

UNIVERSIDADE DE RIBEIRÃO PRETO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E TECNOLOGIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL

MARIO CORBUCCI NETO

**APLICAÇÃO DA MODELAGEM MATEMÁTICA NA REDE DE
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA VISANDO COMBATER AS PERDAS
EXISTENTES NOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS
ESTUDO DE CASO: AMÉRICO BRASILIENSE (SP)**

Ribeirão Preto

2013

MARIO CORBUCCI NETO

**APLICAÇÃO DA MODELAGEM MATEMÁTICA NA REDE DE
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA VISANDO COMBATER AS PERDAS
EXISTENTES NOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS
ESTUDO DE CASO: AMÉRICO BRASILIENSE (SP)**

Dissertação apresentada à Universidade de
Ribeirão Preto (UNAERP), como requisito
para obtenção do título de Mestre em
Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Farias de Novaes

Ribeirão Preto

2013

-

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Processamento Técnico
da Biblioteca Central da UNAERP

- Universidade de Ribeirão Preto -

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de
Processamento Técnico da Biblioteca Central da
UNAERP

- Universidade de Ribeirão Preto -

Dissertação (mestrado) - universidade de ribeirão preto,
UNAERP, tecnologia ambiental. Ribeirão Preto, 2013.

1. Abastecimento de água. 2. Modelagem hidráulica. I
Título.

628

CDD

Mario Corbucci Neto

"Aplicação da Modelagem Matemática na Rede de Distribuição de Água

Visando Combater as Perdas Existentes nos Municípios Brasileiros".

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre pelo programa de Mestrado Profissionalizante em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Faria de Novaes

Área de concentração: Tecnologia Ambiental

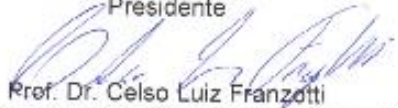
Data de defesa: 17 de dezembro de 2013

Resultado: APROVADO

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Luciano Faria de Novaes
Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP
Presidente



Prof. Dr. Celso Luiz Franzotti
Centro Universitário Adventista de São Paulo - UNASP



Prof. Dr. Cristina Filomena Pereira Rosa Paschoalato
Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP

Ribeirão Preto
2013

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, gostaria de agradecer à DEUS pelo dom da vida e pela sabedoria para que possa estar em busca de seus princípios.

Aos meus pais, que me incentivaram aos estudos, que acreditaram em mim para esse sonho possa concluído e ao contínuo processo de evolução na minha carreira profissional, e também à minha família que esteve sempre ao meu lado me apoiando.

Ao Professor Doutor Luciano Farias de Novaes em que considero e sempre vou considerar em toda minha carreira profissional e também como pessoa distinta em relação à dedicação, atenção, otimismo, paciência e orientação em que me direcionou para o nível de excelência na profissão.

À todos os Professores Doutores do curso de Mestrado Tecnologia Ambiental da UNAERP-Ribeirão Preto, em que foram de grande importância para a estruturação da base científica e técnica. Logicamente, aos Professores Doutores da banca examinadora pelas valiosas críticas e sugestões técnicas em que me auxiliaram para um futuro crescimento na área.

À Professora Doutora Cristina Paschoalato, ao Professor Doutor Luiz Di Bernardo e ao Professor Doutor Reinaldo Pisani Jr. e à todos os professores, em que me mostraram o nível de conhecimento em que devo atingir perante à engenharia e à vida.

Aos colegas do curso de Mestrado, em especial ao meu inesquecível amigo Eng. Aldo Arouca, que sempre estiveram ao meu lado em todos os momentos difíceis, pelas troca de experiências, em que carregarei todos os ensinamentos para a vida inteira.

Muito Obrigado!

EPIÍGRAFE

“Nas grandes batalhas da vida, o primeiro passo para a vitória é o desejo de vencer.”

Mahatma Gandhi

“As consequências de ausência de ação serão devastadoras tanto para o meio ambiente quanto para a Economia.”

Al Gore

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	01
2 OBJETIVOS.....	03
2.1 Objetivo Geral.....	03
2.2 Objetivos Específicos.....	03
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	04
3.1 Perdas de Água em Sistema de Abastecimento Público.....	04
3.2 Pesquisas,seminários,congressos,programas relacionados à perdas de água	10
3.3 Modelagem hidráulica em sistema de abastecimento	12
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	24
4.1. Elaboração do cadastro da rede de distribuição de água.....	24
4.2. Obtenção do perfil do consumo de água	25
4.3. Análise dos dados da micromedição visando obter os consumos micromedidos de água do município.....	25
4.4. Realizar a modelagem matemática através do software EPANET da rede de distribuição de água do município de Américo Brasiliense.....	25
4.5. Proposição ações de redução das perdas de água para o município.....	26
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
5.1. Elaboração do cadastro da rede de distribuição de água.....	27
5.1.1 Centro de Reservação e Distribuição 01 (CRD1).....	30
5.1.2 Centro de Reservação e Distribuição 02 (CRD2).....	37
5.1.3 Centro de Reservação e Distribuição 3 (CRD3).....	37
5.1.4 Centro de Reservação e Distribuição 4 (CRD4).....	39
5.1.5 Centro de Reservação e Distribuição 6 (CRD6).....	40
5.2 Obtenção do perfil de consumo de água através do monitoramento das vazões pelo processo de pitometria.....	41
5.3 Analise dos dados da micromedição visando obter os consumos micromedidos de água do município.....	45
5.4 Modelagem matemática através do software EPANET da rede de distribuição de água do município de Américo Brasiliense.....	48
5.4.1 Setor 01A.....	49
5.4.2 Setor 01B.....	50
5.4.3 Setor 02 A.....	52

5.4.4 Setor 02 B.....	53
5.4.5 Setor 03A	55
5.4.6 Setor 03B.....	55
5.4.7 Setor 03C.....	56
5.4.8. Setor 04	57
5.4.9 Setor 05A.....	58
5.4.10 Setor 05B.....	59
5.4.11 Setor 06A.....	60
5.4.12 Setor 06B.....	61
5.4.13 Aplicação do EPANET para simular o abastecimento de água dos setores.....	62
6 CONCLUSÕES.....	68
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
ANEXO 1 Dados da simulação hidráulica (digital)	
ANEXO 2 Cadastro das redes de distribuição de água (Mapas)	

LISTA DE FIGURAS

Figura 01- Localização dos poços (P) e centro de reservação (CR) existentes no sistema de abastecimento de água de Américo Brasiliense.....	29
Figura 02- Vista do Centro de Reservação 01 (CRD1).....	30
Figura 03- Vista do reservatório apoiado existente no CRD1.....	31
Figura 04- Vista do reservatório elevado existente no CRD1.....	31
Figura 05- Vista do reservatório apoiado existente no CRD1.....	31
Figura 06- Vista do reservatório apoiado existente no CRD1.....	31
Figura 07- Poço nº07 que abastece o CRD1.....	32
Figura 08- Poço nº04 que abastece o CRD1.....	32
Figura 09- Caixa de alvenaria existente para armazenar a água produzida no poço nº04.....	32
Figura 10- Conjuntos motor-bombas existentes no poço nº04 que recalcam água para o CRD1.....	32
Figura 11- Reservatório existente no EAB01.....	34
Figura 12- Conjunto motor-bomba existente no EAB01.....	34
Figura 13- Poço nº 01.....	35
Figura 15- Poço nº 08A.....	35
Figura 16- Sistema de recalque existente no CRD1 para abastecer o reservatório elevado.....	36
Figura 17- Conjuntos motor-bombas existentes no CRD1 para abastecer o reservatório elevado.....	36

Figura 18- Reservatórios existentes no CRD2.....	37
Figura 19- Poço nº03 que abastece o CRD2.....	37
Figura 20- Vista dos reservatórios existentes no CRD3.....	38
Figura 21- Vista do Poço nº10 que abastece o CRD3.....	38
Figura 22- Vista do Poço nº5 e do reservatório de 50m ³	39
Figura 23- Vista dos conjuntos motor-bombas existentes junto ao Poço nº5.....	39
Figura 24- Reservatórios existentes no CRD4.....	40
Figura 25- Poço nº06 que abastece o CRD4.....	40
Figura 26- Vista do Poço nº 09 que abastece o CRD6.....	41
Figura 28- Monitoramento de vazão na EP 02.....	42
Figura 29- Variação da vazão na tubulação (200mm) de saída do reservatório elevado do CR01.....	43
Figura 30- Variação da pressão na tubulação (200mm) de saída do reservatório elevado do CR01.....	44
Figura 31- Disposição da tabela anterior em forma de gráfico em porcentagem da relação entre a quantidade de hidrômetros por período de instalação no município.	
Figura 32- Curva de permanência do consumo mensal micromedido no sistema de abastecimento de água de Américo Brasiliense.....	47
Figura 33- Delimitação dos setores de distribuição de água do município de Américo Brasiliense.....	48
Figura 34- Modelagem do Setor 01 (Setor 01A e Setor 1B).....	62
Figura 35- Variação dos níveis dos três reservatórios existentes no CRD01 que abastecerá os setores 01A e 01B.....	63
Figura 36- Modelagem do Setor 02 (Setor 02A e Setor 2B).....	63
Figura 37- Variação dos níveis dos dois reservatórios projetados no CRD02 que abastecerá os setores 02A e 02B.....	64
Figura 38- Modelagem do Setor 03 (Setor 03A, Setor 3B e Setor 3C).....	64
Figura 39- Variação dos níveis dos quatro reservatórios existentes e projetados no CRD03 que abastecerá os setores 03A, 03B e 03C.....	65
Figura 40- Modelagem dos Setores 04 e 06 (06A e 06B).....	65
Figura 41- Variação dos níveis dos três reservatórios existentes e projetados no CRD04 e CRD06.....	66
Figura 42- Modelagem do Setor 05 (Setor 05A e Setor 5B).....	66

Figura 43- Variação dos níveis dos dois reservatórios projetados no CRD05 que abastecerá os setores 05A e 05B.....	67
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Relação dos poços existentes no sistema de abastecimento de água do município de Américo Brasiliense.....	27
Tabela 02 - Relação dos reservatórios existentes no sistema de abastecimento de água do município.....	28
Tabela 03-Relação de hidrômetros por período de instalação.....	45
Tabela 04- Consumos referentes a cada categoria de usuário de água do município de Américo Brasiliense.....	46
Tabela 05-Intervalo de classes do consumo mensal por ligação (residencial) associada a ocorrência de ligações que possuem consumo neste intervalo.....	47
Tabela 06- Relação dos setores de abastecimento do município de Américo Brasiliense.....	49
Tabela 07- Dados referentes ao Setor 1A.....	50
Tabela 08- Dados referentes ao Setor 1B.....	50
Tabela 09- Vazões dos poços que abastecem o CR01.....	52
Tabela 10- Dados referentes ao Setor 2A.....	53
Tabela 11- Dados referentes ao Setor 2B.....	54
Tabela 12- Dados referentes ao Setor 3A.....	55
Tabela 13- Dados referentes ao Setor 3B.....	56
Tabela 14- Dados referentes ao Setor 3C.....	57
Tabela 15- Dados referentes ao Setor 4.....	58
Tabela 16- Dados referentes ao Setor 5A.....	59
Tabela 17- Dados referentes ao Setor 5B.....	60
Tabela 18- Dados referentes ao Setor 6A.....	60
Tabela 19- Dados referentes ao Setor 6B.....	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 01- Descrição técnica dos conjuntos motor-bombas existentes no recalque da água produzida no Poço nº04.....	33
--	----

Quadro 02. Descrição técnica do conjunto motor-bomba existente no recalque do EAB01....	34
Quadro 03. Descrição técnica dos conjuntos motor-bombas existentes no recalque para o reservatório elevado do CRD1.....	36
Quadro 04. Descrição técnica dos conjuntos motor-bombas existentes no recalque do CRD5.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABENDE	Associação Brasileira de Ensaios Não-Destrutivos e Inspeção
ABES	Associação Brasileira Engenharia Sanitária e Ambiental
AESBE	Associação das Empresas de Saneamento Básico Estaduais
BNH	Banco Nacional de Habitação
CA	Cimento Amianto
COSAN	Conselho Nacional de Saneamento
CRD	Centro de Reservação e Distribuição
DAE	Departamento de Água e Esgoto
DeFoFo	Diâmetro equivalente Ferro Fundido
DNOS	Departamento Nacional de Obras de Saneamento
EAB	Estação Elevatória Água Bruta
EAT	Estação Elevatória Água Tratada
EP	Estação Pitométrica
EPANET	Software Agência Proteção Ambiental (Environment Protect Agency)
FAVAD	Área de descarga fixa e variável
FSESP	Fundação de Serviços da Saúde Pública
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IWA	Associação Instituto da Água (Institute Water Association)
K1	Coeficiente da vazão máxima do dia de maior consumo
K2	Coeficiente da vazão máxima da hora de maior consumo
PBA	Ponta-Bolsa-Anel
PECOP	Plano Estadual Controle Perdas
PEDOP	Plano Estadual de Controle e Desenvolvimento
PLANASA	Plano Nacional de Saneamento
PMSS	Programa Modernização Setor Saneamento

PNCDA	Plano Nacional de Controle e Desperdício de Água
PRAI	Perdas Reais Anuais Inevitáveis
PROSAB	Programa em Saneamento Básico
PVC	Policloreto de vinila
Qhmc	Vazão máxima da hora de maior consumo
Qdmc	Vazão máxima do dia de maior consumo
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SNIS	Sistema Nacional Informações de Saneamento
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
WRC	Comissão Pesquisa em Água (Water Research Comission)

RESUMO

As perdas e os desperdícios de água são os fatores que mais comprometem o setor de saneamento. A busca do controle destes fatores é uma variável estratégica tanto para as empresas públicas que prestam este serviço, bem como para o setor privado que tem atuado nesta área visando a redução de custos. Em nível nacional, a média das perdas totais de água existentes nas empresas de saneamento está em um intervalo entre 35% a 55%. Os custos e investimentos necessários para a ampliação da produção e distribuição de água tratada são bastantes elevados. Desta forma, os sistemas público ou privado precisam buscar soluções para a redução deste alto nível de desperdício e perdas. Uma destas soluções tem sido a implantação de PROGRAMAS DE CONTROLE E REDUÇÃO DE PERDAS, que visa gerar várias ações objetivando a redução contínua e permanente das perdas dentro do sistema de serviços de abastecimento de água. Para tanto considera-se perdas tudo o que determina o aumento do custo de produção e que impede a realização plena da receita operacional. Além disso, representa o desperdício de um bem finito e estratégico que poderá acarretar o comprometimento dos recursos hídricos. A proposição de medidas visando à redução e o controle das perdas necessita do conhecimento de parâmetros tais como volumes, pressões, níveis, entre outros, que permitem qualificar a situação em que se encontra determinado sistema de abastecimento. Neste contexto torna-se fundamental o estabelecimento de critérios de medição e avaliação do sistema de forma a garantir o monitoramento contínuo de parâmetros hidráulicos e elétricos para a elaboração do balanço hídrico e obtenção do diagnóstico do sistema de abastecimento e a sua modelagem hidráulica, com base no seu real funcionamento. Para se alcançar um cenário como esse é necessário estruturar um plano de ação visando à redução permanente e controle das perdas, adequando-se os investimentos e as intervenções inerentes a esta atividade com a disponibilidade de recursos financeiros, humanos e materiais, mantendo-se como premissa fundamental a manutenção do atendimento ao usuário. Portanto, a implantação de um sistema de monitoramento que visa o gerenciamento das variáveis hidráulicas do sistema de abastecimento de água municipais com intuito de controlar e reduzir as perdas torna-se fundamental para o futuro de todos os departamentos responsáveis pelo saneamento dos municípios. Assim, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver a modelagem matemática da rede de distribuição de água do município de Américo Brasiliense utilizando o software EPANET visando combater as perdas de água do sistema. Destaca-se que o presente trabalho foi desenvolvido no departamento de Engenharia Civil da Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP). O sistema de abastecimento de água do município de Américo Brasiliense apresentou 40,70% de perdas de água, valor este que necessita ser reduzido para que o município possa crescer de forma ordenada. Uma das principais ações que necessitam ser realizadas é a setorização da rede em zonas de pressão, as quais tendem a equilibrar as pressões nas redes tendendo a diminuir os vazamentos e melhorando o controle do processo. O estudo realizado demonstrou que existe a necessidade de uma seqüência de adequações descritas na tese, para que os resultados dos trabalhos sejam maximizados e tenham o melhor desempenho possível. De imediato, pode-se constatar que existe a necessidade de investir em aumento de produção de água, pois setorialmente existem localidades que o abastecimento não é permanente. De posse da modelagem matemática, pode-se constatar que os setores de abastecimento previstos serão atendidos dentro dos padrões ideais, sendo também considerado que os conjuntos moto-bombas serão desligados nos períodos de tarifa verde.

Palavras-Chaves: Controle, índices de perdas, abastecimento de água, modelagem hidráulica, EPANET.

ABSTRACT

The water losses and water waste are the most important features that impact in sanitation. The way to manager this features is a variable strategic for both type of company, like public or private, the public way work for a service and private way work to minimize the costs. In Brazil, the range for water losses in sanitation company is about 35% to 55%. The costs and investments required to increase the production and water treatment distribution are very expensive. In this way, the public and private system need to find solution to minimize this high level of losses and waste. One of these solution is to implement the WATER LOSSES AND CONTROL PROGRAM, that aim many actions to find a continue reduction and constant of losses in a water distribution system services. For this situation, losses are consider all that determine the raise of production cost and block the perform of operational takings. In addition, we can say that represents the waste of finite and strategic well that will bring on a committal of water resources. This propose for reduction and manager of water losses needs some knowledge of parameters like volume, pressure, level and so on, that allow qualify the situation in each water system. In this context, become a fundamental standard tool to establish parameter of measure and assessment of system in a way to guarantee the continue monitoring of hydraulics and energy parameters to elaborate hydraulic balance and obtain the diagnostic of water distribution system and his hydraulic model with basis in a real time. To get in this situation you need to structure a plan of action that focus in permanent reduction and losses control according to investment and problems with this activity like financial resources, humans and materials, with a fundamental preview for a maintenance customer users. Therefore, a insert system of monitoring that sight the management of hydraulic variables in a municipal water system with the goal to reduce and control the water losses become a fundamental tool for the future of all municipal sanitation section. So, the proposal for this actual work is to develop the mathematic model of water distribution system of city of Américo Brasiliense with a software EPANET to minimize the water losses of distribution system. This work was developed in department of Civil Engineering of Ribeirão Preto University (UNAERP). The water distribution system from this city have 40,70% of water losses, this value need to be decreased for this city in a target to have a ordinary growth. The main action that need to be realize is the divide in pressure areas, that pretend to balance the pressures in water distribution system while decreasing the leakage and evaluating the management of the process. This work proves that needs a sequency of changes related in thesis to increase the results and have a better performance. For immediately action need to be described like improve in water production, because in parts of the city the water distribution is not permanently. With mathematic model, the sector of water distribution are in good conditions, considering that pumps are turned off in periods of green energy (period for high fees) .

Keywords: Control, losses index, water distribution, hydraulic model, EPANET.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente somente no Brasil em média 50% da água captada nos poços subterrâneos e proveniente dos rios são perdidas antes de serem utilizadas pela população. Assim, os gastos das prefeituras em termos de energia elétrica e tratamento químico da água que deveria ser consumida é muito significativo e poderia ser empregado para outras finalidades. Pode-se citar como exemplo uma cidade com aproximadamente 600 mil habitantes do interior de São Paulo que investindo R\$1.000.000,00/mês para o tratamento de sua água, perderia metade destes produtos utilizados (flúor, cloro e outros) e teria R\$500.000,00 de prejuízo mensal ou mais.

Analisando na esfera ambiental, esse problema é muito mais complexo devido à baixa quantidade de água potável existente em muitos locais. Este fato, decorre do dano ambiental causado e da análise de retorno do recurso hídrico ao ciclo biogeoquímico podendo ocasionar grande escassez desse recurso.

Estes altos índices de perdas de água evidenciados nos municípios brasileiros são decorrentes da falta de dados hidráulicos do sistema de abastecimento, o que compromete o gerenciamento do sistema. Assim, a elaboração de atividades tais como a modelagem hidráulica da distribuição de água permite realizar um diagnóstico do abastecimento, gerando um banco de dados que norteará ações para reduzir as perdas de água.

As atividades propostas no presente trabalho visam o entendimento da distribuição de água do município de Américo Brasiliense, o qual está situado no Estado de São Paulo, com o objetivo futuro de implantar ações de redução das perdas e aumento da eficiência do sistema de abastecimento. Desta forma os índices de perdas existentes no município tende a reduzir com o aprimoramento das técnicas operacionais consequentemente os recursos financeiros investidos também serão proporcionalmente atenuados.

Assim, a economia gerada no processo e distribuição de água tratada será rapidamente percebida pela Prefeitura, isto é, uma relevante parcela dos investimentos, atualmente aplicados no processo de produção, poderá ser investida em outras finalidades como, por exemplo, ampliação do sistema atual. As ferramentas gerenciais que serão obtidas permitirão aos executivos da Prefeitura administrar o sistema de abastecimento de forma cada vez mais otimizada com qualidade e segurança nas decisões estratégicas com reflexo imediato no atendimento a população e aumento da eficiência operacional.

Além do aspecto financeiro que é extremamente interessante, destaca-se o efetivo alcance sócio econômico que tem abrangência permanente e progressiva, uma vez que estas

medidas a serem implantadas serão permanentemente ajustadas buscando-se a qualidade e manutenção do estado da arte em captar, tratar, reservar e distribuir água potável para o Município de Américo Brasiliense.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal é elaborar a modelagem matemática da rede de distribuição de água do município de Américo Brasiliense – SP, através do software EPANET, visando realizar um diagnóstico do sistema de abastecimento e propor ações de combate e redução das perdas de água.

2.2 Objetivos Específicos

Foram estabelecidos, ainda, os seguintes objetivos específicos:

- Realizar a cadastro da rede de distribuição de água;
- Obter o perfil de consumo de água através do monitoramento das vazões pelo processo de pitometria;
- Analisar os dados da micromedição visando obter os consumos micromedidos de água do município;
- Realizar a modelagem matemática através do software EPANET da rede de distribuição de água do município de Américo Brasiliense;
- Propor ações de redução das perdas de água para o município.

3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo é de suma importância para o entendimento do histórico de perdas de água em sistemas de abastecimento público, sendo que, desta maneira há a possibilidade de evolução condizente a este assunto. Assim, a essência deste capítulo está em destacar as obras literárias, marcos importantes e regulatórios ligados à modelagem hidráulica e perdas de água em rede de abastecimento.

3.1. Perdas de Água em Sistemas de Abastecimento

Um dos pioneiros a iniciar o sistema público de abastecimento de água foi o aqueduto de Jerwan, construído na Assíria em 691 a.C. , sendo que os maiores aquedutos romanos foram construídos em 312 a.C. . No ano 97 da era cristã mudou o superintendente da Águas de Roma que dentre várias obras consolidou um tratado sobre abastecimento de água. Consequentemente, à medida que houve a necessidade de abastecimento a quantidade de obras foram se expandindo na cidade (ROSEN,1994).

Para o Brasil, o surgimento do saneamento se consolidou proporcionalmente com o crescimento das cidades e das suas necessidades. No século XIX, o abastecimento de água era feito através bicas e fontes próximas aos povoados. Após a chegada da família real, houve a necessidade de construir pontes, rodovias e o abastecimento de água à população.

Naquela época, não houve nenhuma preocupação quanto ao controle de perdas de água pois o intuito era apenas o crescimento vertiginosamente da população se preocupando apenas com o controle sanitário e as doenças de veiculação hídrica. Mas, a partir do momento, em que as cidades foram tomando proporções maiores o índice de lançamento de esgoto sanitário se tornou cada vez maior, o que preocupava a população. Assim, surge a preocupação com o tratamento de água para que ela se torne de boa qualidade para consumo humano.

Com o aumento da preocupação do tratamento de água, iniciou-se conflito entre os agentes econômicos que competem pelo uso das receitas, surgindo a necessidade do controle de perdas de água, seja tanto em níveis recomendados, de demanda ou econômico, que está relacionado aos custos do processo de tratamento.

As empresas de saneamento básico não tinham, a preocupação de conhecer e controlar o nível de perdas existentes nos sistemas de abastecimento de água. Em decorrência, quando ocorriam crises de abastecimento, procuravam ampliar a oferta de água para sanar a situação. Este procedimento conduziu, quase sempre, a soluções que não representavam a

melhor alternativa sob o ponto de vista técnico econômico; ignorava-se o aspecto econômico, e as decisões se baseavam apenas nos aspectos técnicos da questão (COELHO,1983).

O nível de perdas das Empresas de Saneamento Básico era, normalmente, superior a 50% do volume produzido e raramente ficava abaixo de 40% desse volume. As dificuldades materiais para a captação de recursos financeiros têm conduzido, nos últimos anos, a uma mudança de atitude nos dirigentes dessas empresas, já que tornou-se imperativo maximizar os recursos disponíveis, propondo-se ampliações somente quando os sistemas, operados com um nível de perdas mínimo, chegassem a saturação (COELHO,1983).

O controle de perdas converteu-se em tema de tal importância que o BNH-Banco Nacional da Habitação, através da COSAN (Conselho Nacional de Saneamento), resolveu considerar prioritários todos os programas nessa área. Mas esse controle exige que sejam levados em conta três aspectos básicos: técnicos, econômicos e o de desenvolvimento de recursos humanos (COELHO, 1983).

Quando uma empresa pretende desenvolver um programa de redução às perdas em uma cidade, defronta-se normalmente com a dúvida. Qual a ordem de prioridade que deve ser obedecida nos trabalhos ?. A escala de prioridades deve ser estabelecida para que exista uma racionalização dos recursos, de forma que o retorno do investimento seja o mais rápido possível. E mais, que sejam autofinanciáveis, se possível, os trabalhos de combate às perdas (COELHO, 1983).

Deve-se procurar conseguir a melhor eficiência do balanço, custo, benefício no período. Algumas vezes em cidades, esse trabalho torna-se bastante fácil. Entretanto, quando existe equilíbrio dos setores e dos fatores que estão interligados , exige-se um estudo até certo ponto apurado. Existem setores onde os resultados dos trabalhos de combate às perdas são significativamente superiores a outros da mesma localidade. Também deve-se levar em conta a existência de condições existenciais do setor para desenvolvimento do distrito de medição (COELHO,1983).

De uma forma mais direta e simples a conservação de água é definida como “qualquer redução de uso ou de perda de água que implique benefícios líquidos positivos” (MONTENEGRO e SILVA,1987). Segundo os mesmos autores, a referência a benefícios positivos contempla a preocupação com duas situações. O benefício líquido é positivo quando a agregação de todos os ganhos de uma ação ou de um programa de redução do uso ou da perda excede a agregação de todos os efeitos adversos (custos e benefícios negativos) ocasionados por ela. Além disso, considera-se que a conservação da água não pode ser enfocada de forma unilateral, a despeito dos demais recursos renováveis. Dessa forma, se a

conservação de um recurso implica erradicação de outro, não existe uma ação verdadeiramente conservacionista” (PROSAB-ABES,2006).

A *Environmental Protection Agency dos Estados Unidos* (USEPA) define a conservação de água de maneira simples e concisa, porém abrangente na sua aplicação. Segundo essa agência, conservação de água é entendida como qualquer redução benéfica nas perdas de água , desperdício ou uso (USEPA,1998). Observa-se que os termos “perda, “desperdício” e “uso” podem se constituir em categorias de enquadramento da forma sob a qual a água é empregada em situações reais, servindo, assim, à classificação das medidas de conservação a serem adotadas (PROSAB-ABES, 2006).

Segundo Heller e Pádua 2010, as perdas de água também devem ser enquadradas em um contexto amplo. Em razão disto, o gerenciamento das perdas está incluído na gestão integrada de recursos hídricos no ramo das unidades de bacia, sendo que, outros consumidores também usufruem do mesmo sistema natural. Esse contexto se expande, ao relacionar as boas práticas ambientais de conservação da água há longo prazo, as ações de planejamento da oferta e da demanda para controle de perdas considerando a disponibilidade de água bruta e o fornecimento de água tratada. Concluindo, que todas essas ações estão interligadas em um sistema mais amplo de conservação da água bruta na bacia e não somente aos sistemas de abastecimento.

A gestão da oferta foi praticada durante muito tempo pelos serviços públicos de abastecimento de água e correspondeu ao crescimento generalizado das companhias ou serviços públicos de saneamento e, eventualmente, de seus ganhos, dependendo da política adotada. Um fator ambiental deu suporte a essa prática durante um longo período: a disponibilidade de água, próxima e em quantidades suficientes para abastecer os centros urbanos. Entretanto, em certo momento as situações da disponibilidade hídrica começaram a se alterar. Mananciais se tornaram impróprios, dada à poluição e outros mais adequados situavam-se a distâncias muito grandes tornando-os inviáveis. Desta forma, o investimento necessário ao crescimento da oferta tornou-se muito maior, ou seja, ficou mais caro ofertar água adicional. Nessas circunstâncias, ficaram aparentes as possibilidades e vantagens de exercitar a gestão da demanda. Essa ótica explora as possibilidades de ampliação do uso da quantidade de água já existente. Referem-se às tecnologias adequadas à redução do consumo, das perdas e ao uso mais eficiente das águas, às mudanças de comportamento dos usuários e do prestador de serviço, bem como à ampliação de tarifas que provocam a contenção do consumo (PROSAB-ABES,2006).

Em relação às “perdas” de água são as falhas de um sistema que ocasionam à perda física de água. São as águas sem utilização, pertencentes a essa classificação, embora não possam ser utilizadas ou reutilizadas em certo momento, de acordo com as suas limitações. Para melhor descrever, poderiam ser denominadas como “perdas inevitáveis” naquele instante. Alguns exemplos podem ser citados, como os vazamentos inevitáveis, ou seja, aqueles que não tem como evitar pela dificuldade de acesso, pela falta de recursos financeiros, dentre vários outros motivos. As perdas podem também estar ligadas ao uso com baixa eficiência (PROSAB 2006).

Sem a definição e diferenciação das perdas de água em sistemas de abastecimento de água não há como atuar com uma boa gestão dos serviços. Nesse sentido, as perdas de água inclui os volumes não utilizados e os volumes não faturados. Esses volumes distribuem-se em perdas reais e aparentes, sendo que, essa separação será muito útil para as ações de combate às perdas e para a construção dos indicadores de desempenho (HELLER e PADUA, 2010).

Deve-se esclarecer também que, os termos “perdas físicas” e “perdas não físicas” comumente utilizados no Brasil expressam o mesmo sentido dos termos “ perdas reais” e “perdas aparentes” mais citados a nível internacional. Sendo que, quanto ao significado estrito segue os termos “perdas reais” e “ perdas aparentes” como mais adequado. Pode-se dizer que, as “perdas reais” correspondem aos volumes dos vazamentos e extravasamentos nas unidades do sistema (desde da captação até a distribuição) mais os volumes utilizados de forma inadequada (destaca-se descarga para limpeza da rede de distribuição e lavagem dos filtros em estações de tratamento de água). Já as perdas aparentes são os volumes pelo uso de ligações clandestinas (não cadastradas) e por *by-pass* irregular no ramal de ligações cadastradas (o chamado “gato”), mais os volumes não registrados devido a hidrômetros parados ou com submedição, fraudes em hidrômetros, erros de leituras, dentre outros. Deve-se lembrar que, os usos para combate a incêndio, limpeza de ruas e irrigação de jardim público além dos usos para abastecimento por meio de caminhões pipa e chafarizes e usos nos prédio próprios não são considerados perdas de água desde que controlados e medidos. Caso não seja faturado, esses usos são chamados de “consumo autorizado não faturado” (HELLER e PADUA, 2010).

Para Heller apud Pádua 2010, o alto índice de perdas de água no sistema de abastecimento brasileiro se tornou um dos grandes problemas. Dentre os vários fatores que ocasionam esta situação dentre eles estão: a baixa capacidade institucional e gestão dos sistemas; falta de recursos em áreas importantes do sistema, como ações de desenvolvimento tecnológico no sistema operacional e na rede de distribuição; a necessidade de programas incentivadores para a conservação e o uso racional; necessidades de estudos de planejamento

da engenharia para extensão de rede e aumento da carga hidráulica em áreas mais periféricas do sistema.

Assim sendo, dentre suas múltiplas divisões, para uma gestão adequada do sistema de abastecimento de água a inclusão do gerenciamento de perdas seria uma questão estratégica para a sobrevivência das operadoras. Dentre as diversas situações na qual se encontra o país deve-se considerar que, combater e controlar as perdas é uma questão de grande importância em cenários como: escassez de água e conflito pelo uso; altos volumes não remunerados, o que compromete as operadoras; um sistema na qual valorize melhor os indicadores que demonstram as perdas de água como avaliação de desempenho.

O gerenciamento de perdas necessita do conhecimento pleno do sistema assim como a identificação e a quantificação das perdas como ferramenta indispensável a fim de executar ações de combate. Para que haja uma melhor eficiência nessas ações o uso das inovações tecnológicas colaboram na identificação e precisão das medições dos volumes de água perdidos.

O controle e a redução de perdas de água no mundo devem ser tratados como mudanças fundamentais nos costumes culturais ligados ao uso da água. É necessário a realização de campanhas de motivação para sensibilizar à população para o uso racional da água (BARROSO e GASTALDINI, 2010).

A redução das perdas físicas traz benefícios diretos e indiretos, dentre eles estão a redução de custos de energia assim como produtos químicos dentre outros, redução dos custos de produção, e até utilização das instalações existentes sem aumentar o sistema produtor. No intuito de aumentar a eficiência do sistema o controle das perdas físicas se torna atividade muito importante. Sendo que, um dos instrumentos disponíveis para essa finalidade é a modelagem matemática das redes de distribuição (BARROSO e GASTALDINI, 2010).

Há dois tipos de controle de perdas de água: o ativo e o passivo. O primeiro tipo é aquele que se caracteriza, como sendo, o mais efetivo por ser de caráter pesquisador, ou seja, utiliza de tecnologias para que possa amenizar o índice de perdas, que por sua vez, é o contrário do controle passivo de perdas. No controle passivo, o índice apenas é monitorado quando há afloramento ou denúncia de irregularidades na rede de abastecimento. No Brasil, até o final do século 19 apenas era utilizado o controle passivo de perdas (WRC, 1970).

Na avaliação das perdas todos os fatores estão interligados diretamente, por isso é necessário conhecer intrinsecamente todos eles como: quantidades perdidas, causas e consequências, impacto sobre os custos e receitas operacionais, relação com a oferta e a demanda, custos para a redução e o controle, dentre outros. Após o conhecimento de todos

esses fatores, o operador terá a visão real do problema a ser resolvido, tendo assim todos os componentes essenciais para a decisão e poder fazer uma análise comparativa em relação aos outros operadores (HELLER e PÁDUA, 2010).

Para que se compreenda integralmente o índice de perdas é necessário relatar que, o índice de produção, de distribuição, atendimento, etc, se enquadram nos Índice de Gestão podendo descrever a atividade em determinada área durante um certo intervalo de tempo possibilitando comparações para tomadas de decisão. Concluindo que, a cada dia aumenta a quantidade de empresas, especialistas, autoridades e empresas gestoras de abastecimento de água em se enquadrar nos Índices de Gestão que qualificam a eficácia e eficiência da empresa (VINCIGUERA, 2009).

De acordo com ANJOS (2011), as políticas de gestão estão ligadas aos valores culturais e éticos na qual uma organização reconhece e compromete esclarecendo as formas de relações entre clientes, colaboradores, fornecedores e sociedades em geral. Para a área de saneamento, há a possibilidade de impor Políticas privadas (corporativas) ou públicas (impostas pelo governo). Para se ajustar à concorrência do mercado, necessita-se melhorar a eficiência dos serviços, reduzir custos melhorando a qualidade dos serviços, de maneira a adotar sistemas condizentes com a empresa. Desta maneira, política de gestão torna-se essencial na busca de novos desafios caminhando rumo à sua visão.

Segundo BEKTAS, a perda de água é um conceito complicado de entender e com vários componentes. Estes componentes devem estar muito bem detalhados em ordem para serem esclarecidos afim de que possa entender o propósito específico do trabalho.

Para a USEPA (Agência Proteção Ambiental Americana) 2010, a perda de água para um sistema de distribuição é um crescente problema administrativo que não está apenas concentrado na perda de rendimento. Perda de água no sistema demanda uma quantidade maior de água tratada, na qual requer um maior uso de energia e de produtos químicos, resultando no desperdício de recursos e rendimento. Com uma grande preocupação no baixo rendimento, o sistema publico de abastecimento de água deve focar na otimização da sua produção e rendimento. Perda de água no sistema de distribuição se compara à perda de rendimento. Por estas razões cada vez mais o sistema público de água está adotando o programa de controle de perdas de água. Não será apenas um programa muito bem implementado que reduzirá o índice de perda de rendimento, mas isto poderá também proteger a saúde pública eliminando as ameaças sanitárias que podem estar contaminadas por microorganismos ou outros contaminantes que possam estar presentes na água potável.

Conforme já descrito, as perdas de água se dividem em duas categorias: tanto na estrutura física por meio de vazamentos como pelo má gerenciamento financeiro que estão relacionadas as formas clandestinas de ligações no sistema. Nos dias atuais, o grande problema das empresas/órgãos de abastecimento de água estão ligados com as perdas físicas e de faturamento que comprometem a saúde financeira e a qualidade dos serviços prestados (MATOS *et.al.*, 2002).

Ao distinguir as perdas que estão sujeitas a um sistema de abastecimento de água podem atingir à questão financeira assim como monitoramento e redução das mesmas não apenas para a empresa como para os usuários permitindo minimizar os custos ligados à produção e à redução nos desperdícios de energia. Desta maneira, há a possibilidade dessa quantidade perdida ser restabelecida ao sistema no intuito de reestruturar a rede para outros setores com demanda maior que consequentemente será reduzido o número de obras reduzindo o valor do serviço (VINCIGUERA, 2009).

Essa questão ligada à redução de perdas de água para os usuários do sistema está em grande circulação para se verificar com exatidão a quantidade e a área de maior ocorrência no sistema assim como os modos mais viáveis para sua erradicação. Lembrando que o direito à água é uma necessidade e não somente um direito distinguindo essa área de estudos como essencial para a sociedade. O consumo está intimamente ligado à demanda o que implica em investimentos no ramo de projetos, operação e manutenção buscando melhorias bem como a minimização das perdas. A fundamentação está muito bem estruturada pela evidência que encontra-se o mundo na busca incessante de disponibilidade de água (VINCIGUERA,2009).

3.2. Pesquisas, seminários, congressos e programas relacionados as perdas de água

O histórico das pesquisas relacionadas as perdas de água está alcançando tanto em nível nacional quanto em nível internacional, assim como se segue alguns exemplos (LAMBERT,1998):

- 1800: medição de vazão pelo método pitométrico e pesquisa de vazamento com haste acústica de madeira em Chicago;
- Medição com hidrômetro Deacon da vazão mínima noturna (Deacon Meter Waste Metering);
- 1940: Geofone: pesquisa de vazamento com geofone mecânico;
- 1965: Geofones eletromecânicos (Ground MicroPhones);
- 1970: Pesquisa de vazamentos com correlacionadores de ruídos computadorizados na Inglaterra (WRC-Water Research Comission);

- 1978: Correlacionador de ruídos de vazamento (Leak Noise Correlator);
- 1980: Relatório 26: Redução de perdas físicas na Inglaterra (Leakage Policy and Practice);
- 1980: Manual M36: Auditoria de perdas nos EUA (AWWA);
- 1990: Geofonamento e Locação de rede-Conceitos e aplicação-SABESP;
- 1991: Revisão Manual: Copenhagen (IWA-International Water Association);
- 1992-1994: Conceito da estimativa de vazamentos inerentes e arrebatados (BABE-Bursts and Background Estimates);
- 1994: Controle de perdas- informes: Managing Leakage-Reports A to J WRC na Inglaterra;
- 1994-1998: Seção de descarga constante e variável na Inglaterra (Fixed and Variable Area Discharge:FAVAD);
- 1996-2000: Força-Tarefa: Introdução de terminologia padrão e melhores práticas para análise de índices de performance e perdas reais anuais inevitáveis-PRAI (Unavoidable annual real losses-UARL)-IWA;
- 2001: International Report na Alemanha-IWA;
- 2002: Princípios para cálculo do nível econômico de perdas:atualização da abordagem apresentada no Report A – Key principles in the economic level of leakage calculation referente aos informes da managing leakage (WRC);
- 2007: Força tarefa de perdas de água-Grupo de especialistas em eficiência operacional e gerenciamento-IWA;
- 1969: Brasil: PLANASA: Plano Nacional de Saneamento;
- 1980: Brasil (Rio de Janeiro): Seminário de macromedição;
- 1981: Brasil: Comissão Nacional de Controle de Perdas pelo Banco Nacional de Habitação (BNH) que deu origem ao Plano Estadual de Controle de Perdas (PECOP) ;
- 1984: Brasil: PEDOP: Programa de Controle e Desenvolvimento da Operação;
- 1995: Brasil: SNIS: Sistema Nacional de Informações de Saneamento;
- 1997: PNCD: Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água;
- 1999-2000: Brasil: Programa de Qualificação e Certificação em Detecção de Vazamentos Não-Visíveis de Líquidos sob Pressão (ABENDE-Associação Brasileira de Ensaio Não-Destrutivo e AESBE-Associação das Empresas de Saneamento Básico Estaduais);

- 2002: Brasil: Recife: Seminário internacional sobre programas de redução e controle de perdas em sistemas de abastecimento de água pela PMSS (Programa Modernização Setor Saneamento);
- 2007: Romênia: Força tarefa perdas de água-Grupo de especialistas em eficiência operacional e gerenciamento-IWA

Após esse breve histórico da situação das pesquisas, seminários, congressos e programas relacionados as perdas de água deve-se explicitar como é feito a modelagem e os simuladores afim de otimizar o sistema operacional de abastecimento de água.

3.3. Modelagem hidráulica em sistemas de abastecimento

Como este trabalho é um estudo de caso que utiliza métodos matemáticos computacionais como formas de análise de gestão em saneamento para entender o comportamento das perdas de água na região estudada. Inicialmente foi realizado um levantamento bibliográfico quanto as questões de perdas de água e, logicamente, das tecnologias ligadas à essa questão.

Desta maneira, as perdas de água associada à modelagem matemática é uma maneira de controlar ou de gestão dos recursos hídricos de forma global ou local. Portanto para RONDON (2011), a gestão é uma maneira de administrar e avaliar o desempenho de processos pelas ações planejadas e executadas gerindo um produto ou serviço. Na área de saneamento, a saúde pública, o planejamento urbano, o meio ambiente e a realidade social serão afetados tanto a curto prazo quanto a longo prazo. Logo, os prestadores de serviços em saneamento devem ter consciência da sua multidisciplinaridade na área e adotar Políticas de Gestão que resultem em benefícios para a sociedade.

Para KARNEY e McINNIS 1990, a falta de registros para redes de trabalho complexas como o sistema de distribuição de água pode ser fragmentado em dois setores: inicialmente, os proprietários das redes de água algumas vezes não sustentam na hipótese de acontecer em redes de água como resposta do fluido nas possíveis instalações hidráulicas ou variações de vazão ocasionando o fenômeno do golpe de aríete (ocorre quando há uma grande variação de vazão dando origem as ondas de pressão que se propagam ao longo do conduto) . Entretanto, há um pensamento lógico neste sistema para esta atitude, e a literatura sugere que há a possibilidade de ocorrer o efeito contrário em algumas hipóteses; segundo, a complexidade de construir uma rede de fluido instável inserindo os dados coletados em campo para a calibração do seu modelo, sendo que, deve ser evitado alguns estudos de fenômeno de

transição de rede. Como um resultado, o desenvolvimento na área de análises de golpes de ariete tem aumentado substancialmente nesses últimos anos, embora estudos comprobatórios não tem sido encontrados com frequência na literatura.

Na performance das análises hidráulicas, frequentemente é aceito que algumas das formas reduzidas ou modelo esquemático pode ser utilizado no diagnóstico prático. Ainda, os pesquisadores não tem uma conclusão objetiva como o esquemático modifica o comportamento do prognóstico no sistema. Este é um assunto importante e um deles que requerem investigação. Embora, o tópico análises hidráulicas seja muito extenso para entender neste resumo. Para investigação, os escritores aceitam um esquemático do sistema que é adequado para comparar os efeitos assumidos na distribuição e no consumo de modelagem do sistema. Ainda mais, é preciso critérios de pura logística, como por exemplo, simplificar todos os dados requeridos (KARNEY e McINNIS,1990).

As perdas também pode estar relacionadas aos dispositivos controladores no sistema de distribuição que são utilizadas como controle e isolamento. Frequentemente, as válvulas de isolamento, tem como finalidade impedir totalmente o fluxo do fluido, são manuseiadas por operadores enquanto as de controle são operadas eletronicamente. Ao decorrer dos anos, o sistema tende a falhar ou pode ocorrer de não serem instaladas corretamente, por estes motivos deve ser feito uma inspeção nessas peças. Normalmente, em que está situação ocorre são (VINCIGUERA,2009):

- Válvulas de controle de nível: podem ocasionar extravasamento em reservatórios. A válvula deve ser regulada para eliminar o problema;
- Válvulas de alívio de pressão: em caso da válvula estiver regulada para baixa pressões, a todo momento em que atingir uma alta pressão ocorrerá extravasamento. Pode acontecer vazamentos desnecessários devido ao não ajuste das válvulas de alívio, após reajustes em controle de pressão;
- Válvulas de sustentação, redução e manutenção de pressão: se acaso estiver mal ajustada ou mal instalada provocará vazamentos em válvulas de controles de nível, de alívio e em golpe de aríete;
- Válvulas Anti Golpe de Aríete: se forem ajustadas para pressões muito baixas, podem causar descargas ou escapes indevidos para a atmosfera, tanques ou drenos;
- Válvulas de descarga de bombas: quando há erros nessa válvula, esta válvula deve agir como uma válvula de retenção aberta descarregando a água do sistema de distribuição para o poço.

Segundo WOOD J.D., os simuladores das redes de distribuição de água estão disponíveis há muitos anos com uma diferença quanto às restrições de informações que estavam contidas neles e que eram transmitidas somente para os consultores de companhias especializadas, organizações de pesquisa e universidades. Recentemente este quadro vem se modificando, em razão da universalização das análises de quadro de transições hidráulicas através de simuladores comportamentais no setor hidráulico e de qualidade da água nos sistemas de redes de distribuição para abastecimento público. Para melhorar o modelo e a operação das redes de distribuição, deve se preocupar com os fatores externos que modificam o quadro hidráulico trazendo transformações inesperadas como o alto índice de patógenos na água presentes em ambientes externos ocasionando graves consequências na saúde pública. Os softwares modernos requerem modelos de simulação que predizem a mudança do fluido e da pressão de acordo com as variações ambientais momentâneas.

Para WALSKI 2006, os métodos de análises começaram embasados em métodos denominados Hardy-Cross, enquanto mais tarde os métodos foram se aprimorando chegando a fases avançadas até matrizes computacionais complexas, sendo que, Martin e Lutex (1993) foi um dos iniciantes a desenvolver as matrizes. Logo após, os modelos foram disseminados em faculdades como Universidade de Kentucky, Universidade do Estado de Utah, Universidade da Colômbia Britânica e Universidade de Akron.

Estes modelos foram estendidos para ser manuseados com maior complexidade incluindo bombas, controles de válvulas e grandes períodos de análises. Órgãos diferenciados como Corpo dos Engenheiros do Exército dos Estados Unidos e Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos criaram o seu próprio modelo de simulação (WALSKI 2006).

O uso de análise de modelos hidráulicos se espalhou com a chegada dos computadores. Assim como foi aumentando o número de usuários novos com esses programas a necessidade de assistência também aumentou e dessa maneira os programas passaram a ser de empresas privadas que prestam melhores serviços e caracterizam melhor o produto (WALSKI 2006).

Os softwares relacionados a simulação hidráulica possuem a capacidade de analisar pressões e fluidos, mas não analisam a dimensão dos tubos. Há uma grande dificuldade em resolver problemas matemáticos para que possa modelar o melhor sistema de distribuição de água, sendo que, vários papéis e reportagem estavam sendo discutidos afim de que possa otimizar o sistema. Pesquisadores se reuniram para discutir no Modelo de Batalha de Sistemas na Conferência de Administração e Planejamento de Recursos Hídricos pela Sociedade

Americana dos Engenheiros em Buffalo, NY, 1985. Os pesquisadores determinaram uma solução para o problema do modelo de otimização e perguntaram para resolver em várias abordagens, o que foi marcado naquele dia (WALSKI, 2006).

Os modelos e os métodos para simulação de rede hidráulica vêm sendo utilizados por vários anos, mas ao decorrer dos anos foram feitas atualizações visando à praticidade e aplicabilidade no sistema (SOARES, 2003). Essa aplicabilidade se torna dependente da precisão dos dados de entrada no sistema (ORMSBEE & LINGIREDDY, 1997). Desta maneira, os modelos de simulações hidráulicas devem estar embasados em planejamentos futuros realísticos em variadas condições operacionais, na qual esse processo é denominado de calibração (SOARES, 2003).

A simulação é uma técnica de modelagem que estuda o comportamento em um determinado tempo de um sistema conhecido o conjunto de entradas e procedimentos operacionais. Este instrumento é um dos mais utilizados para diagnosticar o sistema de recursos hídricos pela sua simplicidade. Os modelos de simulação se enquadram melhor para análise de alternativas há longo prazo, ressaltando que estes modelos possuem um alto padrão de segurança (VIEIRA et al.CURI,SANTOS,2012).

Há vários modos de calibração que podem ser empregados de acordo com os citados na literatura como o método *ad hoc* (WALSKI , 1983 e 1986;BHAVE,1988) executados por algoritmos sustentados por equações analíticas para a calibração dos fatores de atrito e demandas de nós.

Para NEWBOLD 2009, há vários outros usos na qual podem ser usados os modelos de calibração assim como planejamento original, reabilitação, sistema operacional e problemas operacionais. O planejamento original nada mais é do que sistematizar o projeto de modo a verificar as possíveis demandas que podem haver no futuro. Aos planejadores, esta técnica possibilita entender o comportamento do sistema afim de verificar as necessidades de melhoria que devem ser aplicadas ao sistema. Algumas áreas críticas do sistema podem ser diferenciadas facilmente como aquelas que ocorrem baixas pressões e baixa velocidade. Após verificadas essas áreas, o modelo pode ser facilmente readequado para uma nova dimensão de rede , facilidades de estocagem e bombear para incluir nas áreas em que não ocorrem esses problemas.

A calibração pode ser restringida ao processo de comparação de modelos como resultado das observações em campo. Os parâmetros podem ser ajustados de acordo com as possíveis mudanças coletadas em campo. Os parâmetros possivelmente podem ser ajustados mas não restritos à: demandas de sistema, rugosidade do tubo e características operacionais de

bombeamento. O resultado final possibilita ao modelador um melhor entendimento do sistema e uma maior confiança no pré diagnóstico (WALSKI T.M.,2003).

Segundo WALSKI 2011, para a calibração do modelo a parte mais complicada é resguardar os ajustes que devem ser feitos para o modelo para ser ajustados com os resultados coletados em campo. Seguem os sete passos para serem seguidos no guia de modelo de calibração:

1. Identificar a finalidade do uso do modelo;
2. Estimar parâmetros para o modelo;
3. Coletar registros de calibração;
4. Apresentar resultados de evolução do modelo baseado nas estimativas de parâmetros iniciais;
5. Representar uma afinação robusta ou análise de macro-medição;
6. Representar uma análise sensitiva;
7. Representar afinação mais detalhada;

A análise ou diagnóstico é o processo utilizado para planejar e estudar a calibração do modelo afim de operar o presente e futuro sistema. Neste caso, o modelo de projeto de rede de trabalho é incluído o sistema de análise de fogo de fluido. O teste pode ser feito para qualquer tipo de cenário para análise. Alguns cenários como dias de máximo consumo, incêndios, reservatórios vazios, qualidade da água, idade do sistema, operação de bombeamento, projeção de crescimento da população futura. Os engenheiros podem desenvolver modelos baseados nas necessidades específicas do sistema. O último passo para a calibração é realmente uma refinação do modelo. Este passo pode ser um tempo de avaliação da eficiência de consumo se houver uma grande quantidade de redes ou nós a serem ajustados. Cada entidade deve ser trocada uma por uma. Assim os erros compensados serão reajustados no modelo tornando-se uma pesquisa refinada (HUNTER,2002).

ORMSBEE & WOOD (1986), estimaram um método diferenciado (explícito) para calibrações de redes de abastecimento de água. Pode-se dizer que, esse processo é estruturado em fatores de atrito e das reformulações das equações governantes do escoamento e a partir desse sistema resolvem determinadas condições operacionais de maneira simples e objetiva. Esse método estipula que o número de medida de pressões/vazões seja na mesma quantidade que dos parâmetros desconhecidos.

BOULOS & WOOD(1990), também inovaram ao estipular um método explícito diferenciado para determinar valores excelentes para as questões ligadas à índices de projeto,

operação e calibração de redes de água no sentido de encontrar diferenciadas vazões e pressões em várias condições operacionais utilizando o método Newton-Raphson como procedimento básico na resolução desses problemas. A possibilidade e a flexibilidade deste método são demonstradas através de exemplos práticos.

Para ROSSMAN 2000, o EPANET é um programa desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA US) de gerenciamento de rede estáticas e dinâmica de abastecimento de água podendo verificar o comportamento hidráulico e da qualidade da água de sistemas sob pressão. Este programa possibilita conseguir valores de vazão em cada tubulação, da pressão em cada nó, da altura de água de nível variável em cada reservatório e até a concentração de espécies químicas da rede divididos em vários passos de cálculo.

CHEUNG (2001) fez comparações com os diversos métodos de calibração já discutidos como o de WALSKI (1983), BHAVE (1988) e BOULOS & WOOD (1990). O autor faz comentário do último trabalho trazendo aprimoramento na generalização do método restrito a apenas uma rede de literatura e a inserção do simulador hidráulico sugerido por SOUZA (1994).

Há também os métodos implícitos, que buscam o uso de uma função objetiva para resolver o problema inverso partindo de algumas informações de pressão e vazão sugeridas que consiste em reduzir as variáveis de decisão onde são parâmetros desconhecidos do sistema(SOARES,2003).

ORMSBEE (1989) nesta situação, criou um método similar para ajustar modelos de redes de distribuição de água. O método é do tipo de otimização não-linear a partir de uma rede complexa de modo a ajustar conforme os diversos padrões de situações de carga em regime permanente , para período de operação estendido. Foram obtidos resultados satisfatórios quando o processo foi dividido em duas etapas: valores de rugosidade foram calibrados com alta perda de carga e com baixa perda de carga.

LANSEY & BASNET (1991) se aproximou ao modelo de ORMSBEE(1989), na qual o algoritmo de otimização não-linear foi integrado ao modelo de calibração hidráulica. Este método possui variações tanto para o regime permanente como para o regime estendido para o ajuste do coeficiente de rugosidade, abertura de válvula e quantidade de nós. Os autores afirmam que as medições eram exatas e que a finalidade estava em diminuir os índices de erros acumulados o que foi no momento em que a divergência quadrática determinou soluções mais rápidas que a divergência absoluta.

Dois pesquisadores SAVIC & WALTERS (1997) desenvolveram diversas finalidades para os algoritmos genéticos envolvendo processos da evolução natural aplicados na cidade

Exeter, Inglaterra. No final deste método ele é comparado ao método da tentativa e erro para a calibração de coeficiente de rugosidade o que resulta em uma grande dominância dos algoritmos genéticos. Esta equivalência apresentaram pontos positivos como: facilidades de utilização (sem uso de fórmulas complexas); utilização em redes de distribuição de água complexas e de grandes extensões; inserção de parâmetros adicionais na calibração.

Há também vários autores que se aproximam da calibração das redes de distribuição diferenciando apenas das finalidades em que foram analisadas. Como por exemplo, WALTERS et.al.(1998) apenas para rugosidades absolutas, De SCHAETZEN et.al.(2000) que estimulou critérios para rugosidades absolutas, diâmetros e demandas de nós, o que diferenciou de LINGIREDDY & ORMSBEE(2002) em que direcionou sua pesquisa para rugosidade absoluta e demandas(SOARES,2003).

GAMBALE (2000), que utilizou como instrumento de calibração de rede de abastecimento de água o EPANET junto com o Algoritmos Genéticos. Assim, o estudo focou na influência dos operadores genéticos e na quantidade de pontos monitorados para avaliar a eficácia na determinação do coeficiente de rugosidade de uma rede hipotética concluindo que, há uma certa rigidez no Algoritmos Genéticos necessitando de certas informações da rede que são essenciais para calibração.

Ainda com o método de Algoritmos Genéticos, o autor RIGHETTO (2001) evidencia uma técnica que mostra a calibração das redes de água focando nas demandas nodais, rugosidades absolutas e diâmetro das tubulações. Este modelo tem como princípio que cada trecho considerado como um elemento, em que cada elemento interage com um nó e com uma extremidade. A equação da continuidade deste nó é formulada através da somatória dos efeitos diretos da rede sobre um determinado nó. Para o autor a questão mais importante deste método é a determinação dos pontos de amostragem para a calibração em concordância com o modelo operacional com um sistema de monitoramento de rede com informações de acordo com a realidade (SOARES,2003).

KAPELAN, SAVIC & WALTERS (2002), que propuseram um método híbrido de regime variável na qual há o mínimo de perda de tempo computacional afim de buscar uma progressão no resultado final a solução encontrada foi o método de busca global (Algoritmos Genéticos) em parceria com de busca local (Levenberg-Marquardt). Sendo que o primeiro seria de grande utilidade para a “varredura” do espaço de busca, já o segundo não tem falhas quanto a solução inicial e nem variação em torno da solução ótima. Este método em conjunto é muito usado para detecção de vazamentos além de determinar rugosidades absolutas.

Segundo os pesquisadores GRECO & GIUDICE (1999), a utilização de técnicas simples é mais eficiente para calibração de coeficientes de rugosidade em redes de distribuição de água na qual apresentaram um método com o auxílio de uma matriz de sensibilidade para otimização não-linear acoplado a programas computacionais. Os autores relatam a facilidade e praticidade para manusear os pacotes computacionais para simulação hidráulica e aprimoração no processo de calibração sendo que o algoritmo foi desenvolvido em rede hipotética para diferentes situações.

LANSEY *et al.*(2001) na finalidade de inserir maior precisão nos valores reais e estimados para calibração, criou um modelo com três passos diferentes considerando as dúvidas relacionadas aos valores observados e estimulados provocando um certo grau de incerteza na solução final. Esses passos contém a estimativa dos parâmetros, a avaliação da calibração e uma metodologia para a coleta de dados. A estimativa dos parâmetros relaciona as incertezas nos dados de entrada e a incerteza ligada aos índices do modelo, já na avaliação de calibração pesquisa-se a consolidação dos erros no modelo através da matriz de covariância. Este modelo tem como principal objetivo verificar as variações das situações de demanda e a diferença entre os valores de pressões observados e simulados, vazões e níveis dos reservatórios relacionados pela ponderação dos autores. Deve-se ressaltar que, esta metodologia foi aplicada para uma rede pré-dimensionada o que seria de grande importância aplicar em situações reais para os autores.

Há autores em que se preocupam com o impacto inserido no modelo de acordo com a simplificação deste na escolha de coeficiente de rugosidade homogêneos como é caso de MALLICK *et.al.*(2002). O método divide a rede em setores sugerindo mesmo coeficientes de rugosidade e também esclarece a melhor quantidade de setores em que deve ser dividido de acordo com a idade, tipo de material, diâmetro e localização das tubulações. É esclarecido nesse método que há um maior acesso na coleta de dados para calibração juntamente com uma simplificação do modelo para representar as condições físicas do modelo, desta maneira, conclui-se que certamente há um número exato de divisão de setores com coeficientes de rugosidade homogêneos para serem calculados na simulação.

LOPES 2010, logo após uma breve descrição dos tipos de modelos matemáticos que estão restritos a apenas a parâmetros como coeficiente de rugosidade, demandas e diâmetros não considerando perdas de vazamento e pressões na rede. Na literatura, há diversos autores que citam diversas técnicas para a inclusão de perdas por vazamento e por demanda de pressão na calibração dos modelos de rede como por exemplo, TUCCIARELLI &

TERMINI(1998), TUCCIARELLI, CRIMISINI & TERMINI (1999) . AINOLA et.al.(2002) e SILVA (2000) não consideram as pressões nos cálculos dos modelos.

SOARES (2003) *apud* TUCCIARELLI & TERMINI (1998), descreve que o processo de calibração é dividido em duas etapas: a primeira etapa, é a estimativa dos índices no modelo de simulação da rede dentro deles a vazão e um conjunto de índices de pressão; na segunda etapa, é feita com a abertura das válvulas para que haja um novo conjunto de medidas. Desta maneira, o procedimento é repetido até que haja uma concordância de resultados entre eles, sendo que , todos esses procedimentos são monitorados através de um esquema elementar (reservatório, tubo e válvula) dentro de uma rede hipotética. Há somente um aspecto negativo nesse método que seria o grande esforço computacional para a inversão das matrizes.

TUCCIARELLI, CRISMINI & TERMINI (1999) modernizaram o estudo feito em 1998 na qual utiliza como principal fonte de simulação *Simulated Annealing* em que se utiliza situações reais com medidas de pressões e vazões na função medida. Esse método tem como principal característica a quantificação dos vazamentos na rede em vários setores da rede podendo até utilizar dados noturnos.

AINOLA et al.(2000), descreve uma metodologia na qual considera as perdas de vazamentos no modelo incluído dentro da setorização das redes de distribuição de água para a calibração de coeficientes de rugosidade . Para se iniciar o processo de calibração é necessário utilizar uma fórmula empírica em que determinadas fatores devem ser listados como comprimento, idade, diâmetro, material e pressão das tubulações. Depois o coeficiente de rugosidade é estimado a partir de uma função objetiva em que há a ponderação das pressões medidas e calculadas. Esse método foi aplicado na cidade de Tallin, Estônia em variados setores.

Ao seguir a linha dos métodos dividido em dois passos há também o autor SILVA et.al. (2002) , que sugere um método iterativo (apoiada nos Algoritmos Genéticos) com a finalidade de modular as rugosidades absolutas e a relação entre pressão X vazamento do município de São Carlos(SP). Os dois passos desse método estão basicamente citados por CALIMAN na rotina computacional (2002) após determinar as rugosidades absolutas e os parâmetros de vazamentos. Ressalta-se que os dados foram coletados em vazões noturnas, ideais para detecção de vazamentos. Os autores também alertam para as válvulas na rede quanto as posições e existência na rede visto que as dúvidas quanto a esses aspectos podem trazer problemas na operação.

O software EPANET foi comparado a diversas situações avaliados em variadas simulações (ROSSMAN,2000). O EPANET foi modelado para ser uma ferramenta de pesquisa para melhorar nosso entendimento nas propriedades da água em uma sistema de distribuição.

O EPANET contém um conjunto de ferramentas de cálculo para suportar à simulação hidráulica, contém também o modelo entre a relação de pressão e vazão do modelo do tipo orifício de modo que, a vazão efluente e a pressão se tornem dependentes. Também muito utilizado para melhorar a eficiência das perdas de água na tubulação quando o coeficiente de perdas e o expoente do emissor são calculados. A propriedade do nó é tratado como dispositivos emissores sendo componentes interligados (ROSSMAN,2000).

Para BARROSO 2005, o modelo MIKE NET utiliza propriedades numéricas do EPANET sendo aplicável em simulações de: demandas nodais, análise de hidrante/vazão de incêndio, curvas de perda de carga no sistema, características do reservatório, idade da água, concentração de cloro, percurso e concentração de poluentes, modelagem on-line em SCADA. Este programa foi colaborado pela BOSS International, EUA.

Para WALSKI 2006, embora a análise de água foi o primeiro modelo a se relacionar com a calibração de modelos de água muitos outros foram surgindo na época dos computadores. O SCADA (Aquisição de registros e controle supervisionário) foi um deles que revolucionou o sistema a partir de uma maior interação remota com muitas facilidades. Este sistema está ligado ao sistema controlador lógico e unidades de telemetria à distância afim de melhorar a eficiência e praticidade dos sistemas operacionais afim de que possa resolver os problemas antes que se tornem muito sérios. Um sistema de registros que age em conjunto no SCADA fornece uma melhor retrato dos problemas a serem resolvidos (WALSKI,2006).

Conforme BARROSO 2005, o WaterCAD foi elaborado Haestad Methods, é um programa completo de gerenciamento de informações geográficas com a finalidade de: análise de qualidade de água, determinação da vazão de incêndio, calibração de gerenciamento de redes grandes, entre outros. Este instrumento é de grande importância para engenheiros e responsáveis para diagnosticar e sistematizar as redes de distribuição sem precedência.

Já para HUNTER 2002, afirma-se que o modelo de distribuição de água encontra-se em oito teorias. As teorias são baseadas nos pacotes do software para modelos de distribuição de água utilizados para este projeto, WaterCAD. Estas teorias, inserem redes hidráulicas de trabalho, qualidade da água, sistemas de equações lineares, perdas de água, bombeamento e teoria das válvulas. WaterCad atua na resolução dos problemas para o modelo. Esta função

está estruturada nos princípios básicos de conservação da massa e de energia. Os problemas resolvidos estão ligados à questões de velocidade, diferentes fluidos, pressão e hidráulica. Os dados coletados em campos provam ao governo que os resultados atingidos são aqueles aplicados na teoria.

De acordo com BARROSO 2005, em relação ao software de modelagem do Reino Unido, muito utilizado nos países Britânicos e Europeus, elaborado pela Water Software Systems denominado FINESSE, pode-se dizer que, este software é completamente integrado de simulação hidráulica, programação de bomba e gestão de vazamentos. Este software tem a possibilidade de compatibilidades entre de simulação hidráulica entre EPANET, GINAS, WATNET e pode ser ligado ao GIS e SCADA.

De acordo com BARROSO 2005, este software foi criado para ser interligado no sistema SCADA como ferramenta de simulação do EPANET afim de facilitar a questão operacional das redes de abastecimento de água. O que possibilita o gerenciamento da real situação da rede assim como registros do sistema. O programa denominado SCANet foi desenvolvido para um estudo de caso no município de Valencia pelo grupo GRYCap relatando as vantagens do modelo-SCADA.

Segundo ALONSO et.al. (2000), este é um software demonstrador embasado em redes paralelas computacionais no intuito de reduzir os vazamentos de redes de água. Este simulador, baseado no pacote EPANET, é diferenciado por saber lidar com três tipos de problemas computacionais paralelos. Sendo que, um deles a solução é modulada pelo método gradiente, já a segunda solução é executada pelo uso do método elemento de volume discreto para a simulação da qualidade da água e a terceira simulação é resolvida pelas válvulas redutoras de pressão afim de reduzir os problemas de vazamento.

Para BARROSO 2005, por mais de 30 anos os engenheiros da Universidade de Kentucky e seus associados cooperaram para que a tecnologia de modelagem em rede de tubulação se tornasse realidade, sendo assim, inúmeros prêmios foram oferecidos ao corpo técnico integrante da Pipe 2000. Essa modelagem integra todas as principais capacidades introduzindo novas ao mercado.

Segundo ROSSMAN (2000), o EPANET contém todos os seus componentes e características do programa que foram elaboradas no intuito que seja um pré-requisito para uma modelo efetivo de calibração. Este programa possui uma análise da engenharia hidráulica com as seguintes capacidades:

- análise de redes de água de qualquer dimensão;

- compilação das formulas mais importantes como: Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning;
- inserindo menores perdas de ajustes,
- modelos constantes ou variáveis de velocidade das bombas;
- custos de bombas e energias em modelos computacionais;
- variação dos tipos de válvulas como válvulas de checagem, controle de fluidos, regulação de pressão;
- permiti incluir reservatórios de qualquer tipo ou forma;
- considera várias modalidades de nós, cada um com seu padrão de variação;
- modelos de pressão dependentes;
- pode basear sistemas operacionais tanto em reservatórios de níveis constantes ou variáveis criando controles complexos ;

Sendo assim, este programa inclui um ambiente integrado para edição de entrada de dados, simulando qualidade da água e redes hidráulicas verificando os resultados em vários formatos. Isto insere mapas codificados por cores , tabela de dados e gráficos de intervalos de tempo (ROSSMAN,2000).

Vale destacar que o software EPANET, possui licença gratuita e é um dos mais utilizados em cálculos hidráulicos nas universidades e instituições de saneamento brasileiras. Desta forma, no presente trabalho será utilizado o referido software para realizar simulações no sistema de abastecimento de água do município de Américo Brasiliense.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Para que a modelagem matemática seja concluída através do software, é necessário monitorar todas as características principais do sistema de abastecimento de água do município de Américo Brasiliense. Desta forma o presente trabalho foi dividido em etapas, sendo estas:

- Elaboração de mapa base cadastral da rede de distribuição de água;
- Medição através de métodos pitométricos e ensaios hidráulicos;
- Análise dos dados da micromedição visando obter os consumos per captas micromedidos de água do município;
- Modelagem matemática da rede de distribuição de água (EPANET) e elaboração de índices para controles de perdas;
- Proposições de medidas preventivas para o combate da redução de perdas de água no município.

4.1. Elaboração do cadastro da rede de distribuição de água

Nesta etapa foi realizado acesso a todos mapas do município, sejam eles digitalizados ou não, relacionados ao sistema de abastecimento de água, incluindo as unidades operacionais existentes (poços, reservatórios e elevatórias), afim de que possa ser feito o recadastramento e o ajustamento da rede de abastecimento. Deve-se lembrar que, o município de Américo Brasiliense já possuía o mapa topográfico e georreferenciado cadastrado da área urbana da cidade. Assim, foram realizadas as seguintes atividades:

- reuniões com o pessoal de campo e escritório para adquirir o máximo de informações à respeito das redes de distribuição;
- Levantamento das plantas digitais existentes associadas às redes de distribuição;
- Digitalização em plantas na escala 1:3.000, os arruamentos, curvas de nível, redes de distribuição (incluindo material e diâmetro) e unidades operacionais (poços, reservatórios e elevatórias) existentes integrantes do sistema de abastecimento de água locadas no mapa;

4.2. Obtenção do perfil de consumo de água através do monitoramento das vazões pelo processo de pitometria

Na saída do reservatório de distribuição de água foi realizado o monitoramento das vazões e pressões por um período de sete dias consecutivos através do processo de pitometria. Assim, foi utilizado o equipamento contendo data logger para armazenar os dados a cada 10 minutos, visando obter o perfil de consumo de água.

Desta forma foram realizados ensaios com medições de vazão e pressão para determinação dos parâmetros hidráulicos de água tratada na saída de um reservatório principal do sistema de abastecimento de água.

4.3. Análise dos dados da micromedição visando obter os consumos micromedidos de água do município

O sistema de abastecimento de água de Américo Brasiliense possui 9.788 hidrômetros instalados. Deste total, apenas 10,6% foram instalados ou aferidos em menos de cinco (5) anos, ou seja, 89,4% dos hidrômetros estão instalados e sem aferição a mais de cinco anos. Este fato representa em um desvio da quantificação na micromedição, pois segundo o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) os hidrômetros precisam ser aferidos com no máximo cinco anos de uso, pois estes perdem a precisão devido ao desgaste do rolamento do equipamento, comprometendo a leitura. Ressalta-se ainda que o volume medido passa a ser inferior ao real, ocasionando prejuízo financeiro para o sistema de abastecimento.

Assim, no presente trabalho foram analisados os dados da micromedição para o ano de 2011 visando obter os consumos micromedidos de água do município. Assim, com tais dados foi possível abastecer o modelo matemático visando simular os consumos de água com proximidade da realidade. Logo, também deve-se considerar as perdas aparentes, ou seja, submedição dos equipamentos.

4.4. Modelagem matemática através do software EPANET da rede de distribuição de água do município de Américo Brasiliense;

Após a elaboração do cadastro da rede de distribuição de água, bem como dos dados do perfil de consumo e do per capita micromedido do município de Américo Brasiliense, foi realizado o modelagem matemática através do software EPANET para simular o abastecimento de água. Assim, foram realizadas simulações de vazões e pressões em condições dinâmicas e estáticas do sistema de abastecimento de água. Destaca-se que a simulação foi realizada para que o projeto de setorização seja implantado, pois atualmente o município não está setorizado.

Assim, para a modelagem foi utilizada as formulas de Hazen-Willians para cálculo das perdas de cargas, sendo adotado o coeficiente C igual a 130 para tubos de PVC, 100 para tubos de FoFo e 110 para tubos de Cimento Amianto (CA).

$$J = 10,643 \cdot C^{-1,852} \cdot D^{-4,87} \cdot Q^{1,852}$$

Onde:

Q= vazão (m³/s)

D= diâmetro interno do tubo (m)

J= perda de carga unitária (m/m)

C= coeficiente que depende da natureza (material e estado) das paredes do tubo

Considerando que, teoricamente, o coeficiente C é limitado por não considerar da rugosidade relativa no escoamento, podendo haver diferença no escoamento devido às variações podendo gerar valores inferiores à realidade, na perda calculada para pequenos diâmetros e valores superiores em relação à grandes diâmetros caso não haja uma correção no valor anteriormente citado para cada material.

O consumo micromedido adotado foi o obtido junto aos dados da micromedição, enquanto que o perfil de consumo foi calculado através dos dados obtidos pelo monitoramento com pitometria na saída do reservatório.

4.5. Proposição de ações para o combate e a redução das perdas de água para o município.

Após a modelagem matemática da distribuição de água do município de Américo Brasiliense será possível realizar um diagnóstico do sistema. Desta forma, deverá ser

elaborado um relatório apresentando as ações com respectivos investimentos financeiros necessários para melhorias do sistema de abastecimento visando reduzir as perdas bem como adequar a rede de distribuição para o correto abastecimento de água.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, será relatado os resultados obtidos através dos procedimentos pelos quais o estudo foi submetido com o intuito de atingir seus objetivos. Tais resultados estarão detalhados segundo cada etapa realizada segundo os dados que foram constatados em análise de campo. A partir de tais dados verificados, é possível subsidiar cálculos com o intuito de comprovar a possibilidade de adequação no sistema de abastecimento público do município.

O estudo realizado demonstrou que existe a necessidade de uma seqüência de adequações descritas na tese, para que os resultados dos trabalhos sejam maximizados e tenham o melhor desempenho possível.

5.1. Elaboração do cadastro da rede de distribuição de água

O sistema de abastecimento de água de Américo Brasiliense é alimentado por dez poços artesianos. Na Tabela 01 é apresentada a relação dos poços existentes. Caso seja considerada a vazão de cada poço pelo seu tempo de funcionamento, conforme apresentado na Tabela 01, o sistema de abastecimento teria uma capacidade de produção igual a vazão bruta de $9.451\text{m}^3/\text{dia}$. Ainda, considerando que cada habitante consome 200 L.hab/dia (valor adotado de acordo com as entidades federais para populações menores de 50.000 habitantes), verifica-se que este sistema de abastecimento teria a capacidade de abastecer 47.255 habitantes sem considerar as perdas de água existentes no sistema de abastecimento. Destaca-se que atualmente o município de Américo Brasiliense possui 34.478 habitantes. Os índices de perdas de água do município é igual a 40,70%.

Tabela 01. Relação dos poços existentes no sistema de abastecimento de água do município de Américo Brasiliense.

Poço	Manancial	Localização	Construção	Prof. (m)	Q (m ³ /h)	Funcionamento (h/dia)	Qbruta(m ³ /dia)
1	Serra Geral	Margem direita do córrego Ponte Alta (Maria Mendes), rua Luiza Delfina da Silva, próximo ao bairro Luis Ometto	1967	145	20	18	360
2	Serra Geral	Próximo ao viveiro municipal, bairro Luis Ometto	1967	82	40	18	720
3	Serra Geral	Próximo à rua Toledo Pizza, no Jardim Ponte Alta	1986	133	12	18	216
4	Serra Geral	Margem direita do córrego Ponte Alta (Maria Mendes) próximo à avenida Joaquim Afonso da Costa, bairro Bela Vista	1980	120	80	17	1.360
5	Serra Geral	Próximo ao Distrito Industrial	1985	150	30	10	300
6	Serra Geral	Próximo à rua Lia Della Rolvere Perkin, Jardim São José	1987	156	35	10	350
7	Botucatu	Próximo ao Jardim Sílvia Bevilacqua	1988	415	140	18	2.520
8A	Serra Geral	Próximo ao recinto de eventos no bairro Luiz Ometto II	2005	169	25	17	425
9	Botucatu	Próximo à rua Nelson Schwenke, no Jardim Santa Terezinha	1997	350	80	20	1.600
10	Botucatu	Próximo aos edifícios da COHAB no Jardim Novo Américo	2006	377	160	10	1600
						Total	9.451

Os poços encaminham água direto para reservatórios de distribuição. Na Tabela 02 é apresentada a relação de todos os reservatórios existentes no sistema de abastecimento de água do município. Verifica-se que existe um volume de armazenamento de água no município de Américo Brasiliense igual a 4.500m³. Caso venha a ser considerado que cada morador do município consuma 200 L.hab/dia (valor de referência adotado por entidades federais para populações menores de 50.000 habitantes), faz-se necessário um volume requerido de reservação igual a 6.895,6m³. Verifica-se que o município possui um volume de armazenamento inferior ao requerido. No entanto, deve-se proceder uma análise setorial do município, a qual será realizada no transcorrer deste relatório.

Tabela 02. Relação dos reservatórios existentes no sistema de abastecimento de água do município.

Centro de Reservação	Reservatório	Capacidade (m ³)	Altura (m)
CRD1	Apoiado	1.000	8,00
	Apoiado	1.000	8,00
	Elevado	500	27,00
CRD2	Apoiado	100	5,00
	Elevado	50	13,00
CRD3	Apoiado	200	4,00
	Apoiado	200	4,00
	Elevado	150	14,00
CRD4	Apoiado	200	7,50
	Elevado	50	Desativado
CRD5	Apoiado	50	6,00
CRD6	Apoiado	250	11,55
	Elevado	250	13,00
EAT1	Apoiado	500	8,00
Total		4.500	

CRD – Centro de Reservação e Distribuição

EAT – Elevatória de Água Tratada

Na Figura 01 é apresentado a localização dos poços e reservatórios existentes no sistema de abastecimento de água do município de Américo Brasiliense.

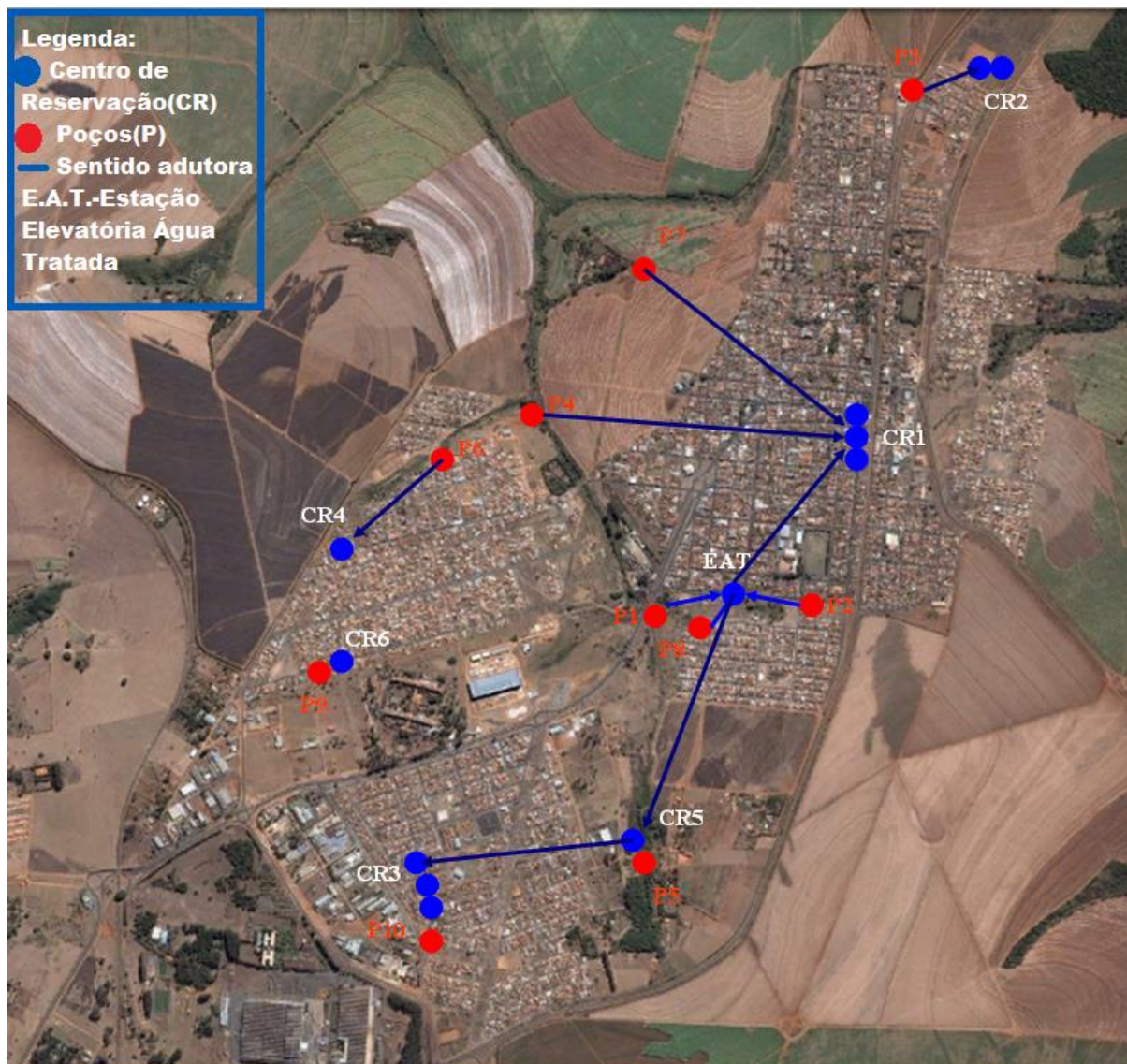


Figura 01. Localização dos poços (P) e centro de reservação (CR) existentes no sistema de abastecimento de água de Américo Brasiliense.

No presente trabalho foi realizado a digitalização em mapa do município das redes de distribuição, bem como das unidades existentes do sistema de abastecimento, tais como poços tubulares profundos, casas de bombas, adutoras, reservatórios de água tratada e a rede de distribuição. Esse cadastro está apresentada em anexo do presente documento. Na sequência é apresentado o descritivo das unidades operacionais existentes no sistema de abastecimento de água do município de Américo Brasiliense.

5.1.1. Centro de Reservação e Distribuição 01 (CRD1)

No Centro de Reservação e Distribuição 01 (CRD1) existem três reservatórios sendo dois apoiados e um elevado. Nas Figuras 02 a 06 são apresentadas as vistas dos reservatórios existentes no CRD1. São três lugares distintos que abastecem o CRD1, sendo estes:

- poço nº 07;
- poço nº 04;
- sistema denominado Estação Elevatório de Água Tratada (EAT1).



Figura 02. Vista do Centro de Reservação 01 (CRD1).



Figura 03. Vista do reservatório apoiado existente no CRD1.



Figura 04. Vista do reservatório elevado existente no CRD1.



Figura 05. Vista do reservatório apoiado existente no CRD1.



Figura 06. Vista do reservatório apoiado existente no CRD1.

O poço nº07 abastece direto o CR01 através de uma adutora de diâmetro igual a 200mm e material Ferro Fundido (FoFo). Neste poço existe válvula antecipadora de onda, a qual evita o retorno da água quando o poço está desligado, protegendo a bomba. O medidor

de vazão deste poço está instalado na chegada do reservatório apoiado metálico existente no CR01. Na Figura 07 é apresentada a fotografia do poço nº07.

O poço nº04 também abastece o CR01. No entanto este poço abastece primeiro uma caixa de alvenaria, situada ao lado do poço, que funciona como uma caixa de passagem. Conectado a esta caixa de alvenaria existe um sistema de recalque composto por dois conjuntos motor-bombas que recalcam água produzida no poço nº04 para o CR01 através de uma adutora de diâmetro igual a 150mm e PVC. Nas Figuras 08 a 10 são apresentadas fotografias do sistema do Poço nº04.



Figura 07. Poço nº07 que abastece o CRD1.



Figura 08. Poço nº04 que abastece o CRD1.



Figura 09. Caixa de alvenaria existente para armazenar a água produzida no poço nº04.



Figura 10. Conjuntos motor-bombas existentes no poço nº04 que recalcam água para o CRD1.

No poço nº04 existe um macromedidor de vazão do tipo Hidrômetro Woltman, bem como também possui válvula de retenção, a qual impede o retorno da água quando o poço é desligado.

Conforme já descrito, existem dois conjuntos motor-bombas que recalcam água da caixa de alvenaria que armazena a água produzida no Poço nº04, para o CRD1. No Quadro 01 são apresentados os dados técnicos destes dois conjuntos motor-bombas.

Quadro 01. Descrição técnica dos conjuntos motor-bombas existentes no recalque da água produzida no Poço nº04.

Conjunto Motor-Bomba	Descrição Técnica
B1	Fabricante: KSB Modelo: ETAN 50-200 Vazão: 80m ³ /h Altura manométrica: 70mca Potência do motor: 40cv Rotação do motor: 3500rpm
B2	Fabricante: KSB Modelo: Meganorm 50-200 Vazão: 80m ³ /h Altura manométrica: 72mca Potência do motor: 40cv Rotação do motor: 3560rpm

Três poços existentes no sistema de Américo Brasiliense abastecem um reservatório apoiado metálico situado no sistema denominado Estação Elevatória de Água Bruta 01 (EAB01). Deste reservatório apoiado existe um conjunto motor-bomba que recalca direto para o CR01 através de uma adutora de diâmetro igual a 150mm. Nas Figuras 11 e 12 são apresentadas as fotografias do reservatório e do conjunto motor-bomba existente no EAB01. No Quadro 02 são apresentados os dados técnicos do conjunto motor-bomba existente no EAB01.



Figura 11. Reservatório existente no EAB01.



Figura 12. Conjunto motor-bomba existente no EAB01.

Quadro 02. Descrição técnica do conjunto motor-bomba existente no recalque do EAB01.

Conjunto Motor-Bomba	Descrição Técnica
B1	Fabricante: KSB Modelo: Megabloc 50-200 Vazão: - (sem dados) Altura manométrica: - (sem dados) Potência do motor: 40cv Rotação do motor: 3500rpm

Na EAT01 também existe dois conjuntos motor-bombas menores (7,5cv) que possuem a flexibilidade de abastecer o Centro de Reservação 03 (CR03). No entanto, este sistema funciona como uma espera, ou seja, somente entra em operação quando existe uma necessidade de reforço no CR03.

Os poços que abastecem o reservatório do EAB01 são:

- Poço nº 01;
- Poço nº 02;
- Poço nº 08A.

O Poço nº 01 possui medidor de vazão do tipo Woltman bem como válvula de retenção. Este poço abastece o reservatório do EAB01 através de uma adutora de diâmetro igual a 100mm. Na Figura 13 é apresentada fotografia do Poço nº 01.

O Poço nº 02 possui medidor de vazão do tipo Woltman bem como válvula de retenção para evitar o retorno de água quando o poço está desligado. Este poço abastece o reservatório do EAB01 através de uma adutora de diâmetro igual a 100mm e está situado no mesmo terreno do EAB01. Na Figura 14 é apresentada fotografia do Poço nº 02.



Figura 13. Poço nº 01.



Figura 14. Poço nº 02.

O Poço nº 08A possui medidor de vazão do tipo Woltman bem como válvula de retenção. Este poço abastece o reservatório do EAB01 através de uma adutora de diâmetro igual a 75mm. Na Figura 15 é apresentada fotografia do Poço nº 08A.



Figura 15. Poço nº 08A.

Desta forma, toda água que chega no CRD1 é armazenada em um dos reservatórios apoiados que está em vaso comunicante com o outro reservatório apoiado, pois ambos possuem a mesma altura. Existe um sistema de recalque, que recalca água do reservatório apoiado para o reservatório elevado existente dentro da área do CRD1. Este sistema de recalque é composto por dois conjuntos motor-bombas iguais. Nas Figuras 16 e 17 são apresentadas as fotografias do referido sistema de recalque existente no CRD1.



Figura 16. Sistema de recalque existente no CRD1 para abastecer o reservatório elevado.



Figura 17. Conjuntos motor-bombas existentes no CRD1 para abastecer o reservatório elevado.

Conforme já descrito, existem dois conjuntos motor-bombas que recalcam água do reservatório apoiado para o elevado, ambos existentes no CRD1. No Quadro 03 são apresentados os dados técnicos destes dois conjuntos motor-bombas.

Quadro 03. Descrição técnica dos conjuntos motor-bombas existentes no recalque para o reservatório elevado do CRD1.

Conjunto Motor-Bomba	Descrição Técnica
B1 e B2	Fabricante: KSB Modelo: ETAN 150-315 Vazão: 453m³/h Altura manométrica: 30mca Potência do motor: 75cv Rotação do motor: 1750rpm

Assim, o abastecimento para a rede de distribuição é realizado somente pelo reservatório elevado do CRD1, sendo que os outros dois reservatórios apoiados possuem a função de somente armazenar a água. Desta forma, existem duas redes que saem do reservatório elevado e abastecem o sistema de distribuição de água tratada.

5.1.2. Centro de Reservação e Distribuição 02 (CRD2)

O Centro de Reservação nº02 (CRD2) possui dois reservatórios, sendo um apoiado e outro elevado. O abastecimento destes reservatórios é através do Poço nº03 que alimenta através de uma rede de diâmetro 75mm o reservatório apoiado. Existe um conjunto motor-bomba que recalca do reservatório apoiado para o reservatório elevado. O abastecimento para rede é através de uma tubulação de diâmetro 150mm que sai do reservatório elevado e abastece a rede por gravidade. Nas Figuras 18 e 19 são apresentadas fotografias dos reservatórios existentes no CRD2, bem como o Poço nº03 que abastece estes reservatórios. O Poço nº03 possui macromedidor de vazão do tipo Hidrômetro Woltman e válvula de retenção, evitando assim o retorno da água quando este é desligado.



Figura 18. Reservatórios existentes no CRD2.



Figura 19. Poço nº03 que abastece o CRD2.

5.1.3. Centro de Reservação e Distribuição 3 (CRD3)

O Centro de Reservação 3 (CRD3) possui três reservatórios, sendo dois semi-enterrados e um elevado. O abastecimento destes é realizado através do Poço nº10 que através de uma tubulação de diâmetro 200mm abastece um reservatório semi-enterrado. Os dois reservatórios apoiados são iguais e estão em vaso comunicante. Existe um conjunto motor-bomba que recalca a água do reservatório apoiado para o reservatório elevado. Do reservatório elevado existe uma saída de diâmetro 200mm que abastece a rede por gravidade. Nas Figuras 20 e 21 são apresentadas fotografias do CRD3, bem como do Poço nº10 que realiza o abastecimento dos reservatórios existentes nestes. O Poço nº10 possui macromedidor de vazão do tipo Hidrômetro Woltman e válvula de retenção, evitando assim o retorno da água quando este é desligado.



Figura 20. Vista dos reservatórios existentes no CRD3.



Figura 21. Vista do Poço nº10 que abastece o CRD3.

O Centro de Reservação nº3 (CRD3) também é abastecido por um sistema de recalque composto de dois conjuntos motor-bomba, sendo um de reserva, e tubulação de diâmetro 100mm. Este sistema de bombeamento recalca água de um reservatório de pequenas dimensões (volume igual a 50m^3) que é abastecido pelo Poço nº5 que está situado no mesmo terreno do referido reservatório. Nas Figuras 22 e 23 são apresentadas fotografias do Poço nº5 bem como dos conjuntos motor-bombas que recalcam água para o CRD3.

O Poço nº5 possui macromedidor de vazão do tipo Hidrômetro Woltman e válvula de retenção.

No Quadro 04 são apresentadas as descrições técnicas dos conjuntos motor-bombas existentes no recalque do reservatório do Poço nº5 para o CRD3.



Figura 22. Vista do Poço nº5 e do reservatório de 50m³.



Figura 23. Vista dos conjuntos motor-bombas existentes junto ao Poço nº5.

Quadro 04. Descrição técnica dos conjuntos motor-bombas existentes no recalque do CRD5.

Conjunto Motor-Bomba	Descrição Técnica
B1 e B2	Fabricante: KSB Modelo: ANS 65-200 Vazão: 96m ³ /h Altura manométrica: 74mca Potência do motor: 40cv Rotação do motor: 3500rpm

Também existe uma flexibilidade operacional no sistema, que consiste de uma tubulação de diâmetro 150mm que vem através de um recalque existente no EAB1 e abastece o reservatório existente de 50m³, sendo que este recalque pode operar nos dois sentidos. No entanto, este sistema não costuma ser utilizado, servindo, portanto em um caso de emergência.

5.1.4. Centro de Reservação e Distribuição 4 (CRD4)

O Centro de Reservação nº4 (CRD4) é abastecido pelo Poço nº6 através de uma tubulação de diâmetro 75mm. Neste centro de reservação existem dois reservatórios, sendo um apoiado e um elevado. Ressalta-se que o reservatório elevado encontra-se desativado, uma vez que este necessita de reformas para entrar em operação. Nas Figuras 24 e 25 são apresentadas fotografias do CRD4, bem como do Poço nº6 que realiza o abastecimento do

reservatório existente neste. O Poço nº6 possui macromedidor de vazão do tipo Hidrômetro Woltman e válvula de retenção.



Figura 24. Reservatórios existentes no CRD4.

Figura 25. Poço nº06 que abastece o CRD4.

5.1.5. Centro de Reservação e Distribuição 6 (CRD6)

O Centro de Reservação nº6 (CRD6) é abastecido pelo Poço nº09 através de uma tubulação de diâmetro igual a 150mm. Neste centro de reservação existe um reservatório apoiado, que possui duas câmaras de capacidades iguais, sendo uma superior e uma inferior. Existe um conjunto motor-bomba que recalca água da câmara inferior para a câmara superior, da qual é realizada o abastecimento para a rede de distribuição através de gravidade.

Nas Figuras 26 e 27 são apresentadas fotografias do CRD6, bem como do Poço nº9 que realiza o abastecimento do CRD6. O Poço nº9 possui macromedidor de vazão do tipo Hidrômetro Woltman e válvula de retenção, evitando assim o retorno da água quando este é desligado.



Figura 26. Vista do Poço nº 09 que abastece o CRD6.



Figura 27. Vista do reservatório existente no CRD6.

5.2. Perfil de consumo de água através do monitoramento das vazões pelo processo de pitometria

Para obter o perfil de consumo de água pela população do município de Américo Brasiliense, foi instalada uma Estação Pitométrica (EP) na saída do reservatório elevado do CRD1 para a rede de distribuição, na tubulação de diâmetro 200mm. Com esta estação pitométrica instalada, foi possível introduzir o tubo Pitot e monitorar a vazão e pressão na rede de distribuição. Na Figura 28 é apresentada a fotografia do momento em que foi inserido o tubo Pitot na tubulação e foi realizado as medições de vazão e pressão por um período de 7 dias consecutivos.



Figura 28. Monitoramento de vazão na EP 02.

Nas Figuras 29 e 30, são apresentados os dados de vazão e pressão monitorados através de pitometria na tubulação que abastece a rede de distribuição. Observa-se na Figura 30, que os dois primeiros dias apresentou maiores vazões quando comparado com os outros dias monitorados. Este fato é justificado por estes dois dias serem sábado e domingo, e por este motivo o consumo tende a aumentar, pois a população tende a fazer algumas atividades nestes dias, tais como lavagem de carro, lavagem de pisos das casas, encher piscina para recreação, etc.

A partir das equações abaixo, é possível adequar os valores dos coeficientes relativos ao consumo, deve-se lembrar que, os coeficientes estão padronizados de acordo com a SUDENE, FSESP, DNOS) :

$Q_{hmc} = Q_{max} \cdot k_1$, k_1 - coeficiente para vazão da hora de maior consumo(adota-se:1,25);

$Q_{dmc} = Q_{max} \cdot k_2$, k_2 - coeficiente para vazão do dia de maior consumo(adota-se:1,5)

Após análise dos dados, foi possível constatar que a vazão mínima noturna é igual em média a 7,3 L/s, indicando uma tendência de vazamentos. Também foi possível constatar que o coeficiente da hora de maior consumo é igual a 1,45 e o coeficiente do dia de maior consumo é igual a 1,23.

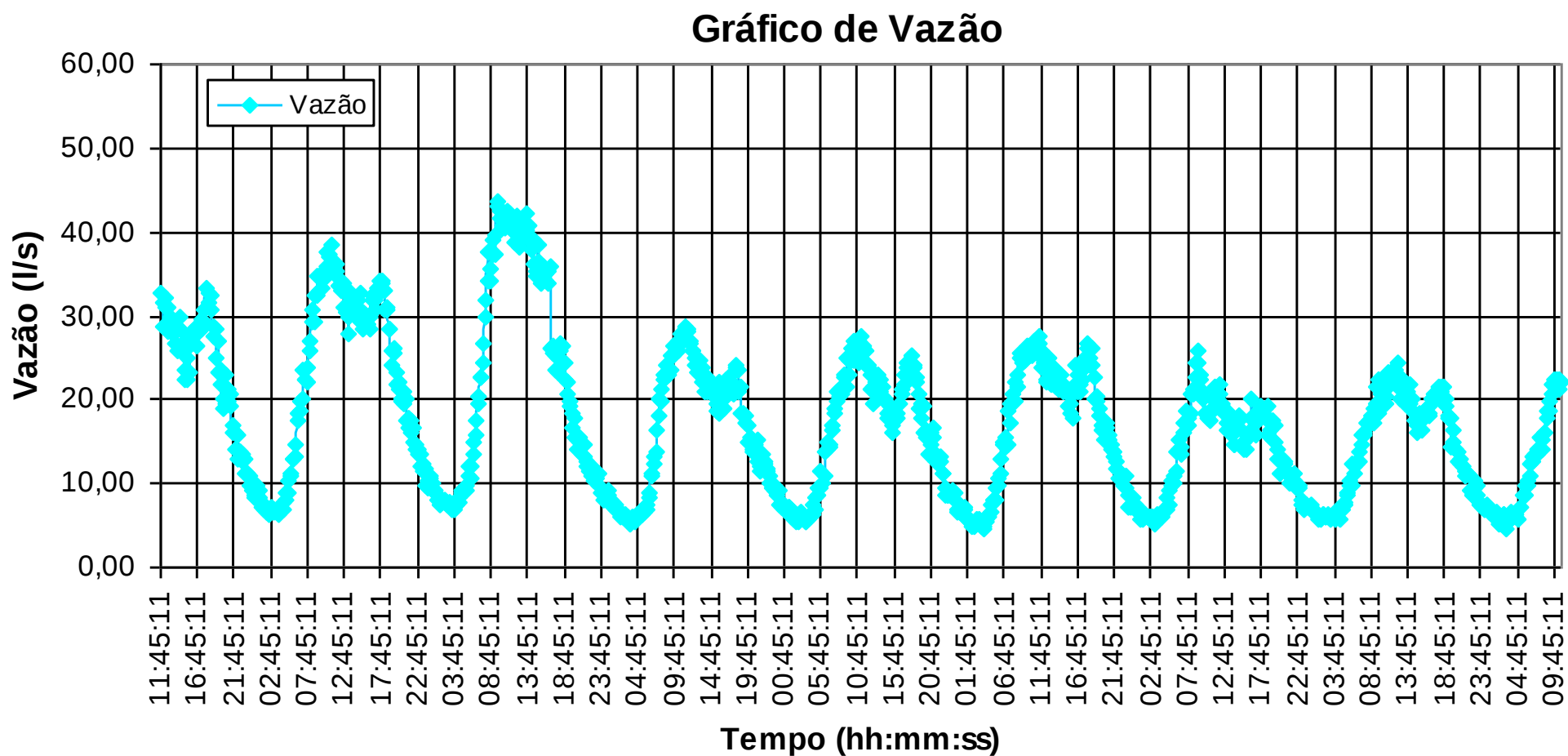


Figura 29. Resultados das medidas de vazão por método pitométrico em tubulação de (200mm) na saída do reservatório elevado do CR01.

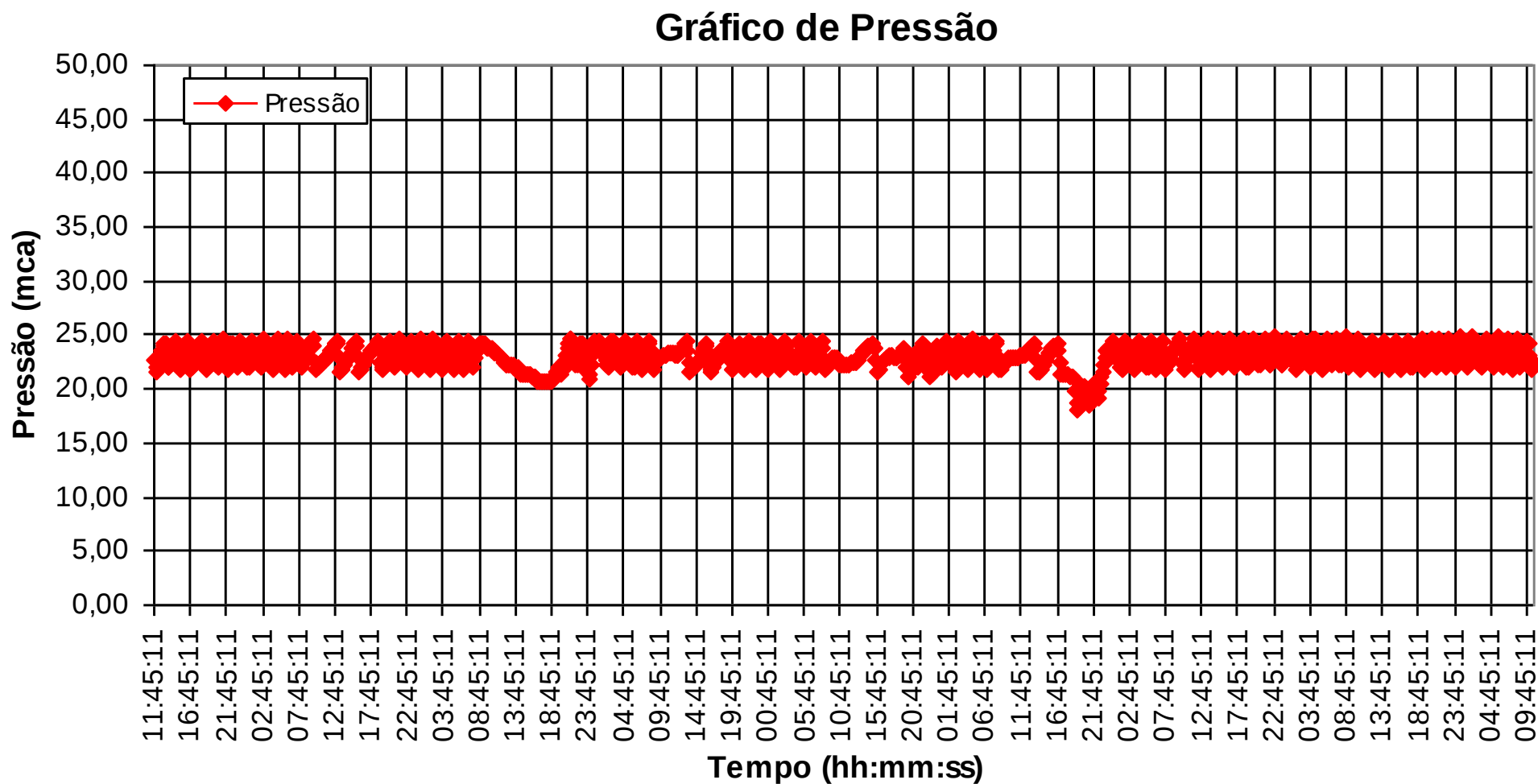


Figura 30. Variação da pressão na tubulação (200mm) de saída do reservatório elevado do CR01.

5.3. Análise dos dados da micromedição visando obter os consumos micromedidos de água do município

O sistema de abastecimento de água de Américo Brasiliense possui 9.788 hidrômetros instalados. Deste total, apenas 10,6% foram instalados ou aferidos em menos de cinco (5) anos, ou seja, 89,4% dos hidrômetros estão instalados e sem aferição a mais de cinco anos. Este fato representa em um desvio da quantificação na micromedição, pois segundo o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) os hidrômetros precisam ser aferidos com no máximo cinco anos de uso, pois estes perdem a precisão devido ao desgaste do rolamento do equipamento, comprometendo a leitura. Ressalta-se ainda que o volume medido passa a ser inferior ao real, ocasionando prejuízo financeiro para o sistema de abastecimento.

Na sequência é apresentada a Tabela 3 com a quantificação dos hidrômetros do município de Américo Brasiliense separados por faixa de tempo de instalação. Verifica-se que 46,3% dos hidrômetros do município foram instalados a mais de 15 anos, sendo recomendada a troca destes equipamentos ou a sua aferição, bem como dos hidrômetros com mais de cinco anos de uso.

Tabela 3. Relação de hidrômetros por período de instalação.

Tempo de Instalação	Quantidade de Hidrômetros	Porcentagem (%)
Mais de 15 anos	4.529	46,27
Entre 10 e 15 anos	3.106	31,73
Entre 8 e 10 anos	561	5,73
Entre 6 e 8 anos	556	5,68
Menos de 5 anos de uso	1.036	10,58
Total	9.788	100,00

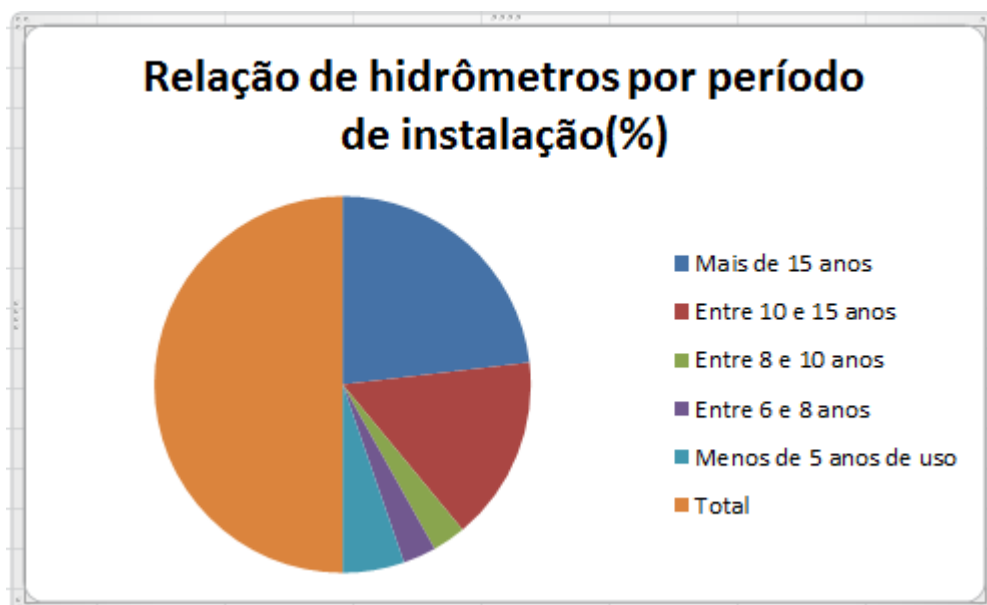


Figura 31- Disposição da tabela anterior em forma de gráfico em porcentagem da relação entre a quantidade de hidrômetros por período de instalação no município.

O Departamento de Água e Esgoto já possui a divisão dos consumidores do seu parque de hidrômetros, sendo estas:

- comercial;
- escola;
- igreja;
- industrial;
- ligação morta;
- mista;
- prédio de dependência municipal;
- residencial;
- terreno vago / sem moradores.

Na Tabela 4 são apresentados os consumos referentes a cada categoria de usuário do município de Américo Brasiliense.

Tabela 4. Consumos referentes a cada categoria de usuário de água do município de Américo Brasiliense.

Categoria	Número de Hidrômetros	Número de hidrômetros instalados a mais de 5 anos	Consumo Anual (m³/ano)	Consumo por ligação (m³/lig.mês)
Comercial	221	191	42.504	16,03
Escola	7	7	14.090	167,74
Igreja	2	2	663	27,63
Industrial	67	58	41.363	51,45
Ligação Morta	2	2	0	0,00
Mista	378	371	106.983	23,59
Prédio de dependência municipal	6	6	378	5,25
Residencial	8.978	8.034	1.917.779	17,80
Terreno vago/ sem morador	127	83	16.150	10,60

Observa-se que o consumo médio de uma ligação no setor residencial é igual a 17,80 m³/lig.mês, enquanto que para o setor comercial este valor é inferior, ou seja, 16,03 m³/lig.mês. Como era de se esperar, o setor industrial apresenta um consumo por ligação superior, ou seja, igual a 51,45m³/lig.mês. Observa-se que 87% dos hidrômetros do setor industrial possuem mais de 5 anos de uso, sendo recomendado atenção especial a estes hidrômetros em virtude dos maiores faturamentos.

Na Tabela 5 é apresentado o intervalo de classes do consumo mensal por ligação (residencial) associada a ocorrência de ligações que possuem consumo neste intervalo.

Tabela 5. Intervalo de classes do consumo mensal por ligação (residencial) associada a ocorrência de ligações que possuem consumo neste intervalo.

Classes	Intervalo de consumo mensal por ligação (m ³ /lig.mês)		Número de hidrômetros que possuem consumo mensal dentro do intervalo	Frequência de ocorrência dos hidrômetros dentro do intervalo de consumo mensal por ligação (%)	Frequência Acumulada
1	1.500,0	100,1	19	0,19	0,19
2	100,0	50,1	162	1,66	1,85
3	50,0	40,1	215	2,20	4,05
4	40,0	30,1	741	7,58	11,63
5	30,0	20,1	2.088	21,36	32,99
6	20,0	15,1	1.894	19,38	52,37
7	15,0	10,1	2.118	21,67	74,04
8	10,0	5,1	1.510	15,45	89,48
9	5,0	2,1	504	5,16	94,64
10	2,0	0,0	524	5,36	100,00
Total				100,00	

Analisando a Tabela 5, verifica-se que 47,64% dos hidrômetros existentes no sistema de abastecimento de água de Américo Brasiliense possuem um consumo mensal inferior a 15,0 m³/lig.mês e que 21,36% dos hidrômetros possuem um consumo mensal no intervalo de 20,1 a 30,0 m³/lig.mês.

A partir da Tabela 05 foi possível esboçar a curva de permanência do consumo mensal micromedido no sistema de abastecimento de água de Américo Brasiliense (Figura 31). O objetivo desta curva é estimar a porcentagem de hidrômetros no sistema de abastecimento de água de Américo Brasiliense que possuem consumos médios mensais superiores a um determinado valor.

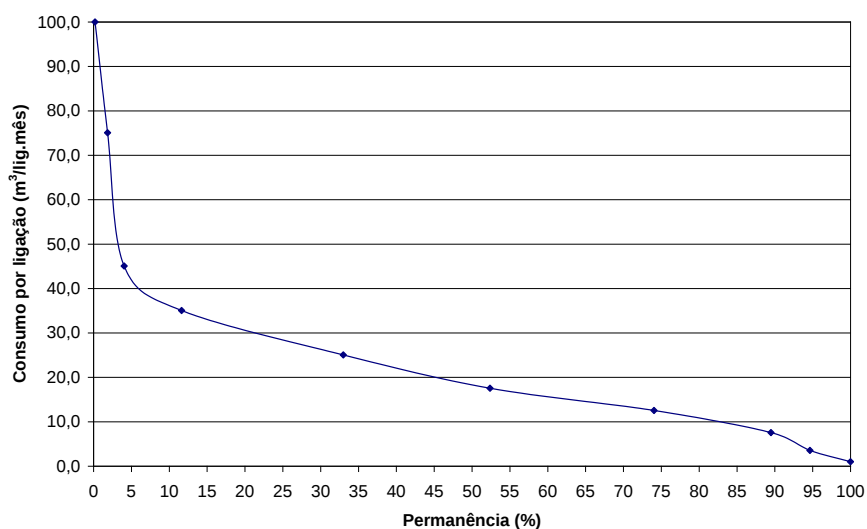


Figura 32. Curva de permanência do consumo mensal micromedido no sistema de abastecimento de água de Américo Brasiliense.

5.4. Modelagem matemática da rede de distribuição de água do município de Américo Brasileiro (software EPANET)

Para realizar a modelagem hidráulica do sistema de abastecimento de água de Américo Brasileiro, foi realizado a delimitação dos setores abastecidos por um determinado reservatório. Assim, na sequência é apresentado um descritivo de cada setor de distribuição de água do município, sendo a delimitação dos setores apresentada na Figura 32.

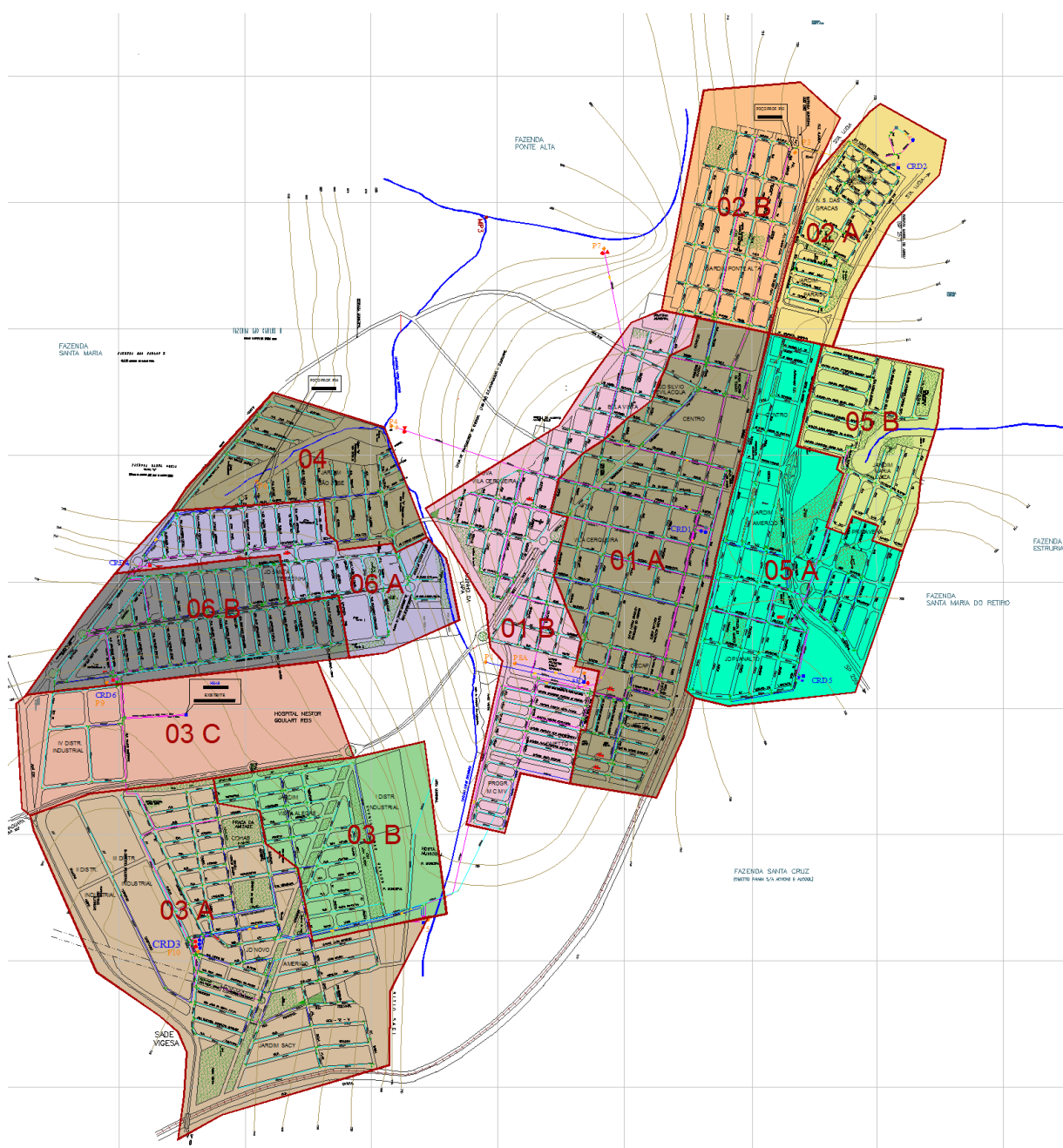


Figura 33. Delimitação dos setores de distribuição de água do município de Américo Brasileiro.

A delimitação dos setores de distribuição de água segue alguns critérios que são essenciais para o funcionamento exato de cada setor, como a pressão (intervalo de 10m.c.a. e 50m.c.a., conforme a norma técnica), vazão, velocidade, levantamento topográfico da área (perfil do relevo), evidências de problemas de abastecimento em determinadas regiões, monitoramento do perfil de consumo do município. Na Tabela 6 é apresentado a relação dos setores de abastecimento de água do município de Américo Brasiliense.

Tabela 06. Relação dos setores de abastecimento do município de Américo Brasiliense.

Setor	CRD	Bairro atendido
1A	CRD1	Centro (Parcial)
		Vila Cerqueira (Parcial)
		Jardim Luis Ometto I
		Jardim Bela Vista (Parcial)
		CECAP
1B	CRD1	Vila Cerqueira (Parcial)
		Nova Vila Cerqueira
		Jardim Luis Ometto II
		Loteamento Sílvia Bevilacqua
		Jardim Bela Vista (Parcial)
2A	CRD2	Jardim N. Senhora das Graças
		Jardim Paraíso
		Sinhá Prado Guimarães
2B	CRD2	Jardim Ponte Alta
3A	CRD3	COHAB
		Jardim Novo Américo
		Jardim Sacy
3B	CRD3	Jardim Vista Alegre
3C	CRD3	I Distrito Industrial
		III Distrito Industrial
4	CRD4	Jardim São José (Parcial)
5A	CRD5	Centro (Parcial)
		Jardim Planalto
		Jardim Primavera
		Jardim Américo
5B	CRD5	Jardim Maria Luiza
6A	CRD6	Parte Baixa do Jardim Santa Terezinha
6B	CRD6	Parte Alta do Jardim Santa Terezinha
		Jardim São José (Parcial)

5.4.1. Setor 01A

Este setor será alimentado pelo Reservatório Elevado existente no Centro de Reserva 01 (CRD1). A entrada de água neste setor é efetuada através de uma (01) tubulação com diâmetro igual a 200mm. Na Tabela 07 são apresentados as principais

características hidráulicas do Setor 1A. Verifica-se que este setor necessita de um volume de reservação igual a 1.780 m^3 . Conforme já descrito, este setor será abastecido pelo reservatório elevado (volume igual a 500 m^3) do CRD1 que possui volume total de armazenamento igual a 2.500 m^3 . Como o CRD1 também será responsável pelo abastecimento do Setor 1B, deve-se realizar a análise de capacidade de armazenamento existente em relação a requerida, considerando os dois setores (1A e 1B). Assim, nos próximos itens serão realizadas esta discussão.

Tabela 07. Dados referentes ao Setor 1A.

Parâmetro	Valor
Vazão Média* = $Q_{\max.0,5}$	23,3L/s
Vazão (dmc) = $Q_{\max.1,5}$	29,1L/s
Vazão (hmc) = $Q_{\max.1,2}$	43,6L/s
Vol_{req}	1.780 m^3
Abastecimento	Elevado – CRD1
Número de ligações	1.721un.
Q_{Prod}	$139,7 \text{ m}^3/\text{h}$

* - Calculada a partir dos dados do consumo per capta (292 L/hab.dia).

5.4.2. Setor 01B

Este setor será alimentado pelo Reservatório Apoiado existente no Centro de Reservação 01 (CRD1). A entrada de água neste setor será efetuada através de uma (01) tubulação com diâmetro igual a 200mm que poderá ser implantada.

Na Tabela 8 são apresentados as principais características hidráulicas do Setor 1B. Verifica-se que este setor necessita de um volume de reservação igual a $370,0 \text{ m}^3$. Conforme já descrito, este setor será abastecido pelo reservatório apoiado (volume igual a 1.000 m^3) do CRD1 que possui volume total de armazenamento igual a 2.500 m^3 .

Tabela 8. Dados referentes ao Setor 1B.

Parâmetro	Valor
Vazão Média* = $Q_{\max}.0,5$	15,8L/s
Vazão (dmc) = $Q_{\max}.1,5$	19,7L/s
Vazão (hmc) = $Q_{\max}.1,2$	29,6L/s
Vol_{req}	1.210 m ³
Abastecimento	Apoiado – CRD1
Número de ligações	1.167un.
Q_{Prod}	94,6 m ³ /h

* - Calculada a partir dos dados do consumo per capta (292 L/hab.dia).

Na tabela acima, o valor de consumo per capta por corrigido após a simulação hidráulica e os dados coletados e monitorados das estruturas hídricas correspondentes. Assim, como o CRD1 será responsável pelo abastecimento dos Setores 1A e 1B, conclui-se uma necessidade de capacidade de reserva requerida igual a 2.990 m³ (1.780m³ + 1.210m³). Como CRD1 possui uma capacidade total de armazenamento igual a 2.500m³, constata-se que a capacidade de armazenamento está no limite. No entanto, deve-se também considerar que existe o reservatório apoiado de 500m³ existente na EAT01, que recalca água produzida nos poços P1, P2 e P8A para o CRD1. Assim, caso venha a surgir novos loteamentos dentro deste setor, recomenda-se que a Prefeitura de Américo Brasiliense solicite ao empreendedor do loteamento que execute um reservatório para atender os novos lotes que serão construídos.

Também deve-se preocupar com a vazão da bomba que recalca para o reservatório elevado do CRD1, pois como este reservatório elevado somente possui capacidade igual a 500m³, considera-se que este deve ser abastecido por uma vazão que seja no mínimo igual a vazão da hora de maior consumo do setor 1A. Assim, como a vazão da hora de maior consumo do Setor 1A é igual a 43,6L/s, a vazão de operação da bomba deve ser igual a 43,6L/s (157,0 m³/h). Segundo os dados da placa de bomba do referido conjunto motor-bomba a vazão é igual a 453m³/h. Sendo assim, não há necessidade de mudar o conjunto motor-bomba existente.

No entanto, somando-se toda a produção de água que abastece os dois setores (1A e 1B), sendo os poços responsáveis P1, P2, P4, P7 e P8A, tem-se um total igual a 229,59 m³/h, conforme apresentado na Tabela 09. Porém, somando-se as vazões necessárias de produção dos dois setores, tem-se uma vazão necessária igual a 234,3 m³/h que é maior que a vazão disponível na atualidade.

Ressalta-se que o Poço P4 recalca água para uma caixa de passagem que está situada ao lado do poço e nesta existe um conjunto motor-bomba que recalca para o CRD01. Assim, o Poço P4 atualmente liga e desliga com alta frequência, pois a caixa de passagem possui pequena capacidade de reservação. Desta forma, recomenda-se a implantação de um reservatório apoiado de capacidade igual a 500m^3 que deverá ser implantado ao lado do Poço P4 e terá um conjunto motor-bomba que fará o recalque para o CRD1.

Também deve-se implantar um novo reservatório de capacidade igual a 500m^3 situado ao lado do Poço P7 que terá a função de receber água deste poço e de um novo poço que deverá ser implantado cuja a denominação será dada de Poço P7A. Ressalta-se que este novo reservatório terá dois recalques, sendo um para o CRD1 e outro para o CRD2 que será justificado no próximo item. O novo Poço P7A terá uma vazão igual a $50\text{m}^3/\text{h}$. Desta forma, o poço existente P7 também terá um aumento de eficiência, pois a sua altura manométrica será reduzida com a implantação do novo reservatório que será implantado ao seu lado.

Tabela 09. Vazões dos poços que abastecem o CR01.

Poço	Vazão (m^3/h)
01	22,15
02	36,27
04	58,52
07	89,59
08A	23,06
Total	229,59

Para abastecer o Setor 1B faz-se necessário executar as seguintes obras:

- implantação de uma adutora de alimentação de diâmetro 200mm e material DeFoFo com comprimento total igual a 575,00 m;
- implantação de uma adutora de diâmetro 150mm e material DeFoFo com comprimento total igual a 615,00 m;
- implantação de uma adutora de reforço de diâmetro 100mm e material PVC PBA com comprimento total igual a 235,60m.
- implantação de uma adutora de reforço de diâmetro 100mm e material PVC PBA com comprimento total igual a 402,60m.

5.4.3. Setor 02 A

Existem dois reservatórios existentes no CRD2, sendo um apoiado de capacidade igual a 100m^3 e um elevado de 50m^3 . No entanto estes dois reservatórios estão comprometidos estruturalmente, sendo recomendado a desativação destes.

Desta forma, o Setor 2A será alimentado por um novo reservatório a ser implantado no Centro de Reserva 02 (CRD2). A entrada de água neste setor será efetuada através de uma (01) tubulação com diâmetro igual a 100mm. Na Tabela 10 são apresentados as principais características hidráulicas do Setor 2A. Verifica-se que este setor necessita de um volume de reservação igual a 315 m^3 . O novo reservatório que abastecerá este setor será um reservatório elevado de altura igual a 20 metros e volume igual a 300m^3 . Ressalta-se que no CRD2 também será implantado um reservatório apoiado de volume igual a 800m^3 que terá um conjunto motor-bomba que recalcará para o reservatório elevado de 300m^3 que abastecerá o Setor 2A. Este reservatório apoiado de capacidade igual a 800m^3 terá a função de abastecer o Setor 2B que será justificado no próximo item.

O conjunto motor-bomba que recalcará do reservatório apoiado de 800m^3 a ser implantado para o reservatório de 300m^3 que abastecerá o Setor 2A, deve possuir uma vazão de operação igual a vazão máxima diária do setor 2A, que é igual a $5,1\text{L/s}$ ($18,4\text{m}^3/\text{h}$).

Atualmente o CRD2 é abastecido pelo Poço nº3, que segundo o monitoramento das vazões realizados neste trabalho, o referido poço está operando com $15,06\text{ m}^3/\text{h}$ ($4,2\text{ L/s}$). Verifica-se que a vazão de operação deste poço não atende a vazão de produção necessária do Setor 2A que é igual a $24,5\text{ m}^3/\text{h}$. Desta forma, como o CRD2 também abastecerá o setor 2B, no próximo item será mencionado a necessidade de ampliação da produção e da reservação para atender os setores 2A e 2B.

Tabela 10. Dados referentes ao Setor 2A.

Parâmetro	Valor
Vazão Média(l/s)*= $Q_{\text{max.0,5}}$	4,07
Vazão (dmc) (l/s)= $Q_{\text{max.1,5}}$	5,10
Vazão (hmc) (l/s)= $Q_{\text{max.1,2}}$	7,60
$\text{Vol}_{\text{req}} (\text{m}^3)$	315
Abastecimento	Elevado CRD2
Número de ligações	301
$Q_{\text{Prod}} (\text{m}^3/\text{h})$	24,5

* - Calculada a partir dos dados do consumo per capta (292 L/hab.dia).

Para abastecer o Setor 2A faz-se necessário executar as seguintes obras:

- implantação de uma adutora de reforço de diâmetro 100mm e material PVC PBA com comprimento total igual a 272,50m.

5.4.4. Setor 02 B

Conforme descrito anteriormente, este setor será alimentado por um novo reservatório a ser implantado junto ao Centro de Reservação 02 (CRD2). A entrada de água neste setor será efetuada através de uma (01) tubulação com diâmetro igual a 150mm a ser implantada. Na Tabela 11 são apresentados as principais características hidráulicas do Setor 2B. Verifica-se que este setor necessita de um volume de reservação igual a 765 m^3 . O abastecimento deste setor será realizado por um novo reservatório a ser implantado que terá a capacidade de armazenamento igual a 800 m^3 . Assim, o centro de reservação CRD2 terá dois novos reservatórios sendo um apoiado de capacidade igual a 800 m^3 e um elevado de capacidade igual a 300 m^3 .

Também há necessidade de aumentar a produção de água para atender estes setores (2A e 2B), pois o poço que abastece atualmente o CRD2 é o poço 3 que possui uma vazão igual a $15,06 \text{ m}^3/\text{h}$. Como a vazão necessária de produção dos dois setores somadas é igual a $84,5 \text{ m}^3/\text{h}$, verifica-se a necessidade de realizar mais um poço com vazão igual a $70 \text{ m}^3/\text{h}$.

Assim, estão previstos a implantação de um novo poço situado ao lado do CRD2 que terá uma vazão igual a $25 \text{ m}^3/\text{h}$ e um novo poço que será implantado ao lado do Poço P7 que será denominado Poço P7A (vazão igual a $50 \text{ m}^3/\text{h}$), conforme descrito anteriormente. Como o novo poço P7A está situado ao lado do P7 faz-se necessário implantar uma adutora de comprimento 2.700 m e diâmetro 150mm para abastecer o CRD2.

Tabela 11. Dados referentes ao Setor 2B.

Parâmetro	Valor
Vazão Média(l/s)*= $Q_{\max.0,5}$	9,98
Vazão (dmc) (l/s)= $Q_{\max.1,5}$	12,50
Vazão (hmc) (l/s)= $Q_{\max.1,2}$	18,70
Vol_{req} (m ³)	765
Abastecimento	Apoiado CRD2
Número de ligações	738
Q_{Prod} (m ³ /h)	60,0

* - Calculada a partir dos dados do consumo per capta (292 L/hab.dia).

Para abastecer o Setor 2B faz-se necessário executar as seguintes obras:

- implantação de uma adutora de alimentação de diâmetro 150mm e material DeFoFo com comprimento total igual a 530,50 m, que interligará o CRD2 até a entrada do Setor;
- implantação de uma adutora de abastecimento do CRD2 proveniente do reservatório situado ao lado do novo poço P7 que terá diâmetro igual 150mm e material DeFoFo com comprimento total igual a 2.700 m;

5.4.5. Setor 03A

Este setor será abastecido por um novo reservatório de altura igual a 20 metros, que será implantado no Centro de Reservação 03 (CRD3). A entrada de água neste setor será efetuada através de uma (01) tubulação com diâmetro igual a 200mm que será implantada. Na Tabela 12 são apresentados as principais características hidráulicas do Setor 3A. Verifica-se que este setor necessita de um volume de reservação igual a 1580 m³. Como o CRD3 possui três reservatórios com uma capacidade total de reservação igual a 550m³ e estes reservatórios também abastecerão os setores 03B e 03C, nos próximos itens serão descritas sobre a necessidade de ampliação de reservação e produção.

Tabela 12. Dados referentes ao Setor 3A.

Parâmetro	Valor
Vazão Média(l/s)*= $Q_{\max.0,5}$	20,66
Vazão (dmc) (l/s)= $Q_{\max.1,5}$	25,80
Vazão (hmc) (l/s)= $Q_{\max.1,2}$	38,70
Vol_{req} (m ³)	1.580
Abastecimento	Elevado - CRD3
Número de ligações	1.528
Q_{Prod} (m ³ /h)	123,8

* - Calculada a partir dos dados do consumo per capta (292 L/hab.dia).

Para abastecer o Setor 3A faz-se necessário executar as seguintes obras:

- implantação de uma adutora de alimentação de diâmetro 200mm e material DeFoFo com comprimento total igual a 30,00 m;

5.4.6. Setor 03B

Este setor será abastecido pelo reservatório semi-enterrado de capacidade igual a 200m³ que está implantado no Centro de Reservação 03 (CRD3). A entrada de água neste setor será efetuada através de uma (01) tubulação com diâmetro igual a 200mm que será implantada. Na Tabela 13 são apresentados as principais características hidráulicas do Setor 3B. Verifica-se que este setor necessita de um volume de reservação igual a 500 m³. Como o CRD3 possui três reservatórios com uma capacidade total de reservação igual a 550m³ e estes reservatórios também abastecerão os setores 03A e 03C, nos próximos itens serão descritas sobre a necessidade de ampliação de reservação e produção.

Tabela 13. Dados referentes ao Setor 3B.

Parâmetro	Valor
Vazão Média(l/s)*= $Q_{\max.0,5}$	6,56
Vazão (dmc) (l/s)= $Q_{\max.1,5}$	8,20
Vazão (hmc) (l/s)= $Q_{\max.1,2}$	12,30
Vol_{req} (m ³)	500,00
Abastecimento	Semi-Enterrado - CRD3
Número de ligações	485
Q_{Prod} (m ³ /h)	39,4

* - Calculada a partir dos dados do consumo per capta (292 L/hab.dia).

Para abastecer o Setor 3B faz-se necessário executar as seguintes obras:

- implantação de uma adutora de alimentação de diâmetro 200mm e material DeFoFo com comprimento total igual a 644,00 m;

5.4.7. Setor 03C

Este setor será abastecido pelo reservatório elevado de capacidade igual a 150m³ que está implantado no Centro de Reservação 03 (CRD3). A entrada de água neste setor será efetuada através de uma (01) tubulação com diâmetro igual a 150mm. Na Tabela 14 são apresentados as principais características hidráulicas do Setor 3C. Verifica-se que este setor necessita de um volume de reservação igual a 100 m³, sendo que o reservatório elevado que será responsável pelo abastecimento possui 150m³, ou seja, suficiente para atender o dia de maior consumo.

No entanto para atender o dia de maior consumo dos setores 03A e 03B, há necessidade de reservação igual a 2.080m³, sendo que possui disponível apenas um volume igual a 400m³. Assim, faz-se necessário aumentar a capacidade de reservação em 1.700 m³, sendo adotado a implantação de dois reservatórios, sendo um semi-enterrado com capacidade igual a 600 m³ e um elevado que terá altura igual a 20 metros e capacidade de armazenamento igual a 1.100 m³. Desta forma, deverá existir um conjunto motor-bomba que recalcará água do reservatório semi-enterrado para o reservatório elevado. Ressalta-se que o reservatório semi-enterrado a ser construído deverá ser implantado em vaso comunicante com os outros dois reservatórios semi-enterrados existentes no CRD3.

Tabela 14. Dados referentes ao Setor 3C.

Parâmetro	Valor
Vazão Média(l/s)*= $Q_{\max.0,5}$	1,29
Vazão (dmc) (l/s)= $Q_{\max.1,5}$	1,60
Vazão (hmc) (l/s)= $Q_{\max.1,2}$	2,40
Vol_{req} (m ³)	100,00
Abastecimento	Elevado - CRD3
Número de ligações	67
Q_{Prod} (m ³ /h)	7,7

* - Calculada a partir dos dados da micromedição (observou-se consumo médio de 50m³/lig.mês, pois é uma região industrial).

Os Setores 3A, 3B e 3C são abastecidos pelos Poços nº10 e nº5, que segundo o monitoramento das vazões realizadas neste trabalho, o Poço nº10 está operando com 135,25 m³/h (37,6 L/s) e o Poço nº5 está operando com 42,21 m³/h (11,7 L/s), totalizando uma vazão igual a 177,5 m³/h. A soma das vazões necessárias de produção dos três setores em análise é igual a 170,9 m³/h que é inferior a vazão disponível na atualidade. Assim, constata-se que a soma das vazões de operação destes dois poços atendem o consumo do setor, mostrando que este setor apresenta uma boa produção de água.

Para abastecer o Setor 3C faz-se necessário executar as seguintes obras:

- implantação de uma adutora de alimentação de diâmetro 150mm e material DeFoFo com comprimento total igual a 770,00 m;

5.4.8. Setor 04

Este setor será alimentado pelo Reservatório Apoiado existente no Centro de Reservação 04 (CRD4). A entrada de água neste setor é efetuada através de uma (01) tubulação com diâmetro igual a 150mm. Na Tabela 15 são apresentados as principais características hidráulicas do Setor 4. Verifica-se que este setor necessita de um volume de reservação igual a 609,0m³. O abastecimento deste setor é realizado pelo reservatório apoiado do CRD4 que possui um volume de reservação igual a 200m³. Constata-se que a capacidade de reservação do CRD4 deve ser aumentada em 400m³.

Tabela 15. Dados referentes ao Setor 4.

Parâmetro	Valor
Vazão Média(l/s)*= $Q_{\max.0,5}$	8,23
Vazão (dmc) (l/s)= $Q_{\max.1,5}$	10,30
Vazão (hmc) (l/s)= $Q_{\max.1,2}$	15,40
Vol_{req} (m ³)	630
Abastecimento	Apoiado - CRD4
Número de ligações	609
Q_{Prod} (m ³ /h)	49,4

* - Calculada a partir dos dados do consumo per capta (292 L/hab.dia).

O Setor 4 é abastecido pelo Poço nº6, que segundo o monitoramento das vazões realizados neste trabalho, o referido poço está operando com 39,91 m³/h (11,1 L/s). Verifica-se que a vazão de operação deste poço não atende a vazão de produção necessária que é igual a 49,40 m³/h, mostrando que há necessidade de implantar um novo poço com vazão igual a 25 m³/h.

Para abastecer o Setor 4 faz-se necessário executar as seguintes obras:

- implantação de uma adutora de alimentação de diâmetro 150mm e material DeFoFo com comprimento total igual a 253,60 m;
- implantação de uma adutora de alimentação de diâmetro 100mm e material PVC PBA com comprimento total igual a 629,00 m;

5.4.9. Setor 05^a

Este setor será alimentado pelo Reservatório Elevado que será implantado no Centro de Reservação 05 (CRD5) que também será criado. A entrada de água neste setor deverá ser efetuada através de uma (01) tubulação com diâmetro igual a 200mm. Na Tabela 16 são apresentados as principais características hidráulicas do Setor 5A. Verifica-se que este setor necessita de um volume de reservação igual a 1.000 m³. Assim, como o CRD5 também abastecerá o setor 5B, no próximo item será descrito sobre a construção do novo reservatório.

Tabela 16. Dados referentes ao Setor 5A.

Parâmetro	Valor
Vazão Média(l/s)*= $Q_{\max.0,5}$	12,7
Vazão (dmc) (l/s)= $Q_{\max.1,5}$	15,9
Vazão (hmc) (l/s)= $Q_{\max.1,2}$	23,9
Vol_{req} (m ³)	1.000
Abastecimento	Elevado – CRD5
Número de ligações	941
Q_{Prod} (m ³ /h)	76,3

* - Calculada a partir dos dados do consumo per capta (292 L/hab.dia).

Para abastecer o Setor 5A faz-se necessário executar as seguintes obras:

- implantação de uma adutora de alimentação de diâmetro 200mm e material DeFoFo com comprimento total igual a 485,00 m;
- implantação de uma adutora de reforço de diâmetro 100mm e material DeFoFo com comprimento total igual a 376,00 m;

5.4.10. Setor 05B

Este setor será alimentado pelo Reservatório Apoiado que será implantado no Centro de Reservação 05 (CRD5) que também será criado. A entrada de água neste setor deverá ser efetuada através de uma (01) tubulação com diâmetro igual a 200mm. Na Tabela 17 são apresentados as principais características hidráulicas do Setor 5B. Verifica-se que este setor necessita de um volume de reservação igual a 640 m³. Assim, como o CRD5 também abastecerá o setor 5A, constata-se a necessidade de reservação igual a 1.640 m³. Desta forma, foi considerada a implantação de dois reservatórios no novo centro de reservação e distribuição CRD5 sendo o primeiro do tipo apoiado com altura igual a 6 metros e capacidade igual a 1.400m³ e o segundo do tipo elevado com altura de 20 metros e capacidade igual a 200m³.

Quanto a vazão de produção, constata-se que para abastecer os dois setores (5A e 5B) faz-se necessário uma vazão igual a 126,2 m³/h. Assim, está sendo sugerido a implantação de dois poços com vazão individual igual a 70 m³/h.

Para abastecer o Setor 5B faz-se necessário executar as seguintes obras:

- implantação de uma adutora de alimentação de diâmetro 200mm e material DeFoFo com comprimento total igual a 430,00 m.

Tabela 17. Dados referentes ao Setor 5B.

Parâmetro	Valor
Vazão Média(l/s)*= Qmax.0,5	8,4
Vazão (dmc) (l/s)=Qmax.1,5	10,4
Vazão (hmc) (l/s)=Qmax.1,2	15,7
Vol _{req} (m ³)	640
Abastecimento	Apoiado – CRD5
Número de ligações	618
Q _{Prod} (m ³ /h)	49,9

* - Calculada a partir dos dados do consumo per capta (292 L/hab.dia).

5.4.11. Setor 06A

Este setor será alimentado pelo Reservatório Apoiado que será implantado no Centro de Reservação 06 (CRD6), pois o reservatório existente está com sua estrutura comprometida. A entrada de água neste setor deverá ser efetuada através de uma (01) tubulação com diâmetro igual a 200mm. Na Tabela 18 são apresentados as principais características hidráulicas do Setor 6A. Verifica-se que este setor necessita de um volume de reservação igual a 640 m³. Assim, como o CRD6 também abastecerá o setor 6B, no próximo item será descrito sobre a construção do novo reservatório. Ressalta-se que o reservatório existente de duas câmaras no CRD6 está comprometido estruturalmente, sendo portanto recomendado que este seja desativado.

Tabela 18. Dados referentes ao Setor 6A.

Parâmetro	Valor
Vazão Média(l/s)*= Qmax.0,5	8,35
Vazão (dmc) (l/s)=Qmax.1,5	10,40
Vazão (hmc) (l/s)=Qmax.1,2	15,70
Vol _{req} (m ³)	640
Abastecimento	Apoiado - CDR6
Número de ligações	618
Q _{Prod} (m ³ /h)	49,9

* - Calculada a partir dos dados do consumo per capta (292 L/hab.dia).

Para abastecer o Setor 6A faz-se necessário executar as seguintes obras:

- implantação de uma adutora de alimentação de diâmetro 200mm e material DeFoFo com comprimento total igual a 600,00 m.

5.4.12. Setor 06B

Este setor será alimentado pelo Reservatório Elevado que será implantado no Centro de Reservação 06 (CRD6), pois o reservatório existente está com sua estrutura comprometida. A entrada de água neste setor deverá ser efetuada através de uma (01) tubulação com diâmetro igual a 150mm. Na Tabela 19 são apresentados as principais características hidráulicas do Setor 6B. Verifica-se que este setor necessita de um volume de reservação igual a 1.100m^3 .

Constata-se que para abastecer os setores 06A e 06B faz-se necessário um volume de reservação igual a 1.740 m^3 ($640 + 1.100\text{ m}^3$). Assim, foi considerado dois reservatórios, sendo um apoiado de altura igual a 12 metros e capacidade de 1.150m^3 e o segundo do tipo elevado com 25 metros de altura e volume igual a 600m^3 .

Tabela 19. Dados referentes ao Setor 6B.

Parâmetro	Valor
Vazão Média(l/s)*= $Q_{\text{max.0,5}}$	14,45
Vazão (dmc) (l/s)= $Q_{\text{max.1,5}}$	18,10
Vazão (hmc) (l/s)= $Q_{\text{max.1,2}}$	27,10
$\text{Vol}_{\text{req}} (\text{m}^3)$	1.100
Abastecimento	Elevado - CDR6
Número de ligações	1.069
$Q_{\text{Prod}} (\text{m}^3/\text{h})$	86,9

* - Calculada a partir dos dados do consumo per capta.

Os Setores 6A e 6B serão abastecidos pelo Poço nº9, que possui uma vazão igual a $84,00\text{ m}^3/\text{h}$. No entanto o referido poço está comprometido, sendo justificado pelas inúmeras manutenções que o mesmo vem sofrendo nos últimos anos. Verifica-se que os dois setores em análise necessitam de uma vazão de produção igual a $136,8\text{ m}^3/\text{h}$. Desta forma, deve-se implantar um poço com vazão de produção igual a 150m^3

5.4.13. Aplicação do EPANET para simular o abastecimento de água dos setores

Para a realização da modelagem foi utilizado o Software EPANET. Desta forma foi realizada a modelagem para cada setor delimitado no projeto de setorização. Em anexo (no CD, formato digital) é apresentado o relatório contendo as pressões em cada nó bem como as vazões e velocidades de água em cada trecho da simulação hidráulica.

Na Figura 33 é apresentada a tela do programa de simulação do Setor 01, o qual é abastecido pelo CRD01. Realizando a simulação para o Setor 01, foi possível constatar a variação de níveis de água nos três reservatórios de água tratada existentes no CRD01 que são responsáveis pelo abastecimento de água dos Setores 01A e 01B. Na Figura 34 é apresentada o gráfico mostrando a variação de níveis dos três reservatórios existentes no CRD01 que abastecerão os setores 01A e 01B.

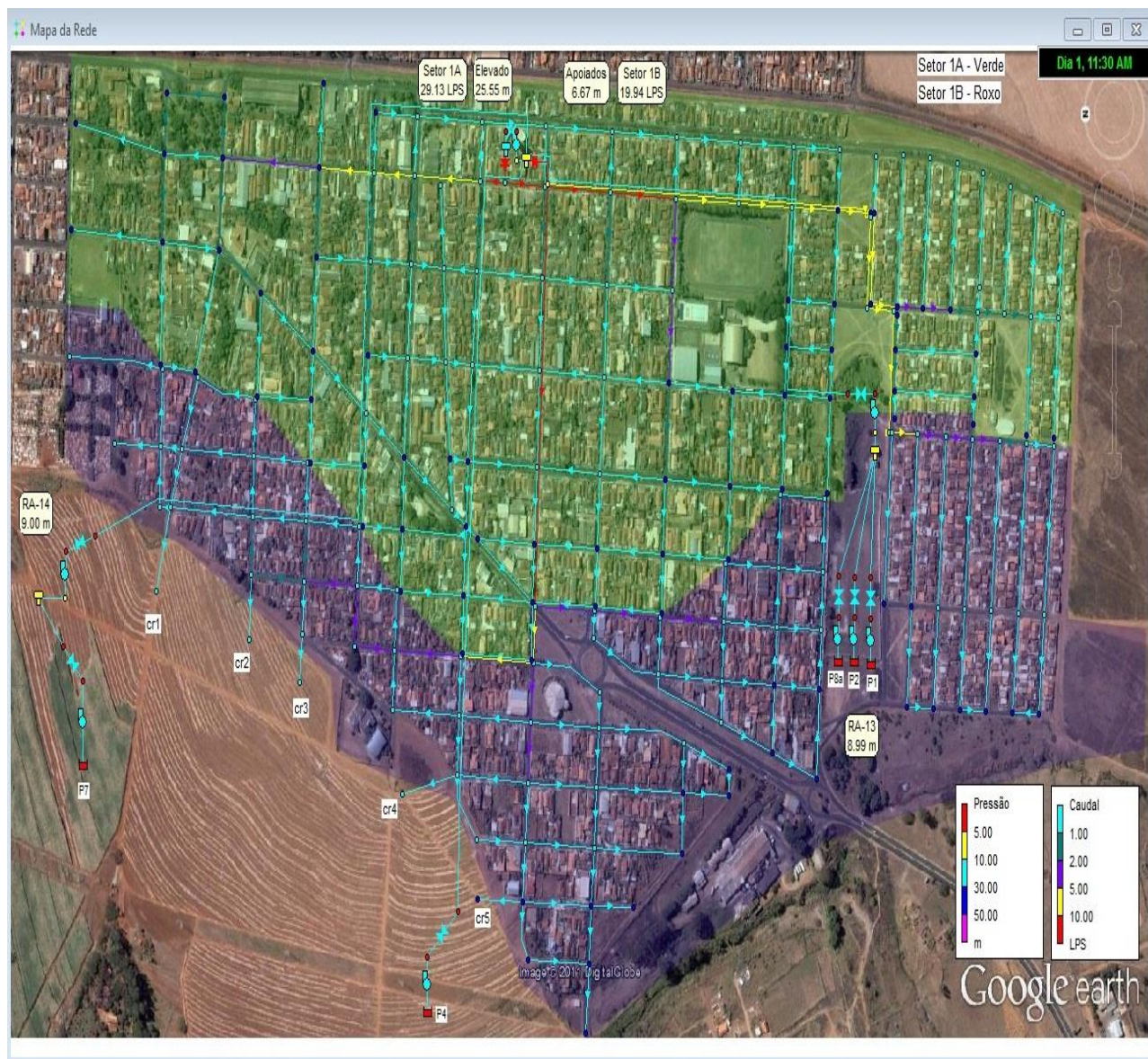


Figura 34. Modelagem do Setor 01 (Setor 01A e Setor 1B).

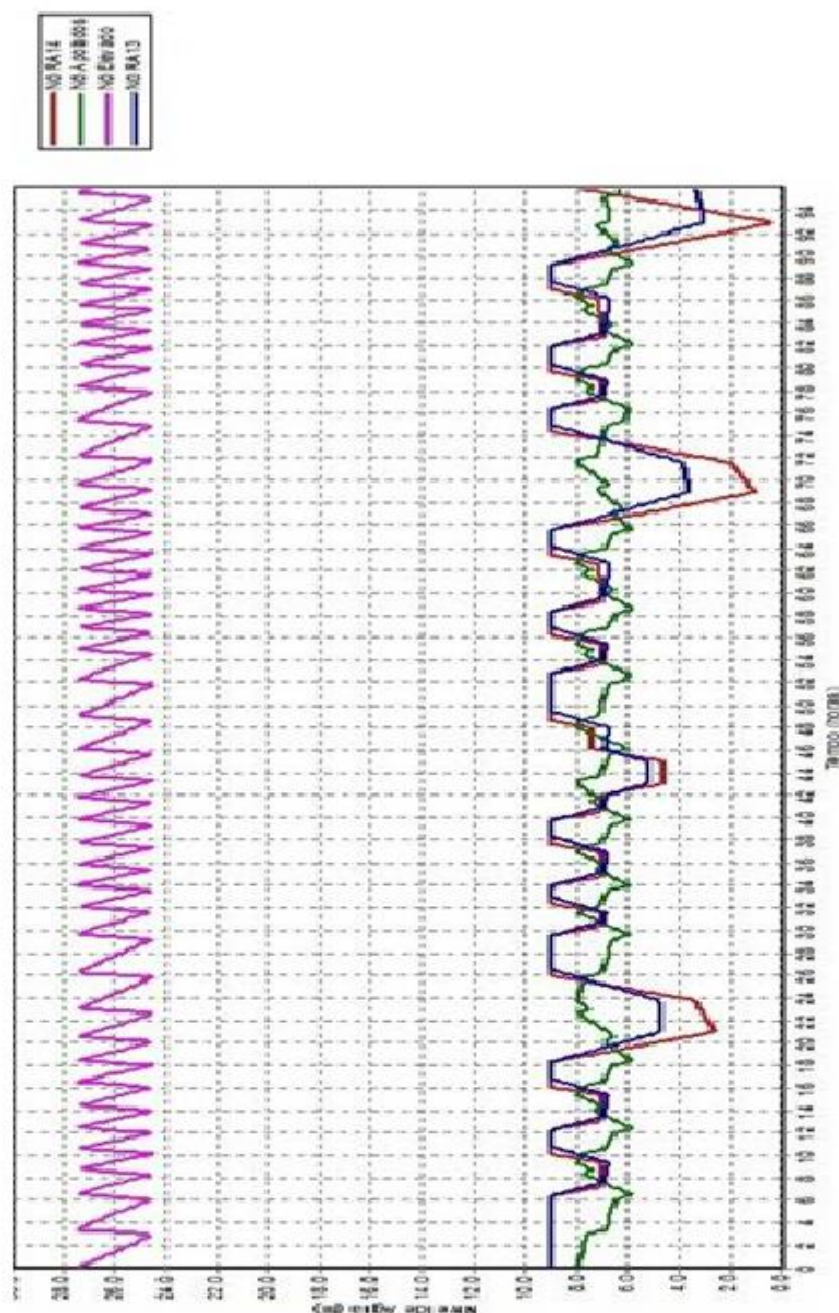


Figura 35. Variação dos níveis dos três reservatórios existentes no CRD01 que abastece os setores 01A e 01B (Gráfico: Abscissas: Nível de água X Tempo- Res.13-Apoiado e Res.14-Elevado).

Na Figura 35 é apresentada a tela do programa de simulação do Setor 02, o qual é abastecido pelo CRD02. Realizando a simulação para o Setor 02, foi possível constatar a variação de níveis de água nos dois reservatórios projetados de água tratada no CRD02 que são responsáveis pelo abastecimento de água dos Setores 02A e 02B. Na Figura 36 é apresentada o gráfico mostrando a variação de níveis dos dois reservatórios projetados no CRD02 que abastecerão os setores 02A e 02B.



Figura 36. Modelagem do Setor 02 (Setor 02A e Setor 2B).

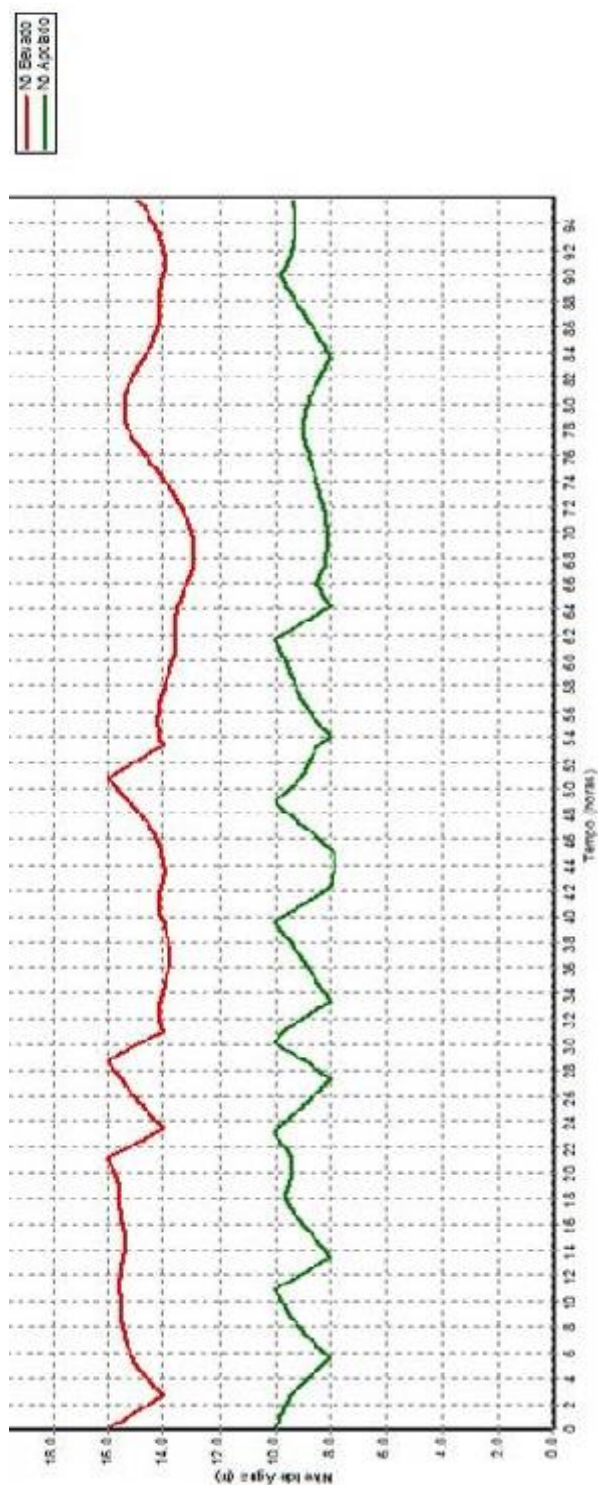


Figura 37. Variação dos níveis dos dois reservatórios projetados no CRD02 que abastecerá os setores 02A e 02B (Gráfico: Abscissas: Nível de água X Tempo- Res. Apoiado (verde) e Res.14-Elevado (vermelho)).

Na Figura 38 é apresentada a tela do programa de simulação do Setor 03, o qual é abastecido pelo CRD03. Realizando a simulação para o Setor 03, foi possível constatar a variação de níveis de água nos quatro reservatórios (existentes e projetado) de água tratada no CRD03 que são responsáveis pelo abastecimento de água dos Setores 03A, 03B e 03C. Na Figura 39 é apresentada o gráfico mostrando a variação de níveis dos quatro reservatórios existentes e projetado no CRD03 que abastecerão os setores 03A, 03B e 03C.

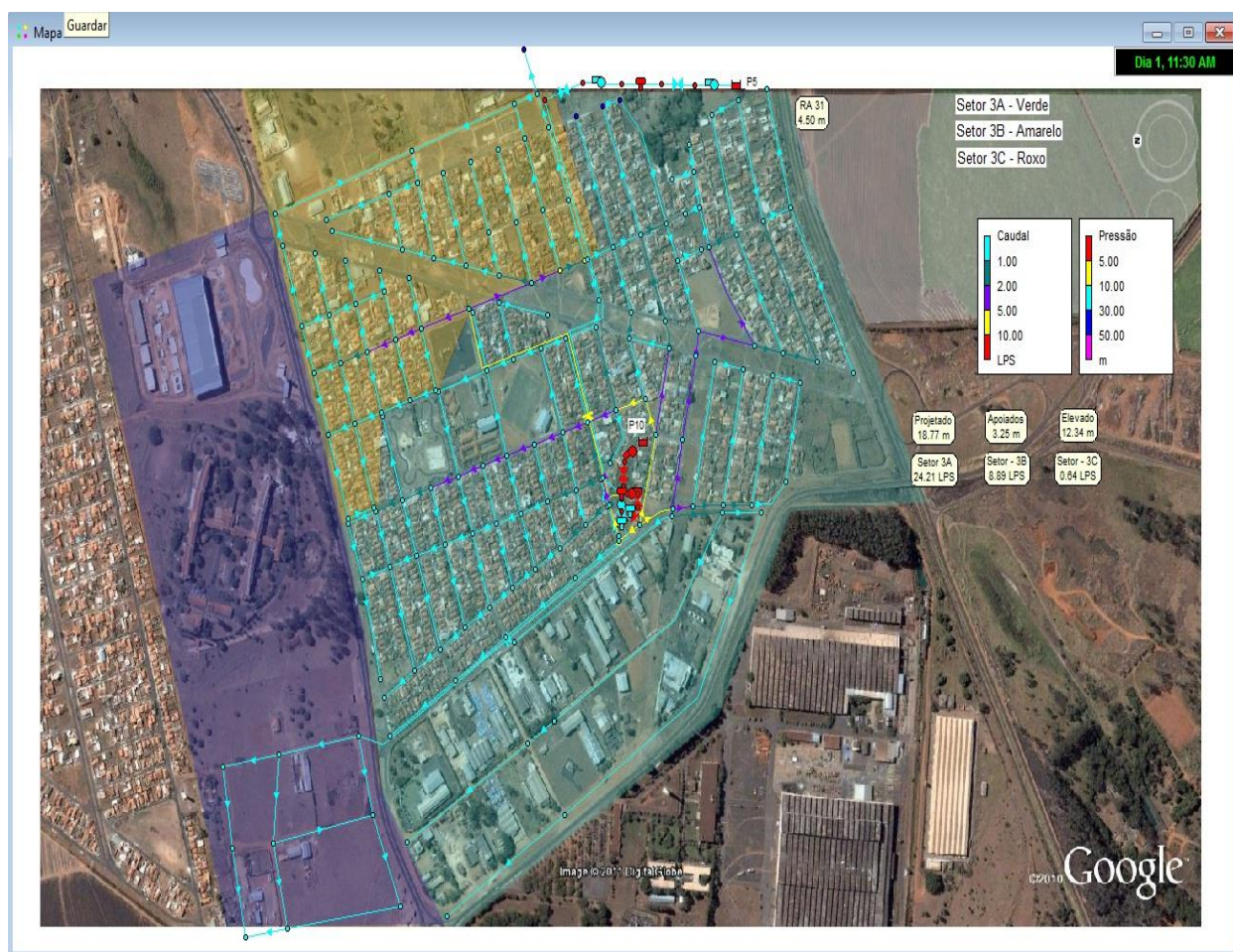


Figura 38. Modelagem do Setor 03 (Setor 03A, Setor 3B e Setor 3C).

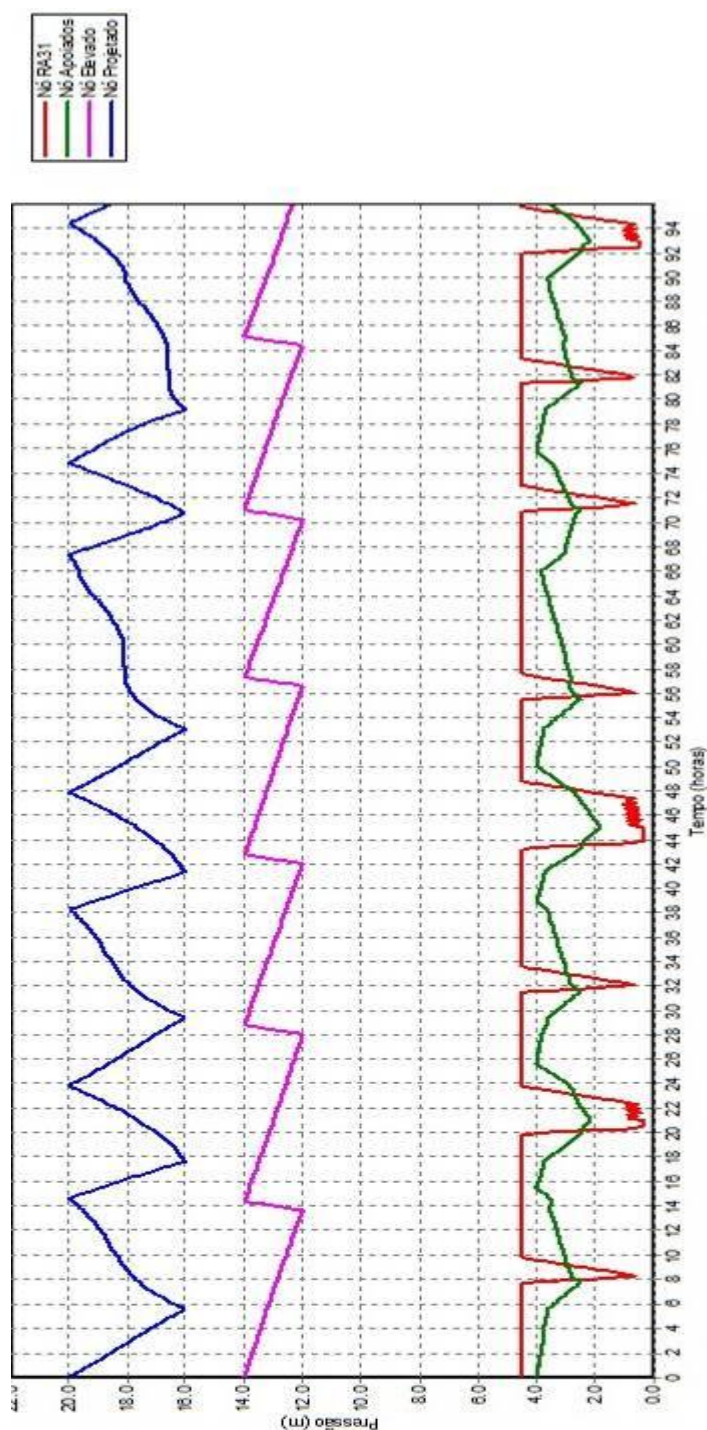


Figura 39. Variação dos níveis dos quatro reservatórios existentes e projetados no CRD03 que abastecerá os setores 03A, 03B e 03C

Na Figura 39 é apresentada a tela do programa de simulação do Setor 04 e Setor 06, o qual são abastecidos pelo CRD04 e CRD06, respectivamente. Realizando a simulação para os Setores 04 e 06, foi possível constatar a variação de níveis de água nos reservatórios de água tratada no CRD04 e CRD06 que são responsáveis pelo abastecimento de água dos Setores 04

e 06. Na Figura 40 é apresentada o gráfico mostrando a variação de níveis dos três reservatórios existentes e projetado no CRD03 e CRD06.



Figura 40. Modelagem dos Setores 04 e 06 (06A e 06B).

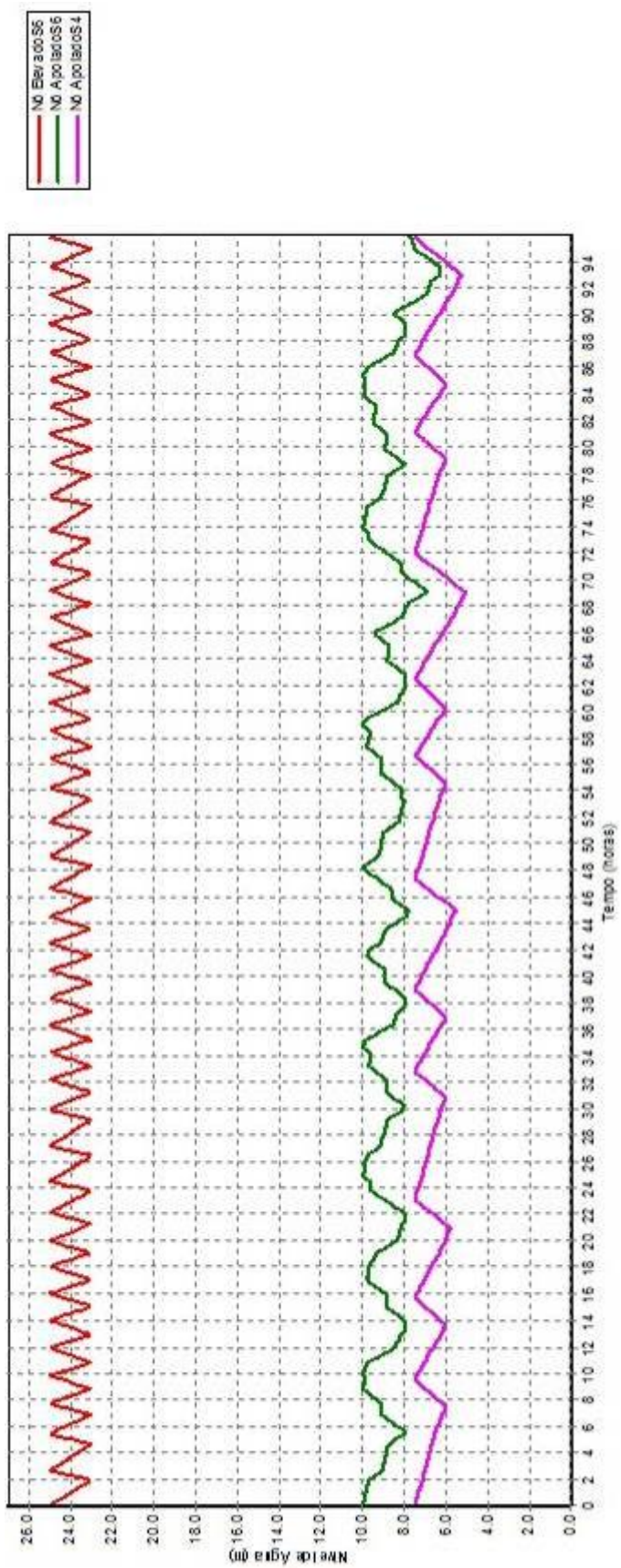


Figura 41. Variação dos níveis dos três reservatórios existentes e projetados no CRD04 e CRD06.

Na Figura 42 é apresentada a tela do programa de simulação do Setor 05, o qual é abastecido pelo CRD05. Realizando a simulação para o Setor 05, foi possível constatar a variação de níveis de água nos dois reservatórios projetados de água tratada no CRD05 que são responsáveis pelo abastecimento de água dos Setores 05A e 05B. Na Figura 43 é apresentada o gráfico mostrando a variação de níveis dos dois reservatórios projetados no CRD05 que abastecerão os setores 05A e 05B.

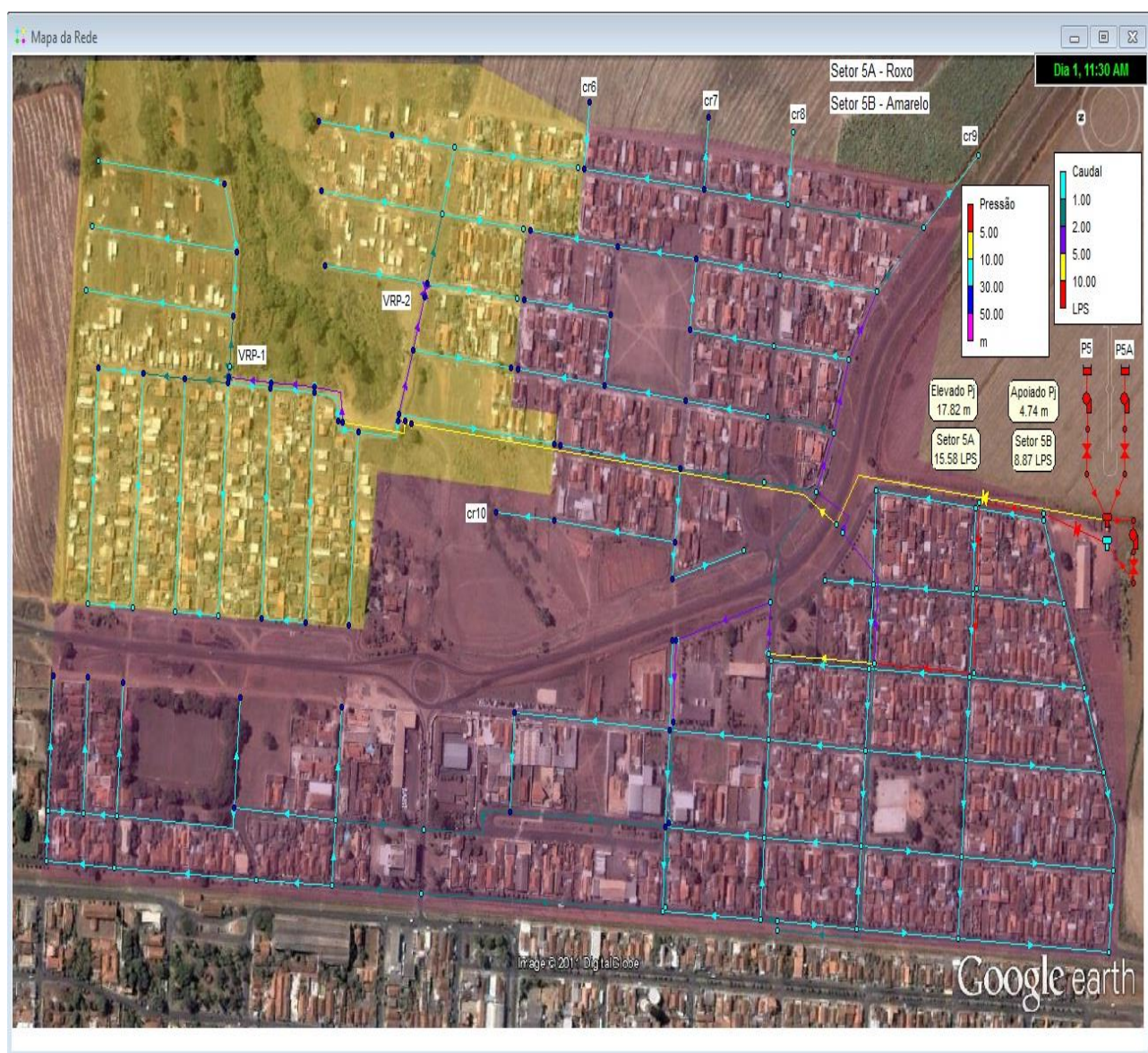


Figura 42. Modelagem do Setor 05 (Setor 05A e Setor 05B).

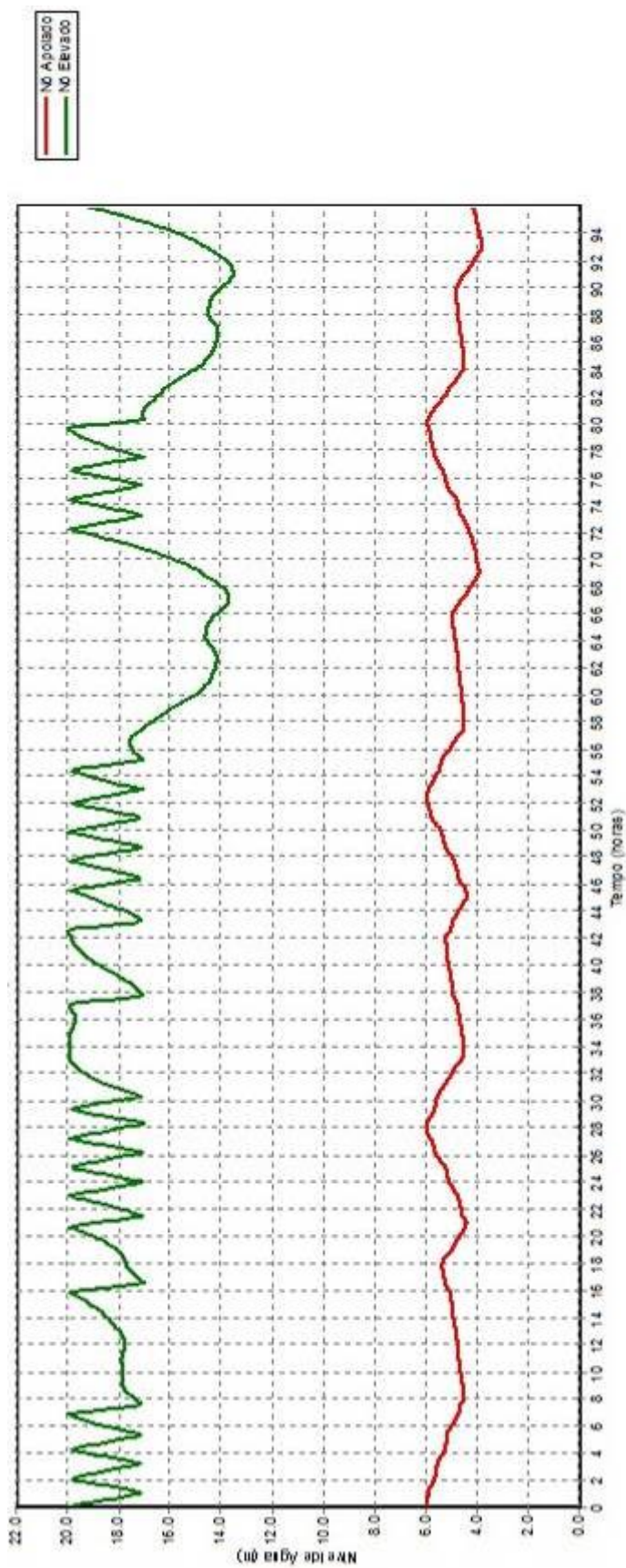


Figura 43. Variação dos níveis dos dois reservatórios projetados no CRD05 que abastecerá os setores 05A e 05B.

Em anexo (no CD, formato digital) é apresentado o relatório contendo as pressões em cada nó bem como as vazões e velocidades de água em cada trecho da simulação hidráulica.

6. CONCLUSÕES

O sistema de abastecimento de água do município de Américo Brasiliense possui 40,70% de perdas de água, valor este que necessita ser reduzido para que o município possa crescer de forma ordenada. Uma das principais ações que necessitam ser realizadas é a setorização da rede em zonas de pressão, as quais tendem a equilibrar as pressões nas redes tendendo a diminuir os vazamentos e melhorando o controle do processo.

O estudo realizado demonstrou que existe a necessidade de uma seqüência de implantação dos projetos, para que os resultados dos trabalhos sejam maximizados e tenham o melhor desempenho possível. De imediato, pode-se constatar que existe a necessidade de investir em aumento de produção de água, pois setorialmente existem localidades que o abastecimento não é permanente. De posse da modelagem matemática, pode-se constatar que os setores de abastecimento previstos serão atendidos dentro dos padrões ideais, sendo também considerado que os conjuntos moto-bombas serão desligados nos períodos de tarifa verde (período no qual as tarifas de energia são maiores).

Inicialmente, o projeto que o Departamento de Água e Esgoto (DAE) deve implantar é o Projeto de Setorização da rede de distribuição com o intuito de controlar as pressões e consequentemente reduzir as perdas de água.

Desta forma a implantação da setorização terá a finalidade de controlar as pressões na rede de abastecimento, evitando pressões altas ($>50\text{mca}$) que proporcionam maiores índices de vazamentos não visíveis bem como evita também pressões baixas ($<10\text{mca}$) que contribui para que a água consiga abastecer as residências.

Com esses resultados alcançados a Prefeitura poderá ter uma redução muito satisfatória nos gastos com energia elétrica e produtos químicos, além de poder disponibilizar água tratada para atender ao crescimento da demanda nos próximos anos sem necessidade de grandes obras de ampliação de captações, estação de tratamento, adutoras e outros.

De acordo com os objetivos específicos pré-estipulados, a realização do cadastro da rede de distribuição de água foi concluída com a atualização e modernização dos projetos para que possa concluir uma otimização do sistema. Após tal processo, foi possível obter o perfil de consumo de água segundo os padrões de monitoramento da rede através do processo de pitometria, sendo que, desta maneira tais dados resultam em consumos micromedidos que foram úteis na obtenção do comportamento hidráulico da rede de distribuição. Através dos consumos micromedidos, a modelagem matemática se torna essencial para a verificação do funcionamento da rede de abastecimento como um todo e assim possa prosseguir em futuros

de ações de combate e redução de perdas de água no município. Tais ações e resultados devem ser aplicados de forma planejada e sistemática afim de obter uma melhor eficiência no sistema de distribuição de água do município.

Assim, o retorno dos investimentos será rapidamente recuperado pelo DAE tendo em vista que a economia gerada no processo e distribuição de água tratada será rapidamente percebida pela Autarquia, isto é, uma relevante parcela dos investimentos, atualmente aplicados no processo de produção, poderá ser investida em outras finalidades como, por exemplo, ampliação do sistema atual. As ferramentas gerenciais que serão obtidas em fim de plano permitirão aos executivos da Autarquia administrar o sistema de abastecimento de forma cada vez mais otimizada com qualidade e segurança nas decisões estratégicas com reflexo imediato no atendimento a população e aumento da eficiência operacional.

Além do aspecto econômico financeiro que é extremamente interessante, destaca-se o efetivo alcance sócio econômico que tem abrangência permanente e progressiva, uma vez que estas medidas a serem implantadas serão permanentemente ajustadas buscando-se a qualidade e manutenção do estado da arte em captar, tratar, reservar e distribuir água potável para o Município de Américo Brasiliense.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AINOLA, L.; KOPPEL, T.; TIITER, K.; VASSILJEV, A., 2000. **Water Network Model Calibration Based on Grouping Pipes with Similar Leakage and Roughness Estimates.** Proceedings of the Joint Conference on Water Resources Engineering and Water Resources Planning and Management, Minneapolis, MN.

ANJOS JR, ARY HALO DOS. **Gestão Estratégica Saneamento.** de Barueri, São Paulo, Ed. Manole, 2011.

BARROSO L.B., GASTALDINI M. C. **Redução de Vazamentos em um setor de distribuição de água de Santa Maria(RS)**, 2010.

BARROSO,L.B., **Estudos da minimização de perdas físicas utilizando EPANET.**2005.Universidade Federal de Santa Maria.Disponível em:<
http://hidroprojetos.ctlab.ufsm.br/ppgec/downloads/Lidiane_Bittencourt_Barroso.pdf> .
Acesso em:2013-05-17.

BAUMANN D.P., BOLAND J.J., HANEMANN W.M., **Urban Water demand management and planning**, 1997.

BOULOS,P. , WOOD D., **Explicit Calculation of Pipe Network Parameters**, Journal Hydraulic Engineering, 1990.

CHEUNG,P.B., **Investigação de métodos clássicos de calibração de redes hidráulicas.**Universidade Federal do Mato Grosso do Sul,2001.

COELHO,A. C., **Medição e Controle de perdas.** Rio de Janeiro:Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental:BNH,1983.

Control Policy and Practice- Londres, 1980.

COUNCIL NATIONAL ,WATER.Leakage

ELBASHIR M.A.M, AMOAH S.O.K. **Hydraulic Transient in a Pipeline.**

FARIAS ,J.N. **Como orientar uma tese de mestrado-** C.C.T.- Universidade Federal da Paraíba,1976.

FARRER,H. **Manual sobre control de fugas y mediciones en redes de distribución de água.** Lima,CEPIS,1980.

FIELD TESTS AND DEMAND MODELS-

GAMBALE,S.R. **Aplicação de Algoritmo genético na calibração de rede de água.** São Paulo 266p.Dissertação(Mestrado em Recursos Hídricos)-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

HELLER L., PADUA V.L., **Abastecimento de água para consumo humano -2 ed.rev e atual-** Belo Horizonte:Editora UFMG ,2010.

HELLER L., PADUA V.L., **Abastecimento de água para consumo humano.** 2 ed. rev.atual- Belo Horizonte:Editora UFMG,2010.

HUNTER J.J.G.(2002).**Water Distribution Model Calibration for the Design of Ortleigh Beach and Seaside Heights, NJ Water System.**27p.

Instituto Trata Brasil. **Situação de Saneamento no Brasil.** Disponível em:<<http://www.tratabrasil.org.br/detalhe.php?secao=20> > . Acesso em:14 de junho de 2013.

KAPEPLAN, Z.S. SAVIC , D.A., AND WALTERS, G.A.(2002) . **Optimal Sampling Design Methodologies for Water Distribution Model Calibration.** Water Resources Research, Journal of Hydraulic Engineering, Vol.131, No.3, March 2005, pg.190-200.

KARNEY B.W., McINNIS D.(1990).**Transients in distribution networks:field tests and demand models.** JHE, 218-231p.

KWON J.H. **Computer Simulations of Transient Flow in a Real City Water Distribution System.**

LAMBERT,A.**Perdas de Agua** .São Paulo:Consultoria à BBL Bureau Brasileiro Ltda.,1998.

LANSEY ,K., BASNET, C.(1991), **Parameter Estimation for Water Distribution Networks**. Journal of Water Resources Planning and Manangement,ASCE, v.117,n.1, p.126-144.

LANSEY *et.al.* **Calibration assessment and data collection for water distribution networks**. Journal of Hydraulic Engineering, v.127, n.4, p.270-279,apr.2001.

LEONETI A.B. *et.al.*, **Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI**.Revista de Administração Pública,Março/Abril 2011.

LOPES, G.R. **Estudos hidrológicos e hidrossedimentológicos na bacia do córrego do Capão Comprido, D.F.** 2010. p.123. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília-DF. 2010.(Publicação PTARH.DM-131/2010).

LUZ J.C.C.T.M.L.D., MORAES S.R.L., REIS C.M., **Indicadores de perdas de água- O caso do sistema de abastecimento de água de Alagoinhas(BA),2002.**

MONTENEGRO, M.H.F.; SILVA, R.T. **Economia de água: quadro de necessidades e linhas de ação**. Anais do Simpósio Internacional sobre Economia de Água de Abastecimento Público. São Paulo: IPT, 1987.

NEWBOLD J.R.,2009.**Comparison and Simulation of Water Distribution Network in EPANET and a New Generic Graph Trace Analysis Bases Model**. Virginia Polytechnic Institute and State University.

NILTON ZANIBONI-**Equipamentos e metodologias para controle e redução de perdas reais em sistemas de abastecimento de agua-.-2009**

OMUR B.H., **Developing a methodology for finding network water.**

OMUR H.B., **Losses using information technologies :a case study.**

ORMSBEE,L.E., **Implicit Network Calibration**, Journal of Water Resources Planning and Managenment, 115(2):243-257,1989.

ORMSBEE,L.E., WOOD, J.D. **Explicit Pipe Network Calibration**, ASCE Journal of Water Resources Planning and Managenment , 112(2):166-182,1986.

PALO P.R. **Avaliação da eficácia dos modelos de simulação hidráulica na obtenção de informações de diagnóstico de perdas de água**, 2010.

PROSAB-Uso Racional da Água em Edificações/Ricardo Franci Gonçalves(Coord.). Rio de Janeiro:ABES,2006.

ROSEN,G. **Uma história da saúde pública**. São Paulo: Hucitec: Universidade Estadual Paulista; Rio de Janeiro :Associação Brasileira de Pós-Graduação em Saúde Coletiva,1994.423p.

ROSSMAN,Lewis A. **EPANET 2 Users Manual**. Cincinnati,EUA, 2000.

TUCCIARELLI, T.; CRIMINISI, A. & TERMINI, D. **Leak Analysis in pipeline systems by means of optimal valve regulation**. Journal of Hydraulic Engineering, v.125,n.3, p.277-285, Mar. 1999.

USEPA(Environment Protect Agency).**Control and Mitigation of Drinking:Water Losses in Distribution**.2010.

VIEIRA A.S.,CURI R.C., CURI W.F., SANTOS V.S.;**Simulação,via programação linear sequencial com artifícios de linearização, para Sistemas de Recursos Hídricos Parte 1 e Parte2:Modelo e Aplicação-RBRH**,2012.

VINCIGUERA V.(2009).**Avaliação do Impacto da Redução de Pressão nas Perdas Reais em Setor de Distribuição de Água no município de Campo Grande-MS**.81p.

WALSKI T.M. 2006. **A history of water distribution. Journal of American Water Works Association.**

WALSKI, **Water Distribution Modeling.**

Waterbury, CT: **Haestad Methods.**

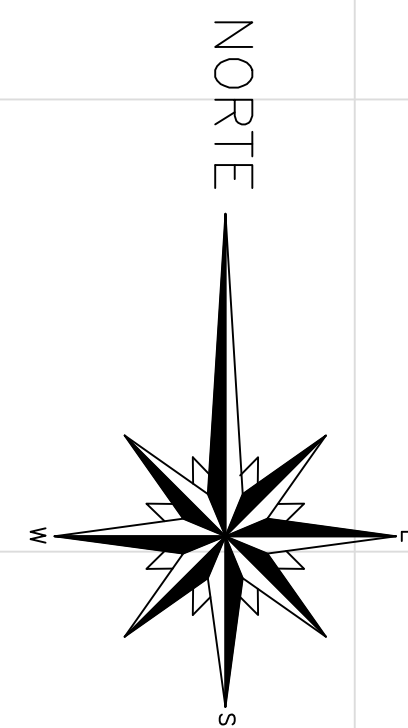
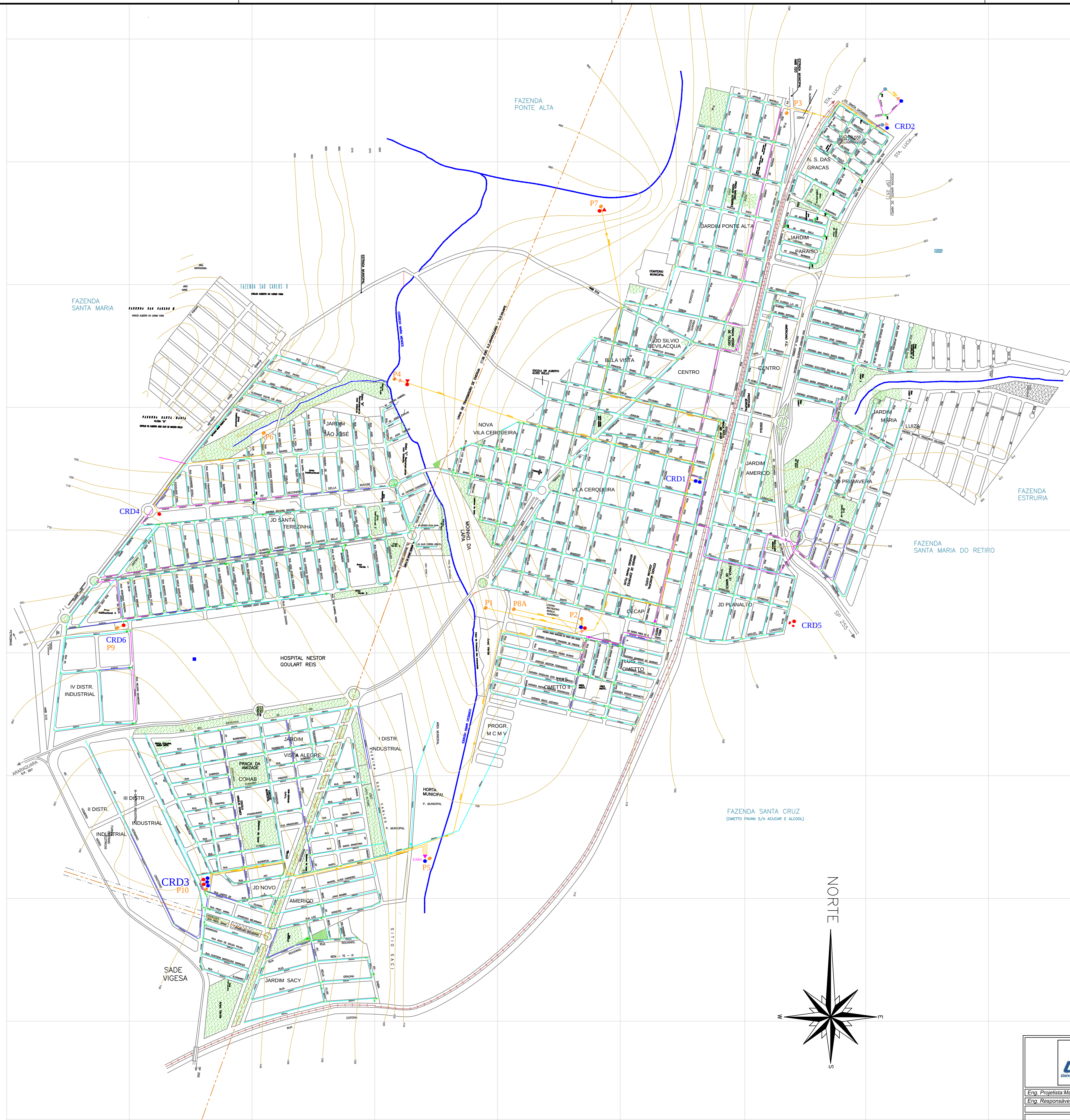
WILLIAM T.M. et.al. 2003. **Advanced Water Distribution Modeling and Management ,Haested Press, Waterbury, Conn.**

WOOD D.J..*et.al.* , **Numerical Methods for modeling transient flow in distribution system..**Journal of AWWA, July 2005.

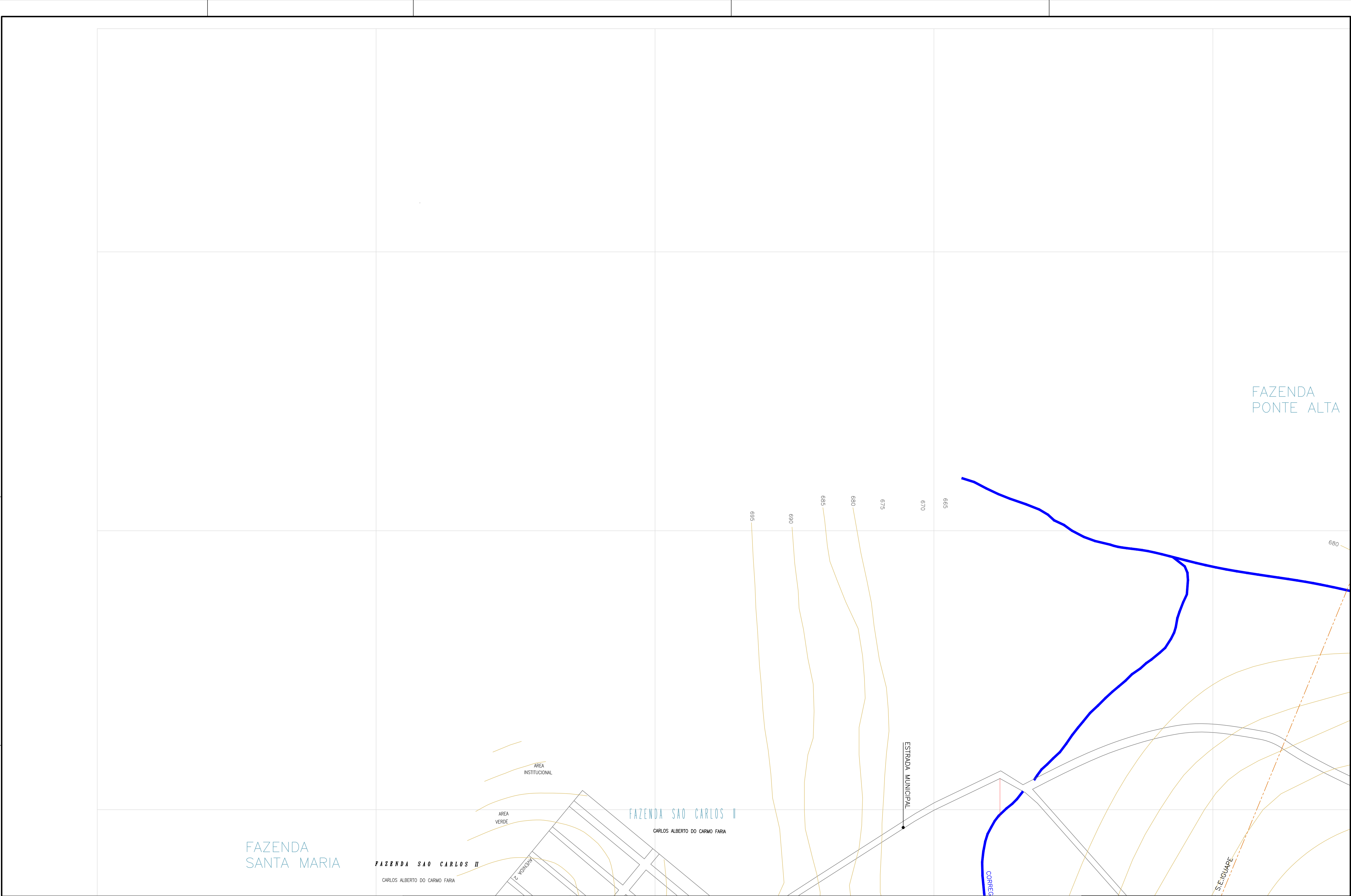
ZANIBONI, Nilton. **Equipamentos e metodologias para o controle e redução de perdas reais em sistemas de abastecimento de água.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-11082009-172644/>>. Acesso em: 2013-05-17.

ANEXO 1 Dados da simulação hidráulica (digital)

ANEXO 2 Cadastro das redes de distribuição de água (Mapas)



 Eng. Projetista: Mario Corbucci Neto Eng. Responsável: Mario Corbucci Neto	CADASTRO TÉCNICO
	PLANTA GERAL COM O CADASTRO DAS REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA
	Escala: 1:8000 Data: 14/05/2013 Folha: 1/6



●

RESERVATÓRIO

●

POÇO PROFUNDO

▲

ESTÇÃO ELEVATÓRIA

—

EXISTENTE DN 50 E 75MM

—

EXISTENTE DN 100, 125, 150 E 200MM

—

ADUTORA DE RECALQUE

EAB

ELEVATÓRIA DE ÁGUA BRUTA

EAT

ELEVATÓRIA DE ÁGUA TRATADA

CRD

CENTRO DE RESERVAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO

P

POÇO PROFUNDO

Eng. Projetista: Mário Corbucci Neto

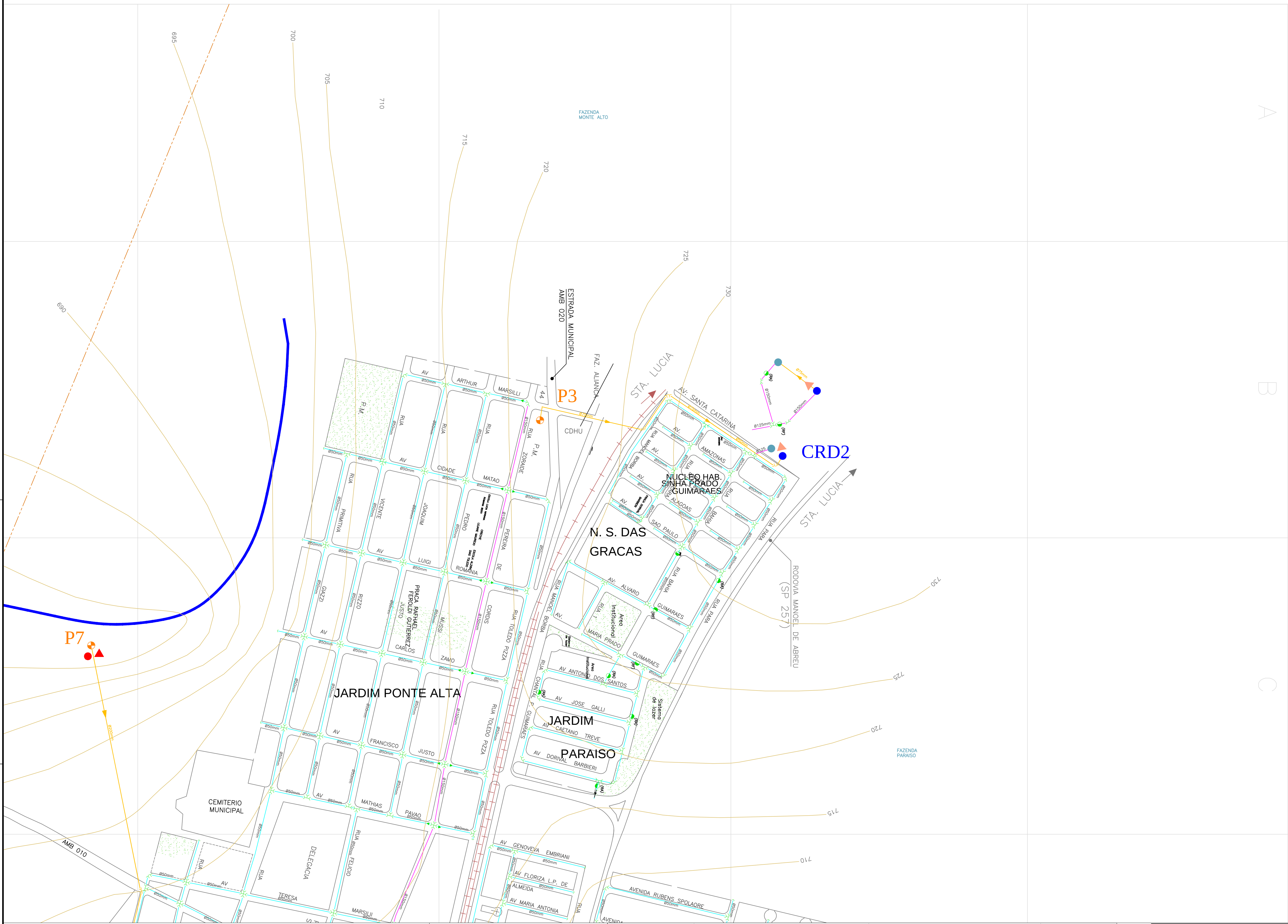
Eng. Responsável: Mário Corbucci Neto

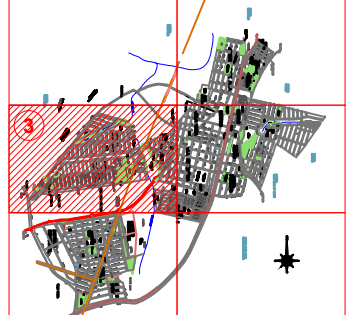
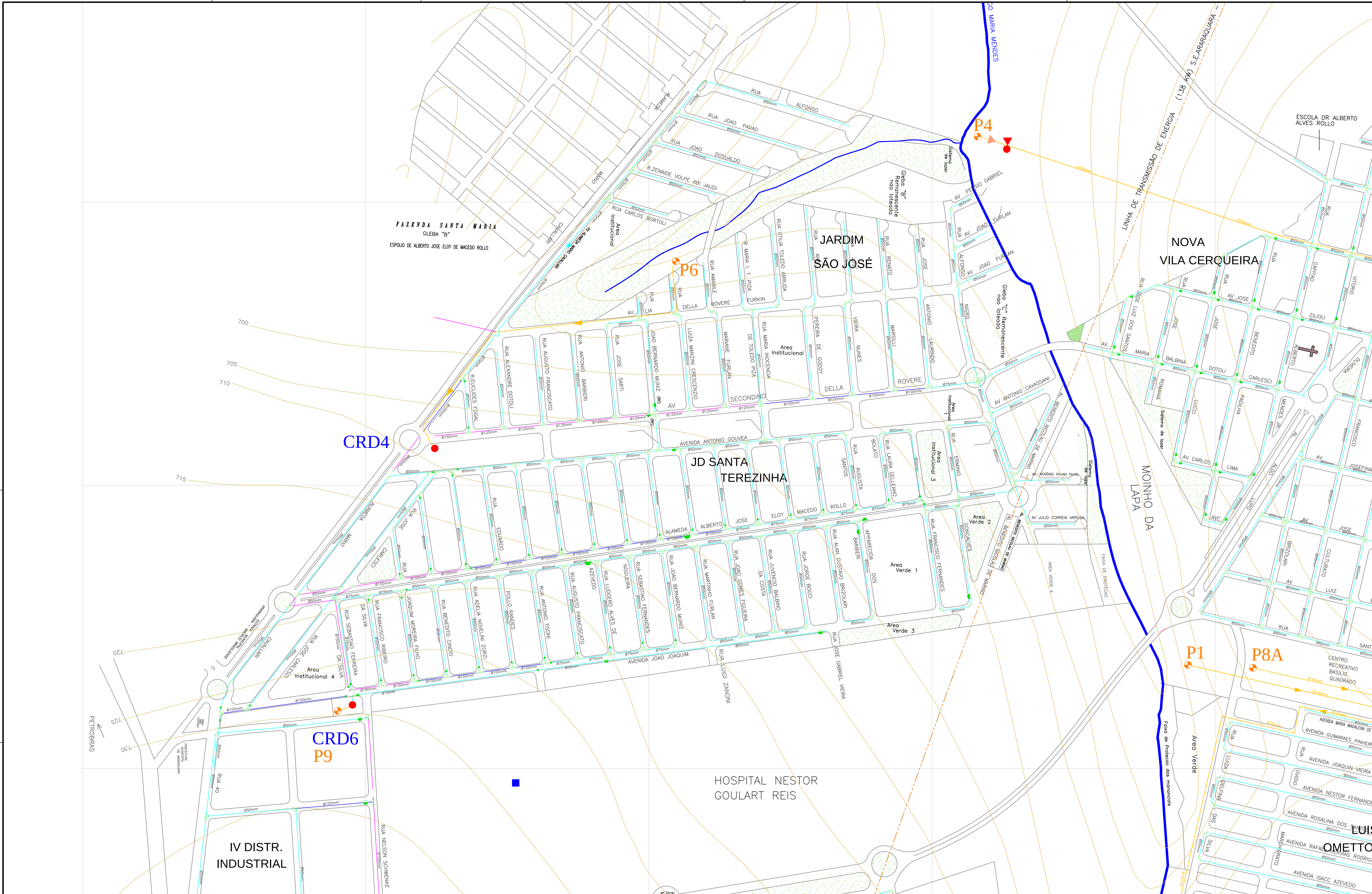
Escala: 1:3000 | Data: 14/05/2013 | Folha: 1/6

CADASTRO TÉCNICO

PLANTA COM O CADASTRO DAS REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Projeto de Engenharia de Sanidade e Saneamento - PESS





- RESERVATÓRIO
- POÇO PROFUNDO
- ▲ ESTAÇÃO ELEVATÓRIA
- EXISTENTE DN 50 E 75MM
- EXISTENTE DN 100, 125, 150 E 200MM
- ADUTORA DE RECALQUE

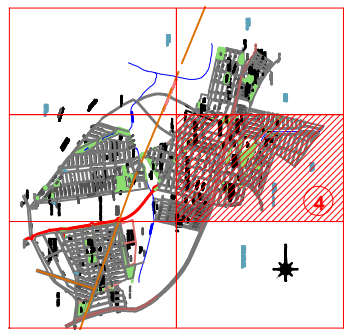
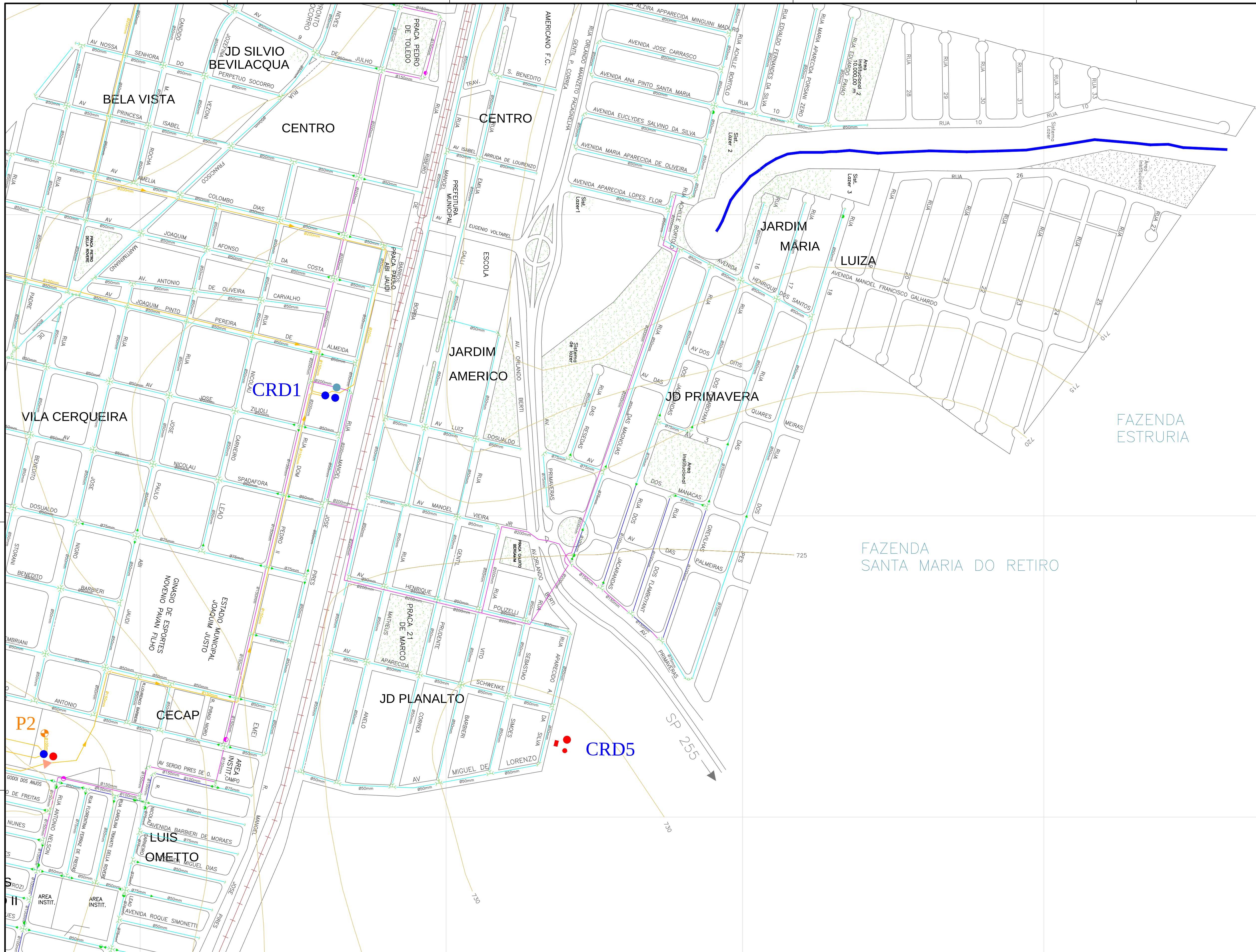
- EAB ELEVATÓRIA DE ÁGUA BRUTA
- EAT ELEVATÓRIA DE ÁGUA TRATADA
- CRD CENTRO DE RESERVAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO
- P POÇO PROFUNDO



Eng. Projetista: Mario Corbucci Neto
Eng. Responsável: Mario Corbucci Neto
Escala: 1:3000 | Data: 14/05/2013 | Folha: 3/6

CADASTRO TÉCNICO

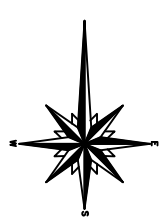
PLANTA COM O CADASTRO DAS REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA



- RESERVATÓRIO
- POÇO PROFUNDO
- ▲ ESTAÇÃO ELEVATÓRIA

- EXISTENTE DN 50 E 75MM
- EXISTENTE DN 100, 125, 150 E 200MM
- ADUTORA DE RECALQUE

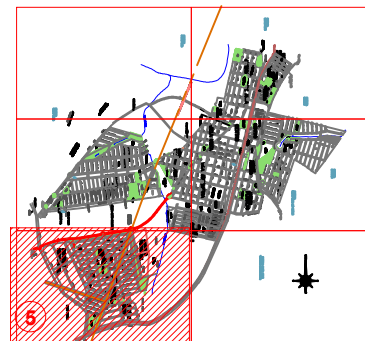
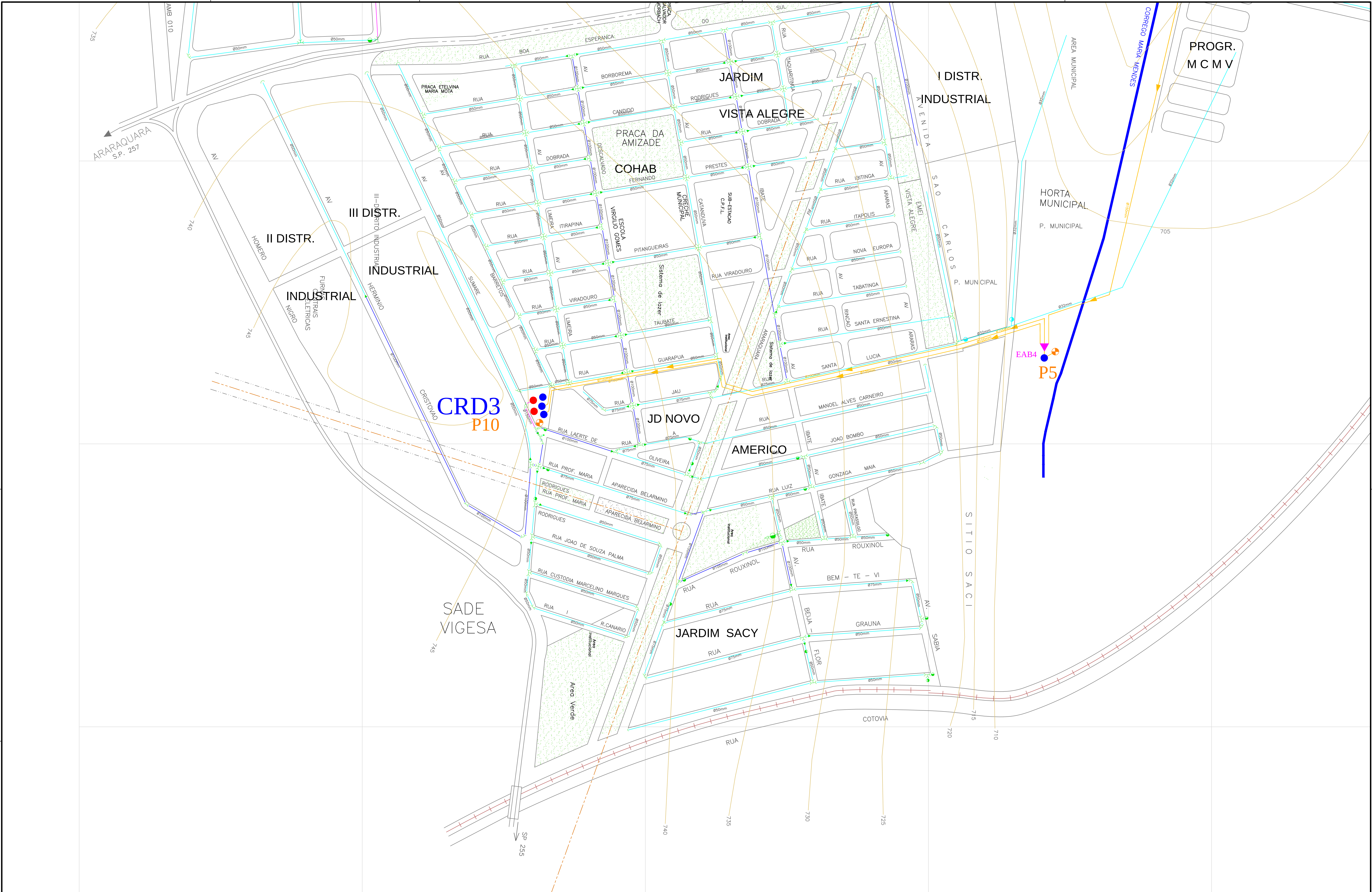
- EAB ELEVATÓRIA DE ÁGUA BRUTA
- EAT ELEVATÓRIA DE ÁGUA TRATADA
- CRD CENTRO DE RESERVAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO
- P POÇO PROFUNDO



Eng. Projetista: Mario Corbucci Neto
Eng. Responsável: Mario Corbucci Neto
Escala: 1:3000 [Data: 14/05/2013] Folha: 4/6

CADASTRO
TÉCNICO

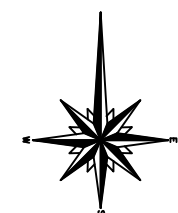
PLANTA COM O CADASTRO DAS REDES DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA



- RESERVATÓRIO
- POÇO PROFUNDO
- ▲ ESTAÇÃO ELEVATÓRIA

- EXISTENTE DN 50 E 75MM
- EXISTENTE DN 100, 125, 150 E 200MM
- ADUTORA DE RECALQUE

- EAB ELEVATÓRIA DE ÁGUA BRUTA
- EAT ELEVATÓRIA DE ÁGUA TRATADA
- CRD CENTRO DE RESERVAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO
- P POÇO PROFUNDO





Eng. Projetista: Mario Corbucci Neto
Eng. Responsável: Mario Corbucci Neto

Escala 1:3000 | Data: 14/05/2013 | Folha: 5/6

CADASTRO TÉCNICO

PLANTA COM O CADASTRO DAS REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

