



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Mestrado - Doutorado

RASTREIO DA ÁGUA DA REDE DE ABASTECIMENTO DA CIDADE DE GUARABIRA - PB

por

Higo Braga da Silva

*Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba
para obtenção do grau de Mestre.*

Agosto, 2020

HIGO BRAGA DA SILVA

**RASTREIO DA ÁGUA DA REDE DE ABASTECIMENTO DA
CIDADE DE GUARABIRA - PB**

Dissertação apresentada como requisito parcial
á obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Mecânica, do curso de Pós-Graduação em
Engenharia Mecânica, Área Processos de
Fabricação da Universidade Federal da Paraíba.

Orientador: Prof. Dr. Heber Pimentel Gomes

Agosto, 2020

Catálogo na publicação Seção de Catalogação e Classificação

S586r Silva, Higo Braga da.

Rastreio da água da rede de abastecimento da cidade de Guarabira - PB /
Higo Braga da Silva. - João Pessoa, 2020.
94 f. : il.

Orientação: Heber Pimentel Gomes.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/PPGEM.

1. Abastecimento de água - Guarabira (PB). 2. EPANET - Software de
Simulação de Sistema. 3. Estações de bombeamento. 4. Sistemas de

CDU

Elaborado por Larissa Silva Oliveira de Mesquita - CRB-15/746

RASTREIO DA ÁGUA DA REDE DE ABASTECIMENTO DA CIDADE DE GUARABIRA- PB

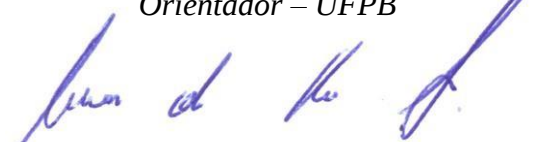
por

HIGO BRAGA DA SILVA

Dissertação aprovada em 30 de julho de 2020



Prof. Dr. HEBER PIMENTEL GOMES
Orientador – UFPB



Prof. Dr. CÍCERO DA ROCHA SOUTO
Examinador Interno - UFPB



Prof. Dr. SAULO DE TARSO MARQUES BEZERRA
Examinador Externo – UFPE

DEDICATÓRIA

Aos meus pais,
minha dedicada esposa e filho amável,
que me incentivam a vencer
todos os dias da minha vida.

Dedico!

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo a Deus, por permitir existir esse grande momento.

Aos meus pais, pela minha vida concebida e todo esforço despendido para educarem a mim e meu irmão.

Ao meu filho, por existir e me fazer buscar a vitória todos os dias.

A minha esposa, companheira fundamental que me permitiu a tranquilidade necessária para esse momento.

Ao meu orientador, professor Dr. Heber Pimentel Gomes, pelo apoio, paciência, tranquilidade transmitida e principalmente pelos sábios conselhos que levarei para toda minha vida pessoal e profissional.

Ao professor Dr. Juan Moises Villanueva, pelo apoio e incentivo durante todo o processo. Peruano e brasileiro de primeira linha. Um patriota pela educação e ciência como poucos.

Aos funcionários da CAGEPA, que de forma altruísta contribuíram para este trabalho.

Aos amigos Enrique Douglas, Rivaildo Andrade, Hugo Marinho, Pedro Jorge e Robson Gomes que estiveram de forma presente ajudando e torcendo por este momento.

A todas pessoas que de maneira direta ou indireta colaboraram para esse momento acontecer.

RASTREIO DA ÁGUA DA REDE DE ABASTECIMENTO DA CIDADE DE GUARABIRA - PB

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo realizar o rastreio da água distribuída em uma rede de distribuição abastecida por quatro fontes mediante o modelo EPANET de simulação hidráulica. O estudo de caso compreende o sistema de abastecimento de água da cidade de Guarabira – PB. Após a execução da modelagem hidráulica em EPANET foi possível utilizar a ferramenta de rastreio “*tracer*” para identificação dos percentuais de água originados em cada reservatório para cada nó na rede nos horários de máxima e mínima demanda. Com os resultados gerados, a partir das tabelas extraídas do programa EPANET, foi possível traçar um novo mapa de influência dos reservatórios na rede de distribuição de água da cidade de Guarabira para estes horários. Com a definição dos setores, dentre outros benefícios, será possível à empresa concessionária de água do município aprimorar este modelo e utilizá-lo quando houver necessidade de intervenção em qualquer parte da rede. Os resultados conclusivos deste trabalho demonstraram, através da ferramenta computacional empregada, o que os operadores do sistema de abastecimento da cidade de Guarabira já observavam na prática. Ficaram comprovadas as influências de cada reservatório no abastecimento dos principais nós da rede de abastecimento.

Palavras chaves – Abastecimento de água, Rastreio de água, Setorização.

ABSTRACT

This work has the objective to track water distributed in a distribution network supplied by four sources using the EPANET hydraulic simulation model. The case study comprises the water supply system in the city of Guarabira - PB. After the execution of the hydraulic modeling in EPANET, it was possible to use the tracer tracking tool to identify the percentages of water originating in each reservoir for each node in the network at times of maximum and minimum demand. With the results generated from the tables extracted from the EPANET program, it was possible to draw a new map of the influence of the reservoirs in the water distribution network of the city of Guarabira for these times. With the definition of the sectors, among other benefits, it will be possible for the city water concession company to improve this model and use it when there is a need to intervene in any part in the network. The conclusive results of this work demonstrated, through the computational tool used, what the operators of the supply system in the city of Guarabira already observed in practice. The influences of each reservoir on the supply of the main nodes in the supply network was proven.

Keywords - Water supply, Water tracking, Sectorization.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.2.1 Geral.....	2
1.2.2 Específicos.....	2
1.3 Estrutura da Dissertação.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Sistemas de Distribuição de Água.....	4
2.1.1 Estações de Bombeamento.....	8
2.1.2 Reservatórios Elevados.....	9
2.2 Modelagem de Redes Hidráulicas.....	12
2.3 EPANET.....	14
2.3.1 Rastreamento (<i>tracer</i>).....	17
2.4 WATERCAD.....	19
2.4.1 LoadBuilder – Método <i>Unit Line</i>	20
2.5 Sistemas de Abastecimento e Zonas de Abastecimento.....	24
2.6 Gestão de Sistemas.....	25
3 METODOLOGIA.....	26
3.1 Caracterização da Área de Estudo.....	26
3.2 A Cidade de Guarabira.....	27
3.2.1 Sistema de Distribuição de Água de Guarabira.....	29
3.3 Modelagem da Rede de Distribuição de Água.....	34
3.3.1 Demandas Nodais.....	43
3.3.2 Dados de Faturação.....	47
3.3.3 Padrão de Consumo.....	48
4 RESULTADOS.....	50
4.1 Área de influência existente.....	50
4.2 Interpretação dos Dados Medidos.....	52
4.2.1 Reservatório Apoiado - R1A.....	53
4.2.2 Reservatório Elevado - R1E.....	57
4.2.3 Reservatório Elevado - R2E.....	61
4.2.4 Reservatório Elevado - R3E.....	64
4.2.5 Consolidação dos Cenários.....	67

5. CONCLUSÕES.....	72
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	73
REFERÊNCIAS.....	74
ANEXOS.....	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de abastecimento de água.....	4
Figura 2: Índice de perdas na distribuição dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2013, segundo capital de estado e média do Brasil.	7
Figura 3: Modelo Esquemático de um sistema de bombeamento.....	9
Figura 4: Modelo Esquemático de um reservatório de armazenamento de água.....	10
Figura 5: Posição dos reservatórios em relação ao terreno.	10
Figura 6: Posicionamento dos reservatórios de montante, intermediário e de jusante.	11
Figura 7: Curva de consumo de água da rede de distribuição.....	12
Figura 8: Interface gráfica WaterCAD.....	19
Figura 9: Método Unit Line no LoadBuilder.	21
Figura 10: Cargas registradas no Unit Line.	22
Figura 11: Demandas alocadas no Unit Line.	23
Figura 12: Parâmetros de saída do Unit Line.....	23
Figura 13: Sistema de abastecimento de água.....	24
Figura 14: Localização cidade de Guarabira/PB.....	26
Figura 15: Vista área cidade de Guarabira com destaque para seus reservatórios.....	27
Figura 16: Seleção da área a ser simulada.....	28
Figura 17: Vista represa do açude Tauá.	29
Figura 18: Vista reservatório R1 apoiado (R1A) e ao fundo o R1 elevado (R1E)	32
Figura 19: Vista reservatório R1 elevado (R1E).....	33
Figura 20: Vista reservatório R2 elevado (R2E).....	33
Figura 21: Vista reservatório R3 elevado (R3E).....	34
Figura 22: Execução das atividades proposta.	35
Figura 23: Rede selecionada para tratamento (AUTOCAD)	37
Figura 24: Nós selecionados para simulação (EPANET).	38
Figura 25: Rede simulada em EPANET.	41
Figura 26: área mapeada.	42
Figura 27: Interface da ferramenta WaterCAD.....	43
Figura 28: Parâmetros de distribuição consumo (WaterCAD).	44
Figura 29: Distribuição consumo realizada (WaterCAD).....	45

Figura 30: Verificação do consumo dos nós (WaterCAD).	46
Figura 31: Padrão de consumo de Guarabira no EPANET.	49
Figura 32: Zonas de Influência existentes no registro da concessionária	50
Figura 33: Sistema supervisorio cidade de Guarabira.	51
Figura 34: Legenda rastreio gráficos isolinhas.	52
Figura 35: Rastreio R1A simulado às 04:00h.	53
Figura 36: Rastreio R1A simulado às 12:00h.	54
Figura 37: Influência (Gráfico em isolinhas) R1A às 04:00h	55
Figura 38: Influência (Gráfico em isolinhas) R1A às 12:00h.	55
Figura 39: Abastecimento R1A.	56
Figura 40: Acesso ao reservatório elevado (R1E).	57
Figura 41: Vista interna R1E.	57
Figura 42: Rastreio R1E simulado as 04:00h.	58
Figura 43: Rastreio R1E simulado às 12:00h.	59
Figura 44: Influência (Gráfico em isolinhas) R1E às 04:00h.	60
Figura 45: Influência (Gráfico em isolinhas) R1E às 12:00h.	60
Figura 46: Rastreio R2E simulado às 04:00h.	61
Figura 47: Rastreio R2E simulado às 12:00h.	62
Figura 48: Influência (Gráfico em isolinhas) R2E às 04:00h.	63
Figura 49: Influência (Gráfico em isolinhas) R2E às 12:00h.	63
Figura 50: Rastreio R3E simulado às 04:00h.	64
Figura 51: Rastreio R3E simulado às 12:00h.	65
Figura 52: Influência (Gráfico em isolinhas) R3E às 04:00h.	66
Figura 53: Influência (Gráfico em isolinhas) R3E às 12:00h.	66
Figura 54: Legenda gráficos setorização.	67
Figura 55: Setorização 04:00h.	68
Figura 56: Setorização 12:00h.	68
Figura 57: Gráfico temporal semanal - rastreio nós 2, 3, 4 e 25 (R3E).	69
Figura 58: Gráfico temporal semanal - rastreio nós 36, 37 e 79 (R3E).	70
Figura 59: Gráfico temporal semanal - rastreio nós 68, 103 e 107 (R2E).	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Linhas de adução.	31
Tabela 2 - Rede de distribuição.	31
Tabela 3: Dados reservatórios.	32
Tabela 4: Dados da rede de distribuição simulada no EPANET.	39
Tabela 5 - Dados de faturação	47
Tabela 6 - Dados do Padrão de Consumo Domiciliar GBA.	48

LISTA DE ABREVIATURAS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
CMB	Conjunto Motor Bomba
ETA	Estação de Tratamento de Água
LENHS	Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento
mca	Carga hidráulicas em metros de coluna de água
GBA	Guarabira

CAPITULO I

1. INTRODUÇÃO

Devido o crescimento das cidades e a má execução nos projetos de expansão da rede de abastecimento de água, certas incertezas são inseridas no sistema. Como é de conhecimento público, embora muitas vezes com planejamento adequado, as concessionárias de água não conseguem os recursos necessários, seja em tempo adequado e/ou no montante desejado. Diante desta realidade estes operadores se veem na obrigação de utilizar os recursos existentes ainda que necessariamente fazendo adaptações aos projetos visto à realidade imposta.

As redes de distribuição de água sob pressão (urbana, industrial, irrigação) sempre exigem o fornecimento de novas fontes de água como resultado do aumento da demanda, crescimento da população, extensão da rede, aumento de vazamentos e novas condições de serviço. A rede, inicialmente projetada para atender uma demanda específica, e que continha apenas uma ou poucas fontes de abastecimento de água, passa a operar com um número maior de fontes, devido à expansão da rede e ao aumento da demanda. Assim, surgiram diversas interligações de tubulações não previstas na rede de abastecimento que mudaram o comportamento hidráulico originalmente previsto e trouxeram a necessidade de um estudo que pudesse setorizar a rede, de modo a conhecer a origem da água em seus diversos nós.

Novos reservatórios e sistemas de bombeamento vão sendo instalados e isso provoca problemas em relação ao rastreio da água, principalmente quando parte da rede precisa ser desligada para a realização de reparos e manutenções. Entende-se por rastreio da água a identificação da origem desta em qualquer nó da rede. O rastreio permite seguir a porcentagem de água que, tendo origem num nó específico, chega a um determinado nó da rede, ao longo do tempo. O nó de origem pode ser interpretado como qualquer nó da rede, incluindo reservatórios de nível fixo ou variável.

Uma das preocupações mais importantes no campo da engenharia hidráulica urbana é o gerenciamento correto dos recursos hídricos. Quando existe mais de uma fonte de água, há uma pergunta que deve ser respondida: qual a quantidade de água e a carga hidráulica que deve ser fornecida por cada fonte de água de acordo com a variação da demanda da rede.

Métodos de rastreio de água são utilizados com o objetivo de analisar os fluxos e a carga hidráulica da rede de abastecimento com o objetivo de estudar a contribuição de cada fonte de água no sistema. Uma poderosa ferramenta para a análise de redes hidráulicas é o EPANET; este software permite a modelagem da rede e a análise de diferentes parâmetros e cenários, podendo-se realizar também o rastreio da água. Tais medidas resultam no desenvolvimento de métodos de racionalização energética e eficiência operacional, uma vez que poderão ser estudadas formas de reduzir as pressões excessivas da rede, resultando em menores perdas hidráulicas; ou até remover fontes de água que não contribuam significativamente para a operação da rede.

Tendo em vista o contexto analisado, este trabalho tem como objetivo modelar a rede de abastecimento da cidade de Guarabira - PB com o auxílio computacional do EPANET, para analisar a contribuição de cada um dos quatro reservatórios no abastecimento de água da cidade, inclusive, destacando as zonas de influência de cada um dos reservatórios para os horários de máxima e mínima demanda.

O programa de simulação EPANET 2.0, cuja versão do programa EPANET para o português, falado e escrito no Brasil, é uma iniciativa do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS), pertencente ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, do Centro de Tecnologia, da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Este trabalho tem por objetivo realizar o rastreio da água em uma rede de distribuição abastecida por quatro fontes mediante o modelo EPANET de simulação hidráulica, tendo como estudo de caso o sistema de distribuição de água da cidade de Guarabira - PB.

1.2.2 Específicos

- Identificar e delimitar as áreas de influência de cada fonte de abastecimento a partir do rastreio das quatro fontes de abastecimento existentes.

- Inventariar os pontos críticos de abastecimento, subsidiando possíveis planos de intervenção no sistema;

1.3 Estrutura da Dissertação

O presente trabalho está organizado em 5 (cinco) capítulos.

Inicialmente, no capítulo I introduz o tema, descreve a relevância do trabalho, bem como a sua motivação e os objetivos gerais e específicos que nortearam a metodologia a ser desenvolvida nesta pesquisa.

O capítulo II é dedicado ao estado da arte sobre o tema. Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica relacionada aos sistemas de abastecimento de água, modelagem hidráulica e softwares de modelagem. Realça às zonas de abastecimento e as técnicas de gestão de sistemas de abastecimento.

O Capítulo III capítulo descreve o sistema analisado, bem como a metodologia para o rastreio de água e cálculo da contribuição de cada reservatório analisado.

No capítulo IV são apresentados os resultados, onde é analisada a contribuição de cada reservatório no abastecimento da cidade de Guarabira.

Por fim, no capítulo V é apresentado as conclusões finais do método aplicado e as recomendações para trabalhos futuros, seguidas da lista de referências.

CAPITULO II

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistemas de Distribuição de Água

Os sistemas hidráulicos de abastecimento de água são formados por um conjunto de obras civis e equipamentos eletromecânicos, utilizados para o fornecimento de água em quantidade e qualidade adequada, para o consumo residencial, comercial, industrial e público. A concepção e o dimensionamento dos sistemas de bombeamento e distribuição de água ocorrem de forma integrada, o que requer o emprego de uma equipe de multiprofissionais especializados (GOMES, 2019). Comumente, os sistemas de fornecimento de água se constituem de um conjunto de subsistemas, como o de: captação, estação de tratamento de água (ETA), reservatório, estação elevatória, adutora e a própria rede de distribuição, como ilustrado na Figura 1.

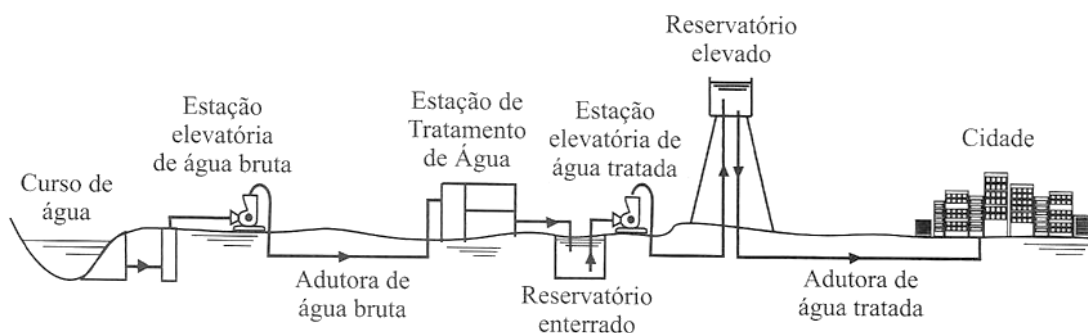


Figura 1: Sistema de abastecimento de água.

Fonte: Tsutiya, 2006.

Segundo Melo (2011), os sistemas de abastecimento de água possuem relevância em duas subdivisões sociais:

- Saúde pública: Controle e prevenção de doenças de veiculação hídrica, proporciona o desenvolvimento de hábitos higiênicos na população, facilita a limpeza pública e

manutenção de praças e jardins, permite as práticas desportivas e recreativas, contribui para o conforto e a segurança da comunidade;

- Desenvolvimento econômico: aumento da longevidade, facilita a implantação de indústrias e comércios, contribui para o desenvolvimento das atividades de turismo e lazer.

Há ainda uma diversa quantidade de elementos hidráulicos (tubulações, conexões, bombas, válvulas e reservatórios) interconectados, segundo Salvino (2018) com a finalidade de conduzir e distribuir a água para os pontos de consumo em quantidade e qualidade aceitável e apresentadas a seguir:

- Trecho: representa as tubulações que formam os percursos da rede de distribuição;
- Nó: É um ponto de ligação entre dois ou mais trechos, pode ser considerado como um ponto de consumo, consequentemente associado a uma demanda de água;
- Ramal: Conjunto de trechos conectados em série;
- Artérias: Trechos principais da rede de distribuição;
- Traçado da Rede: Configuração da distribuição das tubulações, com a definição da situação topológica de todos os componentes da rede;
- Alimentação: Início da rede de distribuição onde se localiza o reservatório ou o sistema de bombeamento.

Estes sistemas apresentam uma elevada quantidade de componentes e subsistemas, assim, é desejável que o projeto, a construção e até a operação destes sistemas obedeçam a alguma norma regional ou nacional para a uniformização ou padronização dos elementos. No Brasil, a NBR 12211/1992 determina os procedimentos para a elaboração dos estudos de concepção destes sistemas.

As redes de distribuição de água podem ser constituídas por três tipos de traçado, classificados: malhado, ramificado e misto. Cada um possuem vantagens e desvantagens operacionais; as ramificadas possuem apenas um sentido de fluxo de água, a grande vantagem está no seu baixo custo, menor que o de uma rede malhada de mesmo porte. Entretanto, o inconveniente de desabastecer todo um ramal para realizar manutenções é uma desvantagem considerável. Desta forma, este tipo de rede se tornou defasado para o projeto dos sistemas atuais de abastecimento. “As redes ramificadas são empregadas principalmente no abastecimento de sistemas de irrigação pressurizados, em pequenas comunidades e em

urbanizações particulares” (SALVINO, 2012). As redes malhadas, por sua vez, são caracterizadas por apresentarem os seus trechos interligados em forma de anéis, ou malhas, fazendo com que o sentido do fluxo possa ser alterado dependendo da demanda nos nós (GOMES, 2009). O traçado misto, por sua vez, abrange a união dos traçados malhado e ramificado, sendo o tipo de traçado mais usual.

Para o projeto de um sistema de abastecimento, inicialmente fazem-se necessários a determinação de parâmetros, como a vazão, ou seja, a determinação do consumo exigido pela população ou consumidor. Segundo Gomes (2009), para a determinação da vazão de projeto, torna-se imprescindível o estudo dos aspectos relacionados ao: alcance de projeto, previsões de população, estimativa dos consumos, estimativa das perdas e variações de consumo.

Outro ponto relevante que deve ser considerado para o projeto de um sistema de abastecimento é o alcance ou período do projeto, definido como o universo temporal para que a rede de distribuição atinja a sua capacidade máxima de operação. No Brasil, é comumente adotado um período de alcance de 10 a 30 anos. É ainda importante destacar alguns parâmetros importantes para realizar esta previsão, como: tendência de crescimento da população, vida útil dos equipamentos, facilidade de ampliação do sistema, disponibilidade financeira, dentre outros (GOMES, 2009). De forma, que dados estáticos podem ser utilizados para prever o crescimento populacional e os catálogos dos fabricantes consultados para estimar a vida útil dos equipamentos. Entretanto, determinados parâmetros podem ser difíceis de serem estimados, como o consumo da população, que depende do clima, padrão de vida da população, pressão na rede de abastecimento, custos e perdas de água, facilidade de ampliação das obras físicas, instalações de indústrias na localidade, dentre outros fatores.

Ao quantificar o consumo de água necessário para abastecer uma cidade ou localidade, é necessário levar em conta as perdas de água. Um importante indicador é o índice percentual de perdas (IP), que relaciona o total de água bombeada com o total de água perdida. Segundo o SNIS (2018) este índice no Brasil está na média de 38%, no entanto, em alguns estados alcança 75%, como ilustrado na Figura 2.

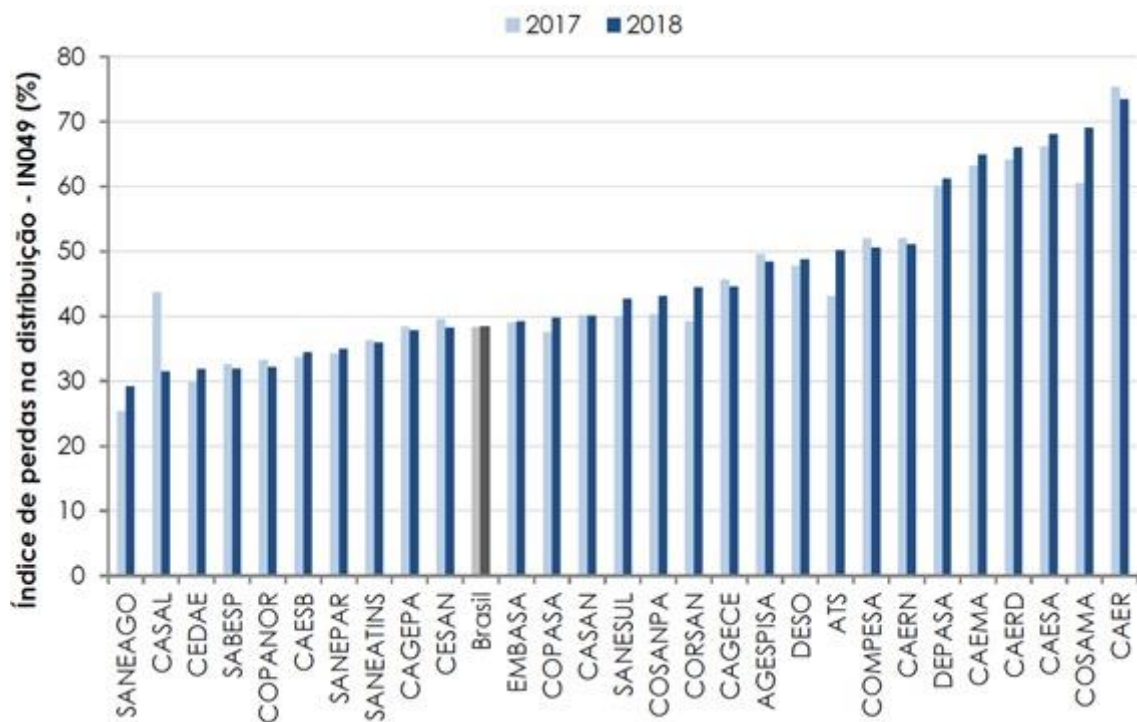


Figura 2: Índice de perdas na distribuição dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2013, segundo capital de estado e média do Brasil.

Fonte: SNIS (2018).

A determinação das pressões da rede também é um ponto relevante para o projeto de um sistema de distribuição de água. A NBR12218 (2017) estabelece que a pressão dinâmica mínima em qualquer ponto nas tubulações distribuidoras deve ser de 100 kPa (≈ 10 mca). A pressão máxima definida pela referida norma é de 500 kPa (≈ 50 mca). “Esta mesma norma recomenda, também, que os trechos de condutos principais que não abastecem consumidores ou tubulações secundárias não estejam sujeitos aos limites de pressões máximos e mínimos estabelecidos” (SALVINO, 2018).

Outro parâmetro que está relacionado ao projeto de sistemas de abastecimento é a perda de carga, a NBR12218 (2017) determinar que a velocidade da água nos condutos deve ser superior a 0,6 m/s e inferior a 3,5. Desta forma, é possível obter o diâmetro das tubulações; entretanto, este dimensionamento deverá levar em conta aspectos econômicos, uma vez que o custo da tubulação representa a maior parte do investimento. Os condutos devem ser selecionados de acordo com algumas características, como pressão máxima de trabalho, custo de instalação, manutenção e características do terreno. Nos últimos anos, os tipos de tubos mais empregados nas redes de distribuição de água são os de plástico - Policloreto de Vinila (PVC), Polietileno, Poliéster Revestido com Fibra de Vidro (PRFV), e

metálicos (ferro fundido e aço), havendo uma larga predominância dos tubos de PVC e de ferro fundido.

Em via de regra, a água tratada é fornecida, em pressão e vazão adequada, por dois subsistemas: a estação de bombeamento e os reservatórios de armazenamento ou elevados.

2.1.1 Estações de Bombeamento

A estação de bombeamento é um subsistema essencial em sistemas de abastecimento; ela é responsável por impulsionar a água contra a gravidade, vencendo desníveis geométricos e perdas de carga, devendo chegar em quantidade e pressão suficiente ao ponto atendido, como o consumidor direto e os reservatórios de armazenamento. As bombas são equipamentos capazes de converter trabalho mecânico em diversos tipos de energia (pressão, cinética e potencial), elas podem ser divididas em quatro classes: centrífugas, rotativas, de êmbolo e de poço profundo (SILVA *et al.*, 2014).

Tais sistemas são formados por equipamentos hidráulicos, eletromecânicos, eletrônicos e elétricos, tais como dutos e tubulações, conjuntos motobombas (CMBs), inversores de frequência e sistemas elétricos de carga, como ilustrado na Figura 3.

Para caracterizar a operação dinâmica da bomba e outros elementos hidráulicos do sistema, é necessário obter a curva da bomba e da tubulação, de forma a estudar o ponto de equilíbrio e calcular a vazão e a pressão de serviço do sistema. A variação de demanda, comumente, presente em sistemas de abastecimento, provoca a mudança da curva da tubulação o que altera o ponto de equilíbrio entre a curva da bomba e da tubulação.

Quando o ponto de equilíbrio entre as curvas é atingido, é razoável a mudança de alguns parâmetros para que o sistema possa atuar de maneira eficiente. Um dos métodos mais utilizados é a variação da velocidade de rotação da bomba. Visto que, para cada velocidade de operação, obtém-se uma diferente curva característica da bomba, adequando, assim ao ponto de trabalho do sistema. Para se variar a rotação de um CMB, utilizam-se os conversores ou inversores de frequência (GOMES, 2012).

Nos últimos anos o custo da energia elétrica nos sistemas de bombeamento do setor de saneamento no Brasil tem se tornado um tema de análise, devido ao elevado consumo, já constituindo o segundo item de despesas nas empresas prestadoras de serviço (GOMES, 2005). Desta forma, diversos trabalhos foram desenvolvidos utilizando sistemas de controle e inversores de frequência com o objetivo de controlar as pressões da rede de abastecimento

através do controle de rotação dos CMBs e elevar a eficiência energética do sistema, poupando uma grande quantidade de energia elétrica (CAMBOIM, 2012; CARVALHO, 2012; MENDONÇA, 2016; SALVINO, 2016; OLIVEIRA, 2017; BARROS *et al.* 2017; MOURA *et al.*, 2018; MENDONÇA *et al.*, 2019).

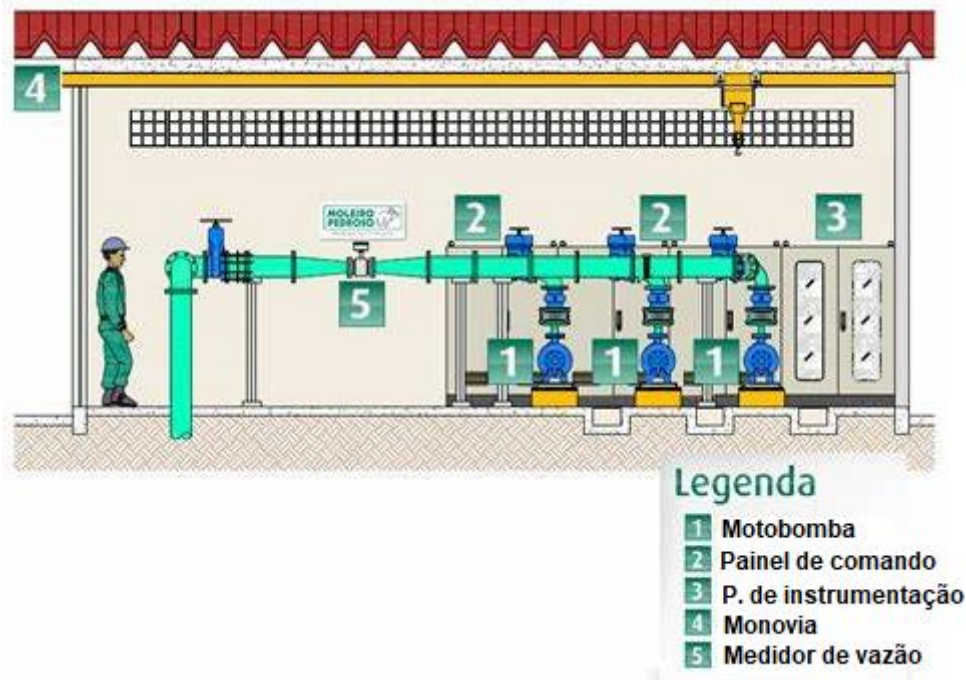


Figura 3: Modelo Esquemático de um sistema de bombeamento.

Fonte: Moleiro (2020).

2.1.2 Reservatórios Elevados

São reservatórios de armazenamento de água construídos em cotas piezométricas superiores, como ilustra a Figura 4, para o atendimento das demandas de água com pressão, aproximadamente, fixa; cuja função específica é regularizar as diferenças entre o abastecimento e o consumo máximo diário, servindo como reserva de equilíbrio. Em geral, eles são construídos em concreto armado, erguida através de processos que fazem uso de formas deslizantes verticais.

A grande vantagem destes sistemas é que podem manter o abastecimento de uma cidade ou localidade mesmo em situações de blackout elétrico, suprir em alta demanda

sistema de combate a incêndio e condicionar a pressão da rede de distribuição. Além, de permitir a homogeneização das pressões da rede, mesmo em situações de demanda variável.

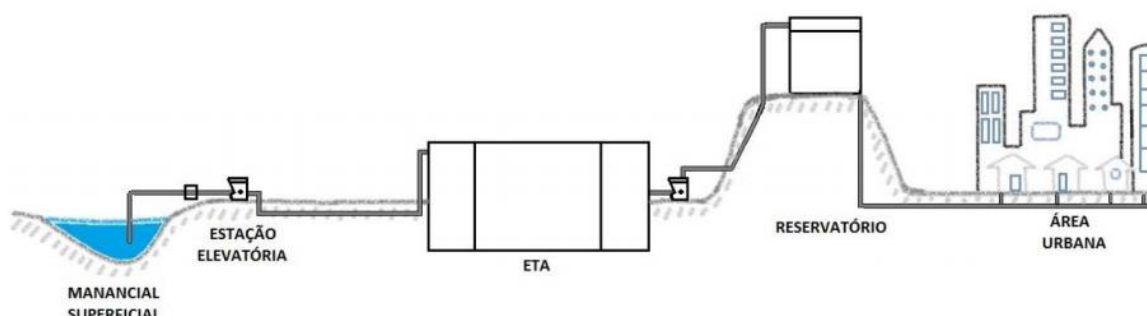


Figura 4: Modelo Esquemático de um reservatório de armazenamento de água.

Fonte: Gomes (2019).

Mesmo, que comumente eles estejam em cota piezométrica superior, os reservatórios podem ter diferentes níveis em relação ao solo onde estão localizados. Em relação a sua posição os reservatórios podem ser elevado, apoiado, semienterrado e completamente enterrado, como ilustrado na Figura 5. O reservatório elevado consiste de uma caixa de água apoiada por pilares, na qual sua cota piezométrica está elevada em relação ao terreno, desta forma, fornece uma grande carga hidráulica para pressurizar a rede. Na prática, os reservatórios elevados e apoiados são os mais utilizados para o fornecimento de água.

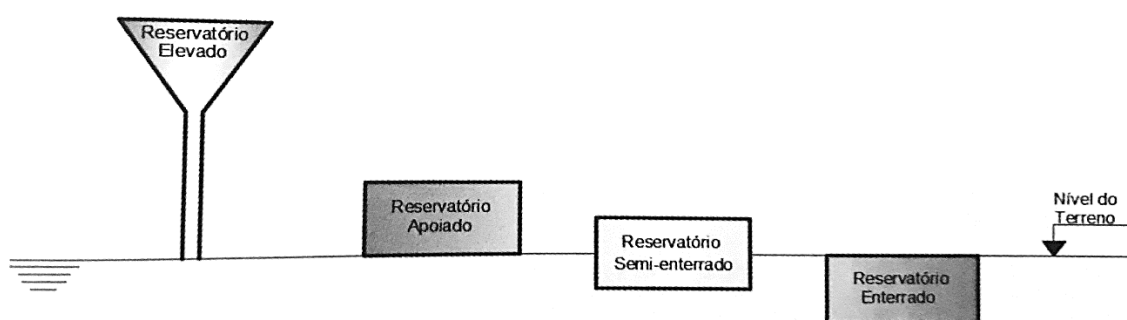


Figura 5: Posição dos reservatórios em relação ao terreno.

Fonte: Gomes (2015).

Em relação a sua posição, o reservatório pode se localizar de três formas, como ilustrado na Figura 6. A montante, quando o reservatório fica localizado antes do sistema de

bombeamento, este reservatório é o maior responsável pela acumulação e distribuição de água, localizando-se na cabeceira do sistema de distribuição. Em posição intermediária, quando após o sistema de bombeamento e já próxima da localidade a ser atendida, este recebe água de uma adutora e é o responsável pela carga hidráulica potencial. A jusante, quando após a localidade a ser atendida, normalmente este reservatório tem a função primordial de regularizar as pressões da rede de distribuição, recebendo água em horários de baixo consumo (normalmente na madrugada) e distribuindo-a em horários de maior consumo; ao contrário dos outros dois reservatórios, é comum o fluxo de água escoar em dois sentidos, a depender da demanda. Em geral, vários reservatórios desse são construídos em uma rede de distribuição.

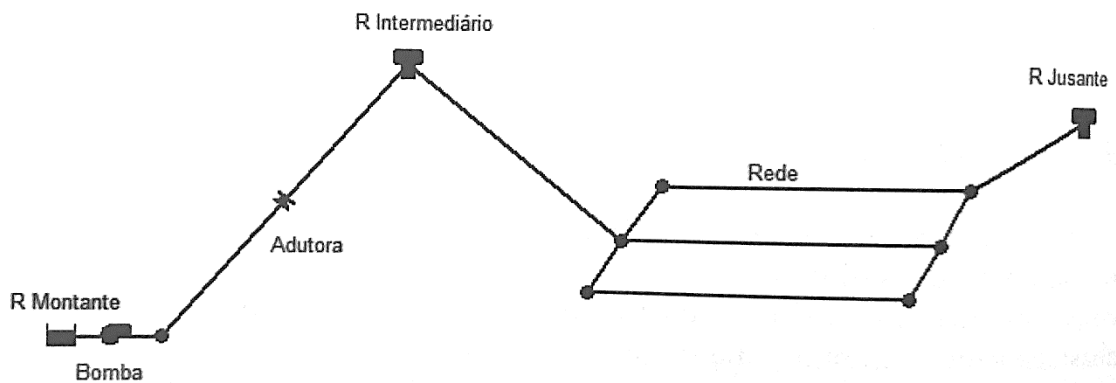


Figura 6: Posicionamento dos reservatórios de montante, intermediário e de jusante.

Fonte: Gomes (2019).

A Figura 7 ilustra a contribuição que um reservatório tem no abastecimento de água da rede. Em horários de menores demanda, quando a carga hidráulica fornecida pelo sistema de abastecimento é elevada, o reservatório é abastecido; em horários de máxima demanda, quando a carga hidráulica fornecida pelo sistema de bombeamento não é capaz abastecer a rede, o volume útil do reservatório é utilizado.

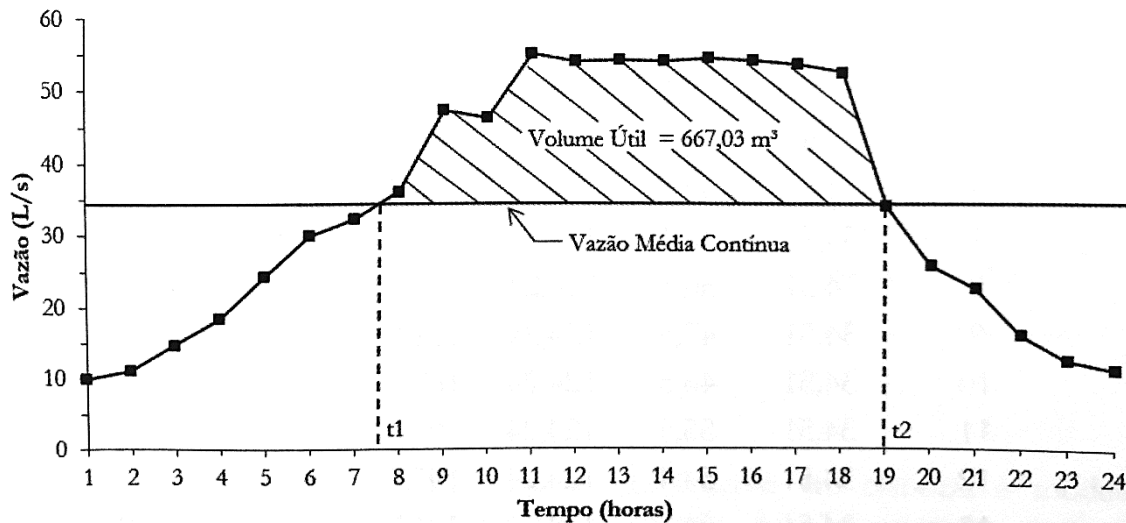


Figura 7: Curva de consumo de água da rede de distribuição.

Fonte: Gomes (2019).

Uma grande problemática em sistemas de abastecimento que possuem uma grande quantidade de reservatórios, é definir a contribuição de cada um desses no abastecimento da rede, principalmente, em situações de variação de demanda. Definir a contribuição ou área de influência de cada reservatório é uma medida importante para diagnosticar falhas no abastecimento (não atendimento das demandas a cada consumidor) e realizar manutenções, bem como avaliar a real necessidade ou importância daquele reservatório no abastecimento.

Após a etapa de quantificação da vazão e seleção dos parâmetros e componentes iniciais, o passo seguinte consiste em realizar o dimensionamento da rede de abastecimento. O projeto de sistemas de abastecimento foi realizado, por muito tempo, utilizando métodos ineficientes e, muitas vezes, baseados na experiência empírica dos projetistas. Nas duas últimas décadas, os pacotes computacionais têm sido utilizados com êxito para realizar o projeto e análise destes sistemas.

2.2 Modelagem de Redes Hidráulicas

Os modelos hidráulicos são ferramentas eficientes de apoio à decisão para o gerenciamento eficaz de redes de distribuição de água. Segundo Silva (2014) os modelos hidráulicos podem ser definidos, basicamente, de dois modos, o primeiro designa por modelo o software de cálculo (simulador) que descreve o comportamento do sistema mediante determinadas solicitações, enquanto o segundo associa os modelos ao conjunto de

componentes físicos e não físicos que descrevem o comportamento hidráulico e de qualidade da água do sistema.

No modelo hidráulico, equações hidráulicas são resolvidas para calcular os principais parâmetros hidráulicos; como vazão, velocidade e pressão da água, em muitos pontos para o sistema. Os resultados obtidos são exibidos em tabelas e gráficos, a serem avaliados pelo usuário. Segundo Coelho *et al.* (2006), o modelo de simulação hidráulica é formado por três aspectos:

- Dados descritivos das características físicas do sistema, demandas e condições operacionais;
- Conjunto de equações matemáticas que reproduzem o comportamento individual hidráulico dos componentes e do sistema como um todo, expressas em termos das principais variáveis de estado, por exemplo, a vazão e pressão nos pontos de consumo;
- Algoritmos numéricos necessários para a resolução desse conjunto de equações matemáticas.

O sucesso do modelo hidráulico está relacionado à exatidão de suas variáveis de saída; isto é, para uma mesma condição de entrada, os parâmetros de saída do modelo hidráulico têm que ser próximos aos parâmetros de saída do sistema experimental. Para que o modelo tenha resultados satisfatórios, e represente bem as características do sistema experimental, ele deverá ser ajustado através de dados experimentais. Alguns trabalhos foram desenvolvidos objetivando a calibração do modelo hidráulico com o auxílio computacional do EPANET (CHEUNG, 2006; NEVES, 2007; WU *et al.*, 2011; NICOLINI *et al.*, 2011; DOOSUN *et al.*, 2011; MINAEE *et al.*, 2019) em pesquisas na área de calibração de redes de distribuição.

Alguns poucos trabalhos ainda modelam e analisam a rede hidráulica de abastecimento de modo analítico (XIÃO *et al.*, 2014; ATES, 2015), normalmente utilizando alguma planilha eletrônica; apesar de apresentar bons resultados, este método tem se tornado obsoleto, principalmente quando se analisa redes com grandes dimensões e quantidades de componentes. Desta forma, softwares, como o EPANET e o WaterCAD, têm sido cada vez mais adotados, por fornecer soluções computacionais relevantes.

2.3 EPANET

O estudo dos sistemas de abastecimento de água iniciou-se antes do surgimento dos primeiros computadores. Numa fase anterior à era da informática, os engenheiros já projetavam, construía e geriam sistemas de abastecimento e distribuição de água, mas de um modo experimental ou através de cálculo manual (OLAIA, 2012). Entretanto, com o surgimento de pacotes computacionais, como o EPANET, os sistemas de abastecimento tiveram melhorias consideráveis, principalmente em relação à sua operação.

Segundo Gomes (2009, p.17) “O EPANET é um programa de computador que permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade da água em redes de distribuição pressurizada ” O software foi desenvolvido pela *Environmental Protection Agency* (EPA), e permite realizar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e da qualidade da água em redes pressurizadas de distribuição. Além disso, possibilita estabelecer cenários de projetos, comparar com dados experimentais, analisar o decaimento do cloro residual e a avaliar os consumos.

As vantagens do EPANET em realizar modelagem hidráulica são inúmeras, onde se destacam como principais, segundo Rossman (2008):

- Modelagem gráfica da rede de abastecimento;
- Quantidade ilimitada do número de componentes da rede;
- Cálculo da perda de carga utilizando as fórmulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning;
- Modelagem de bombas de velocidade constante ou variável;
- Cálculo da energia de bombeamento e do custo de bombeio;
- Modelagem de válvulas, incluindo válvulas de seccionamento, de retenção, reguladoras de pressão e de vazão.
- Modelagem de reservatórios de armazenamento de nível variável de formas diversas, através de curvas de volume em função da altura de água;
- Diversos padrões de consumo nos nós, cada um com um padrão próprio de variação no tempo;
- Modelagem da relação entre pressão e vazão efluente de dispositivos emissores (p.ex. aspersores de irrigação, ou consumos dependentes da pressão);

- Possibilidade de basear as condições de operação do sistema em controles simples, dependentes de uma só condição (p.ex., altura de água num reservatório de nível variável, tempo), ou em controles com condições múltiplas;
- Estabelecer cenários de operação em tempo contínuo.

Há ainda a possibilidade de modelar a qualidade ou as características da água, simulando o transporte de um elemento reativo ou não-reativo através da rede; a exemplo, é possível modelar o decaimento do cloro (cloro residual) ao longo do tempo.

Os passos para a modelagem de um sistema de abastecimento são realizados de forma simples e bastante intuitiva, segundo Gomes (2019):

- i. Desenho do traçado ou esquema do sistema de distribuição. O desenho do traçado da rede também pode ser importado de um arquivo Autocad, entre eles o WaterCAD;
- ii. Edição das propriedades dos componentes que constituem o sistema (nós, trechos, bombas, reservatórios e válvulas);
- iii. Descrição das condições de operação;
- iv. Seleção de um conjunto de opções de simulação e análises;
- v. Execução da simulação hidráulica ou de qualidade da água;
- vi. Aquisição e análise dos resultados das simulações.

Devido às suas vantagens, o EPANET vem sendo amplamente utilizado, como na calibração (NICOLINI e PATRIARCA, 2011; SHEN e MCBEAN, 2011; KOPPEL e VASSILJEV, 2011; ZHANG *et al.*, 2012; ESTAPÉ, 2013; KARA *et al.*, 2016), e simulação das pressões e vazões (FARIA *et al.*, 2009) de redes hidráulicas de abastecimento.

Em um levantamento realizado por Silva (2008) para destacar as potencialidades do Epanet 2.0 para a simulação hidráulica de sistemas de abastecimento de água, apontaram que o programa tem a capacidade de interação com diversos pacotes computacionais gratuitos, permitindo analisar e simular várias situações reais por meio da:

- Importação de redes desenhadas em Autocad;
- Análise da qualidade da água (idade, cloro residual, etc.);
- Modelagem do funcionamento de válvulas e bombas;
- Análise das condições de combate a incêndio.

A maior parte dos trabalhos desenvolvidos com o auxílio do EPANET focam na sua aplicação prática em estudos de casos e, por vezes, no desenvolvimento e testes de novos Toolbox. Abdy Sayyed *et al.* (2014) desenvolveram um modelo no EPANET 2.00.12 de uma rede hidráulica real, para simular diversos cenários de operação e obter a vazão e pressão de cada nó. O objetivo consistia em avaliar os nós fora de suas condições ideais de operação e sugerir medidas, como a mudança de diâmetro da tubulação ou a adição de uma válvula de controle.

Muranho *et al.* (2014) utilizaram o EPANET para explorar o uso de indicadores de desempenho técnico para avaliar o desempenho operacional dos recursos hídricos da rede e exemplifica a adequação das redes de distribuição, para identificar facilmente zonas problemáticas. As ferramentas de avaliação foram exploradas por meio de um estudo de caso para mostrar como identificar facilmente os nós da rede com baixo desempenho.

A modelagem de resíduos de cloro em sistemas de abastecimento de água é de grande importância no gerenciamento das concentrações de desinfetantes em toda a rede. Monteiro *et al.* (2014) utilizou o EPANET em conjunto com a extensão *Multi-Species Extension* (MSX), que simula os resíduos de cloro em sistemas de abastecimento. Os autores concluíram que a versão atual do EPANET MSX pode nem sempre ser vantajosa, devido ao uso do MS-DOS e à falta de uma interface gráfica, mas que o modelo previu bem o consumo de cloro a granel.

Apesar de ser bastante utilizado para modelar redes hidráulicas urbanas, existem aplicações práticas do EPANET para modelar redes em comunidades rurais. Ramana *et al.* (2015) modelarem a rede de distribuição de uma comunidade rural no distrito de Kadapa – Índia, com o objetivo de garantir a qualidade da água para vários pontos da comunidade, mediante uma possível expansão. Os autores concluíram que o sistema era capaz de suportar um crescimento de 5% da população sem sofrer com deficiências no abastecimento. Estudos como estes favorecem o planejamento da companhia de saneamento, de forma a facilitar alterações na rede em tempo hábil.

Trabalhos mais recentes têm-se concentrado na redução de perdas e, principalmente, na eficiência energética de sistemas de abastecimento. Um problema muito comum nos sistemas de distribuição é o vazamento de água, que pode ser reduzido pelo gerenciamento de pressão. Luna *et al.* (2018) com o objetivo de melhorar o desempenho energético de um sistema de abastecimento, realizou um estudo através do EPANET e de algoritmos genéticos para otimizar o cronograma de bombeamento ao longo do dia. Através do conhecimento da

demanda, foi possível definir o status ideal da bomba para um período de tempo específico (por exemplo, a cada 1 h), minimizando os custos de operação e também o consumo de energia e as emissões associadas de dióxido de carbono. A partir das soluções obtidas, verificou-se que otimizar a programação da bomba pode melhorar a eficiência energética em até 15% de média (máximo de 25%) comparativamente à operação real. Entretanto, a eficiência depende fortemente dos níveis disponíveis nos reservatórios e da demanda real.

Ávila *et al.* (2019) desenvolveram um estudo com o objetivo de avaliar a redução do vazamento de água, através da otimização da pressão usando válvulas redutoras de pressão (PRV). O sistema hidráulico correspondente foi modelado utilizando o EPANET. Após a calibração e validação do modelo hidráulico, a análise da pressão nos nós, além dos vazamentos, foram quantificados. Os resultados permitiram otimizar a pressão adequada em 30,83% dos nós e minimizar vazamentos em 31,65%. Os autores recomendam o uso desta metodologia às empresas que fornecem água potável como ferramenta de apoio para planejar a redução de vazamentos.

Uma problemática frequente em sistemas de abastecimento, é definir a contribuição de cada fonte de água no fornecimento de água para a rede de distribuição, principalmente quando há um número elevado de fontes. Celi *et al.* (2017) propôs uma metodologia para definir a carga hidráulica e a vazão de três fonte de um sistema de abastecimento. Foi realizada a análise energética da rede com base no conceito de *set-point* da curva. O *set-point* da curva fornece, para cada fluxo fornecido, a carga hidráulica necessária para atender aos requisitos de pressão na rede.

Nesse sentido, o *set-point* da curva relaciona duas variáveis: vazão e carga hidráulica mínima exigida. O consumo de energia em todas as fontes é avaliado por meio do produto dessas duas variáveis. A solução foi encontrada por meio da correlação de Hooke-Jeeve e algoritmos de otimização Nelder-Mead. Para aplicar esses métodos, o EPANET foi utilizado em conjunto com os métodos matemáticos. Os resultados mostram, de forma numérica, a contribuição de cada fonte, analisadas de forma contínua através da implementação da curva de demanda.

2.3.1 Rastreio (*tracer*)

Segundo Rossman (2000), dentre as diversas funções desempenhadas, além do transporte de compostos químicos, o EPANET permite ainda simular a variação da idade da

água através do sistema de distribuição. Assim é possível utilizar esse parâmetro Idade da Água, quando determinado o ponto de captação, para demonstrar o tempo médio que uma quantia de água tarda a chegar a um determinado nó da rede simulada. Considera-se idade zero quando da entrada da água na rede, por uma fonte de abastecimento de nível fixo ou nós de origem, caso contrário se faz necessário informar um valor diferente de zero, indicando assim o tempo de trajeto. A idade da água compõe uma unidade simples, não específica, da qualidade da água disposta para consumo da população. O software EPANET identifica tal parâmetro (idade da água) como um constituinte reativo, orientado pela lei cinética de crescimento de ordem zero, com uma taxa constante igual a 1 (em cada segundo, a água torna-se um segundo mais antiga na rede).

Rossman (2000) ainda pontua que o EPANET permite efetuar o rastreo da origem de água. Este rastreo admite seguir a porcentagem de água que, tendo origem num nó específico, chega a um determinado nó da rede, ao longo do tempo. O nó de origem pode ser qualquer nó da rede, incluindo reservatórios de nível fixo ou variável. O EPANET trata este nó como uma origem constante de um constituinte não reativo que entra na rede com uma concentração de 100. Um rastreo da origem de água é um instrumento útil para analisar a distribuição de sistemas alimentados por duas ou mais origens. Permite mostrar a quantidade de água que, a partir de determinada origem, se mistura com aquela proveniente de outra(s) origens, assim como a variação espacial desta mistura ao longo do tempo.

Nas opções de Qualidade da Água na aba navegador do EPANET é possível encontrar o parâmetro trace (rastreo), devendo ser acionado quando da seleção do reservatório a ser monitorado. A operação deverá ser realizada sempre que houver a necessidade de determinar o rastreo de outras fontes (ROSSMAN, 2000).

Esta função é de suma importância para auxílio no processo de setorização da região estudada quando da existência de diversas fontes em um sistema interligado de abastecimento de água, cuja fonte responsável pelo atendimento ao nó não é conhecida. A partir do momento que é determinado o horário da simulação, o programa fornece o percentual da quantidade de água da fonte previamente selecionada atuante sobre os nós que compõe a rede simulada.

Repetindo a operação para as demais fontes existentes, escolhendo também o mesmo horário de simulação, é possível utilizar este somatório para identificar a contribuição de cada fonte que atende à demanda de cada nó. Portanto, para um nó ter sua origem identificada corretamente, quando da existência de diversas fontes, o somatório destes deve ser igual a

100%. Assim de posse dos dados, é possível montar um cenário sobreposto com a influência de cada fonte para cada nó da rede. Esta montagem possibilitará dentre outros, um plano de manutenção do sistema de abastecimento.

2.4 WATERCAD

Segundo a Methods (2007), “o programa pretende disponibilizar soluções e serviços altamente diferenciadores e avançados, na área da modelação e engenharia hidráulica, que visam otimizar, gerir e controlar uma distribuição eficiente da água e todos os respetivos custos associados”.

O WaterCAD - ilustrado na Figura 8 - é um software de modelagem hidráulica e da qualidade da água para sistemas de distribuição de água, muito semelhante ao EPANET, mas que conta com particularidades distintas. Uma de suas vantagens é a sua maior integração com outros softwares, pois permite reconhecer arquivos como do AutoCAD, da plataforma GIS e até planilhas. Ainda é possível exportar a rede traçada nele para arquivos do AutoCAD e do EPANET. Entretanto, diferente do EPANET, este software é pago e permite pouca manipulação de seu código (METHODS, 2007).

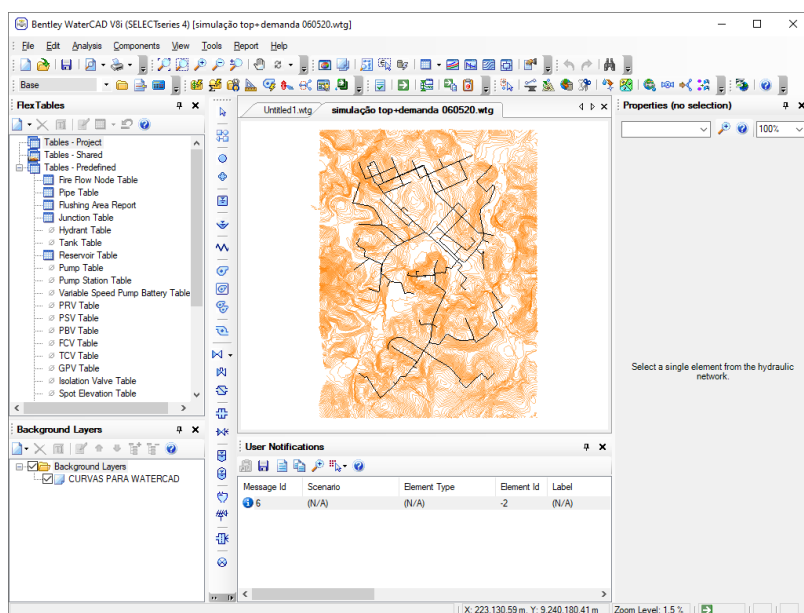


Figura 8: Interface gráfica WaterCAD.

Fonte: Watercad, 2020.

Segundo Diuana e Ogawa (2015) as principais possibilidades do programa são a:

- Análise de vazões de incêndio;
- Dimensionamento de bombas;
- Custos de energia;
- Modelagem e análise da qualidade da água;
- Mistura em reservatórios;
- Calibração e Detecção de Vazamentos;
- Modelagem e análise de válvulas;
- Simulação de cenários de risco, com a possibilidade de avaliar a capacidade da rede de fornecer proteção contra incêndios;
- Modelagem hidráulica, estática e dinâmica com a possibilidade de comparação de diferentes cenários.

Os vazamentos nas redes de abastecimento representam uma quantidade significativa de água perdida, superando os 70% das perdas totais. As melhores práticas sugerem que o gerenciamento de pressão é uma das maneiras mais eficazes de reduzir a quantidade de vazamento em um sistema de distribuição de água. Desta forma, Samir *et al.* (2017) apresentou uma abordagem para modelar vazamentos em função da pressão e do comprimento do tubo, calibrando o coeficiente de vazamento com dados experimentais. Foram utilizadas válvulas redutoras de pressão (VRPs) para desenvolver flutuações de pressão e alternar cenários no WaterCAD com o objetivo de minimizar vazamentos através das configurações mais eficazes de VRPs. Esta abordagem foi aplicada em uma rede de abastecimento em Alexandria, Egito. A aplicação dessa abordagem produziu alguns resultados significativos, onde os vazamentos foram reduzidos em 37% para o melhor cenário (METHODS, 2007).

2.4.1 LoadBuilder – Método *Unit Line*

Methods (2007) explica que o método Unit Line no LoadBuilder divide a demanda total no sistema (ou em uma seção do sistema) em duas partes: demanda conhecida (medida) e demanda desconhecida (vazamento e demanda não medida do usuário). As demandas

conhecidas são incluídas nas alternativas de demanda existentes no modelo. Demanda desconhecida por vazamento em apenas um lado do tubo (por exemplo, tubos ao longo de um rio), K é 0,5. Se os dois lados do tubo fornecerem água aos usuários, K será 1. A demanda desconhecida será inserida em uma tabela no LoadBuilder. A Figura 9 a seguir mostra o LoadBuilder no método Unit Line:

LoadBuilder Wizard

Unit line method

Enter in data for all fields below and click Next to continue.

☒ Include known demands in results

Demand alternative: Base Demand

K-factor field: Kfactor1 -

Include:

- ☒ Junction
- ☒ Tank
- ☒ Hydrant

	Selection Set	Unaccounted-for Demand (gpm)
0	Entire network	100.00
*		

Cancel Help < Back Next > Finish

Figura 9: Método Unit Line no LoadBuilder.

Fonte: Watercad, 2020.

O item "Incluir demandas conhecidas nos resultados" permite ao usuário reter demandas que já estão em uma determinada alternativa de demanda. Ao selecionar esta opção, o usuário pode escolher uma alternativa de demanda no menu suspenso (METHODS, 2007).

A seleção "campo do fator K" permite ao usuário definir como as demandas desconhecidas são contabilizadas no modelo. Ao clicar no botão de reticências ("..."), o usuário pode adicionar um fator K que deseja usar durante a alocação de demanda. Isso criará automaticamente uma extensão de dados do usuário (UDX) com o fator K usado no modelo. O usuário também pode acessar Ferramentas> Extensões de dados do usuário para criar a Extensão de dados do usuário. Quando o atributo UDX de fator K é criado pelo usuário por meio do gerenciador de UDX, é esperado um atributo Real / Sem Unidade

(dimensão "Nenhuma"). O uso desse método permite que o usuário insira valores através do elemento FlexTables ou grade de propriedades, ou mesmo importá-los através do ModelBuilder. Ele também permite que o usuário defina o nome do campo, pois a criação do fator K UDX na caixa de diálogo LoadBuilder produzirá um nome padrão (METHODS, 2007).

A tabela "Demanda não contabilizada por conjunto de seleção" permite ao usuário atribuir demandas não contabilizadas para o sistema por conjunto de seleção. Clique no botão Novo para adicionar uma linha à tabela, escolha um conjunto de seleção (ou Rede inteira para incluir todos os elementos aplicáveis) e especifique um valor de demanda não contabilizado. Ao destacar uma linha, selecionar o botão excluir para removê-la (METHODS, 2007).

Ao avançar, será listado os diferentes tipos de carga (Figura 2.10). A captura de tela da Figura 10 mostra uma demanda não contabilizada de 100 gpm em toda a rede e uma demanda conhecida de uma alternativa de demanda existente (que foi incluída quando a caixa de seleção "Incluir demandas conhecidas nos resultados" foi acionada). É possível também incluir um multiplicador ou um padrão nesta etapa (Methods, 2007).

LoadBuilder Wizard

Calculation Summary
Assign a pattern for each load type.

	Load Type	Consumption (gpm)	Multiplier	Pattern
	Known dema...	100.00	1.000	Fixed
	Unaccounted...	100.00	1.000	Fixed

Global Multiplier: 1.000

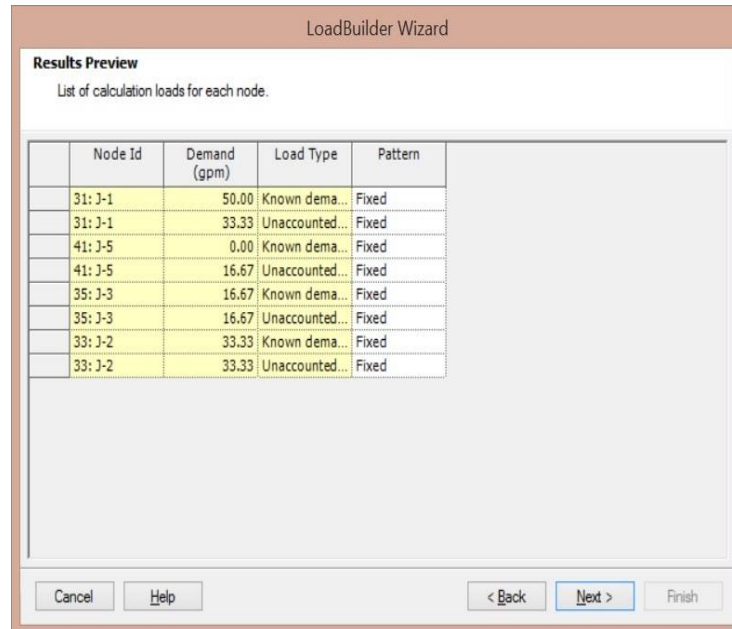
Total Load: 200.00 gpm

Buttons: Cancel, Help, < Back, Next >, Finish

Figura 10: Cargas registradas no Unit Line.

Fonte: Watercad, 2020.

Ao avançar novamente e conforme Figura 11, visualiza-se as demandas que serão alocadas para as junções. A demanda será baseada nas equações conforme disponível no software (METHODS, 2007).



LoadBuilder Wizard

Results Preview
List of calculation loads for each node.

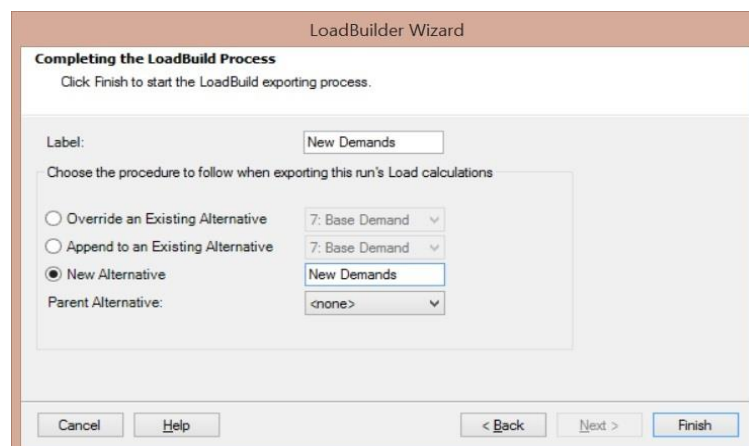
	Node Id	Demand (gpm)	Load Type	Pattern
	31: J-1	50.00	Known dema...	Fixed
	31: J-1	33.33	Unaccounted...	Fixed
	41: J-5	0.00	Known dema...	Fixed
	41: J-5	16.67	Unaccounted...	Fixed
	35: J-3	16.67	Known dema...	Fixed
	35: J-3	16.67	Unaccounted...	Fixed
	33: J-2	33.33	Known dema...	Fixed
	33: J-2	33.33	Unaccounted...	Fixed

Buttons: Cancel, Help, < Back, Next >, Finish

Figura 11: Demandas alocadas no Unit Line.

Fonte: Watercad, 2020.

Nesta próxima etapa (Figura 12), será possível selecionar um rótulo para o item LoadBuilder e decidir se a entrada substituirá ou acrescentará uma alternativa de demanda existente ou se será atribuída uma nova alternativa de demanda (METHODS, 2007).



LoadBuilder Wizard

Completing the LoadBuild Process
Click Finish to start the LoadBuild exporting process.

Label:

Choose the procedure to follow when exporting this run's Load calculations

☐ Override an Existing Alternative
☐ Append to an Existing Alternative
☒ New Alternative

7: Base Demand ▼

7: Base Demand ▼

New Demands

Parent Alternative:

Buttons: Cancel, Help, < Back, Next >, Finish

Figura 12: Parâmetros de saída do Unit Line.

Fonte: Watercad, 2020.

2.5 Sistemas de Abastecimento e Zonas de Abastecimento

Segundo Gomes (2004), em cidades com topografia acidentada, as redes devem ser divididas por zonas de pressão, como ilustra a Figura 13, de forma a atender aos limites de carga estabelecidos. O limite de pressão superior nas redes deve ser imposto, pelos seguintes aspectos, segundo (SALVINO, 2018):

- Quanto maiores forem as pressões requeridas, maior será o custo energético de bombeamento, pois este custo é diretamente proporcional à altura manométrica de impulsão;
- Para maiores pressões na rede, as tubulações serão mais exigidas por necessitarem de maiores pressões nominais, sendo estas de maior custo;
- As possibilidades de rompimento das tubulações aumentam, com o aumento das pressões dinâmicas e estáticas da rede;
- As perdas físicas de água crescem com o aumento das pressões de serviço, pois a vazão nas fissuras ou juntas dos tubos aumenta com o acréscimo da pressão;
- As vazões nos pontos de consumo crescem com o aumento das pressões disponíveis.

Há ainda zonas de abastecimento para uma mesma topologia, ou cota piezométrica. Estas zonas surgem devido à forte influência que a fonte de água tem sobre o sistema. Estes aspectos são objetivos deste trabalho e serão debatidos posteriormente na seção de modelagem da rede de distribuição de água.

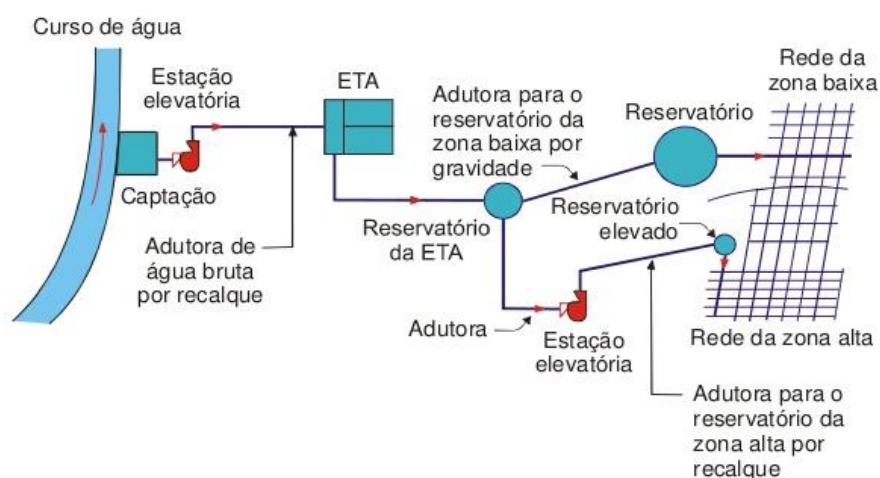


Figura 13: Sistema de abastecimento de água.

Fonte: Tsutiya, 2006.

2.6 Gestão de Sistemas

Existem mais de um aspecto relacionado à gestão de sistemas de abastecimento, como o tipo de capital, que pode ser privado, público ou misto. Outro aspecto se trata do gerenciamento operacional, este está mais relacionado à engenharia, entretanto, há pontos relacionados; um exemplo é a maior importância que o setor privado dá ao gerenciamento operacional por meios informatizados e mais eficientes. O gerenciamento por meios informatizados tem se tornado comum no Brasil, principalmente em empresas de capital privado. A utilização das tecnologias da informação resultara em sistemas mais eficientes, com maior disponibilidade no fornecimento de água, menores custos operacionais (mão de obra, manutenção, dentre outros) e permitiu que os primeiros sistemas de abastecimento fossem automatizados.

Pode-se descrever os objetivos fundamentais do controle e exploração dos abastecimentos de água em:

- Controle do grau de aproveitamento dos recursos disponíveis (água, energia, capital, infraestruturas);
- Controle da qualidade de água consumida e do serviço prestado aos usuários (consumidores);
- Controle dos custos de operação e manutenção do sistema.

Estes objetivos foram sintetizados por Faria e Alegre (1996), ao afirmarem que “todos os abastecimentos se regem por uma lógica de gestão que pode ser estabelecida como: maior satisfação de um maior número de usuários e entidades envolvidas, com o melhor uso possível dos recursos disponíveis”.

Para quantificar o quão boa é uma gestão, a IWSA (*International Water Service Association*) no início dos anos 90, escolheu como tema, de uma de suas conferências, o uso de indicadores de gestão. Existem uma elevada quantidade de indicadores para avaliar quantitativamente o desempenho de um sistema de abastecimento. Em um trabalho desenvolvido por Neusa e Edvaldo (2002), constatou-se aproximadamente 254 indicadores. Entretanto, na prática, aproximadamente 65% destes indicadores não são utilizados. O que pode estar atribuído à falta das informações sobre o sistema de abastecimento. Devido a quantidade elevada de indicadores e com o objetivo de manter o foco do trabalho, recomenda-se a leitura de Neusa e Edvaldo (2002) para mais informações sobre os indicadores de gestão.

CAPITULO III

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da Área de Estudo

O sistema de distribuição de água escolhido na simulação deste trabalho é o da área urbana da cidade de Guarabira, situada no estado da Paraíba conforme ilustrado na Figura 14, cuja população estimada é de 55.326 habitantes, segundo o IBGE 2010. O abastecimento de água desta cidade é administrado pela CAGEPA – concessionária de saneamento do estado da Paraíba.

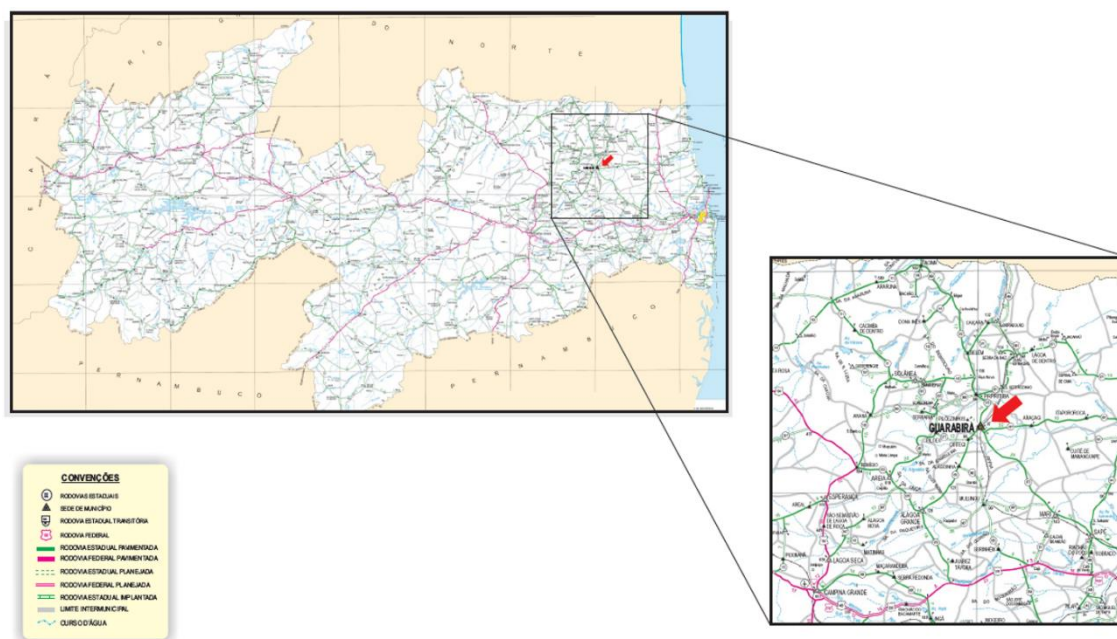


Figura 14: Localização cidade de Guarabira/PB.

Fonte: Departamento Nacional de Infraestrutura - DNIT

Mapa rodoviário da Paraíba – 2002.

O quadro de pessoal da CAGEPA está distribuído geograficamente no Estado da Paraíba, entre a sede administrativa em João Pessoa e as 06 (seis) gerências regionais: Regional do Litoral com sede em João Pessoa; Regional do Brejo com sede em Guarabira;

Regional da Borborema com sede em Campina Grande; Regional das Espinharas com sede em Patos; Regional do Rio do Peixe com sede em Sousa; Regional do Alto Piranhas com sede em Cajazeiras.

3.2 A Cidade de Guarabira

O município de Guarabira (Figura 15) está situado no Agreste Paraibano, mais especificamente na Depressão Sublitorânea, entre a vertente oriental do Planalto da Borborema e o Litoral Paraibano, a 98 km da capital João Pessoa. Ocupa uma área de 165 Km², com altitude média de 150 m onde vivem 55.326 habitantes. Suas coordenadas UTM são 9229502 e 220371 e as coordenadas geográficas são: 6°48'41" Lat. N e 6°57'52" Lat. S; 35°22'50" Long. L e 35°31'48" Long. O. Limita-se ao Norte com o município de Pirpirituba, ao Sul com os municípios de Mulungu e Alagoinha, a Leste com o município de Araçagi e a Oeste com os municípios de Pilõezinhos e Cuitegi (MOREIRA, 1988; IBGE, 2010).

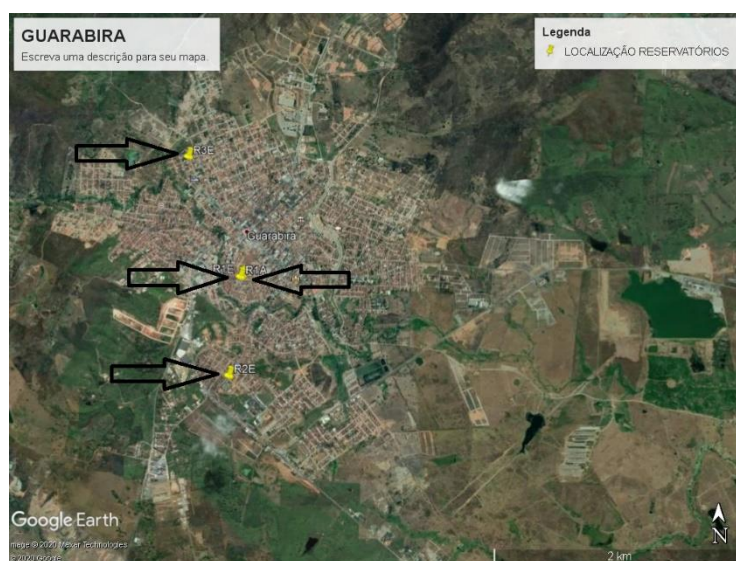


Figura 15: Vista área cidade de Guarabira com destaque para seus reservatórios.

Fonte: Google Earth, 2020.

O relevo da área de estudo é composto por colinas, morros semi- mamelonizados, serras e cristas, com declividade de 20% a 45%, expressando relevo forte-ondulado, coberto, predominantemente pela vegetação subcaducifólia. Suas vertentes têm o formato côncavo-

convexo, que avançam formando os primeiros contrafortes orientais da Borborema; a porção sul faz parte da chamada depressão sublitorânea que se inicia logo após a cidade de Mari, ao sul de Guarabira (PROJETO RADAMBRASIL, 1981).

As condições de transição entre o Planalto da Borborema e o Litoral Paraibano, expressam curvas de nível, que variam de 70 a 370 m; condições climáticas e hidrológicas com período chuvoso entre o outono e inverno, temperaturas que variam de 20° a 36° C, média anual de 27° C, umidade relativa do ar de 78%, e pluviosidade média de 1000 mm/ano, que permitem apenas uma drenagem intermitente (BRASIL, 1972; CPRM, 2005).

Por se tratar de um trabalho acadêmico e como forma de trazer resultados fidedignos a curto prazo, foi determinada uma área central da cidade para simulação hidráulica. Nesta área estão compreendidos os reservatórios existentes como pode ser observado na Figura 16. Compreende ainda nesta área simulada, 20 km de rede de abastecimento de um total existente na cidade de 145 km. A partir dessa seleção poderá ser identificado a área de influência de cada reservatório do ponto de vista de abastecimento para cada hora do dia.

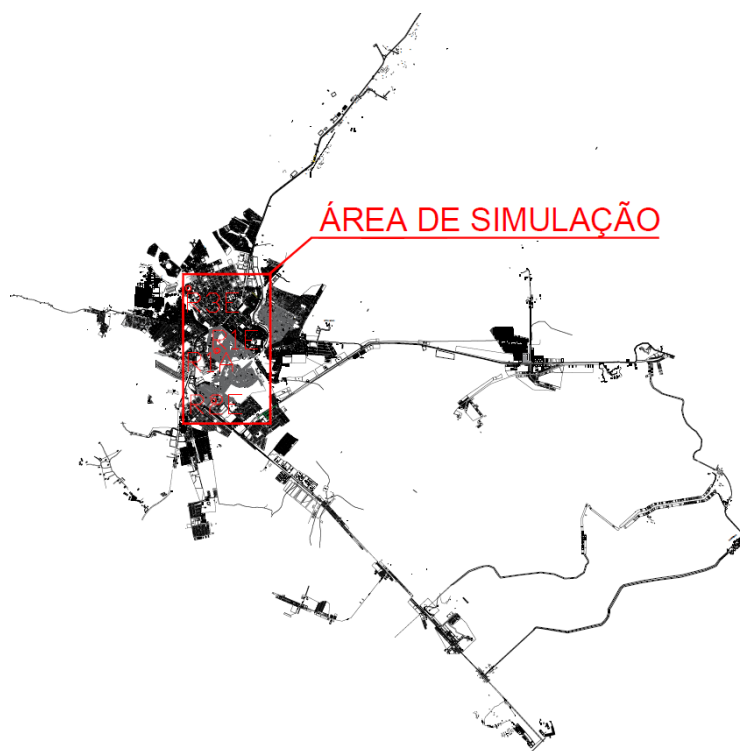


Figura 16: Seleção da área a ser simulada.

Fonte: Autor, 2020.

3.2.1 Sistema de Distribuição de Água de Guarabira

Segundo os arquivos da CAGEPA, a construção da barragem de Tauá para captação d'água possui a finalidade de abastecer a cidade de Guarabira, a mesma tem uma capacidade de acumulação bruta de aproximadamente 1.250,000 m³ no ano de 1951. Juntamente com a barragem, foi construída uma Estação de Tratamento de água (ETA) com uma vazão de 30 L/s e uma adutora de cimento amianto de diâmetro DN 200. Contando com um quadro de funcionários de apenas 8 pessoas a abrangência do atendimento se limitava a parte da cidade e compreendia a disposição de 9 chafarizes e 1.599 ligações.



Figura 17: Vista represa do açude Tauá.

Fonte: CAGEPA, 2017.

A partir do desenvolvimento da cidade de Guarabira, tornou-se essencial o incremento do atual sistema de abastecimento existente. Assim em meados de 1970, o Governador João Agripino Maia inaugurou uma nova Estação de Tratamento juntamente com uma nova adutora em cimento amianto de diâmetro DN 350. Concomitantemente os atuais reservatórios Elevados R2E e R3E foram inaugurados. Ambos compartilhando de mesmo projeto e, portanto, com ambas capacidades de 500 m³. O ano era 1987 quando a barragem Tauá atingiu o volume que corresponde a 8.573.500 m³, sendo esta ampliação seu o atual volume característico. Neste momento um reservatório apoiado com capacidade para

armazenamento de 3.600 m³ no bairro Rosário, foi construído para dar suporte ao elevado R2E e uma terceira adutora foi concluída possuindo diâmetro DN 250 de ferro fundido.

Com o avanço do tempo, considerando: o aumento demográfico de Guarabira e das cidades circunvizinhas e a complexa topografia da região, onde era registrado constante falta d'água nas áreas altas e irregulares em determinados períodos do dia, fez-se assim a necessidade a construção de um novo sistema adutor

Houve a inauguração pelo então governador Ricardo Coutinho, no ano de 2014, do novo sistema adutor Araçagi-Guarabira, garantido assim pelos próximos 25 anos o abastecimento de água para um total de 90 mil habitantes compreendidos nas cidades: Guarabira, Pilõezinhos, Araçagi e Cuitegi. O reforço da estação de tratamento pode chegar a produzir até 630 m³/h, com uma adutora de extensão de 27 km, portando água a todos municípios citados. Além de atender à região, o novo manancial possui potencial hídrico para atender cidades como Rio Tinto, Itapororoca e Mamanguape.

A partir do momento em que houve a operação do novo sistema adutor Araçagi-Guarabira, o sistema da barragem Tauá passou a ter uma redução de sua operação. Mesmo com capacidade máxima de 460 m³/h apenas 216 m³/h são utilizados, sendo distribuídos em: 72 m³/h para cidade de Cuitegi e os restantes 144 m³/h servem as demais cidades do sistema. Tal distribuição é atribuída visto que o sistema Araçagi contribui com 550 m³/h possuindo um total de 630 m³/h. Sendo assim 80% de toda água tratada para as cidades de Guarabira, Araçagi e Pilõezinhos provem deste último sistema.

Segundo informação da CAGEPA a água da barragem proveniente de Araçagi apresenta cloretos dissolvidos em maior proporção em comparação com a água doce e em menor em relação a água do mar, portanto a concessionária utiliza uma adição de água proveniente da barragem de Tauá para elevar o nível de qualidade dela.

Conforme já mencionado, a adutora Tauá abastece as cidades de Cuitegi, Guarabira, Pilõezinhos e Araçagi. Seu sistema atualmente é composto de uma adutora de água bruta, uma estação de tratamento de água, localizada no município de Cuitegi, composto de onze estações elevatórias de água tratada, sete elevados, quatro reservatórios de apoio e seis adutoras de água. A Tabela 1 detalha as adutoras existentes no sistema.

Tabela 1 - Linhas de adução.

LINHAS DE ADUÇÃO EXISTENTES	VAZÃO (ℓ/seg.)	COMP. (m)	DN (mm)	NATUREZ.TUBO
Da ETA para o Elevado em Cuitegí	12,00	1.230	150	PVC-1MPa.
Da ETA para o R1 em GUARABIRA	15,30	7.612	200	C.Amianto
Da ETA para o R2A em Guarabira	62,00	9.095	250	F.Fund.K7JE
Do R2 para o R3 em Guarabira	94,50 (Mx.H)	2.632	300	F.Fund.K7JE
Do R2A para o R2E em Guarabira	147,00(Mx.H)	40	300	F.Fund.K7JE
Do R2E para o RA em Araçagi	12,20	14.931	200/150	PVC-1MPa.
Do R3E para o RA em Piloezinho	7,80	4.986	1150	PVC-1MPa.

Fonte: CAGEPA, 2017.

Para a rede de distribuição existente, a Gerência de Operação do Regional do Brejo, forneceu a Tabela 2, onde consta o comprimento da rede implantada por diâmetro e natureza da tubulação.

Tabela 2 - Rede de distribuição existente da cidade de Guarabira.

DIÂMETRO (DN)	OUTROS	C.AMIANT	IPT.1987	ZONA RURAL	TOTAL
50	21359	4311	7837	30610	64117
75	17484	2876		14833	35193
100	12336	692	6230	2191	21449
150	7178	108	4158		11444
200	3397	965	2468		6830
250	980		4503		5483
300	572	236			808
350					
400					
450					
TOTAL	50806	9188	25196	47634	145324

Fonte: CAGEPA, 2017.

Conforme já exposto, a primeira reserva dimensionada para a cidade de Guarabira, foi concebida em 1951, sendo construído o R1A e, posteriormente em 1970, foi concebido as reservas R2E e R3E. Já em 1984 foi construído o R1E. Assim, a partir de então foram feitas sucessivas manutenções e melhorias em todo sistema, incluindo a construção

de estações elevatórias e outros dispositivos necessários ao funcionamento desde então. A Tabela 3 demonstra os dados dos respectivos reservatórios.

Tabela 3: Dados reservatórios.

DENOMINAÇÃO	ÁREA (ha)	VAZÃO (l/s)	CONTA N.A. RESERVATORIO	
			MÁXIMO	MÍNIMO
R-1 apoiado	31,40	10,10	121,80	118,60
R-1 elevado	13,00	4,18	146,50	142,00
R-2 elevado	458,15	147,30	146,50	142,00
R-3 elevado	293,45	147,30	146,50	139,00
TOTAL	796,00	255,94	-	-

Fonte: CAGEPA, 2017.



Figura 18: Vista reservatório R1 apoiado (R1A) e ao fundo o R1 elevado (R1E)

Fonte: CAGEPA, 2019.



Figura 19: Vista reservatório R1 elevado (R1E)

Fonte: CAGEPA, 2019.



Figura 20: Vista reservatório R2 elevado (R2E).

Fonte: CAGEPA, 2019.



Figura 21: Vista reservatório R3 elevado (R3E).

Fonte: CAGEPA, 2019.

Atualmente o sistema de distribuição de água possui uma rede de tubulações com característica mista, visto existência de ramificações e malhas em toda sua abrangência territorial. O abastecimento é garantido por 4 (Figuras 18,19,20 e 21) reservatórios de nível fixos, alimentados por dois mananciais, o açude Tauá e Araçagi. A concessionária possui cadastro atualizado da rede e de seus dispositivos em meio digital em programa CAD. Tal cidade também possui monitoramento em tempo real em alguns pontos do sistema, coletados remotamente via sistema SCADA®, o que permite de forma remota algum grau de calibrações e conferência nos dados utilizados.

3.3 Modelagem da Rede de Distribuição de Água

A procura por uma metodologia que possa identificar a origem da fonte de abastecimento em cada nó da rede já é almejada pela CAGEPA há algum tempo, conforme demonstrado por Cardoso AA *et al.*, 2019, quando através do uso de um sistema de supervisão e aquisição de dados (SCADA), juntamente com a instalação de um equipamento protótipo de IoT (*Internet of Things*) em um ponto da rede, puderam-se fazer comparações das variações de pressão deste ponto com os reservatórios existentes através da correlação de Pearson e assim rastrear sua origem.

Apesar do resultado satisfatório com relação à robustez do equipamento e precisão no resultado, a implantação dessa metodologia para todos os nós da rede, ou pelo menos em boa parte, de modo que permita a correta identificação da origem da água para todo sistema,

implicaria em questões complexas já citadas em seu trabalho como a disponibilidade de internet e energia para cada equipamento a ser instalado, além, claro, de abrigos que garantam a devida segurança.

No sentido de uma aplicação prática e viável, economicamente, buscou-se neste trabalho uma solução com eficiência comprovada. Neste caso optou-se no uso do software EPANET, que de forma simulada fornece, com segurança, o rastreo das diversas fontes existentes na rede de abastecimento da cidade de Guarabira.

A figura 22 elucida e demonstra através de fluxograma as atividades necessárias para atingir os objetivos propostos neste trabalho.

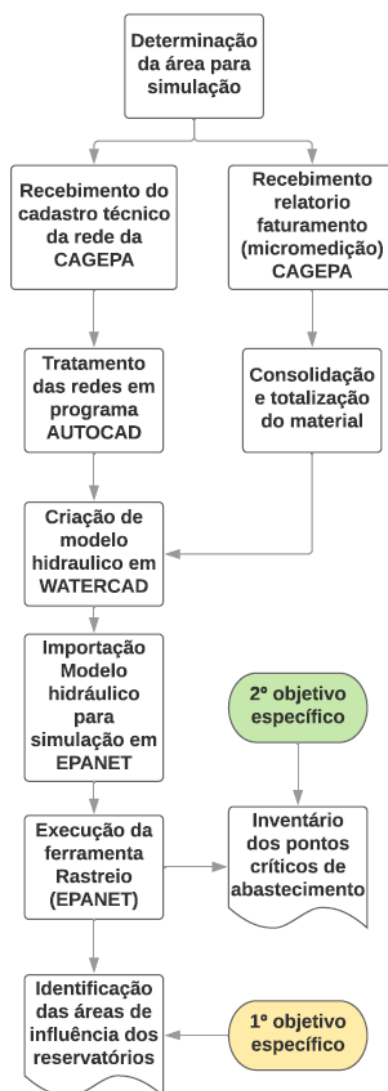


Figura 22: Execução das atividades proposta.

Fonte: Autor, 2020.

A rede de abastecimento da cidade possui uma extensão total de tubulações de distribuição de água de 145,324 km, variando desde diâmetros comerciais de DN 50 a DN 450, arranjados em diferentes materiais, mostrados na Tabela 2. Conforme dados fornecidos pela concessionária de água do estado, a distribuição da cidade abrange 21.839 domicílios (ligações comerciais), bem como possuem consumo médio mensal faturado, medido entre os meses de maio e outubro de 2019, de 197.438 m³.

Para tornar a rede apta à simulação faz-se necessário a utilização do programa Autocad para tratamento das redes recebidas pelo setor de cadastro. Tal tratamento é necessário para correta interpretação dos dados pelo programa a ser utilizado na simulação (EPANET). A partir do recebimento do arquivo de cadastro das redes, foram realizadas as identificações e separação dos trechos a serem simulados e então, realizada a conversão em linhas para todos atributos existentes (arcos, polilinhas, spline etc.). Realizada a correção de segmentos de linhas não interligados (erro de cadastro), foi possível exportar toda a rede ao programa EPANET. A Figura 23 mostra a cartografia recebida da CAGEPA, em autocad, com todos seus elementos, e na Figura 24 destaca-se apenas a rede após tratamento. A Tabela 4 mostra os comprimentos, diâmetros e rugosidade dos trechos simulados.

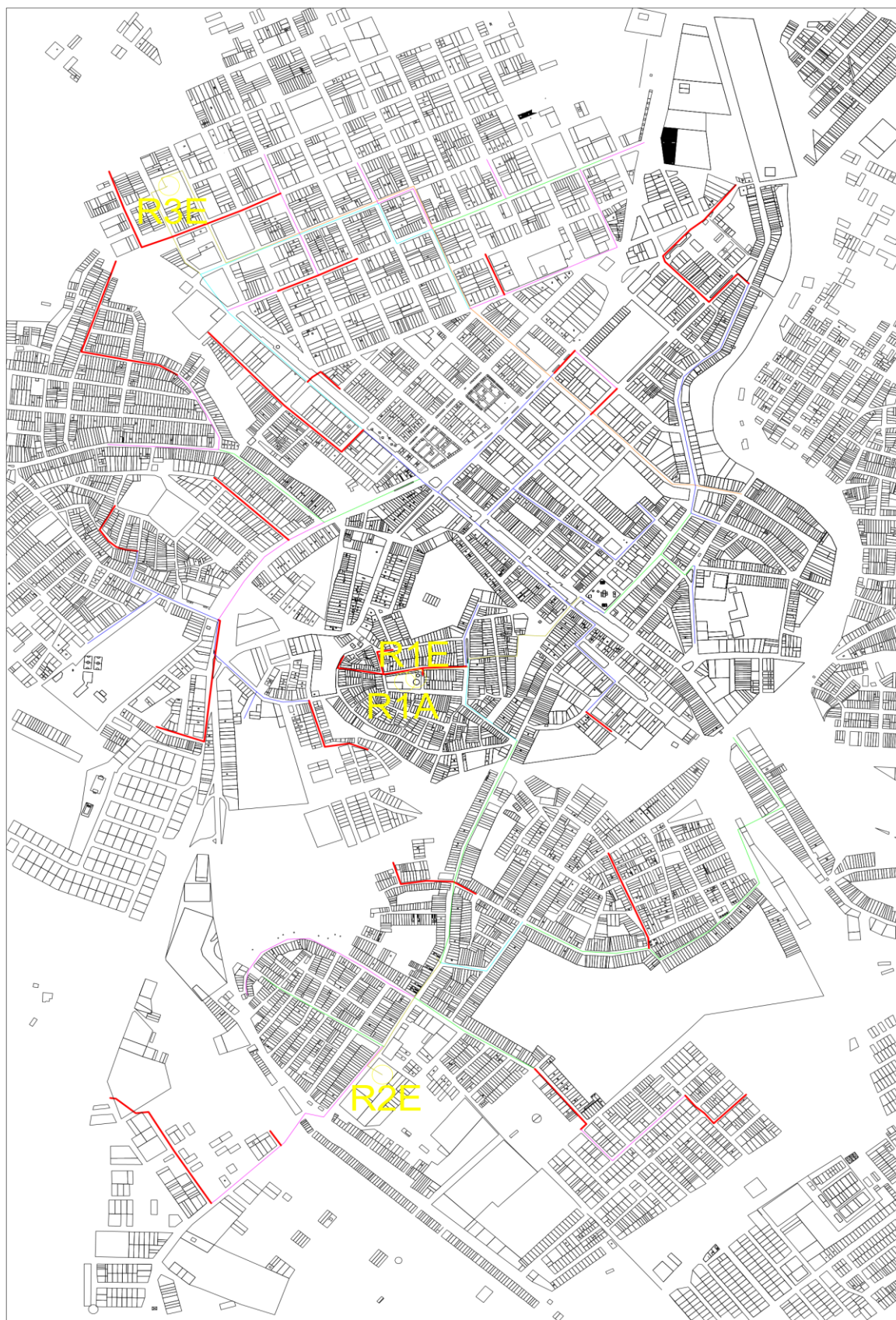


Figura 23: Rede selecionada para tratamento (AUTOCAD)

Fonte: Autor, 2020.

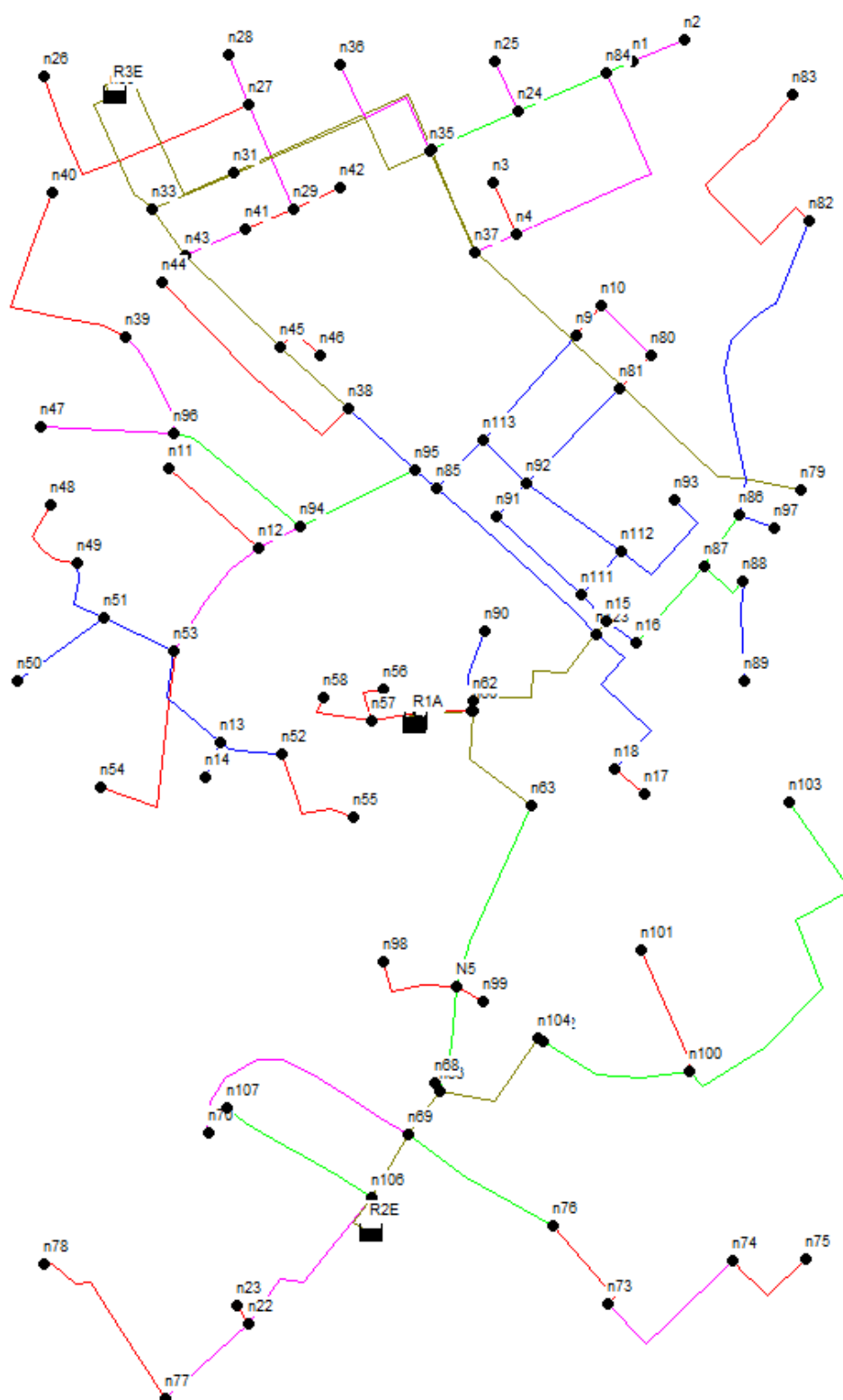


Figura 24: Nós selecionados para simulação (EPANET).

Fonte: Autor, 2020.

Tabela 4: Dados da rede de distribuição simulada no EPANET.

Trecho	Comp. (m)	Diâmetro (mm)	Rugosidade (c)
p1	92,10	100	130
p10	16,16	50	130
p11	6,33	200	120
p12	37,92	50	130
p13	92,53	100	130
p14	473,50	50	130
p15	189,70	100	130
p16	371,40	300	120
p17	234,75	300	120
p18	414,50	250	105
p19	267,50	100	130
p2	94,12	50	130
p21	403,70	50	130
p23	88,00	50	130
p24	109,30	100	130
p25	431,60	50	130
p26	86,87	50	130
p27	184,63	100	130
p28	153,00	50	130
p29	176,80	75	130
p31	364,10	50	130
p32	192,10	50	130
p33	80,58	50	130
p35	125,60	300	120
p36	278,19	300	120
p37	208,96	200	120
p41	446,80	100	130
p43	292,70	100	130
p44	171,20	50	130
p46	318,70	50	130
p47	877,10	250	105
p48	75,58	50	130
p49	116,50	100	130
p5	62,94	50	130
p5	62,94	50	130
p50	458,40	50	130
p51	505,50	100	130
p52	235,22	75	130
p54	105,75	150	130

Trecho	Comp. (m)	Diâmetro (mm)	Rugosidade (c)
p8	60,46	75	130
p9	64,97	50	130
T1	8,68	50	130
T10	313,50	100	130
T11	158,50	150	130
T111	45,67	75	130
T112	207,51	75	130
T113	103,60	75	130
T114	212,30	75	130
T115	211,20	75	130
T116	109,18	75	130
T117	102,08	75	130
T12	159,60	150	130
T127	322,88	75	130
T128	358,30	75	130
T129	27,04	300	120
T13	48,20	150	130
T138	3,85	300	120
T14	90,47	100	130
T15	84,49	50	130
T16	150,84	200	120
T17	220,60	200	120
T18	94,01	200	120
T19	554,66	200	120
T2	172,18	50	130
T20	185,81	200	120
T21	211,72	150	130
T22	121,63	50	130
T23	79,16	50	130
T24	86,20	50	130
T25	87,84	300	120
T26	121,20	300	120
T27	90,32	300	120
T28	14,32	300	120
T29	2,79	150	130
T3	76,52	100	130
T30	76,47	75	130
T32	46,15	75	130
T33	153,61	75	175

p55	90,49	150	130
p56	169,60	75	130
p57	137,50	75	130
p58	221,09	75	130
p6	199,10	50	130
p6	199,10	50	130
p60	223,15	100	130
p61	263,38	150	130
p62	541,07	75	130
p64	219,20	50	130
p65	698,43	150	130
p66	220,70	200	120
p67	284,00	150	130
p68	281,81	150	130
p7	62,42	75	130

T34	259,27	150	130
T35	17,44	200	120
T36	327,07	150	130
T37	175,25	150	130
T38	50,25	50	130
T39	154,77	50	130
T4	80,24	100	130
T40	221,37	100	130
T41	62,33	75	130
T42	169,11	150	130
T5	110,54	75	130
T6	190,04	75	130
T7	130,22	75	130
T8	128,38	75	130
T9	185,87	100	130

Fonte: EPANET, 2020.

Nas Figuras 25 e 26 tem-se as redes simuladas no programa EPANET com seus respectivos nós e trechos criados. A rede modelada resultou em 100 nós, nos quais se concentrarão as demandas de consumo da região, 04 reservatórios de nível fixo para distribuição de água na rede, sendo 03 elevados e 01 apoiado; e, 106 trechos de diâmetro variando DN 50 a 300. Para este trabalho houve a seleção parcial da rede priorizando as tubulações de maiores calibres e consequentemente os nós mais relevantes.

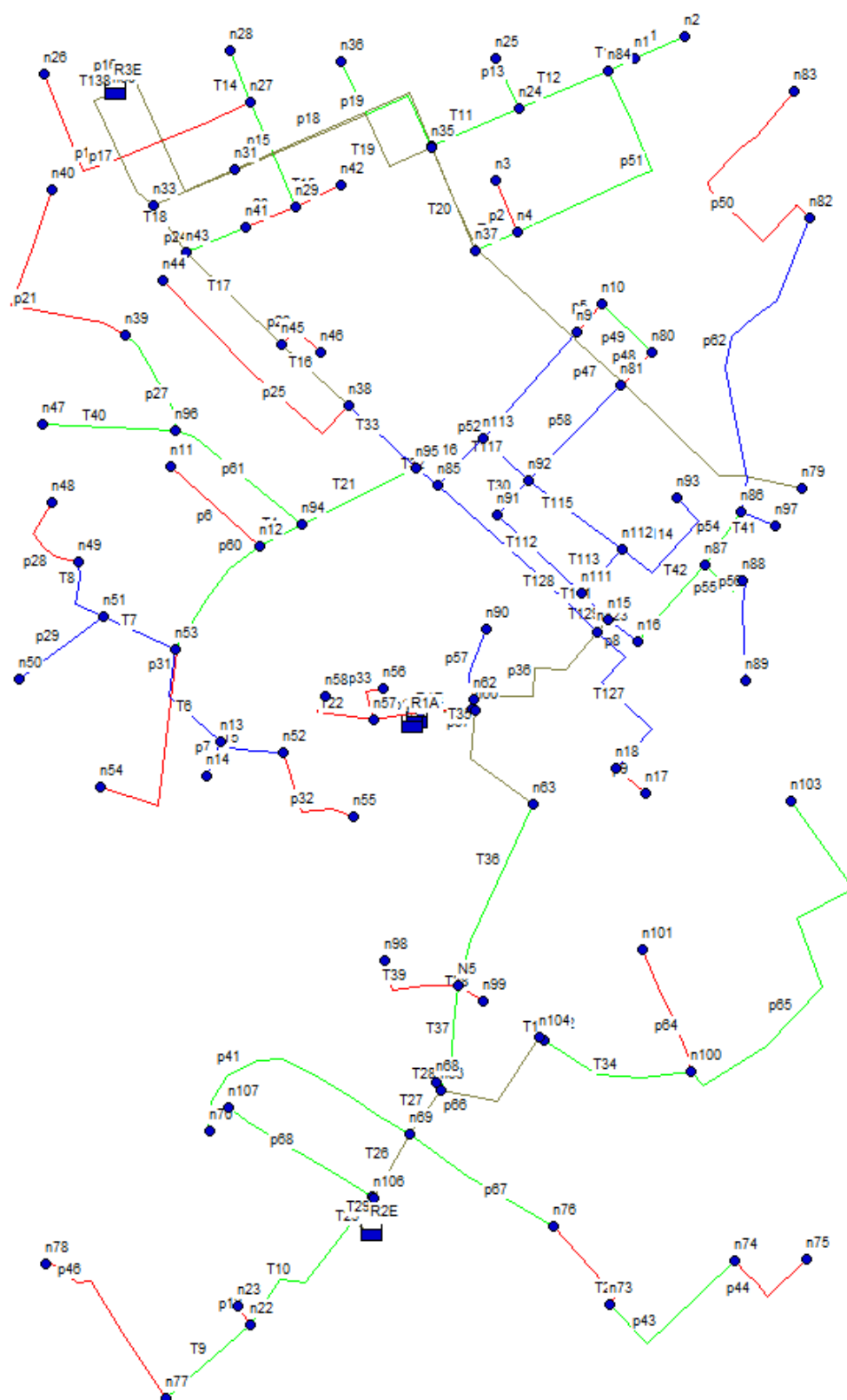


Figura 25: Rede simulada em EPANET.

Fonte: Autor, 2020.



Figura 26: área mapeada.

Fonte: Autor, 2020.

3.3.1 Demandas Nodais

A demanda de água do sistema foi distribuída linearmente através do software Watercad. Este software tem grande relevância quando da existência de diversas opções para inserir as demandas de água na modelagem computacional proposta. A função LoadBuilder (Figura 27) permite a atribuição da demanda por diversos métodos a partir de informações disponíveis em pontos, projeções e/ou camadas. A partir da exposição dos dados reais para simulação é possível que o usuário faça a melhor escolha para o cenário existente. O método escolhido para esta simulação foi o “Método da linha de unidade” que distribui a demanda ponderadamente ao comprimento de cada trecho – unit line.

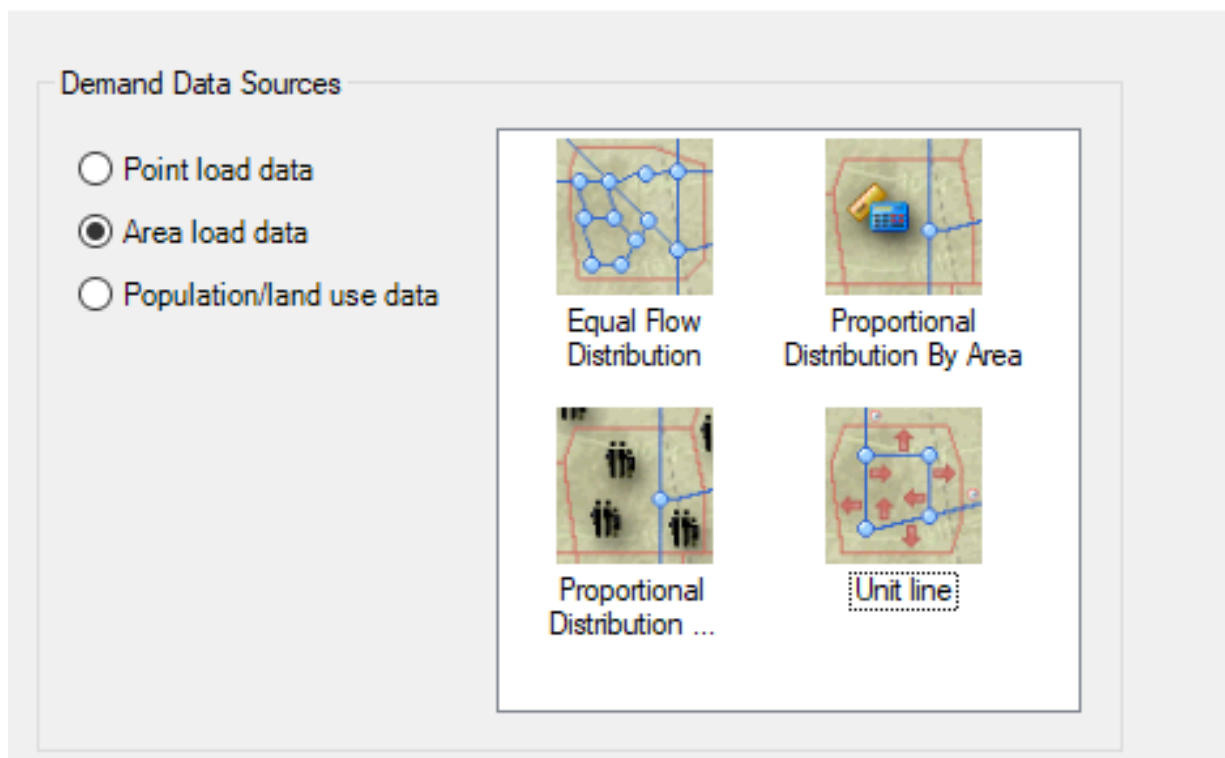


Figura 27: Interface da ferramenta WaterCAD.

Fonte: Watercad, 2020.

O método Unit Line no LoadBuilder divide a demanda total no sistema (ou em uma seção do sistema) em duas partes: demanda conhecida (medida) e demanda desconhecida (vazamento e demanda não medida do usuário).

Esta distribuição faz a ponderação do consumo pelo comprimento de rede existente e permite inserir um percentual para os nós a montante e a jusante, que neste caso foi de 50% para todos os trechos conforme Figura 28.

LoadBuilder Wizard

Unit line method

Enter in data for all fields below and click Next to continue.

☐ Include known demands in results

Demand alternative:

K-factor field: Kfactor -

Include:

☒ Junction

☒ Tank

☒ Hydrant

	Selection Set	Unaccounted-for Demand (L/s)
0	Entire network	99,77
*		

Unit line

Default value for Kfactors:

0.5

OK
Cancel

Cancel
Help
< Back
Next >
Finish

Figura 28: Parâmetros de distribuição consumo (WaterCAD).

Fonte: Watercad, 2020.

Após definir os parâmetros da distribuição linear (consumo total do sistema + fator K + % de distribuição montante e jusante) o programa insere e disponibiliza as demandas de consumo para cada nó existente, também em forma de tabela (ver Figura 29).

LoadBuilder Wizard

Results Preview

List of calculation loads for each node.

	Node Id	Demand (L/s)	Load Type	Pattern
	158: N5	1,768	Unaccounted...	Fixed
	157: n107	0,705	Unaccounted...	Fixed
	156: n106	0,749	Unaccounted...	Fixed
	155: n104	0,573	Unaccounted...	Fixed
	154: n103	1,746	Unaccounted...	Fixed
	153: n102	0,670	Unaccounted...	Fixed
	152: n101	0,548	Unaccounted...	Fixed
	151: n100	2,942	Unaccounted...	Fixed
	150: n99	0,126	Unaccounted...	Fixed
	149: n98	0,387	Unaccounted...	Fixed
	148: n97	0,156	Unaccounted...	Fixed
	147: n96	1,674	Unaccounted...	Fixed
	146: n95	1,029	Unaccounted...	Fixed
	145: n94	1,388	Unaccounted...	Fixed
	144: n93	0,531	Unaccounted...	Fixed
	143: n92	1,527	Unaccounted...	Fixed
	142: n91	0,710	Unaccounted...	Fixed
	141: n90	0,344	Unaccounted...	Fixed
	140: n89	0,424	Unaccounted...	Fixed
	139: n88	0,650	Unaccounted...	Fixed
	138: n87	0,913	Unaccounted...	Fixed
	137: n86	1,773	Unaccounted...	Fixed
	136: n85	1,284	Unaccounted...	Fixed
	135: n84	1,783	Unaccounted...	Fixed
	134: n83	1,146	Unaccounted...	Fixed
	133: n82	2,499	Unaccounted...	Fixed
	132: n81	0,742	Unaccounted...	Fixed
	131: n80	0,480	Unaccounted...	Fixed
	130: n79	2,193	Unaccounted...	Fixed
	129: n78	0,797	Unaccounted...	Fixed
	128: n77	1,261	Unaccounted...	Fixed
	127: n76	1,141	Unaccounted...	Fixed
	126: n75	0,428	Unaccounted...	Fixed
	125: n74	1,160	Unaccounted...	Fixed
	124: n73	1,162	Unaccounted...	Fixed
	123: n71	1,495	Unaccounted...	Fixed
	122: n70	1,117	Unaccounted...	Fixed
	121: n69	2,356	Unaccounted...	Fixed
	120: n68	0,036	Unaccounted...	Fixed
	119: n66	1,252	Unaccounted...	Fixed
	118: n63	1,340	Unaccounted...	Fixed
	117: n62	0,739	Unaccounted...	Fixed
	116: n60	1,194	Unaccounted...	Fixed
	115: n59	0,558	Unaccounted...	Fixed

Figura 29: Distribuição consumo realizada (WaterCAD).

Fonte: Watercad, 2020

O programa permite conferir a demanda inserida em cada nó através da propriedade destes conforme mostrado na Figura 30.

Demands (Junction: n30)

	Demand (Base) (L/s)	Pattern (Demand)
1	1,535	Fixed
*		

Properties - Junction - n30 (87)

n30 50%

<Show All>

Property Search

- Hyperlinks** <Collection: 0 items>
- <Geometry>**
 - X (ft) 735.066,57
 - Y (ft) 30.323.635,89
- Active Topology**
 - Is Active? True
- Demand**
 - Demand Collection <Collection: 1 item>
 - Unit Demand Collec <Collection: 0 items>
- Fire Flow**
 - Specify Local Fire F False
- Operational**
 - Controls <Collection>
- Physical**
 - Elevation (m) 125,99
 - Zone <None>
 - Emitter Coefficient (0,000
- Pressure Dependent Demand**
 - Use Local Pressure False
- Transient (Initial)**
 - Vapor Volume (Initial) 0,0
- Water Quality**
 - Age (Initial) (hours) 0,000
 - Concentration (Initial) 0,0
 - Is Constituent Source False
 - Trace (Initial) (%) 0,0
- Results**
 - Hydraulic Grade (m) (N/A)
 - Demand (L/s) (N/A)
 - Pressure (psi) (N/A)
 - Pressure Head (ft) (N/A)
 - Demand Adjusted Pressure (N/A)
 - Has Calculation Message (N/A)
 - Calculation Message <Collection: 0 items>
- Results (Fire Flow)**
 - Satisfies Fire Flow (N/A)
 - Fire Flow (Available) (N/A)
 - Pressure (Calculate) (N/A)
 - Pressure (Calculate) (N/A)

Figura 30: Verificação do consumo dos nós (WaterCAD).

Fonte: Watercad, 2020

3.3.2 Dados de Faturação

Através do relatório fornecido pela CAGEPA (Tabela 2A) foi possível determinar a média mensal para um consumo faturado medido para um período de 6 meses de unidades consumidoras reais residenciais. Segundo o SNIS (Sistema Nacional de Informação em Saneamento) essas unidades são as moradias, apartamentos, unidades comerciais, salas de escritório indústrias, órgãos públicos e similares existentes numa determinada edificação, que são atendidos pelos serviços de abastecimento de água e/ou esgoto sanitário. O relatório utilizado possui os dados da micromedição de 21.839 ligações ativas, e/ou eventualmente cortadas, no período de 6 meses, compreendendo os meses de maio a outubro de 2019. O total de consumo médio somados de todas ligações é de 197.438 m³. Utilizando-se para esse trabalho o índice de perdas de faturamento da cidade de Guarabira (IN013), cuja percentual foi de 30,99% conforme define o SNIS (2018), tem-se os dados distribuídos na Tabela 5.

Tabela 5 - Dados de faturação.

DESCRIÇÃO DOS DADOS UTILIZADOS	QUANT.
Ligações (unidades consumidoras reais residenciais)	21.839 und
Consumo Médio faturado Total (Demanda aplicada ao sistema)	197.438 m ³
Índice de perdas faturamento de Guarabira – IN013 (30,99% - ano de referência 2018)	61.186,03m ³
Demanda total inserida na simulação	258.624,03m ³
Padrão temporal utilizado para o período (24hs x 60min x 30 dias x 60 seg)	2.592 x 10 ³ seg
Vazão Inserida na Simulação {(demanda total (m ³) / padrão temporal (s)) x 1000 (l)}	99,77 l/s

Ressalta-se que os dados disponibilizados de faturamento da CAGEPA, conforme Tabela 2A, possui a inscrição de cada consumidor relacionado ao respectivo consumo

médio. Associado a esta inscrição, mesmo de forma incompleta, estão as coordenadas geodésicas decimal indicando a localização destes. Devido ao grau de incerteza gerado pela falta de alguns dados de localização e até mesmo pela precisão desconhecida pelo qual foram coletados, descartou-se a possibilidade, neste trabalho, pela alocação do consumo da demanda por localização geográfica.

3.3.3 Padrão de Consumo

O padrão de consumo adotado para o abastecimento da cidade de Guarabira foi determinado com auxílio dos dados fornecidos pela concessionária de água e esgoto do estado. Tais dados foram obtidos do sistema supervisor existente. O monitoramento através do software SCADA permitiu extrair dados do período de acionamento das bombas responsáveis pelo abastecimento dos reservatórios elevados. Através dos relatórios extraídos do software, foi obtido o período de operações das bombas (ligado / desligado) e a variação do nível dos reservatórios elevados. De posse desses dados foi possível calcular o padrão de consumo médio horário. Os fatores aplicados para cada intervalo de 1 hora são apresentados conforme Tabela 6.

Este padrão temporal está registrado no EPANET para esta simulação e é apresentado em forma gráfica na Figura 31. Para o padrão apresentado, percebe-se como intervalo de horário de mínima demanda 4:00h e 5:00h e de máxima demanda às 12:00h.

Tabela 6 - Dados do Padrão de Consumo Domiciliar GBA.

Horário (h)	Padrão de Consumo (f. mult.)	Horário (h)	Padrão de Consumo (f. mult.)	Horário (h)	Padrão de Consumo (f. mult.)	Horário (h)	Padrão de Consumo (f. mult.)
1:00	.57	7:00	.90	13:00	1.35	19:00	1.31
2:00	.52	8:00	1.10	14:00	1.26	20:00	1.06
3:00	.52	9:00	1.38	15:00	1.24	21:00	.98
4:00	.50	10:00	1.35	16:00	1.03	22:00	.92
5:00	.50	11:00	1.33	17:00	1.22	23:00	.95
6:00	.65	12:00	1.50	18:00	1.15	24:00	.60

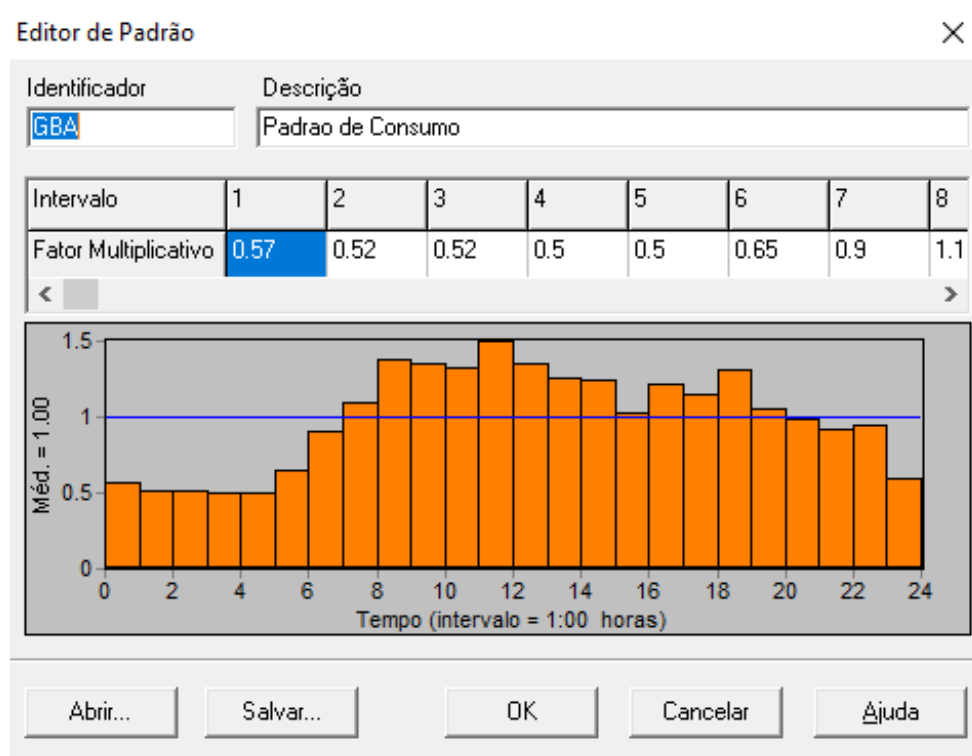


Figura 31: Padrão de consumo de Guarabira no EPANET.

Fonte: EPANET, 2020

CAPITULO IV

4 RESULTADOS

4.1 Área de influência existente

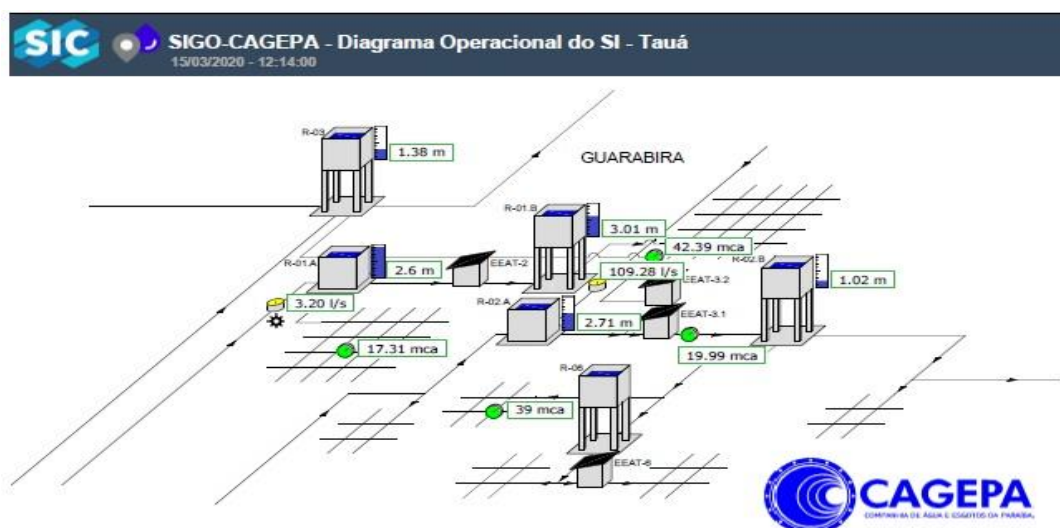
Conforme a Figura 32, a CAGEPA possui um mapa datado de 2017 com a setorização da rede de abastecimento pela influência de seus reservatórios. Apesar das áreas bem definidas, o mapa não transmite confiança a seus gestores pois foi desenvolvido de forma não simulada, onde as informações oriundas de campo, juntamente com os dados técnicos operacionais originais, foram utilizadas para compô-lo.



Figura 32: Zonas de Influência existentes no registro da concessionária

Fonte: CAGEPA, 2017.

Ressalta-se que a CAGEPA possui alguns pontos de monitoramento remoto limitando-os a poucos medidores de pressão na rede, ao bombeamento das subestações e aos níveis de seus reservatórios, conforme demonstrado na Figura 33, porém a falta de um maior monitoramento de sua rede, através da implantação de mais medidores de vazão e/ou pressão, expõe a necessidade desse investimento a fim de fidelizar qualquer modelo de simulação a ser utilizado.



Fonte: CAGEPA, 2019.

Conforme citado por Cardoso AA *et al.*, 2019, a rede de distribuição é o principal elo entre os clientes e os operadores dos sistemas de abastecimento. A existência de irregularidades sugere a insatisfação do cliente e, conseqüentemente, a deterioração da reputação da CAGEPA. A rede de abastecimento também é responsável pela maior incidência de atividades de manutenção, devido a sua complexidade e características única de extensão e a variação diária de pressão. Monitorar o comportamento da pressão da rede de distribuição é um caminho para buscar, através de intervenções tecnológicas a redução da variabilidade de pressão e o desabastecimento, visto servir de parâmetro para otimizar o regime operacional dos sistemas automatizados, implicando na redução dos serviços de manutenção corretiva e intermitência do abastecimento de água.

Com o mapa atualizado, dentre outros benefícios, poderá a CAGEPA fazer uma melhor programação de suas intervenções nos reservatórios, conhecida a real população abastecidas por estes.

4.2 Interpretação dos Dados Medidos

A partir do módulo de rastreio do EPANET, pode-se verificar a origem da água para um determinado nó a partir de cada reservatório existente.

Para o caso em questão foram realizadas simulações de rastreio em dois cenários. O primeiro às 4:00h e o segundo às 12:00h. Tais cenários foram selecionados por tratar de horários de mínima e máxima demanda de consumo.

Para todos os cenários simulados apresentados, utilizar-se-á a legenda conforme Figura 34, indicando assim a faixa percentual rastreada em cada nó.

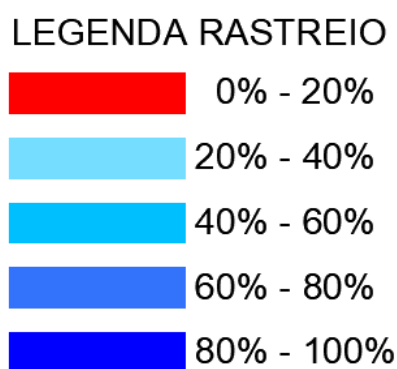


Figura 34: Legenda rastreio gráficos isolinhas.

Fonte: EPANET, 2020

4.2.1 Reservatório Apoiado - R1A

Ao executar o rastreo para os horários predefinidos junto ao R1A, obtém-se os seguintes cenários apresentados na Figura 35 e 36.

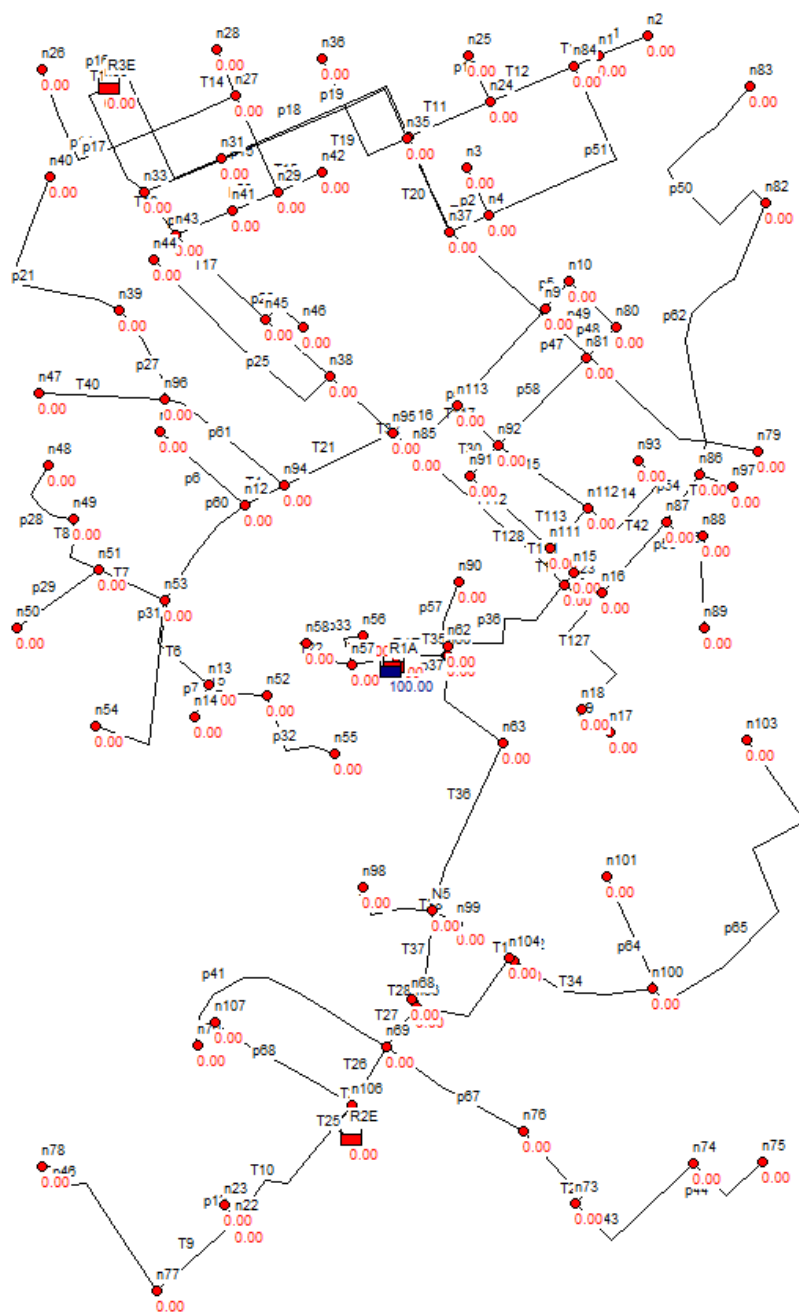


Figura 35: Rastreo R1A simulado às 04:00h.

Fonte: EPANET, 2020

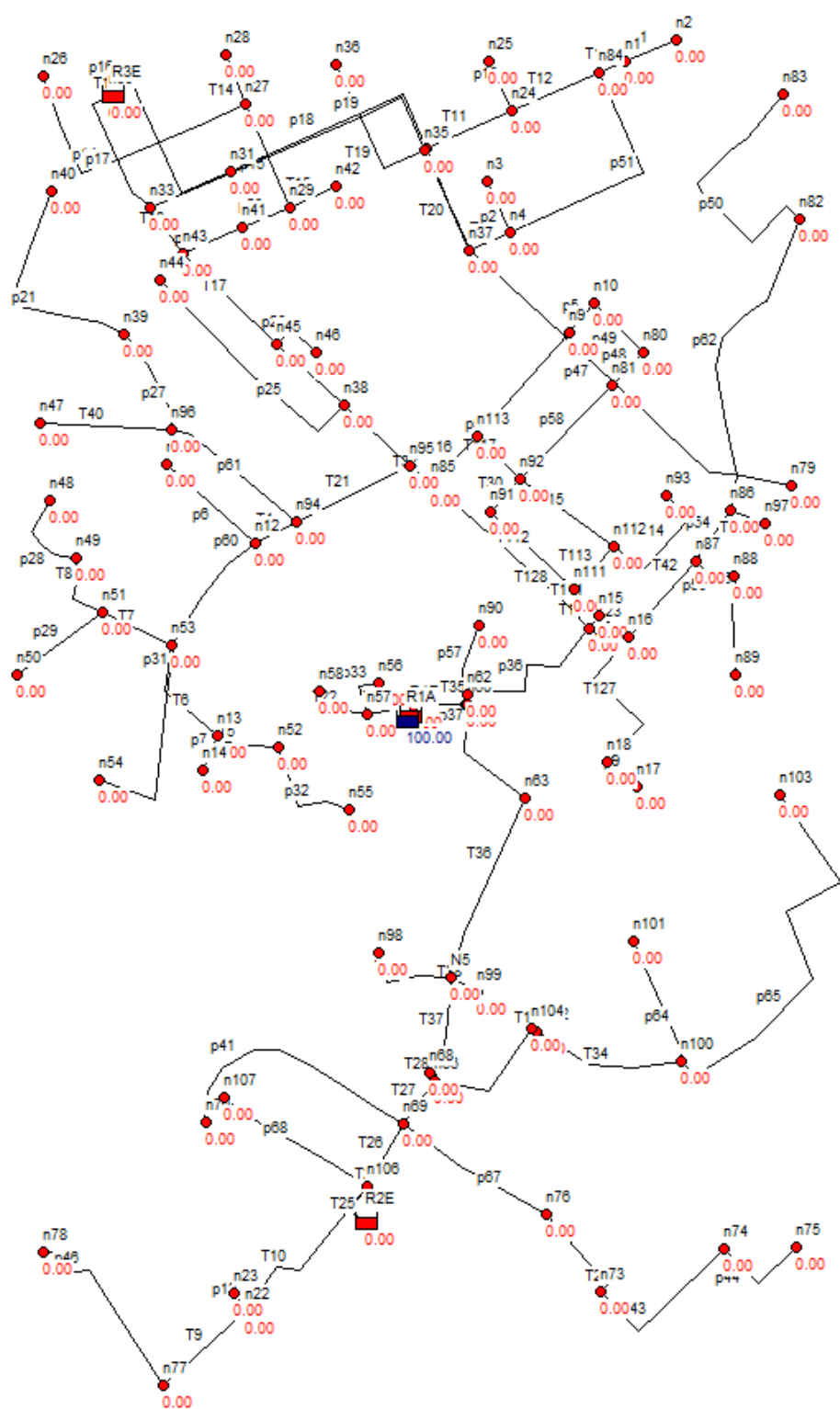


Figura 36: Rastreio R1A simulado às 12:00h.

Fonte: EPANET, 2020



Figura 37: Influência (Gráfico em isolinhas) R1A às 04:00h

Fonte: EPANET, 2020

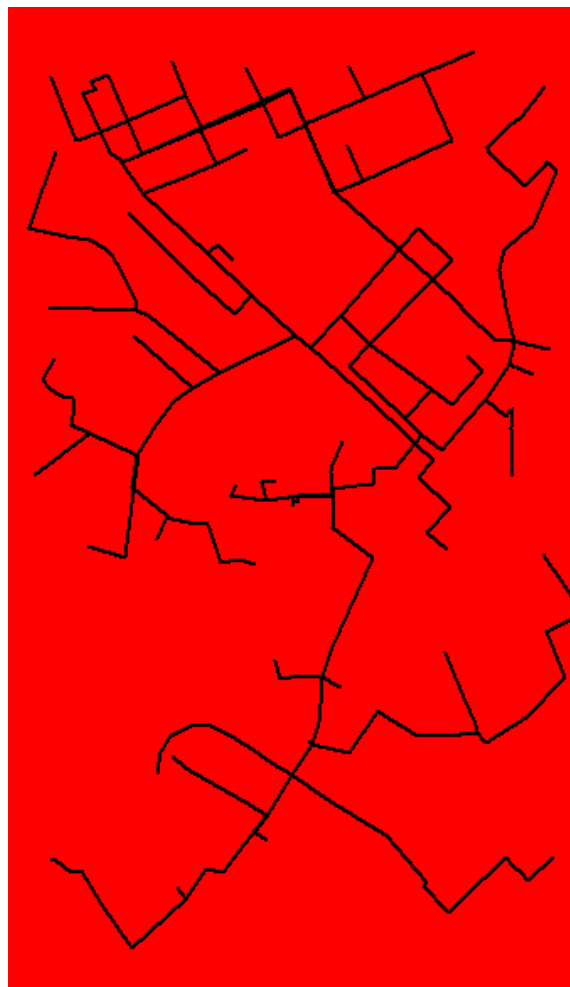


Figura 38: Influência (Gráfico em isolinhas) R1A às 12:00h.

Fonte: EPANET, 2020

Ao analisar a contribuição do reservatório apoiado R1A para a área simulada, percebe-se que o mesmo tem comportamento idêntico para os dois cenários rastreados. Tal realidade poderá ser admitida visto algumas situações, mas antes é importante observar as características geográficas onde o mesmo está inserido, bem como suas características físicas.

- O reservatório foi construído em 1951, inicialmente projetado para uma população muito inferior à atual, cuja localização e demanda da população à época exigia muito pouco de sua capacidade;

- Compara-se ainda a cota topográfica inserida em seu nível de abastecimento de 121,80 m com as dos demais reservatórios que abastecem a cidade. Percebe-se que a mesma possui um valor muito inferior das demais, em média 20 metros;
- O R1A possui localização no centro da área simulada, quase equidistante dos outros dois reservatórios elevados que abastecem a cidade.

É observado na Figura 39 que a rede de distribuição proveniente do R1A e do R2E são interligadas. Pelas características expostas e comprovado pelo resultado das simulações, estas interligações ocasionaram a supressão da influência do reservatório apoiado.

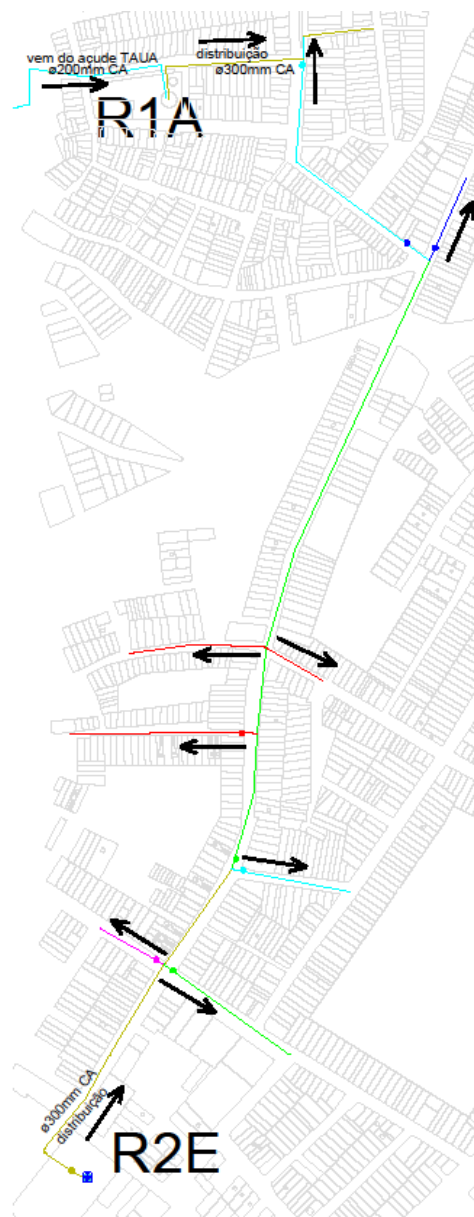


Figura 39: Abastecimento R1A.

Fonte: Autor, 2020.

Pode-se então sugerir pelos resultados das simulações, que o R1A possui características de um tanque de amortecimento unidirecional, uma vez que o que deveria ser apenas distribuição torna-se abastecimento.

Assim é possível afirmar, a partir desta simulação, que atualmente o reservatório R1A limita-se ao abastecimento do R1E, não influenciando diretamente na rede de abastecimento da cidade.

4.2.2 Reservatório Elevado - R1E

O reservatório elevado R1E (Figuras 40 e 41) é abastecido pelo reservatório apoiado R1A através de um sistema de recalque. Foi concebido em meados da década de 80 com a finalidade exclusiva de abastecimento do bairro onde está inserido, visto que o crescimento populacional deste se deu em torno do R1A, exigindo assim maior pressão para atendimento dessa nova população. Com o passar do tempo a rede proveniente da região abastecida pelo R1A foi interligada com a do R1E. Ao executar o rastreamento para os horários predefinidos junto ao R1E, obtém-se os seguintes cenários apresentados nas Figuras 42 a 45 .



Figura 40: Acesso ao reservatório elevado (R1E).

Fonte: Autor, 2019



Figura 41: Vista interna R1E.

Fonte: Autor, 2019

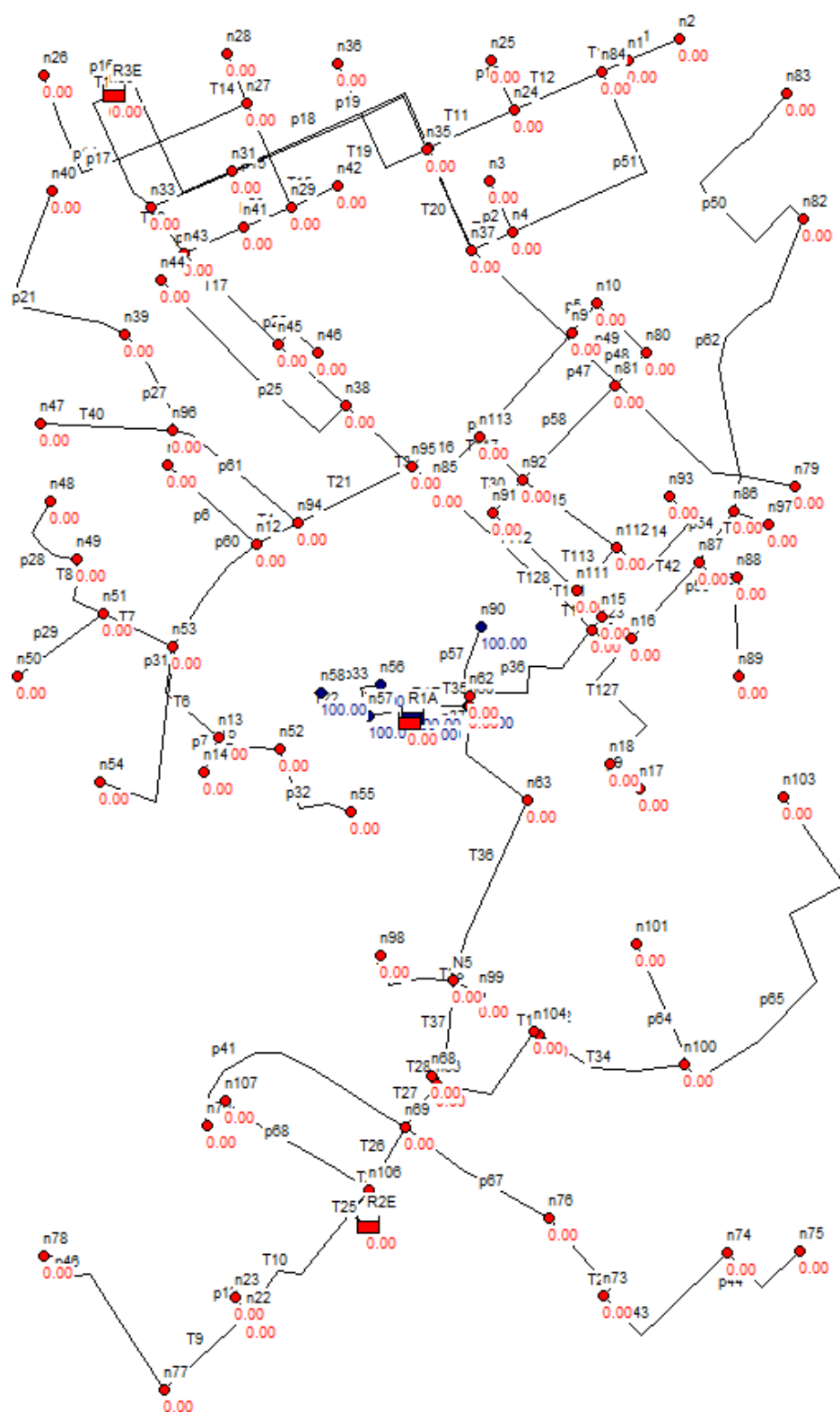


Figura 43: Rastreo R1E simulado às 12:00h.

Fonte: EPANET, 2020

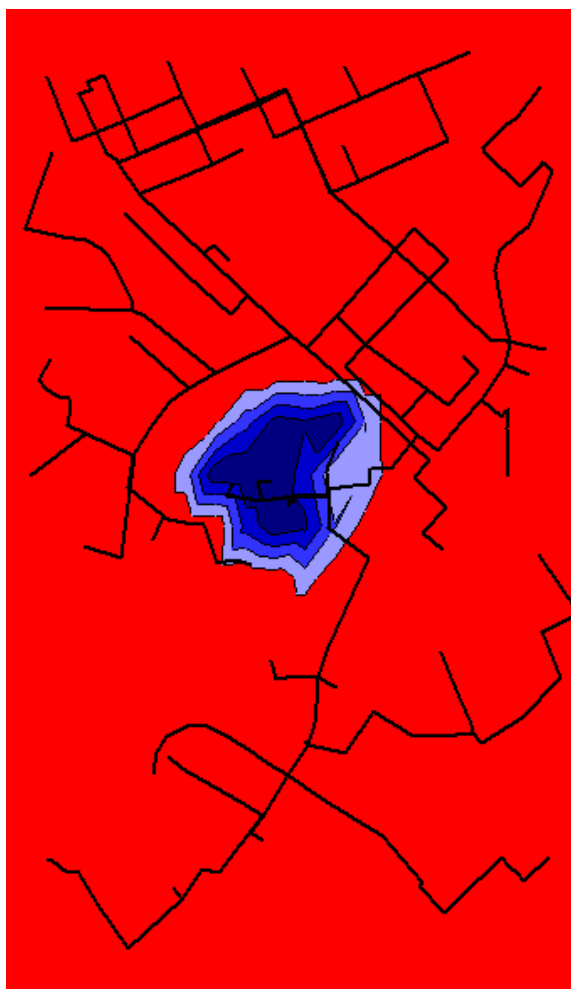


Figura 44: Influência (Gráfico em isolinhas) R1E às 04:00h.

Fonte: EPANET, 2020

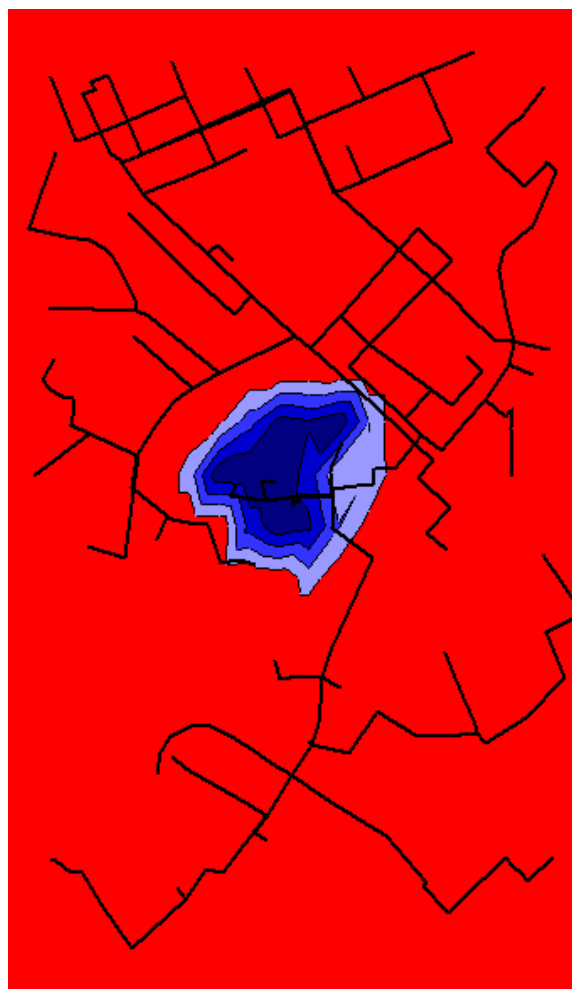


Figura 45: Influência (Gráfico em isolinhas) R1E às 12:00h.

Fonte: EPANET, 2020

É percebido nos rastreios apresentandos que o abastecimento da região passou a ser exclusivamente atendido por este elevado. Percebe-se a alimentação 100% de origem R1E para os nós 19, 20 ,56 ,57 , 58, 59 e 90.

Comparando o mapa de zoneamento existente nestes cenários, destaca-se que este setor antes abastecido pelo apoiado (R1A) agora está totalmente envolvido pelo elevado (R1E). Sugere-se assim que para todos os horarios possiveis esta nova influencia deve prevalecer, visto tal simulação englobar mínima e máxima demanda de consumo.

4.2.3 Reservatório Elevado - R2E

Ao executar o rastreo para os horários predefinidos junto ao R2E, obtém-se os seguintes cenários apresentados nas Figuras 46 a 47.

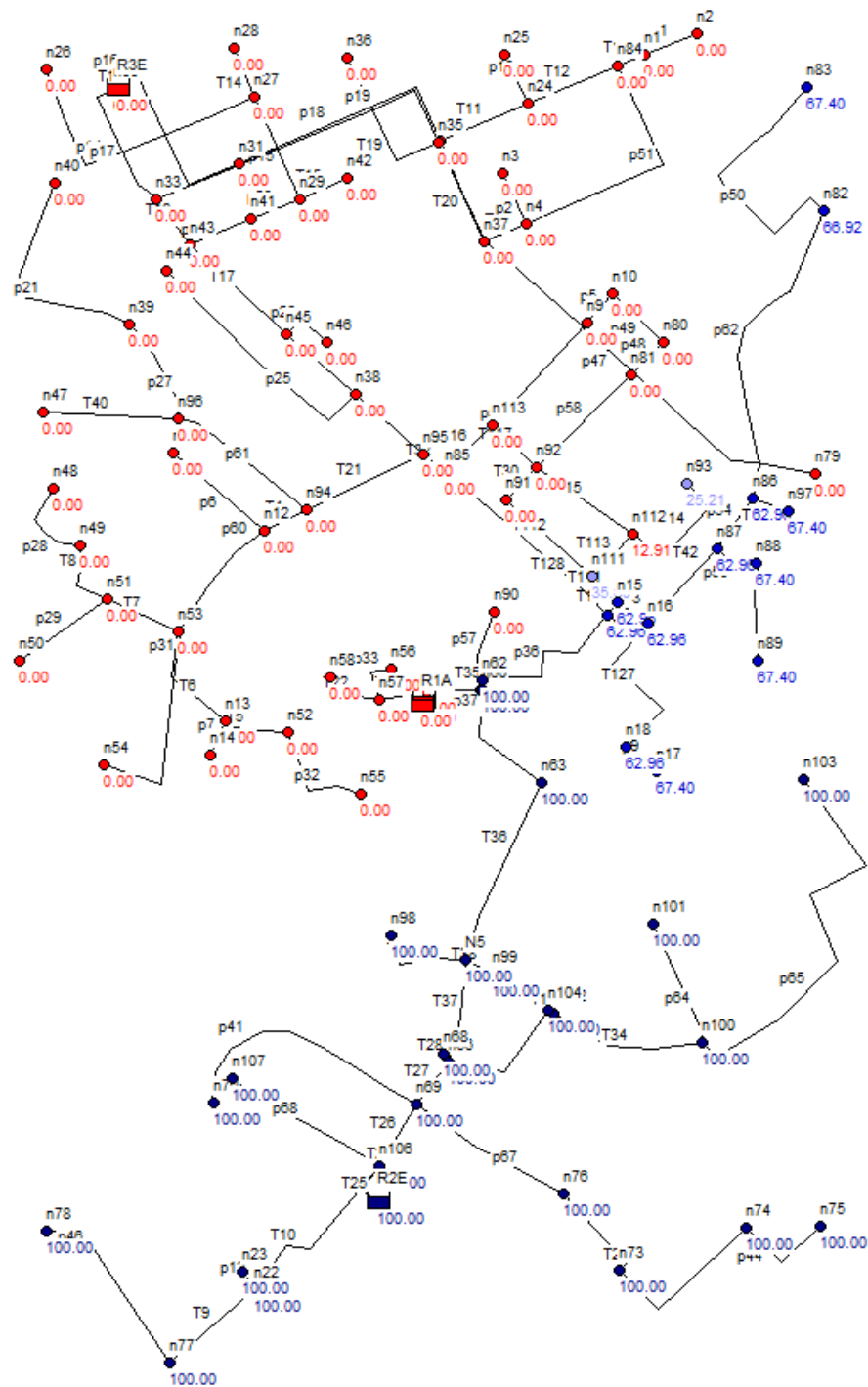


Figura 46: Rastreo R2E simulado às 04:00h

Fonte: EPANET, 2020

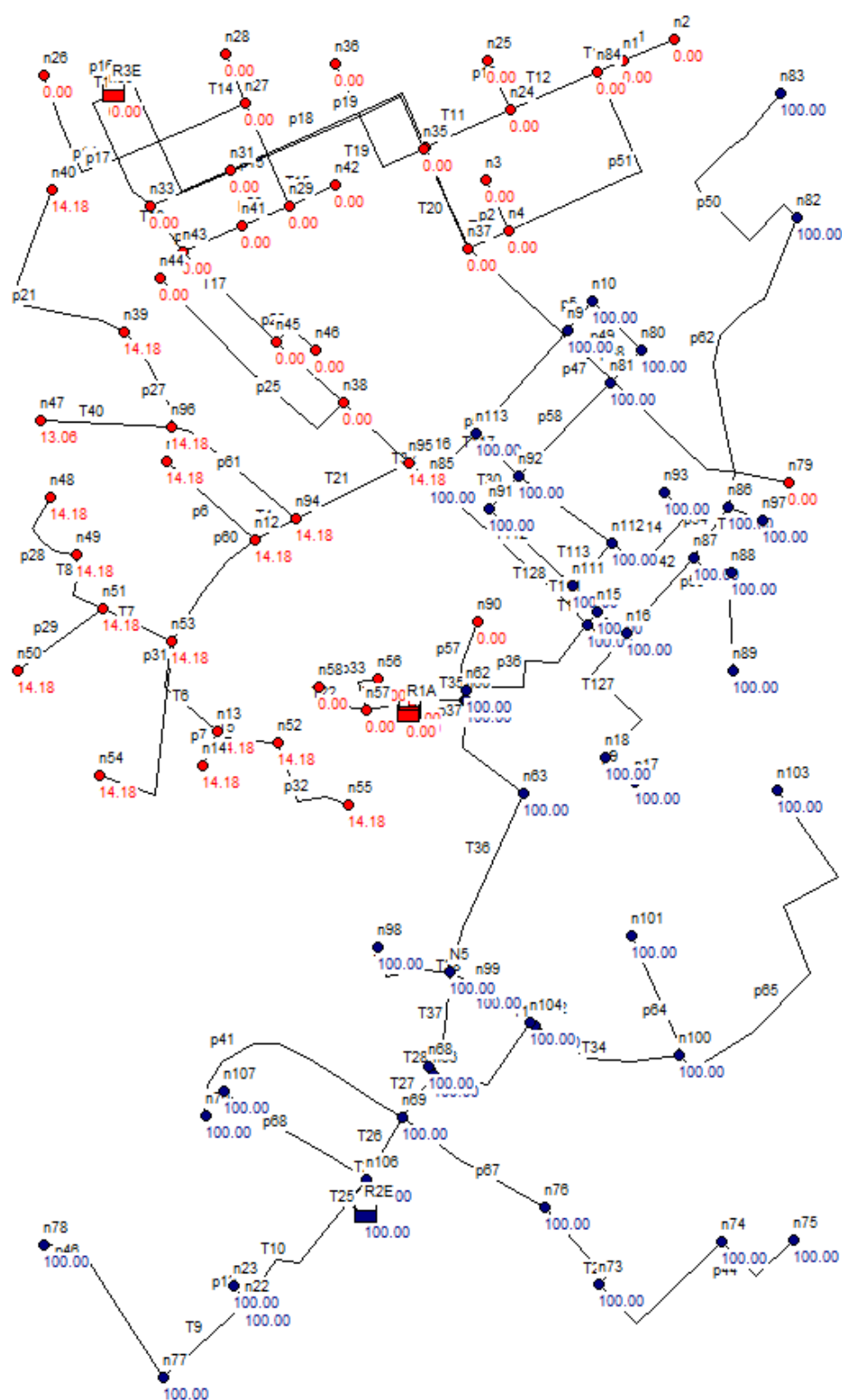


Figura 47: Rastreo R2E simulado às 12:00h.

Fonte: EPANET, 2020

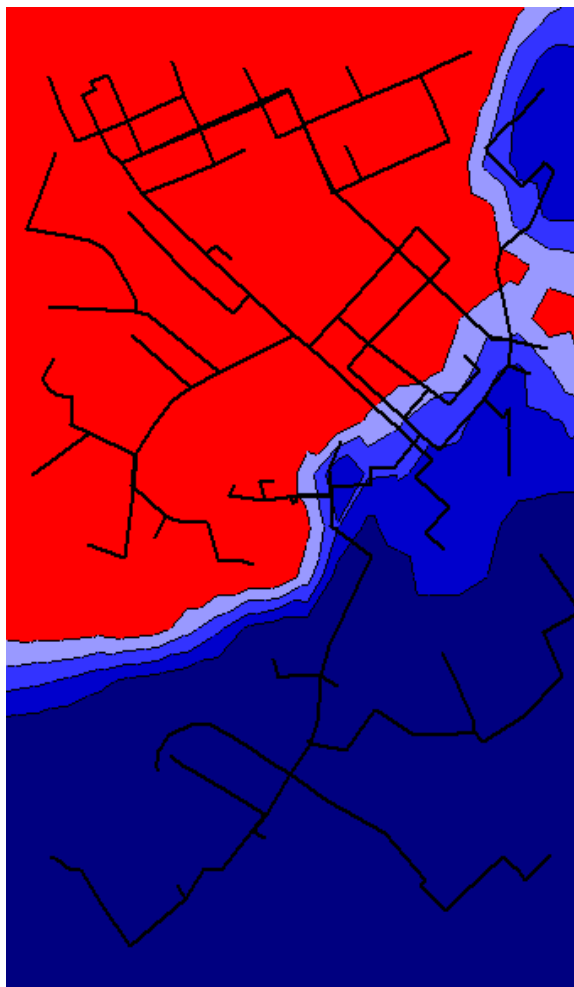


Figura 48: Influência (Gráfico em isolinhas) R2E às 04:00h.

Fonte: EPANET, 2020

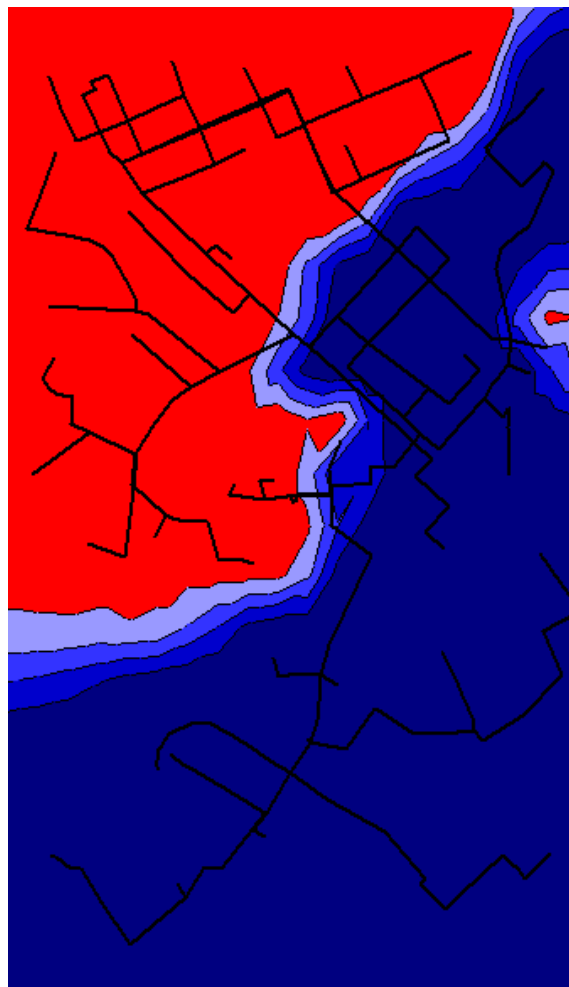


Figura 49: Influência (Gráfico em isolinhas) R2E às 12:00h.

Fonte: EPANET, 2020

O rastreo realizado para o Reservatorio Elevado R2E mostrou que no cenário simulado às 04:00h o abastecimento englobou toda região sul e leste da área simulada.

Às 12:00h visualiza-se que esse abastecimento contempla um percentual maior na regioao central e leste.

Esta situação valida o cenário existente na concessionária conforme Figura 32 atribuido ao R2E, porém alerta a uma nova área de influência ao leste crescendo sentido norte onde antes era de atendimento exclusivo do R3E.

4.2.4 Reservatório Elevado - R3E

Ao executar o rastreo para os horários predefinidos junto ao R3E, obtém-se os seguintes cenários apresentados nas Figuras 50 a 51.

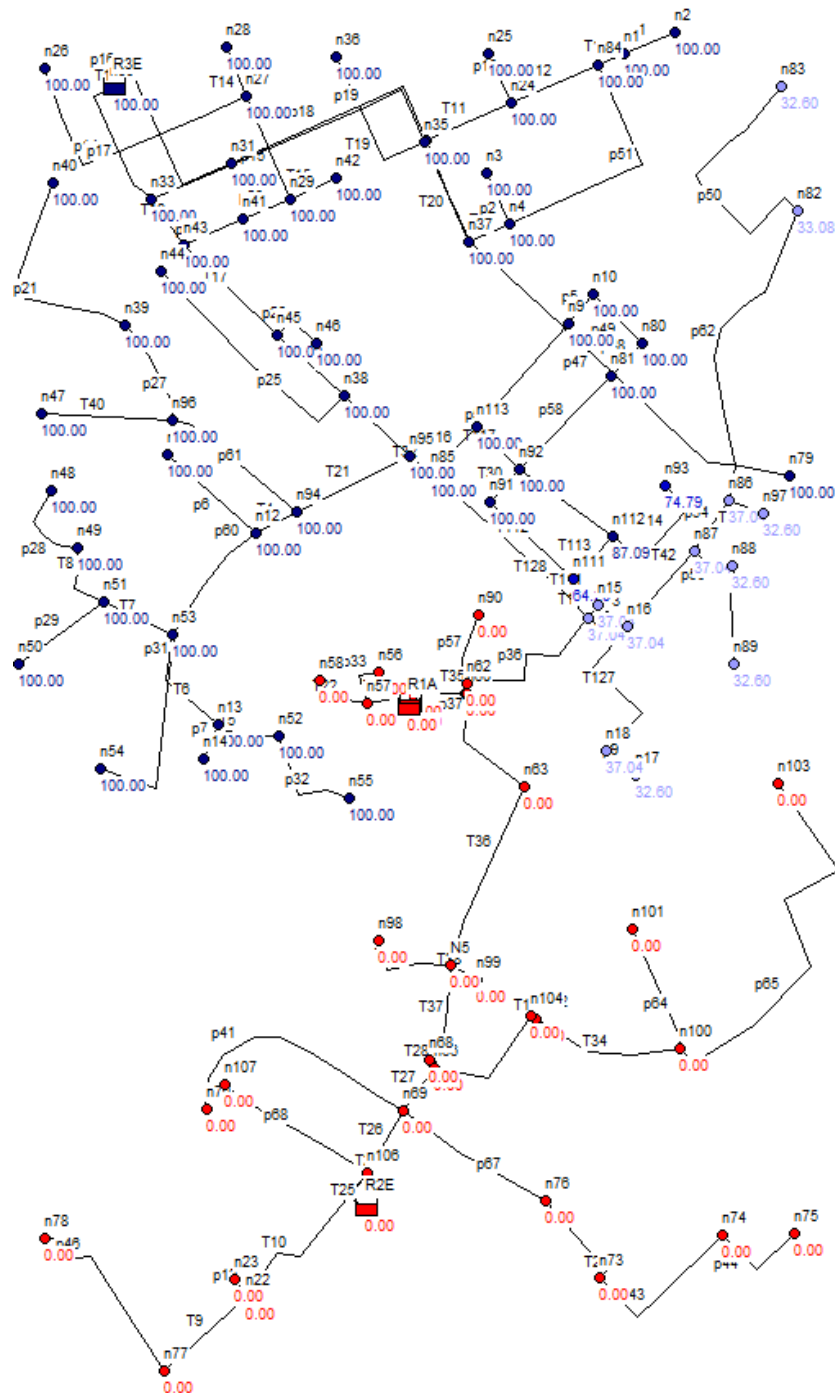


Figura 50: Rastreo R3E simulado às 04:00h.

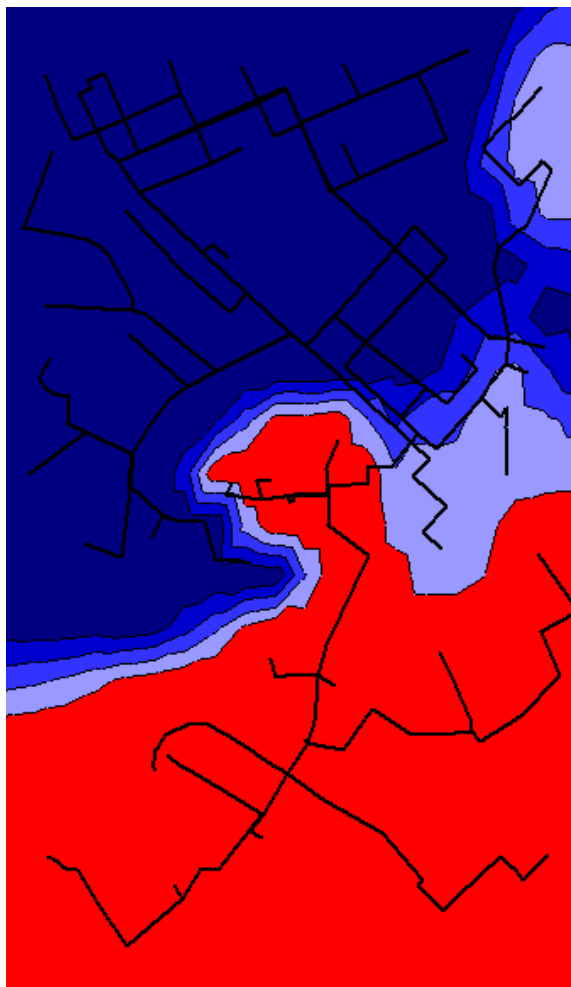


Figura 52: Influência (Gráfico em isolinhas) R3E às 04:00h.

Fonte: EPANET, 2020

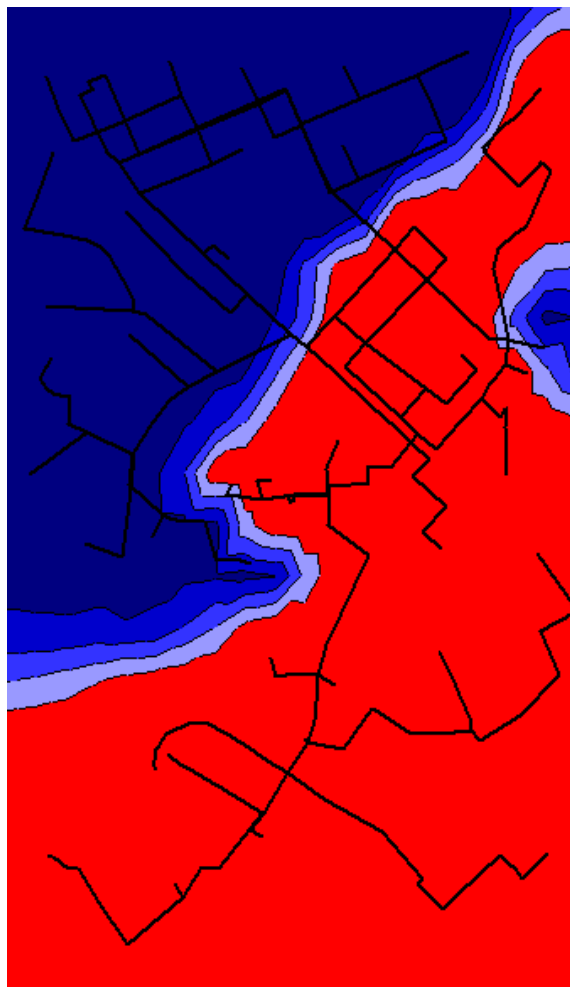


Figura 53: Influência (Gráfico em isolinhas) R3E às 12:00h.

Fonte: EPANET, 2020

O rastreio do reservatório R3E destaca-se por contemplar quase que exclusivamente a região centro oeste. Destaca-se aqui ainda uma formação de abastecimento isolada à leste abrangendo o nó 79. Ressalta-se que esse abastecimento é possível visto a ligação direta deste nó com 34, não existindo portanto nenhuma ligação direta com os trechos relacionados diretamente com o abastecimento proveniente do R2E.

4.2.5 Consolidação dos Cenários

A partir da associação dos cenários simulados para todos os reservatórios, separados os horários, é possível delimitar em planta a respectiva setorização da influência destes na rede de abastecimento.

Para os gráficos referente as Figuras 55 e 56 considera-se a legenda apresentada na Figura 54.

LEGENDA

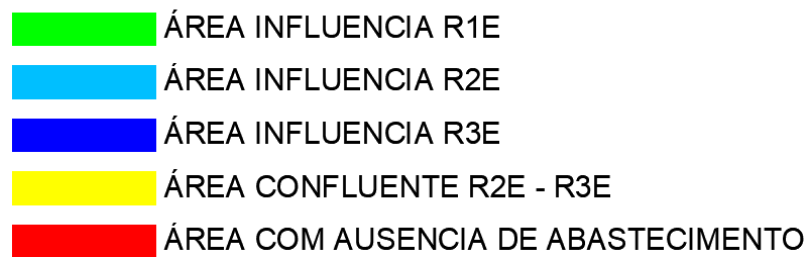


Figura 54: Legenda gráficos setorização.

Fonte: EPANET, 2020

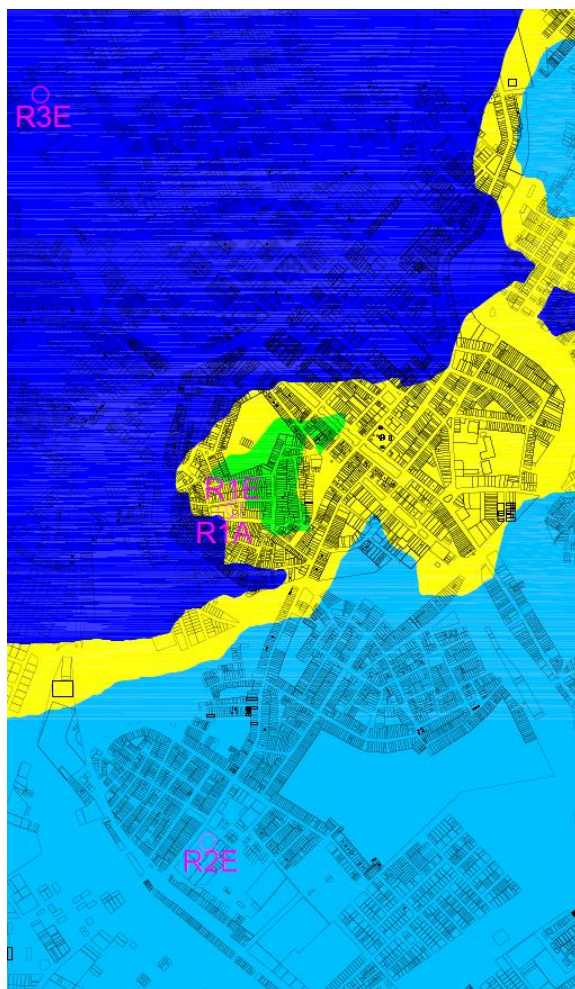


Figura 55: Setorização 04:00h.

Fonte: Autor, 2020

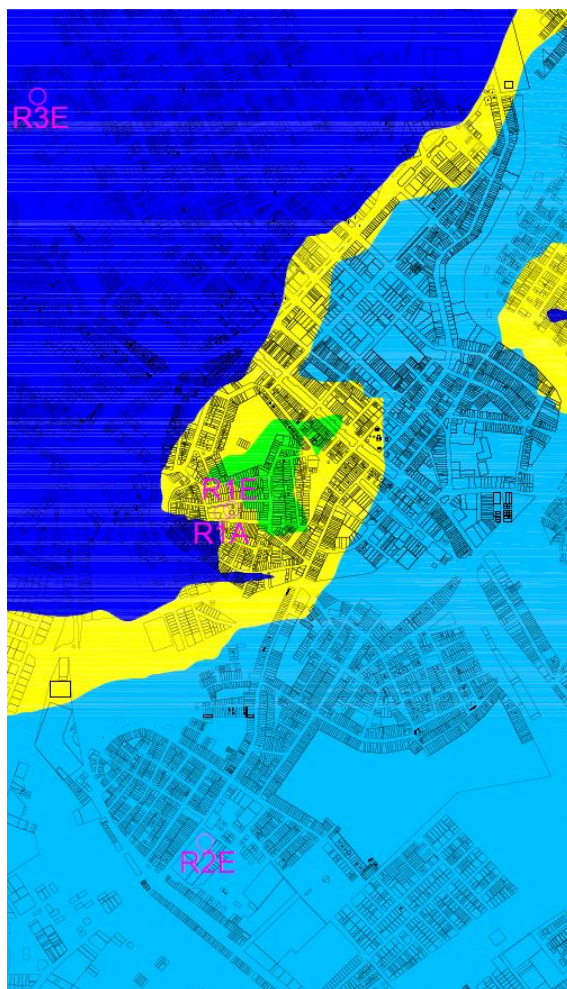


Figura 56: Setorização 12:00h.

Fonte: Autor, 2020

Como o tempo de trajeto é determinante para o rastreio da água visto que quanto maior a idade da água maior a vazão no nó, e para corroborar com a afirmação anterior que a idade influencia no abastecimento, foram realizados gráficos de série temporal do percentual de rastreio. Utilizou-se período de uma semana (168 horas) em alguns nós aleatoriamente afim de verificar a continuidade do abastecimento ao longo do tempo.

Para os nós 68, 103 e 107 foram realizados gráficos de série temporal a partir do rastreio do reservatório elevado R2E, visto ser o responsável pelo abastecimento desses nós quando da simulação às 12:00h. Já para os nós 2, 3, 4, 25, 36, 37 e 79 foram realizados gráficos de série temporal a partir do rastreio do reservatório elevado R3E vista ser a origem de abastecimento desses nós, visualizados na simulação às 12:00h. O Gráfico de uma série temporal representa os valores de um parâmetro em função do tempo. É aplicável nos trechos ou nós específicos, para todos os instantes.

A partir das Figuras 57, 58 e 59 é possível certificar que o abastecimento nos nós desenvolvem-se de forma completa e continuada.

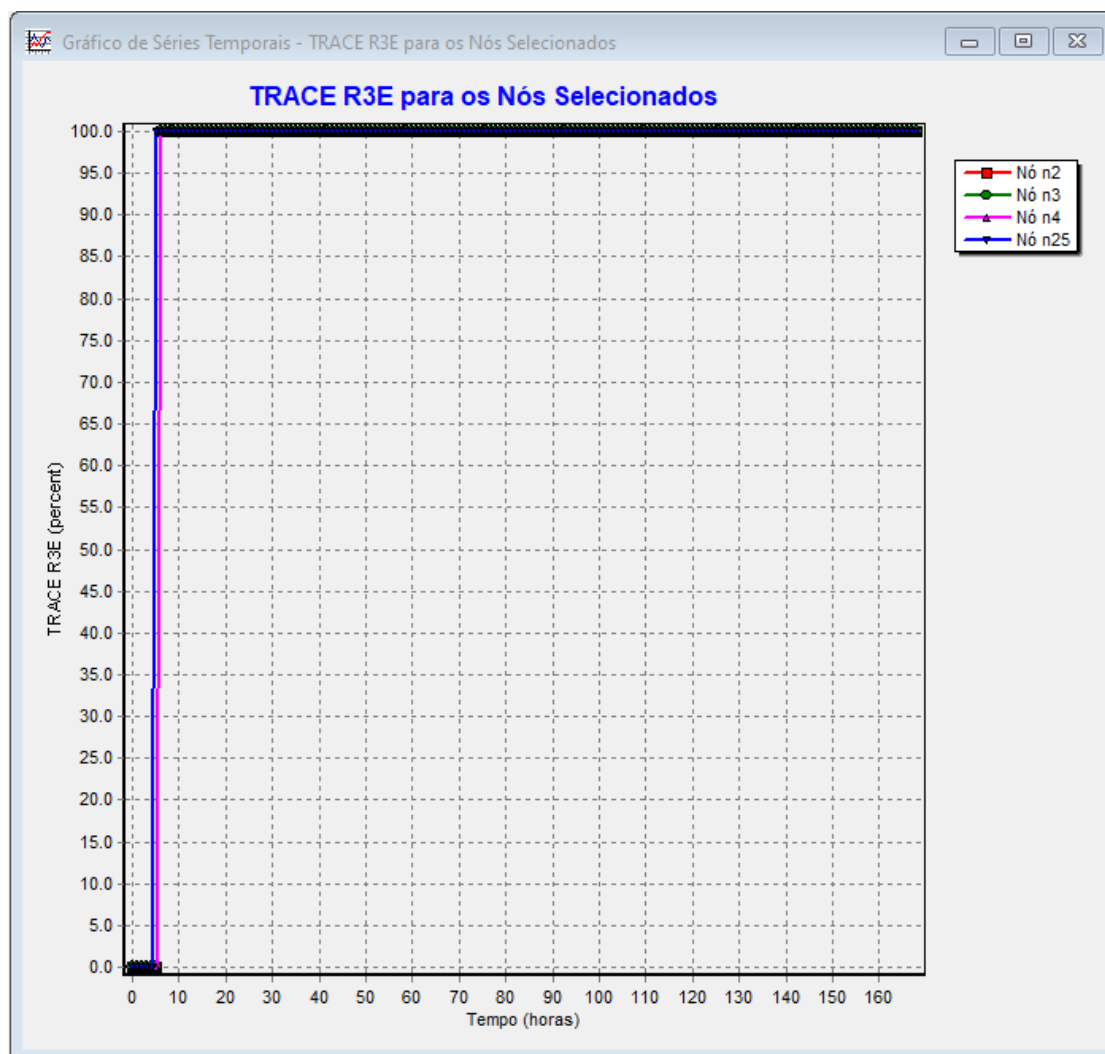


Figura 57: Gráfico temporal semanal - rastreo nós 2, 3, 4 e 25 (R3E).

Fonte: EPANET, 2020

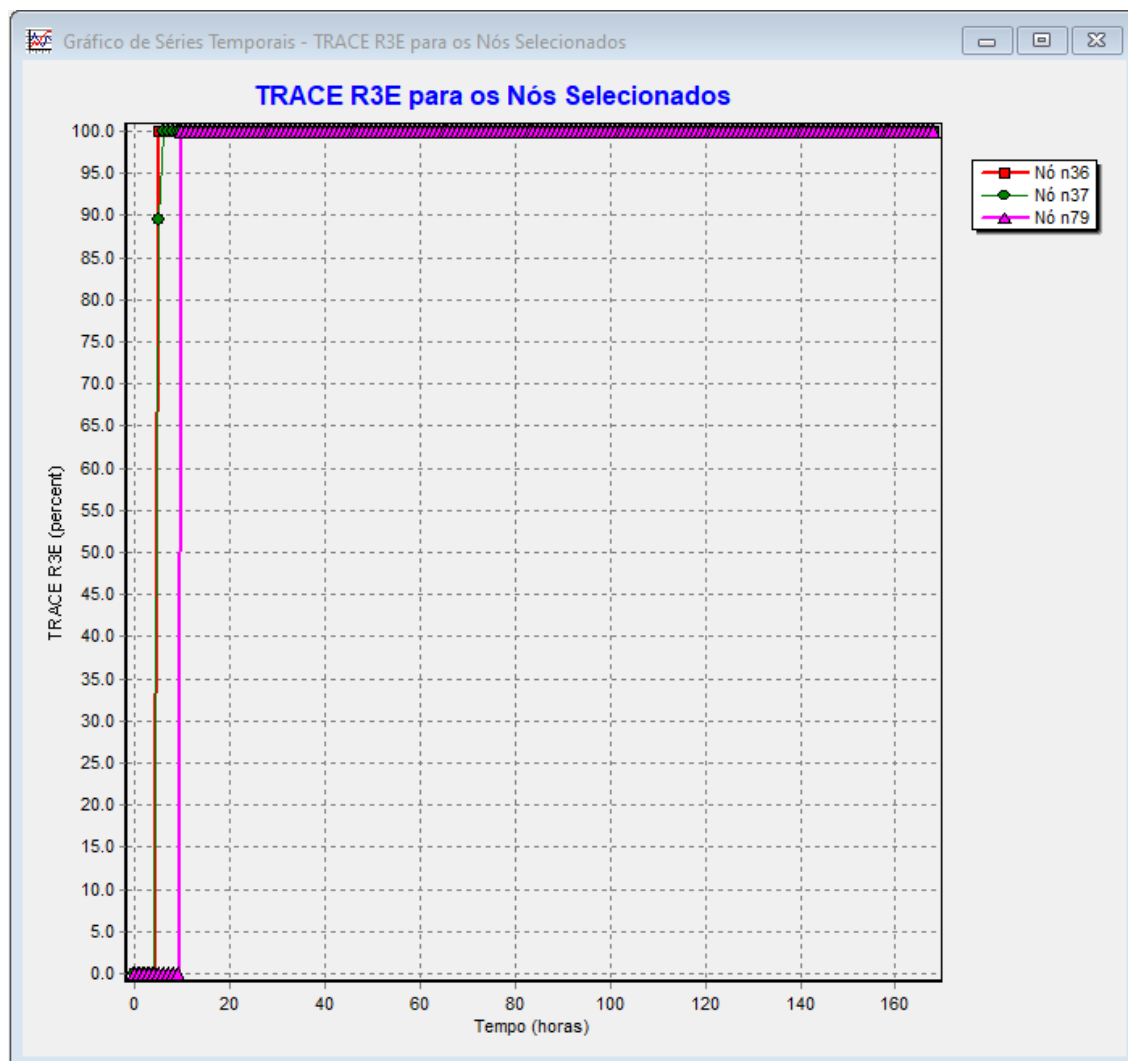


Figura 58: Gráfico temporal semanal - rastreio nós 36, 37 e 79 (R3E).

Fonte: EPANET, 2020

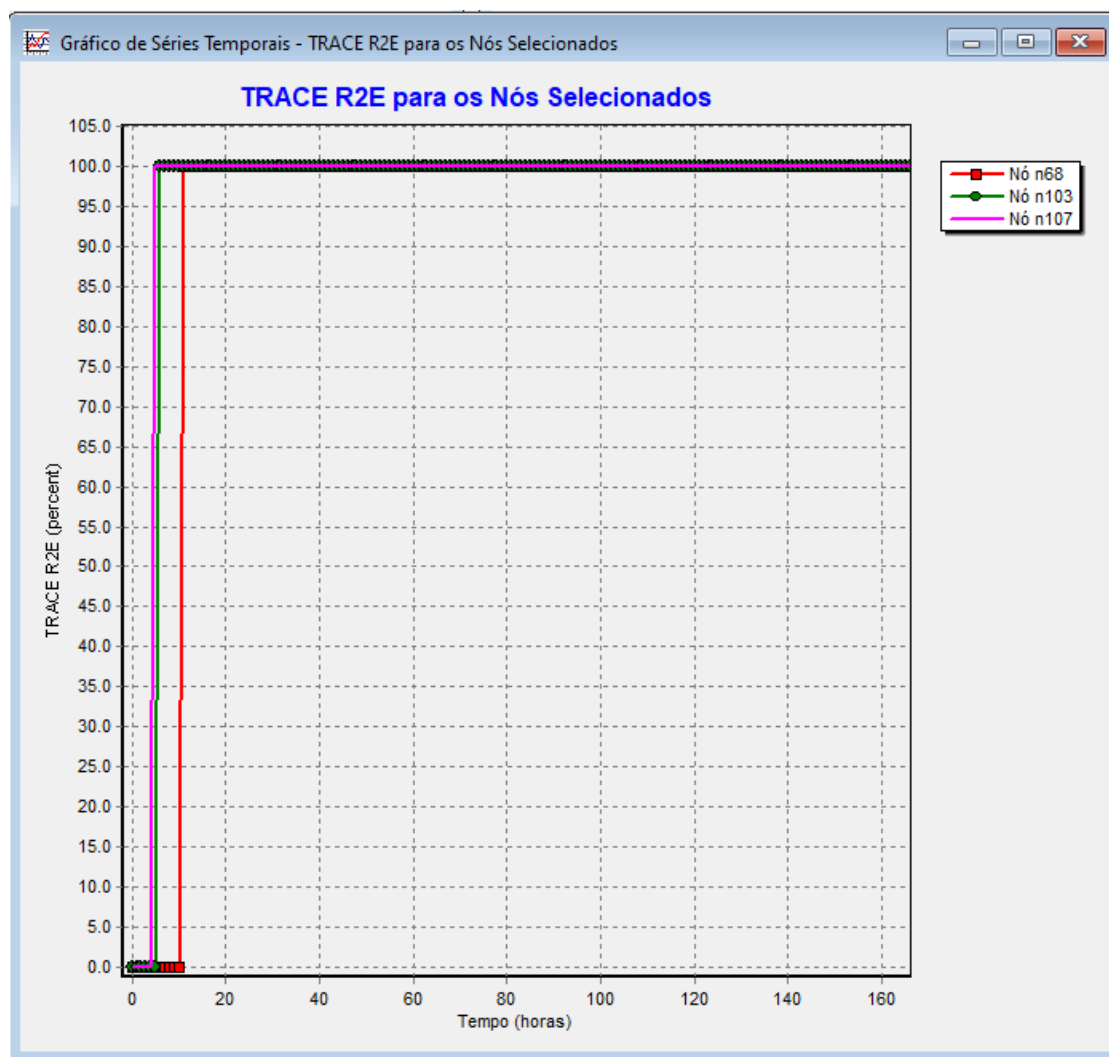


Figura 59: Gráfico temporal semanal - rastreo nós 68, 103 e 107 (R2E).

Fonte: EPANET, 2020

CAPITULO V

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho de pesquisa obteve a modelagem hidráulica da cidade de Guarabira no programa EPANET. Isto possibilitou o rastreio da água proveniente de diversas fontes de abastecimento para todos os nós existentes. Importante citar que os dados utilizados nesse trabalho foram fornecidos pela CAGEPA. Os resultados alcançados neste trabalho já são almejados há tempos pela concessionária para que, de forma planejada, se possa intervir nos reservatórios sabendo exatamente os efeitos dessas intervenções em sua rede de abastecimento. Ressalta-se que para resultados mais precisos faz-se necessário inserir mais detalhes ao modelo, tornando este um retrato mais fiel da realidade encontrada na rede da cidade.

Esta pesquisa traz luz a diversos pontos que a concessionária possui dificuldades em obter. A partir da criação deste modelo será possível intervir com propriedade nos reservatórios, conhecendo seus impactos na rede de distribuição. Também será possível expandir esse modelo envolvendo uma maior área da cidade, dentre outros benefícios.

Através desse rastreio foi possível obter uma setorização da rede cuja delimitação foi norteadada pelos seus respectivos reservatórios responsáveis, atingindo assim, o primeiro objetivo específico deste trabalho. Quanto maior for abastecida a rede por um mesmo reservatório, maior será esta setorização. Pode-se assegurar que foi assim obtido um retrato da situação de abastecimento da rede a partir de suas origens. Isto posto, a partir do reconhecimento dos setores existentes, poderá ser planejado melhorias na rede de abastecimento.

De modo geral podem-se pontuar as seguintes conclusões:

1. Comparando-se ao mapa existente da concessionária, a área de influência do R1A foi suprimida pela zona de influência do elevado R1E. Tal afirmação é possível a partir dos resultados das simulações realizadas para os dois cenários propostos. Atribui-se esta modificação às diversas interligações entre as tubulações hoje existentes.

2. Identifica-se um aumento da zona de influência do R2E, ao norte, surgindo assim outra divergência quando comparado ao zoneamento anterior. Como consequência, há um decréscimo da zona de influência do R3E.
3. Observa-se a formação de área confluyente entre os reservatórios elevados R2E e R3E para ambos os horários simulados, fundamentais para o atendimento pleno dos nós envolvidos nessa região.
4. Foi inventariado, através da tabela 1A (em Anexo), todos os nós para os dois cenários simulados. Assim torna-se possível identificar nós com baixo ou ausência de abastecimento, atendendo nesta etapa, o segundo objetivo específico desse trabalho. Também poderá ser observada a composição de percentual de abastecimento de água para cada nó quando existir convergência de fontes.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Incluir uma maior quantidade da rede de abastecimento existente com seus dispositivos para nova simulação e consequente determinação de nova setorização.
- Utilizar novo parâmetro hidráulico de consumo nodal para realizar nova simulação.

REFERÊNCIAS

- ATES, S. Hydraulic modelling of closed pipes in loop equations of water distribution networks. **Applied Mathematical Modelling**, v. 40, n. 2, p. 966–983. 2016.
- BARROS, E. G. F., SALVINO, L. R., BEZERRA, S. T. M., SALVINO, M. M., GOMES, H. P., 2017. Intelligent system for control of water distribution networks. **Water science & technology: water supply**, v. 18, n. 15, p. 1-12, 2017.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Escritório de Pesquisa e Experimentação. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. I. **Levantamento exploratório de reconhecimento dos solos do Estado da Paraíba**. II. Interpretação para uso agrícola dos solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro: (Boletim Técnico, 15; SUDENE. Série Pedologia, 8). 1972. 683 p.
- Brasil. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos** – 2018. Brasília: SNS/MDR, 2019. 180 p.
- CAMBOIM, W. L. L., 2012. **Aplicações de técnicas de controle Fuzzy em sistemas de abastecimento de água visando melhoria no rendimento energético e hidráulico**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFPB, João Pessoa, PB, 2012.
- CARDOSO, A. A., SANTIAGO, M. A. A, RIBEIRO T. S., BARBOSA, H. S., ARNAUD E. A. L. **IoT para monitorar a qualidade do serviço de abastecimento de água: Um estudo de caso na CAGEPA**. Campinas. COBISA. 2019.
- CARVALHO, P. S. O. **Controle para bombeamento distribuído com vistas à minimização dos custos energéticos aplicado a sistemas de abastecimento de água**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFPB, João Pessoa, PB, 2012.
- CELI, C. F. L., IGLESIAS-REY, P. L., SOLANO, F. J. M., 2017. Energy Optimization of Supplied Flows from Multiple Pumping Stations in Water Distributions Networks. **Procedia Engineering**, v. 186. n. 10. p. 93-100, 2017.
- CHEUNG, P. B. **Comparação de métodos de calibração de redes hidráulicas**. In: SEREA – Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água, João Pessoa - Brasil, 2006.
- COELHO, S. T., LOUREIRO, D., ALEGRE, H. **Modelação e análise de sistemas de abastecimento de água**. Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) e Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), 2006.

DIUANA, F. A., OGAWA, S. C. C. P. **Análise Comparativa dos Modelos Hidráulicos Epanet, WaterCAD e Sistema UFC para Sistemas de Abastecimento de Água – Rede de Distribuição**. 2015. 105 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2015.

ESTAPÉ, G. S. **Demand modelling and calibration for hydraulic network models**. 2013. Tese (Doutorado). Universitat Politecnica de Catalunya. Catalunya, Espanha, 2013.

FARIA, A. L., ALEGRE, H., Paving the way to excellence in water supply systems: a framework for levels-of-service assessment based on consumer satisfaction. **Aqua**, v. 1, n. 8, p. 45, 1996.

FARIA, S. H., CALIJURI, M. L., OLIVEIRA, J. C. **Uso de softwares gratuitos (SPRING e EPANET) na simulação de pressão e vazão de uma rede de abastecimento de água**. In: Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal: Inpe, 2009. p. 3729-3735.

GARCÍA-ÁVILA, F., AVILÉS-AÑAZCO, A., ORDOÑEZ-JARA, J., GUANUCHI-QUEZADA, C., FLORES DEL PINO, L., RAMOS-FERNÁNDEZ, L. Pressure management for leakage reduction using pressure reducing valves. Case study in an Andean city. **Journal Alexandria Engineering**, v. 58, n. 4. p. 1313-1326, 2019.

GOMES, H. P. **Abastecimento de Água**. João Pessoa, PB, Brasil, LENH/UFPB, 2019.

GOMES, h. P., carvalho, p. S. O. **Manual de sistemas de bombeamento – eficiência energética**. Manual do usuário, procel / sanear. 1 ed, editora universitária – ufpb, joão pessoa, pb, brasil. 2012.

GOMES, J. E. C. **Controle fuzzy Takagi-Sugeno de pêndulo invertido: Projeto e validação em bancada didática**. 2013. 52 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação), Universidade de Brasília, Brasília. 2013.

IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 2011. **Censo Demográfico**,

KARA, S., KARADIREK, I. E., MUHAMMETOGLU, A., MUHAMMETOGLU, H., 2016. Hydraulic Modeling of a Water Distribution Network in a Tourism Area with Highly Varying Characteristics. **Procedia Engineering**, v. 162, n. 6, p. 521–529, 2016.

KOPPEL, T., VASSILJEV, A. **Calibration of water distribution network for BWCN**. Water Distribution Systems Analysis. 2011, p. 1599-1609.

Laboratory – **United States Environmental Protection Agency (EPA)**, 2009. Traduzido pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) – Brasil, 2009.

LUNA, T., RIBAU, J., FIGUEIREDO, D., ALVES, R. Improving energy efficiency in water supply systems with pump scheduling optimization. **Journal of Cleaner Production**, v. 213, n. 5, p. 342–356, 2019.

MELO, J. R. C. **Projeto de Sistemas de Abastecimento de Água**. Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia. João Pessoa, 2011.

MENDONÇA, K. H., GOMES, H. P., VILLANUEVA, J., BEZERRA, S. T. M., SILVA, S. A. **Análise energética do controle de pressões com o uso de inversores de frequência**. XVI Seminário Ibero-Americano sobre Sistemas de Abastecimento e Drenagem, Lisboa, Portugal, 2019.

METHODS, H. **User's Guide WaterCAD v8 for Windows WATERBUY CT. USA**: Bentley. Press, 2007.

MOLEIRO, A. **Sistema de bombeamento inteligente**. Disponível em: www.sba-tecnologia.com.br. Acesso em 08 de junho de 2020.

MONTEIRO, L., FIGUEIREDO, D., DIAS, S., FREITAS, R., COVAS, D., MENAIA, J., COELHO, S. T. Modeling of Chlorine Decay in Drinking Water Supply Systems Using EPANET MSX. **Procedia Engineering**, v. 70, n. 4, p. 1192–1200. 2014.

MOREIRA, E. de R. F. **Mesorregiões e microrregiões da Paraíba: delimitação e caracterização**. João Pessoa: GAPLAN, 1988.

MOURA, G. de A., BEZERRA, S. de T. M., GOMES, H. P., SILVA, S. A. Neural network using the Levenberg–Marquardt algorithm for optimal real-time operation of water distribution systems. **Urban Water Journal**, v. 15, n. 7 p. 1–8. 2018.

MURANHO, J., FERREIRA, A., SOUSA, J., GOMES, A., MARQUES, A. S., 2014. Technical Performance Evaluation of Water Distribution Networks based on EPANET. **Procedia Engineering**, v. 70, n. 3, p. 1201–1210.

NEURA, A. S. S., EDVALDO, L. J., 2002. **Indicadores De Gestão Para Sistemas De Abastecimento De Água**. SEREA, 2002.

NEVES, C. L. **Calibração de Parâmetros de Modelos Hidráulicos de Redes de Distribuição de Água para Estudos de Operação de Rede**. 2007. 143 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Publicação PTARH.DM-108/2007, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília – DF. 2007.

NICOLINI, M., GIACOMELLO, C., DEB, K., 2011. Calibration and Optimal Leakage Management for a Real Water Distribution Network. **Journal of Water Resources Planning Management**, v. 137, n. 1, p. 134-142, 2011.

NICOLINI, M.; PATRIARCA, A. Model calibration and system simulation from real time monitoring of water. In: Proceedings of the 3^o International Conference on Computer. **Research And Development**. v. 1, n. 1, p. 51-55, 2011.

OLAIA, A. I. S. **Gestão de sistemas de abastecimento de água através de modelação hidráulica**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, Portugal, 2012.

OLIVEIRA, J. K. C., 2017. **Lógica fuzzy aplicada na otimização operacional de rede setorizada de distribuição de água**. 2017. 147 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFPB, João Pessoa, PB. 2017.

PEIROVI MINAEE, R., AFSHARNIA, M., MOGHADDAM, A., EBRAHIMI, A. A., ASKARISHAHI, M., MOKHTARI, M. Calibration of Water Quality Model for Distribution Networks using Genetic Algorithm, Particle Swarm Optimization, and Hybrid Methods. **MethodsX**, v. 6, n. 1, p. 540-548, 2019.

Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Guarabira, Estado da Paraíba** / (orgs.). MASCARENHAS, J. de C.; BELTRÃO, B. A.; SOUZA JÚNIOR, L. C. de; MORAIS, F. de; MENDES, V. A.; MIRANDA, J. L. F. de. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

Projeto Radambrasil – Programa de Integração Nacional. Levantamento dos recursos naturais. **Folhas SB 24/25**. Jaguaribe Natal. Vol. 23 Rio de Janeiro, 1981.

RAMANA, G. V., Sudheer, C. V. S. S., Rajasekhar, B. Network Analysis of Water Distribution System in Rural Areas using EPANET. **Procedia Engineering**, v. 119, n. 1, p. 496–505, 2015.

ROSSMAN, L. A. EPANET2: User's manual. U. S. **Environment Protection Agency**, Cincinnati, Ohio, USA. 2008.

SALVINO, L. R., **Eficiência energética em sistemas pressurizados de distribuição de água com o uso de Redes Neurais Artificiais**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFPB, João Pessoa, PB, Brasil. 2018.

SAMIR, N., KANSOH, R., ELBARKI, W., FLEIFLE, A., 2017. Pressure control for minimizing leakage in water distribution systems. **Alexandria Engineering Journal**, v. 56, n. 4, p. 601–612, 2017.

SAYYED, M. A. H. A., GUPTA, R., TANYIMBOH, T. T., Modelling Pressure Deficient Water Distribution Networks in EPANET. **Procedia Engineering**, v. 89, n. 2, p. 626–631, 2014.

SHEN, H., MCBEAN, E., 2011. Hydraulic calibration for a small water distribution network. **Water Distribution Systems Analysis** 2010. 2011, p. 1545-1557.

SILVA, A. W., SILVA, C. R., AZEVEDO, E. S., SOUZA, M. X., CHAVES, P. **Automação do Sistema de Abastecimento dos Apanhadores de Água** - Minas do Complexo Mariana – Vale S.A. 8º In: Congresso Brasileiro de Mina a Céu Aberto. Minas Gerais, 2014.

SILVA, C. O., **Modelagem de rede de distribuição de água com ênfase no controle de perdas**. 2014. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Pós-graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, UFPB, João Pessoa-PB, 2014.

SILVA, J. H. F. **Exploração das potencialidades do programa Epanet na simulação hidráulica de sistemas de abastecimento de água**. 2008. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2008.

WU, Z. Y., WALSKI, T. M., 2011. An Effective Approach for Solving Battle of Water Calibration Network Problem. **Journal of Water Resources Planning and Management**, 2011.

XIAO, C., LI, B., HE, G., SUN, J., PING, J., WANG, R. Fire Flow Capacity Analysis Based on Hydraulic Network Model. **Procedia Engineering**, v. 89, n. 9, p. 386–394. 2014.

ZHANG, W. W., YU, G. P., BAI, M. S., 2012. Calibration of hydraulic model in real-life water distribution system. **Applied Mechanics and Materials**. v. 155, p. 285-290, 2012.

ANEXOS

Tabela 1A – Percentual de rastreio da água para os nós da rede de abastecimento.

Nó	Cota (m)	RASTREIO AS 04:00hs (%)				Total (%)
		R1A	R1E	R2E	R3E	
1	100,7368	0,00	0,00	0,00	100,00	100
2	99,0000	0,00	0,00	0,00	100,00	100
3	99,0716	0,00	0,00	0,00	100,00	100
4	96,6186	0,00	0,00	0,00	100,00	100
5	108,0590	0,00	0,00	100,00	0,00	100
9	101,0320	0,00	0,00	0,00	100,00	100
10	105,0744	0,00	0,00	0,00	100,00	100
11	104,5182	0,00	0,00	0,00	100,00	100
12	94,0388	0,00	0,00	0,00	100,00	100
13	90,6034	0,00	0,00	0,00	100,00	100
14	91,0824	0,00	0,00	0,00	100,00	100
15	90,6463	0,00	0,00	62,96	37,04	100
16	90,5651	0,00	0,00	62,96	37,04	100
17	98,0000	0,00	0,00	67,40	32,60	100
18	92,4886	0,00	0,00	62,96	37,04	100
19	113,1021	0,00	100,00	0,00	0,00	100
20	113,7697	0,00	100,00	0,00	0,00	100
22	115,4968	0,00	0,00	100,00	0,00	100
23	114,3120	0,00	0,00	100,00	0,00	100
24	111,5922	0,00	0,00	0,00	100,00	100
25	105,8558	0,00	0,00	0,00	100,00	100
26	106,1241	0,00	0,00	0,00	100,00	100
27	106,2632	0,00	0,00	0,00	100,00	100
28	106,3732	0,00	0,00	0,00	100,00	100
29	98,6300	0,00	0,00	0,00	100,00	100
30	125,9890	0,00	0,00	0,00	100,00	100
31	106,4880	0,00	0,00	0,00	100,00	100
33	112,3889	0,00	0,00	0,00	100,00	100
34	98,7797	0,00	0,00	0,00	100,00	100
35	98,7669	0,00	0,00	0,00	100,00	100
36	104,1366	0,00	0,00	0,00	100,00	100
37	95,1517	0,00	0,00	0,00	100,00	100
38	101,1120	0,00	0,00	0,00	100,00	100
39	94,4859	0,00	0,00	0,00	100,00	100
40	93,0625	0,00	0,00	0,00	100,00	100
41	96,8907	0,00	0,00	0,00	100,00	100
42	100,9746	0,00	0,00	0,00	100,00	100

Nó	Cota (m)	RASTREIO AS 12:00hs (%)				Total (%)
		R1A	R1E	R2E	R3E	
1	100,7368	0,00	0,00	0,00	100,00	100
2	99,0000	0,00	0,00	0,00	100,00	100
3	99,0716	0,00	0,00	0,00	100,00	100
4	96,6186	0,00	0,00	0,00	100,00	100
5	108,0590	0,00	0,00	100,00	0,00	100
9	101,0320	0,00	0,00	100,00	0,00	100
10	105,0744	0,00	0,00	100,00	0,00	100
11	104,5182	0,00	0,00	14,18	85,82	100
12	94,0388	0,00	0,00	14,18	85,82	100
13	90,6034	0,00	0,00	14,18	85,82	100
14	91,0824	0,00	0,00	14,18	85,82	100
15	90,6463	0,00	0,00	100,00	0,00	100
16	90,5651	0,00	0,00	100,00	0,00	100
17	98,0000	0,00	0,00	100,00	0,00	100
18	92,4886	0,00	0,00	100,00	0,00	100
19	113,1021	0,00	100,00	0,00	0,00	100
20	113,7697	0,00	100,00	0,00	0,00	100
22	115,4968	0,00	0,00	100,00	0,00	100
23	114,3120	0,00	0,00	100,00	0,00	100
24	111,5922	0,00	0,00	0,00	100,00	100
25	105,8558	0,00	0,00	0,00	100,00	100
26	106,1241	0,00	0,00	0,00	100,00	100
27	106,2632	0,00	0,00	0,00	100,00	100
28	106,3732	0,00	0,00	0,00	100,00	100
29	98,6300	0,00	0,00	0,00	100,00	100
30	125,9890	0,00	0,00	0,00	100,00	100
31	106,4880	0,00	0,00	0,00	100,00	100
33	112,3889	0,00	0,00	0,00	100,00	100
34	98,7797	0,00	0,00	0,00	100,00	100
35	98,7669	0,00	0,00	0,00	100,00	100
36	104,1366	0,00	0,00	0,00	100,00	100
37	95,1517	0,00	0,00	0,00	100,00	100
38	101,1120	0,00	0,00	0,00	100,00	100
39	94,4859	0,00	0,00	14,18	85,82	100
40	93,0625	0,00	0,00	14,18	85,82	100
41	96,8907	0,00	0,00	0,00	100,00	100
42	100,9746	0,00	0,00	0,00	100,00	100

43	94,8164	0,00	0,00	0,00	100,00	100
44	92,4128	0,00	0,00	0,00	100,00	100
45	98,5589	0,00	0,00	0,00	100,00	100
46	102,9188	0,00	0,00	0,00	100,00	100
47	99,2832	0,00	0,00	0,00	100,00	100
48	114,0459	0,00	0,00	0,00	100,00	100
49	101,2861	0,00	0,00	0,00	100,00	100
50	113,2683	0,00	0,00	0,00	100,00	100
51	100,9372	0,00	0,00	0,00	100,00	100
52	88,8271	0,00	0,00	0,00	100,00	100
53	100,0822	0,00	0,00	0,00	100,00	100
54	108,7886	0,00	0,00	0,00	100,00	100
55	89,0000	0,00	0,00	0,00	100,00	100
56	102,3723	0,00	100,00	0,00	0,00	100
57	111,5482	0,00	100,00	0,00	0,00	100
58	92,3194	0,00	100,00	0,00	0,00	100
59	111,0109	0,00	100,00	0,00	0,00	100
60	110,4324	0,00	0,00	100,00	0,00	100
62	110,2322	0,00	0,00	100,00	0,00	100
63	90,4312	0,00	0,00	100,00	0,00	100
66	109,2939	0,00	0,00	100,00	0,00	100
68	108,6383	0,00	0,00	100,00	0,00	100
69	114,3448	0,00	0,00	100,00	0,00	100
70	102,9926	0,00	0,00	100,00	0,00	100
71	123,1983	0,00	0,00	100,00	0,00	100
73	119,4686	0,00	0,00	100,00	0,00	100
74	110,5941	0,00	0,00	100,00	0,00	100
75	101,6870	0,00	0,00	100,00	0,00	100
76	118,4348	0,00	0,00	100,00	0,00	100
77	119,6392	0,00	0,00	100,00	0,00	100
78	99,6752	0,00	0,00	100,00	0,00	100
79	91,0039	0,00	0,00	0,00	100,00	100
80	111,2661	0,00	0,00	0,00	100,00	100
81	110,0675	0,00	0,00	0,00	100,00	100
82	92,0000	0,00	0,00	66,92	33,08	100
83	94,2286	0,00	0,00	67,40	32,60	100
84	104,6288	0,00	0,00	0,00	100,00	100
85	92,1467	0,00	0,00	0,00	100,00	100
86	97,7149	0,00	0,00	62,96	37,04	100
87	96,1224	0,00	0,00	62,96	37,04	100
88	95,9841	0,00	0,00	67,40	32,60	100
89	94,7123	0,00	0,00	67,40	32,60	100
90	106,8967	0,00	100,00	0,00	0,00	100
91	90,8679	0,00	0,00	0,00	100,00	100

43	94,8164	0,00	0,00	0,00	100,00	100
44	92,4128	0,00	0,00	0,00	100,00	100
45	98,5589	0,00	0,00	0,00	100,00	100
46	102,9188	0,00	0,00	0,00	100,00	100
47	99,2832	0,00	0,00	13,06	86,94	100
48	114,0459	0,00	0,00	14,18	85,82	100
49	101,2861	0,00	0,00	14,18	85,82	100
50	113,2683	0,00	0,00	14,18	85,82	100
51	100,9372	0,00	0,00	14,18	85,82	100
52	88,8271	0,00	0,00	14,18	85,82	100
53	100,0822	0,00	0,00	14,18	85,82	100
54	108,7886	0,00	0,00	14,18	85,82	100
55	89,0000	0,00	0,00	14,18	85,82	100
56	102,3723	0,00	100,00	0,00	0,00	100
57	111,5482	0,00	100,00	0,00	0,00	100
58	92,3194	0,00	100,00	0,00	0,00	100
59	111,0109	0,00	100,00	0,00	0,00	100
60	110,4324	0,00	0,00	100,00	0,00	100
62	110,2322	0,00	0,00	100,00	0,00	100
63	90,4312	0,00	0,00	100,00	0,00	100
66	109,2939	0,00	0,00	100,00	0,00	100
68	108,6383	0,00	0,00	100,00	0,00	100
69	114,3448	0,00	0,00	100,00	0,00	100
70	102,9926	0,00	0,00	100,00	0,00	100
71	123,1983	0,00	0,00	100,00	0,00	100
73	119,4686	0,00	0,00	100,00	0,00	100
74	110,5941	0,00	0,00	100,00	0,00	100
75	101,6870	0,00	0,00	100,00	0,00	100
76	118,4348	0,00	0,00	100,00	0,00	100
77	119,6392	0,00	0,00	100,00	0,00	100
78	99,6752	0,00	0,00	100,00	0,00	100
79	91,0039	0,00	0,00	0,00	100,00	100
80	111,2661	0,00	0,00	100,00	0,00	100
81	110,0675	0,00	0,00	100,00	0,00	100
82	92,0000	0,00	0,00	100,00	0,00	100
83	94,2286	0,00	0,00	100,00	0,00	100
84	104,6288	0,00	0,00	0,00	100,00	100
85	92,1467	0,00	0,00	100,00	0,00	100
86	97,7149	0,00	0,00	100,00	0,00	100
87	96,1224	0,00	0,00	100,00	0,00	100
88	95,9841	0,00	0,00	100,00	0,00	100
89	94,7123	0,00	0,00	100,00	0,00	100
90	106,8967	0,00	100,00	0,00	0,00	100
91	90,8679	0,00	0,00	100,00	0,00	100

92	92,3876	0,00	0,00	0,00	100,00	100
93	106,5563	0,00	0,00	25,21	74,79	100
94	93,0908	0,00	0,00	0,00	100,00	100
95	93,7994	0,00	0,00	0,00	100,00	100
96	93,0000	0,00	0,00	0,00	100,00	100
97	98,0000	0,00	0,00	67,40	32,60	100
98	101,2764	0,00	0,00	100,00	0,00	100
99	99,0000	0,00	0,00	100,00	0,00	100
100	109,5168	0,00	0,00	100,00	0,00	100
101	101,7279	0,00	0,00	100,00	0,00	100
102	117,0000	0,00	0,00	100,00	0,00	100
103	88,0635	0,00	0,00	100,00	0,00	100
104	117,0000	0,00	0,00	100,00	0,00	100
106	123,0484	0,00	0,00	100,00	0,00	100
107	110,8681	0,00	0,00	100,00	0,00	100
111	90,8309	0,00	0,00	35,80	64,20	100
112	94,1831	0,00	0,00	12,91	87,09	100
113	92,7970	0,00	0,00	0,00	100,00	100
123	90,3293	0,00	0,00	62,96	37,04	100
R1A	121,80	100,00	0,00	0,00	0,00	100
R1E	146,50	0,00	100,00	0,00	0,00	100
R2E	146,50	0,00	0,00	100,00	0,00	100
R3E	139,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100

92	92,3876	0,00	0,00	100,00	0,00	100
93	106,5563	0,00	0,00	100,00	0,00	100
94	93,0908	0,00	0,00	14,18	85,82	100
95	93,7994	0,00	0,00	14,18	85,82	100
96	93,0000	0,00	0,00	14,18	85,82	100
97	98,0000	0,00	0,00	100,00	0,00	100
98	101,2764	0,00	0,00	100,00	0,00	100
99	99,0000	0,00	0,00	100,00	0,00	100
100	109,5168	0,00	0,00	100,00	0,00	100
101	101,7279	0,00	0,00	100,00	0,00	100
102	117,0000	0,00	0,00	100,00	0,00	100
103	88,0635	0,00	0,00	100,00	0,00	100
104	117,0000	0,00	0,00	100,00	0,00	100
106	123,0484	0,00	0,00	100,00	0,00	100
107	110,8681	0,00	0,00	100,00	0,00	100
111	90,8309	0,00	0,00	100,00	0,00	100
112	94,1831	0,00	0,00	100,00	0,00	100
113	92,7970	0,00	0,00	100,00	0,00	100
123	90,3293	0,00	0,00	100,00	0,00	100
R1A	121,80	100,00	0,00	0,00	0,00	100
R1E	146,50	0,00	100,00	0,00	0,00	100
R2E	146,50	0,00	0,00	100,00	0,00	100
R3E	139,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100

Tabela 2A – Modelo relatório CAGEPA consumo faturado médio (Maio a Outubro de 2019)

inscricao	situacao agua (status out/19)	economia	consumo medio (ultimos 6 meses)	consumo total (ultimos 6 meses)	coordenada_x	coordenada_y
053.17.085.0410	LIGADO	1	8	48	-6.8389900000000000	-35.4892900000000000
053.17.085.0434	LIGADO	1	2	12	-6.8389900000000000	-35.4890833333330000
053.17.085.0524	LIGADO	1	11	66	-6.8392833333330000	-35.4881216666670000
053.17.085.0534	LIGADO	1	15	90	-6.8393050000000000	-35.4880216666670000
053.17.085.0554	LIGADO	1	12	72	-6.8392666666670000	-35.4879666666670000
053.17.085.0605	LIGADO	1	12	72	-6.8394383333330000	-35.4875266666670000
053.17.085.0627	LIGADO	1	9	54	-6.9229983333330000	-35.4449516666670000
053.17.090.0040	LIGADO	1	26	156	-6.8391216666670000	-35.4885300000000000
053.17.090.0050	LIGADO	1	21	126	-6.8391216666670000	-35.4885300000000000
053.17.090.0060	LIGADO	1	17	102	-6.8391000000000000	-35.4885883333330000
053.17.090.0100	LIGADO	1	111	666	-6.8389100000000000	-35.4890850000000000
053.17.090.0100	LIGADO	1	8	48	-6.8389100000000000	-35.4890850000000000
053.17.090.0100	LIGADO	1	6	36	-6.8389100000000000	-35.4890850000000000
053.17.090.0100	LIGADO	1	3	18	-6.8389100000000000	-35.4890850000000000
053.17.090.0100	LIGADO	1	4	24	-6.8389100000000000	-35.4890850000000000
053.17.090.0100	LIGADO	1	4	24	-6.8389100000000000	-35.4890850000000000
053.17.090.0100	LIGADO	1	13	78	-6.8389100000000000	-35.4890850000000000
053.17.090.0100	LIGADO	1	7	42	-6.8389100000000000	-35.4890850000000000
053.17.090.0100	LIGADO	1	14	84	-6.8389100000000000	-35.4890850000000000
053.17.090.0100	LIGADO	1	8	48	-6.8389100000000000	-35.4890850000000000
053.17.090.0100	LIGADO	1	6	36	-6.8389100000000000	-35.4890850000000000
053.17.090.0100	LIGADO	1	12	72	-6.8389100000000000	-35.4890850000000000
053.17.090.0100	LIGADO	1	11	66	-6.8389100000000000	-35.4890850000000000
053.17.090.0100	LIGADO	1	21	126	-6.8389100000000000	-35.4890850000000000
053.17.090.0130	LIGADO	1	142	852	-6.8389900000000000	-35.4890833333330000
053.17.090.0130	LIGADO	1	6	36	-6.8389900000000000	-35.4890833333330000
053.17.090.0130	LIGADO	1	10	60	-6.8389900000000000	-35.4890833333330000
053.17.090.0130	LIGADO	1	8	48	-6.8389900000000000	-35.4890833333330000
053.17.090.0130	LIGADO	1	9	54	-6.8389900000000000	-35.4890833333330000
053.17.090.0130	LIGADO	1	16	96	-6.8389900000000000	-35.4890833333330000
053.17.090.0130	LIGADO	1	8	48	-6.8389900000000000	-35.4890833333330000
053.17.090.0130	LIGADO	1	5	30	-6.8389900000000000	-35.4890833333330000
053.17.090.0130	LIGADO	1	5	30	-6.8389900000000000	-35.4890833333330000
053.17.090.0130	LIGADO	1	19	114	-6.8389900000000000	-35.4890833333330000
053.17.090.0130	LIGADO	1	3	18	-6.8389900000000000	-35.4890833333330000
053.17.090.0130	LIGADO	1	10	60	-6.8389900000000000	-35.4890833333330000
053.17.090.0130	LIGADO	1	5	30	-6.8389900000000000	-35.4890833333330000
053.17.090.0130	LIGADO	1	8	48	-6.8389900000000000	-35.4890833333330000
21.251		21.839	197.438	1.464.156		