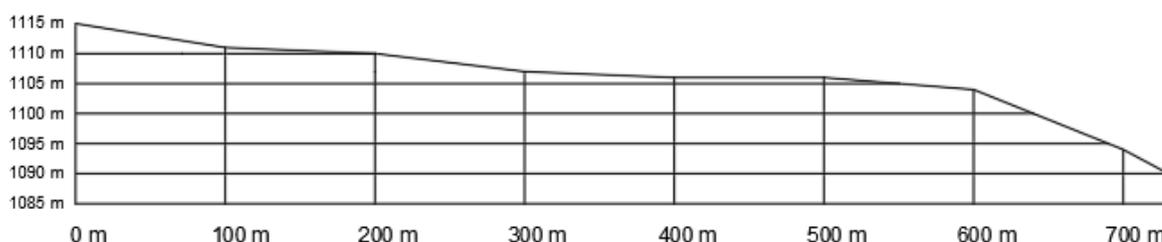


Figura 18: Perfil da tubulação da base do reservatório Tombadouro até o fim da rua Sagrada Família (AUTOR, 2019).

Tabela 5: Dados obtidos para o cálculo de pressão teórica no fim da rua Sagrada Família (AUTOR, 2019).

SETOR TOMBADOURO			
Nº de residências	72	Cota do topo do reservatório (m)	1.137
L no 1º trecho (m)	550	Diâmetro do 1º trecho (mm)	80
L no 2º trecho (m)	181	Diâmetro do 2º trecho (mm)	25
Cota de saída (m)	1.115	C Hazen-Williams (Ferro fundido 20 anos)	105
Cota final (m)	1.090		

Vale ressaltar a grande perda de energia nos 181 m da tubulação de 25 mm de diâmetro, por volta de 3,16 kgf/cm². O diâmetro de 25 mm é muito pequeno para uma rede de distribuição, aumentando muito a velocidade do fluido e sua perda de energia.

Sendo assim, prevendo a perda de pressão obtida no comparativo anterior, infere-se que a pressão no local está abaixo dos limites estabelecidos pela norma ABNT NBR 12.218/1994. A troca da tubulação por uma de maior diâmetro ou uma de outro material resolveria a questão.

4.2.2 Setor Soledade

A pressão coletada em campo atingiu um valor de 4,4 kgf/cm², conforme observado na Figura 19.



Figura 19: Medida de pressão em um ponto da rede do reservatório Soledade (AUTOR, 2019).

Com os dados obtidos em campo, traçou-se o perfil da tubulação representado na Figura 20. Com um desnível de 38 m da saída do reservatório e um comprimento de 350 m. Como o setor Soledade contém no momento pouquíssimos usuários, a vazão é muito pequena. Sendo assim, a perda de carga pode ser desprezada. Com os valores mostrados na Tabela 6, calculou-se, com a equação de Bernoulli (Equação 2.1) uma pressão de 4,38 kgf/cm².

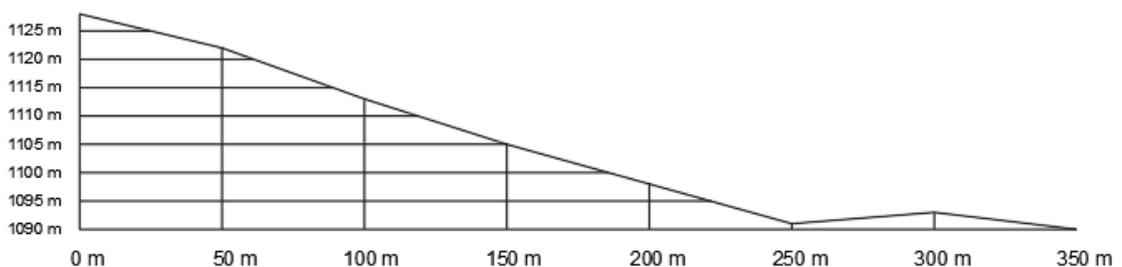


Figura 20: Perfil da tubulação da base do reservatório Soledade até o ponto de tomada de pressão em campo (AUTOR, 2019).

Tabela 6: Dados obtidos para o cálculo de pressão teórica no ponto da tomada de pressão de setor Soledade (AUTOR, 2019).

SETOR SOLEDADE			
Cota do topo do reservatório (m)	1.113,8	Cota de saída (m)	1.128
		Cota final (m)	1.090

Nota-se grande semelhança entre os valores obtidos em campo e através dos cálculos teóricos. Como o valor foi muito próximo do máximo estabelecido pela norma e existem pontos de menor cota no setor, um outro ponto com cota menor em comparação com o reservatório foi utilizado, o perfil está mostrado na Figura 21. A tubulação nesse caso tem 507 de comprimento e um desnível de 53 m. Os dados para calcular a pressão teórica estão evidenciados na Tabela 7.

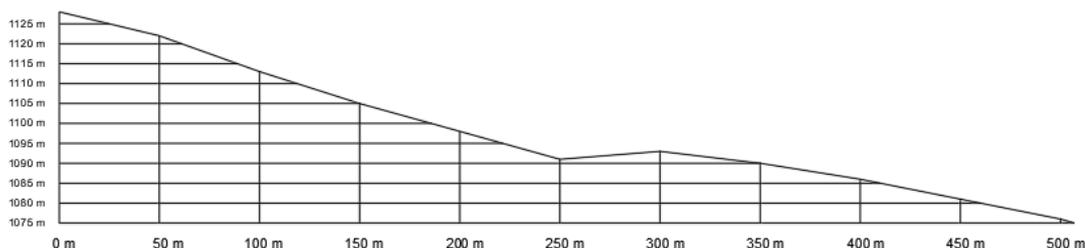


Figura 21: Perfil da tubulação da base do reservatório Soledade até o ponto (AUTOR, 2019).

Tabela 7: Dados obtidos para o cálculo de pressão teórica no ponto do Setor Soledade (AUTOR, 2019).

SETOR SOLEDADE			
Nº de residências	167	Cota do topo do reservatório (m)	1.113,8
L (m)	507	Diâmetro do 1º trecho (mm)	75
Cota de saída (m)	1.115	C Hazen-Willians (aço galvanizado novo)	125
Cota final (m)	1.075		

O valor obtido teoricamente foi de 5,74 kgf/cm². Portanto esse resultado leva a crer que a pressão no local é superior à estabelecida pela ABNT NBR 12.218/1994, o

que pode acarretar danos à tubulação. Assim sendo, deve-se instalar válvulas redutoras de pressão na rede.

4.2.3 Setor Metalúrgicos

A pressão medida em campo no setor foi de 3,6 kgf/cm², conforme observado na Figura 22.



Figura 22: Medida de pressão em um ponto da rede do reservatório Metalúrgicos (AUTOR, 2019).

A partir dos dados coletados e do Google Earth, traçou-se o perfil da tubulação, que tem 171 m de comprimento e um desnível da base do reservatório ao ponto mais baixo de 23 m. O perfil pode ser visualizado na Figura 22.

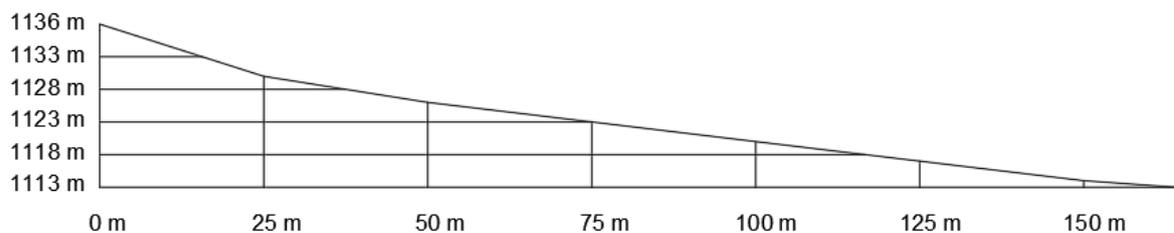


Figura 23: Perfil da tubulação da base do reservatório Metalúrgicos até o ponto de tomada de pressão em campo (AUTOR, 2019).

Calculou-se com os dados evidenciados na Tabela 8 a pressão teórica, obtendo um resultado de 3,4 kgf/cm². Os dados mostram uma pequena redução de pressão, pouco significativa.

Tabela 8: Dados obtidos para o cálculo de pressão teórica no ponto da tomada de pressão de setor Metalúrgicos (AUTOR, 2019).

SETOR METALÚRGICOS			
Nº de residências	70	Cota do topo do reservatório (m)	1.147
L (m)	171	Diâmetro do 1º trecho (mm)	50
Cota de saída (m)	1.136	C Hazen-Willians (PVC)	140
Cota final (m)	1.113		

Ilustrou-se o perfil do reservatório até o ponto final da rede do setor, que pode ser visto na Figura 24. A tubulação tem um comprimento de 746 m e um desnível de 74 m com a base do reservatório. O restante dos dados para o cálculo da pressão é mostrado na Tabela 9.

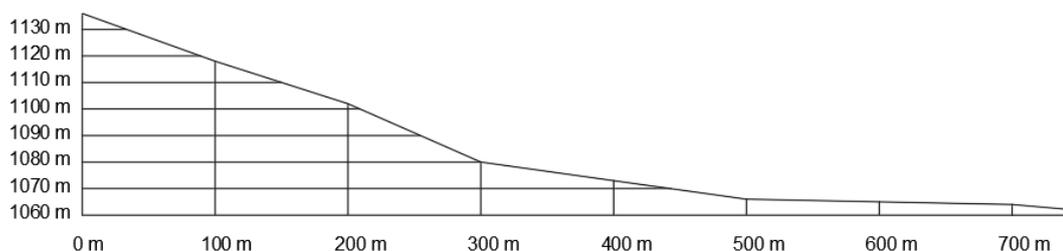


Figura 24: Perfil da tubulação da base do reservatório Metalúrgicos até o ponto (AUTOR, 2019).

Tabela 9: Dados obtidos para o cálculo de pressão teórica no ponto do Setor Metalúrgicos (AUTOR, 2019).

SETOR METALÚRGICOS			
Nº de residências	169	Cota do topo do reservatório (m)	1.147
L (m)	746	Diâmetro do 2º trecho (mm)	100
Cota de saída (m)	1.136	C Hazen-Willians (PVC)	140
Cota final (m)	1.062		

A pressão calculada foi de 8,47 kgf/cm². Valor muito elevado para uma rede de distribuição. Deixar a rede funcionar com essa pressão danificaria a maioria de seus elementos. Evidencia-se com isso que a decisão de não utilizar a rede diretamente ligada ao reservatório foi correta. Porém, válvulas redutoras de pressão poderiam resolver o problema e deveriam estar previstas em projeto.

4.2.4 Setor Urbaville

As pressões recolhidas em campo foram de 2,45 kgf/cm² no ponto próximo ao reservatório e de 4,00 kgf/cm² no ponto distante conforme mostrado nas Figura 25 e Figura 26.



Figura 25: Medida de pressão no ponto mais próximo ao reservatório Urbaville (AUTOR, 2019).



Figura 26: Medida de pressão no ponto distante do reservatório Urbaville (AUTOR, 2019).

Para calcular a pressão teórica nos pontos coletados foram traçados os perfis das tubulações, ilustrados nas Figura 27 e Figura 28. A tubulação que caminha do reservatório até o ponto próximo a ele tem 50 m de comprimento e um desnível de 10 m. A tubulação que vai até o ponto mais distante tem 883 m e um desnível de 29 m.

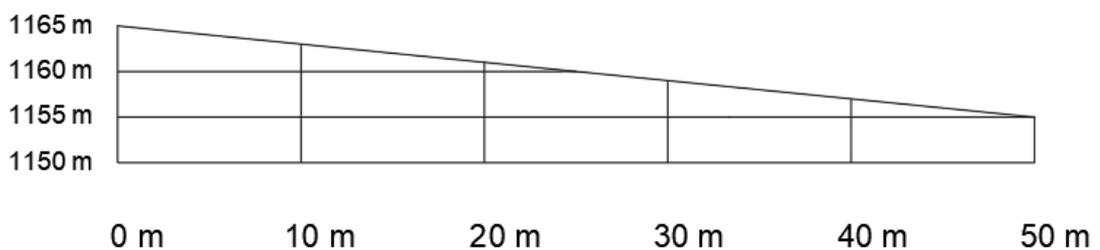


Figura 27: Perfil da tubulação da base do reservatório Urbaville até o ponto de tomada de pressão próximo ao reservatório (AUTOR, 2019).

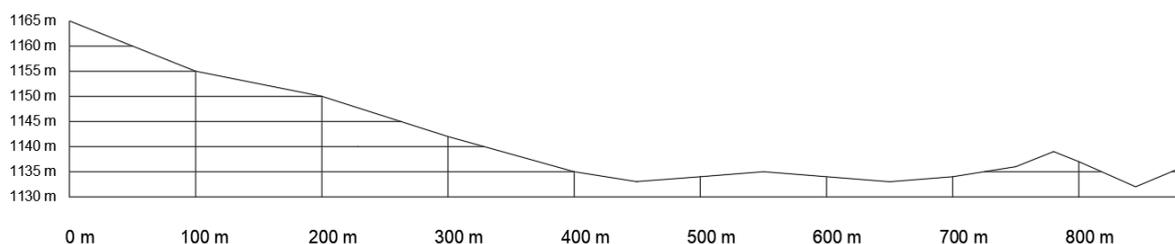


Figura 28: Perfil da tubulação da base do reservatório Urbaville até o ponto de tomada de pressão distante do reservatório (AUTOR, 2019).

A pressão teórica calculada pela diferença de nível entre os dois pontos foi de 2,3 kgf/cm² no ponto da zona baixa e de 4,2 kgf/cm². A diferença encontrada entre a teoria e a realidade está dentro do erro esperado entre o teórico e o real. Isso mostra que as pressões nos pontos do setor estão dentro dos valores limites da NBR.

Pode-se também simular a rede carregada de consumidores. A Tabela 11 e a Tabela 12 mostram os dados do reservatório para o cálculo da pressão teórica.

Tabela 10: Dados obtidos para o cálculo da pressão teórica no ponto próximo ao reservatório do Setor Urbaville. Simulação com o máximo de consumidores previsto em projeto (AUTOR, 2019).

SETOR URBAVILLE			
Nº de residências	370	Cota do topo do reservatório (m)	1.178
L do 1º trecho(m)	50	Diâmetro do 1º trecho (mm)	60
Cota de saída (m)	1.165	C Hazen Williams (ferro fundido)	130
Cota final (m)	1.155		

Tabela 11: Dados obtidos para o cálculo da pressão teórica no ponto distante do reservatório do Setor Urbaville. Simulação com o máximo de consumidores previsto em projeto (AUTOR, 2019).

SETOR URBAVILLE			
Nº de residências	100	Cota do topo do reservatório (m)	1.178
L do 1º trecho(m)	883	Diâmetro do 1º trecho (mm)	60
Cota de saída (m)	1.165	C Hazen Williams (ferro fundido)	130
Cota final (m)	1.136		

Os valores obtidos simulando o consumo total previsto em projeto para o empreendimento foram de 2,13 kgf/cm² no ponto mais próximo e 3,93 kgf/cm². Ambos dentro da norma.

4.3 Verificação da viabilidade de utilizar o reservatório Soledade para atender o setor Tombadouro

Traçou-se a tubulação teórica, que sai do reservatório Soledade e se conecta à rede de distribuição do Tombadouro, seu perfil pode ser visto na Figura 29. A tubulação tem um total de 1.032 m e desnível total de 37 m entre a base do reservatório e o ponto.

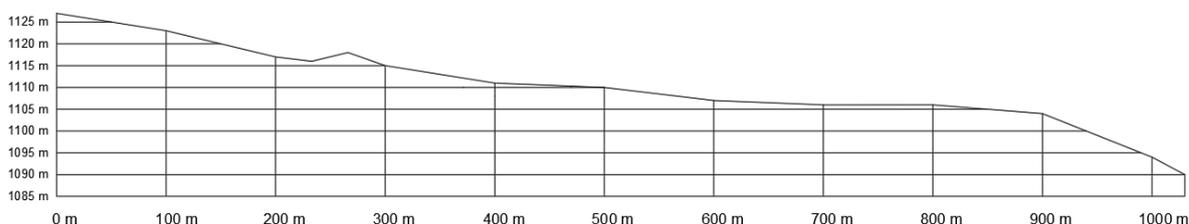


Figura 29: Perfil da tubulação teórica que sai do reservatório Soledade e se conecta à rede de distribuição do Tombadouro (AUTOR, 2019).

Sabe-se que a tubulação pode ser dividida em três trechos. O primeiro trecho de aço galvanizado, com diâmetro de 75 mm. O segundo e o terceiro trechos de ferro fundido, com diâmetros de 80 e 25 mm respectivamente. Os dados para o cálculo da pressão teórica são mostrados na Tabela 12.

Tabela 12: Dados coletados para cálculo de pressão teórica na rede simulada do reservatório Soledade até o fim do setor Tombadouro (AUTOR, 2019).

JUNÇÃO SETORES SOLEDADE E TOMBADOURO			
Nº de residências	72	Cota do topo do reservatório (m)	1.147
L do 1º trecho(m)	301	Diâmetro do 1º trecho (mm)	75
L do 2º trecho (m)	550	Diâmetro do 2º trecho (mm)	80
L do 3º trecho (m)	181	Diâmetro do 3º trecho (mm)	25
Cota de saída (m)	1.136	Cota final (m)	1.090
C Hazen-Williams 1º trecho (PVC)	140	C Hazen Williams 2 e 3º trechos (ferro fundido)	105

O valor da pressão teórica foi de 2,54 kgf/cm². Mesmo com a grande diferença de nível o valor ficou entre os limites de acordo com a norma. Isso acontece principalmente por causa da grande perda de carga que ocorre no trecho 3, devido ao pequeno diâmetro da tubulação. Vale ressaltar que, caso ocorra a junção entre os dois setores, recomenda-se que essa tubulação seja trocada e que seja instalada uma válvula redutora de pressão antes da rua Sagrada Família, garantindo que os números fiquem dentro do limite estabelecido pela ABNT NBR 12.218/1994.

Apenas no loteamento Soledade, quando todos os lotes estiverem ocupados, o consumo diário será de aproximadamente 137.775 l/dia, aproximadamente três vezes a capacidade do reservatório. De acordo com o SEMAE/OP, a adutora que o abastece é capaz de abastecer esse volume diariamente. A adutora que abastece o reservatório é a mesma adutora que abastece o reservatório do Tombadouro, que tem o consumo diário de aproximadamente 57.750 l/dia.

Sendo assim, como a adutora é capaz de atender os dois reservatórios e que as pressões teóricas no sistema estão dentro da norma, pode-se dizer que o reservatório Soledade é capaz de atender ao novo empreendimento e ao setor Tombadouro em conjunto. Deve-se apenas buscar a troca de componentes da rede de distribuição, principalmente na rua Sagrada Família para diminuição da perda de energia. Além disso, instalar válvulas redutoras de pressão para controlar a pressão na zona baixa da rua Tombadouro.

5 CONCLUSÃO

O mapeamento e a verificação das redes de distribuição e dos setores de Cachoeira do Campo se mostrou de muita utilidade para este trabalho e para trabalhos futuros para a concessionária. Vale dizer que os mapas obtidos serão uma boa ferramenta, um ponto de partida para possíveis melhorias e manutenções no sistema.

Em conjunto a essa questão prática, o trabalho aprimorou e testou conhecimentos teóricos aprendidos no curso de Engenharia Civil, deixando mais claro como é feito o trabalho prático, inclusive a resolução de problemas contendo poucos recursos, como acontece com o SEMAE/OP.

A análise das cotas piezométricas trouxe bons exemplos em que se encontraram valores que diferiram da teoria. Com essa coleta de informações e as análises vistas nesse trabalho, foi possível ainda desenvolver conhecimento para fazer críticas ao sistema e propor diferentes resoluções.

Vale ressaltar também que este trabalho deve ser continuado para total cadastramento do sistema de distribuição de água de Cachoeira do Campo. Deve-se analisar hidráulicamente todos os mananciais, captações, adutoras, estações elevatórias, reservatórios e redes de distribuição. Como a concessionária não contém as devidas informações, há dificuldade na manutenção e proposição de melhorias. Poucas vezes os defeitos no sistema são resolvidos na raiz. Geralmente, são solucionados apenas paliativamente.

5.1 Sugestão para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros, sugere-se o mapeamento e a análise hidrodinâmica dos setores restantes de Cachoeira do Campo, principalmente o setor abastecido pelo reservatório Dionísio, um dos mais antigos do distrito e um dos que abrange maior número de consumidores. Além disso, o setor é tratado como o setor que mais cresceu desenfreadamente no local, apresentando inúmeras derivações e novas tomadas d'água sem critérios hidráulicos estabelecidos. Vale ressaltar que o setor é um dos mais complexos do distrito e que seu mapeamento e análise não seriam triviais.

Outro possível tema pode ser a análise mais profunda da rede de distribuição de água do Tombadouro, principalmente por causa do fato de ser uma das mais antigas

do distrito e da diferença encontrada no trabalho entre a pressão teórica e de campo. Deve-se também estudar possíveis melhorias para o sistema e realizar projeções para saber se os setores são capazes de abastecer o crescimento urbano na área.

Pode-se dizer que com a junção deste e de outros trabalhos a concessionária obterá um bom banco de dados para atuar com maior eficiência no distrito de Cachoeira do Campo.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 12.218: Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público**. Rio de Janeiro. 1994.

AZEVEDO NETTO, J. M. D. **Manual de Hidráulica**. 8ª. ed. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, v. 1, 1998.

BABBITT, H. E. **Abastecimento de Água**. 2ª. ed. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, v. I, 1973.

BAPTISTA, M. B. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. 2ª. ed. Belo Horizonte: UFMG, v. 1, 2003.

DI BERNARDO, L. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. II, 1993.

GARCEZ, L. N. **Elementos de Engenharia Hidráulica e Sanitária**. 2ª. ed. São Paulo: Edgard Blücher, v. 1, 1974.

GOMES, H. P. **Sistemas de Abastecimento de Água**. 1ª. ed. João Pessoa: Universitária da UFPB, v. I, 2002.

GOOGLE. **Google Maps**, 2019. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-20.3533751,-43.689454,15z>>. Acesso em: 2 Novembro 2019.

HWANG, N. H. C. **Fundamentos de Sistemas de Engenharia Hidráulica**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil LTDA, v. 1, 1984.

OURO PRETO WORLD. **Os distritos**. Disponível em: <<http://www.ouropreto-ourtownorld.jor.br/Os%20distritos.htm>>. Acesso em: 18 Dezembro 2019.

PORTO, R. D. M. **Hidráulica Básica**. São Carlos: EESC - USP, v. 4ª, 1998.

SILVA, G. Q. D. **Notas de Aula - Lições de Hidráulica Geral**. Ouro Preto: Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 2015.

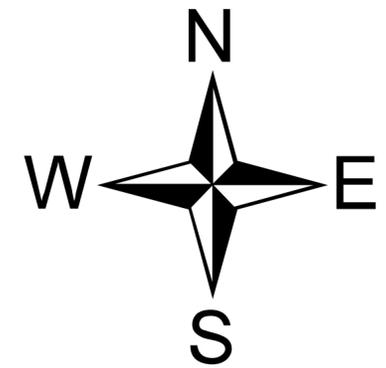
SILVESTRE, P. **Hidráulica Geral**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, v. 1, 1979.

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

VALENTE, L. M. **Diagnóstico do sistema de abastecimento de água do distrito de Cachoeira do Campo**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2018.

YASSUDA, E. R. **Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água**. 2^a. ed. São Paulo: Cetesb, v. I, 1976.

APÊNDICE A MAPEAMENTO DOS SETORES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DO DISTRITO DE CACHOEIRA DO CAMPO OURO PRETO - MG



DATUM: SIRGAS2000
PROJEÇÃO UTM

ESCALA

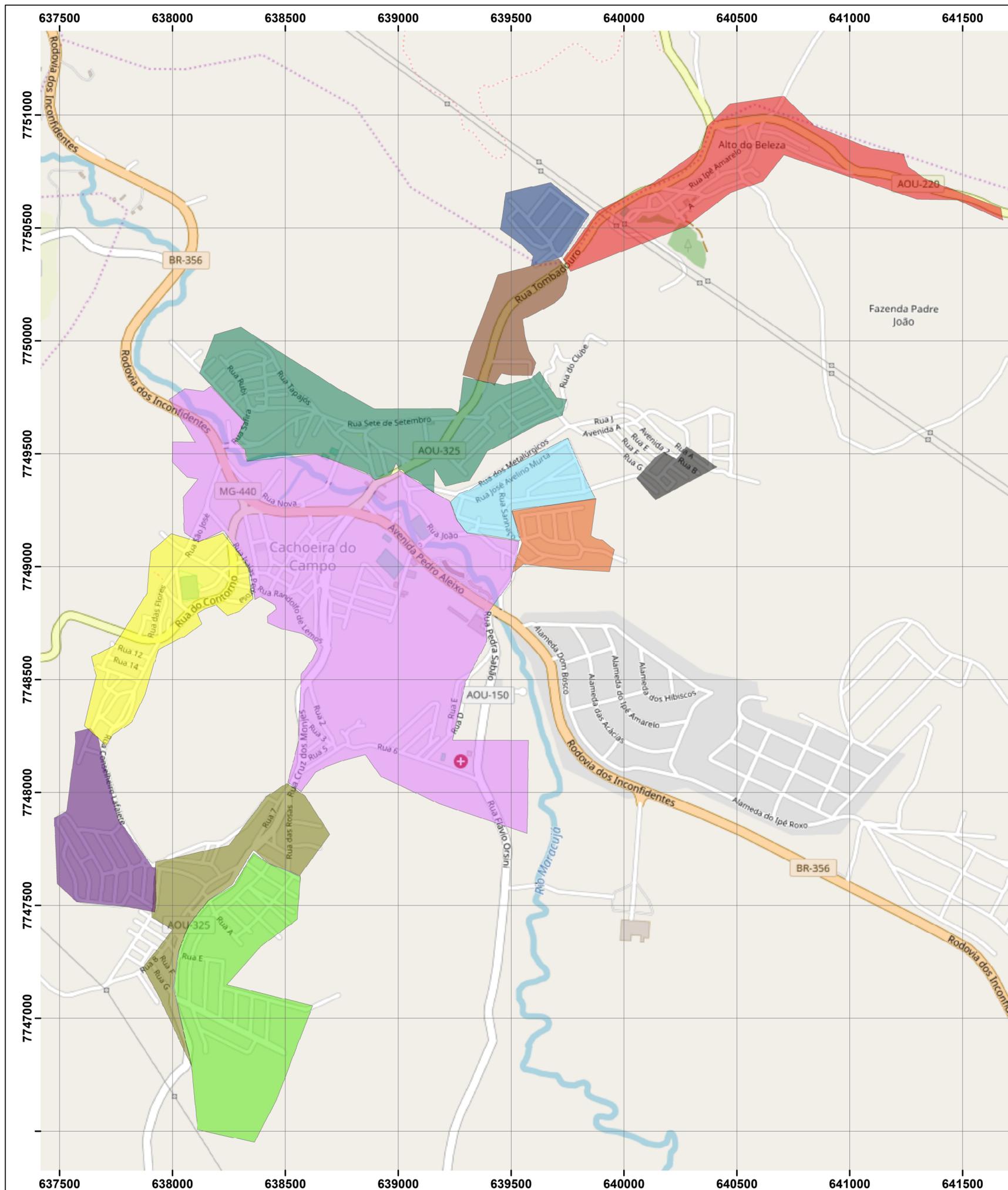
1:13.000



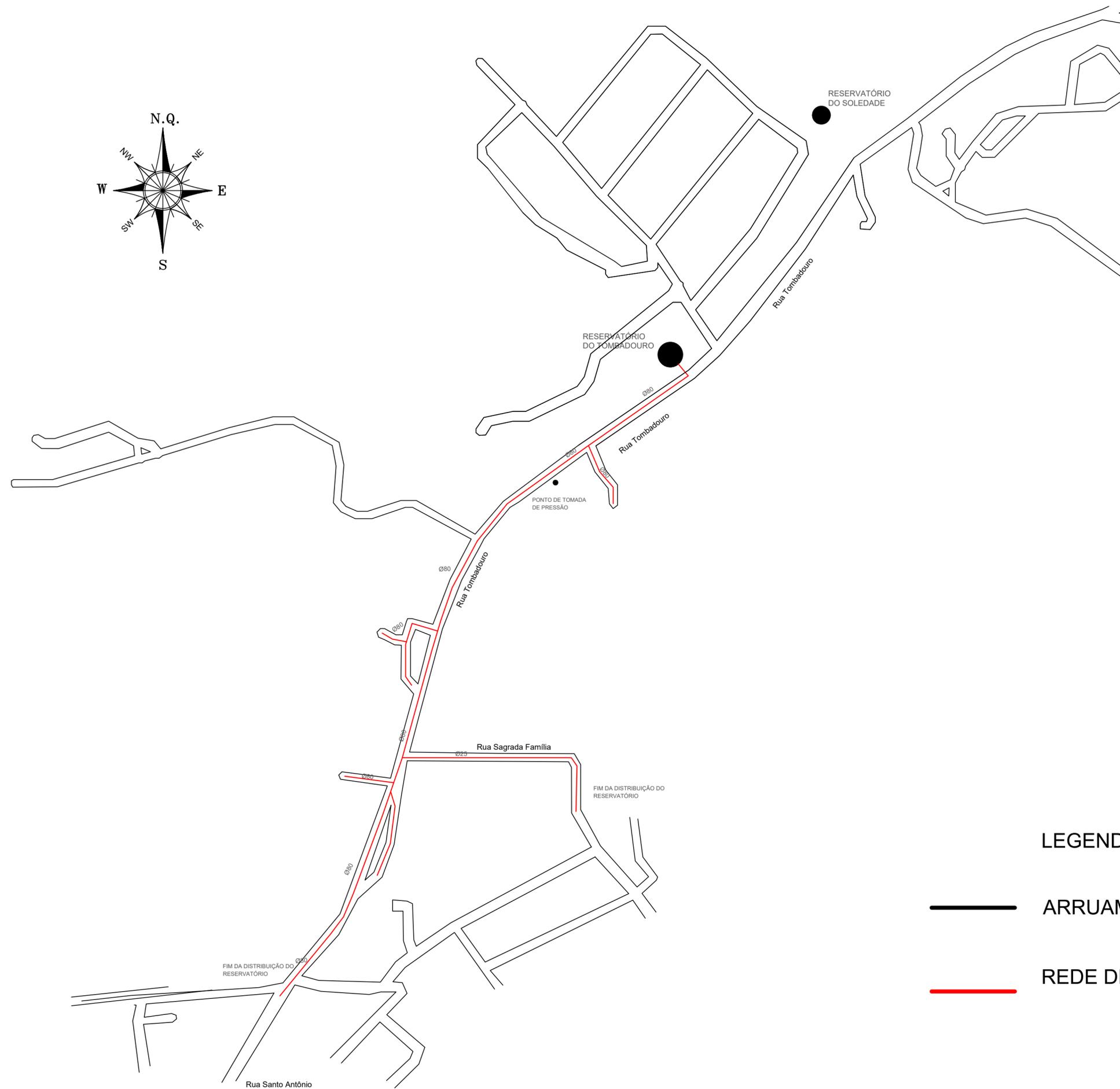
LEGENDA

	ALTO BELEZA		VILA ALEGRE
	ALDEBARAN		SOLEDADE
	CRUZEIRO		RECANTO DOS PÁSSAROS
	ALTA VILA		METALÚRGICO
	DIONÍSIO		ALTO DO CAIC
	URBAVILLE		TOMBADOURO

RESULTADO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
DE MARCO TÚLIO GURGEL MENDONÇA
PROFESSORA ORIENTADORA MARIA LUÍZA TEÓFILO GANDINI
ESCOLA DE MINAS - UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
DEZEMBRO DE 2019



APÊNDICE B.1 - MAPEAMENTO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DO SETOR TOMBADOURO



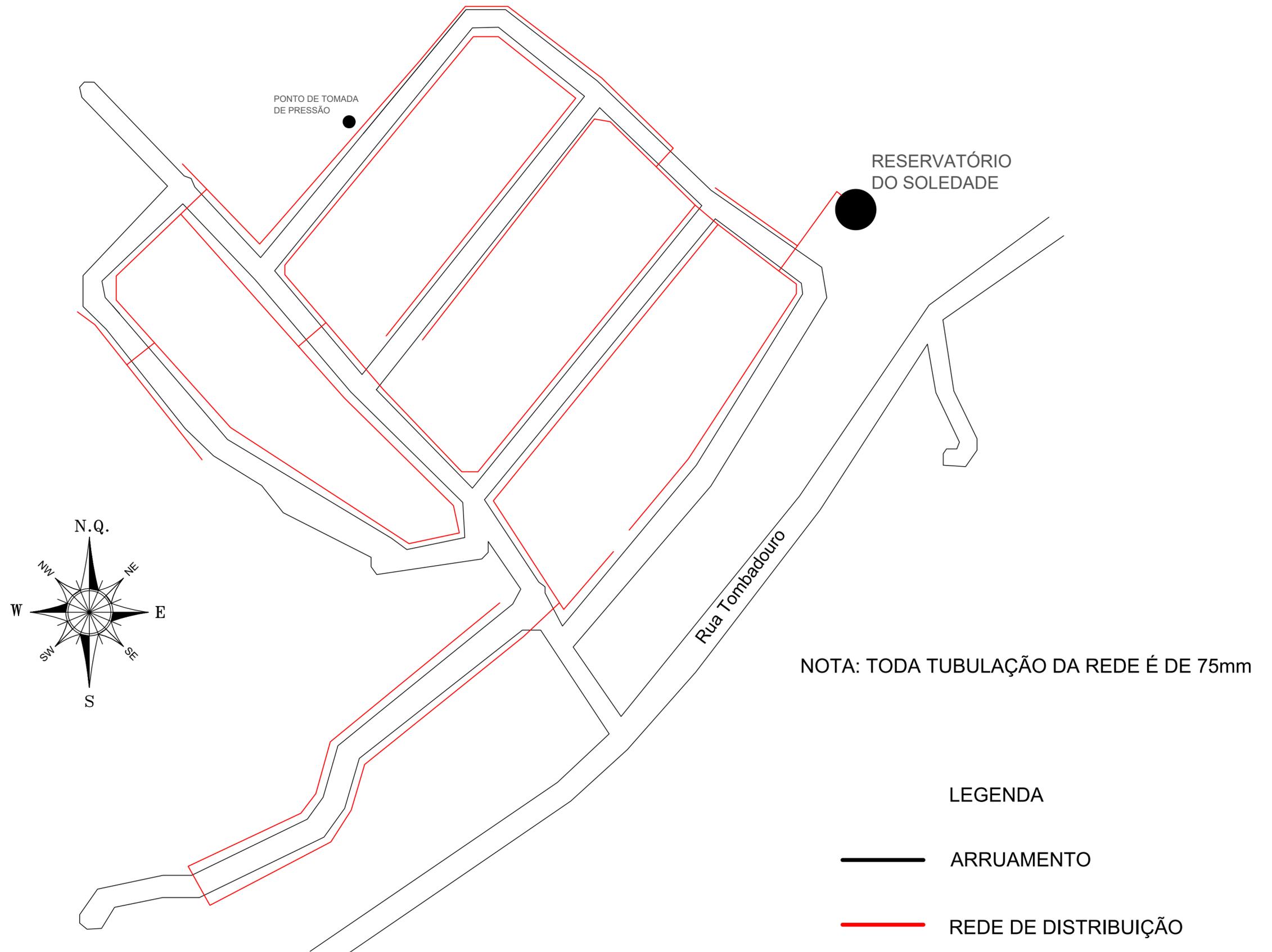
ESCALA: 100m

LEGENDA

— ARRUAMENTO

— REDE DE DISTRIBUIÇÃO

APÊNDICE B.2 - MAPEAMENTO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DO SETOR SOLEDADE



ESCALA: 100m

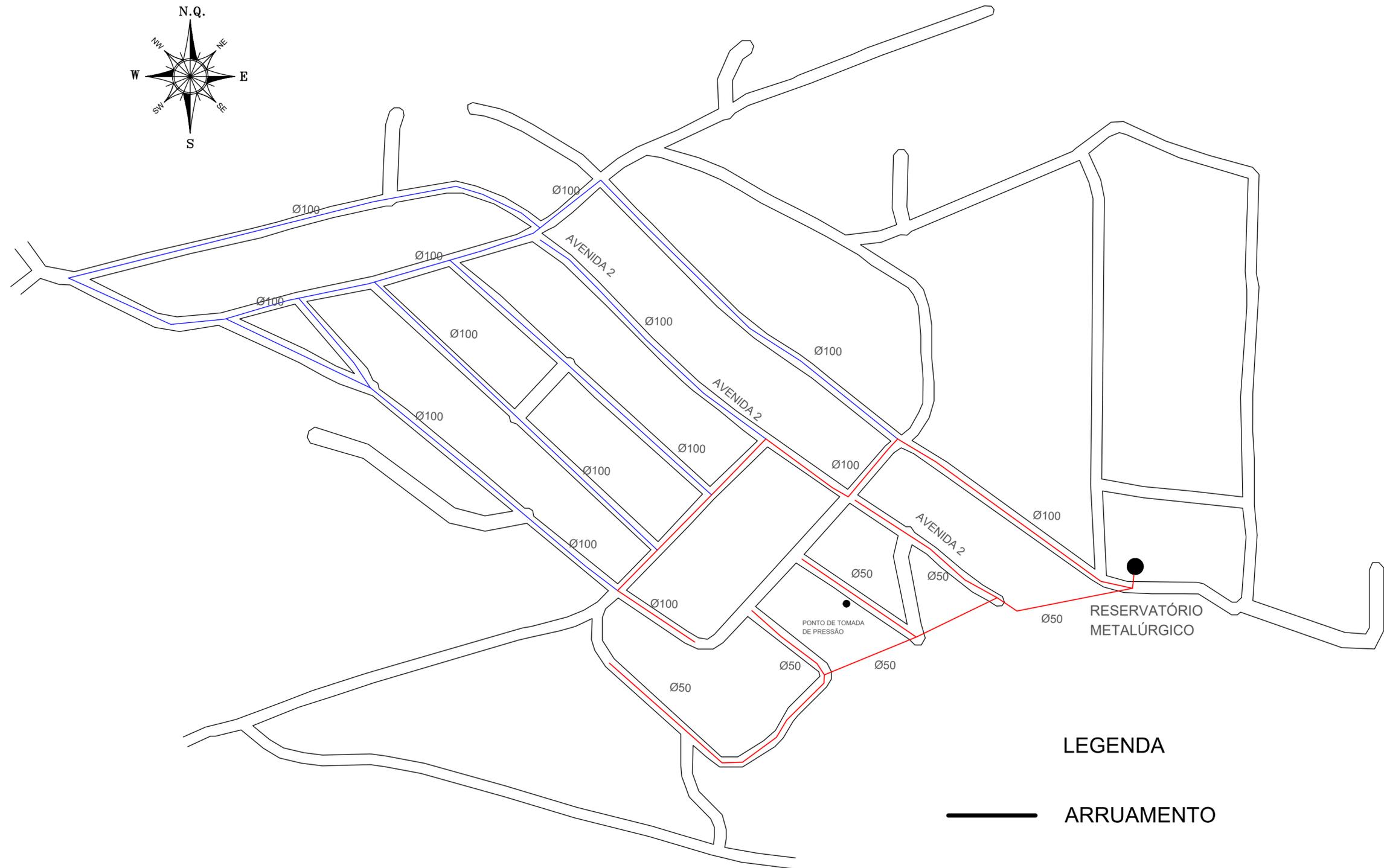
NOTA: TODA TUBULAÇÃO DA REDE É DE 75mm

LEGENDA

— ARRUAMENTO

— REDE DE DISTRIBUIÇÃO

APÊNDICE B.3 - MAPEAMENTO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DO SETOR METALÚRGICOS



LEGENDA

- ARRUAMENTO
- REDE DE DISTRIBUIÇÃO DO SETOR
- REDE DE DISTRIBUIÇÃO FORA DE USO

ESCALA:  100m

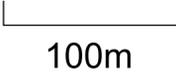
ANEXO I - PROJETO DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DO SETOR URBAVILLE



NOTA: TODA TUBULAÇÃO DA REDE É DE 60mm

LEGENDA

- ARRUAMENTO
- REDE DE DISTRIBUIÇÃO

ESCALA:  100m