

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COECI – COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

EDUARDO CESAR AMANCIO

**MAPEAMENTO DAS PRESSÕES EM SERVIÇO DA REDE  
DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE TUPÁSSI - PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO  
2018

EDUARDO CESAR AMANCIO

**MAPEAMENTO DAS PRESSÕES EM SERVIÇO DA REDE  
DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE TUPÁSSI - PR**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel, do curso de  
Engenharia Civil, da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Msc. Silvana da Silva

TOLEDO

2018



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 124

### **MAPEAMENTO DAS PRESSÕES EM SERVIÇO DA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE TUPÃSSI - PR**

por

**Eduardo Cesar Amancio**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 15h 00 do dia **15 de junho de 2018** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

---

Prof<sup>a</sup> MSc Patrícia Cristina Steffen  
(UTFPR – TD)

---

Engenheiro Esp Nelson Müller Junior  
(Sanepar)

---

Prof MSc Silvana da Silva  
(UTFPR – TD)  
Orientadora

---

Visto da Coordenação  
Prof. Dr Fúlvio N. Feiber  
Coordenador da COECI

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado saúde e força, e ter permitido que tudo isso acontecesse, não somente nesses anos como universitário, mas em toda minha vida, já que é o maior mestre que alguém pode conhecer dentro de si mesmo.

Aos meus pais, Edenilson Amancio e Maria Rodrigues da Silva Amancio, pela incansável dedicação que tiveram em todos os momentos, pois, sem a fé, força, entusiasmo e perseverança que depositaram em mim, nada disso seria possível. A vocês meu muitíssimo obrigado!

A minha orientadora Profa. MSc. Silvana da Silva, por me receber como aluno orientado, pela confiança no meu trabalho, pela compreensão, pelos sábios conselhos sempre que a procurei para conversar e pela disponibilidade em todos os momentos.

Aos membros da banca, Profa. MSc. Patrícia Cristina Steffen e Engenheiro Esp. Nelson Müller Junior, pelo interesse e disponibilidade.

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração, pela oportunidade da graduação, os recursos e o apoio que sempre me ofereceu. Jamais esquecerei os momentos ímpares que vive aqui, que me trouxeram a ambição e a perspectiva necessária para alcançar essa etapa na minha vida, e que nunca deixarão esquecer me desta casa, que será sempre minha.

A todos os professores que tive ao longo da minha vida, que me permitiram a escalada rumo a essa janela que vislumbro hoje um horizonte de possibilidades.

Aos servidores e técnicos da SAATU e da Prefeitura Municipal de Tupãssi, por todo o auxílio e suporte na coleta de dados, especialmente a Jose Aparecido Alipio pelo auxílio no mapeamento da rede.

A minha amiga Maria Isabel Iijima e ao meu primo Winicius Sidney da Silva, pela ajuda no levantamento topográfico dessa pesquisa.

Agradeço também aos meus amigos e familiares, por nunca deixarem de me apoiar durante a jornada da graduação.

## RESUMO

Diante do cenário contemporâneo de crescente preocupação com o gerenciamento dos recursos hídricos, a correta gestão de um sistema de abastecimento de água (SAA) se revela dependente do correto diagnóstico deste. Porém algumas companhias de saneamento, especialmente as de pequeno porte, não possuem corpo técnico que possibilitem essa prática. Essa pesquisa tem o objetivo de simular a rede de abastecimento do Serviço de Abastecimento de Água de Tupãssi – PR (SAATU) no *software* Epanet, e propor alternativas que otimizem o sistema com relação ao controle das pressões na rede. Através do levantamento topográfico e de dados populacionais da cidade, mapeamento da rede de distribuição e recolha de outros dados importantes, executou-se um diagnóstico geral do SAA em questão, assim como realizou-se simulações para vários cenários temporais e operacionais. Percebeu-se em todos os cenários simulados que o sistema opera com pressões abaixo do aceitável pela NBR 12218:94. Logo, forneceu-se alternativas que solucionassem problemas relacionados à pressão identificados ao longo da pesquisa e nas simulações, assim como buscou-se também a indicação de interferências físicas no sistema que possibilitassem uma melhora na gestão e operação do sistema.

**Palavras-Chave:** Abastecimento de água. Epanet. Gestão de pressões. Simulação hidráulica.

## ABSTRACT

In view of the contemporary scenario of growing concern about the management of water resources, the correct management of a water supply system (SAA) is dependent on the correct diagnosis of this system. However, some sanitation companies, especially small ones, do not have the technical staff to make this possible. This article has the aim of simulating the water wide supply of the Water Supply Service of Tupãssi – PR (SAATU) in the Epanet software, and propose alternatives that optimize the system in relation to the control of the pressures in the wide. By topographical survey and populating the city, mapping the water distribuiton wide and collecting other importante data, a general diagnostico of the water wide supply was carried out, as well as simulations for various temporal and operational scenarios. It was observed in all the simulated scenarios that the system operates ar pressures below that accptable by NBR 12218:94. Therefore, alternatives were provided that solves problems related to the pressure identified during the development of this article and in the simulations, as well as the indication of physical interferences in the system that wold allow na improvement in the management and operation of the system.

**Key-words:** Water supply. Epanet. Pressures management. Hydraulic simulation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	– Esquema de funcionamento de redes ramificadas.....	15
Figura 2.2	– Esquema de funcionamento de redes malhadas.....	16
Figura 2.3	– Rede malhada seccionada.....	22
Figura 2.4	– Definição do sentido do fluxo.....	24
Figura 2.5	– Rede malhada genérica.....	24
Figura 2.6	– Pontos frequentes de vazamentos em redes de distribuição.....	28
Figura 2.7	– Pontos frequentes de vazamentos em ramais prediais.....	29
Figura 2.8	– Interface gráfica do Epanet.....	38
Figura 3.1	– Fluxograma base da pesquisa .....	40
Figura 3.2	– Localização do município de Tupãssi no Estado do Paraná.....	41
Figura 4.1	– Evolução da população de Tupãssi segundo IBGE.....	46
Figura 4.2	– Retas do método aritmético de projeção da pop. urbana de Tupãssi.....	49
Figura 4.3	– Retas do método geométrico de projeção da pop. urbana de Tupãssi.....	51
Figura 4.4	– Projeção da pop. de Tupãssi pelo método da regressão parabólica.....	53
Figura 4.5	– Projeção da pop. de Tupãssi pelo método da taxa média anual fixada.....	55
Figura 4.6	– Projeção da pop. urbana de Tupãssi método da Função Previsão	56
Figura 4.7	– Projeção da pop. de Tupãssi pelo método da Função Crescimento.....	57
Figura 4.8	– Projeção da pop. urbana de Tupãssi segundo os métodos analisados.....	58
Figura 4.9	– Adutora água bruta e um dos poços responsáveis pelo abastecimento.....	59
Figura 4.10	– Centro de reservação Sul.....	61
Figura 4.11	– Ligação tubulação DN 110 mm entre RAP 01 e RAP 02.....	61
Figura 4.12	– Centro de Reservação Norte.....	62
Figura 4.13	– Níveis operacionais dos Centros de Reservação.....	63
Figura 4.14	– Carta topográfica Banco Dados Geográficos do Exército Brasileiro.....	65
Figura 4.15	– Esquema resumo dos cenários simulados.....	71
Figura 4.16	– Localização centros reservação e layout do SAA Tupãssi – Sede	72
Figura 4.17	– Pressões nos nós para a simulação 1.....	73
Figura 4.18	– Cota topográfica dos nós.....	74
Figura 4.19	– Perda de carga nas tubulações para a simulação 1.....	75
Figura 4.20	– Vazão nas tubulações para a simulação 1.....	76
Figura 4.21	– Pressões nos nós para a simulação 2.....	77
Figura 4.22	– Pressões nos nós para a simulação 3.....	79
Figura 4.23	– Pressões nos nós para a simulação 4.....	80
Figura 4.24	– Novo dimensionamento de rede proposto para o SAA – Tupassi..	85
Figura 4.25	– Pressões nos nós para as simulações 5 e 6.....	86
Figura 4.26	– Pressões nos nós para as simulações 7 e 8.....	87

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	– Métodos de projeção populacional.....	17
Tabela 2.2	– Valores do consumo médio per capita de água no Brasil.....	19
Tabela 2.3	– Limites estabelecidos na NBR 12218:94.....	21
Tabela 2.4	– Perdas reais em subsistemas de abastecimento.....	27
Tabela 2.5	– Modeladores hidráulicos utilizados em sistemas de abastecimento.....	33
Tabela 3.1	– Subsistemas e as respectivas informações coletadas.....	42
Tabela 4.1	– População de Tupãssi segundo IBGE.....	46
Tabela 4.2	– Composição das retas do método aritmético.....	48
Tabela 4.3	– Projeção da pop. urbana de Tupãssi segundo o método aritmético.....	48
Tabela 4.4	– Composição das retas do método geométrico.....	50
Tabela 4.5	– Projeção população urbana de Tupãssi segundo método geométrico.....	50
Tabela 4.6	– Montagem do sistema para calcular a equação de segundo grau.....	52
Tabela 4.7	– Projeção pop. urbana Tupãssi segundo método regressão parabólica.....	53
Tabela 4.8	– Taxa de crescimento.....	54
Tabela 4.9	– Projeção pop. urbana Tupãssi método taxa média anual fixada..	54
Tabela 4.10	– Projeção pop. urbana Tupãssi método da Função Previsão.....	55
Tabela 4.11	– Projeção pop. urbana Tupãssi método da Função Crescimento..	56
Tabela 4.12	– Projeção da pop. urbana Tupãssi para os métodos analisados...	57
Tabela 4.13	– Resultados do levantamento de pop. urbana com abastecimento de água e área urbana com ocupação habitacional ou comercial.....	68
Tabela 4.14	– Balanço volumétrico de reservação.....	82
Tabela 4.15	– Resumo das simulações hidráulicas do SAA em operação.....	83
Tabela 4.16	– Resumo das simulações hidráulicas do SAA proposto.....	88



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AQA	– Análise da Qualidade da Água
ABNT	– Associação Brasileira de Normas Técnicas
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGU	– Interface Gráfica com o Utilizador
LENHS	– Laboratório Nacional de Eficiência Energética Hidráulica em Saneamento
NBR	– Norma Brasileira
PMSB	– Plano Municipal de Saneamento Básico
PNCDA	– Plano Nacional de Combate ao Desperdício de Água
SAA	– Sistema de Abastecimento de Água
SAATU	– Serviço de Abastecimento de Água de Tupãssi
Sanasa	– Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento de Campinas
Sanepar	– Companhia de Saneamento do Paraná
SNIS	– Serviço Nacional de Informações sobre Saneamento
UFPB	– Universidade Federal da Paraíba
UFSC	– Universidade Federal de Santa Catarina
USEPA	– United States Environmental Protection Agency

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	10
1.1	JUSTIFICATIVA .....	11
1.2	OBJETIVOS .....	12
1.2.1	Objetivo geral .....	12
1.2.2	Objetivos específicos.....	12
1.3	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA .....	13
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	13
2	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	14
2.1	REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA.....	14
2.1.1	Tipos de redes de distribuição.....	14
2.1.2	Projeto de redes de distribuição .....	16
2.1.2.1	<i>Projeção populacional</i> .....	17
2.1.2.2	<i>Vazão</i> .....	19
2.1.2.3	<i>Dimensionamento de redes</i> .....	21
2.1.2.3.1	<i>Dimensionamento de redes ramificadas</i> .....	21
2.1.2.3.2	<i>Dimensionamento de redes malhadas</i> .....	22
2.1.3	Problemas em redes de distribuição .....	25
2.1.3.1	<i>Ocorrência de zonas de baixas pressões</i> .....	25
2.1.3.2	<i>Ocorrência de zonas de altas pressões</i> .....	25
2.1.3.3	<i>Perdas no sistema</i> .....	26
2.1.3.4	<i>Intermitência no abastecimento e deterioração da qualidade da água</i> .....	30
2.1.4	Operação de sistemas de abastecimento de água.....	31
2.2	SIMULAÇÃO HIDRÁULICA.....	32
2.2.1	Desenvolvimento de um modelo de simulação hidráulica .....	34
2.2.2	Aplicações da simulação hidráulica.....	35
2.2.3	Epanet.....	37
3	<b>MÉTODOS E MATERIAIS</b> .....	39
3.1	DESCRIÇÃO GERAL DA PESQUISA.....	39
3.1.1	Delimitação da área de estudo.....	40
3.2	DIAGNÓSTICO DO SAA TUPÃSSI.....	41
3.3	PROJEÇÃO POPULACIONAL.....	43
3.4	LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO.....	43
3.5	CONSUMO-BASE NOS NÓS .....	44
3.6	SIMULAÇÃO HIDRÁULICA.....	45
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	46
4.1	PROJEÇÃO POPULACIONAL.....	46
4.1.1	Coleta de dados .....	46
4.1.2	Métodos de projeção populacional .....	47
4.1.2.1	<i>Método Aritmético</i> .....	47
4.1.2.2	<i>Método Geométrico</i> .....	49
4.1.2.3	<i>Método da curva logística</i> .....	51
4.1.2.4	<i>Método da regressão parabólica</i> .....	52
4.1.2.5	<i>Método da taxa média anual fixada</i> .....	54
4.1.2.6	<i>Método da Função Previsão</i> .....	55
4.1.2.7	<i>Método da Função Crescimento</i> .....	56
4.1.3	Definição da projeção populacional urbana.....	57
4.2	DESCRIÇÃO DO SAA TUPÃSSI .....	58

4.2.1	Captação (CSB 01 à 07) .....	59
4.2.2	Estações elevatórias (EEB) e Aduoras de Água Bruta (AAB) .....	60
4.2.3	Reservação (RAP 01 ao 03).....	60
4.2.3.1	<i>Centro de Reservação Sul</i> .....	60
4.2.3.2	<i>Centro de Reservação Norte</i> .....	62
4.2.3.3	<i>Níveis operacionais</i> .....	62
4.2.4	Rede de distribuição.....	64
4.3	CRITÉRIOS PARA ELABORAÇÃO DA SIMULAÇÃO.....	64
4.4	LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO .....	65
4.5	CONSUMO-BASE NOS NÓS.....	66
4.5.1	Densidade da população urbana com abastecimento de água .....	66
4.5.2	Área de influência de cada nó .....	68
4.5.3	Consumo per capita de água .....	69
4.5.4	Consumo-base nos nós.....	69
4.6	SIMULAÇÃO HIDRÁULICA.....	70
4.6.1	Simulação 1.....	72
4.6.2	Simulação 2.....	77
4.6.3	Simulação 3.....	78
4.6.4	Simulação 4.....	80
4.7	ALTERNATIVA TÉCNICA .....	81
4.7.1	Captação e Adução .....	81
4.7.2	Reservação .....	81
4.7.3	Rede.....	83
5	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	89
6	<b>RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	91
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	92
	<b>APÊNDICES</b> .....	95
	<b>ANEXOS</b>	

.....  
**.Erro! Indicador não definido.**

## 1 INTRODUÇÃO

Do montante de água disponível no Planeta Terra, 97% se encontra nos mares e oceanos, 2% estão armazenadas nas geleiras nos polos do planeta, e apenas 1% está disponível para o uso. Essa encontra-se nos lençóis subterrâneos, lagos, rios ou dissolvida na atmosfera (REZENDE, 2006).

Dessa parcela de água doce, o continente sul-americano, e consequentemente o Brasil, é dotado de uma fração significativa das reservas. Segundo Ministério do Meio Ambiente (2017), o Brasil possui cerca de 12% de toda água doce do planeta, incluindo a maior bacia hidrográfica do mundo, a bacia Amazônica, a qual está 60% em território nacional. Porém, toda essa abundância não pode provocar o equívoco de considerar a água um recurso ilimitado e de baixo valor econômico.

Com o desenvolvimento da indústria e o crescimento da população, o conflito entre demandas crescentes e disponibilidades constantes começou a tomar forma e evidenciar o problema de gestão das águas, que se tornou um fator limitante ao crescimento econômico nas bacias hidrográficas mais desenvolvidas do país (REZENDE, 2006).

No Brasil e no mundo, a água despontou como um dos principais temas de discussão, no que tange a sustentabilidade dos espaços urbanos e das cadeias produtivas (CARMO, 2009). Um exemplo foi a revogação do Código das Águas de 1934 com a criação, em 1997, da Lei nº 9.433, mais conhecida como Lei das Águas, a qual estabelece e organiza os usos múltiplos das águas, de forma descentralizada e participativa, contando com a colaboração do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Esse aumento no interesse da correta gestão das águas se reflete também nas companhias de saneamento em seus sistemas de distribuição de água. De acordo com Coelho, Loureiro e Alegre (2006), à medida que as taxas de cobertura das redes de distribuição vão se aproximando do seu limite, acontece uma evolução da fase de construção dos sistemas para a fase da gestão dos mesmos.

Em relação aos processos de gestão, uma das principais abordagens das companhias de saneamento está no combate às perdas de água, mais precisamente às perdas de água reais, aquelas causadas por vazamentos nas tubulações, e que normalmente são maximizadas por altas pressões nas redes.

Para Moreira (2011), as questões relacionadas às perdas no sistema são tão relevantes que uma companhia de saneamento que apresente elevada porcentagem de perdas de água no sistema de abastecimento deve mudar políticas e práticas de ação e gestão de forma a diminuir os custos inerentes à essas perdas.

Logo, para uma efetiva gestão de um sistema de abastecimento de água, e economia de recursos, sejam eles naturais ou econômicos, é de suma importância o conhecimento da maneira como se opera o sistema, e acima de tudo, a rede de distribuição. Só assim é possível a correta tomada de decisões para maximização da qualidade do serviço prestado.

Portanto, a distribuição de água em quantidade e qualidade adequadas, sem interrupções e a um custo acessível, revelam os principais desafios enfrentados pelas entidades gestoras no que tange a operação de sistemas de abastecimento de água. Este, quando executado de forma efetiva, impacta diretamente nos aspectos sociais, sanitários, ambientais e econômicos da população e do meio em que vive.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Um núcleo urbano, seja este de quaisquer dimensões, está constantemente em mudança, visto as necessidades da população, atividades econômicas e/ou culturais, e seus sistemas e aparelhos devem acompanhar essas mudanças. No caso de sistemas de distribuição de água, essas mudanças alteram características operacionais dos sistemas, como por exemplo, as pressões atuantes nestes.

De acordo com a Norma Técnica Brasileira NBR 12218 (ABNT,1994), revista em 2017, que trata sobre projetos de rede de distribuição de água para abastecimento público, a pressão estática máxima em qualquer ponto da rede deve ser de 500 kPa e a pressão dinâmica mínima deve ser de 100 kPa. Isso significa que, mesmo depois de realizadas as modificações nas redes de abastecimento ocasionadas pelas ampliações dos sistemas ou de qualquer outro tipo de intervenção, os limites de pressões estabelecidos pela normativa devem sempre ser atendidos.

Dentre as consequências de operar um sistema com pressões fora dos limites estabelecidos, estão as dificuldades no abastecimento e na garantia da qualidade da água, no caso dos limites inferiores, e o aumento das perdas reais e dos danos às tubulações, no caso dos limites superiores, principalmente por acontecerem fissuras e vazamentos nas tubulações da rede (LOPES, 2013).

O excesso de pressão na rede, além de provocar perdas para a companhia, também pode culminar em contaminação da água distribuída, uma vez ocorrida a redução da pressão em uma tubulação danificada, contaminantes provenientes do solo podem adentrar nas tubulações causando contaminação da água tratada. Da mesma forma, a operação de redes com pressões muito baixas, menores que 100 kPa, podem gerar falta de abastecimento ou baixas vazões em regiões altas da cidade ou afastadas dos reservatórios, causando transtornos para a população e degradando a reputação da entidade gestora (CARMO, 2009).

O conhecimento da operação ou funcionamento de um sistema de abastecimento de água permite a sua otimização, o uso consciente dos recursos hídricos e ainda o atendimento dos usuários em qualidade e quantidade adequadas, tal qual como é recomendado pela legislação pertinente, a NBR 12218:94 e a Portaria nº 2914/2011 que determina os padrões de potabilidade para consumo humano.

Frente ao exposto, busca-se nesse trabalho diagnosticar a operação da rede de abastecimento de um sistema através do uso de programa especializado para o mapeamento e análise das pressões de serviço em sistemas de abastecimento de água, na tentativa de evitar prejuízos como os citados anteriormente (perdas, contaminação e intermitência, etc).

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Diagnosticar a operação de um sistema de abastecimento de água potável através da realização de modelagem hidráulica com o *software* EPANET 2.0.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Para o alcance do objetivo geral desse trabalho, propõe-se a execução dos seguintes objetivos específicos:

- Diagnosticar as condições atuais de operação de um SAA;
- Realizar a simulação hidráulica da rede do sistema de abastecimento no *software* Epanet 2.0;

- Medir, analisar e mapear as pressões existentes na rede de distribuição de água definindo as zonas de pressão;
- Simular no *software* Epanet diferentes hipóteses de cenários que propiciem a gestão da pressão no sistema escolhido;
- Simular o desempenho da rede atual e propor intervenções para ampliação do SAA decorrente de aumento populacional.

### 1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A delimitação dessa pesquisa será a operação de um sistema em relação ao controle de pressões de serviço da rede. As questões relativas ao controle de manutenções, consertos e de reservação não serão abordadas nesse trabalho.

Pela natureza da pesquisa será considerada a totalidade dos dados do sistema, sem uso de amostra estatística.

### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Neste trabalho apresentou-se no Capítulo 1 a introdução da pesquisa, seus objetivos, justificativa e suas delimitações. No Capítulo 2 é apresentada, em duas partes, a revisão bibliográfica da pesquisa. A primeira aborda a definição dos tipos de rede de distribuição de água, o dimensionamento dessas e algumas práticas de gestão e operação. A segunda relaciona a definição e usos da simulação hidráulica, assim com apresenta o *software* Epanet.

O terceiro capítulo aborda os procedimentos metodológicos e os materiais utilizados para concepção do trabalho. Enquanto que no Capítulo 4 são apresentados os resultados e discussões da pesquisa, divididos em quatro partes principais, sendo: diagnóstico do SAA Tupãssi, projeção populacional, simulações hidráulicas e por fim, a alternativa de concepção técnica.

Os Capítulos 5 e 6 apresentam respectivamente as considerações finais e as recomendações propostas para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Segundo a norma técnica NBR 12218 (ABNT 1994), como parte dos sistemas de abastecimento de água, a rede de distribuição é o conjunto de tubulações, acessórios, registros e conexões, em que a água é transportada e fornecida em quantidade e qualidade adequadas em todos os pontos de consumo, sejam eles doméstico, industrial, público ou de irrigação.

Uma rede de distribuição é constituída de condutos principais e secundários. Também conhecidos como troncos ou canalizações mestras, os condutos principais possuem diâmetro maior que o restante da rede, têm a função de abastecer as canalizações secundários, e normalmente não possuem pontos de consumo diretamente ligados a eles. Os condutos secundários, por sua vez, possuem diâmetros menores e abastecem diretamente os pontos de consumo do sistema - ramais prediais (CARMO, 2009).

#### 2.1.1 Tipos de redes de distribuição

No que tange à disposição das tubulações, existem três tipos de redes de distribuição: malhada, ramificada e mista. As redes ramificadas caracterizam-se por apresentarem um único sentido de fluxo para o escoamento e possuem o formato de grelha ou espinha de peixe (Figura 2.1).

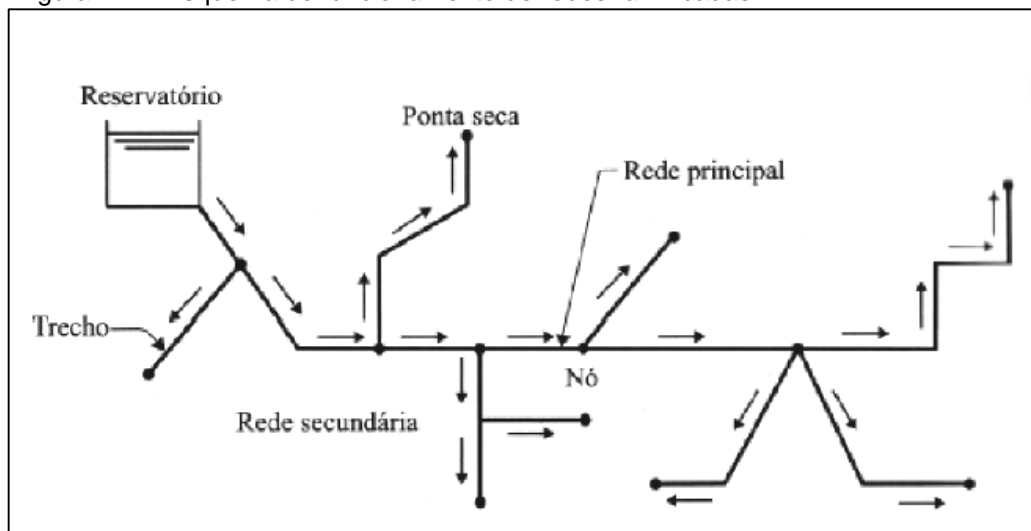
Como Furusawa (2011) expõe, e como a Figura 2.1 apresenta, é possível perceber que nesse tipo de configuração tem-se que:

- O sentido do escoamento é único e conhecido em qualquer trecho;
- Apresenta várias pontas secas ou extremidades mortas com grande probabilidade de acúmulo de material da rede e estagnação de água;
- Requer instalação e operação periódica de dispositivos de descarga em pontos estratégicos para manter a qualidade da água distribuída;
- A interrupção no escoamento em uma tubulação, compromete todo o abastecimento nas tubulações situadas à jusante da mesma, dificultando a execução de manutenção;



- É recomendada quando não existe a possibilidade de se utilizar a rede do tipo malhada.

Figura 2.1 – Esquema de funcionamento de redes ramificadas



Fonte: Tsutiya (2006)

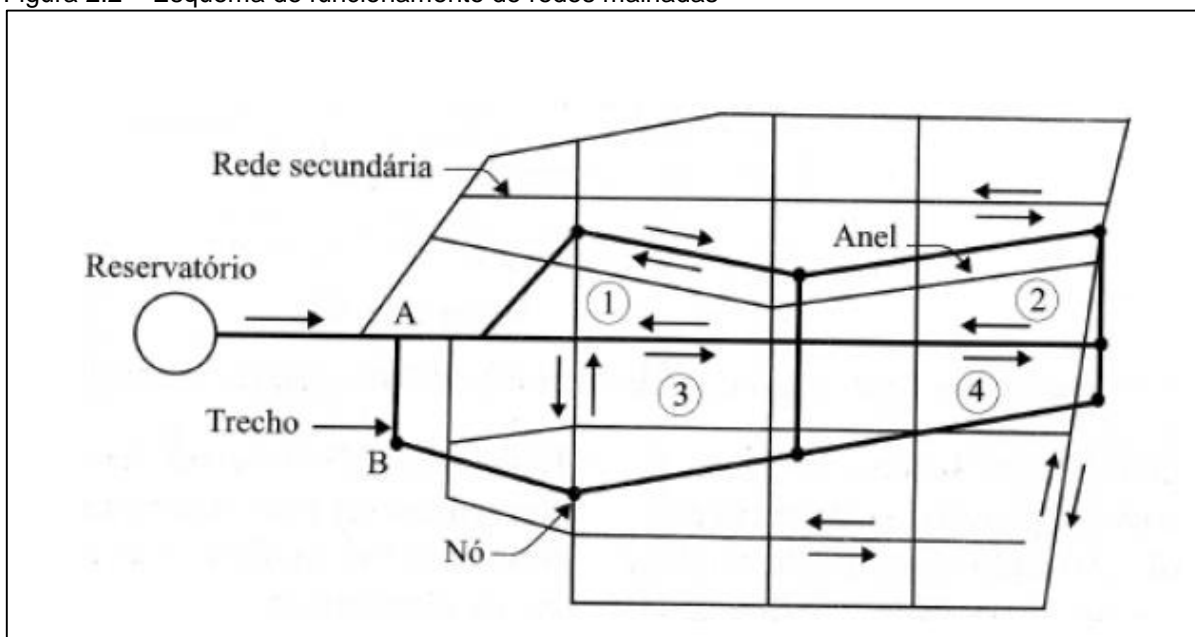
As redes malhadas, por sua vez, possuem tubulações que formam anéis fechados e, devido às mudanças nas pressões atuantes, o sentido do fluxo pode mudar, uma vez que este vai do ponto de maior pressão para o ponto de menor pressão, semelhante à diferença de potencial aplicada à eletricidade (SALVINO, 2009).

Furusawa (2011) cita as seguintes características para as redes do tipo malhadas:

- O sentido de escoamento é variável, garantindo uma maior flexibilidade em satisfazer as demandas;
- A interrupção no escoamento em uma tubulação não compromete todo o abastecimento, pois o mesmo pode ser feito por mais de um caminho, facilitando a execução da manutenção;
- Não apresenta pontas secas ou extremidades mortas, resultando numa menor probabilidade de acúmulo de material na rede ou estagnação da água.

A Figura 2.2 apresenta o modelo de uma rede de distribuição em malha.

Figura 2.2 – Esquema de funcionamento de redes malhadas



Fonte: Tsutiya (2006)

Por fim, uma rede classificada como mista faz uso das duas disposições de tubulações supracitados. Normalmente um trecho da rede apresenta distribuição malhada e outro com rede aberta ou ramificada (FURUSAWA, 2011).

### 2.1.2 Projeto de redes de distribuição

O dimensionamento das redes de distribuição de água deve seguir o recomendado na norma técnica NBR 12218 (ABNT, 1994), sendo calculada em função das vazões de consumo, que dependem do consumo *per capita*, da estimativa do número de habitantes, das variações de demanda e de consumos que podem ocorrer na área de estudo, também chamados de vazões especiais ou de consumo pontual.

Tradicionalmente, os consumidores são divididos em quatro categorias (doméstico, comercial, industrial e público), que servem para o estabelecimento de políticas tarifárias e cobranças diferenciadas (FURUSAWA, 2011).

Depois de definidos os parâmetros citados anteriormente, dimensiona-se a rede de abastecimento através de modelos físico-matemáticos, que variam de acordo com o tipo de rede que se pretende executar (citadas no tópico 2.1.2.3).

A seguir detalha-se as etapas do dimensionamento de uma rede de distribuição.

### 2.1.2.1 Projeção populacional

Na maioria dos casos é necessário projetar a população para o tempo previsto de projeto do sistema de abastecimento de água, trabalhando sempre com populações de início e de final de projeto (DIUANA e OGAWA, 2015). Essas projeções podem ser feitas por modelos matemáticos, entre eles, os maior usados são o método aritmético, geométrico, da curva logística, de regressão matemática, taxa média anual fixada, função previsão e função crescimento (FURUSAWA, 2011).

Recomenda-se atentar às características regionais, econômicas e culturais da cidade em que a rede está sendo dimensionada, pois há casos de população flutuante, em que deve-se projetar o sistema para atender essa demanda também (TSUTIYA, 2006; DIUANA e OGAWA, 2015). A Tabela 2.1 apresenta um resumo dos métodos de projeção populacional mais utilizado.

Tabela 2.1 – Métodos de projeção populacional

(Continua)

Método	Descrição	Fórmulas*
Aritmético	Baseia-se em interpolações entre todos os anos, gerando várias retas com os dados populacionais ao longo do tempo.	$r = \frac{P_1 - P_0}{t_1 - t_0}$ $P = P_0 + r \cdot (t_1 - t_0)$
Método geométrico	Por se tratar de um modelo matemático baseado em uma P.G. (progressão geométrica) não considera o decréscimo da população e admite um crescimento ilimitado.	$q = \frac{\ln P_1 - \ln P_0}{t_1 - t_0}$ $P = P_0 \cdot e^{q \cdot (t_1 - t_0)}$
Método curva logística	Baseia-se na hipótese de crescimento assintótico da população para um valor limite $P_s$ . É definida a partir de três pares de pontos	$P = \frac{P_s}{1 + e^{a-b \cdot (t-t_0)}}$ $b = -\frac{1}{d} \cdot \ln \frac{P_0(P_s - P_1)}{P_1(P_s - P_0)}$ $a = \ln \frac{(P_s - P_0)}{P_0}$ $P_s = \frac{2 \cdot P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2(P_0 + P_2)}{P_0 \cdot P_2 - (P_1)^2}$ $d = t_2 - t_1 = t_1 - t_0$

Tabela 2.1 – Métodos de projeção populacional

(Conclusão)

Método	Descrição	Fórmulas*
Método da regressão parabólica	A regressão matemática é um método de extrapolação dos dados disponíveis até a data em que se pretende obter o valor da projeção populacional, segundo uma determinada equação. O critério de estimativa de crescimento populacional por regressão parabólica baseia-se na extrapolação dos dados existentes, ajustando uma curva de crescimento a uma equação do segundo grau, com y sendo a variável população e x a variável tempo.	$y = A + Bx + Cx^2$
Método da taxa média fixada	Fixa-se a taxa de crescimento anual da população através da média das taxas dos censos anteriores, e aplica-se esse valor aos anos que se pretende obter a população. Os resultados desse tipo de projeção não possuem uma representativa confiável, pois consideram um crescimento anual constante.	---
Método da função previsão	Esse método faz-se uso da Função Previsão do Software Excel, que calcula, ou prevê, um valor futuro (variável y) usando valores existentes (variáveis x). Através de dados populacionais de censos anteriores, é possível obter através dessa função, o valor do número de habitantes para os anos futuros.	---
Método da função crescimento	Também o utiliza-se do Software Excel e agora da Função Crescimento, que calcula o crescimento exponencial previsto através de dados existentes. Logo, de posse de dados populacionais de censos anteriores, é possível realizar a previsão da população de uma cidade ou região através dessa ferramenta.	---

Fonte: Adaptado de Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) – Prefeitura Municipal de Marechal Cândido Rondon, 2016; Apostila Sistemas de Abastecimento de Água – UFSC e UFPB, 2017; Elementos de Engenharia Hidráulica e Sanitária – Garcez, 1976.

\*Onde: r = razão aritmética (hab/ano);  $P_1$  = população do ano 1 (hab);  $P_0$  = população do ano 0 (hab);  $t_1$  = ano 1;  $t_0$  = ano 0; P = população futura (hab); q = crescimento geométrico (hab/ano); d= variação do tempo (anos);  $P_s$  = população de saturação (limite superior de P; hab); a = constante (valor que, para  $t=a/b$  há um ponto de inflexão na curva); b = constante (razão de crescimento da população).

Qualquer um dos métodos necessita de dados populacionais de anos passados ao ano de estudo, os quais podem ser adquiridos através de consultas em censos populacionais realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

### 2.1.2.2 Vazão

A vazão de projeto a qual a rede deverá suprir é determinada pela equação (2.1).

$$Q_p = \frac{P * q * K_1 * K_2}{86400} + Q_{ep} \quad (2.1)$$

Onde:

$Q_p$  = vazão de projeto (m<sup>3</sup>/s);

$P$  = população a ser abastecida (hab);

$q$  = taxa de consumo per capita diária referente a esta população (L/hab.dia);

$K_1$  = coeficiente do dia de maior consumo;

$K_2$  = coeficiente da hora de maior consumo;

$Q_{ep}$  = vazão especial ou de consumo pontual (m<sup>3</sup>/s).

Esta vazão depende, entre outros fatores, da demanda *per capita* local, a qual varia de acordo com aspectos sociais, econômicos, culturais e naturais da localidade que se pretende atender, e normalmente apresenta valores entre 100 e 300 L/hab.dia (ABNT, 1992; GARCEZ, 2006).

Furusawa (2011) cita que esta grandeza pode ser obtida através de medições existentes (micromedições e macromedições), ou estimado a partir de setor, cidade ou sistema com características semelhantes.

A Tabela 2.2 mostra os valores médios de consumo *per capita* encontrados para a amostra total do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS) em 2007 e 2008, por região geográfica do Brasil.

Tabela 2.2 – Valores do consumo médio *per capita* de água no Brasil

Estados/regiões	Per Capita 2007 (L/hab*dia)	Per Capita 2008 (L/hab*dia)	Variação (%) 2008/2007
Centro-Oeste	145,2	143,8	-1,0
Norte	134,1	135,7	1,2
Nordeste	114,8	110,5	-3,7
Sudeste	173,8	178,1	2,5
Sul	134,9	137,2	1,7
Brasil	149,6	151,2	1,1

Fonte: Adaptado de Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos 2008 do SNIS

De acordo com Garcez (1976), as variações do consumo se dividem em:

- Variação diária: variação em relação ao consumo médio diário anual, sendo maior no verão e menor no inverno;
- Variação horária: variação em relação ao consumo médio diário do dia, sendo geralmente maior entre as 10 e 12 horas;
- Variação instantânea: variação no atendimento de pontos de consumo desprovidos de reservatório domiciliar, e também, nas grandes cidades as vazões requeridas para demandas de combate à incêndios se enquadram nesse tipo de variação.

Para considerar essas variações no cálculo de vazões requeridas, utiliza-se coeficientes de consumo que são multiplicados pela vazão demandada e corrigem as variações do dia e da hora de maior consumo.

O coeficiente do dia de maior consumo, também conhecido como  $K_1$ , é a relação entre o maior consumo diário verificado no período de um ano e o consumo médio diário neste mesmo período, sendo recomendado um período de observação consecutivo de cinco anos. [...] O coeficiente da hora de maior consumo  $K_2$  é a relação entre a maior vazão horária observada num dia e a vazão média horária do mesmo dia. (ABNT, 1992; FURUSAWA, R. T., 2011).

Apesar de Furusawa (2011) afirmar que no Brasil é comum utilizar-se os valores de 1,2 e 1,5 para os coeficientes  $K_1$  e  $K_2$ , respectivamente, ele alerta que esses parâmetros requerem uma avaliação cuidadosa para cada local estudado, e a adoção de um valor comum recomendado para projeto pode gerar riscos, que variam com as frequências de excedência dessas vazões.

### 2.1.2.3 Dimensionamento de redes

No dimensionamento de redes recomenda-se a utilização da norma técnica NBR 12218:94 (ABNT, 1994) que estabelece diretrizes para projetos de rede de distribuição de água. Nessa define-se valores de pressão e velocidades mínimos e máximos para as tubulações da rede, os quais constam na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Limites estabelecidos na NBR 12218:94

Parâmetro	Limite
Pressão estática máxima	50 m.c.a.
Pressão dinâmica mínima	10 m.c.a.
Velocidade máxima	3,5 m/s
Velocidade mínima	0,6 m/s

Fonte: ABNT, 1994

Apesar dos valores estabelecidos em norma, em pequenas redes que possuem pequenas vazões, nem sempre é possível garantir a velocidade mínima de 0,6 m/s. Isto se deve ao fato da utilização do diâmetro mínimo na rede de 50 mm, não tornando possível garantir a velocidade de 0,6 m/s, caso a vazão no trecho seja inferior a 1,18 l/s (SALVINO, 2009).

Para o dimensionamento das redes há diversos métodos físico-matemáticos, que variam de acordo com o tipo da rede que se pretende dimensionar. Neste trabalho serão apresentados os principais para cada tipo de rede.

#### 2.1.2.3.1 Dimensionamento de redes ramificadas

Para as redes ramificadas já se tem calculado ou pré-definido as vazões, os comprimentos dos trechos, os coeficientes de rugosidade e os diâmetros, este último podendo sofrer alterações conforme necessário. Com isso, é possível obter a taxa de consumo linear (vazão de marcha) e a vazão necessária para cada trecho (DIUANA e OGAWA, 2015).

Partindo das vazões são calculadas as perdas de carga nos trechos e as pressões nos nós a partir de um ponto de pressão conhecido. Esse ponto geralmente é um reservatório com nível d'água (NA) conhecido, ou uma adutora com pressões estática e dinâmica aferidas (FURUSAWA, 2011). Esse ponto pode ainda ser o ponto

da rede mais desfavorável quanto à pressão, que no geral se localiza no ponto mais alto ou mais distante do reservatório (DIUANA e OGAWA, 2015).

Caso as pressões estejam dentro do limite estabelecido na norma NBR 12218:94 (Tabela 2.3), o dimensionamento está concluído. Caso contrário, altera-se o diâmetro ou a cota do reservatório, e todo o processo é refeito.

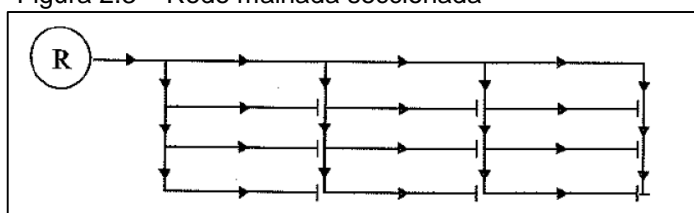
#### 2.1.2.3.2 Dimensionamento de redes malhadas

Devido ao fato de não se conhecer o sentido que o fluxo de água irá tomar nessas redes, o dimensionamento se revela mais trabalhoso. No geral são utilizadas soluções aproximadas, chegando-se por tentativa e erro à precisão desejada. Os métodos mais conhecidos para o dimensionamento desse tipo de rede é o do seccionamento e do cálculo iterativo (GARCEZ, 1976).

O método do seccionamento se assemelha ao cálculo para dimensionamento de redes ramificadas, sendo indicado para o dimensionamento de redes de pequenas cidades e verificação de trechos secundários (TSUTYIA, 2006).

Nesse método a rede é seccionada, transformando-a numa rede ramificada fictícia, como apresentado na Figura 2.3. Assim, os caminhos que a água irá tomar são definidos, sendo estes os mais curtos possíveis para se alcançar cada ponto.

Figura 2.3 – Rede malhada seccionada



Fonte: Tsutyia, 2006

A diferenciação do cálculo desse tipo de rede em relação às redes ramificadas é que, aqui as pressões resultantes nos pontos de seccionamento devem ser verificadas, considerando-se aceitáveis as diferenças que não ultrapassem 5% (TSUTYIA, 2006).

Furusawa (2011) cita que se as pressões obtidas não estejam adequadas ou a altura do reservatório esteja muito elevada, é necessário alterar o traçado da rede, o seccionamento adotado ou o diâmetro de alguns trechos. Feitas essas alterações, a rede é recalculada até se chegar a uma solução satisfatória.



Para o cálculo de redes malhadas, a norma NBR 12218:17 sugere a utilização do método iterativo, pois este garante resíduos máximos de vazão e de carga piezométrica de 0,1 L/s e 0,5 kPa, respectivamente. Partindo desse princípio, o método mais utilizado é o de Hardy-Cross (correção das vazões).

Segundo Gomes (2004) há muitos anos vêm sendo adotadas as técnicas de determinação de fluxos e pressões desenvolvidas por Hardy-Cross em 1936 para redes de distribuição de água. Nesse método, as variáveis desconhecidas são encontradas através da solução simultânea do mesmo número de equações, sendo esse valor correspondente ao número de trechos da rede.

O método de Hardy-Cross é baseado nos seguintes princípios:

- A soma das perdas de carga nos trechos i-j no circuito hidráulico deve ser nula, sendo i o primeiro nó e j o último, como consta na Equação (2.2);

$$\sum \Delta H_{i,j} = 0 \quad (2.2)$$

Onde:

$\Delta H_{i,j}$  = perda de carga nos trechos i-j no circuito hidráulico.

- A soma das vazões afluentes a determinado nó deve ser igual a soma das vazões efluentes, sendo  $Q_{i,j}$  a vazão no trecho i-j e  $E_i$  a vazão concentrada no nó i. Como pode-se ver na Equação (2.3);

$$\sum Q_{i,j} + E_i = 0 \quad (2.3)$$

Onde:

$Q_{i,j}$  = vazão no trecho i-j;

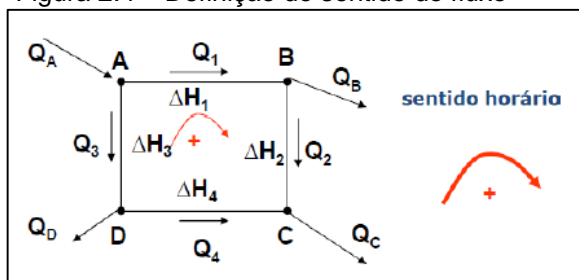
$E_i$  = vazão concentrada no nó i.

- A lei da perda de carga deve ser satisfeita em cada elemento dos sub-circuitos.

Nesta metodologia as demandas nos nós são consideradas fixas e cabe ao modelo determinar as vazões nos trechos e pressões nos nós, hidraulicamente consistente com o atendimento pleno dessas demandas, considerando que os

sistemas são fechados e o escoamento ocorre sob pressão (PORTO, 2006). Para isso, define-se um sentido para o escoamento, normalmente o sentido horário, como pode ser observado na figura 2.4, em que a flecha em vermelho representa o sentido adotado para o escoamento em um trecho de uma rede malhada genérica.

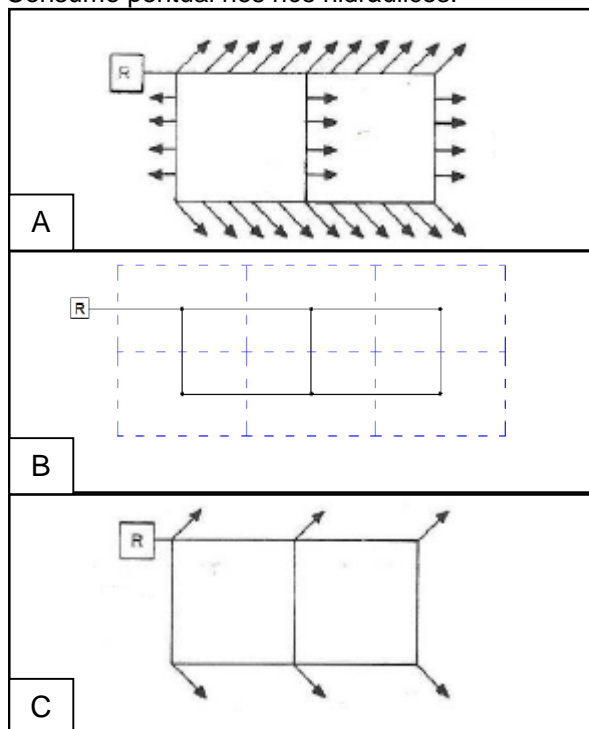
Figura 2.4 – Definição do sentido do fluxo



Fonte: DIUANA e OGAWA, 2015

A vazão em marcha (Figura 2.5-A) é substituída por um consumo pontual nos nós hidráulicos (Figura 2.5-C), baseada na soma do consumo em marcha de cada área de influência (Figura 2.5-B).

Figura 2.5 – Rede malhada genérica. (A) Vazão em marcha em um trecho de rede malhada genérica. (B) Área de influência de cada nó hidráulico. (C) Consumo pontual nos nós hidráulicos.



Fonte: DIUANA e OGAWA, 2015

Apesar de amplamente utilizada, Furusawa (2011) diz que essa metodologia não aborda a questão da otimização econômica e trata apenas da parte hidráulica da rede, calculando a sua distribuição de pressões e de vazão.

### 2.1.3 Problemas em redes de distribuição

A seguir serão apresentados os principais problemas em redes de abastecimento de água causados pela existência de pressões fora dos limites estabelecidos em norma.

#### 2.1.3.1 Ocorrência de zonas de baixas pressões

Devido às altas cotas topográficas e à perda de carga na tubulação, em um sistema de abastecimento de água o líquido deve entrar com energia suficiente no sistema para vencer todas essas resistências e ainda, disponibilizar uma vazão confortável nos pontos de consumo. Os trechos da rede onde a pressão atuante é menor do que a normatizada de 100 kPa são chamados de zonas de baixa pressão (CARMO, 2009).

Além dos fatores supracitados, outros podem contribuir para ocorrência de zonas de baixa pressão, dentre eles, a presença de grandes vazamentos e a expansão da rede em áreas localizadas fora da área de abrangência do projeto, caracterizando demandas não previstas no projeto inicial.

Segundo Carmo (2009), as zonas de baixa pressão possuem grande probabilidade de ocorrência de intermitência no abastecimento, pois em quadros em que a vazão ofertada diminui, ou em que a vazão demandada aumenta, as primeiras áreas que poderão faltar água são aquelas localizadas em tais zonas.

#### 2.1.3.2 Ocorrência de zonas de altas pressões

Áreas em que a pressão atuante na rede de distribuição é maior que o limite preconizado pela NBR 12218:94 (ABNT, 1994) de 500 kPa, são denominados de zonas de alta pressão. Normalmente estão localizadas em regiões topograficamente acidentadas, e apresentam grande diferença de cota em relação à lâmina d'água do reservatório.

Carmo (2009) explica que é justamente nessas zonas em que ocorrem os maiores índices de perdas reais de água, pois existe uma elevada incidência de vazamentos na rede e nas residências com abastecimento do tipo direto.

De acordo com Gomes (2004), as pressões elevadas nas redes devem ser reduzidas, pois:

- Com maiores pressões requeridas, o custo energético de bombeamento aumenta, já que o custo é diretamente proporcional à altura manométrica de impulsão;
- Para maiores pressões na rede, as tubulações serão mais caras por necessitarem de maiores pressões nominais;
- As possibilidades de ruptura nas tubulações aumentam com o aumento das pressões dinâmicas e estáticas na rede;
- As perdas reais de água crescem com o aumento das pressões de serviço, pois a vazão nas fissuras e juntas dos tubos aumenta com altas pressões;
- As vazões nos pontos de consumo crescem com o aumento das pressões disponíveis.

De acordo com a NBR 12218 (ABNT, 1994), os trechos de condutos principais que não abastecem consumidores ou tubulações secundárias não estão sujeitos aos limites de pressão de 100 kPa e 500 kPa.

### *2.1.3.3 Perdas no sistema*

Em sistemas de abastecimento de água, perdas significam a diferença entre o volume produzido e o volume consumido, ou seja, é a diferença entre o que a companhia produziu, e o que ela realmente faturou. Esse é um dos principais indicadores das companhias de saneamento no Brasil (ABES, 2013).

Segundo Tavares (2011), as perdas elevadas têm dois efeitos negativos relevantes: representam desperdício de recursos naturais (consequências ambientais), e constituem uma parcela significativa no custo de produção e operação do sistema (consequências econômicas).

Toda rede de distribuição está sujeita a ocorrência de fugas, e as principais causas são: o estado de conservação das tubulações e elementos acessórios; o tipo

de solo; condições de assentamento das tubulações; uso ilegal da água; erros de medição e a pressão em excesso na rede (situação mais comum) (TAVARES, 2011; MOREIRA, 2011).

As perdas se dividem em dois tipos, perdas reais e perdas aparentes. As perdas aparentes representam o volume de água perdido e que foi consumido pela população, originando-se de falhas ou dificuldades na medição, insensibilidade de hidrômetros e fraudes (COELHO et al., 2005)

As perdas reais, por sua vez, tem relação direta com a pressão na rede, e consiste no volume de água produzido pela companhia e não consumido pela população, podendo ocorrer desde a captação da água bruta, até os hidrômetros das economias (ABES, 2013).

De acordo com o guia Indicadores de Perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água, (PNCDA, 2004) as perdas reais se subdividem em perdas de produção e perdas de distribuição, a saber:

- Perdas de produção: constituem-se de fugas nas tubulações de captação e adução de água bruta; no tratamento e nos reservatórios;
- Perdas de distribuição: representam o montante de água perdido nas adutoras e subadutoras de água tratada; instalações de recalque; redes de distribuição e ramais prediais.

A Tabela 2.4 mostra as origens das perdas reais em cada subsistema e sua magnitude.

Tabela 2.4 – Perdas reais em subsistemas de abastecimento

<b>Subsistema</b>	<b>Origem</b>	<b>Magnitude</b>
Adução de Água Bruta	Vazamentos nas tubulações e limpeza do poço de sucção*	Variável, função do estado das tubulações e da eficiência operacional
Tratamento	Vazamentos estruturais, lavagem de filtros* e descarga de lodo*	Significativa, função do estado das instalações e da eficiência operacional
Reservação	Vazamentos estruturais, extravasamentos e limpeza*	Variável, função do estado das tubulações e da eficiência operacional
Adução de Água Tratada	Vazamentos nas tubulações, limpeza do poço de sucção* e descargas*	Variável, função do estado das tubulações e da eficiência operacional
Distribuição	Vazamentos na rede, vazamentos em ramais e descargas*	Significativa, função do estado das tubulações e principalmente das pressões

Fonte: PNCDA (2017)

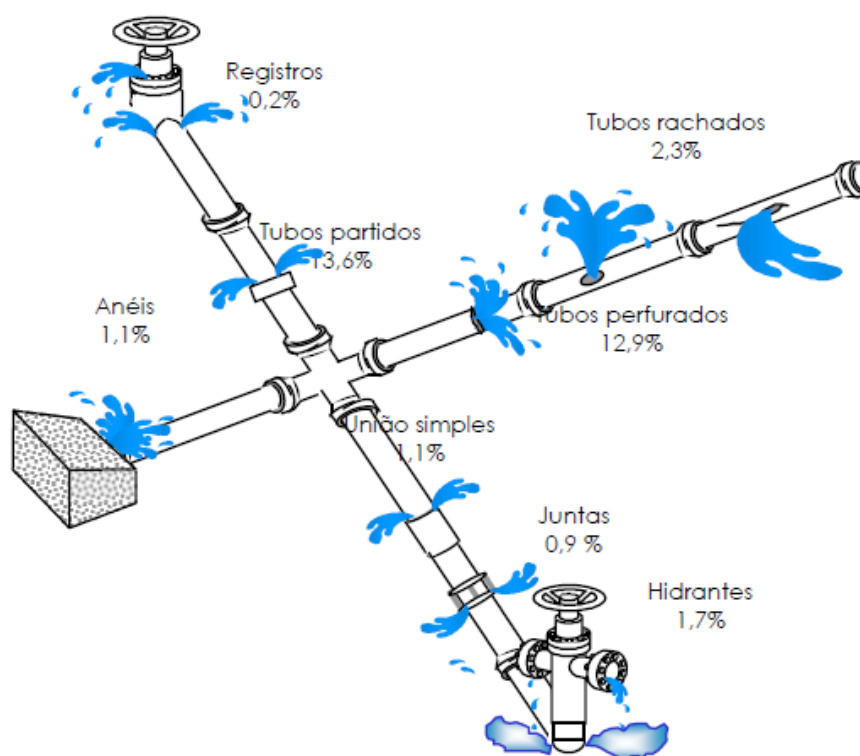
\*Considera-se vazamentos apenas o volume gasto excedente à realização das tarefas.

Como pode ser visto na Tabela 2.4, as perdas na distribuição representam uma parcela significativa do volume de água perdido, e tem relação direta com o estado das tubulações e com as pressões em serviço. Como Tavares (2011) destaca, elevadas pressões nas redes são as principais causadoras da ocorrência de perdas reais em sistemas de abastecimento de água, pois quanto maiores, maior será a constância de danos e rompimentos nessas redes.

Conforme Lopes (2013), o tipo de solo presente também é um fator importante no aumento das perdas reais, pois este interfere no tempo de reparo de rupturas na rede, uma vez que influencia o nível de visibilidade da fuga. O volume de água perdido em uma rede de abastecimento também é influenciado pela eficiência nos serviços da companhia, ou seja, no tempo de resposta no que tange a detecção e eliminação do vazamento.

A Figura 2.6 ilustra onde geralmente ocorrem vazamentos nas redes de distribuição, e apresenta alguns percentuais ilustrativos citados no PNCD, os quais são baseados em experiências da SANASA – Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento de Campinas – SP.

Figura 2.6 – Pontos frequentes de vazamentos em redes de distribuição



Fonte: PNCD (2017)

Como pode ser observado na Figura 2.6 existe uma grande diversidade de pontos em que podem ocorrer vazamentos em uma rede de distribuição, porém os mais significativos são em tubos partidos ou perfurados, ou seja, defeitos que ocorrem no acessório mais presente em uma rede, os tubos. Os fatores que acarretam ou intensificam essa patologia são a qualidade dos equipamentos e acessórios utilizados, o método construtivo da rede e a qualidade e quantidade de atividades de manutenção feitas na rede.

Apesar dos dois tipos de perdas (reais e aparentes) influenciarem no faturamento das companhias de abastecimento de água e exercerem onerosidades aos consumidores, apenas as perdas reais, por sua natureza, necessitam de um aumento na introdução do volume de água no sistema (TAVARES, 2011).

É justamente por isso que, segundo Rezende (2006), a redução das perdas reais permite a diminuição dos custos de operação e manutenção do sistema, propiciando o aumento da oferta de água tratada sem que haja a expansão dos sistemas produtores.

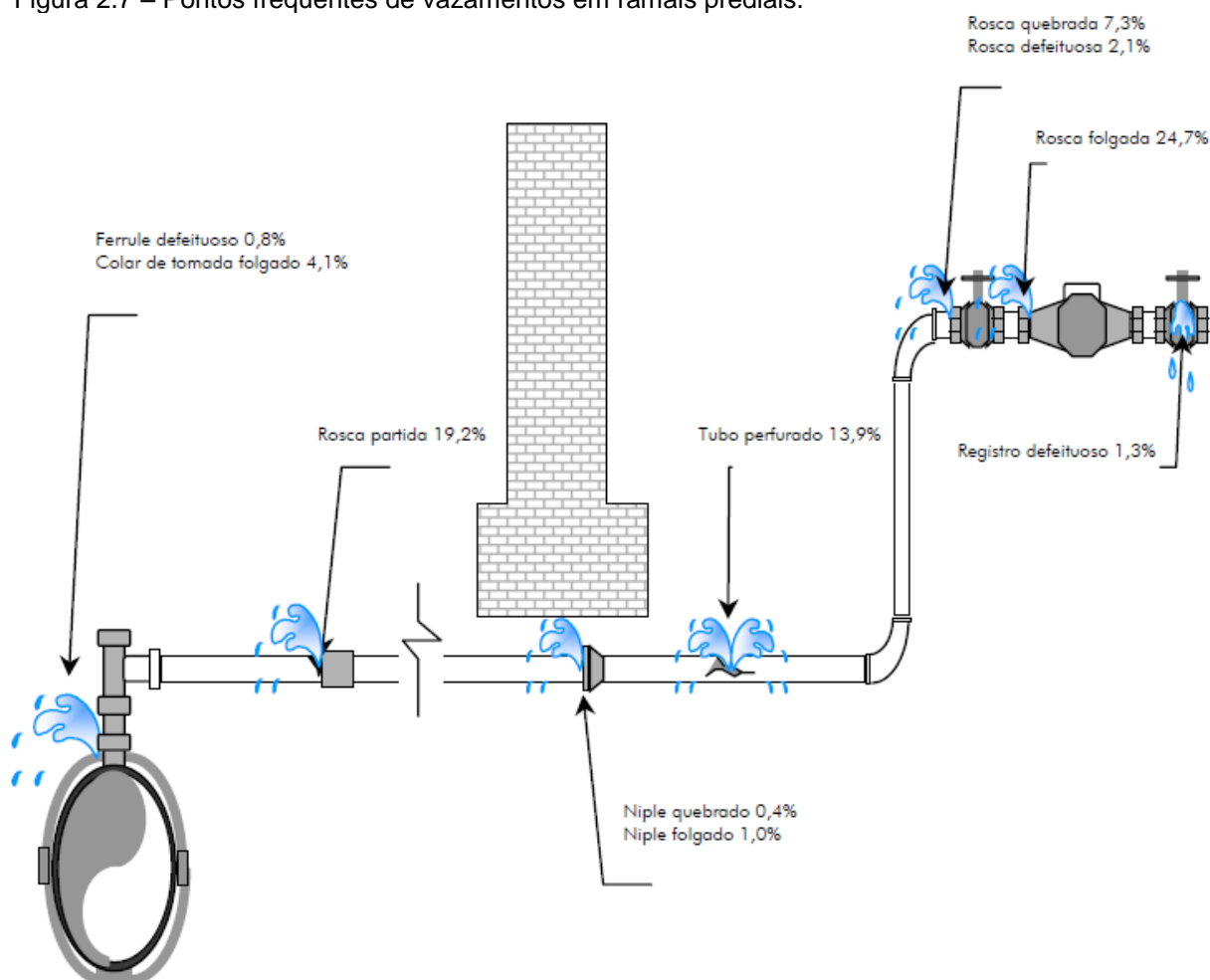
Segundo o PNCDA (2017), os maiores volumes perdidos de água tratada ocorrem nas tubulações da rede distribuidora, devido à maior extensão e aos maiores volumes que passam por esta, porém, experiências de técnicos do ramo indicam que a maior quantidade de ocorrências de vazamentos está nos ramais prediais.

Coelho et al. (2005), comenta sobre os vazamentos a jusante do hidrômetro: “apesar das perdas físicas localizadas a jusante do hidrômetro do consumidor se encontrarem excluídas do cálculo das perdas reais, são muitas vezes significativas e relevantes para a entidade gestora (em particular quando não há equipamentos de medição)”.

Lopes (2013) diz que nos casos em que há medições, essas perdas representem faturamento para a companhia, porém esta deve estar ciente de suas obrigações e sobrepôr o uso eficiente dos recursos hídricos à este benefício econômico.

A Figura 2.7 apresenta os pontos mais frequentes de fugas nos ramais, com percentuais ilustrativos baseados em experiências da SANASA.

Figura 2.7 – Pontos frequentes de vazamentos em ramais prediais.



Fonte: PNCDA (2017)

Como pode ser observado na Figura 2.7, os pontos mais frequentes de vazamentos em ramais ocorrem em patologias presentes nas roscas (roscas quebradas, partidas, defeituosas ou folgada) e nos tubos.

#### 2.1.3.4 Intermitência no abastecimento e deterioração da qualidade da água

Capacidade de reservação insuficiente para suprir demandas em horários de pico, paralisação do conjunto motor-bomba, falta de energia elétrica, elevados índices de perdas e desperdícios, produção insuficiente e acidentes. Todos esses eventos podem causar interrupções no fornecimento de água em uma rede de distribuição ou em parte dela, caracterizando o que se conhece como intermitência no abastecimento de água (CARMO, 2009).

Em sistemas onde ocorrem constantes períodos de intermitência no abastecimento, pode ocorrer ainda a contaminação da água tratada. Quando, em um



sistema, as tubulações são esvaziadas, podem ocorrer pressões negativas em pontos da rede, fazendo com que contaminantes presentes no solo sejam sugados para o interior dos tubos através de trechos com vazamentos. Esses contaminantes, posteriormente, são diluídos e se misturam com a água tratada, a qual será distribuída e consumida (CARMO, 2009).

Nos casos onde a pressão disponível na rede não é suficiente para garantir o abastecimento nos horários de pico de consumo, para minimizar os problemas com intermitências no abastecimento, recomenda-se a instalação de um *booster* de rede, de modo que este pressurize somente a parcela da rede onde há deficiência no abastecimento, sem elevar desnecessariamente a pressão no restante do sistema (PNCDA, 2006).

#### 2.1.4 Operação de sistemas de abastecimento de água

A operação dos sistemas de abastecimento de água representa a principal tarefa de gestão das empresas de saneamento em termos sanitários, ambientais, econômicos e sociais. Esta engloba todos os serviços desde a captação, adução, tratamento, bombeamento, reservação e distribuição do produto (GARCEZ, 1976).

A qualidade da água a ser distribuída pela companhia pode se deteriorar dentro das tubulações, reagindo com matéria orgânica ou materiais liberados pelas paredes das tubulações, ou, dentro dos reservatórios de distribuição com água proveniente de outras fontes. Ainda pode ocorrer a contaminação com outros elementos distintos que adentrarem à rede pelos pontos de vazamento do sistema (GOMES, 2004).

Todas essas possibilidades acabam revelando os desafios enfrentados pela companhia para garantir a eficiência sanitária do serviço. Uma correta gestão do sistema de abastecimento pode diminuir o índice de perdas da companhia e conseqüentemente a vazão requerida para o abastecimento. Essa prática resulta num menor consumo dos recursos hídricos, dos gastos com energia elétrica, que segundo Salvino (2009), 90% é referente à energia necessária para o bombeamento, e dos gastos com produtos químicos para o tratamento da água, revelando aspectos sanitários, ambientais e econômicos da operação de sistemas de abastecimento.

Os aspectos sanitários, ambientais e econômicos supracitados se refletem diretamente no aspecto social, uma vez que a distribuição de água potável, com

qualidade e quantidade adequadas, de maneira ininterrupta, a um custo acessível, sem ruína ao meio ambiente, é requisito indispensável à sociedade como um todo (GOMES, 2004; GARCEZ, 1976).

Em suma, a garantia de água potável, em vazão e pressão adequadas, a intermitência ou não do abastecimento, os níveis de perdas de água e o uso racional da energia elétrica podem mensurar a eficiência de um serviço de abastecimento.

## 2.2 SIMULAÇÃO HIDRÁULICA

Por serem enterradas e apresentarem uma parte muito pequena de seus componentes visível, e conseqüentemente, passível de inspeção, as redes de distribuição de água possuem uma capacidade de monitoramento do estado dos seus sistemas usualmente insuficientes. As medições de pressão, vazão ou de qualidade da água acabam sendo desproporcionais no tempo e no espaço ao ideal, devido à complexidade das redes, número de pontos de consumo e variabilidade destes (COELHO et al., 2005).

Devido a isso, o comportamento de um sistema não é perceptível diretamente, sendo identificadas irregularidades apenas em casos em que ocorre falta de pressão ou abastecimento, elevados volumes de perdas, surgimento de água na superfície do solo ou aparecimento de sedimentos ou coloração na água. E mesmo nesses casos, em que a companhia detecta essas eventualidades, o diagnóstico detalhado da situação se revela demasiado oneroso, o que leva à necessidade da utilização de instrumentos baseados na modelagem e análise de dados (COELHO, LOUREIRO e ALEGRE, 2006).

Diante dessas necessidades de maiores informações dos sistemas surge a simulação hidráulica, processo numérico, auxiliados por computadores, para calcular variáveis ligadas a solução de problemas em condutos forçados, os mais recorrentes no campo de abastecimento de água para consumo humano (PÁDUA e HELLER, 2006).

Diuana e Ogawa (2015), citam que simuladores hidráulicos são ferramentas computacionais capazes de fornecer dados para exploração de diversos cenários, prevendo o comportamento hidráulico e de parâmetros de qualidade da água do sistema, com uma margem de erro estimável, a partir das características dos seus componentes, da sua forma de operação e dos consumos solicitados. Os modelos

permitem uma rápida e dinâmica verificação de formas de otimização de sistemas de abastecimento, sem que se faça necessária interferir no sistema fisicamente ou submetê-lo a modos de operação desconhecidos.

Pádua e Heller (2006), citam algumas características que diversos modelos hidráulicos disponíveis no mercado possuem em comum, dentre elas:

- Interface gráfica;
- Possibilidade de trabalhar com mais de um sistema de unidades;
- Geração de gráficos das variáveis selecionadas;
- Capacidade de simular diversos cenários sejam eles físicos (configurações do sistema distribuidor, por exemplo), temporais (diversos tipos de projeções populacionais) ou operacionais (determinada válvula fechada ou aberta).

Através dessas características pode-se perceber a importância e praticidade que um simulador hidráulico pode desempenhar na tomada de decisões de uma companhia de saneamento.

A Tabela 2.5 apresenta algumas ferramentas dos principais programas de simulação hidráulica disponíveis atualmente no mercado, tais como, a possibilidade de realizar uma Análise da Qualidade da Água (AQA), a existência ou não da Interface Gráfica com o Utilizador (IGU), da versão de demonstração (Demo Disponível) e da sua natureza.

Tabela 2.5 – Modeladores hidráulicos utilizados em sistemas de abastecimento

Programa	AQA	IGU	Demo disponível	Natureza
AquaNet	x	x	-	Comercial
Archimed	x	x	x	Comercial
Branch/Loop	-	-	-	Gratuito
Cross	x	x	-	Comercial
Epanet 2.0	x	x	-	Gratuito
Eraclito	x	x	x	Comercial
H2O net / H2O map	x	x	-	Comercial
Helix delta – Q		x	x	Comercial

(Continua)

Tabela 2.6 – Modeladores hidráulicos utilizados em sistemas de abastecimento

Programa	AQA	IGU	Demo disponível	(Conclusão)
				Natureza
Mike Net	x	x	x	Comercial
Netis	x	-	-	Gratuito
Opti Designer	-	-	x	Comercial
Pipe 2000	x	x	x	Comercial
Stanet	x	x	x	Comercial
Wadisco AS	x	x	x	Comercial
WaterCAD 5.0	x	x	x	Comercial

Fonte: TAVARES, 2011

### 2.2.1 Desenvolvimento de um modelo de simulação hidráulica

De acordo com Coelho, Loureiro e Alegre (2006) são necessários os seguintes dados para a construção de um modelo de simulação:

- Dados que descrevam as características dos componentes físicos do sistema, tais como condutos, reservatórios, válvulas e bombas, coordenadas e cotas dos nós, o traçado da rede, etc.;
- Dados de consumo e de vazão, que reproduzem o melhor possível a distribuição espacial e o comportamento temporal das solicitações ao sistema;
- Dados sobre o funcionamento operacional do sistema, que refletem no modo como os componentes controláveis (por exemplo, válvulas e grupos elevatórios) são operados para os vários cenários de funcionamento.

Esses dados devem estar no cadastro das companhias de saneamento e consistem no recolhimento e armazenamento de uma gama de informações relativas a todas as partes de um sistema de distribuição de água (TAVARES, 2011).

Antes da execução propriamente dita de modelos hidráulicos, alguns passos devem ser seguidos, dentre eles: definir sua finalidade, definir o grau de simplificação da simulação, analisar os dados e realizar a documentação destes. Como aspecto mais importante, deve-se definir o que se quer (aplicações da simulação hidráulica) e qual a finalidade do modelo. Em um projeto, se o sistema é novo, não existem dados reais. Trabalha-se com dados estimados, o que torna o processo mais simples. Já

para a situação em que pretende-se realizar a ampliação de um sistema, a situação passa a ser mais complexa, pois é preciso garantir que o modelo espelhe a realidade do sistema existente (PÁDUA e HELLER, 2006).

Quanto ao grau de simplificação, os modelos podem ter mais ou menos detalhes, dependendo da sua finalidade. Modelos destinadas à análise da qualidade da água, por exemplo, precisam ser mais detalhados do que aqueles destinados à elaboração de planos diretores (TAVARES, 2011).

Pádua e Heller (2006) ressaltam que mais importante que um cadastro bem feito e dados confiáveis, é a correta leitura dos resultados gerados na simulação hidráulica. Entretanto, dada a simplicidade de edição e a facilidade de extrair dados dos modelos em geral, é comum entre os gestores dos serviços de abastecimento a errônea ideia de que os modelos reduzem a necessidade de técnicos especializados.

Na fase de documentação é preciso garantir que o modelo possa ser utilizado por um tempo maior, aumentando o benefício que deverá cobrir o custo de sua elaboração. Coelho, Loureiro e Alegre, (2006) citam alguns dos objetivos da documentação criteriosa do modelo hidráulico, a saber:

- Reavaliação dos objetivos e finalidades para o modelo;
- Estabelecimento de procedimentos de utilização do modelo;
- Planejamento do desenvolvimento continuado do modelo;
- Estabelecimento de procedimentos de atualização do modelo;
- Interligação com os sistemas de informação da companhia.

### 2.2.2 Aplicações da simulação hidráulica

De acordo com Coelho, Loureiro e Alegre (2006), os modelos de simulação hidráulica possuem múltiplas aplicações no que tange as tarefas de planejamento, projeto, operação e manutenção de sistemas de transporte e distribuição de água.

Para Pádua e Heller (2006), as aplicações de um simulador hidráulico se dividem basicamente em dois grandes grupos de atividades técnicas de engenharia: planejamento e operação.

Com foco do planejamento, os autores incluem as seguintes aplicações:

- Análises para prevenir o colapso dos sistemas (possibilitando a execução de obras de ampliação no momento oportuno);

- Estudos das alterações necessárias no sistema, no caso da introdução de um consumo significativo (indústria, novo bairro, etc.);
- Avaliações do período de vida útil de unidades do sistema existente, em função dos cenários de crescimento demográfico projetados (ou do sistema como um todo);
- Divisão do projeto em etapas de obras, otimizando a aplicação dos recursos financeiros para investimentos;
- Estudo da circulação da água na rede, evitando problemas de qualidade devido a “pontos mortos” no sistema;
- Elaboração dos planos diretores da macrodistribuição dos sistemas de abastecimento de água.

Da ótica da operação dos sistemas, outras aplicações são mais evidentes:

Análises hidráulicas, para identificação de problemas de abastecimento (pressão insuficiente ou exagerada);

- Análises hidráulicas, para a identificação de problemas de qualidade da água no sistema distribuidor;
- Estudos dos sistemas de bombeamento, tanto na produção quanto na distribuição, com finalidade de otimização energética;
- Auxílio na identificação de perdas nos sistemas;
- Treinamentos de técnicos das unidades operacionais;
- Análise hidráulica dos efeitos, no sistema distribuidor, da operação de válvulas para as intervenções de rotina (manutenções, interligações, reparos etc.).

Apesar da reconhecida importância e da ampla aplicabilidade dessas ferramentas, a utilização de simuladores hidráulicos prende-se a alguns fatores que podem prejudicar sua adoção por parte das companhias, principalmente por companhias pequenas, aquelas que possuem um corpo técnico limitado ou restrito (PÁDUA e HELLER, 2006). De acordo com Tavares (2011) são eles: a necessidade de alguma especialização técnica para uma correta abordagem ao desenvolvimento de modelos, a dificuldade em gerar os dados necessários (normalmente estes são insuficientes, encontram-se de maneira dispersa ou não possuem qualidade

desejada), e o fato da manutenção dos modelos exigir definição de procedimentos sistemáticos.

### 2.2.3 Epanet

Epanet é um *software* de modelagem hidráulica criado pela United States Environmental Protection Agency (USEPA), nos Estados Unidos no ano de 2000. De acordo com a definição da própria USEPA, o *software* modela os sistemas de tubulações de distribuição de água, realizando simulações de tempo prolongado do movimento de água e comportamento da qualidade desta nas redes de distribuição de água.

O simulador permite o aumento do conhecimento do sistema por parte do operador no que tange as suas variáveis hidráulicas (vazão e pressão) e o transporte e destino dos elementos constituintes da água destinada ao abastecimento (GOMES, 2004).

Como pode ser observado na Tabela 2.5, o Epanet é um programa gratuito e de domínio público que foi desenvolvido para dar suporte técnico na análise de redes de distribuição de água para abastecimento público, sistemas de irrigação, de combate a incêndios, entre outros. A atual versão (Epanet 2.0), assim como o Manual do usuário do Epanet foi traduzida para o português pelo Laboratório Nacional de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS) e pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

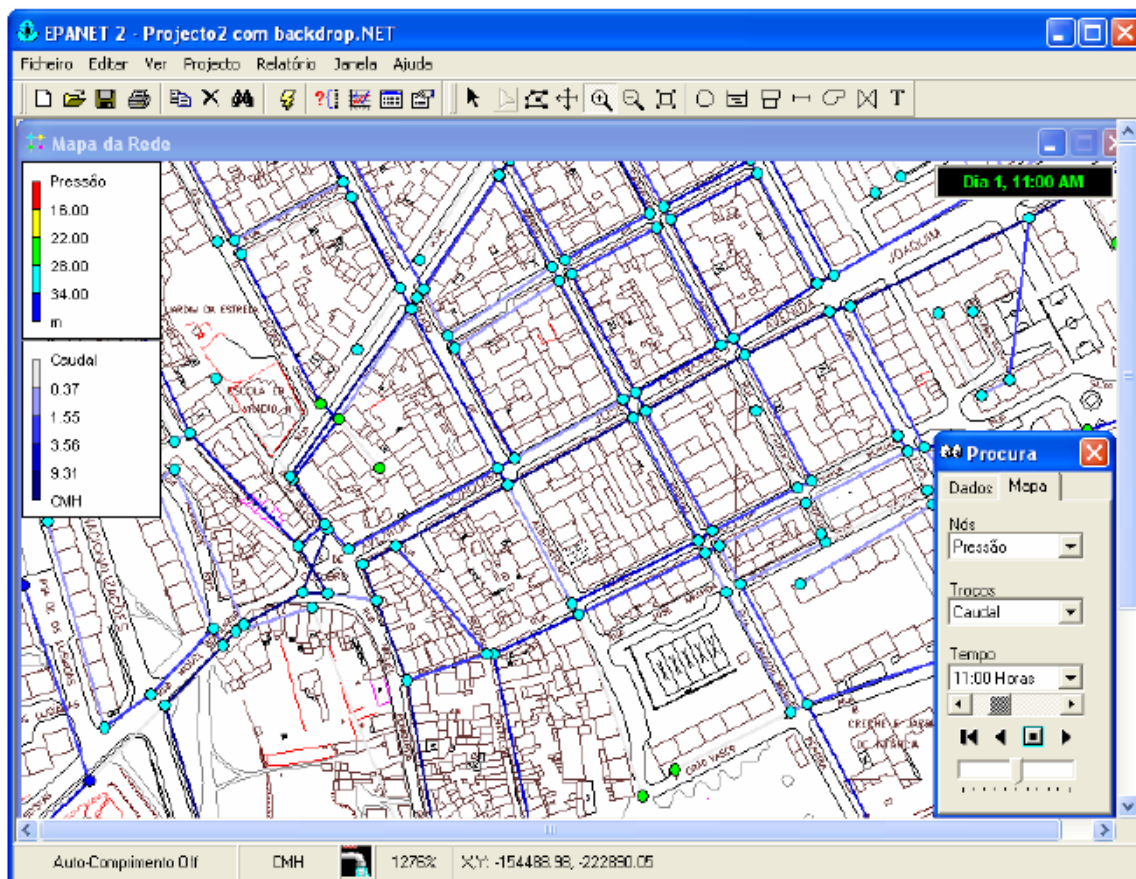
O programa contém um conjunto de ferramentas de cálculo que dão suporte à simulação hidráulica, onde se destacam como principais:

- Cálculo da perda de carga utilizando as fórmulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning;
- Considerações das perdas de carga singulares em curvas, alargamentos, estreitamentos, etc;
- Modelagem de bombas de velocidade constante ou variável;
- Cálculo da energia de bombeamento e do respectivo custo;
- Modelagem dos principais tipos de válvulas, incluindo válvulas de seccionamento, de retenção, reguladora de pressão e de vazão, entre outras;

- Modelagem de reservatórios de armazenamento de nível variável de formas diversas, através de curvas de volume em função da altura de água;
- Múltiplas categorias de consumo nos nós, cada uma com um padrão próprio de variação no tempo;
- Modelagem da relação entre pressão e vazão efluente de dispositivos emissores (aspersores de irrigação, ou consumos dependentes da pressão);
- Possibilidade de simulação com diversas regras de operação do sistema.

Fornecendo os dados de entrada (traçado da rede, consumo base, cota altimétrica de cada nó, diâmetro das tubulações e dados do reservatório), o Epanet realiza a simulação hidráulica através de iterações e fornece as cotas piezométricas dos nós e as velocidades em cada trecho (DIUANA e OGAWA, 2015). A Figura 2.8 apresenta a interface gráfica do Epanet, com a representação do traçado de rede sobre cartografia digital.

Figura 2.8 – Interface gráfica do Epanet



Fonte: Coelho, Loureiro e Alegre, (2006)



### 3 MÉTODOS E MATERIAIS

Este capítulo é dedicado à descrição dos métodos utilizados para a pesquisa, que possui o objetivo de realizar a simulação hidráulica da rede de abastecimento de água da cidade de Tupãssi – PR, através da utilização do *software* Epanet 2.0.

#### 3.1 DESCRIÇÃO GERAL DA PESQUISA

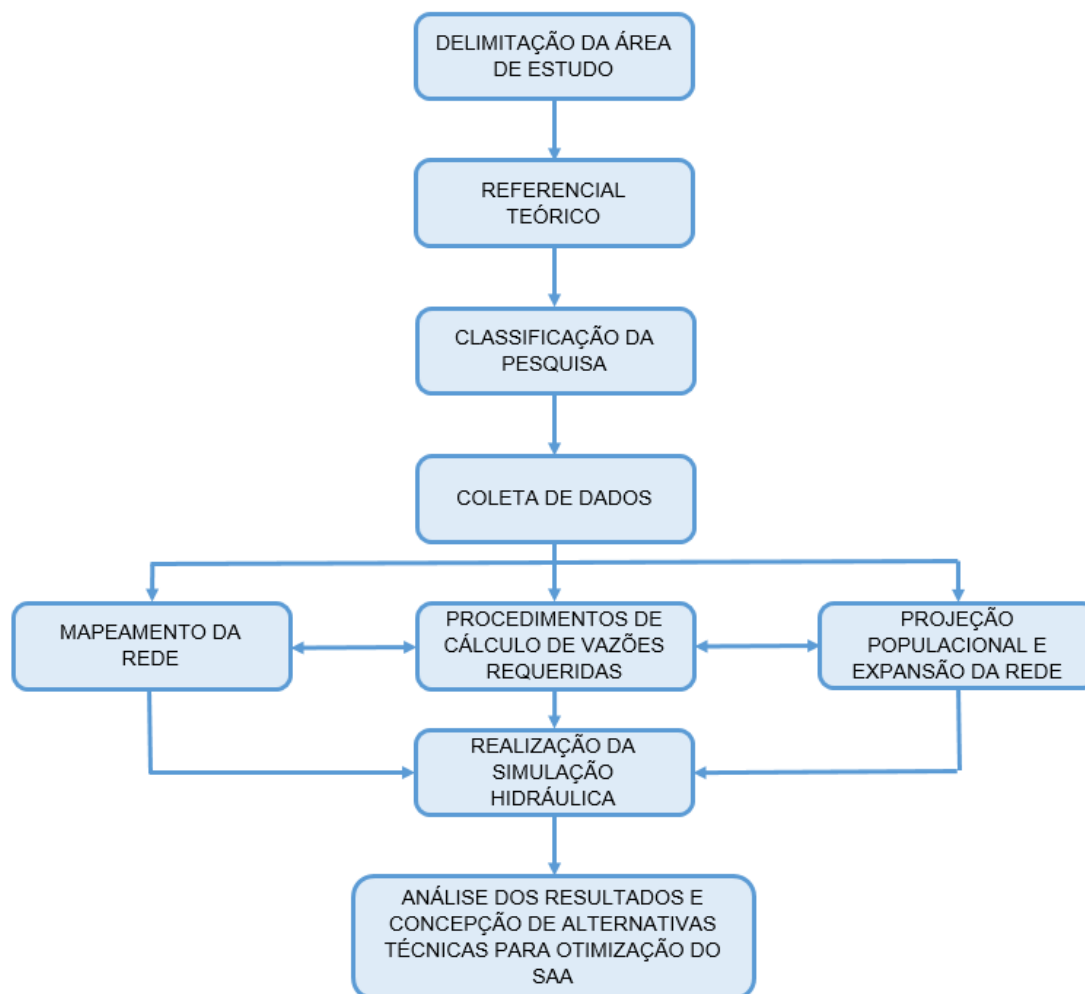
A metodologia utilizada para o desenvolvimento desse trabalho foi baseada numa análise investigativa, através de um estudo de caso, revelando-se assim como uma pesquisa exploratória.

Segundo Gil (2000), com objetivo de desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, a pesquisa exploratória parte da realização de um diagnóstico e levanta hipóteses para otimização ou posteriores estudos. O autor cita que este é o tipo de pesquisa que menos apresenta rigidez no planejamento, pois envolve levantamento bibliográfico e documental, e eventualmente entrevistas não padronizadas e estudos de caso.

Seguindo esse raciocínio, a realização de um correto diagnóstico da rede existente, assim como a identificação de todas as características e peculiaridades operacionais do sistema, se revelaram de grande importância para a correta introdução de dados para a simulação hidráulica, e conseqüentemente, realização do presente trabalho.

A Figura 3.1 apresenta o fluxograma das etapas desenvolvidas durante o estudo, e posteriormente, são detalhadas as ações para cada uma destas.

Figura 3.1 – Fluxograma base da pesquisa

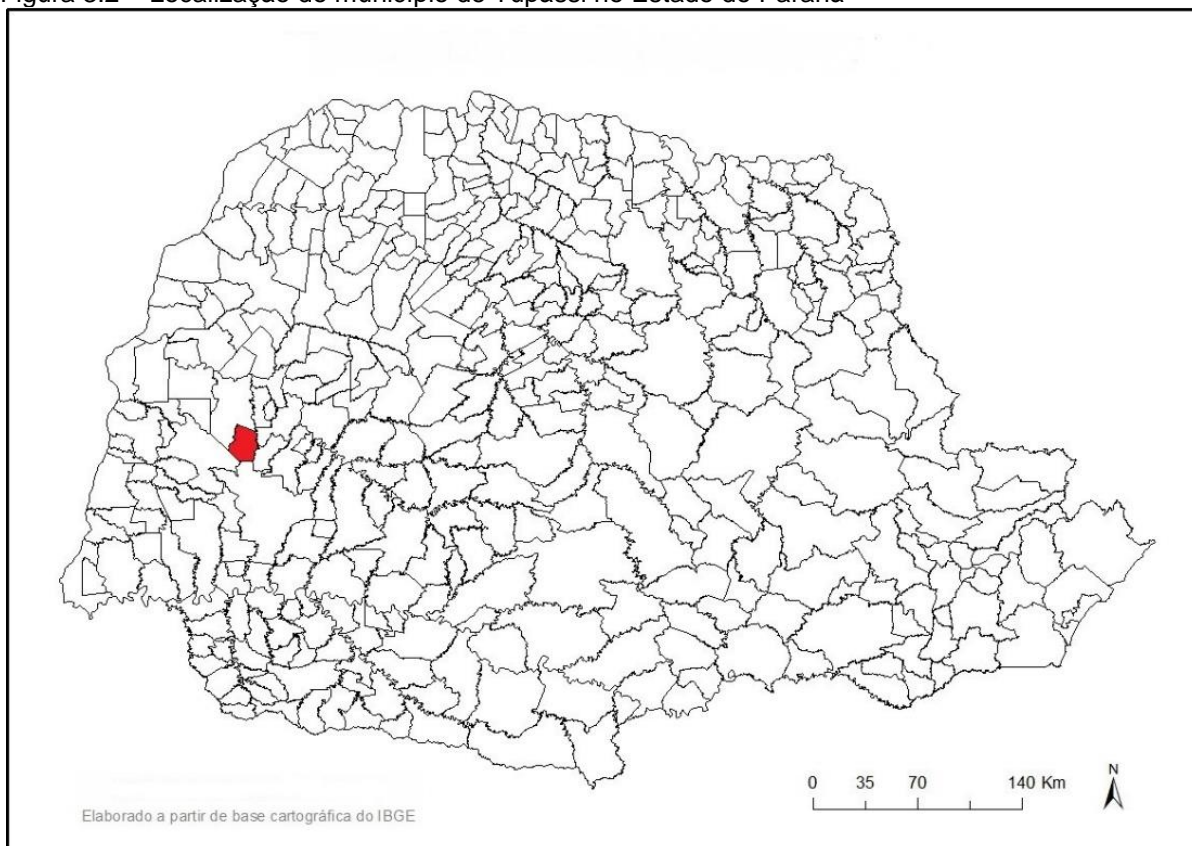


Fonte: Autoria própria (2018)

### 3.1.1 Delimitação da área de estudo

A área de estudo foi a sede urbana do município de Tupãssi, localizado no oeste do Estado do Paraná (Figura 3.2). O município, de acordo com a estimativa do IBGE para o ano de 2017, possui uma população de 8.277 habitantes. O abastecimento de água do município é de responsabilidade da SAATU – Serviço de Abastecimento de Água de Tupãssi, um departamento da Secretaria de Obras e Engenharia da Prefeitura Municipal de Tupãssi.

Figura 3.2 – Localização do município de Tupãssi no Estado do Paraná



Fonte: adaptado de Prefeitura Municipal de Tupãssi (2018)

A SAATU abastece também outras três localidades municipais: Jotaesse, Palmitolândia e Brasiliana. No entanto, o estudo foi limitado à sede municipal da cidade de Tupãssi pelo fato de que cada uma dessas localidades possui um sistema próprio de abastecimento, contendo todas as etapas do processo e não havendo interligações entre si. Além disso, a maior concentração de ligações ativas do município se encontra na sede, aumentando o grau de abrangência da pesquisa.

A pesquisa se atentou apenas à análise e estudo das pressões atuantes e não às demais questões relacionadas à operação de redes de abastecimento de água, como, por exemplo, o combate às perdas aparentes.

### 3.2 DIAGNÓSTICO DO SAA TUPÃSSI

Através de entrevistas diretas e livres com responsáveis técnicos da SAATU, acesso a materiais e documentos da Secretaria de Obras e Engenharia, e de visitas *in loco* das unidades constituintes do sistema, foram levantados os dados necessários para a realização da pesquisa. Através de um questionário os dados foram levantados

para cada unidade do sistema, com o objetivo de organizar e facilitar o diagnóstico. As informações coletadas em cada unidade do sistema são apresentadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Subsistemas e as respectivas informações coletadas

Subsistema	Caraterísticas e dados a serem levantados
Captação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localização;</li> <li>• Classificação do manancial;</li> <li>• Estado de conservação das instalações;</li> </ul>
Reservatório	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localização;</li> <li>• Determinação do seu tipo (formato e nível em relação ao solo);</li> <li>• Material;</li> <li>• Capacidade de reservação;</li> <li>• Estado de conservação.</li> </ul>
Rede de distribuição	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extensão;</li> <li>• Material;</li> <li>• Diâmetro nominal;</li> <li>• Classificação quanto ao tipo (ramificada, malhada ou mista);</li> <li>• Localização de válvulas redutoras de pressão e registros de manobra;</li> <li>• Estado de conservação.</li> </ul>

Fonte: Autoria própria (2017)

Um dado de entrada crucial para o desenvolvimento da simulação hidráulica no software é a representação gráfica da rede na interface do Epanet. Para tanto, foi solicitado junto a SAATU, o mapa da rede de distribuição de água da cidade, para posteriormente reproduzi-la no *software*. Após o conhecimento da inexistência de uma representação gráfica ou documental da rede de abastecimento de água do SAA Tupãssi – Sede, fez-se necessário então o mapeamento desta. Para tanto, contou-se com a colaboração de um dos funcionários da SAATU, o agente operacional com maior número de anos de trabalho na divisão.

A metodologia empregada baseou-se no método de caminhamento por todas as ruas da cidade, onde foi possível o levantamento da geometria e características da rede, incluindo diâmetros, material, profundidade e localização de peças e registros. Com esses dados a rede foi desenhada no software AutoCAD, para só então ser utilizada no Epanet.

### 3.3 PROJEÇÃO POPULACIONAL

Em consultas a dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e do IpardeS (Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social), foram coletados os dados de população do município de Tupãssi para os censos de 1991, 2000 e 2010. Não foi possível considerar o dado do censo de 1980, pois nesse ano a cidade de Tupãssi pertencia ao município de Assis Chateaubriand, sendo assim, a população do então distrito era contabilizada como população deste outro município.

Através de métodos comuns de projeção populacional (método aritmético, geométrico, da curva logística da regressão parabólica, taxa média anual fixada, função previsão e função crescimento), foi realizada a estimativa da população de Tupãssi para um horizonte de planejamento de 20 anos, contado como primeiro ano de planejamento o ano de 2018 e o ano de 2038 como limite do horizonte de planejamento. Todas equações utilizadas estão relacionadas na Tabela 2.1.

Após a aplicação dos sete métodos foi analisado e definido aquele que melhor se adequava ao município, e conseqüentemente a evolução da população ano a ano até o final do horizonte de planejamento.

### 3.4 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

Outro dado de suma importância para a modelagem hidráulica são as cotas topográficas dos nós. Para a obtenção deste dado foi averiguado se os seguintes órgãos e secretarias possuíam a carta topográfica do município de Tupãssi:

- Secretaria de Engenharia e Obras da Prefeitura Municipal;
- Instituto de terras, Cartografia e Geologia do Paraná (ITCG);
- Companhia Paranaense de Energia (Copel);
- Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater);
- Paraná Cidades;
- Águas Paraná;
- Exército Brasileiro.

Nenhum desses órgãos ou setores possuíam esse documento em uma escala adequada à requerida para essa pesquisa. Assim sendo, foram levantados os dados de topografia da zona urbana da sede municipal através do uso dos Softwares livres Google Earth e Global Mapper.

Após isso, foram sobrepostas a carta topográfica da cidade, e o mapa da rede de distribuição, ambos em arquivo *dwg*. (AutoCAD), com todos os nós a serem levantados e seus respectivos dados de altitude. A partir disso foram efetuados cálculos de interpolação entre as curvas de nível, para encontrar a cota topográfica de cada nó da rede.

### 3.5 CONSUMO-BASE NOS NÓS

Através da análise do traçado da rede e de dados demográficos do município, foi possível obter o consumo-base nos nós. O método adotado foi o de estimativa de vazões por unidade de área. Este consiste em dividir a rede em áreas de influência de cada nó, através do traçado de medianas em todos os trechos de tubulações, obtendo-se assim, polígonos de influência com área conhecida.

Posteriormente, com a população urbana com abastecimento de água, obtida no banco de dados de séries históricas do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), e da área urbana da sede municipal e dos distritos em que essa população reside, obtido na Secretaria de Obras e Engenharia da Prefeitura Municipal de Tupãssi, foi possível calcular a densidade demográfica urbana média do município.

Por mais que esse dado seja uma estimativa média para todo o município, ele se revela um dado consideravelmente representativo, uma vez que nem mesmo no centro da cidade, existe um adensamento populacional considerável causado por verticalização das construções. Ou seja, em toda a área urbana o uso e ocupação do solo apresenta pouca variação com relação à densidade populacional.

Posteriormente calculou-se também a densidade populacional para o horizonte de planejamento dessa pesquisa. Para o cálculo dessa grandeza considerou-se que a população cresceria da forma como foi projetada, porém que a área urbana não expandisse, pois hoje há diversas áreas do perímetro urbano ainda não ocupadas. Dessa forma, o estudo está considerando uma situação crítica, uma vez que o adensamento da população na área urbanizada acarretaria num maior consumo e dissipação de energia, diminuindo assim as pressões atuantes. Outro fator

que culminou na utilização da mesma área para o cálculo foi a imprevisibilidade da geometria com que a rede iria se expandir, e até mesmo os locais em que esse crescimento aconteceria.

Com os dados de densidade demográfica e da área de influência de cada nó, foi possível então calcular a população atual e futura abastecida por nó.

O terceiro e último dado necessário para o cálculo do consumo-base nos nós foi o consumo *per capita*, dado este também averiguado no banco de dados do SNIS.

De posse dos dados mencionados acima, foi possível obter o consumo base em cada nó para o ano de 2017 e para o horizonte de planejamento proposto.

### 3.6 SIMULAÇÃO HIDRÁULICA

O *software* de simulação hidráulica utilizado foi o Epanet 2.0 por ser um software livre e gratuito, o que permite ser utilizado livremente por qualquer usuário. Além desses fatores, este programa apresenta ampla difusão no meio de suporte à decisão por gestores nas companhias de saneamento e boa integração com ferramentas de informação geográfica (AutoCAD, entre outros).

Para a realização da simulação hidráulica foram seguidos critérios da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), mais precisamente os passos que constam no documento “Diretrizes para Elaboração de Simulação Hidráulica – SAA”<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Documento que define critérios para simulação e calibração de sistemas existentes e propostos de pequeno, médio e grande porte, excetuando os sistemas metropolitanos de Curitiba e Londrina. Disponível na página da Sanepar

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo é dedicado a apresentação e discussão dos resultados da pesquisa, que possuía o objetivo de realizar a simulação hidráulica da rede de abastecimento de água da cidade de Tupãssi – PR, através da utilização do *software* Epanet 2.0.

### 4.1 PROJEÇÃO POPULACIONAL

#### 4.1.1 Coleta de dados

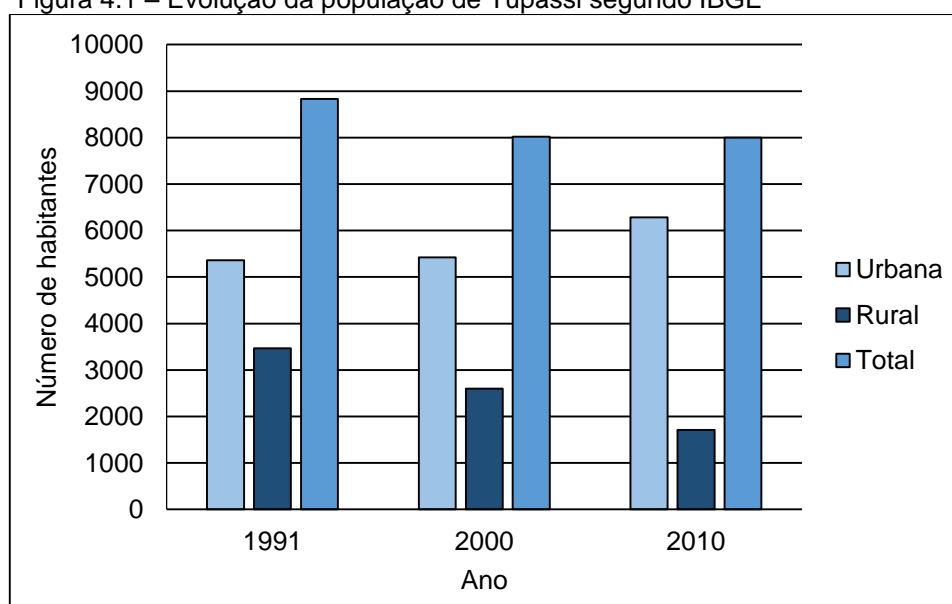
Os dados coletados no portal do IBGE estão apresentados na Tabela 4.1 e a representação gráfica destes encontra-se na Figura 4.1.

Tabela 4.1 – População de Tupãssi segundo IBGE

Ano	População Urbana (hab)	Taxa Crescimento Anual (%)	População Rural (hab)	Taxa Crescimento Anual (%)	População Total (hab)	Taxa Crescimento Anual (%)
1991	5361	-	3468	-	8829	-
2000	5420	0,12	2598	-2,79	8018	-1,02
2010	6286	1,60	1711	-3,41	7997	-0,03
Média Anual		086		-3,10		-0,52

Fonte: IBGE, 2018

Figura 4.1 – Evolução da população de Tupãssi segundo IBGE



Fonte: IBGE, 2018



Analisando os dados apresentados na Tabela 4.1 e na Figura 4.1, nota-se que entre os anos de 1991 e de 2010 houve uma diminuição no total populacional do município, em decorrência principalmente da redução da população rural. Contudo, a população residente na área urbana aumentou nesse mesmo período.

Nota-se também que entre os anos de 1991 e 2000 a população urbana sofreu uma pequena variação, tendo um crescimento de apenas 0,12% ao ano. Foi entre os anos de 2000 e 2010 que a população urbana teve o seu maior crescimento, de 1,60% ao ano. A população rural, por sua vez, decresceu numa taxa similar entre os três censos analisados, tendo uma média anual decrescente de -3,10%.

#### 4.1.2 Métodos de projeção populacional

A projeção populacional realizada considerou um horizonte de planejamento de 20 anos, contando como Ano 1 de planejamento o ano de 2018 e considerando apenas a população urbana do município de Tupãssi, pois esta é a população abastecida pela SAATU e objeto de estudo. A seguir, apresentam-se todos os métodos empregados.

##### 4.1.2.1 Método Aritmético

A Tabela 2.1 apresenta todas as fórmulas utilizadas nesse método. Como exemplo, segue abaixo os cálculos da razão aritmética para a reta AR1, que considera os dados populacionais de 1991 e 2000, apresentados na Tabela 4.1.

$$r = \frac{P_1 - P_0}{t_1 - t_0} = \frac{5420 - 5361}{2000 - 1991} = 6,56$$

Analogamente realizou-se o cálculo das razões para os demais anos e retas. Os resultados estão apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Composição das retas do método aritmético

Reta	t0	P0	t1	P1	r
AR1	1991	5.361	2000	5.420	6,56
AR2	1991	5.361	2010	6.286	48,68
AR3	2000	5.420	2010	6.286	86,60

Fonte: Autoria própria (2018)

Posteriormente calculou-se a projeção da população para o ano de 2038, utilizando a razão aritmética da reta AR1.

$$P = P_0 + r.(t_1 - t_0) = 5361 + 6,56.(2038 - 1991) = 5669$$

Assim, realizou-se esse procedimento para todos os anos e com todas as retas, obtendo-se a população correspondente de cada ano. Os resultados estão apresentados na Tabela 4.3.

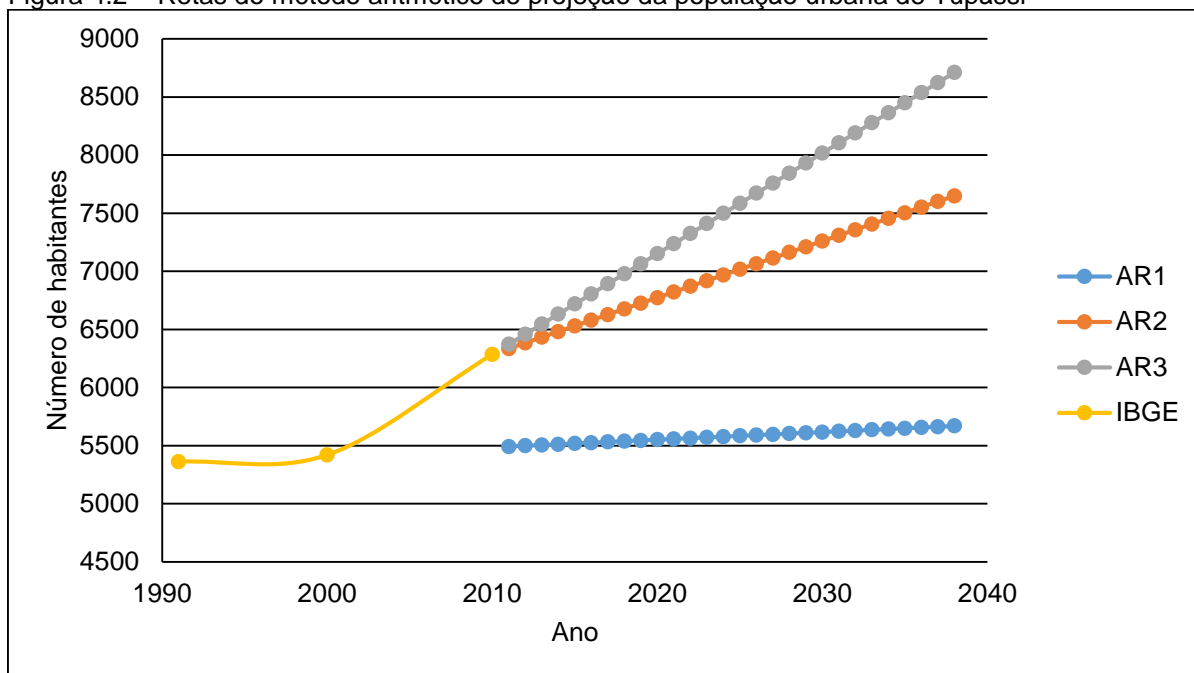
Tabela 4.3 – Projeção da população urbana de Tupãssi segundo o método aritmético

Anos	População urbana			Anos	População urbana		
	AR1	AR2	AR3		AR1	AR2	AR3
2011	5492	6335	6373	2025	5584	7016	7585
2012	5499	6383	6459	2026	5590	7065	7672
2013	5505	6432	6546	2027	5597	7114	7758
2014	5512	6481	6632	2028	5604	7162	7845
2015	5518	6529	6719	2029	5610	7211	7931
2016	5525	6578	6806	2030	5617	7260	8018
2017	5531	6627	6892	2031	5623	7308	8105
2018	5538	6675	6979	2032	5630	7357	8191
2019	5545	6724	7065	2033	5636	7406	8278
2020	5551	6773	7152	2034	5643	7454	8364
2021	5558	6822	7239	2035	5649	7503	8451
2022	5564	6870	7325	2036	5656	7552	8538
2023	5571	6919	7412	2037	5663	7600	8624
2024	5577	6968	7498	2038	5669	7649	8711

Fonte: Autoria própria, 2018

A partir da Tabela 4.3 gerou-se o gráfico da Figura 4.2, com as retas a serem analisadas.

Figura 4.2 – Retas do método aritmético de projeção da população urbana de Tupãssi



Fonte: Autoria própria, 2018

Conforme os dados históricos obtidos no IBGE, percebe-se um crescimento mais acentuado da população urbana de Tupãssi na última década (2000 a 2010). Como pode ser visto na Figura 4.2, a reta AR3 apresenta a projeção da população considerando esses últimos dados censitários.

Entende-se que o crescimento da população ao longo dos próximos anos se dará de forma similar a este crescimento verificado na última década. Por isso, não foram consideradas as projeções mais pessimistas de crescimento pelo fato de poderem resultar em um sistema subdimensionado no período de planejamento.

Portanto, será adotado a reta AR3, por se tratar de uma tendência de crescimento compatível com o crescimento da última década, e ao mesmo tempo por ser uma projeção otimista, afinal, trata-se de um planejamento para uma situação mais crítica de evolução populacional.

#### 4.1.2.2 Método Geométrico

A partir de dados obtidos no IBGE, construíram-se retas de crescimento geométrico da população ao longo dos anos de projeto. Como exemplo, segue abaixo os cálculos da razão geométrica para a reta GEO1, que considera os dados populacionais de 1991 e 2000, apresentados na Tabela 4.1.

$$q = \frac{\ln P_1 - \ln P_0}{t_1 - t_0} = \frac{\ln 5420 - \ln 5361}{2000 - 1991} = 0,001216$$

Analogamente realizou-se o cálculo das razões para os demais anos e retas. Os resultados estão apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Composição das retas do método geométrico

Reta	t0	P0	t1	P1	q
GEO1	1991	5361	2000	5.420	0,001216
GEO2	1991	5.361	2010	6.286	0,008378
GEO3	2000	5.420	2010	6.286	0,014823

Fonte: Autoria própria (2018)

Posteriormente calculou-se a projeção da população para o ano de 2038, utilizando a razão da reta GEO1.

$$P = P_0 \cdot e^{q \cdot (t_1 - t_0)} = 5361 \cdot e^{0,001216 \cdot (2038 - 1991)} = 5676$$

Assim, realizou-se esse procedimento para todos os anos e com todas as retas. Os resultados estão apresentados na Tabela 4.5.

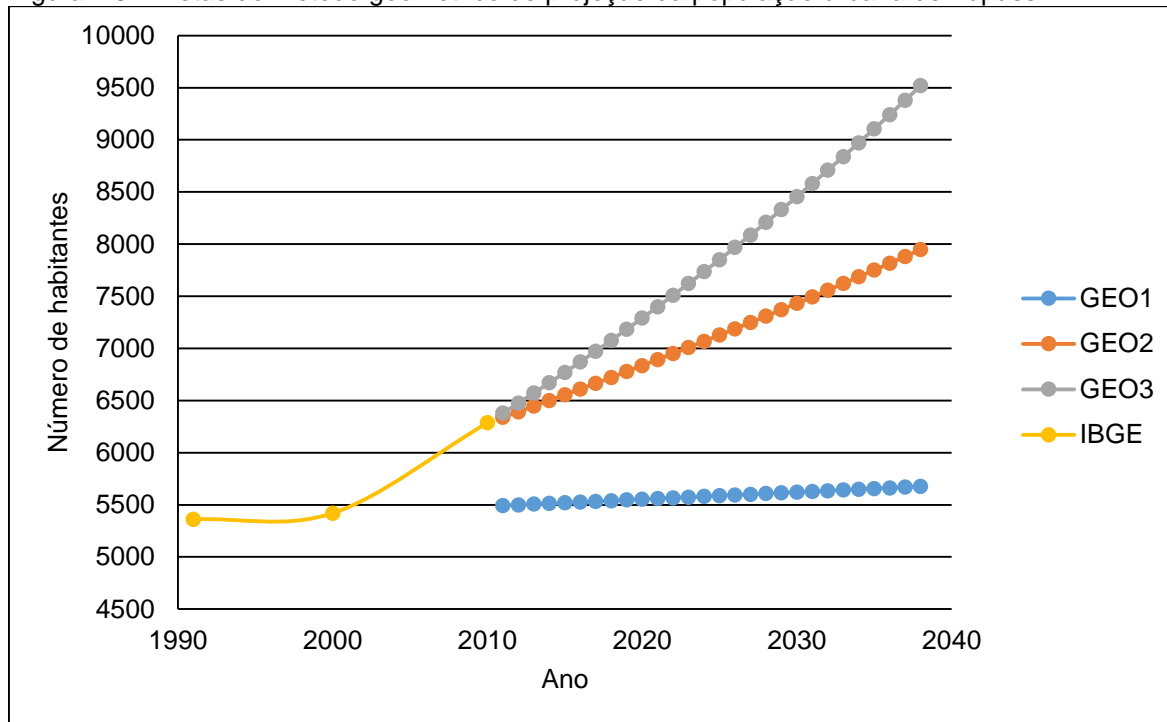
Tabela 4.5 – Projeção população urbana de Tupãssi segundo método geométrico

Ano	População urbana			Ano	População urbana		
	GEO1	GEO2	GEO3		GEO1	GEO2	GEO3
2011	5493	6339	6380	2025	5587	7128	7851
2012	5500	6392	6475	2026	5594	7188	7968
2013	5506	6446	6572	2027	5601	7248	8087
2014	5513	6500	6670	2028	5608	7309	8208
2015	5520	6555	6770	2029	5615	7371	8331
2016	5526	6610	6871	2030	5621	7433	8455
2017	5533	6666	6973	2031	5628	7495	8581
2018	5540	6722	7077	2032	5635	7558	8710
2019	5547	6778	7183	2033	5642	7622	8840
2020	5553	6835	7290	2034	5649	7686	8972
2021	5560	6893	7399	2035	5656	7751	9106
2022	5567	6951	7510	2036	5663	7816	9242
2023	5574	7009	7622	2037	5669	7882	9380
2024	5581	7068	7736	2038	5676	7948	9520

Fonte: Autoria própria, 2018

A partir da Tabela 4.5 gerou-se o gráfico da Figura 4.3, com as retas a serem analisadas.

Figura 4.3 – Retas do método geométrico de projeção da população urbana de Tupãssi



Fonte: Autoria própria, 2018

Como pode ser visto na Figura 4.3, nesse método a reta que mais se adequou à realidade do município foi a reta GEO 3, pelos mesmos motivos do método anterior, ou seja, ser uma tendência de crescimento compatível com o crescimento da última década, e ser uma projeção otimista, condizendo com o objetivo da projeção populacional: prever uma situação crítica de evolução populacional.

#### 4.1.2.3 Método da curva logística

Para a aplicação desse método seria necessária a adoção de três pares de pontos (ano e população) equidistantes, ou seja, pontos que apresentem o mesmo intervalo de tempo entre medições. Como os dados obtidos pelo IBGE são de 1991, 2000 e 2010, possuindo intervalos de 9 e 10 anos respectivamente, não foi possível a adoção desse método matemático para a projeção populacional de Tupãssi.

#### 4.1.2.4 Método da regressão parabólica

Por se basear em um modelo matemático de extrapolação dos dados, ajustando esses em uma curva de crescimento de uma equação do segundo grau, fez-se necessário primeiramente a montagem da matriz definidora dos valores de A, B e C da equação apresentada na Tabela 2.1.

Nesta equação, a variável anual é denominada X e a variável populacional denominada Y, as quais formarão a matriz definidora dos valores de A, B e C da seguinte equação:

$$y = A + Bx + Cx^2$$

A Tabela 4.6 mostra os valores necessários para a montagem do sistema.

Tabela 4.6 – Montagem do sistema para calcular a equação de segundo grau

Ano	População	x	y	x <sup>2</sup>	x <sup>3</sup>	x <sup>4</sup>	x.y	x <sup>2</sup> .y
1991	5.361	-19	5.361	361	-6859	130321	-101859	1935321
2000	5.420	-10	5.420	100	-1000	10000	-54200	542000
2010	6.286	0	6.286	0	0	0	0	0
Somatório		-29	17067	461	-7859	140321	-156059	2477321

Fonte: Autoria própria, 2018

De posse desses dados, obtêm-se o seguinte sistema:

$$3A - 29B + 461C = 17067$$

$$-29A + 461B - 7859C = -156059$$

$$461A - 7859B + 140321C = 2477321$$

Como resultado da solução do sistema acima, obtêm-se a seguinte equação:

$$y = 4,2129 x^2 + 128,7287 x + 6286$$

Posteriormente, substitui-se a diferença entre o ano base (2010) e o ano pretendido, obtendo-se assim o valor de população projetada. Os resultados de todos os anos estão apresentados na Tabela 4.7.

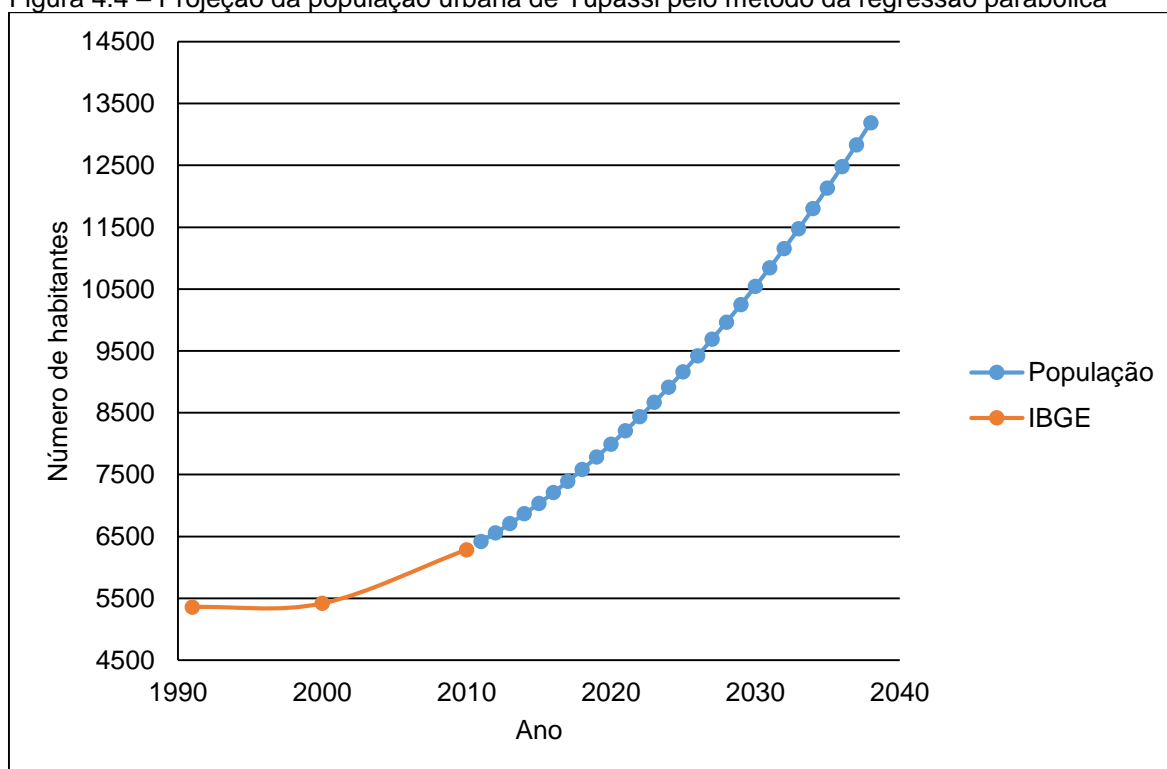
Tabela 4.7 – Projeção da população urbana de Tupãssi segundo o método da regressão parabólica

Ano	Diferença (x)	População (y)	Ano	Diferença (x)	População (y)
2011	1	6419	2025	15	9165
2012	2	6560	2026	16	9424
2013	3	6710	2027	17	9692
2014	4	6868	2028	18	9968
2015	5	7035	2029	19	10253
2016	6	7210	2030	20	10546
2017	7	7394	2031	21	10847
2018	8	7585	2032	22	11157
2019	9	7786	2033	23	11475
2020	10	7995	2034	24	11802
2021	11	8212	2035	25	12137
2022	12	8437	2036	26	12481
2023	13	8671	2037	27	12833
2024	14	8914	2038	28	13193

Fonte: Autoria própria, 2018

A partir dos dados da Tabela 4.7 gerou-se o gráfico da Figura 4.4, com as retas da projeção da população segundo o método da regressão parabólica.

Figura 4.4 – Projeção da população urbana de Tupãssi pelo método da regressão parabólica



Fonte: Autoria própria, 2018

#### 4.1.2.5 Método da taxa média anual fixada

Como esse método considera que a população cresce à uma taxa constante ao longo do tempo, e que essa taxa é a média das taxas de crescimento anteriores, o primeiro passo foi o cálculo da taxa de crescimento da população urbana entre os censos de 1991 e 2000 e de 2000 e 2010. Posteriormente calculou-se a média desse valor. Os resultados estão apresentados na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Taxa de crescimento

Período	Cresc. Período (%)	Cresc. Ano (%)
1991-2000	1,10	0,12
2000-2010	15,98	1,60
Média	8,54	0,86

Fonte: Autoria própria, 2018

Aplicou-se então a taxa média de crescimento anual em todos os anos da projeção, obtendo-se os valores relacionados na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Projeção da população urbana de Tupãssi segundo o método da taxa média anual fixada

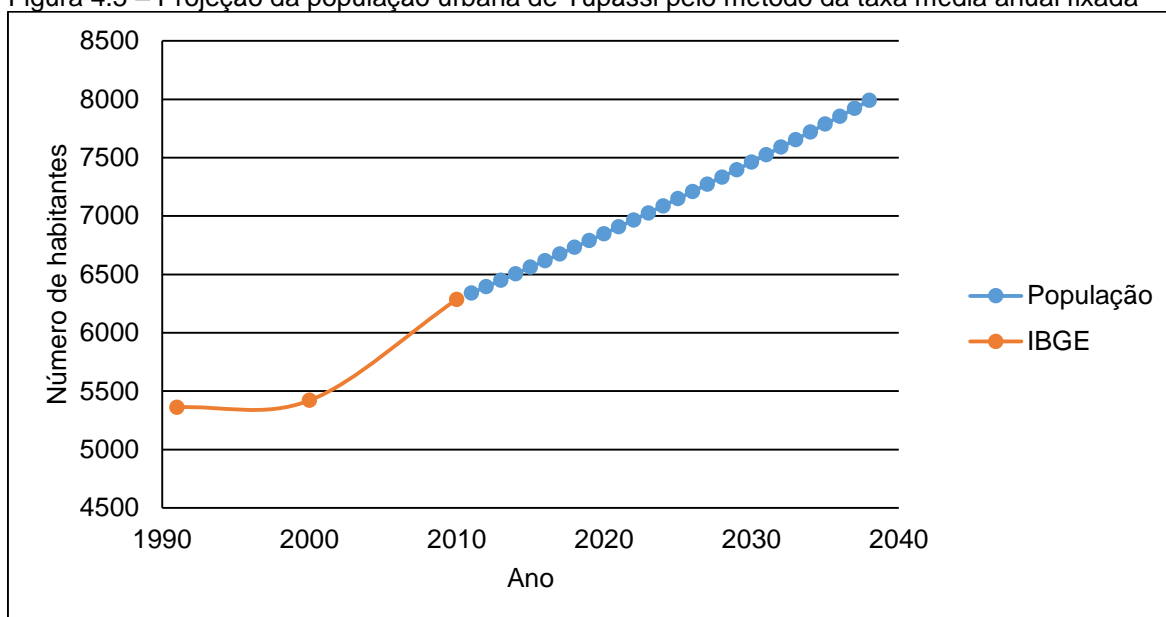
Ano	População	Ano	População
2011	6340	2025	7148
2012	6395	2026	7209
2013	6450	2027	7271
2014	6505	2028	7334
2015	6561	2029	7397
2016	6617	2030	7460
2017	6674	2031	7524
2018	6732	2032	7589
2019	6790	2033	7654
2020	6848	2034	7720
2021	6907	2035	7787
2022	6966	2036	7854
2023	7026	2037	7921
2024	7087	2038	7989

Fonte: Autoria própria, 2018

A partir da Tabela 4.9 gerou-se o gráfico da Figura 4.5, para a projeção da população urbana segundo o método da taxa média anual fixada.



Figura 4.5 – Projeção da população urbana de Tupãssi pelo método da taxa média anual fixada



Fonte: Autoria própria, 2018

#### 4.1.2.6 Método da Função Previsão

Através dos dados populacionais apresentados anteriormente na Tabela 4.1, utilizou-se a Função Previsão do Software Excel e obteve-se o número de habitantes para os anos futuros do horizonte de planejamento. Os dados resultantes estão relacionados na Tabela 4.10.

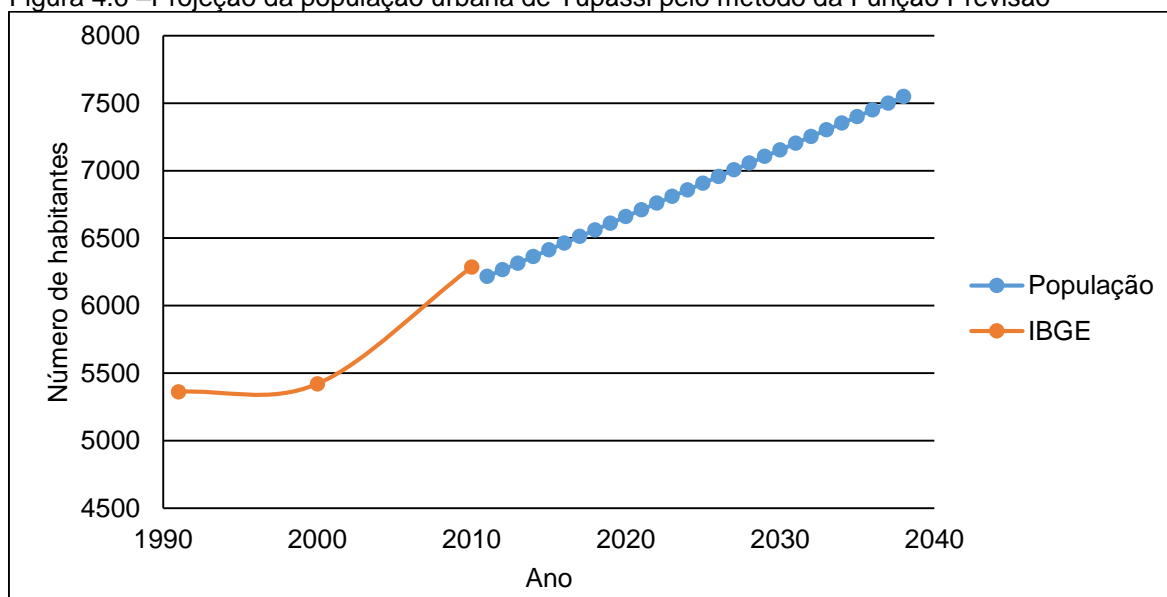
Tabela 4.10 – Projeção da população urbana de Tupãssi segundo o método da Função Previsão

Ano	População	Ano	População	Ano	População	Ano	População
2011	6216	2018	6561	2025	6907	2032	7253
2012	6265	2019	6611	2026	6957	2033	7302
2013	6315	2020	6660	2027	7006	2034	7352
2014	6364	2021	6710	2028	7055	2035	7401
2015	6413	2022	6759	2029	7105	2036	7450
2016	6463	2023	6808	2030	7154	2037	7500
2017	6512	2024	6858	2031	7203	2038	7549

Fonte: Autoria própria, 2018

A partir dos dados da Tabela 4.10 gerou-se o gráfico da Figura 4.6, com a projeção da população urbana segundo o método da Função Previsão.

Figura 4.6 –Projeção da população urbana de Tupãssi pelo método da Função Previsão



Fonte: Autoria própria, 2018

#### 4.1.2.7 Método da Função Crescimento

Através dos dados populacionais apresentados na Tabela 4.1, utilizou-se a Função Crescimento do Software Excel e obteve-se o número de habitantes para os anos futuros do horizonte de planejamento. Os resultados estão na Tabela 4.11.

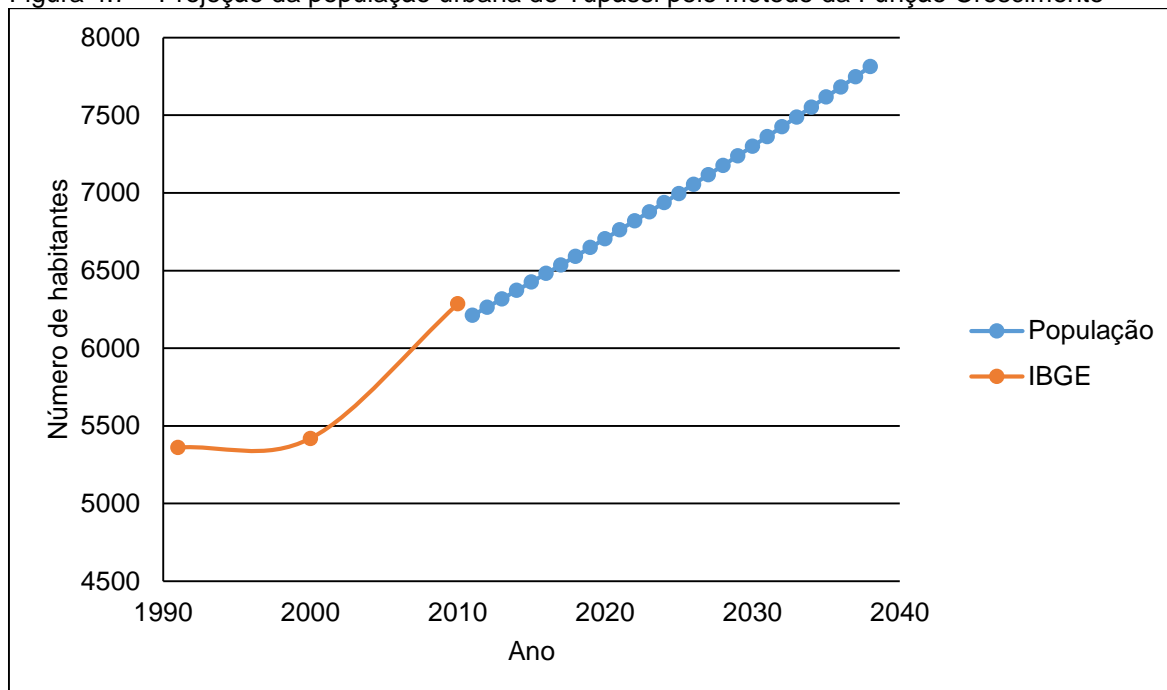
Tabela 4.11 – Projeção população urbana de Tupãssi segundo método da Função Crescimento

Ano	População	Ano	População
2011	6212	2025	6997
2012	6265	2026	7056
2013	6318	2027	7117
2014	6372	2028	7177
2015	6427	2029	7239
2016	6482	2030	7300
2017	6537	2031	7363
2018	6593	2032	7425
2019	6649	2033	7489
2020	6706	2034	7553
2021	6763	2035	7617
2022	6821	2036	7682
2023	6879	2037	7748
2024	6937	2038	7814

Fonte: Autoria própria, 2018

Com os dados da Tabela 4.11 foi gerado o gráfico da Figura 4.7 para a projeção da população urbana segundo o método da Função Previsão.

Figura 4.7 – Projeção da população urbana de Tupãssi pelo método da Função Crescimento



Fonte: Autoria própria, 2018

#### 4.1.3 Definição da projeção populacional urbana

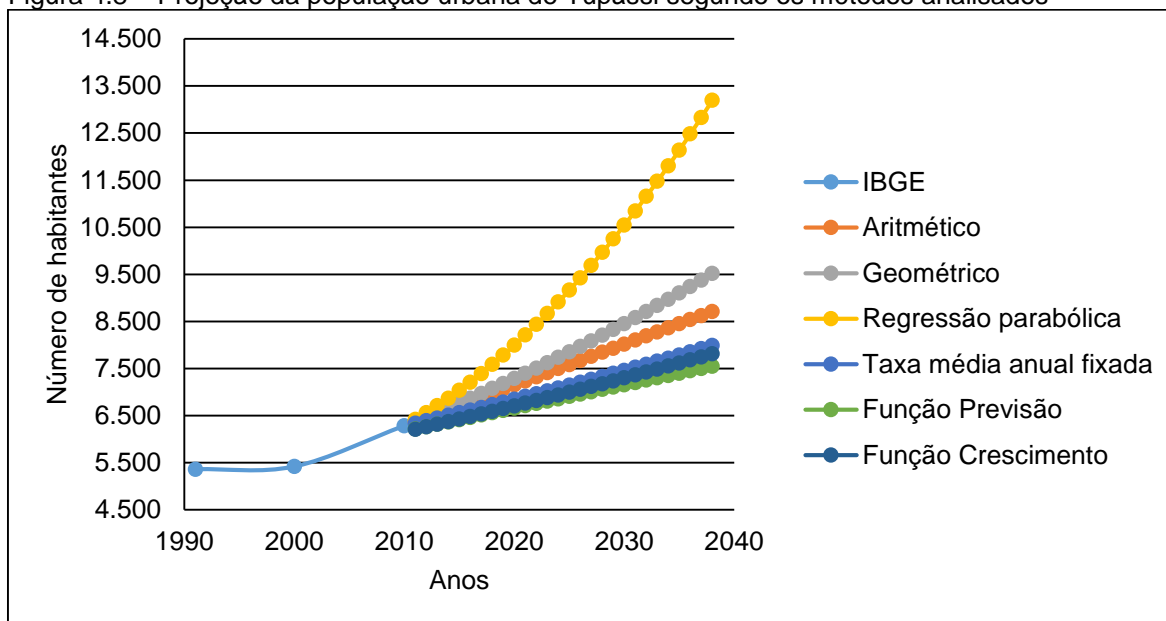
Para obter a população final para o horizonte de planejamento analisou-se todos os dados gerados pelos métodos empregados nos parágrafos acima. Os resultados resumidos desses métodos estão apresentados na Tabela 4.12 e no gráfico da Figura 4.8.

Tabela 4.12 – Projeção da população urbana de Tupãssi para os métodos analisados

Método	Anos						
	2011	2016	2018	2023	2028	2033	2038
Aritmético	6373	6806	6979	7412	7845	8278	8711
Geométrico	6380	6871	7077	7622	8208	8840	9520
Regressão parabólica	6419	7210	7585	8671	9968	11475	13193
Taxa média anual fixada	6340	6617	6732	7026	7334	7654	7989
Função Previsão	6216	6463	6561	6808	7055	7302	7549
Função Crescimento	6212	6482	6593	6879	7177	7489	7814

Fonte: Autoria própria, 2018

Figura 4.8 – Projeção da população urbana de Tupãssi segundo os métodos analisados



Fonte: Autoria própria, 2018

Como analisado anteriormente, percebe-se perante os dados do IBGE, que a população urbana do município cresceu consideravelmente no último período intercensitário, fato este que explicaria a adoção de um método mais otimista de projeção populacional, como o método da regressão parabólica ou o método geométrico, por exemplo. Porém, em consulta a setores da administração municipal, ficou esclarecido que o município não possui nenhum grande empreendimento a ser instalado que justifique um atrativo populacional grande e consequente aumento da imigração.

Logo, propõe-se que sejam adotados os resultados anuais gerados pelo Método Geométrico, reta GEO3, pois este apresenta valores de população que condizem com um planejamento para uma situação mais crítica de evolução populacional, e ao mesmo tempo não extrapola essa projeção para valores além da realidade do município, como ocorrido no método da regressão parabólica.

## 4.2 DESCRIÇÃO DO SAA TUPÃSSI

A partir das informações de técnicos do órgão responsável pelo saneamento básico da cidade, o SAATU, obteve-se os dados físicos e operacionais do sistema de abastecimento de água da sede municipal de Tupãssi para posterior esquematização deste. No Apêndice A representa-se o croqui hidráulico do sistema, elaborado de

acordo com critérios e nomenclaturas do documento “Diretrizes para elaboração de projetos de saneamento – croqui”.

Todas as nomenclaturas e seus respectivos significados, utilizados na confecção do croqui supracitado, encontram-se relacionadas a seguir. Essas serão utilizadas para referir-se a cada unidade e seu respectivo número durante o desenvolvimento desse trabalho.

- AAB – Adutora de Água Bruta;
- CSB – Captação Subterrânea
- EEB – Estação Elevatória de Água Bruta;
- RAP – Reservatório Apoiado;
- RDA – Rede de Distribuição de Água;
- SCF – Tratamento de água com simples desinfecção e fluoretação;

#### 4.2.1 Captação (CSB 01 a 07)

O sistema Tupãssi - Sede é abastecido por um conjunto de sete captações subterrâneas provenientes do lençol freático Serra Geral Norte (Águas Paraná, 2018). A Figura 4.9 apresenta um dos poços utilizados para o abastecimento do Centro de Reserva Sul, assim como uma das adutoras de água bruta (AAB).

Figura 4.9 – Adutora de água bruta e um dos poços responsáveis pelo abastecimento do Centro de Reserva Sul



Fonte: Autoria própria, 2018

Como pode ser visto na Figura 4.9, as instalações do poço e da adutora de água bruta (AAB) possuem um estado regular de conservação, e não possuem nenhum tipo de isolamento.

#### 4.2.2 Estações elevatórias (EEB) e Adutoras de Água Bruta (AAB)

A água captada nos sete poços do sistema é recalçada por sete conjuntos moto-bomba, instalados respectivamente um em cada poço, sendo transportada posteriormente por adutoras de água bruta (AAB 01 à 07) até os reservatórios. As adutoras possuem diâmetro de 75 mm e são executadas em ferro fundido.

Desde 2016 a vazão do sistema de adução não é macromedida, pois devido a problemas operacionais no macromedidor este foi desativado e encontra-se em manutenção.

Os conjuntos moto-bomba que abastecem o Centro de Reservação Sul são acionados por um sistema de boias, instalado no reservatório RAP 01. O conjunto que abastece o Centro de Reservação Norte possui acionamento via rádio.

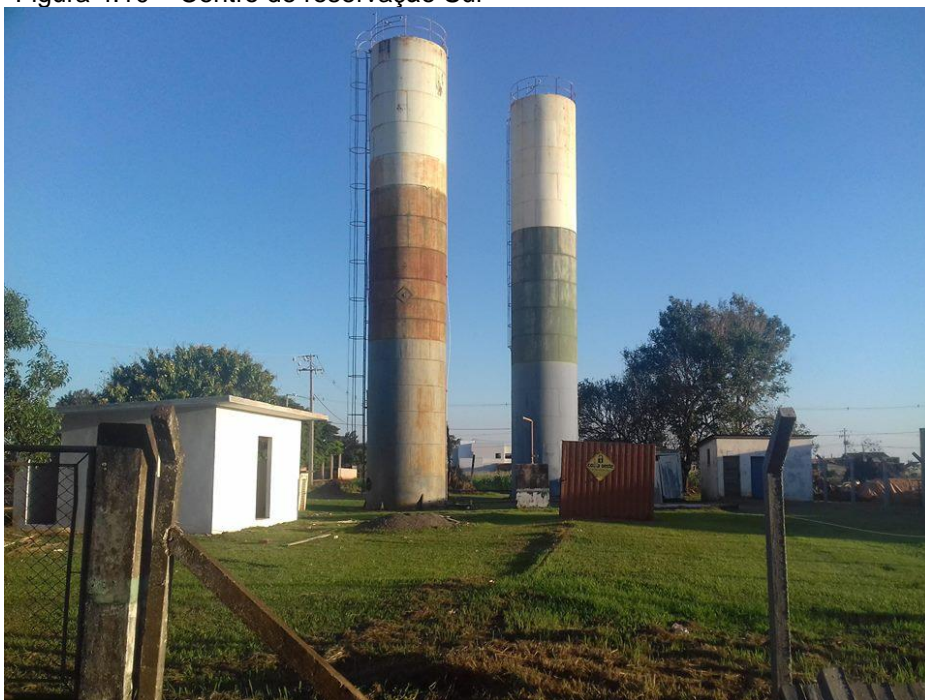
#### 4.2.3 Reservação (RAP 01 ao 03)

O sistema de abastecimento de Tupãssi possui três reservatórios, distribuídos em dois centros de reservação – Norte e Sul (Apêndice A). Esses reservatórios são do tipo apoiado, possuem o formato cilíndrico e são executados em material metálico.

##### 4.2.3.1 *Centro de Reservação Sul*

A maior parte da água captada é reservada no centro de reservação Sul, nos reservatórios RAP 01 e RAP 02, que possuem ambos isoladamente um volume nominal de 130 m<sup>3</sup>. Estes possuem dimensões idênticas, com 3 metros de diâmetro e pouco mais de 18 metros de altura. Assim sendo, o centro de reservação Sul possui 260 m<sup>3</sup> de capacidade nominal, está localizado na cota de 566 m e é abastecido por 5 dos 7 poços que compõe todo o sistema, fazendo deste o centro de reservação com a maior cota e capacidade de armazenamento. A Figura 4.10 ilustra o centro de reservação Sul.

Figura 4.10 – Centro de reservação Sul



Fonte: Autorial própria, 2018

A água é destinada primeiramente para o RAP 01, o qual possui uma ligação em tubulação com DN 110 mm ao RAP 02. Este último não possui ligação direta com adutoras, sendo totalmente abastecido pelo RAP 01. A Figura 4.11 mostra essa ligação entre os reservatórios.

Figura 4.11 – Ligação em tubulação DN 110 mm entre os reservatórios RAP 01 e RAP 02



Fonte: Autorial própria, 2018

#### 4.2.3.2 Centro de Reservação Norte

O reservatório do Centro de Reservação Norte (RAP 03), por sua vez, possui capacidade de 105 m<sup>3</sup>, ligeiramente menor do que os dois anteriores. Também possui o formato cilíndrico, com 3 metros de diâmetro, 15 metros de altura e de material metálico. A cota do terreno é de 552 metros e o reservatório é abastecido por um conjunto de dois poços. A Figura 4.12 apresenta o Centro de Reservação Norte.

Figura 4.12 – Centro de Reservação Norte



Fonte: Autoria própria, 2018

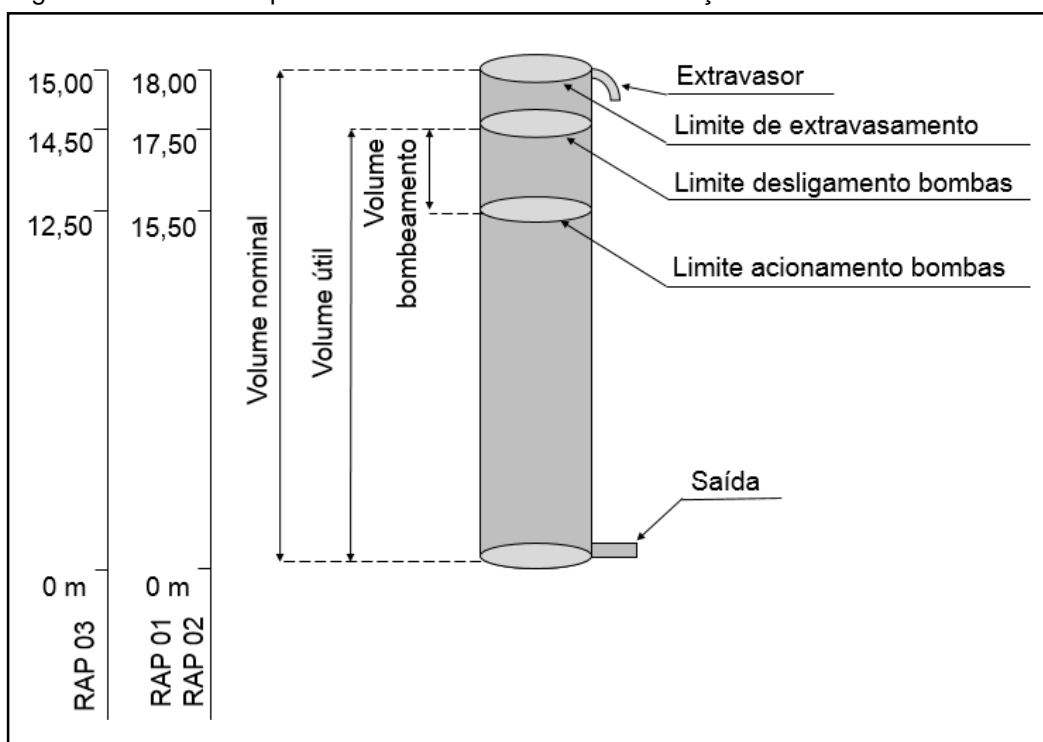
Os reservatórios RAP 01 ao 03 não possuem macromedidores de vazão e o estado de conservação das instalações é regular.

#### 4.2.3.3 Níveis operacionais

Devido aos acessórios necessários para os centros de reservação, o volume nominal dos reservatórios não correspondem ao volume útil dos mesmos. A Figura 4.13 ilustra a localização de alguns acessórios e os níveis operacionais dos três reservatórios do sistema.



Figura 4.13 – Níveis operacionais dos Centros de Reservação



Fonte: Autoria própria (2018)

Como a Figura 4.13 esquematiza, a localização das boias (limite de desligamento das bombas) faz com que o volume útil seja ligeiramente menor do que o volume nominal. Com uma diferença de 0,50 metros entre a altura total dos reservatórios e a altura da boia, o volume útil passa a ser de 123 m<sup>3</sup> para os reservatórios RAP 01 e RAP 02 e de 102 m<sup>3</sup> para o RAP 03.

A cada acionamento das bombas é recalcado um volume de pouco mais de 7 m<sup>3</sup> no centro de reservação Norte, sendo este o volume de bombeamento, representado na Figura 4.13. No centro de reservação Sul esse volume é de pouco mais de 14 m<sup>3</sup>, pois neste existem dois reservatórios, que devido ao princípio dos vasos comunicantes, enchem e esvaziam igualmente.

O tratamento da água é feito utilizando cloro em pastilhas e é realizado nos reservatórios dos dois centros de reservação. Estão sendo executadas no momento obras para o isolamento dos centros de reservação e pontos de captação, com a construção de muros nos arredores desses subsistemas.

#### 4.2.4 Rede de distribuição

Como dito no item 2.2, o SAATU não possuía a representação gráfica nem documental da rede de abastecimento da cidade, logo foi necessário fazer o mapeamento de toda a rede do SAA Tupãssi – Sede. O resultado desse mapeamento encontra-se no Apêndice B.

A rede possui uma extensão aproximada de 45 km de tubulações, que possuem diâmetros variados, de 25 mm até 110 mm. O número de ligações ativas na sede é de 2.163 ligações e o índice de hidrometração é de 99,37%. Foi possível averiguar também que a rede não possui válvulas redutoras de pressão e há apenas um ponto de descarga (expurgo), localizado em um loteamento novo da cidade.

Devido a altitude dos centros de reservação, a pressurização da rede é inteiramente por gravidade, não havendo instaladas estações elevatórias de água tratada.

### 4.3 CRITÉRIOS PARA ELABORAÇÃO DA SIMULAÇÃO

Após o mapeamento da rede, disponível no Apêndice B, efetuou-se a identificação e numeração de todos os nós da rede, ou seja, todas as mudanças de direção, diâmetro, derivações e pontas secas. Esse processo resultou em um total de 381 nós, os quais encontram-se representados no Apêndice D.

De acordo com o manual de simulação hidráulica – SAA da Sanepar, o número mínimo de nós para a simulação de um sistema de pequeno porte deve ser igual a 15% do número de ligações no sistema. Essa fração aplicada ao número de ligações do SAA Tupãssi – Sede (2163 ligações ativas) resulta num valor de 325 nós. Logo, esse critério é atendido, pois o número de nós representados é superior ao mínimo.

Em relação a locação de nós indispensáveis à simulação, também preconizada no manual, isso se revelou desnecessária, uma vez que todos os nós da rede em estudo nessa pesquisa foram representados no Epanet, e posteriormente calculados e simulados.



Posteriormente efetuou-se interpolações entre as curvas de nível, de modo a encontrar o real valor de altitude em todos os nós da rede. Os resultados das cotas topográficas de cada nó encontram-se no Apêndice G.

#### 4.5 CONSUMO-BASE NOS NÓS

Para a concepção dessa grandeza foi necessário a coleta e o cálculo de outros três dados: a densidade da população urbana com abastecimento de água, a área de influência de cada nó e o consumo *per capita* da população abastecida pela SAATU. Dessa forma, segue-se a averiguação de todos esses dados e o posterior cálculo do consumo-base nos nós.

##### 4.5.1 Densidade da população urbana com abastecimento de água

Primeiramente, foi necessária a determinação da população urbana beneficiada pelo serviço de abastecimento de água da SAATU. Esse item foi encontrado no banco de dados de séries históricas do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e possuía um valor de 6.350 habitantes para o ano de 2016 (último ano da base de dados do portal).

Posteriormente, foi necessária a medição da área urbana em que essa população se encontrava distribuída, para, só assim, ser calculada a densidade da população com abastecimento de água pela SAATU. De acordo com o glossário do próprio SNIS, a definição de população com abastecimento de água é: “população com abastecimento de água residente nas áreas das cidades (sedes municipais), das vilas (sedes distritais) e nas áreas urbanas isoladas.”.

Logo, como o dado de população urbana atendida com abastecimento de água englobava também a população, nessa mesma condição, dos distritos (Jotaesse, Palmitolândia e Brasiliana), aferiu-se também a área destes, seguindo o mesmo critério para a sede: somente a área residencial e comercial ocupada.

Para tanto, foi solicitado junto à Secretaria de Obras e Engenharia da Prefeitura Municipal de Tupãssi os mapas do zoneamento urbano da sede municipal e dos distritos, os quais podem ser observados no Anexo A.

Analisando o mapa do zoneamento, pode-se observar a divisão da cidade de Tupãssi nas seguintes zonas:

- Zona residencial 1 (ZR1);
- Zona residencial 2 (ZR2);
- Zona residencial 3 (ZR3);
- Zona de comércio e serviços 1 (ZCS 1);
- Zona de comércio e serviços 2 (ZCS 2);
- Zona especial de interesse social (ZEIS);
- Zona industrial 1 (ZI 1);
- Zona industrial 2 (ZI 2);
- Área de interesse institucional.

Já o mapa do zoneamento dos distritos, observa-se a divisão nas seguintes zonas:

- Zona residencial 1 (ZR1);
- Zona residencial 3 (ZR3);
- Zona de comércio e serviços 1 (ZCS 1);

Como buscava-se aferir a área da cidade onde a ocupação fosse predominantemente residencial ou comercial, e que, por consequência, o consumo de água acompanhasse essa tendência, aferiu-se todas as áreas onde existia ocupação (excetuando-se assim zonas ou partes de zonas destinadas à expansão urbana), e nas quais essa ocupação não fosse industrial (excetuando-se assim a zona industrial 1 e 2).

Além do consumo diferenciado, outro motivo para a exclusão da região industrial foi a sua grande área, o que alteraria significativamente os cálculos e ocasionaria em um valor de densidade populacional abaixo do real para o restante da cidade.

Já a área para expansão urbana futura foi excluída do cálculo, pois esta não apresenta atualmente ocupação, ou seja, não possui população atendida residente e nem rede de distribuição de água instalada.

O Apêndice E apresenta as áreas urbanas consideradas para este cálculo de densidade demográfica na sede e nos distritos, assim como as áreas excluídas destes: as zonas industriais e as áreas para expansão urbana.

A Tabela 4.13 apresenta os resultados desse levantamento.

Tabela 4.13 – Resultados do levantamento de população urbana com abastecimento de água e de área urbana com ocupação habitacional ou comercial

<b>Localidade</b>	<b>População urbana com abastecimento de água (hab.)</b>	<b>Área urbana total (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Área urbana considerada no cálculo (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Zonas urbanas consideradas no cálculo</b>	<b>Zonas urbanas não consideradas no cálculo</b>
Tupãssi	-	2.776.031,63	1.767.487,50	ZR 1, ZR 2, ZR 3*, ZCS 1, ZCS 2 ZEIS*	ZR3*, ZEIS*, ZI 1 e ZI 2
Jotaesse	-	713.816,80	426.100,43	ZR 1 e ZCS 1	ZR 3
Palmitolândia	-	1.028.083,15	346.776,59	ZR 1 e ZCS 1	ZR 3
Brasília	-	507.272,68	346.706,59	ZR 1 e ZCS 1	ZR 3
<b>Total</b>	<b>6350</b>	<b>5.025.204,26</b>	<b>2.887.071,11</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

Fonte: Autoria própria, 2018

\*Zonas consideradas/desconsideradas parcialmente, vide Apêndice E e Anexo A.

De posse dos valores de população urbana atendida com abastecimento de água e da área urbana com ocupação residencial/comercial de todo o município, foi possível calcular a densidade demográfica requerida para essa pesquisa. O valor resultante foi de  $2,199 \times 10^{-3}$  hab/m<sup>2</sup> ou 2.199,46 hab/km<sup>2</sup>. Aplicando essa densidade à área urbana da sede do município encontra-se um valor de aproximadamente 3887 habitantes atendidos na sede.

Utilizando os mesmos dados de área supracitados, porém com o valor de população urbana para o ano de 2038 calculado no item 4.2.2.2, calculou-se a densidade populacional para o horizonte de planejamento proposto, encontrando-se um valor de  $3,298 \times 10^{-3}$  hab/m<sup>2</sup> ou 3.297,50 hab/km<sup>2</sup>.

#### 4.5.2 Área de influência de cada nó

A partir do mapa da rede e definição de todos os nós desta (Apêndice D), dividiu-se as áreas de influência de cada nó traçando medianas em todos os trechos entre nós. O Apêndice F apresenta a divisão resultante desse método e todos os limites das áreas de influência dos nós da rede, e os valores dessas áreas podem ser consultados no Apêndice G

#### 4.5.3 Consumo per capita de água

Para obtenção desse dado foi acessado o banco de dados de séries históricas do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e obtido um valor de 256,58 L/hab/dia para o ano de 2016 (último ano da base de dados do portal). Esse valor consideravelmente alto pode ser explicado por se tratar de um consumo de água que considera as perdas no sistema. Porém, este fato se revela favorável à sua utilização, uma vez que considera uma vazão que apesar de não ser consumida pela população, também gera um aumento de velocidade e dissipação de energia, aproximando ainda mais a simulação hidráulica do cenário físico real.

#### 4.5.4 Consumo-base nos nós

O consumo-base em cada nó da rede foi calculado multiplicando-se as áreas de influência de cada nó pela densidade populacional atual e futura, encontrando-se assim a população atendida em cada nó. Posteriormente, multiplicou-se esse valor pelo consumo per capita e pelos coeficientes do dia (k1) e da hora (k2) de maior consumo.

Apesar de excluída do cálculo de densidade, a zona industrial da cidade apresentava trechos de rede, e conseqüentemente, consumidores que se beneficiam com o abastecimento. Para o cálculo do consumo dos nós nessa parcela da rede, foi solicitado junto a SAATU o número de consumidores nesta zona e o consumo médio destes. Os dados foram: onze ligações com um consumo mensal de taxa mínima, ou seja, abaixo de 10 m<sup>3</sup> por mês.

O número de nós da rede nessa região da cidade foi doze. Logo, multiplicou-se o consumo máximo de todas as ligações (10 m<sup>3</sup>/mês) pelo número de consumidores (11), encontrando-se assim o consumo total máximo naquela zona. Segue abaixo o cálculo realizado.

$$Q_{zona\ industrial} = 10 \left( \frac{m^3}{mês \cdot cons} \right) \cdot 11 (cons) = 110 \left( \frac{m^3}{mês} \right)$$

Para encontrar o consumo em cada nó da rede, ou seja, o valor de entrada no *software Epanet*, dividiu-se o valor anteriormente encontrado pelo número de nós da rede naquela região. Abaixo segue o cálculo realizado.

$$Q_{nó} = \frac{110 \left( \frac{m^3}{mês} \right)}{12 \text{ nós}} = 9,17 \left( \frac{m^3}{mês \cdot nó} \right)$$

Os resultados de consumo-base em todos os nós podem ser verificados no Apêndice G.

Também foi feita uma verificação de vazão máxima permitida em cada nó, de acordo com o manual de simulação hidráulica da Sanepar. De acordo com o documento, esta não poderia exceder 2 L/s. Analisando o Apêndice G pode-se notar que esse critério foi atendido.

#### 4.6 SIMULAÇÃO HIDRÁULICA

De posse de todos os dados foi realizada sua inserção no *software Epanet*, para finalmente ser realizada a simulação hidráulica. Como exposto no capítulo de Métodos, objetivou-se a realização de duas simulações hidráulicas, que difeririam entre si no que tange a vazão requerida ao sistema, uma vez que uma delas seria executada levando em conta a população atual abastecida, e a outra, a população para o horizonte de planejamento (ano de 2038).

Vale ressaltar que nas simulações realizadas para o cenário futuro, considerou-se a mesma geometria da rede e a mesma quantidade e capacidade dos reservatórios do cenário atual.

Além disso, com o objetivo de abranger a maior quantidade possível de situações físicas prováveis, para cada cenário temporal considerou-se dois cenários com níveis operacionais diferentes nos reservatórios: o primeiro em que os reservatórios funcionaram com capacidade máxima de reservação, e o segundo, em que estes apresentaram a altura mínima de água que os reservatórios alcançam em condições normais de operação.

Não foi considerada a altura total de água para o nível máximo de reservação, pois como pode ser visto na Figura 4.5, esta seria o limite de extravasamento dos



reservatórios. Logo, considerou-se a altura de desligamentos das bombas como nível máximo operacional, que é de 0,50 metros abaixo da altura do extravasor. Portanto, para as simulações 1 e 3 considerou-se a altura de 17,50 metros para os reservatórios RAP 01 e RAP 02 e 14,50 metros para o reservatório RAP 03.

O limite mínimo de reservação, por sua vez, se encontra a 2 metros abaixo da altura de acionamento das bombas, ou seja, 15,50 metros para o RAP 01 e RAP 02, e 12,50 metros para o RAP 03. Essas alturas foram consideradas para as simulações 2 e 4.

A Figura 4.15 apresenta um esquema resumo de todas as simulações desenvolvidas nessa etapa.

Figura 4.15 – Esquema resumo dos cenários simulados

		Cenários temporais	
		Pop atual (2016)	Pop futura (2038)
Cenários físicos	Nível máx. reservação	<b>Simulação 1</b> RAP 01: 17,5 m RAP 02: 17,5 m RAP 03: 14,5 m	<b>Simulação 3</b> RAP 01: 17,5 m RAP 02: 17,5 m RAP 03: 14,5 m
	Nível mín. reservação	<b>Simulação 2</b> RAP 01: 15,5 m RAP 02: 15,5 m RAP 03: 12,5 m	<b>Simulação 4</b> RAP 01: 15,5 m RAP 02: 15,5 m RAP 03: 12,5 m

Fonte: Autoria própria (2018)

A Figura 4.15 apresenta a população e os níveis nos reservatórios considerados nas quatro configurações simuladas. O coeficiente de rugosidade utilizado para a tubulação foi de 150, valor já consagrado para o material PVC, segundo Porto (2006).

A Figura 4.16 ilustra a localização dos dois centros de reservação e apresenta o *layout* geral da rede de distribuição do SAA Tupãssi – Sede, representando os nós e tubulações do sistema.

Figura 4.16 – Localização dos centros de reservação e *layout* geral do SAA Tupãssi - Sede



Fonte: Aatoria Própria (2018)

Como pode ser observado na Figura 4.16 os reservatórios dos centros de reservação localizam-se em regiões periféricas da cidade. Como pode ser observado no Apêndice C essas regiões são as que apresentam as maiores cotas topográficas da zona urbana, fato este que explica a pressurização da rede ser inteiramente por gravidade

Os resultados de todas simulações realizadas nessa etapa constam a seguir.

#### 4.6.1 Simulação 1

Nesse primeiro cenário (Figura 4.15), considerou-se que os três reservatórios estavam com seu nível máximo de reservação, isto é, os reservatórios RAP 01 e 02

com 17,50m de coluna d'água e o RAP 03 com 14,50m. A Figura 4.17 mostra os resultados obtidos para a simulação desse cenário.

Figura 4.17 – Pressões nos nós para a simulação 1



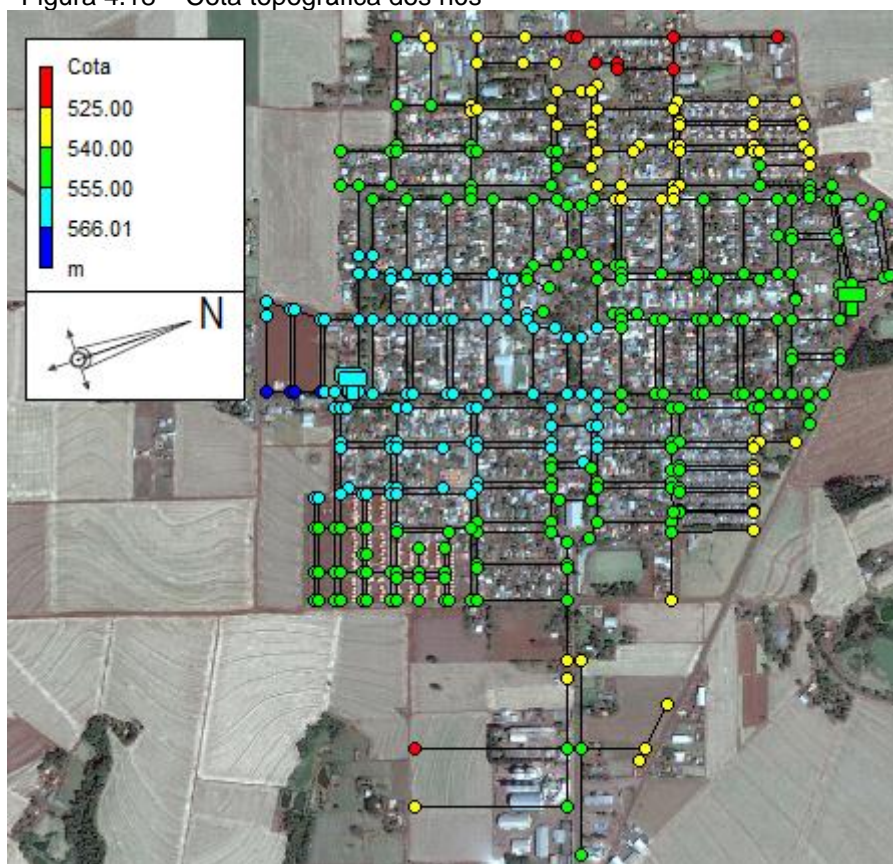
Fonte: Autoria própria (2018)

Na Figura 4.17 os pontos verdes e azul ciano indicam pressões dentro do limite normativo de 10 m.c.a. e 50 m.c.a. A cor azul escuro representa nós com valores de pressões acima do aceitável enquanto que os nós amarelo representam pressões abaixo desse intervalo. Já a cor vermelha representa nós em que ocorre intermitência no abastecimento, ou seja, em que a pressão é negativa.

Através da análise da Figura 4.17 conclui-se que a maior parte dos nós apresentaram pressões que respeitam os limites preconizados em norma. Observando o limite superior de 50 m.c.a., não houve nenhum nó que apresentou um valor de pressão superior a esse. Porém, analisando o extremo mínimo, houveram 18 nós, que mesmo considerando os reservatórios cheios em seu volume útil máximo, apresentaram valores de pressão menores que 10 m.c.a., representando assim 4,72% de nós fora da faixa ideal de pressão.

Também, observou-se que os nós que ficaram com valores de pressão menores do que o limite inferior se localizavam próximos ao centro de reservação Sul. Uma possível explicação para esse comportamento do sistema, pode ser a topografia do terreno nessas regiões. A Figura 4.18 apresenta as cotas topográficas dos nós da rede.

Figura 4.18 – Cota topográfica dos nós



Fonte: Autoria própria (2018)

Como pode ser observado na Figura 4.18, a cidade é praticamente plana, com grande parte da área apresentando cotas topográficas entre pouco mais de 566 metros e 540 metros, representadas pelas cores azul escuro, azul ciano e verde. Contudo, a topografia também apresenta diferenças representativas para o sistema, como os pontos em amarelo e vermelho, que correspondem a cotas topográficas abaixo de 540 metros e 525 metros, respectivamente.

A região sul da rede apresenta a maior altitude. Em alguns pontos inclusive, a cota topográfica do nó é superior ao do próprio reservatório, que é de 566 metros. Esses pontos são representados pela cor azul escuro.

Vale lembrar que o consumo-base utilizado nessa simulação representa uma vazão majorada para o dia de maior consumo e a hora de maior consumo, vide os coeficientes da hora e do dia de maior consumo, utilizados no item 4.5.4. Esse fato pode explicar a perda de carga superior a 7,5 m.c.a. observado nesses nós (diferença entre a altura máxima de água no reservatório e o limite menor de pressão nos nós).

Relacionando as Figuras 4.17 e 4.18 pode-se inferir também que o restante dos nós apresentaram pressões que acompanham a mesma tendência: quanto menor a cota topográfica, maior a pressão disponível. Isso se deve à inexistência de válvulas redutoras de pressão, ou de conjuntos moto-bomba de água tratada instalados na rede, equipamentos estes que independente da topografia alterariam as pressões nas tubulações.

Outra verificação é com relação à perda de carga nas tubulações da rede. A Figura 4.19 mostra a perda de carga na rede, em m.c.a./km.

Figura 4.19 – Perda de carga nas tubulações para a simulação 1



Fonte: Autoria própria (2018)

Como pode ser visto na Figura 4.19 as tubulações que apresentaram perda de carga superior a 4 m.c.a./km estão representadas pela cor vermelha, enquanto que

as representadas pela cor azul escuro apresentam os menores valores de perda de carga (inferiores a 1 m.c.a./km). Os valores intermediários são representados pelas cores amarelo, verde e azul ciano, em ordem decrescente de perda de carga.

Percebe-se também que a mesma região que apresentou nós com as pressões abaixo do limite inferior (vide Figura 4.17) e altas cotas topográficas (vide Figura 4.18), ou seja, a região sul da cidade, apresentou também tubulações com elevadas perdas de carga, superiores a 4 m.c.a./km. Esse fato pode ser explicado pela altitude próxima à do centro de reservação (e conseqüente baixa declividade das tubulações), e também pela grande vazão demandada nesses trechos, parâmetro este representado na Figura 4.20.

Figura 4.20 – Vazão nas tubulações para a simulação 1



Fonte: Autoria própria (2018)

Na Figura 4.20, as linhas representadas em azul escuro indicam valores de vazão de até 1 l/s, e percebe-se que esta trata-se de grande parte da rede. As linhas em azul ciano, verde e amarelo apresentam valores de vazão inferiores a 1,5 l/s, 2,0 l/s e 2,5 l/s, respectivamente, e localizam-se na região central e sul da cidade.

A grande vazão presente nas tubulações representadas pela cor vermelha (superiores a 2,5 l/s), pode ser explicada pelo fato de que por se situarem próximo ao centro de reservação de maior capacidade do sistema, os nós dessas tubulações desempenham a função de nós de passagem para uma vazão muito grande, vazão esta que será absorvida por todos os nós a jusante, o que causa uma grande dissipação de energia, e conseqüente perda de carga.

Assim, com os dados representados e analisados, pode-se concluir que a existência de pressões abaixo do limite inferior no sul da rede é explicada pela proximidade com os maiores reservatórios do sistema e pela topografia mais elevada.

#### 4.6.2 Simulação 2

Na segunda simulação (Figura 4.15) considerou-se um valor mínimo de 15,5 metros de água nos reservatórios do RAP 01 e RAP 02 e de 12,5 metros de água para o reservatório do RAP 03. A Figura 4.21 apresenta os resultados dessa simulação.

Figura 4.21 – Pressões nos nós para a simulação 2



Fonte: Autoria própria (2018)

De acordo com a Figura 4.21, os valores de pressões atuantes no sistema diminuíram em reação à simulação anterior, aumentando consideravelmente o número de nós em que o valor se apresentou inferior ao mínimo de 10 m.c.a. (representados pela cor amarela). Também é possível observar que não houve ocorrência de pressões superiores a 50 m.c.a. (representadas pela cor azul escuro), nem nós que apresentaram intermitência no abastecimento (representados pela cor vermelha).

A ocorrência de pressões inferiores ao limite mínimo preconizado por norma (NBR 12218:94) saltou de 4,72%, resultado da primeira simulação, para 11,81%, ou seja, nessa simulação um total de 45 nós apresentaram pressões menores que o ideal.

Como observado na comparação da Figura 4.18 (Cota topográfica nos nós) e 4.21 (Pressões nos nós para a simulação 2), todos os nós representados em cor amarela se encontram na região mais alta da cidade, a qual apresenta uma altitude superior a 555 metros (representada pela cor azul ciano e azul escuro na Figura 4.18).

Isso revela novamente uma relação entre a alta perda de carga nas tubulações próximas aos reservatórios RAP 01 e RAP 02, devido às altas vazões nessas, e também ao pequeno ganho de carga devido à discreta diferença de altitude entre os nós dessa região e as cotas de assentamento dos reservatórios no sul da rede.

#### 4.6.3 Simulação 3

Essa simulação (Figura 4.15) refere-se a um cenário futuro, para população do horizonte de planejamento de 20 anos. Vale lembrar que o consumo-base aqui simulado refere-se ao calculado com a densidade demográfica considerando o não crescimento da zona urbana ocupada.

A Figura 4.22 apresenta os resultados dessa simulação onde se considerou os reservatórios com seu volume útil máximo de reservação.



Figura 4.22 – Pressões nos nós para a simulação 3



Fonte: Autoria própria (2018)

Da mesma forma que nas simulações anteriores, os nós em cor verde e azul ciano representam pressões no limite ideal (10 m.c.a. e 50 m.c.a.), os nós na cor amarela e azul escuro representam pressões abaixo e acima, respectivamente, da faixa normatizada, e os nós em cor vermelha representam pressões negativas na rede.

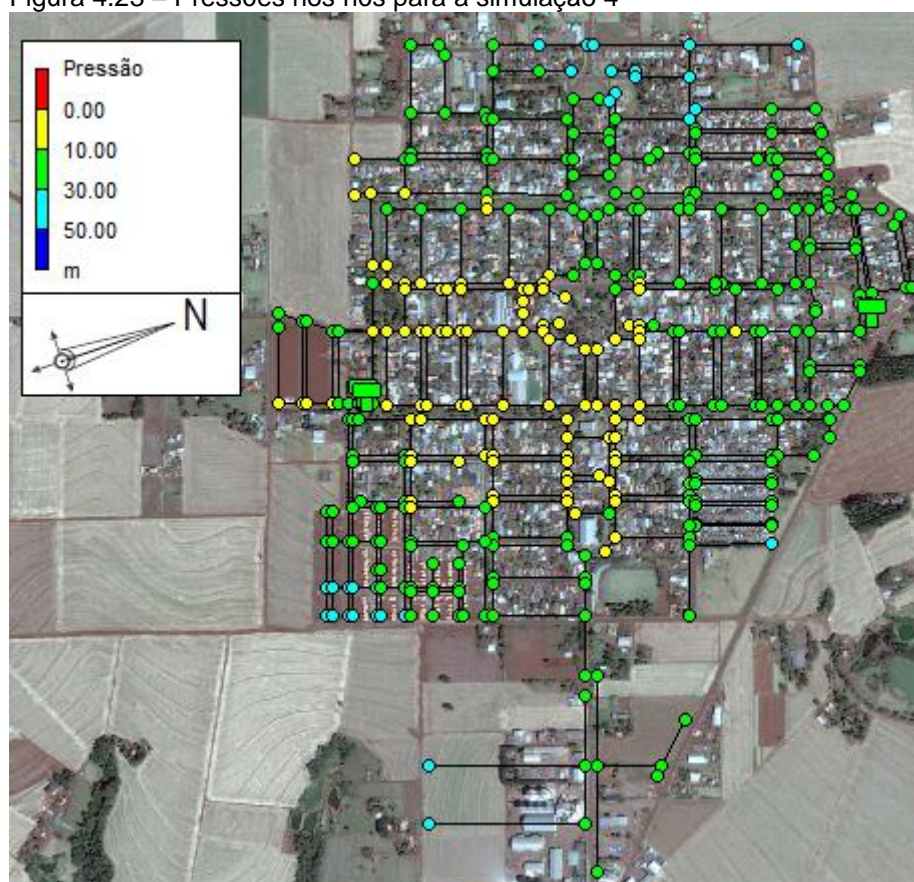
Observa-se que o número de nós que apresentaram pressões inferiores a 10 m.c.a. aumentou para um total de 77 nós, ou 20,21 % do total de nós do sistema. Igualmente aqui, não houve a ocorrência de pressões superiores a 50 m.c.a., representada pela cor azul escuro.

Fazendo outra comparação com as Figuras 4.18 e 4.19, que representam a cota topográfica e perda de carga nas tubulações, pode-se notar mais uma vez a tendência dessa região da cidade, a mais alta e mais próxima ao Centro de Reserva Sul, em apresentar as menores pressões do sistema. Isso devido aos mesmos fatores apresentados no item 4.6.1, ou seja, elevada topografia dos nós e elevada perda de carga nas tubulações.

#### 4.6.4 Simulação 4

Assim como a simulação anterior, esta refere-se ao cenário no horizonte de planejamento de 20 anos (vide Figura 4.15). Considerou-se também nessa simulação a altura de dois metros abaixo do nível máximo nos três reservatórios do sistema. Os resultados dessa simulação são apresentados na Figura 4.23.

Figura 4.23 – Pressões nos nós para a simulação 4



Fonte: Autoria própria (2018)

A Figura 4.23 evidencia o cenário mais crítico simulado até então. Dos 381 nós do sistema, 101 deles (ou 26,51%) apresentaram pressões abaixo de 10 m.c.a., identificados na imagem pelos pontos amarelos.

Comparando a Figura 4.23 com a Figura 4.18 (Cota topográfica nos nós), é possível observar dessa vez a ocorrência de nós abaixo do patamar ideal de pressão em regiões da cidade com topografia abaixo de 555 metros, regiões estas que nas simulações anteriores não haviam apresentado baixas pressões.

Novamente, o fator responsável por essa despressurização da rede tende a ser a alta topografia de certas regiões da cidade, aliada à grande vazão de algumas

tubulações. Porém nessa simulação, o cenário foi agravado pelo aumento do consumo, o que fez com que a pressão diminuisse e a ocorrência de nós amarelos alcançasse regiões da cidade até então abastecidas com uma pressão confortável.

Fator positivo foi que, apesar do alto consumo associado aos nós nas simulações 3 e 4, e da grande presença de nós abaixo do limite mínimo ideal, não houve a ocorrência de pressões negativas no sistema, o que poderia representar uma intermitência no abastecimento de água na rede de distribuição.

#### 4.7 ALTERNATIVA TÉCNICA

Com o objetivo de resolver os problemas de pressão existentes e com isso melhorar a estrutura do SAA Tupãssi – sede no que tange a operação e gestão do sistema, desenvolveu-se uma alternativa técnica, considerando a análise do sistema em operação já descrito e as simulações hidráulicas realizadas para os diferentes cenários.

##### 4.7.1 Captação e Adução

Como comentado no item 4.1.1 e como o croqui hidráulico do Apêndice A esquematiza, o SAA Tupãssi – sede é abastecido por um conjunto de 7 poços artesianos, divididos em dois sistemas de captação, um que abastece o Centro de Reservação Norte composto por dois poços, e outro que abastece o Centro de Reservação Sul composto por cinco poços.

Com o intuito de proporcionar um controle no índice de perdas na rede, no volume produzido e distribuído, e de maior conhecimento do sistema, propõe-se a instalação de macromedidores de vazão nas saídas dos poços, para que, aliados com os dispositivos instalados nas saídas dos reservatórios, seja possível um ganho gestão e operação por parte da administração da divisão

##### 4.7.2 Reservação

Conforme descrito, os reservatórios do sistema possuem 348 m<sup>3</sup> de capacidade de reservação. Considerando a população atual abastecida de 4333 habitantes, seria necessário um volume de reservação próximo de 445 m<sup>3</sup> de

capacidade. Com o objetivo de verificar a disponibilidade de reservação em relação a população futura, bem como quanto a atual, elaborou-se a tabela 4.14 que apresenta o balanço de volume de reservação requerido e o disponível para todos os anos do horizonte de planejamento.

Tabela 4.14 – Balanço volumétrico de reservação

Ano	Pop abastecida (hab)	Vazão requerida (m <sup>3</sup> /dia)	Reservatórios		Balanço de volume (m <sup>3</sup> )
			Volume necessário (m <sup>3</sup> )	Volume existente (m <sup>3</sup> )	
2018	4333	1334,07	444,69	348	-96,69
2019	4398	1353,99	451,33	348	-103,33
2020	4463	1374,21	458,07	348	-110,07
2021	4530	1394,73	464,91	348	-116,91
2022	4598	1415,56	471,85	348	-123,85
2023	4666	1436,70	478,90	348	-130,90
2024	4736	1458,15	486,05	348	-138,05
2025	4807	1479,93	493,31	348	-145,31
2026	4878	1502,03	500,68	348	-152,68
2027	4951	1524,46	508,15	348	-160,15
2028	5025	1547,22	515,74	348	-167,74
2029	5100	1570,33	523,44	348	-175,44
2030	5176	1593,78	531,26	348	-183,26
2031	5254	1617,58	539,19	348	-191,19
2032	5332	1641,73	547,24	348	-199,24
2033	5412	1666,25	555,42	348	-207,42
2034	5493	1691,13	563,71	348	-215,71
2035	5575	1716,39	572,13	348	-224,13
2036	5658	1742,02	580,67	348	-232,67
2037	5742	1768,03	589,34	348	-241,34
2038	5828	1794,43	598,14	348	-250,14

Fonte: Autoria própria, 2018

Como pode ser observado, a capacidade atual dos reservatórios não supera a terça parte do volume do dia de maior consumo no ano, conforme se recomenda na NBR 12217:94. Para o cenário atual, a capacidade de reservação é de apenas 78,38% do que seria necessário, isto é, faltam pouco menos do que 100 m<sup>3</sup> para suprir a demanda diária atual do sistema. Esse quadro tende a piorar quando analisa-se a

evolução do consumo até o ano de 2038, ano este que irá requerer um aumento de aproximadamente 72% no volume dos reservatórios do sistema.

Esse déficit de volume pode causar uma fadiga nas estações elevatórias de água bruta, uma vez que estas devem trabalhar mais vezes durante o dia para suprir a vazão demandada.

Logo, as recomendações no que tange a reservação, propostas para otimização desse sistema são:

- Ampliação da capacidade dos reservatórios;
- Readequação do sistema de acionamento das bombas, visando o aumento do limite de acionamento e desligamento destas, proporcionando assim um ganho energético;
- Rotina adequada de manutenções, visando aumentar a vida útil desses.

Como foi dito no item 4.1.3, nenhum dos reservatórios possuem macromedidores de vazão, por isso, recomenda-se também a implantação desses dispositivos nas saídas dos reservatórios, visando controlar o processo de perdas físicas no sistema, comparando o volume produzido com o faturado.

#### 4.7.3 Rede

A Tabela 4.15 apresenta um resumo das quatro simulações realizadas, mostrando os quadros populacionais e operacionais simulados, e a quantidade de nós foram de cada limite de pressões.

Tabela 4.15 – Resumo das simulações hidráulicas do SAA em operação

Nº	População abastecida (hab)	Nível (m)			Pressões abaixo de 10 m.c.a.		Pressões superiores a 50 m.c.a.		Intermitência no abastecimento		Total de nós fora dos limites ideais	
		RAP 01	RAP 02	RAP 03	Nós	%	Nós	%	Nós	%	Nós	%
1	3887	17,5	17,5	14,5	18	4,72	0	0	0	0	18	4,72
2	3887	15,5	15,5	12,5	45	11,81	0	0	0	0	45	11,81
3	5829	17,5	17,5	14,5	77	20,21	0	0	0	0	77	20,21
4	5829	15,5	15,5	12,5	101	26,51	0	0	0	0	101	26,51

Fonte: Autoria própria, 2018

Como pode ser visto na Tabela 4.15 os pontos de stress no sistema se resumem à ocorrências de pressões menores do que 10 m.c.a., não havendo pontos com pressões maiores que 50 m.c.a., fato este que justifica a inexistência de válvulas redutoras de pressão na rede.

A região que apresenta nós com pressões não confortáveis ao abastecimento se situa na porção sul da cidade, próxima aos reservatórios de maior capacidade e cota topográfica do sistema. Os diâmetros de saída dos reservatórios do centro de reservação Sul (RAP 01 e RAP 02) são de DN 110 mm, porém logo na sequência estes sofrem redução para DN 60 mm, ou ainda para DN 50 mm. No apêndice B é possível verificar essas redes.

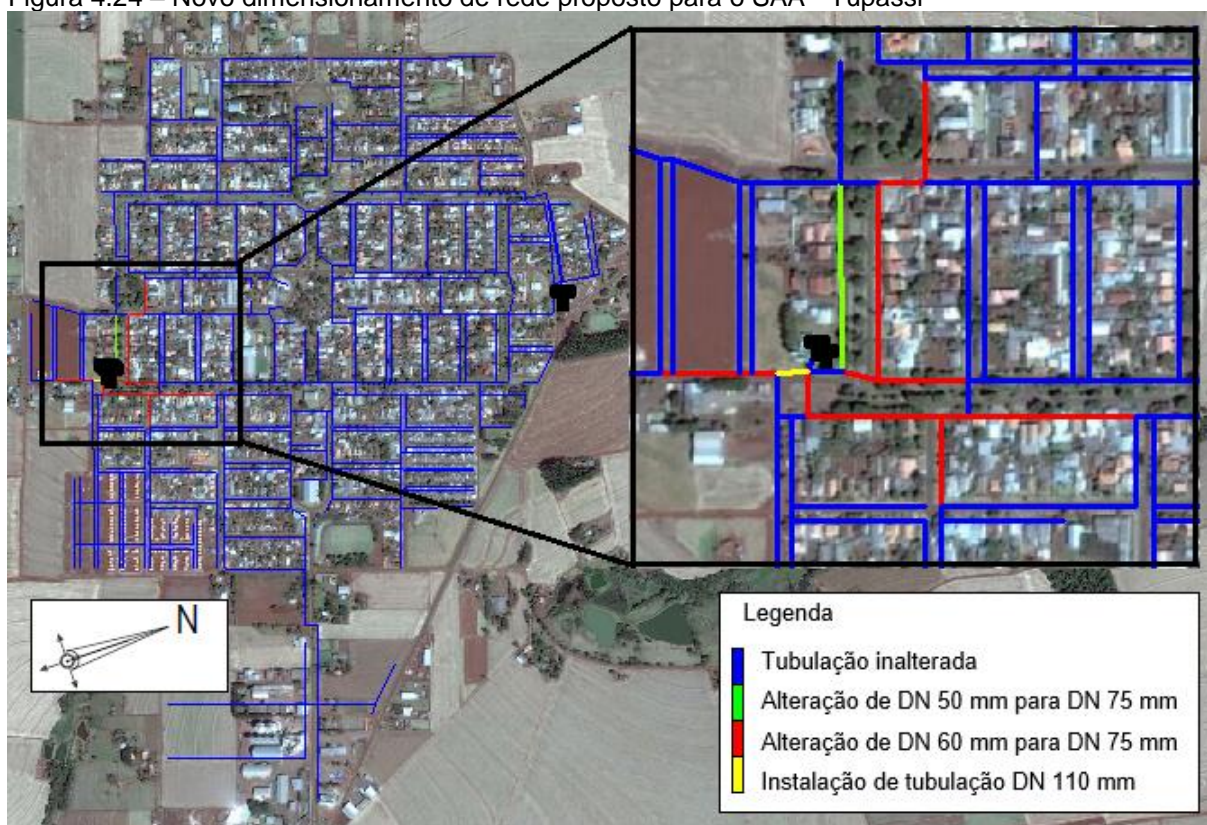
As grandes vazões nas tubulações dos arredores do RAP 01 e RAP 02, representadas na Figura 4.20, aliada ao pequeno diâmetro destas, geram altas velocidades, o que ocasiona uma considerável perda de carga nas tubulações dessa região, como pode ser visto no item 4.6.1.

Como alternativa, propõe-se em relação ao traçado e dimensionamento da rede de distribuição para o sistema de abastecimento da SAATU:

- A alteração dos diâmetros das tubulações de algumas ruas nos arredores no Centro de Reservação Sul, para assim poupar uma certa quantidade de carga hidráulica, e elevar as pressões dos nós próximos;
- A instalação de um trecho de aproximadamente 30 metros em diâmetro DN 110 mm próximo à saída do reservatório RAP 01.

A Figura 4.24 apresenta as tubulações nas quais propõe-se a mudança de diâmetro para DN 75 mm e a tubulação a ser instalada.

Figura 4.24 – Novo dimensionamento de rede proposto para o SAA - Tupassi



Fonte: Autoria própria (2018)

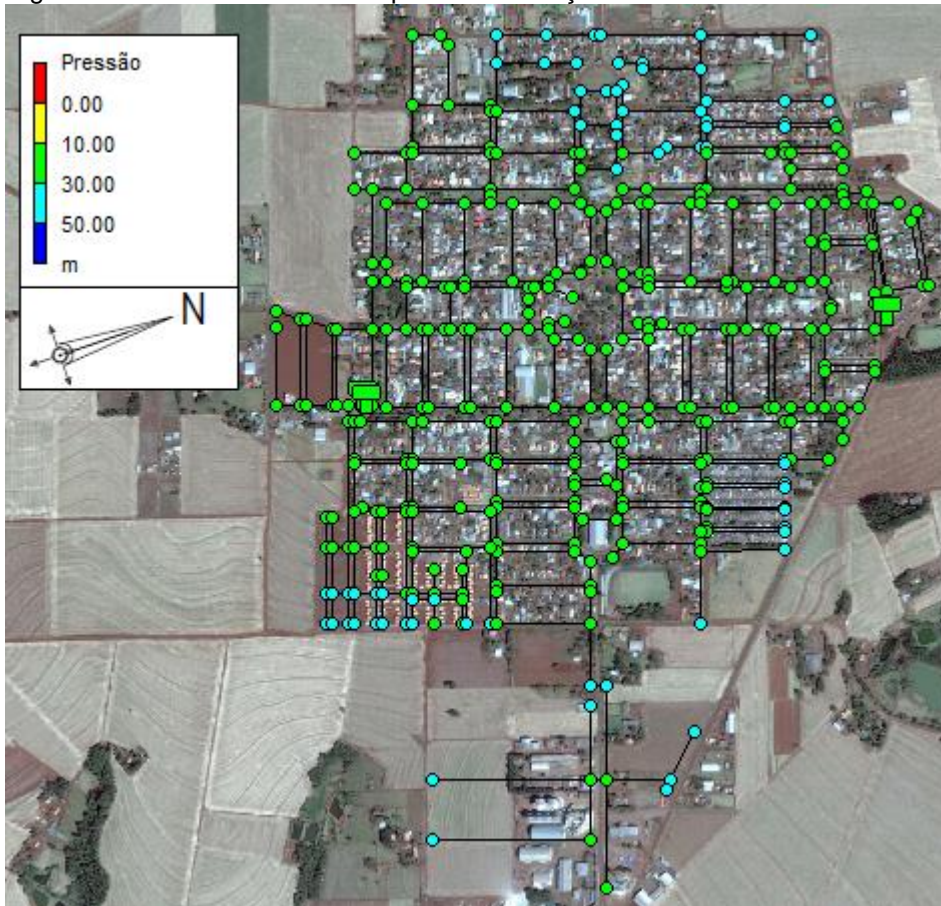
Como é apresentado na Figura 4.24 propõe-se a alteração de diâmetro das tubulações de algumas ruas nas proximidades do Centro de Reservação Sul. Como o intuito era aumentar a área da seção transversal para diminuir a velocidade, optou-se por alterar os diâmetros das tubulações que, conforme Figura 4.20, apresentavam maior vazão. O comprimento total dessas tubulações foi de aproximadamente 1000 metros, e estão representadas pelas cores vermelha e verde, conforme legenda da Figura 4.24.

Também foi inserida uma tubulação em diâmetro DN 110 mm e de aproximadamente 30 metros de comprimento (representada pela cor amarela), com o objetivo de encurtar a distância e diminuir a perda de carga entre a saída do reservatório RAP 01 e o início da tubulação que apresentava os nós com problemas de pressão, tubulação esta que também apresenta cotas de assentamento maiores que a do próprio Centro de Reservação (vide Figura 4.18).

Após isso, realizou-se mais duas simulações hidráulicas, dessa vez com a nova configuração de rede, a fim de verificar a eficiência das mudanças propostas. A primeira considerando os mesmos parâmetros operacionais e temporais da simulação

1 (item 4.6.1) e a segunda com os parâmetros da simulação 2 (item 4.6.2). A Figura 4.25 ilustra o resultado das simulações 5 e 6.

Figura 4.25 – Pressões nos nós para as simulações 5 e 6



Fonte: Autoria própria (2018)

Apesar de terem sido simulados dois cenários diferentes, a Figura 4.25 ilustra apenas um deles, pois o mesmo resultado foi obtido em ambos, ou seja, a ocorrência de pressões dentro do limite estabelecido em norma em todos os nós do sistema. Os valores reais de pressão em todos os nós da rede para cada uma das simulações podem ser verificados no Apêndice G.

Conforme pode ser verificado na Figura 4.25, com a mudança de pouco mais de mil metros de tubulações, o sistema já opera na sua totalidade dentro dos parâmetros normativos, ou seja, atende à todos consumidores com pressões confortáveis.

Também realizou-se as simulações dos cenários temporais e operacionais 3 e 4, porém dessa vez com a nova configuração de rede. A simulação 7 representa a configuração com a população para o horizonte de planejamento e o nível máximo de



reservação, enquanto a simulação 8 apresenta o mesmo quadro populacional, porém com os níveis mínimos de reservação. Os resultados dessas novas simulações são apresentadas na Figura 4.26.

Figura 4.26 – Pressões nos nós. (A) Pressões nos nós para a simulação 7. (B) Pressões nos nós para a simulação 8



Fonte: Autoria própria (2018)

Conclui-se então na análise da Figura 4.26, que a nova configuração de tubulações na saída dos reservatórios aumentaram significativamente as pressões na rede também para o cenário futuro. Porém, essa ainda apresenta nós com pressões abaixo do limite normatizado.

Como propõe-se também outras intervenções no sistema, como a instalação de um quarto reservatório, dispensou-se a busca por uma alternativa para essa configuração de demanda futura, em que se fornecesse em todos os nós pressões confortáveis. As razões para isso são a não abordagem nessa pesquisa de um estudo de dimensionamento e localização desse reservatório, e devido a isso, a imprevisibilidade do comportamento das pressões no sistema nessa nova configuração.

A Tabela 4.16 apresenta um resumo das simulações do SAA proposto.

Tabela 4.16 – Resumo das simulações hidráulicas do SAA proposto

Nº	População abastecida (hab)	Nível de reservação (m)			Pressões abaixo de 10 m.c.a.		Pressões superiores a 50 m.c.a.		Intermitência no abastecimento		Total de nós fora dos limites ideais	
		RAP	RAP	RAP	Nós	%	Nós	%	Nós	%	Nós	%
		01	02	03								
5	3887	17,5	17,5	14,5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	3887	15,5	15,5	12,5	0	0	0	0	0	0	0	0
7	5829	17,5	17,5	14,5	9	2,36	0	0	0	0	9	2,36
8	5829	15,5	15,5	12,5	40	10,50	0	0	0	0	40	10,50

Fonte: Autoria própria, 2018

Como pode-se observar na Tabela 4.16, as alterações nas tubulações com maiores valores de vazão resolveram os problemas de pressão nas configurações para o cenário populacional atual. Porém, para o cenário futuro, apesar de terem melhorado o índice de nós com pressões confortáveis, não resolveram o problema de forma absoluta.

Ainda sobre mudanças na rede de abastecimento também recomenda-se a alteração dos diâmetros das tubulações em outras partes desta, visto que a NBR 12218:94 recomenda diâmetro mínimo de DN 50 mm, e na rede em questão existem tubulações com DN 25 mm, DN 32 mm e DN 40 mm. Essa redução dos diâmetros aumenta a probabilidade de rupturas e vazamentos na rede, uma vez que aumenta as pressões no interior das tubulações.

No que tange melhorias nas manutenções da rede, recomenda-se a implantação de tubulações dos dois lados das ruas em toda a rede, e de um maior número de válvulas de manobra, pois estas práticas facilitariam as situações em que se faz necessária a interrupção do abastecimento de um grande número de consumidores, para interferência em locais pontuais.

Também propõe-se a instalação de mais pontos de expurgo em locais estratégicos da rede, afim de descarte de água com elevada turbidez e sedimentos oriundos de manutenções feitas ao longo da rede. Hoje o sistema conta com apenas um dispositivo dessa natureza, localizado em um loteamento novo da cidade, não sendo suficiente para abranger intervenções em outros locais da rede.

O croqui hidráulico dessas alternativas técnicas para SAA Tupãssi – Sede proposta nessa pesquisa encontra-se no Apêndice H.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aumento populacional vivenciado nos últimos anos e a poluição de mananciais devido a atividades econômicas enaltecem as preocupações de gestores no que tange o uso consciente de recursos hídricos. Nesse contexto, os sistemas de abastecimento de água adquirem um papel de objeto de estudo e otimização para alternativas de redução do consumo, atreladas ao fornecimento de padrões de abastecimento confortáveis.

Devido a isso, a presente pesquisa buscou a determinação de alternativas que respeitassem os padrões de abastecimento normatizados pela NBR 12218 (ABNT, 2017), e ao mesmo tempo oferecesse mecanismos de otimização e monitoração do sistema de abastecimento de água da cidade de Tupãssi – PR, através da realização de modelagem hidráulica com o *software* Epanet.

Para ser possível a adoção dessas medidas, fez-se necessário o conhecimento da maneira como opera o sistema, através de um correto diagnóstico deste. Dessa maneira, através do levantamento de dados realizado, levantou-se todas as informações necessárias para a realização da modelagem hidráulica e posterior análise de dados.

Um fato que dificultou a realização da pesquisa foi a inexistência de informações relativas ao sistema em operação. Muitos dados e documentos não foram encontrados na Prefeitura Municipal de Tupãssi, nem na SAATU. Um exemplo disso foi a carta topográfica do município, o mapa da rede de distribuição de água e valores de população abastecida pela divisão na sede municipal, dados estes que foi necessário serem levantados de forma autônoma e exclusiva para a presente pesquisa.

Contudo, apesar da carência de algumas informações do sistema e do município, foi possível o correto diagnóstico, levantamento de dados de entrada no Epanet e posterior análise de resultados.

Após essa análise, constatou-se que o sistema opera atualmente com alguns pontos abaixo do limite mínimo de pressões, e que em nenhum ponto da rede existe a ocorrência de pressões acima do limite máximo estabelecido por norma. Essa informação importante para a elaboração de planos municipais de saneamento básico. Também foi observado que a capacidade de reserva atual do sistema é insuficiente para suprir a demanda de um terço do volume do dia de maior consumo.

Posteriormente foi possível propor algumas alternativas para otimização, monitoração, manutenção e gestão do sistema. Uma dessas contribuições foi a ampliação da capacidade de reservação, uma vez que essa se apresenta insuficiente atualmente e, que, de acordo com a projeção populacional também realizada nesse estudo, esse quadro de insuficiência tende a se agravar com o passar dos anos.

Com relação às pressões atuantes na rede, foi proposto a substituição de alguns metros de tubulações na saída do Centro de Reservação Sul, para um diâmetro nominal maior, com o intuito de diminuir a perda de carga nessa tubulações, e proporcionar um aumento na pressão disponível nos nós próximos à essa região, os quais de acordo com os relatórios de simulação hidráulica, apresentaram as menores pressões do sistema. Também sugeriu-se adequação de algumas partes da rede à padrões normativos.

Atualmente a SAATU encontra-se com seu quadro técnico sem profissional específico para planejar, gerenciar e manter o sistema. O gerenciamento e operação do sistema se encontra sob o controle de funcionários com alto grau de conhecimento prático, porém sem o conhecimento técnico devido. Isso faz com que ações mais complexas no sistema sejam comprometidas no que tange a gestão e planejamento do SAA Tupãssi – Sede.

Esse cenário de deficiência técnica no quadro de pessoal é muito comum em pequenos sistemas. Porém, atentando-se para a importância do conhecimento das especificidades de um sistema para a boa prática da gestão, os dados coletados e concebidos nesta pesquisa podem dar suporte para planejamentos futuros, uma vez que não somente ofereceu subsídios para o controle das pressões em serviço, como também elencou outras necessidades do sistema.

## 6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A primeira tratativa proposta por esse trabalho pode motivar novas pesquisas acerca da abordagem do saneamento no município de Tupãssi. Durante o desenvolvimento desta pesquisa, percebeu-se uma carência de informações e alguns aspectos que requerem uma abordagem mais sistemática e detalhada. Esta seção ilustra o que pode vir a se tornar objeto de estudo em trabalhos futuros, utilizando como experimento o sistema de saneamento de Tupãssi. A seguir estão dispostos alguns desses pontos:

- Um estudo de dimensionamento para o aumento proposto de reservação, e um estudo orçamentário para todas as melhorias propostas nessa pesquisa;
- Um estudo sistematizado e efetivo do índice de perdas de água do SAA Tupãssi – Sede;
- Levantamento e mapeamento das velocidades na rede de abastecimento de água;
- Estudo de eficiência energética no sistema;
- Estudos que possibilitem um diagnóstico do parque de hidrômetros e uma análise da modalidade de tarifação;
- Estudo de viabilidade econômico-financeira para concepção de um sistema de esgotamento sanitário;
- Diagnóstico da situação e verificação do dimensionamento do sistema de drenagem urbana.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218**: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_\_. **NBR 12211:1992**: Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água – Procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Perdas em sistemas de abastecimento de água: diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate**. 2013. Disponível em: <http://www.abes-sp.org.br/arquivos/perdas.pdf>.

BRASIL. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano/ Secretaria de Política Urbana. **Programa nacional de combate ao desperdício de água: DTA A2 Indicadores de Perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água**. Brasília, 2004.

\_\_\_\_\_. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano/ Secretaria de Política Urbana. **Programa nacional de combate ao desperdício de água: DTA D1 Controle da pressão na rede**. Brasília, 1999.

\_\_\_\_\_. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Brasília (DF). Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm)

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011**. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2011. 46 p.

CARMO, Félix Júnior Justino do. **Vazamentos na rede de distribuição de água: impactos no faturamento e no consumo de energia elétrica do 3º setor de abastecimento de água da região metropolitana de Belém**. 2009. p. 33-52. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

COELHO, Sérgio Teixeira; LOUREIRO, Dália.; ALEGRE, Helena. **Modelação e análise de sistemas de abastecimento de água**. 2006

COELHO, Sérgio Teixeira; ALEGRE, Helena; ALMEIDA, Maria do Céu; VIEIRA, Paula. **Controlo de perdas de água em sistemas públicos de adução e distribuição**. 2005

CUNHA, Agne Pereira; PINTO, Willian Teles. **Calibração de Modelo Hidráulico via Algoritmos Genéticos para Rede de Abastecimento de Água**. 2014. 54 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

DIUANA, Fabio Amendola; OGAWA, Seiti Caio Contardo Pereira. **Análise comparativa dos modelos hidráulicos Epanet, Watercad e Sistema UFC para sistemas de abastecimento de água - rede de distribuição**. 2015. 105 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

FURUSAWA, Rubens Tadashi. **Contribuição ao dimensionamento de rede de distribuição de água por critério de custo global**. 2011. 207 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica de da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

GARCEZ, Lucas Nogueira. **Elementos de engenharia hidráulica e sanitária**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1974 356p.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6 edição. São Paulo: Editora Atlas, 2008. 356 p.

GOMES, Heber Pimentel. **Sistemas de abastecimento de água: dimensionamento econômico e operação de redes e elevatórias**. 2. ed. João Pessoa: UFPB, 2004. 242 p.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter L. de (Org.) **Abastecimento de Água para Consumo Humano**. Belo Horizonte, MG: Editora UFMG, 2006. 859 p.

LOPES, Emerciano Jany Brito. **Gestão de pressões em redes de distribuição de água - caso de Santa Maria da Feira**. 2013. 183 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Gestão da Água, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2013.

MARECHAL CÂNDIDO RONDON, **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Marechal Cândido Rondon/PR**, 2016. Disponível em:<  
[http://www.saaemcr.com.br/plano\\_municipal\\_de\\_saneamento\\_basico.html](http://www.saaemcr.com.br/plano_municipal_de_saneamento_basico.html)> Acesso em 10 de agosto de 2017.

MOREIRA, Tiago Orlando Morais. **Gestão de perdas em redes de abastecimento de água - assistida pelo simulador Epanet**. 2011. 156 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2011.

PORTO, Rodrigo de Melo. **Hidráulica Básica**. 4<sup>o</sup> Edição. São Carlos: EESC - Universidade de São Paulo, 2006. 540 p.

REZENDE, Fabiana. **Identificação e mitigação de perdas de água em rede de distribuição através do monitoramento e controle de perdas**. 2006. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2006.

SALVINO, Moisés Menezes. **Método de dimensionamento e controle operacional otimizado para redes de distribuição de água**. 2009. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná. **MPS: Manual de Projetos de Saneamento** Disponíveis em:

<<http://site.sanepar.com.br/categoria/informacoestecnicas/mps-manual-de-projetos-de-saneamento>> Acesso em 25 de julho de 2017.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2008**. Brasília: MCIDADES.SNSA, 2017. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em 2 out. 2017.

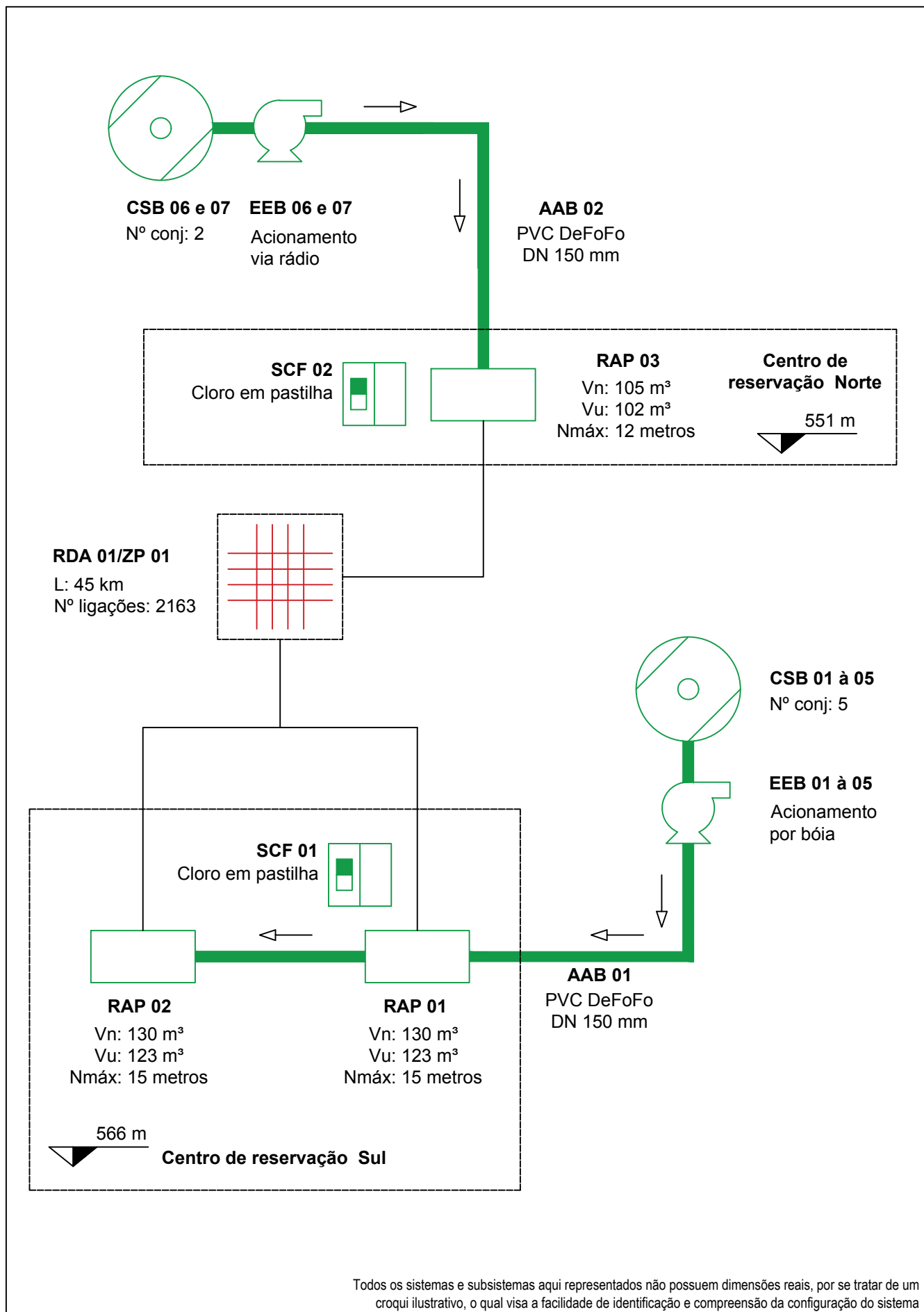
TAVARES, Ioland de Pina. **Gestão da pressão na modelação hidráulica e exploração de sistemas de distribuição de água**: Introdução de válvulas redutoras de pressão. 2011. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2011.

TSUTIYA, M.T. **Abastecimento de Água**. 3<sup>a</sup> Edição. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643 p.



## APÊNDICES

**APÊNDICE A**  
**CROQUI HIDRÁULICO BÁSICO DO**  
**SISTEMA DE ABASTECIMENTO DA SAATU**  
**SETOR TUPÃSSI – SEDE EM OPERAÇÃO**



## Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Apêndice A - croqui básico do SAA Tupãssi-sede em operação

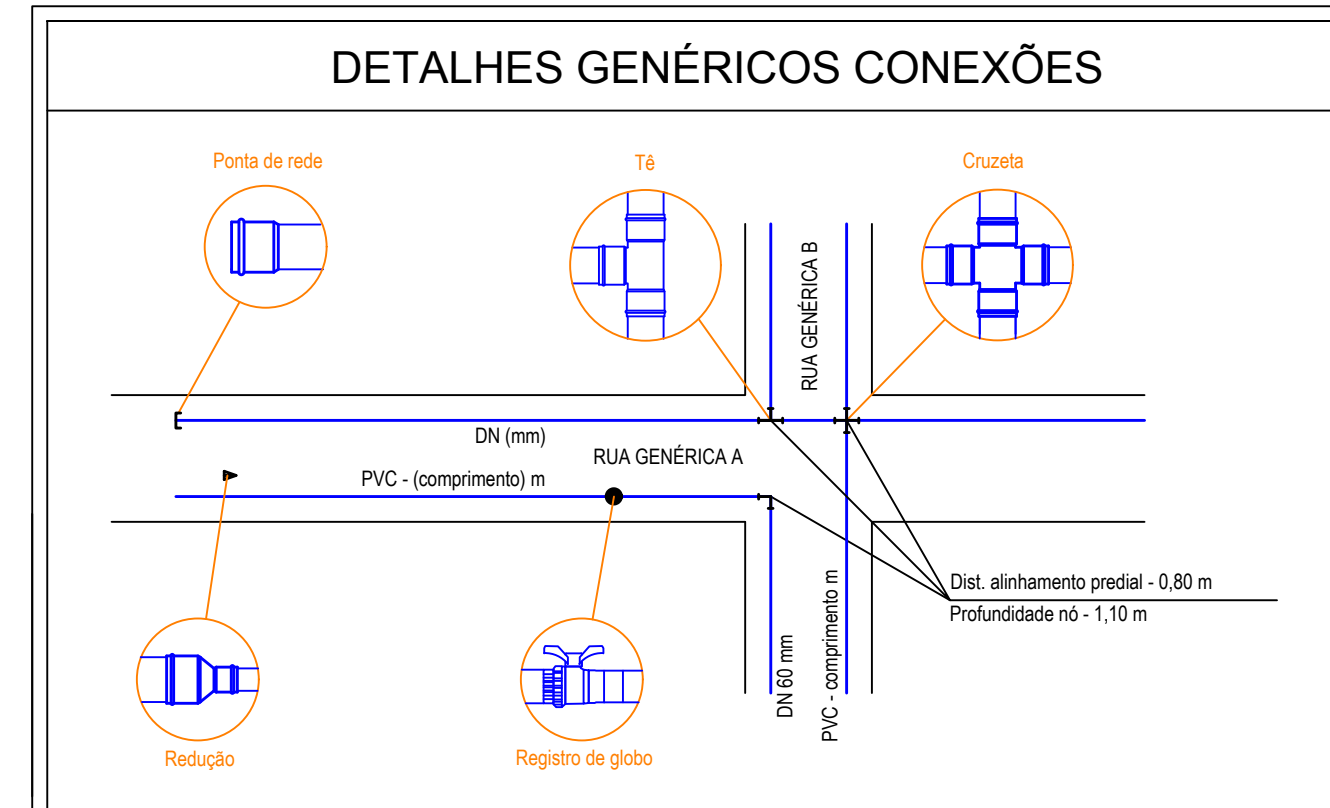
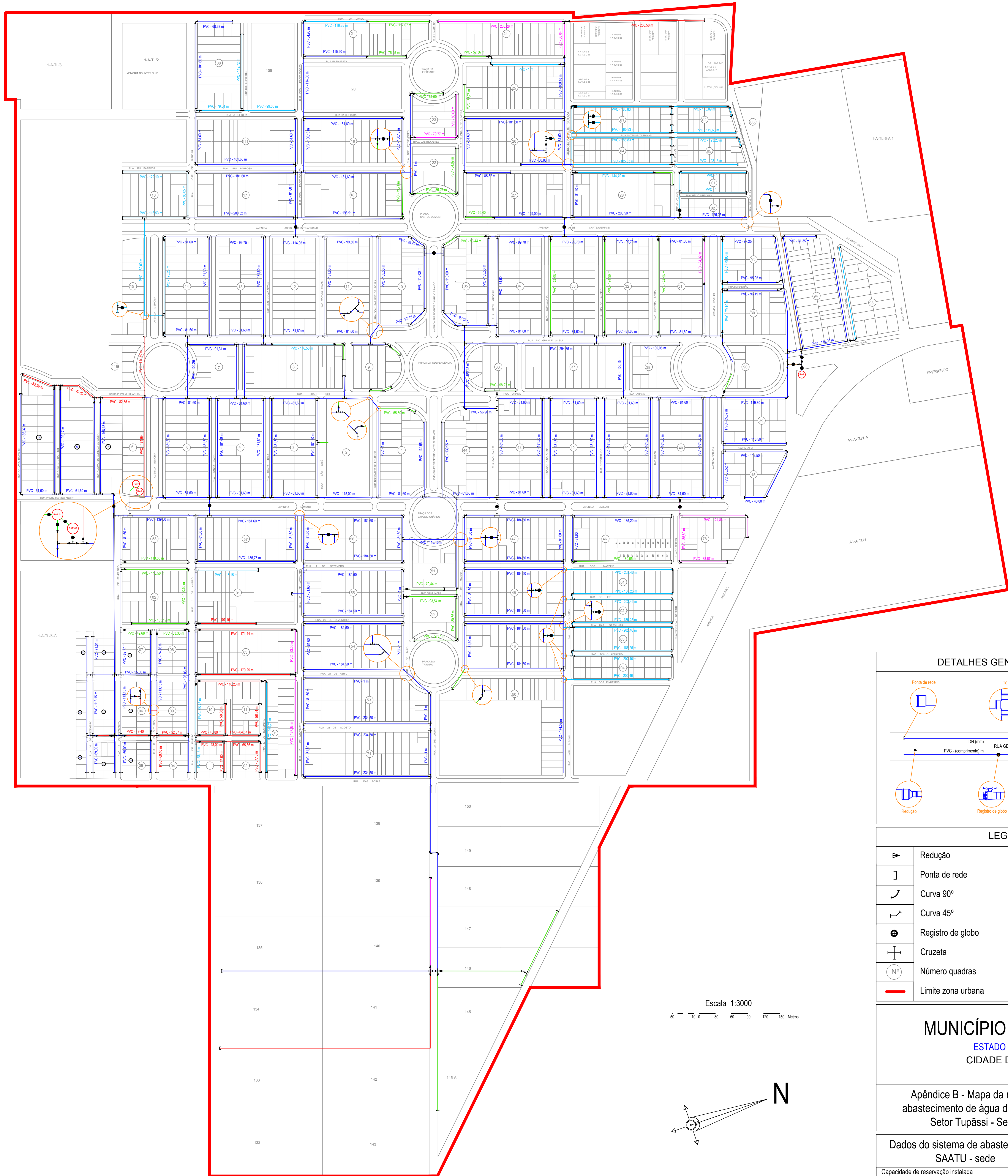
 Unidade existente operando	 Unidade a implantar
 Unidade existente a readequar	 Unidade existente a desativar

Nomenclaturas e critérios utilizados: Sanepar  
Escala: sem escala  
Aluno: Eduardo Cesar Amancio

PRANCHA:

01 / 01

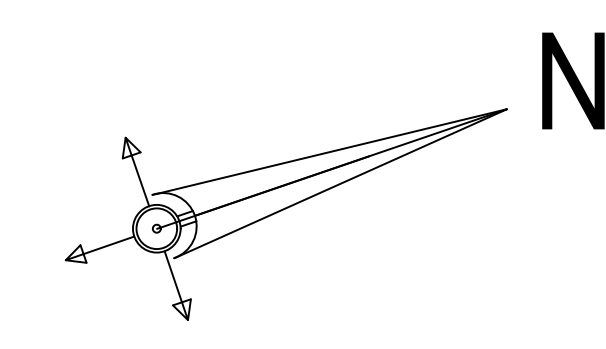
**APÊNDICE B**  
**MAPA DA REDE DE ABASTECIMENTO DA SAATU**  
**SETOR TUPÃSSI – SEDE**



### LEGENDA

	Redução		Tubulação DN 25 mm
	Ponta de rede		Tubulação DN 32 mm
	Curva 90°		Tubulação DN 40 mm
	Curva 45°		Tubulação DN 50 mm
	Registro de globo		Tubulação DN 60 mm
	Cruzeta		Tubulação DN 75 mm
	Número quadras		Tubulação DN 110 mm
	Limite zona urbana		Limite quadras/lotes

Escala 1:3000



**MUNICÍPIO DE TUPÃSSI**  
 ESTADO DO PARANÁ  
 CIDADE DE TUPÃSSI

Apêndice B - Mapa da rede de abastecimento de água da SAATU Setor Tupãssi - Sede



Dados do sistema de abastecimento SAATU - sede		SAATU Serviço de abastecimento de água de Tupãssi
Capacidade de reserva instalada	360 m <sup>3</sup>	
Extensão da rede	45 km	
Número de ligações ativas na sede	2163	
Índice de hidrometração	99,37 %	

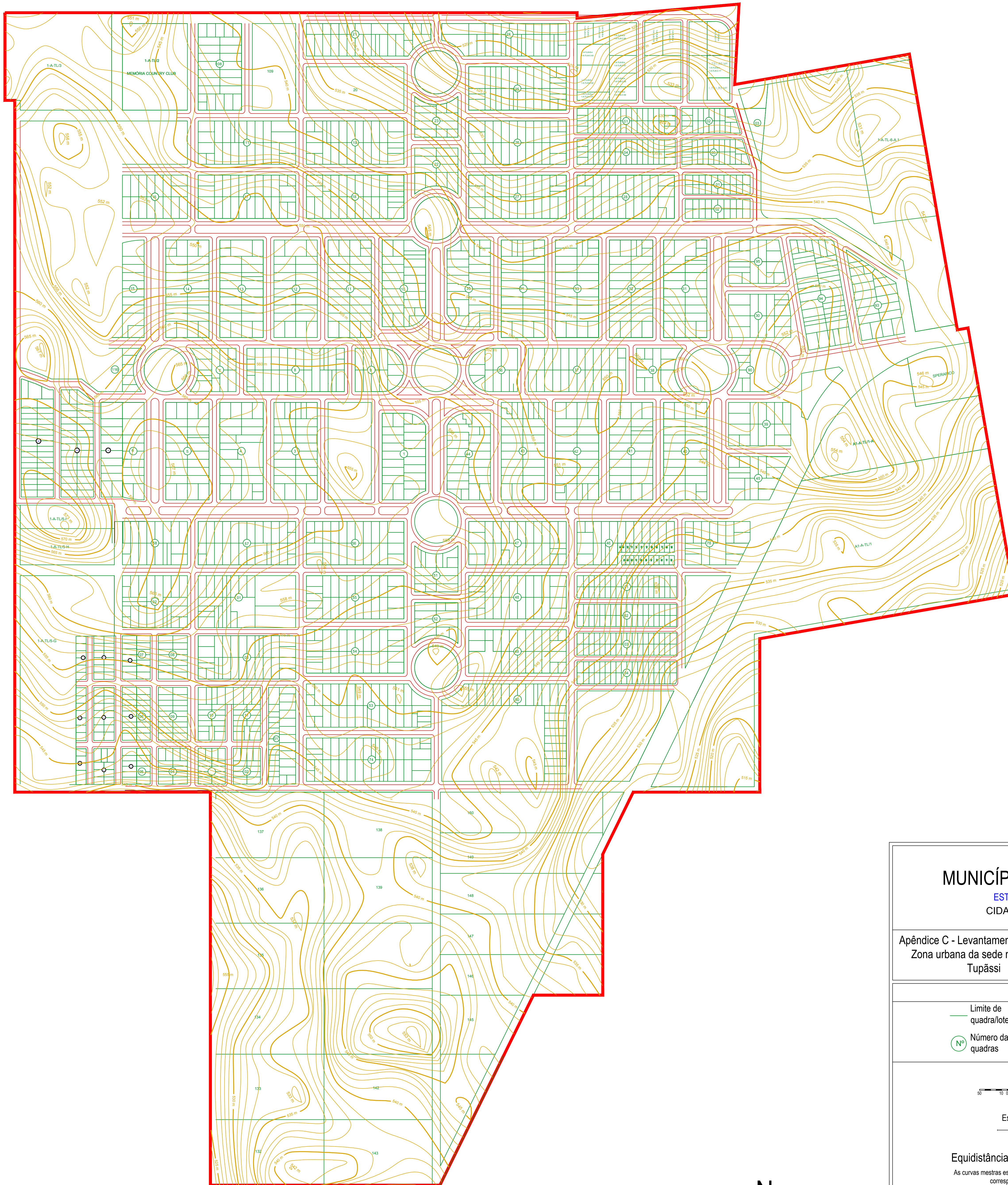
Fonte dos dados: Secretaria de Obras e Engenharia e Serviço de abastecimento de água de Tupãssi SAATU

Mapeamento da rede de abastecimento de água potável da SAATU em Tupãssi apresentada como parte integrante do Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PRANCHA:  
 01/01

Aluno: Eduardo Cesar Amancio

**APÊNDICE C**  
**LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO**  
**ZONA URBANA DA SEDE MUNICIPAL DE TUPÃSSI**



## MUNICÍPIO DE TUPÃSSI

ESTADO DO PARANÁ  
CIDADE DE TUPÃSSI

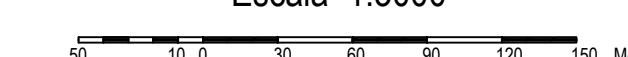
Apêndice C - Levantamento topográfico  
Zona urbana da sede municipal de  
Tupãssi



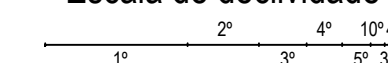
### Legenda

- |                       |                    |
|-----------------------|--------------------|
| Limite de quadra/lote | Meio-fio           |
| Número das quadras    | Curvas de nível    |
|                       | Limite zona urbana |

Escala 1:3000



Escala de declividade



Equidistância das curvas de nível: 1 metro

As curvas mestras estão representadas em linha contínua grossa e correspondem a cada 5ª curva de nível

Data de exportação dos dados: 09/03/2018

Fonte dos dados: Google Earth  
Projeção Universal Transversa de Mercator

Carta topográfica confeccionada como parte integrante do  
Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil  
pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PRANCHA:

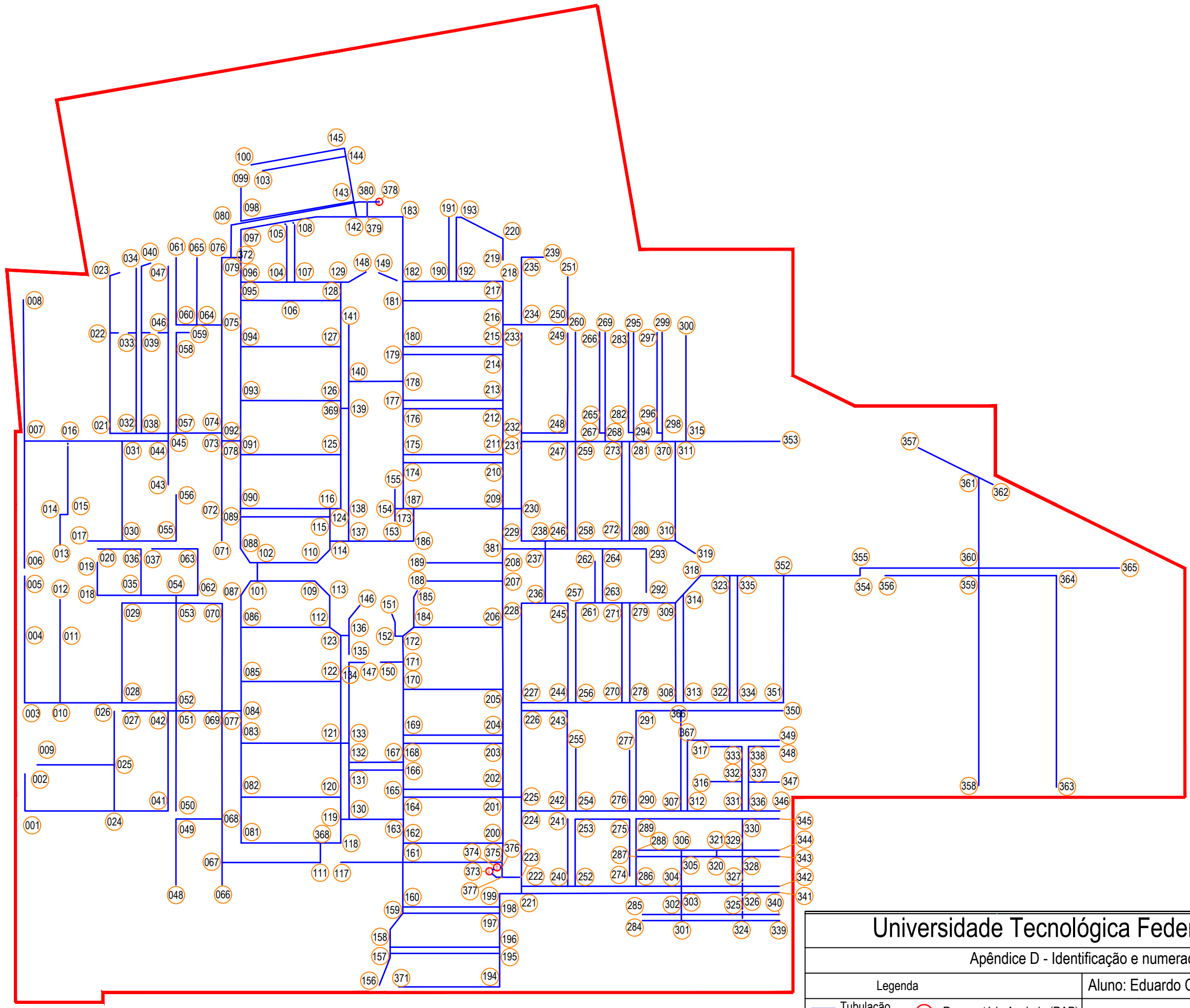
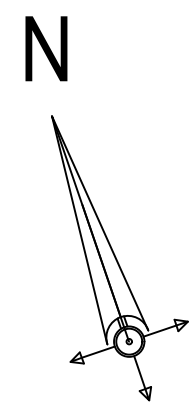
01/01

Aluno: Eduardo Cesar Amancio

**APÊNDICE D**  
**IDENTIFICAÇÃO E NUMERAÇÃO DE NÓS**  
**REDE DE ABASTECIMENTO DA SAATU**  
**SETOR TUPÃSSI - SEDE**

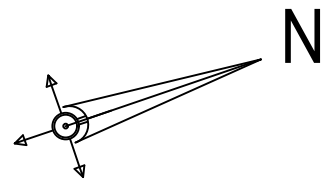
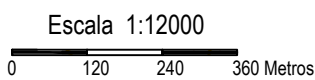
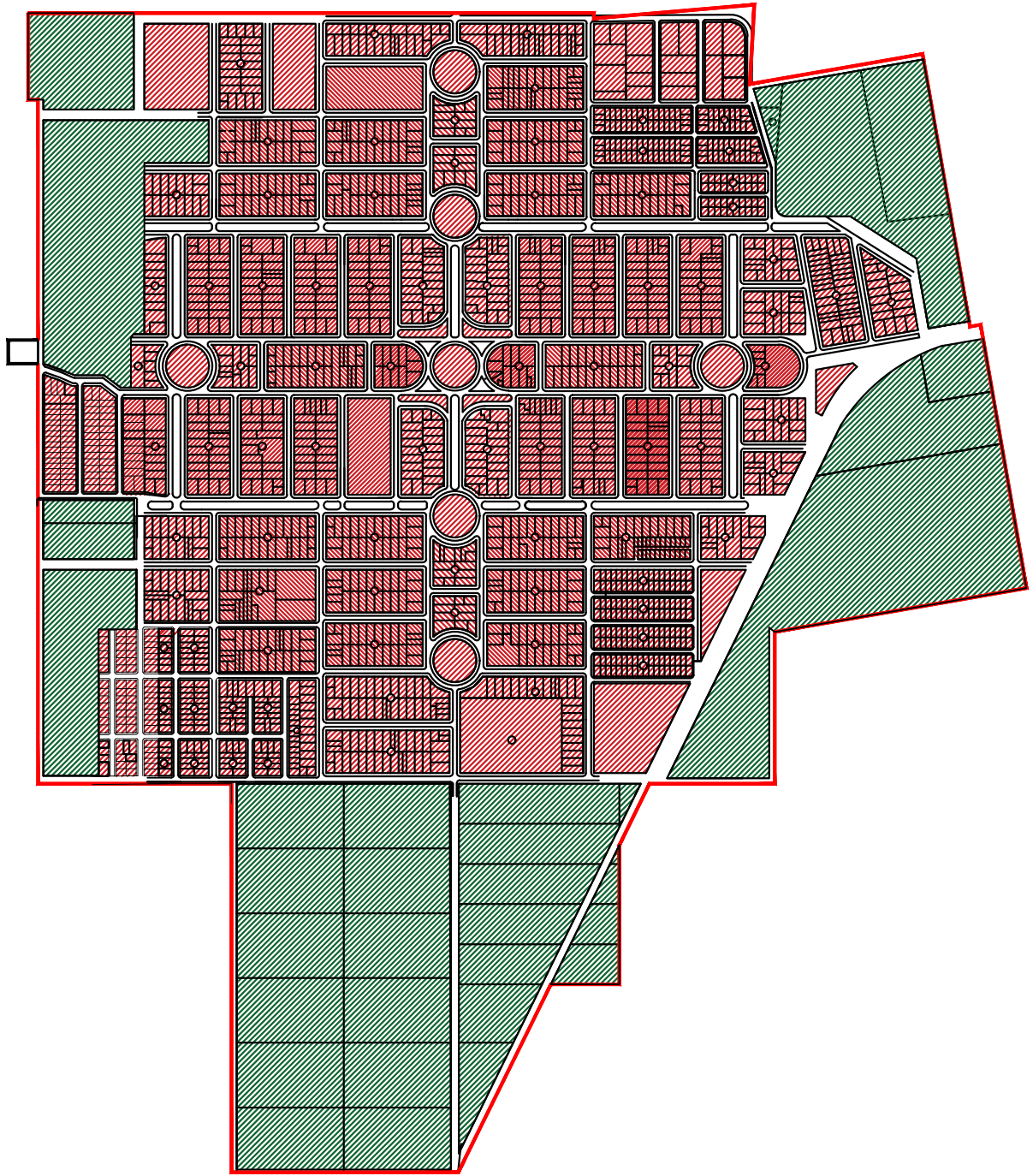


Escala 1:7000  
 0 70 140 210 Metros



<b>Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR</b>		PRANCHA: <b>01 / 01</b>
Apêndice D - Identificação e numeração de nós		
Legenda	Aluno: Eduardo Cesar Amancio	Considera-se nó toda mudança de direção, diâmetro, derivação e ponta seca da rede de distribuição de água
Tubulação Número nó Reservatório Apoiado (RAP) Limite da zona urbana		

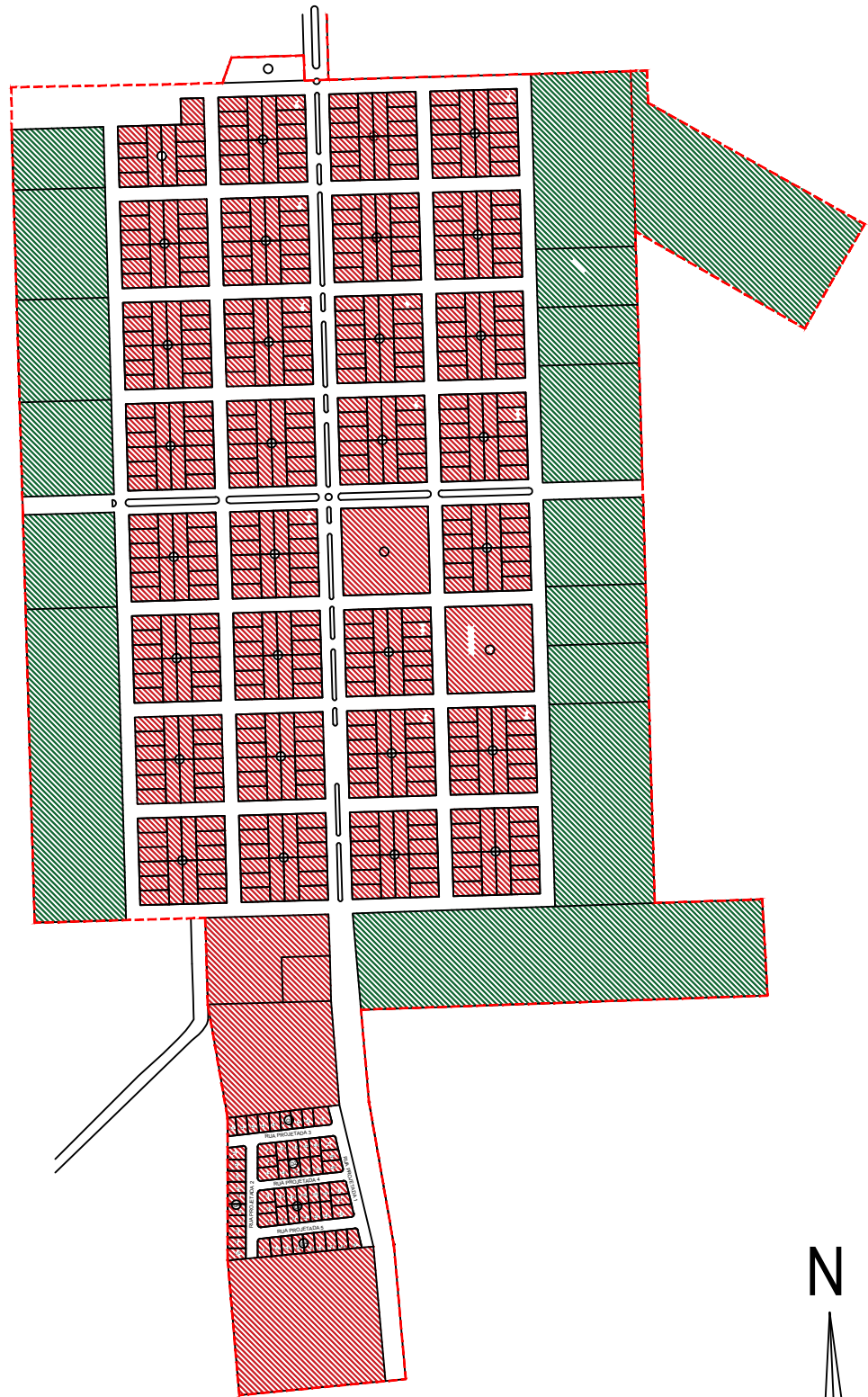
**APÊNDICE E**  
**ZONAS CONSIDERADAS PARA O CÁLCULO DE DENSIDADE DEMOGRÁFICA**  
**URBANA – TUPÃSSI, JOTAESSE, PALMITOLÂNDIA E BRASILANA**



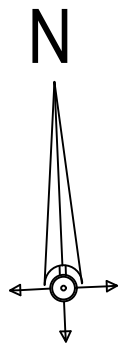
## Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Apêndice E - Zonas consideradas no cálculo de densidade demográfica urbana - Tupãssi

Legenda		Área urbana total da localidade: 2.776.031,63 m <sup>2</sup>	PRANCHA: <span style="font-size: 2em;">01</span> / <span style="font-size: 2em;">04</span>
— Meio-fio	Zona consideradas no cálculo	Área considerada para o cálculo: 1.767.487,50 m <sup>2</sup>	
Número quadras	Zona desconsideradas no cálculo	Aluno: Eduardo Cesar Amancio	



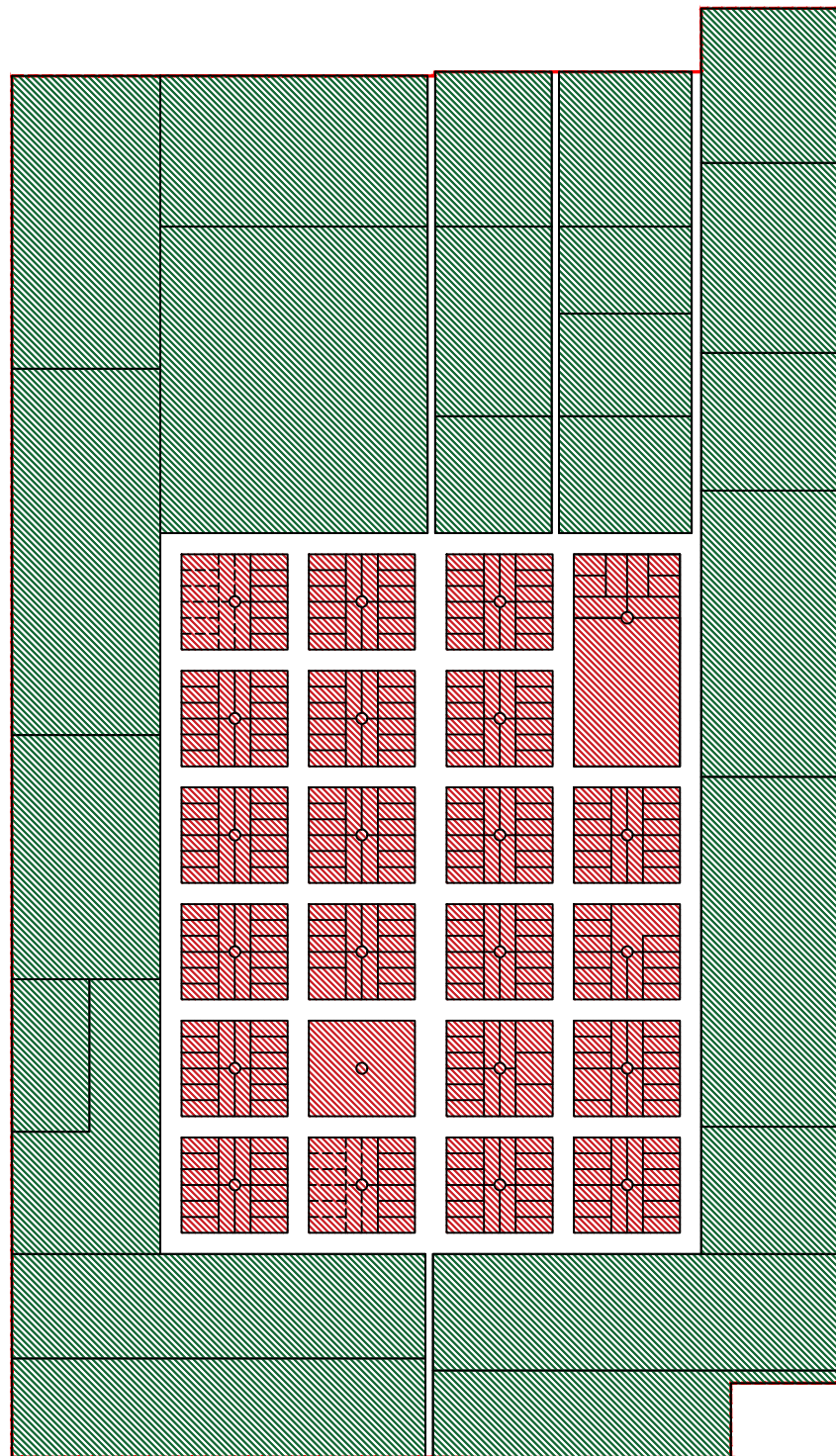
Escala 1:7000  
 0 70 140 210 Metros



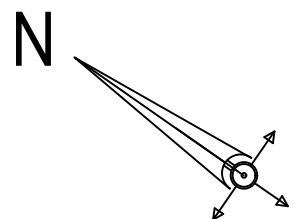
## Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Apêndice E - Zonas consideradas no cálculo de densidade demográfica urbana - Jotaesse

Legenda		Área urbana total da localidade: 713.816,80 m <sup>2</sup>	PRANCHA: <b>02/04</b>
— Meio-fio	Zona consideradas no cálculo	Área considerada para o cálculo: 426.100,43 m <sup>2</sup>	
Número quadras	Zona desconsideradas no cálculo	Aluno: Eduardo Cesar Amancio	



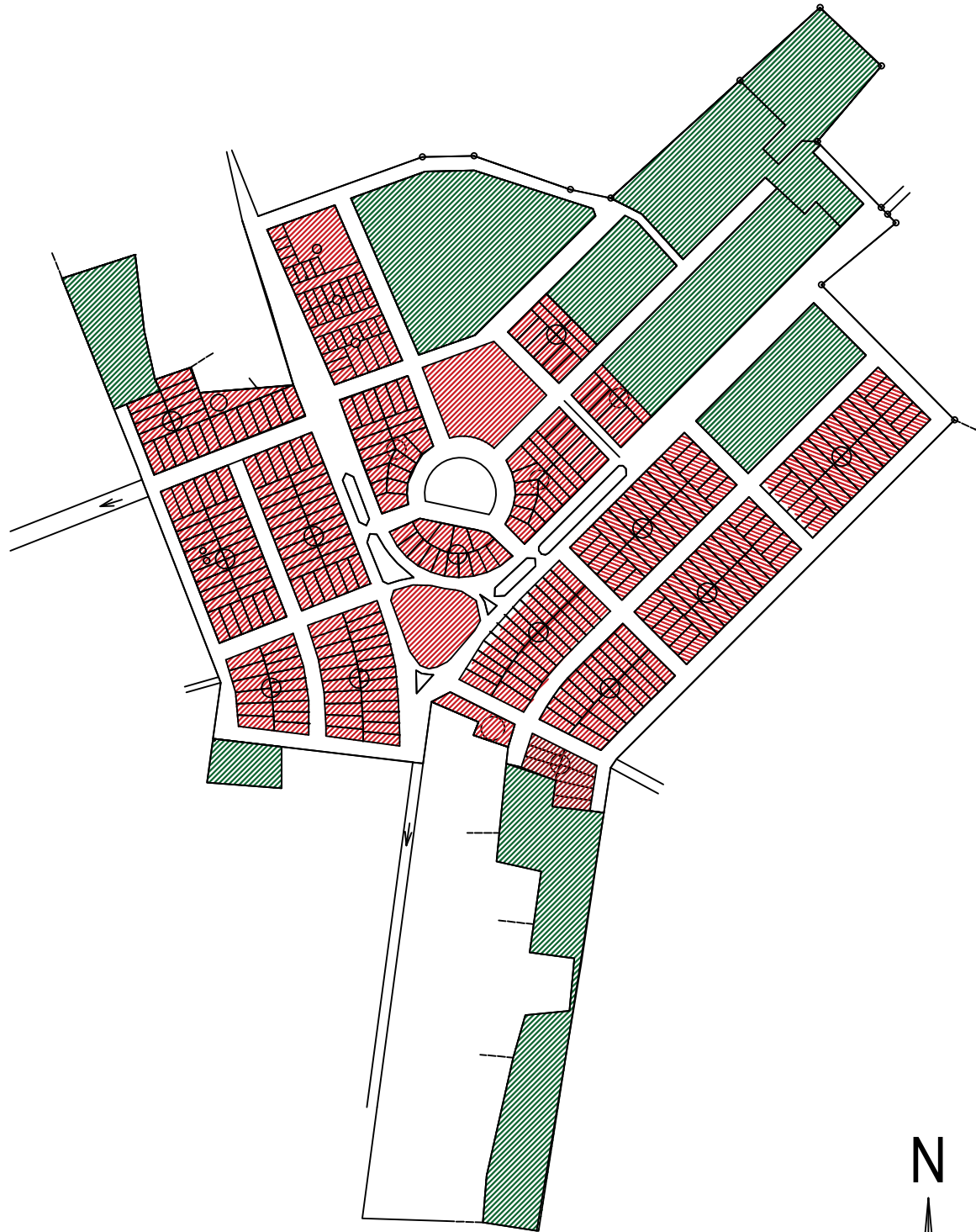
Escala 1:7000  
 0 70 140 210 Metros



## Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Apêndice E - Zonas consideradas no cálculo de densidade demográfica urbana - Palmitolândia

Legenda		Área urbana total da localidade: 1.028.083,15 m <sup>2</sup>	PRANCHA: <b>03/04</b>
— Meio-fio	Zona consideradas no cálculo	Área considerada para o cálculo: 346.776,59 m <sup>2</sup>	
Número quadras	Zona desconsideradas no cálculo	Aluno: Eduardo Cesar Amancio	



Escala 1:7000  
 0 70 140 210 Metros



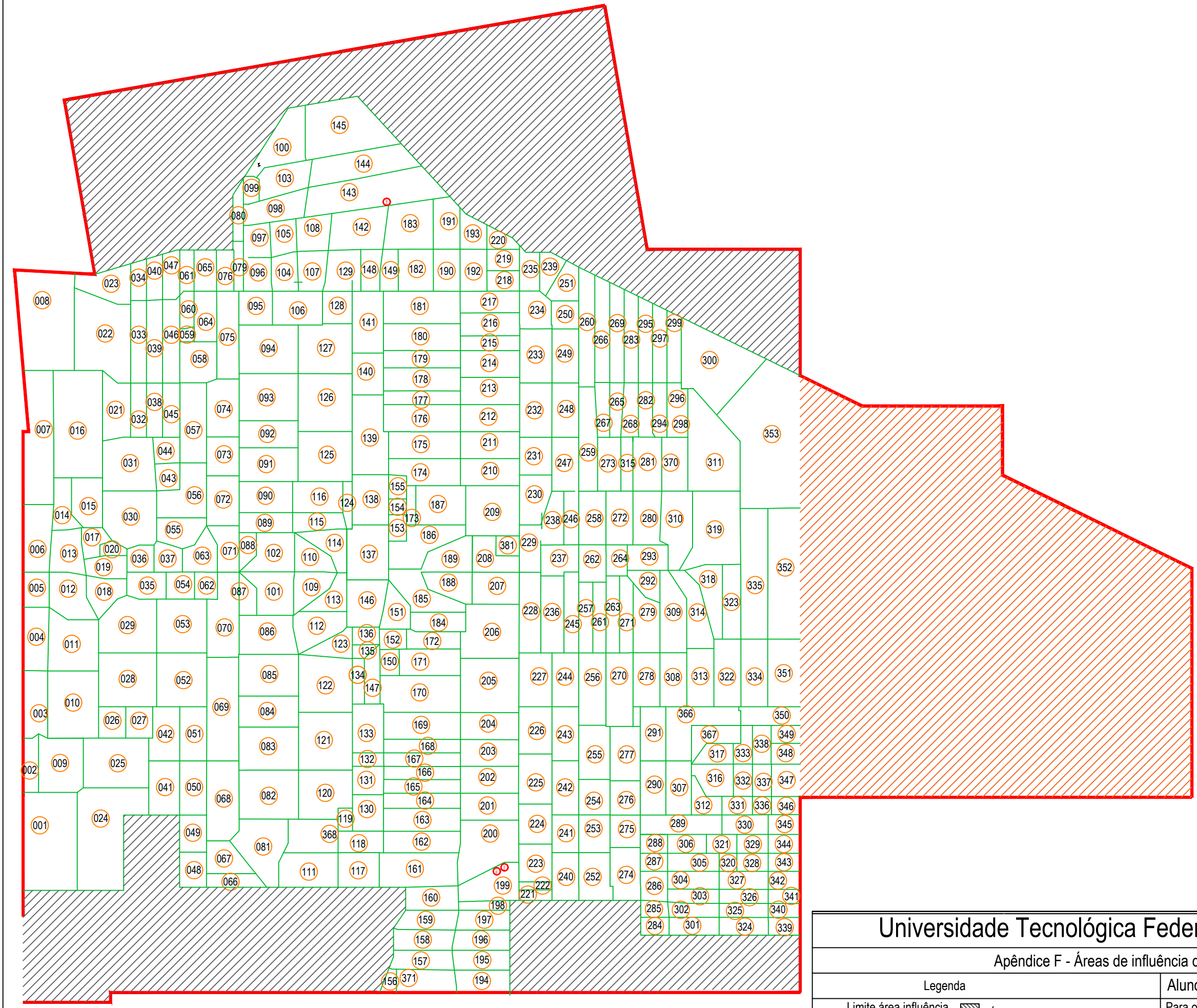
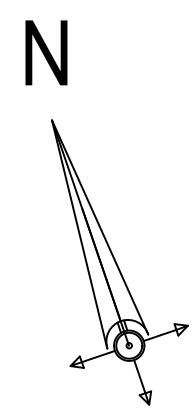
## Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Apêndice E - Zonas consideradas no cálculo de densidade demográfica urbana - Brasileira

Legenda		Área urbana total da localidade: 507.272,68 m <sup>2</sup>	PRANCHA: <b>04/04</b>
— Meio-fio	Zona consideradas no cálculo	Área considerada para o cálculo: 346.706,59 m <sup>2</sup>	
Número quadras	Zona desconsideradas no cálculo	Aluno: Eduardo Cesar Amancio	

**APÊNDICE F**  
**ÁREAS DE INFLUÊNCIA DOS NÓS**  
**REDE DE ABASTECIMENTO DA SAATU**  
**SETOR TUPÃSSI - SEDE**

Escala 1:7000  
0 70 140 210 Metros



## Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

### Apêndice F - Áreas de influência dos nós

Legenda	
Limite área influência	Áreas não consideradas no cálculo
Nº Número nó	Zona Industrial

Aluno: Eduardo Cesar Amancio  
Para os nós da rede que se situam na zona Industrial não foi empregado o método de estimativa de vazões por unidade de área

PRANCHA:  
**01 / 01**



## **APÊNDICE G**

**RESULTADOS DO LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO, CÁLCULO DE ÁREAS DE  
INFLUÊNCIA, CONSUMO-BASE E PRESSÃO DOS NÓS**

Nó	C. T. (m)	A. I. (m²)	C. B. A. (l/s)	C. B. F. (l/s)	Pressão (m.c.a.)							
					S. 1	S. 2	S. 3	S. 4	S. 5	S. 6	S. 7	S. 8
1	540,81	18197,01	0,2139	0,3207	25,97	23,97	18,38	16,38	29,97	27,97	23,36	21,36
2	539,63	2904,18	0,0341	0,0512	27,15	25,15	19,56	17,56	31,15	29,15	24,54	22,54
3	534,52	5570,34	0,0655	0,0982	32,56	30,56	25,3	23,3	36,56	34,56	30,28	28,28
4	527,51	5518,99	0,0649	0,0973	39,54	37,54	32,24	30,24	43,54	41,54	37,22	35,22
5	521,46	3132,97	0,0368	0,0552	45,54	43,54	38,2	36,2	49,54	47,54	43,18	41,18
6	519,91	6481,82	0,0762	0,1143	43,12	41,12	36,42	34,42	43,63	41,63	38,5	36,5
7	516,67	13416,89	0,1577	0,2365	46,46	44,46	39,88	37,88	46,97	44,97	41,97	39,97
8	519,59	18881,81	0,2220	0,3328	43,45	41,45	36,76	34,76	43,96	41,96	38,84	36,84
9	539,84	8343,10	0,0981	0,1471	26,81	24,81	19,07	17,07	30,81	28,81	24,05	22,05
10	536,00	11784,01	0,1385	0,2077	31,08	29,08	23,83	21,83	35,09	33,09	28,81	26,81
11	529,00	9242,26	0,1087	0,1629	38,07	36,07	30,8	28,8	42,07	40,07	35,79	33,79
12	527,15	6066,94	0,0713	0,1069	39,82	37,82	32,44	30,44	43,83	41,83	37,43	35,43
13	521,20	4847,74	0,0570	0,0854	42,79	40,79	37,16	35,16	43,3	41,3	39,25	37,25
14	521,51	3571,59	0,0420	0,0630	42,53	40,53	36,96	34,96	43,04	41,04	39,04	37,04
15	522,17	5043,76	0,0593	0,0889	41,87	39,87	36,3	34,3	42,38	40,38	38,39	36,39
16	519,70	18074,72	0,2125	0,3186	44,42	42,42	38,94	36,94	44,93	42,93	41,03	39,03
17	525,00	2278,33	0,0268	0,0402	39,24	37,24	33,89	31,89	39,75	37,75	35,98	33,98
18	530,93	3924,26	0,0461	0,0692	36,23	34,23	29,06	27,06	40,23	38,23	34,04	32,04
19	528,14	3086,16	0,0363	0,0544	39	37	31,8	29,8	43	41	36,78	34,78
20	527,44	1087,58	0,0128	0,0192	39,7	37,7	32,51	30,51	43,7	41,7	37,5	35,5
21	525,53	5700,50	0,0670	0,1005	38,72	36,72	33,39	31,39	39,23	37,23	35,48	33,48
22	531,00	14931,65	0,1756	0,2632	33,02	31,02	27,43	25,43	33,53	31,53	29,52	27,52
23	530,00	5261,87	0,0619	0,0927	34,01	32,01	28,41	26,41	34,52	32,52	30,5	28,5
24	544,83	18640,94	0,2192	0,3286	21,98	19,98	14,43	12,43	25,99	23,99	19,41	17,41
25	540,93	11138,59	0,1310	0,1963	25,76	23,76	18,05	16,05	29,76	27,76	23,04	21,04
26	539,64	2911,93	0,0342	0,0513	27,04	25,04	19,34	17,34	31,04	29,04	24,32	22,32
27	539,60	2892,50	0,0340	0,0510	27,65	25,65	20,59	18,59	31,66	29,66	25,57	23,57
28	539,34	10739,03	0,1263	0,1893	27,82	25,82	20,65	18,65	31,82	29,82	25,63	23,63
29	534,91	10182,60	0,1197	0,1795	32,25	30,25	25,08	23,08	36,25	34,25	30,06	28,06
30	529,72	9750,56	0,1146	0,1719	34,53	32,53	29,2	27,2	35,04	33,04	31,29	29,29
31	527,00	9502,62	0,1117	0,1675	37,3	35,3	32,01	30,01	37,81	35,81	34,1	32,1
32	529,00	2924,46	0,0344	0,0515	35,35	33,35	30,12	28,12	35,86	33,86	32,21	30,21
33	531,20	4446,53	0,0523	0,0784	33,12	31,12	27,86	25,86	33,63	31,63	29,95	27,95
34	532,75	2117,08	0,0249	0,0373	31,57	29,57	26,3	24,3	32,07	30,07	28,39	26,39
35	536,34	3599,45	0,0423	0,0634	30,82	28,82	23,65	21,65	34,82	32,82	28,63	26,63
36	532,28	2934,51	0,0345	0,0517	34,86	32,86	27,68	25,68	38,87	36,87	32,66	30,66
37	533,27	2662,04	0,0313	0,0469	33,74	31,74	26,4	24,4	37,74	35,74	31,38	29,38
38	529,73	2971,17	0,0349	0,0524	34,66	32,66	29,47	27,47	35,17	33,17	31,56	29,56
39	532,20	4539,63	0,0534	0,0800	32,15	30,15	26,94	24,94	32,66	30,66	29,02	27,02
40	533,47	2388,00	0,0281	0,0421	30,88	28,88	25,66	23,66	31,39	29,39	27,75	25,75

Fonte: Autoria própria, 2018

\*C.T.: cota topográfica; A.I.: área de influência; C.B.A.: consumo-base atual; C.B.F.: consumo-base futuro; S.: simulação.

Nó	C. T. (m)	A. I. (m²)	C. B. A. (l/s)	C. B. F. (l/s)	Pressão (m.c.a.)							
					S. 1	S. 2	S. 3	S. 4	S. 5	S. 6	S. 7	S. 8
41	545,32	5728,13	0,0673	0,1010	21,63	19,63	14,23	12,23	25,63	23,63	19,21	17,21
42	544,00	5320,53	0,0626	0,0938	23,25	21,25	16,19	14,19	27,26	25,26	21,17	19,17
43	530,72	2228,52	0,0262	0,0393	33,88	31,88	28,93	26,93	34,39	32,39	31,02	29,02
44	532,52	2349,93	0,0276	0,0414	32,08	30,08	27,13	25,13	32,59	30,59	29,22	27,22
45	532,83	3234,27	0,0380	0,0570	31,83	29,83	26,94	24,94	32,33	30,33	29,03	27,03
46	537,49	4980,48	0,0586	0,0878	27,13	25,13	22,2	20,2	27,63	25,63	24,29	22,29
47	536,36	2817,29	0,0331	0,0497	28,25	26,25	23,32	21,32	28,76	26,76	25,41	23,41
48	552,11	3271,19	0,0385	0,0577	16,03	14,03	9,87	7,87	20,08	18,08	14,92	12,92
49	546,61	3438,57	0,0404	0,0606	21,54	19,54	15,39	13,39	25,58	23,58	20,43	18,43
50	546,30	5018,54	0,0590	0,0885	20,98	18,98	13,95	11,95	24,98	22,98	18,93	16,93
51	546,00	5034,27	0,0592	0,0887	21,28	19,28	14,25	12,25	25,29	23,29	19,23	17,23
52	545,00	9283,44	0,1091	0,1636	22,24	20,24	15,17	13,17	26,25	24,25	20,15	18,15
53	540,00	9243,45	0,1087	0,1629	27,17	25,17	20,01	18,01	31,17	29,17	24,99	22,99
54	540,00	2632,67	0,0310	0,0464	27,17	25,17	20	18	31,17	29,17	24,98	22,98
55	534,38	4324,90	0,0508	0,0762	29,87	27,87	24,53	22,53	30,38	28,38	26,62	24,62
56	531,34	7213,09	0,0848	0,1271	32,91	30,91	27,57	25,57	33,42	31,42	29,65	27,65
57	533,63	7336,96	0,0863	0,1293	31,16	29,16	26,42	24,42	31,66	29,66	28,50	26,50
58	537,75	5170,41	0,0608	0,0911	27,02	25,02	22,26	20,26	27,52	25,52	24,34	22,34
59	538,65	670,76	0,0079	0,0118	26,12	24,12	21,35	19,35	26,62	24,62	23,44	21,44
60	539,00	1778,02	0,0209	0,0313	26,84	24,84	23,88	21,88	27,23	25,23	25,52	23,52
61	536,68	2048,90	0,0241	0,0361	29,16	27,16	26,2	24,2	29,55	27,55	27,83	25,83
62	543,00	2149,84	0,0253	0,0379	24,17	22,17	17	15	28,17	26,17	21,98	19,98
63	538,00	3929,73	0,0462	0,0693	29,03	27,03	21,72	19,72	33,03	31,03	26,70	24,70
64	541,36	3922,99	0,0461	0,0691	24,49	22,49	21,53	19,53	24,88	22,88	23,16	21,16
65	539,46	3184,12	0,0374	0,0561	26,38	24,38	23,42	21,42	26,77	24,77	25,05	23,05
66	553,00	2554,60	0,0300	0,0450	15,64	13,64	9,68	7,68	19,87	17,87	14,98	12,98
67	553,00	4095,29	0,0481	0,0722	15,64	13,64	9,68	7,68	19,87	17,87	14,98	12,98
68	551,21	8736,53	0,1027	0,1540	16,95	14,95	10,81	8,81	21,00	19,00	15,86	13,86
69	549,43	11458,64	0,1347	0,2020	18,65	16,65	12,51	10,51	22,65	20,65	17,49	15,49
70	543,67	8457,10	0,0994	0,1491	24,35	22,35	18,15	16,15	28,36	26,36	23,13	21,13
71	539,00	3781,87	0,0445	0,0667	26,64	24,64	22,79	20,79	27,16	25,16	24,92	22,92
72	537,23	5584,97	0,0657	0,0984	28,44	26,44	24,62	22,62	28,96	26,96	26,75	24,75
73	537,48	4349,20	0,0511	0,0767	28,19	26,19	24,38	22,38	28,72	26,72	26,51	24,51
74	538,00	6419,81	0,0755	0,1132	27,6	25,6	23,77	21,77	28,11	26,11	25,86	23,86
75	542,52	6649,75	0,0782	0,1172	23,34	21,34	20,41	18,41	23,73	21,73	22,04	20,04
76	543,00	2466,06	0,0290	0,0435	23,13	21,13	20,93	18,93	23,42	21,42	22,22	20,22
77	550,50	0,00	0,0000	0,0000	17,75	15,75	11,84	9,84	21,74	19,74	16,79	14,79
78	538,35	0,00	0,0000	0,0000	27,43	25,43	23,65	21,65	27,98	25,98	25,84	23,84
79	544,00	1634,57	0,0192	0,0288	22,17	20,17	20,08	18,08	22,45	20,45	21,32	19,32
80	543,54	1979,55	0,0233	0,0349	22,68	20,68	20,94	18,94	22,92	20,92	21,98	19,98

Fonte: Autoria própria, 2018

\*C.T.: cota topográfica; A.I.: área de influência; C.B.A.: consumo-base atual; C.B.F.: consumo-base futuro; S.: simulação.

Nó	C. T. (m)	A. I. (m <sup>2</sup> )	C. B. A. (l/s)	C. B. F. (l/s)	Pressão (m.c.a.)							
					S. 1	S. 2	S. 3	S. 4	S. 5	S. 6	S. 7	S. 8
81	551,39	9083,80	0,1068	0,1601	18,34	16,34	12,99	10,99	22,82	20,82	18,67	16,67
82	550,68	9960,18	0,1171	0,1756	19,02	17,02	13,67	11,67	23,48	21,48	19,32	17,32
83	550,53	8835,28	0,1039	0,1557	18,74	16,74	13,3	11,3	23,02	21,02	18,69	16,68
84	551,33	6336,75	0,0745	0,1117	17,11	15,11	11,44	9,44	21,08	19,08	16,37	14,37
85	549,57	8571,54	0,1008	0,1511	18,85	16,85	13,25	11,25	22,73	20,73	18,12	16,12
86	545,00	7473,65	0,0879	0,1317	23,17	21,17	17,8	15,8	26,69	24,69	22,38	20,38
87	544,59	2116,77	0,0249	0,0373	23,36	21,36	18,16	16,16	26,63	24,63	22,51	20,51
88	541,00	1840,10	0,0216	0,0324	26,06	24,06	21,51	19,51	28,22	26,22	24,95	22,95
89	538,80	3668,92	0,0431	0,0647	27,49	25,49	23,56	21,56	28,59	26,59	26,20	24,20
90	538,39	5700,75	0,0670	0,1005	27,88	25,88	23,96	21,96	28,95	26,95	26,58	24,58
91	538,61	6829,55	0,0803	0,1204	27,36	25,36	23,58	21,58	28,04	26,04	25,91	23,91
92	539,24	5472,43	0,0643	0,0965	26,65	24,65	22,91	20,91	27,22	25,22	25,16	23,16
93	540,33	9541,81	0,1122	0,1682	25,62	23,62	22,11	20,11	26,14	24,14	24,25	22,25
94	542,00	9886,21	0,1162	0,1743	24,03	22,03	20,89	18,89	24,47	22,47	22,84	20,84
95	544,10	3876,93	0,0456	0,0683	22,02	20,02	19,32	17,32	22,37	20,37	21,01	19,01
96	544,47	3247,91	0,0382	0,0572	21,67	19,67	19,25	17,25	21,99	19,99	20,74	18,74
97	546,00	3110,99	0,0366	0,0548	20,18	18,18	18,06	16,06	20,46	18,46	19,33	17,33
98	546,29	5307,98	0,0624	0,0936	20,01	18,01	18,94	16,94	20,14	18,14	19,52	17,52
99	545,00	1416,77	0,0167	0,0250	21,3	19,3	20,23	18,23	21,43	19,43	20,81	18,81
100	544,30	7396,11	0,0870	0,1304	21,91	19,91	20,73	18,73	22,04	20,04	21,32	19,32
101	544,19	6000,99	0,0706	0,1058	23,65	21,65	18,53	16,53	26,78	24,78	22,77	20,77
102	542,63	7478,72	0,0879	0,1318	24,92	22,92	20,03	18,03	27,69	25,69	23,96	21,96
103	546,70	5204,25	0,0612	0,0917	19,56	17,56	18,44	16,44	19,70	17,70	19,03	17,03
104	548,50	3323,25	0,0391	0,0586	17,71	15,71	15,52	13,52	17,98	15,98	16,85	14,85
105	548,32	3039,35	0,0357	0,0536	17,89	15,89	15,82	13,82	18,15	16,15	17,06	15,06
106	546,65	5771,24	0,0679	0,1017	19,56	17,56	16,21	14,21	20,20	18,20	18,48	16,48
107	548,08	3894,77	0,0458	0,0687	18,13	16,13	15,94	13,94	18,41	16,41	17,27	15,27
108	549,00	4031,19	0,0474	0,0711	17,22	15,22	15,19	13,19	17,47	15,47	16,41	14,41
109	544,92	3922,98	0,0461	0,0691	23,11	21,11	17,87	15,87	26,46	24,46	22,30	20,30
110	544,70	3603,38	0,0424	0,0635	22,15	20,15	17,84	15,84	24,01	22,01	21,03	19,03
111	556,71	6956,91	0,0818	0,1226	13,27	11,27	7,92	5,92	17,92	15,92	13,85	11,85
112	551,79	5505,75	0,0647	0,0970	16,42	14,42	11,09	9,09	19,97	17,97	15,68	13,68
113	548,18	3286,06	0,0386	0,0579	19,92	17,92	14,64	12,64	23,35	21,35	19,13	17,13
114	547,17	3853,58	0,0453	0,0679	19,42	17,42	15,33	13,33	20,90	18,90	18,23	16,23
115	549,43	3202,87	0,0377	0,0565	16,97	14,97	13	11	18,20	16,20	15,75	13,75
116	549,33	5354,80	0,0630	0,0944	17,05	15,05	13,1	11,1	18,23	16,23	15,82	13,82
117	559,64	4890,56	0,0575	0,0862	18,44	16,44	16,09	14,09	21,91	19,91	20,20	18,20
118	561,57	3372,38	0,0396	0,0594	8,9	6,9	3,81	1,81	13,71	11,71	9,96	7,96
119	561,91	1128,01	0,0133	0,0199	8,74	6,74	3,72	1,72	13,59	11,59	9,96	7,96
120	559,85	8551,29	0,1005	0,1507	10,39	8,39	5,25	3,25	15,04	13,04	11,18	9,18

Fonte: Autoria própria, 2018

\*C.T.: cota topográfica; A.I.: área de influência; C.B.A.: consumo-base atual; C.B.F.: consumo-base futuro; S.: simulação.

Nó	C. T. (m)	A. I. (m <sup>2</sup> )	C. B. A. (l/s)	C. B. F. (l/s)	Pressão (m.c.a.)							
					S. 1	S. 2	S. 3	S. 4	S. 5	S. 6	S. 7	S. 8
121	557,70	10691,55	0,1257	0,1885	12,33	10,33	7,16	5,16	16,80	14,80	12,86	10,86
122	556,54	10316,69	0,1213	0,1818	12,17	10,17	6,76	4,76	16,06	14,06	11,71	9,71
123	554,28	2967,72	0,0349	0,0523	14,03	12,03	8,68	6,68	17,65	15,65	13,35	11,35
124	550,55	1406,54	0,0165	0,0248	15,82	13,82	11,88	9,88	16,99	14,99	14,60	12,60
125	547,24	9302,19	0,1094	0,1640	19,12	17,12	15,22	13,22	20,23	18,23	17,91	15,91
126	547,65	10726,31	0,1261	0,1891	18,69	16,69	14,88	12,88	19,73	17,73	17,51	15,51
127	549,19	9156,52	0,1077	0,1614	17,06	15,06	13,5	11,5	17,87	15,87	15,95	13,95
128	546,65	3297,26	0,0388	0,0581	19,57	17,57	16,2	14,2	20,23	18,23	18,49	16,49
129	546,79	4921,14	0,0579	0,0867	19,43	17,43	16,1	14,1	20,06	18,06	18,36	16,36
130	563,00	3891,28	0,0457	0,0686	8,02	6,02	3,15	1,15	13,04	11,04	9,63	7,63
131	558,77	3052,30	0,0359	0,0538	12,18	10,18	7,31	5,31	16,90	14,90	13,35	11,35
132	558,57	1434,29	0,0169	0,0253	12,38	10,38	7,5	5,5	17,04	15,04	13,48	11,48
133	558,31	5235,86	0,0616	0,0923	11,99	9,99	6,89	4,89	16,52	14,52	12,68	10,68
134	558,46	1867,46	0,0220	0,0329	11,82	9,82	6,72	4,72	16,35	14,35	12,50	10,50
135	558,39	916,08	0,0108	0,0161	9,92	7,92	4,56	2,56	13,54	11,54	9,23	7,23
136	554,78	1633,36	0,0192	0,0288	13,53	11,53	8,17	6,17	17,15	15,15	12,84	10,85
137	549,40	7836,04	0,0921	0,1381	17,18	15,18	13,1	11,1	18,66	16,66	15,99	13,99
138	551,55	6267,79	0,0737	0,1105	14,97	12,97	10,96	8,96	16,36	14,36	13,78	11,78
139	547,59	9328,16	0,1097	0,1644	18,79	16,79	14,93	12,93	19,90	17,90	17,62	15,62
140	549,50	4483,46	0,0527	0,0790	16,89	14,89	13,03	11,03	18,01	16,01	15,74	13,74
141	548,85	6633,80	0,0780	0,1169	17,54	15,54	13,68	11,68	18,65	16,65	16,39	14,39
142	553,00	7653,20	0,0900	0,1349	13,34	11,34	12,31	10,31	13,47	11,47	12,89	10,89
143	552,00	14174,96	0,1667	0,2499	14,3	12,3	13,24	11,24	14,44	12,44	13,82	11,82
144	547,67	9287,95	0,1092	0,1637	18,59	16,59	17,48	15,48	18,73	16,73	18,06	16,06
145	546,00	13963,97	0,1642	0,2461	20,24	18,24	19,1	17,1	20,38	18,38	19,69	17,69
146	551,74	6089,58	0,0716	0,1073	16,49	14,49	11,05	9,05	20,11	18,11	15,72	13,72
147	550,00	2743,34	0,0323	0,0484	10,28	8,28	5,16	3,16	14,81	12,81	10,94	8,94
148	548,92	2859,46	0,0336	0,0504	17,3	15,3	13,97	11,97	17,93	15,93	16,23	14,23
149	549,00	2492,82	0,0293	0,0439	17,41	15,41	14,03	12,03	18,11	16,11	16,41	14,41
150	561,00	1743,31	0,0205	0,0307	10,27	8,27	5,71	3,71	14,16	12,16	10,68	8,68
151	554,56	3497,05	0,0411	0,0616	16,48	14,48	11,86	9,86	20,31	18,31	16,77	14,77
152	558,00	1870,53	0,0220	0,0330	13,06	11,06	8,46	6,46	16,89	14,89	13,37	11,37
153	551,00	1615,44	0,0190	0,0285	15,7	13,7	11,56	9,56	17,34	15,34	14,53	12,53
154	550,67	965,87	0,0114	0,0170	16,04	14,04	11,89	9,89	17,67	15,67	14,87	12,87
155	550,00	1462,03	0,0172	0,0258	16,7	14,7	12,56	10,56	18,34	16,34	15,53	13,53
156	565,00	968,79	0,0114	0,0171	14,82	12,82	12,96	10,96	17,97	15,97	17,74	15,74
157	564,11	4061,53	0,0478	0,0716	15,71	13,71	13,85	11,85	18,86	16,86	18,63	16,63
158	563,00	4227,86	0,0497	0,0745	16,82	14,82	14,96	12,96	19,96	17,96	19,73	17,73
159	560,54	3879,08	0,0456	0,0684	19,2	17,2	17,32	15,32	22,29	20,29	22,02	20,02
160	560,81	4133,86	0,0486	0,0729	18,85	16,85	16,96	14,96	21,95	19,95	21,61	19,61

Fonte: Autoria própria, 2018

\*C.T.: cota topográfica; A.I.: área de influência; C.B.A.: consumo-base atual; C.B.F.: consumo-base futuro; S.: simulação.

Nó	C. T. (m)	A. I. (m²)	C. B. A. (l/s)	C. B. F. (l/s)	Pressão (m.c.a.)							
					S. 1	S. 2	S. 3	S. 4	S. 5	S. 6	S. 7	S. 8
161	564,00	9185,62	0,1080	0,1619	14,08	12,08	11,73	9,73	17,56	15,56	15,85	13,85
162	565,00	5667,98	0,0666	0,0999	12,05	10,05	9,35	7,35	14,24	12,24	12,21	10,21
163	565,00	6053,48	0,0712	0,1067	9,15	7,15	5,39	3,39	13,00	11,00	10,35	8,35
164	564,49	3968,29	0,0467	0,0699	9,33	7,33	5,46	3,46	13,38	11,38	10,61	8,61
165	564,00	3621,63	0,0426	0,0638	9,56	7,56	5,6	3,6	13,67	11,67	10,81	8,81
166	563,60	3477,09	0,0409	0,0613	9,04	7,04	4,79	2,79	13,23	11,23	10,10	8,10
167	563,61	3543,29	0,0417	0,0625	8,67	6,67	4,3	2,3	12,89	10,89	9,65	7,65
168	562,00	3515,45	0,0413	0,0620	10,19	8,19	5,81	3,81	14,35	12,35	11,08	9,08
169	561,73	7134,86	0,0839	0,1258	10,38	8,38	5,99	3,99	14,50	12,50	11,22	9,22
170	560,57	10016,99	0,1178	0,1766	10,94	8,94	6,42	4,42	14,89	12,89	11,47	9,47
171	561,00	5595,52	0,0658	0,0986	10,27	8,27	5,71	3,71	14,16	12,16	10,68	8,68
172	558,00	3253,34	0,0382	0,0573	13,06	11,06	8,47	6,47	16,89	14,89	13,38	11,38
173	551,34	1251,36	0,0147	0,0221	15,38	13,38	11,24	9,24	17,01	15,01	14,22	12,22
174	547,73	6035,99	0,0710	0,1064	18,95	16,95	14,87	12,87	20,51	18,51	17,81	15,81
175	547,51	6648,65	0,0782	0,1172	19,16	17,16	15,09	13,09	20,69	18,69	18,02	16,02
176	550,00	7153,64	0,0841	0,1261	16,54	14,54	12,6	10,6	17,80	15,80	15,43	13,43
177	550,00	3587,33	0,0422	0,0632	16,51	14,51	12,6	10,6	17,73	15,73	15,42	13,42
178	550,63	6069,15	0,0714	0,1070	15,82	13,82	11,97	9,97	16,92	14,92	14,75	12,75
179	550,34	4580,70	0,0539	0,0807	16,1	14,1	12,32	10,32	17,10	15,10	15,04	13,04
180	550,43	7068,63	0,0831	0,1246	16,01	14,01	12,25	10,25	16,97	14,97	14,95	12,95
181	550,31	8596,32	0,1011	0,1515	16,11	14,11	12,56	10,56	16,90	14,90	15,09	13,09
182	550,00	5055,64	0,0594	0,0891	16,42	14,42	13,06	11,06	17,13	15,13	15,44	13,44
183	550,81	7648,00	0,0899	0,1348	15,61	13,61	13,94	11,94	15,89	13,89	15,07	13,07
184	557,32	3680,17	0,0433	0,0649	13,65	11,65	9,04	7,04	17,45	15,45	13,92	11,92
185	555,57	6107,99	0,0718	0,1077	15,32	13,32	10,63	8,63	19,12	17,12	15,51	13,51
186	555,00	7238,52	0,0851	0,1276	11,67	9,67	7,54	5,54	13,26	11,26	10,49	8,49
187	552,57	6683,20	0,0786	0,1178	14,16	12,16	10,01	8,01	15,81	13,81	13,00	11,00
188	556,47	4088,80	0,0481	0,0721	12,43	10,43	7,71	5,71	15,53	13,53	11,88	9,88
189	557,40	4783,93	0,0562	0,0843	10,91	8,91	6,18	4,18	13,81	11,81	10,14	8,14
190	546,00	3834,43	0,0451	0,0676	20,41	18,41	16,89	14,89	21,14	19,14	19,39	17,39
191	548,37	4568,50	0,0537	0,0805	18,04	16,04	14,52	12,52	18,77	16,77	17,02	15,02
192	545,00	3897,34	0,0458	0,0687	21,41	19,41	17,87	15,87	22,15	20,15	20,39	18,39
193	548,00	2936,45	0,0345	0,0518	18,41	16,41	14,87	12,87	19,15	17,15	17,38	15,38
194	569,50	4153,25	0,0488	0,0732	10,36	8,36	8,51	6,51	13,62	11,62	13,32	11,32
195	571,00	3859,75	0,0454	0,0680	8,86	6,86	7,01	5,01	12,12	10,12	11,82	9,82
196	570,80	3884,34	0,0457	0,0685	9,06	7,06	7,22	5,22	12,33	10,33	12,03	10,03
197	566,50	3606,94	0,0424	0,0636	13,45	11,45	11,65	9,65	16,67	14,67	16,39	14,39
198	565,70	1616,70	0,0190	0,0285	14,3	12,3	12,53	10,53	17,48	15,48	17,22	15,22
199	564,00	6191,49	0,0728	0,1091	16,29	14,29	14,65	12,65	19,26	17,26	19,09	17,09
200	566,50	10431,91	0,1226	0,1839	13,89	11,89	11,98	9,98	15,51	13,51	12,82	10,82

Fonte: Autoria própria, 2018

\*C.T.: cota topográfica; A.I.: área de influência; C.B.A.: consumo-base atual; C.B.F.: consumo-base futuro; S.: simulação.

Nó	C. T. (m)	A. I. (m²)	C. B. A. (l/s)	C. B. F. (l/s)	Pressão (m.c.a.)							
					S. 1	S. 2	S. 3	S. 4	S. 5	S. 6	S. 7	S. 8
201	564,63	5372,26	0,0632	0,0947	9,66	7,66	5,95	3,95	14,05	12,05	11,34	9,34
202	564,13	5327,21	0,0626	0,0939	9,72	7,72	5,86	3,86	14,02	12,02	11,19	9,19
203	562,56	5359,18	0,0630	0,0945	9,79	7,79	5,47	3,47	13,92	11,92	10,70	8,70
204	562,33	5433,49	0,0639	0,0958	9,84	7,84	5,47	3,47	13,95	11,95	10,68	8,68
205	560,34	10895,98	0,1281	0,1921	11,15	9,15	6,63	4,63	15,08	13,08	11,66	9,66
206	558,00	10392,91	0,1222	0,1832	12,48	10,48	7,85	5,85	16,11	14,11	12,56	10,56
207	557,50	5167,93	0,0608	0,0911	11,4	9,4	6,68	4,68	14,50	12,50	10,85	8,85
208	556,62	4256,66	0,0500	0,0750	11,69	9,69	6,96	4,96	14,59	12,59	10,93	8,93
209	553,29	9271,58	0,1090	0,1634	13,93	11,93	9,39	7,39	16,23	14,23	12,81	10,81
210	549,49	5479,98	0,0644	0,0966	17,26	15,26	13,12	11,12	18,89	16,89	16,12	14,12
211	549,28	5469,68	0,0643	0,0964	17,42	15,42	13,33	11,33	18,98	16,98	16,28	14,28
212	546,89	5524,73	0,0650	0,0974	19,65	17,65	15,72	13,72	20,91	18,91	18,55	16,55
213	546,66	5511,35	0,0648	0,0971	19,86	17,86	15,95	13,95	21,08	19,08	18,76	16,76
214	545,00	5472,99	0,0643	0,0965	21,44	19,44	17,66	15,66	22,44	20,44	20,38	18,38
215	544,38	3001,61	0,0353	0,0529	22,06	20,06	18,29	16,29	23,02	21,02	21,00	19,00
216	542,88	4671,12	0,0549	0,0823	23,54	21,54	19,82	17,82	24,42	22,42	22,50	20,50
217	544,00	4427,49	0,0521	0,0780	22,42	20,42	18,78	16,78	23,23	21,23	21,38	19,38
218	544,00	2289,32	0,0269	0,0404	22,42	20,42	18,8	16,8	23,21	21,21	21,38	19,38
219	543,22	2387,92	0,0281	0,0421	23,19	21,19	19,64	17,64	23,93	21,93	22,16	20,16
220	543,18	1749,97	0,0206	0,0308	23,23	21,23	19,68	17,68	23,97	21,97	22,20	20,20
221	564,52	1175,07	0,0138	0,0207	16,27	14,27	14,86	12,86	17,95	15,95	17,67	15,67
222	563,50	929,02	0,0109	0,0164	17,5	15,5	16,21	14,21	18,90	16,90	18,51	16,51
223	563,50	4291,22	0,0505	0,0756	17,88	15,88	16,84	14,84	18,88	16,88	18,42	16,42
224	564,74	4572,65	0,0538	0,0806	9,88	7,88	6,22	4,22	14,20	12,20	11,66	9,66
225	563,73	5745,15	0,0675	0,1013	10,54	8,54	6,81	4,81	14,94	12,94	12,24	10,24
226	561,35	5380,48	0,0633	0,0948	10,12	8,12	5,44	3,44	15,55	13,55	12,33	10,33
227	560,74	6093,76	0,0716	0,1074	10,07	8,07	5,22	3,22	15,18	13,18	11,69	9,69
228	557,73	5968,02	0,0702	0,1052	11,73	9,73	6,69	4,69	16,03	14,03	12,18	10,18
229	556,68	3481,34	0,0409	0,0614	10,93	8,93	6,14	4,14	13,62	11,62	9,91	7,91
230	554,60	4876,52	0,0573	0,0860	12,7	10,7	8,07	6,07	15,18	13,18	11,55	9,55
231	549,00	4180,13	0,0491	0,0737	18,21	16,21	13,26	11,26	20,78	18,78	16,89	14,89
232	548,69	5997,66	0,0705	0,1057	18,52	16,52	13,57	11,57	21,08	19,08	17,19	15,19
233	541,68	5988,02	0,0704	0,1055	25,53	23,53	20,57	18,57	28,09	26,09	24,20	22,20
234	541,52	3928,07	0,0462	0,0692	24,83	22,83	21,03	19,03	25,71	23,71	23,71	21,71
235	541,76	2744,96	0,0323	0,0484	24,55	22,55	20,71	18,71	25,43	23,43	23,39	21,39
236	558,00	6116,53	0,0719	0,1078	11,16	9,16	6,08	4,08	15,27	13,27	11,35	9,35
237	557,00	3854,02	0,0453	0,0679	10,86	8,86	5,97	3,97	13,86	11,86	10,02	8,02
238	557,00	3613,72	0,0425	0,0637	10,65	8,65	5,81	3,81	13,48	11,48	9,66	7,66
239	540,33	2455,39	0,0289	0,0433	25,98	23,98	22,13	20,13	26,86	24,86	24,81	22,81
240	563,00	4389,29	0,0516	0,0774	17,85	15,85	16,41	14,41	19,32	17,32	18,83	16,83

Fonte: Autoria própria, 2018

\*C.T.: cota topográfica; A.I.: área de influência; C.B.A.: consumo-base atual; C.B.F.: consumo-base futuro; S.: simulação.

Nó	C. T. (m)	A. I. (m <sup>2</sup> )	C. B. A. (l/s)	C. B. F. (l/s)	Pressão (m.c.a.)							
					S. 1	S. 2	S. 3	S. 4	S. 5	S. 6	S. 7	S. 8
241	564,34	3466,01	0,0408	0,0611	16,45	14,45	14,95	12,95	17,92	15,92	17,37	15,37
242	563,64	4963,78	0,0584	0,0875	9,59	7,59	5,23	3,23	14,86	12,86	12,07	10,07
243	557,11	4970,33	0,0584	0,0876	14,9	12,9	10,3	8,3	20,28	18,28	17,18	15,18
244	556,80	4926,57	0,0579	0,0868	12,76	10,76	7,5	5,5	17,33	15,33	13,23	11,23
245	556,64	4188,30	0,0492	0,0738	12,59	10,59	7,48	5,48	16,78	14,78	12,83	10,83
246	556,80	2757,81	0,0324	0,0486	10,52	8,52	5,49	3,49	13,20	11,20	9,24	7,24
247	548,54	4994,83	0,0587	0,0880	18,66	16,66	13,61	11,61	21,25	19,25	17,30	15,30
248	547,53	5002,75	0,0588	0,0882	19,68	17,68	14,72	12,72	22,24	20,24	18,34	16,34
249	536,91	4972,11	0,0585	0,0876	30,13	28,13	24,98	22,98	32,69	30,69	28,61	26,61
250	536,78	2626,31	0,0309	0,0463	29,54	27,54	25,7	23,7	30,42	28,42	28,38	26,38
251	537,53	3121,12	0,0367	0,0550	28,78	26,78	24,93	22,93	29,66	27,66	27,61	25,61
252	563,00	5248,45	0,0617	0,0925	17,83	15,83	16,37	14,37	19,31	17,31	18,81	16,81
253	564,19	4049,75	0,0476	0,0714	15,98	13,98	13,79	11,79	17,46	15,46	16,23	14,23
254	563,33	3799,54	0,0447	0,0670	9,87	7,87	5,47	3,47	15,14	13,14	12,31	10,31
255	558,00	5798,93	0,0682	0,1022	15,19	13,19	10,77	8,77	20,45	18,45	17,61	15,61
256	556,49	6764,19	0,0795	0,1192	12,98	10,98	7,64	5,64	17,54	15,54	13,36	11,36
257	555,79	3427,41	0,0403	0,0604	13,49	11,49	8,01	6,01	18,02	16,02	13,67	11,67
258	556,44	5007,25	0,0589	0,0883	10,82	8,82	5,75	3,75	13,48	11,48	9,49	7,49
259	548,00	6518,72	0,0766	0,1149	19,19	17,19	14,11	12,11	21,78	19,78	17,81	15,81
260	537,00	6246,63	0,0734	0,1101	30,16	28,16	25,05	23,05	32,76	30,76	28,74	26,74
261	554,63	3201,93	0,0376	0,0564	14,62	12,62	9,11	7,11	19,14	17,14	14,76	12,76
262	556,00	3508,31	0,0412	0,0618	13,21	11,21	7,66	5,66	17,73	15,73	13,32	11,32
263	554,26	3543,66	0,0417	0,0625	14,98	12,98	9,47	7,47	19,50	17,50	15,11	13,11
264	554,39	2253,54	0,0265	0,0397	13,47	11,47	8,58	6,58	16,50	14,50	12,64	10,64
265	546,00	2555,71	0,0300	0,0450	21,08	19,08	15,85	13,85	23,69	21,69	19,56	17,56
266	537,00	5301,80	0,0623	0,0935	30,06	28,06	24,81	22,81	32,67	30,67	28,52	26,52
267	547,00	4306,26	0,0506	0,0759	20,09	18,09	14,88	12,88	22,70	20,70	18,59	16,59
268	545,51	2371,78	0,0279	0,0418	21,57	19,57	16,35	14,35	24,18	22,18	20,05	18,05
269	536,13	4781,05	0,0562	0,0843	30,93	28,93	25,69	23,69	33,55	31,55	29,40	27,40
270	556,56	6833,64	0,0803	0,1205	12,7	10,7	7,18	5,18	17,23	15,23	12,85	10,85
271	553,19	3513,93	0,0413	0,0619	16,04	14,04	10,52	8,52	20,56	18,56	16,17	14,17
272	551,78	4965,75	0,0584	0,0875	15,3	13,3	10,05	8,05	17,92	15,92	13,77	11,77
273	546,00	2253,69	0,0265	0,0397	21,06	19,06	15,81	13,81	23,68	21,68	19,52	17,52
274	561,00	5366,42	0,0631	0,0946	18,8	16,8	16,19	14,19	20,28	18,28	18,63	16,63
275	559,71	3359,63	0,0395	0,0592	20,2	18,2	17,72	15,72	21,68	19,68	20,15	18,15
276	559,18	3552,72	0,0418	0,0626	13,83	11,83	9,21	7,21	19,09	17,09	16,05	14,05
277	555,83	5613,11	0,0660	0,0989	17,17	15,17	12,55	10,55	22,44	20,44	19,39	17,39
278	555,70	4988,51	0,0587	0,0879	13,54	11,54	8,01	6,01	18,06	16,06	13,67	11,67
279	552,64	5268,84	0,0619	0,0929	16,58	14,58	11,05	9,05	21,11	19,11	16,71	14,71
280	551,50	5164,18	0,0607	0,0910	15,56	13,56	10,29	8,29	18,18	16,18	14,01	12,01

Fonte: Autoria própria, 2018

\*C.T.: cota topográfica; A.I.: área de influência; C.B.A.: consumo-base atual; C.B.F.: consumo-base futuro; S.: simulação.



Nó	C. T. (m)	A. I. (m²)	C. B. A. (l/s)	C. B. F. (l/s)	Pressão (m.c.a.)							
					S. 1	S. 2	S. 3	S. 4	S. 5	S. 6	S. 7	S. 8
281	545,52	5341,78	0,0628	0,0942	21,52	19,52	16,24	14,24	24,14	22,14	19,96	17,96
282	544,55	2992,55	0,0352	0,0527	22,48	20,48	17,19	15,19	25,10	23,10	20,90	18,90
283	534,22	4385,42	0,0516	0,0773	32,8	30,8	27,49	25,49	35,42	33,42	31,20	29,20
284	557,42	1743,54	0,0205	0,0307	23,3	21,3	21,76	19,76	24,85	22,85	24,32	22,32
285	557,54	1526,23	0,0179	0,0269	23,18	21,18	21,65	19,65	24,73	22,73	24,20	22,20
286	560,00	2766,05	0,0325	0,0488	20,74	18,74	19,22	17,22	22,27	20,27	21,75	19,75
287	560,00	1702,09	0,0200	0,0300	20,73	18,73	19,19	17,19	22,27	20,27	21,74	19,74
288	560,00	1781,71	0,0209	0,0314	20,73	18,73	19,19	17,19	22,27	20,27	21,74	19,74
289	559,14	5465,52	0,0643	0,0963	21,58	19,58	20,05	18,05	23,13	21,13	22,59	20,59
290	558,93	4753,50	0,0559	0,0838	14,06	12,06	9,43	7,43	19,33	17,33	16,26	14,26
291	555,00	4752,15	0,0559	0,0838	17,96	15,96	13,29	11,29	23,23	21,23	20,13	18,13
292	550,73	2502,23	0,0294	0,0441	17,01	15,01	11,97	9,97	20,03	18,03	16,03	14,03
293	550,53	3574,12	0,0420	0,0630	17,23	15,23	12,21	10,21	20,25	18,25	16,27	14,27
294	544,21	2654,72	0,0312	0,0468	22,82	20,82	17,53	15,53	25,44	23,44	21,24	19,24
295	533,66	4076,08	0,0479	0,0718	33,36	31,36	28,06	26,06	35,98	33,98	31,77	29,77
296	542,00	2657,75	0,0312	0,0468	24,96	22,96	19,6	17,6	27,58	25,58	23,31	21,31
297	530,77	3731,17	0,0439	0,0658	36,18	34,18	30,81	28,81	38,80	36,80	34,52	32,52
298	541,49	3778,50	0,0444	0,0666	25,47	23,47	20,11	18,11	28,10	26,10	23,82	21,82
299	530,00	3406,91	0,0401	0,0601	36,96	34,96	31,58	29,58	39,58	37,58	35,29	33,29
300	528,00	15497,34	0,1822	0,2732	38,78	36,78	33,2	31,2	41,40	39,40	36,91	34,91
301	552,52	5538,47	0,0651	0,0976	28,2	26,2	26,66	24,66	29,75	27,75	29,22	27,22
302	552,32	2469,88	0,0290	0,0435	28,2	26,2	26,67	24,67	29,75	27,75	29,22	27,22
303	552,45	2489,68	0,0293	0,0439	28,28	26,28	26,74	24,74	29,82	27,82	29,30	27,30
304	552,79	3136,53	0,0369	0,0553	27,94	25,94	26,4	24,4	29,48	27,48	28,95	26,95
305	554,12	3192,76	0,0375	0,0563	26,61	24,61	25,07	23,07	28,15	26,15	27,62	25,62
306	554,30	2508,68	0,0295	0,0442	26,43	24,43	24,89	22,89	27,97	25,97	27,44	25,44
307	555,36	4774,94	0,0561	0,0842	17,56	15,56	12,84	10,84	22,82	20,82	19,68	17,68
308	550,32	4990,29	0,0587	0,0880	18,85	16,85	13,27	11,27	23,38	21,38	18,93	16,93
309	550,00	6664,23	0,0784	0,1175	19,17	17,17	13,59	11,59	23,70	21,70	19,25	17,25
310	553,50	7445,14	0,0875	0,1312	13,5	11,5	8,17	6,17	16,12	14,12	11,88	9,88
311	541,29	4834,71	0,0568	0,0852	25,67	23,67	20,29	18,29	28,29	26,29	24,01	22,01
312	554,77	2585,55	0,0304	0,0456	18,14	16,14	13,42	11,42	23,41	21,41	20,25	18,25
313	549,66	5419,15	0,0637	0,0955	19,5	17,5	13,9	11,9	24,03	22,03	19,56	17,56
314	550,00	5736,70	0,0674	0,1011	19,16	17,16	13,56	11,56	23,69	21,69	19,22	17,22
315	540,67	14155,39	0,1664	0,2495	26,26	24,26	20,85	18,85	28,88	26,88	24,57	22,57
316	552,47	3991,77	0,0469	0,0704	20,24	18,24	15,29	13,29	25,51	23,51	22,13	20,13
317	549,00	2435,01	0,0286	0,0429	23,71	21,71	18,76	16,76	28,97	26,97	25,60	23,60
318	550,64	5033,88	0,0592	0,0887	18,51	16,51	12,89	10,89	23,03	21,03	18,55	16,55
319	553,50	12625,40	0,1484	0,2225	13,28	11,28	7,7	5,7	15,90	13,90	11,41	9,41
320	550,54	1095,20	0,0129	0,0193	30,18	28,18	28,65	26,65	31,73	29,73	31,19	29,19

Fonte: Autoria própria, 2018

\*C.T.: cota topográfica; A.I.: área de influência; C.B.A.: consumo-base atual; C.B.F.: consumo-base futuro; S.: simulação.

Nó	C. T. (m)	A. I. (m²)	C. B. A. (l/s)	C. B. F. (l/s)	Pressão (m.c.a.)							
					S. 1	S. 2	S. 3	S. 4	S. 5	S. 6	S. 7	S. 8
321	551,30	1980,79	0,0233	0,0349	29,42	27,42	27,89	25,89	30,97	28,97	30,43	28,43
322	547,00	6260,06	0,0736	0,1103	22,14	20,14	16,51	14,51	26,66	24,66	22,17	20,17
323	548,60	4618,15	0,0543	0,0814	20,53	18,53	14,9	12,9	25,06	23,06	20,56	18,56
324	546,72	3003,69	0,0353	0,0529	34	32	32,46	30,46	35,55	33,55	35,01	33,01
325	546,47	2357,40	0,0277	0,0416	34,25	32,25	32,71	30,71	35,80	33,80	35,27	33,27
326	545,18	2356,66	0,0277	0,0415	35,54	33,54	34,01	32,01	37,09	35,09	36,56	34,56
327	544,75	3031,93	0,0356	0,0534	35,97	33,97	34,44	32,44	37,52	35,52	36,99	34,99
328	546,15	1952,47	0,0230	0,0344	34,57	32,57	33,04	31,04	36,12	34,12	35,58	33,58
329	547,53	2040,80	0,0240	0,0360	33,19	31,19	31,66	29,66	34,74	32,74	34,20	32,20
330	551,25	3121,77	0,0367	0,0550	29,47	27,47	27,94	25,94	31,01	29,01	30,48	28,48
331	553,00	1922,47	0,0226	0,0339	19,72	17,72	14,78	12,78	24,98	22,98	21,61	19,61
332	551,74	2112,27	0,0248	0,0372	20,97	18,97	16,03	14,03	26,24	24,24	22,86	20,86
333	547,00	2073,89	0,0244	0,0366	25,71	23,71	20,76	18,76	30,98	28,98	27,60	25,60
334	546,35	6213,64	0,0731	0,1095	22,78	20,78	17,15	15,15	27,31	25,31	22,81	20,81
335	548,00	12166,39	0,1430	0,2144	21,13	19,13	15,49	13,49	25,66	23,66	21,16	19,16
336	541,51	1189,16	0,0140	0,0210	31,2	29,2	26,26	24,26	36,47	34,47	33,09	31,09
337	541,64	2089,58	0,0246	0,0368	31,07	29,07	26,11	24,11	36,33	34,33	32,95	30,95
338	546,71	2487,74	0,0292	0,0438	26	24	21,04	19,04	31,26	29,26	27,88	25,88
339	543,00	1937,98	0,0228	0,0342	37,72	35,72	36,18	34,18	39,27	37,27	38,73	36,73
340	542,74	1533,05	0,0180	0,0270	37,98	35,98	36,44	34,44	39,53	37,53	38,99	36,99
341	542,16	1536,43	0,0181	0,0271	38,56	36,56	37,03	35,03	40,11	38,11	39,58	37,58
342	542,12	1973,88	0,0232	0,0348	38,6	36,6	37,07	35,07	40,15	38,15	39,62	37,62
343	542,26	1978,15	0,0233	0,0349	38,46	36,46	36,93	34,93	40,01	38,01	39,47	37,47
344	542,31	2060,47	0,0242	0,0363	38,41	36,41	36,88	34,88	39,96	37,96	39,42	37,42
345	542,35	2170,90	0,0255	0,0383	38,37	36,37	36,83	34,83	39,91	37,91	39,38	37,38
346	542,55	1788,95	0,0210	0,0315	30,16	28,16	25,22	23,22	35,43	33,43	32,05	30,05
347	546,15	3226,18	0,0379	0,0569	26,56	24,56	21,6	19,6	31,82	29,82	28,44	26,44
348	546,00	2086,77	0,0245	0,0368	26,71	24,71	21,75	19,75	31,97	29,97	28,58	26,58
349	545,00	7183,40	0,0845	0,1266	27,86	25,86	23,09	21,09	33,13	31,13	29,92	27,92
350	543,83	3847,55	0,0452	0,0678	29,05	27,05	24,3	22,3	34,32	32,32	31,13	29,13
351	543,79	7502,83	0,0882	0,1322	25,34	23,34	19,7	17,7	29,86	27,86	25,36	23,36
352	546,66	14550,28	0,1711	0,2565	22,46	20,46	16,82	14,82	26,99	24,99	22,48	20,48
353	536,00	30626,25	0,3601	0,5398	30,86	28,86	25,39	23,39	33,49	31,49	29,10	27,10
354	539,00	33955,14	0,0035	0,0035	30,12	28,12	24,48	22,48	34,65	32,65	30,14	28,14
355	539,47	29867,26	0,0035	0,0035	29,65	27,65	24,01	22,01	34,18	32,18	29,67	27,67
356	539,00	26642,60	0,0035	0,0035	30,12	28,12	24,48	22,48	34,65	32,65	30,14	28,14
357	532,60	35384,63	0,0035	0,0035	36,51	34,51	30,88	28,88	41,04	39,04	36,54	34,54
358	524,36	58566,32	0,0035	0,0035	44,76	42,76	39,12	37,12	49,29	47,29	44,78	42,78
359	545,83	31837,94	0,0035	0,0035	23,29	21,29	17,65	15,65	27,82	25,82	23,31	21,31
360	545,77	12925,88	0,0035	0,0035	23,35	21,35	17,71	15,71	27,88	25,88	23,37	21,37

Fonte: Autoria própria, 2018

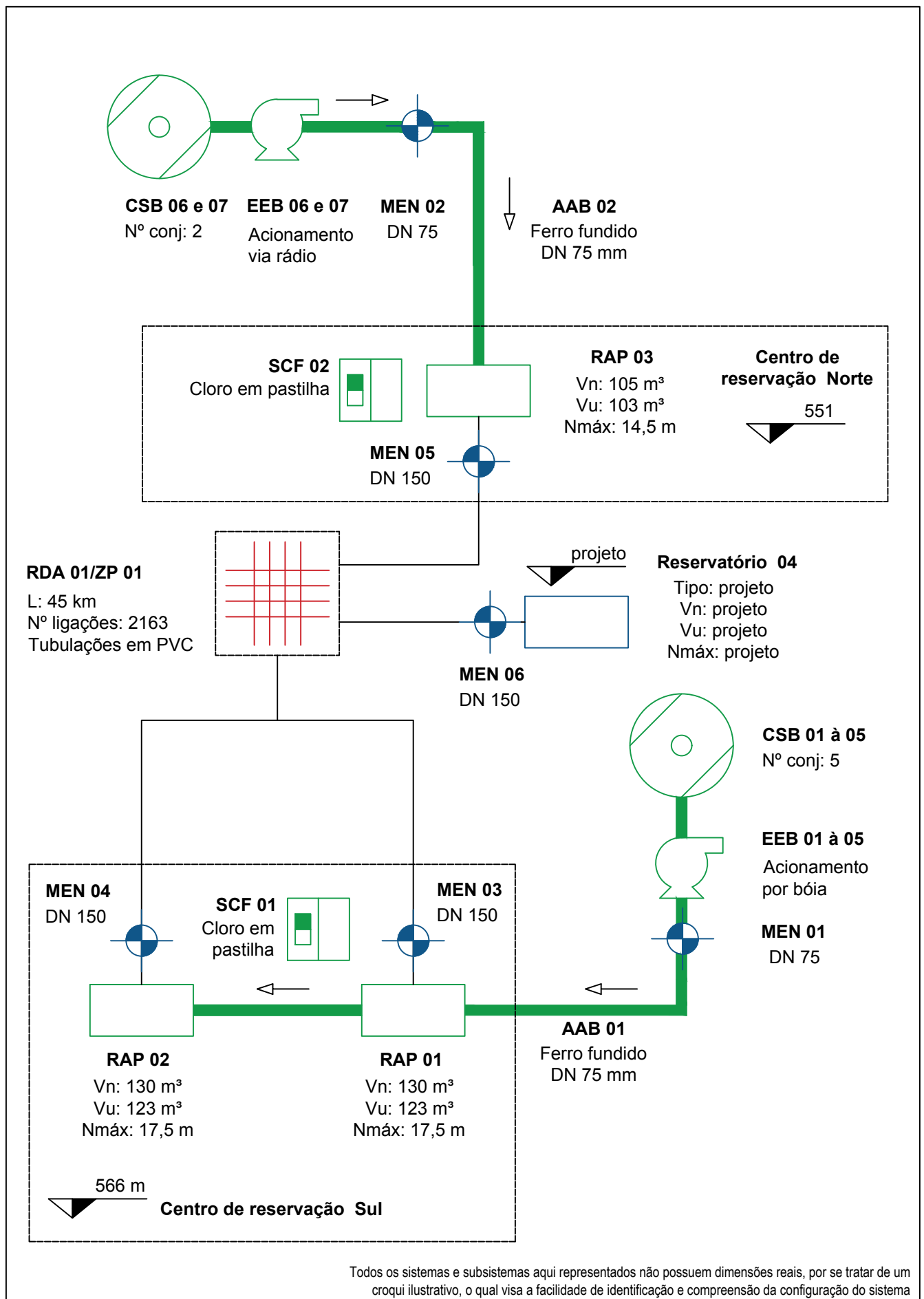
\*C.T.: cota topográfica; A.I.: área de influência; C.B.A.: consumo-base atual; C.B.F.: consumo-base futuro; S.: simulação.

Nó	C. T. (m)	A. I. (m <sup>2</sup> )	C. B. A. (l/s)	C. B. F. (l/s)	Pressão (m.c.a.)							
					S. 1	S. 2	S. 3	S. 4	S. 5	S. 6	S. 7	S. 8
361	539,26	12239,91	0,0035	0,0035	29,86	27,86	24,22	22,22	34,38	32,38	29,88	27,88
362	539,90	19687,11	0,0035	0,0035	29,22	27,22	23,58	21,58	33,74	31,74	29,24	27,24
363	527,00	68364,22	0,0035	0,0035	42,12	40,12	36,48	34,48	46,65	44,65	42,14	40,14
364	548,00	26185,98	0,0035	0,0035	21,12	19,12	15,48	13,48	25,65	23,65	21,14	19,14
365	542,81	50724,31	0,0035	0,0035	26,31	24,31	20,67	18,67	30,84	28,84	26,33	24,33
366	549,37	7929,97	0,0932	0,1398	23,55	21,55	18,82	16,82	28,81	26,81	25,66	23,66
367	550,00	3579,00	0,0421	0,0631	22,9	20,9	18,15	16,15	28,16	26,16	24,99	22,99
368	558,60	5809,81	0,0683	0,1024	11,71	9,71	6,54	4,54	16,46	14,46	12,61	10,61
369	547,11	0,00	0,0000	0,0000	19,25	17,25	15,41	13,41	20,34	18,34	18,07	16,07
370	542,00	0,00	0,0000	0,0000	24,97	22,97	19,62	17,62	27,60	25,60	23,33	21,33
371	565,00	4641,21	0,0546	0,0818	14,85	12,85	13	11	18,11	16,11	17,81	15,81
372	545,00	0,00	0,0000	0,0000	21,17	19,17	19,02	17,02	21,46	19,46	20,31	18,31
373	566,00	0,00	0,0000	0,0000	17,53	15,53	17,11	15,11	17,22	15,22	16,96	14,96
374	566,00	0,00	0,0000	0,0000	18,36	16,36	18,3	16,3	18,32	16,32	18,25	16,25
375	565,00	0,00	0,0000	0,0000	18,35	16,35	18,28	16,28	18,31	16,31	18,21	16,21
376	565,00	0,00	0,0000	0,0000	15,43	13,43	14,75	12,75	15,50	13,50	15,16	13,16
377	565,00	0,00	0,0000	0,0000	15,48	13,48	15,33	13,33	15,50	13,50	15,42	13,42
378	552,00	0,00	0,0000	0,0000	11,68	9,68	6,95	4,95	14,34	12,34	10,69	8,69
379	551,00	0,00	0,0000	0,0000	17,5	15,5	17,5	15,5	17,50	15,50	17,50	15,50
380	551,00	0,00	0,0000	0,0000	17,5	15,5	17,5	15,5	17,50	15,50	17,50	15,50
381	556,00	1605,32	0,0189	0,0283	14,5	12,5	14,5	12,5	14,50	12,50	14,50	12,50

**Fonte: Autoria própria, 2018**

\*C.T.: cota topográfica; A.I.: área de influência; C.B.A.: consumo-base atual; C.B.F.: consumo-base futuro; S.: simulação.

**APÊNDICE H**  
**CROQUI HIDRÁULICO BÁSICO DO**  
**SISTEMA DE ABASTECIMENTO DA SAATU**  
**SETOR TUPÃSSI – SEDE PROPOSTO**



## Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Apêndice H - croqui básico do SAA Tupãssi-sede proposto

Unidade existente operando	Unidade a implantar
Unidade existente a readequar	Unidade existente a desativar

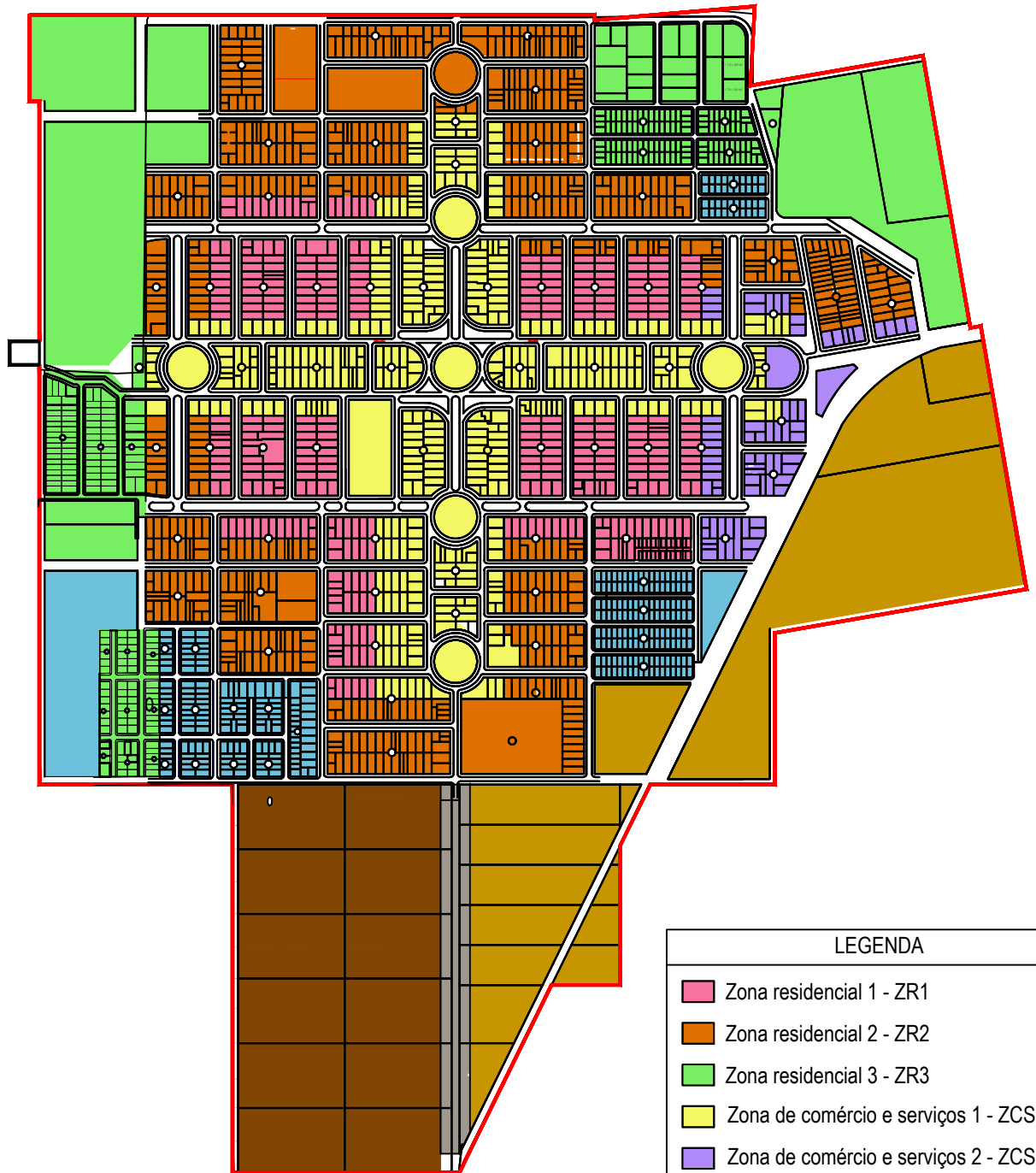
Nomenclaturas e critérios utilizados: Sanepar  
Escala: sem escala  
Aluno: Eduardo Cesar Amancio

PRANCHA:

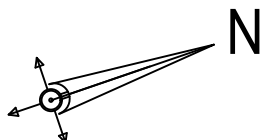
01 / 01

## **ANEXOS**

**ANEXO A**  
**ZONEAMENTO URBANO**  
**TUPÃSSI, JOTAESSE, PALMITOLÂNDIA E BRASILANA**



Escala 1:12000  
 0 120 240 360 Metros



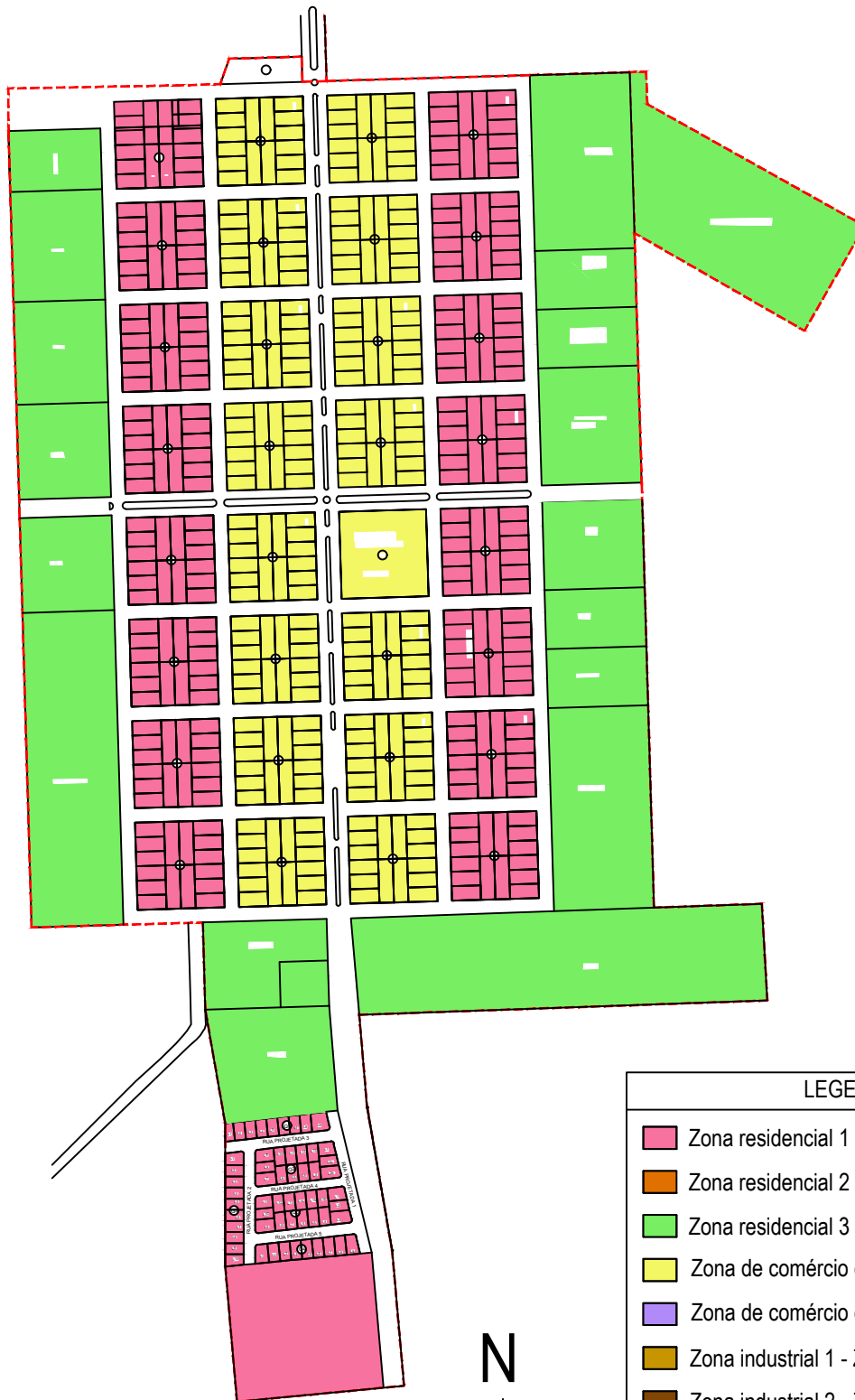
LEGENDA	
	Zona residencial 1 - ZR1
	Zona residencial 2 - ZR2
	Zona residencial 3 - ZR3
	Zona de comércio e serviços 1 - ZCS1
	Zona de comércio e serviços 2 - ZCS2
	Zona industrial 1 - ZI 1
	Zona industrial 2 - ZI 2
	Zona especial de interesse social - ZEIS
	Faixa de preservação
	Faixa de domínio da rodovia
	Perímetro urbano
	Área de interesse institucional

## Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR



Zoneamento urbano - Tupãssi		PRANCHA: <b>01</b> / <b>04</b>
Prefeitura Municipal de Tupãssi	Aluno: Eduardo Cesar Amancio	
Secretaria de Obras e Engenharia	Área urbana: 2.776.031,63 m <sup>2</sup> Escala: 1:12000	





Escala 1:7000  
 0 70 140 210 Metros



LEGENDA	
	Zona residencial 1 - ZR1
	Zona residencial 2 - ZR2
	Zona residencial 3 - ZR3
	Zona de comércio e serviços 1 - ZCS1
	Zona de comércio e serviços 2 - ZCS2
	Zona industrial 1 - ZI 1
	Zona industrial 2 - ZI 2
	Zona especial de interesse social - ZEIS
	Faixa de preservação
	Faixa de domínio da rodovia
	Perímetro urbano
	Área de interesse institucional

## Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Zoneamento urbano - distrito de Jotaesse



Prefeitura Municipal de Tupãssi

Secretaria de Obras e Engenharia

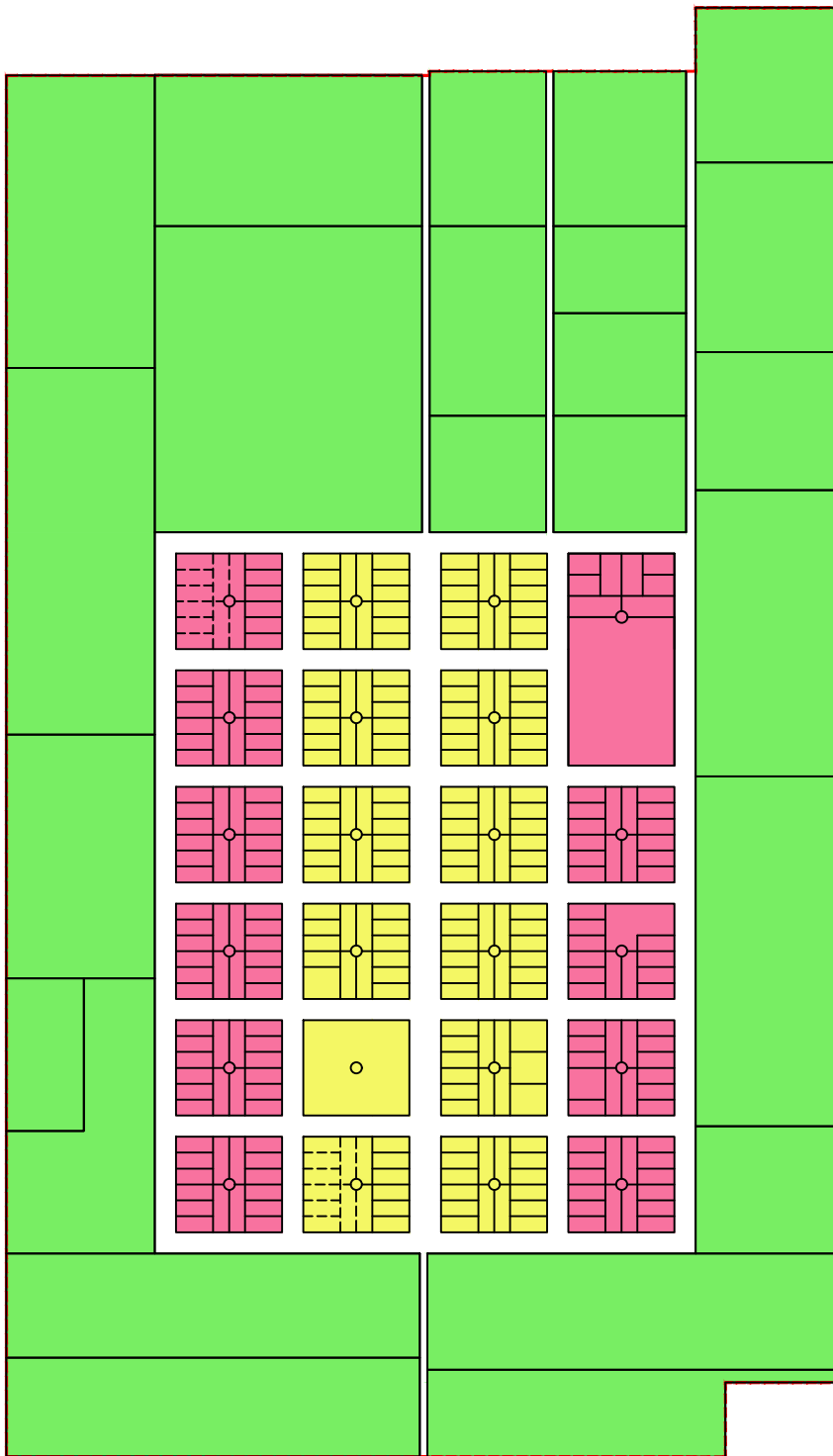
Aluno: Eduardo Cesar Amancio

Área urbana: 1.028.083,15 m<sup>2</sup>

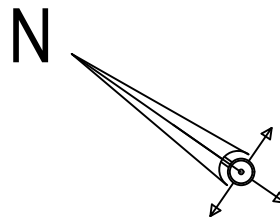
Escala: 1:7000

PRANCHA:

02 / 04



Escala 1:7000  
 0 70 140 210 Metros



LEGENDA	
	Zona residencial 1 - ZR1
	Zona residencial 2 - ZR2
	Zona residencial 3 - ZR3
	Zona de comércio e serviços 1 - ZCS1
	Zona de comércio e serviços 2 - ZCS2
	Zona industrial 1 - ZI 1
	Zona industrial 2 - ZI 2
	Zona especial de interesse social - ZEIS
	Faixa de preservação
	Faixa de domínio da rodovia
	Perímetro urbano
	Área de interesse institucional

## Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR



Zoneamento urbano - distrito de Palmitolândia

Prefeitura Municipal de Tupãssi

Secretaria de Obras e Engenharia

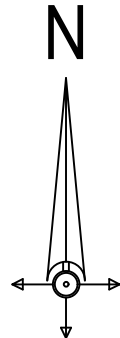
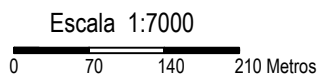
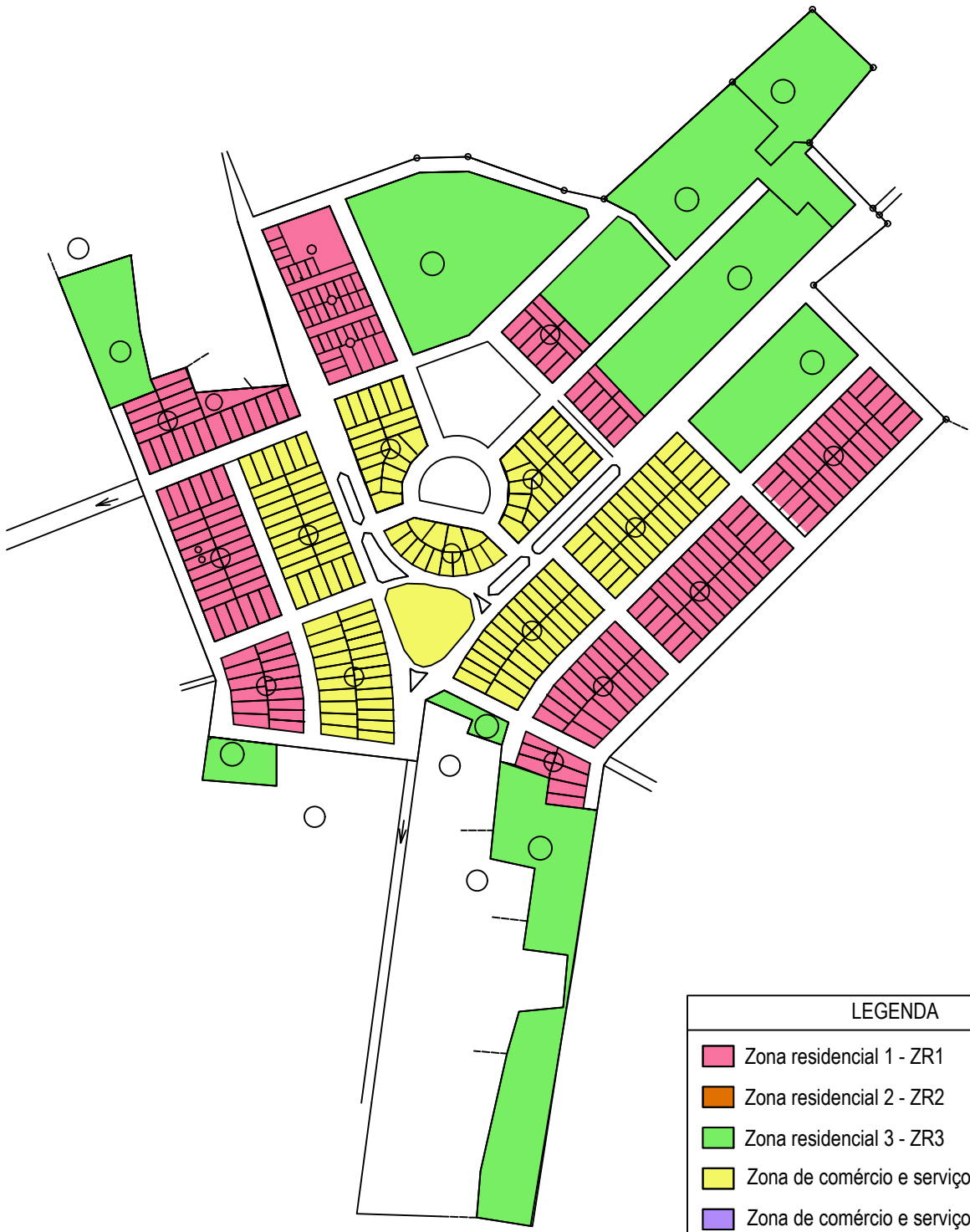
Aluno: Eduardo Cesar Amancio

Área urbana: 507.272,68 m<sup>2</sup>

Escala: 1:7000

PRANCHA:

03 / 04



LEGENDA	
	Zona residencial 1 - ZR1
	Zona residencial 2 - ZR2
	Zona residencial 3 - ZR3
	Zona de comércio e serviços 1 - ZCS1
	Zona de comércio e serviços 2 - ZCS2
	Zona industrial 1 - ZI 1
	Zona industrial 2 - ZI 2
	Zona especial de interesse social - ZEIS
	Faixa de preservação
	Faixa de domínio da rodovia
	Perímetro urbano
	Área de interesse institucional

## Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR



Zoneamento urbano - distrito de Brasiliana		PRANCHA: <span style="font-size: 2em;">04</span> / <span style="font-size: 2em;">04</span>
Prefeitura Municipal de Tupãssi	Aluno: Eduardo Cesar Amancio	
Secretaria de Obras e Engenharia	Área urbana: 507.272,68 m <sup>2</sup> Escala: 1:7000	